

Ersatz von dezentralen Elektroheizungen

Möglichkeiten und Konzepte für ein konkretes Altbaugebäude



ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Ersatz von dezentralen Elektroheizungen

Bachelorarbeit

von

Merlin Hürlimann

Bachelorstudiengang 2019

Abgegeben am 12. Januar 2023

Umweltingenieurwesen

Fachkorrektor: Manuel Hunziker

Fachgruppe Erneuerbare Energien

Life Sciences und Facility Management, Grüentalstrasse 14, 8820 Wädenswil

Keywords: Elektroheizungen, Nachtspeicherheizungen, Elektroheizungs-
Ersatz, Dezentrale Wärmeerzeugung, Klimageräte zur Raumwär-
meerzeugung, Nachrüsten einer Zentralheizung

Zitiervorschlag: Hürlimann, M. (2023). Ersatz von dezentralen Elektroheizungen.
In Semesterarbeit ZHAW, unveröffentlicht.

Institut: Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, ZHAW

Zusammenfassung

Dezentrale Elektroheizungen verursachen einen hohen Primärenergieverbrauch und müssen daher im Rahmen der Energiewende ersetzt werden. Da in den damit beheizten Gebäuden kein Wärmeverteilsystem vorhanden ist, gestaltet sich der Heizungsersatz komplexer als bei Gebäuden mit Zentralheizung. Weiterhin auf dezentrale Wärmeerzeuger zu setzen, und damit die Investition in ein Wärmeverteilsystem einzusparen, ist eine prüfenswerte Alternative zur Nachrüstung einer Zentralheizung. Ziel dieser Arbeit war es daher, die Vor- und Nachteile der einzelnen Ersatzmöglichkeiten gegenüberzustellen. Dabei wurden energetische, wirtschaftliche und Komfort-Aspekte berücksichtigt. Ein konkretes Altbaugebäude diente als Referenzobjekt.

Bei der dezentralen Ersatz-Variante kommen Pelletöfen und dezentralen Luft/Luft-Wärmepumpen (reversible Klimageräte) in Frage. Häufig genutzten Räume sollten bevorzugt mit Pelletöfen ausgestattet werden, denn diese erzeugen Strahlungswärme, welche im Vergleich zu Konvektion zu einer höheren Behaglichkeit führen. Nachteile von Pelletöfen sind der Betriebsaufwand – die Pellets müssen händisch zum Ofen befördert werden – und die relativ hohen Investitionskosten. Für die dezentralen Luft/Luft-Wärmepumpen sprechen in erster Linie die tiefen Investitionskosten. Nachteile sind allerdings die Lärmemissionen im Innenraum, das Nichtvorhandensein von Strahlungswärme und der – im Vergleich zu Zentralheizung-Wärmepumpen – höhere Stromverbrauch. Letzteres führt zu vergleichsweise hohen Energiekosten. Werden sie allerdings in wenig genutzten Räume eingesetzt, überwiegen die Vorteile der niedrigen Investitionskosten. Die Kombination von Pelletöfen in oft genutzten und reversiblen Klimageräten in wenig genutzten Räumen bietet sich daher an.

Verglichen mit der Variante, ein Wärmeverteilsystem und eine Zentralheizung nachzurüsten, ist die dezentrale Lösung bezogen auf die Lebenszykluskosten nicht konkurrenzfähig. Bei Zentralheizungen können im Vergleich zu Luft/Luft-Wärmepumpen stromeffizientere Wärmepumpen-Technologien eingesetzt werden. Klimageräte sind bezogen auf die Effizienz prinzipiell mit Luft/Wasser-Wärmepumpen vergleichbar. Luft/Wasser-Wärmepumpen können aber – bei passender Wärmeabgabe-Einrichtungen – mit Vorlauftemperaturen von unter 35°C betrieben werden, was sich positiv auf die Jahresarbeitszahl auswirkt. Zwar sind auch bei Klimageräten Austrittstemperaturen von 35°C möglich, dafür ist bei einem hohen Wärmebedarf allerdings ein hoher Luftdurchsatz erforderlich. Die damit einhergehenden Geräuschemissionen der Gebläse (bis zu 60 dB) würden kaum toleriert werden. Es ist also davon auszugehen, dass der Betrieb mehrheitlich mit höheren Austrittstemperaturen und tieferen Gebläse-Drehzahlen erfolgen wird. Aufgrund des damit einhergehenden, höheren Temperaturhubes sind die Klimageräte auch ineffizienter als Luft/Wasser-Wärmepumpen, zumindest wenn diese nur tiefe Vorlauftemperaturen erzeugen müssen.

Weiter bietet die Zentralheizung mit hydraulischer Wärmeverteilung und -Abgabe verglichen mit der Beheizung durch dezentralen Klimageräte auch komfortvorteile: Je nach Wärmeabgabe-Einrichtung sind hohe Strahlungswärme-Anteil möglich. Strahlungswärme ist die Form von Wärmezufuhr, welche zu der höchsten Behaglichkeit führt. Ausserdem treten bei den meisten Wärmeabgabe-Systemen keine Geräuschemissionen im Innenraum auf und es kommt weniger zu Luftströmungen.

Abstract

Decentralised electric heating systems cause high primary energy consumption and must therefore be replaced as part of the energy transition. As there is no heat distribution system in the buildings heated by these systems, the replacement of the heating system is more complex than in buildings with central heating. Continuing to rely on decentralised heat generators, and thus saving the investment in a heat distribution system, is an alternative worth considering to retrofitting a central heating system. The aim of this study was therefore to compare the advantages and disadvantages of the individual replacement options. In doing so, energetic, economic and comfort aspects were taken into account. A specific old building served as a reference object.

Pellet stoves and decentralised air/air heat pumps (reversible air-conditioning units) were considered for the decentralised variant. Frequently used rooms should preferably be equipped with pellet stoves, because they generate radiant heat, which leads to a higher level of comfort compared to convection. The disadvantages of pellet stoves are the operating - the pellets have to be transported to the stove by hand - and the relatively high investment costs. The low investment costs are the main advantage of decentralised air/air heat pumps. However, the disadvantages are the noise emissions in the interior, the absence of radiant heat and the higher electricity consumption compared to central heating heat pumps. The latter leads to comparatively high energy costs. However, if they are used in little-used rooms, the advantages of low investment costs outweigh the disadvantages. The combination of pellet stoves in frequently used rooms and reversible air-conditioning units in rooms that are not used very often is therefore a good idea.

Compared to the variant of retrofitting a heat distribution system and central heating system, the decentralised solution is not competitive in terms of life cycle costs. In the case of central heating, more electricity-efficient heat pump technologies can be used compared to air-to-air heat pumps. Air conditioners are in principle comparable to air-to-water heat pumps in terms of efficiency. However, air-to-water heat pumps can be operated with flow temperatures below 35° C, which has a positive effect on the annual performance factor. Although outlet temperatures of 35° C are also possible with air-conditioning units, this requires a high air flow rate for a high heat demand. The associated noise emissions of the fans (up to 60 dB) will hardly be tolerated. It can therefore be assumed that the majority of operation will take place with higher outlet temperatures and lower fan speeds. Due to the associated higher temperature lift, the air-conditioning units are also more inefficient than air-to-water heat pumps, at least if they only have to generate low flow temperatures.

Furthermore, central heating with hydraulic heat distribution and delivery also offers comfort advantages compared to heating with decentralised air-conditioning units: Depending on the heat output device, high proportions of radiant heat are possible. Radiant heat is the form of heat supply that leads to the highest level of comfort. In addition, with most heat dissipation systems there are no noise emissions in the interior and there are fewer air streams.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Elektroheizungen und Möglichkeiten zu deren Ersatz	3
2.1	Elektroheizungen	3
2.1.1	Gesamtschweizerischer Stromverbrauch von Elektroheizungen	4
2.1.2	Verbreitung von Elektroheizungen	5
2.1.3	Rechtliche Rahmenbedingungen beim Ersatz von Elektroheizungen	7
2.2	Einzelraum- und Etagenheizungen	9
2.2.1	Pelletofen	10
2.2.2	Dezentrale Luft/Luft-Wärmepumpe (reversible Klimageräte)	15
2.3	Zentralheizungen	24
2.3.1	Pellet-Kessel	25
2.3.2	Wärmepumpe	26
2.3.3	Fernwärme- / Wärmeverbundanschluss	28
2.3.4	Wärmeverteilung und -Abgabe	29
3	Methodische Vorgehensweise	36
4	Resultate	41
4.1	Beschreibung Referenzobjekt	41
4.1.1	Eckdaten	41
4.1.2	Gebäudehülle	41
4.1.3	Wärmeerzeugung	43
4.1.4	Energiebedarf Raumwärme / Warmwasser	45
4.2	Sanierungskonzepte	47

4.2.1	Variante A (Dezentrale Wärmeerzeugung).....	47
4.2.2	Variante B (Zentralheizung)	51
4.2.3	Variante C (Zentralheizung inkl. Wärmedämmung Kellerdecke und Estrichboden)	55
4.2.4	Variante D (Zentralheizung inkl. Wärmedämmung Kellerdecke, Estrichboden und Fensterersatz.....	58
4.2.5	Variante E (Zentralheizung inkl. Wärmedämmung Kellerdecke, Estrichboden, Fensterersatz und Aussenwanddämmung)	61
4.3	Empfehlung.....	65
4.4	Energiesparpotenzial auf nationaler Ebene	67
5	Diskussion.....	69
6	Quellenverzeichnis.....	72

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BFE	Bundesamt für Energie
COP	Coefficient of performance / Leistungszahl
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Elektrizitätswerke des Kantons Zürich
GIS	Geoinformationssystem
GWP	Global warming potential / Treibhauspotenzial
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
HFM	Harmonisiertes Fördermodell der Kantone
JAZ	Jahresarbeitszahl
LAS	Luft-Abgas-System
LSV	Lärmschutz-Verordnung
MFH	Mehrfamilienhaus
RLF	Relative Luftfeuchtigkeit
SCOP	Seasonal coefficient of performance
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WP	Wärmepumpe

1 Einleitung

In den 70er und 80er Jahren wurden in der Schweiz in grossem Umfang Elektroheizungen installiert (Siehe Abbildung 1). Mit ihnen konnte eine zusätzliche Stromnachfrage in der Schwachlastphase nachts geschaffen werden, was damals für die Stromversorger vorteilhaft war, da so die Grundlast erhöht und die Kernkraftwerke besser ausgelastet werden konnten. Mit tiefen Niedertarifen und finanziellen Beiträgen der öffentlichen Hand wurden daher insbesondere Elektrospeicherheizungen aktiv gefördert. (Lehmann et al., 2022). Ausserdem fiel die Wahl bei nachträglich mit einer Raumheizung ausgestatteten Räumen oft auf dezentrale Elektroheizungen, da auf das Wärmeverteilsystem verzichtet und somit Investitionskosten gespart werden konnten (Teutloff et al., 2022).

Hintergrund zur
Verbreitung von
Elektroheizungen

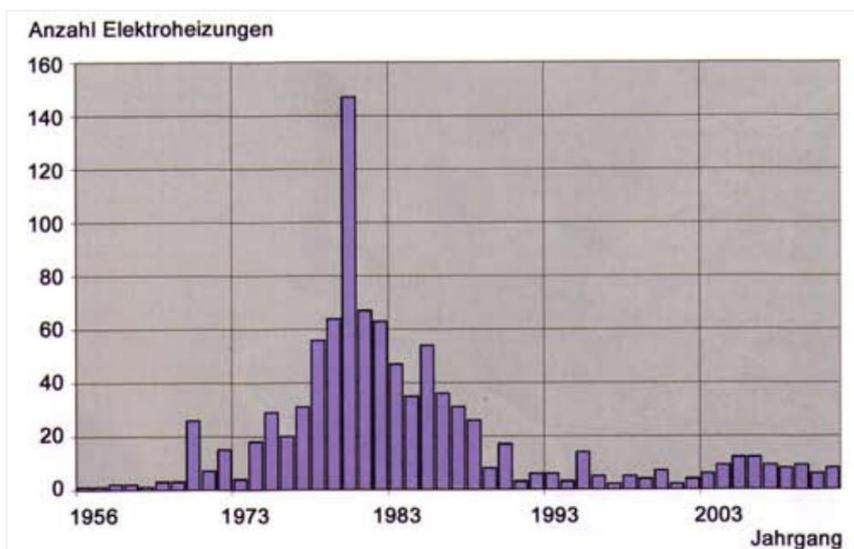


Abbildung 1: Jahrgang der Elektroheizungen (Wellstein, 2020)

Im Rahmen der Energiewende stellen Elektroheizungen aufgrund ihres hohen Stromverbrauches (Strom wird 1:1 in thermische Energie transformiert) ein Problem dar. Bereits heute ist die Schweiz in den Wintermonaten auf Stromimporte angewiesen, da die inländische Produktion im Winterhalbjahr nicht ausreicht, um den Strombedarf vollständig zu decken. Mit der Substitution der grundlastfähigen Kernenergie hauptsächlich durch Photovoltaik-Anlagen, sowie der Zunahme an Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen, wird sich dieses Ungleichgewicht zukünftig verschärfen (EiCom, 2020). Die jüngsten Bemühungen, Solaranlagen in alpinen Regionen, welche eine vergleichsweise hohe Winterstromproduktion ermögli-

Problemstellung

chen, voranzutreiben wirken hier entgegen. Trotzdem ist es wichtig, den Winterstromverbrauch weitmöglichst zu minimieren. Elektroheizungen müssen daher durch effizientere Lösungen, z.B. Wärmepumpen, ersetzt werden. Da Wärmepumpen die Nutzung von Umgebungswärme ermöglichen, benötigen sie je nach System üblicherweise 3 bis 5-mal weniger Strom pro kWh erzeugter Nutzwärme als Elektroheizungen.

In einem Gebäude mit dezentralen Elektroheizungen ist kein Wärmeverteil- und Abgabesystem installiert und eine Nachrüstung verursacht hohe Kosten, daher gestaltet sich der Ersatz schwieriger als bei einer Zentralheizung. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, bieten die meisten Kantone zusätzliche Förderbeträge für die Erstinstallation einer hydraulischen Wärmeverteilung an. Trotzdem könnte es unter Umständen wirtschaftlich attraktiver sein, weiterhin auf dezentrale Wärmeerzeuger – z.B. Pelletöfen oder Luft/Luft-Wärmepumpen (Klimageräte) - zu setzen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Übersicht der Ersatzmöglichkeiten von dezentralen Elektroheizungen darzulegen. In einem ersten Teil werden die verschiedenen Lösungsvarianten, sowie deren Vor- und Nachteile beschrieben. Dabei werden sowohl dezentrale Lösungen wie auch Zentralheizungs-Systeme berücksichtigt. Im zweiten Teil werden fünf Sanierungskonzepte für ein Referenzobjekt - ein Einfamilienhaus in Bülach (ZH) - und die dazugehörigen Wirtschaftlichkeitsberechnungen ausgearbeitet und einander gegenübergestellt. Auf deren Grundlage wird eine abschliessende Empfehlung gemacht, deren Energiespar-Potential im nationalen Rahmen eingeordnet wird.

Zielsetzung

2 Elektroheizungen und Möglichkeiten zu deren Ersatz

2.1 Elektroheizungen

Elektroheizungen sind technische Einrichtungen zur Erzeugung von Raumwärme, welche elektrische Energie nach dem Prinzip des Stromwärmegesetzes 1:1 in thermische Energie umwandeln (Günther, 2014). Man unterscheidet zwischen Elektro-Direktheizungen, welche die Wärme unmittelbar abgeben und Elektrospeicherheizungen, bei welchen ein thermischer Speicher für die zeitlich verzögerte Abgabe der Wärme sorgt. Weiter lassen sich die Elektroheizungen in dezentral (Einzelraumheizungen) und zentral (Zentralheizung mit Wärmeverteilung) einteilen (Lehmann et al., 2022).

Elektro-Direktheizungen sind in dezentraler Form als Heizlüfter, Fussbodenheizungen mit im Fussboden verlegten Heizkabeln, mobile Elektroradiatoren oder Infrarot-Heizpanels ausgeführt (Lehmann et al., 2022). Dezentralen Elektrospeicherheizungen (Nachtspeicherheizungen) bestehen aus Heizstäben, die von einem massiven Speicherkern umschlossen sind und mit einer wärmegeämmten, metallischen Einhausung abgeschlossen werden (Vaillant, 2022). Bei elektrischen Zentralheizungen kommen Elektrokessel zu Einsatz. Werden sie mit einem Pufferspeicher kombinieren, sind sie als zentrale Elektrospeicherheizung zu betrachten. Eine Übersicht aller Arten von Elektroheizungen kann der Tabelle 1 auf der nächsten Seite entnommen werden.

Definition

Elektroheizungs-Arten

Tabelle 1: Arten von Elektroheizungen (Eigene Darstellung, Bilder: Bosch, o. J.; Etherma, 2021; Kospel, o. J.; Lucht LHZ, o. J.; Radiator-Heizungen.de, o. J.; Tössstal Vertrieb, o. J.; Vaillant, 2022)

Elektrospeicherheizung		Elektro-Direktheizungen				
Zentral	Dezentral	Zentral	Dezentral			
Elektro- heizkessel + Pufferspei- cher	Nachtspei- cherheizung	Elektro- Heizkessel	Heizlüfter	Elektrische Fussboden- heizung	Mobiler Elektroradia- tor	Infrarot- Heizpanel
						

2.1.1 Gesamtschweizerischer Stromverbrauch von Elektroheizungen

Jährlich verbrauchen sämtliche Elektroheizungen (inkl. mobile Elektroradiatoren) in der Schweiz rund 3.3 TWh Strom (Bundesamt für Energie, 2022). Dies entspricht rund 6% des gesamten Stromverbrauches der Schweiz im Jahr 2021 (Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, 2022).

Abbildung 2 auf der nächsten Seite zeigt, wie sich dieser Stromverbrauch auf die dezentralen und zentralen Systeme, sowie auf die Erst- und Zweitwohnungen aufteilt. Mobile Elektroradiatoren wurden dabei nicht berücksichtigt. Sie verbrauchen schätzungsweise rund 300 GWh jährlich (Bundesamt für Energie, 2022).

**Totaler
Stromverbrauch**

**Aufteilung des
Stromverbrauches**

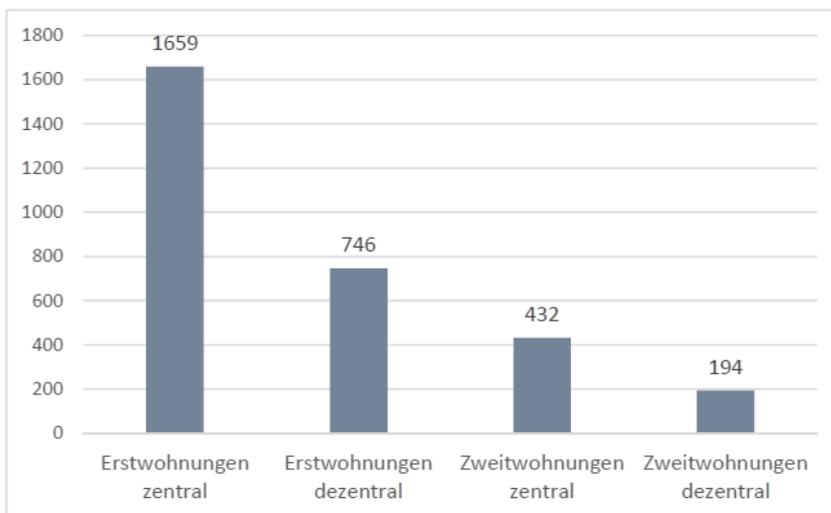


Abbildung 2: Kategorie von Elektroheizung und jährlicher Stromverbrauch in GWh, exkl. mobile Elektroradiatoren (Bundesamt für Energie, 2022).

Es wird ersichtlich, dass zentralen Elektroheizungssysteme den höchsten Anteil am Gesamtverbrauch haben. Sie können aufgrund der bestehenden Wärmeverteils-Infrastruktur relativ einfach ersetzt werden und sind daher nicht Teil dieser Arbeit. Anders stellt sich dies bei dezentral, elektrisch beheizten Wohnbauten heraus. Da dort kein Wärmeverteilsystem installiert ist und eine Nachrüstung beachtliche Kosten verursacht, gestaltet sich der Ersatz schwieriger als bei einer Zentralheizung. Die vorliegende Arbeit befasst sich daher vornehmlich mit dem Ersatz von dezentralen Elektroheizungen in Erstwohnungen. Dezentral beheizte Zweitwohnungen verursachen nur rund 6% des gesamten Elektroheizungs-Strombedarfes (Bundesamt für Energie, 2022) und werden daher nur am Rande behandelt.

2.1.2 Verbreitung von Elektroheizungen

Gemäss Auswertungen des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR) werden schweizweit 6.6% aller Wohngebäude mit Elektroheizungen beheizt. Dies entspricht 117'000 Gebäuden (Lehmann et al., 2022). Rund 32'000 davon sind dezentral beheizte Erstwohnungen. Die Daten sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da viele Elektroheizungen ohne die Meldung an die Behörden nachgerüstet wurden oder der Ersatz von Elektroheizungen nicht konsequent im GWR nachgeführt wurde. Die Daten für Elektrospeicherheizungen gelten als zuverlässiger als diejenigen für Elektrodirekt-

Anzahl mit
Elektroheizungen
beheizte Gebäude

heizungen, weshalb letztere bei den nachfolgenden Abbildungen ausgeklammert werden (Lehmann et al., 2022).

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen die Anzahl, respektive den Anteil von mit Elektrospeicherheizungen beheizten Wohngebäuden nach Kanton. Im Kanton Tessin sind sowohl absolut (20'000 Gebäude) als auch relativ am meisten Elektrospeicherheizungen vorhanden. Auf Rang zwei folgt in beiden Betrachtungsweisen der Kantone Wallis. In beiden Kantonen werden über 10% der Gebäude mit Elektrospeicherheizungen beheizt.

Regionale Verbreitung von Elektrospeicherheizungen

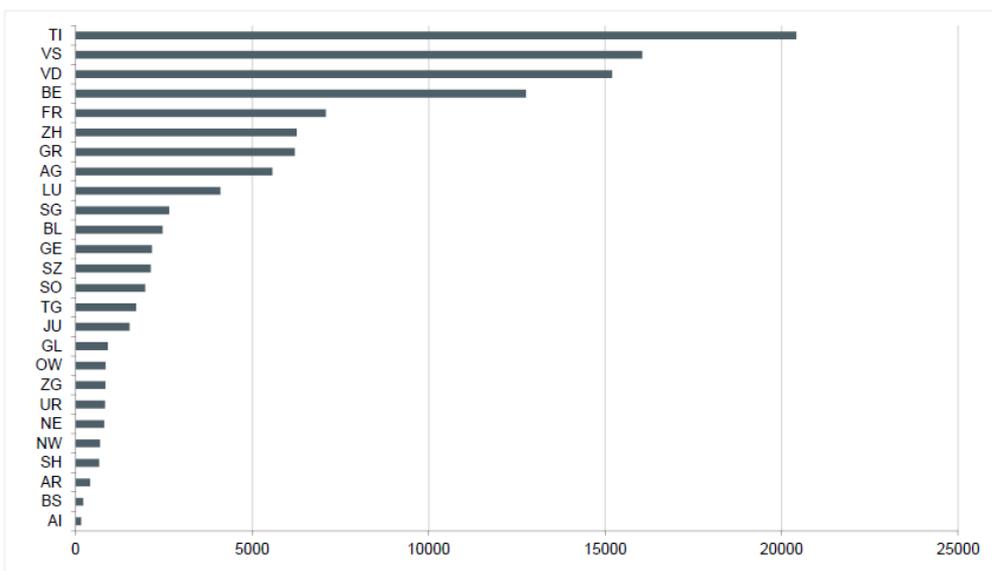


Abbildung 4: Anzahl der mit Elektrospeicherheizungen beheizten Gebäude nach Kanton (Lehmann et al., 2022).

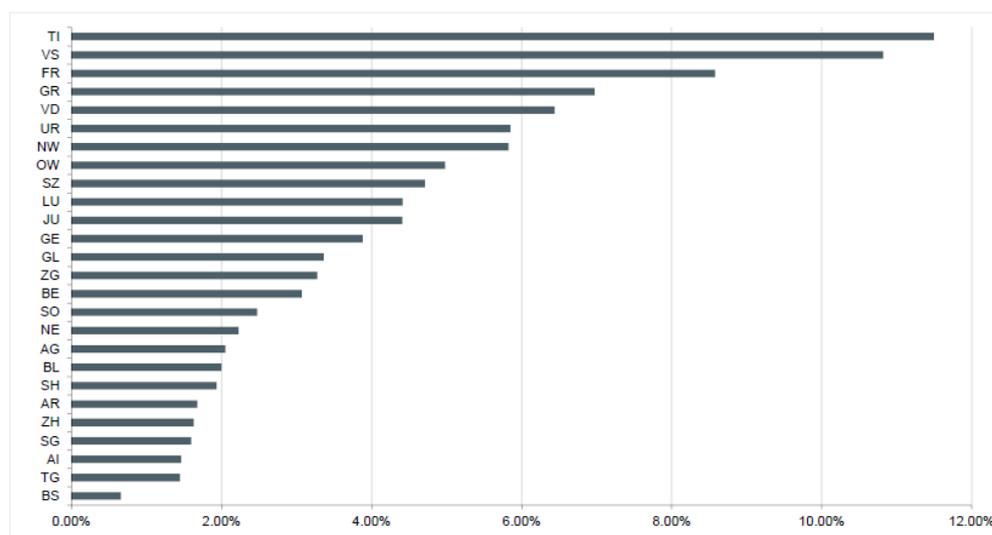


Abbildung 3: Anteil der mit Elektrospeicherheizungen beheizte Gebäude am Total der Wohngebäude nach Kanton (Lehmann et al., 2022).

2.1.3 **Rechtliche Rahmenbedingungen beim Ersatz von Elektroheizungen**

Die rechtlichen Weichen für den Ersatz von Elektroheizungen werden in den kantonalen Energievorschriften gesetzt. Sämtliche Kantone verbieten die Neuinstallation aller Elektroheizungen und den Ersatz von zentralen Elektroheizungen. Der Ersatz von dezentralen Elektroheizungen wird nur in den Kantonen Zürich und Waadt untersagt. Rund die Hälfte aller Kantone schreibt eine Sanierungspflicht bei elektrischen Zentralheizungen vor. Sieben Kantone schliessen dabei auch dezentrale Elektroheizungen mit ein. In den allermeisten dieser Kantone läuft die Sanierungsfrist 2030 – 2032 aus. Eine vollständige Auflistung der Sanierungspflichten und Ersatzverboten der Kantone ist dem Anhang B zu entnehmen.

Ein weiteres Werkzeug, um den Ersatz von Elektroheizungen zu beschleunigen, sind finanzielle Förderbeiträge. Die Grundlage für finanzielle Unterstützungen beim Umstieg auf erneuerbare Heizsysteme stellt das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen dar. Es wird über die CO₂-Abgabe finanziert, wobei ein Drittel dieser Einnahmen - maximal 450 Millionen pro Jahr – für das Gebäudeprogramm und die Förderung der Geothermie zur Verfügung stehen. Die Mittel werden den Kantonen in Form von globalen Finanzhilfen ausbezahlt. Voraussetzung dafür ist ein kantonales Förderprogramm, welches auf dem harmonisierte Fördermodell der Kantone (HFM) basiert (Bundesamt für Umwelt BAFU, 2020).

Die im HFM beschriebenen Massnahmen umfassen den Umstieg auf eine Stückholz-/Pellet-Heizung, Luft/Wasser-, Grundwasser- oder Erdwärmesonden-Wärmepumpe oder den Anschluss an einen mit hauptsächlich erneuerbaren Energien betriebenen Wärmeverbund. Im Fördermodell ist weiter vorgesehen, dass ein Zusatzbeitrag für die Erstinstallation eines Wärmeverteilnetzes beansprucht werden kann. Jeder Kanton legt selbst fest, wie hoch die von ihm gesprochenen Förderbeiträge ausfallen und welche konkreten Heizungsersatz-Massnahmen er fördert. Alle Kantone, bis auf Obwalden und Zug, fördern die Erstinstallation einer Wärmeverteilung. Meist wird der totale Förderbeitrag auf 50% der Gesamtinvestition gedeckelt. Ist ein leistungsabhängiger Beitrag vorgesehen, wird er ausserdem in sämtlichen Kantonen mit maximal 50 W / m² EBF bemessen. Eine Auflistung der jeweiligen Fördersätze und Bedingungen ist im Anhang A aufzufinden.

Die gesprochenen Förderbeiträge für den Heizungsersatz mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe und der Erstinstallation einer Wärmeverteilung für ein Durchschnitts-Einfamilienhaus (10 kW Heizleistungsbedarf) unterscheiden sich zwischen dem geringsten (Appen-

Sanierungspflichten

Förderbeiträge

zell-Innerrhoden, 4175 CHF) und dem höchsten Beitrag (Wallis, 19'000 CHF) um mehr als den Faktor 4. Auf der in Abbildung 5 dargestellten Karte kann die Höhe der Förderung abgeschätzt werden. Die genauen Werte sind in Anhang C aufgeführt.

Wie oben beschrieben sind auch andere Wärmeerzeuger als Luft/Wasser-Wärmepumpen förderberechtigt. Die Unterschiede zwischen den Kantonen bewegen sich aber auch bei den anderen Wärmeerzeugern in der gleichen Grössenordnung.

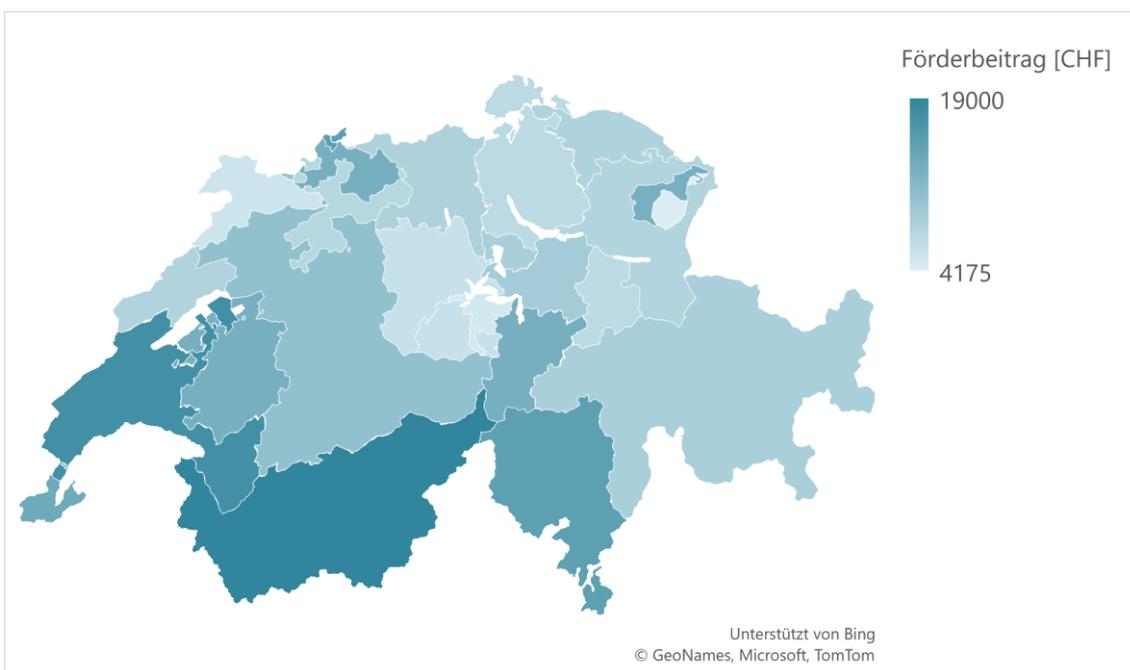


Abbildung 5: Höhe der Förderbeiträge für das oben beschriebene Referenzobjekt (10 kW Heizleistungsbedarf) und dem Ersatz einer Elektroheizung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe inkl. Erstinstallation einer Wärmeverteilung nach Kanton.

Die breite Spanne lässt sich einerseits dadurch erklären, dass der Anteil der mit Elektrospeicherheizungen beheizten Gebäuden in kantonalen Vergleich sehr verschieden ausfällt (Siehe Abbildung 4) und sich die Höhe des Strompreises je nach Region stark unterscheidet. Die Problematik hat daher eine unterschiedliche Brisanz. In Kantonen mit einem hohen Anteil Elektroheizungen und vergleichsweise hohen Strompreisen wird der Ersatz grundsätzlich stärker gefördert.

2.2 Einzelraum- und Etagenheizungen

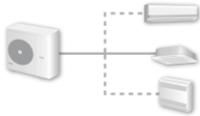
Bei der dezentralen Raumwärmeerzeugung wird zwischen Einzelraumheizung und Etagenheizung unterschieden. Bei ersterer wird nur der Aufstellort des Wärmeerzeugers beheizt. Bei Etagenheizungen ist ein Wärmeerzeuger pro Stockwerk vorhanden, der die Wärme über ein Verteilsystem zu weiteren Räumen befördert und oftmals gleichzeitig den Brauchwarmwasser-Bedarf des Stockwerkes deckt (Hubbuch, 2019).

Wird beim Ersatz von dezentralen Elektroheizungen weiterhin auf eine dezentrale Lösung gesetzt, lassen sich die Investitionskosten für Wärmeverteil- und Abgabesystem weiterhin einsparen (bei der Etagenheizung nur teilweise), womit die Variante wirtschaftlich attraktiv sein kann. Dem gegenüber steht aber die Tatsache, dass mehrere kleine Wärmeerzeuger oft teurer sind als ein einzelner (In der Investition und im Unterhalt) (Hubbuch, 2019).

Ein weiterer Vorteil der dezentralen Lösung ist, dass kein Platz für einen Technikraum geschaffen werden muss. Ausserdem weisen dezentral beheizte Gebäude in der Regel einen tieferen Energieverbrauch auf als solche mit Zentralheizungen, da meist nur die Räume geheizt werden, die man auch aktiv nutzt (Hubbuch, 2019).

In der Tabelle 2 ist eine Übersicht aller für eine Einzelraum- oder Etagenheizung in Frage kommender Wärmeerzeuger zusammengetragen.

Tabelle 2: Übersicht von Einzelraum- oder Etagenheizungen (Aircon, o. J.; Günter Kälte-Klima, o. J.; Kaminando, o. J.-b; MCZ, o. J.)

Einzelraumheizungen			Etagenheizungen	
Pelletofen	Monoblock-Luft/Luft-Wärmepumpe	Monosplit-Luft/Luft-Wärmepumpe	Pelletofen (Kanalisiert oder wasserführend)	Multisplit-Luft/Luft-Wärmepumpe
				

Grundsätzliches zur dezentralen Wärmeerzeugung

Vor- und Nachteile der dezentralen Wärmeerzeugung

2.2.1 Pelletofen

Feuerungsstätte, welche darauf ausgelegt sind, ihren Aufstellraum zu heizen, werden Öfen genannt. Die älteste und bekannteste Bauart ist der Stückholzofen. Heute wird er jedoch in erster Linie als Wohnaccessoire eingesetzt, da er als Raumwärmeerzeuger entscheidende Nachteile mit sich bringt: Er ist schlecht regelbar, wodurch der Aufstellraum schnell überhitzt. Ausserdem treten bei falscher Bedienung hohe Schadstoffemissionen (CO, CH_x und Feinstaub) auf (Hubbuch, 2019). Weiter haben alte Stückholzöfen meist nur tiefe Wirkungsgrade (ca. 60%) (Felske et al., 2011).

Im Gegensatz dazu sind Pelletöfen mit einer automatischen Zündung und Brennstoffzufuhr ausgestattet, was es ermöglicht die Wärmeleistung zu Regulieren. Der Wirkungsgrad beträgt bis zu 90%. Moderne Modelle können mit dem Internet verbunden und so mit einem Smartphone-App gesteuert werden. Pelletöfen sind halbautomatisch ausgeführt: Sie verfügen über einen Vorratstank, der von Hand mit dem Brennmaterial befüllt werden muss. Im Normalfall können 30-60 kg Pellets im Vorratstank untergebracht werden (Hubbuch, 2019). 60 kg Holzpellets entsprechen einer Energiemenge von 288 kWh (Holzenergie Schweiz, 2014). Je nach benötigter Heizlast muss der Vorratstank ein- bis mehrmals pro Woche aufgefüllt werden. Der Betriebsaufwand würde daher im Vergleich zur Elektroheizung zunehmen. Ein Beispiel eines modernen Pelletofens ist in der Abbildung 6 ersichtlich.

Wieso Pellets und nicht Stückholz?

Vor- und Nachteile von Pelletöfen



Abbildung 6: Beispiel eines modernen Pelletofens mit 2-8 kW Nennleistung (MCZ, o. J.).

Aufgrund des Leistungsbereiches der am Markt erhältlichen Modelle (Höchstleistung 6 -12 kW) (Hubbuch, 2019), sind Pelletöfen für den Einsatz als Einzelraumheizung meist überdimensioniert (Ausser für grosse Räume, z.B. Loftwohnungen). Ausserdem müssten bei der Beheizung mehrere Räume mit jeweils einem Pelletofen oft unverhältnismässig viele Zu- und Abluftleitungen nachgerüstet werden. Es ist daher meist sinnvoller, einen einzigen Pelletofen für die Beheizung mehrere Räume einzusetzen. Pelletöfen, die für die Beheizung mehrerer Räume in Frage kommen, werden kanalisierbar oder wasserführend genannt.

Die kanalisierbaren Öfen zeichnen sich dadurch aus, dass sie über eine Heizkammer mit Anschlussstutzen für Luftkanäle verfügen, mit denen warme Luft in andere Bereiche des Gebäudes geführt werden kann. Dafür ist ein Gebläse erforderlich, welches bei manchen Öfen bereits integriert ist. Die Stärke des Gebläses gibt vor, wie weit die Warmluft befördert werden kann. Sechs bis acht Meter sind übliche Werte. Als Leitungen können Aluflexrohre oder Flachkanäle verwendet werden. Um mehrere Räume beheizen zu können, ist oft eine Verteilerbox notwendig, die meist mit einem Filterelement kombiniert wird. Der Luftauslass wird mit einem Verteiler-Element abgeschlossen (Beimgraben & Ebert, 2017). Manche Hersteller bieten Modelle an, die über bis zu drei unabhängig über Fernbedienungen steuerbare Gebläse verfügen. Somit kann die Warmluftzufuhr individuell für die jeweiligen Räume eingestellt werden (MCZ, o. J.). Nachteil der kanalisierbaren Systeme sind u.a. die Geräusch-Emissionen, die verursacht vom Gebläse aus dem Luftauslassen austreten. Da mit 80° C warmer Luft geheizt wird, ist ausserdem mit einer Verschmelzung der in der Luft enthaltenen Feinstaubpartikeln zu rechnen, wodurch Geruchsemissionen und gesundheitsschädliche Gase auftreten können (Felske et al., 2011). Auch die anderen Vor- und Nachteile der Wärmabgabe über Warmluft (Siehe Abschnitt 2.2.2) treffen auf die kanalisierbaren Pelletöfen zu, z.B. das Auftreten von Zugluft.

Wasserführende Pelletöfen heizen nebst dem Aufstellraum einen Heizwasser-Pufferspeicher, über den weitere Räume mit einer hydraulischen Wärmeverteilung und -Abgabe beheizt werden können. Sie können auch verwendet werden, um das Brauchwarmwasser zu erzeugen.

Teilweise ist bereits ein Holzofen eingebaut, welcher weiterhin beibehalten werden will. 2019 waren in der Schweiz rund 500'000 Stückholzheizungen (ohne offene Cheminées) bei total 4.5 Millionen Wohneinheiten vorhanden. Jede neunte Wohnung verfügt demnach über einen Holzherd, Kachel-/ Zimmerofen oder Stückholzkessel, wobei der Anteil bei Einfamilien- und kleine Mehrfamili-

Pelletöfen als Etagen- heizung

Kanalisierbare Pelletöfen

Wasserführende Pelletöfen

Verbreitung von bestehenden Holzöfen

enhäusern deutlich höher liegen dürfte, da in grossen Mehrfamilienhäusern selten Holzöfen installiert sind (Bundesamt für Energie, 2019). Bei mit dezentralen Elektroheizungen beheizten Gebäude ist der Anteil vermutlich noch höher: Gebäuden, die vor dem Zweiten Weltkrieg gebaut wurden, wurden ursprünglich oftmals nur mit dezentralen Stückholzöfen beheizt, wobei viele Räume unbeheizt blieben und als Pufferzone dienten (Hubbuch, 2019). Später, mit den gestiegenen Ansprüchen der Bewohner, wurden diese unbeheizten Räume oft mit einer dezentralen Elektroheizung ausgestattet (Lehmann et al., 2022). Wie oben beschrieben erfolgt die Verbrennung dieser in die Jahre gekommenen Stückholzöfen nicht mehr nach dem Stand der Technik. Eine Sanierung oder ein Ersatz drängen sich daher auf.

Während Zimmeröfen relativ einfach durch Pelletöfen ersetzt werden können, ist der Ersatz eines massiven Kachelofens mit beachtlichen Aufwänden verbunden. Ausserdem möchte man den charakteristischen Charme eines altmodischen Kachelofens selten aufgeben. Am Markt sind daher einbaufertige Pellet-Kachelofeneinsätze erhältlich, abgebildet in Abbildung 7. Sie werden anstelle des alten Stückholzeinsatzes eingebaut und ermöglichen sämtliche oben beschriebenen Vorteile des Pelletofens, u.a. der geringe Betriebsaufwand und der hohe Wirkungsgrad, beim gleichzeitigen Beibehalt des Kachelofens. Moderne Pellet-Ofeneinsätze sind mit einem Raumthermostat verbunden und heizen nur so lange, bis die gewünschte Raumtemperatur erreicht ist. Es sind auch wasserführende Einsätze erhältlich, die es möglich machen, die erzeugte Wärme hydraulisch an weitere Räume abzugeben. Wenn nicht auf die Verbrennung von Stückholz verzichtet werden will, bieten sich Kombi-Einsätze an, die wahlweise mit Holz-Pellets oder Stückholz betrieben werden können. (Kaminando, o. J.-a).

Modernisierungs- Möglichkeiten von Kachelöfen



Abbildung 7: Pellet-Heizeinsatz zur Sanierung von Kachelöfen (Rika Ofentechnik, 2019)

Pelletöfen und -Heizeinsätze können Raumluftabhängig oder Raumluftunabhängig ausgeführt sein. Erstere ziehen die Verbrennungsluft direkt aus dem Aufstellraum, was energetisch ungünstig ist, da so die temperierte Raumluft verloren geht und durch kalte, nachströmende Aussenluft ersetzt wird (Hubbuch, 2019). Es sind daher Raumluftunabhängige Modelle zu verwenden, die über einen Zuluftkanal verfügen. Die Zu- und Abluftleitungen können in einem Luft-Abgas-System (LAS) kombiniert werden. Die Verbrennungsluft wird dabei parallel zur Abluft geführt, wo sie den Rauchgasen einen Teil der Wärme entzieht und dadurch vorgewärmt wird. Oft werden Rohr-in-Rohr-Systeme nachgerüstet, bei denen die Frischluft um eine innenliegenden Abgasleitung strömt (Siehe Abbildung 8).

Zufuhr der Verbrennungsluft

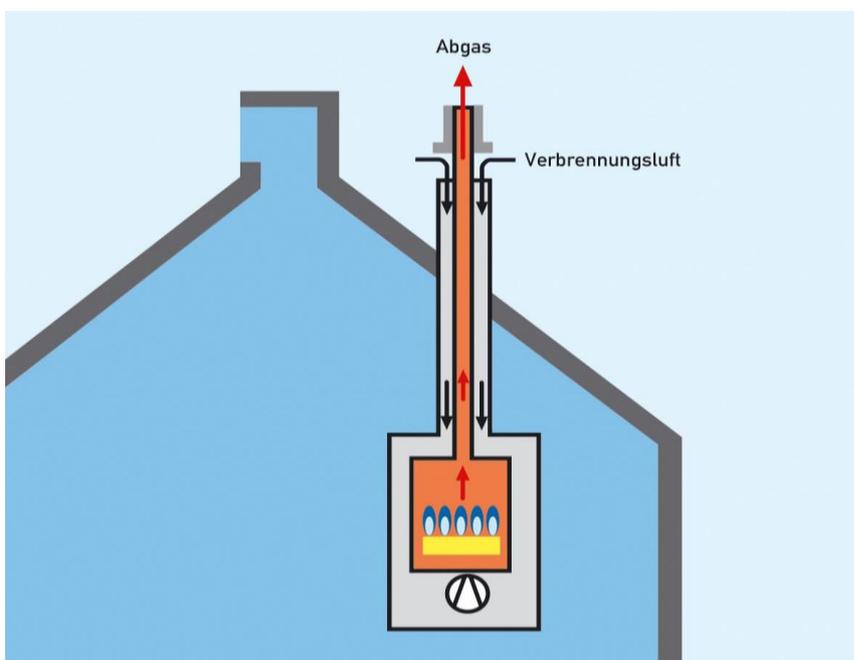


Abbildung 8: Prinzipschema des Luft-Abgas-Systems (Energytools, 2022)

Ist bereits ein Kamin (Schornstein) vorhanden, kann geprüft werden, ob er auch für die Abgasführung des Pelletofens genutzt werden kann. Eine Mehrfachbelegung ist meistens nicht möglich, wenn raumluftabhängige und -unabhängige Feuerstätten miteinander kombiniert werden. Wenn ein Cheminée daran angeschlossen ist, muss es ausserdem über eine selbstschliessende Tür verfügen, da es ansonsten vorkommen kann, dass die Rauchgase des Pelletofens aus dem Cheminée austreten. Wenn die Verbrennung des Pelletofens durch ein Gebläse unterstützt wird ist eine Mehrfachbelegung mit Feuerstätten ohne Gebläse nicht zulässig. Da diverse Faktoren über die Machbarkeit einer Mehrfachbelegung entscheiden, ist jeder Einzelfall von einem Fachmann zu prüfen (Ofenseite, 2019).

Mehrfachfachbelegung des Kamins

Wenn die bestehende Feuerstätte ersetzt wird, ist die Nutzung des vorhandenen Kamins einfacher möglich. Es muss aber in allen Fällen abgeklärt werden, ob der Kamin über den passenden Querschnitt verfügt. Moderne Pelletöfen weisen durch die verbesserte Effizienz eine vergleichsweise tiefe Rauchgastemperatur auf, wodurch der Kamineffekt nachlässt. Damit die Rauchgase trotzdem schnell genug abziehen und nicht im Kamin so weit abkühlen, dass es zur Kondensation kommt, muss meist der Querschnitt der Abgasführung verringert werden. Dies erfolgt, indem eine neue Abgasleitung in den bestehenden Kamin eingelegt wird (Felske et al., 2011). Empfehlenswert ist die Ausführung als im oben beschriebenen Luft-Abgas-System.

Ist noch kein Kamin vorhanden oder möchte die bestehende Feuerstätte weiterhin genutzt werden und eine Mehrfachbelegung ist nicht möglich, muss ein neuer Kamin nachgerüstet werden. Er kann entlang der Aussenfassade installiert werden. Auch hier sollte ein Luft-Abgas-System im Sinne einer möglichst effizienten Heizung realisiert werden sollte. Falls gleichzeitig die Gebäudehülle saniert wird, sind solche Systeme auch für den Einbau in eine Aussen-dämmung erhältlich (Felske et al., 2011).

Da bei der Holzverbrennung lediglich das CO_2 freigesetzt wird, welches der Baum vorher der Atmosphäre entzog, ist der Energieträger grundsätzlich CO_2 -Neutral. Bei der Holzernte, dem Transport und der Bearbeitung entstehen jedoch Treibhausgase, die dem Brennstoff zugeordnet werden müssen. Des Weiteren stellen Waldbestände eine wertvolle CO_2 -Senke dar, deren Kohlenstoffspeicherung allerdings hinfällig wird, wenn das gebundene CO_2 durch die Holzverbrennung wieder freigesetzt wird. Von der energetischen Nutzung von Holz sollte daher aus Klimaschutzgründen abgesehen werden (Behnke & Kemper, 2020). Eine Ausnahme stellen Hochtemperatur-Prozesse in der Industrie dar, da hier schlichtweg die erneuerbaren Alternativen fehlen (ausser Biogas), denn Wärmepumpen werden mit zunehmender Senken-Temperatur ineffizienter. Das Potenzial von Brennholz ist allerdings begrenzt, da bei einer nachhaltigen Forstwirtschaft lediglich so viel Biomasse entnommen werden darf, wie im gleichen Zeitraum nachwächst. Wie oben beschrieben, sollte sogar weniger Biomasse entnommen und verbrennt werden als nachwächst, um eine CO_2 -Senkung zu ermöglichen. Dieses begrenzte Potential sollte folglich für Prozesswärme in der Industrie freigehalten werden und wo immer Alternativen zur Verfügung stehen - wie bei Gebäudeheizungen die Wärmepumpentechnologie - sollte grundsätzlich auf eine energetische Nutzung von Biomasse verzichtet werden.

Nötige Anpassungen des Kamins

Nachrüsten einer Abgasleitung

Problematik von Holz als Energieträger für die Raumheizung

2.2.2 Dezentrale Luft/Luft-Wärmepumpe (reversible Klimageräte)

Moderne Klimaanlage können reversibel betrieben werden, womit sie nicht nur zur Raum-Kühlung, sondern auch zur Beheizung eingesetzt werden können. Klimaanlage funktionieren nach dem gleichen Prinzip wie Wärmepumpen, wobei die Raumluft im Kühlbetrieb als Wärmequelle dient. Indem die Wärme an die Aussenluft (Wärmesenke) abgegeben wird, wird der Raum gekühlt. Reversible Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass sie Wärmequelle und Wärmesenke vertauschen und so in den Heizbetrieb wechseln können. Als Wärmequelle wird dann Aussenluft verwendet, als Wärmesenke die Raumluft. Die Nutzwärme wird in Form von Warmluft an die Räume abgegeben. Aufgrund der Verwendung von Umgebungswärme wird deutlich weniger elektrische Energie als bei einer herkömmlichen Elektroheizung benötigt.

Klimaanlagen sind als Split- oder Monoblock Geräte erhältlich. Bei Monoblock-Ausführung werden alle Komponenten in einem Gerät vereint, welches im Innenraum aufgestellt wird (Siehe Abbildung 9). Split-Anlagen verfügen über eine Aussen- und Inneneinheit. Aussen befindet sich der Ventilator, welcher für den erforderlichen Luftdurchsatz sorgt, sowie der Kompressor. Im Heizbetrieb wird dem Luftdurchsatz Wärme entzogen. Über Kältemittelleitungen wird die Wärme zur Inneneinheit befördert, wo sie auf ein höheres Temperaturniveau gehoben und über einen Ventilator an die Raumluft abgegeben wird. Es gibt auch Systeme, die mehrere Inneneinheiten in mehreren Räumen mit einer einzigen Ausseneinheit verbinden. Diese werden dann Multisplit statt Singlesplit genannt. Sie ermöglichen auch die Erzeugung von Brauchwarmwasser (Daikin, o. J.).

Grundsätzliches zu Klimageräten als Heizung

Klimagerät-Varianten



Abbildung 9: Monoblock-Klimaanlage ohne Ausseneinheit (Remko, o. J.)

Eine Auswahl an Monoblock-Modellen und die dazugehörigen Kennzahlen ist in der Tabelle 3 zusammengetragen.

Marktübersicht Monoblock- Klimageräte

Tabelle 3: Kennzahlen der ausgewählten Monoblock-Klimageräte (Frico, o. J.; Olimpia Splendid, o. J.; Remko, o. J.; Swegon, o. J.; Trotec, o. J.)

Hersteller	Gerätebezeichnung	Heizleistung [kW]	COP (A0/W35)	Schall-druckpegel	Kälte-mittel
Remko	KWT 180 DC	2.4	3.15	57	R290
Remko	KWT 240 DC	3.0	3.28	57	R410A
Olimpia Splendid	UNICO PRO 30 HP EVA	1.8	3.4	57	R32
Olimpia Splendid	UNICO PRO 35 HP EVA	2.4	3.1	59	R410A
Trotec	PAC-W 2600 SH	2.3	3.1	59	R290
Frico	SC23DCIN Soloclim	2.3	3.3	58	R410A
Swegon	GAW 30 ECO	2.3	3.1	58	R290

Von Vorteil bei Monoblock-Geräten ist in erster Linie, dass keine Ausseneinheit benötigt wird. Das erleichtert die Installation und Wartung und bewahrt das Erscheinungsbild der Fassade. Wie ein Monoblock-Gerät aussieht, ist in Abbildung 10 ersichtlich.

Vorteile von Mono- block-Klimageräten



Abbildung 10: Monoblock-Klimagerät Unico Pro 35 des Herstellers Olimpia Splendid (Olimpia Splendid, o. J.)

Auch Split-Anlagen, die eine Heizbetrieb ermöglichen, sind von dutzenden Herstellern in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Nachfolgend werden die gemäss (Topten, 2022) energieeffizientesten Multi- und Singlesplit Modelle (höchster SCOP-Wert) und deren Kennwerte in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Die jeweils 10 energieeffizientesten Single-/Multisplit Klimaanlage (Topten, 2022)

	Hersteller	Innengerät	Aussengerät	Heizleistung [kW]	SCOP	Schalldruckpegel	
						Aussen	Innen
Single-Split	Daikin	FTXZ25N	RXZ25N	3.6	5.9	59	54
	Daikin	FTXZ35N	RXZ35N	5	5.7	61	57
	Daikin	FTXZ50N	RXZ50N	6.3	5.5	63	60
	Daikin	FTXTM-40R2V1B	RXTM-40R2V1B	5	5.3	61	60
	Daikin	FTXJ-20A2V1BS	RXJ-20A5V1B	2.5	5.2	59	57
	Daikin	FTXA-20A2V1BS	RXA-20A2V1B	2.5	5.2	59	57
	Panasonic	CS-Z25XKEW	CU-Z25XKE	3.4	5.2	62	57
	Daikin	FTXJ-25A2V1BS	RXJ-25A5V1B	3.5	5.2	59	57
	Daikin	FTXA-25A2V1BS	RXA-25A2V1B	2.8	5.2	59	57
Multi-Split	Panasonic	CS-Z20XKEW	CU-5Z90TBE	10.4	4.7	70	54
	Daikin	FTXM-25R5V1B/FTXM-35R5V1B	5MXM-90A2V1B	10	4.7	64	57
	Panasonic	CS-Z20XKEW	CU-4Z80TBE	9.4	4.7	68	54
	Fujitsu	ASYG07KGTB	AOYG18KBTA3	6.8	4.7	59	54
	Fujitsu	ASYG09KGTB	AOYG18KBTA2	5.6	4.7	60	55
	Fujitsu	ASYG07KGTB	AOYG14KBTA2	4.4	4.7	60	54
	Fujitsu	ASYG07KGTB	AOYG36KBTA5	10.6	4.6	65	54
	Daikin	FTXM-25R5V1B	4MXM-80A2V1B	9.6	4.6	61	57
	Fujitsu	ASYG07KGTB	AOYG30KBTA4	9.6	4.6	63	54
	Daikin	FTXM-20R5V1B/FTXM	4MXM-68A2V1B	8.6	4.6	61	57

Die Vergleichbarkeit zwischen Monoblock- und Split-Geräten wird durch die unterschiedlichen Effizienz-Angaben erschwert. Die Hersteller der Monoblock-Varianten geben nur den COP bei 2° Ausserentemperatur und 35° Austrittstemperatur an, während die Split-Anlagen-Hersteller den Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) darlegen. Letzterer ist realitätsgetreuer, da der COP bei sechs verschiedenen Betriebspunkten (-10/55, -7/52, -5/50, 2/44, 7/40) berücksichtigt wird. Die Gewichtung der einzelnen Betriebs-

Unterschied SCOP / COP

punkt für die Ermittlung des SCOPs ist abhängig von der Klimazone. Die Werte in Tabelle 4 beziehen sich auf Mitteleuropa, wo Strassburg als Referenzstandort dient. Ausserdem berücksichtigt der SCOP die Leistung des elektrischen Heizstabes, welcher bei tiefen Aussentemperaturen zur Zusatzheizung oder zu Frostschutzzwecken eingesetzt wird. Der SCOP bleibt aber ein Laborwert, der keine Vergleiche mit anderen Heizsystemen zulässt, nicht auf den tatsächlichen Stromverbrauchs schliessen lässt und lediglich zum Vergleich von gleichartigen Wärmepumpen untereinander verwendet werden soll (Grünenwald, o. J.).

Der tatsächliche Stromverbrauch muss durch Feldmessungen ermittelt werden. Das dabei gemessene Verhältnis zwischen eingesetzter, elektrischer Energie und Nutzwärme wird Jahresarbeitszahl (JAZ) genannt. Die Universität Innsbruck hat die Split-Klimaanlage eines damit beheizten Passivhauses mit einem eigens entwickelten Luft-Wärmezähler ausgerüstet. In Kombination mit dem gemessenen Stromverbrauch konnte die Jahresarbeitszahl ermittelt werden. Sie betrug in den Heiz-Messperioden rund 2 und blieb damit deutlich hinter den Erwartungen zurück. Dabei muss aber angemerkt werden, dass das Gerät aus Komfortgründen ausschliesslich im Flüstermodus betrieben wurde, wo der Luftdurchsatz zu Gunsten möglichst tiefer Geräuschemissionen so weit wie möglich reduziert wird. Um die erforderliche Heizleistung trotzdem zu erbringen, muss in diesem Betriebsmodus die Austrittstemperatur der Luft erhöht werden, was sich negativ auf die Jahresarbeitszahl auswirkt (Feist, 2022). Die Effizienz der Klimageräte im Heizbetrieb steht folglich in einem Konflikt mit dem Komfort: Je tiefer die Austrittstemperatur, desto höher die Effizienz, desto höher aber auch die Lautstärke der Gebläse

Wie in Tabelle 4 ersichtlich wird, sind Multisplit-Geräte weniger effizient als Single-Split-Modelle. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Komponenten der Ausseneinheit nicht linear mit der Heizleistung mitskalieren: Während jede Inneneinheit einer der Single-Split Anlagen mit einer eigene Ausseneinheit verbunden ist, müssen sich die Inneneinheiten der Multisplit-Anlage eine einzige Ausseneinheit teilen. Je mehr Inneneinheiten angeschlossen sind, desto kleiner wird die relative Grösse des Kompressors und der relative Luftdurchsatz pro kW Heizleistung. Beides mindert die Effizienz der Klimaanlage (Krug, 2018).

Beim Einsatz eines Klimagerätes zur Raumheizung, muss geprüft werde, bis zu welchen Minus-Temperaturen damit geheizt werden kann. Sämtliche in Tabelle 4 aufgelisteten Split-Klimageräte sind bis -15°C einsatzfähig, einige sogar bis -20°C . Die Einsatzgrenze der

Effizienz von Klimaanlage-Heizungen

Temperatur-Einsatzbereich

Monoblock-Geräte (Tabelle 3) liegt allerdings bei lediglich -5°C (Hahn Profis, o. J.).

Sämtliche Wärmepumpen benötigen ein Kältemittel, welches im Kreislauf zirkuliert, dabei Wärme von Quelle nach Senke transportiert und durch Phasenänderungen die Temperaturhebung möglich macht. In Vergangenheit waren austretenden Kältemittel massgeblich daran beteiligt, die Ozonschicht abzubauen. Solche Mittel sind in den Industriestaaten seit 1996 verboten (Hubbuch, 2019). Die Ersatz-Kältemittel sind teilweise starke Treibhausgase, weshalb ein Austreten nach wie vor zwingend verhindert werden muss. Bei allen in Tabelle 4 gezeigten Split-Klimageräten kommt Difluormethan (R32) zum Einsatz. Mit einem Treibhauspotential (GWP) von 675 (Das heisst, es trägt bei gleicher Menge 675-mal so stark zum Treibhauseffekt bei wie CO_2) gilt es als vergleichsweise umweltschonend. Es ersetzt sukzessive das bis vor kurzem weitverbreitete R410A, welches ein GWP von 2088 aufweist und ab 2024 bei Split-Geräten verboten ist. R32 ist hochentzündlich, weshalb kältemittelfüllmengen-abhängige Mindestgrössen an den Aufstellraum der Inneneinheit vorgeschrieben werden. Die stellen sicher, dass beim Austreten die Verdünnung hoch genug ist, dass kein Explosionsfähiges Gemisch mit Luft gebildet werden kann. Da R32 schwerer ist als Luft, dürfen die Ausseneinheiten nicht in Senken platziert werden. Die Inneneinheiten müssen mit mindestens 1.8 Meter Abstand zum Fussboden montiert werden (Meier Tobler, o. J.), was im Heizbetrieb aus komfortgründen ungünstig sein kann (Siehe weiter unten). Monoblock-Geräte sind vom R410A-Verbot ausgenommen. So kommt R410A mit seinem hohen Treibhauspotenzial bei einigen Modellen immer noch zum Einsatz (Siehe Tabelle 3). Einige Monoblock-Modelle werden mit Propan (R290) geliefert. Dieses weist einen geringen GWP-Wert von lediglich 3 auf (Remko, o. J.), ist allerdings wie R32 hochentzündlich und schwerer als Luft. Die Dichte von Propan beträgt 493 kg pro m^3 und es bildet bei 2.1 -9% Volumenanteil in Luft ein explosionsfähiges Gemisch (IFA, o. J.). Bei Monoblock-Geräte sind meist nur geringe Füllmengen vorhanden. So kommt das Modell KWT 180 DC des Herstellers Remko mit einer Füllmenge von 150 Gramm aus (Remko, o. J.). Es können daher maximal 0.3 Liter auftreten. Das Erreichen der unteren Explosionsgrenze 2.1% kann also schon ausgeschlossen werden, wenn der Aufstellraum ein Volumen von mehr als 1.4 m^3 aufweist. Somit ist das Explosionsrisiko vernachlässigbar.

Reversible-Klimaanlage bieten mit der Kühlfunktion einen Zusatznutzen, welcher aufgrund der Klimaerwärmung vermehrt in den Fokus rückt und somit die Zukunftsfähigkeit des Gebäudes verbes-

Kältemittel

Zusatzfunktionen

sert. Ausserdem sind hochwertige Modelle mit weiteren Zusatzfunktionen ausgestattet. Dazu gehört das automatisierte Lüften, welches zwar temperiert erfolgt, jedoch ohne Wärmerückgewinnung und damit weniger Energieeffizienz als bei zentralen Komfortlüftungen. Die Zuluft wird dabei durch einen Staub- und Pollenfilter geleitet, was insbesondere für Allergiker vorteilhaft ist. Diese Filtersysteme reinigen auch die Raumluft, welche von der Anlage im Umluftbetrieb temperiert wird. Einige Modelle verfügen ausserdem über einen Katalysator, welcher vorhandene Geruchs- und Schadstoffe oxidieren kann. Diverse Geräte können die Raumluft ohne Temperatur-Änderung entfeuchten. Die drei Daikin-Modelle mit dem höchsten SCOP (Model Ururu Sarara, siehe Tabelle 4) sind ausserdem in der Lage, im Heizbetrieb der Aussenluft Feuchtigkeit zu entziehen und der Raumluft zuzuführen. Der Funktionsmechanismus wird in Abbildung 11 veranschaulicht. Es werden Befeuchtungsraten von bis zu 450 ml / h angegeben. Da die Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft stammt ist weder ein Frischwasseranschluss, noch ein Wassertank erforderlich (Daikin, 2014).

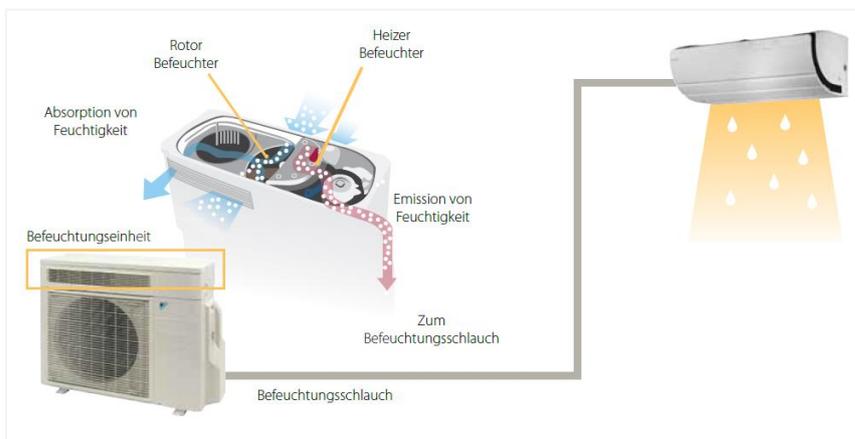


Abbildung 11: Prinzip der Befeuchtungsfunktion des Daikin Ururu Sarara Modelles (Daikin, 2014).

Bei undichten Altbauten stellt trockene Raumluft im Winter oft ein Komfortproblem dar. Ursache ist die geringe Absolute Feuchte der Aussenluft im Winter, wodurch beim Erhitzen eine geringe relative Luftfeuchtigkeit (RLF) resultiert. Unter 30% RLF wird das Raumklima als unbehaglich und zu trocken empfunden (Hubbuch, 2020b). Die oben beschriebenen Split-Klimageräte können durch die Befeuchtungsfunktion Abhilfe schaffen.

Die beschriebenen Zusatzfunktionen benötigen auch einen zusätzlichen Energiebedarf und sind daher nicht nur mit Vorteilen verbunden. Besser wäre es, wenn bewusst auf die Zusatzfunktionen verzichtet wird (Suffizienz).

Klimaanlagen beherbergen wie alle Warmluftheizungen die Gefahr, Zugluft zu verursachen. Schlecht wärmegeämmte Gebäude verstärken den Luftzug, da sich die warme Luft an den kalten Aussenwänden abkühlt, nach unten sinkt und von nachströmender warmer Luft ersetzt wird (Siehe Abbildung 12, nächste Seite).

Nachteile der Klimaanlage als Heizung

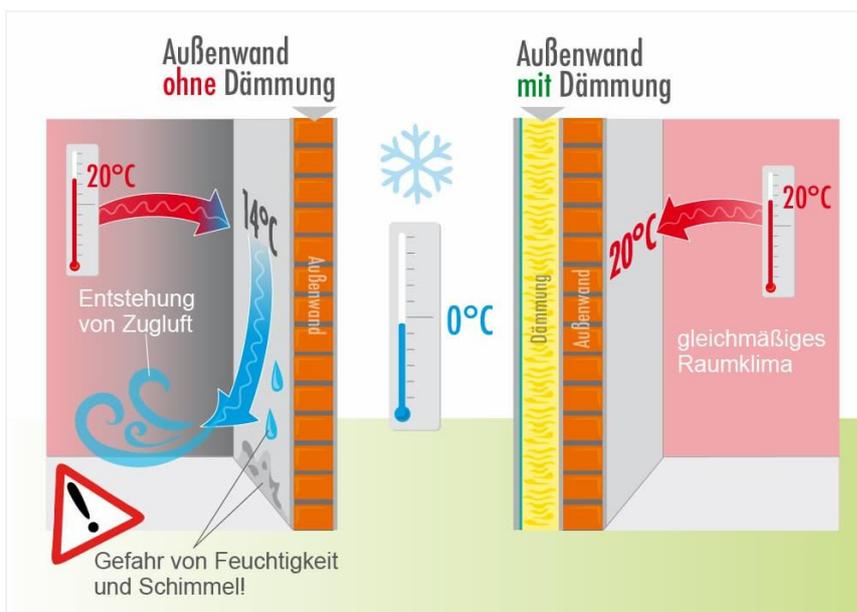


Abbildung 12: Vergleich zwischen gedämmter und ungedämmter Wand bezüglich des Auftretens von Zugluft (Sanier, 2021).

Während hydraulische Wärmeabgabe-Einrichtungen (Radiatoren, Fussbodenheizungen etc.) fast immer auch Strahlungswärme bereitstellen, ist diese in mit Klimageräten beheizten Räumen nicht vorhanden. Anders als Klimaanlage heizen z.B. Heizkörper nicht nur die Raumluft, sondern auch alle durch Infrarot-Strahlung erreichbaren Oberflächen. Das erhöht das subjektive Wärmeempfinden, denn der Mensch empfindet nicht nur die Raumlufttemperatur, sondern einen Mischwert aus Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen (Strahlungstemperatur) (Hubbuch, 2019). So kann bei einer hohen Wärmestrahlung die Raumlufttemperatur um 3 ° C reduziert werden und der Raum wird weiterhin als angenehm temperiert empfunden (Naturbo, o. J.). Analog dazu muss die Raumtemperatur bei fehlender Strahlungswärme erhöht werden, um die gleiche Behaglichkeit zu

erzielen. Als Faustregel nimmt der Energieverbrauch pro 1 °C höherer Raumtemperatur aber um 6% zu (Energie Schweiz, 2021).

Die Schallemissionen im Innenbereich können als gravierendster Nachteil im Vergleich zu andern Heizsystemen betrachtet werden. Unter Höchstlast verursachen die Innengeräte einen Schalldruckpegel von 54-60 dB (je nach Modell, siehe Tabellen 3 und 4). Dies ist in etwa mit dem Geräuschpegel eines Fernsehers vergleichbar (Siehe Dezibel-Skala, Abbildung 13). Zwar ist bei vielen Modellen ein besonders leiser Flüstermodus vorhanden, dieser geht aber wie oben beschrieben mit Effizienzeinbußen einher.

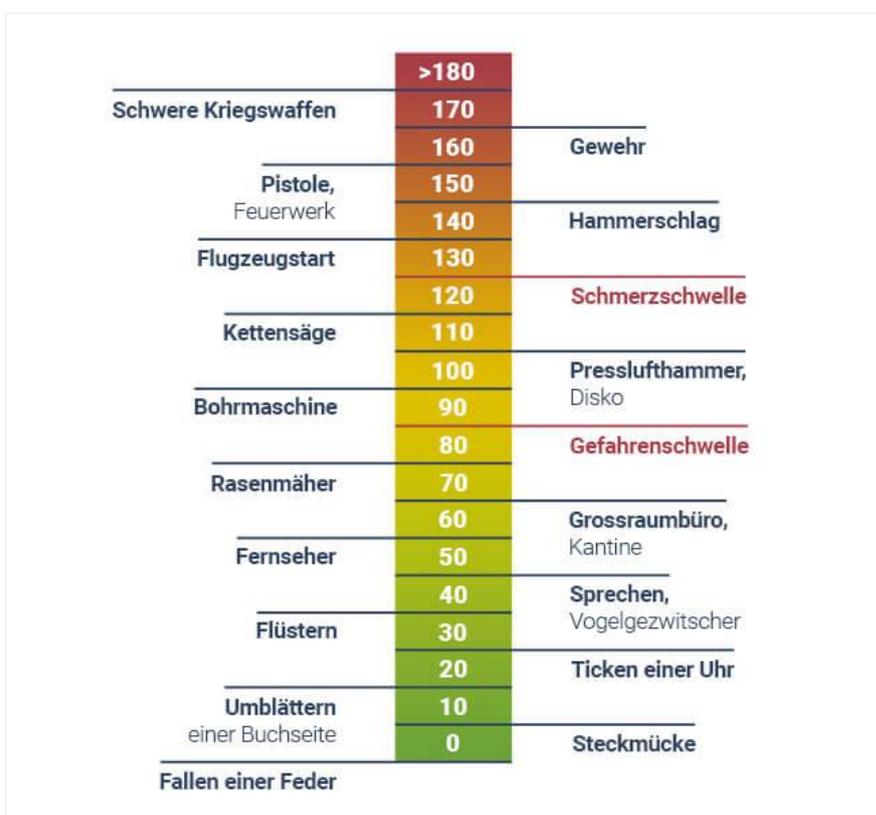


Abbildung 13: Beispiele für Schalldruckpegel-Werte in Dezibel. Zu beachten ist, dass die Dezibel-Skala einem logarithmischen Verlauf folgt (Ronner, o. J.).

Klimaanlagen, welche ganzjährig in Betrieb sind, sollten einmal jährlich gewartet werden (Bosch Thermotechnik, o. J.). Bei Split-Geräten sollte die Ausseneinheit daher gut zugänglich sein, was die möglichen Montageorte einschränkt.

Im Innenbereich sollten optimalerweise bodennah installierte Truhen- oder Wandgeräten als Inneneinheiten verwendet werden, da sich bei einer Platzierung unter der Raumdecke die Warmluft unter

[Weitere, zu beachtende Punkte](#)

der Decke sammeln würde und es zu einer Temperaturschichtung kommt, was als unangenehm empfunden wird. Einige Modelle können auch deckennah installiert werden, da sie beim Heizbetrieb die Luft nach unten blasen (Klima Tech Tirol, o. J.).

Meist müssen bei der Montage Durchbrüche durch die Aussenfassade (Kernbohrung) erstellt werden. Wenn eine Aussendämmung vorhanden ist, dann müssen diese Durchbrüche unbedingt luftdicht abgeschlossen werden. Ansonsten kommt es innerhalb der Wärmedämmung zu Kondensation der ausströmenden Luft. Bauschäden sind die Folge (Lyssoudis, 2022).

Da Monoblock-Geräte ohne Ausseneinheit auskommen, wird das Erscheinungsbild der Fassade nicht bedeutend verändert. Somit ist oft kein Baugesuch notwendig. Bei Denkmalsgeschützten Gebäuden sind die Monoblock-Modelle aus dem gleichen Grund meist die einzig zulässigen, dezentralen Klimageräte.

Im Gegensatz zu Monoblock-Geräten sind Split-Geräte meistens baubewilligungspflichtig, insbesondere wenn das Erscheinungsbild der Aussenfassade infolge der Fassadenmontage des Aussengeräts verändert wird. Die Handhabung ist aber je nach Gemeinde unterschiedlich. Im Kanton Zürich benötigen Split-Anlage mit einer an der Fassade installierter Ausseneinheit grundsätzlich eine Baubewilligung. Dem Baugesuch muss ein Lärmschutznachweis beigelegt werden. Der Lärmschutznachweis beurteilt, ob der Lärm-Grenzwert bei den Fenstern der lärmempfindlichen Räume der Nachbarsgebäude eingehalten wird. Als lärmempfindliche Räume gelten alle Räume in Wohnungen (Ausser Küche, Bad und Abstellräume) und regelmässig von Personen belegte Gewerberäume ohne bestehende Lärmbelastung. Bei Mehrfamilienhäusern müssen die Grenzwerte auch an den eigenen Fenstern von lärmempfindlichen Räumen eingehalten werden. Die Ausseneinheit der Split-Anlage kann also nicht beliebig platziert werden, sondern muss dem Lärmschutz Rechnung tragen. Die Schall-Emissionen von neuen, ortsfesten Anlagen, müssen gem. Art. 7 LSV die Planungswerte einhalten und überdies so weit begrenzt werden, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist (Vorsorgeprinzip). (SR 814.41 - Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV), 1986).

Die Planungswerte sind für reine Wohngebiete strenger als für Misch- oder Gewerbebezonen. Sie werden in der Tabelle 5 auf der nächsten Seite dargelegt.

Bewilligungen

Tabelle 5: Planungsgrenzwerte nach Nutzungszone (Bundesamt für Umwelt, 2022)

Nutzungszone	Planungswert Tag	Planungswert Nacht
	[dB]	[dB]
Erholungszonen	50	40
Wohnzonen	55	45
Wohn- und Gewerbebezonen	60	50
Industriezonen	65	55

Bezogen auf die Schalldruckpegel-Werte der in Tabelle 4 aufgelisteten Split-Klimaanlagen (Aussengerät), sind diverse Modelle demnach nur in Lärm-Vorbelasteten Nutzungszonen zulässig.

Einige Gemeinden verlangen im Rahmen des Baugesuches zusätzlich einen Energienachweis für Kühlung/Befeuchtung (EN-5). Dieser zeigt auf, ob bauliche Massnahmen getroffen wurden, um die Überhitzung der Räume zu verhindern. Auch wenn die Klimaanlage in erster Linie zum Heizen verwendet werden soll, wird man diesen Nachweis erbringen müssen, da die Kühlfunktion stets integriert ist. Die Voraussetzungen für ein Baubewilligungen sind u.a. ein automatischer Sonnenschutz, eine minimale Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes und Grenzwerte bezüglich G-Werten der Fenster (Subag Tech, o. J.-a). Falls die Gemeinde einen solchen Nachweis verlangt, wird der Elektroheizungsersatz mit einer Split-Klimaanlage in vielen Fällen markant erschwert.

2.3 Zentralheizungen

Die Zentralheizung mit hydraulischer Wärmeverteilung ist in der Schweiz das weitverbreitetste Heizsystem. Ein einziger Heizwärmeerzeuger, meist in einem dafür vorgesehenen Heizungs-/Technikraum im Keller installiert, deckt dabei den Wärmebedarf der gesamten Liegenschaft. Über ein Verteilsystem mit Wasser als Wärmeträger wird die Wärme zu den einzelnen Räumen transportiert, wo über die Wärmeabgabe-Einrichtungen (Radiatoren, Fussbodenheizung etc.) die Innenräume beheizt werden.

Die Zentralheizung wird meistens auch genutzt, um das Brauchwarmwasser zu erzeugen. Bei Gebäuden, die dezentral mit Elektrodirektheizungen beheizt werden, erfolgt dies meist mit Elektroboilern, die gemäss MuKE n 2014 allerdings auch nicht mehr zugelassen sind. Der Kanton Zürich z.B. schliesst den Ersatz von zentralen Elektroboiler in die 2030 auslaufende Sanierungspflicht mit

Systembeschreibung

Zentralheizung zur Brauchwarmwassererzeugung

ein. Durch eine Zentralheizung lässt sich daher der nötige Ersatz von Raumwärme- und Brauchwarmwassererzeuger mit einem einzigen Wärmeerzeuger vollziehen.

Als Zentralheizung können grundsätzlich alle gängigen Heizwärmeerzeuger verwendet werden. Der Heizungsersatz durch Öl- oder Gasheizungen ist aus ökologischen Gründen zu vermeiden und vielerorts, u.a. im Kanton Zürich, verboten. In Frage kommen daher Wärmepumpen oder Pelletheizungen. Holzschnitzelheizungen kommen erst ab einer Leistung von 150 kW aufwärts in Betracht. Da elektrisch beheizte Gebäude vornehmlich Einfamilien- und kleine Mehrfamilienhäuser sind, werden Holzschnitzelheizungen in der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt.

Zentralheizungs- Wärmeerzeuger

2.3.1 Pellet-Kessel

Ein grosser Vorteil im Vergleich zu dezentralen Pelletöfen (Kapitel 2.2.1) ist die Tatsache, dass Zentralheizungs-Pelletkessel vollautomatisch betrieben werden, was bedeutet, dass der Brennstoff nicht händisch zum Feuerungsaggregat getragen werden muss, sondern automatisch aus dem Pellet-Lagerraum nachgeliefert wird. Der Betriebsaufwand ist damit deutlich geringer, was von entscheidendem Vorteil sein kann, denn Benutzer einer Elektroheizung sind sich einen tiefen Betriebsaufwand gewöhnt.

Vorteil im Vergleich zu Pelletöfen

Bei einer Nachrüstung stellt der Platzbedarf einer Zentralheizung oft eine Herausforderung dar, denn bei mit dezentralen Elektroheizungen beheizten Gebäuden ist meist kein Heizungs- oder Technikraum vorhanden. Das Problem spitzt sich bei Pelletheizungen zu, da darüber hinaus ein grosszügiges Lagervolumen für den Brennstoff bereitgestellt werden muss und die Brandschutzrichtlinien beachtet werden müssen. Pelletkessel müssen in Räumen aufgestellt werden, die mindestens über Feuerungswiderstand EI 30 verfügen. Ausserdem muss eine ausreichende Zufuhr der Verbrennungsluft vom Freien her gewährleistet sein (Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, 2017). Die nötige Abgasanlage ist oftmals schon vorhanden, da die betreffenden Gebäude häufig schon über einen Holzofen verfügen. In vielen Fällen kann die Zentralheizung daran angeschlossen werden, wobei geprüft werden muss, ob eine Mehrfachbelegung zulässig ist und die Dimensionen des Kamins passend sind (siehe Kapitel 2.2.1). Ansonsten kann der Kamin nachträglich entlang der Aussenfassade installiert werden, wobei eine Ausführung als Luft-Abgas-System im Sinne einer möglichst effizienten Heizung realisiert werden sollte.

Platzbedarf

Brandschutzrichtlinien

Abgasanlage

2.3.2 Wärmepumpe

Wärmepumpen ermöglichen den Wärmetransport von niedrigeren Temperaturen zu höheren Temperaturen, was natürlicherweise nur umgekehrt stattfindet (2. Hauptsatz der Thermodynamik). Konkret beziehen Wärmepumpen-Heizungen Umgebungswärme und heben diese auf ein höheres Temperaturniveau, um sie für Heizzwecke nutzbar zu machen. Dafür wird ein Kompressor benötigt, der üblicherweise mit einem Elektromotor betrieben wird. Die erzeugte Nutzwärme setzt sich daher aus Umgebungswärme und elektrischer Energie zusammen. Je höher die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke, desto höher ist der benötigte Anteil an elektrischer Energie. Aus diesem Grund ist einerseits von Vorteil, Wärmequellen mit ganzjährig hohen Temperaturen zu erschliessen. Andererseits ist für die Effizienz zentral, die Vorlauftemperatur des Heizwasser-Kreislaufes sowie die Brauchwarmwassertemperatur so tief wie möglich zu halten. Als Wärmequelle kann das Erdreich, die Aussenluft oder Grund-/Oberflächenwasser verwendet werden.

Teilweise ist die elektrische Anschlussleistung der Liegenschaft für einen monovalenten Betrieb einer Wärmepumpe unzureichend. Eine Anschlussverstärkung verursacht hohe Kosten. Bei Gebäuden, die mit einer Elektroheizung beheizt werden, kann das aber grundsätzlich ausgeschlossen werden, da die Elektroheizung stets mehr Strom benötigt als die Wärmepumpe.

Ab einer Tiefe von ca. 10 m unterliegen die Temperaturen im Erdreich keinen jahreszeitlichen Schwankungen mehr und nehmen einen konstanten Wert an, welcher der Jahresmitteltemperatur des Standortes entspricht (Im Mittelland etwa 10° C). Darin besteht der grosse Vorteil Im Vergleich zur Aussenluft als Wärmequelle, denn wegen der höheren Quelltemperatur kann die Wärmepumpe mehr Umgebungswärme nutzen und benötigt weniger Strom, insbesondere an Tagen mit tiefen Aussentemperaturen, an denen bekanntlich besonders stark geheizt werden muss. Üblicherweise kann mit einer kWh Strom vier bis fünf kWh Wärme erzeugt werden, wobei dieses Verhältnis (Jahresarbeitszahl) von diversen Faktoren abhängt und individuell geprüft werden muss. Ausserdem kann die Erdwärme im Sommerhalbjahr zum effizienten Kühlen genutzt werden: Dabei wird 20° warmes Wasser durch die Wärmeabgabe-Einrichtung gepumpt, welches sich aufwärmt und dadurch Wärme aus der Raumluft zieht. Die Wärme kann dann an das 10° kühle Erdreich abgegeben werden. Einen Energieverbrauch verursachen lediglich die Umwälzpumpen (Freie Kühlung). Die so ins Erdreich eingespeiste Wärme kann im Winterhalbjahr wieder zum Heizen genutzt werden, womit das Erdreich als saisonaler Energiespeicher

Grundsätzliches zu Wärmepumpen

Elektrische Anschlussleistung

Erdreich als Wärmequelle

betrachtet werden kann (Hubbuch, 2020a). Voraussetzung ist eine Niedrigtemperatur-Wärmeabgabe-Einrichtung (z.B. Fussbodenheizung, Niedrigtemperatur-Heizkörper etc.).

Zur Erdwärmenutzung werden in den meisten Fällen Erdwärmesonden eingesetzt. Diese bestehen meist aus U-förmigen Sonden, die in ein bis zu 400 Meter tiefes Loch gelegt werden. Anschliessend wird das Loch hinterfüllt. In der Sonde zirkuliert eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel (Sole), mit der die thermische Energie des Erdinneren an die Oberfläche befördert und über eine Wärmepumpe zu Heizzwecken nutzbar gemacht werden kann (Hubbuch, 2020a). Abgeklärt werden muss, ob eine Erdwärmesonden-Bohrung rechtlich zulässig ist. Bei Grundstücken, die oberhalb von Grundwasservorkommen liegen, welches zur Trinkwassernutzung geeignet sind, sind Erdwärmesonden-Bohrungen grundsätzlich verboten (GIS-ZH, o. J.).

Erdwärmesonden

Prinzipiell kann in diesen Fällen Grundwasser als Wärmequelle genutzt werden. Die Vorteile sind analog zur Erdwärmesonde, insbesondere die ganzjährig konstante Temperatur und der damit einhergehende, stromeffiziente Betrieb der Wärmepumpe sowie die Nutzung des Grundwassers zur Rückkühlung. Für die Grundwasser-Nutzung benötigt man meistens eine Konzession. Die Vergabekriterien dafür unterscheiden sich von Kanton zu Kanton. Oftmals ist die Konzession an verschiedene Bedienungen geknüpft. Beispielsweise muss im Kanton Zürich die Entzugsleistung mindestens 100 kW betragen und eine Minergie-Bauweise wird vorausgesetzt (Energie Schweiz, 2017).

Grundwasser

Einige Gemeinden planen aktuell den Bau eines Niedrigtemperaturnetztes (Anergie-Netz, kalte Fernwärme). Dabei handelt es sich um ein Wärmeverteilsystem, mit dem Abwärme von ARAs, der Industrie, Rechenzentren, Kraftwerken oder Tunnel-/Oberflächenwasser auf einem Temperaturniveau von 10-20° C transportiert werden kann. Ein Beispiel ist der der Abbildung 14 auf der nächsten Seite ersichtlich. Die angeschlossenen Liegenschaften können die Wärme via Wärmepumpe zu Heizzwecken nutzen oder zu Kühlzwecken Wärme einspeisen (Freie Kühlung) (Hubbuch, 2019). Aufgrund der hohen Quelltemperatur (effizienter Betrieb der Wärmepumpe) und der Möglichkeit, Abwärme nutzbar zu machen, sind solche Systeme energetisch empfehlenswert. Es lohnt sich zu prüfen, ob die elektrisch beheizte Liegenschaft in einem zukünftigen Versorgungsperimeter liegt.

Kalte Fernwärme



Abbildung 14: Geplantes Niedrigtemperaturnetz der Gemeinde Richterswil. Eingespeist wird die Wärme u.a. von der ARA und vom Seewasser des Zürichsees. 2023 Entscheidet das Stimmvolk über die Errichtung (Gemeinde Richterswil, o. J.).

Wird Aussenluft als Wärmequelle verwendet (Luft/Wasser-Wärmepumpe), setzt sich die erzeugte Nutzwärme übers Jahr gesehen gewöhnlich aus 2/3 Umgebungswärme und 1/3 elektrischer Energie zusammen, womit dieses Wärmepumpen-System ineffizienter ist als solche, die Grundwasser oder Erdwärme als Wärmequelle nutzen. Dafür sind die Investitionskosten geringer. Beachtet man jedoch die Lebenszykluskosten, schneiden die effizienteren Erdwärme-/Grundwasser-Wärmepumpen aufgrund der tieferen Energiekosten meistens besser ab (Hubbuch, 2020a). Zu Kühlzwecken im Sommer muss die Wärmepumpe reversibel betrieben werden. Damit benötigt man deutlich mehr Strom als bei der Freien Kühlung, wie sie bei Erdwärme/Grundwasser-Nutzung möglich ist.

Aussenluft als Wärmequelle

2.3.3 Fernwärme-/ Wärmeverbundanschluss

Liegt die Liegenschaft im Versorgungsperimeter eines hauptsächlich mit erneuerbaren Energien betriebenen Wärmeverbundes, ist der Anschluss daran prüfenswert. Viele Lösungen zur Heizwärmeerzeugung sind nur im Verbund möglich, u.a. tiefe Geothermie (in Zukunft), Holzsnitzelheizungen oder Abwärme, z.B. aus Kehrichtverbrennung. Von Vorteil beim Ersatz einer dezentralen Elektroheizung ist der geringe Platzbedarf innerhalb der Liegenschaft: Es muss lediglich ein Wärmetauscher installiert werden, welcher deutlich platzsparender ist als ein zentraler Wärmeerzeuger. Gemäss (Hubbuch, 2019) lohnt sich der Anschluss aufgrund der relativ hohen Investitionskosten (Grabarbeiten etc.) aber erst ab einer Wärmebedarfsleistung von mindestens 30 kW.

Vor- und Nachteile eines Fernwärmeanschlusses

2.3.4 **Wärmeverteilung und -Abgabe**

Zentralheizungen benötigen ein Verteil- und Abgabesystem, um die Wärme vom Aufstellort der Heizung in weitere Räume zu befördern. Beim Ersatz einer dezentralen Elektroheizung mit einer Zentralheizung muss dieses nachgerüstet werden.

In der Schweiz wird fast ausschliesslich Wasser als Wärmeträger verwendet. Entscheidender Vorteil ist der Wärmeinhalt pro Volumeneinheit, welcher bei gleichem ΔT rund 3500-mal grösser ist als bei Luft. Es müssen also bedeutend weniger hohe Volumenströme bewegt werden, wodurch die Verteilleitungen einen deutlich geringeren Querschnitt aufweisen können (Hubbuch, 2019).

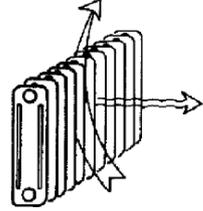
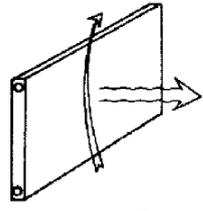
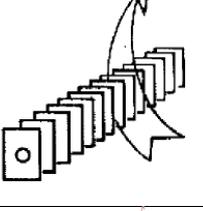
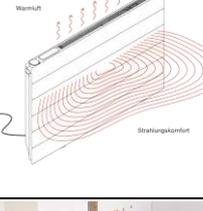
Die Wärmeverteilungen werden bei einer nachträglichen Erstinstallation in der Regel Aufputz installiert. Ist die Zentralheizung im Keller platziert, erfolgt die horizontale Verteilung der Leitungen meist an der Kellerdecke. Von dort aus werden über Steigzonen die Wärmeabgabeeinrichtungen vertikal erschlossen. Die Verteilleitungen in unbeheizten Räumen, wie dem Keller, müssen lückenlos und vorschriftsgerecht gedämmt werden. Wenn eine Innendämmung geplant ist, können die Verteilleitungen hinter der Dämmschicht «versteckt» werden. Analog dazu können bei einer neu angebrachten Aussendämmung die Steigzonen der Wärmeleitungen unter der Aussendämmung angebracht werden (Energie Schweiz, 2022). Dafür werden Mauerschlitze in die Fassade gefräst, worin die ausreichend gedämmten Verteilleitungen eingelassen und mit der Fassadendämmung abgedeckt werden. In diesem Falle müssen keine Kernbohrungen durch die Geschossdecken erstellt werden, jedoch durch die Aussenwände.

Für die Wärmeabgabe in die Räume gibt es zwei gängige Varianten: Heizkörper und Flächenheizungen. In der nachfolgenden Tabelle 6 auf der nächsten Seite werden die jeweiligen Untervarianten/Bauarten und die dazugehörigen, üblichen Vorlauftemperaturen sowie die jeweiligen Vor- und Nachteile zusammengefasst.

Wärmeverteilung

Wärmeabgabe-
Einrichtungen

Tabelle 6: Zusammenstellung von Wärmeabgabe-Einrichtungen. Die Vorlauftemperaturen beziehen sich auf die Höchstwerte bei -10°C Aussentemperatur und sind als Richtwerte zu verstehen. (Bilder: Hubbuch, 2019; Joco, o. J.; Oebbeke, 2012; Ökologisch Bauen, o. J.)

	Wärmeabgabe-Einrichtung		Vorlauf-temperatur	Vorteile	Nachteile
Heizkörper	Glieder- heizkörper		45-60° C	Durchsehbar (Deshalb oft vor Fenstern) Preiswert	Sichtbar Hohe Vorlauftemperatur nötig Wärmeabgabe hauptsächlich durch Konvektion → weniger komfortabel
	Platten- heizkörper		45-60° C	Hoher Strahlungswärme Anteil (20-70%, je nach Bauart) Preiswert Leicht zu reinigen	Sichtbar Hohe Vorlauftemperatur nötig (Ausser bei sehr grossflächigen Modellen)
	Konvektor		45-60° C	Für Einbau in Bodenvertiefungen erhältlich, z.B. vor Raumhohen Fenstern	Wärmeabgabe fast ausschliesslich durch Konvektion → weniger komfortabel Hohe Vorlauftemperatur nötig
	Niedrig- tempera- tur- Heizkörper		35-50° C	Im Vergleich zu anderen Heizkörpern tiefe Vorlauftemperatur Aufgrund der Gebläse zum Kühlen geeignet	Wärmeabgabe hauptsächlich durch Konvektion → weniger komfortabel Gebläse: Geräusche, aufgewirbelter Staub, Stromanschluss nötig Bei horizontaler Montage: Wärmeluft wird nach oben gelassen, sammelt sich an der Decke und führt zu unangenehmer Temperaturschichtung.
Flächenheizungen	Fussbo- denhei- zung		30-35° C	Tiefe Vorlauftemperatur Unsichtbar Angenehm warmer Boden Zum Kühlen geeignet	Schlechte Regelbarkeit da träge → Räume können z.B. bei Sonneneinstrahlung in der Heizperiode überhitzen Nachrüstung mit viel Aufwand verbunden (Fussböden müssen neu verlegt, Türen und Türschwellen höher gelegt werden etc.) Raumhöhe nimmt ab
	Decken- heizung		30-35° C	Tiefe Vorlauftemperatur Unsichtbar Hervorragend zum Kühlen geeignet (Warme Luft steigt)	Schlechte Regelbarkeit da träge → Räume können z.B. bei Sonneneinstrahlung in der Heizperiode überhitzen Komfortprobleme bei schlechter Dämmung (Warmer Kopf, kalte Füsse) Raumhöhe nimmt ab
	Wandhei- zung		30-35° C	Tiefe Vorlauftemperatur Unsichtbar Zum Kühlen geeignet	Schlechte Regelbarkeit da träge → Räume können z.B. bei Sonneneinstrahlung in der Heizperiode überhitzen Gefahr, dass hineingebohrt wird Wände werden gern mit Möbeln verdeckt

Wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, ist es beim Heizungsersatz mit einer Wärmepumpe von hoher Bedeutung, die Vorlauftemperaturen des Heizwasserkreislaufes möglichst tief zu halten, denn Wärmepumpen werden mit zunehmender Vorlauftemperatur ineffizienter. In einigen Kantonen sind daher Höchstwerte bei Neuerstellung eines Wärmeabgabesystems vorgeschrieben. Im Kanton Zürich beispielsweise darf die Vorlauftemperatur bei Auslegetemperatur maximal 50°C betragen, bei Fussbodenheizungen maximal 35°C (Besondere Bauverordnung I (BBV I), 2022). Für jeden Raum lässt sich einen Wärmeleistungsbedarf berechnen, anhand dessen die Wärmeabgabe-Einrichtung ausgelegt wird. Die Wärmeleistung der Wärmeabgabe-Einrichtung ergibt sich aus der Vorlauftemperatur und der Oberfläche der Einrichtung. Grundsätzlich gilt: Je grossflächiger eine Wärmeabgabe-Einrichtung, desto tiefer die notwendige Vorlauftemperatur. Flächenheizungen sind daher zu bevorzugen. Wie in Tabelle 6 dargestellt, kann der Wärmeleistungsbedarf damit üblicherweise mit einer Vorlauftemperatur von 30-35° C gedeckt werden. Heizkörper benötigen für den gleichen Wärmeleistungsbedarf aufgrund der kleineren Oberfläche meist 45°-60° C, je nach Wärmeleistungsbedarf. Eine Ausnahme stellen Niedrigtemperatur-Heizkörper dar, wo die Wärmeabgabe durch integrierte Gebläse verbessert wird und somit geringere Vorlauftemperaturen benötigt werden (35-45°C). Werden herkömmliche Heizkörper besonders grossflächig ausgeführt, ist aufgrund der grossen Oberfläche ebenfalls eine geringere Vorlauftemperatur nötig. Ohne die Oberfläche zu vergrössern, lässt sich die notwendige Vorlauftemperatur reduzieren, indem der Wärmeleistungsbedarf verringert wird. Es lohnt sich daher, vorrangig die Gebäudehülle energetisch zu verbessern (z.B. Fensterersatz, Aussenwanddämmung etc.).

Ein Fensterersatz empfiehlt sich in vielen Fällen auch aus Komfortgründen. Schlecht wärmegeämmte Fenster weisen im Winter eine kalte Oberfläche auf, wodurch Personen Wärmestrahlung an die Fenster emittieren und abkühlen (umgangssprachlich Kältestrahlung). Mit der Platzierung einer Nachtspeicherheizung unter dem Fenster wurde dieser Strahlungsverlust ausgeglichen, da gleichzeitig Wärmestrahlung, ausgehend von der Nachtspeicherheizung, von den Personen absorbiert wurde. Wird die Nachtspeicherheizung durch eine Flächenheizung ersetzt, findet dieser Ausgleich jedoch nicht mehr im gleichen Ausmass statt und die Behaglichkeit kann abnehmen. Werden zukünftig Heizkörper verwendet, könnten diese wiederum unter den Fenstern platziert werden und der Strahlungsausgleich bleibt bestehen, jedoch lässt sich die Wärmeverteilung teilweise einfacher nachrüsten, wenn die Heizkörper beliebig im Raum platziert werden können. Es drängt sich daher in vielen Fällen bei schlecht gedämmten Fenstern ein Fensterersatz

Vorlauftemperatur

Zu beachtende Punkte bei schlecht gedämmten Fenstern

mit Dreifach-Isolierverglasung auf. Dessen Oberfläche kühlt aufgrund der guten Wärmedämmung nicht markant ab und «Kältestrahlung» wird verhindert.

Im Sommer lassen sich die Wärmeabgabe-Einrichtungen nutzen, um Wärme aus der Raumluft zu ziehen und so die Räume zu kühlen. Die Kühlleistung ist dabei ebenfalls von der Wassertemperatur und der Oberfläche der Einrichtung abhängig: Je kühler das Umwälzwasser und je grösser die Oberfläche, desto höher die Wärmeaufnahme und damit die Kühlleistung. Das Umwälzwasser kann jedoch nicht beliebig kühl sein, denn ist die Oberfläche der Wärmeabgabe-Einrichtung zu kalt, kommt es zur Kondensation der Raumluft. Erfahrungsgemäss sollte die Wassertemperatur nicht weniger als 20°C betragen (Suissetec, 2021), daher eignen sich nur grossflächige Wärmeabgabe-Einrichtungen zu Kühlzwecken, wo die 20° ausreichen, um eine nennenswerte Kühlleistung zu erzielen. Eine Ausnahme stellen wiederum die Niedrigtemperatur-Radiatoren mit Gebläse dar, da dieses nicht nur die Wärmeabgabe, sondern auch die Wärmeaufnahme unterstützen. In jedem Fall muss die Wärme vom Umwälzwasser wieder abgegeben werden, wofür entweder eine reversible Luft/Wasser-Wärmepumpe, oder optimalerweise eine Kältequelle (Erdreich, Grundwasser etc.) zur Freien Kühlung benötigt wird.

Wird eine Flächenheizung nachgerüstet, bietet es sich teilweise an, im gleichen Schritt eine Innendämmung anzubringen. Beispielsweise kann unter die Fussbodenheizung im Erdgeschoss eine Dämmschicht eingeführt werden. Dabei nimmt die Aufbauhöhe jedoch zusätzlich zu. Ist das Gebäude unterkellert, ist es daher meist sinnvoller, die Kellerdecke zu dämmen. Gleiches gilt für Deckenheizungen im obersten Geschoss, wo es u.a. aufgrund der abnehmenden Raumhöhe meist empfehlenswerter ist, den Estrichboden zu dämmen. Hervorragend kombinieren lassen sich Wandheizungen und Innendämmung. Insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden ist eine Innendämmung meist die einzig zulässige Variante, die Aussenfassade wärmezudämmen. Bauphysikalisch bergen Innendämmungen aber einige Nachteile: Wasserdampf strömt durch das Bauteil (Durch Diffusion oder Konvektion), trifft hinter der Dämmschicht auf die kalte Aussenwand, kühlt unter den Taupunkt ab und kondensiert. Bauschäden sind die Folge. Um dies zu verhindern, muss das Bauteil von Innen mit einer lückenlosen Dampfbremse abgeschlossen werden. Im Bestandesbau ist dies jedoch nur sehr schwer umsetzbar. In den letzten Jahren hat sich daher die diffusionsoffene Innendämmung durchgesetzt: Sie erlaubt im Winter einen Dampfdiffusionsstrom in die Wand hinein, ist aber in der Lage, dass anfallende Tauwasser wieder «aufzusaugen» und kapillar an

Kühlfunktion

Flächenheizung inkl. Innendämmung

Wandheizung (inkl. Innendämmung der Aussenwand)

die Innenwandoberfläche zurückzutransportieren. Dadurch wird einerseits sichergestellt, dass das Feuchtniveau in der Wand dauerhaft unproblematisch bleibt, andererseits bleibt die Wand diffusionsoffen und kann sowohl Feuchtespitzen aus der Raumluft abpuffern als auch Feuchtigkeit im Wandinnern nach Innen austrocknen. Ein diffusionsoffener Aufbau einer Innenwanddämmung kann beispielsweise aus einer Holzfaserdämmmatte, verputzt mit einem Lehmputz bestehen. Es sind Produkte am Markt erhältlich, bei denen die Heizrohre bereits in die Holzfaser-Dämmschicht integriert sind, dargestellt in Abbildung 15.

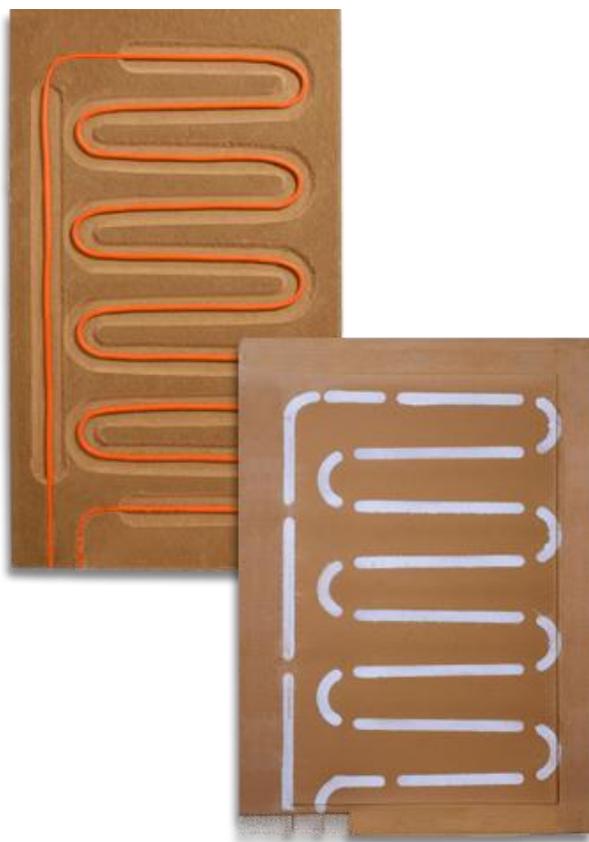


Abbildung 15: Wandheizungsplatte mit Holzfaser-Innendämmung (Naturbo, o. J.)

Damit der kapillare Feuchtetransport von der Grenzfläche Innendämmung/Außenwand nach innen gelingen kann, darf die Dämmschicht nicht zu dick sein. Der Hersteller «Naturbo» sieht lediglich eine Dämmstärke von 70mm vor. Daraus ergibt sich bei einer vorher ungedämmten Fassade ein U-Wert (Kennzahl für die Güte der Wärmedämmung, je tiefer, desto besser) von ca. 0.6 (Ubakus, o. J.).

Der U-Wert liegt deutlich unter dem SIA 380/1 Grenzwert an Einzelbauteile bei Umbauten (U-Wert bei opaken Bauteilen gegen Aussenklima = 0.2). Die SIA 380/1 Norm ist grundsätzlich rechtlich bindend. Für eine rechtskonforme, kapillare Innendämmung ist daher die Kompromissbereitschaft der entscheidenden Behörden nötig. Bei denkmalgeschützten Bauten ist diese aufgrund der fehlenden Alternativen oft gegeben.

Die Wandheizungsplatte kann auch an einer Zwischenwand im Innenbereich montiert werden, wo sie denn Schallschutz verbessert. Durch den Lehmputz bietet der Aufbau durch die Pufferung von Luftfeuchtigkeit eine weitere Zusatzfunktion.

Für die nachträgliche Installation einer Fussbodenheizung sind Systeme mit nur geringer Aufbauhöhe (2-5 cm) am Markt erhältlich, dargestellt in Abbildung 16.



Abbildung 16: Fussbodenheizungs-Element für den Sanierungsbereich in trockenbauweise (Hubbuch, 2019)

Die Montage ist allerdings meist mit hohen Aufwänden verbunden: Falls der Bodenbelag nicht überdeckt werden soll, muss er entfernt und wieder neu verlegt werden. Ausserdem müssen die Türen gekürzt und die Türschwellen neu befestigt werden. Beim Einbau im Erdgeschoss muss der Boden, respektive die Kellerdecke zwingend ausreichend gedämmt sein. Ansonsten treten hohe Transmissionswärmeverluste auf.

Auch Deckenheizungen können in Trockenbauweise nachgerüstet werden. Dafür werden meist Gipskartonplatten mit integrierten Kapillarrohrmatten oder 10 mm PE-Rohren eingesetzt (Beka Klima, o. J.). Die Aufbauhöhe ist dabei ebenfalls nur gering, wie in Abbildung 17 auf der nächsten Seite verdeutlicht wird. Beim Einsatz einer Deckenheizung im obersten Geschoss muss die Geschossdecke ausreichend gedämmt sein, da ansonsten hohe Transmissionswärmeverluste zu erwarten sind.

Zusatznutzen der in Dämmplatten integrierter Wandheizung

Fussbodenheizung zum nachrüsten

Deckenheizung zum nachrüsten

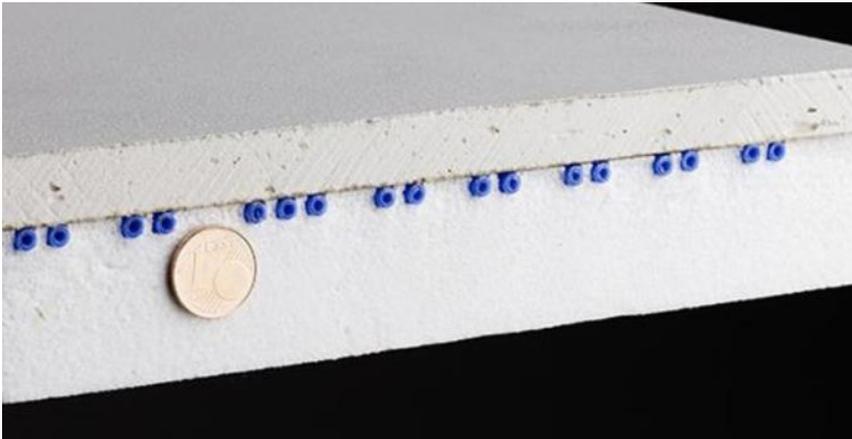


Abbildung 17: Trockenbauelement mit Kapillarrohrmatte zum Nachrüsten einer Deckenheizung (Beka Klima, o. J.)

Niedrigtemperatur-Heizkörper sind in verschiedenen Grössen sowohl für die vertikale wie auch für die horizontale Montage erhältlich. Wie alle Heizkörper sind sie grundsätzlich mit einem geringeren Montageaufwand verbunden als Flächenheizungen. Aufgrund des integrierten Gebläses ist allerdings ein Stromanschluss erforderlich, der den Installationsaufwand erhöht. Räume, die mit dezentralen Elektroheizungen beheizt werden, sind allerdings bereits mit den nötigen elektrischen Zuleitungen erschlossen. Vor allem wenn der Niedrigtemperatur-Heizkörper am gleichen Standort platziert wird wie vorher die Elektroheizung, kann der elektrische Anschluss einfach durchgeführt werden. Anders als die meisten hydraulischen Wärmeabgabe-Einrichtungen, verursachen die Niedrigtemperatur-Heizkörper wegen dem Gebläse Geräuschemissionen. Sie betragen bei höchster Gebläse-Stufe 34 dB (Zehnder Group Schweiz, o. J.), was vergleichbar mit Flüstern ist (Siehe Abbildung 13). Ein Beispiel eines Niedrigtemperatur-Heizkörpers ist in Abbildung 18 ersichtlich.

Niedrigtemperatur Heizkörper



Abbildung 18: Niedrigtemperatur-Heizkörper «Nova Neo» des Herstellers Zehnder (Zehnder Group Schweiz, o. J.).

3 Methodische Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, eine Übersicht über die Ersatzmöglichkeiten von dezentralen Elektroheizungen aufzuzeigen und die einzelnen Varianten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, des Energieverbrauches, dem Bedienungsaufwand und dem Komfort miteinander zu vergleichen.

In einem ersten Schritt wurde die Ausgangslage aufbereitet. Um einen Überblick über die verschiedenen Arten von Elektroheizungen zu gewinnen, wurde eine Abfrage auf der Publikationssuche des Bundesamtes für Energie mit dem Stichwort «Elektroheizungen» durchgeführt. Anhand dieser Recherche konnten die markt-führenden Hersteller von Elektroheizungen ermittelt werden. Auf den Internetauftritten dieser Hersteller konnten Zusatzinformationen zu den einzelnen Elektroheizungs-Technologien aufgefunden werden. Die oben erwähnt Recherche auf der Plattform des Bundesamtes für Energie führt auch zu Informationen bezüglich regionaler Verbreitung, Anteil von dezentralen und zentralen Elektro-Heizungssystemen sowie die Aufteilung von elektrisch beheizten Gebäuden in Erst-/Zweitwohnungen in der Schweiz. Weiter konnte auf dem gleichen Weg der schweizweite Stromverbrauch von Elektroheizungen ermittelt werden. Um die aktuellen, rechtlichen Rahmenbedingungen der einzelnen Kantone bezüglich relevanten Sanierungspflichten und Fördermassnahmen ausfindig zu machen, wurden die geltenden Energiegesetze und -Verordnungen aller 26 Kantone untersucht. Um die unterschiedlich weitgehenden Massnahmen zu erklären, wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen der Kantone der Verbreitung von Elektroheizungen in den jeweiligen Kantonen und den jeweiligen Stromtarifen für Privathaushalte gegenübergestellt und eine qualitative Erklärung dargelegt. Die jeweiligen Stromtarife konnten dabei über die online zugängliche Preisanalyse-Plattform der Elcom herausgefunden werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Fördermassnahmen der einzelnen Kantone wurde der jeweilige Förderbeitrag für ein Schweizer Durchschnitts-Einfamilienhaus mit einer Energiebezugsfläche (EBF) von 195 m² (Hartmann & Jakob, 2016) berechnet. Gemäss (Hubbuch, 2019) liegt der Wärmeleistungsbedarf eines unsanierten EFH mit Baujahr vor 1980 bei 80-100 W/m². Die meisten Kantone deckeln den leistungsabhängigen Beitrag jedoch bei 50 W/m², woraus sich eine förderfähige Leistung von ca. 10 kW ergibt (195 m² × 50 W/m²). Die berechneten Förderbeiträge beziehen sich auf den

Vorgehensweise
Theorieaufarbeitung

Ersatz einer Elektroheizung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe inkl. Erstinstallation eines Wärmeverteilsystems.

Die einzelnen Möglichkeiten zum Ersatz von Elektroheizungen wurden mehrheitlich anhand der Vorlesungsunterlagen von Professor Markus Hubbuch ermittelt, wo ausführliche Beschreibungen sowohl von dezentralen wie auch von Zentralheizungs-Wärmeerzeugern und den dazugehörigen Wärmeverteil- und Abgabesystemen aufzufinden sind. Ergänzt wurden die Informationen über Fachliteratur zu den Themenbereichen Holzenergie und Klimatechnik. Ausserdem wurden Herstellerinformationen beigezogen. Vereinzelt wurden auch Informationen von Internetplattformen verwendet. Die Auswahl der Klimageräte, für welche die jeweiligen Kennzahlen aufgezeigt wurden, erfolgte über die Suchfunktion der Schweizer Vergleichsplattform «Topten». Dabei wurden die reversiblen Klimageräte absteigend nach dem SCOP sortiert und die 10 Einträge mit dem höchsten SCOP ausgesucht. Da die Plattform nur Split-Geräte auflistet, wurden die Monoblockgeräte auf den gängigsten Online-Handelsplattformen ausfindig gemacht. Die Auswahl erfolgte anhand des Kriteriums meistverkauft. Um die rechtlichen Hürden der Klimageräte als Heizung oder der Installation des Pelletkessels auszuforschen, wurden die entsprechenden Gesetztestexte ausgewertet.

Um die energetischen und wirtschaftlichen Kennzahlen der einzelnen Ersatzvarianten vergleichen zu können, wurden Berechnungen anhand eines Referenzobjektes durchgeführt. Die Wahl fiel auf das verwendete Referenzobjekt, da sich die Ausgangslage mit vielen elektrisch beheizten Einfamilienhäuser decken dürfte (erst nur Holzöfen, später dann Nachtspeicherheizungen nachgerüstet) und es daher als repräsentativ zu betrachten ist. Die Eckdaten des Gebäudes stammen aus dem eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) und wurden bei der Besichtigung des Referenzobjektes verifiziert. Die Energiebezugsfläche wurde ermittelt, indem die Gebäudefläche auf dem GIS des Kanton Zürichs ausgemessen wurde. Aus der Besichtigung ist bekannt, dass sämtliche Räume des Erd- und ersten Obergeschosses zu der Energiebezugsfläche zählen, wodurch die Gebäudefläche zur Ermittlung der Energiebezugsfläche mal zwei gerechnet werden kann.

Der energetische Ist-Zustand wurde zuerst aufgrund der tatsächlichen Stromverbräuche für Raumwärme und Warmwasser ermittelt. Der Haushaltsstromverbrauch des Zeitraumes Oktober 2021 - September 2022 ist aufgrund von Strom-Abrechnungen bekannt. Die Anzahl Heizgradtage beträgt im selben Zeitraum an der nahe gelegenen Messstation Zürich-Kloten 3174. Der langjährige Mittelwert (2010-2020) der Messtation beträgt 3098 (HEV Kanton

Vorgehensweise
Ermittlung der
Eckdaten des
Referenzobjektes

Vorgehensweise
Wärmebedarf nach
Energieabrechnungen

Zürich, 2022), womit die Periode als repräsentativ betrachtet werden kann (nur ca. 2.4% Abweichung). Da einzig die Elektrospeicheröfen und der Elektroboiler im Niedertarif-Zeitraum bedeutende Strommengen beziehen, kann der Stromverbrauch für Raumwärme und Warmwasser vom allgemeinen Haushaltsstrom abgetrennt werden, indem die Summe der Niedertarif-Verbräuche gebildet wird. Gemäss Aussagen der Hausbewohner wurden im betrachteten Zeitraum mobile Elektrodirekt-Radiatoren verwendet, um vereinzelte Wohnräume ausreichend beheizen zu können. Deren Strombedarf im Hochtarif-Zeitraum wurde berücksichtigt, indem der Schnitt ausserhalb der Heizperiode gebildet wurde (ca. 200 kWh / Monat) und dieser von den Monatsverbräuchen der Monate mit Heizgradtagen abgezogen wurde. Die Holzverbräuche für den Kachelofen sind aus Gesprächen mit den Hausbewohnern bekannt. Es wird Buchenholz verbrannt. Als Heizwert für Rotbuche wird 2100 kWh / Raummeter verwendet (Gloor, 2014)

Der Norm-Wärmebedarf des Referenzgebäudes vor und nach den energetischen Sanierungsmassnahmen an der Gebäudehülle wurde mit dem «Geak-Tool» nach SIA 380/1 berechnet. Dasselbe Tool wurde zur Grobdimensionierung des Heizwärmeerzeugers nach SIA 384.201 verwendet. Das Tool berechnet die Transmissionswärmeverluste aufgrund der Kennzahlen der Bauteile des Dämmperimeters (Fläche und U-Werte, beides im jeweiligen Abschnitt des Kapitels 4 ersichtlich), welche sich ergeben, wenn das Gebäude auf einer konstanten Innenraumtemperatur von 20° temperiert wird. Zusätzlich werden die Lüftungsverluste und die internen/solaren Wärmegewinne abgeschätzt. Die Differenz zwischen den Gesamt-Wärmeverlusten und den Wärmegewinnen ergibt den Raumwärmebedarf. Der Wärmebedarf der Warmwassererzeugung wird anhand der Anzahl Bewohner und eines Durchschnittswertes (Energieverbrauch pro Bewohner) über das «GEAK-Tool» berechnet.

Da keine Pläne vorhanden sind, wurden die Flächenmasse ermittelt, indem die Innenräume und die Dicken der Bauteile ausgemessen wurden. Die U-Werte des Ist-Zustandes wurden aufgrund des Baujahres abgeschätzt. Dafür dienten der Bauteilkatalog des «GEAK-tools» sowie der Bauteilkatalog von «Ubakus» als Nachschlagewerke. Als U-Werte nach den Sanierungsmassnahmen wurden die Umbau-Zielwerte nach SIA 380/1 verwendet.

Zur Ermittlung der Jahresarbeitszahl der Luft/Wasserwärmepumpe bei den Sanierungskonzepten B bis E wurde die Simulationssoftware «Polysun» verwendet. Gespiesen wurde sie mit Resultaten (Heizwärmebedarf, Transmissionswärmeverlust und Heizlast) aus dem oben erwähnten «GEAK-Tool». Bei den Modellen ohne Wärmedämmmassnahmen wird eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 15

Vorgehensweise
Wärmebedarf nach SIA
380/1

Vorgehensweise
Ermittlung der
Jahresarbeitszahl

kW thermischer Leistung und ein 300 Liter Pufferspeicher verwendet. Die Vorlauftemperatur im Modell beträgt 50° C. Die Wahl des Volumens des Pufferspeichers fiel auf 300 Liter, da die Jahresarbeitszahl bei grösseren Pufferspeichern gemäss Polysun-Simulationsergebnissen nicht signifikant zunimmt. Das eingesetzte Polysun-Modell ist in der Abbildung 19 ersichtlich.

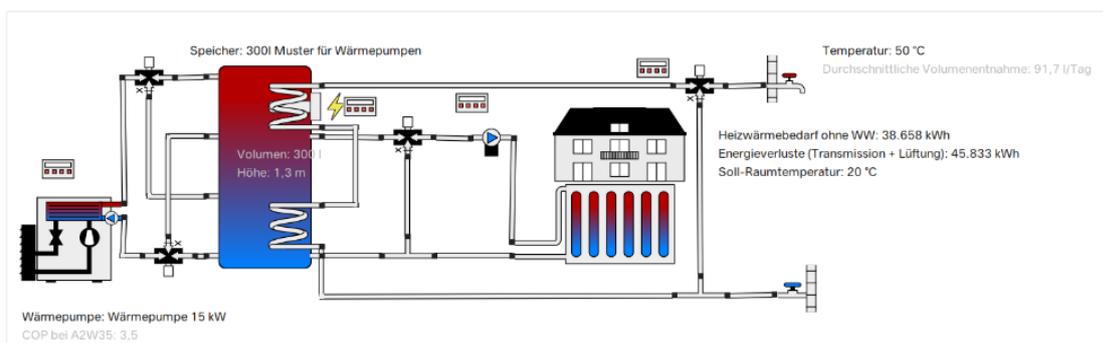


Abbildung 19: Schema des eingesetzten Polysun-Modelles.

Der Endenergiebedarf der Wärmeerzeuger nach den Sanierungen wurde abgeschätzt, indem in einem ersten Schritt berechnet wurde, wieviel Quadratmeter der EBF von welchem Wärmeerzeuger beheizt wird. Daraufhin wurde berechnet, wieviel der benötigten Raumwärme vom jeweiligen Wärmeerzeuger gedeckt wird. Dabei wurde anhand folgender Formel vorgegangen:

$$\frac{\text{Raumwärmebedarf (Total)}}{\text{Energiebezugsfläche (Total)}} * \text{Energiebezugsfläche beheizt vom Wärmeerzeuger}$$

Der Endenergiebedarf wurde anschliessend berechnet, indem der Wärmebedarf (gedeckt vom jeweiligen Wärmeerzeuger) mit dem Nutzungsgrad multipliziert wurde.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde anhand einer statischen Investitionsrechnung durchgeführt. Die jährlichen Kapitalkosten wurden berechnet, indem die Investitionskosten durch die Lebensdauer des jeweiligen Bauteiles/Komponente dividiert wurden. Zur Berechnung der Energiekosten wurde ein Stromtarif von 21.5 Rp. / kWh verwendet, was dem Wärmepumpentarif der EKZ für das Jahr 2023 (50% Hochtarif / 50% Niedertarif) entspricht (EKZ, 2022). Der Pellet-Preis beträgt, Stand November 2022, 14 Rp. / kWh (proPellets, o. J.). Bei beiden Energieträgern wurde eine jährliche

Vorgehensweise
Endenergiebedarf

Vorgehensweise
Wirtschaftlichkeits-
berechnung

Energiepreissteigerung von 3% angenommen, was sich an offiziellen Prognosen orientiert (BBSR, 2023). Die Energiekosten wurden berechnet, indem die benötigte Menge an Endenergie mit dem Energiepreis des jeweiligen Energieträgers unter Berücksichtigung der jährlichen Preissteigerung über einen Zeitraum von 20 Jahren multipliziert werden. Anschliessend wurde der Mittelwert gebildet, um die durchschnittlichen Energiekosten über 20 Jahre zu ermitteln. Die Zeitspanne wurde auf 20 Jahre festgelegt, da längerfristige Energiepreisprognosen mit noch höheren Unsicherheiten verbunden sind als ohnehin schon. Ausserdem beträgt die übliche Lebensdauer eines Wärmeeerzeugers 20 Jahre, weshalb sich die Betrachtungsspanne anbietet. Zuletzt wurden die jährlichen Wartungskosten anhand von Richtwerten abgeschätzt und mit den jährlichen Energiekosten und den jährlichen Kapitalkosten addiert, woraus sich die Jahreskosten ergeben. Diese dienen als Vergleichsgrundlage. Zusätzlich wurde der Wärmepreis berechnet, indem die Jahreskosten (exklusiv Kapitalkosten der energetischen Sanierungen der Gebäudehülle) durch die jährlich benötigte Nutzwärme dividiert wurden. Die Kosten pro kWh eingesparte Energie wurden berechnet, indem zuerst der Endenergieverbrauch der jeweiligen Variante vom Endenergieverbrauch des Ist-Zustandes subtrahiert wurde, woraus sich die Menge an eingesparter Endenergie berechnen lässt. Diese, eingesparte Menge wurde durch die Jahreskosten dividiert.

4 Resultate

4.1 Beschreibung Referenzobjekt

4.1.1 Eckdaten

Das Einfamilienhaus an der Solistrasse 16 in Bülach, Kanton Zürich wurde 1912 errichtet. Es ist unterkellert, verfügt über zwei Regelgeschosse, in denen 7 Zimmer untergebracht sind, und ein unbeheiztes Dachgeschoss, sowie ein Steildach mit Zwerchgiebel. Die Energiebezugsfläche (EBF) beträgt 150 m². Bewohnt wird das Gebäude aktuell von 2 Personen. Abbildung 20 unten zeigt die Außenansicht des Referenzgebäudes.

Eckdaten des Referenzgebäudes



Abbildung 20: Als Referenzobjekt dienendes Einfamilienhaus

4.1.2 Gebäudehülle

Seit dem Ursprungsbaujahr 1912 wurden keine energetischen Sanierungen der Gebäudehülle vorgenommen. Der energetische Zustand der Hülle ist dementsprechend nach heutigen Standards un-

Beschreibung der Gebäudehülle

zureichend. Die Aussenwände bestehen aus rund 30 cm dickem Mauerwerk. Das Steildach über dem unbeheizten Dachboden baut auf einer Holzkonstruktion auf. Es verfügt, ebenso wie der Boden zwischen Dachboden und Obergeschoss, über keine Dämmschicht. Die Kellerdecke über dem unbeheizten Untergeschoss ist ebenfalls ungedämmt. Die Fenster sind einfachverglast und als Doppelfenster ausgeführt (Siehe Abbildung 21). Sie wurden nie ersetzt, stammen also noch aus dem Jahr 1912 und sind somit über 100 Jahre alt. Die Dichtigkeit der Fenster ist nicht (mehr) gegeben. Fensterdichtungen sind keine vorhanden. Vereinzelt sind auch 2-fach verglaste Kunststofffenster verbaut (Balkontür, Dachschräge).

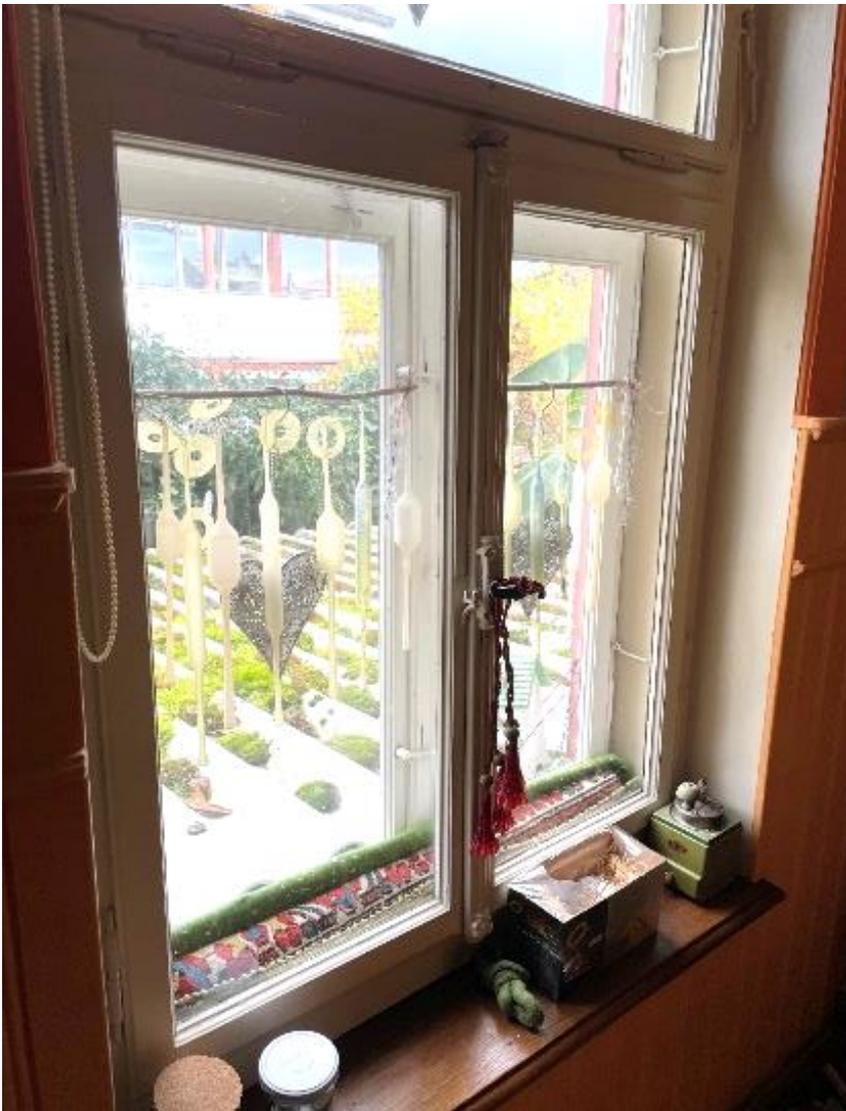


Abbildung 21: Einfachverglaste Doppelfenster des Referenzobjektes.

Es werden folgende, in Tabelle 7 zusammengetragene U-Werte angenommen:

Tabelle 7: Angenommene U-Werte der Bauteile des Referenzobjektes.

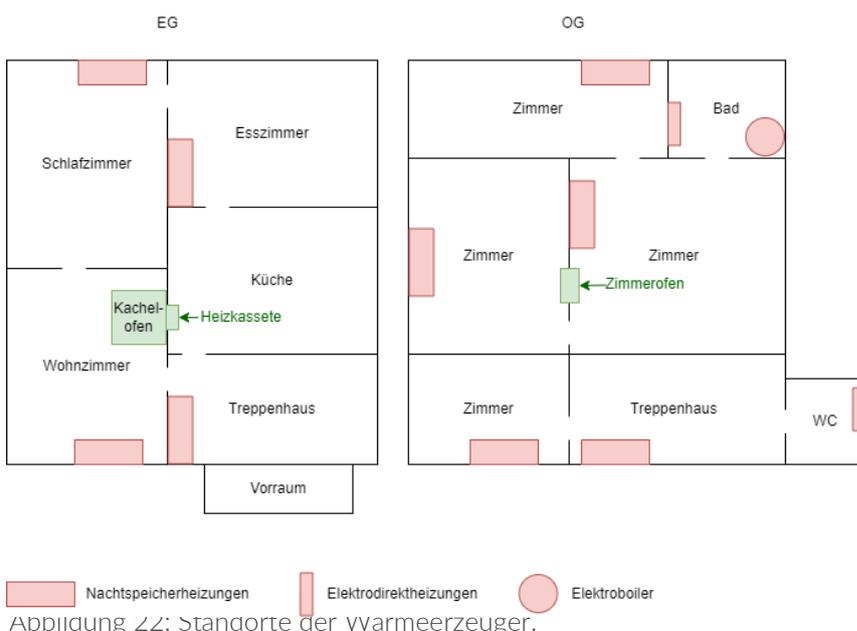
Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	Fläche [m ²]
Estrichboden	2	56
Wände gegen Aussen	2.3	137
Fenster	2.6 – 2.8	18
Kellerdecke	1.2	56

U-Werte der Bauteile der Gebäudehülle

4.1.3 Wärmeezeugung

Das Gebäude wird primär mit Nachtspeicherheizungen und im Bad- sowie der abgetrennten Toilette mit Elektro-Direktheizungen beheizt. Insgesamt sind 9 Nachtspeicherheizungen verbaut, eine in jedem Zimmer und zwei im Treppenraum. Bei Bedarf wird die Küche, wo keine Nachtspeicherheizung vorhanden ist, von den Bewohnern mit einem mobilen Elektroradiator beheizt. Weiter ist ein Kachel- und ein Zimmerofen aus dem Ursprungsbaujahr vorhanden. Das Brauchwarmwasser wird mit einem Elektroboiler erzeugt. Die Standorte der Wärmeezeuger werden in der Abbildung 22 unten aufgezeigt.

Verwendete Wärmeezeuger



Zwei der Nachtspeicherheizungen sind vom Hersteller «Technotherm», sieben vom Hersteller «Vaillant-Witte». Da kein Typenschild vorhanden ist, kann die Heizleistung nicht genau ermittelt werden. Vergleichbare Modelle weisen eine thermische Leistung von 2 kW auf (Jürg Wellstein, 2020). Bei allen Nachtspeicherheizung ist eine direktelektrische Zusatzheizung vorhanden, welche bei Bedarf zugeschaltet werden kann und schätzungsweise zusätzlich 1 kW Leistung erbringt. Weiter verfügt jede Nachtspeicherheizung über ein Gebläse, welches ebenfalls bei Bedarf manuell aktiviert wird und dafür sorgt, dass die Nachtspeicheröfen schneller thermischen entladen werden. Die direktelektrische Heizung im Bad hat eine Nennleistung von 600 W, diejenige im separat gelegenen Toilettenraum 300 W. Die verwendeten, mobilen Elektroradiatoren haben eine maximale Leistung von 2.3 kW. Eine der verwendeten Nachtspeicherheizungen ist in Abbildung 23 unten ersichtlich.



Abbildung 23: Verwendete Nachtspeicherheizung im Treppenhaus.

Diverse Elektrospeicheröfen bringen gemäss Aussagen der Hausbewohner nicht mehr die volle Heizleistung, was zur Folge hat, dass die Normtemperatur von 20° Celsius schon bei moderat kalten Aussentemperaturen nicht erreicht werden kann. Bei besonders kalter Witterung wird die Heizung des Wohnzimmers, dem häufigsten Aufenthaltsraum, mit einem mobilen Elektroradiator unterstützt. Sämtliche Elektroheizungen stammen schätzungsweise aus dem Jahr 1975.

Vorher waren die Holzöfen (siehe Abbildung 24) die einzigen Raumwärmerzeuger. Sie stammen vermutlich aus dem Ursprungsbaujahr 1912. Das Wohnzimmer wird durch den Kachelofen mitbeheizt, welcher in der Heizperiode einmal täglich (bei sehr kalter Witterung zweimal) eingefeuert wird. Der Heizeinsatz des Kachelofens befindet sich in der Küche, welche dadurch zwar mitbeheizt wird, da der Kachelofen raumluftabhängig betrieben wird, kühlt die Küche beim Einfeuern des Kachelofens aber stark aus. Am gleichen Kamin ist im OG ein Zimmerofen angeschlossen, welcher von den Bewohnern allerdings nicht betrieben wird. Auch er ist raumluftabhängig ausgeführt.

Stückholzöfen



Abbildung 24: Holzöfen im Referenzgebäude. Der Kachelofen, links im Bild, wird über einer Heizkassette in der gegenüberliegenden Küche eingefeuert. Der Zimmerofen (mittig im Bild) ist in die Wand eingebaut und heizt dadurch nebst dem Aufstellraum auch das gegenüberliegende Zimmer (Rechts im Bild).

Das Brauchwarmwasser wird von einem Elektroboiler erzeugt, welcher im Badezimmer platziert ist. Er ist Baujahr 2018 und ersetzte damals einen defekten Elektroboiler. Die Speichertemperatur beträgt 60° Celsius. Der Brauchwarmwasserspeicher wird im Niedrigtarif-Zeitraum aufgeheizt.

Brauchwarmwasser-Erzeuger

4.1.4 Energiebedarf Raumwärme / Warmwasser

Der anhand von Energieabrechnungen ermittelte Stromverbrauch für Raumwärme und Warmwasser beträgt rund 15'900 kWh pro Jahr. Hinzu kommt 2'100 kWh Holzenergie, also beträgt der totale

Energieverbrauch anhand Energie-Abrechnungen

Endenergieverbrauch ca. 18'000 kWh jährlich. Verrechnet mit der Energiebezugsfläche (150 m²), ergibt dies eine Energiekennzahl von 120 kWh / m² (Raumwärme und Warmwasser).

Wie oben beschrieben, kann die Norm-Raumtemperatur von 20°C mit dem aktuellen Heizsystem mehrheitlich nicht erreicht werden. Die Energieverbräuche, basierend auf den Energieabrechnungen, sind daher nicht aussagekräftig. Zusätzlich wurden daher der Wärmebedarf mit Standard-Nutzungsdaten nach SIA 380/1 berechnet. Daraus ergibt sich ein Energiebedarf von 40'900 kWh pro Jahr und demnach eine Energiekennzahl (Raumwärme und Warmwasser) von 273 kWh / m².

Der Wert ist als sehr hoch einzustufen, ist aufgrund des Baujahres und der Gebäudehülle gänzlich ohne Wärmedämmungen allerdings nicht unrealistisch. Zur Einordnung kann die Abbildung 25 unten verwendet werden. Sie bezieht sich jedoch auf Mehrfamilienhäuser, wo die Energiekennzahl aufgrund der tieferen Gebäudehüllzahl stets besser als bei Einfamilienhäusern. Trotzdem kann das hohe Energiesparpotenzial einer energetischen Sanierung anhand der Grafik abgeschätzt werden.

Energieverbrauch nach SIA 380/1



Abbildung 25: Übliche Energiekennzahlen von MFH nach Baujahr (Energie-Umwelt, o. J.)

4.2 Sanierungskonzepte

Nachfolgend werden fünf verschiedene Sanierungskonzepte für das vorgängig beschriebene Referenzobjekt sowie die dazugehörigen Wirtschaftlichkeitsberechnungen erstellt. Sowohl die technischen Werte als auch die Kosten sind als grobe Schätzungen zu verstehen und müssen vor einer allfälligen Realisierung von einer Fachperson verifiziert werden.

4.2.1 Variante A (Dezentrale Wärmeerzeugung)

Diese Variante ist als Minimallösung zu verstehen. Sie beinhaltet keine energetischen Sanierungen der Gebäudehülle. Als Raumwärmeerzeuger dienen in erster Linie Pelletöfen. Dafür wird eine Modernisierung des Kachelofens mit einem Pellet-Heizeinsatz und ein Ersatz des Zimmerofens mit einem Pelletofen vorgenommen. Beide Öfen sind in eine Zwischenwand integriert und beheizen daher jeweils zwei Räume. Weiter wird ein Luft-Abgas-System in den bestehenden Kamin eingezogen. Es ermöglicht die Nutzung von raumluftunabhängigen Öfen, wodurch die temperierte Raumluft nicht als Verbrennungsluft verloren geht und mit kalter, nachströmender Aussenluft ersetzt wird. Die Holzheizungen verursachen zwar relativ hohe Investitionskosten, stellen jedoch Strahlungswärme in den drei meistgenutzten Räumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer und Küche) zur Verfügung und sind daher aus Komfortgründen sehr zu empfehlen. Zusätzlich werden dezentrale Luft/Luft-Wärmepumpen eingesetzt, konkret das in Kapitel 2.2.2 beschriebene Monoblock Gerät des Herstellers Remko (KWT 180 DC, 2.4 kW Höchstleistung). Vorteil im Vergleich zu anderen Klimageräten ist primär, dass auf eine Ausseneinheit verzichtet werden kann, was den Einbau und zukünftige Wartungsarbeiten vereinfacht. Ausserdem ist das verwendete Kältemittel (R290, Propan) mit einem GWP-Wert von 3 umweltschonend. Es werden vier Stück davon verbaut. Die zukünftig mit den Klimageräten beheizten, Räume werden aktuell nur selten genutzt, daher können dort Komforteinbussen zugunsten tieferer Investitionskosten toleriert werden. Es muss beachtet werden, dass die vorgeschlagenen Klimageräte nur bis zu einer Aussentemperatur von -5°C einsatzfähig sind. Bei kälterer Witterung sind die Holzöfen daher die einzig nutzbaren Wärmeerzeuger. Wie Abbildung 26 auf der nächsten Seite zeigt, werden Temperaturen unter -5°C im Zürcher Unterland selten erreicht. Aufgrund der Klimaerwärmung ist anzunehmen, dass sie in Zukunft noch seltener vorkommen.

Systembeschreibung Variante A

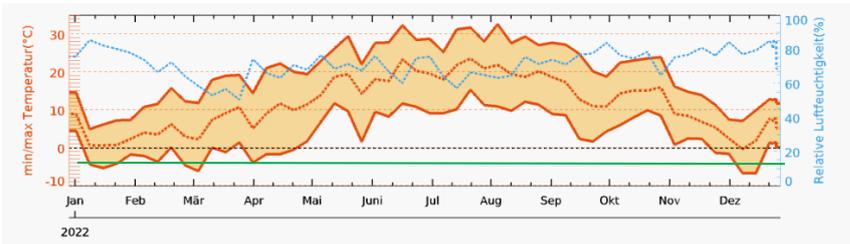


Abbildung 26: Temperaturverlauf des Jahres 2022, gemessen an der Messtation Kloten Zentrum. Grün eingezeichnet die Einsatzgrenze des Klimagerätes bei -5°C (Meteoblue, 2022).

Die Elektrodirektheizungen im Bad und in der Toilette werden beibehalten. Elektrische Widerstandsheizungen in Nasszellen sind im Kanton Zürich gemäss §45, Abschnitt b der Besonderen Bauverordnung von der 2030 auslaufenden Sanierungspflicht ausgenommen (Besondere Bauverordnung I (BBV I), 2022). Auf die Beheizung des Treppenhauses wird zukünftig verzichtet. Der Elektroboiler wird mit einem Wärmepumpen-Boiler ersetzt. Dabei handelt es sich um ein Brauchwarmwasserspeicher mit integrierter Luft/Wasser-Wärmepumpe, welcher die Umgebungsluft des Aufstellraumes als Wärmequelle nutzt. Damit es nicht zu einem «Wärmeclau» im direktelektrischen beheizten Bad kommt, soll der WP-Boiler zukünftig im Keller platziert werden. Die Platzierung der Raumwärmeerzeuger wird in Abbildung 27 dargestellt.

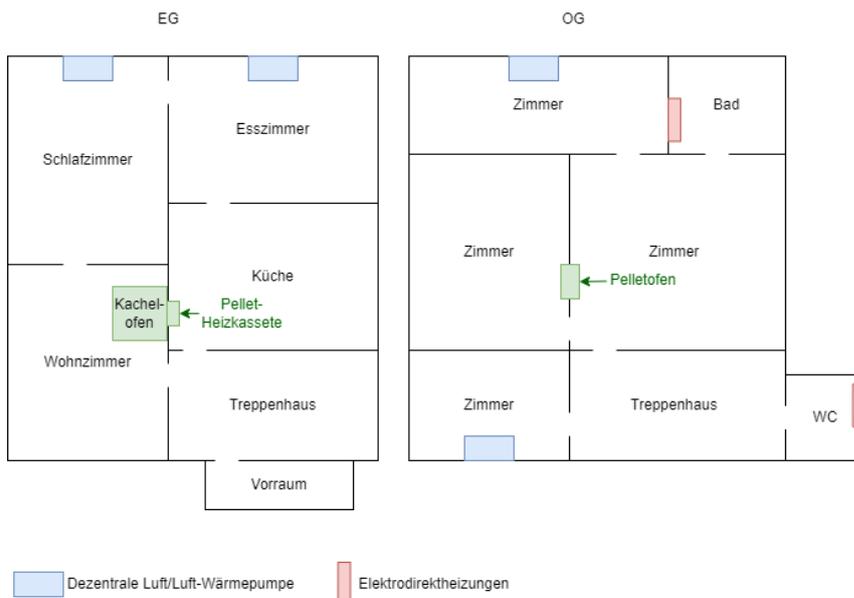


Abbildung 27: Platzierung der Wärmeerzeuger in Variante A.

Der Stromverbrauch der dezentralen Luft/Luft-Wärmepumpen ist schwer abzuschätzen. Der Hersteller gibt lediglich den COP bei einem Betriebspunkt an, nämlich 3.15 (A2/W35). Bei 35° Austrittstemperatur müssten die Gebläse vermutlich auf höchster Stufe betrieben werden, um die nötige Heizleistung zu erbringen. Da die damit einhergehenden Lärmmissionen (57 dB) von den Bewohnern voraussichtlich nicht toleriert würden, wird angenommen, dass der Betrieb mit höheren Auslasstemperaturen und niedrigeren Gebläse-Stufen erfolgen wird. Die von (Feist, 2022) gemessene Jahresarbeitszahl von 2 wird daher als realitätsnah empfunden und für die nachfolgenden Berechnungen verwendet. Weiter wird angenommen, dass sowohl der Holzpellet-Heizeinsatz wie auch der neue Pelletofen einen Wirkungsgrad von 90% aufweisen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2013). Wärmepumpenboiler erreichen üblicherweise eine Jahresarbeit von 2.8 (Eschmann, 2014).

Tabelle 8 zeigt, wieviel EBF vom jeweiligen Heizwärmeerzeuger geheizt wird und die daraus resultierende Energieverbräuche. Als Basis für den Wärmebedarf dienen die Berechnungen nach SIA 380/1 (38'650 kWh Raumwärmebedarf, 2'250 kWh Wärmebedarf Warmwasser).

Tabelle 8: Energieverbräuche der Wärmeerzeuger nach Sanierungsvariante A.

Wärmeerzeuger	EBF [m ²]	Wärmebedarf [kWh]	Nutzungsgrad [%]	Energieverbrauch [kWh]
Klimageräte	60	15'460	200	7'730
Holzheizungen	80	20'610	90	2'2900
Elektro-Direktheizungen	10	25'80	100	2'580
WP-Boiler		22'50	280	800
Total	150	40'900		3'4000

Mit Sanierungsvariante A würde man zukünftig noch rund 11100 kWh Elektrizität pro Jahr benötigen und damit rund 70% weniger als bisher (40900 kWh, nach SIA 380/1). Ein Grossteil davon wird durch Holzenergie ersetzt, welche in diesem Sanierungskonzept als Hauptenergieträger dient. Der Gesamtendenergieverbrauch (Heizen und Warmwasser) wird um rund 17% reduziert, was auf die Nutzung von Umgebungswärme zurückzuführen ist. Die Energiekennzahl bleibt mit rund 227 kWh / m² EBF hoch.

Investitionskosten Variante A

(Teutloff et al., 2022) haben eine Kostenschätzung für den Ersatz von Elektroheizungen mit Split-Klimaanlagen erstellt. Teilweise werden die Kosten für die Klimaanlagen daraus übernommen. Folgende Anpassungen wurden vorgenommen: Der Preis pro Kernbohrung wird von 2'000 CHF auf 500 CHF herabgesetzt. Die Monoblock-Klimageräte (Remko KWT) sind für rund 2'000 CHF pro Stück erhältlich (Hahn Profis, o. J.). Für den Einbau werden 400 CHF (20% des Komponentenpreises) angenommen. Die Modernisierung des Kachelofens (Pellet-Einsatz) wird voraussichtlich rund 7'000 CHF kosten. Der Pelletofen (Olsberg Inara, 6 kW) inkl. Montage 9'000 CHF (Alpinofen, o. J.). Die Nachrüstung des Luft-Abgas-Systems erfolgt, indem ein konzentrisches Rohr in den bestehenden Kamin eingezogen wird. Solche Nachrüst-Bausätze sind für rund 1'000 CHF auf dem Markt erhältlich (Schornstein Olymp, o. J.). Für die Montage werden Kosten von 1'500 CHF angenommen. Für den Wärmepumpenboiler werden inkl. Montage 7'000 CHF geschätzt (Energieheld, o. J.). Da er anders als der bisherige Elektroboiler im Keller statt im Bad platziert wird, werden schätzungsweise weitere 2'000 CHF für die Anpassungen der Brauchwarmwasserverteilung benötigt. Zusammenfassend werden folgende Investitionskosten angenommen (Tabelle 9):

Tabelle 9: Geschätzte Investitionskosten der Sanierungsvariante A.

Position	Kosten [CHF]
Rückbau Nachtspeicherheizungen	2'000
Kachelofen-Modernisierung (Material und Montage)	7'000
Pelletofen (Olsberg Inara, 6 kW, inkl. Montage und Rückbau)	9'000
Luft-Abgas-System in bestehenden Kamin (Material und Montage)	2'500
Klimageräte (Remko KWT 180 DC, 2.4 KW inkl. Montage)	9'600
Wärmepumpenboiler (inkl. Montage)	7'000
Anpassungen der Brauchwarmwasserverteilung	2'000
Elektroinstallationen	3'000
Kernbohrungen (2 pro Klimagerät, 2 für Brauchwarmwasserverteilung)	5'000
Total	47'100

Die Klimageräte sollten einmal jährlich gewartet werden, wofür 400 CHF angenommen werden (Subag Tech, o. J.-b). Für die Wartung der Pelletöfen und des Kachelofens werden rund 350 CHF jährlich berechnet (Swiss Pellet Service, o. J.). Der Kaminfeger wird gemäss (J.Weber Kaminfegermeister GmbH, o. J.) 150 CHF pro Jahr kosten. Daraus ergeben sich jährliche Wartungskosten von

Wirtschaftliche Kennzahlen Variante A

900 CHF. Die Lebensdauer der Wärmeerzeugung (Klimageräte, Wärmepumpenboiler, Pellet-Einsatz und -Ofen) beträgt 20 Jahre, diejenige der Brauchwarmwasserverteilung 40 Jahre (BLKB, 2020). Daraus ergeben sich jährliche Kapitalkosten von rund 2'300 CHF. Aus dem Stromverbrauch von 11'000 kWh und dem Pellet-Bedarf von ca. 23'000 kWh durchschnittliche Energiekosten von ca. 7'500 CHF / Jahr. Die totalen Jahreskosten betragen folglich rund 10'800 CHF. Damit ergibt sich ein Wärmepreis von rund 26.3 Rp. / kWh und Kosten pro eingesparte kWh Energie von 155.9 Rappen.

4.2.2 **Variante B (Zentralheizung)**

Auch Variante B beschränkt sich auf den Wärmeerzeuger-Ersatz und beinhaltet keine energetischen Sanierungen der Gebäudehülle. Die Raumwärme- und Brauchwarmwasser-Erzeugung erfolgt mit einer Zentralheizung. Da Erdwärmesonden-Bohrungen am Standort aufgrund des Grundwasserschutzes nicht zulässig sind (GIS-ZH, o. J.) und nicht auf die Nutzung von Umgebungswärme verzichtet werden soll, wird eine Luft/Wasser-Wärmepumpe eingesetzt. Sie muss nach SIA 384.201 rund 15 kW Höchstleistung erbringen und wird als Monoblock-Anlage mit Aussenaufstellung ausgeführt. Da kein hydraulisches Wärmeverteilsystem vorhanden ist, muss dieses nachgerüstet werden. Die Wärmeverteilleitungen werden horizontal an der Kellerdecke geführt, von wo aus Steigleitungen vertikal zu den einzelnen Wärmeabgabeeinrichtungen führen. Die Wärmeabgabeeinrichtungen müssen gemäss (Besondere Bauverordnung I (BBV I), 2022) für eine maximalen Vorlauftemperatur von 50° C bei Auslegetemperatur (-10°C) ausgelegt sein. Herkömmliche Heizkörper können daher ausgeschlossen werden. Flächenheizungen wären zwar aus Komfort- und Effizienzgründen (tiefe Vorlauftemperatur) empfehlenswert, die Nachrüstung verursacht jedoch vergleichsweise hohe Kosten. Es werden daher 12 Niedrigtemperatur-Heizkörper eingesetzt, die über ein integriertes Gebläse verfügen und somit mit 50°C Vorlauftemperatur den Wärmebedarf decken können. Wo es die Standortverhältnisse zulassen, wird unter jedem Fenstern mindestens ein Niedrigtemperatur-Heizkörper platziert, welcher die «Kältestrahlung» der schlecht gedämmten Fenster kompensieren kann. Die Heizkörper werden im EG und im OG auf der gleichen vertikalen Linie platziert, damit sie mit einer einzigen Steigleitung mit der horizontalen Verteilung an der Kellerdecke verbunden werden können. Um die Investitionskosten möglichst tief zu halten, wird auf eine Modernisierung des Kachel- und Zim-merofens verzichtet. Die Zentralheizung wird so ausgelegt, dass sie den gesamten Wärmebedarf der Liegenschaft decken kann. Die

Systembeschreibung Variante B

bestehenden Holzheizungen kann zusätzlich zur Spitzenlastdeckung in Betrieb genommen werden, wenn sehr tiefe Aussentemperaturen auftreten. Damit wird die Luft/Wasser-Wärmepumpe entlastet, welche bei sinkenden Aussentemperaturen zunehmend ineffizienter wird. Um die Wärmeverteilung möglichst einfach zu halten, werden die direktelektrischen Heizungen der räumlich abgelegenen Nasszellen nicht ersetzt und beibehalten. Auf die Beheizung des Treppenhauses wird auch in dieser Variante verzichtet. Die Anordnung der Niedrigtemperatur-Heizkörper ist in Abbildung 28 ersichtlich.

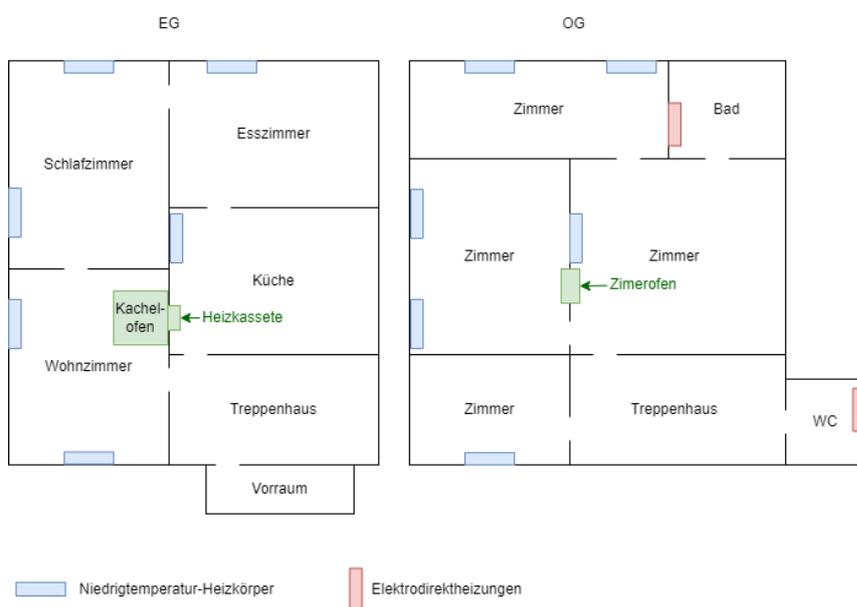


Abbildung 28: Platzierung der Wärmeabgabe-Einrichtungen in Variante B.

Die Jahresarbeitszahl der Luft/Wasser-Wärmepumpe wurde mit der Simulationssoftware «Polysun» abgeschätzt. Sie beträgt 3,2 bei einer Vorlauftemperatur von 50°C bei Auslegetemperatur. Dabei wurden die Holzheizungen zur Spitzenlastdeckung nicht berücksichtigt, da die Spitzenlastdeckung nur in einzelnen Räumen möglich ist und dies schwer in der «Polysun»-Software abzubilden ist. Bei Benutzung der Holzöfen ist anzunehmen, dass sich die Jahresarbeitszahl erhöhen liesse. Als Basis für den Wärmebedarf dienen wiederum die Berechnungen nach SIA 380/1 (38'650 kWh Raumwärmebedarf, 2'250 kWh Wärmebedarf Warmwasser). Der Energieverbrauch der Wärmerzeuger ist in Tabelle 10 ersichtlich.

Energieverbrauch Variante B

Tabelle 10: Energieverbräuche der Wärmeerzeuger nach Sanierungsvariante B

Wärmeerzeuger	EBF [m ²]	Wärmebedarf [kWh]	Nutzungsgrad [%]	Energieverbrauch [kWh]
Zentralheizung (Raumwärme)	140	36'070	320	11'270
Elektrodirektheizung	10	2'580	100	2'580
Zentralheizung (Warmwasser)		2'250	320	700
Total	150	40'900		14'550

Mit Sanierungsvariante B würde man zukünftig noch rund 14'500 kWh Elektrizität pro Jahr benötigen und damit rund 65% weniger als bisher (40'900 kWh, nach SIA 380/1). Da Elektrizität als einziger Energieträger vorgesehen ist (ausser die Holzöfen werden zur Spitzenlastabdeckung genutzt), entspricht dies auch dem Gesamtenergieverbrauch (Heizen und Warmwasser). Die Energiekennzahl lässt sich auf 97 kWh / m² EBF senken. Der Wert ist vergleichbar, mit einem freistehenden Einfamilienhaus aus dem Baujahr 2001-2005 ohne Wärmepumpenheizung (Kanton Luzern, 2015).

Die Investitionskosten-Schätzung der Wärmeerzeuger nach Variante B konnten grösstenteils aus der Kostenzusammenstellung von (Teutloff et al., 2022) übernommen werden, wo u.a. der Ersatz einer dezentralen Elektroheizung mit einem Luft-Wasser-Wärmepumpen-Zentralheizung analysiert wurde. Folgende Anpassungen wurden vorgenommen: Als Luft-Wasser-Wärmepumpe wird das Modell «Vitocal 350-A» des Herstellers Viessmann mit einer Wärmeleistung von 12.7 bis 20.6 kW verwendet, welches inkl. Marge des Heizungsinstallateurs voraussichtlich ca. 20'000 CHF kostet (MeinHausShop, o. J.). Weiter werden Niedrigtemperaturradiatoren «Zehnder Nova Neo» mit den Massen 1.4m x 0.518m eingesetzt. Sie kosten pro Stück ca. 1'700 CHF (Alternative Haustechnik GmbH, o. J.). Die Kosten für die Kernbohrungen durch die Geschossdecken wurden von 2'500 CHF auf 500 CHF pro Stück nach unten korrigiert. Die einzelnen Positionen können der Tabelle 11 auf der nächsten Seite entnommen werden.

Investitionskosten Variante B

Tabelle 11: Kostenzusammenstellung Luft-Wasser Wärmepumpe für eine Wärmeleistung von 15 kW und Brauchwarmwassererzeugung inkl. Einbau einer Wärmeverteilung und -Abgabe.

Position	Kosten [CHF]
Wärmepumpe (Viessmann Vitocal 350-A, 18.5 kW)	20'000
Pufferspeicher (Hoval EnerVal (300))	1'100
Brauchwarmwasserspeicher (Hoval CombiVal ER 300))	1'600
Expansionsanlage	2'500
Warmwasseranschluss	2'000
Heizgruppe	5'000
Niedrigtemperatur-Heizkörper (12 Stk)	20'400
Rohrleitungen (36 m: 6 Steigzonen à 4m, Leitungen Keller 12m)	2'900
Rückbau Nachtspeicherheizungen	2'000
Montage Heizungsinstallationen (20% der Apparatekosten)	11'000
Elektroinstallationen	5'000
Kernbohrungen der Geschossdecken (2 pro Steigzone, total 12)	6'000
Total	79'500

Der Kanton Zürich fördert den Ersatz der Elektroheizungen mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe bei einer Heizleistung bis und mit 15 kW mit 5'000 CHF. Zusätzlich wird ein Beitrag für die Erstinstallation eines Wärmeverteilsystems ausbezahlt, nämlich 1'600 CHF und 40 CHF pro kW, wobei der leistungsabhängige Beitrag mit maximal 50 W / m² EBF bemessen wird (Kanton Zürich, 2022). Daraus ergibt sich ein Beitrag für die Wärmeverteilung von 1'900 CHF. Total können also Förderbeiträge von 6'900 CHF in Anspruch genommen werden, woraus sich Netto-Investitionskosten von 72'600 CHF ergeben.

Als Wartungs- und Unterhaltskosten für das Heizsystem werden 600 CHF pro Jahr angenommen (Vaillant, 2022). Die Lebensdauer der Wärmeerzeugung und -Speicherung beträgt 20 Jahre, diejenige der Wärmeverteilung- und Abgabe 40 Jahre (BLKB, 2020). Daraus ergeben sich jährliche Kapitalkosten von rund 2'500 CHF. Aus dem Stromverbrauch von 14'500 kWh / Jahr ergeben sich durchschnittliche Energiekosten von ca. 3'900 CHF pro Jahr. Die totalen Jahreskosten betragen folglich rund 7'000 CHF. Damit ergibt sich ein Wärmepreis von rund 17.1 Rp. / kWh und Kosten pro eingesparte kWh Energie von 26.4 Rappen.

Förderbeiträge Variante B

Wirtschaftliche Kennzahlen Variante B

4.2.3 Variante C (Zentralheizung inkl. Wärmedämmung Kellerdecke und Estrichboden)

Es wird das gleiche Heizsystem wie bei Variante B verwendet. Zusätzlich werden die Kellerdecke und der Estrichboden wärmege-dämmt. Diese beiden Dämm-Massnahmen lassen sich preiswert umsetzen, wodurch sie grundsätzlich ein hohes Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweisen. Ausserdem ist ein Komfortgewinn zu erwarten, da die Oberflächentemperaturen der Raumumschliessungsflächen (Boden im EG, Geschossdecke im OG) zunehmen und dadurch weniger Wärmestrahlung von den Bewohnern an die Bauteile abgestrahlt wird. Die höhere Bodentemperatur im EG vermindert ausserdem das Aufkommen von kalten Füssen, wie es jetzt gemäss Aussagen der Bewohner oft vorkommt. Durch die reduzierten Transmissionswärmeverluste lässt sich die Normheizlast nach SIA 384.201 von 15 kW auf 11 kW senken. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe kann daher kleiner dimensioniert werden. Die U-Wert-Zielwerte bei Umbauten betragen nach SIA 380/1 mindestens 0.2 bei Bauteilen gegen unbeheizt. Somit ergeben sich folgende, in Tabelle 12 zusammengetragene U-Werte, welche dafür genutzt werden, um den Wärmebedarf nach SIA 380/1 erneut zu berechnen und so das Energiesparpotenzial der energetischen Gebäudehüllensanierungsmassnahmen abzuschätzen.

Energieverbrauch Variante C

Tabelle 12: U-Werte nach Sanierung gemäss Variante C

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	Fläche [m ²]
Estrichboden	0.2	56
Wände gegen Aussen	2.3	137
Fenster	2.6 – 2.8	18
Kellerdecke	0.2	56

Durch die energetische Sanierung der Kellerdecke und des Estrichbodens liesse sich der Raumwärmebedarf um rund 26% reduzieren (von 38'650 kWh auf 28'600 kWh). Durch die gesunkene Heizlast kann die Vorlauftemperatur voraussichtlich auf 45°C eingestellt werden (Anstatt 50°C ohne Dämm-Massnahmen). Gemäss Simulationsergebnissen mit «Polysun» bleibt die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe mit 3.2 jedoch unverändert. Die Wärmeerzeuger werden daher schätzungsweise folgende (Tabelle 13, nächste Seite) Energieverbräuche aufweisen:

Tabelle 13: Energieverbräuche der Wärmeerzeuger nach Variante C.

Wärmeerzeuger	EBF [m ²]	Wärmebedarf [kWh]	Nutzungsgrad [%]	Energieverbrauch [kWh]
Zentralheizung (Raumwärme)	140	26'700	320	8'340
Elektrodirektheizung	10	1'900	100	1'900
Zentralheizung (Warmwasser)		2'250	320	700
Total	150	30'850		10'940

Der Gesamtenergieverbrauch (Raumwärme und Warmwasser) lässt sich mit Variante C folglich von 40'900 kWh auf 10'940 kWh um rund 73% reduzieren. Die Energiekennzahl sinkt auf 73 kWh / m² EBF. Der Wert ist vergleichbar, mit einem freistehenden Einfamilienhaus aus dem Baujahr 2006-2010 ohne Wärmepumpenheizung (Kanton Luzern, 2015).

Die Investitionskosten sind grundsätzlich gleich wie bei Variante B. Da die Luft/Wasser-Wärmepumpe jedoch kleiner dimensioniert werden kann (11 kW statt 15 kW thermische Leistung), können bei dieser Position Kosten gespart werden. Es wird bei dieser Variante mit dem Modell «Hoval Belaria Eco (18)» gerechnet, welches gemäss (Teutloff et al., 2022) für 15'500 CHF erhältlich ist. Daraus ergeben sich auch tiefere Montagekosten, da diese Anhand der Komponentenpreise berechnet werden. Insgesamt ist die Wärmeerzeugung ca. 5'300 CHF günstiger als bei Variante B. Die Kosten für die Geschossdeckendämmung des Dachbodens belaufen sich schätzungsweise auf 80 CHF / m² (Renovero, o. J.-a), jene für die Dämmung der Kellerdecke auf 140 CHF pro m² (Hausinfo, 2022). Die Kosten der einzelnen Positionen können der Tabelle 14 auf der nächsten Seite entnommen werden.

Investitionskosten Variante C

Tabelle 14: Kostenzusammenstellung Wärmedämmmassnahmen am Estrichboden und der Kellerdecke und Luft-Wasser Wärmepumpe für eine Wärmeleistung von 11 kW und Brauchwarmwassererzeugung inkl. Einbau einer Wärmeverteilung und -Abgabe.

Position	Kosten [CHF]
Wärmepumpe (Hoval Belaria Eco (18), 12.7 kW)	15'500
Pufferspeicher (Hoval EnerVal (300))	1'100
Brauchwarmwasserspeicher (Hoval CombiVal ER 300))	1'600
Expansionsanlage	2'500
Warmwasseranschluss	2'000
Heizgruppe	5'000
Niedrigtemperatur-Heizkörper (12 Stk)	20'400
Rohrleitungen (36 m: 6 Steigzonen à 4m, Leitungen Keller 12m)	2'900
Wärmedämmung Estrichboden (Material und Montage)	4'500
Wärmedämmung Kellerdecke (Material und Montage)	7'800
Rückbau Nachtspeicherheizungen	2'000
Montage Heizungsinstallationen (20% der Apparatelkosten)	10'200
Elektroinstallationen	5'000
Kernbohrungen der Geschossdecken (2 pro Steigzone, total 12)	6'000
Total	86'500

Die Förderbeiträge sind für die Wärmeerzeugung sind die gleichen wie bei Variante B (6'900 CHF). Wärmedämmmassnahmen an Bauteilen gegen unbeheizt werden vom Kanton Zürich nicht finanziell gefördert. Die totalen Förderbeiträge belaufen sich daher auch bei dieser Variante auf 6'900 CHF, woraus sich Netto-Investitionskosten von 79'600 CHF ergeben.

**Förderbeiträge
Variante C**

Als Wartungs- und Unterhaltskosten für das Heizsystem werden wiederum 600 CHF pro Jahr angenommen (Vaillant, 2022). Die Lebensdauer der Wärmeerzeugung und -Speicherung beträgt 20 Jahre, diejenige der Wärmeverteilung- und Abgabe 40 Jahre und die der Gebäudehülle (Wärmedämmungen) 100 Jahre (BLKB, 2020). Daraus ergeben sich jährliche Kapitalkosten von rund 2'300 CHF. Aus dem Stromverbrauch von 10'940 kWh / Jahr ergeben sich durchschnittliche Energiekosten von ca. 2'900 CHF pro Jahr. Die totalen Jahreskosten betragen folglich rund 5'900 CHF. Damit ergibt sich ein Wärmepreis von rund 18.7 Rp / kWh und Kosten pro eingesparte kWh Energie von 19.6 Rappen.

**Wirtschaftliche
Kennzahlen
Variante C**

Im Vergleich zur Variante B ohne Wärmedämmmassnahmen sind die jährlichen Kosten um 1'100 geringer. Die Mehrkosten in der Investition (7'000 CHF) sind daher bereits nach sechseinhalb Jahren amortisiert.

Vergleich zur Variante B ohne Wärmedämmung

4.2.4 **Variante D (Zentralheizung inkl. Wärmedämmung Kellerdecke, Estrichboden und Fensterersatz)**

Variante D soll das Kosten-/Nutzenverhältnis aufzeigen, wenn zusätzlich zum Zentralheizungssystem und der Kellerdecken/Estrichboden-Dämmung die Fenster ersetzt werden. Der Ziel-U-Wert beim Ersatz von Fenstern nach SIA 380/1 beträgt 0.9. Durch den Fensterersatz lassen sich nebst den Transmissionswärmeverlusten auch die Lüftungsverluste bedeutend reduzieren. Nebst den Energieeinsparungen bringt der Fensterersatz aber auch Komfortgewinne: Es kommt weniger zu Zugluft, einerseits wegen der gewonnenen Dichtigkeit, andererseits aber auch wegen der gestiegenen Oberflächentemperatur der Verglasung. Kalte Fenster sorgen dafür, dass die angrenzende Raumluft abkühlt, dadurch absinkt und von nachströmender Luft ersetzt wird (Kaltluftabfall). Es ergibt sich eine Luftzirkulation und damit einhergehend Zugluft. Ist genau unter dem Fenster ein Heizkörper vorhanden, lässt sich der Kaltluftabfall durch die aufsteigende Warmluft ausgleichen. Aufgrund der baulichen Gegebenheiten ist es aber nicht möglich, unter jedem Fenster einen Heizkörper zu platzieren. Moderne Fenster sind gut genug wärmegeklämt, dass die Oberflächentemperatur der Verglasung nicht markant abfällt und somit keine Luftzirkulation auftritt. Aus dem gleichen Grund (keine kalte Verglasung-Oberfläche) wird auch weniger Wärmestrahlung von den Bewohnern an die Fenster abgestrahlt, was die Behaglichkeit weiter erhöht. Ein weiterer Komfortgewinn ergibt sich aus dem verbesserten Schallschutz: Es kommt weniger Aussenlärm in den Wohnraum. Durch die reduzierten Wärmeverluste lässt sich die Normheizlast nach SIA 384.201 von 15 kW auf 11 kW senken. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe kann daher kleiner dimensioniert werden. Kleiner als bei Variante C lässt sich der Wärmeerzeuger jedoch nicht dimensionieren. Die nachfolgende Tabelle 15 auf der nächsten Seite zeigt die U-Werte nach Sanierung, welche dafür genutzt werden, um den Wärmebedarf nach SIA 380/1 erneut zu berechnen und so das Energiesparpotenzial der energetischen Gebäudehüllensanierungsmassnahmen abzuschätzen.

Systembeschreibung Variante D

Tabelle 15: U-Werte nach Sanierung gemäss Variante D.

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	Fläche [m ²]
Estrichboden	0.2	56
Wände gegen Aussen	2.3	137
Fenster	0.9	18
Kellerdecke	0.2	56

Durch die energetische Sanierung der Kellerdecke, des Estrichbodens und der Fenster liesse sich der Raumwärmebedarf um rund 32% reduzieren (Von 38'650 kWh auf 26'300 kWh). Die reduzierten Lüftungsverluste durch die nun dichten Fenster wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Die Energieeinsparung des Fensterersatzes wird daher prinzipiell unterschätzt. Es werden folgende (Tabelle 16) Energieverbräuche der Wärmeerzeuger angenommen:

Energieverbrauch Variante D

Tabelle 16: Energieverbräuche der Wärmeerzeuger nach Variante D.

Wärmeerzeuger	EBF [m ²]	Wärmebedarf [kWh]	Nutzungsgrad [%]	Energieverbrauch [kWh]
Zentralheizung (Raumwärme)	140	24'550	320	7'670
Elektrodirektheizung	10	1'750	100	1'750
Zentralheizung (Warmwasser)		2'250	320	700
Total	150	28'550		10'100

Der Gesamtenergieverbrauch (Raumwärme und Warmwasser) lässt sich mit Variante D folglich von 40'900 kWh auf 10'100 kWh um rund 75% reduzieren. Der Unterschied zu Variante C ohne Fensterersatz ist nicht signifikant. Die realen Unterschiede sind aufgrund der gewonnenen Dichtigkeit voraussichtlich um ein Vielfaches höher. Die Energiekennzahl sinkt auf 67 kWh / m² EBF. Der Wert ist vergleichbar, mit einem freistehenden Einfamilienhaus aus dem Baujahr 2006-2010 ohne Wärmepumpenheizung (Kanton Luzern, 2015).

Die Investitionskosten sind die gleichen wie bei Variante C, zuzüglich den Kosten für den Fensterersatz. Der Richtpreis beim Fensterersatz von Doppelfenstern mit Dreifachverglasten Fenstern beträgt 1'150 CHF pro m² (Renovero, o. J.-b). Die Kosten der einzelnen Positionen sind in Tabelle 17 auf der nächsten Seite zusammengetragen.

Investitionskosten Variante D

Tabelle 17: Kostenzusammenstellung Wärmedämmmassnahmen am Estrichboden und der Kellerdecke, Fensterersatz und Luft-Wasser Wärmepumpe für eine Wärmeleistung von 11 kW und Brauchwarmwassererzeugung inkl. Einbau einer Wärmeverteilung und -Abgabe.

Position	Kosten [CHF]
Wärmepumpe (Hoval Belaria Eco (18), 12.7 kW)	15'500
Pufferspeicher (Hoval EnerVal (300))	1'100
Brauchwarmwasserspeicher (Hoval CombiVal ER 300))	1'600
Expansionsanlage	2'500
Warmwasseranschluss	2'000
Heizgruppe	5'000
Niedrigtemperatur-Heizkörper (12 Stk)	20'400
Rohrleitungen (36 m: 6 Steigzonen à 4m, Leitungen Keller 12m)	2'900
Wärmedämmung Estrichboden (Material und Montage)	4'500
Wärmedämmung Kellerdecke (Material und Montage)	7'800
Fensterersatz (Material und Montage)	20'700
Rückbau Nachtspeicherheizungen	2'000
Montage Heizungsinstallationen (20% der Apparatekosten)	10'200
Elektroinstallationen	5'000
Kernbohrungen der Geschosdecken (2 pro Steigzone, total 12)	6'000
Total	107'200

Die Förderbeiträge sind für die Wärmeerzeugung sind die gleichen wie bei Variante B (6'900 CHF). Wärmedämmmassnahmen an Bauteilen gegen unbeheizt und der Fensterersatz werden vom Kanton Zürich nicht finanziell gefördert (Kanton Zürich, 2022). Die totalen Förderbeiträge belaufen sich daher auch bei dieser Variante auf 6'900 CHF, woraus sich Netto-Investitionskosten von 100'300 CHF ergeben.

Als Wartungs- und Unterhaltskosten für das Heizsystem werden wiederum 600 CHF pro Jahr angenommen (Vaillant, 2022). Die Lebensdauer der Wärmeerzeugung und -Speicherung beträgt 20 Jahre, diejenige der Wärmeverteilung- und Abgabe 40 Jahre, die der Gebäudehülle (Wärmedämmungen) 100 Jahre und die der Fenster 30 Jahre (BLKB, 2020). Daraus ergeben sich jährliche Kapitalkosten von rund 3'000 CHF. Aus dem Stromverbrauch von 10'100 kWh / Jahr ergeben sich durchschnittliche Energiekosten von ca. 2'700 CHF pro Jahr. Die totalen Jahreskosten betragen folglich rund 6'300 CHF. Damit ergibt sich ein Wärmepreis von rund 19.4 Rp / kWh und Kosten pro eingesparte kWh Energie von 20.6 Rappen.

**Förderbeiträge
Variante D**

**Wirtschaftliche
Kennzahlen
Variante D**

Die Jahreskosten rund 500 CHF höher als bei Variante C, die nur die Dämmung der Kellerdecke und des Estrichbodens vorsieht. Die Amortisationszeit zur Variante ohne Dämmmassnahmen (Variante B) verlängert sich durch den Fensterersatz auf über 43 Jahre.

Vergleich mit Varianten ohne Fensterersatz

4.2.5 Variante E (Zentralheizung inkl. Wärmedämmung Kellerdecke, Estrichboden, Fensterersatz und Aussenwanddämmung)

Variante E beschreibt eine Total-Energiesanierung. Sie baut auf den Massnahmen der vorgängigen Varianten auf und umfasst daher die Installation einer Zentralheizung mit Wärmeverteiler- und Abgabesystem, die Dämmung der Kellerdecke und des Estrichbodens sowie den Fensterersatz mit modernen, dreifachverglasten Fenstern. Zusätzlich wird in dieser Variante eine Aussendämmung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) durchgeführt. Der Ziel-U-Wert nach SIA 380/1 beträgt bei opaken Bauteilen gegen Aussen 0.15. Es ergeben sich daher folgende U-Werte nach der Sanierung gemäss Variante E (siehe Tabelle 18). Sie werden verwendet, um die Energieverbräuche nach SIA 380/1 erneut zu berechnen und so das Energiesparpotenzial der Sanierungsmassnahmen abzuschätzen.

Systembeschreibung Variante E

Tabelle 18: U-Werte nach Sanierung gemäss Variante E

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]	Fläche [m ²]
Estrichboden	0.2	56
Wände gegen Aussen	0.15	137
Fenster	0.9	18
Kellerdecke	0.2	56

Gemäss Berechnungen nach SIA 384.201 lässt sich der Wärmeleistungsbedarf auf 3 kW reduzieren. Da der Wärmebedarf aufgrund der Aussendämmung der Fassade stark reduziert wird, kann auch die Wärmeverteilung- und Abgabe kleiner dimensioniert werden. Es reicht in jedem Raum einen Heizkörper zu installieren (Statt teilweise zwei wie bei den vorherigen Varianten). Dadurch können voraussichtlich zwei Steigzonen und vier Niedrigtemperatur-Heizkörper eingespart werden. Die Platzierung der Heizkörper nach Variante E wird in Abbildung 29 auf der nächsten Seite dargestellt.

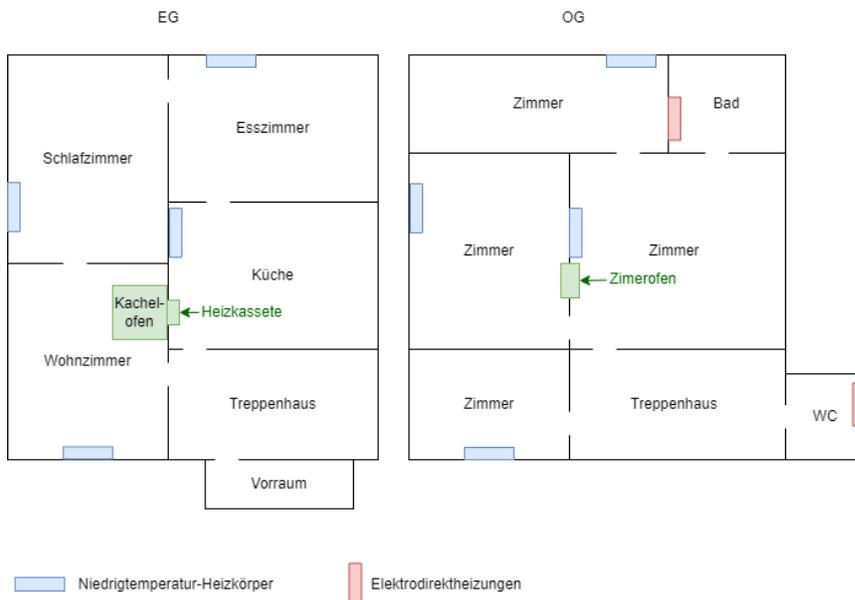


Abbildung 29: Platzierung der Wärmeabgabe-Einrichtungen in Variante E.

Durch die energetische Sanierung der gesamten Gebäudehülle liesse sich der Raumwärmebedarf um rund 91% reduzieren (von 38'650 kWh auf 3'480 kWh). Die reduzierten Lüftungsverluste durch die nun dichten Fenster wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Die Energieeinsparung des Fensterersatzes wird daher prinzipiell unterschätzt. Es werden folgende (Tabelle 19) Endenergieverbräuche der Wärmeerzeuger angenommen:

Energieverbrauch Variante E

Tabelle 19: Energieverbrauch der Wärmeerzeuger nach Variante E.

Wärmeerzeuger	EBF [m ²]	Wärmebedarf [kWh]	Nutzungsgrad [%]	Energieverbrauch [kWh]
Zentralheizung (Raumwärme)	140	3'250	320	10
Elektrodirektheizung	10	232	100	1'750
Zentralheizung (Warmwasser)		2'250	320	700
Total	150	5'732		2'460

Der Gesamtenergieverbrauch (Raumwärme und Warmwasser) lässt sich mit Variante E folglich von 40'900 kWh auf 2'460 kWh um rund 94% reduzieren. Die Energiekennzahl (Heizwärme und Warmwasser) sinkt auf 16 kWh / m² EBF. Damit ist sie tiefer als der Grenzwert für Neubauten nach SIA380/1, welcher ebenfalls 16 kWh / m² EBF beträgt, sich jedoch nur auf den Heizwärmebedarf bezieht und den Energieverbrauch für das Brauchwarmwasser ausklammert.

Die Investitionskosten stimmen grundsätzlich mit denen der Variante D überein. Der Wärmeerzeuger kann aufgrund der verringerten, notwendigen Heizlast aber deutlich kleiner dimensioniert werden. Bei dieser Variante wird das Modell «Viessmann Vitocal 200-A mit einer Nenn-Wärmeleistung von 5 kW verwendet. Der Verkaufspreis dieses Modelles beträgt rund 8'000 CHF (Mein-HausShop, o. J.). Da zwei Steigzonen und vier Heizkörper weniger benötigt werden, sinken die Kosten der Wärmeverteilung um ca. 15'000 CHF. Gemäss (Hausinfo, o. J.) beträgt der Quadratmeterpreis einer Aussen-Fassadendämmung mit einem WDVS 300 CHF. Erfahrungsgemäss ist es bei Altbauten allerdings schwierig, die Investitionskosten für eine Aussendämmung der Fassade anhand eines Quadratmeterpreises zu bestimmen. Kostentreiber sind nämlich meist bauliche Massnahmen, die aufgrund der Dämmung nötig werden, wie z.B. Spengler-Arbeiten oder der Umbau des angebauten Dachunterstandes (siehe Abbildung 20). Auf den anhand des Quadratmeterpreises berechnete Kosten (41'000 CHF) werden daher noch 20'000 CHF (Schätzung) zugeschlagen. Die Kosten der einzelnen Positionen sind in Tabelle 20 auf der nächsten Seite zusammengetragen.

Investitionskosten Variante E

Tabelle 20: Kostenzusammenstellung Wärmedämmmassnahmen am Estrichboden, der Kellerdecke und der Aussenfassade, Fensterersatz und Luft-Wasser Wärmepumpe für eine Wärmeleistung von 5 kW und Brauchwarmwassererzeugung inkl. Einbau einer Wärmeverteilung.

Position	Kosten [CHF]
Wärmepumpe (Viessmann Vitocal 200-A, 5 kW)	8'000
Pufferspeicher (Hoval EnerVal (300))	1'100
Brauchwarmwasserspeicher (Hoval CombiVal ER 300))	1'600
Expansionsanlage	2'500
Warmwasseranschluss	2'000
Heizgruppe	5'000
Niedrigtemperatur-Heizkörper (8 Stk)	13'600
Rohrleitungen (28 m: 4 Steigzonen à 4m, Leitungen Keller 12m)	2'200
Wärmedämmung Estrichboden (Material und Montage)	4'500
Wärmedämmung Kellerdecke (Material und Montage)	7'800
Fensterersatz (Material und Montage)	20'700
Wärmedämmung Aussenfassade (Material, Montage, Zusatzkosten)	61'000
Rückbau Nachtspeicherheizungen	2'000
Montage Heizungsinstallationen (20% der Apparatelkosten)	7'200
Elektroinstallationen	5'000
Kernbohrungen der Geschossdecken (2 pro Steigzone, total 8)	4'000
Total	148'200

Die Förderbeiträge sind für die Wärmeerzeugung sind die gleichen wie bei Variante B (5'000 CHF). Aufgrund des leistungsabhängigen Betrages der Fördermassnahme für die Erstinstallation einer Wärmeverteilung reduziert sich dieser Beitrag auf 1'720 CHF. Wärmedämmmassnahmen an Bauteilen gegen Unbeheizt und der Fensterersatz werden vom Kanton Zürich nicht finanziell gefördert. Gefördert werden aber die Wärmedämmungen an Wänden gegen Aussen, und zwar mit 70 CHF / m² (Kanton Zürich, 2022). Für die Aussenwanddämmung können folglich rund 9'600 CHF Förderbeiträge beansprucht werden. Die totalen Förderbeiträge belaufen sich daher bei dieser Variante auf 16'300 CHF, woraus sich Netto-Investitionskosten von rund 132'000 CHF ergeben.

Als Wartungs- und Unterhaltskosten für das Heizsystem werden wiederum 600 CHF pro Jahr angenommen (Vaillant, 2022). Die Lebensdauer der Wärmeerzeugung und -Speicherung beträgt 20 Jahre, diejenige der Wärmeverteilung- und Abgabe 40 Jahre, die der Gebäudehülle (Wärmedämmungen) 100 Jahre und die der

**Förderbeiträge
Variante E**

**Wirtschaftliche
Kennzahlen
Variante E**

Fenster 30 Jahre (BLKB, 2020). Daraus ergeben sich jährliche Kapitalkosten von rund 2'900 CHF. Aus dem Stromverbrauch von 2'460 kWh / Jahr ergeben sich durchschnittliche Energiekosten von ca. 660 CHF pro Jahr. Die totalen Jahreskosten betragen folglich rund 4'100 CHF. Damit ergibt sich ein Wärmepreis von rund 49.18 Rp / kWh und Kosten pro eingesparte kWh Energie von 10.8 Rappen.

Die Jahreskosten sind 2'900 CHF geringer als bei Variante B, welche keine Wärmedämmmassnahmen und nur den Heizungsersatz vorsieht. Die Höheren Investitionskosten (ca. 59'000 CHF) sind folglich nach rund 20 Jahren amortisiert.

Vergleich mit Variante ohne Wärmedämm-massnahmen

4.3 Empfehlung

In der Tabelle 21 auf der nächsten Seite sind die Sanierungsmassnahmen der jeweiligen Varianten und die berechneten energetischen und finanziellen Kennzahlen zusammengefasst. Abbildung 30 zeigt den Vergleich der Jahreskosten der einzelnen Varianten.

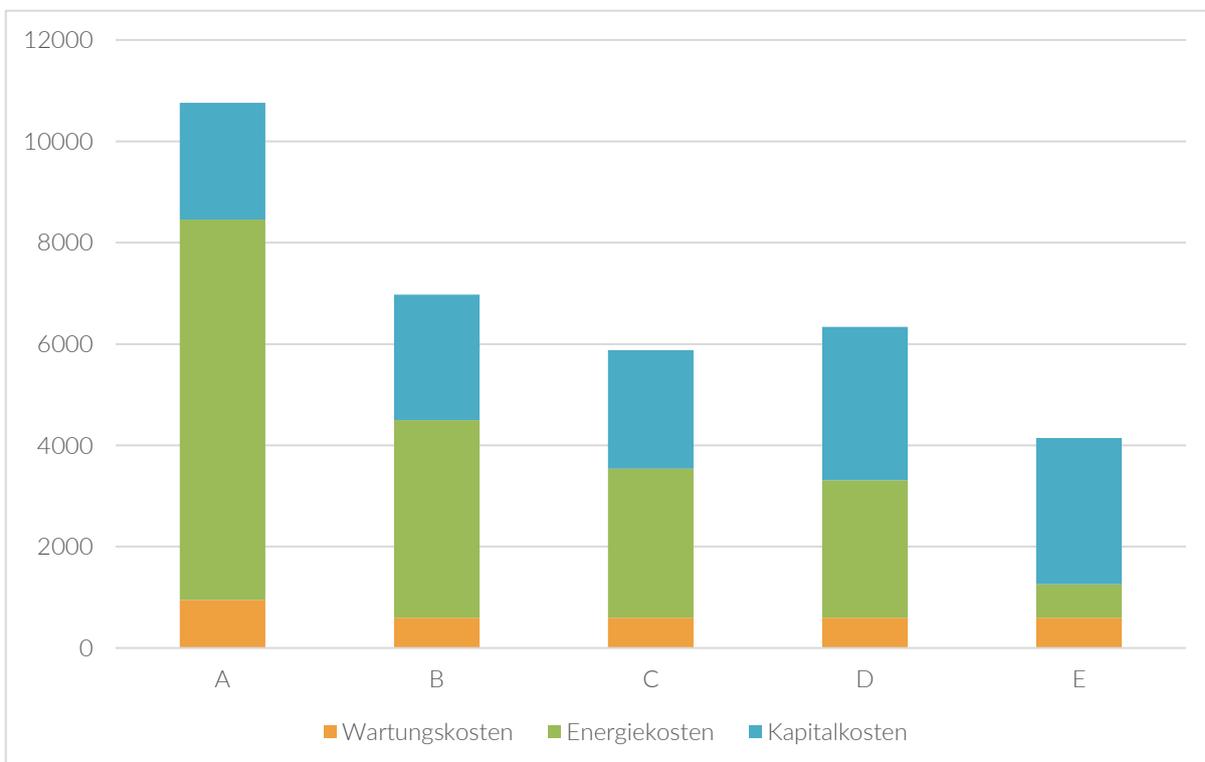


Abbildung 30: Jahreskostenvergleich der Varianten in Schweizer Franken, aufgeteilt in Wartungs- Energie- und Kapitalkosten

Tabelle 21: Zusammenfassung der Kennzahlen der einzelnen Sanierungsvarianten. Bei den Investitionskosten sind die Förderbeiträge bereits abgezogen. Die Position «Wärmeverteilung» beinhaltet auch die Investitionskosten für die Wärmeabgabe-Einrichtungen.

Variante	A	B	C	D	E
<u>Massnahmen</u>					
Wärmeerzeuger	Pelletöfen, Klimageräte, Wärmepumpen-boiler	Luft/Wasser-Wärmepumpen Zentralheizung	Luft/Wasser-Wärmepumpen Zentralheizung	Luft/Wasser-Wärmepumpen Zentralheizung	Luft/Wasser-Wärmepumpen Zentralheizung
Energetische Gebäudehüllen-Sanierung	Keine	Keine	Kellerdecke, Estrichboden	Kellerdecke, Estrichboden, Fensterersatz	Kellerdecke, Estrichboden, Fensterersatz, Aussenfassade
<u>Energetische Kennzahlen</u>					
Wärmeleistungsbedarf	15 kW	15 kW	11 kW	11 kW	3 kW
Endenergie-Verbrauch	34'000 kWh	14'550 kWh	10'940 kWh	10'100 kWh	3'480 kWh
Endenergie-Einsparung	17 %	65%	73 %	75 %	94 %
Energie-Kennzahl	227 kWh / m ²	97 kWh / m ²	73 kWh / m ²	67 kWh / m ²	16 kWh / m ²
<u>Wirtschaftliche Kennzahlen</u>					
Investitionskosten:					
Wärmeerzeugung	45'100	26'000	20'700	20'700	14'840
Wärmeverteilung	2'000	47'100	47'100	47'100	32'640
Wärmedämmungen			12'300	12'300	63'700
Fensterersatz				20'700	20'700
Investitionskosten total	47'100 CHF	72'600 CHF	79'600 CHF	100'300 CHF	132'000 CHF
Jahreskosten	10'800 CHF	7'000 CHF	5'900 CHF	6'300 CHF	4'100 CHF
Wärmepreis	26.3 Rp. / kWh	17.1 Rp. / kWh	18.7 Rp. / kWh	19.4 Rp. kWh	49.2 Rp. / kWh
Kosten pro kWh eingesparter Endenergie	155.9 Rp. / kWh	26.4 Rp. / kWh	19.6 Rp. / kWh	20.6 Rp. / kWh	10.8 Rp. / kWh

Es wird ersichtlich, dass Variante A zwar die günstigsten Investitionskosten aufweist, die Jahreskosten aber markant höher ausfallen als bei den Varianten mit einer Zentralheizung. Die Mehrkosten in der Investition von Variante B von sind folglich schon nach rund 7 Jahren wettgemacht. Die Zentralheizung ist daher der dezentralen Wärmeerzeugung vorzuziehen, auch da der Betriebsaufwand geringer ist (kein händischer Transport von Pellets). Weiter können alle Räume auch bei Temperaturen unter -5°C geheizt werden, es ist überall ein Anteil Strahlungswärme vorhanden und es treten deutlich weniger Geräuschemissionen im Innenraum auf, da das Gebläse der Niedrigtemperaturradiatoren weniger Schall verursacht als jenes der Klimageräte.

Es lohnt sich ausserdem - auch wirtschaftlich - mindestens die Kellerdecke und den Estrichboden wärmetechnisch zu dämmen. Die beiden Massnahmen lassen sich mit geringen Kosten umsetzen. Die Investition ist durch die gesunkenen Jahreskosten in wenigen Jahren (6.5 Jahre) amortisiert. Die Kosten für den Fensterersatz hingegen sind bezogen auf die Energieeinsparung verhältnismässig hoch, wobei beachtet werden muss, dass die Reduktion der Lüftungsverluste nicht berücksichtigt wurden. Bei alten Fenstern ist dieses Energiesparpotenzial jedoch hoch.

Optimalerweise wird auch die Aussenfassade vor dem Heizungsersatz wärmegeklämt. Dadurch sinkt der Wärmeleistungsbedarf markant und es können Investitionskosten bei der Wärmeerzeugung und -Verteilung gespart werden. Die Jahreskosten sind bei dieser Variante (E) mit Abstand am geringsten. Kann die Investition daher getragen werden, lohnt sie sich langfristig finanziell. Im Vergleich zur Variante B (ohne Wärmedämmmassnahmen) sind die Mehrkosten der Investition in rund 20 Jahren wettgemacht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es sich lohnt, so viele Massnahmen umzusetzen, wie finanziert werden können. Der Einbau einer Zentralheizung und die Wärmedämmung der Kellerdecke und des Estrichbodens (Variante C) sollten aber mindestens umgesetzt werden.

4.4 **Energiesparpotenzial auf nationaler Ebene**

Die minimal empfohlene Variante C führt zu einer Stromeinsparung von 73%. Dies dient als Grundlage, dass Energiesparpotenzial auf nationaler Ebene abzuschätzen, falls alle mit elektrisch beheizten Erstwohnungen die Massnahmen gemäss Variante C durchführen. Dabei muss angemerkt werden, dass der energetische Zustand der Gebäudehüllen bei einigen Gebäuden besser ist als beim Referenzobjekt und die Energieeinsparung, insbesondere der Wärme-

Vergleich dezentrale
Lösung / Zentral-
heizung

Kosten/Nutzen-
Verhältnis von Wär-
medämmmassnahmen

Einschränkung der
Aussagekraft

dämmmassnahmen, daher geringer ausfallen. Die nachfolgenden, nationalen Einsparungen sind daher eher als zu hoch einzustufen.

Der Stromverbrauch von Elektroheizungen in Erstwohnungen beträgt schweizweit rund 2.7 TWh pro Jahr (Bundesamt für Energie, 2022). Durch die Einsparung von 73% liesse sich der Stromverbrauch auf rund 0.7 TWh um 2 TWh reduzieren. 2 TWh entsprechen etwa einem Drittel der jährlichen Stromproduktion des Kernkraftwerkes Beznau (Axpo, o. J.). Der Winterstromverbrauch (Oktober bis März) im Winter 21/20 betrug 31.2 TWh (Swissgrid, o. J.). Die 2 TWh entsprechen also einer Einsparung von rund 6%.

**Gesamtschweizerisches
Energiespar-
potenzial**

5 Diskussion

Um die Lebenszykluskosten zwischen dem Heizungersatz von Elektroheizungen mit dezentralen Wärmeerzeugern (Pelletöfen und Luft/Luft-Wärmepumpen) und dem Heizungersatz mit einer Zentralheizung inkl. Wärmeverteilsystem zu vergleichen, wurden die Kapital- Energie- und Unterhaltskosten der einzelnen Varianten abgeschätzt und einander gegenübergestellt. Zusätzlich wurde der Einfluss von unterschiedlich weitgehenden, energetischen Sanierungsmassnahmen der Gebäudehülle ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die dezentrale Variante bezüglich den Jahreskosten nicht mit der Nachrüstung einer Zentralheizung konkurrenzfähig ist. Zwar sind die Kapitalkosten rund 35% geringer, die Mehrkosten in der Investition werden aber durch die tieferen Energiekosten schon nach ca. 7 Jahren wettgemacht. Weiter wurde aufgezeigt, dass es sich lohnt, vor dem Heizungersatz in Wärmedämmmassnahmen zu investieren, da sowohl Wärmeerzeuger als auch Wärmeverteilung- und Abgabe dadurch kleiner dimensioniert werden können und die Energiekosten markant sinken.

Sowohl die ermittelten Investitionskosten wie auch die laufenden Kosten der einzelnen Sanierungsvarianten sind aber mit Vorsicht zu geniessen. Die Investitionskosten unterscheiden aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslagen von Objekt zu Objekt. In der vorliegenden Arbeit wurden primär Richtpreise verwendet, welche weder regionale Unterschiede noch erschwerende Umstände bei der Umsetzung berücksichtigen. Letztere sind aber bei Altbauten in sehr unterschiedlichem Ausmass vorhanden und oft der Preistreiber bei energetischen Sanierungen. Die Investitionskosten sind daher eher als optimistische Schätzung einzuordnen. Die laufenden Kosten sind stark abhängig von der Entwicklung der Energiepreise. Energiepreisprognosen sind aber erfahrungsgemäss mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die bei der Berechnung verwendete, jährliche Energiepreiserhöhung von 3% über 20 Jahre ist eine wage Vermutung. Insbesondere der Vergleich zwischen den Varianten mit unterschiedlichen Energieträgern (Holzpellets / Elektrizität) ist daher nur beschränkt aussagekräftig.

Berücksichtigt werden muss ausserdem, dass die Wahl der Betrachtungsdauer der einzelnen Massnahmen anhand der Lebensdauer der Komponenten/Bauteile getroffen wurde. So werden beispielsweise die Investitionskosten der Aussenfassadendämmung über 100 Jahre abgeschrieben. Trotz der relativ hohen Investitionskosten, ergeben sich daher keine signifikanten Erhöhungen in den jährlichen Kapitalkosten. Da aber natürlich kein

Eigentümer 100 Jahre von den gesunkenen Energiekosten profitieren kann, wäre eine Betrachtungsweise aller Massnahmen über beispielsweise 25 Jahren für den Eigentümer aussagekräftiger. Dies würde jedoch die unterschiedliche Lebensdauer der Bauteile/Komponenten zu wenig berücksichtigen.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden als statische Investitionsrechnung durchgeführt. Dabei wird der Zeitwert des investierten Kapitals nicht berücksichtigt. Eine dynamische Investitionsrechnung wäre aussagekräftiger, da dabei die Opportunitätskosten berücksichtigt werden. Aus folgenden Gründen wurde trotzdem auf eine dynamische Investitionsrechnung verzichtet: Der Heizungsersatz muss zwingend vollzogen werden, da die Elektroheizungen gemäss gültigem Recht bis 2030 ersetzt werden müssen. Die anderswertige Verwendung des Kapitals kann daher ausgeschlossen werden, zumindest bei den Varianten, die nur den Heizungsersatz und keine energetischen Sanierungen der Gebäudehülle vorsehen. Da Varianten mit Dämmmassnahme und ohne Dämmmassnahmen miteinander verglichen werden sollten, wurde auch bei den Massnahmen mit energetischer Sanierung der Gebäudehülle auf eine dynamische Investitionsrechnung verzichtet.

Bei den finanziellen Einsparungen der Investitionskosten wurden nur die beanspruchbaren Förderbeiträge berücksichtigt. Massnahmen zur rationellen Energieverwendung und zur Nutzung erneuerbarer Energien sind im Kanton Zürich jedoch den Unterhaltskosten steuerlich gleichgestellt und sind entsprechend abzugsfähig. Dies wurde in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt, da die Steuerersparnis sehr individuell ausfällt und vom steuerbaren Einkommen des Eigentümers abhängt. Erfahrungsgemäss fällt die steuerliche Einsparung oftmals höher aus als die Förderbeiträge.

Weiter muss berücksichtigt werden, dass der Gebäudewert durch energetische Sanierungen zunimmt: Ist ein Gebäude mit einem Wärmeerzeuger ausgestattet, welcher hinsichtlich Betriebs- Wartungs- und insbesondere Energieaufwand Vorzüge bietet (z.B. Wärmepumpe als Zentralheizung), wirkt sich dies positiv auf den Verkehrswert der Liegenschaft aus. Dasselbe gilt für energetische Sanierungen der Gebäudehülle.

Die Berechnung des Raumwärme-Energiebedarfes des Ausgangszustandes nach SIA 380/1 basiert auf geschätzten U-Werten, welche üblicherweise bei Gebäuden aus der gleichen Bauepoche des Referenzobjektes vorkommen. Die tatsächlichen U-Werte könnten von den getroffenen Annahmen abweichen, wodurch sich ein anderes Energieeinsparpotenzial der Sanierungsmassnahmen ergibt. Um exakte U-Werte zu erhalten, müsste entweder eine Messung mit einem U-Wert-Messgerät erfolgen, oder der genaue Wandauf-

bau wird mit einer Kernbohrung ermittelt, woraufhin der U-Wert mit einer Simulationssoftware berechnet werden kann.

Nebst einer energetischen Sanierung stellt sich aufgrund des Alters des Referenzobjektes vor der Investition in einen Wärmeerzeugungs-Systemwechsel auch die Frage nach einem Ersatzneubau. Die Ausnützungsziffer der Parzelle ist gemäss Abklärungen von einem Immobilienspezialisten nicht ausgereizt. Ein Ersatzneubau würde daher mehr Wohnraum erzeugen, was hinsichtlich der Wohnungsknappheit im Kanton Zürich vorteilhaft wäre. Ausserdem wäre die Vergrösserung der Wohnfläche finanziell für die Vermieter attraktiv. Denselben Effekt liesse sich jedoch auch mit einem Anbau erzielen, wo hingegen zum Ersatzneubau die graue Energie der bestehenden Bausubstanz erhalten bleibt. Fällt die Entscheidung dennoch auf einen Ersatzneubau, soll zumindest ein Teil der Bausubstanz wiederverwendet werden, um die graue Energie des Neubaus zu minimieren.

Diese Arbeit behandelte nur den Ersatz von dezentral beheizten Erstwohnungen. Bei Zweitwohnungen, welche im Winterhalbjahr nur sporadisch bewohnt werden, können dezentrale Lösungen aufgrund der tieferen Investitionskosten und den nutzungsbedingten, tiefen Energiekosten eine Variante mit hohem Kosten/Nutzen-Verhältnis darstellen.

Die Jahresarbeitszahl der dezentralen Luft/Luft-Wärmepumpen wurde anhand einer einzigen durchgeführten Feldmessung abgeschätzt. Für eine aussagekräftigere Einschätzung wären mehrere Quellen von Nöten. Als weiteres Vorgehen wird daher eine Feldstudie an repräsentativen, mit dezentralen Klimageräten beheizten Gebäuden empfohlen. Erschwerend ist hierbei der Umstand, dass die erzeugte Nutzwärme nur umständlich gemessen werden kann. Jedes Klimagerät muss mit einem Luftkanal versehen werden, indem ein Wärmehähler für das Medium Luft integriert ist.

6 Quellenverzeichnis

Aircon. (o. J.). *Klimaanlagen für Gewerberäume und Split-Klimageräte.*

Aircon-Shop. Abgerufen 16. Dezember 2022, von

<https://aircon-shop.de/klimaanlagen-fuer-gewerberaeume/>

Alpinofen. (o. J.). *Schwedenofen Pelletofen Inara Stahl schwarz.* Abge-

rufen 4. Januar 2023, von

<https://www.alpinofen.ch/de/schwedenofen/pelletofen-inara-stahl-schwarz>

Alternative Haustechnik GmbH. (o. J.). *Zehnder Nova Neo, Nieder-*

temperatur-Heizkörper für Wärmepumpen, horizontal. Alterna-

tive Haustechnik GmbH. Abgerufen 3. Januar 2023, von

<https://www.alternative-haustechnik.de/zehnder-nova-neo-niedertemperatur-heizkoerper-fuer-waermepumpen-horizontal>

Axpo. (o. J.). *Kernkraftwerk Beznau.* Abgerufen 5. Januar 2023, von

<https://www.axpo.com/ch/de/energiewissen/kernkraftwerk-beznau.html>

BBSR. (2023). *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.*

[https://www.bbsr-](https://www.bbsr-energieeinspa-)

[energieeinspa-](https://www.bbsr-energieeinspa-)

[rung.de/EnEVPortal/DE/Wirtschaftlichkeit/Randbedingung](https://www.bbsr-energieeinspa-rung.de/EnEVPortal/DE/Wirtschaftlichkeit/Randbedingung)

[en/energiepreis/energiepreis-node.html](https://www.bbsr-energieeinspa-rung.de/EnEVPortal/DE/Wirtschaftlichkeit/Randbedingung/energiepreis/energiepreis-node.html)

Beimgraben, T., & Ebert, H.-P. (2017). *Heizen mit Holz.* Ökobuch

Verlag.

Beka Klima. (o. J.). *Deckenheizung-kühlung im Trockenbau*. Abgerufen 6. Januar 2023, von <https://www.beka-klima.de/heizkuehldecke-trockenbau/>

Besondere Bauverordnung I (BBV I), 700.21 (2022).

BLKB. (2020). *Durchschnittliche Lebensdauer von Bauteilen*.

Bosch. (o. J.). *Pufferspeicher Wärmepumpe*. Bosch Thermotechnik. Abgerufen 16. Dezember 2022, von <https://www.heizungsteuern.com/de/de/pufferspeicher-waermepumpe/>

Bosch Thermotechnik. (o. J.). *Klimaanlage warten: Service und Reinigung | Bosch*. Bosch Thermotechnik. Abgerufen 27. Dezember 2022, von <https://www.bosch-thermotechnology.com/de/de/wohngebäude/wissen/ratgeber-kuehlen/klimaanlage/klimaanlage-wartung/>

Bundesamt für Energie. (2019). *Schweizer Holzenergiestatistik 2019*. <https://www.ee-news.ch/de/biomasse/article/44460/holzenergie-schweiz-schweizer-energieholznutzung-2019-auf-hochststand>

Bundesamt für Energie. (2022). *Beschleunigung des Ersatzes von Elektroheizungen in der Schweiz. Bericht zu Händen des Bundesrats*.

Bundesamt für Umwelt. (2022). *Belastungsgrenzwerte für Lärm*. Belastungsgrenzwerte für Lärm. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/themalaerm/laerm-->

fachinformationen/laermbelastung/grenzwerte-fuer-laerm/belastungsgrenzwerte-fuer-laerm.html

Bundesamt für Umwelt BAFU. (2020). *Das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen.*

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/schweizer-klimapolitik/gebäude/das-gebäudeprogramm-von-bund-und-kantonen.html>

Daikin. (o. J.). *Split-Klimaanlage » Was ist das eigentlich? | Daikin.* Abgerufen 17. Dezember 2022, von

https://www.daikin.at/de_at/ratgeber/klimaanlagen/split-klimaanlage.html

Daikin. (2014). *Daikin Ururu Sarara.*

EKZ. (2022). *EKZ-Tarife 2023.*

<https://www.ekz.ch/dam/ekz/privatkunden/strom/tarife-und-agb/Tarifdokumente/tarife-2023/ekz-tarifsammlung-2023.pdf>

Energie Schweiz. (2021). *Heizen mit Köpfchen.*

Energieheld. (o. J.). *Der Wärmepumpenboiler—Kosten, Funktionsweise, Vorteile & Nachteile.* Abgerufen 4. Januar 2023, von

<https://www.energieheld.ch/heizung/warmwasser-bereitung/waermepumpenboiler>

Eschmann, M. (2014). *Labormessungen zu Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher.*

Etherma. (2021). *ETHERMA Laminotherm (Set)—Unter Parkett- und Laminatböden—Fussbodenheizung.*

<https://www.etherma.com/de/heizung/fussbodenheizung/unter-parkett-und-laminatboeden/etherma-laminotherm-set>

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. (2013). *Pelletheizungen. Marktübersicht.*

Feist, W. (2022). *Heizen mit dem Split-Klimagerät? Experiment zum Heizen und Kühlen aus einer räumlich konzentrierten Quelle im Passivhaus Darmstadt Kranichstein.*

Felske, K., Herrmann, M., Kuntke, T., Schütze, H., & Weber, J. (2011). *Öfen und Kamine. Raumheizungen fachgerecht planen und bauen.* Lehmanns media.

Frico. (o. J.). *SC23DCIN Klimagerät–Klimaanlagen–Luftkühler.* Frico. Abgerufen 5. Januar 2023, von <https://shop.systemair.com/de-DE/sc23dcin--klimageraet/p917574>

GIS-ZH. (o. J.). *GIS-Browser.* Abgerufen 30. Dezember 2022, von <https://maps.zh.ch/>

Grünenwald, H. (o. J.). *SCOP versus COP und JAZ.*

Günter Kälte-Klima. (o. J.). *GÜNTHER Kälte-Klima GmbH.* Abgerufen 16. Dezember 2022, von <https://gkk.net/>

Günther, M. (2014). *Energieeffizienz durch Erneuerbare Energien. Möglichkeiten, Potenziale, Systeme.*

Hahn Profis. (o. J.). *Remko KWT 240 DC - Hahn Profis.* hahn-profis.de. Abgerufen 30. Dezember 2022, von <https://www.hahn-profis.de/remko-kwt-240-dc/>

- Hausinfo. (o. J.). *So sanieren Sie Ihre Hausfassade*—Hausinfo. Abgerufen 4. Januar 2023, von <https://hausinfo.ch/de/bauen-renovieren/rohbau-bauteile-baumaterialien/waende-fassade/fassade-renovieren.html>
- Hausinfo. (2022). *Wärmedämmung des Kellers*—Hausinfo. <https://hausinfo.ch/de/bauen-renovieren/unterhaltung-renovation-sanierung/altbauten-sanieren-renovieren/waermedaemmung-keller.html>
- Holzenergie Schweiz. (2014). *Energieinhalt von Holzschnitzeln und Pellets / Graue Energie*.
- Hubbuch, M. (2019). *Heizungstechnik. Vorlesungsskript*.
- Hubbuch, M. (2020a). *Geothermie. Vorlesungsskript*.
- Hubbuch, M. (2020b). *Lüftungstechnik. Vorlesungsskript*.
- IFA. (o. J.). *GESTIS-Stoffdatenbank*. Abgerufen 30. Dezember 2022, von <https://gestis.dguv.de/data?name=010020>
- Joco. (o. J.). *Deckenheizung Trockensystem KD-8ti. JOCO - Moderne Heizungs- und Kühlsysteme*. Abgerufen 28. Dezember 2022, von <https://www.joco.de/produkte/deckenheizung-deckenkuehlung/deckenheizung-trockensystem-kd-8ti/>
- Jürg Wellstein. (2020). *Wege zum Ersatz von Elektroheizungen*.
- J.Weber Kaminfegermeister GmbH. (o. J.). *Cheminées und Cheminéeöfen*. Die Spezialisten für Dach und Kamin im Zürcher Unterland! Abgerufen 4. Januar 2023, von <http://www.dach-kamin.ch/kaminfeger/cheminées-und-cheminéeöfen/>

Kaminando. (o. J.-a). *Pellet-Kachelofeneinsatz zum Nachrüsten | Jetzt informieren*. Abgerufen 17. Dezember 2022, von

<https://www.kaminando.de/pellet-kachelofeneinsatz/>

Kaminando. (o. J.-b). *RIKA Pellet Kachelofeneinsatz | Automatisch heizen | 8 kW*. Abgerufen 16. Dezember 2022, von

<https://www.kaminando.de/kachelofeneinsatz/rika-pellet-kachelofeneinsatz/>

Kanton Luzern. (2015). *Energiespiegel. Methodik und Diskussion*.

Kanton Zürich. (2022). *Förderung und Beratung rund um Energie*.

Kanton Zürich. <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/energie/energiefoerderung.html>

Klima Tech Tirol. (o. J.). *Heizen mit Klimageräten: Nachteile*. Abgerufen

27. Dezember 2022, von <https://www.ktt-heizungen.at/moegliche-nachteile.html>

Kospel. (o. J.). *Elektro Heizkessel EKCO.TM-30 witterungsgeführte*

Steuerung. Abgerufen 16. Dezember 2022, von <https://www.kospel-shop.de/elektrischer-heizkessel-ekcotm-30-witterungsgefueh.html?source=facebook>

Krug, N. (2018). *Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik*. Vde Verlag GmbH.

Lehmann, M., Hess, A.-K., Martin, J., Tschannen, A., & Estermann,

E. (2022). *Beschleunigung des Ersatzes von Elektroheizungen – aktuelle Massnahmen und verbleibende Hindernisse*.

Lucht LHZ. (o. J.). *Elektrospeicherheizung: Elektroheizung | LUCHT*

LHZ. *Elektroheizung Lucht LHZ*. Abgerufen 16. Dezember

2022, von <https://www.lucht-lhz.de/produkte/elektrospeicherheizung/>

Lyssoudis, A. (2022). *Taugen Klimageräte als Heizung?*

MCZ. (o. J.). *Pelletofen*. MCZ. Abgerufen 16. Dezember 2022, von <https://www.mcz.it/de/produkte/musa/>

Meier Tobler. (o. J.). *Kältemittel R32. Das wichtigste in Kürze*.

MeinHausShop. (o. J.). *VISSMANN Z009871 Luft/Wasser-Wärmepumpe Vitocal 350-A Typ AWHO 351 Außenaufstellung 18,5 kW*. MeinHausShop. Abgerufen 3. Januar 2023, von <https://www.meinhausshop.de/VISSMANN-Z009871-Luft/Wasser-Waermepumpe-Vitocal-350-A-Typ-AWHO-351-Aussenaufstellung-18-5-kW>

Naturbo. (o. J.). *Praktische Plattengrößen—Wandheizung naturbo*. Abgerufen 27. Dezember 2022, von <https://www.naturbo-wandheizung.de/wandheizung-in-modulen>

Oebbeke, A. (2012). *New Energy Optimized: Neuer Design-Heizkörper für Niedertemperatur-Heizungen*. <https://www.baulinks.de/webplugin/2012/0572.php4>

Ofenseite. (2019). *Kann man zwei Öfen an einen Schornstein anschließen? Kann man zwei Öfen an einen Schornstein anschließen?* <https://www.ofenseite.com/mehrfachbelegung-schornstein>

Ökologisch Bauen. (o. J.). *Wandheizung Flächenheizung für optimalen Wohnkomfort | Ökologisch Bauen*. Abgerufen 28. Dezember 2022, von <https://www.oekologisch-bau->

en.info/haustechnik/heizsysteme/waermeabgabesysteme/
wandheizung/

Olimpia Splendid. (o. J.). *Unico Pro | Klimageräte ohne Außeneinheit*

Olimpia Splendid. Abgerufen 5. Januar 2023, von
[https://www.olimpiasplendid.de/klimager%C3%A4te-ohne-
au%C3%9Feneinheit/unico-pro](https://www.olimpiasplendid.de/klimager%C3%A4te-ohne-au%C3%9Feneinheit/unico-pro)

proPellets. (o. J.). *Pelletpreis—ProPellets*. Abgerufen 4. Januar 2023,

von [https://www.propellets.ch/heizen-mit-pellets/zahlen-
und-fakten/pelletpreis.html](https://www.propellets.ch/heizen-mit-pellets/zahlen-und-fakten/pelletpreis.html)

Radiator-Heizungen.de. (o. J.). *Magma® Naturstein-Infrartheizung*

Granit 400. Radiator-Heizung Elektroheizungen. Abgerufen
16. Dezember 2022, von [https://www.radiator-
heizung.de/produkt/magma-naturstein-infrartheizung-
granit-400/](https://www.radiator-
heizung.de/produkt/magma-naturstein-infrartheizung-
granit-400/)

Remko. (o. J.). *Serie KWT - Monobloc-Raumklimagerät zum Heizen*

und Kühlen. Abgerufen 27. Dezember 2022, von
<https://www.remko.de/lokale-raumklimageraete/serie-kwt/>

Renovero. (o. J.-a). *Estrich Isolierung: Preis und Nutzen der 4 gängigs-*

ten Methoden. Abgerufen 3. Januar 2023, von
[https://www.renovero.ch/de/tipps/dichten-
daemmen/www.renovero.ch/de/tipps/dichten-
daemmen/estrich-isolierung-preis](https://www.renovero.ch/de/tipps/dichten-
daemmen/www.renovero.ch/de/tipps/dichten-
daemmen/estrich-isolierung-preis)

Renovero. (o. J.-b). *Fenster einbauen lassen – mit diesen Kosten ist zu*

rechnen. Abgerufen 3. Januar 2023, von
<https://www.renovero.ch/de/tipps/fenster->

glas/www.renovero.ch/de/tipps/fenster-glas/fenster-
einbauen-kosten

Sanier. (2021). Wärmere Innenwände – angenehmeres Raumklima?
sanier.

[https://www.sanier.de/daemmung/hintergrund/wieso-
daemmen/raumklima](https://www.sanier.de/daemmung/hintergrund/wieso-daemmen/raumklima)

Schornstein Olymp. (o. J.). *Konzentrisches Edelstahl Luft-Abgas-
System Bausatz für Kamin Sani.* Konzentrisches Edelstahl
Luft-Abgas-System Bausatz für Kamin Sani. Abgerufen 4.
Januar 2023, von [https://schornstein-
olymp.de/Konzentrisches-Edelstahl-Luft-Abgas-System-
Bausatz-fuer-Kamin-Sanierung-O-60-100-mm](https://schornstein-olymp.de/Konzentrisches-Edelstahl-Luft-Abgas-System-Bausatz-fuer-Kamin-Sanierung-O-60-100-mm)

SR 814.41—Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986
(LSV), SR 814.01 (1986).

[https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1987/338_338_338/d
e](https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1987/338_338_338/de)

Subag Tech. (o. J.-a). *Klimaanlagen in Zürich: SUBAG TECH AG.* Ab-
gerufen 17. Dezember 2022, von [https://www.subag-
tech.ch/service-unterhalt/service/klimaanlagen-in-zuerich/](https://www.subag-tech.ch/service-unterhalt/service/klimaanlagen-in-zuerich/)

Subag Tech. (o. J.-b). *Wartung / Reparatur von Kälte- und Klimaanla-
gen: SUBAG TECH AG.* Abgerufen 4. Januar 2023, von
[https://www.subag-tech.ch/service-
unterhalt/service/wartung-reparatur/](https://www.subag-tech.ch/service-unterhalt/service/wartung-reparatur/)

Suissetec. (2021). *Kühlung mit der Fussbodenheizung.*

Swegon. (o. J.). *AirBlue GAW 30 ECO | www.swegon.com.* Swegon.
Abgerufen 5. Januar 2023, von

<https://www.swegon.com/de/produkte/mobile-geraete/mobile-split-und-monoblock-klimagerate/airblue-gaw-30-eco/>

Swiss Pellet Service. (o. J.). *Wartungs-Vertrag für Pellet*.

Swissgrid. (o. J.). *Produktion und Verbrauch*. Abgerufen 5. Januar

2023, von

<https://www.swissgrid.ch/de/home/operation/grid-data/generation.html>

Teutloff, S., Mühlecha-Burkart, M., Murer, T., & Spiess, M. (2022).

Beschleunigung des Ersatzes von Elektroheizungen. Eine technisch-ökonomische Analyse.

Topten. (2022). *Die besten Klimageräte der Schweiz (2022) | topten.ch*. <https://www.topten.ch/private/products/aircon>

Tösstal Vertrieb. (o. J.). *15kW Bauheizer Heizlüfter Elektroheizung*.

Tösstal Vertriebs GmbH. Abgerufen 16. Dezember 2022,

von <https://www.toestal->

[vertrieb.ch/werkstattbedarf/2248-15kw-bauheizer-](https://www.toestal-vertrieb.ch/werkstattbedarf/2248-15kw-bauheizer-)

[heiz%C3%BCfter-elektroheizung.html](https://www.toestal-vertrieb.ch/werkstattbedarf/2248-15kw-bauheizer-heiz%C3%BCfter-elektroheizung.html)

Trotec. (o. J.). *Wandklimaanlage PAC-W 2600 SH*. Abgerufen 5. Ja-

nuar 2023, von

<https://de.trotec.com/shop/wandklimaanlage-pac-w-2600-sh.html>

Ubakus. (o. J.). *Naturbo Innendämmplatte | ubakus.de*. Abgerufen 6.

Januar 2023, von <https://www.ubakus.de/u-wert->

[rech-](https://www.ubakus.de/u-wert-rech-)

[rechner/?c=2&M0=112483I7&M1=47I30&T_i=20&RH_i=50&T](https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/?c=2&M0=112483I7&M1=47I30&T_i=20&RH_i=50&T)

e=-

5&RH_e=80&outside=0&bt=0&unorm=geg20alt&cq=3487
787&name=Naturbo%20Innend%C3%A4mmplatte&fz=14

Vaillant. (2022). *Elektrospeicherheizung. Heizen mit Niedertarifstrom.*

<http://www.vaillant.at/privatanwender/tipps-und->

wis-

sen/heiztechnologien/elektroheizungen/elektrospeicherhei-
zung/

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen. (2022). *Strom-*

verbrauch | VSE.

<https://www.strom.ch/de/energiewissen/stromverbrauch>

Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen. (2017). *Brandschutz-*

richtlinie. Wärmetechnische Anlagen.

Zehnder Group Schweiz. (o. J.). *Zehnder Nova Neo* | Zehnder Group

Schweiz AG. Abgerufen 6. Januar 2023, von

<https://produkte.zehnder-systems.ch/de/produkt/zehnder->

nova-neo

Anhangsverzeichnis

Anhang A.....	I
Anhang B.....	VIII
Anhang C.....	IX

Anhang

Anhang A

Förderbedienungen und Berechnungsgrundlage der Förderbeiträge der einzelnen Kantone für den Ersatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe und der Erstinstallation einer Wärmeverteilung.

Kanton	Elektroheizungsersatz (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			Erstinstallation einer Wärmeverteilung		
	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen
Aargau	4'000	60	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	1'600	200	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
Appenzell Ausserrhoden	4'850		Bis 12.5 kW	4'500	360	Der maximale Förderbeitrag für die Erstinstallation des Wärmeverteilsystems beträgt CHF 4'500.- bei Nichtwohnbauten und CHF 20'000.- bei Wohnbauten. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
	4'100	60	Ab 12.5 kW, Der maximale Förderbeitrag pro Vorhaben und Massnahme beträgt CHF 100'000.- und maximal 50% der massnahmenbedingten Gesamtinvestitionen. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.			
Appenzell Innerrhoden	1'600	60	Maximal beitragsberechtigte Leistung 20 kW th. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	1600	40	Maximal beitragsberechtigte Leistung 20 kW th. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
Basel- Landschaft	7'000	100	Bis und mit 250 kW, ab dann fallweise Beurteilung. Maximaler Förderbeitrag 50% der massnahmenbedingten Gesamtinvestitionen. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	4000	100	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
Basel-Stadt	8'000	250	Maximal 40% der gesamten Investitionskosten für Energieeffizienzmassnahmen. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	3'000	200	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
Bern	4'500	-	Bis 20 kW (bestehende Heizung). Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF und maximal 35 % der Anlagekosten	3'000	-	EBF < 100m ²
	3'500	50	Ab 20 kW (bestehende Heizung). Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF und maximal 35 % der Anlagekosten.	6'000	-	EBF ≥ 100m ²

Kanton	Elektroheizungsersatz (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			Erstinstallation einer Wärmeverteilung		
	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen
Freiburg	3'500	150	Gebäudehülle muss mindestens Effizienzklasse E erreichen. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m2 EBF.	8'000	-	Einfamilienhaus
				5'000/ Wohnung	-	Mehrfamilienhaus (ab 3 Wohnungen)
Glarus	4'000	-		2'000	100	Maximalbetrag CHF 15'000. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m2 EBF.
Graubünden	3'500	-	Bis 250 m2 EBF. Jahresmitteltemperatur am Standort < 7,3° C (Ausser bei bivalentem Einsatz).	5'000	-	Bis 250 m2 EBF.
	14 / m2 EBF	-	Ab 250 m2 EBF. Jahresmitteltemperatur am Standort < 7,3° C (Ausser bei bivalentem Einsatz). Maximal 200'000 CHF inkl. Beitrag für Wärmeverteilung.	20 / m2 EBF	-	Ab 250 m2 EBF. Maximal CHF 200'000 inkl. Beitrag für Heizungsersatz
Luzern	4'000	-	Bis 15 kW	1'600	40	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m2 EBF
	2'500	100	Ab 15 kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m2 EBF.			
Nidwalden	2'000	100	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m2 EBF.	1'600	40	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m2 EBF.
Obwalden	6'000	-	Bis 20 kW pauschal, nachher fallweise Beurteilung. Maximal CHF 25'000.	-	-	Keine Fördermassnahmen zur Erstinstallation eines Wärmeverteilungssystems

Kanton	Elektroheizungsersatz (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			Erstinstallation einer Wärmeverteilung		
	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen
Schaffhausen	4'000	150	Ein-/Zweifamilienhaus. Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	3'000	-	Einfamilienhaus
	7'000	150	Mehrfamilienhaus (ab 3 Wohnungen). Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	5'000	-	Mehrfamilienhaus (ab 3 Wohnungen)
	7'000	150	Nichtwohnbauten. Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	5'000	-	Nichtwohnbauten
Schwyz	4'000	200	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF	3'000	-	-
Solothurn	4'000	150	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF. Ab CHF 100'000 individuelle Förderung.	1'600	40	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
St. Gallen	2'800	-	Bis 20 kW th	5'000	-	Einfamilienhaus
	1'600	60	Ab 20 kW th	2'500/ Wohnung	-	Mehrfamilienhaus, Maximal 20'000. Bei übrigen Gebäuden CHF 1'600 + CHF 40 je kW th.

Kanton	Elektroheizungsersatz (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			Erstinstallation einer Wärmeverteilung		
	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen
Thurgau	4'000	150	Ein-/Zweifamilienhäuser. Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF. Maximale Vorlautemperatur 50°C.	4'000	-	Einfamilienhaus
	6'000	150	MFH ab 3 Wohnungen. Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF. Maximale Vorlautemperatur 50°C.	2'500/ Wohnung	-	Mehrfamilienhaus (ab 3 Wohnungen)
	6'000	150	Nichtwohnbauten. Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF. Maximale Vorlautemperatur 50°C.	4'000	-	Nichtwohnbauten
Uri	3'000	60	Leistungsabhängiger Beitrag ab 20 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	10'000	-	-
Wallis	9'000		Einfamilienhaus	10'000	-	Einfamilienhaus
	45 / m ² EBF		Mehrfamilienhaus, andere Gebäudekategorien. Maximal CHF 200'000 pro Gebäude.	50 / m ² EBF	-	Mehrfamilienhaus, andere Gebäudekategorien. Maximal CHF 200'000 pro Gebäude.

Kanton	Elektroheizungsersatz (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			Erstinstallation einer Wärmeverteilung		
	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen
Zürich	5'000	-	Bis 15 kW th.	1'600	40	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF. Beitrag maximal 50% der massnahmenbedingten Gesamtinvestitionen
	5'000	60	Ab 15 kW th. Leistungsabhängiger Beitrag ab 15 kW thermischer Nennleistung: Für jedes weitere kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF. Beitrag maximal 50% der massnahmenbedingten Gesamtinvestitionen			
Zug	8'500	-	Bis 30 kW th	-	-	Keine Fördermassnahmen zur Erstinstallation eines Wärmeverteilungssystems.
	4'000	150	Ab 30 kW th. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.			
Genf	3'000	400	Bis 50 kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	3'000	400	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
	13'000	200	Ab 50 kW. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.			
Jura	3'000	50	Beiträge für Holzheizung. Nur Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpen, Fernwärme sowie Holzfeuerungsanlagen sind förderberechtigt. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	1'600	40	Beiträge gelten in Kombination mit einem Heizungsersatz durch eine Holzheizung. Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.

Kanton	Elektroheizungsersatz (Luft-Wasser-Wärmepumpe)			Erstinstallation einer Wärmeverteilung		
	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen	Pauschalbetrag [CHF]	Leistungsabhängiger Betrag [CHF kW _{th} ⁻¹]	Bemerkungen
Neuenburg	3'500	150	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.	2'000	100	Bemessung Förderbeitrag maximal 50 W/m ² EBF.
Waadt	7'500	-	Bis 20 kW.	10'000	-	Einfamilienhaus (100 - 400 m ²)
	-	375	Ab 20 kW.	-	500	Andere Gebäude
Tessin	7'000	180	Bis 15 kW.	5'000	100	-

Anhang B

Übersicht über Sanierungspflichten und Ersatzverbote von Elektroheizungen der einzelnen Kantone.

Kanton	Verbot Neuinstallation	Ersatzverbot (mit Wasserverteilsystem)	Ersatzverbot (ohne Wasserverteilsystem)	Sanierungspflicht (mit Wasserverteilsystem)	Enddatum Frist mit Wasserverteilsystem (Jahr)	Sanierungspflicht (ohne Wasserverteilsystem)	Enddatum Frist ohne Wärmeverteilsystem (Jahr)
AG	X	X					
AI	X	X					
AR	X	X					
BE	X	X		X	2032	X	2032
BL	X	X		X	2031	X	2031
BS	X	X		X	2032	X	2032
FR	X	X					
GL	X	X		X	2037		
GR	X	X					
LU	X	X		X	2034		
NW	X	X		X	2035		
OW	X	X		X	2033		
SG	X	X					
SH	X	X		X	2020	X	2035
SO	X	X				X	2030
SZ	X	X		X	2050		
TG	X	X		X	2035		
UR	X	X					
VS	X	X					
ZH	X	X	X	X	2030	X	2030
ZG	X	X					
GE	X	X					
JU	X	X					
NE	X	X		X	2030	X	2030
VD	X	X	X				
TI	X	X		X	2037		

Anhang C

Berechnet Förderbeiträge für den Heizungsersatz einer Elektroheizung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (10 kW förderbare Leistung) inkl. Erstinstallation einer Wärmeverteilung.

Kanton	Förderbeitrag [CHF]
Aargau	8135
Appenzell Ausserrhoden	12860
Appenzell Innerrhoden	4175
Basel-Landschaft	12950
Basel-Stadt	15388
Bern	10500
Freiburg	12963
Glarus	6975
Graubünden	8500
Luzern	5990
Nidwalden	4965
Obwalden	6000
Schaffhausen	7000
Schwyz	8950
Solothurn	7453
St. Gallen	7800
Thurgau	8000
Uri	13000
Wallis	19'000
Zürich	6990
Zug	8500
Genf	13'800
Jura	5478
Neuenburg	7936
Waadt	17'500
Tessin	15'218