

Schlussbericht, 22. Februar 2016

Eisspeicher-Wärmepumpen- Anlagen mit Sonnenkollektoren

Wirtschaftlichkeit, Umweltbelastung
und Marktpositionierung



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Stefan Minder, Weisskopf Partner GmbH, stefan.minder@weisskopf-partner.ch

Rita Hefti, Weisskopf Partner GmbH, rita.hefti@weisskopf-partner.ch

Nicolas Ettl, Weisskopf Partner GmbH, nicolas.ettlin@weisskopf-partner.ch

Thomas Weisskopf, Weisskopf Partner GmbH, thomas.weisskopf@weisskopf-partner.ch

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

Adresse

Weisskopf Partner GmbH, Albisriederstrasse 184 b, 8047 Zürich

Tel. 044 404 80 40, info@weisskopf-partner.ch, www.weisskopf-partner.ch

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	8
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Fragestellung.....	10
1.3 Vorgehen	10
2. Eisspeicher-Solar-Wärmepumpe	12
2.1 Technologie	12
2.2 Einsatzbereich	13
3. Grundlagen	14
3.1 Gebäude- und Verbrauchertypen.....	14
3.2 Anlagentypen	15
3.3 Systemnutzungsgrade.....	16
4. Wirtschaftlichkeit	20
4.1 Methodik	20
4.2 Datenquellen	21
4.3 Parameter und Annahmen	21
4.4 Resultate Referenzszenarien.....	24
4.5 Sensitivitätsanalyse	32
5. Umweltbelastung	36
5.1 Methodik	36
5.2 Kennwerte.....	37
5.3 Resultate	38
5.4 Einfluss Kältemittel.....	43
6. Marktpositionierung	44
7. Literatur	48

Zusammenfassung

In Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren (Eisspeicher-WP) werden Aussenluft und Sonnenstrahlung als primäre Wärmequelle für die Wärmepumpe genutzt. Ein Latentspeicher (Eisspeicher) puffert die Schwankungen der Aussentemperatur, speichert Solarwärme auf tiefem Temperaturniveau und bewirkt, im Vergleich zu einer Luft/Wasser-WP, konstantere und höhere Quellentemperaturen für die Wärmepumpe. Eisspeicher-WP erreichen bei guter Auslegung und Funktion ähnliche Systemnutzungsgrade wie Erdsonden-WP. Wenn ein signifikanter Teil Solarwärme direkt zur Warmwasserproduktion genutzt wird, liegen die Systemnutzungsgrade sogar darüber.

Für den Einfamilienhausbereich sind heute nur wenige Anbieter für Komplettsysteme auf dem Markt. Diese bieten zwei Typen von Anlagenkonfigurationen an:

- Selektive und verglaste Kollektoren, welche auch direkt Warmwasser erzeugen können, in Kombination mit einem kleinen, innen aufgestellten, in ein Kompaktsystem integrierten Eisspeicher. Erhältlich für Heizleistung bis 7 kW, bzw. 8 kW mit Kombispeicher, Gesamtwärmebedarf bis 13 MWh/a (monovalent) und Vorlauftemperaturen bis max. 45°C.
- Reine Tieftemperatur-Absorber aus Polyethylen (Solar-Luft-Absorber), welche ausschliesslich als Quelle für die Wärmepumpe dienen, in Kombination mit einem grossen, erdverlegten Eisspeicher. Der Eisspeicher kann zusätzlich Erdwärme aufnehmen. Erhältlich als Kompletanlage für 7-17 kW, Vorlauftemperaturen bis 55°C.

In einer vorgängigen, von EnergieSchweiz in Auftrag gegebenen Studie wurde aufgezeigt, dass beide Anlagentypen und die marktverfügbaren Systeme technisch gut funktionieren. In der vorliegenden Studie wurden die Eisspeicher-WP für den Einsatz bei Einfamilienhäusern unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit und der Umweltbelastung untersucht und gegenüber den klassischen Wärmepumpenanlagen positioniert.

Die Investitionskosten für Eisspeicher-WP-Anlagen sind tendenziell höher als für Erdsonden- und Luft/Wasser-WP-Anlagen. Beim Anlagentyp mit erdverlegtem Eisspeicher sind die Investitionskosten deutlich höher. Die jährlichen Kosten für Strom und Unterhalt sind vergleichbar mit Erdsonden-WP und tiefer als bei Luft/Wasser-WP.

Die finanzielle Förderung von Wärmepumpen und Solarkollektoren ist kanton unterschiedlich ausgestaltet. Um den Einfluss der Förderung abzuschätzen wurde eine Variante mit typischer Förderung der Solarkollektoren (selektiv) und der Wärmepumpe (bei Heizungersatz) gerechnet. Unter diesen Annahmen gleichen sich die Investitionskosten für den Anlagentyp mit integriertem Eisspeicher den klassischen Wärmepumpen an. Die Variante mit erdverlegtem Speicher bleibt kapitalintensiver. Nicht berücksichtigt wurden die z.T. bestehenden, zusätzlichen Förderprogramme auf Gemeindeebene.

Die über 20 Jahre berechneten Wärmegestehungskosten liegen im Bereich 25-35 Rp./kWh¹. Mit Annahmen für eine typische Förderung durch den Kanton liegen die Wärmegestehungskosten der Eisspeicher-WP mit kleinem, integriertem Eisspeicher im ähnlichen Bereich wie die Wärmegestehungskosten der Erdsonden-WP und der Luft/Wasser-WP oder sogar leicht darunter. Die Variante mit erdverlegtem Eisspeicher

¹ bei einem Stromtarif von 18 Rp./kWh, einem Kalkulationszinssatz (nominal) von 1.5% und 1% Inflation.

liegt rund 5-7 Rp./kWh über den klassischen WP-Typen. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass bei steigendem Stromtarif der Vorteil der Luft/Wasser-WP bei der Wirtschaftlichkeit abnimmt und bei hohen Stromtarifen (hochwertige, erneuerbare Stromprodukte) sogar verschwinden kann.

Eisspeicher-WP-Kompaktanlagen ohne erdverlegtem Speicher positionieren sich also aus Wirtschaftlichkeitsperspektive ähnlich wie die klassischen Wärmepumpentypen, sind aber nur bis 7 kW_{th} verfügbar und für Niedertemperatur-Heizsysteme empfohlen. Systeme mit erdverlegtem Eisspeicher können auch den höheren Leistungsbereich und ältere Wärmeabgabesysteme effizient abdecken, sind heute aber deutlich teurer als Erdsonden-WP. Der Einsatz macht aus wirtschaftlicher Sicht also vor allem da Sinn, wo Erdsonden nicht möglich oder erwünscht sind. Die Stückzahlen der Eisspeicher-WP Komplettsysteme sind noch klein. Mittelfristig ist daher zu erwarten, dass die Kosten noch sinken.

Für die Betrachtung aus der Umweltperspektive ist der Stromverbrauch während der Lebensdauer der Anlage dominierend. Die Umweltbelastung durch den Stromverbrauch ist im Fall eines typischen Strommix (Schweiz oder Europa) um ein vielfaches höher als die Umweltbelastung durch Erstellung und Entsorgung der Anlage. Die Eisspeicher-Anlagen positionieren sich daher, aufgrund des guten Systemnutzungsgrades, grundsätzlich ähnlich wie die Erdsonden-WP und besser als die Luft/Wasser-WP.

Wird die Wärmepumpe mit einem erneuerbaren Strommix betrieben, ist der Einfluss des Stromverbrauchs auf die Umweltbelastung kleiner als die Belastung durch Erstellung und Entsorgung der Anlage. Die Positionierung verschiebt sich in diesem Fall und die Luft/Wasser-WP schneidet, aufgrund des geringen Materialaufwandes, am besten ab. Die Anlagentypen mit selektiven Kollektoren mit Kupfer- oder Edelstahlabsorbieren bewirken die höchste Umweltbelastung. Diese Resultate der Umweltbelastung beim Betrieb mit erneuerbarem Strommix sind allerdings mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren, denn sie setzen voraus, dass erneuerbarer Strom auch in genügendem Masse und langfristig zur Verfügung steht. Grundsätzlich sind Systeme mit höherer Effizienz (geringerem Stromverbrauch) vorzuziehen, bzw. der durchschnittliche Verbrauchermix als Basis für die Umweltbetrachtung zu verwenden.

Die Grafik in Abbildung 1 zeigt die Position der untersuchten Anlagentypen auf den Achsen Umweltbelastung und Wärmegestehungskosten für den Betrieb mit CH-Verbrauchermix, ohne finanzielle Förderung von Kollektoren oder Wärmepumpen. Die drei Umweltindikatoren (nicht erneuerbare Primärenergie, Treibhausgase und Umweltbelastungspunkte) sind dabei gleich gewichtet. Die Positionierung verschiebt sich, je nach Annahmen bezüglich des Fördermodells, der Herkunft des verwendeten Stroms und der Gewichtung der Umweltindikatoren. Abbildung 2 zeigt die Positionierung bei einem angenommenen, typischen kantonalen Fördermodell für Kollektoren und Wärmepumpen im Fall eines Heizungsersatzes.

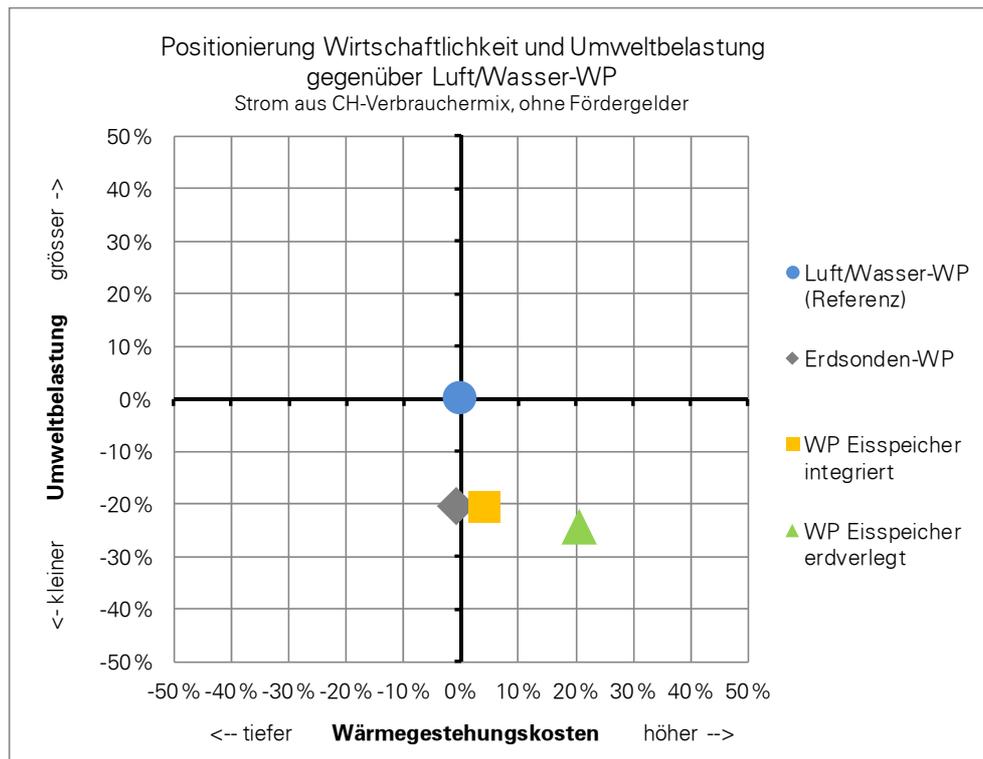


Abbildung 1: Positionierung der untersuchten Anlagentypen gegenüber der Luft/Wasser-WP für den Referenzfall EFH saniert, Strom CH Verbrauchermix, ohne Förderung

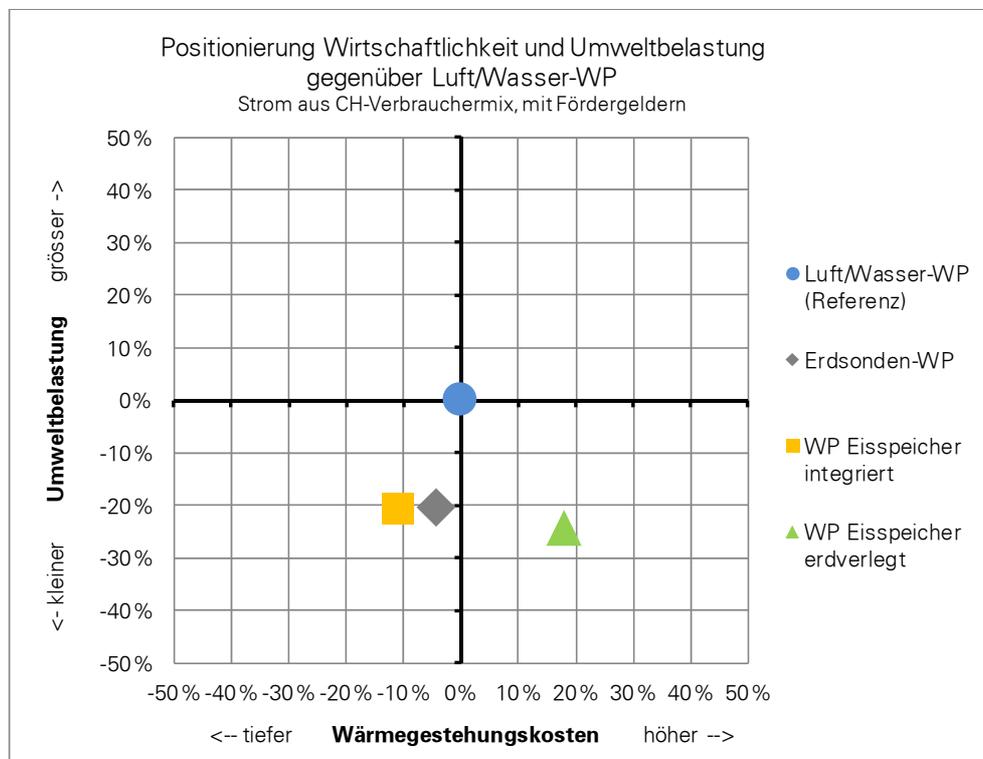


Abbildung 2: Positionierung der untersuchten Anlagentypen gegenüber der Luft/Wasser-WP für den Referenzfall EFH saniert, Strom CH Verbrauchermix, mit Annahme für Förderung von WP und Kollektoren

Grundsätzlich sind mit den Eisspeicher-Wärmepumpen Anlagentypen auf dem Markt erhältlich, welche effizient und umweltfreundlich sind und eine echte Alternative zu Erdsonden-Wärmepumpen darstellen. Erdsondenbohrungen, Grundwasser- oder Oberflächenwassernutzung sind nicht überall möglich oder stossen in der Perspektive einer langfristigen Ablösung der fossilen Wärmerzeugung in urbanen Gebieten schnell an Grenzen.

Die gezielte Förderung sollte im Falle eines öffentlichen Interesses an der deutlich höheren Effizienz und tieferen Umweltbelastung im Vergleich zur Luft/Wasser-Wärmepumpe in Betracht gezogen werden.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Heute sind immer noch 48% der Heizsysteme für Raumheizung in der Schweiz Ölheizungen, 16% Gasheizungen und 10% Elektro-Direktheizungen. Wärmepumpen machen, mit rund 200'000 Anlagen, ca. 11% der installierten Heizsysteme aus (Abbildung 3). Der Anteil der installierten Ölheizungen nimmt allerdings seit Jahren stetig ab. In den fünf Jahren von 2009 bis 2014 ist der Anteil von 52% auf 48% zurückgegangen. Gleichzeitig stieg der Anteil der Wärmepumpen in der gleichen Periode von 8% auf 11%.

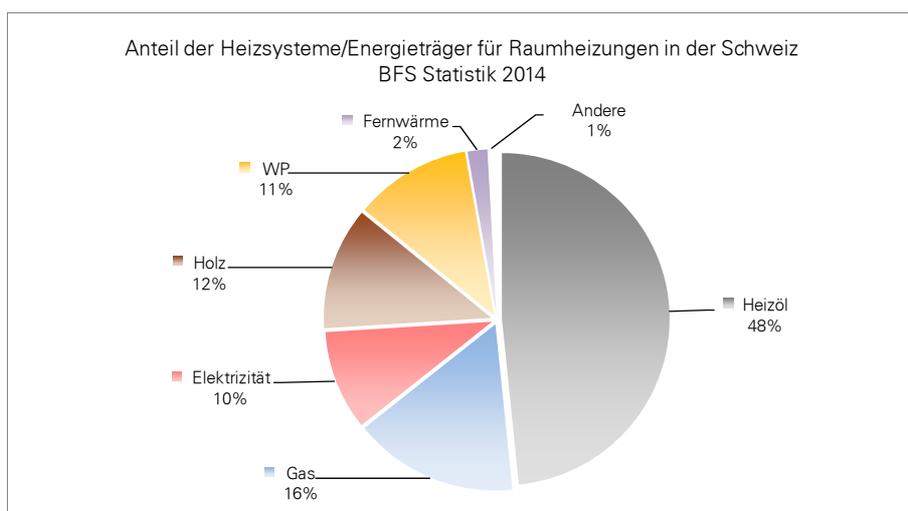


Abbildung 3: Anteil der Heizsysteme/Energieträger für Raumheizungen in der Schweiz 2014; Quelle: BFS

Wärmepumpen und Solarkollektoren sind die am stärksten wachsenden Heizsysteme mit je rund 50% Zunahme an Anlagen in den letzten fünf Jahren (Abbildung 4). In der Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energieträger spielen die Wärmepumpensysteme eine wichtige Rolle. Ein weiteres starkes Wachstum ist zu erwarten.

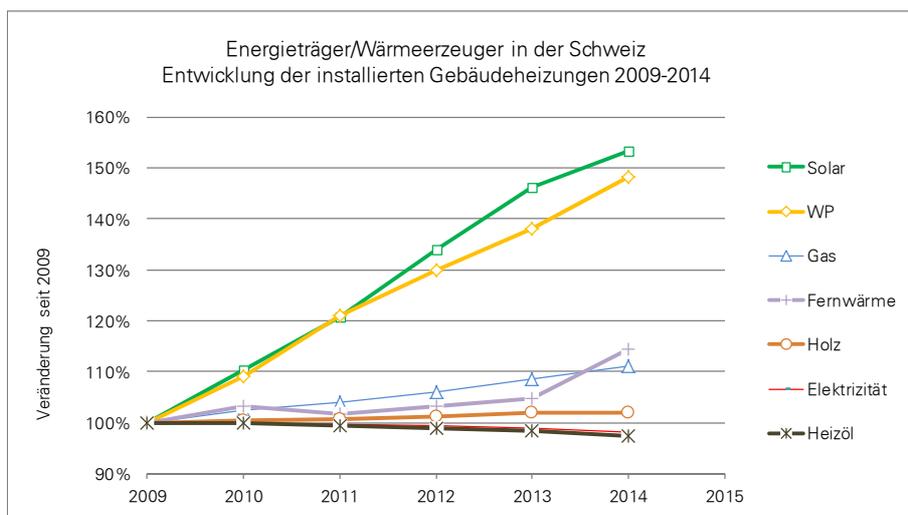


Abbildung 4: Entwicklung der Anzahl installierter Heizsysteme für Raumheizung in der Schweiz zwischen 2009 und 2014, Basis 2009; Quelle: BFS

Die dominanten Systeme sind Luft/Wasser-Wärmepumpen (62% aller verkauften WP im 2014) und Sole/Wasser-Wärmepumpen, hauptsächlich mit Erdsonden (35% aller verkauften WP im 2014). Erdsonden-WP sind deutlich effizienter als Luft/Wasser-WP. Erdsonden-WP sind aber auch teurer in der Anschaffung und Erdsonden-Bohrungen sind nicht überall zugelassen. Auch sind der Dichte von Erdsonden (im dicht besiedelten Gebiet) physikalische Grenzen gesetzt.

Es gibt verschiedene Ansätze der Kombination von Solarthermie und Wärmepumpen auf dem Markt mit dem Ziel, eine hohe Systemeffizienz zu erreichen. Dies sind Erdsonden-Regeneration, Parallelbetrieb zur WP für die Brauchwarmwasser-Erwärmung, serieller Betrieb mit der Wärmepumpe und Kombinationen dieser Ansätze. Im IEA SHC Task 44² wurden optimale Kombinationen von Solarthermie und Wärmepumpen untersucht.

Ein besonders interessanter Ansatz ist die Kombination einer Wärmepumpe mit einem Latentspeicher (Eisspeicher) und Solar-Luft-Absorbern. Die Technologie ist noch relativ neu und in der Schweiz noch wenig verbreitet. Eine 2014 im Auftrag von EnergieSchweiz verfasste Studie zeigt den Stand der Technik auf [1]. Die bisherigen Erfahrungen sind grundsätzlich ermutigend und der Einsatz in Situationen, wo Erdsondenbohrungen nicht möglich sind, ist aus technischer Sicht sinnvoll. Es fehlen bisher aber noch Informationen zu Kosten und Wirtschaftlichkeit dieses Anlagentyps, auch im Vergleich zu Erdsonden- und Luft/Wasser-WP.

Der anzahlmässig weitaus grösste Markt für Wärmepumpen liegt bei Einfamilien- und kleinen Mehrfamilienhäusern. Abbildung 5 zeigt die Verkaufsstatistik 2014 der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) nach Leistungskategorien. 60% der Wärmepumpen (11'161 Stück) wurden im Leistungsbereich 5-13 kW verkauft, typisch für Einfamilienhäuser, weitere 20% im Bereich 13-20 kW.

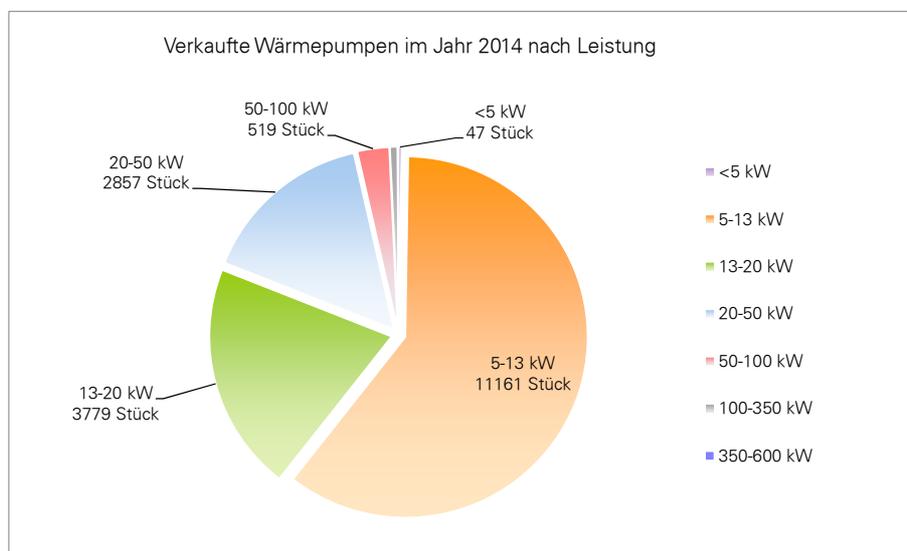


Abbildung 5: Anzahl verkaufter Wärmepumpen 2014 nach Leistungskategorien; Quelle: Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS / GebäudeKlima Schweiz

² <http://iea-shc.org>

EnergieSchweiz hat mit diesem Hintergrund die vorliegende Studie zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit und der Umweltbelastung von Eisspeicher-WP-Anlagen im Einfamilienhausbereich in Auftrag gegeben.

1.2 Fragestellung

Folgende Fragen werden mit der vorliegenden Studie untersucht:

- Die Wirtschaftlichkeit von Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren
- Die Umweltbelastung von solchen Anlagen
- Die Positionierung in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung dieser Anlagen im Vergleich zu Erdsonden- und Luft/Wasser-WP

Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt bei Einfamilienhäusern. Bauherren oder Eigentümer sollen praktische Antworten auf die Fragen erhalten:

- Lohnt sich eine Eisspeicher-WP?
- Was kostet sie einmalig und wiederkehrend?
- Ist sie umweltfreundlich?
- Was sind die Mehr- oder Minderkosten gegenüber einer Erdsonden- oder Luft/Wasser-WP?

Die Auftraggeberin EnergieSchweiz schliesslich ist ebenfalls interessiert an den Kosten- und Umweltaspekten um das Potenzial dieser Anlagen besser beurteilen zu können und um Bauherren und Energieberater mit einer objektiven Darstellung bei Entscheidungen zu unterstützen.

1.3 Vorgehen

Die Studie sollte realitätsnahe, praktisch nutzbare Ergebnisse produzieren und trotzdem möglichst generalisierbare Aussagen ermöglichen. Dafür wurden vier typische Gebäudetypen definiert: Ein neues Einfamilienhaus und ein neues Doppel-Einfamilienhaus, welche die Vorgaben der MuKE 2014 einhalten, ein saniertes Einfamilienhaus und ein Bestand-Einfamilienhaus, jeweils mit typischen Wärmeverbräuchen und Vorlauf-Temperaturen. Auf Heizsystemseite wurden vier verschiedene Anlagentypen festgelegt. Einerseits die zwei heute auf dem Markt erhältlichen Eisspeicher-WP-Anlagentypen, andererseits eine Erdsonden-WP und eine Luft/Wasser-WP. Die vier verschiedenen Anlagentypen wurden dann jeweils für die vordefinierten Gebäude ausgelegt (Heizleistung, Sondenlänge, Kollektorfläche, Eisspeicher-Volumen, Wärmespeicher-Volumen). Die Standardobjekte und -Anlagen sind in Kapitel 3 beschrieben und in Tabelle 2 bis Tabelle 6 zusammengefasst.

Für diese Verbraucher/Anlagen-Matrix wurden separat die Kosten- und Umweltdaten recherchiert. Mehr Details dazu sind in den entsprechenden Kapiteln 4 und 5 enthalten. Bei den Kostendaten wurde Wert darauf gelegt, dass Informationen aus mehreren Quellen berücksichtigt wurden:

- Hersteller-Preisangaben
- Preisangaben von Unternehmern/Installateuren
- Kostenangaben von Bauherren und Eigentümern für in Betrieb stehende Referenzobjekte

Für die technischen Parameter, wie Systemnutzungsgrade und Dimensionierung der Anlagen wurden die Erkenntnisse aus früheren Studien, insbesondere die Technologie-studie von EnergieSchweiz zu Eisspeicher-WP-Anlagen herbeigezogen [1]. Die Kombina-

tionen von Standard-Verbrauchern und Eisspeicher-Anlagen wurden mit Polysun simuliert um zusätzlich eine neutrale Basis für die Abschätzung der Systemnutzungsgrade zu erhalten. Mit Polysun und einem Kosten- und Wirtschaftlichkeitsmodell wurde die Sensitivität der Resultate auf die wichtigsten Parameter untersucht.

Abbildung 6 zeigt schematisch das Vorgehen bei der Studie.

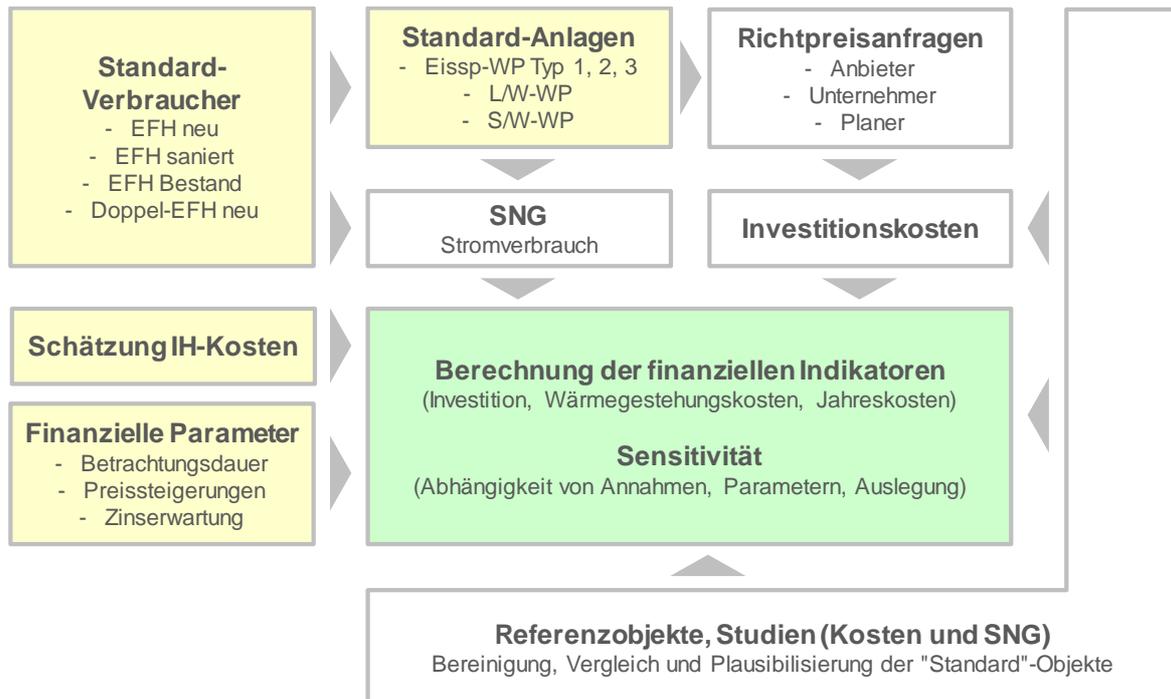


Abbildung 6: Vorgehen bei der Erarbeitung der finanziellen Indikatoren

Eine Begleitgruppe aus den Bereichen Forschung, Wirtschaft und Planung hat im Rahmen eines Workshops und im bilateralen Austausch massgeblich zur Studie beigetragen. Folgende Personen und Organisationen waren in der Begleitgruppe vertreten:

Forschung	- Prof. Thomas Afjei, Fachhochschule Nordwestschweiz - Daniel Philippen, Institut für Solartechnik SPF, HSR - Andreas Witzig, ZHAW (Doppelfunktion, siehe ganz unten)
Anbieter Eisspeicher-Wärmepumpen	- Markus Baumann, Viessmann Schweiz AG - Daniel Tanner, Viessmann Schweiz AG - Dr. Ulrich Leibfried, Consolar GmbH - Bernard Thissen, Energie Solaire SA
Planer und Berater	- Urs Renggli, Alteno AG
Simulationssoftware	- Andreas Witzig, Vela Solaris AG

Tabelle 1: Begleitgruppenteilnehmer

Eisspeicher-Wärmepumpen sind mit nur drei Anbietern von Komplettanlagen auf dem Markt vertreten. In der Schweiz sind weniger als 50 Anlagen der verschiedenen Anbieter in Betrieb. Die Ansätze der Anbieter unterscheiden sich hauptsächlich im verwendeten Kollektortyp, dem Aufbau und der hydraulischen Integration des Eisspeichers, der Eisspeicherkapazität und der Einbindung der Kollektorwärme:

- Das Komplettsystem von Viessmann mit Heizleistungsbereich 6-17 kW verwendet einen einfachen, unverglasten Kunststoffabsorber. Die Kapazität der ein oder zwei im Erdreich vergrabenen Eisspeicher mit 9'600 Litern Inhalt entspricht rund einer Woche Laufzeit der Wärmepumpe. Die Absorberwärme wird für die Eisspeicher-Regeneration und als direkte Quelle für den Verdampfer der Wärmepumpe genutzt.
- Das Solaera Komplettsystem von Consolar (D) mit 6.9 kW Heizleistung verwendet selektiv beschichtete, verglaste Flachkollektoren, welche zur Nutzung der Umgebungswärme mit einem Ventilator aktiv belüftet sind. Der kleine 320 Liter Eisspeicher ist im Systempaket mit Wärmepumpe, Hydraulik und Regler in einem Schrank integriert und kann im Haus aufgestellt werden. Die Speicherkapazität entspricht rund sieben Stunden Laufzeit der Wärmepumpe. Die Solarwärme kann bei höherer Temperatur direkt parallel zur Heizungsunterstützung und zur Brauchwarmwasser-Erwärmung verwendet werden.
- Energie Solaire verwendet das Consolar Solaera System (Wärmepumpe, Eisspeicher, Hydraulik und Regler) mit einem unverglasten, nicht aktiv belüfteten aber selektiv beschichteten Kollektor, welcher auch voll dachintegriert als Dachhautersatz eingesetzt werden kann.

In [1] wurde aufgezeigt, dass mit Eisspeicher-Solar-Wärmepumpen ähnliche Systemnutzungsgrade erreicht werden, wie mit Erdsonden-Wärmepumpen. Die Technologie ist zwar noch relativ neu, Messungen an bestehenden Anlagen in der Schweiz und in Deutschland bestätigen jedoch das grundsätzliche Potenzial der Technologie. Es wurde ebenfalls aufgezeigt, dass die Anlagen gut eingeregelt sein müssen, um die optimalen Nutzungsgrade zu erreichen. Das gilt zwar grundsätzlich für alle Heizungsanlagen, ist aber bei Eisspeicher-Solar-Wärmepumpen, aufgrund der erhöhten Komplexität, besonders wichtig.

2.2 Einsatzbereich

Aus technischer Sicht ist der Einsatzbereich von Eisspeicher-WP-Anlagen weitgehend gleich wie derjenige von klassischen WP-Anlagen. Tiefe Vorlauftemperaturen für die Heizung sind zu bevorzugen. Die Kombination von bei tiefer Temperatur betriebem kleinem Eisspeicher und hoher Vorlauftemperatur ist zu vermeiden. Die folgenden Anforderungen beschränken den Einsatzbereich:

- Platzbedarf des Eisspeichers: Mittlere und grosse Eisspeicher (z.B. Viessmann 9.6 m³) müssen ins Erdreich verlegt werden. Der Platz dafür muss verfügbar sein. Kleine Eisspeicher können direkt im Heizungskeller aufgestellt werden. Beim Consolar-System (0.32 m³) ist der Eisspeicher mit der Wärmepumpe in einem Gerät integriert.
- Flächenbedarf und Ausrichtung Kollektoren: Für die aktuellen Komplettsysteme im Bereich von 6-17 kW sind je nach System und Auslegung typischerweise zwischen 9-30 m² Kollektorfläche zu installieren. Die geeignete Fläche dafür muss zur Verfügung stehen. Wenn möglich sollten die Kollektoren gegen Süden geneigt sein (SO-S-SW).

Der Einsatz ist dort besonders interessant, wo Erdsonden-Bohrungen nicht möglich oder bewilligt sind und trotzdem hohe Nutzungsgrade erreicht werden sollen.

Aufgrund der marktverfügbaren Systeme ist zum heutigen Zeitpunkt auch ein Einsatzbereich bezüglich Wärmebedarf und Vorlauftemperaturen abzustecken:

- Komplettsystem mit kleinem, integriertem Eisspeicher und selektiven Kollektoren:
 - Nur bis 7 kW Heizleistung, bzw. 8 kW Spitzenabdeckung mit Kombispeicher
 - Nur bis 13'000 kWh/a Gesamtwärmebedarf
 - Für hohe Effizienz nur bis 40°C Vorlauftemperatur empfohlen, bis 45°C einstellbar
- Komplettsystem mit grossem, erdverlegtem Eisspeicher und Schwimmbadkollektoren:
 - 6-17 kW Heizleistung
 - Durch den grossen Eisspeicher auch für Vorlauftemperaturen bis 55°C sinnvoll einsetzbar

Die Situation kann sich mit neuen Angeboten von Komplettsystemen jederzeit ändern.

Die Eisspeicher-WP Technologie wird auch in Grossanlagen eingesetzt. Diese werden spezifisch auf das Objekt ausgelegt, mit individuell zusammengestellten Komponenten und Steuerungen. Diese Speziallösungen sind nicht Teil der vorliegenden Studie.

3. Grundlagen

3.1 Gebäude- und Verbrauchertypen

Als Einsatzgebiet wurden für die vorliegende Betrachtung kleinere Wohngebäude definiert. Für standardisierte Gebäudetypen wurden typische Gebäudekennwerte gemäss Tabelle 2 festgelegt. Dies umfasst einen Neubau (Typ A) erstellt nach den Vorgaben der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) 2014 mit tiefen Systemtemperaturen und einer Fussbodenheizung als Wärmeabgabesystem. Typ B bildet ein bestehendes Einfamilienhaus ab, welches energetisch saniert wurde und Heizkörper mit mittleren Vorlauftemperaturen aufweist. Typ C zeigt einen typischen Bestandsbau mit hohen Vorlauftemperaturen und ebenfalls Heizkörper als Wärmeabgabesystem. Mit dem Typ D ist ein neu erstelltes Doppel Einfamilienhaus nach MuKE 2014 dargestellt.

	EFH neu (A)	EFH saniert (B)	EFH Bestand (C)	Doppel-EFH neu (D)
Standort	Mittelland			
EBF	180 m ²			360 m ²
Standard	MuKE n 2014	-	-	MuKE n 2014
Heizsystem	Fussbodenheizung VL/RL = 30/26 °C	Heizkörper VL/RL = 45/35 °C	Heizkörper VL/RL = 55/45 °C	Fussbodenheizung VL/RL = 30/26 °C
Heizwärmebedarf (Q _h)	48 kWh/m ² a 8'640 kWh/a	60 kWh/m ² a 10'800 kWh/a	100 kWh/m ² a 18'000 kWh/a	43 kWh/m ² a 15'480 kWh/a
Energiekennzahl max. (E _{hwk})	35 kWh/m ²	-	-	35 kWh/m ²
BWW Bedarf (Q _{ww})	140 Liter/d 2'500 kWh/a			280 Liter/d 5'000 kWh/a
Total Wärmebe- darf (Q _{hww})	11'140 kWh/a	13'300 kWh/a	20'500 kWh/a	20'480 kWh/a
Heizleistung	25 W/m ² 4.5 kW	38.5 W/m ² 7 kW	50 W/m ² 9 kW	25 W/m ² 9 kW

Tabelle 2: Standard Gebäudetypen als repräsentative Anwendungsfälle für die untersuchten Heizsysteme

3.2 Anlagentypen

Die vordefinierten Anlagentypen bilden den aktuellen Markt und die Fragestellung der Studie ab. Für die Eisspeicher-WP-Anlagen werden zwei unterschiedliche Ansätze berücksichtigt, welche in den aktuell verfügbaren Komplettsystemen angewendet werden (siehe auch Kapitel 2.1, Technologie):

- Ein grosser, erdverlegter Eisspeicher mit mehreren m³ Inhalt in Kombination mit unverglasten, nicht selektiven Solar-Luft-Absorbern (Schwimmbadkollektoren)
- Ein im Kompaktsystem integrierter, kleiner Eisspeicher mit einigen hundert Litern Inhalt, in Kombination mit selektiven Solarkollektoren

Mit dem Kompaktsystem kommen sowohl verglaste, aktiv belüftete Kollektoren als auch nicht verglaste Kollektoren zur Anwendung. Da die Kollektorvarianten aber einen untergeordneten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung haben, werden diese Varianten nicht als eigenständige Anlagentypen behandelt.

Zusätzlich zu den zwei Eisspeicher-WP-Anlagentypen wird eine klassische Erdsonden- und eine Luft/Wasser-WP definiert.

Die Auslegungen der vier Anlagentypen auf die vier Standardgebäude sind in Tabelle 3 bis Tabelle 6 dargestellt.

	EFH neu	EFH saniert	EFH Bestand	Doppel-EFH neu
Kollektor-Apertur	11.7 m ²	18.7 m ²	28.1 m ²	28.1 m ²
WP-Leistung	5 kW	7 kW	9 kW	9 kW
Eisspeicher	9.6 m ³	9.6 m ³	19.2 m ³	19.2 m ³
Heizungsspeicher	300 L	300 L	300 L	300 L
BWW-Speicher	400 L	400 L	400 L	400 L

Tabelle 3: Anlagentyp 1, Eisspeicher gross, erdverlegt, Schwimmbadkollektoren; Auslegung für die vier Standardgebäudetypen

	EFH neu	EFH saniert	EFH Bestand	Doppel-EFH neu^{*)}
Kollektor-Apertur	18.9 m ² (vergl.) - 24 m ² (unvergl.)	27 m ² (vergl.) - 30 m ² (unvergl.)	-	40 m ² (unvergl.)
WP-Leistung	6.9 kW	6.9 kW	-	9 kW
Eisspeicher	0.32 m ³	0.32 m ³	-	1.68 m ³
Kombispeicher	850 L	1'050 L	-	700 L + 800 L

Tabelle 4: Anlagentyp 2, Eisspeicher klein, integriert, selektive Kollektoren; das System ist aktuell nur für Wärmeverbräuche bis 13'000 kWh/a und Vorlauftemperaturen bis 45°C verfügbar

*) Beim Doppel-EFH wurde zusätzlich eine Anlage mit grösserem, innenaufgestelltem Speicher betrachtet

	EFH neu	EFH saniert	EFH Bestand	Doppel-EFH neu
WP-Leistung	5 kW	7 kW	9 kW	9 kW
Erdsondenlänge	140 m	160 m	245 m	255 m
Heizungsspeicher	300 L	300 L	400 L	400 L
BWW-Speicher	300 L	300 L	300 L	400 L

Tabelle 5: Anlagentyp 3, Erdsonden-WP; Auslegung für die vier Standardgebäudetypen

	EFH neu	EFH saniert	EFH Bestand	Doppel-EFH neu
WP-Leistung	5 kW	7 kW	9 kW	9 kW
Heizungsspeicher	300 L	300 L	400 L	400 L
BWW-Speicher	300 L	300 L	300 L	400 L

Tabelle 6: Anlagentyp 4, Luft/Wasser-WP; Auslegung für die vier Standardgebäudetypen

3.3 Systemnutzungsgrade

Der Systemnutzungsgrad des Heizsystems ist ein wichtiger Parameter für die Dimensionierung, die Wirtschaftlichkeitsrechnung und die Umweltbelastung. Typische Nutzungsgrade unter realen Bedingungen finden sich für die klassischen Wärmepumpentypen in der Literatur. In der Langzeitstudie [2] wurden Auswertungen von über 160 Klein-Wärmepumpen gemacht. Die Studie bezieht sich auf die normierte Jahresarbeitszahl 2 (nJAZ2), welche mit dem in der vorliegenden Studie verwendeten Systemnutzungsgrad vergleichbar ist. Da die untersuchten Anlagen hauptsächlich im Mittelland liegen, können die Werte zu Vergleichszwecken gut übernommen werden. Die Studie zeigt unter anderem auch die Systemnutzungsgrade in Abhängigkeit der Vorlauftemperaturen.

Für die Eisspeicher-WP-Anlagen wurden die Erkenntnisse zu den Systemnutzungsgraden in der Technologiestudie von EnergieSchweiz zusammengetragen. Zudem legen die An-

bieter der marktverfügbaren Systeme ihre Anlagen auf einen vorgegebenen Systemnutzungsgrad aus oder weisen diese für einen spezifischen Fall aus. Dabei kommen Simulationswerkzeuge zum Einsatz. Um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurden die Eisspeicher-WP-Anlagentypen und Anwendungsfälle zusätzlich mit der kommerziellen Simulationssoftware Polysun simuliert. Die Autoren wurden dabei durch den Entwickler und Anbieter von Polysun, Vela Solaris⁴, unterstützt.

Die in dieser Studie verwendeten Systemnutzungsgrade für die Standardfälle sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. Die Recherchen in Zusammenhang mit der Technologiestudie zu Eisspeicher-WP-Anlagen haben gezeigt, dass diese Systemnutzungsgrade nur bei korrekt ausgelegten und betriebsoptimierten Anlagen, mit Begleitung während der ersten Betriebsphase, erreicht werden.

	EFH neu	EFH saniert	EFH Bestand	Doppel-EFH neu
WP Eisspeicher erdverlegt	3.9	3.9	3.5	4.5
WP Eisspeicher integriert	4.6	4.1	-	4.5 ⁵
WP Erdsonden	4.5	3.7	3.2	4.5
WP Luft/Wasser	3.0	2.7	2.5	3.0

Tabelle 7: Systemnutzungsgrade (SNG) für die untersuchten Kombinationen von Heizsystem und Gebäudetyp

Die Abhängigkeit der Systemnutzungsgrade von einigen ausgewählten Parametern wurde mit Polysun-Simulationen berechnet:

- Einfluss des Anlagenstandorts
- Einfluss des Heizwärmebedarfs bei gleich bleibendem Warmwasserbedarf
- Einfluss der Aperturfläche der Kollektoren, bzw. Solar-Luft-Absorber
- Zwei Vorlauftemperaturen (45/35°C und 30/26°C)

Dabei wird jeweils nur ein Parameter variiert, was normalerweise nicht der Realität entspricht. In der Praxis würde z.B. bei einem tieferen Heizwärmebedarf auch die Anlage (m² Kollektorfläche) verkleinert, etc. Die isolierte Betrachtung der Abhängigkeit von einem einzelnen Parameter erlaubt aber ein besseres Verständnis der Zusammenhänge und der Stärke der Relation.

Ausgewählte Resultate sind in den folgenden Grafiken dargestellt.

3.3.1 Anlagenstandort

Die Systemnutzungsgrade sind jeweils für acht Standorte und VL/RL-Temperaturen von 45/35°C und 30/26°C dargestellt.

⁴ www.velasolaris.ch

⁵ Anlage mit innen aufgestelltem mittelgroßem Eisspeicher, jedoch nicht im Kompaktsystem integriert

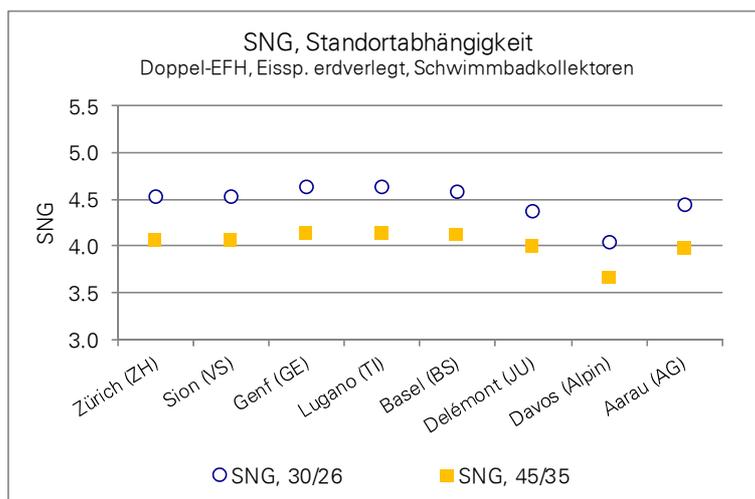
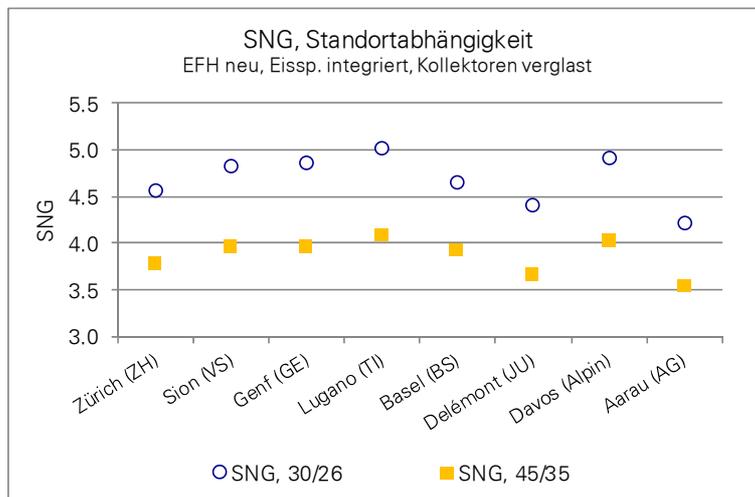
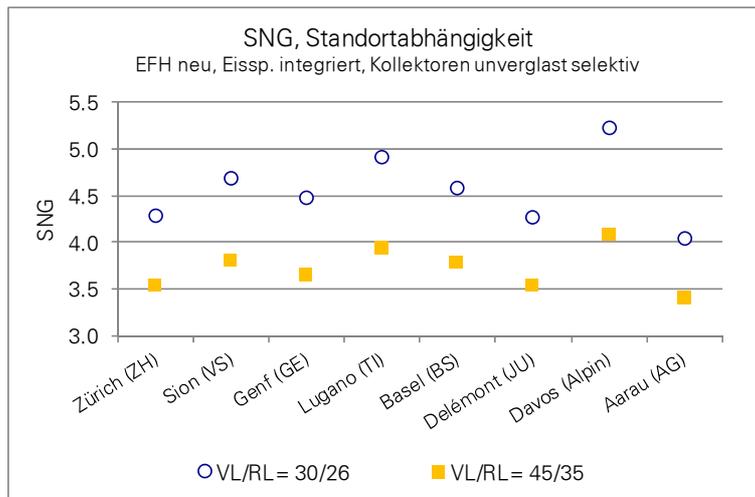


Abbildung 8: Einfluss des Standorts auf den Systemnutzungsgrad für drei Anlagenvarianten

Bei den Systemen mit selektiven Kollektoren und teilweise paralleler Einspeisung der Solarwärme (BWW-Erwärmung direkt solar) ist der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf den SNG deutlich. Der SNG ist in Davos und Lugano am höchsten.

Das System mit Solar-Luft-Absorber, ohne direkte Nutzung der Solarwärme ist deutlich weniger Standortabhängig. Der Haupteinfluss ist die Aussentemperatur. Der SNG ist in Davos am tiefsten.

3.3.2 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf wird für zwei Anlagentypen und zwei VL/RL-Temperaturen und gleichbleibendem Warmwasserbedarf variiert.

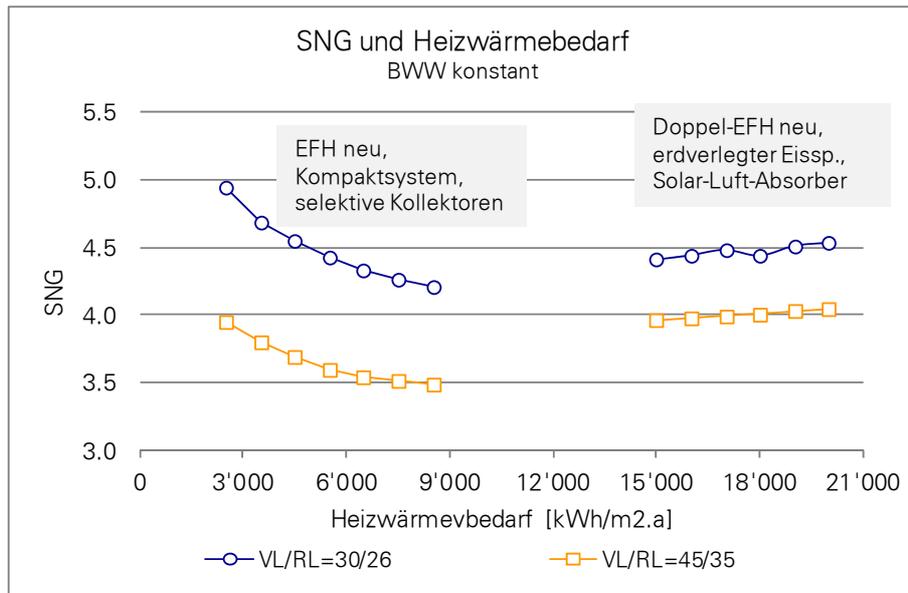


Abbildung 9: Einfluss des Heizwärmebedarfs auf den Systemnutzungsgrad

Beim Kompaktsystem mit selektiven Kollektoren steigt der SNG bei abnehmendem Heizwärmebedarf deutlich an, weil der direkte solare Deckungsgrad steigt. Die korrekte Dimensionierung der Kollektorflächen in Abhängigkeit des Wärmebedarfs ist wichtig. Beim grösseren System mit nicht selektiven Kollektoren ist der Einfluss geringer.

3.3.3 Kollektorfläche

Durch Erhöhung der Kollektorfläche kann beim Kompaktsystem mit selektiven Kollektoren der Systemnutzungsgrad signifikant gesteigert werden, bzw. der Nutzungsgrad fällt ab bei (zu) kleiner Kollektorfläche. Im System mit grossem erdverlegtem Speicher und Schwimmbadkollektoren hat eine Erhöhung der Kollektorfläche über den Auslegungspunkt hinaus eine geringe Wirkung, da die Wärme nicht direkt genutzt wird. Bei den marktverfügbaren Systemen ist die Temperatur im Eisspeicher auf ca. 25°C beschränkt.

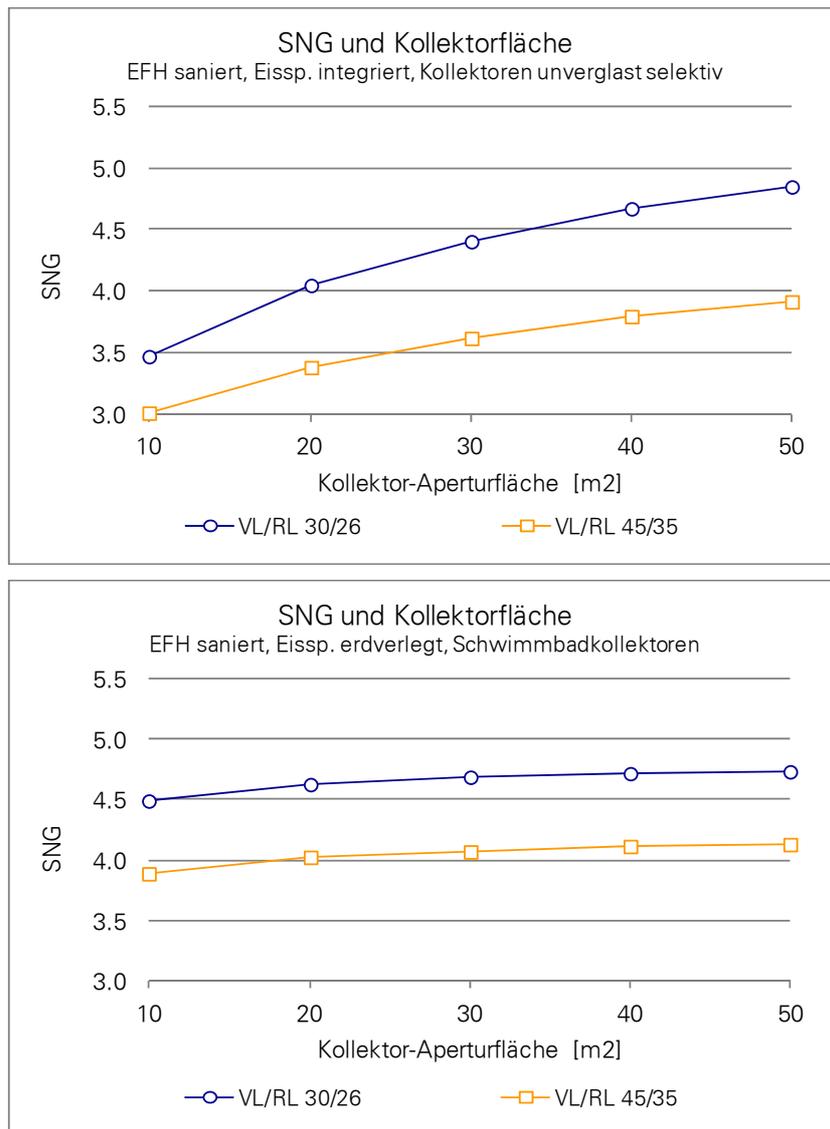


Abbildung 10: Variation der Kollektorflächen für sonst gleichbleibendes System für die beiden Eisspeicher-WP-Anlagentypen

4. Wirtschaftlichkeit

4.1 Methodik

Die finanziellen Kennzahlen sind mit der dynamischen Methode nach der SIA Norm 480⁶ berechnet. Dabei werden alle Ausgaben und Einnahmen während der Betrachtungsperiode anhand eines Kalkulationszinssatzes auf einen Referenzzeitpunkt diskontiert (Berechnung des Barwerts). Betrachtungsperiode, Kalkulationszinssatz und Referenzzeitpunkt müssen definiert, bzw. angenommen werden.

Die Wärmegestehungskosten (nach SIA 480 die "Gestehungskosten pro Nutzeinheit") sind ebenfalls mit der dynamischen Methode berechnet.

⁶ SIA 480:2004 Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau

Grundsätzlich haben bei einer dynamischen Berechnung der Wirtschaftlichkeit die zu Grunde liegenden Annahmen einen grossen Einfluss auf die Resultate. Die relevanten Parameter und Annahmen werden daher im Folgenden besprochen und transparent ausgewiesen. Die Berechnungen werden in einem ersten Schritt für ein so genanntes "Referenzszenario" durchgeführt. Im Referenzszenario werden Annahmen getroffen, welche im heutigen Markt- und Technologieumfeld plausibel und realistisch sind. Im Kapitel 4.5 wird dann dargestellt, wie sich die Resultate bei abweichenden Annahmen verändern (Sensitivitätsanalyse).

4.2 Datenquellen

Die Informationen für die Investitionskosten stammen aus verschiedenen Quellen, wobei darauf geachtet wurde, dass für ein Szenario jeweils Preisangaben aus mehreren Quellen zur Verfügung stehen (Tabelle 8).

Quellentyp	Art der Information	Anzahl Quellen
Anbieter	Listenpreise und teilweise Informationen zu Rabatten, Montagekosten und weiteren Kosten	4
Unternehmer/Installateure	Angebotspreise, Erfahrungswerte	2
Planer	Kostenabschätzungen basierend auf Referenzanlagen und eigenen Abschätzungen	3
Eigentümer von Anlagen	Effektive Kosten von realisierten Anlagen	5

Tabelle 8: Quellen für Kosteninformationen

Die Kostenangaben wurden gegenseitig validiert, nach Komponenten strukturiert und schliesslich pro Anlagentyp konsolidiert. Die effektiven Kosten sind immer auch Abhängig vom spezifischen Objekt. Die Investitionskosten sind daher als Bereich (tief/mittel/hoch) dargestellt, welcher die Streuung der recherchierten und bereinigten Kosten reflektiert. Wo die Darstellung als Bereich zu unübersichtlich wäre, sind jeweils die mittleren Kosten angenommen.

4.3 Parameter und Annahmen

4.3.1 Instandhaltungskosten

Die Instandhaltungskosten wurden einerseits als % der Investitionskosten abgeschätzt, andererseits wurden die Preise von auf dem Markt angebotenen Service-Abos berücksichtigt. In der Langzeitstudie [2] sind ebenfalls Angaben zu den durchschnittlichen Instandhaltungskosten enthalten. Schliesslich wird berücksichtigt, dass die Instandhaltungskosten für die Wärmepumpe allein in den verschiedenen Systemen grundsätzlich gleich hoch sein sollten. Mehrkosten werden durch zusätzliche Komponenten verursacht, insbesondere die Solarkollektoren. Die erhöhte Komplexität der Eisspeicher-WP-Anlagen lässt ebenfalls leicht erhöhte Instandhaltungskosten erwarten. Die Schätzungen unterscheiden sich je nach Quelle relativ stark. Die Langzeitstudie [2] untersuchte Unterhaltskosten, inkl. Reparaturen von 61 Klein-Wärmepumpen über 15 Jahre und fand durchschnittliche Jahresunterhaltskosten von 106.- CHF/a. Das ist ein sehr tiefer Wert. Die Anbieter der Eisspeicher-WP-Anlagen offerieren Serviceabos von zwischen 125.- CHF/a und 225.- CHF/a ohne Reparaturen und Ersatzteile und bis zu 500.- CHF/a inkl. Reparaturen. Für das Referenzszenario wird für die klassischen WP-Systeme ein totaler jährlicher Instandhaltungsbetrag von 250.- CHF/a angenommen, für die Eisspeicher-WP-Systeme

ein Betrag von 350.- CHF/a.

4.3.2 Stromtarif

Stromtarife für Wärmepumpen variieren relativ stark zwischen den verschiedenen Energieversorgungsunternehmen (EVU). Z.T. profitieren Wärmepumpen von tieferen Spezialtarifen. Zusätzlich kann bei den meisten EVU zwischen verschiedenen Stromprodukten bezüglich Herkunft gewählt werden. Beispiele für unterschiedliche Stromtarife 2015 sind in der Tabelle 9 dargestellt.

EVU	Tarif	Grundpreis	Hochtarif	Niedertarif
EKZ (Kt. Zürich)	Wärmepumpe	5.- CHF/Mt.	17.5 Rp./kWh	12.3 Rp./kWh
ewb (Bern)	Spar		23.0 Rp./kWh	16.0 Rp./kWh
SIG (Genf)	Basis		22.8 Rp./kWh	
	Doppel		26.5 Rp./kWh	16.7 Rp./kWh
	Grün		26.9 Rp./kWh	

Tabelle 9: Beispiele für unterschiedliche Stromtarife in der Schweiz (2015)

Mittelfristig ist mit der Liberalisierung des Strommarkts eine Angleichung zu erwarten.

Für das Referenzszenario wird ein fixer Stromtarif von 18 Rp./kWh ohne Grundpreis angenommen. Der Einfluss des Stromtarifs auf die Wirtschaftlichkeit wird mit einer Variation des Tarifs von 10 bis 30 Rp./kWh untersucht.

4.3.3 Förderbeiträge

Die Förderbeiträge für Wärmepumpen und Kollektoren sind kantonal unterschiedlich. Im Anhang 1 ist eine Übersicht der aktuellen kantonalen Förderungen beigelegt. Folgende Tendenzen lassen sich erkennen:

- Erdsonden-WP werden in vielen Kantonen beim Ersatz einer fossilen oder elektrischen Heizung gefördert. Die Beiträge bei EFH reichen von CHF 2'500.- (Bern) bis CHF 7'000.- (Thurgau). Beim Neubau wird die Wärmepumpe nur in wenigen Kantonen gefördert.
- Luft/Wasser-WP werden in weniger Kantonen gefördert und wenn, dann in den meisten Fällen mit einem tieferen Beitrag als für Erdsonden-WP.

Im "Harmonisierten Fördermodell der Kantone" (HFM 2015) [3] werden folgende Minimalfördersätze für Wärmepumpen, beim Ersatz einer fossilen oder elektrischen Heizung empfohlen:

- CHF 2'400.- + 180.- CHF/kW für Erdsonden-WP
- CHF 1'600.- + 60.- CHF/kW für Luft-Wasser-WP

Umgerechnet auf Wärmepumpen mit 5 kW und 9 kW Leistung entspricht das den in der Tabelle 10 dargestellten Minimalfördersätzen.

	5 kW Wärmeleistung	9 kW Wärmeleistung
Luft/Wasser-Wärmepumpe	CHF 1'900.-	CHF 2'140.-
Erdsonden-Wärmepumpe	CHF 3'300.-	CHF 4'020.-

Tabelle 10: Empfohlener Minimalfördersatz bei Heizungsersatz, nach dem harmonisierten Fördermodell der Kantone 2015 (HFM 2015)

Für das Referenzszenario mit Fördergeldern wird die Förderung einer Erdsonden-WP mit CHF 4'500.- und einer Luft/Wasser-WP mit CHF 2'500.- für die Fälle Sanierung und Bestand angenommen. In den beiden Fällen EFH neu und Doppel-EFH neu wird keine Förderung angenommen.

Bei den Förderbeiträgen für Solarkollektoren ist die Situation ebenfalls sehr heterogen. Zwar besteht in den meisten Kantonen eine Förderung, welche jedoch unterschiedlich hoch und an unterschiedliche Bedingungen geknüpft ist. Unter www.kollektorliste.ch kann die Förderhöhe für einen Standort, einen Kollektortyp und eine Anlagengrösse berechnet werden. Swissolar stellt eine Übersicht der kantonalen und kommunalen Förderungen zur Verfügung⁷.

Typisch ist ein Basisbeitrag zwischen CHF 500.- und 2'500.- plus Beitrag pro m² Kollektor-Aperturfläche von zwischen 100.- CHF/m² und 350.- CHF/m², häufig abhängig von der Kollektortechnologie (Flachkollektor oder Vakuumröhren). Schwimmbadkollektoren werden in den wenigsten Fällen gefördert. Im HFM 2015 wird ein Minimalfördersatz von CHF 1'200.- + 500.- CHF/kW empfohlen. 500.- CHF/kW entsprechen ungefähr einem Bereich von 200-300.- CHF/m², abhängig vom Kollektorwirkungsgrad.

Für das Referenzszenario mit Fördergeldern wird ein Basisbeitrag von CHF1'500.- plus 150.- CHF/m² für unverglaste, selektive Kollektoren, sowie 200.- CHF/m² für verglaste Kollektoren angenommen. Für Schwimmbadkollektoren wird angenommen, dass keine Förderung besteht.

In vielen Gemeinden bestehen zusätzliche Angebote für die finanzielle Unterstützung von Solarkollektoren und/oder Wärmepumpen, welche z.T. additiv zur kantonalen Förderung in Anspruch genommen werden können. Eine solche, zusätzliche Förderung wird hier nicht berücksichtigt. Für eine Darstellung der Wirtschaftlichkeit ohne förderpolitische Einflüsse werden die Kennzahlen auch ohne Förderung dargestellt.

4.3.4 Finanzielle Parameter

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über eine längere Dauer sind Annahmen zur Preisentwicklung und zum Kalkulationszinssatz zu treffen. Für das Referenzszenario werden eine reale Strompreissteigerung von 2% pro Jahr, eine Inflation von 1% pro Jahr und ein nominaler Kalkulationszinssatz von 2.5% angenommen, was einem realen Zinssatz von 1.5% entspricht. Der Einfluss der Variation des Kalkulationszinssatzes zwischen 1% und 6% auf die Wirtschaftlichkeit wird in Kapitel 4.5 untersucht.

4.3.5 Zusammenfassung der Annahmen

In der Tabelle 11 sind die wichtigsten Parameter für die Wirtschaftlichkeitsrechnung dargestellt, mit der Annahme für die Referenzszenarien und dem Bereich der Variation für die Sensitivitätsanalysen.

⁷ http://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Bauherren/Infodossier_Foerderung_Solarwaerme.pdf

Parameter	Annahme Referenzszenario	Bereich für Sensitivitätsanalyse
Anlagenstandort	Zürich	Aarau, Basel, Genf, Lugano, Sion, Delémont, Davos
Wärmebedarf	Entsprechend Standardobjekten	EFH: 7 - 15 MWh/a
Verhältnis BWW/RH	Entsprechend Standardobjekten	-
Systemnutzungsgrad SNG	Entsprechend Standardsystemen	+/- 25%
Technische Lebensdauer der Komponenten	Kollektoren: 25 Jahre Eisspeicher erdverlegt: 50 Jahre Erdsonden, Bauliches: 50 Jahre Wärmepumpe: 20 Jahre Elektroinstallationen: 25 Jahre Hydraulik, Speicher, Rest: 30 Jahre	-
Wirtschaftliche Betrachtungsdauer	20 Jahre	-
Instandhaltungskosten Erdsonden- und Luft/Wasser-WP	250.- CHF/a	-
Instandhaltungskosten Eisspeicher-WP-Anlagen	350.- CHF/a	-
Inflation	1%	-
Stromtarif	18 Rp./kWh	10 - 30 Rp./kWh
Preissteigerung Stromtarif	2%	-
Kalkulationszinssatz (nominal)	2.5%	1% - 6%
Förderung Erdsonden und Eisspeicher-WP (Ersatz)	CHF 4'500.-	-
Förderung Luft/Wasser-WP (Ersatz)	CHF 2'500.-	-
Förderung Kollektoren	Schwimmbadkollektor: keine Selektiv: 1'500.- + 150.- CHF/m ² Verglast: 1'500.- + 200.- CHF/m ²	-

Tabelle 11: Parameter für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen

4.4 Resultate Referenzszenarien

Im Folgenden sind die Investitionskosten, die Aufteilung der Investitionskosten auf die Hauptkomponenten, die jährlichen Ausgaben für Strom und Instandhaltung, sowie die Wärmegestehungskosten für die Referenzszenarien dargestellt.

4.4.1 Investitionskosten

In folgenden Betrachtungen beinhalten die Investitionskosten alle anfallenden Kosten für Planung, Lieferung, Vorbereitung, Montage, Inbetriebnahme aller Komponenten der Wärmeerzeugung bis zum Verteiler/Heizgruppe, inkl. technischem Speicher und BWW-Speicher, inkl. Bauliches und Elektroarbeiten. Nicht enthalten ist die Verteilung und Wärmeabgabe, sowie eventuelle Kosten für Abbau und Entsorgung einer bestehenden Wärmeerzeugung.

Die Gesamtinvestitionskosten ohne Fördergelder für die 16 Referenzszenarien sind jeweils als Bereich (tief/mittel/hoch) dargestellt. Der Bereich umfasst typischerweise +/- 10-15%, abhängig von der Streuung der Angaben aus den verschiedenen Quellen und der Unsicherheiten.

Die gleichen Daten sind in zwei verschiedenen Gruppierungen dargestellt:

- Hauptgruppierung nach Gebäudetyp: Zum Vergleich der Investitionskosten der verschiedenen Anlagentypen bei einer vergleichbaren Anwendung (Abbildung 11).
- Hauptgruppierung nach Anlagentyp: Zum Vergleich der Investitionskosten eines Anlagentyps bei der Anwendung in verschiedenen Gebäudetypen (Abbildung 12).

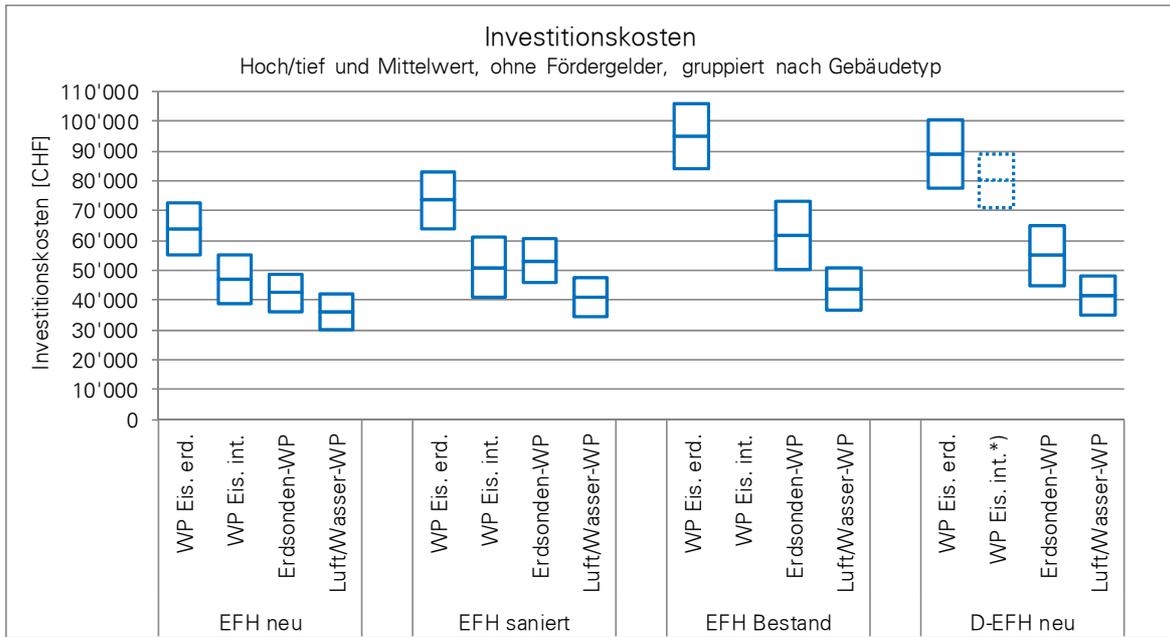


Abbildung 11: Investitionskosten der verschiedenen WP-Systeme, Gruppirt nach Gebäudetyp; angegeben als Bereich, ohne Fördergelder

*) Gestrichelt: Mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

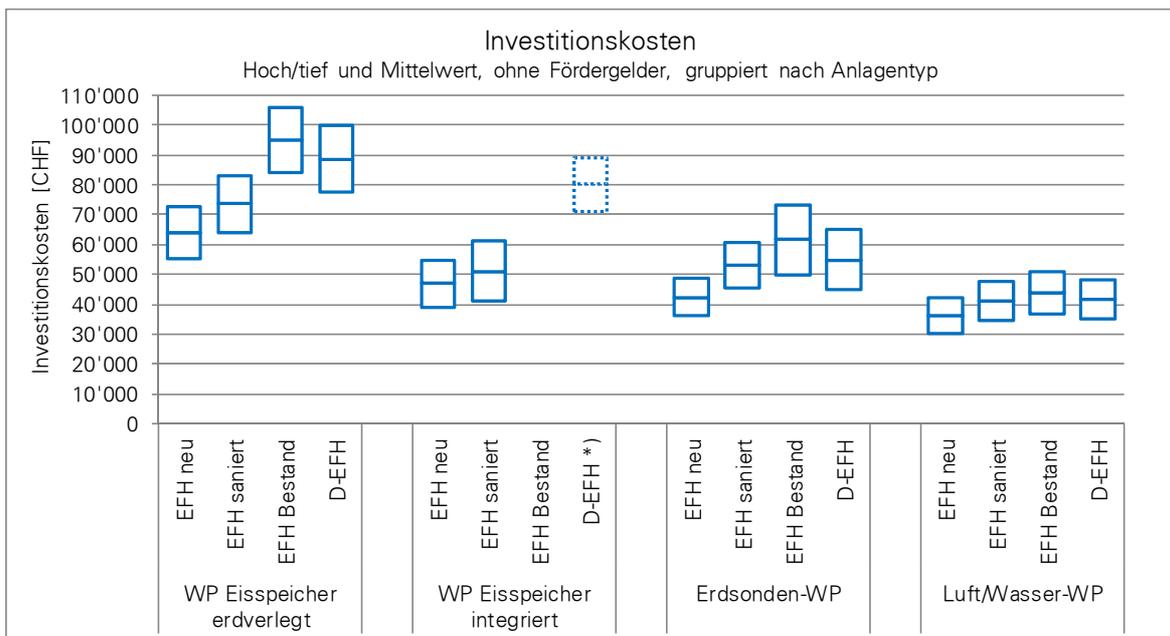


Abbildung 12: Investitionskosten der verschiedenen WP-Systeme, gruppiert nach Anlagentyp; angegeben als Bereich, ohne Fördergelder

*) Gestrichelt: Mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die Investitionskosten mit Annahme der Förderung von Wärmepumpen und Solarkollektoren entsprechend den Referenzannahmen.

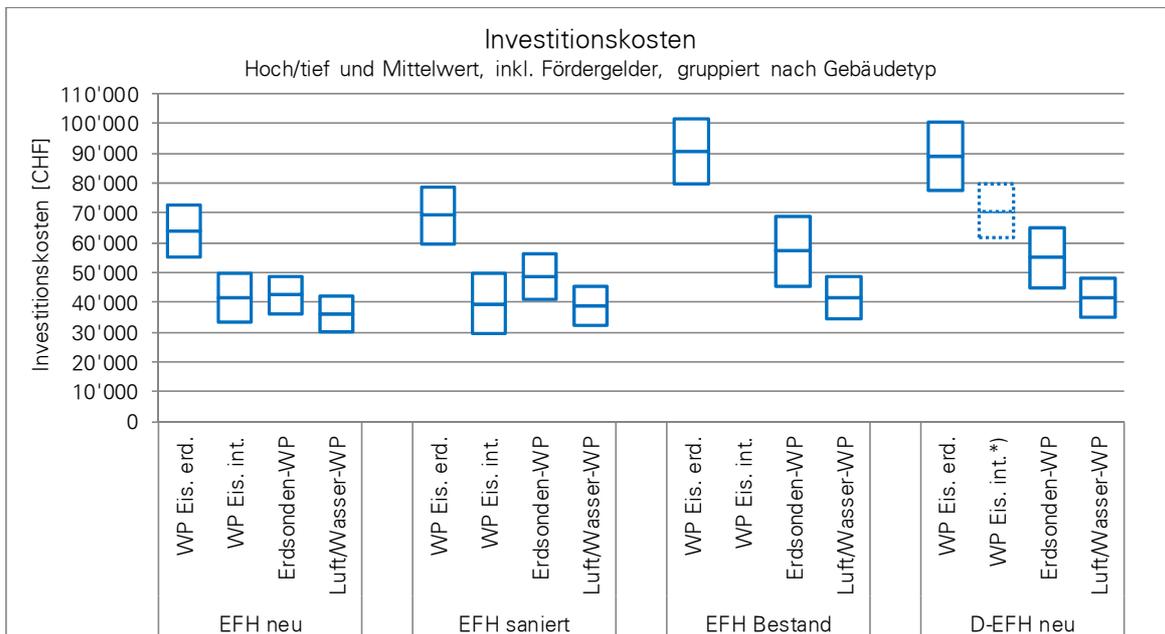


Abbildung 13: Investitionskosten der verschiedenen WP-Systeme, gruppiert nach Anlagentyp; angegeben als Bereich, inkl. Fördergelder

*) Gestrichelt: Mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

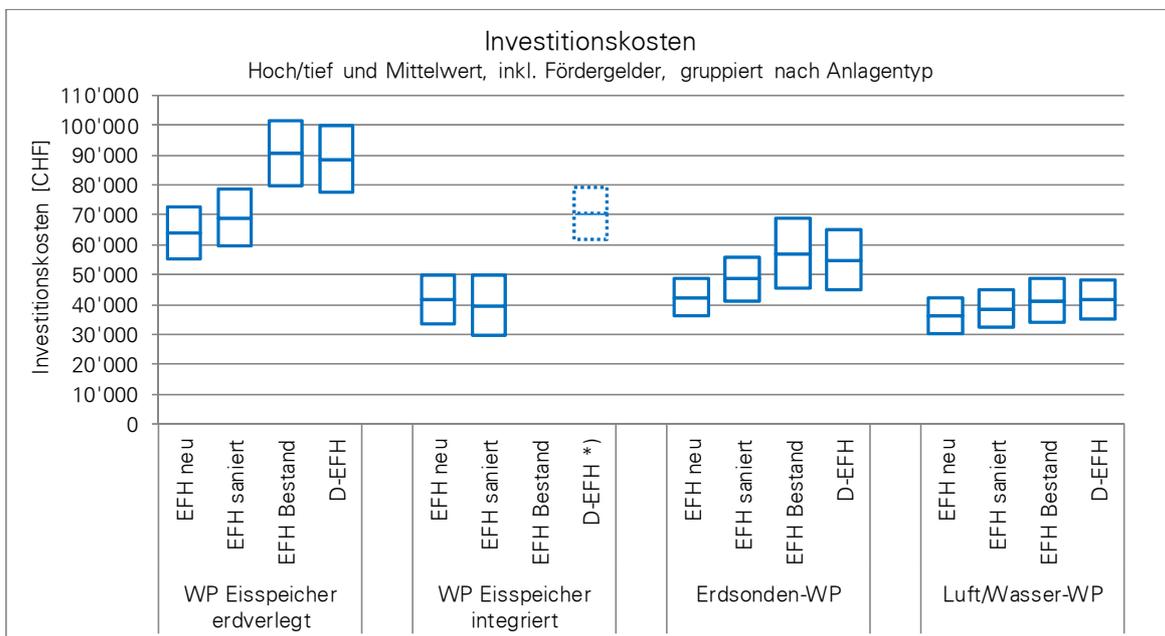


Abbildung 14: Investitionskosten der verschiedenen WP-Systeme, gruppiert nach Anlagentyp; angegeben als Bereich, inkl. Fördergelder

*) Gestrichelt: Mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

Die Förderung der Wärmepumpen greift nur bei Ersatz einer bestehenden Heizung (Objekte EFH saniert und EFH Bestand) und nicht bei den Neubauten. Die Förderung der Kollektoren verschiebt das Bild zugunsten des Anlagentyps mit selektiven und/oder ver-

glasten Kollektoren (Anlagentyp mit Eisspeicher integriert), entsprechend der gängigen Praxis, verglaste Flachkollektoren zu fördern und Solar-Luft-Absorber nicht.

4.4.2 Aufteilung der Investition auf die Hauptkomponenten

Abbildung 15 zeigt die Aufteilung der Investitionskosten auf die Hauptkomponenten für den Fall eines EFH Neubaus. Für bessere Übersichtlichkeit ist die Darstellung jeweils nur für den mittleren Wert der Investitionskosten gemacht.

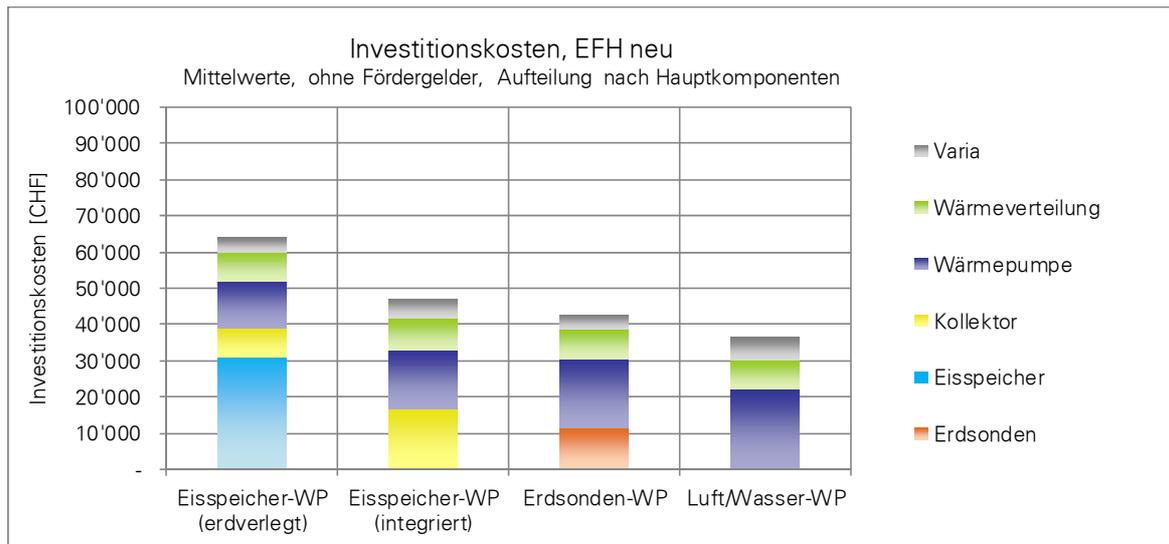


Abbildung 15: Aufteilung der Investitionskosten auf die Hauptkomponenten für den Fall EFH neu

Gut sichtbar sind die relativ hohen Investitionskosten für den erdverlegten Eisspeicher im Vergleich zur Erdsonde. Allerdings ist die Grenze zwischen Wärmepumpe und Eisspeicher oder Erdsonde nicht scharf gezogen. Beim Kostenmodell für die Eisspeicher-WP ist ein Teil der Integrationskosten dem Eisspeicher angerechnet, bei der Erdsonden-WP ein grösserer Teil der Wärmepumpe. Das erklärt die Differenz zwischen Kosten für die Wärmepumpe, welche grundsätzlich im ähnlichen Bereich liegen sollten. Die Summe der beiden Beträge ist aber validiert mit Kostendaten von mehreren Referenzobjekten.

Beim Anlagentyp mit integriertem Eisspeicher sind die Kosten für den kleinen Eisspeicher in der Wärmepumpe enthalten.

Deutlich ist auch der Preisunterschied zwischen den Solar-Luft-Absorbern (beim System mit erdverlegtem Eisspeicher) und den verglasten und aktiv belüfteten Flachkollektoren (integrierter Eisspeicher).

Abbildung 16 zeigt die Aufteilung der Kosten für den Fall EFH Bestand.

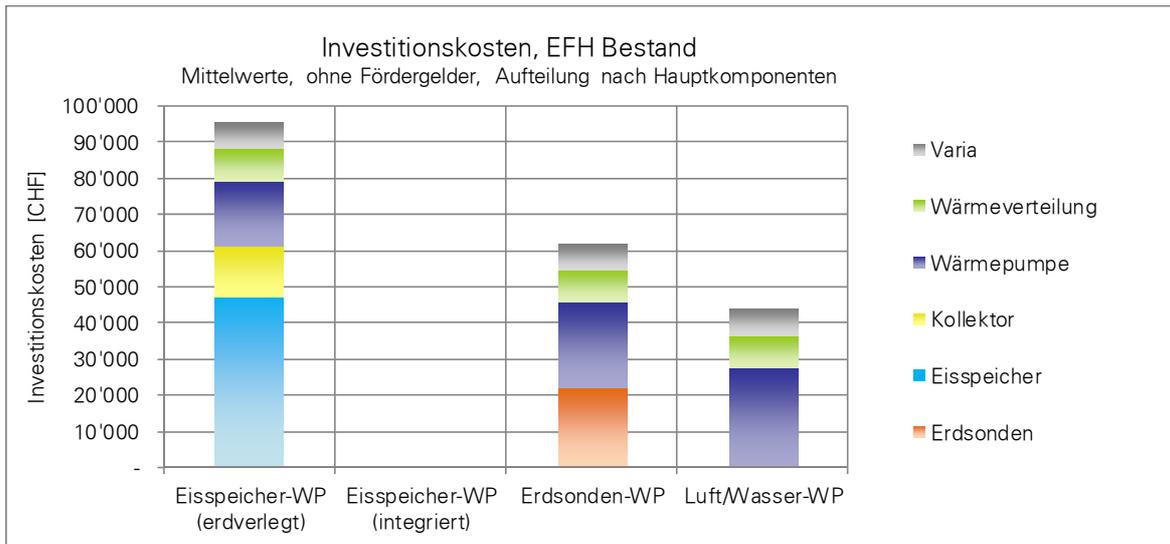


Abbildung 16: Aufteilung der Investitionskosten auf die Hauptkomponenten für den Fall EFH Bestand

Beim Typ Eisspeicher-WP mit erdverlegtem Eisspeicher werden zwei Eisspeichermodule mit je 9.6 m³ Inhalt statt nur einem eingesetzt. Für den Anlagentyp Eisspeicher-WP integriert ist aktuell kein System erhältlich, welches diesen Anwendungsfall abdeckt.

4.4.3 Jährliche Kosten und Wärmegestehungskosten

Abbildung 17 zeigt die absoluten jährlichen Ausgaben für Instandhaltung und Strom für die verschiedenen Referenzszenarien, ohne Berücksichtigung der Kapitalkosten. Abbildung 18 zeigt die gleichen Kosten pro m² Energiebezugsfläche (EBF). Der Bezug auf die EBF erlaubt einen direkten Vergleich der spezifischen Kosten, auch mit dem Fall Doppel-EFH mit doppelt so hoher EBF.

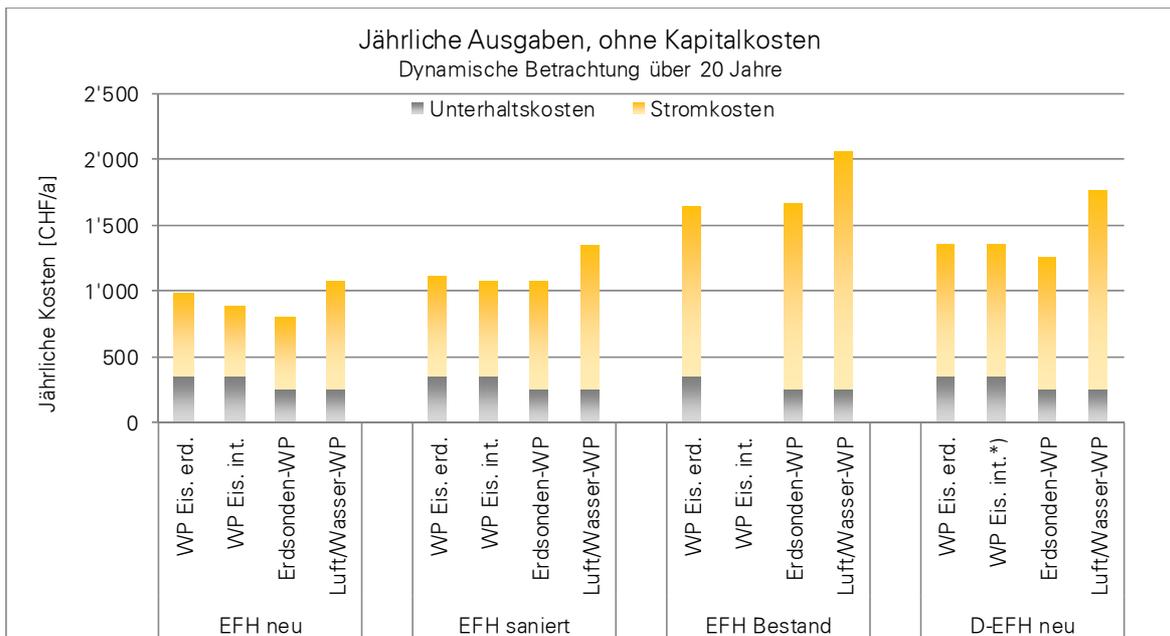


Abbildung 17: Jährliche Ausgaben für Instandhaltung und Strom (Stromtarif 18 Rp./kWh, Annahmen Instandhaltung entsprechend Kapitel 4.3.1), ohne Kapitalkosten
*) mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

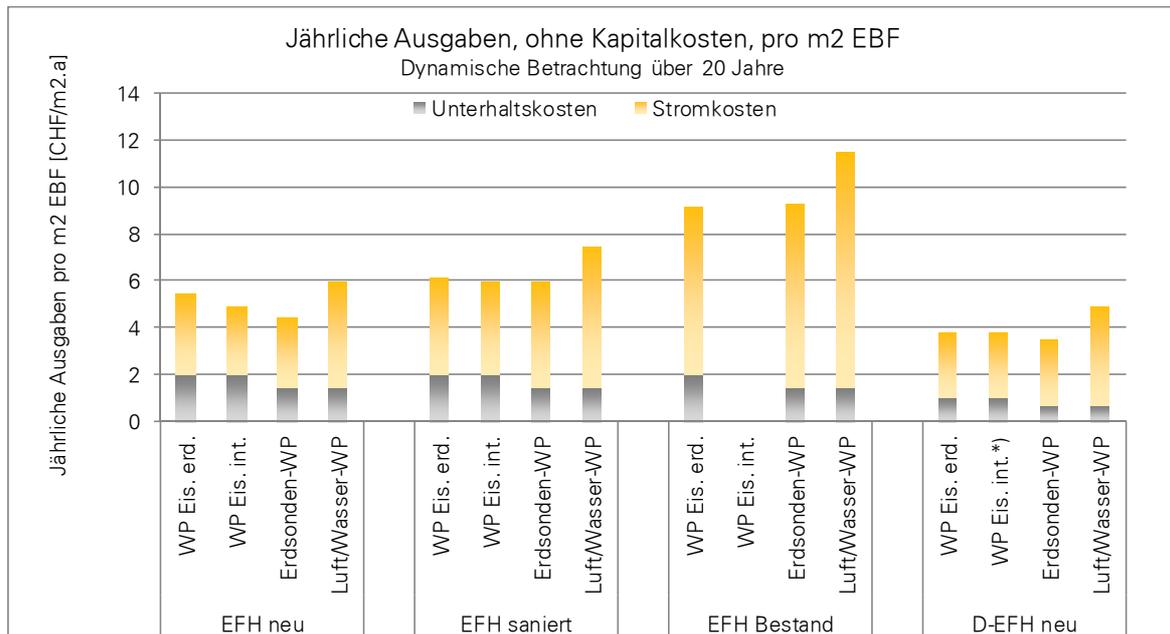


Abbildung 18: Jährliche Ausgaben für Instandhaltung und Strom pro m² EBF

*) mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

Der tiefere Systemnutzungsgrad der Luft/Wasser-Wärmepumpe schlägt sich klar in höheren Stromkosten nieder. Das System mit integriertem Eisspeicher und selektiven Kollektoren hat bei tiefen Wärmeverbräuchen einen besonders hohen Nutzungsgrad und steht daher beim EFH Neubau gut da. Schliesslich ist auch die Auswirkung der Annahme eines höheren Instandhaltungsaufwandes für die komplexeren Eisspeicher-Solar Systeme im Vergleich zu den klassischen Wärmepumpen-Anlagen ersichtlich.

In der Abbildung 19 sind die jährlichen Kosten inklusive der Kapitalkosten (ohne Förder-gelder) dargestellt. Die Restwerte der Anlagenkomponenten sind entsprechend der Lebensdauer (Tabelle 11) berücksichtigt. Abbildung 20 zeigt dieselben Kosten spezifisch pro m² EBF.

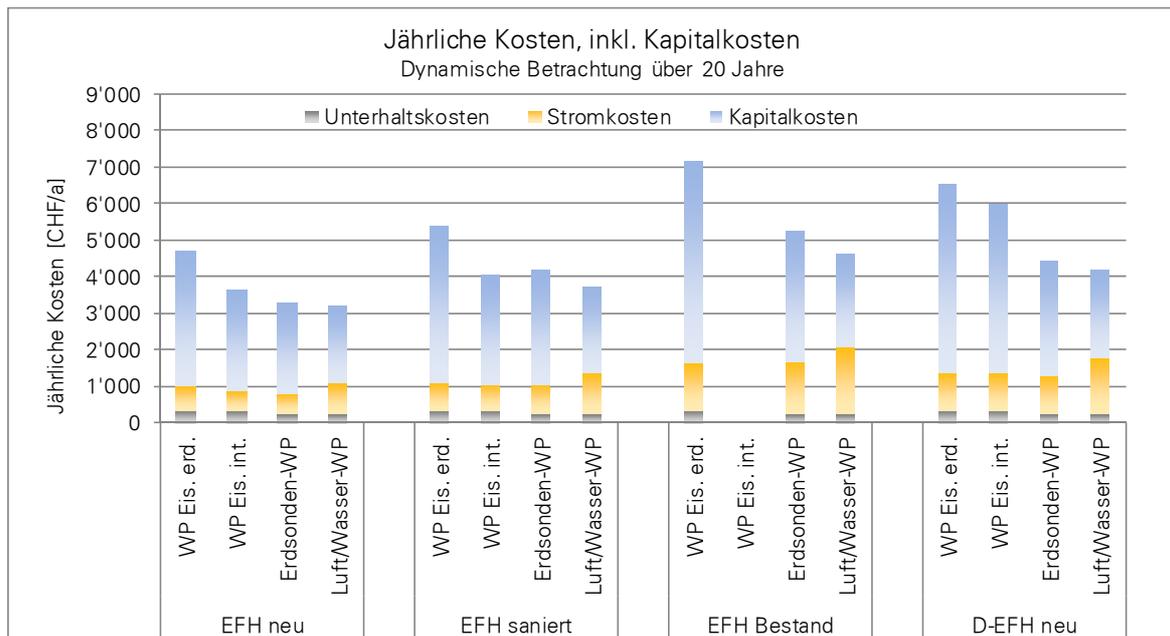


Abbildung 19: Jährliche Kosten, inkl. Kapitalkosten, ohne Fördergelder (Stromtarif 18 Rp./kWh, Nominalzins 2.5%, Inflation 1%)

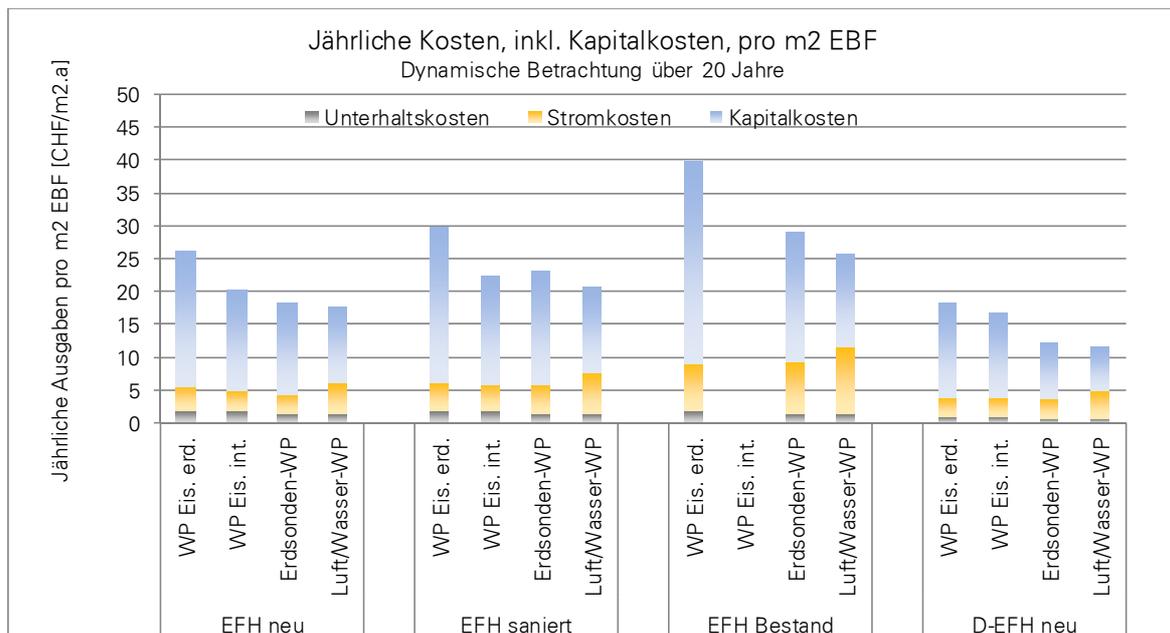


Abbildung 20: Jährliche Kosten pro m² EBF, inkl. Kapitalkosten, ohne Fördergelder

In dieser Gesamtbetrachtung dominieren die Kapitalkosten, ausser z.T. bei den Luft/Wasser-WP (tiefere Investitionskosten und höherer Stromverbrauch). Die Anlagentypen mit den höchsten Investitionskosten resultieren auch in den höchsten Jahreskosten. Die Einsparungen durch eine hohe Energieeffizienz bei den Eisspeicher- und Erdsonden-WP können die höheren Kapitalkosten im Vergleich zur Luft/Wasser-WP nicht wettmachen.

4.4.4 Wärmegestehungskosten

Für die Berechnung der Wärmegestehungskosten werden die Barwerte aller Ausgaben über die Betrachtungszeit (20 Jahre) durch den "Barwert" der produzierten Energieeinheit

ten (kWh) dividiert. Die Resultate sind in der Abbildung 21 für den Fall ohne Förderung und in Abbildung 22 inkl. Förderung dargestellt.

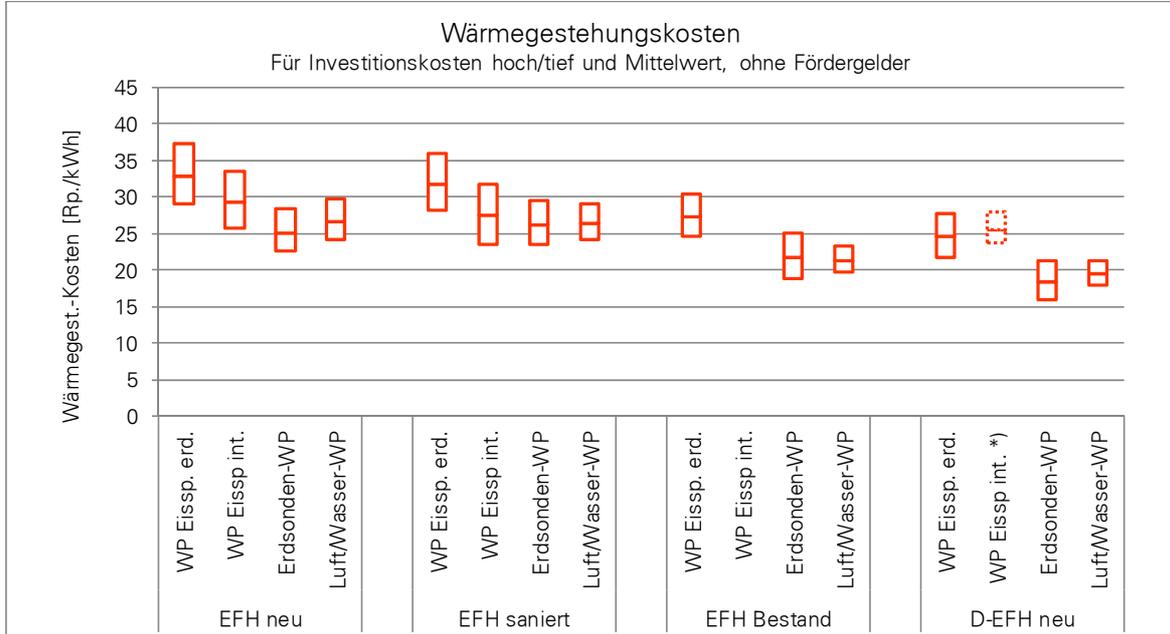


Abbildung 21: Wärmegestehungskosten für Investitionskosten tief/mittel/hoch, ohne Fördergelder, Annahmen entsprechend Tabelle 11

*) Gestrichelt: Mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

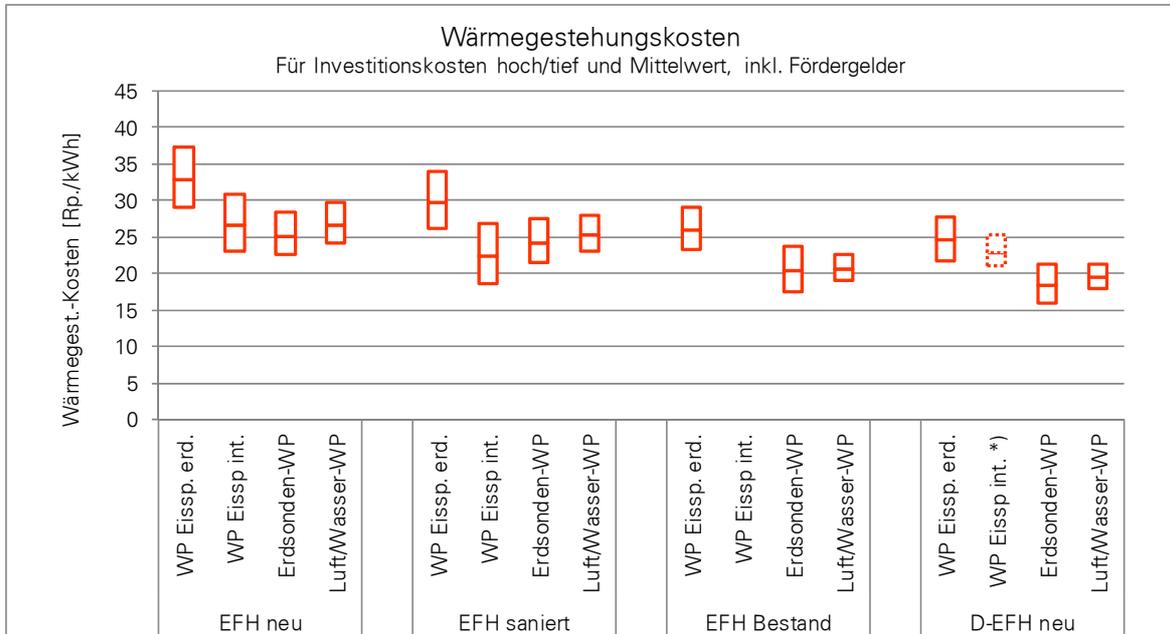


Abbildung 22: Wärmegestehungskosten für Investitionskosten tief/mittel/hoch, mit Fördergeldern, Annahmen entsprechend Tabelle 11

*) Gestrichelt: Mit innen aufgestelltem Eisspeicher, jedoch nicht als integriertes Kompaktsystem

Ohne Berücksichtigung von Fördergeldern sind die Wärmegestehungskosten der Eisspeicher-WP-Anlagen höher als die der Erdsonden- und Luft/Wasser-WP Anlagen. Beim sanierten EFH sind die Unterschiede am kleinsten, da die Dimensionierung der marktver-

fügbaren und hier untersuchten Eisspeicher-WP in diesem Fall am besten zum Wärmebedarf passt.

Wenn die Förderung von Wärmepumpen und Kollektoren berücksichtigt wird, liegen bei EFH neu und EFH saniert die Wärmegestehungskosten der Eisspeicher-WP-Anlagen mit selektiven Kollektoren im gleichen Bereich wie die klassischen Systeme (Abbildung 22). Der Anlagentyp mit Solar-Luft-Absorbern (Eisspeicher erdverlegt) ist unter diesen Annahmen benachteiligt.

4.5 Sensitivitätsanalyse

Die folgenden Grafiken zeigen die Abhängigkeit der Wärmegestehungskosten von einzelnen Parametern. Die Analyse ist insofern vereinfacht, als alle Parameter ausser dem Variierten konstant gehalten werden. Die Variationen gehen alle vom Fall des sanierten Einfamilienhauses aus. Die relative Abhängigkeit (Sensitivität) ist für die anderen drei Gebäudetypen vergleichbar. Das Referenzszenario, von welchem aus die Parameter variiert werden, ist jeweils auf der Kurve markiert.

4.5.1 Stromtarif

Aufgrund des hohen Anteils der Kapitalkosten an den Wärmegestehungskosten ist der Einfluss des Stromtarifs unterproportional (Abbildung 23). So bewirkt z.B. bei den Eisspeicher-WP-Anlagen eine Erhöhung des Stromtarifs um 10 Rp./kWh gegenüber dem Referenzszenario nur eine Erhöhung des Wärmegestehungspreises von 3.0 - 3.2 Rp./kWh. Aufgrund des schlechteren Nutzungsgrades ist die Luft/Wasser-WP stärker vom Stromtarif abhängig. Unter den hier getroffenen Annahmen wird diese ab einem Stromtarif von rund 26 Rp./kWh teurer als die Eisspeicher-WP mit integriertem Eisspeicher.

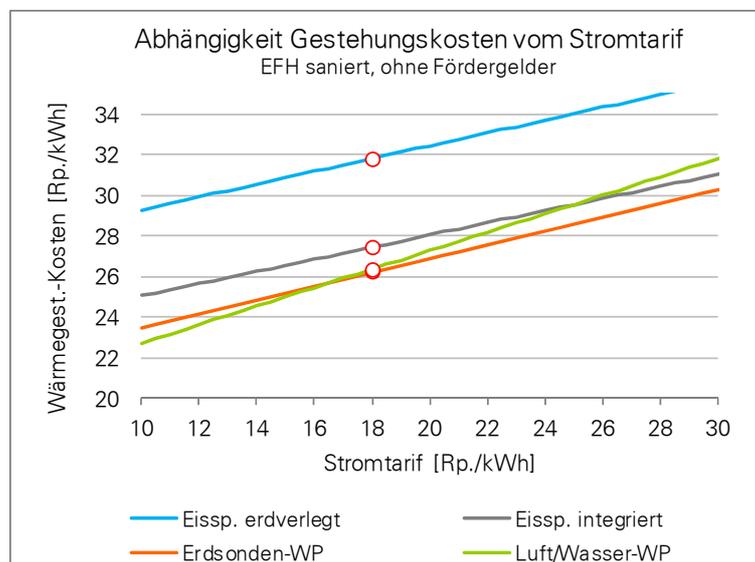


Abbildung 23: Wärmegestehungskosten in Funktion des Stromtarifs, alle anderen Parameter konstant

4.5.2 Kalkulationszinssatz

Der für die Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendete Kalkulationszinssatz hat einen starken Einfluss auf die Wärmegestehungskosten (Abbildung 24). Ein hoher Zinssatz verteuert besonders die Eisspeicher- und Erdsonden-WP-Anlagen und begünstigt die Luft/Wasser-WP.

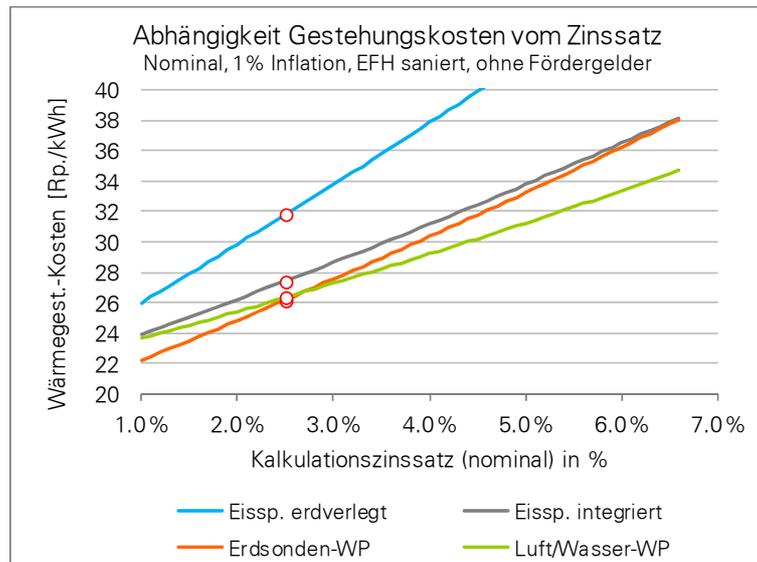


Abbildung 24: Wärmegestehungskosten in Funktion des nominalen Kalkulationszinssatzes, alle anderen Parameter konstant

4.5.3 Systemnutzungsgrad

In Abbildung 25 sind die Systemnutzungsgrade der jeweiligen Anlagentypen variiert. Dabei werden alle SNG, ausgehend vom Referenzszenario, um den gleichen Faktor erhöht oder vermindert. Die Abhängigkeit ist relativ schwach. Wenn z.B. bei der WP mit integriertem Eisspeicher der SNG um 10% von 4.1 auf 4.5 verbessert wird, sinken die Wärmegestehungskosten nur um 0.5 Rp./kWh (von 27.4 auf 26.9 Rp./kWh).

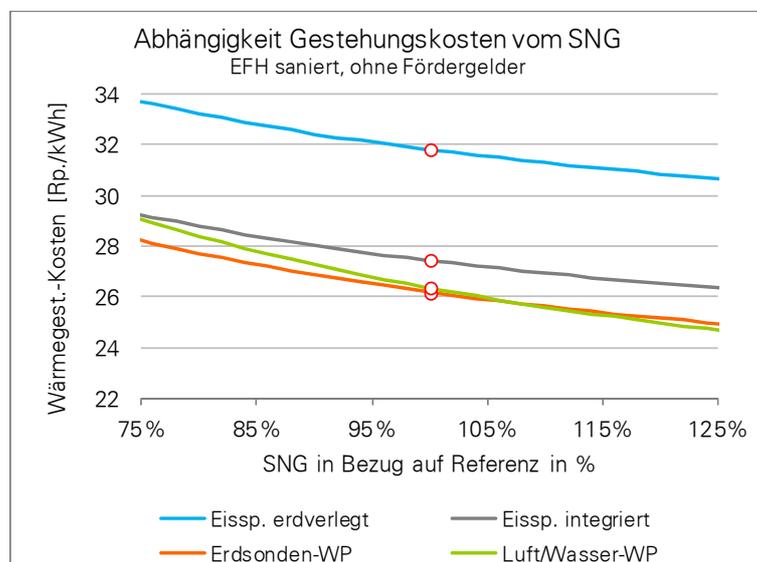


Abbildung 25: Wärmegestehungskosten in Funktion des Systemnutzungsgrades SNG, alle anderen Parameter konstant

Die Betrachtung mit Gleichhaltung aller anderen Parameter ist hier nur realistisch, wenn der SNG mit Betriebsoptimierungsmaßnahmen gesteigert werden kann. Wenn die Anlage für einen höheren SNG dimensioniert wird (z.B. grössere Kollektorfläche, bessere

Wärmepumpe, etc.), müssen die entsprechend höheren Investitionskosten mit eingerechnet werden.

4.5.4 Gesamtwärmebedarf

In Abbildung 26 wird der Gesamtwärmebedarf variiert, unter Annahme der identischen Anlage und einem konstanten SNG. Dieses Szenario ist nur innerhalb eines engen Bereichs annähernd realistisch. Bei z.B. halb so grossem Wärmebedarf würde selbstverständlich die Anlage kleiner dimensioniert und der Anstieg der Wärmegestehungskosten weniger gross.

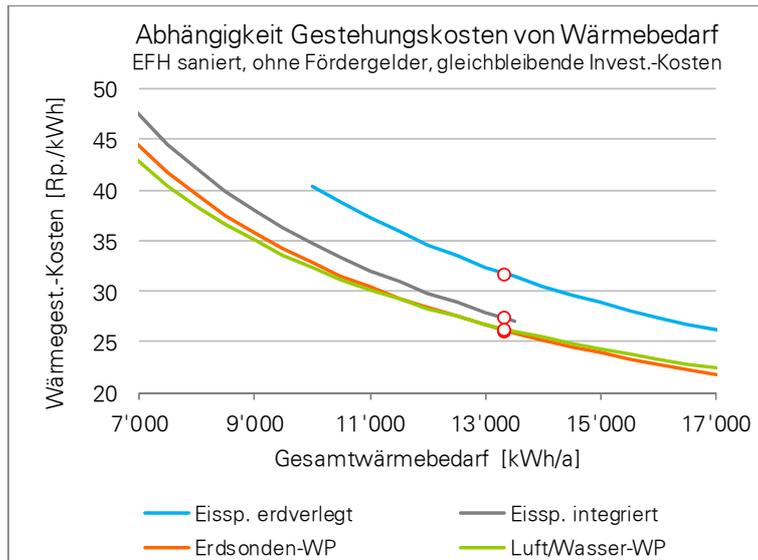


Abbildung 26: Wärmegestehungskosten in Funktion des Gesamtwärmebedarfs, Anlagendimensionierung und alle anderen Parameter konstant

Obwohl die jährlichen Kosten bei einem höheren Bedarf steigen, sind die Wärmegestehungskosten pro kWh tiefer. Wegen des relativ hohen Kapitalkostenanteils sind die Wärmegestehungskosten bei sehr sparsamen Gebäuden tendenziell hoch, mit leichtem Vorteil für die Luft/Wasser-WP.

4.5.5 Vergleich der Abhängigkeiten

In Abbildung 27 sind die oben beschriebenen Parameterabhängigkeiten nochmals aufgezeichnet, jedoch als % Abweichung von der Referenz. In dieser Betrachtung lässt sich eine hohe Abhängigkeit vom Wärmebedarf und eine geringere Abhängigkeit von Stromtarif, Kalkulationszinssatz und SNG erkennen.

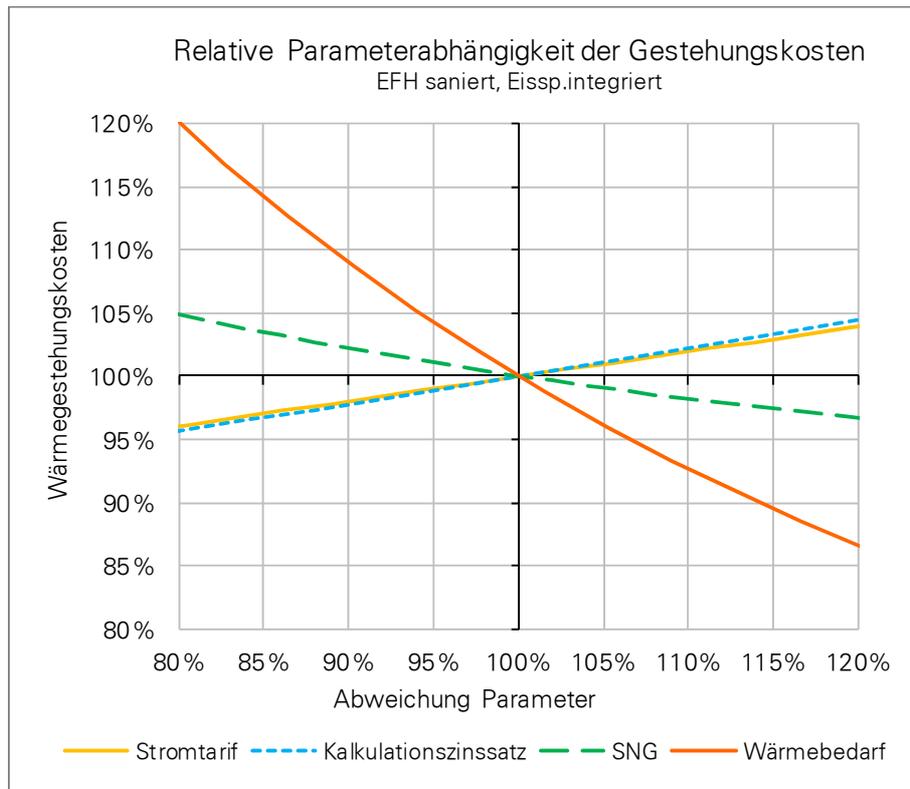


Abbildung 27: Relative Parameterabhängigkeit der Wärmegestehungskosten am Beispiel des Anlagentyps WP mit integriertem Eisspeicher und verglasten Kollektoren

5. Umweltbelastung

Die Bewertung der Umweltbelastung von Heizsystemen über den gesamten Lebenszyklus (Erstellung, Betrieb und Entsorgung) erlaubt einen Vergleich von verschiedenen Anlagentypen aus der Umweltperspektive. Eisspeicher-WP-Anlagen wurden bereits in mehreren Studien in Bezug auf die Umweltbelastung bewertet und mit anderen Heizsystemen verglichen ([4] und [5]). In der vorliegenden Studie wird die Bewertung und der Vergleich für die Anlagentypen und Anwendungsfälle vorgenommen, welche im Kapitel 3 (Grundlagen) definiert sind. Für die gleichen Referenzfälle sind in Kapitel 4 auch die wirtschaftlichen Kennzahlen hergeleitet. Das erlaubt die gleichzeitige Sicht aus Umwelt- und aus Wirtschaftlichkeitsperspektive auf die jeweiligen Referenzfälle.

5.1 Methodik

Die Umweltauswirkungen sind mit folgenden drei Indikatoren bewertet:

- Umweltbelastungspunkte (UBP'13): Ein Quantifizierungssystem nach der Methode der ökologischen Knappheit [6], wobei Schadstoffemissionen und die Entnahme von Ressourcen auf die Umwelt bewertet werden. Die Einheit ist "Punkte" [Pt].
- Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE): Die nicht erneuerbare Primärenergie quantifiziert den kumulierten Energieaufwand der fossilen und nuklearen Energieträger sowie Holz aus Kahlschlag aus Primärwäldern. Als erneuerbare Energieträger gelten Wasserkraft, Holz/Biomasse, Sonnen-, Wind-, geothermische Energie und Umgebungswärme. Der Primärenergiebedarf wird mit Öl-Äquivalenten ausgedrückt [kWh oil-eq].
- Treibhausgasemissionen (THG): Die kumulierte Wirkung der Treibhausgasemissionen wird als äquivalente Wirkung von CO₂-Emissionen ausgedrückt [kg CO₂-eq].

Die für die Berechnungen verwendeten Kennwerte basieren auf der KBOB-Empfehlung [7] und der ecoinvent Datenbank⁸ (Version 2.2+ resp. 3).

Die Umweltindikatoren werden für die gesamte Umweltwirkung bei der Herstellung und Entsorgung der Anlagenkomponenten angegeben. Es wird angenommen, dass Metalle vollständig recycelt werden. Während dem Betrieb der Anlage wird die Umweltwirkung des Stromverbrauchs ebenfalls mit den drei Indikatoren bewertet. Dabei wird die Stromherkunft mit berücksichtigt.

In der vorliegenden Betrachtung werden nur diejenigen Anlagenkomponenten mit einbezogen, welche sich zwischen den verschiedenen Anlagentypen signifikant unterscheiden und einen wesentlichen Einfluss auf die Umweltindikatoren haben:

- Kollektor
- Erdsonde (inkl. Erdarbeiten)
- Eisspeicher (inkl. Erdarbeiten)
- Wärmepumpe

Die Verrohrung, die Wärmespeicher, Armaturen und elektrische Komponenten wurden nicht berücksichtigt. Die Resultate können daher nicht zum Vergleich mit anderen Heizsystemen aus anderen Studien herbeigezogen werden, ohne die Differenzen auf-

⁸ <http://www.ecoinvent.org/>

grund unterschiedlicher Systemgrenzen zu bereinigen. Für den Vergleich der Anlagentypen im Rahmen dieser Studie ist dieses vereinfachte Vorgehen jedoch zweckmässig.

Beim Anlagentyp Eisspeicher-WP mit integriertem Eisspeicher werden die Berechnungen für den verglasten und aktiv belüfteten Kollektortyp gemacht.

5.2 Kennwerte

Die in den Berechnungen verwendeten Kennwerte für die Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Komponenten sind in der Tabelle 12 zusammengestellt.

Systemkomponenten	Quelle/Material	Bezug	UBP'13 [Pt]	PE nicht erneuerbar [kWh oil-eq]	THG [kg CO ² -eq]
Solar-Luft-Absorber (PE), unverglast	Bestehende Studie [4] 100% Polyethylen (PE) Leergewicht 38 kg	1 m ²	39'000	346.4	71.7
Hybridkollektor (Kupfer), verglast	Studie High-Ice [5] ecoinvent 3 0.2 mm Kupferabsorber Schwarzchrombeschichtet Aluminiumrahmen Float-Glas	1 m ²	472'325	359.1	109.8
Selektiver Kollektor (Edelstahl), unverglast	Studie High-Ice [5] ecoinvent 3 Chromstahl 18/8 Schwarzchrombeschichtet Aluminiumrahmen Leergewicht 30.6 kg	1 m ²	282'471	408.0	118.4
Sole-Wasser WP für Eisspeicher erdverlegt und Erdsonde	KBOB/ecoinvent 2.2	1 kW	529'625	693.2	186.3
Luft/Wasser-WP	KBOB/ecoinvent 2.2	1 kW	693'250	830.5	243.8
WP + integrierter Eisspeicher	KBOB/ecoinvent 2.2 PE-Behälter + PP Wärmetauscher mit Leergewicht 31.5 kg	1 kW	545'146	799.0	197.2
Eisspeicher erdverlegt 9.6m ³ , inkl. Aushub	KBOB/ecoinvent 2.2 Beton 8'510 kg PE Wärmetauscher 30 kg Aushub 25 m ³ Sand- und Kiesbett	1 Stk.	958'480	2'577.9	1'052.7
Erdsonde	KBOB/ecoinvent 2.2	1 m	33'910	129.1	25.0

Tabelle 12: Kennwerte UB P'13, Primärenergie und THG für Herstellung und Entsorgung für ausgewählte Systemkomponenten

Bei allen Metallen werden die Kennwerte für eine Mischung von rezykliertem und neu hergestelltem Material verwendet, entsprechend den Anteilen von primärem und rezyk-

liertem Material auf dem Weltmarkt. Die Rezyklierungsquote der Metalle ist hoch und die Nachfrage nach rezykliertem Metall übersteigt das Angebot. Daher erhöht auch die Verwendung von 100% rezykliertem Metall den Bedarf nach primärem Material.

Die Lebensdauer der einzelnen Systemkomponenten ist wie folgt angenommen:

- Kollektor: 25 Jahre [8]
- Erdsonde: 50 Jahre
- Eisspeicher erdverlegt⁹: 50 Jahre
- Wärmepumpe, Kompaktgerät: 20 Jahre

Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Lebensdauer der Komponenten, werden für den Systemvergleich die Indikatoren jeweils auf ein Jahr bezogen.

Die Umweltwirkung des Stromverbrauchs im Betrieb der WP-Anlagen wird mit drei verschiedenen Annahmen für die Stromherkunft berechnet. In der Tabelle 13 sind die Stromarten und die Umweltkennwerte zusammengestellt.

Elektrizität von Netz	Bezug	UBP'13 [Pt]	PE nicht ern. [kWh oil-eq]	THG [kg CO₂-eq]
Mix zertifizierte Stromprodukte CH (In der Schweiz zertifizierter erneuerbarer Strom)	kWh	47	0.0339	0.0143
CH-Verbrauchermix (Durchschnitt des in der Schweiz verbrauchten Stroms)	kWh	382	2.69	0.1386
ENTSO-E-Mix ¹⁰ (Europaweite Zusammensetzung der Stromerzeugung)	kWh	547	2.88	0.5220

Tabelle 13: Kennwerte UBP'13, Primärenergie und THG für ausgewählte Stromarten; Quelle: KBOB

5.3 Resultate

Im Folgenden wird zuerst am Beispiel des sanierten Einfamilienhauses illustriert, dass der Stromverbrauch im Betrieb der Anlage und die Herkunft des Stroms die beiden dominierenden Faktoren sind. In einem zweiten Schritt werden alle Referenzszenarien anhand von UBP, Primärenergieverbrauch und THG verglichen.

5.3.1 Stromherkunft und Stromverbrauch

In Abbildung 28 bis Abbildung 30 sind die Umweltindikatoren für die drei Stromarten und die verschiedenen Anlagentypen gegenübergestellt. Die Grafiken veranschaulichen den dominierenden Einfluss der gewählten Stromart und des Stromverbrauchs im Betrieb. Bei der Wahl des zertifizierten Strommixes fällt die Umweltbelastung aus dem Betrieb fast ganz weg. Bei einem CH- oder ENTSO-E Mix fällt der geringere Verbrauch bei einem effizienteren System am stärksten ins Gewicht und die Luft/Wasser-WP weist die höchste Umweltbelastung auf.

⁹ 50 Jahre Lebensdauer für den Aushub und den Betonbehälter.

¹⁰ ENTSO-E steht für European Network of Transmission System Operators, vormalis UCTE.

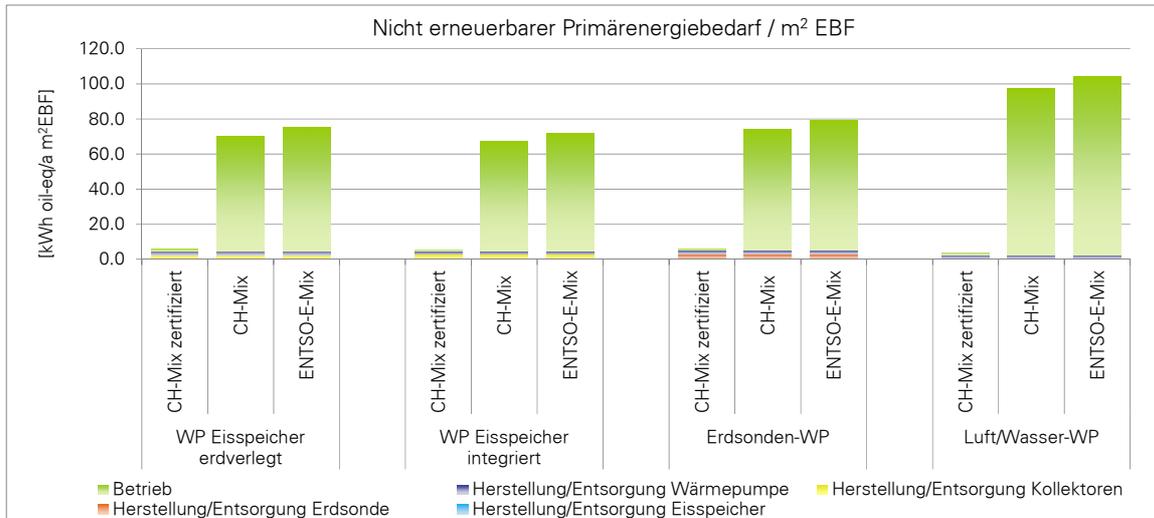


Abbildung 28: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf für Gebäudetyp EFH saniert

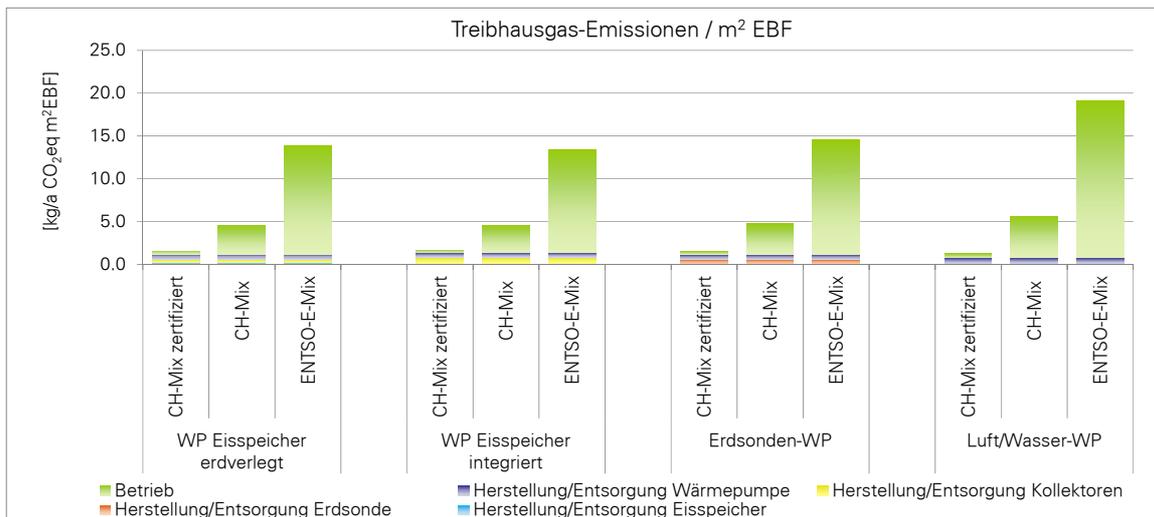


Abbildung 29: Treibhausgas-Emissionen für Gebäudetyp EFH saniert

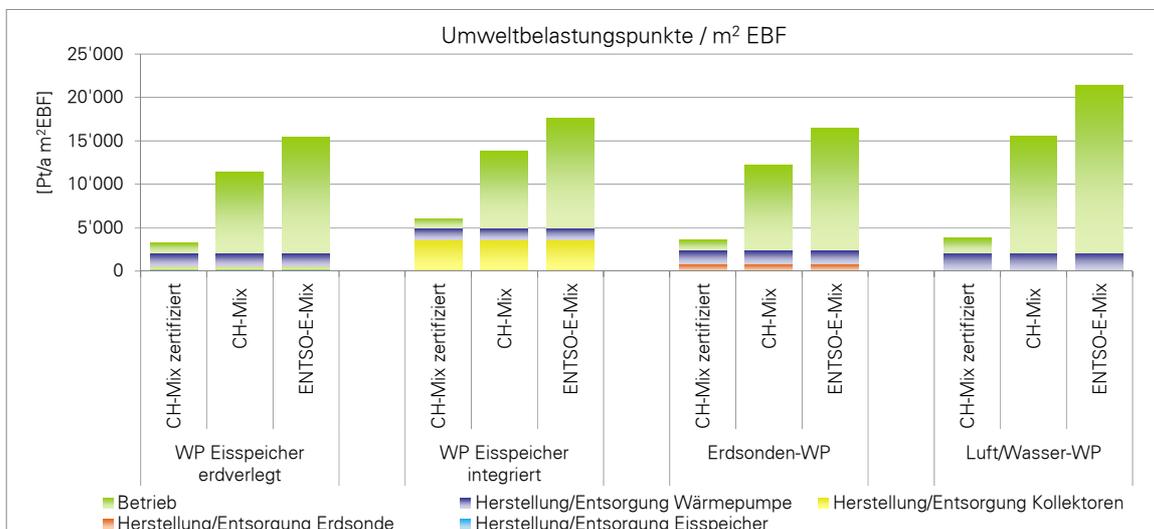


Abbildung 30: Umweltbelastungspunkte für Gebäudetyp EFH saniert

Dieses Resultat wird von den Aussagen einer kürzlich veröffentlichten Studie des Bundesamtes für Energie [5] gestützt. Allerdings ist der Einfluss des Stromverbrauchs bei der vorliegenden Studie noch dominanter, u.a. weil bei der Herstellung und Entsorgung nicht alle Anlagenteile berücksichtigt wurden (Differenzbetrachtung, siehe 5.1).

5.3.2 Indikatoren für den Betrieb mit Strom aus Schweizer Verbrauchsmix

Die folgenden Abbildungen vergleichen jeweils den Primärenergiebedarf, die Treibhausgas-Emissionen und die Umweltbelastungspunkte für alle vordefinierten Objekttypen und Anlagentypen und für den Betrieb mit Strom aus dem Schweizer Verbrauchsmix (CH-Mix).

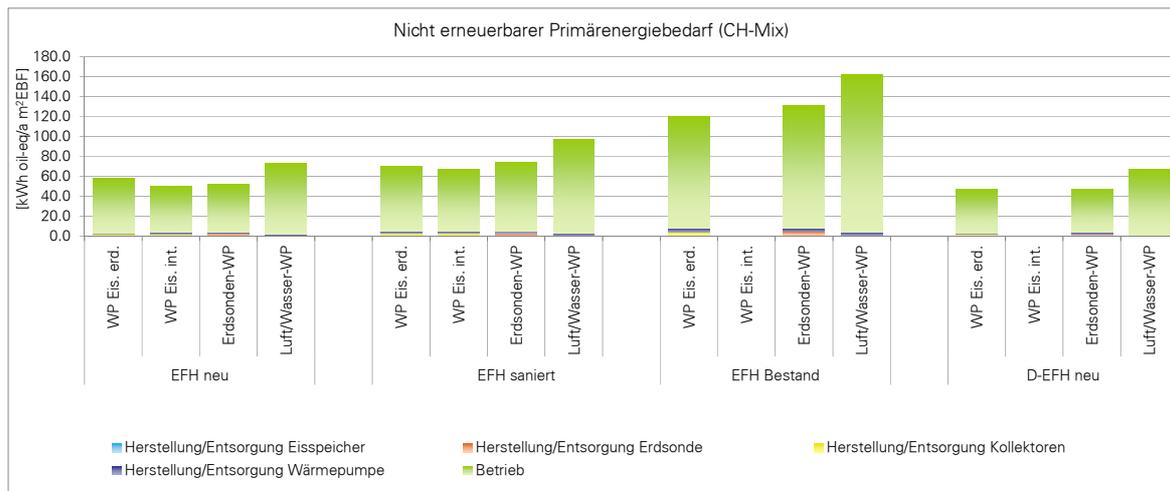


Abbildung 31: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf Herstellung/Betrieb/Entsorgung mit CH-Mix

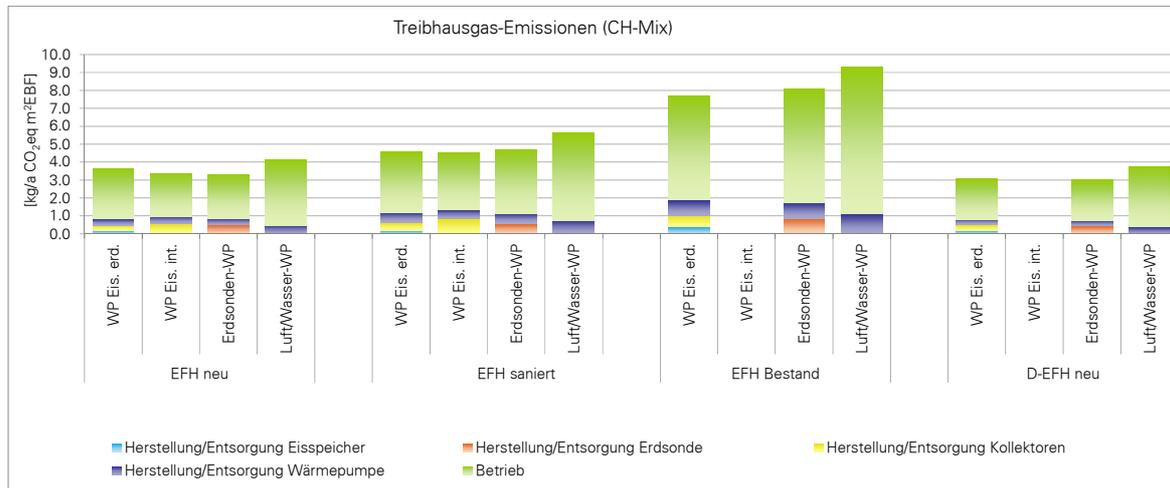


Abbildung 32: Treibhausgas-Emissionen Herstellung/Betrieb/Entsorgung mit CH-Mix

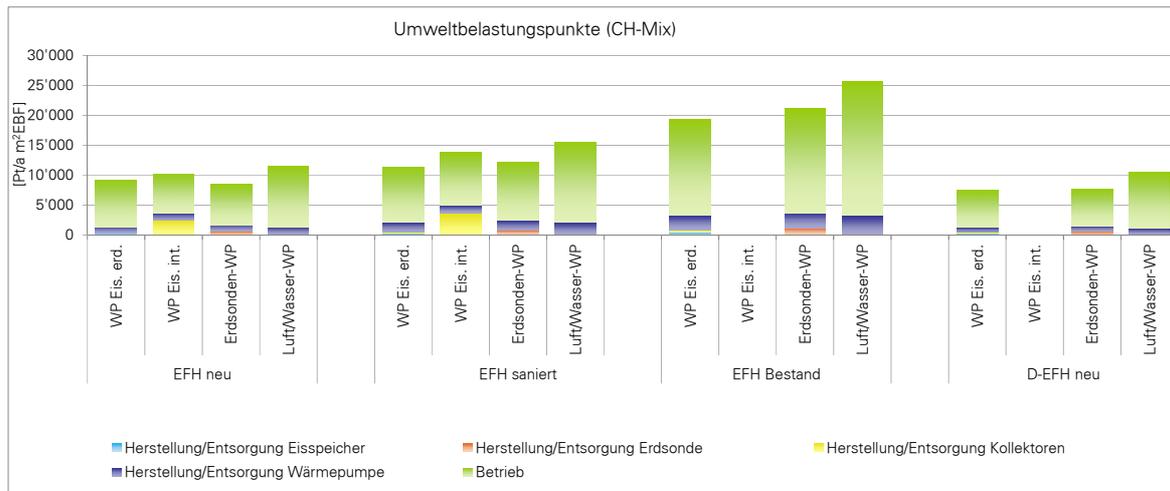


Abbildung 33: Umweltbelastungspunkte Herstellung/Betrieb/Entsorgung mit CH-Mix

Die Luft/Wasser-WP weist, aufgrund des schlechteren Systemnutzungsgrades im Vergleich mit den anderen Systemen, durchgehend die schlechteste Umweltbilanz auf. Die Eisspeicher-WP-Anlagen bewegen sich auf ähnlichem Niveau wie die Erdsonden-WP-Anlage. Bei den Umweltbelastungspunkten (Abbildung 33) ist der erhöhte Aufwand für die Herstellung und Entsorgung der Metallkollektoren, in diesem Fall verglaste Kollektoren mit Kupferabsorber, ersichtlich. Je nach verwendetem Kollektortyp kann dieser Wert signifikant abweichen. Der ebenfalls untersuchte, unverglaste Edelstahl-Kollektor weist zum Beispiel einen rund 40% tieferen UBP-Wert auf (Tabelle 12).

5.3.3 Indikatoren bei Verwendung von erneuerbarem Strommix

Wenn die Anlagen mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben werden (CH-Mix zertifiziert), ist die Belastung durch den Stromverbrauch im Betrieb untergeordnet und die Umweltbelastung durch Herstellung und Entsorgung dominiert. In Abbildung 34 bis Abbildung 36 sind die drei Indikatoren für die verschiedenen Objekt- und Anlagentypen für Strom aus 100% erneuerbaren Quellen gemäss CH-Mix zertifiziert dargestellt.

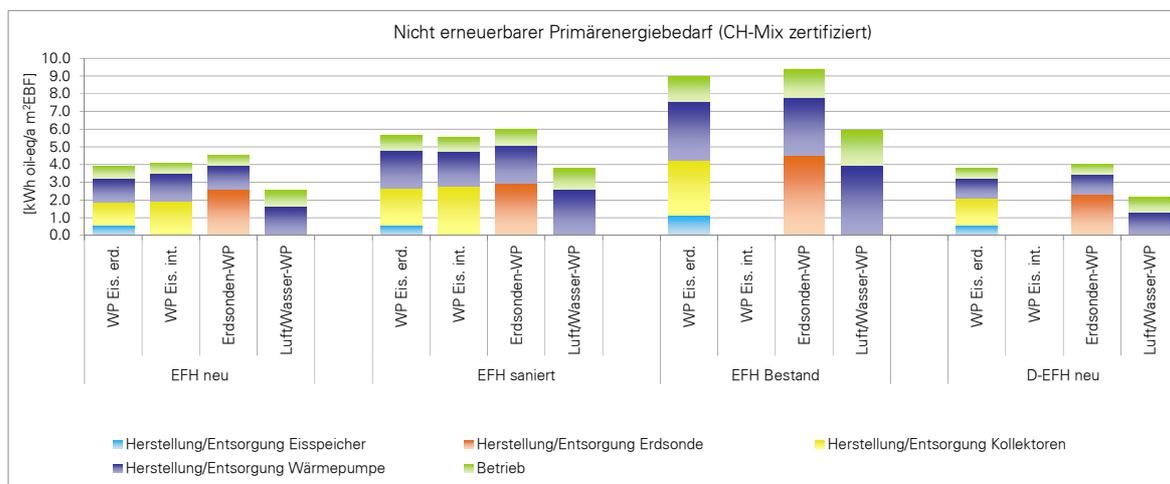


Abbildung 34: Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf Herstellung/Betrieb/Entsorgung mit CH-Mix zertifiziert

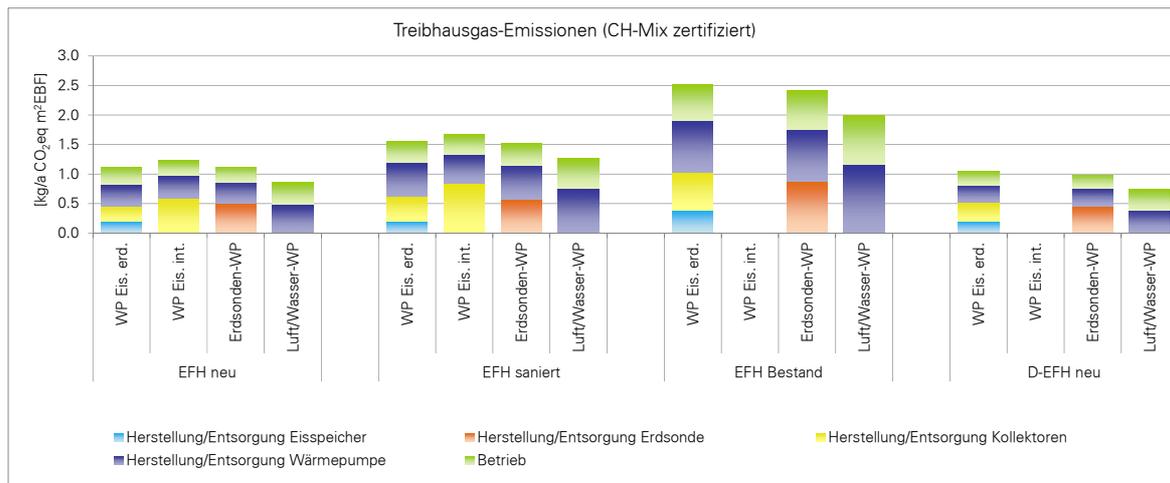


Abbildung 35: Treibhausgas-Emissionen Herstellung/Betrieb/Entsorgung mit CH-Mix zertifiziert

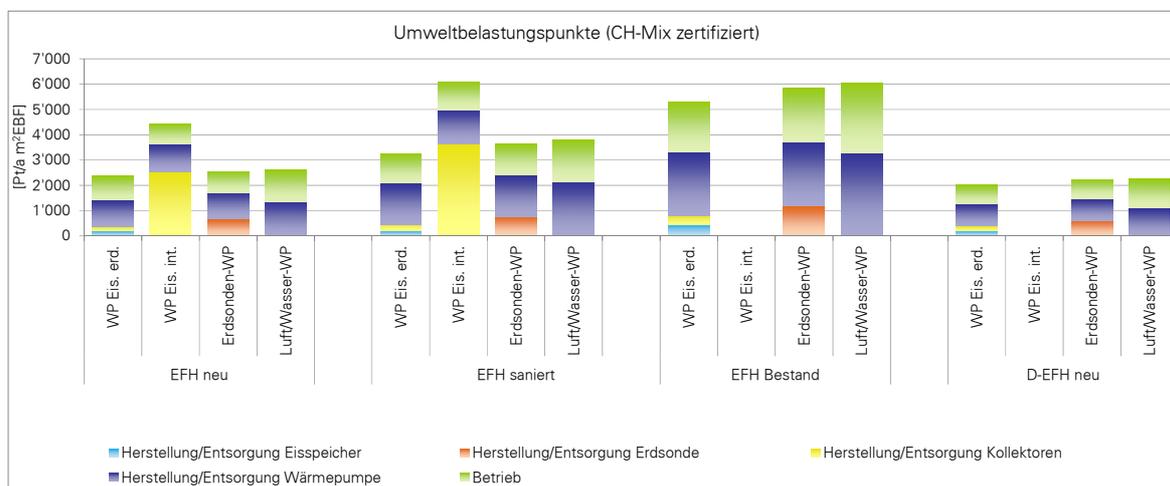


Abbildung 36: Umweltbelastungspunkte Herstellung/Betrieb/Entsorgung mit CH-Mix zertifiziert

Die Luft/Wasser-WP weist den tiefsten Materialverbrauch auf (keine Erdsonden, Eisspeicher, Kollektoren) und kommt darum auf den besten Wert. Auffällig ist der vergleichsweise geringe Primärenergiebedarf für den erdverlegten Eisspeicher im Vergleich zur Erdsonde. Gut ersichtlich ist auch wieder der relativ hohe Wert für die Umweltbelastungspunkte beim hier dargestellten, selektiven, verglasten Kollektor.

Diese Resultate unter Annahme eines erneuerbaren Strom-Mix sind vorsichtig zu interpretieren. Sie setzen voraus, dass erneuerbarer Strom auch in genügendem Masse und langfristig zur Verfügung steht. Daher sind heute Systeme mit höherer Effizienz (geringerem Stromverbrauch) vorzuziehen, bzw. der Verbrauchermix als Basis für die Umweltbetrachtung zu verwenden.

5.4 Einfluss Kältemittel

Als Arbeitsmedium von kleinen Wärmepumpen werden überwiegend organische, FKW/HFKW-haltige Kältemittel eingesetzt. Umweltbelastungen entstehen einerseits bei der Kältemittelherstellung und andererseits im Betrieb der Anlagen infolge Kältemittelverlusts. Bei den heute zugelassenen Kältemitteln ist dabei vor allem das Treibhauspotenzial relevant [9]. Heute werden gemäss einer statistischen Auswertung von Wärmepumpen für kleinere Erdsonden- und Luft/Wasser-Anlagen häufig die Kältemittel R407C, R134a, R410A und R404A eingesetzt [10]. In der Tabelle 14 sind diese Kältemittel mit ihrem Treibhauspotenzial aufgelistet. Die Unterschiede im Treibhauspotenzial sind z.T. gross und der Anteil des Kältemittels am gesamten Treibhauspotenzial der Wärmepumpe ist signifikant. Die Wahl des Kältemittels kann daher die Umweltbelastung der Gesamtanlage beeinflussen.

In den heute auf dem Markt verfügbaren Eisspeicher-WP-Anlagen werden die Kältemittel R407C und R410A eingesetzt (Tabelle 14). Die im Rahmen dieser Studie beigezogenen Wärmepumpen für die Anlagentypen Luft/Wasser-WP und Erdsonden-WP setzen ebenfalls R410A und z.T. R407C ein.

Kategorie	Kältemittel	Treibhauspotential [kg CO ₂ -eq/kg]	Anlagentyp
FKW / HFKW (chlorfrei)	R134a	1430	
	R404A	3920	
	R407A	2110	
	R407C	1770	WP Eisspeicher integriert (Consolar)
	R410A	2090	WP Eisspeicher erdverlegt (Viessmann)

Tabelle 14: Treibhauspotential (THG) der heute am häufigsten eingesetzten Kältemittel, über einen Zeithorizont von 100 Jahren; Quelle: IPCC IV (2007)

Das Kältemittel beeinflusst die Umweltbelastung aber nicht nur direkt, sondern auch indirekt über den Wirkungsgrad (COP) der Wärmepumpe. Wenn durch die Wahl eines Kältemittels mit höherem Treibhauspotenzial ein höherer COP der Wärmepumpe erreicht werden kann und schliesslich ein höherer Systemnutzungsgrad, kann durch die Stromeinsparung über die Lebensdauer unter dem Strich eine tiefere Umweltbelastung resultieren. Diese Zusammenhänge sind relativ komplex und wurden in anderen Studien bereits untersucht [11], weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen wird.

6. Marktpositionierung

Bei der Marktpositionierung der Eisspeicher-WP-Anlagen mit Solarkollektoren fließen die in [1] behandelten technischen Aspekte und die in der vorliegenden Studie untersuchten, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Aspekte ein.

Aus technischer Sicht positionieren sich die Eisspeicher-WP-Anlagen als grundsätzlich geeignete und effiziente Heizsysteme für den EFH-Bereich. Die Systemnutzungsgrade von gut eingestellten Anlagen sind vergleichbar mit Erdsonden-Wärmepumpen und besser als bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Dabei sind folgende Aspekte wichtig:

- Da keine Erdsondenbohrung nötig ist, können die Eisspeicher-WP-Anlagen auch in Gebieten installiert werden, wo Erdsonden nicht bewilligt werden.
- Je nach System muss genügend Platz für die Einbringung eines Eisspeichers ins Erdreich und Platz für die Aufstellung der Solar-Luft-Absorber vorhanden sein.
- Systeme mit selektiven Solarkollektoren und kleinen Eisspeichern können zwar deutlich höhere Systemnutzungsgrade erreichen als andere Wärmepumpensysteme, reagieren aber auch sensibler auf Heizungsvorlauftemperaturen, Sonneneinstrahlung, Aussentemperatur, Wärmeverbrauch, etc. Die korrekte Auslegung, insbesondere der Kollektorfläche ist hier wichtiger.
- Die Technologie ist noch nicht verbreitet, es gibt nur wenige Angebote für Komplettsysteme auf dem Markt. Die Systeme sind relativ komplex und bedingen eine gute Inbetriebnahme und eine Optimierungsphase um die guten Nutzungsgrade zu erreichen. Es können daher nur Komplettsysteme mit aufeinander abgestimmten Komponenten und Steuerung empfohlen werden.
- Die marktverfügbaren Komplettsysteme sind in einem eingeschränkten Leistungs- und Wärmebedarfsbereich einsetzbar: Das Kompaktsystem bis 7 kW, 13'000 kWh/a und 45°C Heizungsvorlauf, das System mit erdverlegtem Speicher bis ca. 17 kW. Bei grösseren Überbauungen oder Dienstleistungsgebäuden kommen Spezialanlagen zum Einsatz.
- Grössere Eisspeicher können im Sommer grundsätzlich auch zur direkten Kühlung genutzt werden. Eine solche Nutzung kann den Jahresnutzungsgrad für die Wärmeerzeugung allerdings beeinträchtigen. Der genaue Einfluss wurde noch nicht untersucht. Im hier betrachteten Wohnungsbau ist Kühlung im Allgemeinen nicht nötig.
- Im Gegensatz zu Erdsonden-WP-Anlagen muss keine Rücksicht auf eine gegenseitige Beeinflussung (Auskühlung des Erdreichs) von benachbarten Anlagen genommen werden.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit positionieren sich die Eisspeicher-WP-Anlagen wie folgt:

- Die jährlichen Kosten für Strom und Unterhalt sind vergleichbar mit einer Erdsonden-WP und können je nach Objekt leicht nach unten oder oben abweichen. Luft/Wasser-WP haben den höchsten Stromverbrauch und sind aus dieser Sicht (jährliche Ausgaben) am teuersten.
- Ausschlaggebend für die Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung sind aber die Kapitalkosten und damit vor allem die Investitionskosten für die Erstellung der Anlage. Die heute auf dem Markt verfügbaren Eisspeicher-WP-Komplettsysteme sind tendenziell teurer als Erdsonden-WP-Anlagen. Dabei fällt vor allem der erdverlegte Eis-

speicher ins Gewicht. Während das Kompaktsystem mit integriertem Eisspeicher gleich oder geringfügig teurer ist als die Erdsonden-WP, ist das System mit erdverlegtem Eisspeicher deutlich teurer und resultiert im höchsten Wärmegestehungspreis.

- Wenn die finanzielle Förderung von Solarkollektoren und Wärmepumpen mit berücksichtigt wird, verschiebt sich das Bild leicht. Je nach Kanton und Annahme der Förderhöhe und -Art liegen die Wärmegestehungskosten für Eisspeicher-WP (integrierter Eisspeicher), Erdsonden-WP und Luft/Wasser-WP gleichauf. Der Anlagentyp mit erdverlegtem Eisspeicher und Solar-Luft-Absorber ist unter dieser Betrachtung benachteiligt, da nicht-selektive, nicht verglaste Kollektoren als Wärmepumpen-Quelle in keinem Kanton gefördert werden.

Eisspeicher-WP-Kompaktanlagen ohne erdverlegten Speicher positionieren sich also aus Wirtschaftlichkeitsperspektive ähnlich wie die klassischen WP-Typen, sind aber heute erst bis 7 kW_{th} verfügbar und für Niedertemperatur-Wärmeabgabe empfohlen. Systeme mit erdverlegtem Eisspeicher können auch den höheren Leistungsbereich und ältere Heizsysteme effizient abdecken, sind heute aber deutlich teurer als Erdsonden-WP. Der Einsatz macht aus wirtschaftlicher Sicht also vor allem da Sinn, wo Erdsonden nicht möglich oder nicht erwünscht sind. Die Stückzahlen der Eisspeicher-WP Komplettsysteme sind noch klein. Mittelfristig ist daher zu erwarten, dass die Kosten noch sinken und sich weiter der Erdsonden-WP angleichen.

Für die Betrachtung aus der Umweltperspektive ist der Stromverbrauch während der Lebensdauer der Anlage dominierend. Die Umweltbelastung durch den Stromverbrauch ist im Fall eines typischen Strommix (Schweiz oder Europa) um ein vielfaches höher als die Umweltbelastung durch Erstellung und Entsorgung der Anlage. Die Eisspeicher-Anlagen positionieren sich daher, aufgrund des guten Systemnutzungsgrades, grundsätzlich ähnlich wie die Erdsonden-WP und besser als die Luft/Wasser-WP.

Wird die Wärmepumpe mit einem erneuerbaren Strommix betrieben, ist der Einfluss des Stromverbrauchs auf die Umweltbelastung kleiner als die Belastung durch Erstellung und Entsorgung. Die Positionierung verschiebt sich in diesem Fall und die Luft/Wasser-WP schneidet, aufgrund des geringen Materialaufwandes, am besten ab. Die Anlagentypen mit selektiven Kollektoren mit Kupfer- oder Edelstahlabsorbieren bewirken die höchste Umweltbelastung.

Für die Betrachtungen mit erneuerbarem Strommix ist relevant, dass die langfristige Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom gegeben und der Wille der Kunden, solchen zu beziehen, vorhanden ist.

In den folgenden Grafiken (Abbildung 37 und Abbildung 38) sind die beiden Eisspeicher-WP Anlagentypen und die Erdsonden-WP gegenüber der Luft/Wasser-WP in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung positioniert. Die drei Umweltbelastungs-Indikatoren (Primärenergie, THG, UBP) sind für diese Einordnung und grafische Darstellung gleich gewichtet. Da nicht erneuerbare Primärenergie und Treibhausgas-Emissionen relativ stark korrelieren, sind diese Aspekte in der Einordnung faktisch höher gewichtet als die Umweltbelastungspunkte. Diese Gewichtung kann natürlich je nach Priorität anders ausgestaltet werden, wodurch sich auch die Positionierung verändert.

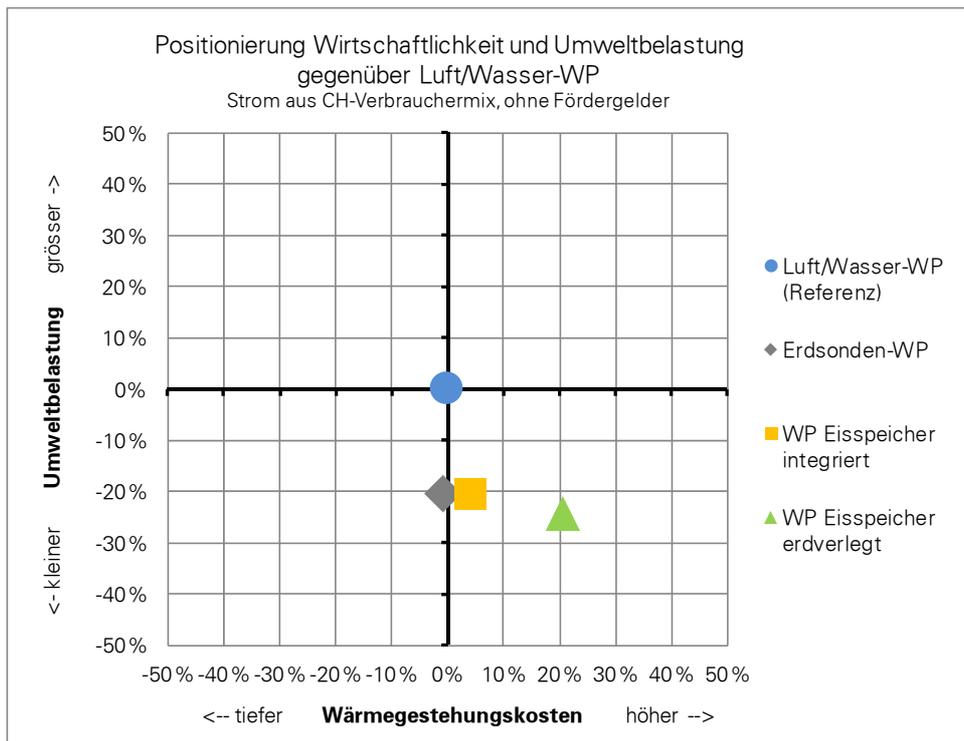


Abbildung 37: Positionierung der untersuchten Anlagentypen gegenüber der Luft/Wasser-WP für den Referenzfall EFH saniert, Strom CH Verbrauchermix, ohne Förderung

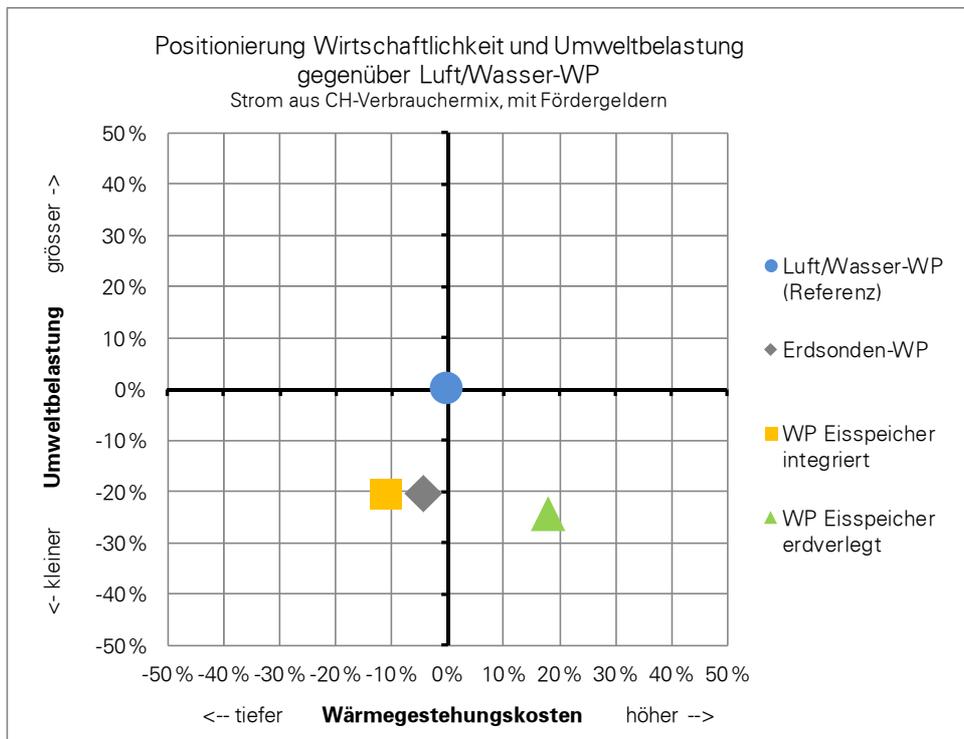


Abbildung 38: Positionierung der untersuchten Anlagentypen gegenüber der Luft/Wasser-WP für den Referenzfall EFH saniert, Strom CH Verbrauchermix, mit Annahme für Förderung von WP und Kollektoren

Grundsätzlich sind mit den Eisspeicher-WP also Anlagentypen auf dem Markt erhältlich, welche effizient und umweltfreundlich sind und eine echte Alternative zu Erdsonden-WP darstellen. Erdsondenbohrungen, Grundwasser- oder Oberflächenwassernutzung sind nicht überall möglich oder stossen in der Perspektive einer langfristigen Ablösung der fossilen Wärmerzeugung in urbanen Gebieten an Grenzen.

Die gezielte Förderung sollte im Fall eines öffentlichen Interesses an der deutlich höheren Effizienz und tieferen Umweltbelastung im Vergleich zur Luft/Wasser-WP in Betracht gezogen werden.

7. Literatur

- [1] Minder, S., Wagner, R., Mühlebach, M., Weisskopf T., "Eisspeicher-Wärmepumpen-Anlagen mit Sonnenkollektoren, Technologiestudie", EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, 2014
- [2] Hubacher, P., Bernal, C., "QS-WP/QP: Fortsetzung des Feldmonitorings von WP-Anlagen (2011-2014)", Bundesamt für Energie BFE, 2015
- [3] Sigrist, D., Kessler, S., "Harmonisiertes Fördermodell der Kantone (HFM 2015)", Schlussbericht, Bundesamt für Energie BFE, 21.08.2015
- [4] Kägi, T., Dinkel, F., "Ökobilanz Wärmeerzeugungssysteme", Carbotech AG, 15.05.2012
- [5] Philippen, D., Carbonell, D., Zenhäusern, D., Granzotto, M., Haller, M., Brunold, S., "High-Ice System development for high solar thermal gains with ice storage and heat pump", Final Report, SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik Rapperswil HSR, Bundesamt für Energie BFE, 05.08.2015
- [6] Frischknecht, R., Büsser Knöpfel, S., treeze Ltd., "Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit", Bundesamt für Umwelt BAFU, 2013
- [7] Bächtold, HG., et al., "Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2014", KBOB/ecobau/IPB-Empfehlung, 2014
- [8] Stucki, M., Jungbluth, N., "Update of the Life Cycle Inventories of Solar Collectors", Report, ESU-services Ltd, 17.12.2010
- [9] BAFU Bundesamt für Umwelt, "Übersicht über die wichtigsten Kältemittel", <http://www.bafu.admin.ch/chemikalien/01415/01426/index.html?lang=de>, 2015
- [10] Eschmann, M., "Statistische Auswertung und Analysen von Klein-Wärmepumpen", Bundesamt für Energie BFE, 18.04.2012
- [11] Zogg, M., "Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel in Wärmepumpen", Vortrag am SVK-Kolloquium, 03.11.1999

Anhang 1:

Kantonale Förderbeiträge Wärmepumpen und Solarthermie

Anhang 1

Kantonale Förderungen WP und Solarthermie

Stand November 2015

	Erdsonden WP			Luft/Wasser-WP			Solarthermie			Bedingungen
	WP als Ersatz	WP Neubau	Bedingungen	WP als Ersatz	WP Neubau	Bedingungen	Basisbeitrag	pro m2	max.	
Harmonisiertes Fördermodell	Minimalfördersatz: 2'400 + 180 Fr./kW	Fr. -	Ersatz von fossiler oder elektrischer Heizung	Minimalfördersatz: 1'600 + 60 Fr./kW	Fr. -	Ersatz von fossiler oder elektrischer Heizung	Minimalfördersatz: 1'200.- + 500 Fr./kW			
Aargau	Fr. 3'700.00	Fr. -	<=20kWth keine Förderung bei Ersatz Holzheizung oder bestehender Erdsonden-WP oder beim Einbau in MINERGIE-A- oder MINERGIE-P-Gebäuden, Gütesiegel FWS erforderlich, GEAKPlus nicht älter als 5 Jahre, Erfüllen von maximalen Heizleistungen pro EBF	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 2'500.00 Fr. 1'450.00 Fr. 2'500.00 Fr. 1'450.00	Fr. - Fr. 150.00 Fr. - Fr. 210.00		Flachkollektoren 3-7 m2 Flachkollektoren > 7m2 Röhrenkollektor 3-5m2 Röhrenkollektor >5m2 GEAKPlus nicht älter als 5 Jahre, bei Neubauten mindestens 20% des zulässigen Wärmebedarfs für Heizung Brauchwarmwasser aus erneuerbaren Energien. Wenn die Solaranlage zum Erfüllen dieser Regel zählt, werden keine Förderbeiträge gewährt.
Appenzell Ausserrhodon	Fr. 5'000.00	Fr. -	Ersatz von fossiler oder elektrischer Heizung Fr. 7'000.00 für MFH ab 3 Whg bis Ende 2015	Fr. 5'000.00	Fr. -	Ersatz von fossiler oder elektrischer Heizung Fr. 7'000.00 für MFH ab 3 Whg bis Ende 2015	Fr. 1'000.00	Fr. 100.00		Berechnungsfaktor 1,3 Vakuumröhrenkollektoren 1,0 Selektive, verglaste Kollektoren 0,8 Nicht selektive, verglaste Kollektoren
Appenzell Innerrhoden	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 1'500.00	Fr. 100.00	Fr. 5'000	Mind. 4 m2 (Vakuumkoll. ab 2.4 m2)
Basel-Land	Fr. 5'000.00 Fr. 4'000.00 Fr. 1'000.00	Fr. 5'000.00 Fr. 4'000.00 Fr. 1'000.00	<20kWth >20kWth, plus Fr50/kW zusätzliche Anbindung an BWW Internationales WP-Gütesiegel sowie die Leistungsgarantie von EnergieSchweiz erforderlich, Einhalten von maximalen Heizleistungen pro EBF	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 1'000.00 Fr. 1'000.00 Fr. 1'000.00 Fr. 1'000.00	Fr. 200.00 Fr. 250.00 Fr. 150.00 Fr. 200.00		Flachkollektor verglast für BWW Röhrenkollektor für BWW Flachkollektor verglast für BWW und Heizungsunterstützung Röhrenkollektor für BWW und Heizungsunterstützung Neubauten erhalten 75% des Förderbeitrages von bestehenden Gebäuden, sofern nicht gesetzl. gefordert
Basel-Stadt	Fr. 5'000.00	Fr. 5'000.00	<20kW, sonst Fr250/kW	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 2'500.00	Fr. 350.00	Fr. 6'000	flach, verglast
Bern	Fr. 2'500.00	Fr. -	ohne GEAK (inkl. geförderte Massnahme) Reduktion um Fr800 für Wohnbauten, Beheizung und BWW erfolgt zu 100% mit der WP	Fr. 2'500.00	Fr. -	nur bei Ersatz Elektroheizung ohne GEAK (inkl. geförderte Massnahme) Reduktion um Fr800 für Wohnbauten, Beheizung und BWW erfolgt zu 100% mit der WP	Fr. 2'300.00 Fr. 300.00	Fr. 200.00		Zertifizierte Kompaktsysteme < 10m2 >=10m2 ohne GEAK (inkl. geförderte Massnahme) Reduktion um Fr800 für Wohnbauten, ab Förderbeiträge von Fr100'000 individuelle Beurteilung
Fribourg	Fr. 6'000.00 Fr. 9'000.00	Fr. -	<400m2 >=400m2 Abdeckung von 100% des Wärmebedarfs, internationales WP-Gütesiegel erforderlich	Fr. 3'000.00 Fr. 9'000.00	Fr. -	<400m2 >=400m2 Abdeckung von 100% des Wärmebedarfs, internationales WP-Gütesiegel erforderlich	Fr. 2'000.00 Fr. 2'000.00	Fr. 200.00	Fr. 10'000	<8m2 >=8m2 mindestens 3m2, ohne Luftkollektoren oder Kollektoren zur Beheizung von Schwimmbädern und zur Heubelüftung
Genève	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 500.00 Fr. 1'000.00 Fr. 500.00	Fr. 100.00 Fr. 200.00 Fr. 100.00		für Vorwärmung BWW für Vorwärmung BWW und Heizungsunterstützung für bestehende Bauten für Vorwärmung BWW und Heizungsunterstützung für Neubauten Die Förderbeiträge werden noch mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert: unverglast 0.6, verglast 1, Vakuum 1.4. Die Dimensionierung erfolgt aufgrund der BFE-Empfehlungen. Systeme zur Vorwärmung von Wasser als WP-Wärmequelle werden nicht gefördert.

	Erdsonden WP			Luft/Wasser-WP			Solarthermie			Bedingungen
	WP als Ersatz	WP Neubau	Bedingungen	WP als Ersatz	WP Neubau	Bedingungen	Basisbeitrag	pro m2	max.	
Glarus	Fr. 4'000.00	Fr. -	nur bei Ersatz Elektroheizung	Fr. 4'000.00	Fr. -	nur bei Ersatz Elektroheizung	Fr. 2'000.00	Fr. 250.00	Fr. 10'000	Multiplikationsfaktoren gemäss Kollektortyp: Hybridkollektor 1.6 Vakuumkollektor 1.3 selektive, verglaste Kollektoren 1.0 Luftkollektoren 0.6
Graubünden	Fr. 6'250.00 25/m2 EBF	Fr. 6'250.00 25/m2 EBF	Gültig bis 31.12.2015 <250 m2 EBF >=250 m2 EBF internationales WP-Gütesiegel erforderlich, beim Ersatz einer bestehenden WP nur 80% des Förderbeitrags für Neuinstallationen	Fr. 4'000.00 16/m2 EBF	Fr. 4'000.00 16/m2 EBF	Gültig bis 31.12.2015 <250 m2 EBF >=250 m2 EBF internationales WP-Gütesiegel erforderlich, nur an Standorten mit Jahresmitteltemperatur > 7.3 °C, beim Ersatz einer bestehenden WP nur 80% des Förderbeitrages für Neuinstallationen	Fr. 800.00 Fr. 800.00	Fr. 200.00 Fr. 220.00		für Flachkollektoren verglast, selektiv für Röhrenkollektoren Minimal Fr2'800, maximal Fr50'000, bis 250m2 EBF 18 m2 Absorberfläche ohne Nachweis förderbar, ab 250m2 EBF 7% der EBF förderbar, bei Neubauten keine Förderung möglich
Jura	Fr. 6'000.00 Fr. 8'000.00	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen Wärmepumpen EFH als Ersatz fossiler Energieträger	Fr. 3'000.00	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen	Fr. 2'000.00	Fr. 200.00		für verglaste Flachkollektoren, Vakuumröhrenkollektoren min. 4 m2
Luzern	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 2'000.00 Fr. 4'000.00	Fr. 200.00 Fr. 250.00		für BWW für BWW und Heizungsunterstützung Förderung nur bei der Installation in bestehenden Bauten
Neuchâtel	Fr. 1'700.00 + Fr. 70.00 /kW	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen	Fr. 2'000.00	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen	Fr. 2'000.00 Fr. 2'000.00 Fr. 2'000.00	Fr. 200.00 Fr. 120.00 Fr. 280.00		Flachkollektoren verglast Flachkollektoren nicht verglast Röhrenkollektor 3-5m2
Nidwalden	Fr. 12'000.00	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen (Einzelspeicher) Ersatz von Zentralspeicher-Elektroheizungen Fr. 8'000	Fr. 3'000.00	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen (Einzelspeicher und Zentralspeicher)	Fr. 3'000.00	Fr. 140.00	Fr. 10'000	Sonnenkollektoranlagen für Warmwasser ab 3 m2 Absorberfläche. Ausgenommen sind: Luftkollektoranlagen, Anlagen zur Beheizung von Schwimmbädern, Aussenanwendungen
Obwalden	Fr. 4'000.00 Fr. 4'000.00 Fr. 10'000.00	Fr. - Fr. - Fr. -	Wärmepumpen als Ersatz fossiler Energieträger Erdreich: B0 / W50 COP > 2.8 Wärmepumpen als Ersatz von Elektro-Zentral- Speicher: Erdreich: B0 / W50 COP > 2.8 Wärmepumpen als Ersatz von Elektro- Einzelspeicher Erdreich: B0 / W50 COP > 2.8	Fr. - Fr. 5'000.00 Fr. 3'000.00	Fr. - Fr. - Fr. -	keine Förderung Wärmepumpen als Ersatz von Elektro-Zentral- Speicher: Luft: A7 / W50 COP > 2.4 Wärmepumpen als Ersatz von Elektro- Einzelspeicher: Luft: A7 / W50 COP > 2.4	Fr. 2'000.00	Fr. 140.00		3 – 7 m2 Kollektorfläche, ab 7 m2 Kollektorfläche: Fr. 2'000.- + Fr. 140/ m2 (pro
St.Gallen	Fr. 6'000.00 Fr. 4'000.00 + Fr. 80.00/kW		<=25 kW, nur beim Ersatz von Elektroheizungen >25 kW, nur beim Ersatz von Elektroheizungen, Maximum: 15'000 nur bei Ersatz Elektroheizung und falls Gebäude mindest GEAK-Kategorie D, Maximalbeitrag: Fr 15'000	Fr. 2'500.00 Fr. 1'500 + Fr. 40/kW	Fr. - Fr. -	<=25 kW >25 kW nur bei Ersatz Elektroheizung und falls Gebäude mindest GEAK-Kategorie C, Maximalbeitrag: Fr 7'500	Fr. 3'000.00 Fr. 3'000.00 Fr. 5'000.00 Fr. 5'000.00	Fr. - Fr. 150.00 Fr. - Fr. 150.00 Fr. 150.00		für EFH 3-10m2 für EHF >=10m2 für MFH (ab 3 Wohnungen) für MFH (ab 3 Wohnungen) für Kollektorenweiterung und -ersatz Förderung für BWW und/oder Heizungsunterstützung, bei Neubauten nur Förderung, falls Energieanforderungen auch ohne Kollektoren eingehalten werden,
Schaffhausen	Fr. -	Fr. -	Förderprogramm aufgrund begrenzter Mittel eingestellt	Fr. -	Fr. -	Förderprogramm aufgrund begrenzter Mittel eingestellt	Fr. -	Fr. -		Förderprogramm aufgrund begrenzter Mittel eingestellt
Schwyz	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. -	Fr. -		keine kantonale Förderung
Solothurn	Fr. 3'600.00	Fr. -	mind. 12 Jahre	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 1'000.00	Fr. 200.00		selektiv, verglast, keymark
Thurgau	Fr. 7'000.00 Fr. 12'000.00 Fr. 12'000.00	Fr. -	<=20 kW für EFH <=20 kW für MFH (ab 3 Wohnungen) <=20 kW für Nichtwohnbauten Ab 20 kW zusätzlich Fr250/kW zusätzliche Heizleistung, beim Ersatz einer bestehenden Holzheizung oder WP nur 50% des berechneten Beitrages, internationales WP- Gütesiegel, Beitragsmaximum 25% der Gesamtkosten und <200'000	Fr. 3'500.00 Fr. 6'000.00 Fr. 6'000.00	Fr. - Fr. - Fr. -	Ab 20 kW zusätzlich Fr125/kW zusätzliche Heizleistung, beim Ersatz einer bestehenden Holzheizung oder WP nur 50% des berechneten Beitrages, COP mindestens 3.6, internationales WP-Gütesiegel, Beitragsmaximum 25% der Gesamtkosten und <200'000	Fr. 1'000.00 Fr. 1'000.00	Fr. 300.00 Fr. 300.00		für verglaste Flachkollektoren für Vakuumröhrenkollektoren 1.3mal mehr, maximal 50'000 Förderung von Anlagen in bestehenden Gebäuden oder MINERGIE-Neubauten maximal 25% der Gesamtkosten

	Erdsonden WP			Luft/Wasser-WP			Solarthermie			Bedingungen
	WP als Ersatz	WP Neubau	Bedingungen	WP als Ersatz	WP Neubau	Bedingungen	Basisbeitrag	pro m2	max.	
Ticino	Fr. 4'000.00	Fr. -	Gültig bis 31.12.2015	Fr. 4'000.00		Gültig bis 31.12.2015	Fr. 2'500.00	Fr. 250.00		3 m2 bis 7 m2 Absorberfläche selektiv, verglast selektiv, nicht verglast, spf/keymark
Uri	Fr. 15'000.00 Fr. 6'000.00	Fr. -	Ersatz von Elektroheizungen (Einzelspeicher) Ersatz von Zentralspeicher-Elektroheizungen Fr. 8'000	Fr. 7'500.00 Fr. 2'000.00		Ersatz von Elektroheizungen (Einzelspeicher) Ersatz von Zentralspeicher-Elektroheizungen Fr. 8'000	Fr. 4'000.00 Fr. 1'900.00	Fr. 300.00		3 m2 bis 7 m2 Absorberfläche ab 7 m2 Absorberfläche
Vaud	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung		Fr. 225.00 Fr. 180.00 Fr. 100.00		Vakuurröhren, spf/keymark selektiv, verglast, spf/keymark selektiv, nicht verglast, spf/keymark
Valais	Fr. 6'000.00 (Fr. 6'000 *JAZ)/2.3	Fr. -	pauschal, falls keine JAZ-Berechnung bei JAZ-Berechnung nur bei Ersatz Elektroheizung	Fr. 6'000.00 (Fr. 6'000*JAZ)/2.3	Fr. - Fr. -	pauschal, falls keine JAZ-Berechnung bei JAZ-Berechnung nur bei Ersatz Elektroheizung	Fr. 1'500.00 Fr. 2'400.00 Fr. 1'600.00 Fr. 1'200.00 Fr. 800.00 Fr. 800.00	Fr. 600.00 Fr. 320.00 Fr. 240.00 Fr. 300.00 Fr. 160.00 Fr. 120.00		für EFH für MFH Wohngebäude (mind. 5 Wohnungen und EBF>/=500m2) und Röhrenkollektoren für MFH Wohngebäude (mind. 5 Wohnungen und EBF>/=500m2) und verglaste Flachkollektoren für MFH Wohngebäude (mind. 5 Wohnungen und EBF>/=500m2) und nicht-verglaste selektive Flachkollektoren für MFH andere Gebäude und Röhrenkollektoren für MFH andere Gebäude und verglaste Flachkollektoren für MFH andere Gebäude und nicht-verglaste selektive Flachkollektoren Als zusätzliche Förderbedingung gelten Anforderungen an den Gebäudestandard der EFH und MFH. Förderbeiträge an Anlagen auf Sportanlagen oder Industriebauten werden fallweise geprüft.
Zug	20% der Kosten	Fr. -	Gebäude ist mindestens 10jährig, wärmetechn. Anforderungen an Gebäudehülle	20% der Kosten	Fr. -	Gebäude ist mindestens 10 jährig, wärmetechn. Anforderungen an Gebäudehülle	20% der Kosten		Fr. 80'000	Gebäude ist mindestens 10 jährig
Zürich	Fr. 2'000.00 + Fr. 80 /kW x COP	Fr. -		Fr. -	Fr. -	keine kantonale Förderung	Fr. 1'200.00 Fr. 1'200.00	Fr. 150.00 Fr. 120.00		bei EBF </=100m2 bei EBF >100m2