

Wärmepumpen mit Erdsondenspeichern

Eine Fachinformation für Gemeinden zur Unterstützung
gemeinschaftlich umgesetzter Wärmepumpenanlagen



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autor: Deyan Dimov (Österreichische Energieagentur)

Fotonachweis: stock.adobe.com – Stockwerk-Fotodesign

Wien, 2023

Disclaimer

Die bereitgestellten Informationen dienen lediglich zur Entscheidungshilfe und nicht als Anlageberatung oder Kaufempfehlung. Zudem können wir auch keine Haftung für Vollständigkeit, Richtigkeit und Aktualität übernehmen.

Wir bieten keine Beratungen, die auf die persönliche Situation zugeschnitten sind. Die Broschüre dient daher nicht als Ersatz für eine professionelle und individuelle Beratung durch hierfür qualifizierte Personen wie zum Beispiel Anlageberater:innen oder durch eine Rechtsanwaltskanzlei.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an klimaaktiv@energyagency.at.

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung | 4 |
| 2 Systembeschreibung | 5 |
| 2.1 Funktion einer Wärmepumpe zur Nutzung von Erdwärme | 5 |
| 2.2 Anwendungsbereiche | 7 |
| 2.3 Vor- und Nachteile | 8 |
| 3 Systemauslegung | 10 |
| 3.1 Planung der erforderlichen Wärmeleistung | 10 |
| 3.2 Planung der Wärmequelle | 11 |
| 3.3 Auswahl der Betriebsart | 11 |
| 3.4 Berücksichtigung der Schallemissionen..... | 12 |
| 3.5 Auswahl des Kältemittels..... | 12 |
| 4 Genehmigungsanforderungen | 14 |
| 5 Kosten von Wärmepumpenanlagen | 16 |
| 5.1 Investitionskosten..... | 16 |
| 5.2 Betriebskosten | 18 |
| 6 Förderungen | 20 |
| 7 Best-Practice-Beispiele | 21 |
| 7.1 Viertel Zwei in Wien..... | 21 |
| 7.2 Smart Block Geblergasse in Wien | 22 |
| 7.3 Campus Höggerberg in Zürich (Schweiz) | 24 |
| 8 Über klimaaktiv | 26 |
| Kontakt | 26 |
| Literaturverzeichnis | 27 |
| Abkürzungen | 29 |
| Abbildungsverzeichnis | 30 |

1 Einleitung

Diese Publikation richtet sich an Gemeinden und bietet umfassende Informationen zur Nutzung von Geothermie mit Wärmepumpen. Sie soll Gemeinden ermöglichen, sich über eine nachhaltige und zuverlässige Lösung zur Wärmeerzeugung zu informieren und potenzielle Vorteile sowie Herausforderungen dieser Technologie besser zu verstehen. Die vorgestellten Informationen können dazu beitragen, fundierte Entscheidungen in Bezug auf die Energieversorgung und Umweltschutzmaßnahmen zu treffen. Es ist auch wichtig, sich im Voraus über alle vorhandenen Wärmeversorgungsoptionen zu informieren, beispielsweise durch eine Wärmeplanung. Somit kann ein umfassendes Verständnis für die verschiedenen Möglichkeiten erreicht werden.

Im zweiten Kapitel dieser Publikation wird die Funktionsweise von Wärmepumpen mit Erdsonden erläutert. Dabei werden die grundlegenden Prinzipien sowie die Komponenten einer solchen Anlage erklärt. Zudem wird erörtert, welche Gebäude sich am besten für diese Wärmesysteme eignen. Das dritte Kapitel vertieft Erkenntnisse in Bezug auf die Planung von Wärmepumpenanlagen und stellt die in diesem Prozess zu berücksichtigenden Schritte dar. Im vierten Kapitel werden die rechtlichen und behördlichen Anforderungen für den Bau von Wärmepumpensystemen mit Erdsonden in Gemeinden detailliert erörtert und die zuständigen Aufsichtsbehörden identifiziert. Das fünfte Kapitel bietet eine umfassende Übersicht über sämtliche finanzielle Aspekte wie etwa die Kosten von Wärmepumpen, von kleinen bis hin zu großen, einschließlich der Ausgaben für Erdsonden und Wärmespeicher. Im vorletzten Kapitel werden Förderungsmöglichkeiten im Kontext dieser Technologie präsentiert. Schließlich werden drei Anwendungsbeispiele vorgestellt, in denen die erfolgreiche Integration von Wärmepumpen mit Erdsonden zu einer dezentralen Wärmeversorgung demonstriert wird.

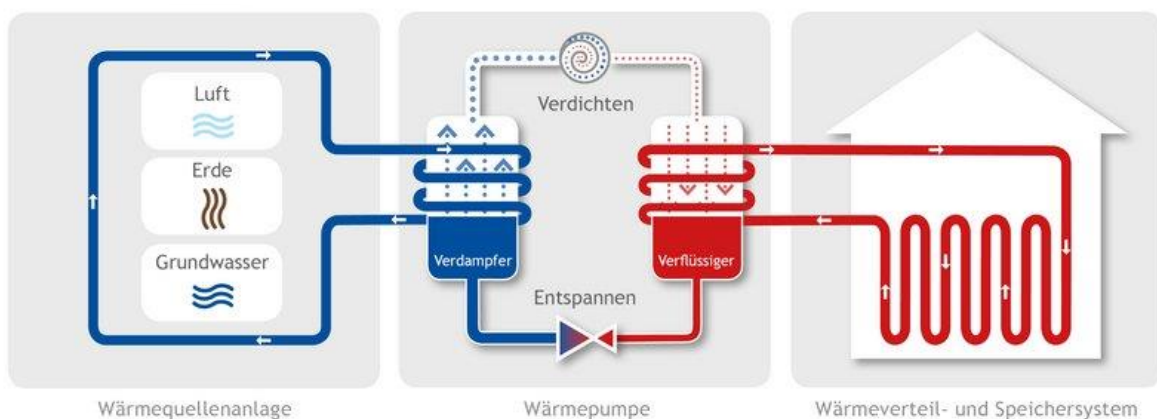
2 Systembeschreibung

Die Nutzung der Geothermie mit einer Wärmepumpe ist eine nachhaltige und zuverlässige Lösung zur Wärmeerzeugung. Dabei nutzt die Wärmepumpe die natürlich in der Erde gespeicherte Wärmeenergie, um Gebäude zu heizen und zu kühlen. Im Folgenden werden die Funktionsweise, der Anwendungsbereich sowie die Vor- und Nachteile der Wärmepumpe mit Erdsonden erörtert.

2.1 Funktion einer Wärmepumpe zur Nutzung von Erdwärme

Das Herzstück der Wärmepumpe ist der Kältekreis. Die Wärmepumpe nutzt die Umwelt- oder Erdwärme mit niedriger Temperatur, hebt diese auf ein höheres Temperaturniveau und gibt die gewonnene Wärmeenergie an das Wärmeverteilsystem ab, siehe Abbildung 1. Dies geschieht in einem geschlossenen Kreisprozess durch ständiges Ändern des Aggregatzustandes des Kältemittels (Glaesmann, 2022).

Abbildung 1: Funktion einer Wärmepumpe



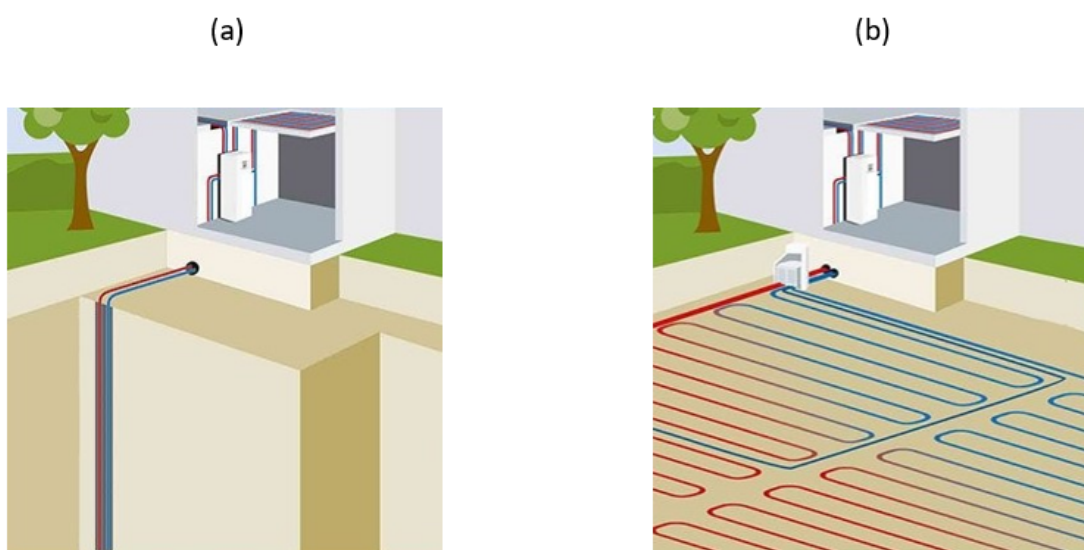
Quelle: Bundesverband Wärmepumpe, 2023

Die Hauptkomponente einer Wärmepumpe sind der Verdampfer, der Verdichter (Kompressor), der Verflüssiger (Kondensator) und das Expansionsventil. Diese sind mittels Rohrleitungen miteinander verbunden. Der Verdampfer ist mit der Wärmequelle verbunden und entzieht dieser Energie, um das Kältemittel zu verdampfen. Danach erhöht

der elektrisch angetriebene Verdichter den Druck des verdampften Kältemittels, wodurch die Temperatur ansteigt. Das erhitzte Kältemittel gelangt in den Verflüssiger und gibt die Wärme an die Wärmesenke ab. Dabei kühlt es sich ab und verflüssigt sich. Im Anschluss durchläuft das flüssige Kältemittel das Expansionsventil, das den Druck und die Temperatur reduziert, um erneut Wärme aufzunehmen und den Zyklus fortzusetzen.

Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle verwenden, werden als Sole/Wasser-Wärmepumpen (SWP) bezeichnet. Dabei wird zwischen SWP mit vertikal eingebrachten Erdsonden oder mit horizontal verlegten Erdkollektoren unterschieden. In den Sonden oder in den Kollektoren zirkuliert eine wässrige Lösung von Salzen mit einem Gefrierpunkt unter 0 °C (die sogenannte Sole), welche dem Erdreich die Wärme entzieht. Die aufgenommene Wärmeenergie wird dann über den Solekreislauf mittels einer Sole-Umwälzpumpe zum Verdampfer der Wärmepumpe gefördert. Beide Varianten unterscheiden sich in ihrer Bauweise. Bei SWP mit Erdsonden wird die Wärmeenergie in tieferen Schichten genutzt. Dafür werden Kunststoffrohre vertikal anhand von Bohrungen, in der Regel zwischen 50 bis 300 m tief, eingebracht. Je tiefer die Sonden verlegt sind, desto größer ist die aufgenommene Wärmeleistung. Bei SWP mit Erdkollektoren wird die oberflächennahe Wärmeenergie verwendet, die durch Sonneneinstrahlung, Regen oder Tauwasser im Erdreich entsteht. Dafür werden die Kunststoffrohre horizontal schlangen- oder schneckenförmig verlegt (Glaesmann, 2022).

Abbildung 2: Verlegung von Erdsonden (a) und Erdkollektoren (b)



Quelle: Bundesverband Wärmepumpe, 2023

Weitere Informationen über die Funktion von Wärmepumpen und andere häufige Fragen sind in unseren [FAQs](#) zu finden.

2.2 Anwendungsbereiche

Wärmepumpen mit Erdsonden werden vielfältig eingesetzt, insbesondere in Häusern, Wohngebäuden und gewerblichen Gebäuden. Bei Häusern werden einzelne Wärmepumpensysteme verwendet, um die benötigte Wärme für das Haus bereitzustellen. Eine weitere Option stellen zentrale Wärmepumpensysteme dar, die eine Wärmeversorgung für mehrere Wohneinheiten sicherstellen. Durch dieses Konzept können die Installationskosten reduziert werden, da weniger einzelne Komponenten benötigt werden. Zudem entstehen geringere Wärmeverluste, da die Wärme direkt von einer zentralen Quelle verteilt wird. In Verbindung mit einem Energiemanagementsystem können zentrale Wärmepumpensysteme den Energieverbrauch optimieren und einen hohen Komfort für die Bewohner:innen gewährleisten.

Bei der Anwendung von Wärmepumpen spielt die Unterscheidung zwischen Altbau und Neubau eine entscheidende Rolle. Im Fall von Altbauten ist es wichtig zu berücksichtigen, dass die Wohnungen oft eine hohe spezifische Heizlast aufweisen. Das bedeutet, dass eine größere Leistung und höhere Vorlauftemperatur der Wärmepumpen erforderlich sind. In solchen Fällen kann die Leistung der Wärmepumpe mitunter nicht ausreichen, um den Heizbedarf vollständig zu decken. Aus diesem Grund wird der Einsatz von Wärmepumpen in Gebäuden mit niedriger thermischer Last empfohlen.

Eine sorgfältige Analyse des Heizwärmebedarfs und der spezifischen Eigenschaften des Gebäudes ist von großer Bedeutung. Somit wird sichergestellt, dass die ausgewählte Wärmepumpenlösung den jeweiligen Anforderungen entspricht. Es ist ratsam, die Eignung der Wärmepumpe basierend auf dem Heizwärmebedarf zu überprüfen. Während der Planungsphase ist es empfehlenswert, Fachleute oder Energieberater:innen hinzuzuziehen, um eine fundierte Entscheidung über die Auswahl und Dimensionierung der Anlage zu treffen.

2.3 Vor- und Nachteile

Wärmepumpen zeichnen sich im Vergleich zu herkömmlichen Heizungssystemen mit Brennstoffen durch ihre außerordentlich hohen Effizienzgrade aus. Insbesondere Sole/Wasser-Wärmepumpen (SWP) mit Erdsonden erreichen typischerweise Effizienzwerte von bis zu 500 % beziehungsweise Jahresarbeitszahlen von bis zu 5.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) stellt ein zuverlässiges Maß für die Effizienz einer Wärmepumpe dar, welche das Verhältnis zwischen erzeugter Wärmemenge für die Raumheizung und das Brauchwasser sowie eingesetztem Strom angibt. Eine höhere JAZ bedeutet eine effizientere Wärmepumpe. Bei den SWP liegt die JAZ bei bis zu 5; das heißt, mit 1 kWh eingesetzter elektrischer Energie können bis zu 5 kWh Wärmeenergie erzeugt werden. Im Vergleich dazu erreichen Luft-Wärmepumpen eine JAZ zwischen 3 und 4.

Wärmepumpen nutzen die Wärmeenergie des Erdreichs. Diese Energiequelle steht kontinuierlich zur Verfügung und ist nahezu unerschöpflich. Darüber hinaus können Wärmepumpen mit elektrischem Strom aus erneuerbaren Energien (wie Solarenergie, Windkraft, Wasserkraft et cetera) betrieben werden. Durch die effiziente Nutzung dieser erneuerbaren Energiequellen tragen Wärmepumpen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung bei.

Bei der Verwendung von SWP in Kombination mit Erdsonden gibt es auch einige potenzielle Herausforderungen, die bei der Entscheidung für dieses System beachtet werden sollten. Eine wesentliche Herausforderung ist der hohe Installationsaufwand. Für die Errichtung einer Erdsonde müssen Bohrungen in ausreichender Tiefe durchgeführt werden, um den Wärmetausch mit dem Erdreich zu ermöglichen. Dies erfordert spezialisierte Ausrüstung und Fachkenntnisse, was zu höheren Installationskosten führen kann. Zudem ist der Platzbedarf für die Erdsonden zu berücksichtigen, da eine ausreichende Fläche für die Bohrungen benötigt wird.

Ein weiterer Nachteil von SWP mit Erdsonden ist die mögliche Beeinträchtigung des Grundwassers. Bei der Installation der Erdsonden besteht das Risiko einer Störung des Grundwasserflusses und einer Beeinflussung der Wasserqualität. Dies setzt daher eine sorgfältige Planung und Durchführung der Bohrungen voraus, um Umweltauswirkungen zu minimieren. Zudem ist es wichtig zu beachten, dass die Eignung von Erdsonden stark von

den geologischen Gegebenheiten des Standorts abhängt. In einigen Fällen kann es aufgrund ungünstiger Bodenverhältnisse oder begrenzter Flächen für die Bohrungen schwierig sein, Erdsonden effizient zu installieren.

3 Systemauslegung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die wesentlichen Punkte, die bei der Planung einer Wärmepumpenanlage zu erwägen sind, um einen sicheren und effizienten Betrieb der Anlage zu gewährleisten. In der folgenden Liste sind die einzelnen Schritte während der Auslegung zu finden.

- Planung der erforderlichen Wärmeleistung
- Planung der Wärmequelle
- Auswahl der Betriebsart
- Berücksichtigung der Schallemissionen
- Auswahl des Kältemittels

3.1 Planung der erforderlichen Wärmeleistung

Die Hauptziele während dieser Phase sind, den erforderlichen Wärmebedarf des Gebäudes zu decken und gleichzeitig einen wirtschaftlichen und effizienten Betrieb der Wärmepumpe zu gewährleisten. Daher ist es wichtig, das Minimum des Wärmebedarfs eines Gebäudes zu ermitteln. Eine zu klein dimensionierte Heizungsanlage kann den Wärmebedarf zu Spitzenzeiten möglicherweise nicht mehr decken und somit einen negativen Einfluss auf den Komfort der Bewohner:innen haben. Auf der anderen Seite führt eine zu groß dimensionierte Wärmepumpe zu einer schnellen Erreichung der gewünschten Raumtemperatur und infolgedessen zu einer vorzeitigen automatischen Abschaltung der Anlage. Dies bewirkt, dass die Wärmepumpe häufiger ein- und ausgeschaltet wird (auch „Takten“ genannt). Das häufige Ein- und Ausschalten des in der Wärmepumpe enthaltenen Kompressors erzeugt einen zusätzlichen mechanischen Stress, der zu häufigen Reparaturen und verkürzter Lebensdauer der Anlage führen kann (Glaesmann, 2022).

3.2 Planung der Wärmequelle

Bei der Planung einer Wärmepumpe ist die Wärmequelle ein wichtiger Punkt. Das Ziel bei der Auslegung sollte eine dauerhafte Verfügbarkeit und ein ausreichendes Temperaturniveau der Wärmequelle sein. Bei zu klein dimensionierten Erdsonden besteht das Risiko, dass der Betrieb der Wärmepumpe aufgrund mangelnder Entzugsleistung beeinträchtigt wird, wenn die Soletemperaturen in einer kalten Heizperiode unterhalb von 0 °C liegen. Gleichzeitig verschlechtert sich die Leistungszahl der Wärmepumpe bei sinkender Soletemperatur. Aus diesen Gründen ist es empfehlenswert, die Erdsonden etwas größer zu dimensionieren (Glaesmann, 2022).

3.3 Auswahl der Betriebsart

Ein entscheidender Aspekt während der Planungsphase ist die Konzeption der Wärmepumpe. Diese umfasst die Wahl der Betriebsart sowie die Dimensionierung der Leistungsgrößen der Wärmepumpe. Bei der Betriebsart wird grundsätzlich zwischen einem monovalenten, einem bivalenten und einem multivalenten Betrieb unterschieden. Bei der monovalenten Betriebsweise ist die Wärmepumpe das ganze Jahr für den gesamten Wärmebedarf eines Gebäudes zuständig. Das bedeutet, dass die Wärmepumpe ganzjährig eine Wärmequelle benötigt, welche eine relativ konstante Temperatur liefern kann. Für diesen Betrieb sind Erdsonden besonders geeignet.

Die zweite Betriebsart wird als bivalente Betriebsweise bezeichnet. Bei dieser wird die Wärmepumpe bei Erreichen einer bestimmten Außentemperatur von einem weiteren Wärmeerzeuger unterstützt. Der Einsatz einer bivalenten Betriebsweise empfiehlt sich bei Wärmepumpen mit schlechterem Wirkungsgrad (Außenluft-Wärmepumpe oder Wärmepumpen mit Erdkollektoren).

Außerdem kann eine Wärmepumpe als multivalentes Heizungssystem betrieben werden. Dabei werden mehrere technische Anlagen in Kombination mit einer Wärmepumpe für die Wärmeversorgung des Gebäudes verwendet. Beispielsweise kann diese Kombination aus einer Wärmepumpe, einer Photovoltaik-(PV-)Anlage, Solarkollektoren und einem Eisspeicher bestehen. Die Funktionsweise wäre folgende: Der Antrieb der Wärmepumpe kann mit photovoltaisch erzeugtem Strom gedeckt werden, wenn der PV-Ertrag zeitgleich mit dem Wärmepumpenbetrieb ist (ansonsten wird Strom aus dem Netz bezogen). Die Solarkollektoren versorgen einen Warmwasserspeicher oder einen Eisspeicher mit

Wärme, die von der Wärmepumpe entzogen wird. Die multivalente Gebäudeenergieversorgung mit rein regenerativen Energien ist noch ein sehr junges Feld. Ziel dabei ist es, durch die Kombination von mehreren regenerativen Energiesystemen eine autarke Energieversorgung von Gebäuden zu erlangen (Schlobach, 2021).

3.4 Berücksichtigung der Schallemissionen

Ein weiterer Schlüsselaspekt bei der Planung einer Wärmepumpenanlage sind die Schallemissionen. Um diese zu reduzieren, sind verschiedene Maßnahmen zu ergreifen. Eine effektive Methode hierfür ist die Verwendung von Schalldämpfern, auf denen die Wärmepumpe aufgestellt wird. Diese Schalldämpfer helfen dabei, Geräusche zu minimieren und die Lärmbelastung in der Umgebung zu verringern.

3.5 Auswahl des Kältemittels

Gemäß der F-Gas-Verordnung müssen die in Wärmepumpen verwendeten Kältemittel bestimmte Anforderungen erfüllen. Jeder Hersteller von Wärmepumpen ist verpflichtet, das Klimaerwärmungspotenzial (Global Warming Potential – GWP) des verwendeten Kältemittels offenzulegen.

Der GWP-Wert gibt an, wie viel Kilogramm CO₂ einem Kilogramm fluoriertem Kältemittel entspricht, und wird in CO₂-Äquivalent gemessen. Zum Beispiel bedeutet ein GWP-Wert von 1.000, dass ein 1 Kilogramm von dem jeweiligen Kältemittel 1.000 kg oder 1 Tonne CO₂-Äquivalent Emissionen verursacht.

Die bisher am häufigsten verwendeten Kältemittel sind R134a (GWP = 1.430), R410A (GWP = 2.088), R407C (GWP = 1.774) und R404A (GWP = 3.922), siehe Glaesmann (2022). Gemäß der F-Gas-Verordnung dürfen seit dem 1. Januar 2020 keine fluorierten Kältemittel mit einem GWP-Wert von über 2.500 für Wärmepumpen verwendet werden. Darüber hinaus ist eine fortlaufende Beschränkung von umweltschädlichen Kältemitteln in den nächsten Jahren zu erwarten. Das wird dazu führen, dass in der Zukunft vermehrt natürliche Kältemittel wie Propan (GWP = 3), Ammoniak (GWP = 0) und Kohlendioxid (GWP = 1) eingesetzt werden (Verordnung (EU) Nr. 517/2014, 2014).

Es ist auch wichtig zu beachten, dass Kältemittel in Wärmepumpen in einem geschlossenen Kreislauf zirkulieren und nur in geringen Mengen durch Leckagen entweichen können. Daher ist eine regelmäßige Wartung umso bedeutender.

4 Genehmigungsanforderungen

Die rechtliche Grundlage für die Nutzung der Erdwärme in Österreich stellt das Wasserrechtsgesetz (WRG 1959) dar. Erdwärmesonden sind im Allgemeinen bewilligungsfrei. Unter bestimmten Voraussetzungen, wie dem Vorhandensein artesischer gespannter Grundwasserkörper, oder in Wasserschutzgebieten ist eine Genehmigung im Anzeigeverfahren (§ 114 WRG 1959) notwendig (GeoSphere Austria, 2023).

Bei der Wärmegewinnung aus dem Untergrund mittels Erdsonden spricht man von geschlossenen Systemen, da keine Wasserentnahme und kein direkter Kontakt mit dem Grundwasser stattfinden. Trotzdem ist eine Gefährdung des Grundwassers, zum Beispiel durch Bohrarbeiten im Zuge der Errichtung oder durch Leckagen im Betrieb, nicht ausgeschlossen (GeoSphere Austria, 2023). Infolgedessen unterliegen Anlagen zur Erdwärmegewinnung einer wasserrechtlichen Bewilligungspflicht und müssen generell im Anzeigeverfahren abgewickelt werden, wenn:

- die Anlage in wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten und in geschlossenen Siedlungsgebieten ohne zentrale Trinkwasserversorgung errichtet wird;
- die Erdkollektoren eine Tiefe von 300 m überschreiten oder in Gebieten mit gespannten oder artesisch gespannten Grundwasservorkommen errichtet werden;
- die Anlage zur Wärmenutzung von Oberflächengewässern verwendet wird.

Die Erdwärmesondenanlagen fallen in die Zuständigkeit der Bezirkshauptmannschaften beziehungsweise des Magistrats der jeweiligen Stadt, somit sind Anträge zur Genehmigung von Erdsonden an diese Behörden zu stellen. Bei der Einreichung des Projekts muss ein hydrogeologisches Gutachten vorliegen, weshalb man frühzeitig ein geeignetes Ingenieurbüro oder eine Bohrfirma mit der Durchführung beauftragen sollte. Für die Erteilung der Genehmigung muss mit einem Zeitraum von zwei bis drei Monaten gerechnet werden. Wenn die Stellungnahme der Behörde nach drei Monaten noch nicht vorliegt, gilt die Anlage automatisch als bewilligt (Höllinger, 2022; Seehauser & Ebenbicher, 2016).

Bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen oder bestehenden Wasserbenutzungsanlagen (Tiefbrunnen, thermischen Grundwassernutzungen, Erdwärmesonden) im Nahbereich des Vorhabens (also im Umkreis von 250 m um die

geplante Erdwärmesondenanlage) wird statt eines Anzeigeverfahrens ein wasserrechtliches Bewilligungsverfahren notwendig (Seehauser & Ebenbicher, 2016).

Ein weiterer Punkt stellen die Schallemissionen dar. Im Vergleich zu Luft-Wärmepumpen fehlt der Außenkörper bei Sole/Wasser-Wärmepumpen, der im Normalfall die Geräusche verursacht (Eder, Groth, & Rössler, 2020). Gesetzliche Vorgaben bezüglich Schallregelungen werden in ÖNORM S 5021 für die schalltechnischen Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung definiert sowie in OIB-Richtlinie 5 für die Mindestanforderungen an Schallschutz in Gebäuden. Zudem gibt es einzelne Beschränkungen der zulässigen Geräuschemissionen in jedem Bundesland. Diese können auf der Website von [Lärminfo](#) gefunden werden.

Nicht zuletzt ist das verwendete Kältemittel in der jeweiligen Wärmepumpe zu beachten. Jene Anlagen sind bewilligungsfrei, die weniger als 1,5 kg Kältemittel der Sicherheitsklasse A1 enthalten (zum Beispiel R410a) und deren Aufstellungsbereich für das Innengerät der Anlage mindestens 20 m³ beträgt (Baupolizei Wien, 2023).

5 Kosten von Wärmepumpenanlagen

Die Kosten, die für die Errichtung und den Betrieb eines Wärmepumpensystems anfallen, werden in Investitions- und Betriebskosten aufgeteilt. Diese können sich im Laufe der Zeit verändern. Es wird daher empfohlen, kontinuierlich über die aktuellsten Kostenentwicklungen informiert zu sein, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Im Folgenden werden die Investitions- und Betriebskosten für das Sole/Wasser-Wärmepumpensystem erörtert.

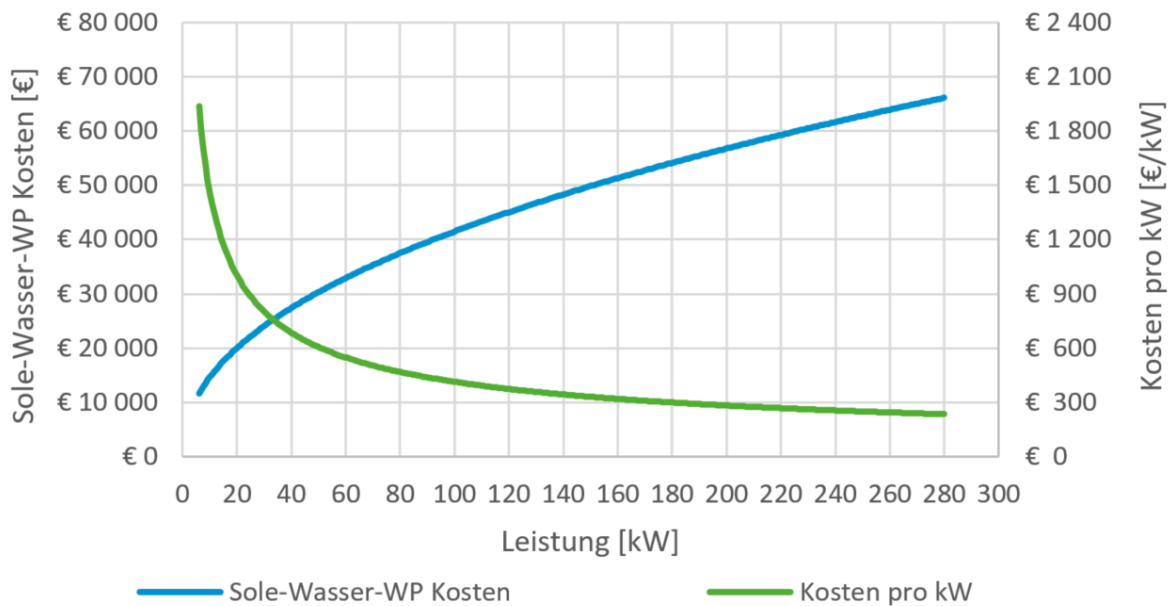
5.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten für SWP mit Erdsonden variieren aufgrund örtlicher Gegebenheiten stark. Sie setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Darunter fallen Kosten für die Wärmepumpe, die Bohrungen sowie die Erdsonden, den Wärmespeicher und die Montage.

Die Investitionskosten der Wärmepumpen hängen von der Leistung ab. Generell gilt, dass höhere Nennleistungen der Wärmepumpe auch höhere Kosten bedeuten, siehe Abbildung 3. Mit zunehmender Leistung sinken jedoch die Investitionskosten pro kW. Somit können Skaleneffekte durch den Betrieb größerer Anlagen genutzt und eine bessere Wirtschaftlichkeit der Anlage beziehungsweise schnellere Amortisation erzielt werden. Ein maßgeblicher Aspekt ist, dass das beheizte Wohngebäude einen niedrigen Raumwärmebedarf aufweist. Ein niedriger Raumwärmebedarf führt zu einer niedrigeren benötigten Heizleistung und kann sich somit positiv auf die Investitionskosten der Wärmepumpe auswirken.

Die Kosten für die Erdwärmebohrungen setzen sich aus verschiedenen Faktoren zusammen. Dazu gehören die Baustelleneinrichtung, Genehmigungsgebühren, Anschaffungs- und Einbaukosten der Erdwärmesonden, Bohrpfähle und andere relevante Komponenten. Die Bohrkosten werden üblicherweise pro Meter Bohrtiefe berechnet und variieren je nach Bodenbeschaffenheit. In Bodenschichten bis zu einer Tiefe von 100 Metern entstehen Kosten von etwa 50 bis 75 €/m, während in härteren Gesteinsböden Kosten von rund 100 €/m zu erwarten sind (Doormann, 2023).

Abbildung 3: Durchschnittliche Investitionskosten von Sole/Wasser-Wärmepumpen verschiedener Hersteller



Quelle: AEA, eigene Erhebung und Auswertung

Anmerkung: Die genannten Kostenangaben für Wärmepumpen dienen lediglich zu Informationszwecken und basieren auf eigenen Erhebungen und Auswertungen. Diese Preise können variieren und unterliegen regionalen, zeitlichen und marktbedingten Schwankungen. Der Autor beziehungsweise die Quelle übernimmt keine Haftung für etwaige Unrichtigkeiten oder Veränderungen der genannten Preise und empfiehlt, aktuelle Preise und Informationen von verlässlichen Quellen oder Fachleuten einzuholen, bevor finanzielle Entscheidungen getroffen werden.

Die Entzugsleistung der Erdsonden liegt in der Größenordnung von 40 bis 60 W/m. Unter Berücksichtigung der benötigten Heizlast des Gebäudes kann die erforderliche Gesamtlänge der Erdsondenbohrungen für die Wärmepumpe berechnet werden. Die Kosten für die Erdsondenbohrungen lassen sich ermitteln, indem die gesamten Kosten pro Meter mit der notwendigen Gesamtlänge der Erdsonden multipliziert werden. Demnach betragen die Kosten für Erdsonden zwischen 1.200 und 2.450 €/kW (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2020).

Bei den Speichermöglichkeiten stehen Pufferspeicher und Kombispeicher zur Auswahl. Beide Varianten weisen unterschiedliche Kosten auf, wobei Kombispeicher im Allgemeinen etwas teurer sind. Wie auch bei den Wärmepumpen sinken die Kosten pro Wasservolumen mit zunehmender Größe des Speichers. Für Pufferspeicher belaufen sich die Kosten auf etwa 1,5 €/l für große Speicher (≥ 2.000 l) und steigen auf etwa 3 €/l für

kleinere Speicher. Im Vergleich dazu liegen die Kosten für Kombispeicher bei etwa 2,5 €/l für große Speicher (≥ 2.000 l) und erhöhen sich auf etwa 4 €/l für kleinere Speicher (die Werte beziehen sich auf eigene Erhebung und Auswertung mit Stand August 2023)

Bei der Montage der SWP mit Erdsonden variieren die Kosten je nach der beauftragten Installationsfirma. Es ist daher ratsam, mehrere Angebote von verschiedenen Firmen einzuholen und zu vergleichen, um das beste Angebot auszuwählen. Dabei sollte nicht allein der Preis, sondern auch die Erfahrung und Fachkompetenz der Fachkräfte in Erwägung gezogen werden.

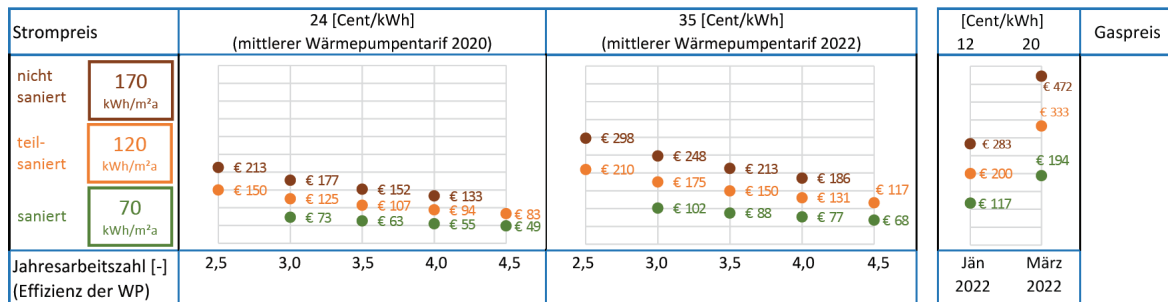
5.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten von Wärmepumpen setzen sich aus den Energiekosten sowie den Wartungs- und Instandhaltungskosten zusammen. Die Energiekosten sind die Stromkosten für den Antrieb der Wärmepumpe sowie für die zusätzlichen Förder- und Umwälzpumpen zum Transport des Wärmeträgermediums durch die Erdsonden oder des Heizungswassers durch das Wärmeabgabesystem. Die Betriebskosten von Wärmepumpen sind eng mit den Stromkosten verbunden. Die Wärmepumpe benötigt elektrische Energie, um Wärme aus der Erde zu gewinnen und in das Heizungssystem zu übertragen. In letzter Zeit zeigen die Stromkosten eine hohe Volatilität (Schwankung), was es für die Nutzenden schwierig macht, die Betriebskosten genau zu planen. Um die beste Option auszuwählen, sollten sie die aktuellen Strompreise sorgfältig analysieren. Die Betriebskosten der Wärmepumpe lassen sich durch eine sorgfältige Analyse und Beratung optimieren.

Ein weiterer Punkt ist, dass die Energiekosten für ein Wärmepumpensystem immer im Zusammenhang mit dem energetischen Standard der Gebäudehülle, mit der Wohnfläche, der Anzahl der wohnhaften Personen und der Effizienz der Heizungsanlage betrachtet werden müssen (Glaesmann, 2022). In Abbildung 4 werden die monatlichen Betriebskosten von einem beispielhaften Wärmepumpensystem in Abhängigkeit von dem Heizwärmebedarf, den Stromkosten und der Effizienz der Wärmepumpe dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die thermische Qualität des Gebäudes beziehungsweise der Heizwärmebedarf ausschlaggebend ist und die Betriebskosten mit zunehmender Effizienz der Wohngebäude sinken. Nicht zuletzt ist auch eine effiziente Betriebsweise oder hohe Jahresarbeitszahl der Wärmepumpenanlage zu gewährleisten. Wenn folgende Punkte berücksichtigt werden, lassen sich die Betriebskosten bestmöglich optimieren:

- Raumwärmebedarf des Wohngebäudes reduzieren
- Heizleistung des Wohngebäudes verringern
- Optimalen Stromtarif auswählen
- Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe steigern
- Wartung und Instandhaltung regelmäßig durchführen

Abbildung 4: Monatliche Betriebskosten für die Beheizung eines Hauses (Heizfläche 150 m²)



Quelle: Miara, 2021

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, die Effizienz der Förder- und Umwälzpunkte zu beachten, da hier erhebliche Einsparungen erzielt werden können. Durch die Nutzung von effizienteren Pumpen und Elektromotoren kann der Energieverbrauch reduziert werden. Mehr Information dazu ist unter [klimaaktiv Technologieschwerpunkt Pumpen](#) zu finden.

Die Instandhaltungs- und Wartungskosten sind bei Wärmepumpensystemen gering. Meist handelt es sich bei einer jährlichen Wartung lediglich um eine Anlagen- und Kältemittelkontrolle. Abgasmessungen und Reinigungen – wie sie bei Gas- oder Ölkesseln erforderlich sind – fallen bei Wärmepumpensystemen nicht an. Die jährlichen Instandhaltungs- und Wartungskosten für Wärmepumpen betragen zwischen 2 % und 3 % der Investitionskosten (VDI 2067 Blatt 1, 2012).

6 Förderungen

Bei der Entscheidung für ein neues Heizsystem spielt die Frage von potenziellen Fördermöglichkeiten eine zentrale Rolle. Der Einbau klimafreundlicher Heizsysteme wird in Österreich aktuell attraktiv von Bund und Ländern gefördert. Die Förderprogramme für Wärmepumpenanlagen stehen sowohl auf Bundesebene als auch auf Ebene der Bundesländer zur Verfügung. Jedes Programm enthält verschiedene Kriterien für die Einreichung, deckt unterschiedliche Kosten ab und berechtigt verschiedene Personengruppen zur Beantragung.

Förderprogramme werden regelmäßig ausgeschrieben. Die neueste Information darüber findet sich auf der Webseite des klima**aktiv** Programms unter dem folgenden Link: [Förderung für Wärmepumpen](#).

Die genauen Prozesse und Schritte zur Förderung von Wärmepumpenanlagen können je nach Land, Bundesland oder Gemeinde unterschiedlich sein. In bestimmten Fällen ist die Kombination einer Bundesförderung mit einer zusätzlichen Landesförderung möglich. Es gibt einige allgemeine Schritte und Prozesse, die häufig bei Förderprogrammen für Wärmepumpen implementiert werden.

Der erste Schritt besteht darin, einen Förderantrag vorzubereiten und einzureichen, entweder vor der Umsetzung des Projekts oder in einigen Fällen auch nach der Umsetzung innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens. Dieser Antrag enthält grundsätzliche Informationen über die geplante Wärmepumpenanlage, die erwarteten Projektkosten und den geplanten Installationsort. In einem nächsten Schritt prüfen die zuständigen Behörden die Unterlagen auf Vollständigkeit und Einhaltung der Kriterien. Dieser Überprüfungsprozess kann einige Zeit in Anspruch nehmen. In einigen Förderprogrammen kann mit der Installation der Wärmepumpe begonnen werden, während der Antragsprüfungsvorgang noch läuft, um die Projektdauer zu verkürzen. Es ist jedoch empfehlenswert, auf die offizielle Fördergenehmigung zu warten, um sicherzustellen, dass die Mittel ausgeschüttet werden können. Zuletzt ist es wichtig, dass die Installation der Wärmepumpe den örtlichen Bauvorschriften und den spezifischen Förderbedingungen entspricht, damit das Projekt die erforderlichen Standards erfüllt und erfolgreich abgeschlossen wird (Kommunalkredit Public Consulting, 2023).

7 Best-Practice-Beispiele

7.1 Viertel Zwei in Wien

Im zweiten Wiener Bezirk wurde ein integriertes Wärme- und Kälteversorgungssystem für die Energieversorgung von Büros, Wohnungen, Studierendenapartments, einem Fitnesscenter und einem Hotel errichtet. Die Wärmebereitstellung erfolgt durch drei parallel geschaltete Sole/Wasser-Wärmepumpen mit einer jeweiligen Wärmeleistung von 1,2 MW. Zur Deckung von Spitzenlasten während der Wintermonate wurden Gaskessel mit einer kombinierten Leistung von 3,2 MW in das System integriert. Für die Kälteversorgung sind drei Kältemaschinen mit einer Gesamtkühlleistung von 2,7 MW verantwortlich. Die Endenergiezusammensetzung für Heizung, Kühlung und Warmwasser besteht aus 46 % Umweltwärme, 17 % Strom (einschließlich 2 % von der integrierten 169-kWp-PV-Anlage) und 37 % Gas.

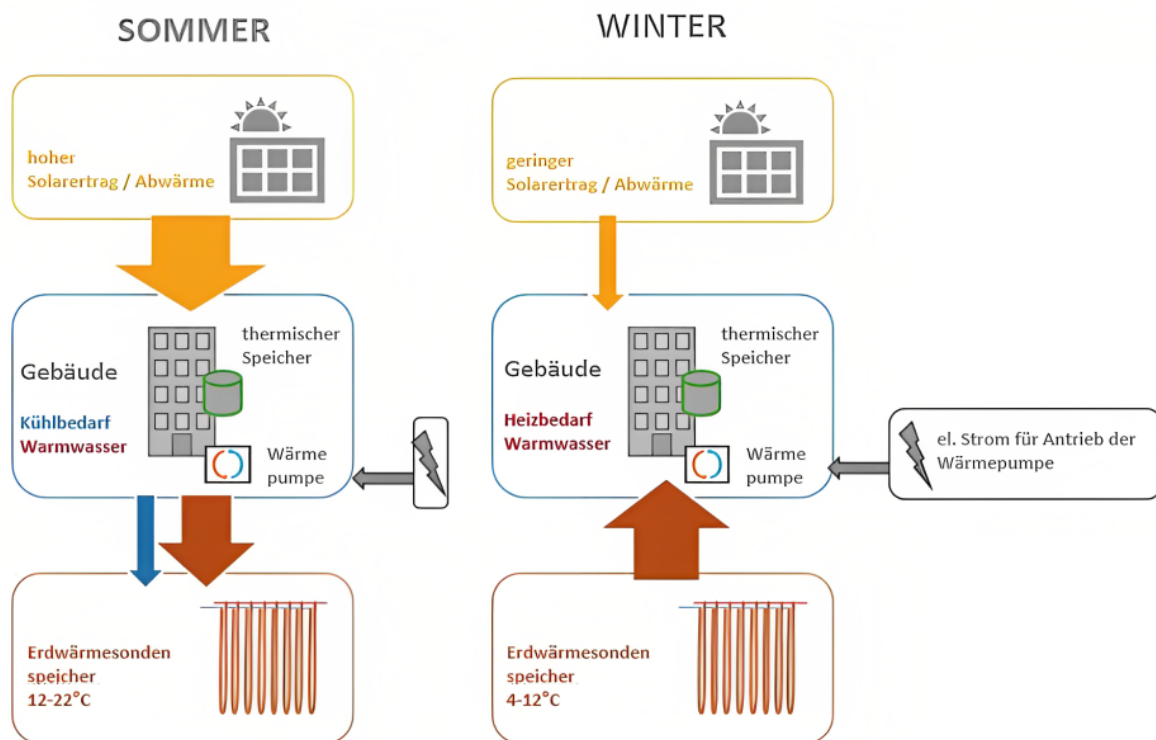
Nach der Anlageninbetriebnahme wurde eine kontinuierliche Optimierung durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass das System signifikant überdimensioniert war. Durch die Optimierung konnte die Heizleistung um bis zu 20 % und die Kühlleistung um bis zu 40 % unter den ursprünglichen Prognosen reduziert werden. Die Kühllast wird nun sogar von nur zwei Kältemaschinen gedeckt. Nach der energetischen Optimierung wurden die Gaskessel mit der Hälfte ihrer installierten Kapazität betrieben. Diese Betriebsweise hat sich als wirtschaftlich erwiesen und den Wohnkomfort der Bewohner:innen nicht beeinträchtigt.

Weitere Informationen zum Projekt „Viertel Zwei“ sind im Rahmen des **klimaaktiv** Programms unter folgendem Link zu finden: [Viertel Zwei](#).

7.2 Smart Block Geblergasse in Wien

Für die Wärme- und Kälteversorgung von zwei benachbarten Bestandsgebäuden mit insgesamt 25 Wohnungen im 14. Bezirk Wiens wurde ein Anergienetz errichtet, siehe Abbildung 5. Für die effiziente Nutzung dieser Art der Wärmeversorgung mit niedrigen Vorlauftemperaturen wurden die Gebäude, beide aus dem Jahr 1865, im Vorfeld mithilfe der Förderungsschiene „Sockelsanierung“ thermisch modernisiert. Diese Maßnahme führte zu einem reduzierten Heizwärmebedarf (von 125–160 kWh/m² auf 25–30 kWh/m²) in beiden Gebäuden.

Abbildung 5: Energiekonzept Anergienetz: Saisonaler Wärmefluss im Sommer und Winter



Quelle: Bayer, et al., 2020

Die neu implementierte Energieversorgung erfolgt über Wärmepumpe, Erdsonden und hybride Solar- und Photovoltaikanlagen. Die Erdsonden und die Solarkollektoren dienen als Wärmequelle. Die im Innenhof installierten 18 Erdsonden mit einer Tiefe von 100 m dienen als saisonal wirkender Massespeicher und speichern die Wärme und Kälte im Erdreich, welche von den angeschlossenen Gebäuden mithilfe der Wärmepumpe genutzt werden. Die Sonnenstrahlung wird durch die Solaranlagen auf den Dächern eingefangen

und in den Erdsonden gespeichert. Dies ermöglicht die Nutzung der gespeicherten Erdwärme zur Heizung und ganzjährigen Warmwasserbereitung anhand der Wärmepumpe, deren Arbeitszahl 6 bis 7 beträgt.

Im Sommer wird der Rückfluss aus dem Erdreich zur Kühlung der Wohnungen über die Fußbodenheizungen genutzt. Bei ausreichend verfügbarem erneuerbaren Strom schaltet sich die Wärmepumpe ein und lädt mithilfe des Wassers im Anergienetz die Fußbodenheizungen der Wohnungen auf.

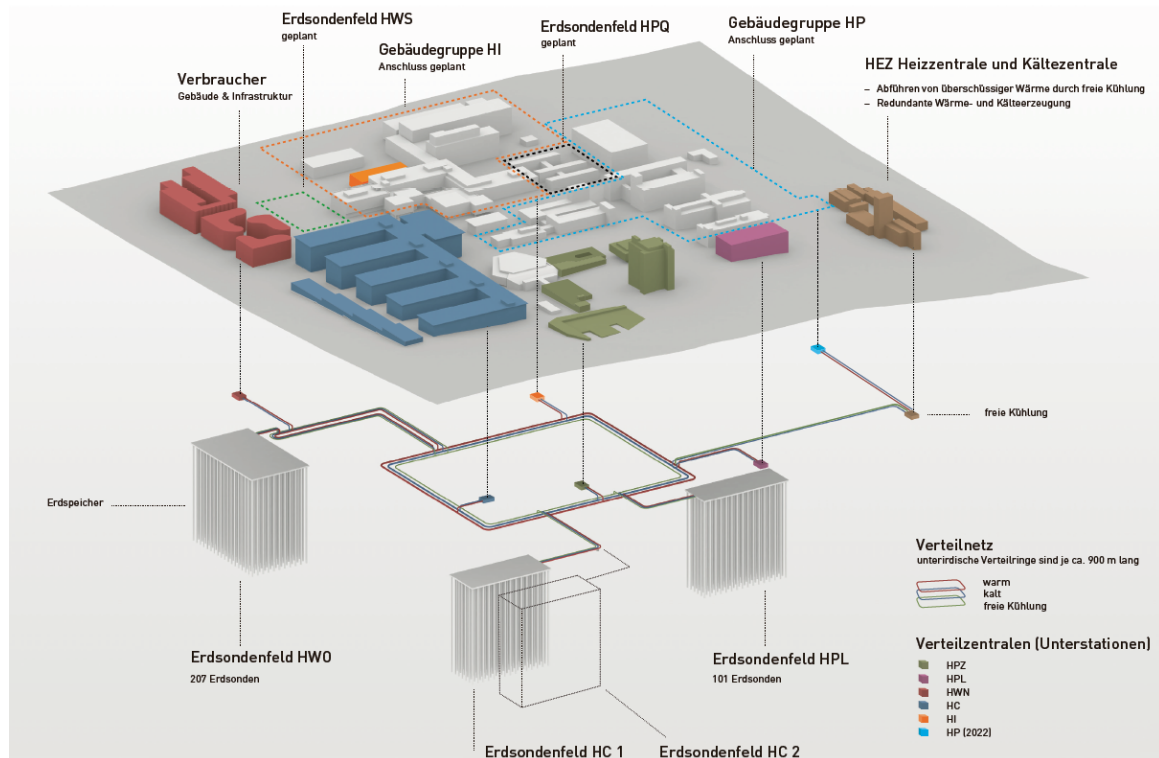
Die Warmwasserbereitung in den Wohnungen erfolgt dezentral auf 45 °C und bei Bedarf werden höhere Temperaturen mittels in den Wohnungen integrierten elektrischen Heizpatronen erreicht. Die Betriebskosten für die Heizung und das Warmwasser liegen knapp unter den ortsüblichen Fernwärmepreisen, wobei die sommerliche Temperierung als zusätzlicher Vorteil betrachtet werden kann.

Weitere Informationen zu dem Projekt „Smart Block Geblergasse“ sind im Rahmen des klima**aktiv** Programms unter folgendem Link zu finden: [Geblergasse](#).

7.3 Campus Höggerberg in Zürich (Schweiz)

Der Campus Höggerberg der ETH Zürich (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) ist ein Stadtquartier mit mehr als 30 Gebäuden, deren jährlicher Heizungsverbrauch etwa 22 GWh beträgt. Die Gebäude beherbergen verschiedene Funktionen wie Labore, Hörsäle und Büros, also mit sowohl Heiz- als auch Kühlungsbedarf. Um das bestehende Wärmesystem zu erneuern, das auf Fernwärme und -kälte mit jeweiligen Gaskesseln und Kältemaschinen basierte, wurde ein Anergienetz für die Wärmeversorgung gebaut. Das System besteht nun (Stand 2019) aus drei Erdsondenfeldern und fünf Zentralen, die insgesamt 14 Gebäude mit Wärme und Kälte versorgen, wie in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6: Anergienetz des Campus Höggerberg



Quelle: ETH Zürich – Abteilung Immobilien, 2019

Das kreisförmige Anergienetz besteht aus einem warmen und einem kalten Verteilnetz, die die individuellen Cluster und die Erdsondenfelder verbinden. Die Temperaturniveaus im Netz variieren zwischen 8 °C und 24 °C (im Kaltnetz um 4 °C niedriger). Die Temperaturen hängen von der Menge an überschüssiger Wärme und von der Jahreszeit ab. Das Hauptziel besteht darin, am Ende der Heizsaison eine niedrige Temperatur

(8 °C/4 °C) im Erdsondensystem zu erreichen, um die Kältekapazität für den Sommer zu maximieren. Nach der Regeneration der Erdsondenfelder am Ende des Sommers erreicht das Anergienetz die höchsten Temperaturen (24 °C/20 °C). Dies erlaubt eine sehr effiziente Wärmeproduktion mit den Wärmepumpen für die kommende Heizsaison. Ein drittes Verteilnetz unterstützt den Betrieb der Erdsondenfelder und regelt die überschüssige Wärme bei Bedarf. Der Wärme- und Kältebedarf werden mithilfe der Wärmepumpen und der Wärmetauscher abgedeckt. Die effizienteste Betriebsart von einem Cluster ist der Autonomiebetrieb, der ohne das Anergienetz auskommt und mehrheitlich in der Übergangszeit auftritt (IEA Heat Pumping Technologies, 2018).

Die ringförmige Struktur des Anergienetzes ermöglicht eine kontinuierliche Erweiterung, da der Wärmebedarf dezentral in den Clustern gedeckt wird. Zusätzliche Cluster und geothermische Speichersysteme können an beliebiger Stelle integriert werden. Darüber hinaus hat das Konzept der dezentralen Versorgung beziehungsweise der gewählten Hydraulik den entscheidenden Vorteil, dass das System nur aktiv ist, wenn Kühl- oder Heizbedarf besteht (IEA Heat Pumping Technologies, 2018).

Laut Auswertung der ersten Betriebsjahre deckte das Anergienetz etwa 81 % des Nutzwärmebedarfs und etwa 87 % des Nutzkältebedarfs ab. Der restliche Anteil wurde konventionell über die Redundanz aus der Energiezentrale im Gebäude HEZ gedeckt. Das Ziel besteht nun darin, den Abdeckungsgrad durch das Anergienetz in den angeschlossenen Gebäuden auf 90 % zu steigern und danach zu halten (ETH Zürich – Abteilung Immobilien, 2019).

8 Über klimaaktiv

klima**aktiv** ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klima**aktiv** zeigt, dass jede Tat zählt: Jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter klimaaktiv.at.

Die Klimakrise, stark volatile Energiepreise und die Abhängigkeit von fossilen Energieimporten machen einen Ausbau der erneuerbaren Energieproduktion in Österreich unerlässlich. Damit die nationalen Ziele der Klimaneutralität und Energiewende erreicht werden, muss die Geschwindigkeit des Ausbaus beschleunigt werden. Dies unterstützt das Programm klima**aktiv** „Erneuerbare Energiewende“. Wir identifizieren Hürden der Umsetzung von Projekten in Gemeinden, Unternehmen und bei Bürgerinnen und Bürgern, zeigen Handlungsoptionen auf und liefern Fakten zur Energiewende. Mehr unter klimaaktiv.at/erneuerbare.

Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klima**aktiv**

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Sektion Klima und Energie,

Abteilung VI/12 - Dialog zu Energiewende und Klimaschutz

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klima**aktiv** Erneuerbare Energiewende

Österreichische Energieagentur

Lorenz Strimitzer

lorenz.strimitzer@energyagency.at

Literaturverzeichnis

Baupolizei Wien (2023): Merkblatt – Technische Anlagen Klima-, Lüftungsanlagen, Wärmepumpen etc., Abgerufen am 13.07.2023 von wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/merkblatt-klima-lueftungsanlagen-waermepumpen.pdf

Bundesverband Wärmepumpe (2023): Abgerufen am 15.06.2023 von waermepumpe.de/presse/mediengalerie/grafiken/

Doormann, Gina (2023): Heizungsfinder. Abgerufen am 13.07.2023 von heizungsfinder.de/waermepumpe/kosten-preise/erdwaerme

Eder/Groth/Rössler (2020): Leitfaden: Schallschutz haustechnischer Anlagen. Abgerufen am 13.07.2023 von wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/schallschutz-haustechnischer-anlagen.pdf

ETH Zürich – Abteilung Immobilien (2019): Die Energie von morgen, Anergienetz Campus Höggerberg – ein dynamisches Erdspeichersystem. Abgerufen am 09.08.2023 von ethz.ch/content/dam/ethz/main/eth-zurich/nachhaltigkeit/infomaterial/Anergienetz_A4_6s_Einzel_RZ.pdf

GeoSphere Austria (2023): Rechtliche Grundlagen der Erdwärmennutzung in Österreich. Abgerufen am 17.07.2023 von erdwaerme-wien.info/rechtliches/#:~:text=Erdw%C3%A4rmesonden%20sind%20im%20Allgemeinen%20bewilligungsfrei,artesisch%20gespannter%20Grundwasser%20B6rper%20oder%20Wasserschutzgebiete

Bayer, Gerhard/Pfefferer, Bianca/Fuchsluger, Martin/Hoyer, Stefan/Kalasek, Robert/Brus, Thomas/Zeininger, Johannes (2020): Projektbericht AnergieUrban – Stufe 1. Wien: ÖGUT.

Glaesmann, Nicolas (2022): Wärmepumpenheizungen: Planungshilfe und Ratgeber für Neubauten und Bestandsgebäude. Springer Vieweg Wiesbaden.

Höllinger, Martin (2022): HAUSBAU Magazin. Abgerufen am 08.09.2023 von hausbaumagazin.at/tiefenbohrungen-zur-erdwaermenutzung-kosten-und-genehmigung/

IEA Heat Pumping Technologies (2018): Anergy Network at campus ETH Hönggerberg. Abgerufen am 01.08.2023 von heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsanergy-network-eth-honggerberg.pdf

Kaltschmitt, Martin/Streicher, Wolfgang/Wiese, Andreas (2020): Erneuerbare Energien. Springer Verlag.

Kesselheld (2023): Wärmepumpe: Preis, Betriebskosten & Förderung. Abgerufen am 07.07.2023 von kesselheld.de/waermepumpe-preis/

Kommunalkredit Public Consulting (2023): Informationsblatt Antragstellung: Betriebliche Umweltförderung. Abgerufen am 25.09.2023 von umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/umweltfoerderung/uebergeordnete_dokumente/_infoblatt_antragstellung.pdf

Miara, Marek (2021): Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Effizienz- und Kostenbetrachtungen Erdwärme im Bestand.

Schlobach, Martin (2021): Betriebsweisen von Wärmepumpen. Abgerufen am 14.07.2023 von haustechnikverstehen.de/betriebsweisen-von-waermepumpen/

Seehauser, Christoph/Ebenbicher, Rupert (2016): Leitfaden zum Bau und Betrieb von Erdwärmesonden in Tirol. Abgerufen am 22.08.2023 von tirol.gv.at/fileadmin/themen/umwelt/wasser_wasserrecht/Leitfaden_EWS_Tirol_2_.pdf

VDI 2067 Blatt 1. (2012): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung.

Verordnung (EU) Nr. 517/2014. (2014): Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase. Abgerufen am 19.08.2023 von eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32014R0517

Abkürzungen

| Abkürzung | Bedeutung |
|------------------|--------------------------|
| SWP | Sole/Wasser-Wärmepumpe |
| JAZ | Jahresarbeitszahl |
| PV | Photovoltaik |
| WRG | Wasserrechtsgesetz |
| kW | Kilowatt |
| l | Liter |
| GWP | Global Warming Potential |
| MW | Megawatt |
| kWp | Kilowatt peak |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Funktion einer Wärmepumpe | 5 |
| Abbildung 2: Verlegung von Erdsonden (a) und Erdkollektoren (b) | 6 |
| Abbildung 3: Durchschnittliche Investitionskosten von Sole/Wasser-Wärmepumpen verschiedener Hersteller | 17 |
| Abbildung 4: Monatliche Betriebskosten für die Beheizung eines Hauses (Heizfläche 150 m ²) | 19 |
| Abbildung 5: Energiekonzept Anergienetz: Saisonaler Wärmefluss im Sommer und Winter..... | 22 |
| Abbildung 6: Anergienetz des Campus Höggerberg (ETH Zürich)..... | 24 |

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at