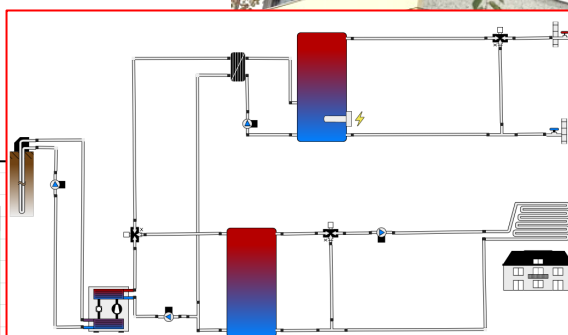
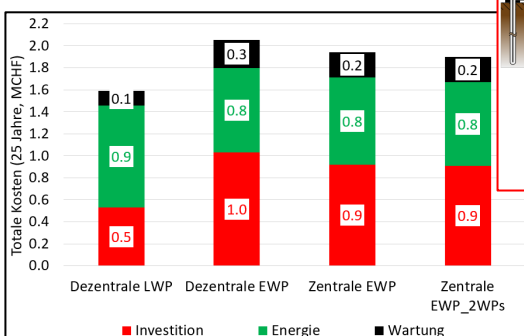


Wärmepumpenlösungen für die Dekarbonisierung bestehender Gebäude – 5 Fallstudien

Fünf reale und archetypische Gebäude in der Schweiz wurden ausgewählt und analysiert, um verschiedene Wärmepumpenlösungen für den Ersatz fossiler Heizungssysteme zu vergleichen. In Zusammenarbeit mit dem Umsetzungspartner Scheco AG wurden die Ergebnisse in Factsheets zusammengefasst. Die Factsheets können Gebäudeeigentümern, Planern und Behörden bei der Auswahl von Varianten unterstützen.

Factsheet	Seite
Factsheet 1 - Altbau aus den 1940er Jahren	1
Factsheet 2 - Mehrgeschossiges Gebäude aus den 1960er Jahren	6
Factsheet 3 - Hochhaus aus den 1960er Jahren	11
Factsheet 4 - Mehrfamilienhaus aus den 1970er Jahren	16
Factsheet 5 - Gebäudekomplex aus fünf MFHs	21



Wärmepumpensysteme für bestehende Mehrfamilienhäuser

Fallstudie 1 - Altbau aus den 1940er Jahren

GEBÄUDEEIGENSCHAFTEN

Das Mehrfamilienhaus befindet sich im Stadtzentrum von Lausanne und hat eine Mischnutzung (Geschäfte im Erdgeschoss und Wohnungen darüber). Es verfügt über fünf Wohngeschosse und ein zurückgesetztes Attikageschoss für insgesamt 24 Wohnungen. Unter dem flachen Walmdach befindet sich ein unbeheiztes Dachgeschoss. Die Fassade des Erdgeschosses ist mit Kunststeinplatten verkleidet. Die Fenster wurden in der Vergangenheit saniert. Lediglich die Fensterrahmen der Geschäfte im Erdgeschoss sind vollständig erhalten. Die Fenster sind mit strukturierten Kunststein-elementen eingerahmt. Die Zementplatten der Loggien liegen auf den massiven Aussenwänden auf. Die Brüstungen sind gemauert. Energie für die Raumheizung und das Warmwasser wird mit einem Ölkessel bereitgestellt, welcher im Keller des Gebäudes installiert ist. Die Wärmeverteilung für die Raumheizung erfolgt mit Heizkörpern. Das Gebäude befindet sich in der Nähe eines bestehenden Fernwärmenetzes.



GEBÄUDE-STECKBRIEF



Baujahr	1939
Standort	Lausanne (Kanton Waadt)
Energiebezugsfläche	2445 m ²
Gebäudekategorie (SIA 380/1)	Wohnen (85%), Gewerbe (15%)
Berechneter Heizwärmebedarf	230 MWh/a (94 kWh/m ² a)
Berechneter Warmwasserbedarf	66 MWh/a (27 kWh/m ² a)
Heizungsanlage	Ölheizung
Wärmeabgabe	Heizkörper

Dachboden/Dach

Vier Dachgeschosswohnungen mit Flachwalmdach

Aussenwand

Verputzte Betonhohlsteine (ca. 35 cm)

Aussen

Loggia, Betondecke, massiv verputztes Mauerwerksgeländer mit eisernem Handlauf

Wohnungen

20 Wohnungen verteilt auf 5 Etagen

Gewerbefläche

Im Erdgeschoss befinden sich Geschäfte

GEBÄUDEHÜLLE - Sanierungsstrategie

Die architektonischen Merkmale der Fassade, der Loggien und des zurückgesetzten Dachbodens erschweren die Installation einer Aussendämmung ohne starke Veränderung des Erscheinungsbildes des Gebäudes. Als Sanierung für die Aussenwand wird das Anbringen eines dünnen Dämmputzes vorgeschlagen, um die architektonische Qualität des Gebäudes zu erhalten. Das Unterdach und die Kellerdecke können hingegen maximal gedämmt und die Fenster ausgetauscht werden.

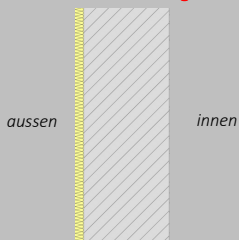
Die bestehende Struktur des Unterdachs wird 200 mm gedämmt, was nach der Sanierung einen gesamten U-Wert von 0,14 W/m²K ergibt. Die Kellerdecke wird gedämmt (120 mm), um einen U-Wert von 0,22 W/m²K zu erreichen.

Die Aussenwand der Wohnungen wird aussen mit einem zusätzlichen mineralischen Dämmputz von 40 mm ausgestattet, während die Aussenwände des Sockels innen (90 mm) isoliert werden. Alle Fenster werden durch dreifachverglaste Fenster mit Holzrahmen ersetzt.

Aussenwand (Wohnungen)

U-Wert vor der Sanierung: 1.22 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.65 W/m²K



Mineralischer Dämmputz (40 mm)

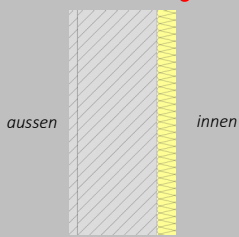
Zement-Hohlblöcke (340 mm)

Gipsputz (7 mm)

Aussenwand (Sockel)

U-Wert vor der Sanierung: 1.19 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.26 W/m²K



Kunststeinplatte (40 mm)

Zement-Hohlblöcke (340 mm)

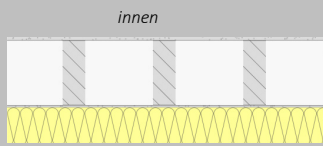
Dämmung (90 mm)

Dampfsperre

Decke des Kellers

U-Wert vor der Sanierung: 0.98 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.22 W/m²K



Fliesen (12 mm)

Hourdis-Decke (210 mm)

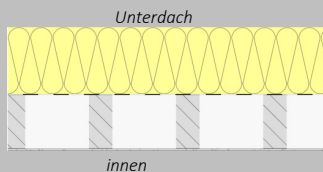
Gipsputz (7 mm)

Isolierung (120 mm)

Unterdach

U-Wert vor der Sanierung: 1.01 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.14 W/m²K



Dämmung (200 mm)

Dampfsperre

Hourdis-Decke (160 mm)

Gipsputz (7 mm)

Fenster der Wohnungen

U_g vor der Sanierung: 1.1 W/m²K

U_f vor der Sanierung: 2.0 W/m²K

g vor der Sanierung: 0.55

U_g nach der Sanierung: 0.6 W/m²K

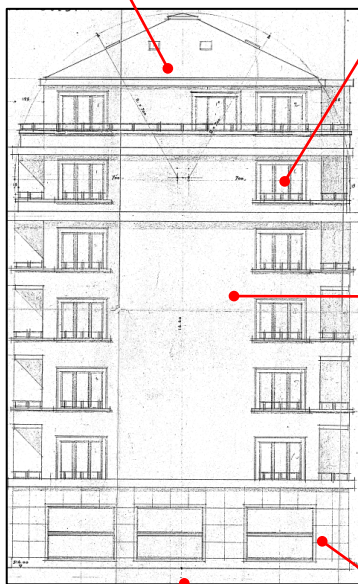
U_f nach der Sanierung: 1.1 W/m²K

g nach der Sanierung: 0.67

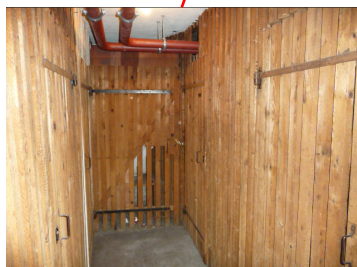
Unterdach*



Fenster der Wohnungen*



Aussenwand der Wohnungen*



Decke gegen Unbeheizt*



Sockel der Aussenwand*

*Ist-Zustand (vor der Sanierung)

HEIZUNGSKONZEPT - Definition der Heizungsvarianten

Um die direkten CO₂-Emissionen der bestehenden Heizungsanlage für die Raumheizung (RH) und die Warmwasserbereitung (WW) zu reduzieren, wurden zwei Varianten untersucht:

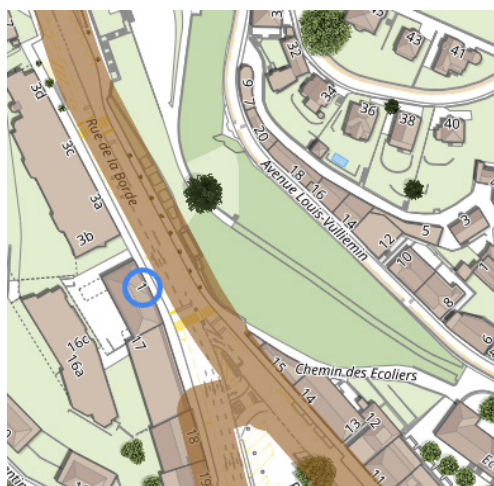
- Fernwärme (FW): Das bestehende Fernwärmenetz wird genutzt, um das Gebäude mit Energie für die Raumheizung und das Warmwasser zu versorgen;
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (LWP): RH und Warmwasser werden mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe erzeugt.

Die Installation einer Luft-Wasser-WP wurde nur für den Fall einer thermischen Sanierung der Gebäudehülle berücksichtigt. Bei allen Varianten wird von einem Austausch der vorhandenen Heizkörper durch neue Heizkörper ausgegangen. Die Vorlauftemperatur der Heizung wird dem Zustand der Gebäudehülle angepasst. Da das Bohren von Erdsonden am Standort nicht zulässig ist, wurden Erdwärmepumpen als Heizvariante nicht berücksichtigt. Details zu den verschiedenen Heizvarianten sind im Anhang beschrieben. Die Wahl der Heizungsvarianten ist das Ergebnis eines Vorgesprächs mit den HLK-Partnern.

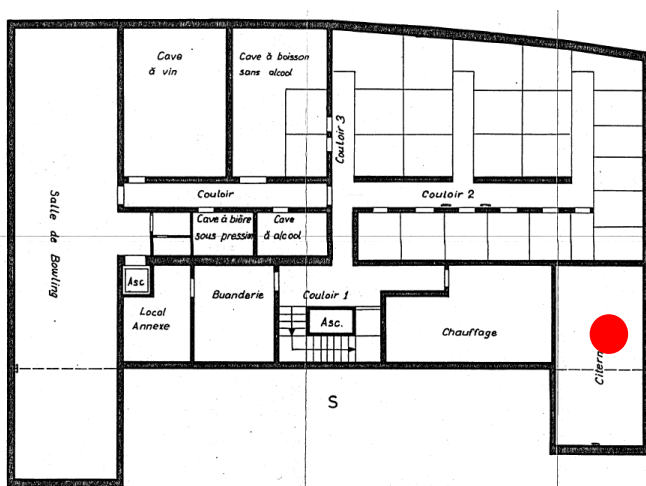
	Gebäudehülle nicht saniert RH / WW [kWh/m ² a]: 94 / 27	Gebäudehülle saniert RH / WW [kWh/m ² a]: 36 / 27	
Heizvarianten	FW	LWP	FW
COP _{nom} /Kapazität WP _{max} (bei A2/W35) *	-	3.9 / 93 kW (38 W/m ²)	-
Bezug Fernwärme	150 kW (61 W/m ²)	-	70 kW (29 W/m ²)
Speichervolumen für WW/RH	2500 l / -	2500 l / 3500 l	2500 l / -
Strombedarf (kWh/m ² a) **	-	19	-
Energiebedarf aus dem FW-Netz (kWh/m ² a)	122	-	65

* aus Datenblättern realer Wärmepumpen entnommen

** Strombedarf der Heizungsanlage (Wärmepumpen + Umwälzpumpen)



Das Gebäude (blau eingekreist) befindet sich neben einem bestehenden Fernwärmenetz, weswegen die Fernwärme als mögliche Variante für das Gebäude in Betracht gezogen wird. Alle Annahmen (z. B. Temperaturen, Tarife usw.) basieren auf Angaben des Netzbetreibers.



Positionierung des Rückkühlers Luft-Wasser-Wärmepumpe: Aufgrund der Dachkonstruktion und der Lage des Gebäudes ist eine Aussenaufstellung ebenerdig oder auf dem Dach nicht möglich. Die WP kann im Keller anstelle des Öltanks installiert werden (siehe roter Punkt). Eine solche Lösung wurde bereits in ähnlichen Gebäuden umgesetzt.

Annahmen

- Finanzielle Zuschüsse nicht berücksichtigt;
- Die Kosten für den Austausch vorhandener Heizkörper sind nicht enthalten;
- In den Stromkosten ist nur der Stromverbrauch der Heizungsanlage enthalten;
- Konstanter Strompreis von 0.25 CHF/kWh;
- Jährlicher Unterhalt: 1% der Investitionskosten;
- Analyse über 25 Jahre.

Investitionskosten

Gebäudehülle nicht saniert (nur Heizung)

- Fernwärme (FW): 140 kCHF (57 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert (Heizungsanlage plus Gebäudehülle)

- LWP: 2.7 Mio. CHF (1092 CHF/m²)
- FW: 2.3 Mio. CHF (956 CHF/m²)

Strom-/Energiekosten (pro Jahr)

Gebäudehülle nicht saniert

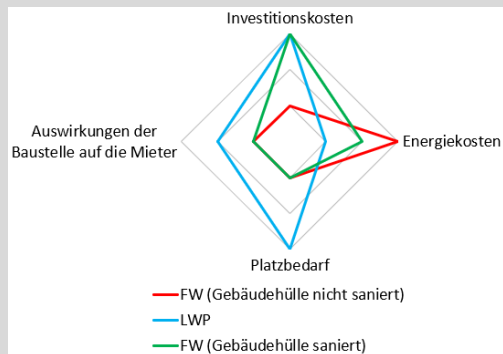
- FW: 41.8 kCHF (17 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert

- LWP: 11.5 kCHF (5 CHF/m²)
- FW: 22.2 kCHF (9 CHF/m²)

Radardiagramm zum Vergleich der Heizungsvarianten:

Die Variante "FW" ist die Variante mit den geringsten Investitionskosten (140 kCHF) und den höchsten Energiekosten (ca. 42 kCHF). Da bei der Variante "FW" nur ein Wärmetauscher im Heizungsraum installiert werden muss, ist der Platzbedarf wesentlich geringer als bei der Variante "LWP", bei den zusätzlichen Komponenten benötigt werden (z.B. Speicher, Wärmepumpe, Luftkühler usw.).

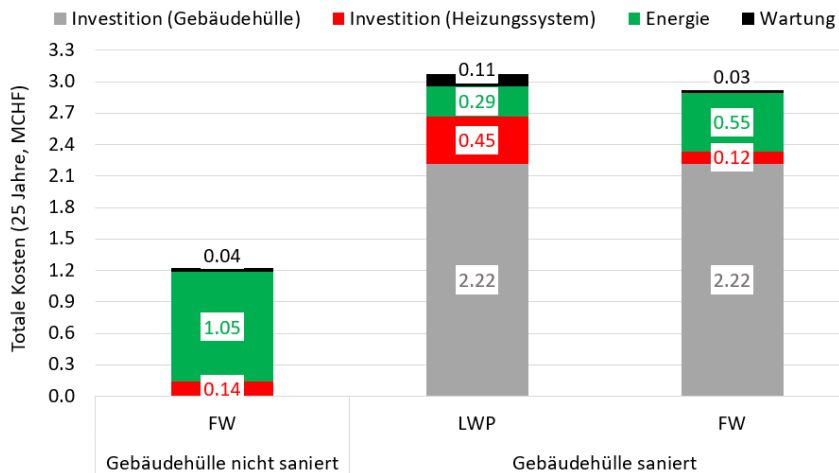
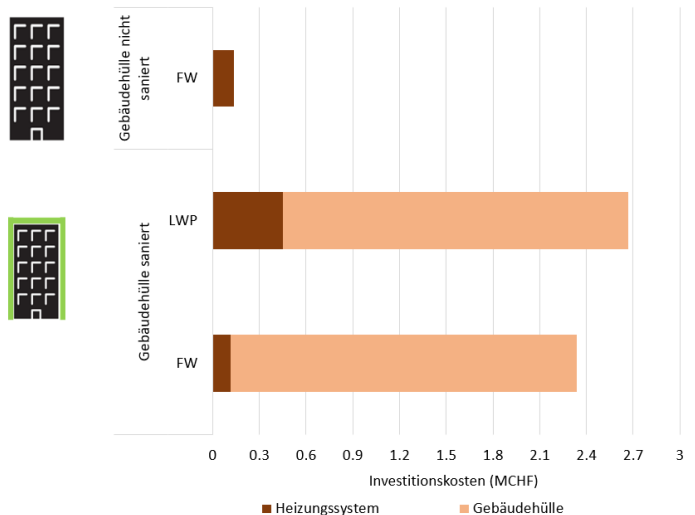


WIRTSCHAFTLICHKEIT

Um alle analysierten Varianten vergleichen zu können, wurde mit Hilfe von Energie-Simulationen eine Analyse über 25 Jahre durchgeführt. Unten zeigt das erste Diagramm für jede Variante die Gesamtinvestitionskosten, während das zweite Diagramm die Gesamtkosten über 25 Jahre für Investition, Energie und Wartung zeigt.

Wird die Variante "FW" in Betracht gezogen, fallen die Investitionskosten für die Heizungsanlage etwas höher aus (+16 %), falls die Gebäudehülle nicht saniert wird. Bei einer sanierten Gebäudehülle betragen die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle ca. 85-95 % der Gesamtinvestitionskosten. Hervorzuheben ist, dass hier die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle auf groben Annahmen beruhen und mit grossen Unsicherheiten behaftet sind.

Über 25 Jahre betrachtet haben die beiden Varianten "LWP" und "FW" (bei sanierter Gebäudehülle) mit ca. 3 Mio. CHF in etwa gleich hohe Kosten.



EMPFEHLUNG

Am Standort des Gebäudes, das in dieser Fallstudie analysiert wurde, wurde für den nicht sanierten Fall bei der Umstellung der Wärmeerzeugung von fossiler auf erneuerbare Energie nur der Anschluss an eine Fernwärme untersucht. Im Falle einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle reduzieren sich der Heizwärmebedarf des Gebäudes und die Energiekosten der Heizungsanlage, obwohl die Gesamtkosten höher sind. Ein weiterer Vorteil der Sanierung der Gebäudehülle wird eine Erhöhung der thermischen Behaglichkeit für die Bewohner sein. Die höheren Investitionskosten der LWP-Variante werden teilweise durch die geringeren Energiekosten im Vergleich zur Fernwärme-Variante ausgeglichen. Es resultieren vergleichbare Gesamtkosten für beide Varianten. Die Fernwärme zeichnet sich durch einen geringeren Platzbedarf und eine geringe Systemkomplexität im Vergleich zu einem Heizungssystem auf Basis von Wärmepumpen aus. Darüber hinaus könnte der Raum, in dem der eigentliche Öltank installiert ist, für andere Nutzungen frei gemacht werden. Es ist wichtig hervorzuheben, dass die Kostenbewertungen auf groben Annahmen basieren, die grösseren Unsicherheiten unterliegen.

Anhang

Gebäudesimulation – Eingaben und Annahmen

Um den jährlichen Raumwärmebedarf des Gebäudes zu bewerten, wurde das dynamische Mehrzonen-Simulationstool IDA ICE (Indoor Climate and Energy) eingesetzt. Beide Fälle (d.h. mit und ohne Sanierung der Gebäudehülle) wurden modelliert und simuliert. Es wurden Klimadaten von Pully (SIA 2028) ausgewählt, während Daten aus der nationalen Norm SIA 2024 für die Modellierung der internen Wärmegevinne des Gebäudes (Personen, Licht und Geräte) verwendet wurden. Es wurde eine Solltemperatur von 22 °C mit "idealem" Heizsystem gewählt. Für das gesamte Gebäude wurde eine konstante Luftinfiltrationsrate von 0,5 h⁻¹ angenommen. Da keine detaillierten Informationen über den Warmwasserbedarf des Gebäudes verfügbar sind, wurden Annahmen auf der Grundlage nationaler Normen und Erfahrungen getroffen.

Ökonomische Analyse – Eingaben und Annahmen

Um die verschiedenen Varianten vergleichen zu können, wurde eine wirtschaftliche Analyse durchgeführt. Die Bewertung der Investitionskosten (für jede Heizungsvariante und für die Sanierung der Gebäudehülle) erfolgte unter Einbeziehung von HLK-Partnern und Architekten. Bei den Investitionskosten für die Heizungsanlage wurden die Kosten für den Austausch der Heizkörper nicht berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde unter der Annahme einer Lebensdauer von 25 Jahren durchgeführt. Es wurde ein konstanter Strompreis von 0.25 CHF/kWh und Wartungskosten von 1%/Jahr der Investitionskosten berücksichtigt. Bei der Bewertung der Stromkosten wurde der Stromverbrauch für Licht und Geräte des Gebäudes nicht berücksichtigt. Finanzielle Zuschüsse (für die Sanierung der Gebäudehülle oder die Installation von Wärmepumpensystemen) wurden nicht berücksichtigt.

Simulation der Heizungsvarianten

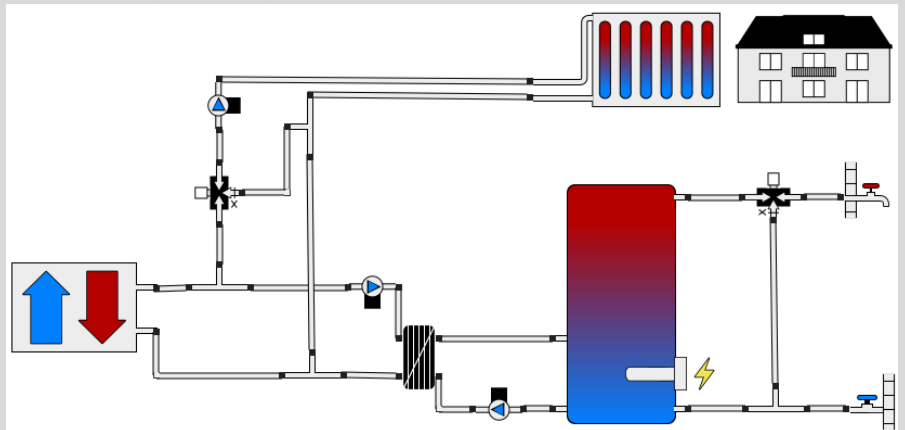
Die verschiedenen Heizvarianten wurden mit Hilfe der Software POLYSUN simuliert. Die Heizungsvarianten, die gemeinsam mit HLK-Partnern definiert und modelliert wurden, sind rechts schematisch dargestellt. Das System der Variante "LWP" ist mit zwei Speichern für Warmwasser (2500 l) und Raumheizung (3500 l) ausgestattet.

Die Solltemperatur für die Raumheizung basiert auf einer Heizkurve in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (55 °C bei einer Aussen-temperatur von -8 °C).

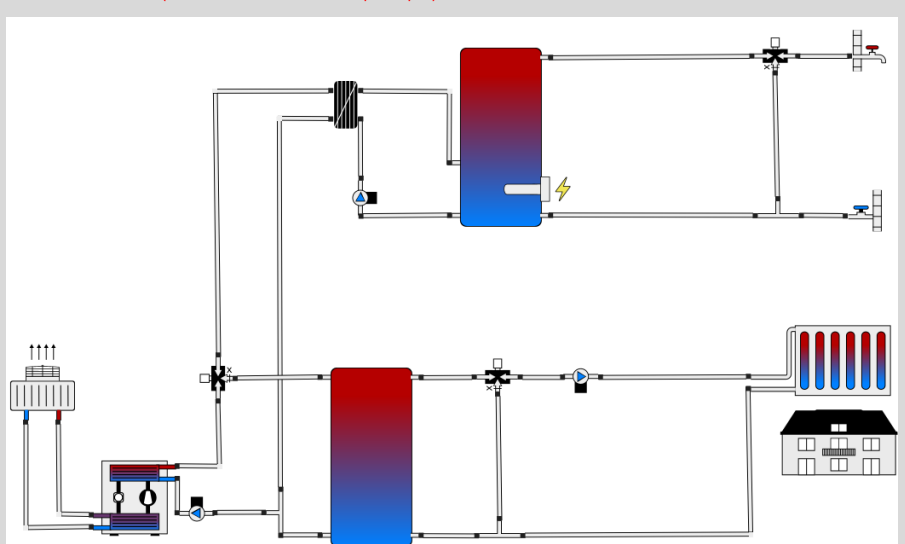
Die Variante "FW" verfügt nur über einen Speicher für Warmwasser mit einem Volumen von 2500 l.

Schemas der Heizungsvarianten

Variante "FW" (Fernwärme)



Variante "LWP" (Luft/Wasser-Wärmepumpe)

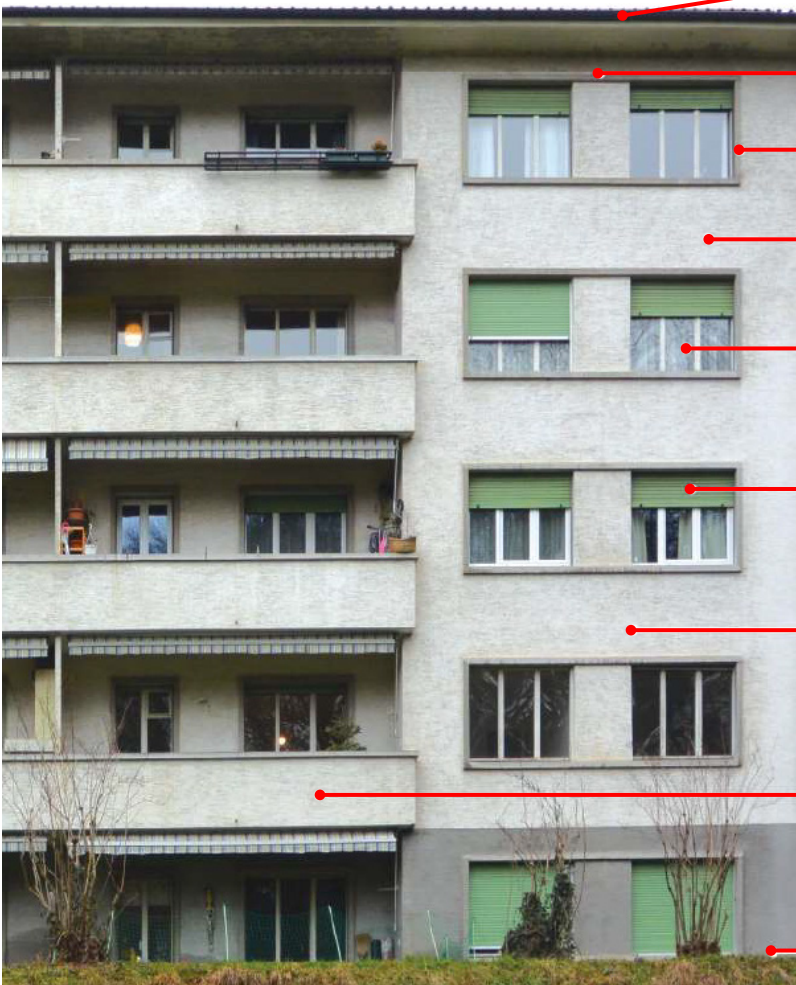


Wärmepumpensysteme für bestehende Mehrfamilienhäuser

Fallstudie 2 – Mehrgeschossiges Gebäude aus den 1960er Jahren

GEBÄUDEEIGENSCHAFTEN

Das freistehende Mehrfamilienhaus befindet sich in einem Vorort von Lausanne am Rande einer grossen Grünanlage und ist Teil eines Ensembles von Wohngebäuden aus der Nachkriegszeit. Das Gebäude verfügt über achtzehn Wohnungen (vier Wohnungen pro Etage), wobei sich zwei Wohnungen im Erdgeschoss befinden. Das Treppenhaus befindet sich auf der Nordostseite und ist grossflächig mit Einfachverglasung in Metallrahmen verglast. Der Dachgeschossraum unter dem Flachwalmdach ist ungenutzt und unbeheizt. Die 30 cm starken, verputzten Aussenwände bestehen aus einem tragenden, aussenliegenden Mauerwerkständer, einer Luftschicht und einer innenliegenden Vorblendschale aus Mauerwerk. Einige der Fenster aus der Bauzeit sind erhalten geblieben und bestehen aus Holzrahmen mit doppelter Einfachverglasung. Rollläden mit innen-liegenden Jalousiekästen dienen als Sonnenschutz. Das Heizsystem besteht aus einem Ölkessel, der Wärme für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung erzeugt. Die Energie für die Raumheizung wird über Heizkörper an die beheizten Räume abgegeben.



GEBÄUDE-STECKBRIEF



Baujahr	1960
Standort	Lausanne (Kanton Waadt)
Energiebezugsfläche	1475 m ²
Gebäudekategorie (SIA 380/1)	Wohnbau
Berechneter Raumwärmebedarf	133 MWh/a (90 kWh/m ² a)
Berechneter Warmwasserbedarf	40 MWh/a (27 kWh/m ² a)
Heizungsanlage	Ölheizung
Wärmeabgabe	Heizkörper

Dach

Flachwalmdach mit Ziegeleindeckung und Dachüberstand

Decke des Obergeschosses

Hourdis Decke

Festereinfassung

Kunststein

Geschoss Decke

Hourdis Decke

Fenster

Holzrahmen, Doppelverglasung

Sonnenschutz

Rollläden mit innenliegendem Jalousiekasten

Aussenwand

Ziegelmauerwerk mit Luftschicht verputzt und innere Vorblendschale (ca. 30 cm stark)

Aussenbereich

Loggia, Betonplatte auf Aussenwänden aufliegend, verputzte Mauerwerksbrüstung

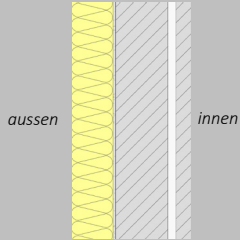
Kellerdecke

Hourdis Decke

Aussenwand (Wohnungen)

U-Wert vor der Sanierung: 0.65 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.16 W/m²K



Isolationsschicht (160 mm)

Putz (10 mm)

Hohlziegelmauerwerk (200 mm)

Luftschicht (30 mm)

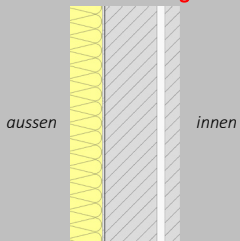
Ziegelmauerwerk (60 mm)

Gipsputz (7 mm)

Aussenwand (Balkone)

U-Wert vor der Sanierung: 0.65 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.24 W/m²K



Isolationsschicht (100 mm)

Putz (10 mm)

Hohlziegelmauerwerk (200 mm)

Luftschicht (30 mm)

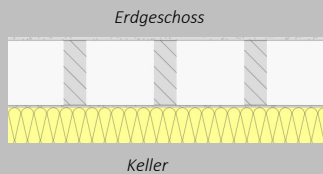
Ziegelmauerwerk (60 mm)

Gipsputz (7 mm)

Kellerdecke

U-Wert vor der Sanierung: 1.06 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.31 W/m²K



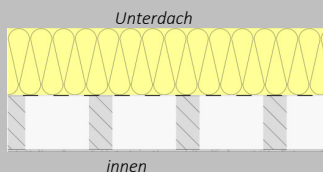
Isolierung (120 mm)

Hourdis Decke mit Betonbalken (250 mm)

Unterdach

U-Wert vor der Sanierung: 0.3 W/m²K

U-Wert nach der Sanierung: 0.11 W/m²K



Isolierung (260 mm)

Dampfsperre

Isolierung 100 mm (ausgebaut)

Hourdis Decke mit Betonbalken (210 mm)

Gipsputz (7 mm)

Fenster der Wohnungen

U_g - Wert vor der Sanierung: 1.1 W/m²K

U_f - Wert vor der Sanierung: 1.9 W/m²K

g vor der Sanierung: 0.75

U_g - Wert nach der Sanierung: 1.0 W/m²K

U_f - Wert nach der Sanierung: 1.1 W/m²K

g nach der Sanierung: 0.6

GEBÄUDEHÜLLE - Sanierungsstrategie

Die einfache Kubatur des Gebäudes ermöglicht eine Aussendämmung unter Beibehaltung der charakteristischen Merkmale. Die charakteristischen Kunststeinrahmen der Fenster werden durch isolierte Glasfaserbetonelemente ersetzt.

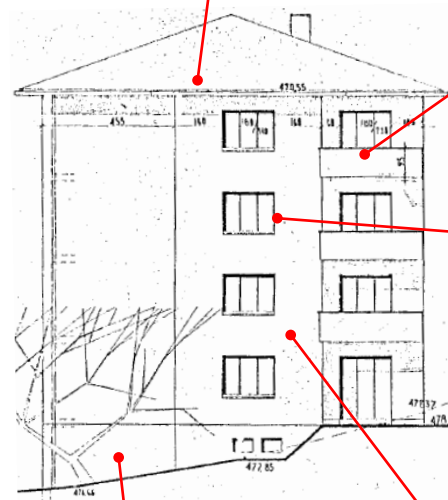
Die bestehende Dämmschicht des Daches wird entfernt und durch eine neue Dämmschicht von 260 mm ersetzt, was nach der Sanierung einen Gesamt-U-Wert von 0.11 W/m²K ergibt. Die Aussenwand der Wohnungen wird aussen mit einer zusätzlichen Dämmschicht von 160 mm ausgestattet, während die Aussenwände der Balkone mit einer Schicht von 100 mm nach aussen gedämmt werden. Alle Fenster werden durch zweifachverglaste Fenster mit Holzrahmen ersetzt.

Da sich im Erdgeschoss des Gebäudes Technikräume und Wohnungen befinden, wird die Kellerdecke mit einer Schicht von 120 mm gedämmt, um einen U-Wert von 0.31 W/m²K zu erreichen.

Unterdach*



Balkone*



Fenster der Wohnungen*



Keller / Wohnungen im Erdgeschoss*

*Ist-Zustand (vor der Sanierung)



Aussenwand*

HEIZUNGSKONZEPT - Definition von Heizvarianten

Um die direkten CO₂-Emissionen der bestehenden Heizungsanlage für die Raumheizung (RH) und die Warmwasserbereitung (TWE) zu reduzieren, wurden zwei Varianten untersucht:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe (LWP): Die RH- und TWE-Vorbereitung wird mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe abgedeckt;
- Erd-Wasser-Wärmepumpe (EWP): Die Aufbereitung von RH und TWE wird mit einer Boden-Wasser-Wärmepumpe abgedeckt.

Die beiden Varianten wurden für beide Gebäudehüllenzustände (d.h. nicht saniert und saniert) berücksichtigt.

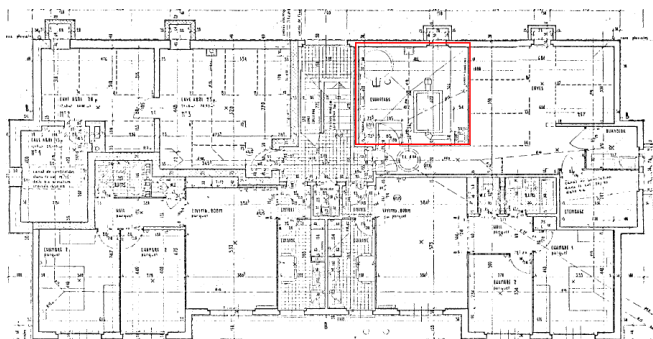
Bei allen Varianten wird der Austausch der vorhandenen Heizkörper durch neue Heizkörper in Betracht gezogen und die Vorlaufwassertemperatur für die Heizung in Abhängigkeit vom Zustand der Gebäudehülle eingestellt.

Da es in diesem Gebiet kein Fernwärmenetz gibt, wurde diese Option in dieser Analyse nicht als Wärmevariante berücksichtigt. Details zu den verschiedenen Heizvarianten sind im Anhang beschrieben. Die Wahl der Heizungsvarianten ist das Ergebnis eines Vorgesprächs mit den HLK-Partnern.

	Gebäudehülle nicht saniert RH / WW [kWh/m ² a]: 90 / 27		Gebäudehülle saniert RH / WW [kWh/m ² a]: 29 / 27	
Heizvariante	LWP	EWP	LWP	EWP
COP _{nom} /Leistung _{nom} Wärmepumpe*	4.2 / 2 x 39 kW (@ A2/W35)	4.3 / 67 kW (@ B0/W35)	4.2 / 30 kW (@ A2/W35)	4.3 / 36 kW (@ B0/W35)
Anzahl und Länge der Erdsonden	-	8 x 240 m	-	4 x 240 m
Speichervolumen WW/RH	1000 l / 2000 l	1000 l / 2000 l	1000 l / 1500 l	1000 l / 1500 l
Strombedarf (kWh/m ² a)**	43	36	18	14

* aus Datenblättern realer Wärmepumpen entnommen

** Strombedarf der Heizungsanlage (Wärmepumpen + Umwälzpumpen)



Das Gebäude (schwarzer Punkt) befindet sich in einem Bereich (grüner Bereich im Bild), in dem Erdsonden erlaubt sind.

Ein entscheidender Aspekt für die Varianten "LWP" und "EWP" ist die Positionierung des Luftkühlers (bei "LWP") und der Erdsonden (bei "EWP"). Gemeinsam mit einem HLK-Partner wurde entschieden, diese Komponenten extern (siehe Schraffur) in einer Grünfläche zu installieren, in der ausreichend Platz für diese Komponenten zur Verfügung steht. Die aussen zu installierenden Komponenten können dadurch nahe dem Technikraum platziert werden (siehe roter Kasten).

Annahmen

- Finanzielle Zuschüsse nicht berücksichtigt;
- Die Kosten für den Austausch vorhandener Heizkörper sind nicht enthalten;
- In den Stromkosten ist nur der Stromverbrauch der Heizungsanlage enthalten;
- Konstanter Strompreis von 0.25 CHF/kWh;
- Jährlicher Unterhalt: 1% der Investitionskosten;
- Lebensdauer der Wärmepumpe: 25 Jahre;
- Analyse über 25 Jahre.

Investitionskosten

Gebäudehülle nicht saniert (nur Heizung)

- LWP: 270 kCHF (183 CHF/m²)
- EWP: 390 kCHF (264 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert (Heizungsanlage plus Gebäudehülle)

- LWP: 1.52 MCHF (1030 CHF/m²)
- EWP: 1.60 MCHF (1085 CHF/m²)

Strom-/Energiekosten (pro Jahr)

Gebäudehülle nicht saniert

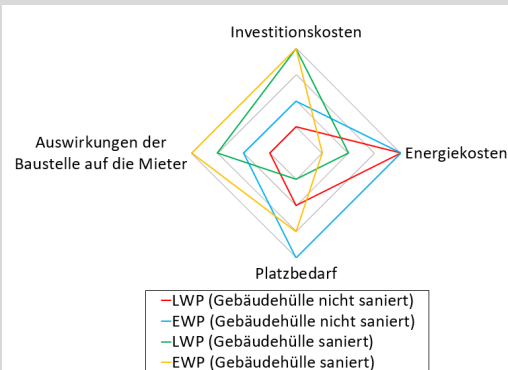
- LWP: 16 kCHF (11 CHF/m²)
- EWP: 13 kCHF (9 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert

- LWP: 6 kCHF (4 CHF/m²)
- EWP: 5 kCHF (3 CHF/m²)

Radardiagramm zum Vergleich der Heizungsvarianten:

Die Variante "LWP" (für nicht sanierte Gebäudehülle) ist die Variante mit den geringsten Anfangsinvestitionskosten und den höchsten Anfangsenergiekosten. Da bei den "LWP"-Varianten Aussengeräte mit wenig Platzbedarf installiert werden, ist dieser geringer als bei der "EWP"-Varianten, bei denen Erdsonden benötigt werden.

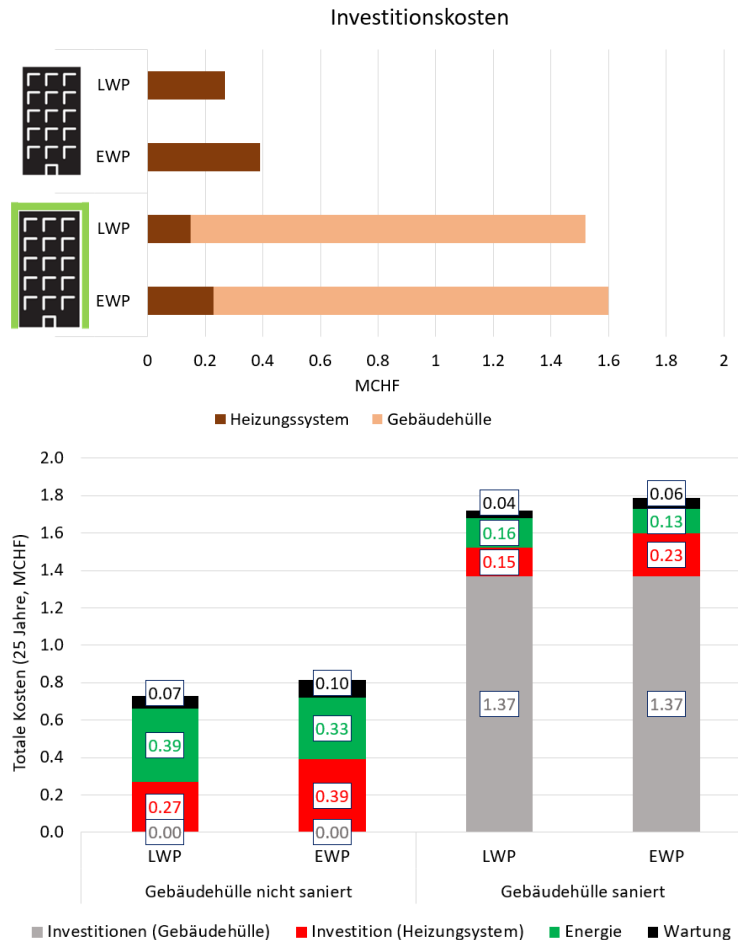


WIRTSCHAFTLICHKEIT

Um alle analysierten Varianten vergleichen zu können, wurde eine ökonomische Analyse über 25 Jahre durchgeführt. Das erste Diagramm unten zeigt für jede Variante die Gesamtinvestitionskosten, während das zweite Diagramm die Gesamtkosten (über 25 Jahre) für Investition, Energie und Wartung zeigt.

Wird die Gebäudehülle nicht saniert, sind die Investitionskosten für die Heizungsanlage höher (um ca. 40 %) als bei einer Sanierung der Gebäudehülle. Mit Sanierung der Gebäudehülle betragen die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle selbst ca. 85 - 90 % der Gesamtinvestitionskosten. Die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle beruhen auf groben Annahmen und sind mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Über 25 Jahre haben die Varianten "LWP" und "EWP" vergleichbare Gesamtkosten mit ca. 0.8 MCHF (bei nicht sanierter Gebäudehülle) und 1.8 MCHF (bei sanierter Gebäudehülle).



EMPFEHLUNG

Unabhängig davon, ob die Gebäudehülle saniert wird, zeigen die Gesamtkosten, dass die LWP- und die EWP-Variante vergleichbare Gesamtkosten aufweisen. Im Falle einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle reduzieren sich der Heizwärmebedarf des Gebäudes und die Energiekosten der Heizungsanlage, obwohl die Gesamtkosten höher sind. Weitere Vorteile der Sanierung der Gebäudehülle sind ein erhöhter thermischer Komfort für die Bewohner und ein geringerer Strombedarf der Wärmepumpe im Winter, wenn in Zukunft höhere Strompreise zu erwarten sind. Die höheren Investitionskosten der EWP-Variante werden zum Teil durch die im Vergleich zur LWP-Variante geringeren Energiekosten für beide Varianten ausgeglichen. Betrachtet man den Netzbezug und die Kosten für den eingekauften Strom, bringt der höhere COP der EWP weitere Vorteile gegenüber der LWP-Variante, da die EWP im Winter einen geringeren Strombedarf aufweisen. Andererseits zeichnet sich die LWP-Variante durch einen geringeren Platzbedarf und eine geringe Systemkomplexität im Vergleich zu einem Heizungssystem auf Basis von Erdsonden-Wärmepumpen aus. Es ist wichtig hervorzuheben, dass die Kostenbewertungen auf groben Annahmen basieren, die grösseren Unsicherheiten unterliegen.

Anhang

Gebäudesimulation – Eingaben und Annahmen

Zur Bewertung des jährlichen Raumwärmebedarfs des Gebäudes wurde das dynamische Mehrzonen-Simulationstool IDA ICE (Indoor Climate and Energy) eingesetzt. Beide Fälle (d.h. mit und ohne Sanierung der Gebäudehülle) wurden simuliert. Es wurden Klimadaten von Pully (SIA 2028) ausgewählt, während Daten aus der nationalen Norm SIA 2024 für die Modellierung der internen Wärmegevinne des Gebäudes (Personen, Licht und Geräte) verwendet wurden. Es wurde eine Solltemperatur von 22 °C mit "idealem" Heizsystem gewählt. Für das gesamte Gebäude wurde eine konstante Luftinfiltrationsrate von 0.5 h⁻¹ angenommen. Da keine detaillierten Informationen über den WW-Bedarf des Gebäudes verfügbar sind, wurden Annahmen auf der Grundlage nationaler Normen und Erfahrungen getroffen.

Ökonomische Analyse – Eingaben und Annahmen

Um die verschiedenen Varianten vergleichen zu können, wurde eine wirtschaftliche Analyse durchgeführt. Die Bewertung der Investitionskosten (für jede Heizungsvariante und für die Sanierung der Gebäudehülle) erfolgte unter Einbeziehung von HLK-Partnern und Architekten. Bei den Investitionskosten für die Heizungsanlage wurden die Kosten für den Austausch der Heizkörper nicht berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde unter der Annahme einer Lebensdauer von 25 Jahren durchgeführt. Es wurde ein konstanter Strompreis von 0.25 CHF/kWh und Wartungskosten von 1%/Jahr der Investitionskosten berücksichtigt. Bei der Bewertung der Stromkosten wurde der Stromverbrauch für Licht und Geräte des Gebäudes nicht berücksichtigt. Finanzielle Zuschüsse (für die Sanierung der Gebäudehülle oder die Installation von Wärmepumpensystemen) wurden nicht berücksichtigt.

Simulation von Heizungsvarianten

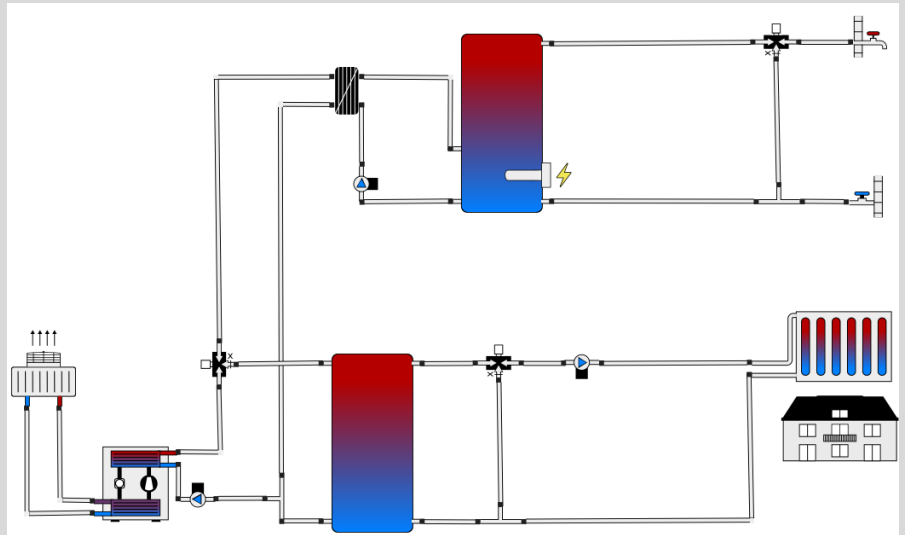
Die verschiedenen Heizvarianten wurden mit Hilfe der Software POLYSUN simuliert. Die Heizungsvarianten, die gemeinsam mit HLK-Partnern definiert und modelliert wurden, sind rechts schematisch dargestellt.

Das System ist mit einem Speicher für WW von 1000 l und einem zweiten Speicher für die Raumheizung von 2000 l (1500 l bei saniertem Gebäudehülle) ausgestattet. Das Heizsystem ist mit einem Dreiwegeventil ausgestattet, um die Wärmepumpe für die Raumheizung oder die Aufbereitung von TWE zu aktivieren.

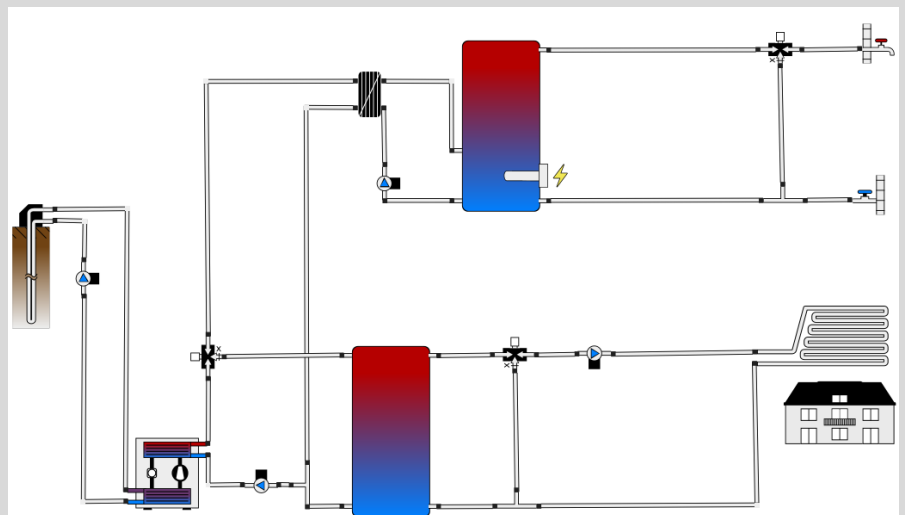
Die Solltemperatur für die Raumheizung basiert auf einer Heizkurve in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (40 °C bei einer Aussen-temperatur von -8 °C bei saniertem Gebäudehülle). Die Vorlauftemperatur wird bei der nicht sanierten Gebäudehülle um 20 K erhöht.

Schemata der Heizungsvarianten

Variante "LWP" (Luft-Wasser-Wärmepumpe)



Variante "EWP" (Erdsonden-Wärmepumpe)



Wärmepumpensysteme für bestehende Mehrfamilienhäuser

Fallstudie 3 – Hochhaus aus den 1960er Jahren

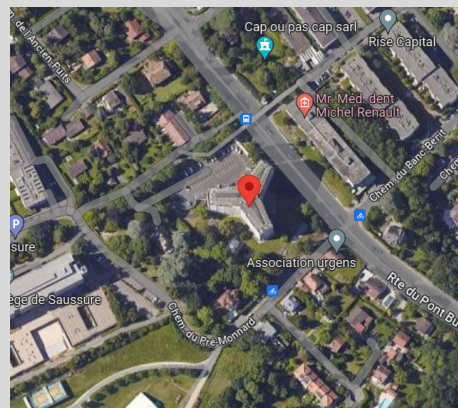
GEBÄUDEEIGENSCHAFTEN

Das Gebäude in der Gemeinde Lancy im Kanton Genf ist ein Hochhaus aus den 1960er Jahren. Es zeichnet sich durch eine atypische Form und eine gemischte Nutzung aus (Büros in den ersten beiden Etagen und Wohnungen in den anderen acht Etagen). Das 41 m hohe Gebäude verfügt über 105 Wohnungen und 14 Büros. Im Erdgeschoss befindet sich eine öffentliche Bibliothek. Die Vorhangfassaden (Fenster und Brüstungen) in Metallbauweise des ersten und zweiten Obergeschosses wurden in den vergangenen Jahren saniert, ebenso die Glasfassade der Bibliothek.

Die Heizungsanlage, die im Keller des Gebäudes installiert ist, besteht aus zwei Gasbrennwertkesseln (2 x 609 kW), die Wärme für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung erzeugen. Beide Kessel sind mit einem grossen Speicher verbunden. Vom Speicher aus wird die Wärme über drei Hauptverteiler an das gesamte Gebäude verteilt. Das System ist mit zwei zusätzlichen Behältern für Warmwasser (jeweils mit einem Volumen von 1 m³) ausgestattet. Die Energie für die Raumheizung wird über Einrohrheizkörper, die unter den Fenstern installiert sind, in die beheizten Räume abgegeben.



GEBÄUDE-STECKBRIEF



Baujahr	1963
Standort	Lancy (Kanton Genf)
Energiebezugsfläche	13860 m ²
Gebäudekategorie (SIA 380/1)	Wohnen (86%), Verwaltung (14%)
Berechneter Raumwärmebedarf	1005 MWh/a (72 kWh/m ² a)
Berechneter Warmwasserbedarf	261 MWh/a (19 kWh/m ² a)
Heizungsanlage	Gasheizung (kondensierend)
Wärmeabgabe	Heizkörper

Dach

Flachdach aus Beton mit Isolierung, Bitumenabdichtung und Kies bedeckt

Dachboden

Aussenwand

Fenster mit Holz-Metall-Rahmen, vorfabrizierte Fensterbrüstungen aus Beton

Wohnungen

Acht Etagen mit Wohnungen

Büros

Im ersten und zweiten Obergeschoss befinden sich Büros

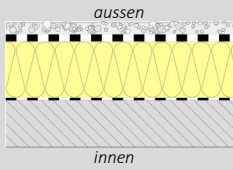
Gemischte Nutzung

Öffentliche Bibliothek im Erdgeschoss

Dach

U vor der Sanierung: 0.72 W/m²K

U nach der Sanierung: 0.14 W/m²K

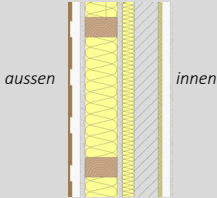


Kies (50 mm)
 Abdichtung (30 mm)
 Isolierung EPS (240 mm)
 Dampfsperre (10 mm)
 Beton (200 mm)
 Putz (5 mm)

Aussenwand

U vor der Sanierung: 0.98 W/m²K

U nach der Sanierung: 0.14 W/m²K

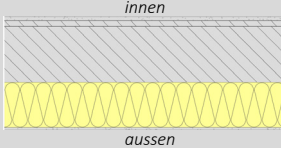


Fassadenverkleidung (20 mm)
 Unterbau (40 mm)
 Winddichtung (0 mm)
 Fermacell (25 mm)
 Insul. Mineralwolle / Holzstruktur (160 mm)
 Fermacell (25 mm)
 Insul. Mineralwolle (60 mm)
 Beton (120 mm)
 Insul. Mineralwolle (20 mm)
 Luft (40 mm)
 Putz (15 mm)

Boden gegen Umgebung

U vor der Sanierung: 2.10 W/m²K

U nach der Sanierung: 0.18 W/m²K

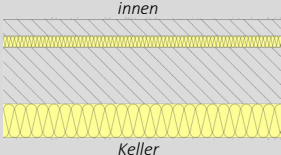


Parkett (15 mm)
 Zementestrich (20 mm)
 Beton (200 mm)
 Insul. Mineralwolle (160 mm)
 Putz (10 mm)

Boden gegen Unbeheizt

U vor der Sanierung: 2.10 W/m²K

U nach der Sanierung: 0.18 W/m²K



Teppich (10 mm)
 Zementestrich (60 mm)
 Isolierung. EPS (40 mm)
 Beton (200 mm)
 Insul. Mineralwolle (120 mm)
 Putz (10 mm)

Fenster der Wohnungen

U_w vor der Sanierung: 2.9 W/m²K

g vor der Sanierung: 0.8

U_w nach der Sanierung: 1.1 W/m²K

g nach der Sanierung: 0.5

GEBÄUDEHÜLLE - Sanierungsstrategie

In den vergangenen Jahren wurden nur die ersten beiden Geschosse saniert, wobei die Vorhangfassadenverkleidung ausgetauscht wurde. Um den Energiebedarf des Gebäudes zu senken, müssen das Dach, die Fensterbrüstungen und -wände der Ebenen 3 bis 8 sowie die Böden zu nicht beheizten Räumen oder zur Umgebung saniert werden. Die bestehende Dachkonstruktion soll zusätzlich mit 240 mm EPS isoliert (durch eine Abdichtungsschicht geschützt) und mit Kies bedeckt, was nach der Sanierung einen Gesamt-U-Wert von 0,14 W/m²K ergibt. Die Aussenwand wird mit einem zusätzlichen vorgefertigten Modul aufgewertet, das aus einer Holzstruktur und einer Gesamtdämmung von ca. 220 mm Mineralwolle besteht, die zu Brandschutzzwecken mit einer Fermacell-Gipsfaserplatte ummantelt ist, und neue Fenster mit einem U-Wert von 1.1 W/m²K. Die Böden gegen Umgebung oder unbeheizte Räume werden zusätzlich mit Mineralwolle (160 mm bzw. 120 mm) isoliert, um einen U-Wert von 0.18 W/m²K zu erreichen.

In der linken Spalte sind die Hüllkonstruktionen vor (nur Schichten in schwarz) und nach der Sanierung (alle Schichten) dargestellt.

Dach*



Aussenwand der Wohnungen*

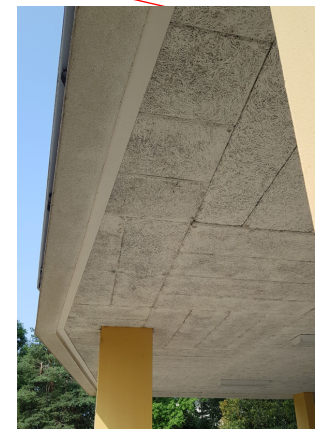


Fenster der Wohnungen*



Decke gegen Unbeheizt*

* Ist-Zustand (vor der Sanierung)



Boden gegen Umgebungstemperatur*

HEIZUNGSKONZEPT - Definition der Heizungsvarianten

Um die direkten CO₂-Emissionen der bestehenden Heizungsanlage für die Raumheizung (RH) und die Warmwasserbereitung (WW) zu reduzieren, wurden drei Varianten untersucht:

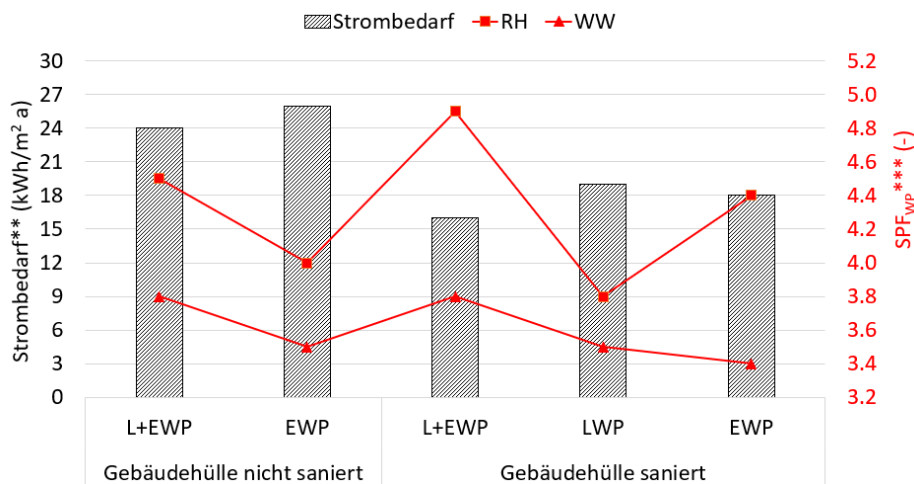
- Luft- + Erdsonden-Wärmepumpe (L+EWP): RH und Warmwasser werden mit zwei separaten Wärmepumpen abgedeckt. Als Wärmequelle wird ein Luft-Wärmetauscher in Reihe mit den Erdsonden installiert. Die Aussenluft kann im Sommer zur Regeneration von Erdsonden eingesetzt werden;
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (LWP): RH und WW werden mit zwei Luft/Wasser-Wärmepumpen abgedeckt;
- Erdsonden-Wärmepumpen (EWP): RH and WW werden mit zwei Erdsonden-Wärmepumpen bereitgestellt.

Für zwei Fälle wurden die beiden Heizungsvarianten "L+EWP" und "EWP" definiert: Gebäudehülle nicht saniert und saniert nach dem Sanierungskonzept. Die Variante "LWP" wurde nur für den Fall in Betracht gezogen, dass die Gebäudehülle saniert wird. Bei allen Varianten wurde der Austausch der bestehenden Heizkörper durch neue Heizkörper vorausgesetzt und die Vorlaufwassertemperatur in Abhängigkeit vom Zustand der Gebäudehülle eingestellt.

Bei allen Varianten werden Wärmepumpe mit CO₂ (R744) als Kältemittel eingeplant. Dieses Kältemittel hat viele positive Aspekte (geringe Toxizität, natürliches Kältemittel, GWP = 1), aber die Rücklauftemperatur (d. h. die Vorlauftemperatur im Kondensator) muss niedrig genug sein (gleich oder niedriger als 35 °C), damit die Wärmepumpe effizient arbeiten kann.

Fernwärme wurde in dieser Analyse nicht als Variante berücksichtigt, da keine Anschlussmöglichkeit vorhanden ist. Details zu den verschiedenen Heizvarianten sind im Anhang beschrieben.

	Gebäudehülle nicht saniert Raumheizung / WW [kWh/m ² a]: 72 / 19		Gebäudehülle saniert Raumheizung / WW [kWh/m ² a]: 42 / 19		
Heizvarianten	L+EWP	EWP	L+EWP	LWP	EWP
COP HP*	3.0 (@ B0/W60)	3.0 (@ B0/W60)	3.3 (@ B0/W55)	2.2 (@ A-4/W55)	3.3 (@ B0/W55)
Leistung der WP*	2 x 260 kW (37 W/m ²)	2 x 260 kW (37 W/m ²)	2 x 175 kW (25 W/m ²)	2 x 175 kW (25 W/m ²)	2 x 175 kW (25 W/m ²)
Erdsonden	40 x 300 m (0.9 m/m ²)	100 x 300m (2.2 m/m ²)	30 x 300 m (0.6 m/m ²)	-	50 x 300 m (1.1 m/m ²)
Rückkühler LWP	500 kW (36 W/m ²)	-	240 kW (17 W/m ²)	240 kW (17 W/m ²)	-
Strombedarf (kWh/m ² a)**	24	26	16	19	18



- * Angaben aus Datenblättern realer Wärmepumpen
- ** Strombedarf der Heizungsanlage (Wärmepumpen + Umwälzpumpen)
- *** Saisonale Leistungszahl der Wärmepumpe ($Q_{cond} / Q_{el,compr}$)

Annahmen

- Finanzielle Zuschüsse nicht berücksichtigt;
- Die Kosten für den Ersatz bestehender Heizkörper sind in der Analyse enthalten (541 kCHF);
- In den Stromkosten ist nur der Stromverbrauch der Heizungsanlage enthalten;
- Lebensdauer der Wärmepumpe: 25 Jahre
- Konstanter Strompreis von 25 Rp./kWh;
- Jährlicher Unterhalt: 1% der Investitionskosten;
- Analyse über 25 Jahre.

Investitionskosten der Varianten

Gebäudehülle nicht saniert (nur Heizung)

- L+EWP: 2.9 MCHF (212 CHF/m²)
- EWP: 4.2 MCHF (306 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert (Heizungsanlage plus Gebäudehülle)

- L+EWP: 13.3 MCHF (962 CHF/m²)
- LWP: 12.7 MCHF (919 CHF/m²)
- EWP: 13.6 MCHF (984 CHF/m²)

Stromkosten (pro Jahr)

Gebäudehülle nicht saniert

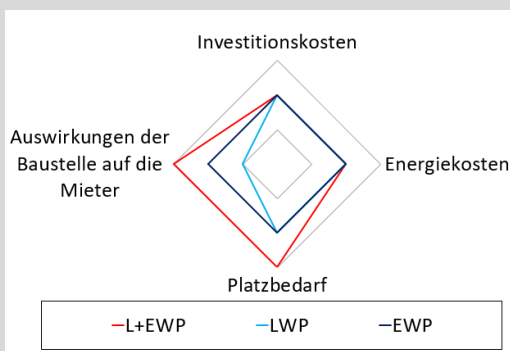
- L+EWP: 82 kCHF (5.9 CHF/m²)
- EWP: 89 kCHF (6.4 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert

- L+EWP: 56 kCHF (4.1 CHF/m²)
- LWP: 65 kCHF (4.7 CHF/m²)
- EWP: 62 kCHF (4.4 CHF/m²)

Radardiagramm zum Vergleich der Heizungsvarianten (Fall: Gebäudehülle saniert):

Da die Kosten mit grossen Unsicherheiten behaftet sind und die Differenzen unter 15 % liegen, haben die drei Varianten die gleichen Kostenbewertung in der Radarkarte. Da keine Bohrungen für Erdsonden erforderlich sind, hat die Variante "LWP" im Vergleich zu den beiden anderen Varianten die geringsten Auswirkungen auf die Mieter.

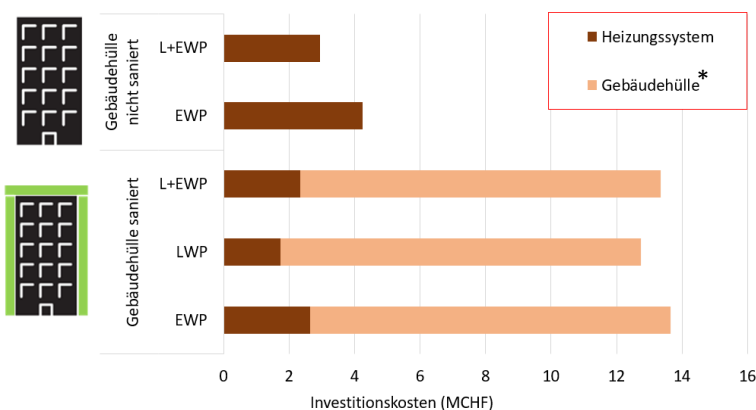


WIRTSCHAFTLICHKEIT

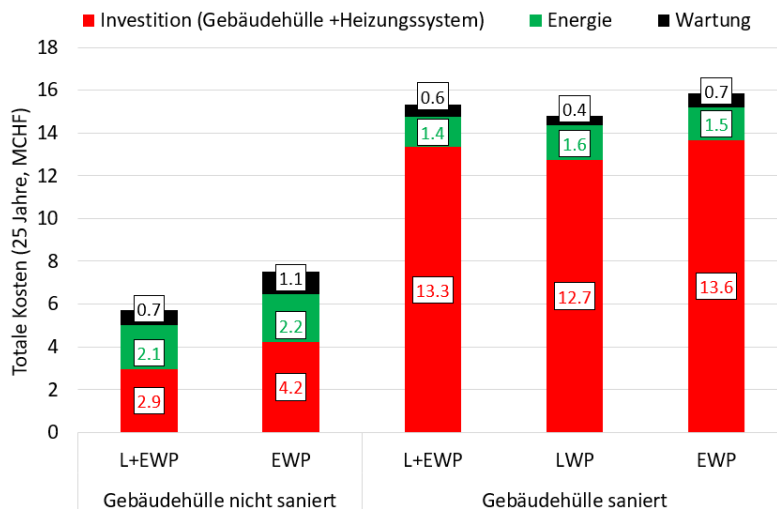
Um alle analysierten Varianten vergleichen zu können, wurde eine ökonomische Analyse über 25 Jahre durchgeführt. Das erste Diagramm zeigt die Gesamtinvestitionskosten für jede Variante, während das zweite Diagramm die Gesamtkosten (über 25 Jahre) für Investition, Energie und Wartung zeigt.

Wenn die Gebäudehülle nicht saniert wird, sind die Investitionskosten für die Heizungsanlage aufgrund der grösseren Wärmepumpen und mehr Erdsonden erwartungsgemäss höher. Bei der sanierten Gebäudehülle betragen die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle ca. 80 – 85 % der gesamten Investitionskosten. Hervorzuheben ist, dass hier die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle auf groben Annahmen beruhen und grossen Unsicherheiten unterliegen.

Über 25 Jahre hat die Variante «L+EWP» (bei nicht sanierter Gebäudehülle) mit 5,7 MCHF die geringsten Gesamtkosten.



* Kosten für Solarpanels nicht eingerechnet



EMPFEHLUNG

Für den Fall, dass die Gebäudehülle nicht saniert wird, stellt die A+EWP-Variante die attraktivste Finanzierungsvariante dar, wie die obigen Diagramme zeigen. Im Falle einer Sanierung der Gebäudehülle sind die geschätzten Gesamtkosten über 25 Jahre für die drei analysierten Varianten sehr ähnlich. Im Falle einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle reduzieren sich der Heizwärmebedarf des Gebäudes und die Energiekosten der Heizungsanlage, obwohl die Gesamtkosten höher sind. Weitere Vorteile der Sanierung der Gebäudehülle sind ein erhöhter thermischer Komfort für die Bewohner und ein geringerer Strombedarf der Wärmepumpe im Winter, wenn in Zukunft höhere Strompreise zu erwarten sind. Es ist wichtig hervorzuheben, dass die Kostenbewertungen auf groben Annahmen basieren, die grösseren Unsicherheiten unterliegen.

Wärmepumpensysteme für bestehende Mehrfamilienhäuser

Fallstudie 4 - Mehrfamilienhaus aus den 1970er Jahren

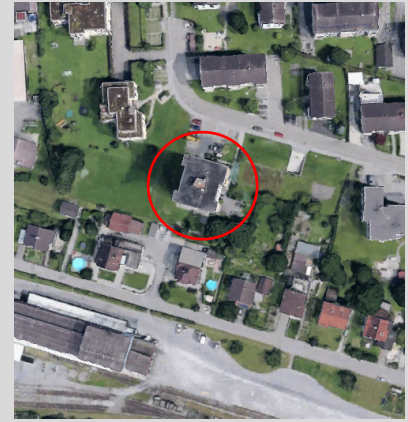
GEBÄUDEEIGENSCHAFTEN

Das Gebäude befindet im Kanton St. Gallen und stellt mit seinen zehn Stockwerken ein typisches Hochhaus aus den 1970er-Jahren dar. Das Gebäude verfügt über dreissig Wohnungen (drei Wohnungen pro Etage) mit Balkonen auf der Ost- und Westseite.

Das Dach und die Aussenwände bestehen aus Stahlbeton mit einer Dämmschicht von 6 cm bzw. 2 cm. Die Fenster bestehen aus Holzrahmen mit Doppelverglasung. Rollläden mit innenliegenden Jalousiekästen dienen als Sonnenschutz.

Das Heizsystem besteht aus einem Ölkessel mit einer Leistung von 240 kW, der Wärme für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung erzeugt. Die Energie für die Raumheizung wird über Heizkörper verteilt.

GEBÄUDE-STECKBRIEF



Baujahr	1971
Standort	Uznach (Kanton St. Gallen)
Energiebezugsfläche	3150 m ²
Gebäudekategorie (SIA 380/1)	Wohnanlage
Berechneter Heizwärmebedarf	276 MWh/a (88 kWh/m ² a)
Berechneter Warmwasserbedarf	60 MWh/a (19 kWh/m ² a)
Heizungsanlage	Ölheizung
Wärmeabgabe	Heizkörper



Dach

Flachdach aus Beton, 6 cm Isolierung mit einer PVC-Folie als Dacheindeckung

Fenster

Holzrahmen, Doppelverglasung

Sonnenschutz

Rollläden mit innenliegendem Jalousiekasten

Aussenwand

Konstruktion in Stahlbeton mit 2 cm Isolierung

Aussenbereich

Balkone auf der Ost- und Westseite

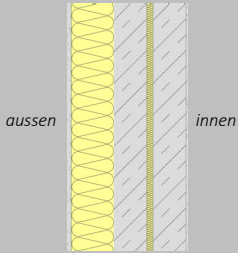
GEBÄUDEHÜLLE - Sanierungsstrategie

Um den Heizwärmebedarf des Gebäudes zu senken, müssen die bestehenden Aussenflächen (d.h. Dach, Wände und Fenster) saniert werden. Die einfache Kubatur des Gebäudes ermöglicht eine Aussendämmung unter Beibehaltung der charakteristischen Merkmale.

Auf dem Aussendach wird die vorhandene Dämmschicht (von 60 mm) entfernt und durch eine dickere Dämmschicht von 100 mm ersetzt, um den U-Wert der Konstruktion zu senken.

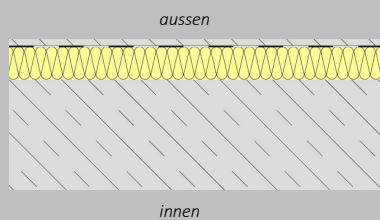
Da die Aussenwände in Sandwichbauweise (Beton/Dämmung/Beton) ausgeführt werden, bleibt die vorhandene Dämmschicht erhalten. Zusätzlich wird eine neue Dämmschicht von 120 mm an der Aussenseite der Wand aufgebracht, um einen U-Wert von $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen. Alle Fenster werden durch zweiverglaste Fenster mit Holzrahmen ersetzt, deren U-Wert von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesenkt wird.

Aussenwand
 U vor der Sanierung: $1.32 \text{ W/m}^2\text{K}$
 U nach der Sanierung: $0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$



- Putz (10 mm)
- Isolierung (120 mm)
- Stahlbeton (100 mm)
- Isolierung (20 mm)
- Stahlbeton (100 mm)
- Putz (10 mm)

Aussendach
 U vor der Sanierung: $0.46 \text{ W/m}^2\text{K}$
 U nach der Sanierung: $0.19 \text{ W/m}^2\text{K}$



- Dachziegel
- PVC-Folie
- Isolierung (60 mm) (entfernt)
- Isolierung (100 mm)
- Stahlbeton (250 mm))

Fenster
 U_g vor der Sanierung: $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 U_f vor der Sanierung: $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
 g vor der Sanierung: 0.80
 U_g nach der Sanierung: $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$
 U_f nach der Sanierung: $2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
 g nach der Sanierung: 0.45

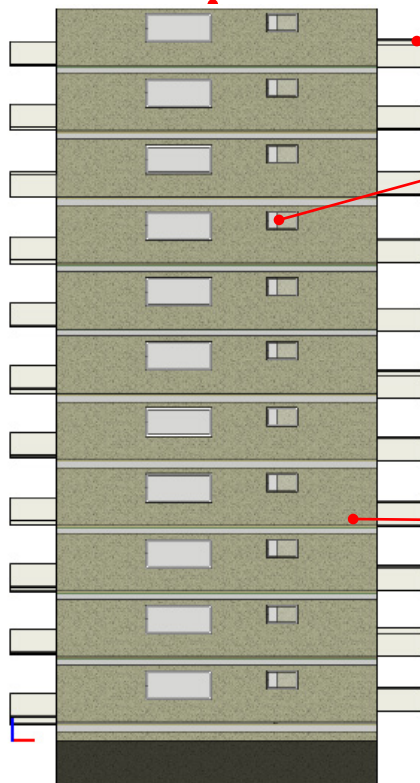
Dach*



Balkone*



Fenster der Wohnungen*



Aussenwand*

*actual status (before renovation)

HEIZUNGSKONZEPT - Definition der Heizungsvarianten

Um die direkten CO₂-Emissionen der bestehenden Heizungsanlage für die Raumheizung (RH) und die Warmwasserbereitung (WW) zu reduzieren, wurden zwei Varianten untersucht:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe (LWP): RH und Warmwasser werden mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe abgedeckt;
- Erdsonden-Wärmepumpe (EWP): RH und Warmwasser werden mit einer Erdsonden-Wärmepumpe abgedeckt.

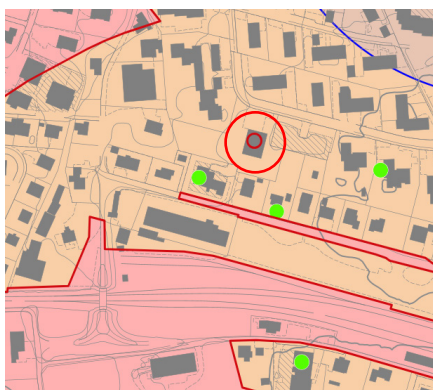
Variante "LWP" wurde nur für den Fall berücksichtigt, dass die Gebäudehülle saniert wird, während die "EWP"-Variante sowohl für die unsanierte als auch die sanierte Gebäudehülle untersucht wurde.

Bei allen Varianten werden die vorhandenen Heizkörper durch neue Heizkörper ersetzt und die Vorlauftemperatur der Heizung in Abhängigkeit vom Zustand der Gebäudehülle eingestellt. Da in diesem Gebiet kein Fernwärmenetz vorhanden ist, wurde diese Option in dieser Analyse nicht als Wärmevariante berücksichtigt. Details zu den verschiedenen Heizvarianten sind im Anhang beschrieben. Die Wahl der Heizungsvarianten ist das Ergebnis eines Vorgesprächs mit den HLK-Partnern.

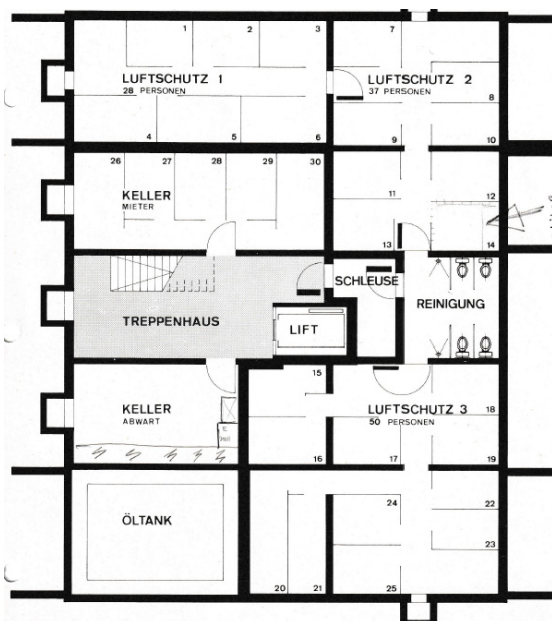
	Gebäudehülle nicht saniert RH / TWE [kWh/m ² a]: 88 / 19		Gebäudehülle saniert RH / TWE [kWh/m ² a]: 31 / 19	
Heizvarianten	EWP		EWP	LWP
COP _{nom} /Leistung _{nom} Wärmepumpe*	4.7 / 100 kW (bei B0/W35)		4.7 / 64 kW (bei B0/W35)	4.2 / 71 kW (bei A2/W35)
Anzahl und Länge der Erdungssonden	18 x 200 m		9 x 200 m	-
Speichervolumen für WW/RH	2000 l / 3500 l		2000 l / 3500 l	2000 l / 3500 l
Strombedarf (kWh/m ² a)**	33.5		13.3	14.2

* aus Datenblättern realer Wärmepumpen entnommen

** Strombedarf der Heizungsanlage (Wärmepumpen + Umwälzpumpen)



Das Gebäude (rot eingekreist) befindet sich in einem Gebiet (orangefarbener Bereich), in welchem Erdsonden nach einer hydrogeologischen Vorabklärung grundsätzlich zulässig sind. Vorhandene Erdsonden, siehe grüne Punkte.



Ein entscheidender Aspekt für Variante "LWP" ist die Positionierung des Rückkühlers, der ausserhalb des Gebäudes installiert wird. Gemeinsam mit einem HLK-Partner wurde als Installationsort eine Grünfläche ausgesucht (siehe schwarzer Punkt). Der Rückkühler kann somit neben dem Technikraum aufgestellt werden.



Annahmen

- Finanzielle Zuschüsse nicht berücksichtigt;
- Die Kosten für den Austausch vorhandener Heizkörper sind nicht enthalten;
- In den Stromkosten ist nur der Stromverbrauch der Heizungsanlage enthalten;
- Konstanter Strompreis von 25 Rp./kWh;
- Jährlicher Unterhalt: 1% der Investitionskosten;
- Lebensdauer der Wärmepumpe: 25 Jahre;
- Analyse über 25 Jahre.

Investitionskosten der Varianten

Gebäudehülle nicht saniert (nur Heizung)

- EWP: 540 kCHF (171 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert (Heizungsanlage plus Gebäudehülle)

- EWP: 3.5 MCHF (1108 CHF/m²)
- LWP: 3.3 MCHF (1063 CHF/m²)

Strom- / Energiekosten (pro Jahr)

Gebäudehülle nicht saniert

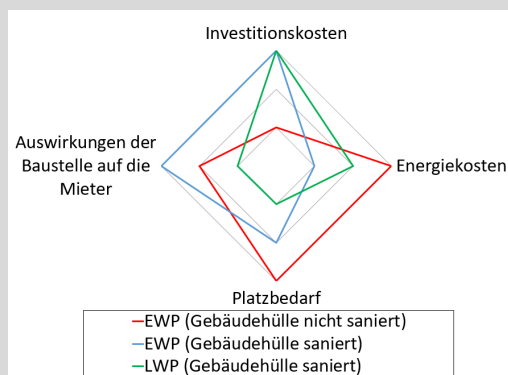
- EWP: 26 kCHF (8 CHF/m²)

Gebäudehülle saniert

- EWP: 10 kCHF (3 CHF/m²)
- LWP: 11 kCHF (4 CHF/m²)

Radardiagramm zum Vergleich der Heizungsvarianten:

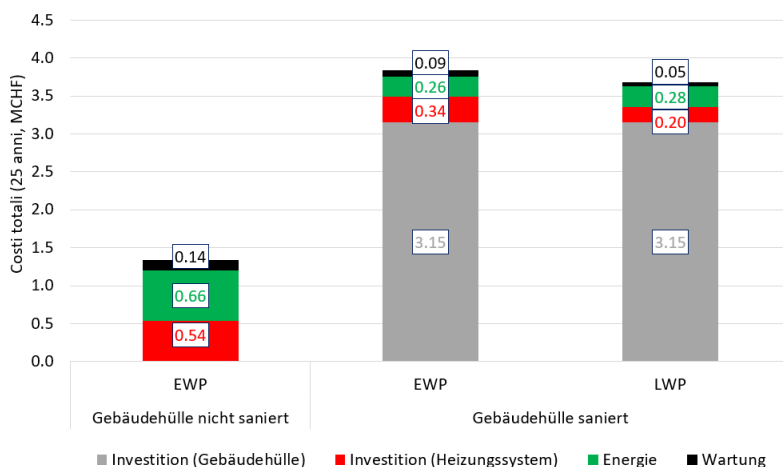
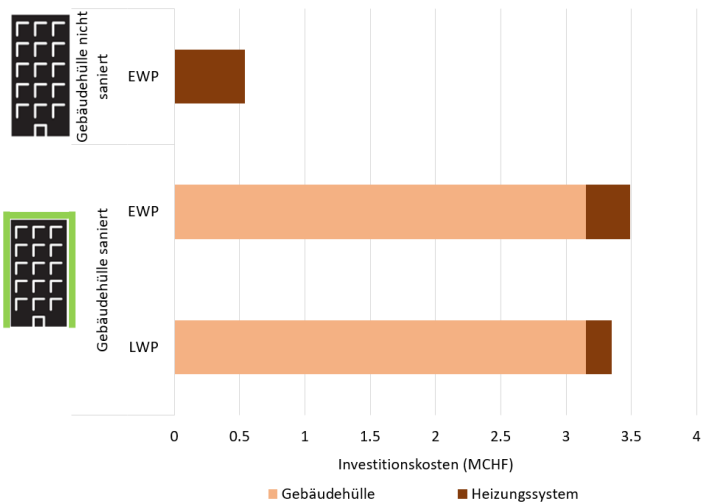
Die Variante "EWP" ohne Sanierung der Gebäudehülle ist naheliegenderweise die Variante mit den geringsten Investitionskosten und den höchsten Energiekosten. Da bei der "LWP"-Variante nur die externen Einheiten ausserhalb des Gebäudes installiert werden müssen, ist der Platzbedarf geringer als bei den "EWP"-Varianten, bei denen Erdsonden benötigt werden.



WIRTSCHAFTLICHKEIT

Für alle Varianten wurde eine ökonomische Analyse über 25 Jahre durchgeführt. Das erste Diagramm unten zeigt für jede Variante die Gesamtinvestitionskosten, während das zweite Diagramm die Gesamtkosten (über 25 Jahre) für Investition, Energie und Wartung zeigt. Wird die Gebäudehülle nicht saniert, sind die Investitionskosten für die Heizungsanlage höher als bei einer Sanierung der Gebäudehülle. Bei einer Sanierung der Gebäudehülle betragen die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle ca. 90-95% der Gesamtinvestitionskosten. Hervorzuheben ist, dass hier die Investitionskosten für die Sanierung der Gebäudehülle auf groben Annahmen beruhen und grossen Unsicherheiten unterliegen.

Über 25 Jahre haben die Varianten "LWP" und "EWP" bei einer Sanierung der Gebäudehülle ähnliche Gesamtkosten (ca. 3,8 MCHF).



EMPFEHLUNG

An dem Standort des Gebäudes, der in dieser Fallstudie analysiert wurde, ist für den nicht sanierten Fall nur eine EWP-Anlage technisch realisierbar, wenn die Wärmeerzeugung von fossiler auf erneuerbare Energie umgestellt wird.

Im Falle einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle reduzieren sich der Heizwärmebedarf des Gebäudes und die Energiekosten der Heizungsanlage, obwohl die Gesamtkosten höher sind. Weitere Vorteile der Sanierung der Gebäudehülle sind ein erhöhter thermischer Komfort für die Bewohner und ein geringerer Strombedarf der Wärmepumpe im Winter, wenn in Zukunft höhere Strompreise zu erwarten sind. Die höheren Investitionskosten der EWP-Variante werden zum Teil durch die im Vergleich zur LWP-Variante geringeren Energiekosten bei vergleichbaren Gesamtkosten für beide Varianten ausgeglichen. Betrachtet man die Netzlast und die Kosten für den eingekauften Strom, bringt der höhere COP des EWP weitere Vorteile gegenüber der LWP-Variante, da er im Winter einen geringeren Strombedarf aufweist.

Es ist wichtig hervorzuheben, dass die Kostenbewertungen auf groben Annahmen basieren, die grösseren Unsicherheiten unterliegen.

Anhang

Gebäudesimulation – Eingaben und Annahmen

Zur Bewertung des jährlichen Raumwärmebedarfs des Gebäudes wurde das dynamische Mehrzonen-Simulationstool IDA ICE (Indoor Climate and Energy) eingesetzt. Beide Fälle (d.h. mit und ohne Sanierung der Gebäudehülle) wurden simuliert. Es wurden Klimadaten von Zürich (SIA 2028) ausgewählt, während Daten aus der nationalen Norm SIA 2024 für die Modellierung der internen Wärmegevinne des Gebäudes (Personen, Licht und Geräte) verwendet wurden. Es wurde eine Solltemperatur von 22 °C mit "idealem" Heizsystem gewählt. Für das gesamte Gebäude wurde eine konstante Luftinfiltrationsrate von 0,5 h⁻¹ angenommen. Da keine detaillierten Informationen über den WW-Bedarf des Gebäudes verfügbar sind, wurden Annahmen auf der Grundlage nationaler Normen und Erfahrungen getroffen.

Ökonomische Analyse – Eingaben und Annahmen

Die Bewertung der Investitionskosten für jede Heizvariante und für die Sanierung der Gebäudehülle erfolgte unter Einbeziehung von HLK-Partnern und Architekten. Bei den Investitionskosten für die Heizungsanlage wurden die Kosten für den Austausch der Heizkörper nicht berücksichtigt. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde unter der Annahme einer Lebensdauer von 25 Jahren durchgeführt. Es wurde ein konstanter Strompreis von 25 Rp./kWh und Wartungskosten von 1%/Jahr der Investitionskosten berücksichtigt. Bei der Bewertung der Stromkosten wurde der Stromverbrauch für Licht und Geräte des Gebäudes nicht berücksichtigt.

Finanzielle Zuschüsse (für die Sanierung der Gebäudehülle oder die Installation von Wärmepumpensystemen) wurden nicht berücksichtigt.

Simulation von Heizungsvarianten

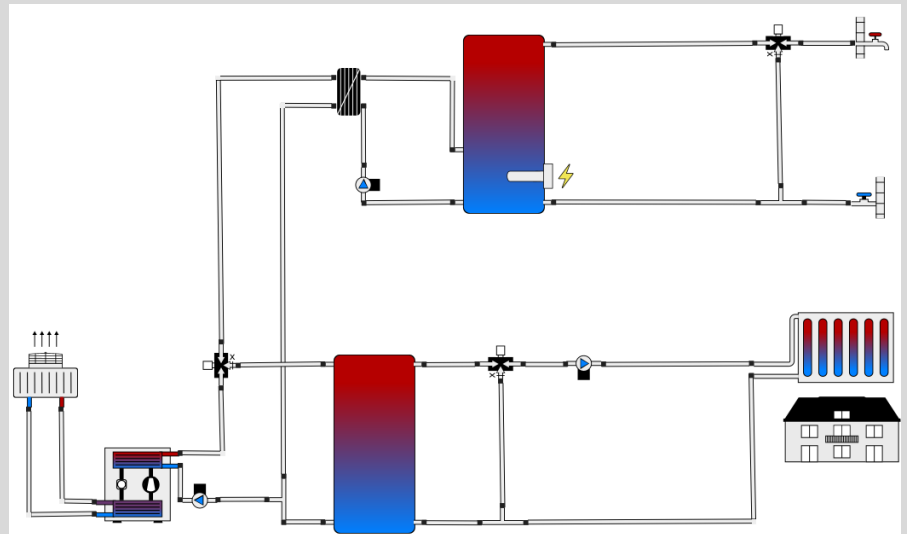
Die verschiedenen Heizvarianten wurden mit der Software POLYSUN modelliert und gemeinsam mit HLK-Partnern definiert. Siehe Darstellungen rechts.

Die Systeme sind jeweils mit einem Speicher für WW von 2000 l und einem zweiten Speicher für Raumwärme von 3500 l ausgestattet. Das Heizsystem ist mit einem Dreiwegeventil ausgestattet, um die Wärmepumpe für die Raumheizung oder die Aufbereitung von WW zu aktivieren.

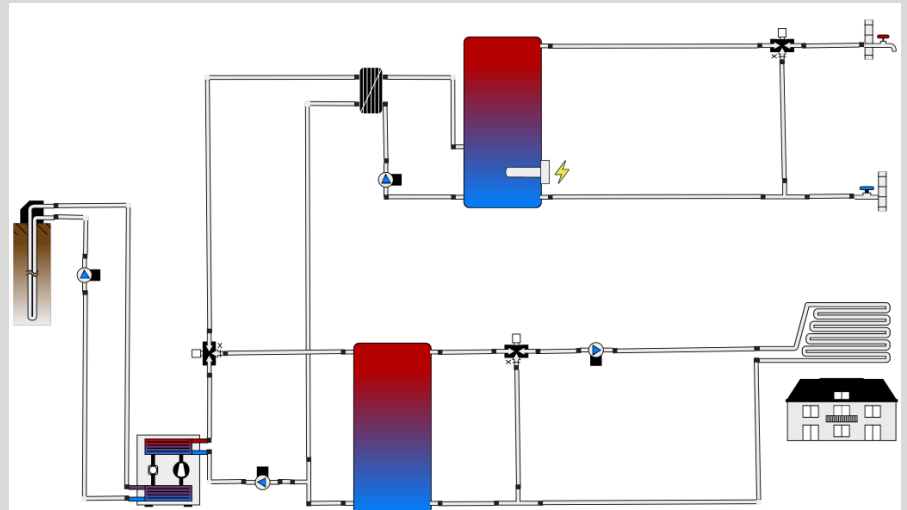
Die Solltemperatur für die Raumheizung basiert auf einer Heizkurve in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (40 °C bei einer Aussen-temperatur von -8 °C bei sanierter Gebäudehülle). Bei nicht sanierter Gebäudehülle erhöht sich die Vorlauf-temperatur um 20 K.

Schemata der Heizungsvarianten

Variante "LWP" (Luft/Wasser-Wärmepumpe)



Variante "EWP" (Erdsonden-Wärmepumpe)



Wärmepumpensysteme für bestehende Mehrfamilienhäuser

Fallstudie 5 – Gebäudekomplex aus fünf MFHs

GEBÄUDEEIGENSCHAFTEN

Die Überbauung mit fünf Mehrfamilienhäusern (MFHs) in der Gemeinde Stäfa (im Kanton Zürich) ist in den 2000er Jahren erstellt. Jedes der fünf Gebäude hat drei Etagen und ein Attikageschoss für insgesamt sieben Wohnungen (35 für den gesamten Komplex). Jedes Gebäude verfügt über eine verglaste Sitzgelegenheit auf der Südseite. Die Gebäudehülle befindet sich in einem guten Zustand, mit Aussenwänden, die mit 14 cm EPS isoliert sind, und doppelt verglasten Fenstern mit Aussenjalousien. Raumheizung und Warmwasser werden dezentral bereitgestellt, mit Gaskesseln von 41 kW Leistung, welche in den Kellern platziert sind. Die Energie für die Raumheizung wird über eine Fussbodenheizung an die beheizten Räume abgegeben. Jeder Technikraum ist mit einem Speicher von 400 l für die Warmwasserbereitung ausgestattet.



GEBÄUDE-STECKBRIEF



Baujahr	2006
Standort	Stäfa (Kanton Zürich)
Energiebezugsfläche	6285 m ²
Gebäudekategorie (SIA 380/1)	Wohnen
Berechneter Raumwärmebedarf (RH)	220 MWh/a (35 kWh/m ² a)
Berechneter Warmwasserbedarf (WW)	119 MWh/a (19 kWh/m ² a)
Heizungssystem	Gasheizung
Wärmeabgabe	Fussbodenheizung

Attika

Aussenwand

Mauerwerk mit Aussendämmung

Fenster

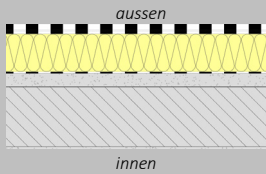
Doppelt verglaste Fenster mit Aussenjalousien

Wohnungen

Zwei Wohnungen pro Etage (sieben Wohnungen pro Gebäude)

Dach

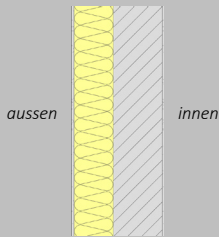
U-Wert: 0,19 W/m²K



Drainage-Schicht
Trennschicht
Bitumenabdichtung (10 mm)
PU-Hartschaumplatte (140 mm)
Dampfsperre (5 mm)
Schräge Abdeckung (50 mm)
Bewehrungsbeton (220 mm)
Innenputz (10 mm)

Aussenwand

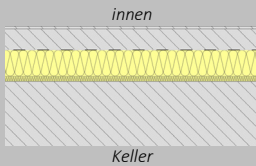
U-Wert: 0,23 W/m²K



Putz (10 mm)
Isolierung EPS (140 mm)
Ziegelmauerwerk (175 mm)
Putz (10 mm)

Boden gegen Unbeheizt

U-Wert: 0,20 W/m²K



Bodenbelag (10 mm)
Zementestrich (80 mm)
PE-Folie
Hartschaum PUR (100 mm)
Mineralfaserplatte (20 mm)
Stahlbeton (250 mm)

Fenster der Wohnungen

U_g Wert: 1,0 W/m²K

U_f Wert: 3,0 W/m²K

Rahmenverhältnis: 11%

g Wert: 0,62

GEBÄUDEHÜLLE

Da die Überbauung aus fünf MFHs 2006 erbaut wurde und die Gebäudehülle somit in einem guten, energetisch effizienten Zustand ist, wurde für diese Fallstudie keine Sanierungsstrategie für die Gebäudehülle ausgearbeitet.

Jedes der fünf MFH besteht aus drei Etagen und einem Attikageschoss für insgesamt sieben Wohnungen. Auf der Südseite verfügt jede Wohnung über eine grosse verglaste Sitzzecke.

Das Flachdach besteht aus Stahlbeton und ist mit 14 cm PU-Hartschaumplatten mit einem U-Wert von 0,19 W/m²K gedämmt. Die Aussenwände mit einem U-Wert von 0,23 W/m²K sind aussen mit 14 cm EPS gedämmt und aus Ziegelmauerwerk gefertigt. Der Boden gegen unbeheizte Räume ist mit PUR und Mineralfaserplatten (100 mm bzw. 20 mm) mit einem U-Wert von 0,20 W/m²K isoliert. Alle Hauptkonstruktionen sind auf der linken Seite beschrieben. Die doppelt verglasten Fenster der Wohnungen, die mit Aussenjalousien ausgestattet sind, weisen einen U-Wert von 1,22 W/m²K auf.

Fenster der Wohnungen



Verglaste Sitzgruppe



Treppe und Aussenwand



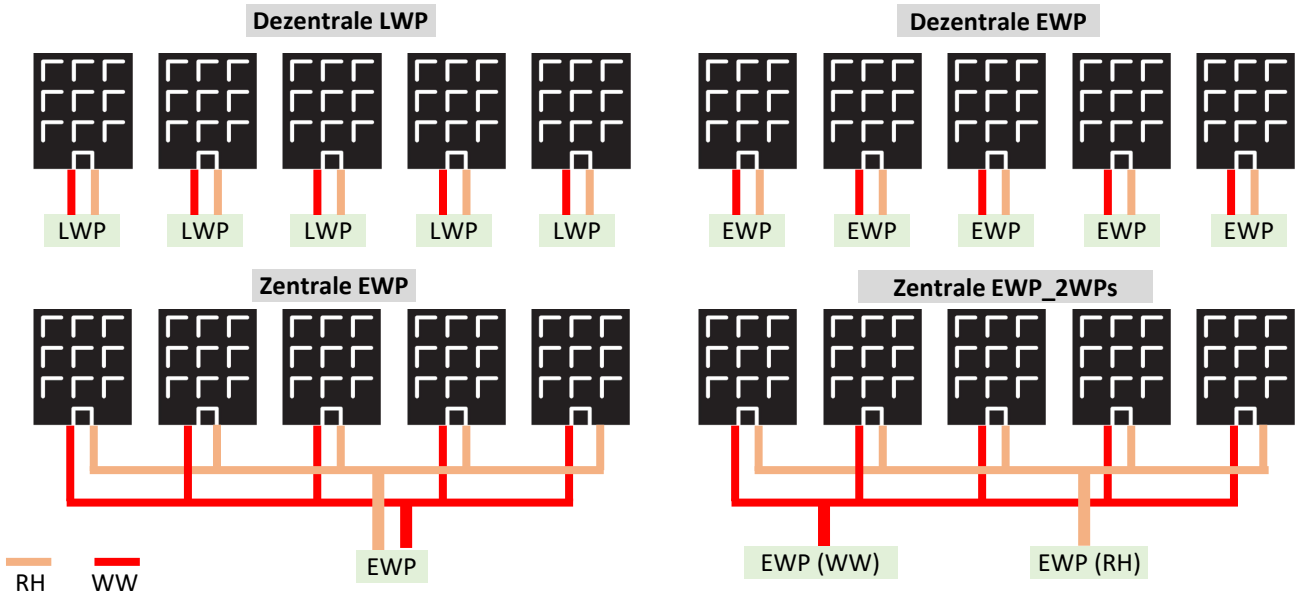
Decke gegen Unbeheizt

HEIZUNGSKONZEPT - Definition der Heizungsvarianten

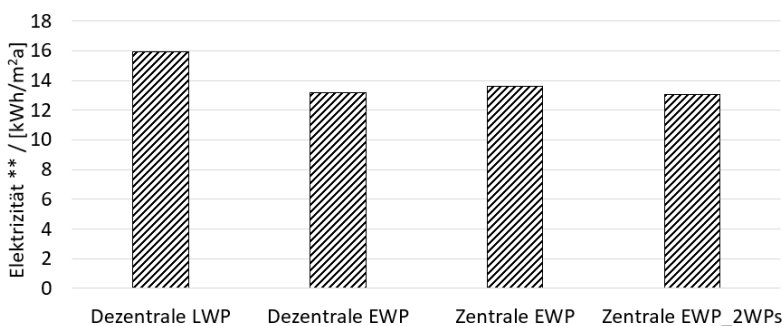
Um die direkten CO₂-Emissionen des bestehenden Heizungssystems für die Raumheizung (RH) und die Warmwasserbereitung (WW) zu reduzieren, wurden vier Varianten untersucht:

- Dezentrale Luft-Wasser-Wärmepumpe (Dezentrale LWP): Jedes Gebäude wird mit einer eigenen Wärmepumpe für RH und WW ausgestattet, insgesamt fünf Wärmepumpen für den Komplex;
- Dezentrale Erdsonden-Wärmepumpe (Dezentrale EWP): Jedes Gebäude im Komplex wird mit einer eigenen Wärmepumpe und einem Erdsondenfeld für RH und WW ausgestattet;
- Zentrale Erdsonden-Wärmepumpe (Zentrale EWP): Eine einzige Wärmepumpe und ein Erdsondenfeld decken RH und WW aller fünf MFHs ab;
- Zentrale Erdsonden-Wärmepumpe mit zwei Wärmepumpen (Zentrale EWP_2WPs): Diese Variante umfasst zwei Wärmepumpen, eine für Raumheizung und eine für Warmwasserbereitung.

Bei allen Varianten wurde die tatsächliche Wärmeabgabe via Fussbodenheizung berücksichtigt. Da Fernwärme in der nächsten Zukunft nicht geplant ist, wurde sie in dieser Analyse nicht als Wärmevariante berücksichtigt. Details zu den verschiedenen Heizvarianten sind im Anhang beschrieben. Die Wahl der Heizungsvarianten wurde in Rücksprache mit HLK-Planern vorgenommen.



	Dezentrale LWP	Dezentrale EWP	Zentrale EWP	Zentrale EWP_2WPs
COP WP*	3.4 (at A2/W35)	4.2 (at B0/W35)	4.0 (at B0/W35)	RH: 3.9 (at B0/W35) WW: 3.9 (at B0/W35)
Leistung der WP*	5 x 43 kW (34 W/m ²)	5 x 43 kW (34 W/m ²)	2 x 112 kW (36 W/m ²)	RH: 177 kW (28 W/m ²) WW: 47 kW (7 W/m ²)
Erdsonden (gesamt)	-	30 x 200 m (0.9 m/m ²)	30 x 200 m (0.9 m/m ²)	30 x 200 m (0.9 m/m ²)
SPF_{WP}	3.5	4.3	4.1	RH: 4.7 WW: 3.6
Strombedarf (kWh/m²a)**	16	13	14	13



*Angaben aus Datenblättern realer Wärmepumpen

** Strombedarf der Heizungsanlage (Wärmepumpen + Umwälzpumpen) für die fünf MFHs

Annahmen

- Finanzielle Zuschüsse nicht berücksichtigt;
- In den Stromkosten ist nur der Stromverbrauch der Heizungsanlage enthalten;
- Konstanter Strompreis von 37 Rp./kWh;
- Jährlicher Unterhalt: 1% der Investitionskosten;
- Analyse über 25 Jahre.

Investitionskosten

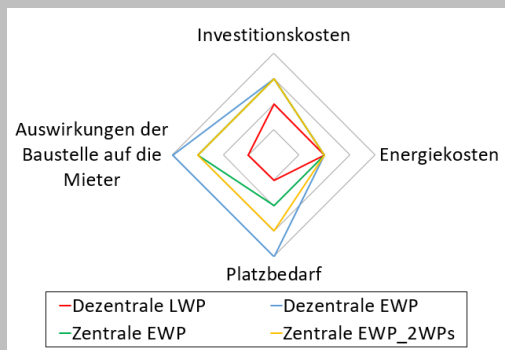
- Gebäudehülle nicht saniert (nur Heizung)
- Dezentrale LWP: 530 kCHF (84 CHF/m²)
- Dezentrale EWP: 1030 kCHF (164 CHF/m²)
- Zentrale EWP: 920 kCHF (146 CHF/m²)
- Zentrale EWP_2WPs: 910 kCHF (145 CHF/m²)

Stromkosten (pro Jahr)

- Dezentrale LWP: 37 kCHF (6 CHF/m²)
- Dezentrale EWP: 31 kCHF (5 CHF/m²)
- Zentrale EWP: 32 kCHF (5 CHF/m²)
- Zentrale EWP_2WPs: 30 kCHF (5 CHF/m²)

Radardiagramm zum Vergleich der Heizungsvarianten:

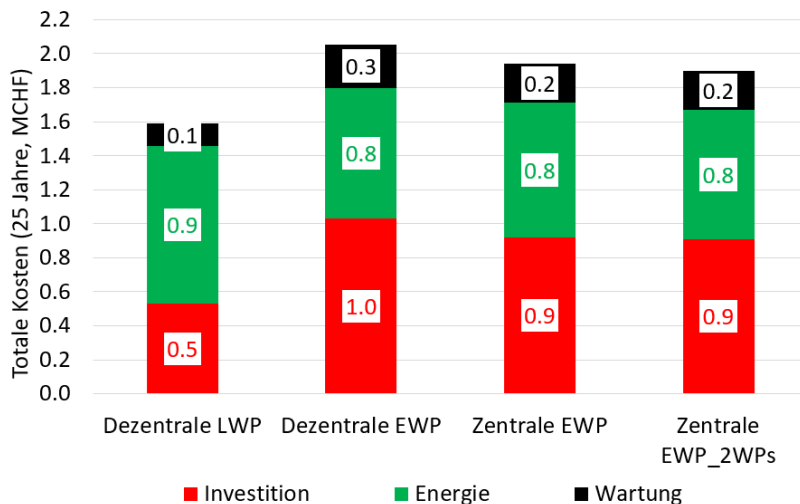
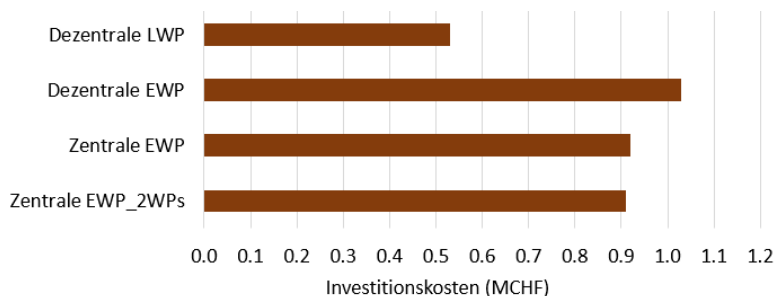
Die Variante "Dezentrale LWP" ist die Variante mit den geringsten Investitionskosten (84 CHF/m²) und den höchsten Energiekosten (6 CHF/m²). Da keine Bohrung für Erdsonden erforderlich ist, hat die Variante "Dezentrale LWP" im Vergleich zu den beiden anderen Varianten die geringsten Auswirkungen auf die Mieter. Für die qualitative Bewertung des Platzbedarfs wurde der Platzbedarf im Garten (für die Erdsonden) und im Keller für die Heizungsanlagen berücksichtigt. Durch die fünf Erdsondenfelder und fünf Wärmepumpen hat die Variante «Dezentrale EWP» den höchsten Platzbedarf.



WIRTSCHAFTLICHKEIT

Um alle analysierten Varianten vergleichen zu können, wurde mit Hilfe von Energie-Simulationen eine Analyse über 25 Jahre durchgeführt. Unten zeigt das erste Diagramm für jede Variante die Gesamtinvestitionskosten, während das zweite Diagramm die Gesamtkosten über 25 Jahre für Investition, Energie und Wartung zeigt. Die Investitionskosten beruhen dabei auf groben Annahmen und sind mit Unsicherheiten behaftet. Die Variante "Dezentrale EWP" mit Gesamtinvestitionskosten von ca. 1 MCHF weist die höchsten Investitionskosten auf, während die beiden Varianten mit zentralisierten Lösungen etwas tiefere Gesamtinvestitionskosten aufweisen (ca. 900 kCHF).

Über 25 Jahre hat die Variante "Dezentrale LWP" mit 1,6 MCHF die geringsten Gesamtkosten, 23 % niedriger im Vergleich zur Variante "Dezentrale EWP" (2,1 MCHF).



EMPFEHLUNG

Die obigen Diagramme zeigen, dass die Variante der dezentralen Luftwärmepumpe (Dezentrale LWP) im Vergleich zu den anderen drei analysierten Varianten die finanziell günstigste Option darstellt. Wie in der Radarkarte dargestellt, hat die Variante «Dezentrale LWP» die geringsten Investitionskosten und Auswirkungen auf die Mieter, da im Vergleich zu den anderen Varianten keine Bohrungen für Erdsonden erforderlich sind. Die externen Einheiten der Wärmepumpen könnten an der Seite jedes Gebäudes platziert werden, um die Dachfläche für die (eventuelle) Installation von PV-Modulen zu erhalten. Andererseits würde eine Erdsonden-Wärmepumpe den Strombedarf der Wärmepumpe im Winter verringern, was sich positiv auf die Belastung des Stromnetzes und die Stromkosten auswirken würde. Es ist zu erwarten, dass die Strompreise in Zukunft im Winter höher sein werden. Beim Vergleich der EWP-Varianten kann festgestellt werden, dass die zentrale Lösung mit Erdsonden finanziell attraktiver ist (im Vergleich zur Variante Dezentrale EWP), aber die Platzierung der grossen Wärmepumpen im Keller des Gebäudekomplexes könnte ein Hindernis darstellen, das in Betracht gezogen werden sollte. Es ist wichtig hervorzuheben, dass die Kostenbewertungen auf groben Annahmen basieren, die grösseren Unsicherheiten unterliegen.

Annahmen

- Finanzielle Zuschüsse nicht berücksichtigt;
- Stromverbrauch gemäss Heizungsanlage (Variante Dezentrale LWP) und der Haushalte;
- Jährlicher Strombedarf: 222 MWh/a (Heizung: 100 MWh/a, Haushalte: 122 MWh/a);
- Konstanter Strompreis (37 Rp./kWh), PV-Einspeisevergütung (17 Rp./kWh);
- Jährlicher Unterhalt: 1% der Investitionskosten;
- Analyse über 25 Jahre;
- Zeitschritt Simulation: 1 Stunde;
- In allen Varianten wurden Investitionskosten von 1700 CHF/kWp angenommen;
- PV-Paneele werden in allen Varianten nur auf dem Dachgeschoss der fünf Gebäude installiert (Ausrichtung: Süden, Neigung: 30°).

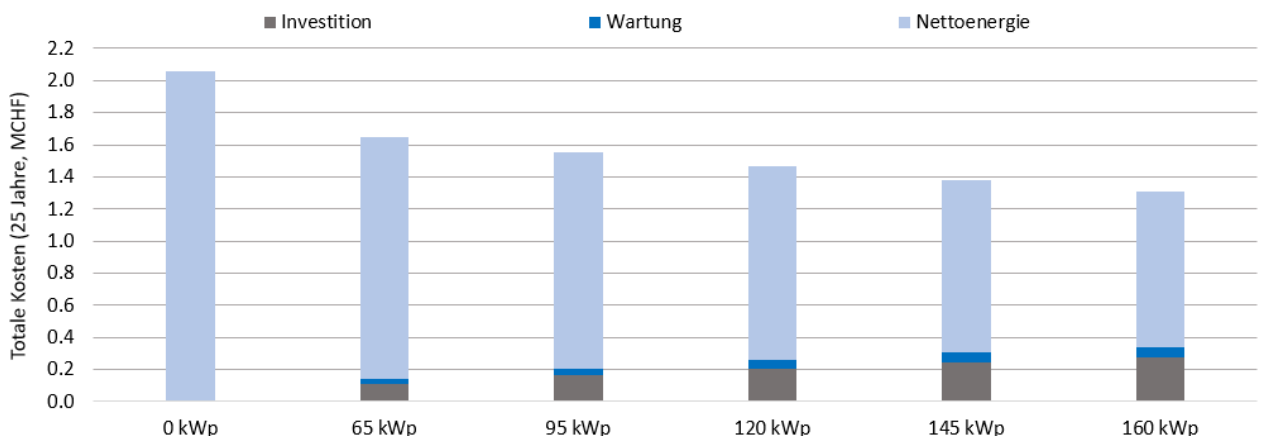
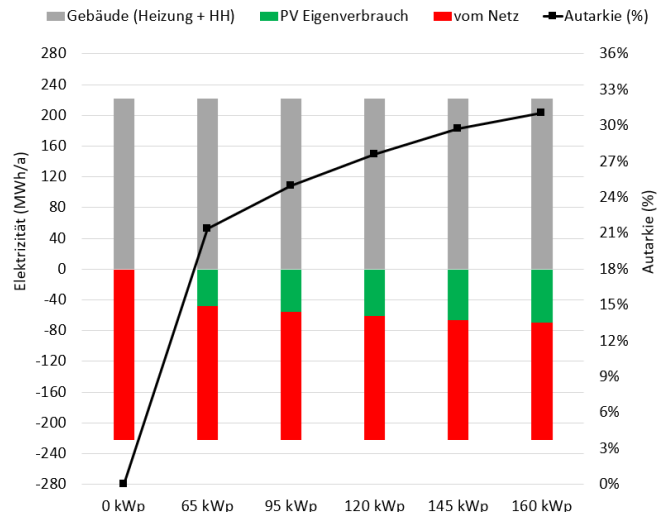
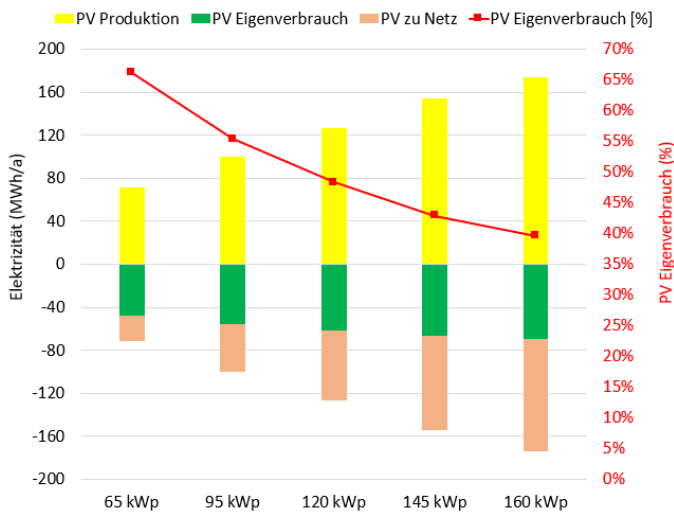
PV-Variante	Gesamte PV-Fläche[m ²]	Anzahl der Module
w/o PV	-	-
65 kW _p	92	54
95 kW _p	128	75
120 kW _p	162	95
145 kW _p	197	115
160 kW _p	223	130

Photovoltaik - Variantendefinition und Analyse

Es wurden verschiedene PV-Varianten verglichen, um die attraktivste Finanzierungsoption für die Überbauung zu analysieren. Die Annahmen für die Analyse sind auf der linken Seite aufgelistet. Bei allen PV-Varianten wurde die Heizvariante "Dezentrale LWP" berücksichtigt. Fünf verschiedene PV-Varianten (von 65 kW_p bis 160 kW_p der gesamten installierten PV-Leistung) wurden definiert und mit dem Fall ohne PV-Anlage verglichen. Die Variante "160 kW_p" stellt den Fall dar, dass die fünf Attika-Dächer möglichst vollflächig mit PV-Paneeelen ausgestattet sind.

Die beiden folgenden Diagramme zeigen für jede Variante die Strombilanz der PV-Anlage und des Gebäudes. Mit der Variante "160 kW_p" produziert die PV-Anlage ca. 170 MWh/a, das sind 23 % weniger als der jährliche Gesamtstrombedarf des Gebäudes von 222 MWh/a. Mit der Vergrößerung der PV-Anlage kommt es zu einer Reduzierung des Strombedarfs aus dem Netz (bis zu einem Wert von 150 MWh/a bei "160 kW_p") und einer Erhöhung des Autarkiegrades bis zum Maximalwert von 31 %. Die Variante "65 kW_p" hat einen PV-Eigenverbrauch von 66 %. Dieser Wert sinkt bei der Variante "160 kW_p" auf 40 %.

Um die verschiedenen Varianten wirtschaftlich vergleichen zu können, wurde für die Berechnung der Nettoenergie (d.h. der Differenz zwischen den Kosten des eingekauften Stroms und dem Gewinn des eingespeisten Stroms aus dem Netz) ein konstanter Strompreis und eine konstante PV-Einspeisevergütung (37 Rp./kWh bzw. 17 Rp./kWh) angenommen. Das letzte Diagramm unten zeigt, dass die attraktivste Finanzierungsoption die Variante "160 kW_p" ist, bei der eine Reduzierung der Gesamtkosten um 36 % (im Vergleich zur Option ohne PV) erreicht werden kann.



Anhang

Gebäudesimulation – Eingaben und Annahmen

Um den jährlichen Raumwärmebedarf des Gebäudes zu bewerten, wurde das dynamische Mehrzonen-Simulationstool IDA ICE (Indoor Climate and Energy) eingesetzt. Es wurden Klimadaten von Zürich (SIA 2028) ausgewählt, während Daten aus der nationalen Norm SIA 2024 für die Modellierung der internen Wärmegevinne des Gebäudes (Personen, Licht und Geräte) verwendet wurden. Es wurde eine Solltemperatur von 22 °C mit "idealem" Heizsystem gewählt. Für das gesamte Gebäude wurde eine konstante Luftinfiltrationsrate von 0,5 h⁻¹ angenommen.

Da keine detaillierten Informationen über den WW-Bedarf des Gebäudes verfügbar sind, wurden Annahmen auf der Grundlage nationaler Normen und Erfahrungen getroffen.

Simulation der Heizvarianten

Die verschiedenen Heizvarianten wurden mit Hilfe der Software POLYSUN modelliert. Die verschiedenen Heizvarianten, die gemeinsam mit HLK-Partnern definiert und modelliert wurden, sind rechts schematisch dargestellt. Aufgrund von Einschränkungen bei der Modellierung des verwendeten Tools waren Vereinfachungen erforderlich, um alle vorgeschlagenen Varianten zu modellieren. Bei den ersten beiden Varianten (d. h. "Dezentrale LWP" und "Dezentrale EWP") ist das Heizsystem mit einem Speicher für WW (1000 l) und Raumheizung (2000 l) ausgestattet, während bei den beiden anderen Varianten die Speicher grösser sind (5 m³ für WW und 10 m³ für RH), da das System den gesamten Gebäudekomplex versorgt. Die Solltemperatur für die Raumheizung basiert auf einer Heizkurve (40 °C mit einer Aussentemperatur von -8 °C) in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur.

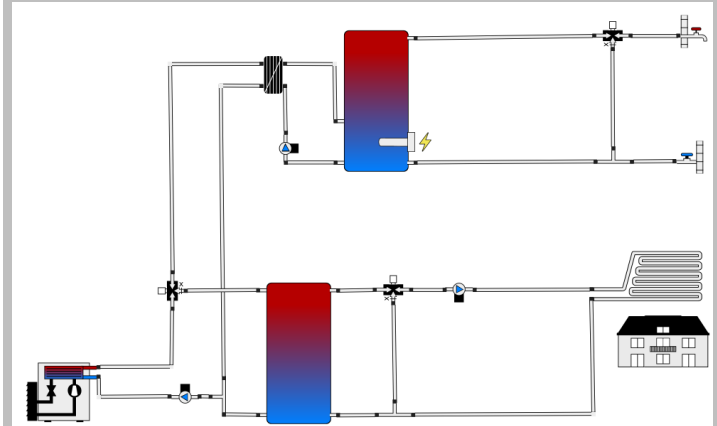
Im Gegensatz zu den ersten drei Varianten ist die letzte Variante ("Zentrale EWP_2WPs") die einzige, bei der zwei separate HPs für WW und Raumheizung verwendet werden. Die Varianten mit Erdsonden wurden so dimensioniert (Länge und Anzahl der Sonden), dass sie die Anforderungen der SIA 384/6 erfüllen.

Ökonomische Analyse – Inputs und Annahmen

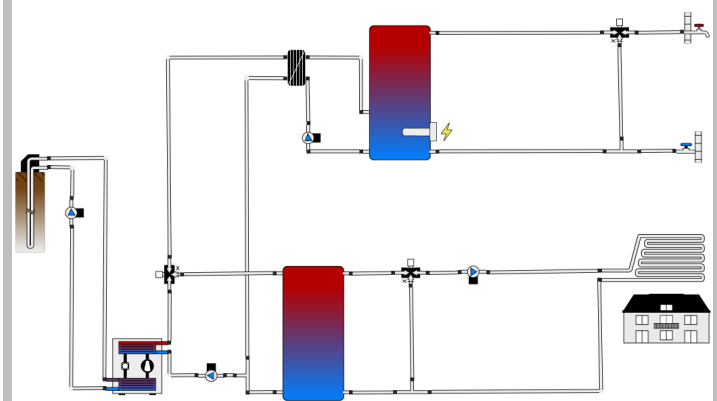
Um die verschiedenen Varianten vergleichen zu können, wurde eine wirtschaftliche Analyse durchgeführt. Die Bewertung der Investitionskosten erfolgte unter Berücksichtigung der Beiträge von HLK-Partnern und Architekten. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde unter der Annahme einer Lebensdauer von 25 Jahren durchgeführt. Es wurde ein konstanter Strompreis von 25 Rp./kWh und Wartungskosten von 1%/Jahr der Investitionskosten berücksichtigt. Bei der Bewertung der Stromkosten wurde der Stromverbrauch für Licht und Geräte des Gebäudes nur in der PV-Studie berücksichtigt. Finanzielle Zuschüsse (für PV oder die Installation von Wärmepumpensystemen) wurden nicht berücksichtigt.

Schemas der Heizvarianten

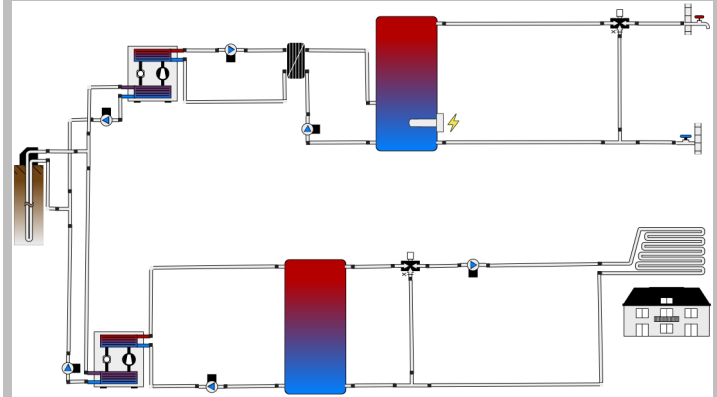
Variante "Dezentrale LWP"*



Variante "Dezentrale EWP"**



Variante "Zentrale EWP_2WPs"



* Bei dieser Variante versorgt jede Heizungsanlage ein einzelnes Gebäude. Das bedeutet, dass für die Simulation des Systems für den gesamten Gebäudekomplex fünf dieser Systeme berücksichtigt werden müssen. Die gleiche Bedingung gilt für die zweite Variante "Dezentrale EWP".

** Ein ähnliches Schema wurde auch für die Simulation der Variante "Zentral EWP" (hier nicht dargestellt) verwendet. In diesem Fall wurde das Modell neu angepasst (d. h. Länge der Rohre, Heiz-/Warmwasserbedarf, Speichervolumen, Leistung der HPs usw.), um zu berücksichtigen, dass das System den gesamten Gebäudekomplex versorgt.