



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 22.04.2022

SolThermGo

Analysen und Chancen der Solarthermie im Kontext der Gebäudestandards Minergie und MuKEn





Datum: 22.04.2022

Ort: Rapperswil

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

SPF Institut für Solartechnik
OST – Ostschweizer Fachhochschule
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
www.spf.ch

Minergie Schweiz
Bäumleingasse 22, CH-4051 Basel
www.minergie.ch

Sustech AG
Brunnenstrasse 1, CH-8610 Uster
www.sustech.ch

Autor/in:

Igor Bosshard-Mojic, SPF, igor.bosshard@ost.ch
Florian Ruesch, SPF, florian.ruesch@ost.ch
Marco Caflisch, SPF, marco.caflisch@ost.ch
Michel Haller, SPF, michel.haller@ost.ch
Robert Minovsky, Minergie, robert.minovsky@minergie.ch
Angela Husi, Minergie, angela.husi@minergie.ch
Enrique Adelantado, Sustech, adelantado@sustech.ch

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Stephan A. Mathez, stephan.a.mathez@solarcampus.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501947-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Minergie und die kantonalen Mustervorschriften im Energiebereich (MuKE) legen Rahmenbedingungen fest, die einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Heizungssysteme haben können. Ob diese auch einen positiven Einfluss auf die Solarthermie haben, wurde in diesem Projekt untersucht. Die Zubaurate von Solarthermie hat trotz Minergie und MuKE seit 2012 um 78% abgenommen. Die Auswertung der umfangreichen Datensätze der Vereine GEAK und Minergie sowie des Kantons Basel-Landschaft zeigt, dass die Minergie-Vorschriften und die Einführung der MuKE 2014 keinen positiven Effekt auf die Marktsituation der Solarthermie hatte. Eine Umfrage bei über 600 Fachleuten zeigt, dass die Solarthermie als zu teuer und kompliziert betrachtet wird. Die Resultate dieser Studie zeigen jedoch, dass die Solarthermie sehr wohl wirtschaftlich sein kann und auch ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweist. Die Autoren der Studie sehen das grösste Potenzial der Solarthermie in der Kombination mit Erdsonden-Wärmepumpen, Holzheizungen und Fernwärme, was durch die Umfrage und Experten-Gespräche bestätigt wird. Eine saisonale Gewichtung der (elektrischen) Endenergie und eine höhere Wertschätzung des Beitrags der Solarthermie in Holzenergieanlagen erscheint aus Sicht der Energiewende und der damit verbundenen Knappheit an erneuerbarer Winter-Energie gerechtfertigt, und wäre eine Chance für die Solarthermie. Es wurde eine Auslegungshilfe für die solarthermische Regeneration von Erdwärmesonden (EWS) für Kleinanlagen entwickelt, womit auf einfache Weise eine Verbesserung der JAZ und eine Verkürzung der EWS in Anlehnung der SIA-Norm 384/6 erzielt werden kann.

Résumé

Minergie et le modèle de prescriptions énergétique des cantons (MoPEC) constituent un cadre qui peut considérablement influencer le choix du système de chauffage. L'influence (positive ou négative) de ces mesures sur le solaire thermique a été étudiée en détail au cours de ce projet. Le taux d'expansion du solaire thermique a diminué de 78 % depuis 2012, ce qui correspond à une décroissance drastique. Aucun effet positif sur l'état du marché du solaire thermique engendré par l'application des exigences Minergie et de l'introduction du MoPEC 2014 n'a été constaté lors de l'exploitation des bases de donnée exhaustives du canton Bâle-Campagne et des associations CECB et Minergie. Selon un sondage auprès de 602 professionnels, le solaire thermique est considéré comme trop cher et compliqué et ce faisant offrirait peu de potentiel dans le domaine résidentiel. La présente étude réfute le fait que le solaire thermique soit de manière générale non rentable ainsi qu'il présente un mauvais ratio coûts-bénéfices. Selon ses auteurs, le principal potentiel du solaire thermique réside dans la combinaison avec les réseaux de chaleur ainsi qu'avec les pompes à chaleur comportant une sonde géothermique. Ce propos est confirmé par le sondage ainsi que par des entretiens avec des experts. En raison de l'électrification du secteur du chauffage, une pondération saisonnière de l'énergie finale est conseillée. Une aide de dimensionnement pour la régénération de sondes géothermiques de petites installation grâce au solaire thermique a été développée, permettant d'atteindre de manière simple une augmentation du coefficient de performance annuel ainsi que de réduire la longueur des sondes géothermiques quantifiée sur le modèle de la norme SIA 384/6.



Summary

Minergie and the «Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich» (MuKE n) define framework conditions that can have a significant influence on the choice of heating systems. Whether these also have a positive influence on solar thermal energy was investigated in this project. The installation rate of solar thermal collectors has decreased by 78% since 2012, despite Minergie and MuKE n. The evaluation of the extensive data sets of the GEAK and Minergie associations and of the Canton BL shows that the Minergie regulations and the introduction of the MuKE n 2014 have had no positive effect on the market situation for solar thermal energy. A survey of over 600 professionals shows that solar thermal is considered too expensive and complicated. However, the results of this study show that solar thermal energy can very well be economical and also has a good cost-benefit ratio. The authors of the study see the greatest potential of solar heating in combination with ground-source heat pumps, wood heating and district heating, which is confirmed by the survey and expert discussions. A seasonal weighting of the (electrical) final energy and a higher appreciation of the contribution of solar heat in wood energy systems seems justified from the perspective of the energy transition and the associated scarcity of renewable winter energy, and would be an opportunity for solar thermal. A design aid for the solar thermal regeneration of borehole heat exchangers (BHE) for small systems has been developed, with which an improvement of the energy performance factor and a shortening of the BHE can be quantified in a simple way in accordance with the standard SIA 384/6.



Take-home messages

- Die aktuellen Rahmenbedingungen von Minergie und MuKE n haben keinen positiven Effekt auf die Solarthermie.
- Auf längere Sicht wird das grösste Potenzial der Solarthermie in Kombination mit Erdwärmesonden (Regeneration), Fernwärme und Holzheizungen gesehen. Dies sollte bei der Förderung der Solarthermie berücksichtigt werden.
- Da das Potenzial von einheimischem Energieholz begrenzt ist und vollständig ausgeschöpft werden wird, kann Holz, welches durch Solarthermie eingespart wird, im Winter für den Ersatz fossiler Energieträger eingesetzt werden. Dadurch ersetzt Solarwärme in Holzenergieanlagen indirekt fossile Energieträger, was entsprechend honoriert werden sollte.
- Das Fehlen einer saisonalen Gewichtung des Nutzens elektrischer Energieerzeugung benachteiligt Systeme und Konzepte, die einen tiefen Bedarf an elektrischer Energie in den kältesten Tagen und Wochen des Jahres aufweisen. Dies sollte überdacht werden.
- Für die solarthermische Regeneration von bis zu vier Erdwärmesonden wurde ein Verfahren entwickelt, mit welchem der Einfluss auf die JAZ und die Möglichkeit einer Verkürzung der Sonden quantifiziert werden kann. Dieses Verfahren kann mit wenig Aufwand in die Berechnungen von Minergie oder GEAK integriert werden.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Ausgangslage und Hintergrund	10
1.2	Motivation des Projektes.....	10
1.3	Projektziele	11
2	Vorgehen und Methode	11
2.1	Datenauswertung.....	12
2.2	Simulationen	16
2.3	Kostenanalyse	22
2.4	Kennzahlen.....	24
3	Ergebnisse und Diskussion.....	26
3.1	Solarthermie im Kontext der kantonalen Gesetze und Fördermassnahmen...26	
3.2	Solarthermie im Kontext der Marktentwicklung.....	34
3.3	Auswertung der Datenbanken	36
3.4	Umfrage	53
3.5	Interviews.....	69
3.6	Solarthermie im Kontext der MuKE Standardlösungen.....	75
3.7	Erdsondenregeneration mittels PVT	93
4	Schlussfolgerungen	107
4.1	Beobachtete Entwicklungen und Erklärungsansätze	107
4.2	Potenzial der Solarthermie.....	108
4.3	Empfehlungen.....	110
5	Ausblick und zukünftige Umsetzung	114
6	Literaturverzeichnis.....	115



Abkürzungsverzeichnis

BWW	Brauchwarmwasser
COP	Coefficient of performance
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
EWS	Erdwärmesonde
GEAK	Gebäudeenergieausweis der Kantone
GEKZ	Gewichtete Energiekennzahl
HFM	Harmonisiertes Fördermodell der Kantone
JAZ	Jahresarbeitszahl
KWL	Komfortwohnungs Lüftung
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE n	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
WP	Wärmepumpe



Executive Summary

Minergie und die kantonalen Mustervorschriften im Energiebereich (MuKE) legen Rahmenbedingungen fest, die einen wesentlichen Einfluss auf die Wahl der Heizungssysteme haben können. Ob diese auch einen positiven Einfluss auf die Solarthermie haben, wurde in diesem Projekt umfassend untersucht.

Solarthermie Markt

Die Zubaurate von Solarthermie hat trotz Minergie und MuKE seit 2012 um 78% abgenommen, was einer jährlichen Abnahme von 17% entspricht. Die Hoffnung, dass Minergie-Vorschriften, GEAK und die Einführung der MuKE 2014 zu einer Verbesserung der Marktsituation führen würde, hat sich nicht erfüllt. Für die Solarthermie gibt es kaum belastbare Daten zur Kostenentwicklung der letzten Jahre. Im Gegensatz dazu gibt es für die Photovoltaik (PV) ausreichend Daten, welche die Preisreduktion über die letzten Jahre veranschaulichen. Aktuell geht man davon aus, dass für die Solarthermie-Systeme ein Potenzial zur Reduktion der Investitionskosten von etwa 20% und bei den Wärmegestehungskosten von etwa 30-40% vorhanden ist. Eine Voraussetzung dafür ist jedoch ein gesunder Markt und Unternehmen, welche in die Entwicklung und Produktion verbesserter Konzepte investieren.

Auswertung von Datenbanken

Der Einfluss von Labels, Förderbedingungen und Gesetzen auf die Entwicklung der Solarthermie wurde anhand von Datensätzen untersucht, welche durch die beiden Vereine Minergie (Anträge zur Minergie-Zertifizierung) und GEAK sowie dem Kanton Basel-Landschaft zur Verfügung gestellt wurden.

Die Auswertung der umfangreichen Datensätze zeigt, dass die Minergie-Vorschriften und die Einführung der MuKE 2014 keinen positiven Effekt auf die Marktsituation der Solarthermie hatte. Es muss davon ausgegangen werden, dass vor allem die Flächenkonkurrenz zwischen PV und der Solarthermie, und die Bevorzugung der PV in Kombination mit Wärmepumpen, die Hauptgründe sind. Dazu kommt der starke Rückgang fossiler Heizungen im Neubau, die früher oft mit Solarthermie kombiniert wurden. Im Bereich der Sanierung zeigt sich, dass die GEAK-Experten vermehrt Wärmepumpenboiler empfehlen, welche eine direkte Konkurrenz zur Solarthermie darstellen.

Umfragen und Interviews

Eine Umfrage bei über 600 Fachleuten zeigt, dass die Solarthermie häufig als zu teuer und zu kompliziert betrachtet wird. Einige Fachleute geben an, die PV gegenüber der Solarthermie zu bevorzugen, da beispielsweise die Kombination mit Wärmepumpen eine gute Systemlösung darstellt. Gleichzeitig ist aber das Wissen in der Baubranche zur Solarthermie immer noch gering und sollte verbessert werden. Das Vorurteil, dass die Solarthermie generell zu teuer ist, wird mit den Resultaten dieser Studie zum Teil widerlegt. Die Solarthermie kann sehr wohl wirtschaftlich sein und auch ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen.

Entsprechend sehen auch viele Fachpersonen nach wie vor ein grosses Potential bei der Solarthermie. Ein sehr grosses, noch weitgehend unerschlossenes Potenzial wird im Bereich von grossen Wärmenetzen und in Industrieprozessen gesehen.



Kostenanalyse von MuKE Standardlösungen

In einer umfangreichen Analyse zum Kosten-Nutzen-Verhältnis der Solarthermie wurden unterschiedliche MuKE Standardlösungen für ein Mehrfamilienhaus miteinander verglichen. Dabei zeigt die Analyse, dass die Solarthermie sehr wohl wirtschaftlich und konkurrenzfähig sein kann gegenüber anderen Massnahmen zur Reduktion der gewichteten Energiekennzahl (GEKZ). Ein weiteres erfreuliches Ergebnis ist, dass sich die höheren Initialinvestitionen für energetisch bessere Lösungsvarianten auszahlen. Die Wahl für ein Heizsystem nur aufgrund der Investitionen und der Einhaltung der Grenzwerte zu treffen, führt nicht zur wirtschaftlich besten Lösung. Damit solche Lösungen in Mehrfamilienhäusern häufiger gewählt werden, müssten jedoch die gesetzlichen Rahmenbedingungen so angepasst werden, so dass sich für die Bauherrschaft, welche die Wohnungen vermieten möchte, auch ein Vorteil ergibt.

Nach Ansicht der Studienautoren ist es wichtig, in Zukunft auch zwischen dem Endenergiebedarf im Winter und der restlichen Zeit zu unterscheiden. Durch die Elektrifizierung verschiedener Bereiche (Wärme, Mobilität etc.) steigt der Druck auf die erneuerbare Elektrizitätsbereitstellung im Winter. Aus diesem Grund sollten Lösungsvarianten, die im Winter wenig Endenergie benötigen, vermehrt gefördert werden.

Solarthermie Potenzial

Die Autoren der Studie sehen das grösste Potenzial der Solarthermie in der Kombination mit Erdsonden-Wärmepumpen, Holzheizungen und Fernwärme, was durch die Umfrage und Experten-Gespräche bestätigt wird. Eine saisonale Gewichtung der (elektrischen) Endenergie und eine höhere Wertschätzung des Beitrags der Solarthermie in Holzenergieanlagen erscheint aus Sicht der Energiewende und der damit verbundenen Knappheit an erneuerbarer Winter-Energie gerechtfertigt, und wäre eine Chance für die Solarthermie.

Mit der Revision der SIA 384/6 im Frühjahr 2021 wird die nachbarschaftliche Auskühlung bei der Auslegung von EWS berücksichtigt. Bei Grundstücken mit hoher Ausnützungsziffer (grosser Grundstücksspezifischer Entzug) wird eine Regeneration gefordert. Dadurch wird der Bedarf an Regenerationsmöglichkeiten voraussichtlich zunehmen. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Auslegungshilfe für die solarthermische Regeneration von Erdwärmesonden (EWS) für Kleinanlagen entwickelt, womit auf einfache Weise eine Verbesserung der JAZ und eventuell eine Verkürzung der EWS in Anlehnung an die SIA-Norm 384/6 ermittelt werden kann.



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Der Markt im Bereich der Solarthermie ist seit mehreren Jahren rückläufig. Um jedoch die Ziele der Energiestrategie 2050 des Bundes zu erreichen, bedarf es unterschiedlicher Technologien. Der Wärmesektor ist für etwa 50% des Endenergieverbrauchs verantwortlich, der Verkehr für etwa 30% und die restlichen 20% betreffen den direkten Strombedarf. Trotzdem wird Wärme im Vergleich zum Stromsektor wenig thematisiert. Die Solarthermie kann einen wichtigen Beitrag zur Erfüllung dieser Ziele beitragen und nebenbei auch die heimische Industrie stärken, da diese nach wie vor in der Schweiz gut vertreten ist und auch in der Schweiz Kollektoren produziert. In der kürzlich publizierten Studie SolTherm2050 [1] resultiert, basierend auf Modellrechnungen, ein volkswirtschaftlicher optimaler Beitrag von 5-10 TWh der Solarthermie zur Deckung des Wärmebedarfs der Schweiz. Ohne Solarthermie wäre die Energieversorgung um ca. 200-400 Mio. CHF jährlich teurer. Um auf dieses Niveau zu kommen wäre bis 2050 eine jährliche Steigerung des Marktvolumens von 25% erforderlich. Betrachtet man andere aktuelle Studien, die sich mit der Energiewende in der Schweiz befassen [2-4], so kann festgestellt werden, dass in keiner Studie die Solarthermie explizit separat ausgewiesen wird. Der Fokus liegt in diesen Studien überwiegend beim Strombedarf, und dies obwohl 50% der Energiewende im Wärmesektor erfolgen muss. In diesen Zukunftsszenarien wird die Wärmeerzeugung für die Gebäude vorwiegend über Wärmepumpen bewerkstelligt. Damit wird deutlich, dass der Solarthermie deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte.

Das BFE hat im Sommer 2019 im Rahmen einer Ausschreibung sechs Projekte im Forschungsprogramm «Solarthermie und Wärmespeicherung» bewilligt, wobei SolThermGo eines dieser Projekte ist. Im Schwerpunkt #3 der Ausschreibung wurde explizit nach einem Projekt gefragt, welches die Solarthermie im Kontext der kantonalen Vorschriften und Gebäudelabels wie Minergie untersucht.

1.2 Motivation des Projektes

Die Rahmenbedingungen von kantonalen Vorschriften oder Labels wie Minergie können dazu führen, dass mehr Sonnenkollektoren installiert werden oder auch nicht. Die «Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich» (MuKE 2014), welche die Basis für den Minergie-Standard ab 2017 dienen, weisen ambitionierte Grenzwerte bezüglich des gewichteten Energiebedarfs auf. Dabei kann Wärme, welche eventuell über Photovoltaikstrom produziert wird, nicht angerechnet werden (keine Berücksichtigung von Eigenverbrauch). Aus diesem Grund wurde vermutet, dass die neuen Standardlösungen der MuKE eine Chance für die Solarthermie darstellen könnten. Bei Projektbeginn (2019) hatten schon einige Kantone die MuKE 2014 eingeführt, weshalb mittels einer Studie untersucht werden sollte, ob dies tatsächlich zu einer grösseren Verbreitung von Solarthermieanlagen geführt hat.

Zudem können neben rein wirtschaftlichen Aspekten möglicherweise auch die bestehenden Berechnungstools der Kantone und von Minergie eine Hürde für die Solarthermie darstellen. Es gibt aktuell kaum eine Hilfestellung zur Ermittlung des Einflusses unterschiedlich dimensionierter Solarthermieanlagen auf das Erreichen der Grenzwerte. In den verfügbaren



Tools fehlen zudem einfache Abschätzungen zum Nutzen neuerer Anlagenkonzepte wie PVT-Kollektoren, Eisspeicher, oder die Regeneration von Erdsonden. Dabei kann auch hier die Solarthermie einen Beitrag leisten um eine grössere (Erdsonden)-Anlage überhaupt erst möglich zu machen oder um die Jahresarbeitszahl (JAZ) von Wärmepumpen zu erhöhen. Seit Frühjahr 2021 wird in der SIA 384/6 (Auslegung Erdwärmesonden) die nachbarschaftliche Beeinflussung und die Regeneration von Erdwärmesonden (EWS) genauer behandelt. So werden ab einer grundstücksspezifischen Entzugsenergie von 8 kWh/m² Massnahmen gegen die Langzeitauskühlung und ab ca. 34 kWh/m² eine Regeneration der EWS explizit gefordert. Die SIA 384/6 bietet vereinfachte Auslegungshilfen für kleinere EWS-Anlagen bis zu vier Sonden. Einfache Tools oder Auslegungshilfen zur geforderten Regeneration solch kleiner Anlagen und deren Einfluss auf die Dimensionierung der EWS fehlen aber.

1.3 Projektziele

Mit dem Projekt SolThermGo werden folgende Hauptziele angestrebt:

- Ermittlung des Einflusses von MuKE n und Minergie-Standard auf die Entwicklung der Solarthermie (Markt etc.).
- Ermittlung der Gründe, wieso eine Solarthermieanlage realisiert wird oder eben nicht. Durchführung von Umfragen und Interviews bei unterschiedlichen Anwendungsgruppen aus der Praxis (z.B.: Architekten, Ingenieure etc.).
- Untersuchung der MuKE n (2014) Standardlösungen in Kombination mit Solarthermie. Ermittlung der ökonomischen und energetischen Vor- und Nachteile der Solarthermie gegenüber anderen Lösungen.
- Grundlagen schaffen für die Anwendung von neuen Solaranwendungen wie PVT, Erdsondenregeneration und Eisspeicher im Rahmen von behördlichen Nachweisen (WPesti, EN101b, Minergie etc.).

2 Vorgehen und Methode

Das Projekt wurde in vier Hauptphasen unterteilt, welche nachfolgend kurz beschrieben sind:

Phase 1: Auswertung von bestehenden Daten

Mittels umfangreicher Daten (Minergie, GEAK, Kanton BL) wird analysiert, inwiefern die Einführung der MuKE n 2014 und des Minergie-Standards (2017) die Verbreitung der Solarthermieanlagen beeinflusst. Weiter wird die aktuelle Marktsituation untersucht und in den Kontext der kantonalen Förderung und Vorschriften gestellt.

Phase 2: Erhebung von neuen Daten mittels Befragungen

In dieser Phase sollen die Bedürfnisse und Beweggründe der Praxis analysiert werden, um daraus abzuleiten, welche Massnahmen zu einer besseren Akzeptanz und Verbreitung der Solarthermie führen könnten. Mittels Umfragen und Interviews sollen alle Akteure befragt werden, welche bei der Wahl des Wärmeerzeugungssystems eine Rolle spielen.



Phase 3: Energetische und wirtschaftliche Analyse von Standardkonzepten

Mittels Simulationen sollen unterschiedliche Heizungssysteme mit und ohne Solarthermie miteinander verglichen werden. Neben der energetischen Bewertung der Systeme wird auch die Wirtschaftlichkeit mitberücksichtigt.

Phase 4: Erarbeitung von Berechnungsgrundlagen

Für neue Technologien und Konzepte, die sich am Markt etablieren, sollen die Berechnungsgrundlagen erarbeitet werden, damit diese in den Nachweistools verwendet werden können. Dabei geht es konkret um nachfolgende Systeme: PVT-Kollektoren, Eisspeicher und Erdsonden-Regeneration.

2.1 Datenauswertung

Der Einfluss von Labels, Förderbedingungen und Gesetzen (z.B. MuKE) auf die Entwicklung der Solarthermie wurde anhand von vier Datensätzen untersucht. Nachfolgend sind die wichtigsten Hintergrundinformationen zu den Datensätzen beschrieben.

2.1.1 Kantonale Daten

Die Auswertung der Daten zu Fördermassnahmen und gesetzlichen Rahmenbedingungen mit den entsprechenden Resultaten im Kapitel 3.1 basieren vorwiegend auf den Jahresberichten der Kantone zum "*Stand der Energie- und Klimapolitik in den Kantonen*". Diese Berichte können auf der BFE-Webseite¹ heruntergeladen werden.

Die Angaben stammen von den Kantonen und sind im Informationsgehalt sehr unterschiedlich. Zum Beispiel unterscheiden gewisse Kantone klar zwischen Solarthermie und Photovoltaik, andere wiederum geben nur das Stichwort Solar an ohne weitere Spezifizierung. Weiter fördern gewisse Kantone die Solarthermie nur bei einem Heizungersatz oder einer Sanierung und nicht für Neubauten, jedoch konnte diese Unterscheidung in den nachfolgenden Auswertungen nicht berücksichtigt werden. Alle Kantone, die Angabe zu "Solar" machen, werden als Förderkanton bezeichnet.

Die Zubauraten von Neubauten mit Wohnnutzung pro Kanton basieren auf den Daten des Bundesamtes für Statistik (BFS) im Bericht "*Jährliche Bau- und Wohnbaustatistik*". Aufgrund von Nachmeldungen, Aktualisierungen etc. durch die Datenlieferanten ist die Datenqualität für das Jahr 2018 mit Vorsicht zu geniessen, da es sich um eine erste Schätzung handelt. Da bei Projektbeginn für das Jahr 2019 noch gar keine Daten vorhanden waren, wurden die Daten des Jahres 2018 verwendet. In den statistischen Daten sind auch Gebäude mit teilweiser Wohnnutzung enthalten. Der Anteil ist mit 5% jedoch gering, weshalb kein grosser Einfluss auf die Ergebnisse zu erwarten ist.

Die Informationen zu den ausbezahlten Förderbeiträgen stammen aus den Jahresberichten des Gebäudeprogramms, welches vom Bund und den Kantonen 2010 eingeführt wurde. Die Statistiken und Berichte können auf der Homepage des Gebäudeprogramms² heruntergeladen werden. Dabei ist zu beachten, dass sich die Darstellung und die Erfassung der Daten ab 2017 verändert haben.

¹ <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/suche?keywords=405>

² <https://www.dasgebaeudeprogramm.ch/de/publikationen-und-fotos/berichte-und-statistiken/>



2.1.2 Minergie

Der Verein Minergie stellte für die Analyse des Einsatzes von Solarthermie ihre schweizweit gesammelten Daten aus den Anträgen zur Minergie-Zertifizierung zur Verfügung. Aus diesem Datenpool wurden für das Projekt ausschliesslich Ein- und Mehrfamilienhausanträge über den Zertifizierungszeitraum von 1998 bis 2019 ausgewertet (siehe Abbildung 1). Dabei stammt der Hauptteil, resp. 92% der Zertifizierungsanträge, aus dem Zeitraum 2005 bis 2019.

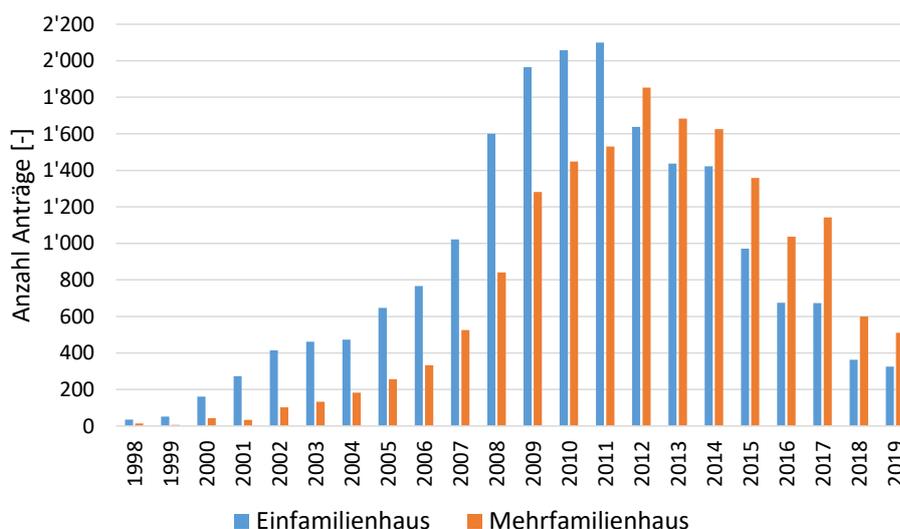


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der untersuchten Minergie-Anträge für Ein- und Mehrfamilienhäuser unterteilt nach Antragsjahr.

Insgesamt handelt es sich um 19'910 Einfamilienhausanträge und 16'834 Mehrfamilienhausanträge, die für das Projekt auf den Einsatz von Solarthermie untersucht wurden. Diese Anträge basieren fast ausschliesslich auf Neubauten (EFH 93%, MFH 95%) und nicht auf Sanierungsobjekten.

In den von Minergie zur Verfügung gestellten Daten wurde für die Analyse der eingesetzten Wärmeerzeuger eine Gruppierung gemäss Tabelle 9 in Annex A erstellt, um in den Diagrammen eine Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Die vorgenommene Gruppierung dient hauptsächlich der Zusammenfassung der unterschiedlichen Wärmepumpentypen resp. der Energiequellen für die Wärmepumpe. Bei der spezifischen Untersuchung unterschiedlicher Wärmepumpentypen wurde die Untergruppierung gemäss Tabelle 10 in Annex A angewendet.

2.1.3 GEAK

Neben den mehrheitlich aus Neubauanträgen bestehenden Minergie-Daten wurden parallel vom Verein GEAK die Gebäudebestandsdaten sowie die unterbreiteten Optimierungsvarianten aus GEAK-Nachweisen untersucht. Für die Analyse wurden ausschliesslich Ein- und Mehrfamilienhäuser aus den GEAK-Publikationsjahren 2012 bis 2019 ausgewertet. Dabei wurden 87% der ausgewerteten Nachweise im Zeitraum 2017 bis 2019 publiziert (siehe Abbildung 2). In die Auswertung flossen die Nachweise von insgesamt 28'863 Einfamilienhäuser und 20'658 Mehrfamilienhäuser. Die regionale Verteilung der bis 2019 durchgeführten GEAK-Nachweise ist in Abbildung 3 dargestellt.

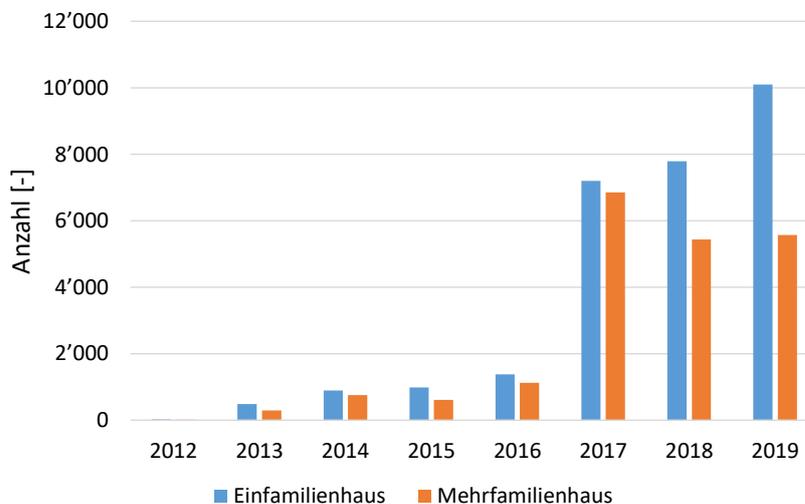


Abbildung 2: Aufteilung der ausgewerteten GEAK-Nachweise nach Antragsjahr für Ein- und Mehrfamilienhäuser.

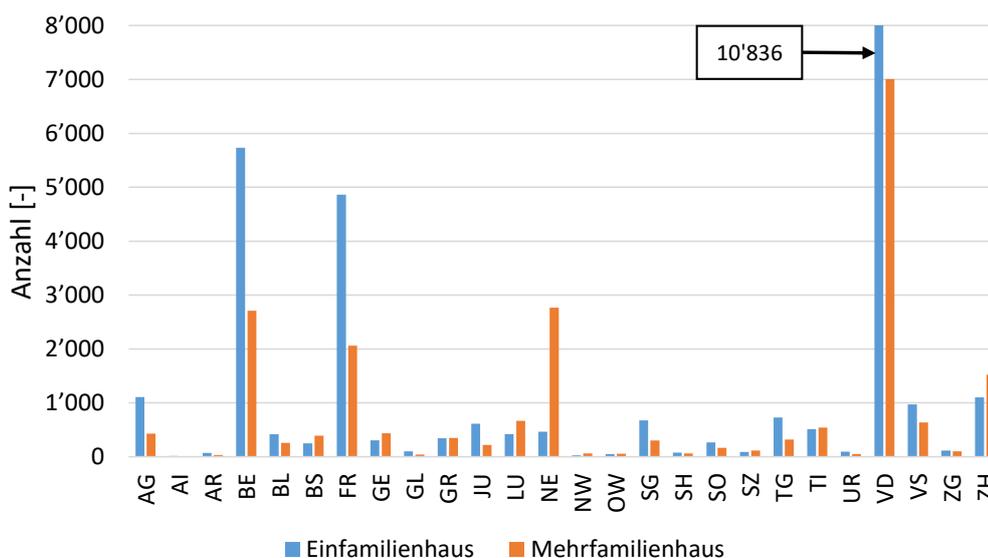


Abbildung 3: Aufteilung der ausgewerteten GEAK-Nachweise nach Kanton für Ein- und Mehrfamilienhäuser.

Mit 61% vereint die französischsprachige Region der Schweiz den Hauptteil der durchgeführten GEAK-Nachweise, wobei alleine im Kanton Waadt 35% aller Nachweise für Ein- und Mehrfamilienhäuser durchgeführt wurden. Die Zeitspanne des Erstellungsjahrs der untersuchten Gebäude ist sehr gross wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Die meisten untersuchten Gebäude sind vor 1900 oder zwischen 1951 und 1991 erstellt worden. Neben den Bestandsaufnahmen konnten aus dem Zeitraum 2012 bis 2019 40'348 Optimierungsvarianten³ für Einfamilienhäuser und 32'224 Optimierungsvarianten für Mehrfamilienhäuser ausgewertet werden.

³ Eine Optimierungsvariante entspricht einer von vier möglichen Massnahmen die ein GEAK-Experte dem Gebäudebesitzer empfehlen kann.

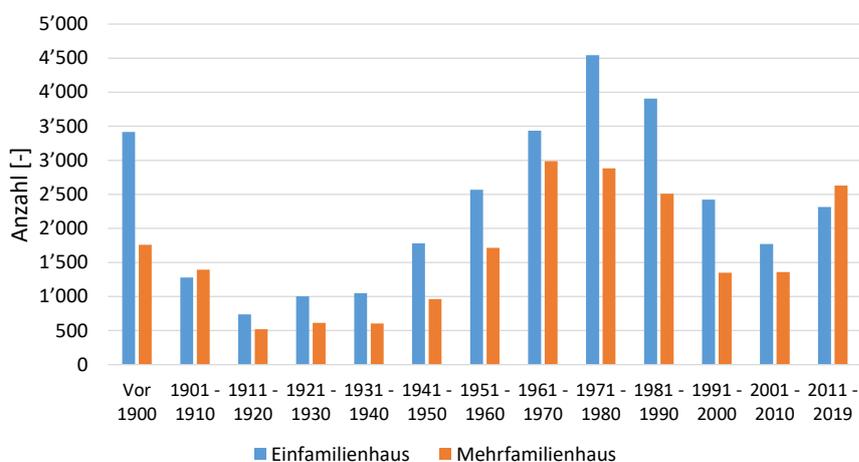


Abbildung 4: Unterteilung der GEAK-Nachweise nach Gebäudebaujahr für Ein- und Mehrfamilienhäuser

Wie in der Untersuchung der Minergie-Daten, wurde auch für die Analyse der GEAK-Daten zur Übersichtlichkeit der Diagramme eine Gruppierung der eingesetzten Wärmeerzeuger gemäss Tabelle 11 in Annex A vorgenommen.

2.1.4 Kanton Basel-Landschaft

Als einer der wenigen Kantone erfasst Basel-Landschaft seit 2010 alle im Kanton bewilligten Neu- und Umbauten. In der Datenbank werden die wichtigsten Gebäudeparameter (EBF, Heizwärmebedarf, U-Werte) und Informationen zum Heizungssystem erfasst. Dabei ist speziell zu erwähnen, dass der Kanton seit 2017 für Objekte mit hohem Brauchwarmwasserbedarf (z.B. Wohnbauten, Restaurants, Spitäler etc.) eine Deckung von mind. 50% mittels erneuerbarer Energien oder Abwärme fordert.

Der ausgewertete Datensatz besteht aus 3'034 EFH und 1'237 MFH, die im Zeitraum von 2010 bis 2018 eine Neubaubewilligung erhalten haben. Zusätzlich sind für 1'275 EFH und 533 MFH die Daten zur Sanierung vorhanden. In Abbildung 5 ist die Aufteilung der Daten nach Baujahr, respektive Bewilligungsjahr und Anzahl Ein- und Mehrfamilienhäuser dargestellt.

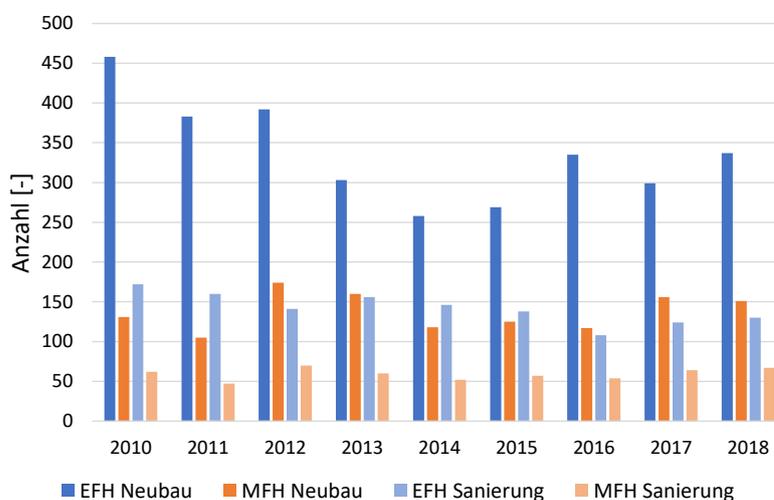


Abbildung 5: Unterteilung der Daten vom Kanton Basel-Landschaft nach Gebäudebaujahr für Ein- und Mehrfamilienhäuser



2.2 Simulationen

Zu einigen Anlagentypen wurden dynamische Jahressimulationen durchgeführt. Dazu wurde die Simulationssoftware TRNSYS [5] und das am SPF entwickelte pytrnsys Framework⁴ ausgewählt, und es wurden ähnliche Simulationsschemen wie im BFE-Projekt SolTherm2050 [1] verwendet. Dadurch sind die hier ermittelten Resultate mit den Werten in SolTherm2050 kompatibel.

2.2.1 Simulationsschemen

In den folgenden Abbildungen werden die wichtigsten Anlagenschemen der durchgeführten Simulationen aufgezeigt. Abbildung 6 bezieht sich dabei auf ein Kombisystem für MFH, welches einen Warmwasser- und einen Heizungsspeicher besitzt. Dieses Schema wurde sowohl für die Simulation von kleineren Warmwasser-Solarthermieanlagen, als auch für heizungsunterstützende Anlagen verwendet. Bei ersteren wurde der Heizungsspeicher kleiner gewählt und auf eine Umschaltung der Solarleitung in den Heizungsspeicher verzichtet. Gezeigt wird das Schema mit Luft-Wasser-Wärmepumpe. Sehr ähnliche Schemata wurden für die Kombination Pellet und Solar, sowie EWS-Wärmepumpe und Solarthermie (ohne Regeneration) verwendet.

Abbildung 7 zeigt das verwendete Simulationsschema für Eisspeichersysteme. Dabei wurde auf die Arbeiten im BFE Projekt BigIce [6] aufgebaut, wobei die unabgedeckten Kollektoren zum Teil durch PVT-Kollektoren ersetzt wurden. In Abbildung 8 wird das Anlagenschema für Systeme mit Erdsondenregeneration dargestellt. Die Regelung wurde dabei mit Fokus auf die Regeneration betrieben und eine Warmwasserbereitstellung nur dann durchgeführt, wenn die Temperatur im unteren Teil des Speichers unter der Erdsondentemperatur (Austrittstemperatur beim letzten Betrieb) lag.

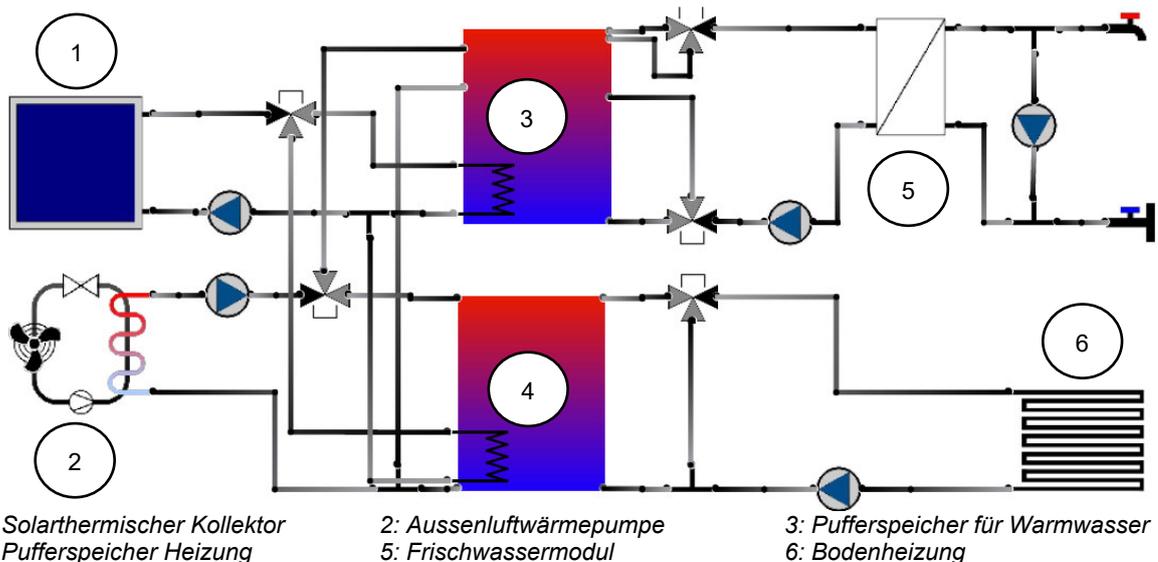
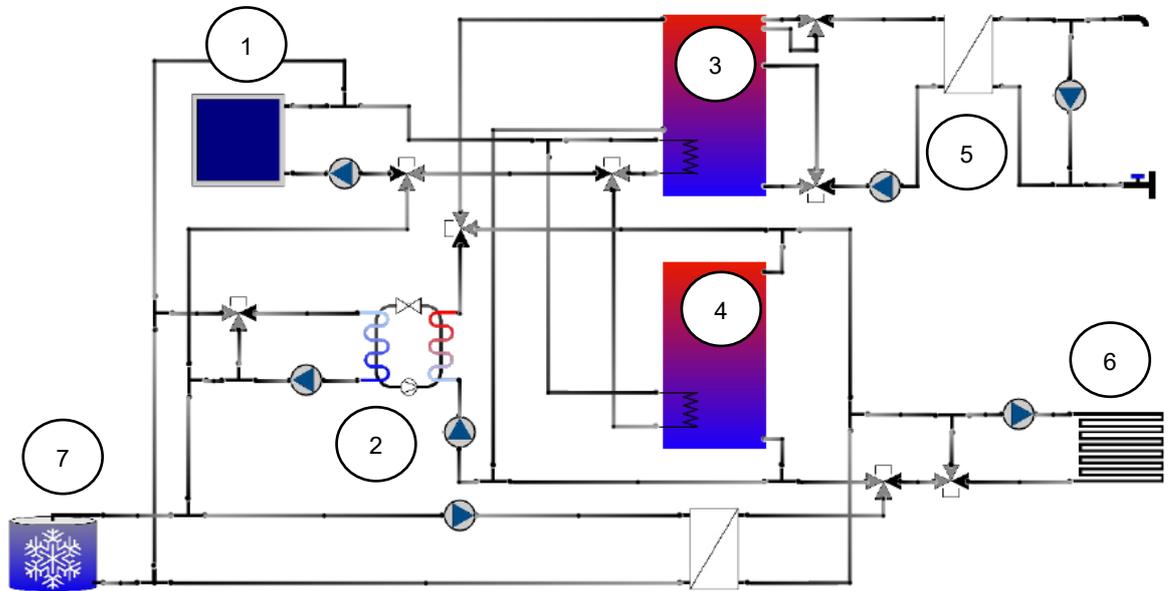


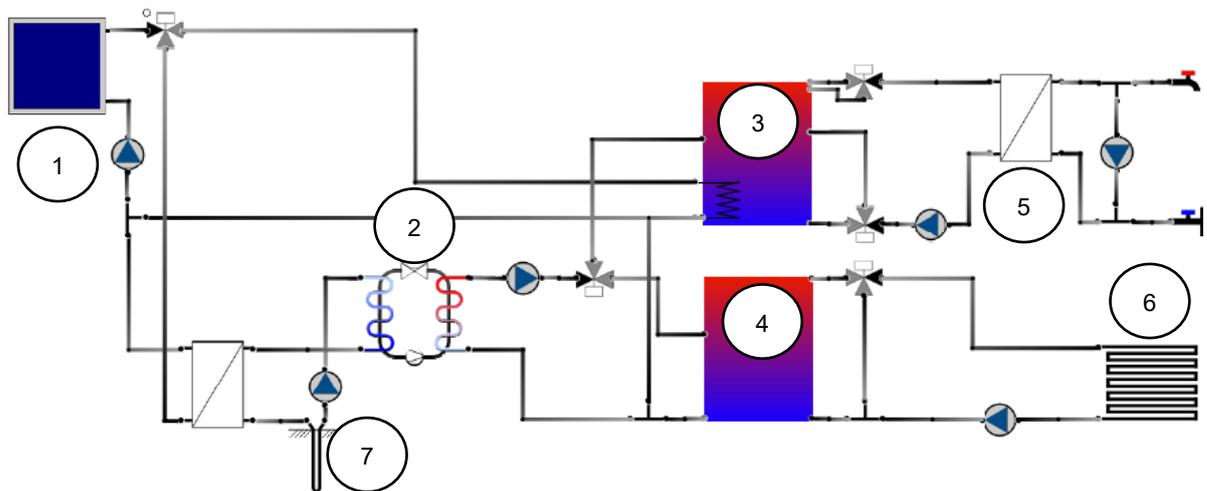
Abbildung 6: Simulationsschema für die Erzeugung von Warmwasser und Heizungswärme in MFH.

⁴ <https://pytrnsys.readthedocs.io/en/latest/>



- 1: Solarthermischer Kollektor 2: Sole-Wasser Wärmepumpe 3: Pufferspeicher für Warmwasser
4: Pufferspeicher Heizung 5: Frischwassermodul 6: Bodenheizung
7: Eisspeicher

Abbildung 7: Simulationsschema für die Erzeugung von Warmwasser und Heizungswärme in MFH mit Wärmepumpe, Eisspeicher und Solarthermie.



- 1: Solarthermischer Kollektor 2: Sole-Wasser Wärmepumpe 3: Pufferspeicher für Warmwasser
4: Pufferspeicher Heizung 5: Frischwassermodul 6: Bodenheizung
7: Erdwärmesonde

Abbildung 8: Simulationsschema für die Erzeugung von Warmwasser und Heizungswärme in MFH mit Wärmepumpe, Erdwärmesonden und Solarthermie mit Regeneration.



In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten, dabei verwendeten Komponenten und Rahmenbedingungen für die durchgeführten Simulationen erläutert.

2.2.2 Wetterdaten

Es wurden Wetterdaten der SIA [7] für die Standorte Zürich SMA (Mittelland), Davos (Alpines Klima) und Lugano (Tessin) verwendet. Es wurden ausschliesslich die Daten für das typische Referenzjahr verwendet und auf eine Betrachtung der extrem warmen oder kalten Jahre wurde verzichtet.

2.2.3 Hydraulik

Das am SPF entwickelte pytrnsys Framework bietet eine grafische Oberfläche (GUI) [8] in welchen Anlageschemen implementiert werden können. Ein ebenfalls am SPF entwickelter Hydrauliksolver (type 935) definiert dabei für jeden Zeitschritt die Fluidströme in den Leitungen und Komponenten.

2.2.4 Kollektor

Für die Simulation von abgedeckten Kollektoren wurde das einfache Standardmodell aus TRNSYS (type 1) verwendet. Folgende Kenndaten wurden dazu eingesetzt:

$$\begin{aligned}\eta_0 &= 0.857 [-], c_{w,\eta_0} = 0 [s/m] \\ a_1 &= 4.16 [W/(m^2K)], c_{w,a_1} = 3 [J/(m^3K)] \\ a_2 &= 0.0089 [W/(m^2K^2)]\end{aligned}$$

Zur Simulation von unbedeckten, selektiven Kollektoren wurde das am SPF leicht angepasste „Dynamic Collector Model by Bengt Perers“ (type 833) verwendet [9], mit folgender Parametrierung:

$$\begin{aligned}\eta_0 &= 0.954 [-], \\ c_{w,\eta_0} &= 0.01 [s/m] \\ a_1 &= 9.0 [W/(m^2K)], \\ c_{w,a_1} &= 3.0 [J/(m^3K)]\end{aligned}$$

PVT-Kollektoren wurden mit dem am ISFH entwickelten Kollektormodell (type 203) [10] modelliert. Die wichtigsten Kennwerte wurden folgendermassen parametrisiert:

$$\begin{aligned}\eta_{PVT\ std} &= 0.16 [-], \\ \eta_0 &= 0.85 [-], \\ c_{w,\eta_0} &= 0.05 [s/m] \\ a_1 &= 12.8 [W/(m^2K)], \\ c_{w,a_1} &= 3.0 [J/(m^3K)]\end{aligned}$$

Der Strombedarf der Umwälzpumpe wurde mit 1.4% [11] des Solarertrages berücksichtigt.



2.2.5 Wärmepumpe

Ein Kennlinienmodell „Compression Heat Pump“ Modell (type 977) wurde vom SPF auf Basis von type 401 [12] weiterentwickelt [13]. Als Grundlage für die Parametrisierung diente die Sole-Wasser-Wärmepumpe ProDomo 13 der Firma Cadena, wobei auf Kennwerte der Datenbank von Polysun abgestützt wurden. Die Wärmepumpe hat bei B0/W35 einen COP von 4.68 und eine Leistung von 12.5 kW. Für die Luft-Wasser-Wärmepumpe wurden auf die Kennwerte des Modells HP10L-K-BC WP von Heliotherm aus der Polysundatenbank abgestützt. Diese Wärmepumpe hat bei A0/W35 einen COP von 4.47 und eine Leistung von 10.25 kW. Für unterschiedliche Wärmepumpengrössen wurden die Leistungsdaten dieser Wärmepumpen skaliert.

2.2.6 Eisspeicher

Für die Modellierung der Eisspeicher wurde das am SPF entwickelte Eisspeichermodell [14] (type 861) mit Plattenwärmetauschern verwendet, wobei von einem Plattenabstand von 10 cm ausgegangen wurde. Für alle Eisspeichergrössen wurde eine quadratische Form und eine Tiefe von 3.5 m angenommen. Die Regelung der Be- und Entladung wurde aus dem Projekt BigIce [6] übernommen.

2.2.7 Komfortwohnungs Lüftung

Für einige Standardlösungen ist der Einbau einer KWL nötig. Diese wurde in den Gebäudesimulationen in IDA ICE mit dem Standardmodell und einem Wirkungsgrad für die Wärmerückgewinnung von 80% simuliert. Die Luftmenge wurde nach dem Minergie-Standard ausgelegt und beträgt bei diesem Gebäude 930 m³/h (0.77 m³/m²h). Ohne KWL wurde dieselbe Luftmenge angenommen jedoch ohne Wärmerückgewinnung.

Der Strombedarf der Lüftung wurde mit 3.15 kWh/m² berücksichtigt, was einem Standardbedarf nach dem Nachweisformular EN101b⁵ mit einem DC/EC-Motor entspricht.

2.2.8 Gebäude

Für die Erarbeitung des vereinfachten Verfahrens zur Erdsondenregeneration (Kapitel 3.7) wurden die dazu benötigten Gebäude in TRNSYS modelliert. Dazu wurden das am SPF definierte MFH Referenzgebäude [15,16] in Trnsys3d/sketchup aufgebaut. Anschliessend wurde die Geometrie des Gebäudes exportiert und in TRNBuild angepasst, sowie In- und Outputs definiert. Für die Simulation in TRNSYS wurde der Type 56 verwendet, welcher die detaillierten Gebäudedaten aus TRNBuild über externe Files einliest.

Für die Kostenanalyse (Kapitel 3.6) wurde das MFH Referenzgebäude in IDA ICE v4.8 modelliert und entsprechend den Anforderungen der MuKEN Standardlösungen die Gebäudeparameter (Tabelle 1) variiert. Die Resultate aus den Gebäudesimulationen wurden für die Simulation der Heizungssysteme mittels eines Stundenbedarfsprofil (csv-Datei) an die TRNSYS Umgebung übergeben (Vorlauftemperatur und Wärmebedarf). Der Grund für die Wahl der IDA ICE Software für die Gebäudesimulation lag darin, dass Gebäudeparameter sehr einfach verändert werden können und somit schneller Resultate zur Verfügung standen.

⁵ www.endk.ch Technisches Formular «rechnerische Lösung» basierend auf den MuKEN 2014 19/125



TRNSYS bietet wiederum mehr Möglichkeiten bezüglich den Systemsimulationen (SPF interne Modelle), weshalb die Stärken beider Tools kombiniert wurden.

Um die minimale Dämmstärke für den rechnerischen Nachweis zu bestimmen, wurde das Referenzgebäude nach der SIA 380/1:2016 berechnet und dabei die opaken Elemente gegen Aussenluft soweit optimiert, bis ein Wärmebedarf für Zürich von 30.5 kWh/m^2 erreicht wurde (für Davos wurde die entsprechende Höhenkorrektur mitberücksichtigt). Der Grenzwert liegt beim Referenzgebäude bei 34.3 kWh/m^2 mit einer Gebäudehüllzahl von 1.42. Diese Gebäudehüllzahl entspricht einem Mittelwert aus 65 untersuchten Gebäuden aus der ImmoGap Studie [17]. Da diese Gebäudehüllzahl zum Teil als hoch angesehen wird und moderne Gebäude deutlich kompakter gebaut werden, wurde der Grenzwert für den Heizwärmebedarf tiefer angesetzt basierend auf einer Gebäudehüllzahl von 1.2. Alle anderen Gebäudeelemente wie Fenster, Bauteile gegen Erdreich etc. wurden in der rechnerischen Lösung gleich belassen wie bei den Standardlösungen («minimal Version»).

Der Brauchwarmwasserbedarf ist für alle untersuchten Varianten gleich und beträgt 21 kWh/m^2 .



Tabelle 1: Zusammenfassung der wichtigsten Gebäude- und Systemparameter die für die Kostenanalyse im Kapitel 3.6 verwendet wurden.

Lösungs- variante	U-Wert Aussenwand	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	KWL	Sondenlänge (Zürich/Davos/Lugano)	BWW- Speicher	Puffer- speicher	Wärmeerzeugerleistung (Zürich/Davos/Lugano)	Kollektorfläche
	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]		[m]	[L]	[L]	[kW]	[m ²]
SL1	0.17	1.0	0.5	Ja	554 / 975 / 426	1400	2000	26 / 28 / 22	-
SL2	0.17	1.0	0.5	Nein	554 / 975 / 426	2000	2000	26 / 28 / 22	24
SL3	0.15	1.0	0.5	Nein	554 / 975 / 426	1400	2000	26 / 28 / 22	-
SL4	0.15	0.8	0.45	Nein	554 / 975 / 426	1400	2000	26 / 28 / 22	-
SL5	0.15	1.0	0.5	Ja	554 / 975 / 426	1400	2000	26 / 28 / 22	24
SL6	0.15	0.8	0.45	Ja	554 / 975 / 426	2000	4000	26 / 28 / 22	84
RL	0.19	1.0	0.5	Nein	554 / 975 / 426	2000	2000	26 / 28 / 22	0 / 24 ⁶
RL & PVT	0.19	1.0	0.5	Nein	443 / 780 / 341	2000	2000	26 / 28 / 22	77
RL & ICE	0.19	1.0	0.5	Nein	Eisspeicher [m ³]: 140 / 140 / 65	2000	2000	26 / 28 / 22	90 (Lugano: 77)

SL5 & 6 können als einzige Standardlösungen mit fossilen Heizungen kombiniert werden.

⁶ Die rechnerische Lösung wurde mit und ohne Solarthermie simuliert, die Varianten mit Solarthermie sind entsprechend markiert ("&S")



2.3 Kostenanalyse

Die Auswertung der Wirtschaftlichkeit für die unterschiedlichen Lösungsvarianten wurde mit der Annuitätenmethode durchgeführt. Diese stützt sich auf unterschiedlichen Annahmen welche in diesem Kapitel im Detail dargelegt werden. Die Berechnungsformeln der einzelnen Kennwerte, die in dieser Studie verwendet wurden, sind im Kapitel 2.4 beschrieben.

2.3.1 Kalkulationszinssatz

Für die Berechnung des Annuitätenfaktors wurde ein Kalkulationszinssatz (i) von 3.5% gewählt, dieser berücksichtigt eine Inflation von 1% und einem Risikozuschlag für private Bauherrschaften von 1%. Bei institutionellen Bauherren könnte man auf den Risikozuschlag verzichten [18].

2.3.2 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer (n) zur Berechnung des Annuitätenfaktors ist für die einzelnen Komponenten in der Tabelle 2 aufgeführt. Für die Luft-Wärmepumpe wurde angenommen, dass diese eine grössere Beanspruchung erfährt als die Erdsonden-Wärmepumpe (tiefere Quellentemperaturen, Enteisung etc.), weshalb eine um fünf Jahre reduzierte Nutzungszeit verwendet wurde. Grundsätzlich stützen sich die Werte auf die SIA 2032 [19], wobei für die Aussendämmung eine höhere Nutzungsdauer angenommen wurde, da mit der heute tiefen Sanierungsrate kaum zu erwarten ist, dass in Zukunft bei Neubauten schon nach 30 Jahren die Dämmung ersetzt wird.

Tabelle 2: Nutzungsdauer der einzelnen Komponente.

	Nutzungszeit [a]
LW-WP	15
SW-WP	20
Erdsonde	40
Pellet-Boiler	20
Gas-Boiler	20
KWL	30
Aussendämmung	50
Fenster	30
Solarthermische Anlage	30
PVT	30
PV-Anlage	30
Eisspeicher	40



2.3.3 Investitionen und Unterhaltskosten

Die Investition (*I*) setzt sich aus den gesamten Kosten der Wärmeerzeuger und den Mehrkosten für zusätzliche Massnahmen gegenüber der Lösung mit den geringsten Anforderungen zusammen. Zusätzlich zu den Investitionen wurden auch jährliche Unterhaltskosten (*U*) in den Berechnungen berücksichtigt. Die in der Tabelle 3 ausgewiesenen Kosten beinhalten auch die Installation der Anlagen, jedoch keine Subventionen oder andere Vergünstigungen.

Tabelle 3: Kostendaten zu den einzelnen Komponenten.

	Berechnung Investition [CHF]	Quelle	Unterhaltskosten [CHF/a oder Anteil der Investition]	Quelle
LW-WP	27'216 CHF + 1'620 CHF/kW	[20] *	550 CHF/a	[20]
SW-WP	28'680 CHF + 960 CHF/kW	[20] *	550 CHF/a	[20]
Erdsonde	90 CHF/m	[20] *	0.25%/a	Eigene
Pellet-Boiler	38'760 CHF + 420 CHF/kW	[20] *	660 CHF/a	[20]
Pellet Lager	15'000 CHF	**	-	
Gas-Boiler	19'380 CHF + 210 CHF/kW	[20] *	660 CHF/a	Eigene
KWL Zusatzkosten gegenüber Abluftanlage	62'000 CHF	***	1%/a	Eigene
Solarthermische Anlage	9282 CHF + 875 CHF/m ²	[1]	0.5%/a	Eigene
PVT-Anlage	1'250 CHF/m ²	[1]	0.6%/a	Eigene
Zusätzliches Speichervolumen	1'213 CHF/m ³	[1]	-	-
PV-Anlage (12 kWp)	2'300 CHF/kWp	Sustech	0.5%/a	Eigene
Eisspeicher	21'967 CHF + 600 CHF/m ³	[1]	1%/a	Eigene
Aussendämmung		[21]	0.25%/a	Eigene
0.19 W/m ² K	151 CHF/m ²			
0.17 W/m ² K	160 CHF/m ²			
0.15 W/m ² K	168 CHF/m ²			
Fenster (Holz-Metall):		****	0.25%/a	Eigene
1.0 W/m ² K	575 CHF/m ²			
0.9 W/m ² K	635 CHF/m ²			
0.8 W/m ² K	718 CHF/m ²			

* Die Kosten wurden um 20% gegenüber den Angaben aus dem Heizkostenvergleichsrechner v34 [20] erhöht, dies aufgrund der Kostendaten, die vom Projektpartner Sustech zusätzlich ermittelt wurden. ** Aufgrund unterschiedlicher Rückmeldungen aus der Begleitgruppe, wurden ein zusätzlicher Betrag für das Pelletlager hinzugefügt, da vermutet wird, dass die Kosten im Heizkostenvergleichsrechner für grössere Bauten unterschätzt werden. *** Grobe Abschätzung durch Amt für Hochbauten Zürich. **** Direkte Nachfrage bei einem grösseren Fensterhersteller in der Schweiz



2.3.4 Preise für Endenergie

Der gewählte Stromtarif von 16.4 Rp/kWh basiert auf dem Schweizer Median der Kategorie H6 welcher durch die Eidgenössischen Elektrizitätskommission ElCom⁷ publiziert wird. Die Kategorie H6 wurde gewählt unter der Annahme, dass das Gebäude einen Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) aufweist und damit der gesamte Strombedarf des Gebäudes (etwa 30'000 kWh/a) als Bewertungskriterium dient.

Für das Erdgas wurde ein Preis von 9 Rp/kWh und für die Pellets ein mittlerer Preis von 7 Rp/kWh angenommen (Jahr 2020), beide Preisangaben stammen von der Webseite vom Verein der Schweizer Pelletsbranche⁸ und basieren auf dem Landesindex der Konsumentenpreise (LIK, Durchschnittspreise für Energie und Treibstoffe).

2.4 Kennzahlen

Für die Systeme mit Solarthermie wird der Solare Deckungsgrad (F_{solar}) als Kennzahl verwendet. Dieser ist folgendermassen definiert:

$$\text{Gl. 1} \quad F_{solar} = \frac{Q_{kol}}{Q_{kol} + Q_{WE}}$$

Dabei ist Q_{kol} die vom Kollektor abgegebene Energie, Q_{WE} die vom Hauptwärmeerzeuger abgegebene Energie.

Die gewichtete Energiekennzahl (GEKZ) berechnet sich aus dem Endenergiebedarf (E_n) aller Haustechnik Komponenten, die für die Heizung (E_H), die Bereitstellung von Brauchwarmwasser (E_{BWW}), Kühlung (E_K) und die Belüftung (E_{KWL}) benötigt werden, wobei hier noch speziell die Solarpumpe (E_{Sol}) mitberücksichtigt ist. Die Gewichtung (f_n) erfolgt abhängig vom Energieträger. Die Gewichtungsfaktoren werden von der EnDK⁹ bestimmt und sind aktuell (Stand 2017): Elektrizität = 2.0 / Heizöl und Gas = 1.0 / Biomasse = 0.5 / Sonne = 0

$$\text{Gl. 2} \quad GEKZ = E_H \cdot f_H + E_{BWW} \cdot f_{BWW} + E_K \cdot f_K + E_{KWL} \cdot f_{Strom} + E_{Sol} \cdot f_{Strom}$$

Der Annuitätenfaktor (a) für die unterschiedlichen ökonomischen Betrachtungen wird mit nachfolgender Gleichung berechnet (mit Kalkulationszinssatz (i), Nutzungsdauer (n)):

$$\text{Gl. 3} \quad a = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Die Wärmegestehungskosten der einzelnen Lösungsvarianten wurden mit nachfolgender Gleichung berechnet:

$$\text{Gl. 4} \quad WGK = \frac{I \cdot a + U}{Q_{Tot}}$$

mit I = Investitionskosten, U = Unterhaltskosten, Q_{Tot} = Gesamte Nutzenergie für Heizung, Kühlung und Warmwasser

⁷ www.strompreis.elcom.admin.ch

⁸ [Pelletspreis - proPellets](http://Pelletspreis-proPellets)

⁹ www.endk.ch – Konferenz Kantonalen Energiedirektoren – Nationale Gewichtungsfaktoren für die Beurteilung von Gebäuden



Um die Wirtschaftlichkeit eines Systems mit einer Referenz zu vergleichen, wurde in der vorliegenden Studie die jährliche Kosteneinsparung angewendet, diese berechnet sich wie folgt:

$$\text{Gl. 5} \quad \text{jährliche Kosteneinsparung} = (WGK_{Ref} \cdot Q_{Ref} - WGK_n \cdot Q_n)$$

mit WGK_{Ref} = Wärmegestehungskosten der gewählten Referenzlösung, Q_{Ref} = Nutzenergie der Referenz, WGK_n = Wärmegestehungskosten der betrachteten Lösung n , Q_n = Nutzenergie der betrachteten Lösung n .



3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Solarthermie im Kontext der kantonalen Gesetze und Fördermassnahmen

Hintergrundinformationen zu diesem Kapitel und den verwendeten Daten sind im Kapitel 2.1.1 beschrieben.

Um die Entwicklung der Solarthermie und ihr Potenzial richtig einzuordnen, werden unterschiedliche Grössen verwendet, um die Rahmenbedingungen darzustellen. In Abbildung 9 ist die Anzahl der neu erstellten Gebäude gemittelt über zehn Jahre und nach Kantonen aufgeschlüsselt, dargestellt. Die fünf Kantone mit der höchsten Neubaurate wurden rot markiert. Die Anzahl neuer Wohnbauten nimmt in der Schweiz stetig ab, zwischen 2008 und 2018 hat diese um 26% abgenommen, wobei die Anzahl Wohnungen in diesem Zeitraum stark zugenommen hat. Daraus kann man schliessen, dass zwar weniger Wohngebäude gebaut wurden, jedoch diejenigen die neu erstellt wurden mehr Wohnfläche aufweisen.

Die im Kapitel 3.1 durchgeführten Analysen wurden in Bezug zum Neubau-Potenzial durchgeführt. Dies weil zum einen die Datenlage zu Sanierungen unzureichend ist und eine Jahresabhängigkeit kaum dargestellt werden kann, zum anderen die Anzahl Gebäude die energetisch renoviert werden mit geschätzten 6'478 Gebäuden¹⁰ pro Jahr deutlich geringer ist als jene der Neubauten mit 13'873 pro Jahr.

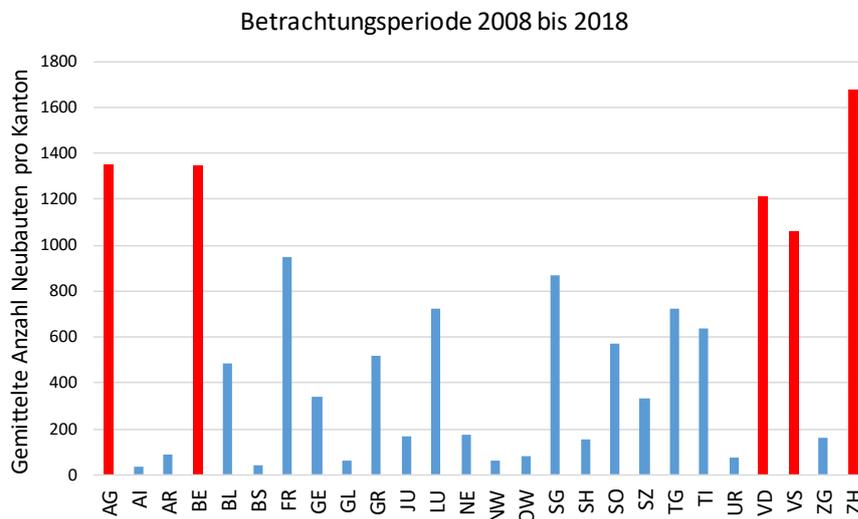


Abbildung 9: Anzahl der Neubauten mit Wohnnutzung aufgeschlüsselt nach Kantonen, gemittelt über 10 Jahre. Rot markiert wurden die Kantone mit hoher Anzahl an Neubauten pro Jahr.

3.1.1 Auswertung kantonalen Vorschriften

Den Einfluss der unterschiedlichen kantonalen Gesetze auf die Entwicklung der Solarthermie zu quantifizieren ist nur qualitativ möglich, da viele Faktoren zu berücksichtigen sind und der

¹⁰ Laut dem Bundesamt für Statistik sind 1'295'528 Wohngebäude vor 1990 gebaut worden. Die Sanierungsrate mit energetischen Massnahmen wie Dachsanierung und Heizungsersatz (für Solarthermie relevant) wurde mit 0.5% geschätzt auf Grund der Studie von Jakob et. al. [22].



Umfang der vorhandenen Datengrundlagen gering ist. Die Tabelle 4 fasst die qualitative Beurteilung der Gesetze (MuKE n) mit ihrem Einfluss auf die Solarthermie zusammen. Diese Zusammenfassung ist eine subjektive Einschätzung der Studienautoren. In Abbildung 10 ist der Anteil der wirksamen Vorschriften auf die Neubaurate für verschiedene Jahre dargestellt. Der überwiegende Teil der Neubauten in der Schweiz sind in der betrachteten Periode geprägt durch die Vorschriften der MuKE n 2008. Berücksichtigt wurden in der Darstellung jeweils der Artikel 2.1 (MuKE n 2000) / 1.2 (MuKE n 2008) – *Höchstanteil an nichterneuerbaren Energien* und 1.22 (MuKE n 2014) – *Anforderung an die Deckung des Wärmebedarfes von Neubauten*.

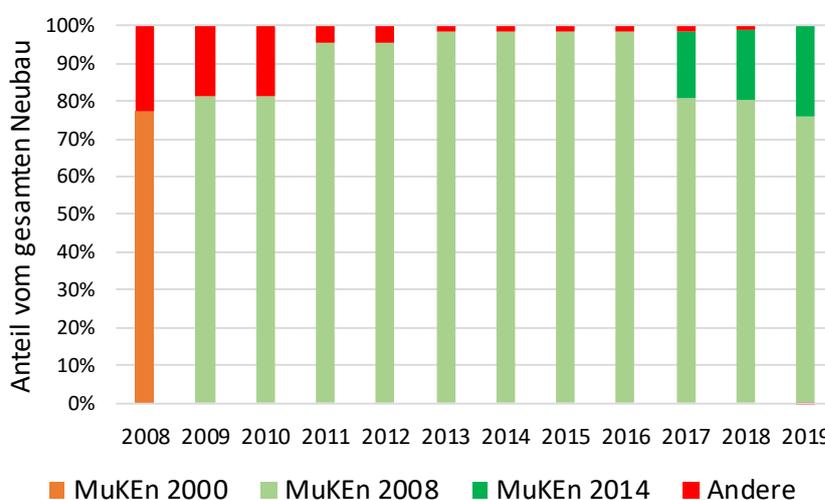


Abbildung 10: Aufteilung der wirksamen kantonalen Energiegesetze auf den Neubauanteil von Gebäuden mit Wohnnutzung für die gesamte Schweiz.

In der aktuellen MuKE n (2014) wurde neu auch eine Anforderung für den Heizungsersatz eingeführt (Art. 1.29). Dies könnte sich positiv auf die Solarthermie auswirken, jedoch schätzen wir aus nachfolgenden Gründen den Effekt aus aktueller Sicht als gering ein:

- Nur EINE der Standardlösungen für den Heizungsersatz enthält Solarthermie
- Eine erste Auswertung durch den Kanton Luzern, welcher dieses Modul früh eingeführt hat, zeigt, dass die meisten Sanierungen auf eine Wärmepumpenlösung setzen (siehe Abbildung 11). Aus ökonomischen Überlegungen kann man davon ausgehen, dass eher selten eine Wärmepumpe im Sanierungsfall in Kombination mit einer Solarthermie-Anlage realisiert wird. Dies auf Grund der relativ hohen Investitionskosten dieser Kombination.

Erfreulich ist jedoch, dass der grösste Teil des Heizungsersatzes im Kanton Luzern auf erneuerbare Energien setzt und nur wenige Wechsel von fossil zu fossil stattfinden. Jedoch ist Vorsicht geboten bei der Auswertung der Daten, da der Kanton davon ausgeht, dass nicht alle Wechsel im Jahr 2019 gemeldet worden sind, weil zu dieser Zeit die Regelung relativ neu war und diese nicht allen Gebäudebesitzern bekannt war. Erfreulich ist auch, dass sich gegenüber der Analyse der kantonalen Gesetze bei Projektstart die Anzahl der Kantone welche den Art. 1.29 eingeführt haben deutlich vergrössert hat. Aktuell (Ende 2021) haben 18 Kantone die



Anforderung in Kraft gesetzt und 4 weitere sehen die Einführung vor, sind jedoch noch im parlamentarischen Prozess. Nur zwei Kantone sehen keine Regelung vor (SO, AG)¹¹.

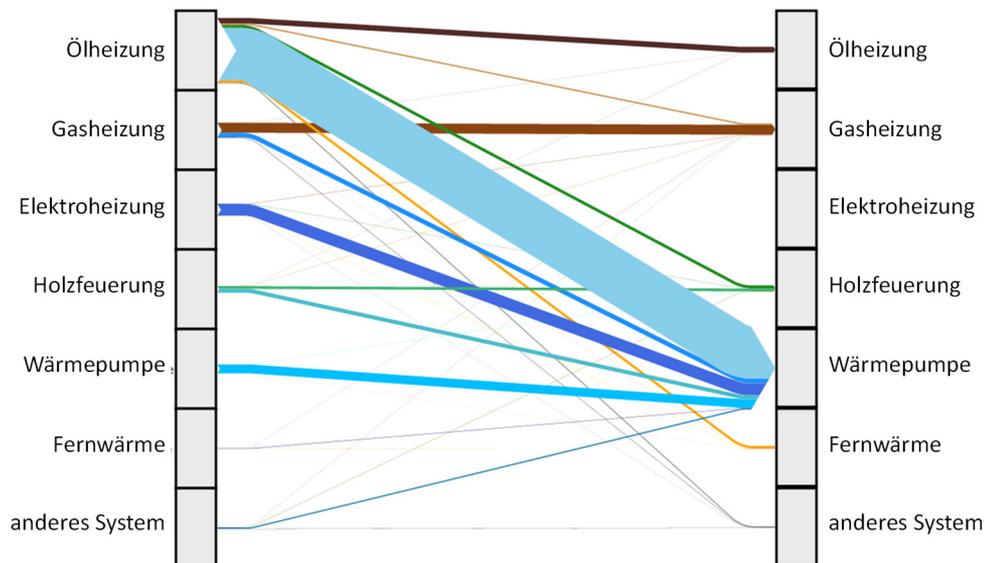


Abbildung 11: Qualitative Auswertung der gemeldeten Heizungswechsel im Kanton Luzern für die Jahre 2019 und 2020 (n = ca. 1400). Die Dicke der Pfeile ist proportional zur Anzahl der eingegangenen Meldungen. Quelle: Kanton Luzern.

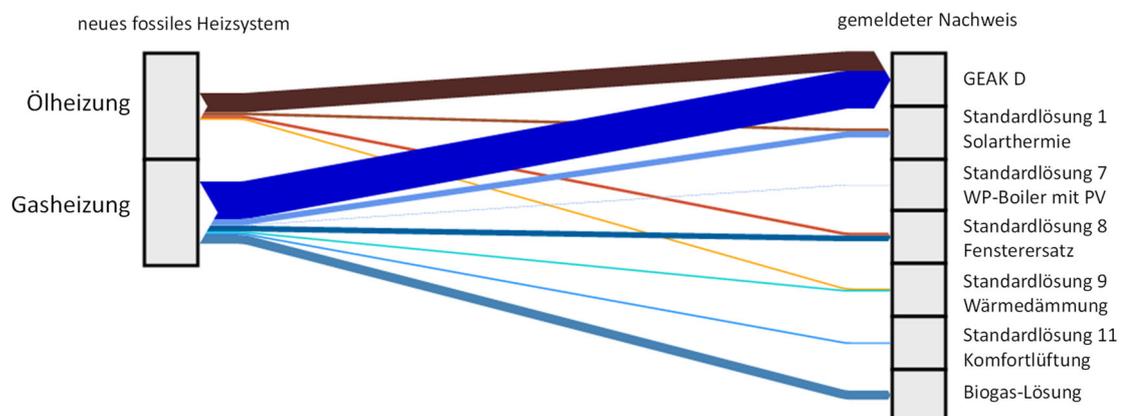


Abbildung 12: Qualitative Auswertung der gemeldete Heizungswechsel "fossil-fossil" im Kanton Luzern für die Jahre 2019 und 2020, Die Dicke der Pfeile ist proportional zur Anzahl der eingegangenen Meldungen. Quelle: Kanton Luzern.

¹¹ Stand Umsetzung MuKE n 2014 – vom 05.09.2021 (<https://www.endk.ch/de/energiepolitik-der-kantone/muken>)



Tabelle 4: Zusammenfassung der Module aus den verschiedenen MuKE Versionen die mutmasslich einen Einfluss auf die Verbreitung der Solarthermie haben.

	Titel	Art.	Beschreibung	Einschätzung
MuKE 2000	Höchstanteil an nicht erneuerbaren Energien	2.1	<ul style="list-style-type: none"> Höchstens 80% nicht erneuerbarer Energieanteil für Heizung und Warmwasser bei Neubauten. Auswahl von 8 Standardlösungen, 2 davon mit Solarthermie. 	<p>"Eher negativ für Solarthermie":</p> <p>Nur zwei der acht Standardlösungen für Neubau beinhalten Solarthermieanlagen. Die minimalen Absorberfläche beträgt je nach Lösung 3 bis 10% der EBF, was deutlich grösser ist als in der MuKE 2008.</p> <p>Auch sind weiterhin ortsfeste el. Heizungen unter gewissen Einschränkungen erlaubt, was hinderlich für die Verbreitung der Solarthermie ist.</p>
	Kriterien für ortsfeste elektrische Widerstandsheizungen	5.1	<ul style="list-style-type: none"> Einbau erlaubt, wenn spez. Heizleistung 30 W/m² nicht überschreitet, oder Installation eines anderen Heizungssystems unmöglich ist. 	
MuKE 2008	Höchstanteil an nicht erneuerbaren Energien	1.2	<ul style="list-style-type: none"> Höchstens 80% nicht erneuerbarer Energieanteil für Heizung und Warmwasser bei Neubauten. Auswahl von 11 Standardlösungen, 3 davon mit Solarthermie 	<p>"Leicht positiv für Solarthermie":</p> <p>Die minimalen Absorberflächen sind mit 2 bis 7% geringer als in der MuKE 2000, was sich positiv auf die Kosten der Anlagen auswirkt.</p> <p>Das Verbot der elektrischen Widerstandsheizungen ist förderlich für die Verbreitung der Solarthermie.</p>
	Ortsfeste elektrische Widerstandsheizungen	1.12	<ul style="list-style-type: none"> Neuinstallation nicht erlaubt Ersatz im Bestand erlaubt 	
MuKE 2014	Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten	1.22	<ul style="list-style-type: none"> Einführung von gewichtetem Energiebedarf für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung für Neubauten. Ersetzt den maximal zulässigen Anteil an nicht erneuerbarer Energie (MuKE 2000 und 2008). PV-Eigenstromproduktion wird nicht gutgeschrieben * (Ausnahme WKK-Anlagen). Auswahl von 6 Standardlösungen, 3 davon mit Solarthermie. 	<p>"Positiv für Solarthermie":</p> <p>Positiv wirkt sich die Reduktion der Standardlösungen im Neubau aus, da nun 50% der Lösungen eine Solarthermieanlage fordern. Die geforderten Absorberflächen bleiben gleich. Vorteilhaft ist auch, dass die PV-Eigenstromproduktion nicht angerechnet wird*, trotzdem muss erwartet werden, dass durch die Pflicht der Eigenstromerzeugung die "Flächenkonkurrenz" zur PV steigt.</p> <p>Bezüglich der Sanierungen hat die Solarthermie auch mit der aktuellen MuKE einen schweren Stand mit nur einer Standardlösung die Solarthermie enthält.</p> <p>(*Da heute im Neubau vorwiegend Wärmepumpen eingesetzt werden, soll mit dieser Regelung verhindert werden, dass ein schlechter COP der Wärmepumpen durch die PV-Anlage kompensiert werden kann. Damit sollen Effizienzsteigerungen weiterhin belohnt werden.)</p>
	Ortsfeste elektrische Widerstandsheizungen	1.13	<ul style="list-style-type: none"> Neu auch Ersatz von bestehenden Anlagen verboten 	
	Erneuerbare Wärme beim Wärmeerzeugersersatz	1.29	<ul style="list-style-type: none"> Höchstens 90% nicht erneuerbarer Energieanteil für Heizungsersatz in Wohngebäuden. Auswahl von 11 Standardlösungen, 1 davon mit Solarthermie 	
	Eigenstromerzeugung bei Neubauten	1.26	<ul style="list-style-type: none"> Min. 10 W/m² bezogen auf die EBF, bis zu maximal 30 kWp. 	



Die Auswertung der MuKEEn kann nur Hinweise geben bezüglich der Akzeptanz und Verbreitung der Solarthermie. Zum Teil werden die MuKEEn mit Abweichungen in den jeweiligen Kantonen umgesetzt. Die Auswertung in Tabelle 4 stellt keine Wertung der Vorschriften im Generellen dar, sondern nur eine Abschätzung der möglichen Wirkung auf die Verbreitung der Solarthermie. Neben den gesetzlichen Aspekten spielen die wirtschaftlichen Faktoren eine wesentliche Rolle, diese werden im Kapitel 3.2 und Kapitel 3.6 im Detail betrachte.

3.1.2 Auswertung der kantonalen Fördermassnahmen

Einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Technologien und Massnahmen können die entsprechenden Förderbedingungen haben. Im Fall der Solarthermie werden diese von den Kantonen definiert, was im Gegensatz zur PV zu sehr unterschiedlichen Bedingungen führt. Einzelne Kantone beschliessen eine Förderung, andere wiederum heben diese wieder auf. Damit entsteht in der Schweiz eine gewisse Heterogenität, die nicht einfach zu erfassen ist. Deshalb muss bei der Auswertung die Gebäudestatistik der einzelnen Kantone mitberücksichtigt werden. Denn eine Änderung der Förderbedingungen hat im Kanton Zürich einen grösseren Effekt auf den Solarthermiemarkt als wenn der Kanton Uri eine Anpassung vornimmt. Deshalb wurden in Abbildung 9 die fünf Kantone mit den grössten Neubauraten rot oder in den nachfolgenden Abbildungen mit einem Stern (*) markiert.

In Abbildung 13 ist die Entwicklung der gesamten Fördermenge in der Schweiz für Solarthermie und Wärmepumpen aufgeführt. Dabei ist ersichtlich, dass die Fördersumme für Solarthermie konstant seit 2010 abgenommen hat und sich im Jahr 2018 auf einem tiefen Niveau stabilisiert hat. Im starken Kontrast steht die Förderung der Wärmepumpen. Diese erfährt seit 2015 einen regelrechten Boom bei der Förderung und erreicht im Jahr 2020 eine deutliche Zunahme. Im Gegensatz zur Solarthermie wird die Wärmepumpe vorwiegend im Bereich der Sanierung gefördert (Heizungersatz).

In Abbildung 14 ist der relative Anteil an Neubauten dargestellt, bei welchen die Möglichkeit für eine Förderung der Solarthermie über alle Kantone betrachtet, bestanden hätte. Es ist zu beachten, dass die hier dargestellten Werte eine Näherung darstellen, da die Angaben der Kantone bezüglich der Förderung unterschiedliche Qualitäten aufweisen (Details siehe Kapitel 2.1.1). Nichtsdestotrotz kann man festhalten, dass grundsätzlich viele Neubauten (~70%) eine Förderung für die Solarthermie erhalten könnten, auch wenn zum Beispiel die Kantone Aargau und Zürich seit 2016 respektive 2017 keine Solarthermie mehr fördern. Diese Zahlen lassen jedoch keinen Schluss auf den Umfang und die Randbedingungen der möglichen Förderung zu. Diese sind trotz des harmonisierten Fördermodells der Kantone (HFM 2015) je nach Kanton unterschiedlich ausgeprägt.

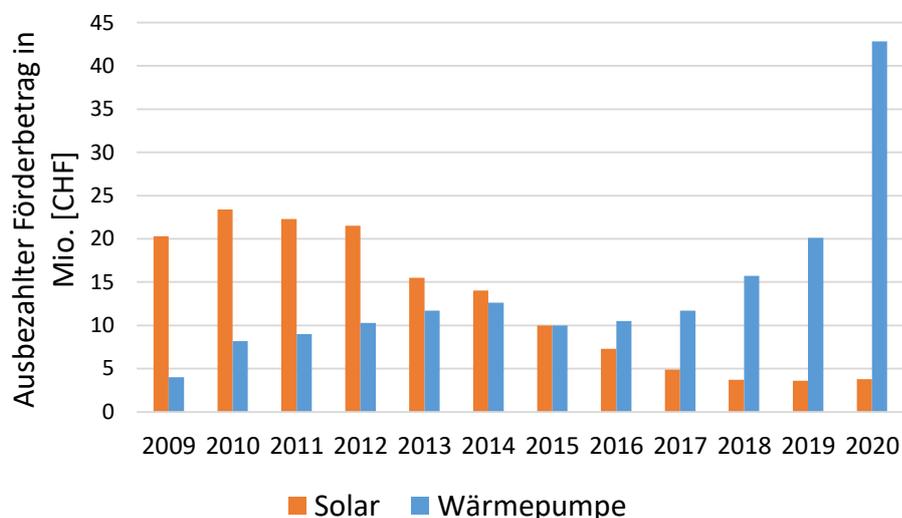


Abbildung 13: Ausbezahlte Förderbeiträge über alle Kantone für Solarthermie und Wärmepumpen. Ab 2017 wurde das Gebäudeprogramm neu organisiert, was dazu führte, dass die Datenerhebung genauer ausfällt. Vor 2017 kann es sein, dass nicht alle Fördergelder erfasst wurden, da keine Meldepflicht für die Kantone bestanden hat.

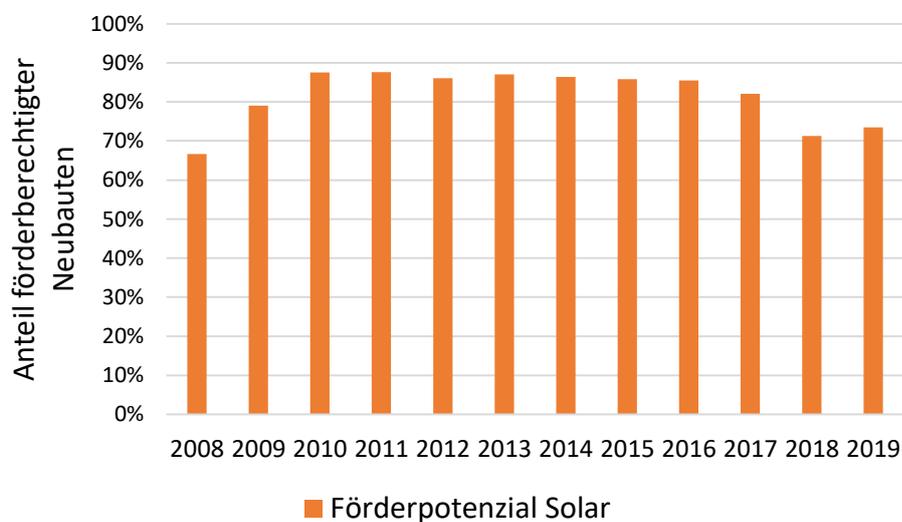


Abbildung 14: Anteil der förderberechtigten Neubauten für eine solarthermische Anlage, aggregiert über alle Kantone.

Der Rückgang der Solarthermie-Förderung auf kantonaler Ebene ist in Abbildung 15 dargestellt. Für ausgewählte Kantone¹² ist für drei unterschiedliche Jahre der ausbezahlte Förderbetrag in Abhängigkeit der gesamten Neubaurate des Kantons dargestellt. Damit lassen sich Kantone mit geringer Bautätigkeit mit Kantonen mit hoher vergleichen. Dabei ist ersichtlich, dass mit Ausnahme vom Kanton Waadt (VD), alle eine deutliche Reduktion der Förderung in den letzten 10 Jahren aufweisen. Die Förderung in den Kantonen Basel-

¹² Es wurden die zwölf Kantone mit den höchsten Fördersummen pro Neubau ausgewählt, um die Darstellung übersichtlich zu halten. Einzig der Kanton Wallis wurde zusätzlich dazu genommen, da dieser eine hohe Neubaurate aufweist (Abbildung 9).



Landschaft (BL) und Genf (GE) konnte auf tiefem Niveau zwischen 2015 und 2020 gehalten werden. Die Kantone Aargau und Zürich weisen für 2020 keine Förderung aus, da beide diese abgeschafft haben.

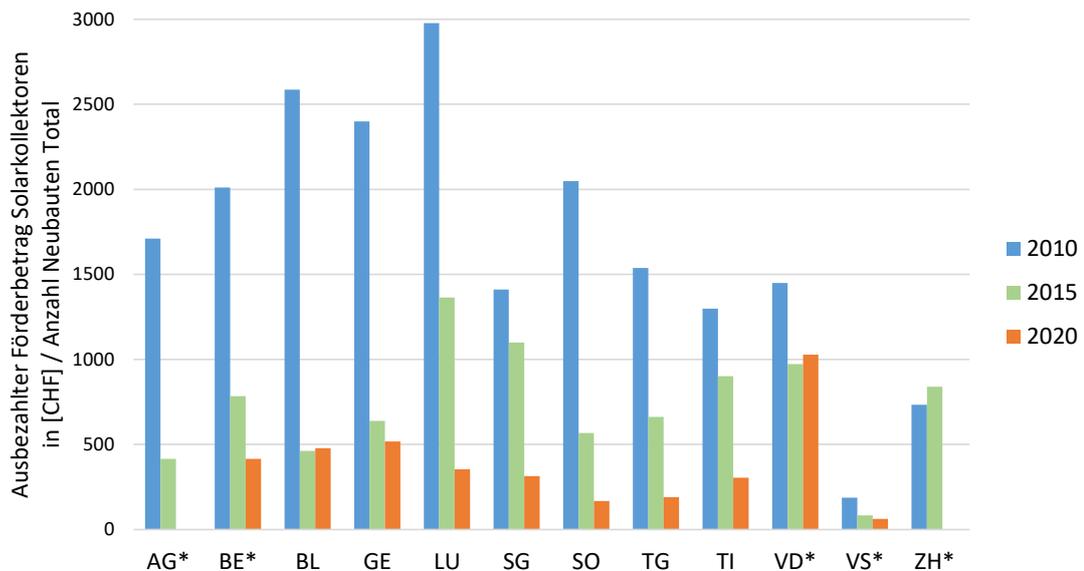


Abbildung 15: Ausbezahlte Förderbeiträge für Solarthermie in ausgewählten Kantonen. Die Kantone mit einem * sind Kantone mit einer hohen Neubaurate (siehe Abbildung 9).

3.1.3 Fazit

Im untersuchten Zeitraum war die Anzahl an neu erstellten Wohngebäuden in etwa doppelt so hoch wie jene die energetisch modernisiert wurden, obwohl die Anzahl an neuerstellten Wohngebäuden sich zwischen 2008 und 2018 um 26% verringert hat. Aus diesem Grund ist für die Solarthermie der Neubau weiterhin als ein wichtiger Markt einzuschätzen.

Die qualitative Auswertung der MuKE n zeigt, dass sich wohl die reduzierte Anzahl der möglichen Standardlösungen (SL) in der MuKE n 2014 als vorteilhaft für die Solarthermie erweisen sollte, denn die Hälfte der SL berücksichtigt eine Solarthermieanlage. Weiter ist vorteilhaft, dass für die Berechnung der gewichteten Energiekennzahl (GEKZ) die Eigenstromproduktion nicht angerechnet werden darf¹³. Trotzdem muss erwartet werden, dass durch die Pflicht der Eigenstromerzeugung die "Flächenkonkurrenz" zur PV weiter steigt.

Bezüglich Sanierung (Heizungersatz) hat die Solarthermie auch mit der aktuellen MuKE n einen schweren Stand, da für den Sanierungsfall nur eine SL die Solarthermie berücksichtigt. Diese Vermutung wird durch die Daten des Kantons Luzern bestätigt. Der überwiegende Teil der gemeldeten Heizungswechsel findet von der Ölheizung zur Wärmepumpe statt. Der kleine Teil, welcher fossil erhalten bleibt, wird kaum über die SL1 (Solarthermie) abgedeckt.

¹³ Da heute im Neubau vorwiegend Wärmepumpen eingesetzt werden, soll mit dieser Regelung verhindert werden, dass ein schlechter COP der Wärmepumpen durch die PV-Anlage kompensiert werden kann. Damit sollen Effizienzsteigerungen weiterhin belohnt werden.



Die Auswertung des Förderpotentials der Solarthermie zeigt, dass sich dieses im Vergleich zur ausbezahlten Fördersumme nur geringfügig verschlechtert hat. Es sind grundsätzlich immer noch 70% der Neubauten in irgendeiner Form förderberechtigt. Die ausbezahlte Fördersumme für Solarthermieanlagen hat sich zwischen 2010 und 2020 um mehr als 80% reduziert. Im Gegensatz dazu hat sich die Fördersumme im selben Zeitraum für Wärmepumpen um den Faktor sechs erhöht.



3.2 Solarthermie im Kontext der Marktentwicklung

Wie schon aus dem vorangehenden Kapitel zu erahnen war (sinkende Auszahlung an Fördergelder), weisen auch die Marktdaten zur Solarthermie eine negative Entwicklung auf. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, nahm die Anzahl in der Schweiz installierter Solarkollektoren zwischen 2012 und 2020 mehr oder weniger stetig ab. Nur zwischen 2016 und 2018 gab es eine kurze Stabilisierung. Im gleichen Zeitraum sinkt auch die Neubaurate von Gebäuden mit Wohnnutzung, jedoch in geringerem Ausmass als die Zubaurate der Solarthermie. Im Gegensatz zur Solarthermie ist eine deutliche Zunahme der installierten PV-Leistung bei Wohngebäuden festzustellen, was eine «Flächenkonkurrenz» zur Solarthermie bedeuten kann. In der Abbildung 16 sind zusätzlich drei wichtige Meilensteine der PV-Förderung markiert. Im Jahr 2009 wurde die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) eingeführt. Fünf Jahre später ist die Einmalvergütung für kleinere Anlagen bis zu 30 kWp (KLEIV) eingeführt worden und schlussendlich im Jahr 2018 die Einmalvergütung für alle Anlagengrössen (GREIV).

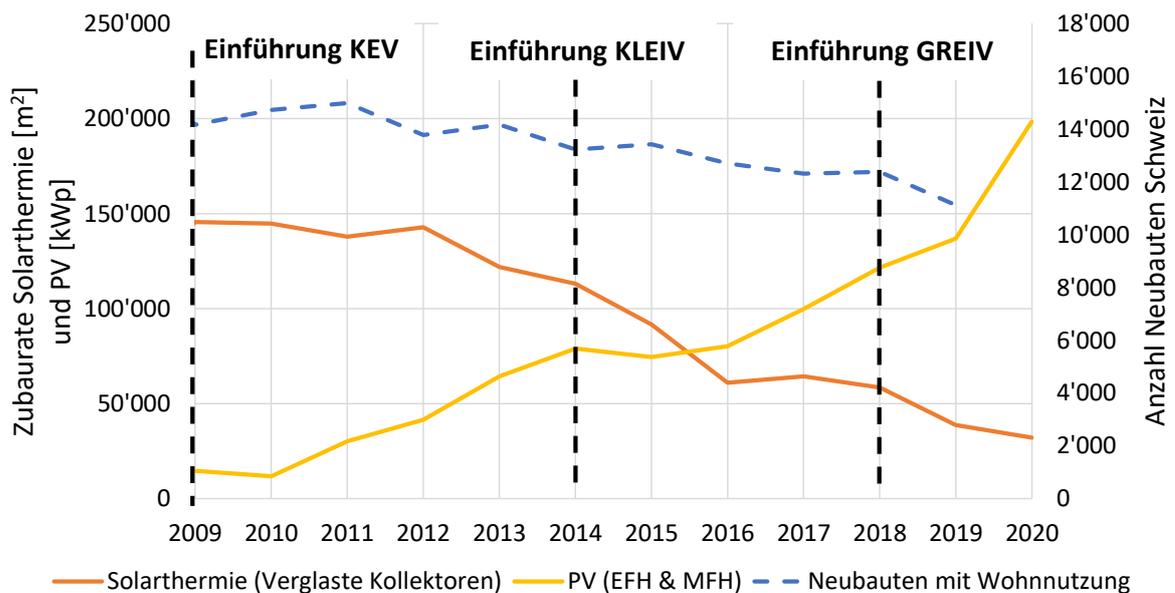


Abbildung 16: Vergleich der Zubauraten von PV und Solarthermie zwischen 2009 und 2020, Quelle: Swissolar. Im Vergleich dazu die Bautätigkeit in der Schweiz im Wohnbereich, Quelle BFS.

Betrachtet man zusätzlich die Preisentwicklung der PV wie in Abbildung 17 dargestellt, kann man feststellen, dass es im Jahr 2012 eine grösseren Preisreduktionen gegeben hat. Die Preisreduktion nimmt jedoch zwischen 2016 und 2017 deutlich ab, was vermuten lässt, dass die Kostenreduktion nicht im gleichen Tempo weiter geht. Umso interessanter ist in dieser Hinsicht die deutliche Steigerung der Zubaurate ab dem Jahr 2016 in der Schweiz. Die Einführung der Anforderung zur Eigenstromproduktion in der MuKE und dem Minergie-Standard wird diesen Trend in Zukunft noch weiter verstärken.

Es gibt kaum belastbare Daten wie sich die Kosten der Solarthermie über die Jahre entwickelt haben. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass sich die Kosten der Kollektoren nur wenig verändert haben und wenig Potenzial für Reduktionen bei den Kollektoren selber



besteht [23]. Anders sieht es aus bei den Kosten des Gesamtsystems. Hier wird nach umfangreichen Untersuchungen ein Potenzial für die Reduktion der Investitionskosten von etwa 20% und bei den Wärmegestehungskosten (WGK) von etwa 30-40% ausgegangen [24].

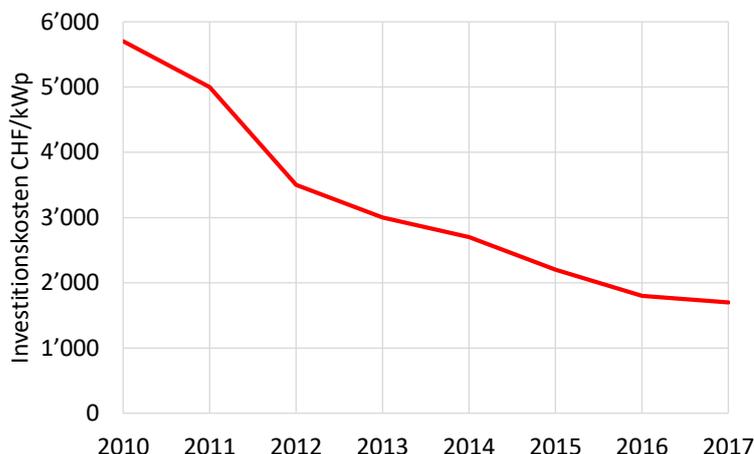


Abbildung 17: Durchschnittliche Preise zwischen 2010 und 2017 für eine 30 kWp PV Anlage in der Schweiz, Quelle: BFE [25].

Die Entwicklung der Preise von Heizöl, Erdgas und Holzpellets (Abbildung 18) zeigen zwar kurzfristige Schwankungen, jedoch bis 2020 keinen signifikanten Trend. Es ist nicht direkt ersichtlich, dass diese einen Einfluss auf die Marktentwicklung der Solarthermie hatten. Die Abwärtsbewegung der Solarthermie im Jahr 2012 startete bei eher hohen Preisen für Heizöl und Erdgas. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass eine Zeitverzögerung von zwei bis drei Jahren zwischen Planung, respektive Entscheidung der Bauherrschaft für eine Solarthermieanlage und der konkreten Umsetzung zu erwarten ist.

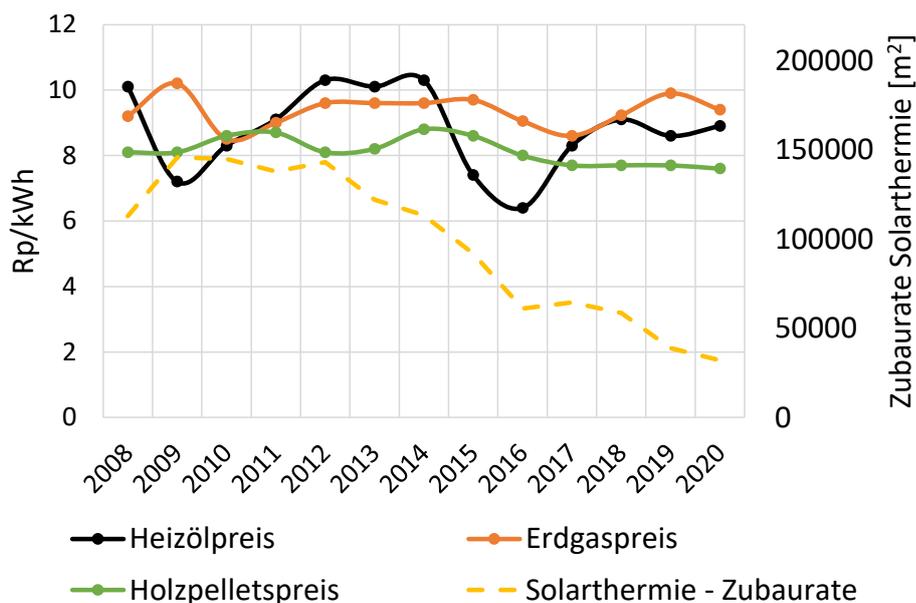


Abbildung 18: Durchschnittliche Preise von drei verschiedenen Energieträgern (Quelle: www.propellets.ch) im Vergleich zur installierten Solarkollektorfläche.



3.3 Auswertung der Datenbanken

3.3.1 Minergie

Mittels einer Auswertung der Minergie-Daten zu Neubauanträgen wurde untersucht, wie oft und in welcher Kombination mit anderen Wärmeerzeugern die Solarthermie in Wohnbauten eingesetzt wird. Detaillierte Informationen zum verwendeten Datensatz sind im Kapitel 2.1.2 beschrieben. In Abbildung 19 sind die untersuchten Anträge für Einfamilienhäuser (EFH) und Mehrfamilienhäuser (MFH) nach Wärmeerzeugerart und Heizwärmebedarfsklassen unterteilt. Die Auswertung zeigt, dass in Ein- und Mehrfamilienhäuser hauptsächlich Wärmepumpen installiert wurden. Bei den EFH beträgt der entsprechende Anteil 78% und bei den MFH 66%. Nur ein kleiner Anteil der nach Minergie zertifizierten Wohnhäuser setzen auf die alternativen Energieträger Holz (EFH: 8%, MFH: 9%), Fernwärme (EFH: 4%, MFH: 11%) und Gas (EFH: 4%, MFH: 7%). Ebenfalls nur wenige der zertifizierten Wohngebäude setzen auf eine Kombination aus zwei oder mehr Wärmeerzeugern (EFH: 6%, MFH: 7%). Der Anteil der Öl-Heizkessel liegt nahezu bei null.

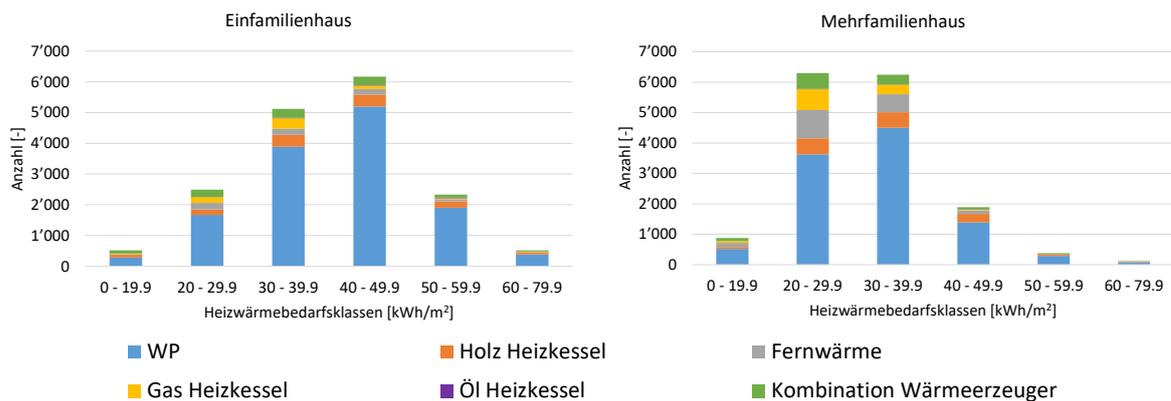


Abbildung 19: Anzahl der Minergie-Anträge unterteilt in Heizwärmebedarfsklassen und Wärmeerzeugertypen für Einfamilienhäuser im linken Diagramm und Mehrfamilienhäuser im rechten.

Die Entwicklung über die Jahre ist in Abbildung 20 und Abbildung 21 dargestellt. Dabei fällt auf, dass im Fall der EFH die fossilen Energieträger vor allem durch Wärmepumpen abgelöst wurden. Der Anteil der Holzheizungen nimmt von 2010 bis 2019 deutlich ab, was auch vor allem auf die WP zurückzuführen ist. Auch bei MFH wurden die fossilen Energieträger zwischen 2004 und 2010 vor allem durch Wärmepumpen und Holzheizungen verdrängt. Die Holzheizungen werden ab 2010 vorwiegend von der Fernwärme anteilmässig ersetzt, wobei die Anteile der Wärmepumpe bis 2019 weiter zunehmen, jedoch nicht im gleichen Masse wie bei den EFH. Die Fernwärme spielt vor allem bei MFH eine wahrnehmbare Rolle, nicht aber bei EFH.

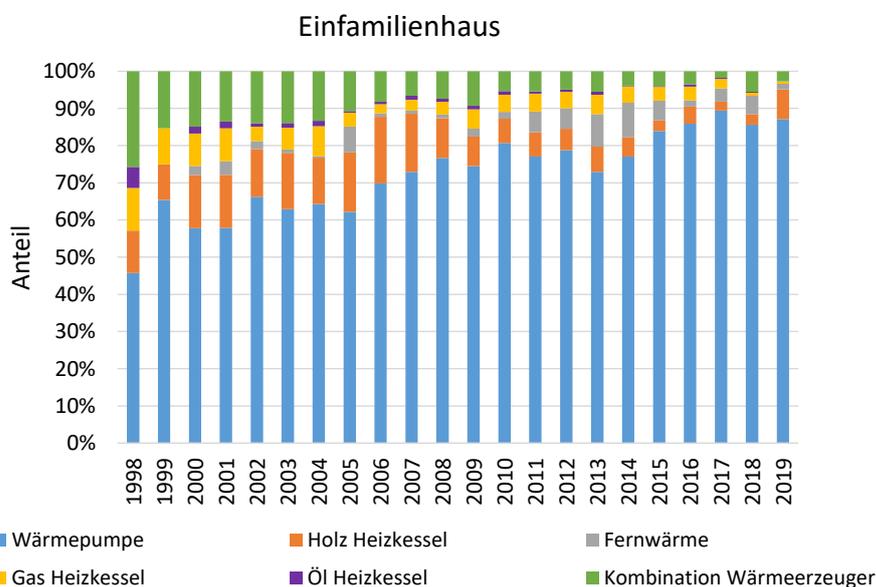


Abbildung 20: Auswertung der Anteile pro Heizungssystem und Zertifizierungsjahr für Einfamilienhäuser.

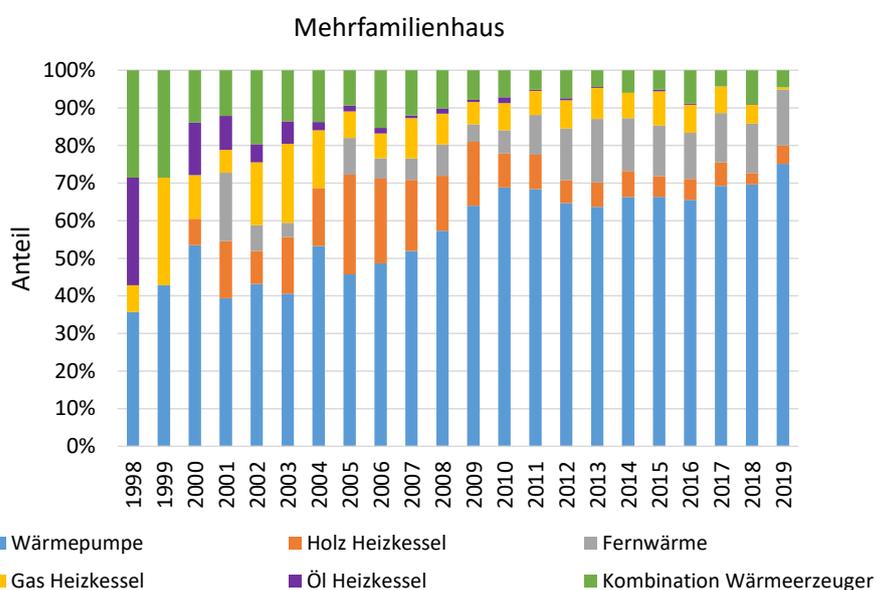


Abbildung 21: Auswertung der Anteile pro Heizungssystem und Zertifizierungsjahr für Mehrfamilienhäuser.

Bei der Wahl der Wärmequelle für die WP wird hauptsächlich auf Aussenluft oder Erdsonden gesetzt. Dies ist in Abbildung 22 und Abbildung 23 ersichtlich. Während sich bei EFH die Anzahl an Aussenluft und Erdsonden WP-Systeme gleichmässig aufteilt, werden bei MFH hauptsächlich Erdsonden WP-Systeme installiert. Die Installationsrate von Solarenergie (Solarthermie und Solarstrom) bei WP-Systemen beträgt bei den EFH 33% und bei den MFH 27%, wobei 23% der EFH und 15% der MFH eine Solarthermieanlage aufweisen (siehe zusätzliche Abbildung 86 und Abbildung 87 in Annex B).

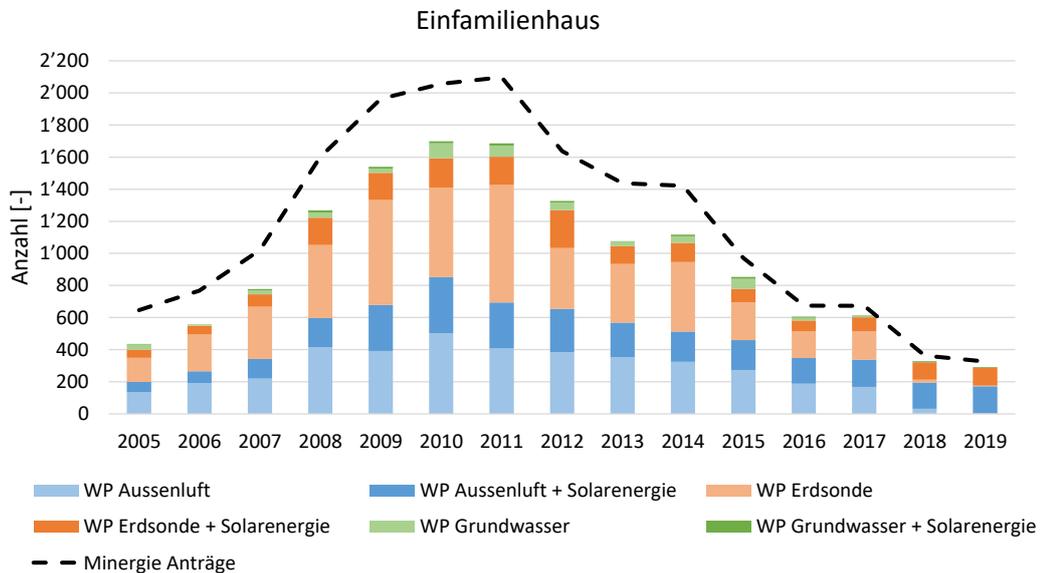


Abbildung 22: Anzahl Einfamilienhäuser mit installierter Wärmepumpe mit und ohne Solarenergie (PV&Thermie) unterteilt nach Energiequelle und Zertifizierungsjahr; «Minergie-Anträge» beinhaltet zusätzlich Holzheizungen, Fernwärme, etc.

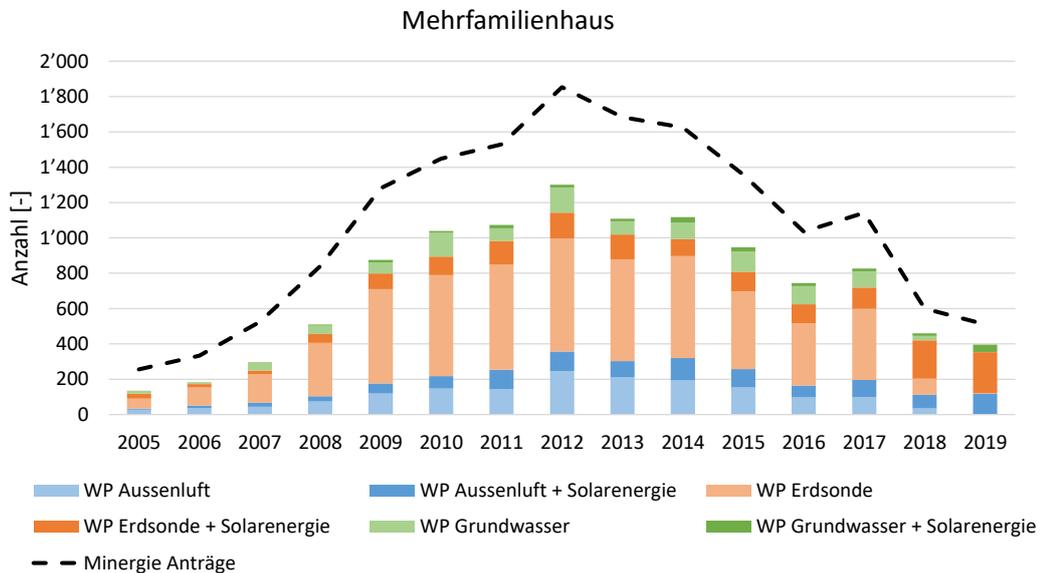


Abbildung 23: Anzahl Mehrfamilienhäuser mit installierter Wärmepumpe mit und ohne Solarenergie (PV&Thermie) unterteilt nach Energiequelle und Zertifizierungsjahr; «Minergie-Anträge» beinhaltet zusätzlich Holzheizungen, Fernwärme, etc.

Die Aufteilung der Anteile von Solarthermie, Photovoltaik oder der Kombination beider Systeme für die häufig genutzten Energiequellen Aussenluft und Erdsonden ist in Abbildung 24 und Abbildung 25 nach Antragsjahr aufgeführt. Die Solarstrom- und Solarthermieproduktion steht aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Dachfläche in Wohngebäuden in direkter Konkurrenz. Die Auswertung der Solarenergietechnologien in Kombination mit



Wärmepumpen bei Ein- und Mehrfamilienhäusern präsentieren ab dem Jahr 2013 eine deutliche Abnahme der Solarthermie und eine Zunahme der Photovoltaik (PV). Die alleinige Nutzung der Dachfläche für die Installation einer Solarthermieanlage tendierte in den letzten Jahren gegen null, wobei auch die Anzahl an Minergie-Anträgen seit dem Jahr 2018 deutlich abnahm. Neben dem starken Anstieg der Installationsrate von Photovoltaikanlagen ist auch eine leichte Zunahme in der Kombination von Solarthermie und Photovoltaikanlagen in den Grafiken ersichtlich. Die Erfassung der PV-Installationen wurde ab dem Jahr 2013 vom Verein Minergie angepasst, sodass der Anteil an PV-Anlagen vor dem Jahr 2013 möglicherweise höher ausfällt als in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt.

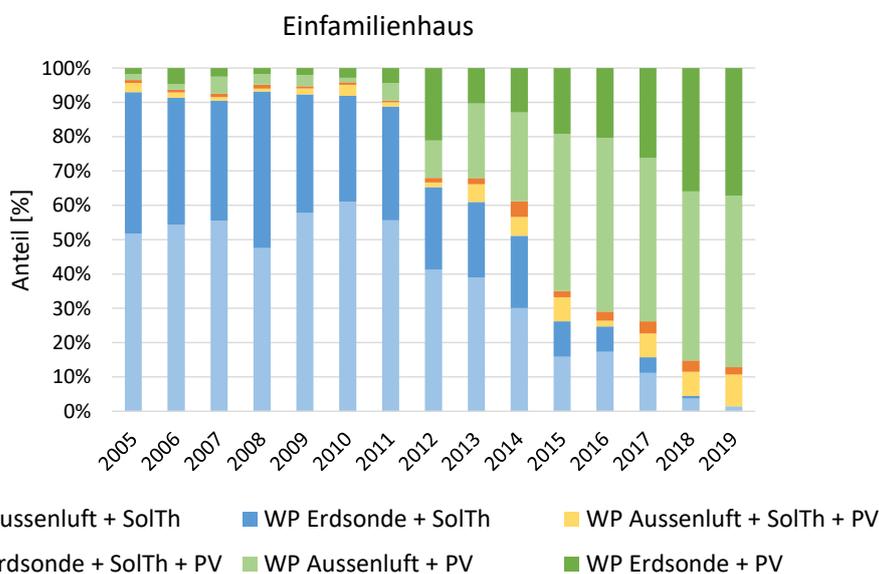


Abbildung 24: Aufschlüsselung der Solarenergie in die Anteile Solarthermie, Photovoltaik und deren Kombination für die installierten Aussenluft- und Erdsonden-Wärmepumpen in Einfamilienhäusern.

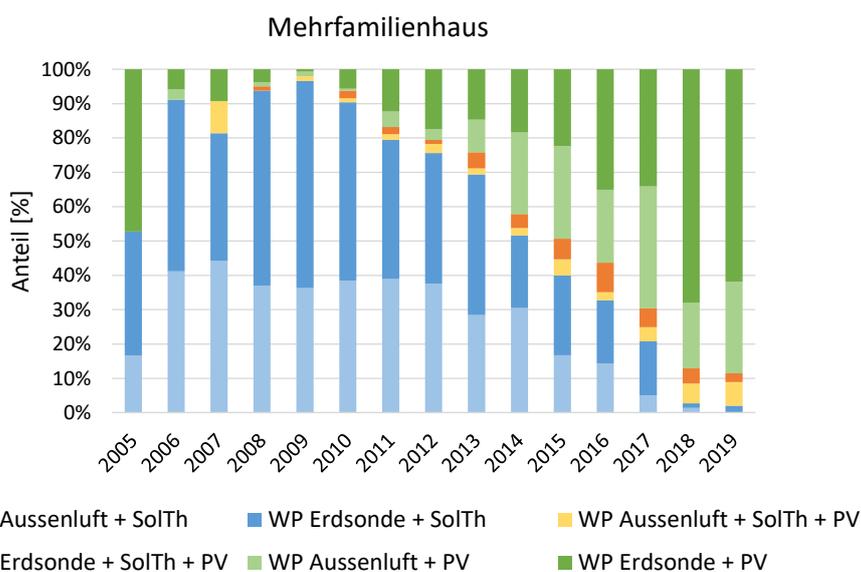


Abbildung 25: Aufschlüsselung der Solarenergie in die Anteile Solarthermie, Photovoltaik und deren Kombination für die installierten Aussenluft- und Erdsonden-Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern.

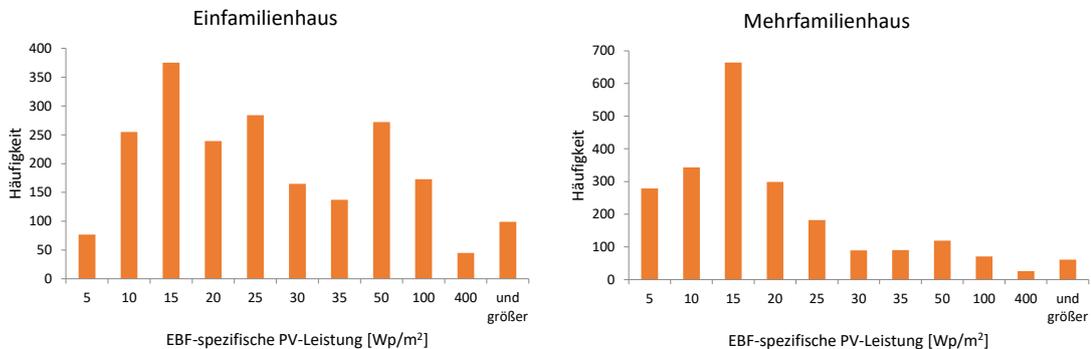


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der installierten EBF-spezifischen PV-Leistung für Einfamilienhäuser links und für Mehrfamilienhäuser rechts dargestellt. Um die Lesbarkeit zu erhöhen, wurde in der X-Achse nur die obere Grenze des Intervalls angegeben. Die Auswertung bezieht sich auf den Zeitraum von 2013 bis und mit 2019.

In der Abbildung 26 ist die Häufigkeitsverteilung der installierten PV-Leistung bezogen auf die EBF dargestellt. Die Auswertung zeigt, dass die meisten PV-Anlagen grösser dimensioniert sind als die geforderten $10 \text{ W}_{\text{peak}}/(\text{m}^2 \text{ EBF})$. Nur verhältnismässig wenige Anlagen haben eine geringere spezifische Leistung. Diese wurden zum grössten Teil vor 2017 umgesetzt. Bei den EFH sind es 67% der Anlagen und bei den MFH 42% die $15 \text{ W}_{\text{peak}}/(\text{m}^2 \text{ EBF})$ und mehr aufweisen. Dieser hohe Anteil der installierten PV-Anlagen mit einer EBF-spezifischen Leistung von mehr als $10 \text{ W}_{\text{peak}}/(\text{m}^2 \text{ EBF})$ lässt vermuten, dass bei Neubauten im speziellen bei EFH die geeigneten Dachflächen in einigen Fällen komplett für den Bau von PV Anlage verwendet werden. Es wird vermutlich häufig ein Optimum angestrebt und weniger das geforderte Minimum.

Die Kombination von Solarthermie und Holzheizungen ist aus energetischer und technischer Sicht sinnvoll, weshalb untersucht wurde, wie oft Solarthermie in Kombination mit Holz-Heizkesseln ausgeführt wurde. Die Resultate sind in Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl an installierten Holz-Heizkesseln in Minergie-Wohngebäuden vergleichsweise gering ausfällt (siehe Abbildung 19). Bei den EFH sind 69% der Anträge mit Holz-Heizkessel und Solarenergie (PV oder Thermie) kombiniert, wobei 59% der Anträge eine Solarthermieanlage ausweisen. Bei den MFH liegt der Anteil der Anträge mit Holz-Heizkessel, welche mit Solarenergie kombiniert sind nur bei 47%, wobei auch bei den MFH die Mehrheit (37%) eine Solarthermie Anlage ausweisen. Ein Grund für den geringeren Anteil an Solarthermie bei den MFH ist vermutlich die vermehrte Nutzung von grösseren Holzhackschnitzelanlagen, welche mehrere Gebäude versorgen. Wir vermuten, dass diese häufig ohne Solarthermie gebaut werden, was aber mit den zur Verfügung stehenden Daten nicht überprüft werden konnte. Ab dem Jahr 2016 ist trotz der geringeren Anzahl an Minergie-Anträgen sowohl im EFH- wie auch im MFH-Bereich eine leichte Abnahme der Solarthermie hin zur PV oder der kombinierten Solarlösungen zu erkennen.

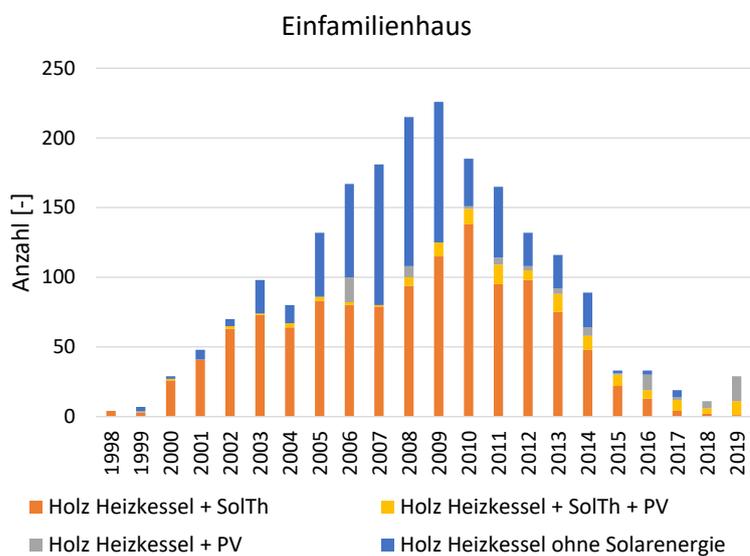


Abbildung 27: Jährliche Installationsrate von Holz-Heizkessel mit und ohne Solarenergie in neuen Einfamilienhäusern.

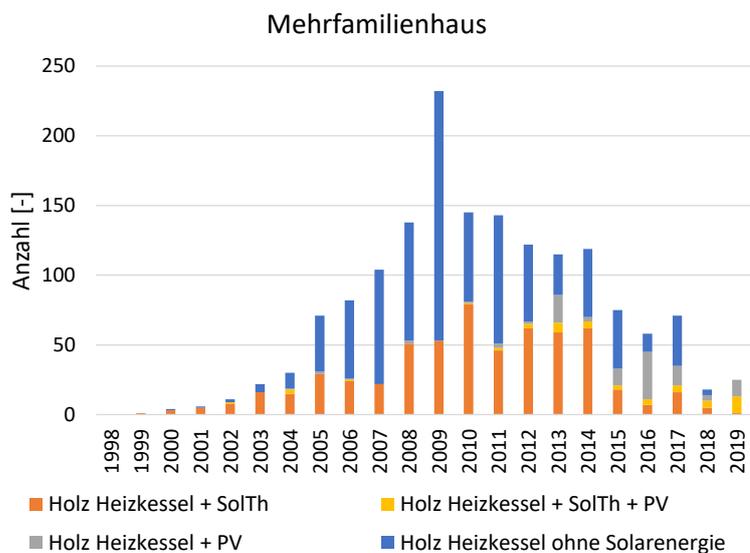


Abbildung 28: Jährliche Installationsrate von Holz-Heizkessel mit und ohne Solarenergie in neuen Mehrfamilienhäusern.



3.3.2 GEAK

Der Datenpool von GEAK-Untersuchungen ermöglicht die Analyse von Solarthermieanlagen sowie den damit kombinierten Wärmeerzeugern im Bestand («Ist-Zustand») und in den unterbreiteten Optimierungsvarianten der Experten. Dafür wurden in einem ersten Schritt die relevantesten Wärmeerzeugersysteme nach Gebäudehülleneffizienzklassen in Abbildung 29 und Abbildung 30 dargestellt.

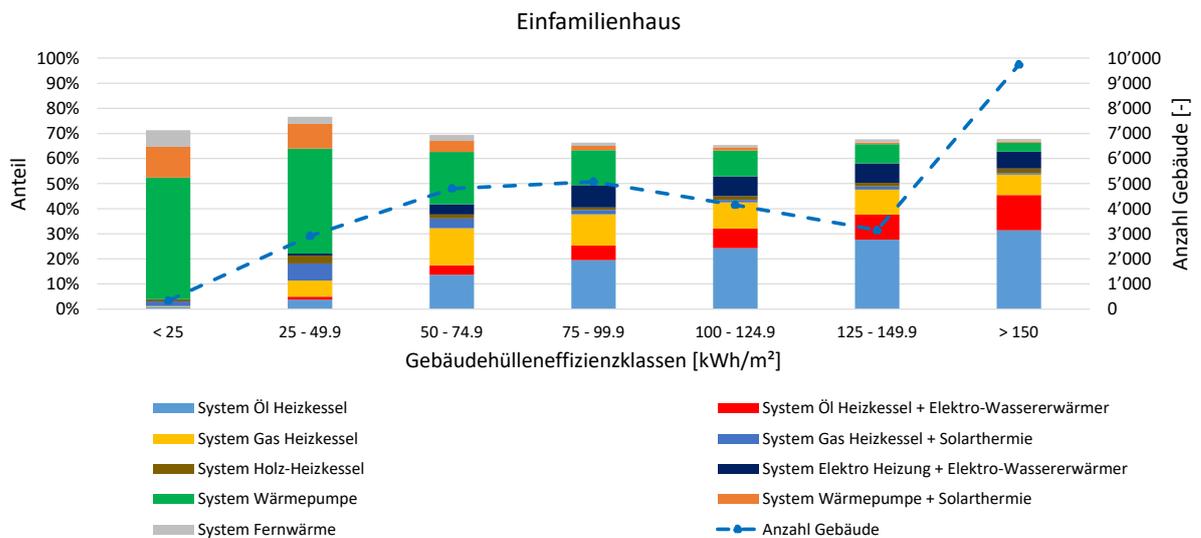


Abbildung 29: Anteil der nach Gebäudehülleneffizienzklassen unterteilten Wärmeerzeugersysteme im «Ist-Zustand» an der Gesamtzahl der ausgewerteten Einfamilienhäuser.

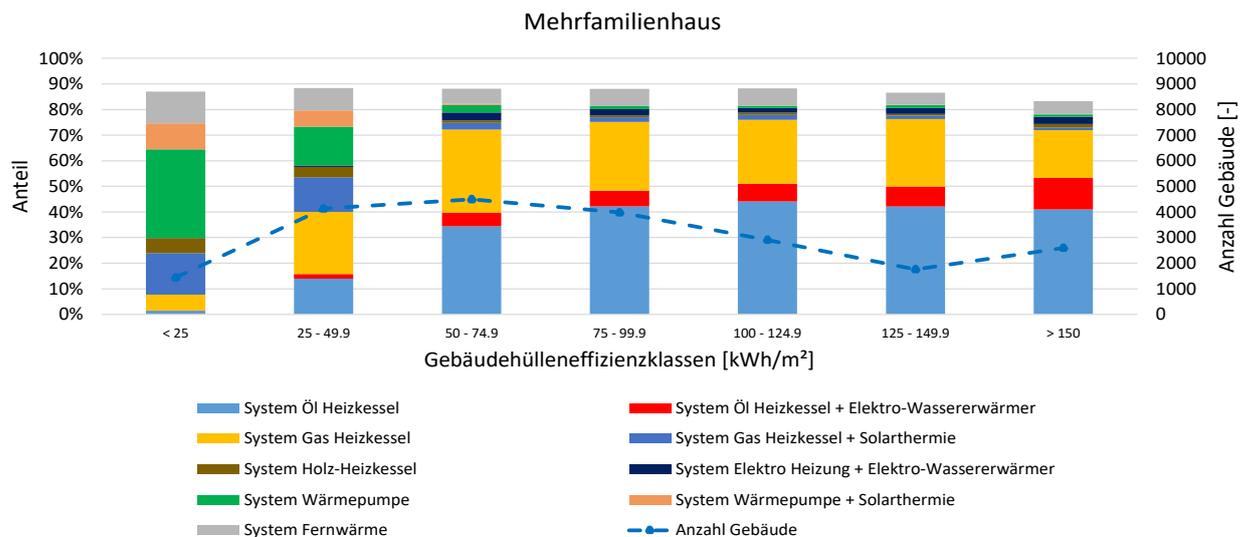


Abbildung 30: Anteil der nach Gebäudehülleneffizienzklassen unterteilten Wärmeerzeugersysteme im «Ist-Zustand» an der Gesamtzahl der ausgewerteten Mehrfamilienhäuser.

In den beiden vorangehenden Abbildungen werden die Standard-Wärmeerzeugersysteme im Bestand nach Häufigkeit in Gebäudehülleneffizienzklassen gruppiert. Die in den Abbildungen



fehlenden Wärmeerzeugersysteme zur Erreichung von 100% (EFH ca. 30% und MFH ca. 12%) sind Kombinationen von zwei oder mehr Wärmeerzeugern, welche aufgrund des kleinen Anteils nicht als Standardsystem abgebildet werden. In Einfamilienhäuser mit guter Wärmedämmung werden hauptsächlich Wärmepumpen als Wärmeerzeuger eingesetzt, wobei ein Anteil von 10-15% der Wärmepumpen-Systeme mit einer Solarthermieanlage kombiniert wurden. Mit steigendem Heizwärmebedarf im Bestand der EFH steigt auch der Anteil an Öl- und Gas-Heizkessel, sowie der Einsatz von Elektroheizungen und/oder Elektro-Wassererwärmern. Im MFH Bestand fällt der Anteil des Wärmeerzeugersystems Wärmepumpe mit und ohne Solarthermieanlage im Vergleich zu den EFH geringer aus. Ebenfalls wichtige Standardsysteme für MFH mit guter Gebäudehülle sind Gas-Heizkessel mit und ohne Solarthermieanlage sowie die Nutzung von Fernwärme zur Wärmeerzeugung. Bei steigendem Heizwärmebedarf in den MFH dominieren gemäss den GEAK-Nachweisen die fossilen Wärmeerzeuger Öl und Gas deutlich. In EFH und MFH wird in zwei von insgesamt zehn Standardsystemen Solarthermie zur Wärmeerzeugung in Wohngebäuden eingesetzt.

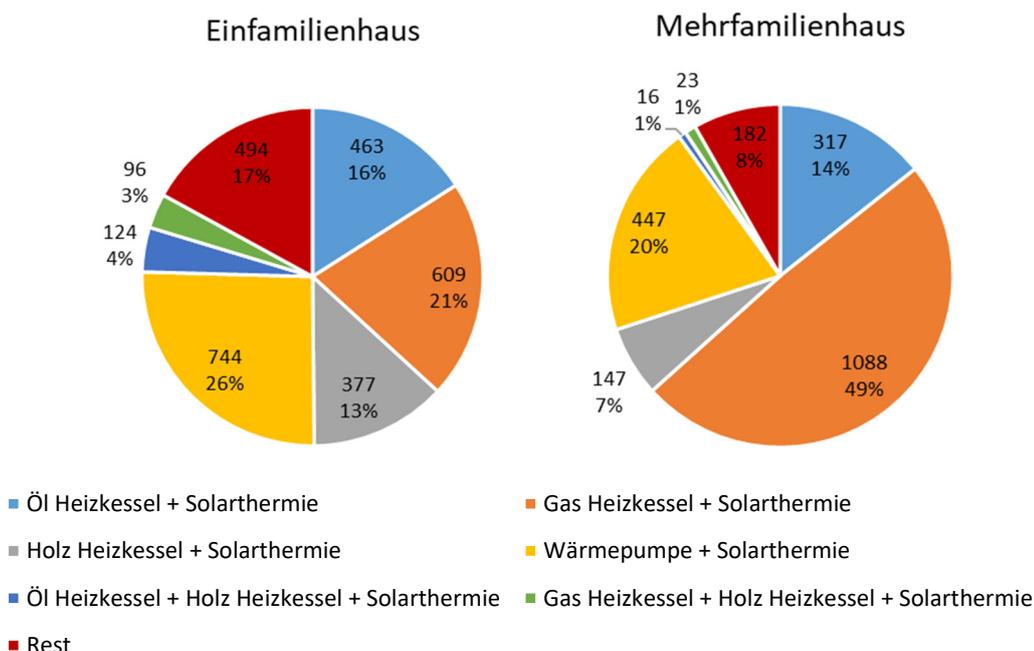


Abbildung 31: Aufteilung der unterschiedlichen Wärmeerzeugersysteme mit Solarthermie in Wohngebäuden.

Die Anzahl installierter Solarthermieanlagen im Bestand belaufen sich auf 2'907 Anlagen in EFH und 2'220 Anlagen in MFH. Diese Anzahl entspricht für beide Gebäudetypen einem Anteil von 10% der GEAK-Bestandsaufnahmen. In Abbildung 31 sind die unterschiedlichen Kombinationen von Heizung und Solarthermie aufgeführt. Dabei ist ersichtlich, dass im EFH die Aufteilung gleichmässiger ist als im MFH. Im MFH dominiert die Gas-Solar-Kombination mit fast 50%. Überraschend hoch mit 26% ist der Anteil an Wärmepumpen-Solar-Systemen im EFH. Die Rubrik "Rest" beinhaltet alle Systeme die mehrere unterschiedliche Wärmeerzeuger aufweisen, eher Spezialfälle sind und entsprechend eine geringe Relevanz haben.



Neben der Nutzung von Solarthermie im Wohngebäudebestand können aus der GEAK-Datenbank auch die Empfehlungen zur Gebäude- oder Heizungsmodernisierung des GEAK-Experten ausgewertet werden. Die Auswertung der Optimierungsvorschläge soll zeigen, wie oft und in welcher Kombination Solarthermie zur Wärmeerzeugung vorgeschlagen wird. Dazu wurden in Abbildung 32 und Abbildung 33 die Anzahl der ausgewählten Optimierungsmassnahmen dargestellt.

Die Auswertung zeigt, dass in Ein- und Mehrfamilienhäusern am häufigsten eine Gebäudehüllenoptimierung als Teil der Optimierungsvarianten vorgeschlagen wurde. In EFH stieg ab dem Jahr 2017 mit vielen durchgeführten GEAK-Nachweisen neben der Gebäudehüllenoptimierung auch die Empfehlung zur Installation einer Wärmepumpe. Auch bei den MFH stieg, trotz der sinkenden Anzahl an GEAK-Nachweisen ab dem Jahr 2018, die Anzahl der Empfehlungen von Wärmepumpen-Systemen an. Der Anteil an Empfehlungen für eine neue Solarthermie Anlage für EFH lag 2013 bei einem Höchstwert von 30% und sank auf 10% in den Jahren 2017 bis 2019. Dieser Trend lässt sich auch bei den MFH in weniger deutlicher Form nachweisen. Der Höchstwert an Solarthermie-Empfehlung liegt ebenfalls mit 22% im Jahr 2013, sinkt danach im Vergleich zu den EFH aber weniger stark auf einen Anteil von 14% der Empfehlungen in den Jahren 2017 bis 2019. Den gegenteiligen Trend weist die Empfehlung zu Photovoltaikanlagen (PV) bei Ein- und Mehrfamilienhäusern auf. Die Empfehlung zur Installation einer PV-Anlage erhöht sich bei EFH von 5% im Jahr 2013 auf 33% im Jahr 2019. Auch bei MFH stieg der Anteil der Empfehlung für eine PV-Anlage von 3% im Jahr 2013 auf 25% im Jahr 2019.

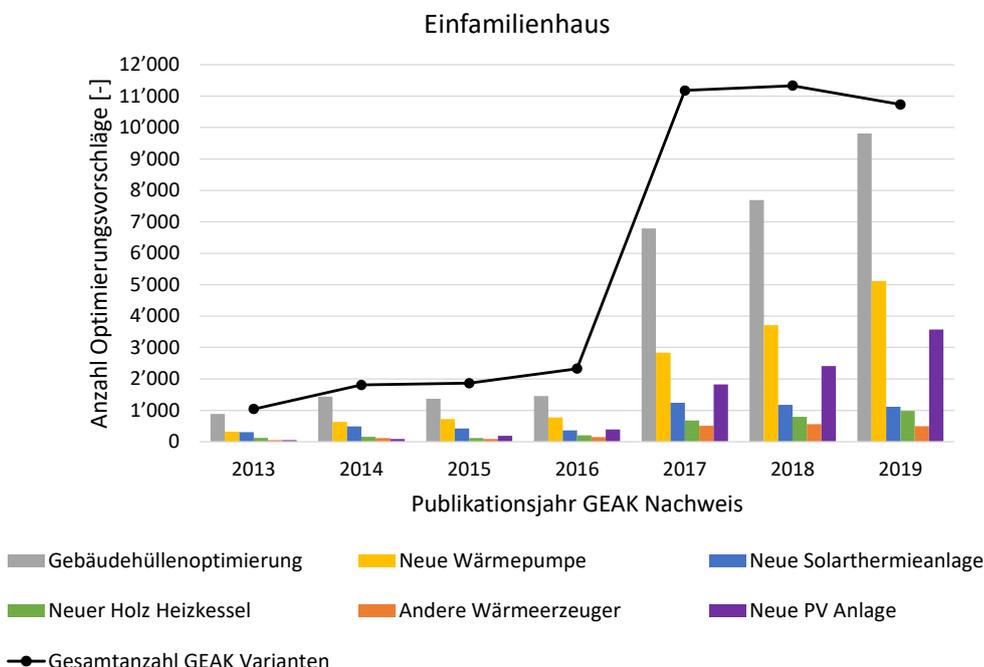


Abbildung 32: Anzahl unterbreitete Optimierungsvorschläge in den ausgearbeiteten GEAK-Varianten für Einfamilienhäuser, unterteilt nach GEAK-Publikationsjahr. Die Gesamtanzahl der GEAK-Varianten ist die Summe aller Varianten.

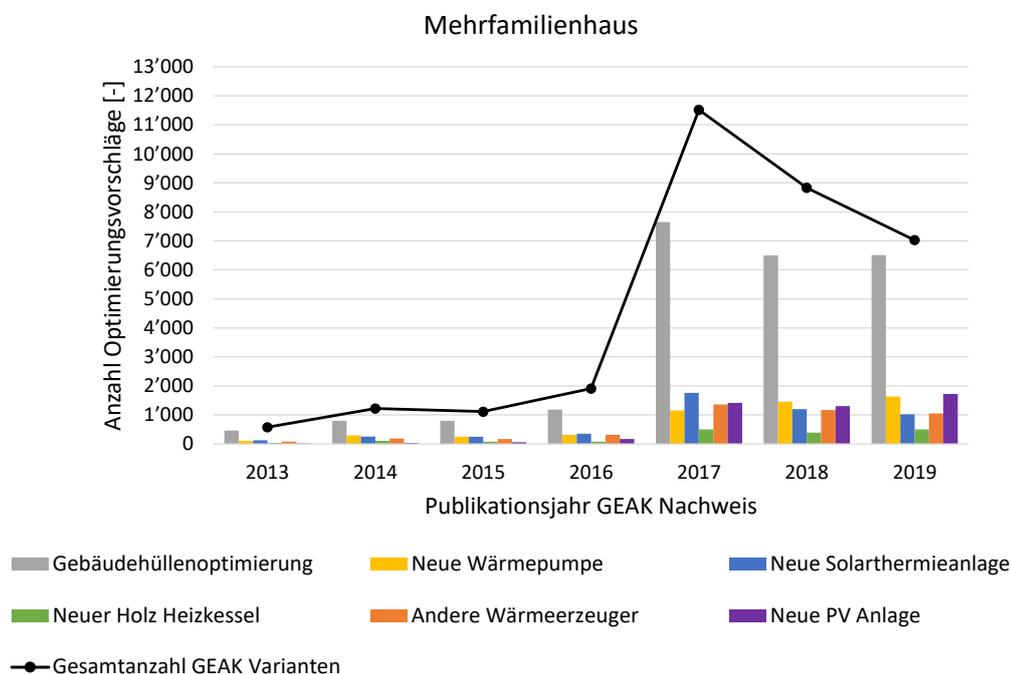


Abbildung 33: Anzahl unterbreitete Optimierungsvorschläge in den ausgearbeiteten GEAK-Varianten für Mehrfamilienhäuser, unterteilt nach GEAK-Publikationsjahr. Die Gesamtanzahl GEAK-Varianten ist die Summe aller Varianten.

In Abbildung 34 und Abbildung 35 wird weiter untersucht, wie oft in den GEAK-Varianten die Installation eines neuen Wärmeerzeugers in Kombination mit Solarthermie empfohlen wurde. Die Auswertung weist bei Ein- und Mehrfamilienhäusern auf eine rückläufige Empfehlung der Kombination von Wärmepumpen sowie Heizkesseln (Holz, Gas und Öl) mit Solarthermie hin. Dabei fällt in den GEAK-Varianten der geringe Anteil von 20 - 30% der Empfehlung eines neuen Heizkessels in Kombination mit einer Solarthermieanlage im Jahr 2019 auf. In 70 - 80% der Empfehlungen zur Installation eines neuen Heizkessels wird auf die Kombination mit Solarthermie verzichtet. Diese Erkenntnis ist ernüchternd, da hier von Seiten der Industrie ein grosses Marktpotenzial für die Solarthermie erwartet wird, und die Kombination von Holzkesseleln mit Solarthermie auch aus technischer Sicht sinnvoll ist (Reduktion von Emissionen und Takten, bessere Betriebszustände, sinnvollerer Einsatz der im Holz gespeicherten Energie im Winter, etc.).

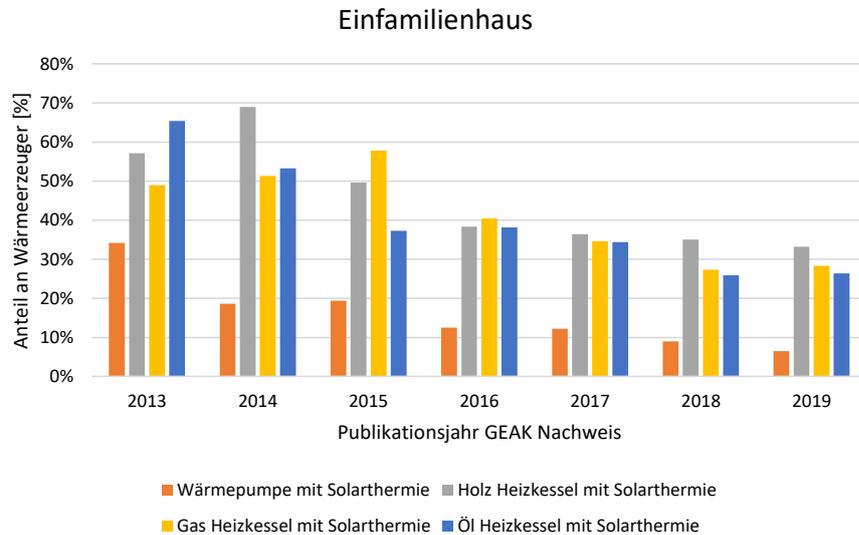


Abbildung 34: Anteil der Empfehlungen zur Installation eines neuen Wärmeerzeugers in Kombination mit einer Solarthermieanlage für Einfamilienhäuser.

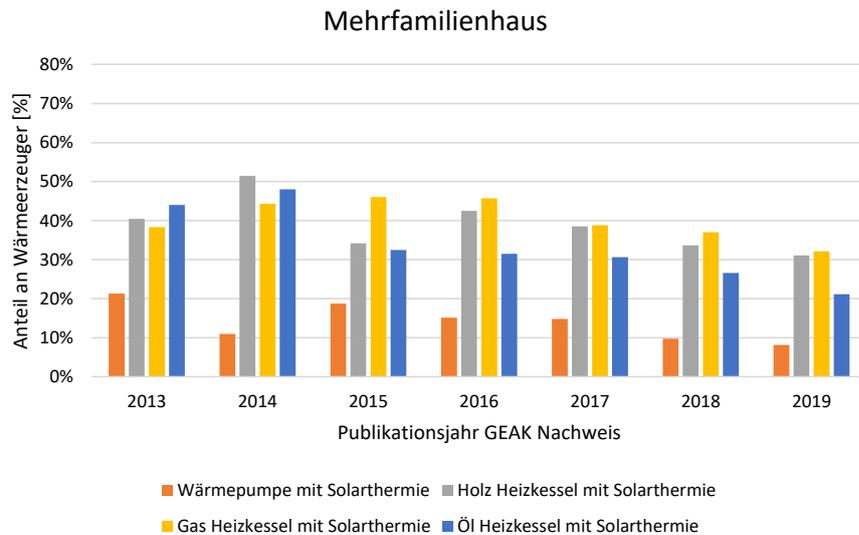


Abbildung 35: Anteil der Empfehlungen zur Installation eines neuen Wärmeerzeugers in Kombination mit einer Solarthermieanlage für Mehrfamilienhäuser.

In Abbildung 36 und Abbildung 37 wird aufgrund der oben beschriebenen Feststellung, detaillierter untersucht, mit welchen Optimierungsvorschlägen ein neuer Holz-Heizkessel anstelle einer Solarthermieanlage in den GEAK-Varianten kombiniert wird. Sowohl bei Ein- wie auch Mehrfamilienhäusern wird über den Auswertungszeitraum bei 70% bis 90% der Varianten mit einem neuen Holz-Heizkessel auch eine Verbesserung der Gebäudehülle empfohlen. In EFH lag der Höchstwert zur Empfehlung einer Solarthermieanlage in Kombination mit Holz mit 68% aller Varianten im Jahr 2014. Ab dem Jahr 2015 begann bei den EFH die vermehrte Empfehlung zu PV-Anlagen in Kombination oder Anstelle von Solarthermie. Mit dem Anstieg der PV Empfehlung ab dem Jahr 2015 lässt sich in Abbildung 36 bei den EFH auch ein deutlicher Anstieg der Wärmepumpenboiler (WP-Boiler) zur Warmwassererzeugung erkennen, welcher eine weitere Konkurrenz zur Solarthermie darstellt.



Bei den MFH (Abbildung 37) lag die Empfehlung zur Kombination von Holz-Heizkesseln mit Solartechnik mit anfangs ca. 40% tiefer als in EFH. Ab dem Jahr 2017 ist die Reduktion der Empfehlung beinahe identisch. Die Empfehlung zur Kombination eines Holz-Heizkessels mit Solarthermie lag im Jahr 2014 noch bei ca. 50% und reduziert sich bis in das Jahr 2019 zu einer gleich häufigen Empfehlung der Dachnutzung für Solarthermie oder für PV-Anlagen. Der Anstieg der Empfehlungen zur Installation eines WP-Boiler ist bei den MFH nicht so deutlich zu erkennen, wie dies bei den EFH der Fall ist, was nicht überrascht, da eine dezentrale Warmwasserversorgung für MFH in der Schweiz nicht die Regel ist.

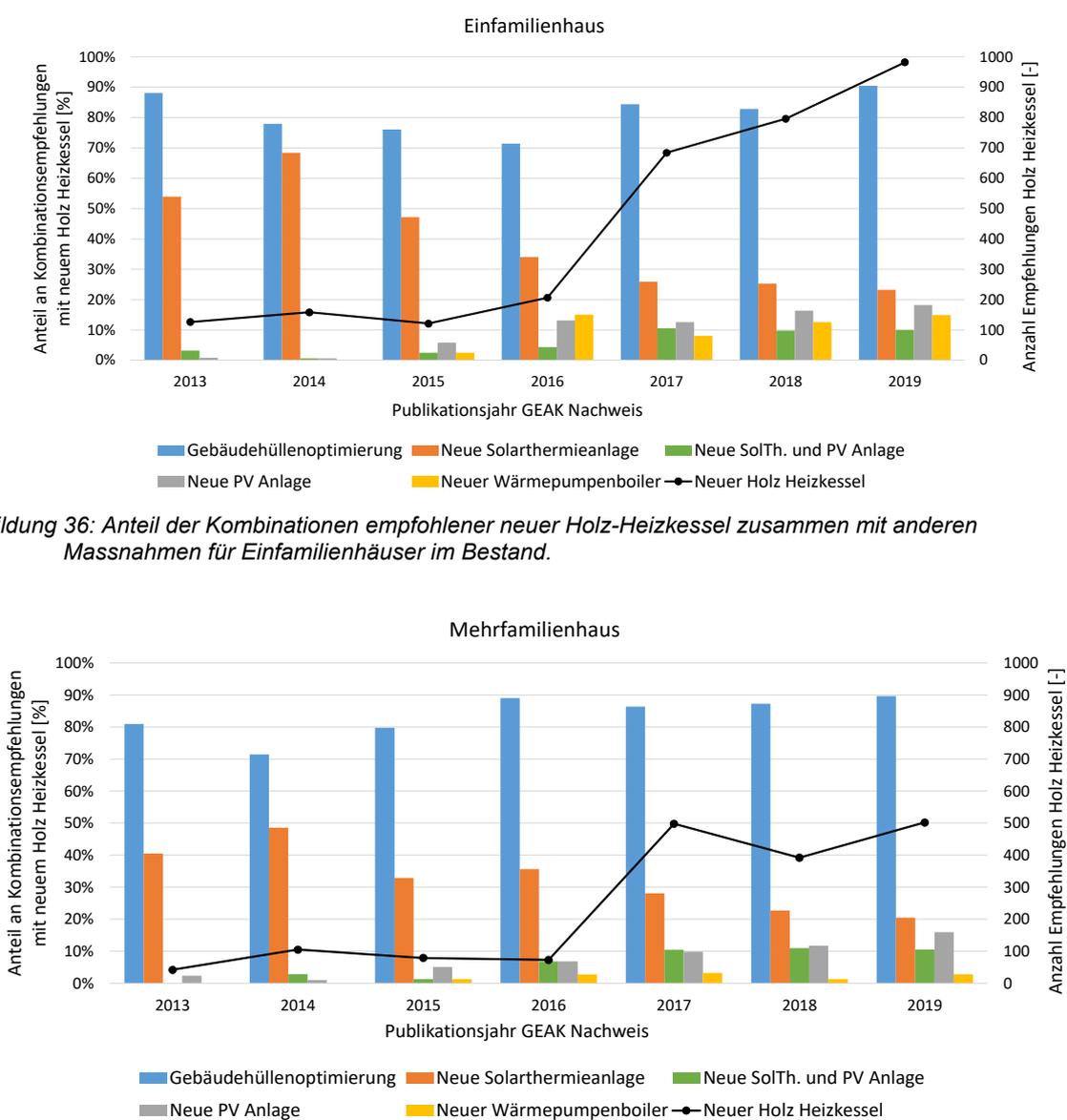


Abbildung 36: Anteil der Kombinationen empfohlener neuer Holz-Heizkessel zusammen mit anderen Massnahmen für Einfamilienhäuser im Bestand.

Abbildung 37: Anteil der Kombinationen empfohlener neuer Holz-Heizkessel zusammen mit anderen Massnahmen für Mehrfamilienhäuser im Bestand.



In Abbildung 38 und Abbildung 39 sind direkte Vergleiche der Empfehlungen zur Installation von Solarthermie und WP-Boiler dargestellt.

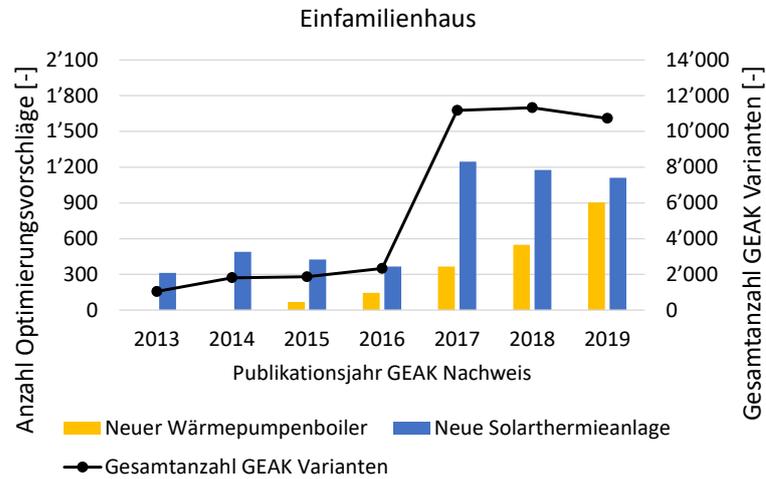


Abbildung 38: Vergleich der unterbreiteten Optimierungsvorschläge zur Installation eines Wärmepumpenboilers oder einer Solarthermieanlage nach Publikationsjahr des GEAK-Nachweises für Einfamilienhäuser.

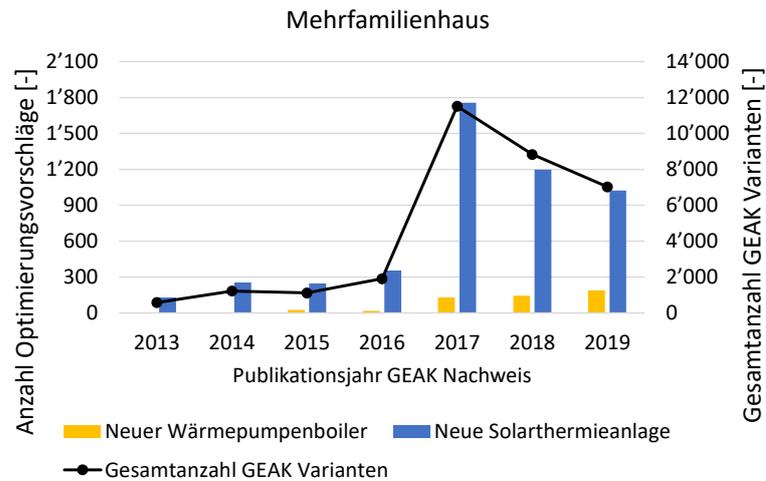


Abbildung 39: Vergleich der unterbreiteten Optimierungsvorschläge zur Installation eines Wärmepumpenboilers oder einer Solarthermieanlage nach Publikationsjahr des GEAK-Nachweises für Mehrfamilienhäuser.



3.3.3 Basel-Landschaft

Die Daten des Kantons BL sind interessant, da dieser als einer der ersten Kantone schon 2017 die MuKE n 2014 eingeführt hat. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Implementierung in einigen Punkten abweicht von der eigentlichen MuKE n:

- Teil E (MuKE n 2014): Keine Umsetzung der Anforderung an die Eigenstromerzeugung bei Neubauten
- Teil F (MuKE n 2014): Sowohl bei Neubauten als auch beim Ersatz eines zentralen Brauchwarmwassererwärmers muss das Warmwasser zu mindestens 50% mit erneuerbarer Energie oder mit Abwärme erwärmt werden. Diese Regelung ist seit 2017 in Kraft.
- Keine Einführung der gewichteten Energiekennzahl

In Abbildung 40 ist für sanierte und neue EFH die Aufteilung der Wärmeerzeuger für die Jahre 2010 bis 2018 aufgeführt. Wie auch bei Minergie dominiert die Wärmepumpe beim Neubau, den zweit grössten Anteil macht Gas mit etwa 14% im Jahr 2018 aus. Im Sanierungsfall dominieren mit einem Anteil von mehr als 50% Ölheizungen und Gasheizungen. Die Wärmepumpe konnte über die Jahre keine wesentlichen Anteile dazu gewinnen. Ein ähnliches Bild zeigt sich für die MFH in Abbildung 41, wobei im Sanierungsfall und im Neubau die Anteile der Fernwärme etwas grösser sind.

Durch die Anforderung, dass 50% des Brauchwarmwassers mittels erneuerbarer Energien erzeugt werden muss, wäre die Vermutung naheliegend, dass die Solarthermie davon profitieren könnte. Jedoch zeigt die Auswertung in Abbildung 42, in welcher alle Gebäudetypen berücksichtigt sind, dass gerade die Wärmepumpen immer weniger mit einer Solarthermieanlage kombiniert werden. Gas- und Holzheizungen zeigen auch einen Abwärtstrend, jedoch ist dieser viel weniger ausgeprägt im Vergleich zu den WP. Die Anzahl an gemeldeten EFH, die neu erstellt oder saniert wurden, hat zwischen 2010 und 2018 um 26% abgenommen und bei den MFH um 13% zugenommen (Abbildung 5). Dass nicht die veränderte Bautätigkeit den Hauptanteil ausmacht bei der Reduktion der Solarthermieanlagen wird in der Abbildung 43 deutlich. In dieser ist ersichtlich, dass der Anteil an Wärmepumpensystemen kombiniert mit Solarthermie auch relativ zur gesamten WP-Anzahl abnimmt. Dabei scheint bis 2018 die PV der Grund dafür zu sein, da der Anteil Wärmepumpen mit einer PV Anlage deutlich ansteigt, jedoch im Jahr 2018 je absinkt. Dies ist mit einer veränderten Vollzugspraxis zu erklären. Vor dem Jahr 2017 mussten Luft-Wärmepumpen in Neubauten generell mit einer thermischen Solaranlage für Warmwasser ausgerüstet werden.

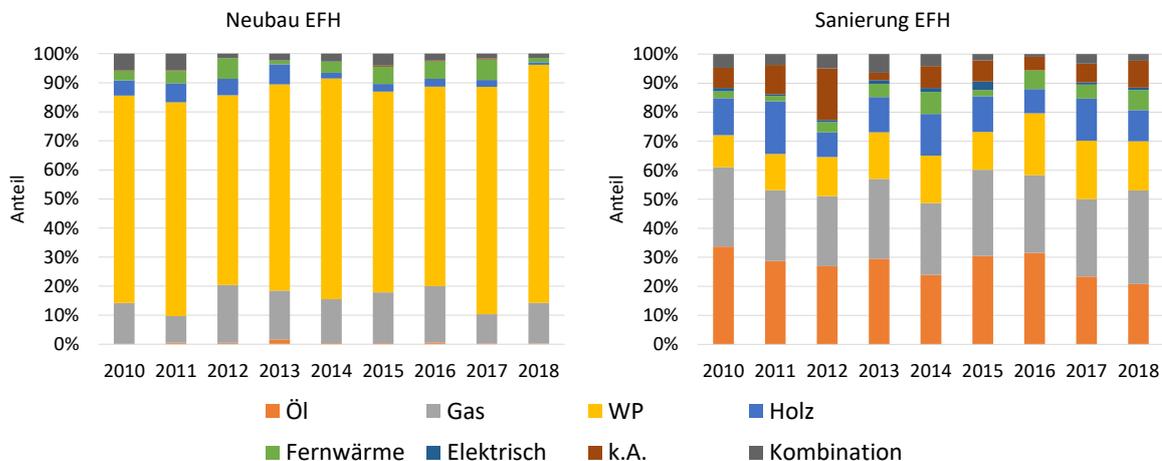


Abbildung 40: Anteil der installierten Wärmeerzeuger an der Gesamtanzahl für neue Einfamilienhäuser (links) und für den Sanierungsfall (rechts) für die Jahre 2010 bis 2018.

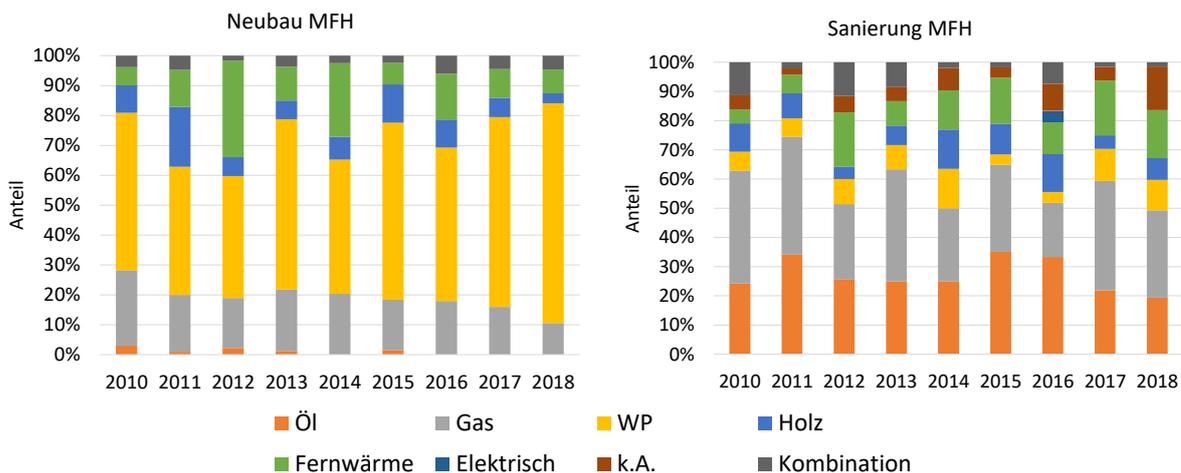


Abbildung 41: Anteil der installierten Wärmeerzeuger an der Gesamtanzahl für neue Mehrfamilienhäuser (links) und für den Sanierungsfall (rechts) für die Jahre 2010 bis 2018.

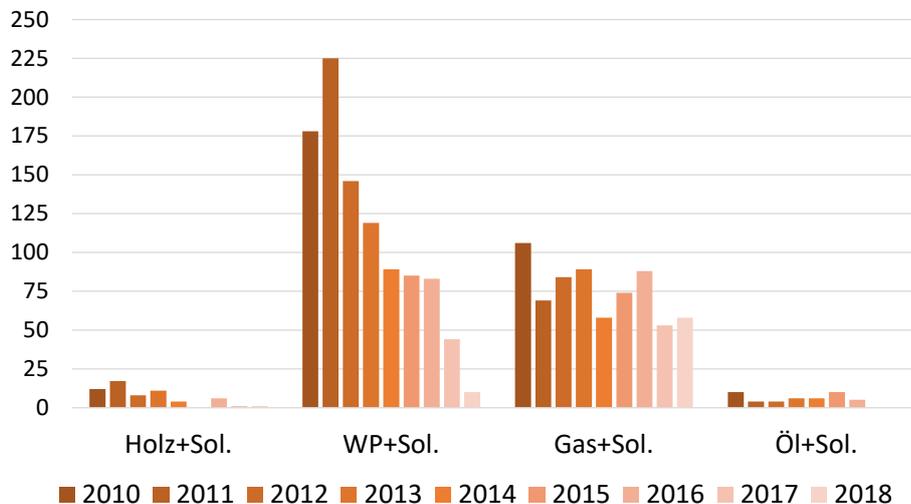


Abbildung 42: Auswertung der Installierten Heizungssysteme mit einer Solarthermieanlage, aufgeschlüsselt nach Jahr und Systemtyp. Berücksichtigt wurden neue und sanierte Ein- und Mehrfamilienhäuser (Summe).

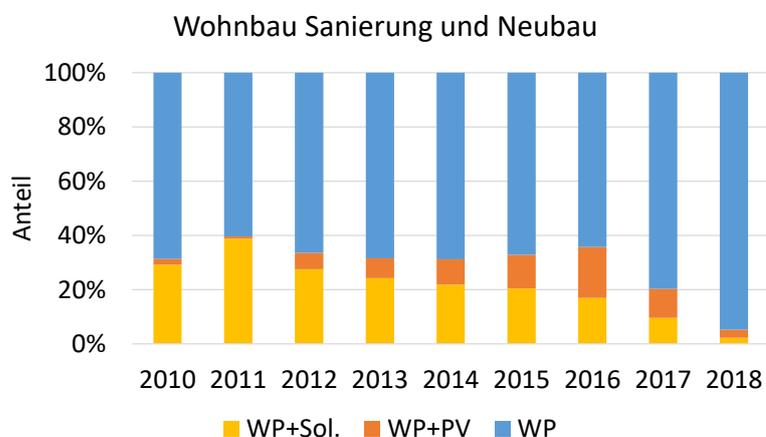


Abbildung 43: Auswertung der installierten Wärmepumpen, aufgeschlüsselt nach Jahr und Solarkombination. Berücksichtigt wurden neue und sanierte Ein- und Mehrfamilienhäuser.

3.3.4 Fazit

Die Auswertung der drei Datensätze gibt einige Hinweise darauf, wieso der Solarthermie Markt mit sinkenden Verkaufszahlen in der Schweiz konfrontiert ist. Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Datenauswertung sind:

- Die Flächenkonkurrenz zwischen der PV und der Solarthermie, und die Bevorzugung der PV in Kombination mit Wärmepumpen, sind mit grosser Wahrscheinlichkeit die Hauptgründe, wieso in der Schweiz die Solarthermie zwischen 2012 und 2020 stark rückläufig ist. Dazu kommt der starke Rückgang fossiler Heizungen im Neubau, die früher oft mit Solarthermie kombiniert wurden.
- Das dominierende Heizungssystem im Neubau ist die Wärmepumpe. Bei der Sanierung wird sie durch die GEAK-Experten als zweit-häufigste Massnahme empfohlen, am häufigsten wird die Optimierung der Gebäudehülle vorgeschlagen. In den Daten des Kanton BL ist dies jedoch nicht ersichtlich, denn es werden in mehr als 50% der Fälle wieder fossile Heizungen installiert. Im Neubau beträgt der Anteil an fossilen Heizungen über die Betrachtungsperiode gesehen bei den EFH und MFH zwischen 10% und 20%.
- Überraschend ist der hohe Anteil (Minergie: 10% - 30%, Kt. BL: 30%) an WP in Kombination mit einer Solarthermieanlage in den Jahren 2008 bis 2012. Bei Minergie reduziert sich der Anteil jedoch deutlich auf etwa 10% im Jahr 2016. Im Kanton BL sackt die gesamte Zahl installierter Solaranlagen (PV und Thermie) im Jahr 2018 auf ein paar wenige Prozent ab. Dies aufgrund einer veränderten Vollzugspraxis die bei Luft-Wärmepumpen im Neubau seit 2017 keine Solarthermieanlagen mehr fordert. Im Fall von Minergie wird vermutet, dass aufgrund der sich laufend verbesserten Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen (inklusive Etablierung der Invertertechnologie), die Energiekennzahlen auch ohne Solarthermie eher erfüllt werden konnten.
- Vor Minergie 2017 wurde häufig Solarthermie benötigt, um die gewichtete Energiekennzahl einzuhalten. Alternativ zur Solarthermie konnte auch die PV dafür verwendet werden, jedoch waren in den Jahren 2008-2012 die Preise für PV noch zu hoch, weshalb vorwiegend Solarthermie eingesetzt wurde. Ab 2012 sanken die Preise deutlich und die PV ersetzte die Solarthermie. In der Auswertung der Minergie-Daten ist deutlich zu sehen, wie ab 2012 bei den EFH ein PV-Boom die Solarthermie verdrängt und im Fall



der MFH dies etwa zwei Jahre später eintrifft. Mit der Einführung der Pflicht zur Eigenstromproduktion 2017 ist die Installation von Solarthermie ohne PV noch weiter zurückgegangen, dafür haben parallele Installationen zugenommen. Ob es sich dabei auch um PVT-Kollektoren handelt, konnte aus den Daten nicht ermittelt werden.

- Obwohl die Kombination von Holz und Solarthermie aus technischer Sicht ideal ist [26], wird diese von den GEAK-Experten immer weniger oft empfohlen. Ohnehin ist bei Minergie der Anteil an Holzheizungen zwischen 2009 und 2018 stark gesunken. Bei den EFH wurden etwa 75% der Holzkessel mit einer Solarthermieanlage kombiniert und bei den MFH etwa 50%. Ab 2015/2016 wurden jedoch vermehrt Holzkessel mit PV-Anlagen kombiniert und der Anteil der Solarthermieanlagen hat stark abgenommen. Im Jahr 2019 wiesen immerhin wieder 50% der Holzheizungen eine Solarthermieanlage in Kombination mit einer PV-Anlage aus, die anderen 50% weisen nur eine PV-Anlage aus.
- Die Auswertung der GEAK-Daten macht deutlich, dass im Sanierungsfall für Einfamilienhäuser seit einigen Jahren vermehrt Wärmepumpenboiler empfohlen werden, welche eine direkte Konkurrenz zur Solarthermie darstellen.
- Es wäre wünschenswert, wenn mehr Daten von anderen Kantonen wie vom Kanton Basellandschaft zur Verfügung stehen würden. Die Daten von Minergie waren sehr wertvoll und können wichtige Erkenntnisse liefern. Jedoch sind sie kaum repräsentativ für die ganze Schweiz, da mit diesen Daten nur eine spezifische Art von Bauherrschaft abgedeckt wird.



3.4 Umfrage

3.4.1 Resultate quantitative Fragen

Im Sommer 2020 wurde eine digitale Umfrage bei unterschiedlichen Bauprojekt-Beteiligten durchgeführt. Ziel der Umfrage war die Ermittlung der Bekanntheit der Solarthermie, die Identifikation der wichtigsten Entscheidungsträger sowie das Aufdecken gängiger Vorurteile oder Ansichten. Dabei waren auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Zielgruppen von zentralem Interesse.

An der Umfrage haben im Zeitraum von Juni – September 670 Personen teilgenommen. Nach Bereinigung von frühzeitig abgebrochenen Rückmeldungen, wurden 602 Umfrageergebnisse in die Auswertung miteinbezogen. Nachfolgend werden die wichtigsten Resultate und Erkenntnisse aus der Umfrage zusammengefasst. Die Charakterisierung der Umfrageteilnehmenden nach Zielgruppen ist in Abbildung 44 dargestellt.

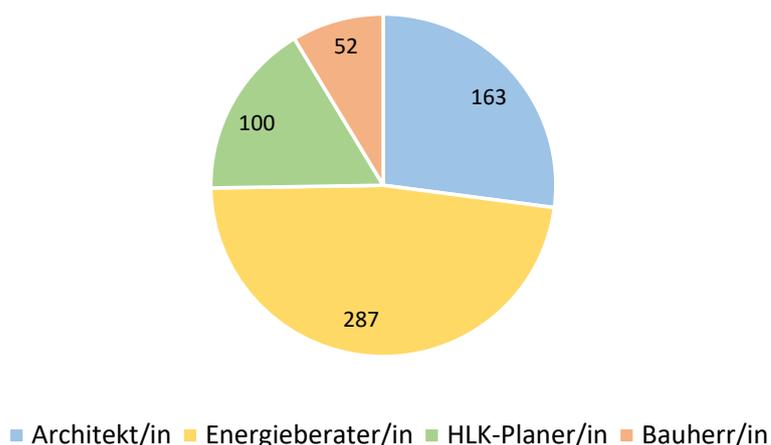


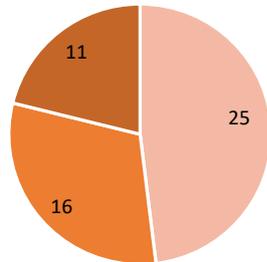
Abbildung 44: Aufteilung der Umfrageteilnehmenden anhand von Zielgruppen (n=602).

Die Zusammensetzung und das Tätigkeitsfeld der Bauherrschaft ist in Abbildung 45 zusammengefasst. Die grösste Gruppe sind die privaten Bauherren mit einem Anteil von fast 50%. Der grösste Teil der Bauherren beschäftigt sich mit Sanierungen und Neubauten. Die Abbildung 46 zeigt die Erfahrung der befragten Bauherren (Anzahl Projekte) und welche Gebäudekategorien sie umsetzen.

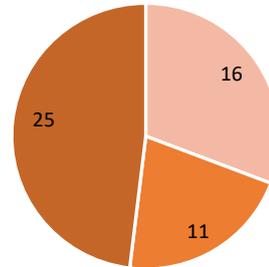
Der Bauherrschaft wurden weitere spezifische Fragen gestellt, um diese noch detaillierter zu unterteilen und somit ihre Kenntnisse zur Solarthermie besser einzuordnen (Abbildung 47).



Art der Bauherrschaft



Tätigkeitsfeld der Bauherrschaft



■ privat ■ öffentlich ■ institutionell ■ Neubau ■ Sanierung ■ Neubau + Sanierung

Abbildung 45: Ermittlung der Art der Bauherrschaft (links) und der Tätigkeitsfelder (rechts), Mehrfachnennung möglich (n=52).

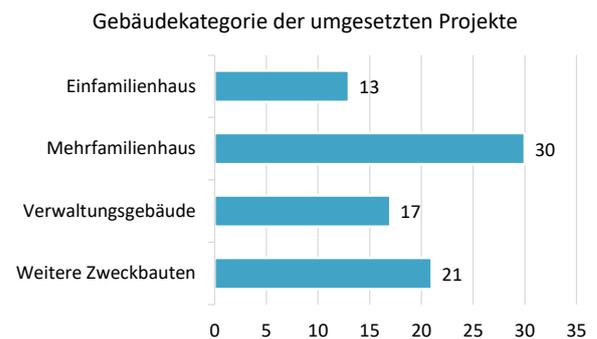
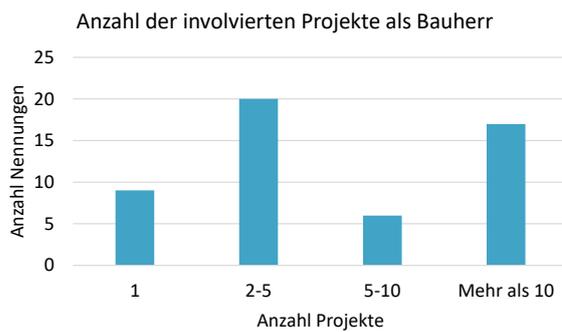
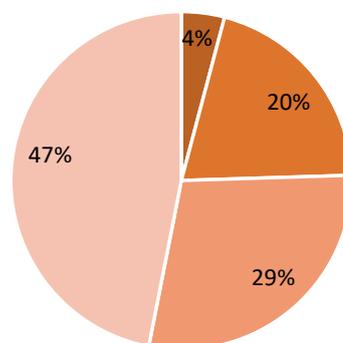


Abbildung 46: Links: Anzahl der umgesetzten Projekte (n=52) und rechts: die Art der Bauten die umgesetzt wurden (Mehrfachnennung möglich, n=52).

Kennen Sie das System der Solarthermie?



■ Sagt mir nichts
■ Es sagt mir etwas
■ Ich habe mich darüber informiert
■ Ich habe bereits damit gearbeitet/Erfahrungen damit gemacht

Abbildung 47: Befragung zum Fachwissen der Bauherrschaft bezüglich Solarthermie, (n=52).



Frage 1: "Mit welchem Typ von Solarthermie-Anlagen haben Sie persönlich Erfahrung gemacht?" (Mehrfachauswahl möglich)

Energieberater und HLK-Planer nennen am häufigsten MFH/EFH Warmwasser- oder Kombisysteme (Brauchwarmwasser + Heizung). PVT und Erdsondenregeneration werden von einem Drittel HLK-Planer und zu etwa einem Fünftel der Energieberater genannt. Die nicht-abgedeckte Kollektoren werden deutlich weniger genannt. Überraschend hoch sind die Anteile der Bauherren und Architekten bezüglich PVT und Erdsondenregeneration.

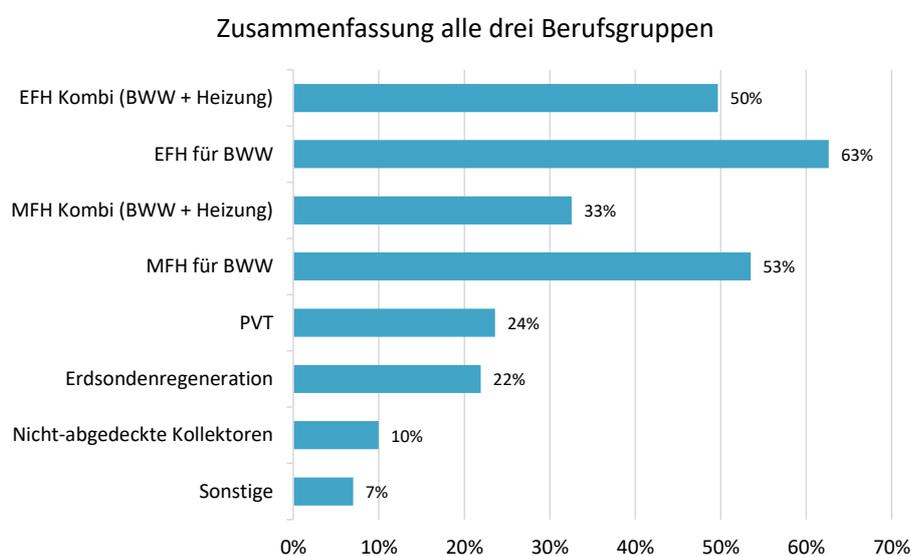


Abbildung 48: Ermittlung der Erfahrung zu den unterschiedlichen Systemvarianten (n = 602).

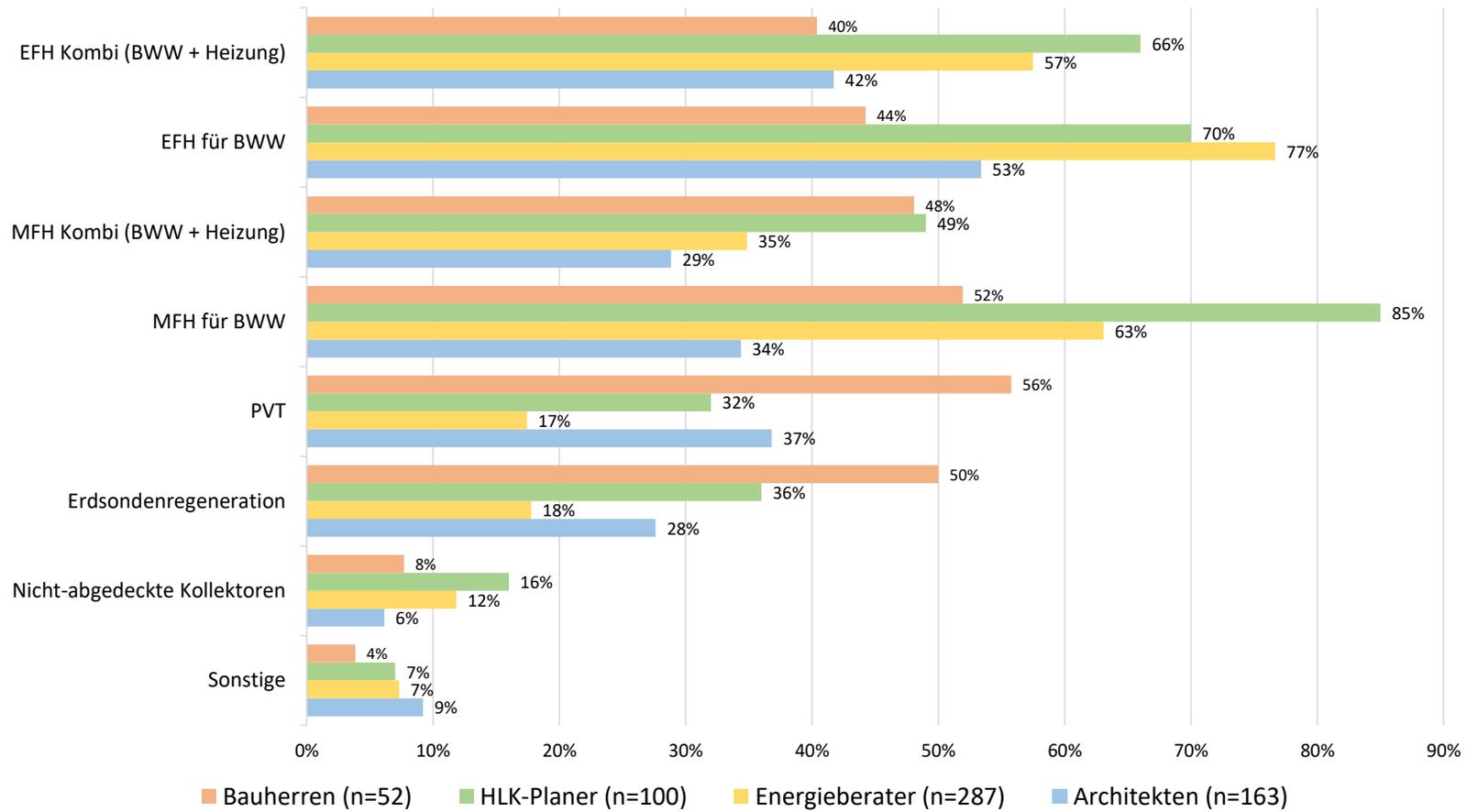


Abbildung 49: Vergleich der Erfahrung der einzelnen Gruppen zu den unterschiedlichen Systemvarianten (n = 602).



Frage 2: "Wer liefert den entscheidenden Input zur Wahl des Wärmeeerzeugungssystems?" (Mehrfachauswahl möglich)

Über alle Beantwortungen gesehen werden die HLK-Planer und die Bauherren als die wichtigste Entscheidungsgruppe angegeben (Abbildung 50). Auffallend ist, dass jede Berufsgruppe am häufigsten sich selbst als die ausschlaggebende nennt (Abbildung 51).

Die Antworten der Bauherren bestätigen die Erkenntnis zur Gesamtbetrachtung, dass die HLK-Planer in der Regel die wichtigste Gruppe bei der Entscheidungsfindung sind (Abbildung 9). Da dort nur wenige Rückmeldungen kamen, sind die Prozentzahlen aber mit Vorsicht zu geniessen. Aufgrund der Rückmeldung der Bauherren scheinen die Installateure sowie das private Umfeld eher eine kleinere Rolle zu spielen.

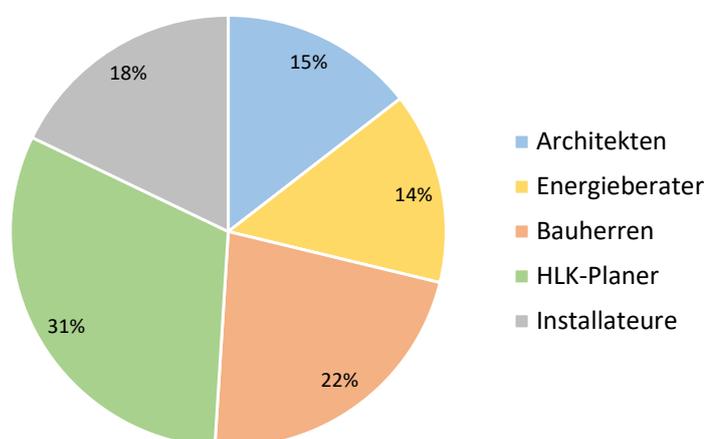


Abbildung 50: Zusammenfassung der Antworten aller Befragten zu Frage 2 ohne Eigennennung (n=712).

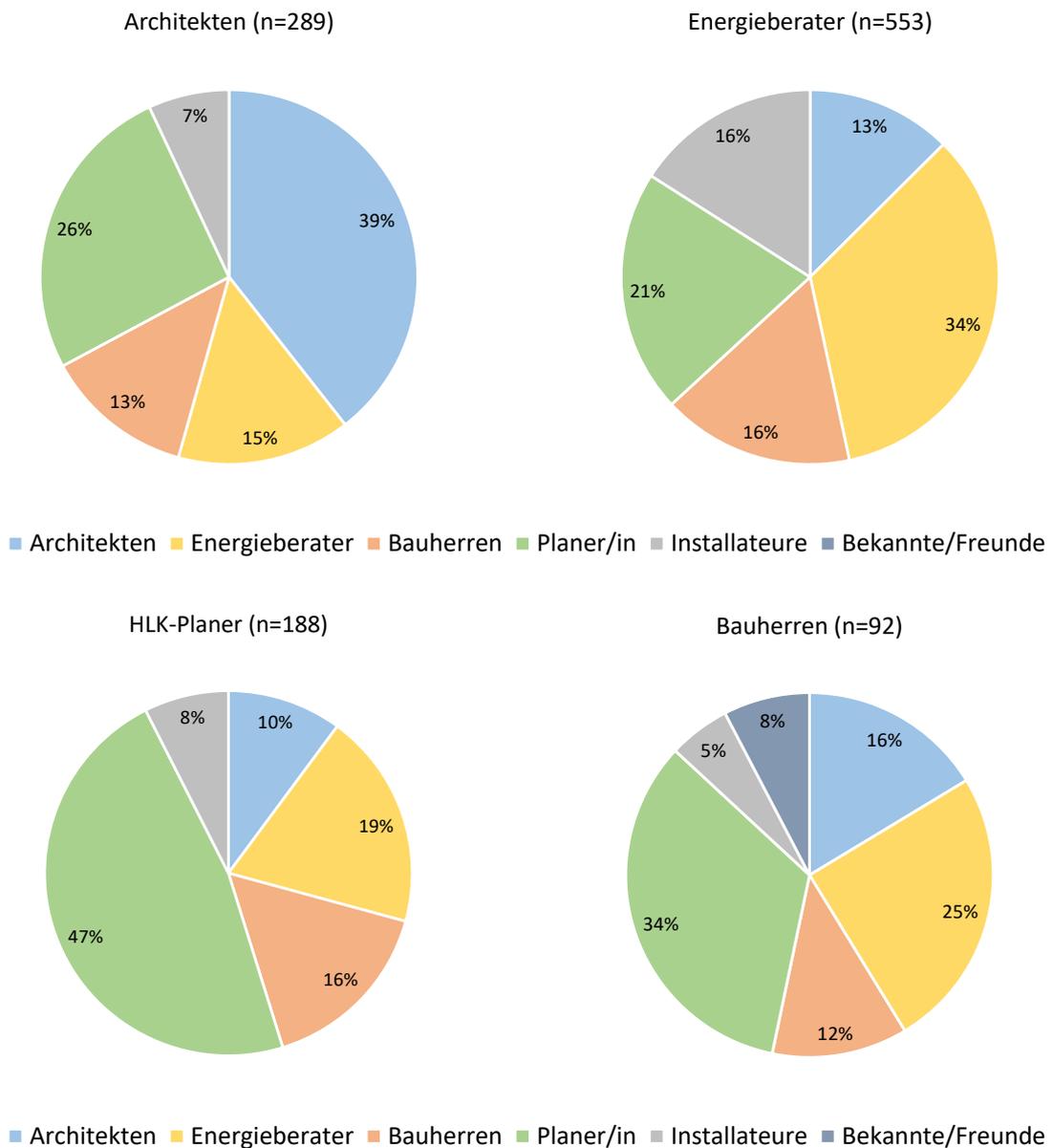


Abbildung 51: Aufteilung der Antworten nach Befragungsgruppe zur Frage "Wer liefert den entscheidenden Input zur Wahl des Wärmeeerzeugungssystems?", Mehrfachnennung war möglich.

Frage 3: "Wie viele unterschiedliche Varianten zur Wärmeeerzeugung schlagen Sie einem Bauherrn im Durchschnitt bei einem Projekt vor? Wie viele Systeme wurden Ihnen als Bauherr im Durchschnitt vorgeschlagen?"

Am häufigsten werden zwischen zwei und drei unterschiedliche Varianten vorgeschlagen. Die Aussagen decken sich über alle Berufsgruppen hinweg mit den Angaben der Bauherren.

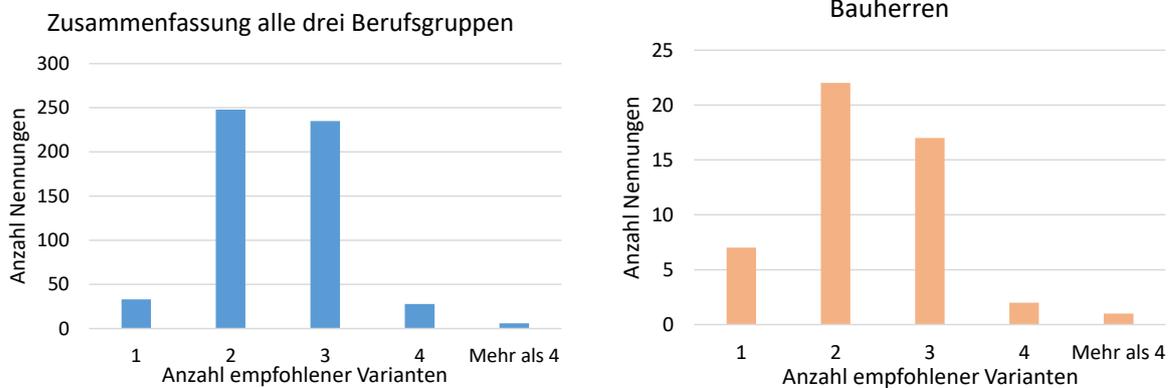


Abbildung 52: Zusammenfassung der Antworten zur Frage 3 über alle Berufsgruppen (links, n = 549) und der Bauherrschaft (rechts, n = 49). Frage 3: "Wie viele unterschiedliche Varianten zur Wärmeerzeugung schlagen Sie einem Bauherrn im Durchschnitt bei einem Projekt vor?" "Wie viele Systeme wurden Ihnen als Bauherr im Durchschnitt vorgeschlagen?"

Frage 4: "Ist die Solarthermie eines der empfohlenen Systeme?"

Über alle Berufsgruppen hinweg wird die Solarthermie in weniger als der Hälfte der Fälle als eine mögliche Variante empfohlen (Abbildung 53, links). Eine detaillierte Analyse hat gezeigt, dass bei den Architekten und Energieberatern die Antworten mit einem Ja-Anteil von ca. 50% in etwa ausgeglichen sind. Die HLK-Planer haben eine stärkere Tendenz Solarthermie nicht zu empfehlen (Ja-Anteil: 42%). Diese Resultate stehen jedoch im Widerspruch zu den Antworten der Bauherren, welche einen Ja-Anteil von 67% aufweisen (Abbildung 53, rechts).

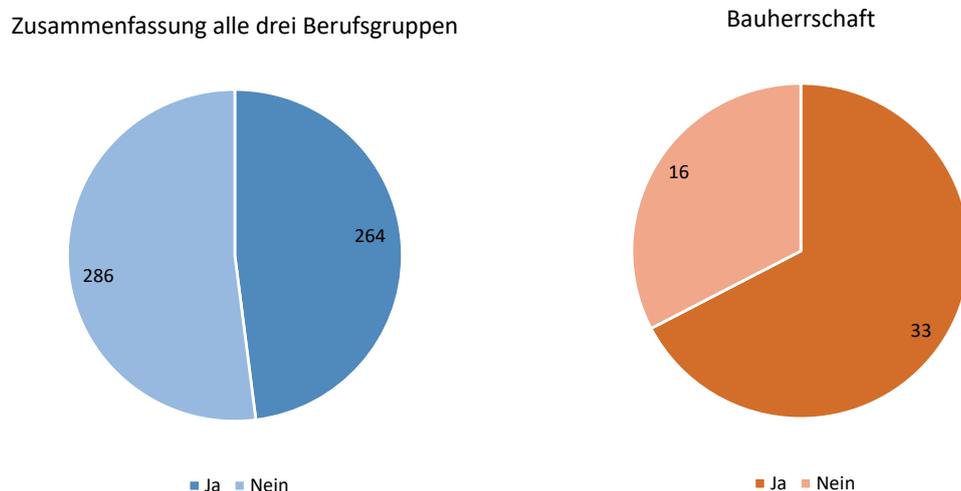


Abbildung 53: Zusammenfassung der Antworten zur Frage 4 über alle Berufsgruppen (links, n = 549) und der Bauherrschaft (rechts, n = 49).

Frage 5: "Wieso empfehlen Sie keine Solarthermie?" (Mehrfachauswahl möglich)

Das Preis-Leistungs-Verhältnis scheint eine der wichtigsten Gründe zu sein, weshalb Solarthermie nicht empfohlen wird, respektive selten umgesetzt wird (Abbildung 54). Komplexität, Nutzen-Aufwand-Verhältnis sowie fehlendes Budget werden ungefähr gleich häufig als Argumente gegen den Einsatz von Solarthermie genannt. Bei den Architekten und



HLK-Planern scheint das Budget der Kunden auch eine wesentliche Rolle zu spielen. Die Förderung (Subvention) und das Nutzen-Aufwand-Verhältnis werden weniger häufig genannt, was bei der Förderung überrascht, da diese auch die Kosten mitbeeinflusst. Die Ergebnisse zu "Preis-Leistungs-Verhältnis" und "Nutzen-Aufwand-Verhältnis" sind mit Vorsicht zu betrachten, da evtl. nicht allen Beteiligten der Unterschied klar war. "Preis-Leistungs-Verhältnis" soll die rein ökonomischen Aspekte berücksichtigen ("zahlt es sich aus") und das "Nutzen-Aufwand-Verhältnis" berücksichtigt den Planungsaufwand und stellt diesen dem Nutzen gegenüber. Natürlich führt ein Mehraufwand in der Regel auch zu höheren Kosten.

Rund ein Viertel der Befragten hat andere Gründe (Sonstiges) angegeben, weshalb die Solarthermie nicht empfohlen wird. Die Auswahl "Sonstiges" konnte in der Umfrage mit eigenen Worten ergänzt werden. Mit Abstand am stärksten ist dabei ins Gewicht gefallen, dass PV-Anlagen der Solarthermie gegenüber bevorzugt werden. Am häufigsten wurde dabei die Kombination von PV und Wärmepumpen genannt.

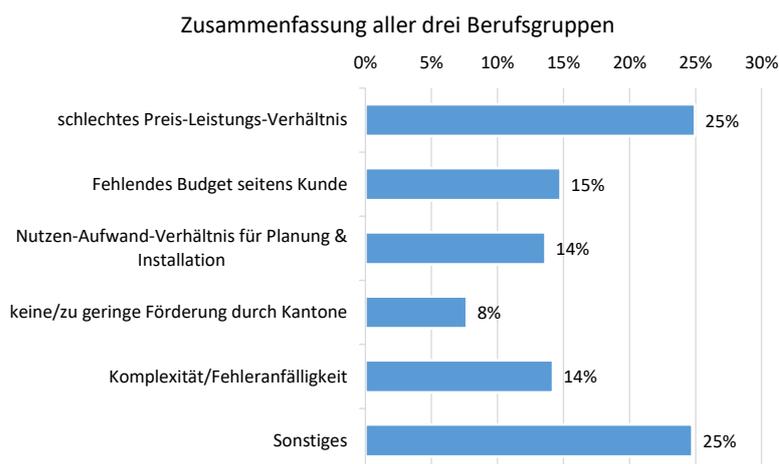


Abbildung 54: Auswertung der Gründe für eine Nicht-Empfehlung der Solarthermie zusammengefasst über alle drei Berufsgruppen (n = 521).

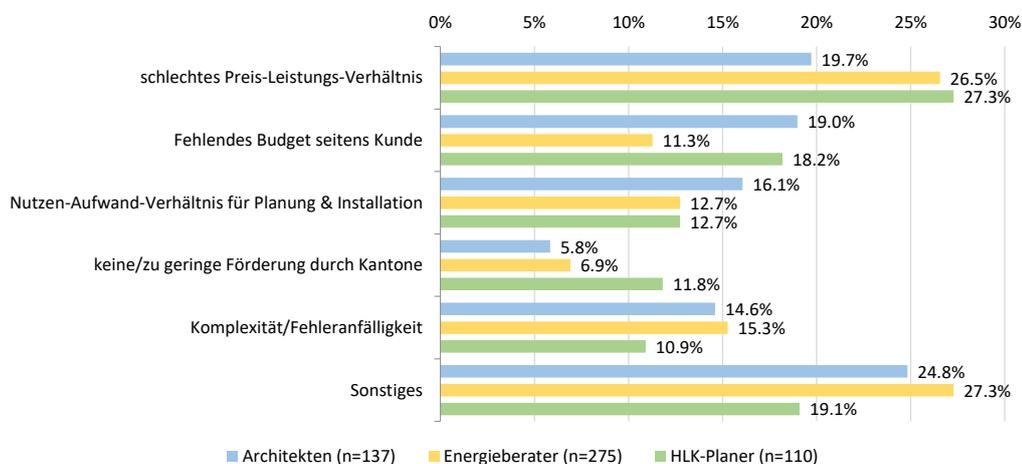


Abbildung 55: Auswertung der Gründe für eine Nicht-Empfehlung der Solarthermie aufgeschlüsselt nach Berufsgruppe (n = 522).



Frage 6: "Wieso empfehlen Sie Solarthermie?" (Mehrfachauswahl möglich)

Bei allen Berufsgruppen spielt die "Notwendigkeit" der Solarthermie eine wichtige Rolle darin, ob sie als System empfohlen wird oder nicht. Mit Notwendigkeit ist gemeint, dass andere Technologien den Bedarf nicht abdecken, sie durch Solarthermie optimal ergänzt werden oder die Solarthermie vom Bauherrn gefordert wird. Interessant ist, dass die HKL-Planer die Nachfrage des Auftraggebers als wichtigsten Grund nennen. Dies kann allerdings auch auf die eher kleine Stichprobe zurückzuführen sein. Aber auch bei den anderen Planern wird immerhin in 20% der Fälle die Nachfrage des Auftraggebers als wichtig genannt. Spannend ist, dass die Förderung der Kantone als eher nicht ausschlaggebend für die Empfehlung betrachtet wird. Das Preis-Leistungs-Verhältnis wird unterschiedlich wahrgenommen.

Bei den sonstigen Gründen für eine Empfehlung ist die Energiewende der häufigste genannte Grund. Darauf folgt in den Nennungen der hohe Wirkungsgrad der Technologie. Dabei wird die Kombination mit Holz-, Gas-, oder Ölheizungen am meisten erwähnt.

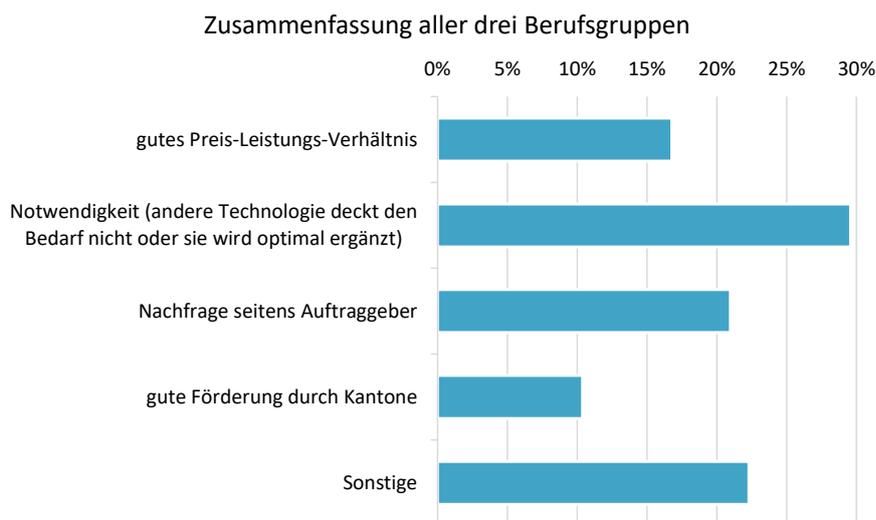


Abbildung 56: Auswertung der Gründe für eine Empfehlung der Solarthermie, zusammengefasst über alle drei Berufsgruppen (n = 453).

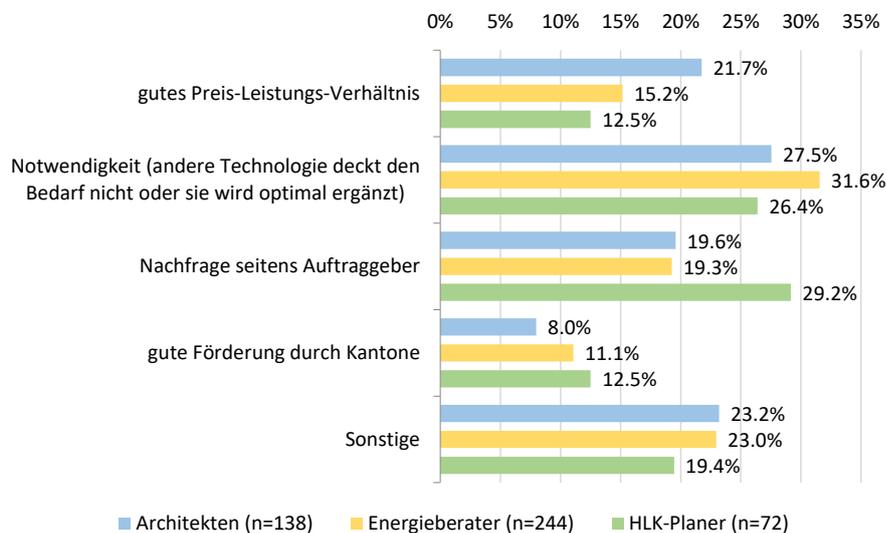


Abbildung 57: Auswertung der Gründe für eine Empfehlung der Solarthermie aufgeschlüsselt nach Berufsgruppen (n = 454).

Frage 7: "Wie schätzen Sie die Zuverlässigkeit der Solarthermie ein?"

Die Zuverlässigkeit der Solarthermie wird über alle Gruppen hinweg von mehr als 45% als hoch betrachtet. Ein Anteil von 10% der Befragten beurteilt die Zuverlässigkeit als tief. Die detaillierte Auswertung der einzelnen Gruppen (siehe Annex C) zeigt, dass die HLK-Planer die Solarthermie generell schlechter einschätzen als die Architekten und Energieberater. Die genauen Gründe dafür können aus der Umfrage nicht ermittelt werden.

Zusammenfassung über alle befragten Gruppen

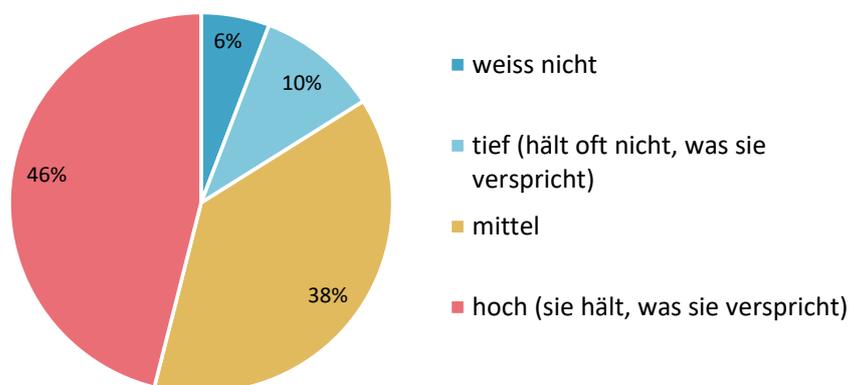


Abbildung 58: Einschätzung zur Zuverlässigkeit der Solarthermie über alle Befragten (n = 536).



Frage 8: "Wie hoch ist der Anteil der Kunden, welche sich aktiv nach einer ökologischen Energieversorgung erkundigen?"

Der Median über alle Berufsgruppen hinweg bezüglich des Anteils an Auftraggeber, welche aktiv nach ökologischen Lösungen suchen, liegt bei 70%. Es ist also definitiv eine Mehrheit, die sich Gedanken über ökologische Wärmeerzeugungssysteme macht. Entsprechend scheint die Bereitschaft für ökologische Varianten grundsätzlich gegeben zu sein.

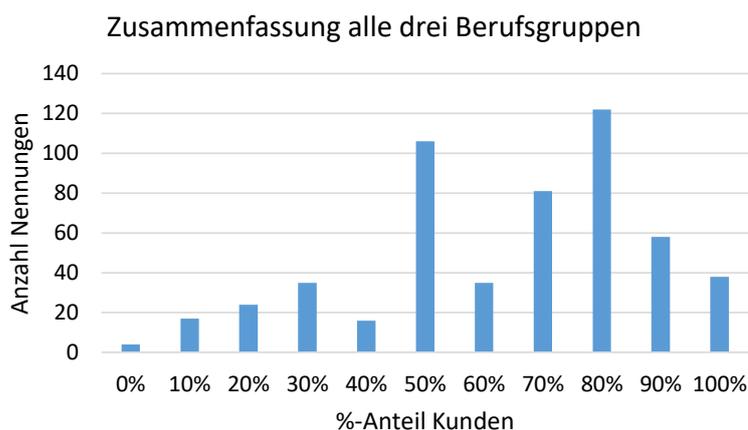


Abbildung 59: Beurteilung der ökologischen Einstellung der Kunden durch alle drei Berufsgruppen zusammengefasst.

Frage 9: "Wie häufig arbeiten Sie mit den Standardlösungen der Kantone im Vergleich zur rechnerischen Lösung? (Energienachweis EN-1a, EN-101a im Vergleich zu EN-1b, EN-101b)"

Wie im Kapitel 3.6 ersichtlich, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten um die behördlichen Auflagen zu erfüllen. Diese können entsprechend auch die Wahl des Heizungssystems beeinflussen, weshalb die unterschiedlichen Berufsgruppen befragt wurden, ob diese eher die rechnerische Lösung oder eine der Standardlösungen der Kantone bei der Baueingabe wählen. Die Resultate über alle drei Gruppen gesehen zeigen, dass die Standardlösung etwas mehr als 50% der Fälle ausmacht (Abbildung 60).

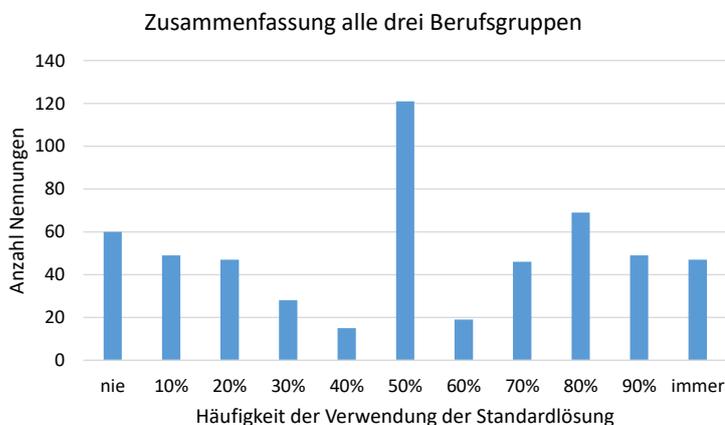


Abbildung 60: Auswertung des Anteils der verwendeten Standardlösungen bei der Planung zusammengefasst über alle Berufsgruppen.



3.4.2 Resultate qualitative Fragen

In diesem Kapitel sind jene Resultate zusammengefasst, bei denen die Befragten die Antwort frei eingeben konnten. Die Antworten wurden möglichst nach "Antwortgruppen" sortiert. Nachfolgend sind die häufigsten Nennungen aufgeführt.

Frage 10: "Was müsste sich aus Ihrer Sicht ändern, damit eine Erhöhung der Zubaurate von Solarthermie bewirkt werden kann?"

Die Antworten auf diese Frage lassen sich in unterschiedlichen Clustern darstellen (geordnet nach Grösse):

- Finanzen
- Konkurrenz PV
- Technologie
- Gesetze & Behörden
- Information & Kommunikation
- Knowhow

Finanzen (rund 200 Kommentare)

Aus finanzieller Sicht kristallisieren sich drei zentrale Argumente heraus.

1. Rund die Hälfte der Antworten in diesem Bereich sagen, dass die Kosten gesenkt werden müssen. Einerseits die Investitionskosten und andererseits die Unterhaltskosten. Es wird bemängelt, dass die Systeme zu komplex und entsprechend zu teuer sind. Standardisierte LowTech-Lösungen fehlen. Die Preise werden vor allem im Vergleich zu PV- und Wärmepumpen-Lösungen betrachtet.
2. In dieselbe Richtung (mit ähnlich vielen Nennungen wie 1) geht die Forderung nach höheren Förderbeiträgen. So könnten die Investitionskosten für den Bauherrn ebenfalls gesenkt werden. Dabei wird auch immer wieder der Vergleich zur Förderung der PV-Anlagen gemacht, welche bereits seit längerer Zeit höher ist wie bei der Solarthermie und darüber hinaus – im Gegensatz zur Solarthermie - flächendeckend in der ganzen Schweiz einheitlich gewährt wird.
3. Mehrfach wurde ebenfalls genannt, dass der Energiepreis für fossile Brennstoffe (und/oder der Strompreis) erhöht werden müsste, damit Solarthermieanlagen attraktiver werden.

Ebenfalls mehr als einmal wurde erwähnt, dass es bessere Berechnungsmodelle für die Erträge braucht, damit eine bessere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung möglich ist. Auch wird bemängelt, dass es keine einfach zu bedienenden Programme gibt für eine rasche Auslegung und Berechnung bei welchen die Vorteile der Solarthermie aufgezeigt werden können¹⁴.

Konkurrenz durch PV (rund 100 Kommentare)

Die Konkurrenz zu PV-Anlagen wird als sehr gross eingestuft. PV-Anlagen werden als günstiger, einfacher und bekannter eingeschätzt. Auch werden PV-Anlagen durch den Bund

¹⁴ Diese Aussagen überraschen, da durch EnergieSchweiz ein entsprechender Solarrechner mit einfacher Bedienung zur Verfügung steht (<https://www.energieschweiz.ch/tools/solarrechner/>). Die Bewerbung der Webseite müsste vermutlich intensiviert werden.



gefördert, Solarthermie nicht. Insbesondere die Kombination PV und Wärmepumpen wird als aktuell beste Lösung genannt (86). Solarthermie wird höchstens in Kombination mit Holz oder fossilen Energien genannt (80). Auch die Kombination von PV mit Wärmepumpenboilern wird als grosse Konkurrenz zur Solarthermie betrachtet, da diese Kombination einfacher und günstiger umzusetzen ist (16). Neben der PV wird auch die Wärmepumpe an sich bereits als Konkurrenzsystem zur Solarthermie betrachtet, und der Nutzen einer Kombination von Solarthermie und Wärmepumpe wird in Frage gestellt (12). Einige wenige Kommentare weisen darauf hin, dass bei Luft-Wasser-Wärmepumpen eine Kombination mit der Solarthermie sinnvoll wäre (4).

Technologie (rund 80 Kommentare)

In Bezug auf die Verbesserungsmöglichkeiten bei der Technologie gab es drei Punkte, die sich herauskristallisiert haben:

1. Es braucht bessere Speicherlösungen:

Der zusätzliche Platzbedarf wurde genannt, welcher ein Hindernis sein kann für die Nutzung von Solarthermie. Neue Technologien wie PCM-Speicher sollen (so der Wunsch) die Sommerwärme auch im Winter nutzbar machen (Saisonspeicher), da ansonsten viel Potenzial ungenutzt bleibt.

2. Einfache Standardlösungen werden gefordert:

Die Solarthermie wurde häufig als zu komplex und deshalb auch als zu teuer beschrieben. Es wurde häufig erwähnt, dass Standardlösungen helfen könnten, da diese weniger Fehleranfällig sind und eine einfachere Planung ermöglichen.

3. Die Zuverlässigkeit muss erhöht werden bspw. mittels automatischer Funktionsüberwachung:

Es wurde angemerkt, dass das Know-how der Planer und Installateure nicht gut genug ist, um die Anlagen in genügend guter Qualität umzusetzen. Durch den kleiner werdenden Markt verschärft sich die Situation nun weiter. Einfache Überwachungssysteme würden helfen, das Vertrauen in die Technologie zu erhöhen.

Punktuell werden die Optik bzw. die optische Integration in Dach und Fassade erwähnt (15). Ebenfalls wurden die Probleme bei den saisonalen Schwankungen des Wärmeertrages sowie die Problematik der Überhitzung mehrfach genannt (10).

Gesetze & Behörden (rund 50 Kommentare)

In Bezug auf die Gesetze und Behörden werden drei Forderungen gestellt (mehrfach genannt):

1. Es braucht eine gesetzliche Vorschrift für Solarthermie (analog zur PV-Pflicht)
2. Die Solarthermie muss den PV-Anlagen gleichgestellt werden (in Bezug auf Gesetze und Förderung)
3. Die MuKEn müsste angepasst respektive MuKEn 2014 überall umgesetzt werden

Einzelnen wurden Ideen genannt, dass Solarthermie einen höheren Einfluss auf die GEAK-Effizienzklassen haben sollte, bei Minergie einen höheren Stellenwert haben sollte oder es



einen Bonus bei der Ausnützungsziffer geben müsste (Kompensation des Platzverlustes durch die Installation von grossen Speichern).

Information & Kommunikation (rund 45 Kommentare)

In diesem Zusammenhang wird viel Potenzial bei der Beratung der Bauherren ausgemacht. Insbesondere eine bessere Aufklärung zum Kosten-Nutzen-Verhältnis, sowie ein direkter Vergleich zu PV-Anlagen, werden vermisst. Ebenfalls wird allgemeine Öffentlichkeitsarbeit als essenziell betrachtet, da die breite Öffentlichkeit den Unterschied zwischen PV und Solarthermie noch immer nicht zu kennen scheint bzw. die Solarthermie eher unbekannt ist. Hier wird einerseits der Verband Swissolar in die Pflicht genommen, andererseits aber auch von Behörden/Gemeinden verlangt, mittels Best-Practice Beispielen mehr an die Öffentlichkeit zu gehen.

Know-how (rund 35 Kommentare)

Weniger häufig, aber doch mehrfach, wurde das fehlende Know-how bei den Installateuren genannt. Hinzu kommt, dass spezialisierte Planungsbüros (teils aus Kostengründen) nicht hinzugezogen werden und so qualitativ schlechte Anlagen installiert werden. Ebenfalls wird das Know-how der Architekten von verschiedenen Seiten als zu tief erachtet. Dies müsste verbessert werden, um die Technologie attraktiver zu machen. Dazu kommen mehrere Kommentare, dass Energieberater die Solarthermie nicht genügend in die Beratung mit einbeziehen und sie nur im Zusammenhang mit dem Brauchwarmwasser erwähnt wird.

Frage 11: "Wo sehen Sie am meisten Potenzial für Solarthermie?"

Die Rückmeldungen zum Potenzial können hauptsächlich in drei unterschiedliche Kategorien zusammengefasst werden:

- Gebäudekategorie & Bauvorhaben
- Einsatzzweck
- Standort

Gebäudekategorie & Bauvorhaben (rund 140 Kommentare)

Mit Abstand am meisten wurde der Wohnbau erwähnt. Innerhalb des Wohnbaus wurde öfters explizit auf MFH hingewiesen. Innerhalb der Dienstleistungsgebäude wurde sehr häufig das Potenzial in Schwimmbädern, Sportanlagen und Hotels erwähnt. Spannend ist, dass die Meinungen hier extrem weit auseinanderklaffen. Von der Verwendung bei kleinen Dachflächen bis zu Grossanlagen wurde alles erwähnt. Es besteht aber eine Tendenz, dass der Solarthermie am meisten Potenzial dort eingeräumt wird, wo ganzjährig ein hoher Warmwasserverbrauch anfällt.

Es gab nur wenige Antworten, die sich darauf bezogen, ob die Solarthermie eher im Neubau oder in der Sanierung Potenzial hat. Die Antworten halten sich hier in etwa die Waage.

Einsatzzweck (rund 200 Kommentare)

Das bei weitem grösste Potenzial wird bei der Erzeugung von Brauchwarmwasser gesehen (137) jedoch gibt es auch einige Nennungen zur Heizungsunterstützung (13).



Interessanterweise wird auch häufig die Erdsondenregeneration genannt (49). Vereinzelt wird auch die solare Kühlung genannt (5).

Bei der Heizungsunterstützung wird vor allem die Kombination mit Holzheizungen genannt (51), gefolgt von der Kombination mit fossilen Heizungen (36). Es wird wiederum auch mehrfach die Kombination Solarthermie-PV erwähnt (20) wobei 15 Nennungen sich explizit auf die PVT-Technologie bezogen haben, welche Potenzial hätte, aber in der Branche zu wenig Anerkennung finde. Potenzial wird auch im Bereich der Saisonspeicher und Eisspeicher gesehen (19), jedoch müssen sich die Rahmenbedingungen für grosse Speicher verbessern. Die Einbindung in Fernwärmenetze wird auch als sinnvoll erachtet (12), gerade wenn Holz als Energieträger eingesetzt wird.

Standort (rund 25 Kommentare)

Geografisch wird vor allem die Notwendigkeit einer hohen Sonneneinstrahlung erwähnt. In diesem Zusammenhang kommen auch mehrfach Bergregionen zur Sprache. Die meisten Stimmen sehen das grössere Potenzial der Solarthermie in ländlichen Gebieten und weniger in stark überbauten Gebieten.

3.4.3 Fazit

Die Anzahl an Antworten (602) ist überraschend hoch und ist sehr erfreulich. Damit weist die Befragung aus Sicht der Autoren eine hohe Aussagekraft auf. Die grösste Gruppe in der Befragung stellen die Energieberater dar (287 Antworten). Die kleinste Gruppe mit 52 Antworten ist die Bauherrschaft. Die Installateure, die eine wichtige Gruppe darstellen, konnten leider über die entsprechenden Verbände für diese Umfrage nicht erreicht werden. Dennoch betrachten wir die Resultate als sehr relevant für die Solarthermie. Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse aus der Umfrage zusammengefasst:

- Der überwiegende Teil der Befragten hat im Bereich von Einfamilienhäuser Erfahrungen gemacht mit Solarthermie, darauf folgen die Mehrfamilienhäuser. Überraschend hoch ist jedoch die Zahl der Architekten und Bauherren, welche PVT-Kollektoren und die Erdsondenregeneration angeben. Damit wird die Stossrichtung dieses Projektes unterstützt, dass die Planung von PVT-Anlagen und die Erdsondenregeneration vereinfacht werden soll.
- Wenn man davon absieht, dass jede Berufsgruppe sich selber als entscheidende Gruppe bei der Wahl des Heizungssystems sieht, scheint es so zu sein, dass die HLK-Planer den grössten Einfluss haben, was sich insbesondere auch mit den Antworten der Bauherren deckt.
- Im Schnitt werden 2-3 unterschiedliche Systemvarianten vorgeschlagen. Dabei ist die Solarthermie gemäss Angaben der Planer in knapp 50% der Fälle berücksichtigt. Laut den Antworten der Bauherren scheint jedoch die Solarthermie in über 60% der Fälle enthalten zu sein. Dieser Anteil ist tief, wenn man berücksichtigt, dass 70% der Kunden eine ökologische Lösung aktiv bei den Planern einfordern.
- Der überwiegende Teil der Befragten schätzt die Zuverlässigkeit der Solarthermie als mittel bis hoch ein (>80%). Interessant wäre ein Quervergleich zu anderen Technologien wie zum Beispiel PV oder Wärmepumpe, um dieses Ergebnis besser einordnen zu können.



- Über alle Berufsgruppen hinweg wird mit ca. 30% angegeben, dass die Solarthermie empfohlen wurde, weil dies notwendig war um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, oder die Ergänzung zu anderen Technologien optimal ist. Mit etwa 20% wird angegeben, dass die Solarthermie durch den Auftraggeber verlangt wurde. Mit etwa 20% wurde Sonstiges genannt, dabei wurden häufig die Energiewende und der hohe Wirkungsgrad der Solarthermie genannt.
- Ein Hauptgrund wieso die Solarthermie nicht empfohlen wird, sind die hohen Kosten und die Komplexität der Technologie im Vergleich zu anderen Systemen (z.B. PV). Ein weiterer wichtiger Grund, wieso die Solarthermie nicht empfohlen wird, ist die Bevorzugung der PV gegenüber der Solarthermie. Dabei wurde oft erwähnt, dass die PV eine gute Kombination mit Wärmepumpen und mit Wärmepumpenboilern darstellt.
- Das grösste Potenzial weist laut den qualitativen Antworten die Solarthermie in der Erzeugung von Brauchwarmwasser in Sportstätten, Hotels und Mehrfamilienhäusern auf, d.h. überall dort wo über das ganze Jahr ein hoher Bedarf besteht. Neben der häufigen Nennung zur Erdsondenregeneration weist die Kombination von Solarthermie und Holz einen grossen Zuspruch auf. Dies einerseits bei dezentralen Anlagen pro Gebäude, aber auch in Kombination mit Fernwärmenetzen (zentral), die Holz als Energieträger nutzen.
- Neben technischen Aspekten wurde aus den qualitativen Antworten deutlich, dass das Wissen in der Baubranche zur Solarthermie immer noch gering ist und verbessert werden sollte. Neben der breiten Öffentlichkeit, welche kaum PV und Solarthermie unterscheiden kann, wurden auch die Fachplaner und Installateure genannt, die zum Teil ein ungenügendes Fachwissen zur Solarthermie aufweisen. Die Umfrage bestätigt die Stossrichtung von SolThermGo, da auch eine vereinfachte Planung gewünscht wird und eine bessere Integration der Solarthermie in die behördlichen Tools (z.B. MuKE n, Minergie etc.) damit die Vorteile der Solarthermie besser sichtbar werden.



3.5 Interviews

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt 24 Interviews mit Fachpersonen aus der Branche durchgeführt. Die Interviews erfolgten vom 23.03.2021 bis 11.06.2021 per Telefon und per Videoschaltung über MS Teams und dauerten zwischen 20-40 Minuten. Die Durchführung der Interviews erfolgte strukturiert gemäss den Leitfragen, welche im Annex D ersichtlich sind.

Die Aufschlüsselung nach Fachgruppen kann der nachfolgenden Tabelle 5 entnommen werden. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte zufällig aus den Angaben, welche aus der Online-Umfrage (Kapitel 3.4) zur Verfügung standen. Die Liste wurde mit weiteren Kontakten ergänzt, da Installationsbetriebe in der Online-Umfrage nicht befragt werden konnten.

Tabelle 5: Auflistung der durchgeführten Experteninterviews nach Fachgruppen

Fachgruppe	Angefragte Unternehmen	Durchgeführte Interviews
Architekten	30	7
Energieberater	29	7
Fachplaner Gebäudetechnik	21	7
Installationsbetriebe HLK	16	3
Total	96	24

Die Zusammenfassung mit den wichtigsten Erwähnungen und Rückmeldungen erfolgt nachfolgend, aufgeteilt nach den jeweiligen Fachgruppen. Im Fazit (Kapitel 3.5.5) werden übergeordnete Erkenntnisse und Feststellungen erneut aufgegriffen, welche in allen Fachgruppen erwähnt wurden oder im Rahmen des Projektes als besonders relevant betrachtet werden.

3.5.1 Architekten

In der Fachgruppe der Architekten ist grundsätzlich festzuhalten, dass die Befragten wenig bis keine Anlagen mit thermischen Solaranlagen für die Bauherrschaften realisiert haben. Für den Zeithorizont der letzten fünf Jahre wurden lediglich einzelne und spezifische Anlagen installiert. Selten werden thermischen Solaranlagen noch in Variantenstudien betrachtet. Falls doch, werden diese aus diversen Gründen meist wieder gestrichen. Nachfolgend werden einige Gründe dafür festgehalten.

Die Gründe, wieso die Anwendung von thermischen Kollektoren wenig umgesetzt wird, waren sehr breit gestreut. Ein gewisser Konsens bestand darin, dass bei der Nutzung der Dachflächen eine Konkurrenzsituation zwischen der thermischen und elektrischen Solarenergienutzung besteht. Dieser Konflikt wurde von einigen Fachpersonen direkt erwähnt, bei anderen konnte dies indirekt festgestellt werden, da im Bereich der PV-Anlagen wesentlich mehr Anlagen realisiert wurden. Häufiger genannt wurde, dass die Bauherrschaften meist die PV-Anlagen schon kennen, die thermische Anwendung jedoch weniger bekannt ist, und vereinzelt sogar als 'unmodern' oder 'altmodisch' betrachtet wird. Die PV-Anwendung scheint diesbezüglich ein besseres Image zu besitzen.

Zwei der Interviewpartner führten aus, dass die Umsetzung von PV-Anlagen wesentlich einfacher abläuft und sich besser in den Bauablauf integrieren lässt als die Installation von



thermischen Anlagen. Die meisten befragten Architekten sind der Ansicht, dass sie bei den PV-Anlagen mehr Flexibilität haben und gesamthaft ein weniger fehleranfälliges System verbauen.

Es kann festgehalten werden, dass bezüglich der Kombination mit dem primären Heizsystem unterschiedliche Meinungen bestehen. Der Einsatz von thermischen Anlagen in Kombination mit einem fossilen System wurde lediglich von einem Befragten und dies auch nur 'gelegentlich' ausgeführt. Die Kombination von thermischen Kollektoren mit einer Niedertemperaturheizung (Wärmepumpe) wurde von einem Befragten als nicht sinnvolle Lösung erachtet und von einem anderem als nicht notwendiger Zusatz, da mit der Wärmepumpe schon erneuerbare Wärmeenergie zur Verfügung gestellt würde.

Die Sinnhaftigkeit von grossen thermischen Anlagen in spezifischen Bereichen wie beispielsweise der Fernwärme, Industrie oder Bauten mit grossem Warmwasserbedarf wurde durch keine der befragten Personen in Abrede gestellt. Man ist sich bewusst, dass bei diesen Bauten thermische Anlagen sinnvoll und rentabel sein können. Die meisten Bauten der Interviewpartner werden jedoch im Bereich vom EFH und MFH für private Besitzer erstellt.

Die Befragung nach rechtlichen Rahmenbedingungen und behördlichen Hürden bei der Installation und Bewilligung von thermischen Kollektoren oder Photovoltaik auf dem Dach zeigt, dass dies (mit einer Ausnahme) nicht als Hinderungsgrund betrachtet wird. Von zwei Befragten wurde erwähnt, dass es sinnvoll wäre, wenn Fördergesuche auch nicht zwingend schon vor Baustart vorliegen müssten. Eine flexiblere Ausgestaltung und nachträglich Eingabe von Gesuchen wird als sinnvoll erachtet. Die Bewilligungsprozesse und Abläufe scheinen ansonsten klar zu sein. Die Befragten sind (mit einer Ausnahme) der Ansicht, dass sie in Zukunft mit strengeren Auflagen und Anforderungen in Bezug auf die Ausstattung der Gebäudetechnik in den Bauten rechnen müssen.

Bei den Interviewpartnern, welche hauptsächlich im Bereich vom privaten Wohnungsbau (Einzelbauherrschaften) tätig sind, stellen Subventionen und kantonale Förderungen ein wichtiges Instrument dar und werden finanziell wie psychologisch als wichtig angesehen (man erhält etwas zurück). Bei zwei Interviewpartner, welche im Bereich von institutionellen Anlegern arbeiten, scheint die Förderung weniger ausschlaggebend (in den Gesamtkosten nicht relevant). Hier werden die Anlagen als Bonus angesehen, um sich zu differenzieren und von der Konkurrenz abzuheben. Häufig wird aufgrund von Zertifizierung, Regulierungen, Effizienzpfaden oder internen Guidelines vorrangig die Installation einer PV-Anlage gefordert.

3.5.2 Energieberater

Bei der Fachgruppe der Energieberater kann übergreifend festgehalten werden, dass sich diese vorwiegend im Bestandsbau bewegen. Das Themenfeld der durchgeführten Interviews bewegte sich hauptsächlich im Bereich des Heizungersatzes und der strategischen Sanierung der Gebäude. Neubauten spielen eine untergeordnete Rolle. Die meisten Befragten bewegen sich hauptsächlich in der Beratung von privaten Hauseigentümern. Die Ansprechpartner der Energieberater sind entsprechend häufig dieser Kategorie zuzuordnen und meist im Alter 50+. Bei dieser Anspruchsgruppe ist häufig die Argumentation der Kostenbetrachtung über die gesamte Laufzeit einer Anlage etwas anspruchsvoll.

Ein einheitliches Bild zeigt sich bezüglich der Art der Beratung in Bezug auf die erneuerbaren Heizsysteme. Diese wurden durchgehend von allen Beratern als die einzigen zukunftsfähigen



Lösungen betrachtet. Den Einsatz von fossilen Systemen sehen die Berater nur bei vereinzelt Anwendungen als sinnvoll, wenn entweder ein hoher Zeitdruck herrscht oder Aufträge direkt ohne Energieberatung über den Installateur abgelaufen sind.

Ein differenzierteres Bild zeigt sich aber beim Einsatz von solaren Zusatzsystemen (thermisch oder PV). Diese wurde zwar gemäss Angaben der Berater häufig in den Beratungen angesprochen oder als Varianten in Konzepten ausgewiesen, dann aber häufig nicht umgesetzt. Meist steht heute noch der Ersatz der fossilen Systeme im Vordergrund. Der zusätzliche Investitionsbedarf für weitere Systeme wird (gemäss Angaben der Berater) trotz Förderinstrumenten häufig als unverhältnismässig oder zu hoch angesehen. Auch wurde häufig erwähnt, dass die Förderbedingungen für thermische Anlagen schlechter sind als für PV-Anlagen.

Eine hohe Bandbreite der Antworten zeigt sich bei der Art der Einbindung von thermischen Kollektoren in Systeme. Einige Berater betrachten diese in Kombination mit Wärmepumpen als wenig sinnvoll und würden dann eher den Einsatz einer PV-Anlage empfehlen. Auf der anderen Seite haben jedoch auch einige Berater den Einsatz als absolut unproblematisch angesehen und würden diesen über den Einsatz von Kombispeichern oder auch zur reinen Warmwasserbereitstellung empfehlen. Diese Berater streichen häufig die höhere Effizienz der thermischen Anlagen hervor. Ein gewisser Konsens konnte dahingehend festgehalten werden, dass in der Vergangenheit häufig Systeme angetroffen wurden, die aufgrund schlechter Fachkenntnisse, fehlerhafter Hydraulik oder auch mangelhafter Regelung zu Problemen geführt haben.

Von den Beratern wurde häufig erwähnt, dass im Gespräch mit den Bauherren die PV-Anlagen ein wesentlich besseres Image hat. Der Einsatz von thermischen Kollektoren wird (wenn bekannt) als 'unmodern' betrachtet. Die Bauherrschaften sind häufig der Ansicht, dass sie (wenn überhaupt) eher zu einer PV-Anlage tendieren. Hier gibt es Berater, welche die Bauherrschaften über die Vor- und Nachteile beider Systeme aufklären. Andere Berater unterstützen die Bauherrschaften in ihrer Meinung. Sie betrachten die PV-Anlagen als flexibler, sinnhafter, günstiger und mit weniger Aufwand einsetzbar.

Als durchgehend unbestritten wird, wie bei den Architekten, der Einsatz von thermischen Kollektoren bei grossen Wärmeverbrauchern (Wärmenetzen), in Kombination mit Holz- / Pelletheizungen oder in Industrieanwendungen (Prozesse) betrachtet. In diesen Bereichen war jedoch keiner der befragten Energieberater tätig.

3.5.3 Fachplaner HLK

Die Fachgruppe der HLK-Planer hat erwartungsgemäss grosse Überschneidungen mit den Energieberatern. So bieten die meisten Fachplaner auch Energieberatungen an, während die Energieberater jedoch häufig nur beratend und primär vor der Ausführung beigezogen werden. Die Fachplaner werden häufiger mit konkreten Problemstellungen in der Umsetzung konfrontiert. Zudem bewegen sich die Fachplaner häufiger im Bereich des Neubaus, während Energieberater grösstenteils im Bestandsbau und bei Sanierungs- und Ersatzmassnahmen beigezogen werden.

Stärker noch als bei den Energieberatern zeigt sich bei den Fachplanern die Konkurrenzbeziehung zwischen den thermischen Solaranlagen und den PV-Anlagen. Mit



einer Ausnahme sind alle Fachplaner der Ansicht, dass der PV-Ausbau klar bevorzugt wird. Als Gründe hierfür wurden verschiedene Punkte aufgeführt:

- PV-Anlagen werden in der Wahrnehmung stärker beworben, dadurch werden diese auch eher gefordert oder gewünscht von der Bauherrschaft
- Thermische Kollektoren sind weniger verbreitet und dadurch weniger bekannt
- PV-Anlagen (besonders in Kombination mit Wärmepumpen) werden als sinnvolle, einfache und flexible Systeme angesehen
- PV-Anlagen werden als ökonomisch rentabler betrachtet

Bezüglich der Bewilligung und formalen Baueingaben in Bezug auf die Energiesysteme für Neubauten und Umbauten, zeigt sich ein sehr breites Spektrum an Antworten. Eine Gruppe der Befragten findet die momentanen Bewilligungsprozesse und Abläufe verständlich und notwendig, während ein anderer Teil den Aufwand für Bewilligung und Eingaben als immer höhere Belastung betrachtet. Besonders die zweite Gruppe wünscht sich wesentliche Vereinfachungen bei den Bewilligungen und auch eine höhere Flexibilität bei (nach ihrer Ansicht) sinnvollen Kombinationen von Systemen. Ein gewisser Konsens zeigt sich dahingehend, dass es die letzten Jahre wesentlich anspruchsvoller geworden ist, abzuklären, wo, wie viel und unter welchen Auflagen Förderbeiträge abgeholt werden können. Ein Befragter hat sogar erwähnt, dass er diesbezüglich keine Abklärungen mehr vornimmt und sich hier auch nicht in der Verantwortung sieht.

Spannend ist unter dem Punkt der Regulierungen, dass viele Planer mit wesentlichen Verschärfungen in den nächsten Jahren rechnen. Es gibt jedoch auch mehrere Fachplaner, welche die MuKE und deren Umsetzung als einen relativ trägen Prozess sehen und in den nächsten Jahren nicht mit wesentlichen Änderungen und einschneidenden Massnahmen rechnen.

3.5.4 Installationsbetriebe HLK

Für die Experteninterviews wurden auch Installationsbetriebe aus der HLK-Branche befragt. Diese Fachgruppe konnte im Rahmen der durchgeführten Online-Befragung nicht eingeschlossen werden. Besonders im Hinblick auf die in der Praxis genannten Probleme in Bezug auf die thermischen Anlagen, wurde diesen ein wichtiger Stellenwert eingeräumt, da Installateure im Rahmen von Wartungs- und Unterhaltsarbeiten die von Ihnen betreuten Anlagen sehr gut kennen. Bei Anlageproblemen sind Installateure häufig auch die erste Anlaufstelle für die Bauherrschaften. Im Rahmen der Arbeit konnten drei Inhaber von mittelgrossen Installationsbetrieben für die Teilnahme gewonnen werden.

Die befragten Fachpersonen sehen die Technik der thermischen Kollektoren grundsätzlich als solide und funktional an, jedoch wird auch festgehalten, dass infolge mangelnder Planung und Ausführungsqualität häufig Probleme auf Anlagen angetroffen werden. Es wurden folgende Probleme genannt, die in der Folge behoben werden mussten:

- Durchfluss der thermischen Kollektoren: Anlagen schlecht oder ungenügend einreguliert.
- Regler und Einstellparameter: falsche Parameter eingestellt oder durch Bauherrschaft verstellt.
- Temperaturproblem: aufgrund falscher Einstellung und ungenügender Ausführung der Hydraulik werden die gewünschten Temperaturen nicht erreicht.



- Fehlende Wartung: Die Bauherrschaften werden kaum oder nur schlecht auf die Wartung der Anlagen sensibilisiert.
- Fehlerhafte Einbindung: Ungenügende oder fehlerhafte Einbindung der Solarregister im Wärmespeicher, falsche Auslegung der Register
- Qualität: Einbau von qualitativ mangelhaften Kollektoren

Von zwei Fachpersonen wurde zudem erwähnt, dass sie zunehmend wieder eine Abnahme des Fachwissens und der benötigten Kompetenz feststellen. Viele (auch eigene) Mitarbeiter bilden sich heute tendenziell in Richtung der Installation von PV-Anlagen weiter. Es wird (nach eigener Aussage) zunehmend schwierig, entsprechendes Personal im Betrieb zu haben, welches auch thermische Anlagen in der notwendigen Qualität realisieren kann. Verschärft wird die Situation dadurch, dass viele Betriebe sehr gut ausgelastet sind und der Druck, zum eigentlichen Heizungsersatz noch ein zusätzliches System zu installieren (wenn auch ökologisch oder ökonomisch sinnvoll), klein ist.

Die aktuelle Stossrichtung, die PV-Anlagen immer weiter zu fördern und thermische Anlagen wenig bis gar nicht zu subventionieren, wird von den Installateuren als eher kritisch betrachtet. Aussage einer Fachperson: "Falls wir in Zukunft wieder entsprechendes Personal brauchen um (auch grosse) Anlagen zu realisieren, werden die Fachkräfte vermutlich nicht zur Verfügung stehen".

3.5.5 Fazit

Eine fachübergreifende Betrachtung des aktuellen Standes und des Potenzials der Solarthermie gestaltet sich als schwierig. Die Ansprüche und Interessen unterscheiden sich je nach Branche stark. Einige Gemeinsamkeiten konnten jedoch trotzdem festgestellt werden.

Die Diskussion um die Nutzung von thermischen Solaranlagen führt fast zwangsläufig auch zu einer Diskussion über die Nutzung von PV-Anlagen. Ein grösserer Teil der Befragten steht der Technik sowie der Nutzung von Solarthermie zur Gebäudebeheizung grundsätzlich positiv gegenüber. Jedoch sind die Rahmenbedingungen (aus Sicht der meisten Befragten) so ausgestaltet, dass die Installation von PV-Anlagen aus diversen nachfolgend aufgeführten Gründen bevorzugt wird:

- PV-Anlagen haben das bessere Image
- PV-Technologie wird als moderner und innovativer eingestuft
- Installation von PV-Anlagen wird als flexibel und unkompliziert betrachtet
- Bessere Förderinstrumente bei PV-Anlagen
- Bauherrschaft wünscht explizit eine PV-Anlage ohne Betrachtung von thermischen Anlagen

Die beiden Systeme der thermischen oder elektrischen Nutzung werden im Hinblick auf die Nutzung der Dachfläche häufig als konkurrierende Systeme betrachtet. Die kombinierte Nutzung als unabhängige Systeme (parallel) oder über eine kombinierte Anwendung (Bsp. PVT) ist wenig bekannt oder wird in den Interviews nur am Rande erwähnt.

Die meisten Befragten stehen der Nutzung von thermischen Solaranlagen für kleinere Anwendungen wie Einfamilienhäuser oder Mehrfamilienhäuser eher kritisch gegenüber. Diese Betrachtung ändert sich jedoch, wenn nach dem Potential für thermischen Solaranlagen



gefragt wurde. Viele Fachpersonen sehen das grosse Potential der thermischen Solarnutzung vor allem im Bereich der Integration in Nah- und Fernwärmenetzen. Ein weiterer sinnvoller Einsatz, welcher von keinem der Befragten in Abrede gestellt wurde, ist der Einsatz im Industriebereich und in Kombination mit der Nutzung von Prozesswärme. Besonders da diese Prozesse häufig keiner saisonalen Schwankung (Sommer-Winter) unterliegen.

Bezüglich Regulierungen, Auflagen und Förderinstrumenten wurde verschiedentlich festgehalten, dass die administrativen Anforderungen und damit verbundenen Aufwände in den letzten Jahren gestiegen sind. Auch wenn einige Fachpersonen dieser Entwicklung sehr kritisch gegenüberstehen, ist ein Grossteil davon der Ansicht, dass diese Aufwände notwendig und berechtigt sind. Einen gewissen Konsens gibt es bezüglich des Zeitpunktes der Eingabe der Fördergesuche. Diese müssen heute häufig mit der Baueingabe oder zumindest vor Baubeginn vorliegen. Eine Flexibilisierung und auch eine nachträgliche Eingabe werden als wünschenswert betrachtet.



3.6 Solarthermie im Kontext der MuKE Standardlösungen

3.6.1 Hintergrund

Die Resultate aus der Umfrage und den Interviews im Kapitel 3.4 haben aufgezeigt, dass die Kosten der Solarthermieanlagen offenbar ein wichtiger Grund für die niedrige Akzeptanz auf dem Markt sind. Diesem Punkt wird in diesem Kapitel genauer nachgegangen, indem die MuKE 2014 Standardlösungen als Rahmen für die Kosten-Nutzen-Analyse verwendet werden, wobei der Nutzen aus rein energetischer Sicht betrachtet wird. Der Fokus liegt auf einem MFH-Neubau, welcher bezüglich den Gebäudeeigenschaften (Fensteranteil, Gebäudehüllzahl, Stockwerkanzahl etc.) in etwa dem Schweizer Durchschnitt entspricht. Die Auswertung wurde bewusst nicht auf EFH ausgeweitet, da die Ergebnisse aus dem Kapitel 3.3.1 klar aufzeigen, dass im EFH-Bereich die Flächenkonkurrenz zur PV gross ist und die Bauherren sich häufig dafür entscheiden grössere PV-Anlagen zu realisieren, auch wenn dies dazu führt, dass die minimalen Anforderungen zur Eigenstromerzeugung (10 W/m²) zum Teil deutlich überschritten werden. Auch die Ergebnisse zur Umfrage und den Interviews weisen darauf hin, dass vorwiegend für grössere Bauten ein Potenzial für die Solarthermie gesehen wird.

Sanierungen werden in diesem Abschnitt der Studie aus nachfolgenden Gründen nicht betrachtet:

- Sanierungen sind komplex und stark von der individuellen Situation abhängig
- Die Kostenanalyse ist mit noch grösseren Unsicherheiten verbunden als beim Neubau
- Ablehnung des CO₂-Gesetzes durch die Stimmbevölkerung und damit einhergehend, das Wegfallen der periodischen Verschärfung für CO₂-Grenzwerte für bestehende Gebäude
- Resultate aus dem Neubau können auch für eine grobe Bewertung der Systeme für den Sanierungsmarkt beigezogen werden

Die MuKE Standardlösungen (SL) sind ein bewährtes Mittel, um die Bewilligung von Heizungssystemen in einem vereinfachten Verfahren zu erhalten. Eine Auswertung der Ostschweizer Kantone (ZH, SG, SZ, AR, GL) zeigt, dass diese häufig genutzt werden. Die Resultate sind in der Abbildung 61 zusammengefasst. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die SL aus der MuKE 2008 deutlich häufiger verwendet wurden als die rechnerische Lösung (RL), welche mit einem grösseren planerischen Aufwand verbunden ist, jedoch mehr Spielraum für die Auslegung und Optimierung zulässt. Ob diese Resultate auch für SL der MuKE 2014 gelten, kann aktuell nicht gesagt werden, da den Autoren zurzeit keine solche Auswertung bekannt ist.

Zusätzlich zu den SL wurden auch verschiedene RL in der Auswertung mitberücksichtigt. Bei den RL wurde eine Berechnung nach SIA 380/1:2016 durchgeführt, um die U-Werte der opaken Bauteile zu bestimmen. Dabei wurden nur die Elemente zur Aussenluft (Dach, Wand und Fenster) gegenüber den SL verändert. Weitere Details zu den Berechnungen und den untersuchten Heizsystemen sind im Kapitel 2.2 zu finden.

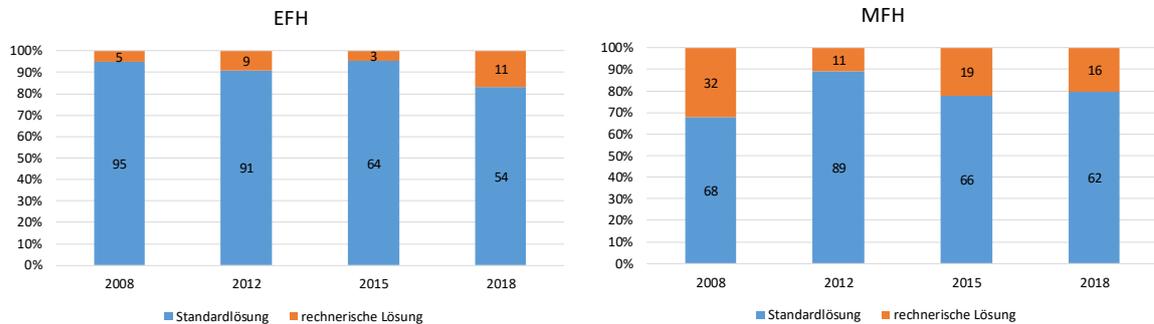


Abbildung 61: Verhältnis der gewählten Lösungsarten für den Nachweis des gesetzlich geregelten Höchstanteils nichterneuerbarer Energien (EN-1a/EN-1b) für Ein- und Mehrfamilienhäuser [27].

Nachfolgend sind die wichtigsten Randbedingungen zusammengefasst, um die Resultate in den nachfolgenden Kapiteln richtig einzuordnen:

- In den Kostenberechnungen wird eine PV-Anlage mitberücksichtigt. Diese weist eine Leistung von 12 kWp auf um die gesetzlichen Anforderungen an die Eigenstromerzeugung von 10 W/m² zu erfüllen. Die selber produzierte Elektrizität wird nicht berücksichtigt in den Berechnungen. Die Berücksichtigung der PV-Anlage erlaubt es, einen direkten Vergleich zu Systemen mit einer PVT-Anlage zu machen.
- Es werden keine Subventionen oder Steuervorteile berücksichtigt.
- Durchschnittliches MFH mit einem Heizwärmebedarf von 30.5 kWh/m² nach SIA380/1:2016 Berechnung für den Standort Zürich.
- Standard Warmwasserbedarf nach SIA380/1:2016 von 21 kWh/m²(EBF).
- Standard Nutzerverhalten (Raumtemperatur, Verschattung, Fensteröffnung).
- Luftmenge nach Minergie ausgelegt: Total 930 m³/h (0.77 m³/hm²). Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung beträgt 80%.
- Erhöhtes Volumen des Pufferspeichers um 0.6 m³ bei Systemen mit Solarthermieanlage (Berücksichtigung bei Kosten- und Energieanalyse).
- Heizleistung und Erdsondenlänge an Klimastation angepasst.
- Verwendung der Annuitätenmethode (Realzinssatz 3.5%).
- Endenergiepreise: Strom = 16.4 Rp/kWh, Pellets = 7 Rp/kWh, Gas = 9 Rp/kWh.



3.6.2 Simulationen und energetische Auswertung

In diesem Kapitel sind die Resultate zur energetischen Bewertung der einzelnen Lösungen zusammengefasst. Dabei wurden die meisten SL berücksichtigt. Ausgenommen aus der Auswertung wurden die Lösungen mit Fernwärme, Gas-Wärmepumpe und Stückholzheizung mit folgender Begründung:

1. Fernwärme: Die Fernwärmetarife weisen je nach Betreiber sehr grosse Unterschiede auf. Im Vergleich zu den Stromkosten gibt es keine belastbare Übersicht der verschiedenen Tarife.
2. Gas-Wärmepumpe und Stückholzheizung: Im Vergleich zu den anderen Lösungen werden diese beiden Systeme im Neubau eher selten eingesetzt.

In der Tabelle 6 sind die Resultate aller simulierten SL und RL für alle drei Standorte, mit Ausnahme der RL Eisspeicher und RL PVT, aufgeführt. Die Resultate setzen sich zusammen aus den Investitions- und Mehrkosten der Komponenten, der gewichteten Energiekennzahl (GEKZ) und den Wärmegeheimungskosten (WGK). Die detaillierte Beschreibung der in diesem Projekt verwendeten Kennzahlen ist im Kapitel 2.4 zu finden. Die Resultate werden als relative Werte zur Referenz (SL2 – Erdsonden Wärmepumpe) ausgewiesen. Das Auswahlkriterium für die Referenz war die GEKZ, welche in diesem Fall den tiefsten Wert von allen untersuchten Systemen aufweist.

Die RL haben gegenüber der SL1&2 eine um $0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$ erhöhten U-Wert für opake Bauteile gegen aussen. Die Fenster weisen einen U-Wert von $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf, was eine Reduktion um $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gegenüber der SL1&2 bedeutet. Mit diesen Anpassungen wird der Heizwärmehachweis nach SIA 380/1:2016 erfüllt. Weitere Details zu den gewählten Parametern sind im Kapitel 2.2 und der Tabelle 1 zusammengefasst.

Weiter ist zu beachten, dass auch die SL3-LW-WP (Luftwärmepumpe) berechnet wurde, obwohl diese in der MuKE 2014 als Standardlösung nicht zugelassen ist. Dies hilft die unterschiedlichen Kennwerte besser einzuordnen.

Bei den Simulationen und Analysen in diesem Projekt geht es nicht um die Validierung und Überprüfung der MuKE Standardlösungen, sondern darum, die Solarthermie in den energetischen und ökonomischen Kontext zu den anderen Systemen zu setzen.



Tabelle 6: Zusammenfassung der Resultate als relative Werte zur Referenz (SL2-SW-WP, rot umrandet) für alle drei Standorte. Die farbliche Kennzeichnung der Resultate ist nur für die jeweilige Kennzahlengruppe (Investition, GEKZ und WGK) gültig und ist vom Standort abhängig. Investition = Kosten Heizungssystem + Mehrkosten Gebäudehülle, GEKZ = gewichtete Energiekennzahl, WGK = Wärmegestehungskosten, RL = rechnerische Lösung.

Anforderungen:	Resultat:	Klimastation Zürich							Klimastation Lugano							Klimastation Davos						
		A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G
		Elektr. WP Erdsonde	Automatische Holzfeuerung (Pellet)	Fernwärme	Elektr. WP Aussenluft	Stückholz- feuerung	Gasbetriebene Wärmepumpe	Fossiler Wärmeerzeuger (Gas)	Elektr. WP Erdsonde	Automatische Holzfeuerung (Pellet)	Fernwärme	Elektr. WP Aussenluft	Stückholz- feuerung	Gasbetriebene Wärmepumpe	Fossiler Wärmeerzeuger (Gas)	Elektr. WP Erdsonde	Automatische Holzfeuerung (Pellet)	Fernwärme	Elektr. WP Aussenluft	Stückholz- feuerung	Gasbetriebene Wärmepumpe	Fossiler Wärmeerzeuger (Gas)
SL 1	Opake Bauteile gegen aussen 0.17 W/m ² K	Investition	119%	97%	98%				120%	106%	104%				115%	79%	81%					
	Fenster 1.00 W/m ² K	GEKZ	147%	182%	180%				197%	245%	236%				147%	173%	193%					
	Kontrollierte Wohnungslüftung (KWL)	WGK	141%	160%	145%				148%	169%	153%				142%	144%	135%					
SL 2	Opake Bauteile gegen aussen 0.17 W/m ² K	Investition	100%	79%	80%				100%	85%	83%				100%	64%	66%					
	Fenster 1.00 W/m ² K	GEKZ	100%	145%	136%				100%	157%	133%				100%	133%	146%					
	Th. Solaranlage für WW mit mind. 2% der EBF	WGK	100%	112%	104%				100%	110%	104%				100%	97%	94%					
SL 3	Opake Bauteile gegen aussen 0.15 W/m ² K	Investition	84%	63%	64%				83%	68%	66%				87%	51%	53%					
	Fenster 1.00 W/m ² K	GEKZ	126%	168%	161%				161%	208%	193%				133%	165%	183%					
		WGK	94%	109%	98%				94%	107%	98%				98%	98%	92%					
SL 4	Opake Bauteile gegen aussen 0.15 W/m ² K	Investition	110%	88%	89%				110%	96%	94%				108%	72%	74%					
	Fenster 0.80 W/m ² K	GEKZ	118%	156%	152%				153%	194%	183%				121%	149%	169%					
		WGK	123%	137%	128%				127%	140%	131%				128%	125%	121%					
SL 5	Opake Bauteile gegen aussen 0.15 W/m ² K	Investition		118%						129%						96%						
	Fenster 1.00 W/m ² K	GEKZ		152%						186%						132%						
	Kontrollierte Wohnungslüftung (KWL)	WGK		174%						185%						153%						
	Th. Solaranlage für WW mit mind. 2% der EBF																					
SL 6	Opake Bauteile gegen aussen 0.15 W/m ² K	Investition		175%				149%		192%				164%		142%				121%		
	Fenster 0.80 W/m ² K	GEKZ		131%				227%		164%				264%		99%				167%		
	Kontrollierte Wohnungslüftung (KWL)	WGK		244%				221%		262%				232%		215%				192%		
	Th. Solaranlage für WW mit mind. 7% der EBF																					
RL	Opake Bauteile gegen aussen 0.19 W/m ² K	Investition	78%	57%	58%				76%	62%	60%				83%	46%	48%					
	Fenster 1.00 W/m ² K	GEKZ	130%	176%	167%				161%	219%	202%				146%	178%	193%					
		WGK	86%	102%	90%				84%	99%	89%				89%	91%	84%					



Auf den nachfolgenden Seiten wird genauer auf die GEKZ eingegangen, welche in den MuKE n 2014, neben des Heizwärmebedarfs eine wesentliche Kennzahl darstellt, um den Energieverbrauch im Gebäudebereich zu lenken. In Abbildung 62 sind für unterschiedliche Lösungen und Standorte die GEKZ in absoluten Werten dargestellt und in Abbildung 63 der relative Vergleich zur Referenz (SL2). Einige Erkenntnisse können wie folgt festgehalten werden:

- Die Wärmepumpen mit Erdsonden als Quelle (SW-WP) weisen in allen Lösungen die geringste GEKZ aus. Die WP-Lösung mit Eisspeicher und PVT-Kollektoren weist über alle Standorte betrachtet eine im Mittel 34% höhere GEKZ aus als SL2-SW-WP mit abgedeckten Solarthermie-Kollektoren.
- Die SL2-Systeme mit einer thermischen Solaranlage für die Warmwasser-Vorerwärmung, weisen die tiefsten GEKZ auf, bei einem direkten Vergleich mit dem gleichen Heizungstyp¹⁵. Dies speziell für den Standort Lugano, was auf den höheren Solardeckungsgrad zurückzuführen ist (siehe Abbildung 64). Am deutlichsten ist die Reduktion der GEKZ im Vergleich zur SL1 mit Komfortwohnungs Lüftung (KWL), diese beträgt je nach Klimastandort und System zwischen 26% und 97% (SL4-Pellets / SL1-SW-WP).
- Gegenüber der verbesserten Gebäudehülle (SL3 und SL4) reduziert die Kombination mit einer Solarthermieanlage (SL2) die GEKZ zwischen 7% und 33% für die Standorte Zürich und Davos. Für den Standort Lugano ist die Reduktion deutlich grösser (24-61%), jedoch ist zu berücksichtigen, dass in Lugano die GEKZ schon relativ tief ist gegenüber dem Grenzwert, was auf die hohen Anforderungen an die Gebäudehülle im Verhältnis zum eher milden Winterklima zurückzuführen ist.
- Trotz der sehr hohen Anforderungen an die fossilen Heizungen (KWL, Solar+ und verbesserte U-Werte für opake Bauteile und Fenster) weist die SL6 mit Gasheizung für die Standorte Lugano und Zürich die höchste GEKZ auf. Ein anderes Bild zeigt sich für den Standort Davos, hier ist die GEKZ zum Teil tiefer als jene der LW-WP-Varianten und einzelner Pellet-Varianten. Dieser Unterschied ist auf den hohen solaren Deckungsgrad zurückzuführen (Abbildung 64), resultierend aus den überdurchschnittlichen Globalstrahlungswerten im Winter für Davos und der grossen Kollektorfläche von 84 m² (7% der EBF für SL6).

¹⁵ Einzig SL6-B (Pelletheizung) hätte eine tiefere GEKZ (siehe Tabelle 6), jedoch sind die Kostenparameter massiv schlechter, so dass diese Variante nicht weiter in Betracht gezogen worden ist.

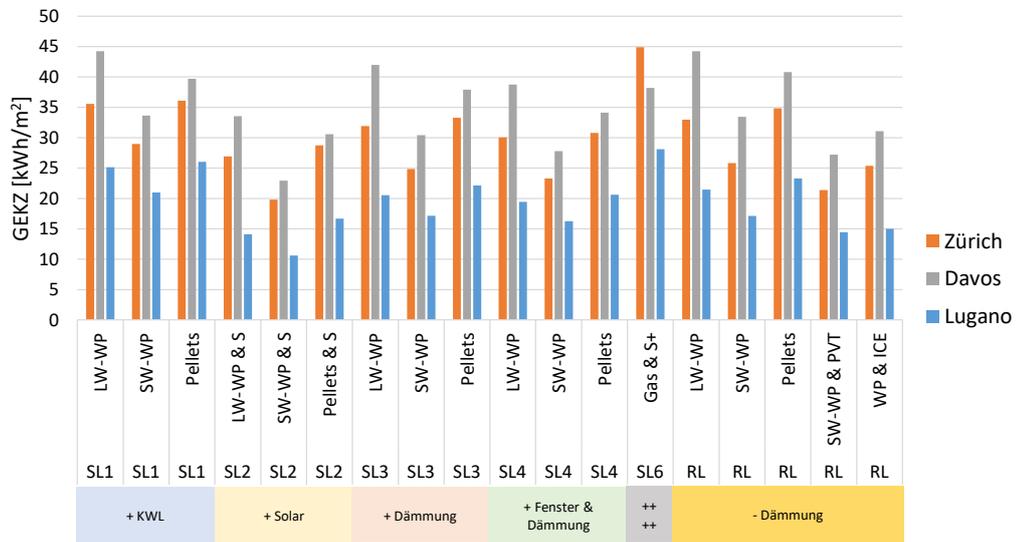


Abbildung 62: Zusammenfassung der gewichteten Energiekennzahl für unterschiedliche Systemlösungen und Klimastandorte (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).

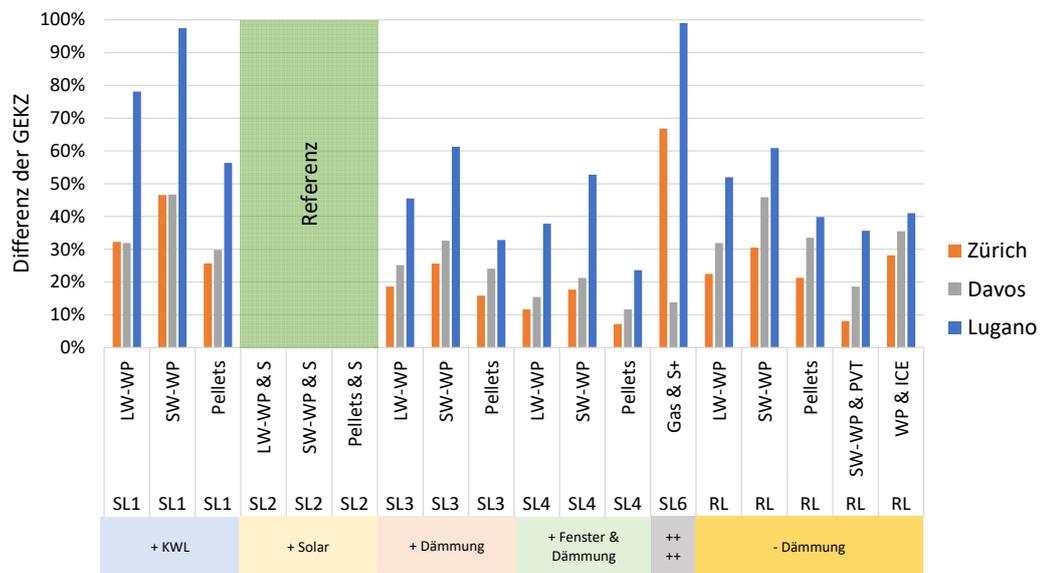


Abbildung 63: Relative Differenz der GEKZ der unterschiedlichen Lösungsvarianten gegenüber der SL2 des gleichen Heizungstyps. SL6 wurde der SL2 LW-WP&S gegenübergestellt und die RL WP&ICE der SL2 SW-WP&S (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).

Ein wesentlicher Grund für die tiefen GEKZ für die SL2 am Standort Lugano ist die im Vergleich zum Wärmebedarf grosse Kollektorfläche, da diese gleich gross sein muss wie in Zürich oder Davos (2% der EBF). Wie in Abbildung 64 ersichtlich, steigt der solare Deckungsgrad (SD) in Lugano um 18 Prozentpunkte bei den WP-Lösungen gegenüber dem Standort Zürich und beträgt damit 40%¹⁶.

¹⁶ Der solare Deckungsgrad bezieht sich hier auf den gesamten Wärmebedarf und nicht nur auf die Warmwasserbereitstellung, weshalb die Werte hier tiefer sind als dies üblicherweise der Fall ist.



Der Gesamtwärmebedarf reduziert sich durch die KWL in Zürich um 17%, in Davos um 21% und in Lugano um 19% gegenüber der SL2 mit demselben Dämmstandard. Die Reduktion am Standort Davos ist grösser, da die Wärmerückgewinnung einen grösseren Beitrag leisten kann auf Grund der tieferen Aussentemperaturen. Dies führt dazu, dass die relative Reduktion der GEKZ durch die Solarthermie gegenüber der SL1 für den Standort Davos in etwa gleich gross ausfällt wie für den Standort Zürich (siehe Abbildung 63). Da in den Simulationen keine Schneebedeckung der Kollektoren berücksichtigt wird, muss davon ausgegangen werden, dass diese Reduktion in Davos eher überschätzt wird. Es ist auch zu berücksichtigen, dass bei einem realen Nutzerverhalten mit höheren Raumtemperaturen die SL1 mit KWL allgemein bessere Resultate erzielen würde.

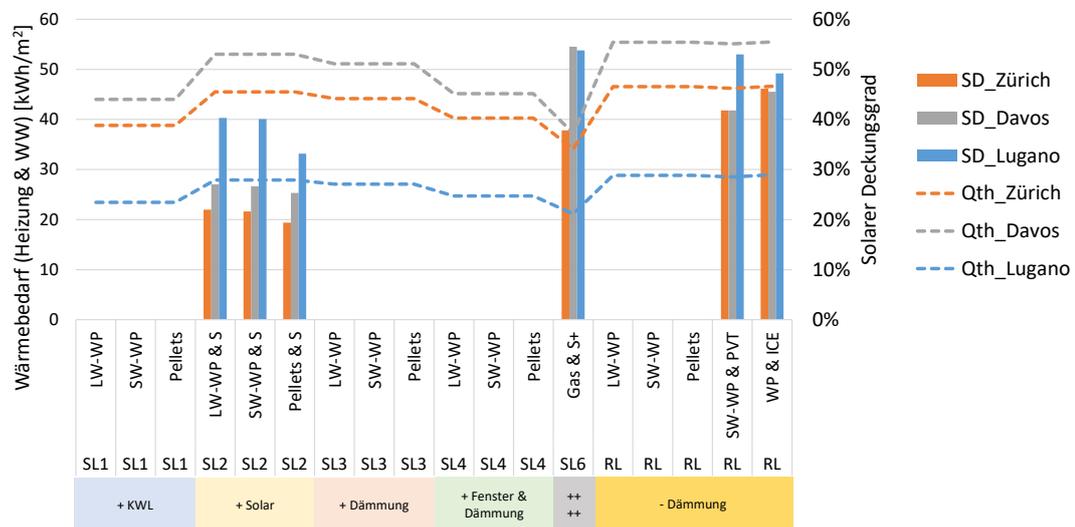


Abbildung 64: Darstellung des spez. Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser für die unterschiedlichen Systemlösungen auf der linken Y-Achse, aufgeteilt auf die drei Klimastandorte und Darstellung des solaren Deckungsgrades (SD) für die Systeme mit einer Solarthermie Anlage auf der rechten Y-Achse. Der SD berechnet sich aus dem gesamten Wärmebedarf (BWW & Heizung) (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).

Da vermehrt in den klassischen Medien und in Fachkreisen sowohl die "Winterstromlücke" als auch die höhere CO₂-Belastung der Elektrizität in den Wintermonaten thematisiert wird, wurde in SolThermGo eine «GEKZ-Winter» definiert, welche nur die Wintermonate November, Dezember, Januar und Februar berücksichtigt. Damit wird ein weiteres Bewertungskriterium für die Heizungssysteme angewendet, welche aus Sicht der Autoren in Zukunft wichtiger werden könnte, da sich eine starke Elektrifizierung des Wärmebereichs abzeichnet.

In Abbildung 65 und Abbildung 66 ist die GEKZ für unterschiedliche Lösungsvarianten dargestellt, wobei diese in «GEKZ-Winter» und «GEKZ-Rest» aufgeteilt wird, beide summiert ergeben die GEKZ wie diese in den vorangehenden Abschnitten besprochen wurde (Abbildung 62). Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse beschrieben:

- Die Lösungsvarianten mit SW-WP weisen für Zürich und Davos mit Abstand die tiefsten GEKZ-Winter auf. Im Schnitt sind diese für Zürich um 37% und für Davos um 40% tiefer gegenüber den Lösungen mit einer Luft/Wasser-WP (LW-WP). Damit wird deutlich, dass Wärmepumpen mit Erdsonden als Quelle einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung



der Winterstromsituation leisten können. In Abbildung 67 wird dies verdeutlicht durch die fokussierte Darstellung der GEKZ-Winter in einem relativen Vergleich der unterschiedlichen Lösungsvarianten mit Wärmepumpen.

- Wärmepumpen, die einen Eisspeicher in Kombination mit PVT-Kollektoren (WP & ICE) als Quelle nutzen, reduzieren die GEKZ-Winter gegenüber den LW-WP Varianten im Mittel um 28% in Zürich und in Davos um 32%.
- Die vermeintlich kältesten vier Monate im Jahr sind an den Standorten Zürich und Davos, über alle Lösungsvarianten betrachtet, für die Hälfte der GEKZ verantwortlich (ZH: 55%, DAV: 48%).
- Nicht überraschend ist, dass die Solarthermie im Fall der SL2 den grössten Beitrag zur Reduktion der GEKZ in den anderen Monaten (GEKZ-Rest) aufweist. Jedoch reduziert sie auch die GEKZ-Winter gegenüber der KWL (SL1) im Schnitt über alle Heizungssysteme um 1 kWh/m² in Zürich und um etwa 2.1 kWh/m² in Davos.
- Die Variante, in welcher PVT-Kollektoren zur Regeneration der Erdsonden eingesetzt werden (RL SW-WP&PVT), reduziert gegenüber der SL2 SW-WP die GEKZ-Winter im Fall von Zürich um etwa 10% (1 kWh/m²). Da PVT-Kollektoren auf einem tieferen Temperaturniveau operieren als verglaste Flachkollektoren, können sie entsprechend weniger in den anderen Monaten (GEKZ-Rest) zur Reduktion beitragen.

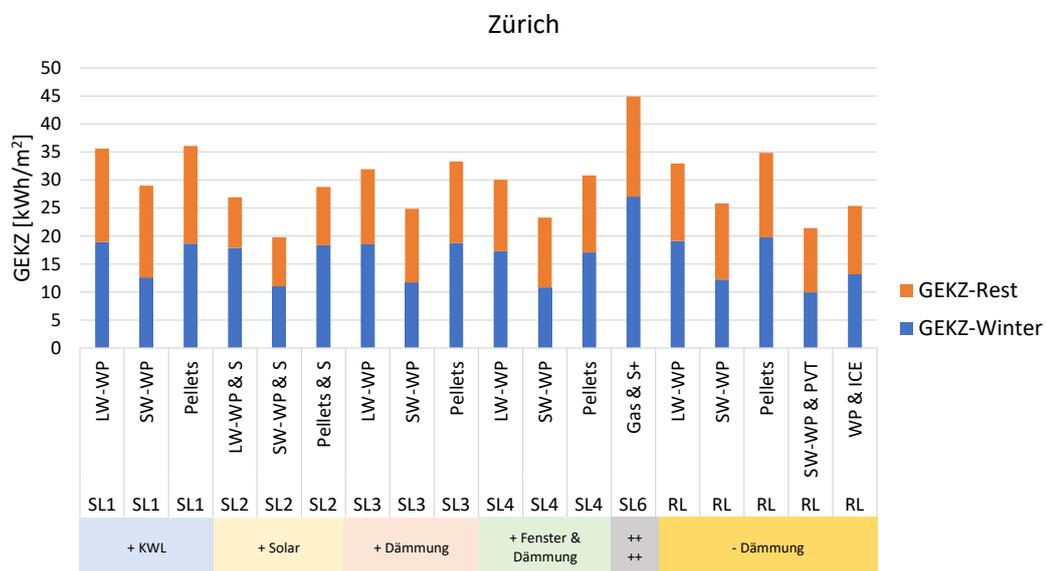


Abbildung 65: Gewichtete Energiekennzahl am Standort Zürich für unterschiedliche Lösungsvarianten, aufgeteilt in zwei Teilkennzahlen. Die Kennzahl «GEKZ-Winter» berücksichtigt die Werte für die Monate November, Dezember, Januar und Februar. Die anderen Monate sind in der Teilkennzahl «GEKZ-Rest» berücksichtigt (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).

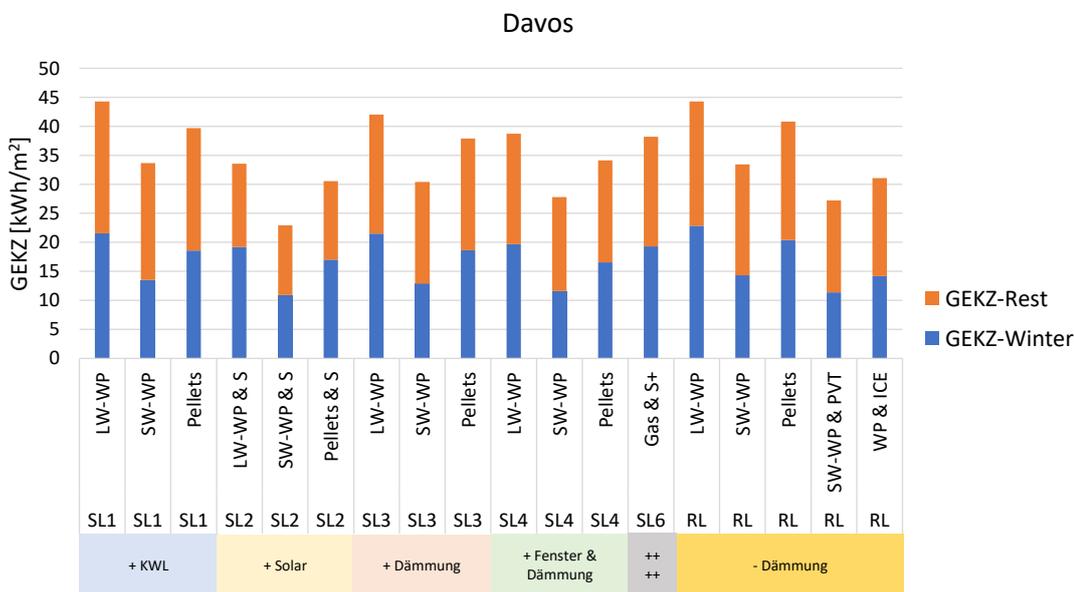


Abbildung 66: Gewichtete Energiekennzahl am Standort Davos für unterschiedliche Lösungsvarianten, aufgeteilt in zwei Teil Kennzahlen. Die Kennzahl «GEKZ-Winter» berücksichtigt die Werte für die Monate November, Dezember, Januar und Februar. Die anderen Monate sind in der Teil Kennzahl «GEKZ-Rest» berücksichtigt (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).

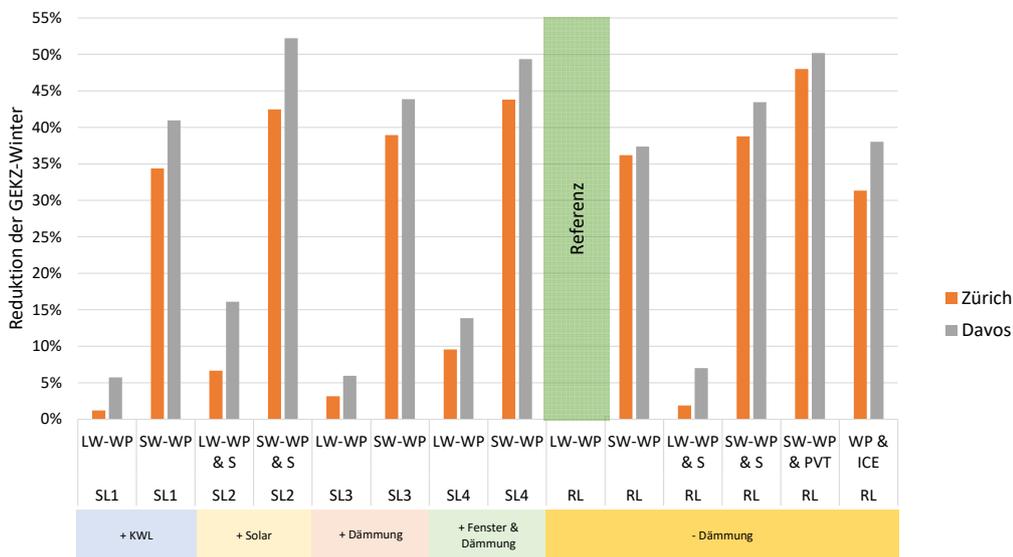


Abbildung 67: Reduktion der GEKZ für die Wintermonate (November, Dezember, Januar und Februar) gegenüber der Referenz (RL LW-WP) mit Berücksichtigung der zwei kälteren Klimastationen Zürich und Davos mit Fokus auf Wärmepumpensystem.



3.6.3 Kostenanalyse

Die auf den nachfolgenden Seiten dargestellten Resultate berücksichtigen keine Subventionen oder anderweitige finanzielle Unterstützungsleistungen. Die Investitionskosten setzen sich zusammen aus den Gesamtinvestitionen bei den Heizungssystemen und den Mehrkosten, die aufgrund höherer Anforderungen anfallen (z.B. zusätzliche Dämmung bei SL3). Einige Kennwerte sind in Tabelle 7 zusammengefasst, detaillierte Informationen zu allen Komponenten sind im Kapitel 2.3 beschrieben. Komponenten wie das Wärmeabgabesystem, die Gebäudestruktur und andere Elemente eines Gebäudes die in jedem Fall realisiert werden müssen, wurden nicht miteinbezogen.

Tabelle 7: Ausgewählte Daten zu den (Mehr-)Investitionen einiger Komponenten für das Referenzgebäude und deren jährlichen Unterhaltskosten in absoluten Zahlen oder mit einem relativen Bezug zu den Investitionen. Zusätzlich ist die gewählte Nutzungszeit pro Komponente für die Annuitätsberechnung aufgeführt. Detaillierte Angaben zu den Kosten und Methoden werden im Kapitel 2.3 gemacht.

	Investition / Mehrkosten [CHF]	Unterhaltskosten pro Jahr	Nutzungszeit [a]
LW-WP (26 kW)	69'336	550 CHF	15 ¹⁷
SW-WP (26 kW)	53'640	550 CHF	20
Erdsonden (Total 554 m)	49'860	0.25%	40
Pellet-Boiler (26 kW)	67'680	660 CHF	20
Gas-Boiler	25'260	660 CHF	20
KWL	62'000*	1.0%	30
Zusätzliche Dämmung (U-Wert: 0.15 W/m ² K)	9'520**	0.25%	50
Bessere Fenster (U-Wert: 0.8 W/m ² K)	42'471***	0.25%	30
Solarthermieanlage (24 m ² BWW)	31'010	0.5%	30
PV-Anlage (12 kWp)	27'761	0.5%	30

* Mehrkosten gegenüber einer Abluftanlage / ** Mehrkosten gegenüber einer Dämmung mit U-Wert 0.19 W/m²K /

*** Mehrkosten gegenüber Fenstern mit einem U-Wert von 1.0 W/m²K

In Abbildung 68 sind für alle Lösungsvarianten und Klimastandorte die angenommenen Investitionskosten zusammengefasst. Dabei fällt auf, dass für Davos jeweils die SW-WP deutlich teurer ist im Vergleich zu Lugano und Zürich. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Dimensionierung der Erdwärmesonde und Heizleistung dem jeweiligen Klimastandort angepasst wurde. Für Davos müssen im Vergleich zu Zürich zusätzliche 421 Sondenmeter abgeteuft werden. Die geringsten Investitionskosten fallen bei der RL mit LW-WP und Pellet Heizung an. Berücksichtigt man eine Unsicherheit bei den Daten von $\pm 10\%$, dann ist die Differenz dieser beiden rechnerischen Lösungen gering im Vergleich zu SL3 (LW-WP/Pellets).

¹⁷ Annahme: Höheren Beanspruchungen einer Luft-Wasser-Wärmepumpe gegenüber einer Erdsonden-Wärmepumpe (tiefere Quellentemperaturen, Enteisung etc.) wurde eine Differenz von fünf Jahren angenommen.



In Abbildung 69 sind die Kosten aufgeteilt zwischen Investitionskosten für das Heizungssystem und den Zusatzkosten, die durch die verbesserte Gebäudehülle oder den Einbau einer KWL gegenüber der rechnerischen Lösung für den Standort Zürich anfallen.

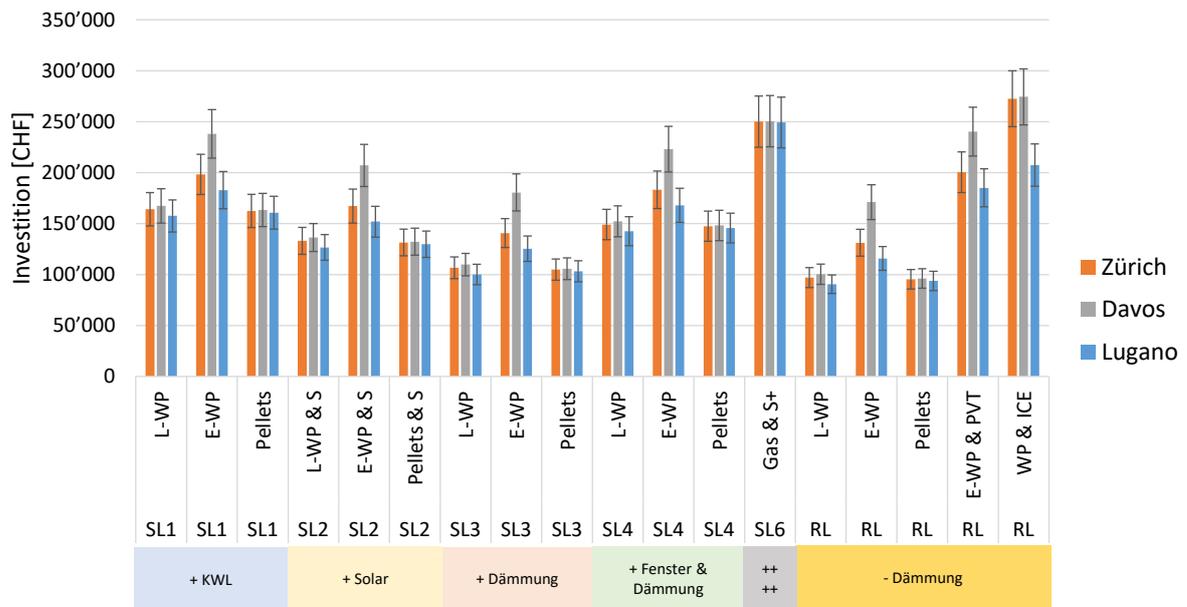


Abbildung 68: Investitions- und Mehrkosten der unterschiedlichen Lösungsvarianten für alle drei Klimastandorte. Für jede Lösung ist zusätzlich ein angenommener Unsicherheitsbereich von 10% dargestellt (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).

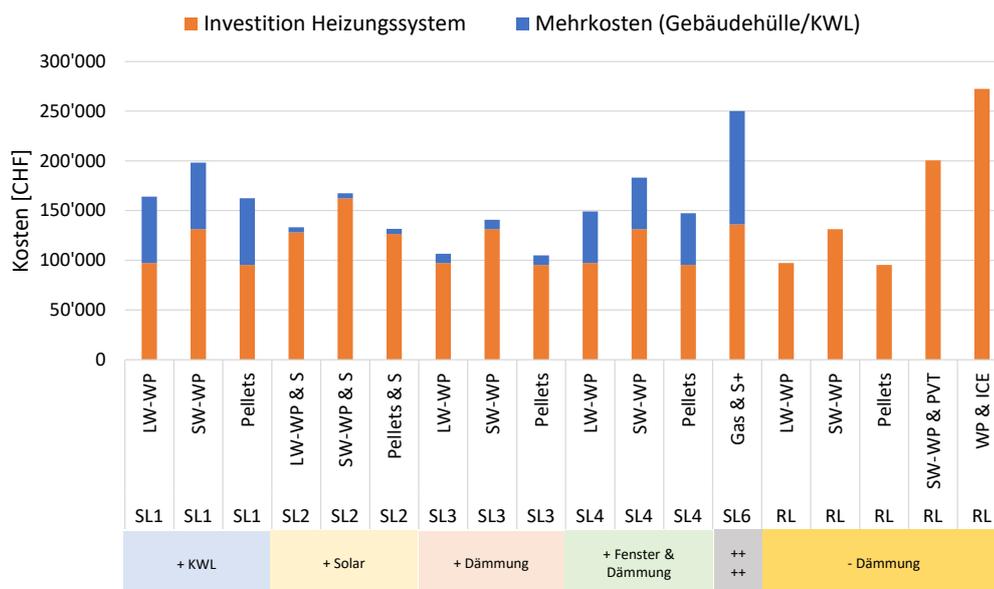


Abbildung 69: Detaillierte Aufschlüsselung der Investitions- und Mehrkosten der unterschiedlichen Lösungsvarianten für den Klimastandort Zürich.



Neben den Investitionskosten sind auch die Wärmegestehungskosten (WGK) über die Nutzungsdauer der Komponenten ein wichtiges Bewertungskriterium. Höhere Investitionen bei der Erstellung können sich aufgrund tieferer Betriebskosten über die Jahre auszahlen. In Abbildung 70 sind die WGK der einzelnen Lösungsvarianten dargestellt. Die Erkenntnisse dazu können wie folgt zusammengefasst werden:

- Berücksichtigt man eine relative Unsicherheit von 20%, liegen die WGK für die Lösungen SL2, SL3 und RL für die Heizungssysteme LW-WP und SW-WP auf einem ähnlichen Niveau für alle drei Standorte. Für das untersuchte Referenzgebäude kann man auch eine wirtschaftliche Lösung ohne den rechnerischen Nachweis erreichen. Dieser bietet in den genannten Fällen für das betrachtete Gebäude keinen wirtschaftlichen Vorteil.
- In Lugano sind die WGK der Pellet-Heizung, unabhängig von der Lösungsvariante, gegenüber den Wärmepumpensystemen deutlich höher. Auch die fossile Lösung (SL6) weist sehr hohe WGK auf und ist damit gegenüber den anderen Varianten unwirtschaftlich. Auffällig ist auch die generell schlechtere Wirtschaftlichkeit der Lösungen am Klimastandort Lugano. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Anforderungen gleich hoch sind wie zum Beispiel am Standort Zürich, jedoch ist der Wärmebedarf deutlich geringer. Zu berücksichtigen ist, dass keine Kühlung in dieser Studie berücksichtigt wurde, was andererseits bei einer Berücksichtigung die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpensysteme verbessern würde. Jedoch ist den Autoren nicht bekannt, dass die aktive Kühlung von Mehrfamilienhäusern im Kanton Tessin schon stark zugenommen hätte.
- Die SL1 (+KWL) und SL4 (+Gebäudehülle) schneiden bezüglich WGK im Bereich der Unsicherheit für die Standorte Zürich und Davos in etwa ähnlich ab. Die RL SW-WP&PVT ist trotz den hohen Investitionen in einem ähnlichen Bereich bezüglich den WGK. Im Schnitt sind jedoch alle drei Lösungen um etwa 20-25% teurer als SL2, SL3 und die RL-WP.

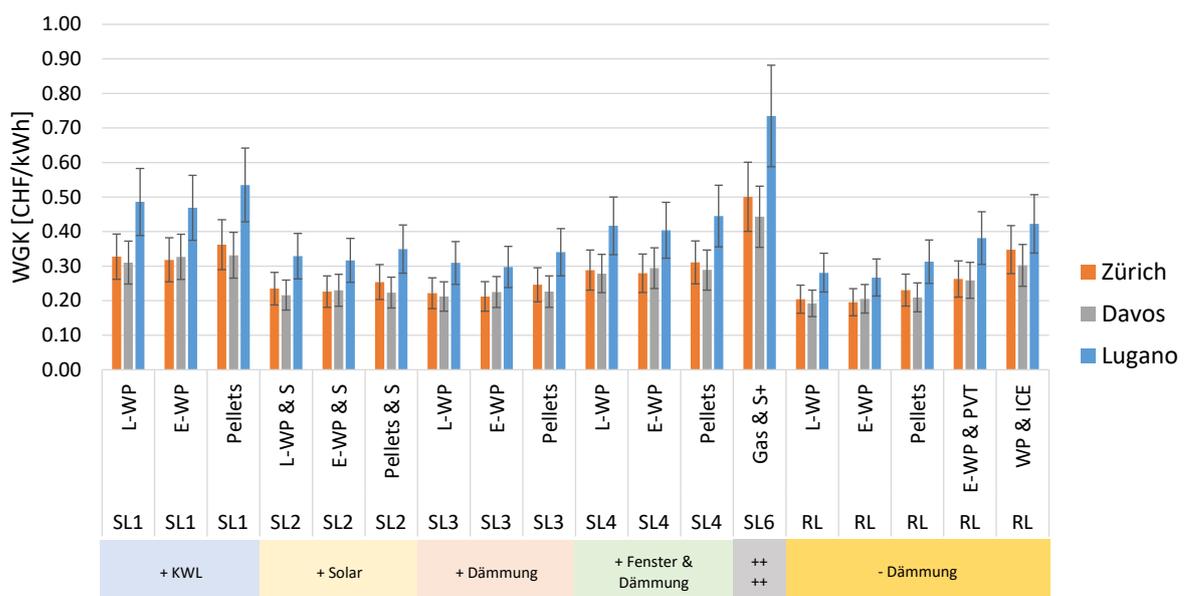


Abbildung 70: Wärmegestehungskosten für alle Lösungsvarianten und Klimastandorte zusammengefasst dargestellt. Für jede Lösung ist zusätzlich ein angenommener Unsicherheitsbereich von 20% dargestellt (++++ steht für Solar, Dämmung, Fenster und KWL).



Auf der nachfolgenden Seite ist die GEKZ in Abhängigkeit der Investitionen/Mehrkosten respektive in Abhängigkeit der WGK dargestellt. Dabei wurden nur Systeme berücksichtigt, welche nahe an der Pareto-Front liegen. Die Pareto-Front (in rot) beschreibt den bestmöglichen Zustand zwischen der GEKZ und der Investition (Abbildung 71) respektive zwischen der GEKZ und den WGK (Abbildung 72). Alle Lösungsvarianten die deutlich auf der rechten Seite dieser Front zu liegen kommen, sind als wenig optimale Lösung bezüglich Kosten und Energie zu betrachten.

Die Auswertung der Pareto-Fronten in der Abbildung 71 zeigt, dass die Investitionskosten um ungefähr 4% (~4'500 CHF) für den Standort Zürich und Lugano ansteigen, um eine Einheit der GEKZ zu reduzieren. In Davos betragen diese zusätzlichen Kosten 3% (~3'000 CHF) bis zur GEKZ von 31 kWh/m² und darunter etwa 7% (~10'000 CHF).

Wie in Abbildung 72 ersichtlich, steigen die WGK mit abnehmender GEKZ viel weniger stark als die Investitionskosten, was darauf zurück zu führen ist, dass die Investitionen um einen geringeren Endenergieverbrauch (GEKZ) zu erzielen, sich über die Jahre auszahlen. Die WGK steigen weniger als 1% für jede reduzierte Einheit der GEKZ. Zu berücksichtigen ist, dass es Lösungsvarianten gibt, welche eine höhere GEKZ aufweisen, ohne dass sich dies auf die WGK positiv auswirkt (z.B. RL Pellets in Zürich und Lugano).

Die Kosten können in der Realität stark variieren und damit die Ergebnisse beeinflussen. Wie in jeder Kostenanalyse bietet dieser Bereich das grösste Potential für Kritik. Oft spielen Partikularinteressen oder subjektive Erfahrungen eine Rolle bei der Beurteilung. Es wurde versucht, verschiedene Quellen für die Investitionskosten der unterschiedlichen Systeme miteinzubeziehen und alle verwendeten Werte und Methoden transparent auszuweisen. Damit können alle Berechnungen durch Dritte reproduziert und geprüft werden.

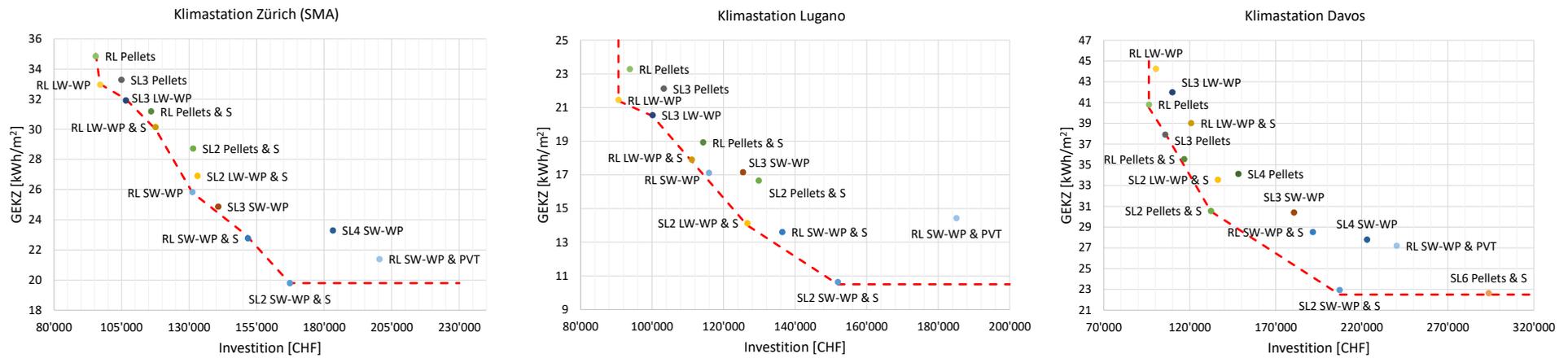


Abbildung 71: Gewichtete Energiekennzahl in Abhängigkeit der Investitionen/Mehrkosten für alle drei Klimastandorte mit Pareto-Front.

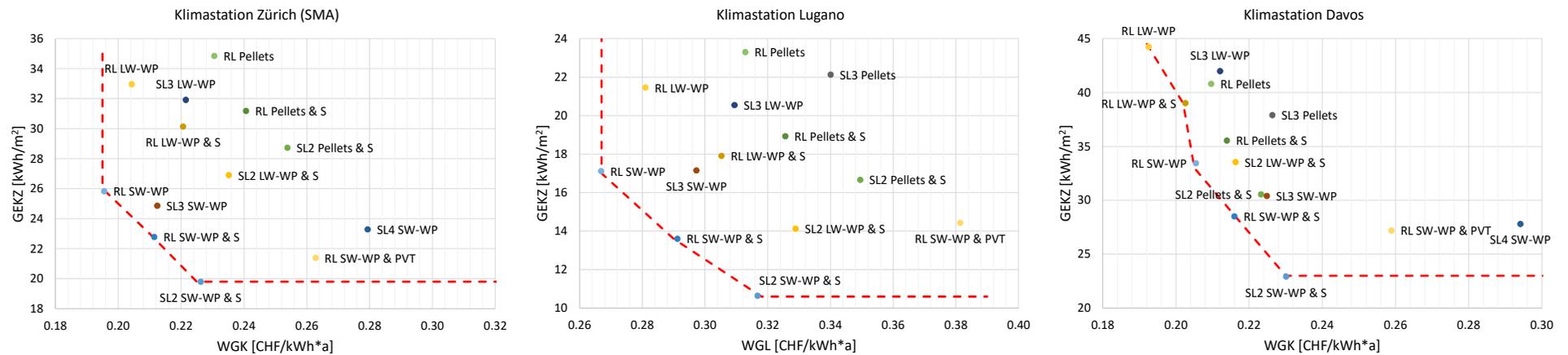


Abbildung 72: Gewichtete Energiekennzahl in Abhängigkeit der Wärmegestehungskosten für alle drei Klimastandorte mit Pareto-Front.



Um das energetische Kosten/Nutzen-Verhältnis der verschiedenen Lösungsvarianten vergleichen zu können, wurden die jährlichen Kosteneinsparungen gegenüber einer Referenz berechnet, diese Einsparungen sind in der Abbildung 73 dargestellt. Als Referenz wurde die rechnerische Lösung mit Pelletheizung gewählt, da diese den GEKZ-Grenzwert gerade noch einhält und die tiefsten Investitionskosten aufweist. Die Berechnungsgrundlagen sind im Kapitel 2.4 beschrieben.

Die Auswertung zeigt, dass die Lösungsvariante SL3 nicht nur eine tiefere GEKZ gegenüber der Referenz aufweist (Abbildung 62), sondern auch wirtschaftlicher ist. Berücksichtigt man eine gewisse Unsicherheit bei den Daten und eine Förderung der Solarthermie, dann kann man davon ausgehen, dass sich auch die SL2 Systeme gegenüber der Referenz auszahlen oder zumindest nicht teurer sind. Die grössten Einsparungen lassen sich in Zürich und Davos mit einer Erdsonden-Wärmepumpe und der rechnerischen Lösung erreichen. Es zahlt sich somit für die Bauherrschaft aus, eine Variante zu wählen, die den Grenzwert unterschreitet, jedoch zu Beginn eine höhere Investition erfordert.

Von den nicht fossilen Varianten ist die Eisspeicherlösung (RL WP&ICE) mit im Mittel 5'500 CHF höheren Jahreskosten gegenüber der Referenz am wenigsten wirtschaftlich. Ein Grund dafür ist die relativ grosse PVT-Kollektorfläche (90 m² für Zürich), die benötigt wird um den Eisspeicher zu regenerieren¹⁸. Die Kombination aus unabgedeckten selektiven Kollektoren und PVT-Kollektoren würde wahrscheinlich zu besseren Resultaten führen, da die selektiven Kollektoren einen höheren Wirkungsgrad aufweisen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die minimale Eigenstromerzeugung (10 W/m²) weiterhin eingehalten werden sollte.



Abbildung 73: Resultate zu den jährlichen Kosteneinsparungen gegenüber der Referenz (RL Pellets) für alle untersuchten Lösungsvarianten an den drei Klimastandorten.

¹⁸ Wobei auch berücksichtigt werden muss, dass die PVT-Technologie eine relativ junge Technologie ist, für welche noch keine Massenproduktion vorhanden ist und damit auch die Kosten entsprechend höher ausfallen.



3.6.4 Fazit

Die Auswertung aus dem Kapitel 3.6 zeigt, dass **die Solarthermie wirtschaftlich und konkurrenzfähig sein kann** gegenüber anderen Massnahmen zur Reduktion der GEKZ, dies zumindest für den Referenzfall und das Gebäude, das hier untersucht wurde. Bei der Wahl der Preise für die unterschiedlichen Energieträger hat man sich bewusst am unteren Limit orientiert, was zu einer strengeren Bewertung der Solarthermie führt. Die Ergebnisse lassen sich nicht beliebig auf andere Situationen übertragen. Dennoch gehen wir davon aus, dass im Bereich der neu erstellten Mehrfamilienhäuser mit überschaubaren Anpassungen zum Referenzgebäude die Resultate übertragbar sind.

Ein weiteres erfreuliches Ergebnis ist, dass sich die **höheren Initialinvestitionen für energetisch bessere Lösungsvarianten auszahlen**. Die Wahl für ein Heizungssystem nur aufgrund der Investitionen und der Einhaltung der Grenzwerte zu treffen, führt nicht zur wirtschaftlich besten Lösung. Damit solche Lösungen in Mehrfamilienhäusern häufiger gewählt werden, müssten jedoch die gesetzlichen Rahmenbedingungen so angepasst werden, dass sich für die Bauherrschaft, welche die Wohnungen vermieten möchte, auch ein Vorteil ergibt. Da die Energiekosten vorwiegend vom Mieter getragen werden, hat der Vermieter nur bedingt einen Vorteil («Vermieter-Mieter-Dilemma»). Wenn man die Warmmiete in den Vordergrund rückt, kann dies zu Marktvorteilen führen, wenn die Heiznebenkosten tiefer sind. Dieser Vorteil kommt jedoch nur zum Tragen, wenn der Wohnungsleerstand in der Region gross ist.

Nach Ansicht der Studienautoren ist es wichtig, in Zukunft auch zwischen dem Endenergiebedarf im Winter und der restlichen Zeit zu unterscheiden. Durch die Elektrifizierung verschiedener Bereiche (Wärme, Mobilität etc.) steigt der Druck auf die erneuerbare Elektrizitätsbereitstellung im Winter. Aus diesem Grund sollten Lösungsvarianten, die im Winter wenig Endenergie benötigen, vermehrt zum Einsatz kommen. Die Erdsonden-Wärmepumpe (SW-WP) weist die tiefsten Winter-GEKZ auf (siehe Abbildung 74) und ist dabei noch wirtschaftlich gegenüber einer "minimalen" Lösung welche als Referenz genommen wurde. Eine Kombination der SW-WP mit Solarthermie für die Warmwassererwärmung (SL2) reduziert die GEKZ im Winter im gleichen Mass wie eine bessere Gebäudehülle (SL4) und dies zu tieferen Wärmegestiegungskosten.

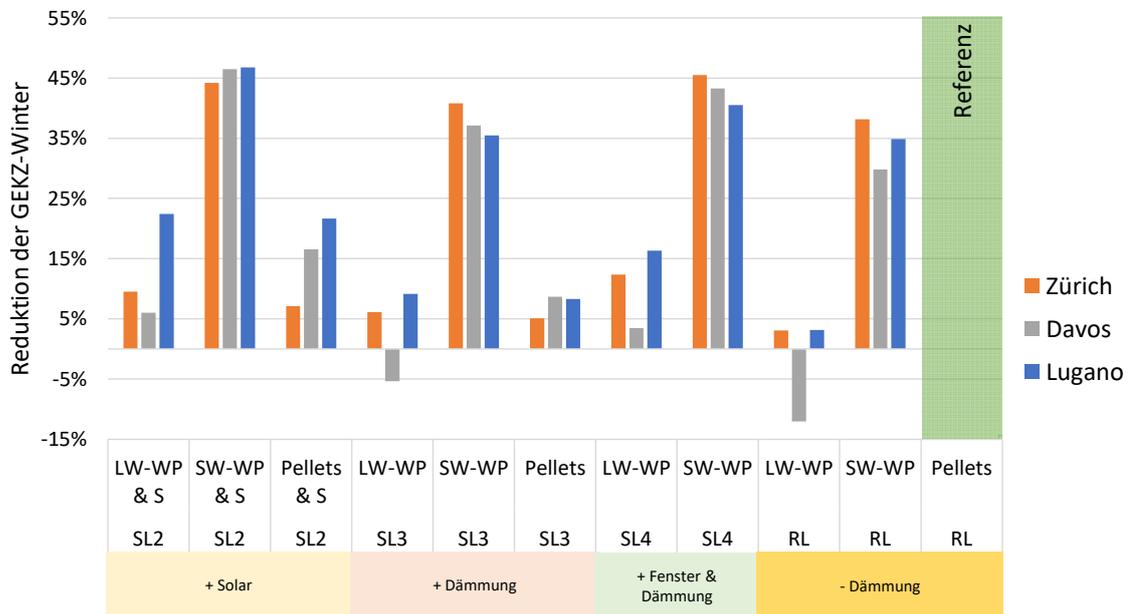


Abbildung 74: Reduktion der GEKZ für die Wintermonate (November, Dezember, Januar und Februar) gegenüber der Referenz (RL Pellets) mit Berücksichtigung der drei Klimastandorte Zürich, Davos und Lugano. Die Auswahl der Lösungsvarianten wurde zur besseren Übersicht auf die vier Lösungen reduziert, die bezüglich Wirtschaftlichkeit am nächsten bei der Referenz zu liegen kommen (Abbildung 73).

Bestätigt wird durch die Auswertung, dass eher neue Konzepte wie PVT-Kollektoren zur Erdsondenregeneration und Eisspeichersysteme im Vergleich zur konventionellen Solarthermie noch nicht wirtschaftlich sind, was nicht weiter überrascht, da diese noch wenig etabliert sind und nur wenige Anlagen im Betrieb sind. In verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten [28] werden Verbesserungen angestrebt um die Kosten zu senken. Aus energetischer Perspektive erreichen beide Konzepte eine Reduktion der GEKZ gegenüber Luft-Wasser-Wärmepumpen und Pelletheizungen. In einem Fall auch gegenüber der Erdsonden-Wärmepumpe (RL SW-WP).

Der Einsatz einer Komfortwohnungs Lüftung (KWL) lässt sich nicht ausschliesslich über die Energieeinsparung rechtfertigen, was schon in früheren Studien [29] festgestellt wurde. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei den Simulationen von einem Standard-Nutzerverhalten ausgegangen worden ist, bei welchem eine Raumtemperatur von 21 °C angenommen wurde. Eine Erhöhung der Raumtemperaturen auf 23 °C, was eher der Realität entspricht [17], würde den energetischen Nutzen der KWL erhöhen. Wie auch immer, der Einsatz einer KWL ist vor allem dadurch zu begründen, dass diese zu einer Steigerung des Komforts führt und mögliche Bauschäden aufgrund der dichten Hülle bei modernen Gebäuden verhindert. Dies wird in einer reinen Kosten- und Energiekennzahlbetrachtung jedoch nicht honoriert.

Weitere Aspekte, welche berücksichtigt werden müssen, um die Ergebnisse richtig einzuordnen, sind nachfolgend kurz zusammengefasst:

- Holz wird in Zukunft mit grosser Wahrscheinlichkeit auch in der Schweiz ein knappes Gut und sollte möglichst nur für Anwendungen mit höheren Temperaturanforderungen und vorwiegend im Winter verwendet werden. Aus diesem Grund könnte, wie bei der



Elektrizität vorgeschlagen, eine differenzierte Gewichtung der Endenergie Holz für die Wintermonate und die restliche Zeit sinnvoll sein (tiefere Gewichtung im Winter). Damit könnte die Sinnhaftigkeit der Kombination von Holz und Solarthermie noch stärker hervorgehoben werden.

- Aktuell wird im Gegensatz zur Minergie-Kennzahl der PV-Eigenverbrauch nicht berücksichtigt in der GEKZ der Kantone. Eine Berücksichtigung würde die Resultate der Wärmepumpensysteme weiter verbessern. Jedoch müsste in diesem Fall zwingend eine Unterscheidung zwischen den Jahreszeiten erfolgen.
- Der Einfluss der Klimaerwärmung wurde in dieser Studie nicht explizit berücksichtigt. Eine ökonomische Untersuchung zu den beiden Solartechnologien mit Berücksichtigung von Klimawandel und realem Nutzerverhalten wurde jedoch in der BFE-Studie SolSimCC [30] durchgeführt.
- Es ist davon auszugehen, dass in Zukunft vermehrt die Thematik der Kühlung aufkommen wird. Dies vor allem, weil die Aussentemperaturen im Schnitt ansteigen werden. Auch könnte sich, als Folge der Covid-Pandemie, der Arbeitsort auf längere Zeit in Richtung «Home-Office» verschieben. Diese Entwicklungen würden die Wahl von reversiblen Wärmepumpenlösung begünstigen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die GEKZ auch die Endenergie für die Kühlung mitberücksichtigt.
- Die Kosten des Heizungssystems sollten in Relation zur Gesamtsumme eines Neubaus betrachtet werden. Die Gesamtkosten betragen schätzungsweise für das Referenz-Mehrfamilienhaus 4 – 5 Mio. CHF (3000 CHF/m² für die Baukosten und ca. 700 CHF/m² für das Grundstück)¹⁹. Die Kostendifferenz zwischen der teuersten und der günstigsten Lösungsvariante (SL3 Pellets vs. RL WP&ICE) beträgt im Extremfall 180'000 CHF und macht damit nur einen geringen Anteil von etwa 4% der Gesamtinvestition aus.
- Die Berücksichtigung vom realen Nutzerverhalten wurde in SolThermGo nicht explizit durchgeführt, da die Erkenntnisse aus einer parallel-laufenden Studie (SolSimCC) für das Fazit beigezogen werden können. In SolSimCC [30] wurde festgestellt, dass sich mit Berücksichtigung des realen Nutzerverhaltens die Wirtschaftlichkeit der Solarthermie noch vergrössert.

¹⁹ Die Grundlagen zu den Kosten stammen aus der Offerten-Plattform Ofri (www.ofri.ch) und wurden mit Angaben vom Hochbauamt der Stadt Zürich plausibilisiert.



3.7 Erdsondenregeneration mittels PVT

3.7.1 Hintergrund

Eine forcierte Nutzung von Erdwärmesonden in dicht besiedelten Gebieten ist nicht nachhaltig und würde zu einer Auskühlung des Erdreiches führen [31]. Um dies zu verhindern, müssen grosse Erdwärmesondenfelder, aber auch nahe beieinanderliegende Einzelsonden in Nachbarschaften mit vielen EWS-Anlagen, regeneriert werden. Nach der Revision der SIA Norm 384/6 (2021) zur Auslegung von Erdwärmesonden wird die nachbarschaftliche Beeinflussung mit einbezogen und es wird bei einer hohen zu erwartenden Sondendichte von einer "Regenerationspflicht" gesprochen. Zur Sondenregeneration kommen unterschiedliche Technologien in Frage, wobei die Regeneration mit solarthermischen Kollektoren eine nachhaltige und günstige Lösung darstellt [32]. Werden EWS mit solarthermischen Kollektoren regeneriert, erreicht die Wärmepumpe eine bessere Effizienz und die Sonden können knapper ausgelegt werden. Daher kann die Regeneration von EWS zu einem wichtigen Anwendungsfeld der Solarthermie werden. Dies insbesondere auch für unabgedeckte und PVT-Kollektoren, was auch durch die Umfragen in diesem Projekt bestätigt werden konnte (Kapitel 3.4).

Die Auslegung von EWS muss so durchgeführt werden, dass ein Einfrieren des umgebenden Erdreiches verhindert wird (die mittlere Fluidtemperatur darf nicht unter 1.5 °C fallen). Anhand der SIA 384/6 können kleinere Anlagen mit bis zu vier EWS mit einem vereinfachten Verfahren ausgelegt werden. Für grössere Anlagen braucht es eine dynamische Simulation mit einem geeigneten Simulationsprogramm, wobei die Regeneration und deren Einflüsse auf das System mitsimuliert werden können und sollen. Bei hohen Ausnützungsziffern wird in der SIA 384/6 ab einem grundstücksbezogenen Entzug von ca. 34 kWh/m² von einer "Regenerationspflicht" gesprochen. Es fehlen aber einfache Auslegungshilfen, welche den Einfluss der Regeneration auf die Auslegung der EWS und die Effizienz der Wärmepumpe aufzeigen.

Zur Abschätzung unterschiedlicher Effekte bei regenerierten Sonden wurde das in Abbildung 8 dargestellte Anlagenschema simuliert und es wurden zahlreiche Parameter variiert. Grundsätzlich weisen regenerierte Sondenfelder wenig Langzeitauskühlung auf und verhalten sich daher ähnlich wie Einzelsonden. Daher wurden für die Analyse von regenerierten EWS alle Sonden (auch Sondenfelder bis vier Sonden) nach dem Vorgehen der SIA 384/6 für Einzelsonden dimensioniert, ohne den Zuschlag für mehrere Sonden zu berücksichtigen. Ebenfalls wurde lediglich das erste Simulationsjahr (nach einem Vorlauf von sechs Monaten) untersucht, weil bei vollständig regenerierten Sonden keine deutliche Veränderung über viele Betriebsjahre hinweg erwartet wird.



Der Einfluss einer Regeneration auf eine EWS-Anlage kann in zwei dominante Effekte unterteilt werden, welche anschliessend untersucht werden.

1. Kurzzeitige Erhöhung der EWS-Temperatur und dadurch **Verbesserung der Effizienz der Wärmepumpe**. Dieser Effekt wurde untersucht, er hat aber auf das Verhalten der Erdwärmesonde in der kältesten Periode und somit auf die Auslegung der Erdwärmesonde einen geringen Einfluss.
2. Verhindern einer Langzeitauskühlung des umgebenden Erdreiches. Dieser zweite Effekt hängt sehr stark von der Grösse und der Konfiguration des Sondenfeldes einer Anlage ab. Bei einer Einzelsonde ist er sehr gering, da die Langzeitauskühlung ohne Regeneration auch über 50 Jahre lediglich ca. 1.5 K ausmacht (vorausgesetzt sie wurde richtig ausgelegt und wird nicht «überbeansprucht»). Eine Einzelsonde verhält sich also nach 50 Jahren fast gleich wie im ersten Betriebsjahr. Eine Regeneration hat daher auch einen geringen Einfluss auf die Sondenauslegung und in der SIA 384/6 wird vorgeschlagen, diesen bei Kleinanlagen nicht zu berücksichtigen. Bei zwei bis vier Sonden jedoch findet bereits eine gewisse gegenseitige Beeinflussung statt, weswegen die SIA 384/6 Zuschläge für Anlagen mit mehr als einer Sonde angibt. Diese **Zuschläge könnten bei regenerierten Sonden verringert werden**.

3.7.2 Simulationen und energetische Auswertung

Als Ausgangslage wurde ein Standardfall definiert, anhand dessen Sensitivitätsanalysen für einzelne Parameter und Rahmenbedingungen durchgeführt und ausgewertet wurden. Der Standardfall wird folgendermassen charakterisiert:

- Gebäudetyp: MFH SPF-Referenzgebäude mit 6 Wohneinheiten, Neubau nach MuKE n2014 [16] (Wärmebedarf: 34'000 kWh)
- Warmwasserbedarf: MFH Bedarf Referenzgebäude[16] (Bedarf: 13'400 kWh)
- Standort: Zürich SMA
- Kollektoren: 20° geneigt, südorientiert (Typ und Feldgrösse variabel)
- Wärmepumpe: 26 kW Nennleistung, COP B0W35: 4.68
- Erdwärmesonde: 2x 277 m, Wärmeleitfähigkeit Erdreich: 2.3 W/(mK)
- Speicher für Warmwasser: 2 m³

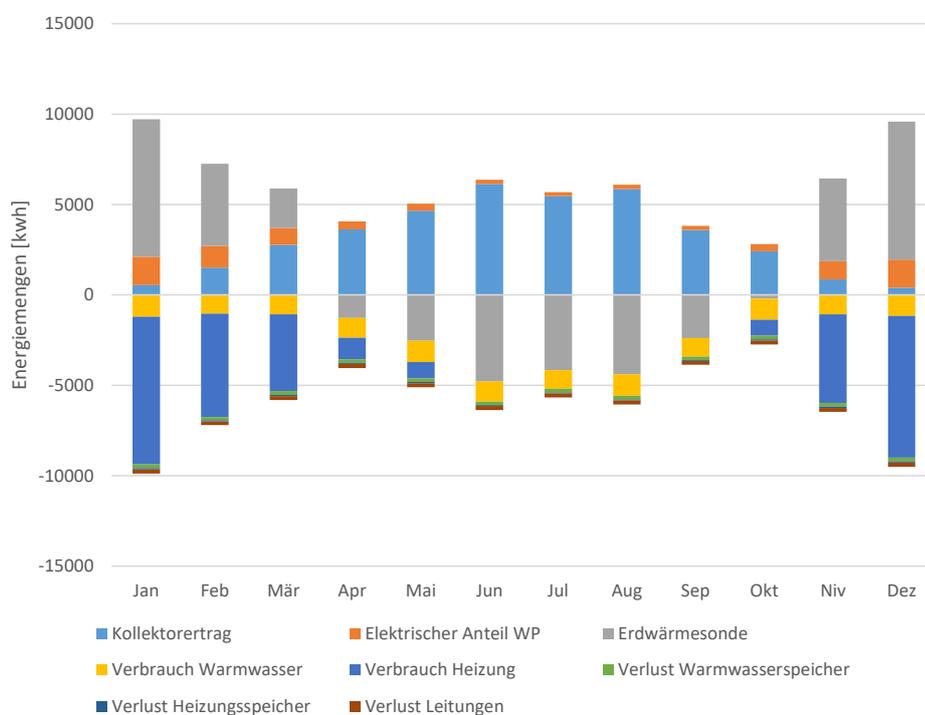


Abbildung 75: Monatliche Wärmebilanz des Standardfalls mit einem Kollektorfeld von 100 m² PVT-Kollektoren.

Regenerationsgrade

Für die folgenden Auswertungen wird der Regenerationsgrad als der Quotient zwischen der in die EWS zurück gespiesenen Energie und der aus der Sonde entzogenen Energie definiert. In Abbildung 76 bis Abbildung 78 werden die erreichbaren Regenerationsgrade des Standardfalls für unterschiedliche Kolleorttechnologien und unterschiedliche Kollektorfeldgrößen gezeigt. Für eine bessere Übertragung der Resultate werden diese aber nicht in Funktion der absoluten Werte, sondern relativ zum Wärmebedarf gegeben. Diese werden verglichen mit ermittelten Regenerationsgraden aus anderen Projekten [32,33] sowie mit Regenerationsgraden, welche auf Grund von Simulationen mit Standardschemen aus Polysun erzielt werden. Wie nachfolgend gezeigt wird, stellt dies eine typische Situation für das Schweizer Mittelland dar. Wenn nur zur partiellen Sondenregeneration eingesetzt, erreichen Flachkollektoren und unbedeckte selektive Kollektoren (mit entsprechen kleineren Kollektorfeldern) hohe spezifische Erträge von ca. 800 kWh/(m²a). Mit steigender Kollektorfeldgröße steigt auch der Regenerationsgrad und die Sondentemperatur im Sommer. Dadurch werden die spezifischen Erträge kleiner und die Kurven flachen ab. Dies ist am deutlichsten bei den PVT-Kollektoren zu sehen, bei denen der spezifische Ertrag von fast 500 kWh/(m²a) für kleine Flächen auf ca. 320 kWh/(m²a) bei einer vollständigen Regeneration sinkt. Bei Flachkollektoren und unabgedeckt selektiven Kollektoren macht sich diese Abflachung erst über 100 % Regenerationsgrad deutlich bemerkbar, so dass auch bei einer vollständigen Regeneration noch mit spezifischen Erträgen von fast 800 kWh/(m²a) für Flachkollektoren und ca. 700 kWh/(m²a) für unabgedeckt selektive Kollektoren gerechnet werden kann.



Photovoltaisch-thermisch (PVT)

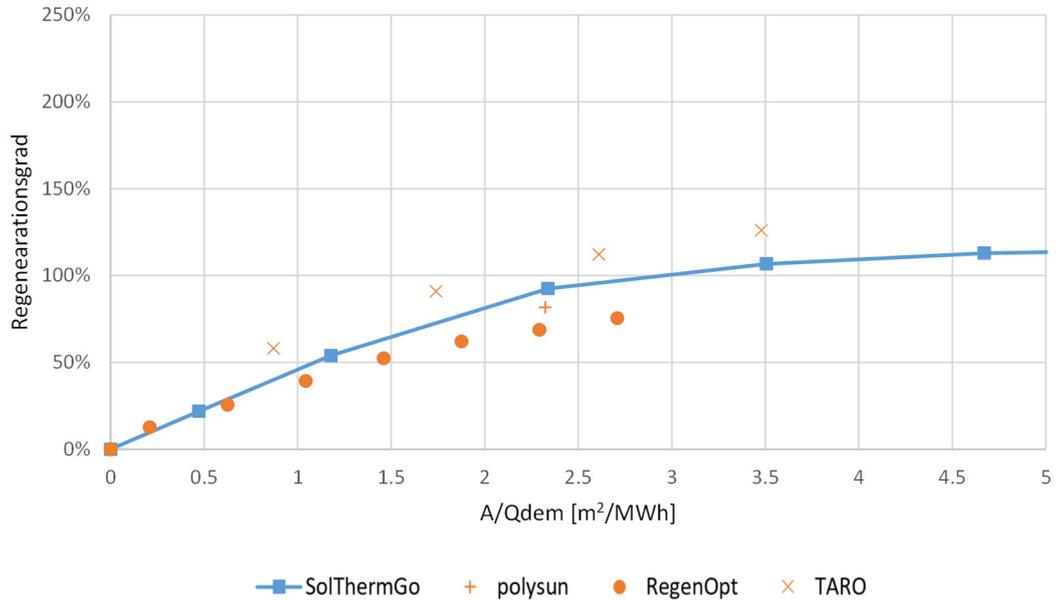


Abbildung 76: Vergleich der Resultate des Standardfalls mit PVT-Kollektoren mit Resultaten aus den vorangegangenen Projekten TARO und RegenOpt sowie mit Resultaten vorgegebener Templates von Polysun. Für die x-Achse wird das Verhältnis aus Kollektorfläche (A) zum gesamten Wärmebedarf (Qdem) verwendet.

Unabgedeckt selektiv

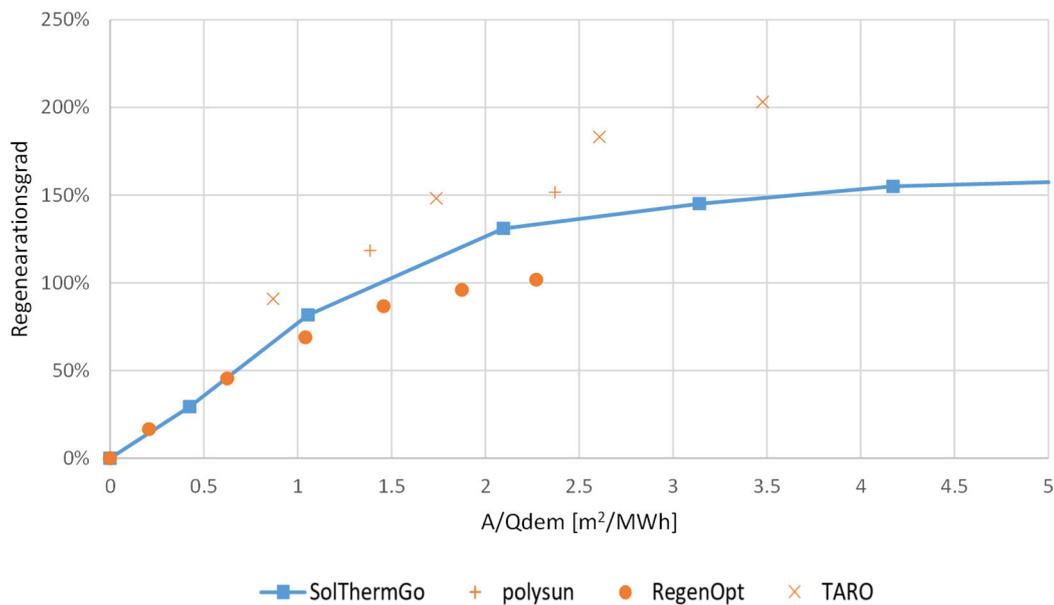


Abbildung 77: Vergleich der Resultate des Standardfalls mit unabgedeckt selektiven Kollektoren mit Resultaten aus den vorangegangenen Projekten TARO und RegenOpt sowie mit Resultaten vorgegebener Templates von Polysun. Für die x-Achse wird das Verhältnis aus Kollektorfläche (A) zum gesamten Wärmebedarf (Qdem) verwendet.



Flachkollektor

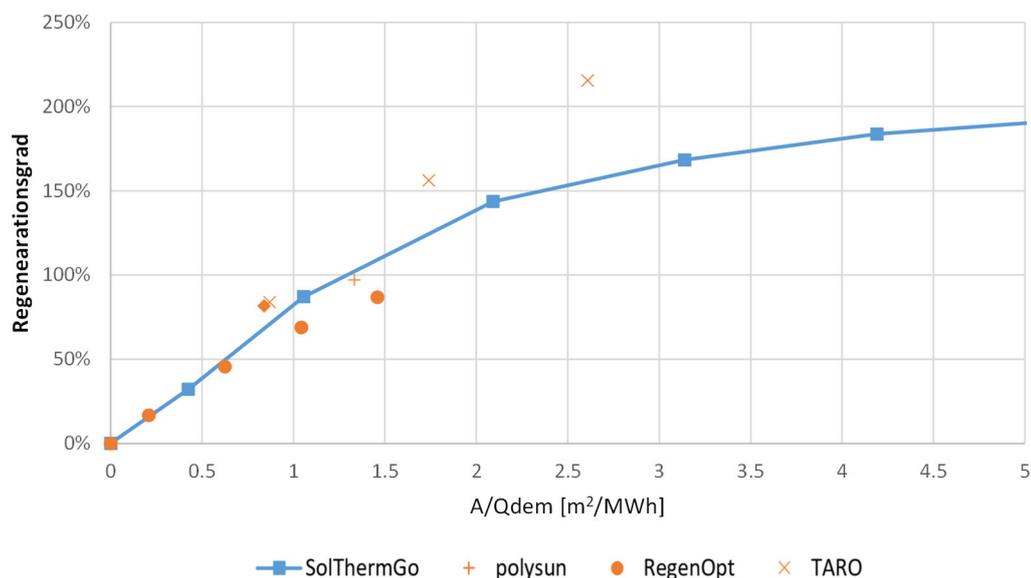


Abbildung 78: Vergleich der Resultate des Standardfalls mit Flachkollektoren mit Resultaten aus den vorangegangenen Projekten TARO und RegenOpt sowie mit Resultaten vorgegebener Templates von Polysun. Für die x-Achse wird das Verhältnis aus Kollektorfläche (A) zum gesamten Wärmebedarf (Q_{dem}) verwendet.

Standort

Die oben beschriebene Anlagenkonfiguration wurde mit unterschiedlich grossen Kollektorfeldern an verschiedenen Standorten der Schweiz simuliert. In Abbildung 79 werden die erreichten Regenerationsgrade der unterschiedlichen Standorte verglichen. Dabei liegen die erreichbaren Regenerationsgrade für den Standort Basel ähnlich hoch und in Lugano und in Davos deutlich höhere als am Referenzstandort Zürich SMA.

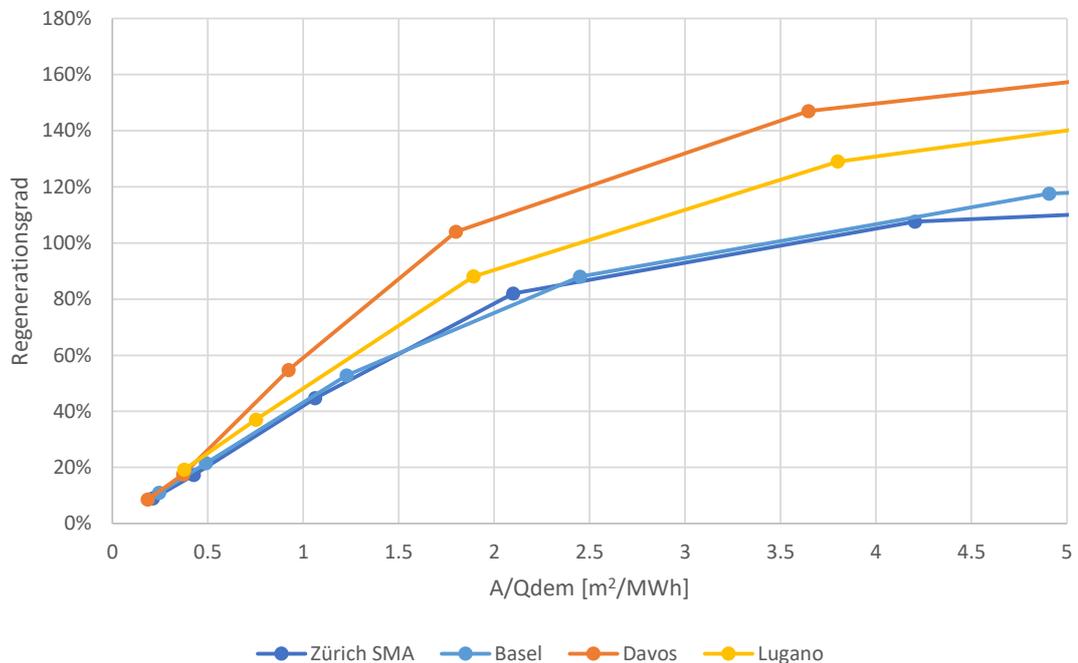


Abbildung 79: Erreichbare Regenerationsgrade an unterschiedlichen Standorten als Funktion der PVT-Kollektorfläche im Verhältnis zum Wärmebedarf.

In der SIA 384/3 werden für Standorte über 800 m sowohl bei Warmwasseranlagen als auch bei heizungsunterstützenden Anlagen erhöhte Erträge vorgeschlagen. Es werden dabei gerundete Beträge verwendet, welche über dem Wert für tiefere Lagen sind. Die hier ermittelten Regenerationsgrade für Davos und Lugano liegen aber deutlich über den Regenerationsgraden des Referenzstandorts Zürich SMA und unterscheiden sich je nach Kollektorfeldgrösse leicht. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die erreichbaren Regenerationsgrade an diesen Standorten durch lineare Korrekturen an die Resultate des Referenzstandorts Zürich SMA angenähert werden können. Diese Linearität kann für den Vorschlag einer vereinfachten Berechnungshilfe (siehe in Kapitel 3.7.4) ausgenutzt werden. Folgende gerundeten lineare Korrekturfaktoren können dazu vorgeschlagen werden: Davos 1.4, Lugano: 1.2, Basel: 1.0 (keine Korrektur). In Abbildung 80 werden die erreichten Regenerationsgrade für die Standorte Davos und Lugano mit den um die jeweiligen Linearfaktoren korrigierten Regenerationsgrade des Referenzstandortes Zürich SMA verglichen. Die Werte für Lugano liegen dabei immer noch tendenziell leicht über den korrigierten Referenzwerten, was zeigt, dass der Korrekturfaktor von 1.2 tendenziell konservativ abgeschätzt wurde.

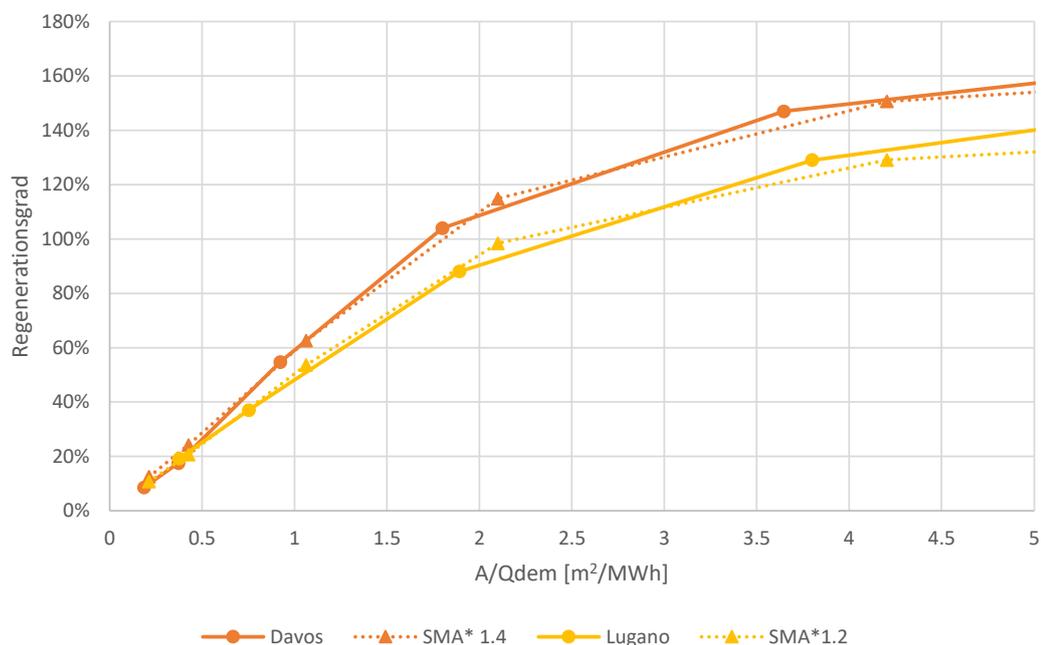


Abbildung 80: Vergleich der Regenerationsgrade von Davos und Lugano mit den linear korrigierten Werten des Referenzstandortes Zürich SMA. Für die x-Achse wird das Verhältnis aus Kollektorfläche (A) zum gesamten Wärmebedarf (Q_{dem}) verwendet.

Ausrichtung

Anhand des Standardfalles wurde der Einfluss von Orientierung und Neigung für unterschiedliche Konfigurationen (Regenerationsgrade von ca. 10-120%) des Standardfalls simuliert. Dabei soll untersucht werden, ob die Abzüge der SIA 384/3 für unterschiedliche Orientierungen der Kollektorfelder auch auf die Erdsondenregeneration übertragen werden kann. In Abbildung 81 werden die Standard-Korrekturfaktoren der SIA 384/3 mit den simulierten Resultaten für unterschiedliche Kollektorfeldgrößen verglichen. Dabei zeigt sich, dass flache und moderat aufgeständerte Kollektoren auch für die Erdsondenregeneration ähnlich oder gar tendenziell leicht besser abschneiden als mit den Korrekturwerten der SIA 384/3 vorausgesagt. Die Werte unterschiedlicher Systemkonfigurationen streuen aber bis ca. $\pm 10\%$. Fassadenintegrierte Kollektoren mit einer Neigung von 90° erreichen deutlich tiefere Werte. Für diese Situationen würde eine Anwendung der Korrekturfaktoren der SIA 384/3 also zu einer Überschätzung des Regenerationsgrades führen.

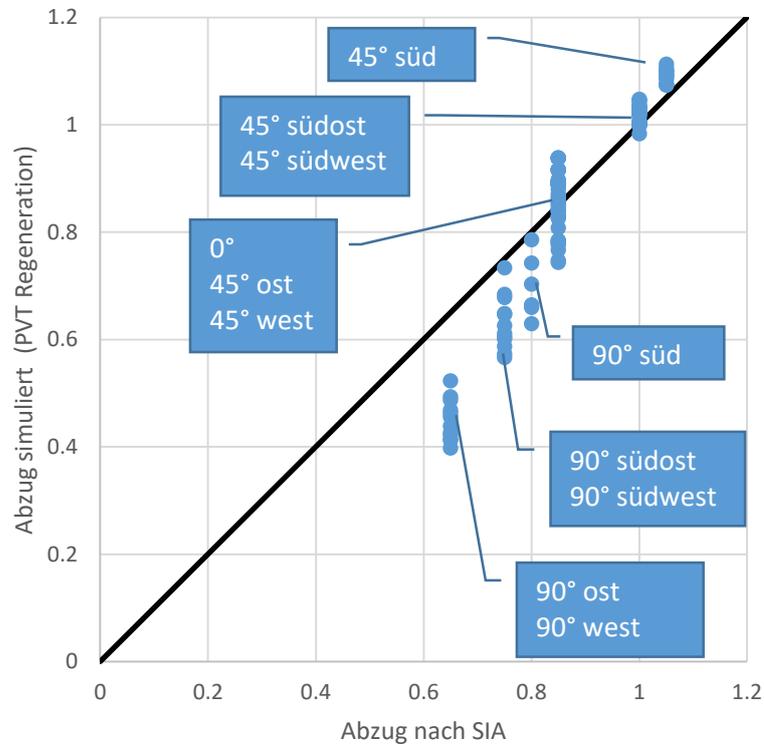


Abbildung 81: Einfluss von Neigung und Orientierung. Vergleich mit den Standardkorrekturfaktoren nach SIA 384/3.

3.7.3 Einfluss auf JAZ

Die Einspeisung von Solarthermie in Erdwärmesonden bewirkt eine kurzfristige Erhöhung der Sondentemperatur, welche sich in einer Erhöhung der Quelltemperatur der Wärmepumpe und somit einer verbesserten JAZ manifestiert. Dieser Effekt ist fast unabhängig von der Sondenfeldgröße und bleibt über die Betriebsjahre ähnlich. Zusätzlich vermeidet eine Regeneration die Langzeitauskühlung von EWS vor allem bei Sondenfeldern oder bei nachbarschaftlicher Beeinflussung. Dies manifestiert sich in einer geringeren Abnahme der JAZ über die Betriebsjahre im Vergleich zu nicht regenerierten Sondenfeldern gleicher Dimension. Dieser Langzeiteffekt kann aber auch für Einsparungen in der Sondendimensionierung und somit einer Verringerung der Investitionskosten ausgenutzt werden. Weil dabei laut SIA 384/6 immer auf dieselbe Grenztemperatur (-1.5 K nach 50 Jahren) ausgelegt werden soll, ist nach der Verkürzung der Sonden nicht mehr mit einer erhöhten Quelltemperatur zu rechnen. Wenn der Langzeiteffekt der Regeneration also für Einsparungen bei den Sondenlängen genutzt wird, können nur noch Kurzeffekte zum Ausweisen einer verbesserten JAZ herangezogen werden. In Abbildung 82 werden diese Effekte dargestellt, indem die Verbesserung der JAZ durch Kurzeffekte im ersten Betriebsjahr in Abhängigkeit des Regenerationsgrades dargestellt wird. Dabei werden die Resultate unterschiedlicher Parametervariationen verwendet. Es zeigt sich, dass die JAZ weitgehend linear zum Regenerationsgrad verbessert wird. Mit einem Linearfaktor können somit die Verbesserungen der JAZ einfach aus dem Regenerationsgrad ermittelt werden. Wenn der gefittete Linearfaktor von 0.104 auf 0.1 (Vorschlag in Abbildung 82) abgerundet wird,



erreicht man eine eher konservative Abschätzung der Verbesserung der JAZ. Dies bis zu einem Regenerationsgrad von 100 % weitgehend unabhängig von der verwendeten Kollektortechnologie und anderen variierten Parametern. Für Regenerationsgrade über 100 % streuen die unterschiedlichen Systeme stärker. Diese werden aber als wenig praxisrelevant erachtet, weil kleine Anlagen wohl nur sehr selten um mehr als 100 % regeneriert werden.

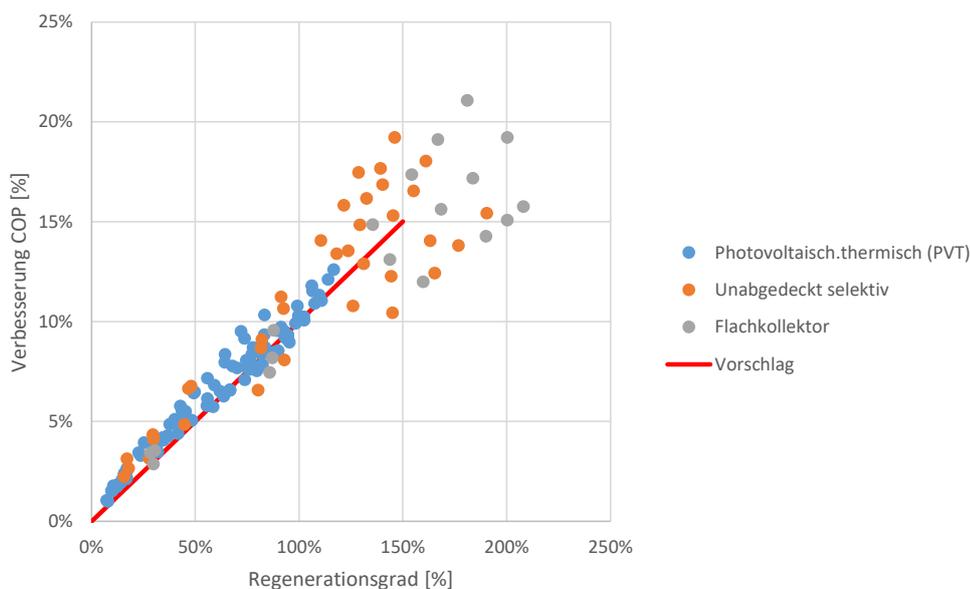


Abbildung 82: Einfluss des Regenerationsgrades auf die Jahresarbeitszahl (JAZ). Berücksichtigt werden lediglich Kurzzeiteffekte der solaren Regeneration.

Die Verbesserungen der JAZ müssen dem Zusatzverbrauch an Pumpenenergie für die Regeneration gegenübergestellt werden. Weil die Regeneration hauptsächlich bei hoher Solareinstrahlung betrieben wird, steht dafür im Falle von PVT fast immer elektrische Energie der PVT-Kollektoren zur Verfügung. Für eine 100 m² PVT-Anlage betrug der für die Solepumpe ermittelte Zusatzaufwand an elektrischer Energie lediglich 4.2% des elektrischen Ertrages der PVT Anlage. Für das hier simulierte System wurde eine Solepumpe mit 400 W Aufnahmeleistung (bei einem Wirkungsgrad von 30%) ausgewählt, wobei von einem Nenndruckverlust in Solekreis von 78 kPa ausgegangen wurde. Weil in diesem Projekt eine Optimierung des Pumpenverbrauches nicht im Vordergrund stand, wurde diese während der Regeneration nicht moduliert und benötigte daher bei allen Kollektorfeldgrößen für ca. 1800 Betriebsstunden ca. 750 kWh elektrische Energie (bei kleinen Kollektorfeldern etwas weniger). Bei 100 m² PVT-Kollektoren (90% Regeneration) können durch die Verbesserung der JAZ ca. 1'100 kWh elektrische Energie eingespart werden. Der Verbrauch der Solepumpe beträgt in diesem Falle also ca. 70% der Einsparungen durch eine verbesserte JAZ. Bei 50 m² PVT Kollektoren liegen Einsparungen und Zusatzverbrauch in der Jahresbilanz in derselben Größenordnung. Zusätzlich wird auch für die Kollektorpumpe elektrische Energie verbraucht, welche aber durch den Mehrertrag aufgrund tieferer Temperaturen bei PVT Kollektoren mehr als kompensiert wird. Im Beispiel mit 100 m² Kollektorfeld waren dies ca. 650 kWh für Umwälzung bei ca. 1'010 kWh Ertragssteigerung durch Kühlung, wobei diese Werte je nach



Betrieb und Auslegung stark variieren können. Weil der Zusatzenergieverbrauch für die Regeneration bei PVT-Anlagen aber generell fast vollständig mit eigenem Strom gedeckt werden kann, die Einsparungen an elektrischer Energie aber während des Betriebes der Wärmepumpe anfallen, kann dies einer Speicherung elektrischer Energie gleichgesetzt werden und ist somit netzdienlich. Auch wenn die Regeneration nicht mit PVT-Kollektoren sondern anderen thermischen Kollektoren durchgeführt wird, so fällt sie trotzdem während Zeiten mit hoher Solarstrahlung an, während deren in Zukunft mit ausreichend, oder gar im Überschuss vorhandenem, Solarstrom gerechnet werden kann (Energieperspektiven 2050+ [34]).

3.7.4 Berechnungshilfen

Aufgrund der oben dargestellten Resultate wird folgendes Verfahren zur Auslegungshilfe bei solar-regenerierten EWS-Kleinanlagen (bis vier Sonden) vorgeschlagen. Dazu wird der Regenerationsgrad als Mass für die Entlastung der EWS verwendet. Weitere Effekte wie die direkte solare Warmwassererwärmung oder die Erwärmung der Sole vor dem Eintritt in die EWS werden dabei vernachlässigt, was zu einer gewissen Sicherheitsmarge führt. Aufgrund der simulierten Regelstrategie mit Fokus auf der Regeneration waren diese Effekte aber gering und lagen auch bei sehr grossen Kollektorfeldern unter 6% der entzogenen Energie.

Abbildung 83 stellt dabei das vorgeschlagene Vorgehen in einem Flussdiagramm dar. Die durchzuführenden Schritte werden in den nachfolgenden Abschnitten genauer erläutert.

Für ein konkretes Objekt mit EWS-WP kann die jährliche, grundstücksbezogene Entzugsleistung nach SIA 384/6 (2021) berechnet werden. Ab 34 kWh/m² wird eine Regeneration erforderlich, welche unter anderem mit Solarkollektoren erreicht werden kann. Es können aber auch andere Gründe dazu führen, warum eine Regeneration von EWS in Betracht gezogen wird.

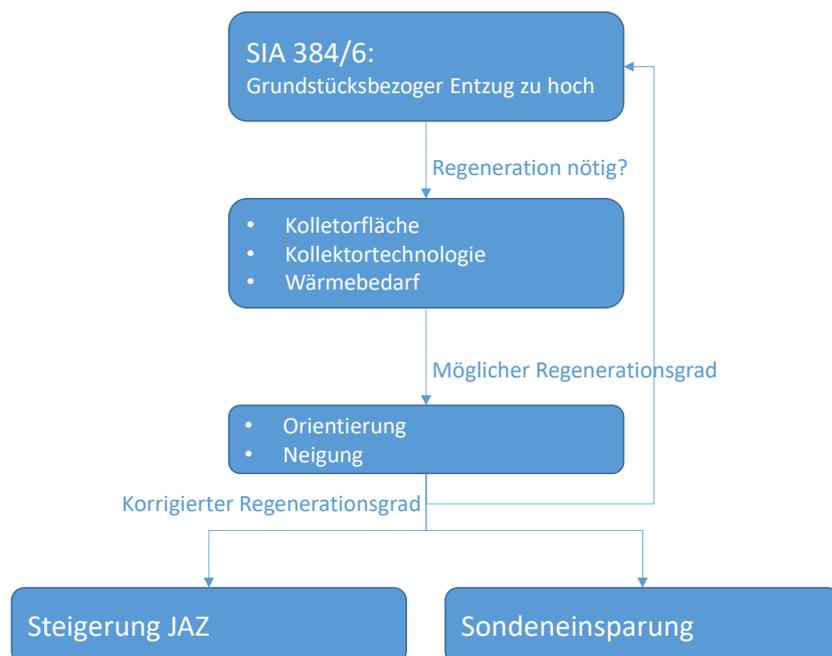


Abbildung 83: Flussdiagramm zur vereinfachten Abschätzung solar regenerierter EWS-Kleinanlagen.



Regenerationsgrad

Aus Abbildung 84 kann der typische Regenerationsgrad R_{typ} für unterschiedliche Kolleorttechnologien ausgelesen werden. Dazu muss die verfügbare Kollektorfläche mit dem gesamten Wärmebedarf skaliert werden.

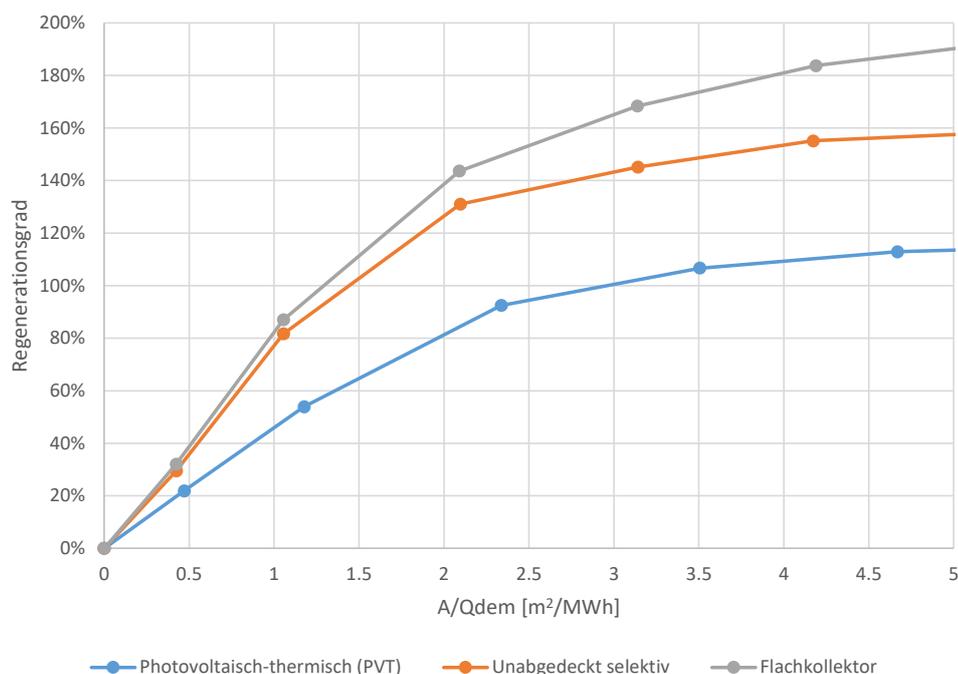


Abbildung 84: Erreichbare typische Regenerationsgrade (R_{typ}) für unterschiedliche Kolleorttechnologien. Für die x-Achse wird das Verhältnis aus Kollektorfläche (A) zum gesamten Wärmebedarf (Q_{dem}) verwendet.

Korrektur von Standort, Orientierung und Neigung

Bei alpinen Standorten oder dem Tessin können höhere Regenerationsgrade erreicht werden. Dazu kann der typische Regenerationsgrad R_{typ} mit einem Standortfaktor $f_{S,Reg}$ multipliziert werden. Für den alpinen Standort Davos gilt $f_{S,Reg} = 1.4$ und für den Tessiner Standort Lugano gilt $f_{S,Reg} = 1.2$. Für Standorte des nördlichen Unterlandes wird keine Korrektur resp. ein Faktor $f_{S,Reg} = 1.0$ vorgeschlagen.

Für Ausrichtungen, welche von 20° südorientiert abweichen wird ein weiterer Korrekturfaktor für die Ausrichtung $f_{z,Reg}$ vorgeschlagen. Die Werte für diesen Faktor lassen sich aus Tabelle 8 auslesen. Dabei wurde auf den Standard der SIA 384/3 zurückgegriffen. Werte, welche von den Standardwerten der SIA 384/3 abweichen, wurden in dieser Tabelle rot markiert.

Der erreichbare Regenerationsgrad R kann dann durch eine lineare Korrektur der typischen Regenerationsgrade ausgerechnet werden:

$$\text{Gl. 6} \quad R = R_{typ} * f_{S,Reg} * f_{z,Reg}$$



Tabelle 8: Korrekturfaktoren $f_{z,Reg}$ für unterschiedliche Orientierung und Neigung.

Neigung	Azimut		
	Süd	Süd-Ost oder Süd-West	Ost oder West
0° (horizontal)	0.85	0.85	0.85
45°C	1.05	1.00	0.85
90°C (senkrecht)	0.75	0.65	0.5

Grundstücksbezogener Entzug

Der nach SIA 384/6 ermittelte grundstücksbezogene Entzug P_{GSF} kann danach um den Regenerationsgrad vermindert werden:

$$\text{Gl. 7} \quad P_{GSF,Reg} = P_{GSF} + (1 - R)$$

Wobei der grundstücksbezogenen Entzug nach Regeneration $P_{GSF,Reg}$ weniger als 8 kWh/m² betragen muss, damit eine EWS höchstens zu einer vernachlässigbaren Auskühlung in der Nachbarschaft führt.

Steigerung JAZ durch Kurzzeiteffekte

Durch die Regeneration der EWS kann eine Steigerung der JAZ durch Kurzzeiteffekte geltend gemacht werden. Diese kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Gl. 8} \quad JAZ_{Reg} = JAZ * (1 + f_{JAZ} * R)$$

Wobei der Linearfaktor mit $f_{JAZ} = 0.1$ angenähert werden kann. Diese Verbesserung der JAZ wird zusätzlich, respektive unabhängig von einer Verkürzung der Sondenlänge gerechnet.

Abzug Sondenlänge

In der SIA 384/6 werden in Kapitel D 4.6 Zuschläge für Vollaststunden, Anordnung und Wärmeleitfähigkeit gegeben. Dazu werden diverse Grafiken gegeben, aus denen diese Zuschläge ausgelesen werden können. In Abbildung 85 wird exemplarisch eine dieser Grafiken für einen Sondenabstand von 7.5 m und eine Leitfähigkeit von 2 W/(mK) aus Daten der SIA 384/6 wiedergegeben. Erhöhte Vollaststunden führen vor allem zu einer erhöhten saisonalen Entzugslast (und somit erhöhten saisonalen Schwankungen), welche durch die Regeneration nur bedingt verringert werden. Die gegenseitige Beeinflussung bei mehreren Sonden ist aber ein Langzeiteffekt, der durch die Regeneration verhindert werden kann. Bei einer vollständigen Regeneration verhält sich ein Sondenfeld nahezu gleich wie eine Einzelsonde, und die Zuschläge durch die gegenseitige Beeinflussung innerhalb eines Sondenfeldes können gestrichen werden. Eine vollständig regenerierte Anlage kann also gleich wie eine Einzelsonde ausgelegt werden, auch wenn sie mehrere Sonden beinhaltet. Abbildung 85 zeigt, dass bei drei Sonden und bei 2'300 Vollaststunden ca. 17 % Sondenzuschlag eingespart werden kann. Bei einer teilregenerierten Anlage kann der



Zuschlag der gegenseitigen Beeinflussung entsprechend des Regenerationsgrades R verringert werden. Dazu muss der Zuschlag einer Einzelsonde Z_{Einzel} und der Zuschlag für das gewählte Sondenfeld Z_{SF} aus der entsprechenden Grafik der SIA 384/6 herausgelesen werden. Der Zuschlag unter Berücksichtigung des Regenerationsgrades Z_{Reg} kann dann mit folgender Formel berechnet werden:

$$\text{Gl. 9} \quad Z_{\text{Reg}} = Z_{\text{Einzel}} + (1 - R) * (Z_{\text{SF}} - Z_{\text{Einzel}})$$

Zuschlag nach SIA 384/6

(2 W/(mK) Leitfähigkeit und 7.5 m Sondenabstand)

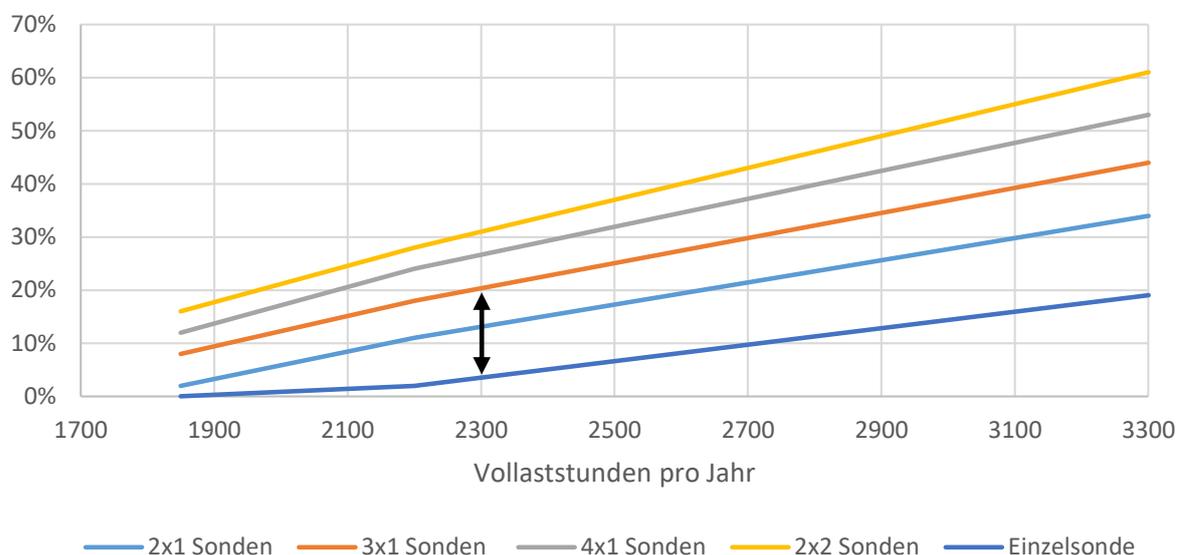


Abbildung 85: Zuschlag für unterschiedliche Sondenfelder und Vollaststunden. Grafik erstellt nach SIA 384/6.



3.7.5 Fazit

Mit der Revision der SIA 384/6 im Frühjahr 2021 wird die nachbarschaftliche Auskühlung bei der Auslegung von EWS berücksichtigt. Bei Grundstücken mit hoher Ausnützungsziffer (grosser grundstücksspezifischer Entzug) wird eine Regeneration gefordert. Dadurch wird der Bedarf an Regenerationstechnologien voraussichtlich zunehmen.

Kleinere Anlagen bis 4 Sonden können nach SIA 384/6 in einem vereinfachten Verfahren ausgelegt werden und benötigen keine detaillierte Jahressimulation. Eine Quantifizierung des Nutzens von solarthermischer Regeneration ist aber mit dem vereinfachten Vorgehen nicht möglich. Das hier erarbeitete Vorgehen erlaubt eine vereinfachte Berücksichtigung der solarthermischen Regeneration bei kleinen Anlagen, ähnlich wie das bestehende vereinfachte Auslegungsverfahren (D4) der SIA 384/6. Folgende Grössen können dabei geprüft oder ermittelt werden:

1. Es kann geprüft werden ob mit einer geplanten Regeneration mit einer thermischen Solaranlage die Vorgaben zum grundstückbezogenen Entzug eingehalten werden.
2. Es können Steigerungen der JAZ einer Wärmepumpe durch Kurzzeiteffekte quantifiziert werden.
3. Bei Anlagen mit zwei bis vier Sonden können Einsparungen bei der Sondenauslegung ermittelt werden.

Weil die solarthermische Regeneration fast ausschliesslich bei guten Einstrahlungsbedingungen stattfindet, ist davon auszugehen, dass die dazu benötigte Umwälzenergie meist mit selber erzeugtem Solarstrom durchgeführt werden kann. Dies trifft sicher zu bei Einsatz von PVT-Kollektoren oder bei Gebäuden, welche unter die Pflicht zur Eigenstromerzeugung fallen (hier gibt es kantonale Unterscheide). Auch wenn nicht alle Gebäude Solarstrom produzieren werden, so ist dennoch von einem deutlichen Ausbau der Photovoltaik, und für 2050 gar mit einer Überproduktion von Solarstrom im Sommer [34], zu rechnen. Daher wird der Elektrizitätsbedarf der Umwälzpumpen für die Regeneration das Energiesystem sehr wenig belasten.

Aus den Simulationen geht hervor, dass eine EWS-WP im Vergleich zu einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (beide ohne Solarthermie) in der kältesten Winterwoche 39% weniger elektrische Energie benötigt. Wird die EWS zusätzlich im Sommer solar regeneriert (zum Beispiel mit PVT-Kollektoren), so erhöhen sich diese Einsparungen auf 49%.



4 Schlussfolgerungen

4.1 Beobachtete Entwicklungen und Erklärungsansätze

Die jährliche Zubaurate von Solarthermieanlagen hat seit 2012 um 78% abgenommen, was einer mittleren, jährlichen Abnahme von 17% entspricht und verschiedene negative Auswirkungen auf die Branche hat. Die Hoffnung, dass Minergie-Vorschriften, GEAK und die Einführung der MuKE n 2014 zu einer Verbesserung der Marktsituation für Solarthermie führen würden, hat sich nicht erfüllt.

Dass sich der Solarthermie-Markt nicht erholen konnte, sondern weiter nach unten tendiert, hat folgende, durch diese Studie gestützte, Gründe:

1. **Flächenkonkurrenz zur Photovoltaik:** Das Feedback der Bauherren und der Experten ist diesbezüglich eindeutig: es wird heute vermehrt Photovoltaik anstatt Solarthermie empfohlen und umgesetzt. Diesbezüglich wirkt sich die Pflicht in der MuKE n (Teil E, Art. 1.26) zur Stromproduktion am oder im Objekt gemäss unseren Analysen nachteilig aus auf die Solarthermie aus, zumal die Daten zeigen, dass oft nicht die minimal geforderte PV-Leistung von 10 Wp/m² installiert wird, sondern deutlich grössere Anlagen. Der Trend geht wohl in Richtung Deckung des gesamten Daches. In Zukunft werden die Bewohner oder Nutzniesser damit nicht nur ihren Haushaltsstrom und einen Anteil des Wärmepumpenstroms decken wollen, sondern zusätzlich einen Teil der Energie für Elektrofahrzeuge. Dies erhöht den Eigenverbrauch und die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlagen weiter. Deshalb ist damit zu rechnen, dass dieser Trend eher noch verstärkt wird.
2. **Mangelhafte Fördersituation:** Aus den Antworten der Bauherrschaft und den Planenden geht hervor, dass beim Entscheid für eine Solarthermieanlage die Förderung derselben momentan kaum eine Rolle spielt. Dies könnte entweder bedeuten, dass den Entscheidungsträgern die Förderung egal ist, oder dass diese entweder nicht (ausreichend) vorhanden oder nicht bekannt ist. Dass Förderung effektiv sein kann, wenn sie richtig gestaltet wird, ist gut belegt, denn diverse Förderprogramme wie zum Beispiel die kostendeckende Einspeisevergütung bei der Photovoltaik, waren nachweislich sehr effektiv. Es ist deshalb eher davon auszugehen, dass die Förderung nicht vorhanden (aktuelle Situation in den Kantonen Zürich, Aargau und St. Gallen) oder nicht genügend attraktiv ist. Diesbezüglich wirkt sich sicher auch nachteilig aus, dass die Förderung von Kanton zu Kanton unterschiedlich und damit für die Planenden und Endkunden unübersichtlich ist. Hier besteht momentan auch eine klare Marktverzerrung zugunsten der PV, welche teilweise sogar dreimal gefördert wird: erstens durch landesweit einheitliche Einmalvergütungen, zweitens teilweise zusätzlich durch Förderprogramme der Gemeinden, und drittens in einigen Kantonen und Gemeinden noch über die Förderung des Batteriespeichers. Ähnlich gute Fördermöglichkeiten gab es bei der Solarthermie auch historisch gesehen nie.
3. **Haupt-Wärmeerzeuger Wärmepumpe:** Die Daten zeigen deutlich, dass der Trend sowohl beim Heizungsersatz als auch, in noch viel stärkerem Ausmass, im Neubau hin zu Wärmepumpen geht. Fossile Erzeuger sind ganz klar Auslaufmodelle, was für die Energiewende sehr zu begrüssen ist. Zukunftsfähige Haupt-Wärmeenergieträger sind



für Gebäude neben den Wärmepumpen nur noch Fernwärme und Holz. Solarthermieanlagen können in all diesen Systemen eingesetzt werden, um die eingekaufte Endenergie zu reduzieren. In Kombination mit Wärmepumpen steht die Solarthermie dabei jedoch in direkter Konkurrenz mit der Photovoltaik, welche ebenfalls den Netzstrom für die Wärmepumpen teilweise ersetzen kann. Meist wird die Kombination PV & Wärmepumpe bevorzugt, da ein System weniger installiert werden muss, auch wenn die gezielte Nutzung von PV-Strom für Wärmepumpen regelungstechnisch deutlich komplizierter und anspruchsvoller ist als die Regelung von Solarthermieanlagen [35].

4. **Image:** Vereinzelt wird argumentiert, die Solarthermie sei nicht zuverlässig oder sei eine "veraltete Technik". Auch wenn dies die Mehrheit nicht so sieht, sind diese Rückmeldungen durchaus ernst zu nehmen und es müssen Antworten auf solch image-bedrohenden Voten gegeben werden.

4.2 Potenzial der Solarthermie

Bevor auf Grund der gemachten Analysen Empfehlungen abgegeben werden, sollen in diesem Abschnitt Schlussfolgerungen für das (künftige) Potenzial der Solarthermie gemacht werden. Dabei stellt sich insbesondere die Frage, in welchen Fällen Solarthermie ihre Vorteile ausspielen kann.

1. **Kombination mit Erdsonden-Wärmepumpen:** Bei der Kombination mit Erdsonden besteht ein sehr grosses Potenzial für die Solarthermie dann, wenn auf Grund hoher flächenbezogener Entzugsleistungen das Erdreich thermisch regeneriert werden muss. Solche Anlagen reduzieren die Gefahr möglicher Stromengpässe im Winter gleich zweifach: einerseits, weil Erdsonden-Wärmepumpen deutlich weniger Strom in den kältesten Monaten des Jahres benötigen als Luft-Wasser-Wärmepumpen (-39%), und zweitens, weil dieser Strombedarf durch die solarthermische Regeneration noch weiter reduziert wird (-49% mit Regeneration, siehe Abbildung 67 und Abschnitt 3.7.5). Hier ist die Solarthermie auch im Vorteil gegenüber der Photovoltaik, weil sie im Sommer viel höhere Flächenerträge erzielt und diese auch gewinnbringend in den Winter speichern kann. Erst seit der Revision der SIA 384/6 im Jahr 2021 wird die nachbarschaftliche Beeinflussung von EWS explizit behandelt und bei grossen Entzugsdichten eine Regeneration gefordert, was sicherlich zu mehr solar regenerierten EWS Anlagen führen wird. Das Potenzial für die Solarthermie wird sich hier aber voraussichtlich mittelfristig stark entwickeln, wenn auf Grund steigender Winterstrompreise und sich abzeichnender Strom-Engpässe im Winter vermehrt SW-WP anstatt LW-WP installiert werden, und auf Grund einer steigenden Flächenentzugsdichte im Quartier Langzeitauskühlungseffekte kompensiert werden müssen.
2. **Kombination mit Holz:** Die Kombination von Solarthermie mit Holz (meist Pellet, bei grösseren Anlagen auch Hackgut) ist nur schon deshalb vorteilhaft, weil es wenig Sinn macht einen gut lagerbaren Energieträger im Sommer zu verheizen, anstatt ihn für den Winter aufzusparen, wo er einen höheren energetischen Wert besitzt. Alle Analysen zeigen deutlich, dass wir im Winter auch in Zukunft nicht ausreichend einheimische Energieressourcen zur Verfügung haben werden, und dass das Schweizer



Energieholzpotenzial in naher Zukunft vollständig ausgeschöpft werden wird. Zudem kann durch die Solarthermie der Sommer-Wärmebedarf vollständig gedeckt werden. Dadurch macht der Holzkessel eine längere Sommerpause, was sowohl den ineffizienten Sommer-Teillastbetrieb reduziert, als auch Start- und Stopp-Vorgänge der Verbrennung. Dies erhöht die Lebensdauer der Holzkessel und vermindert Emissionen. Hier liegt **kurz- bis mittelfristig ein gutes Potenzial für die Solarthermie**. Längerfristig wird wohl Holz vermehrt für Prozesswärme und die Strom- oder Flugtreibstoffgewinnung genutzt werden müssen. Es kann also spekuliert werden, dass Holz für Raumwärme und Warmwasser dann weniger zur Verfügung stehen wird, was erst einmal der Solarthermie weiteren Schub verleihen kann. Langfristig stellt sich dann die Frage, womit Holz in Wärmenetzen und individuellen Gebäuden auch im Winter ersetzt werden kann, und welche Rolle die Solarthermie bei diesen Ersatz einnehmen wird.

3. **Kombination mit Luft-Wärmepumpen:** In der Kombination mit Luft-Wasser-Wärmepumpen wird die Photovoltaik weiter die Nase vorne behalten. Sie kann im Sommer in Kombination mit einer LW-WP ebenfalls «solares Warmwasser» erzeugen. Bei Vergleichen wird jedoch häufig ausgeblendet, dass bei Wassererwärmung mit WP leider viel zu oft noch direkt elektrisch nachgeheizt wird, und somit die Arbeitszahlen vieler Anlagen mit LW-WP nicht dort sind wo man sie erwarten würde. Die im Vergleich zu SW-WP höheren Winter-Strombezüge der LW-WP können ohne saisonale Speicherung weder mit Solarthermie noch mit PV substantiell reduziert werden. Ein Vorteil der Solarthermie bei LW-WPs ist die Tatsache, dass letztere im Sommer nicht arbeiten muss. Damit werden möglicherweise *störende Lärmgeräusche im Sommer oder in der Übergangszeit vermieden*, dann wenn die Nachbarn im Garten sind oder mit offenem Fenster schlafen. Um diesen Vorteil auch bei der konkreten Planung anwenden zu können, wären aber saisonal unterschiedliche Lärmschutz-Grenzwerte nötig. Anteilsmässig an den insgesamt installierten LW-WP-Systemen dürfte das Potenzial der Solarthermie jedoch gering sein. Für den Markt ist dieser Anteil jedoch momentan auf Grund der hohen Stückzahlen noch äusserst relevant.
4. **Solare Fernwärme.** Die solare Fernwärme wurde in diesem Projekt nicht untersucht. Sie darf jedoch bei der Potenzialabschätzung und bei den Kommunikations- und Fördermassnahmen auf keinen Fall vergessen werden. Anhand von Erfahrungen im Ausland ist sie aufgrund von Skaleneffekten (grosse Anlagen können günstig gebaut werden) und der Tatsache, dass grosse saisonale Wärmespeicher im GWh-Bereich auch kosteneffizient erstellt und betrieben werden können, eines der Haupt-Zukunftspotenziale der Solarthermie (siehe auch SolTherm2050 [1] oder SWSG [36]), was mit den Umfrageergebnissen weiter unterstrichen wird.
5. **Kombination mit fossilen Energieträgern:** Da die fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl langfristig für die Wärmeerzeugung in Wohngebäuden wohl nicht mehr eingesetzt werden dürfen, kann nur mit einem kurz- / mittelfristigen Potenzial für die Solarthermie in Kombination mit diesen gerechnet werden. Dass die Solarthermie in der MuKE 2014 insbesondere beim Heizungsersatz in Kombination mit diesen als sinnvolle Ergänzung aufgeführt wird, um die geforderten Energiekennzahlen zu erreichen, mag kurzfristig positive Effekte für die Solarthermie zeitigen. Langfristig hilft es der Branche jedoch wenig. Äusserst zwiespältig ist hier auch die Rolle der



Solarthermie als "Steigbügelhalter" um fossile Energieträger noch etwas länger über die Runden zu helfen.

4.3 Empfehlungen

4.3.1 Differenzierung nach Anwendungsgebieten

Die Empfehlungen für die Verbesserung der Situation von Solarthermie sollten sich aus der Sicht der Autoren auf Anwendungsgebiete fokussieren, bei denen die Solarthermie eine Zukunft hat und deren Einsatz gerade auch gegenüber anderen Optionen Vorteile bietet. Dabei stehen folgende Systemkonzepte im Vordergrund:

1. **Kombination mit Erdsonden-Wärmepumpen:** Diese Kombination erscheint, wenn immer Regeneration gefordert wird, mittel- bis langfristig als vielversprechend. Folgende Massnahmen stehen hier im Vordergrund:
 - Eine stärkere Förderung und Forderung von Erdsonden-Wärmepumpen, inklusive Sicherstellung der langfristigen Nachhaltigkeit derselben durch Regeneration
 - Eine Unterscheidung zwischen (höherem) Winterstromtarif und (tieferem) Sommerstromtarif für den Endkunden würde diese Entwicklung und auch die Regeneration von Erdsonden fördern. Ein ähnlicher Effekt könnte mit einer von der Saison abhängigen Gewichtung der Energiekennzahlen erreicht werden.
 - Die Berechnungsverfahren zur Auslegung von solarthermischer Regeneration und zur Ermittlung der Stromeinsparungen durch Regeneration müssen vereinfacht werden und in den Tools von Minergie und der Kantone integriert werden
 - Die Förderung von Solarthermie zur Regeneration sollte generell verbessert, speziell aber für PVT und unabgedeckte Kollektoren völlig neu angegangen werden.
2. **Kombination mit Holz als Energieträger:** Die Kombination mit Holz als Energieträger leidet derzeit unter ungünstigen Annahmen, die bei der Bewertung gemacht werden. Das Holzpotenzial der Schweiz wird in absehbarer Zeit vollständig genutzt werden. Solarthermie in Kombination mit Holz ermöglicht die Einsparung von Holz im Sommer. Dieses Holz kann dann im Winter genutzt werden, um fossile Energie zu ersetzen. Indirekt ersetzt deshalb Solarthermie in Kombination mit Holz eigentlich fossile Energie und nicht Holz. Folgende Massnahmen könnten hier umgesetzt werden:
 - Verpflichtung bei allen Holzenergieanlagen, den Sommerbetrieb über Solarenergie (Solarthermie oder PV + Wärmepumpen) abzudecken, ...
 - ... oder ausreichende Förderung der Solarthermie in Kombination mit Holz
3. **Fernwärme:** In der Fernwärme besteht beträchtliches Potenzial. Dieses sollte mit einer explizit auf Fernwärme ausgerichteten attraktiven Förderung angegangen werden, was aber nicht in diesem Bericht untersucht oder abgedeckt wurde.



Eine **Priorisierung von Solarthermie im Mehrfamilienhaus gegenüber demjenigen in Einfamilienhäuser (oder auch umgekehrt)** erscheint wenig sinnvoll, da die Kriterien dafür, welchen Systemen ein Zukunftspotenzial eingeräumt werden und welchen nicht, dieselben sind. Auch eine **Fokussierung auf Warmwasser- gegenüber Kombi-Systemen** erscheint nicht sinnvoll, da gerade bei den vielversprechenden Kombinationen Holz und Erdsonden-Regeneration beides gleichermassen in Frage kommt.

Da Gebäude und Heizungssysteme eine lange Lebensdauer aufweisen, ist es wichtig, möglichst rasch die richtigen Weichen im Bereich der Förderung und den Bauvorschriften zu stellen. Die Berechnungen in SolThermGo zeigen, dass zwar die Investitionen für Wärmepumpen mit Erdwärmesonden und Solarthermie hoch sind, sich diese aber gegenüber der Variante mit tiefen Investitionen, dank den tieferen Wärmegestehungskosten, auszahlen. Da jedoch bei neuen Mietobjekten, aufgrund des Mieter-Vermieter-Dilemmas eher die Investitionen ins Gewicht fallen und weniger die Wärmegestehungskosten, erscheinen Fördermassnahmen und Vorschriften umso wichtiger. Im Bereich der Sanierung hat sich erfreulicherweise die Situation deutlich verbessert, dank verschiedenen Massnahmen wie der Steuerabsetzung über drei Jahre und der Einführung der Liegenschaftskostenverordnung.

4.3.2 Verbesserung der Qualität

Der in manchen Kreisen verbreiteten Skepsis gegenüber der Zuverlässigkeit der Solarthermie muss mit einer Verbesserung der Qualität der Anlagen und vor allem auch mit einer Ertragsüberwachung begegnet werden.

- Eine automatische Anlagenüberwachung und Fehlererkennung sollte flächendeckend verlangt und die Umsetzung kontrolliert werden. Ertragsermittlungen müssen dabei nicht extrem genau sein, denn bereits ein Wert mit 10% Ungenauigkeit wäre ein deutlicher Fortschritt gegenüber "kein Wert bekannt". Sowohl die Nachrüstung mit solchen Tools als auch der Einbau in Neu-Anlagen sollte gefördert und dadurch implizit gefordert werden.
- Es bietet sich an, die Daten von einfach überwachten Anlagen auch auszuwerten, den Herstellern zu kommunizieren und die Resultate in anonymisierter Form auch öffentlich zugänglich zu machen. Durch Feedback an die Hersteller und Installateure kann die Qualität verbessert werden, und Feedback an die Endkunden stärkt das Vertrauen in die Technik.

4.3.3 Ausbildung

- Das Interesse an neuen Anwendungsgebieten, wie der Regeneration von Erdwärmesonden, der Einsatz von PVT-Kollektoren und Eisspeichern, scheint vorhanden zu sein. Jedoch sind die aktuellen Kosten noch hoch aufgrund der geringen Marktdurchdringung und der fehlenden Erfahrung mit solchen Systemen. Weiter fehlen einfache Auslegungsinstrumente, um den Nutzen solcher Systeme aufzeigen zu können und die Integration in behördliche Nachweisverfahren zu vereinfachen.
- Zusätzlich zur Verbesserung der Qualität der Ausbildung sollten neue Themen wie Regeneration von Erdsonden und Fernwärme in die Ausbildungen der Solarteure, der Holzenergieplaner und der Fernwärmebranche einfließen.



- Ein Dilemma besteht darin, dass bei tiefen Marktzahlen wenig Unternehmer in diesem Bereich tätig sind und entsprechend weniger Fachkräfte ausgebildet werden. Die Konsequenz daraus ist, dass die Erfahrung zur Planung und Installation von Solarthermieanlagen in der Heizungsbranche sinkt und bei Offerten entsprechende Sicherheitsaufschläge gemacht werden. Was wiederum die Bauherrschaft dazu bringt, die kostengünstigere Variante zu wählen, mit welcher der Installateur oder Planer viel Erfahrung gesammelt hat. Dieses Dilemma kann nur mit einer deutlichen Steigerung der Subventionen und Förderung durchbrochen werden, da sich eine Technologie etablieren muss, bevor sie ein Selbstläufer wird. Die Solarthermie ist technisch ausgereift und kann einen wesentlichen Beitrag zur Wärmewende leisten.

4.3.4 Kostenreduktion

Auch wenn dieser Bericht zeigen konnte, dass Solarthermie sehr wohl kosten-effizient eingesetzt werden kann, so besteht doch ein beträchtliches Potenzial, durch weitere Kostensenkungen die Marktchancen zu verbessern. Die Projekte ReSoTech [24] und SimplyDrain²⁰ bieten hierzu Ansätze, welche nun auch ins Feld übertragen werden sollten.

4.3.5 Fördersituation

Die Fördersituation ist für die Solarthermie äusserst unbefriedigend. Vor allem im Vergleich zur Photovoltaik wirkt die derzeitige Förderung stark marktverzerrend. Photovoltaik wird trotz "Pflicht" im Neubau (min. 10 kWp/m², MuKE n2014)²¹ durch den Bund und teilweise zusätzlich noch durch die Gemeinden mit Einmalvergütungen gefördert. Manche Kantone fördern zusätzlich auch noch die Speicherung von Photovoltaikstrom in Batteriespeichern. In manchen Fällen besteht deshalb eine Vierfachförderung (Pflicht, 2x Einmalvergütung und Speicher).

Eine einheitliche schweizweite Förderung wurde für die Solarthermie durch das harmonisierte Fördermodell angestrebt. Da jedoch viele Kantone beträchtlich von den Vorgaben abweichen, und zum Beispiel die Kantone AG und SG die Förderung ganz eingestellt haben, ist das harmonisierte Fördermodell bereits wieder Makulatur in Bezug auf die Solarthermie. Die Solarthermie ist auch mit der MuKE n weit entfernt von jeglicher "Pflicht". Es ist zwar als Standardvariante aufgeführt, da aber immer auch andere Optionen gewählt werden können, ist Solarthermie immer nur eine der möglichen Optionen (welche zudem selten gewählt wird). Auch eine Förderung der Solarthermiespeicher (Analog der nun neu aufkommenden Förderung von Batteriespeicher) ist den Autoren in der Schweiz nicht bekannt.

Für die Solarthermie könnten folgende Massnahmen die Situation verbessern:

- Einheitliche Förderung der Kollektorleistung durch den Bund oder durch Vorgaben des Bundes, welche die Kantone einheitlich umsetzen (keine Verzichtoption), evtl. geknüpft an eine Monitoring-Pflicht (auch unterhalb 20 kW), sowohl auf Gebäuden als auch, im Falle der Fernwärme, auf Freiflächen.
- Zusätzliche Förderung von Wärmespeichern in Gebäuden und in der Fernwärme.

²⁰ www.spf.ch/simplydrain

²¹ Pflicht zur Eigenstromproduktion in der MuKE n 2014, welche von den meisten, jedoch nicht allen, Kantonen eingeführt worden ist oder deren Einführung geplant ist.



- Forderung in Kombination mit Holz zur Deckung des Sommerbedarfs (ohne Ausweichoptionen), oder generelle Forderung auf die Verbrennung von Holz im Sommer zu verzichten (da Holz sinnvoller im Winter eingesetzt wird).
- Besserstellung der Erdwärmesonden-WP gegenüber den Luft-Wasser-WP, sowie Regelung der Regeneration von EWS bei hohen Flächenentzugsleistungen.

4.3.6 Kommunikation / Sensibilisierung

Die Umfragen, Interviews und Diskussionen in der Begleitgruppe weisen darauf hin, dass neben der breiten Öffentlichkeit auch die Fachplaner und Installateure zum Teil ein ungenügendes Fachwissen zur Solarthermie aufweisen. Es wird darauf hingewiesen, dass es keine Standardsysteme gibt, welche den Fachleuten die Umsetzung im Feld vereinfachen könnten. Weiter wird häufig argumentiert, dass neben dem Installateur der PV-Anlage noch ein weiterer Handwerker für die Installation der Solarthermieanlage benötigt wird, was einen zusätzlichen Aufwand und entsprechend höhere Kosten verursacht.

Die Resultate zur Wirtschaftlichkeit der Solarthermie müssen an die verschiedenen Stakeholder (Behörden, Planer, Installateure etc.) breiter kommuniziert werden. Dass die Solarthermie generell nicht wirtschaftlich ist und ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweist, kann mit der vorliegenden Untersuchung widerlegt werden.



5 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Die Resultate aus SolThermGo werden in einem ersten Schritt vertieft mit ausgewählten Fachpersonen aus der Heizungsbranche, den Verbänden (z.B. Swissolar) und den Kantonen diskutiert. In einem zweiten Schritt werden die Resultate an ein breites Fachpublikum über Beiträge in Zeitschriften oder Fachvorträgen präsentiert. Falls sich aus der Diskussion ein Bedarf für eine kompakte und einfach zu verstehende Publikation ergibt, wird eine Zusammenarbeit mit EnergieSchweiz für die Erarbeitung einer entsprechenden Informationskampagne angestrebt.

Das hier erarbeitete Verfahren zur Erdsondenregeneration wird kantonalen Behörden und Minergie vorgestellt. Ziel wäre eine Integration in die bestehenden Tools (WPesti, GEAK) und die behördlichen Nachweisverfahren. Dabei sollen auch die Resultate und das Vorgehen aus dem Projekt BigIce [6] miteinbezogen werden, in welchem Verfahren zur vereinfachten Auslegung von Eisspeichern erarbeitet wurde.

Offene Forschungsfragen

Nachfolgend sind einige offene Forschungsfragen aufgeführt, die sich aufgrund der Resultate aus SolThermGo ergeben haben:

- Welche Massnahmen werden nach einer Beurteilung durch den GEAK-Experten umgesetzt? Welche Kriterien waren ausschlaggebend bei der Entscheidung? Diese Informationen würden helfen, weitere Massnahmen zu definieren. Zwar werden die geleisteten Förderbeiträge und somit auch die umgesetzten Massnahmen im Jahresbericht des Gebäudeprogramms ausgewertet, jedoch kann damit nur bedingt der Einfluss durch die Beratung des GEAK-Experten ausgewertet werden.
- Die gewichtete Energiekennzahl berücksichtigt nur den ökologischen Einfluss der Endenergie von den Wärmeerzeugern, jedoch nicht die graue Energie aller relevanten Elemente eines Gebäudes (Dämmung, Erdsondenbohrung, etc.). Eine mögliche Forschungsfrage wäre: Wie verändern sich die Resultate aus SolThermGo, wenn sowohl eine saisonale Abhängigkeit der CO₂-Emissionen als auch die Erstellung (graue Energie) mitberücksichtigt wird.
- Für neue Anwendungsgebiete (EWS-Regeneration PVT-Kollektoren, Eisspeichersysteme), sollten Standard-Hydraulikkonzepte erarbeitet werden und Best-Practice-Beispiele publiziert werden (in Anlehnung an WP-Systemmodul), um die planerischen Hürden abzubauen. Diese Konzepte sollten auch grössere Bauten (MFH) berücksichtigen.
- Was muss getan werden, um der Solarthermie in der Fernwärme auf die Sprünge zu helfen? Wo liegen die Hürden in der Schweiz bei der Integration von Solarthermie in die Fernwärme? Die Antworten zu diesen Fragen würden das vorliegende Projekt gut ergänzen. Zu diesen Fragen wird Anfang 2022 ein weiteres BFE Projekt mit dem Akronym «SolCAD» publiziert.



6 Literaturverzeichnis

- [1] Berger M, Sperle H, Kummer S, Häberle A, Carbonell Sanchez D, Guidati G, et al. SolTherm2050 Chancen durch Solarwärme und thermische Energiespeicher für das Energiesystem Schweiz 2050. Bundesamt für Energie; 2021.
- [2] Panos E, Kannan R. Challenges and Opportunities for the Swiss Energy System in Meeting Stringent Climate Mitigation Targets. Limiting Global Warming to Well Below 2°C: Energy System Modelling and Policy Development. Lecture Notes in Energy, vol 64, Cham: Springer; 2018.
- [3] Rohrer J, Sperr N. Die Folgen der Dekarbonisierung des Energiesystems auf die Schweizer Stromversorgung. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften; 2018.
- [4] Bartlett S, Dujardin J, Kahl A, Kruyt B, Manso P, Lehning M. Charting the course: A possible route to a fully renewable Swiss power system. Energy 2018;163:942–55. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.018>.
- [5] Klein et al SA. TRNSYS 18: A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA 2017. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>.
- [6] Carbonell Sanchez M, Schubert M, Neugebauer M. BigIce Assessment of solar-ice systems for multi-family and tertiary buildings. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik; 2021.
- [7] SIA Merkblatt 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; 2010.
- [8] SPF-OST SI for S. SPF-OST/pytrnsys_gui. 2021.
- [9] Haller M. TRNSYS Type 832 v5.00 „Dynamic Collector Model by Bengt Perers“ - Updated Input-Output Reference. Rapperswil, Switzerland: Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR; 2012.
- [10] Stegmann M, Bertram E, Rockendorf G, Janßen S. Model of an Unglazed Photovoltaic Thermal Collector Based on Standard Test Procedures. Solar World Congress 2011 Proceedings, Kassel, Germany; 2011.
- [11] Haller MY, Frank E. Solarwärme & Wärmepumpen – Interpretation der Simulationen des IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38. 24. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany: OTTI e.V., Regensburg; 2014.
- [12] Wetter M, Afjei Th. TRNSYS TYPE 401 - Kompressionswärmepumpe inklusiv Frost- und Taktverluste - Modellbeschreibung und Implementation in TRNSYS. Zentralschweizerisches Technikum Luzern; 1996.
- [13] Haller M. TRNSYS - Type 976 – Compression Heat Pump - Version 1.04. Internes Dokument 2010.
- [14] Philippen D, Battaglia M, Carbonell D, Thissen B, Kunath L. Validation of an Ice Storage Model and its Integration into a Solar-Ice System. Eurosun 2018, Rapperswil, Switzerland; 2018.
- [15] Cramer S. EFH und MFH Referenzgebäude für Simulationen. Luzern: HSLU; 2019.
- [16] Mojic I, Cramer S, Caflisch M, Carbonell D, Haller M. Reference Framework for Building and System Simulations: Multifamily Reference Building 2019.
- [17] Mojic I, Luzzatto M, Haller M, Lehmann M, Benz M, Van Velsen S. ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil; 2018.
- [18] Ott W, von Grünigen S. Wirtschaftlichkeit von Neubau- und Erneuerungsinvestitionen in der 2000-Watt-Gesellschaft. Zürich: 2011.



- [19] SIA2032:2020 - Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden 2020.
- [20] Gadola R. Heizkostenvergleichsrechner swisspower. Hochschule Luzern; 2021.
- [21] Wohlgemuth D. Optimale Dämmstärken bei Wohngebäuden - Ökologische und ökonomische Optimierung. Luzern: HSLU; 2015.
- [22] Jakob M, Martius G, Catenazzi G, Berleth H. Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich - Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen. Bern: BFE; 2014.
- [23] Philippen D, Caflisch M, Brunold S, Haller M. ReSoTech – Reduktion der Marktpreise solarthermischer Anlagen durch neue technologische Ansätze – Teil 1: Potenzialanalyse und Lösungsansätze. Bern: SPF Institut für Solartechnik; 2016.
- [24] Philippen D, Zenhäusern D, Voirol A, Dudita M, Haberl R, Leuenberger L, et al. ReSoTech 2 – Reduktion der Marktpreise solarthermischer Anlagen durch neue technologische Ansätze. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik; 2020.
- [25] Erstes Massnahmenpaket der Energiestrategie - Faktenblatt "Energieversorgung der Schweiz und internationale Entwicklung." Bern: BFE; 2017.
- [26] Haller MY, Streicher W, Bales C. Combined Solar and Pellet Heating Systems for Houses: Improvement of Energy Efficiency and Reduction of Boiler ON/OFF Cycling. Proc. of the EuroSun 2010 Conference, Graz, Austria: 2010.
- [27] Vollzug der Energievorschriften 2018 – Private Kontrolle in den Kantonen AR, GL, SG, SZ und ZH. Zürich: AWEL, Abteilung Energie; 2019.
- [28] Zenhäusern D, Brunold S, Voirol A, Erb K, Cramer S, Schubert M, et al. HiPer-PVT - Abgedeckter PVT-Kollektor mit Überhitzungsschutz. Rapperswil: Bundesamt für Energie BFE; 2022.
- [29] Zeyer C. Die Wirkung von MuKE n, Minergie und Minergie-P - Kombinierte Energie und Kostensimulation zur Untersuchung der Auswirkungen des Bauherrenentscheides für einen Standard bezüglich Kosten. Bern: E Plus U Energie- und Umweltberatung GmbH; 2008.
- [30] Schmidli J, Bosshard I, Battaglia M, Haller M, Carbonell D. SolSimCC - Einfluss von Klimawandel und Nutzerverhalten auf das Kosten/Nutzenverhältnis solarer Energieerzeugung am Gebäude. SPF Institut für Solartechnik; 2020.
- [31] Wagner R, Weisskopf K. Erdsondenpotenzial in der Stadt Zürich 2014.
- [32] Persdorf P, Ruesch F, Haller M. RegenOpt - Optionen zur Vermeidung nachbarschaftlicher Beeinflussung von Erdwärmesonden: energetische und ökonomische Analysen - Schlussbericht. Zürich: Im Auftrag der Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, Amt für Hochbauten, Zürich; 2015.
- [33] Ruesch F, Rommel M, Haller M. TARO-Thermische Arealvernetzung, Energetische Optimierung anhand von dynamischen Systemsimulationen. Bern: Bundesamt für Energie BFE; 2016.
- [34] ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050+ ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE 2020.
- [35] Zogg D, Kobler R, Haller M, Hubacher P. Wärmepumpen und PV - Planungsgrundlagen für Wohnbauten (EFH und MFH). Bern: EnergieSchweiz; 2021.
- [36] Mojic I, Ruesch F, Haller M. SWSG - Machbarkeit solarunterstützter Wärmenetze im Kanton St.Gallen. Rapperswil, CH: SPF Institut für Solartechnik; 2017.



Annex A: Datenauswertung

Table 9: Gruppierung der angegebenen Wärmeerzeuger in Wärmeerzeugertechnologien für die statistische Auswertung der Minergie Anträge

Verwendete Wärmeerzeuger in Minergie Anträgen	Gruppierung in Wärmeerzeugertechnologie
Elektro direkt	Elektro direkt Heizung
Elektrospeicher-Zentralheizung	
TRACE HEATING TAPES	
Elektro-Wassererwärmer	Elektro-Wassererwärmer
Gasfeuerung kondensierend	Gas Heizkessel
Gas kondensierend Warmwasser	
Gasfeuerung	
Gas - Wassererwärmer	
Oelfeuerung	Öl Heizkessel
Oelfeuerung kondensierend	
Ölfeuerung kondens. Warmwasser	
Holzfeuerung	Holz Heizkessel
Pelletfeuerung	
Solarenergie therm. Warmwasser	Solarthermie
Solarenergie Heizung + WW	
Solarenergie thermisch, Heizung	
Solarenergie thermisch	
Erdsonden-WP, Heizung	Wärmepumpe
Erdsonden-WP, Warmwasser	
Luft-Wärmepumpe, Heizung	
Luft-Wärmepumpe, Warmwasser	
Grundwasser-WP direkt, Heizung	
Grundwasser-WP dir. Warmwasser	
Wasser-WP, Warmwasser	
Wärmepumpe Aussenluft	
Abluft-Wärmepumpe ohne ZUL	
Wärmepumpe Erdwärmesonde	
Wärmepumpe Grundwasser indirekt	
Wärmepumpe Grundwasser direkt	
Wärmepumpe Abwasser	
Wasser-Wärmepumpe	
Wärmepumpe Erdregister	
Wasser-Wärmepumpe, Heizung	
Grundwasser-WP, indir, Heizung	
Grundwasser-WP, indir, Warmw.	
Ab- / Zuluft-WP + WRG	
Abwasser-WP (direkt), Heizung	



Abwasser-WP direkt, Warmwasser	
Erdregister-WP, Heizung	
Erdregister-WP, Warmwasser	
Kompakt-WP + WRG	
Kompakt-WP ohne WRG, WW	
Ab- / Zuluft-WP ohne WRG	
Wärmepumpe nicht zuweisbar	
Kompakt-WP ohne WRG, Heizteil	
WKK - thermischer+elektr. Anteil	Wärme Kraft-Koppelung
WKK Holz - therm.+elektr. Anteil	
BIOMASS HYDRAULICALLY INTEGRATED	
Fernwärme (<=50% nicht erneuerbar)	Fernwärme
Fernwärme	
DISTRICT HEATING LT 25 PERC	
DISTRICT HEATING GT 75 PERC	

Tabelle 10: Gruppierung der angegebenen Wärmepumpentypen in Wärmepumpenkategorien für die statistische Auswertung der Minergie Anträge

Verwendete Wärmeerzeuger in Minergie Anträgen	Gruppierung in Wärmeerzeugertechnologie
Erdsonden-WP, Heizung	Wärmepumpe Erdsonde
Erdsonden-WP, Warmwasser	
Wärmepumpe Erdwärmesonde	
Luft-Wärmepumpe, Heizung	Wärmepumpe Aussenluft
Luft-Wärmepumpe, Warmwasser	
Wärmepumpe Aussenluft	
Grundwasser-WP dir. Warmwasser	Wärmepumpe Grundwasser
Grundwasser-WP direkt, Heizung	
Grundwasser-WP, indir, Heizung	
Grundwasser-WP, indir, Warmw.	
Wärmepumpe Grundwasser direkt	
Wärmepumpe Grundwasser indirekt	
Wasser-Wärmepumpe	
Wasser-Wärmepumpe, Heizung	
Wasser-WP, Warmwasser	Wärmepumpe Erdregister
Erdregister-WP, Heizung	
Erdregister-WP, Warmwasser	
Wärmepumpe Erdregister	Wärmepumpe Abluft
Ab- / Zuluft-WP + WRG	
Ab- / Zuluft-WP ohne WRG	
Abluft-Wärmepumpe ohne ZUL	
Kompakt-WP + WRG	
Kompakt-WP ohne WRG, Heizteil	



Kompakt-WP ohne WRG, WW	
Abwasser-WP (direkt), Heizung	Wärmepumpe Abwasser
Abwasser-WP direkt, Warmwasser	
Wärmepumpe Abwasser	
Wärmepumpe nicht zuweisbar	Wärmepumpe nicht zuweisbar

Tabelle 11: Gruppierung der angegebenen Wärmeerzeuger in Wärmeerzeugertechnologien für die statistische Auswertung der GEAK Nachweise

Verwendete Wärmeerzeuger in GEAK Nachweisen	Gruppierung in Wärmeerzeugertechnologie
Elektro direkt	Elektro Heizung
Elektrospeicher- Zentralheizung	
Elektro-Wassererwärmer	Elektro-Wassererwärmer
Gasfeuerung	Gas Heizkessel
Gasfeuerung kondensierend	
Ölfeuerung	Öl Heizkessel
Ölfeuerung kondensierend	
Holzfeuerung	Holz Heizkessel
Pelletfeuerung	
Solarenergie thermisch	Solarthermie
Wärmepumpe Erdregister	Wärmepumpe
Wärmepumpe, Abwasser	
Wärmepumpe, Aussenluft	
Wärmepumpe, Erdwärmesonde	
Wärmepumpe, Grundwasser, direkt	
Wärmepumpe, Grundwasser, indirekt	
Wärmepumpenboiler Trinkwarmwasser	Wärmepumpe-Wassererwärmer
Fernwärme (aus KVA, ARA, Industrie)	Fernwärme



Annex B: Zusätzliche Diagramme zur Datenauswertung

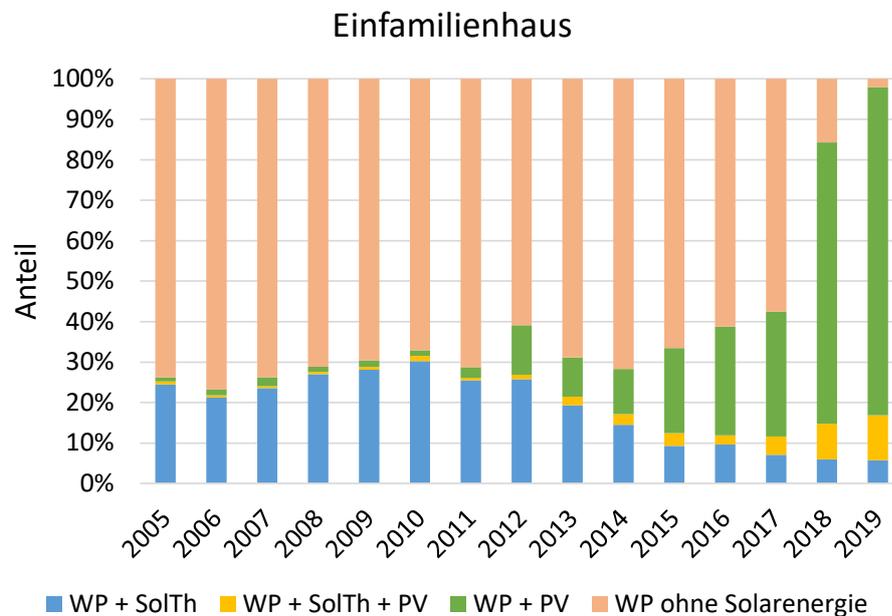


Abbildung 86: Anteil der Wärmepumpensysteme in den Einfamilienhäusern (Neubau) mit und ohne Solarenergie, und mit zusätzlicher Aufschlüsselung der Art der eingesetzten Solarenergie.

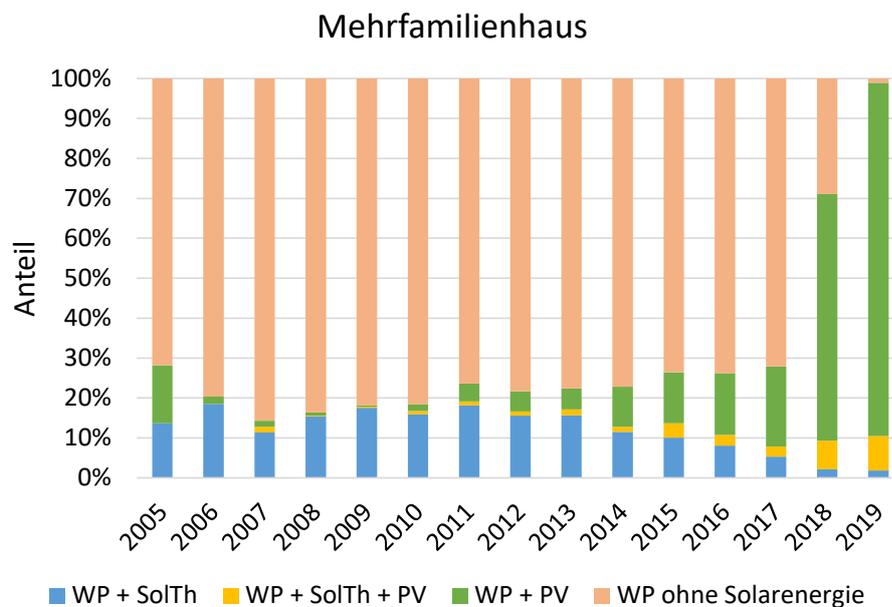


Abbildung 87: Anteil der Wärmepumpensysteme in den Mehrfamilienhäusern (Neubau) mit und ohne Solarenergie, und mit zusätzlicher Aufschlüsselung der Art der eingesetzten Solarenergie.



Annex C: Umfrage

Frage 7: "Wie schätzen Sie die Zuverlässigkeit der Solarthermie ein?"

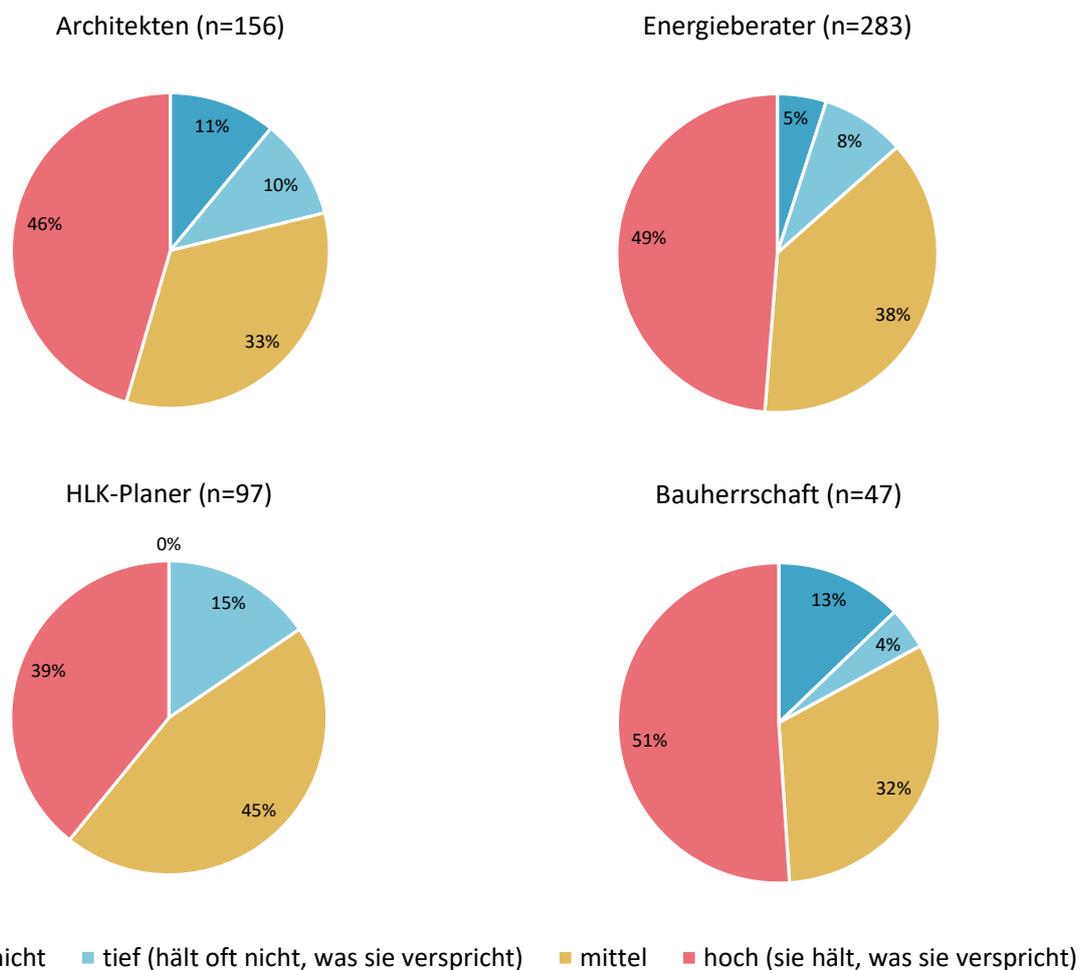


Abbildung 88: Antworten zur Frage 7 nach den einzelnen Gruppen aufgeteilt (n = 583).



Annex D: Leitfragen Experteninterviews

Voraussetzungen:

- 10 Fragen je Ansprechgruppe, Umfang ca. 20-30'
- Architekt / HLKS-Planer / Bauherr / Energieberater / Installateur

ST = solar thermisch

differenzierte Fragen

Architekt

Voraussetzung: Hat Anlagen in einem der Bereiche ST/PV/PVT realisiert oder ist gewillt (sh. Umfrage)

Nr.	Frage	Bemerkung
1	Haben Sie in den letzten 3 Jahren Anlagen im Bereich ST/PV/PVT(Hybrid) realisieren können/dürfen?	Einführend, zur klaren Abgrenzung der Anwendung ST/PV/PVT (versteht der Arch. den Unterschied – evtl. kurze Ausführung)
2	Für welche Gebäude haben sie ST-Anlagen realisiert? In welcher Grösse waren die Anlagen?	Anwendung ST abfragen; welche Zwecke (EFH/MFH/Zweckbau/Industrie/...) welche Grösse (klein bis 4m ² / mittel bis 12 m ² / gross bis 20m ²)
3	Was war der Haupttreiber zur Realisierung einer ST Anlage? Hatte es grossen Einfluss auf das Bauprojekt? Als wie relevant betrachten sie Förderbeiträge bei der Umsetzung von ST-Anlagen?	Initiative von wo? Arch./Planer/Bauherr/Auflage (Behörde)
4	Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Wohnungsbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Zweckbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST in Sanierungen?	Persönliche Einstellung zu ST
5	Der Zubau von neuen ST-Anlagen ist sehr schleppend. Was ist aus Sicht von Arch. der Grund für die tiefen Zubauraten?	Gründe Abfragen / persönliche Meinung → nicht aktiv auf Konkurrenzsituation PV hinweisen, erst wenn kein Feedback dazu bis hier!
6	Welche Massnahmen wären aus Ihrer Sicht als Architekt hilfreich, um die Planung und Umsetzung von ST-Anlagen zu vereinfachen? Was sind Ihnen bekannte Hürden in der Planung? Bevorzugen sie rechnerische / oder Standardlösungen? Kommt es vor, dass ST in der Planung enthalten wird, dann aber kurz vor oder während der Realisierung gestrichen wird? Aus welchen Gründen?	Erst persönliche Meinung, dann (falls offen): 1. Einfache Systeme 2. Auslegehilfen (Berechnungstools) 3. Informationen für Bauherrschaften 4. Günstige Anlagen 5. Vorschriften/Regulatorik (ex. MuKE)
7	Haben Sie schon den Bau von ST/PV Anlagen abgelehnt, da Sie aus ästhetischen Gründen bedenken hatten? Gab es schon Projekte mit Einsprachen wegen ST/PV?	Regulatorik Ästhetik: Falls ja, was wäre wünschenswert, damit Technologie unter ästhetischen Gesichtspunkten besser wäre?
8	Rechnen Sie damit, in Zukunft wesentlich strengere Auflagen bezüglich der erneuerbaren Gebäudebeheizung / Gebäudekühlung anzutreffen sind?	Ist dem Arch. bewusst, dass wesentlich strengere Regulatorik absehbar ist?
9	Haben Sie Mühe mit dem Umstand, dass kantonal tw. unterschiedliche Anforderungen herrschen?	persönliche Präferenz / Umsetzung MuKE, Wenn Mühe, dann als zweites fragen, ob es eine grosse Mühe ist...
10	Stellen Sie bei den Bauherrschaften eine generell höhere Sensibilisierung zu erneuerbarer Beheizung fest oder steht eher das regulatorisch notwendige Minimum im Vordergrund?	persönliche Präferenz.



HLKS-Planer

Voraussetzung: Hat Anlagen in einem der Bereiche ST/PV/PVT realisiert oder ist gewillt (sh. Umfrage)

Nr.	Frage	Bemerkung
1	Haben Sie in den letzten 3 Jahren Anlagen im Bereich ST/PV/PVT(Hybrid) geplant ?	<i>Einführend, zur klaren Abgrenzung der Anwendung ST/PV/PVT</i>
2	Für welche Anwendungen haben sie ST-Anlagen geplant ? In welcher Grösse waren die Anlagen?	<i>Anwendung ST abfragen; welche Zwecke (EFH/MFH/Zweckbau/Industrie/...) welche Grösse (klein bis 4m2 / mittel bis 12 m2 / gross bis 20m2)</i>
3	Was war der Haupttreiber zur Planung einer ST Anlage? Haben Sie damit gerechnet resp. hatte es grossen Einfluss auf das Bauprojekt?	<i>Initiative von wo? Arch/Planer/Bauherr/Auflage (Behörde)</i>
4	Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Wohnungsbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Zweckbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST in Sanierungen?	<i>Persönliche Einstellung zu ST</i>
5	Der Zubau von neuen ST-Anlagen ist sehr schleppend. Was ist aus Sicht vom Planer der Grund für die tiefen Zubauraten?	<i>Gründe Abfragen / persönliche Meinung → nicht aktiv auf Konkurrenzsituation PV hinweisen, erst wenn kein Feedback dazu bis hier!</i>
6	Welche Massnahmen wären aus Ihrer Sicht als Planer hilfreich, um die Planung und Umsetzung von ST-Anlagen zu vereinfachen? Nennen/kennen sie bekannte Hürden in der Planung? Bevorzugen sie rechnerische / oder Standardlösungen?	<i>Erst persönliche Meinung, dann (falls offen):</i> <ol style="list-style-type: none">1. Einfache Systeme2. Auslegehilfen (Berechnungstools)3. Informationen für Bauherrschaften4. Günstige Anlagen5. Vorschriften/Regulatorik (ex. MuKEn)
7	Sind sie beim Bau der ST Anlagen auf Probleme gestossen? Gab es (nach ihrem Wissen) Probleme in Betrieb und Unterhalt?	<i>Abfragen Probleme ST wie auch PV Hinweis, dass ca. 50% der Umfrageteilnehmer die Zuverlässigkeit als nicht hoch einstufen, Grund?</i>
8	Rechnen Sie damit in Zukunft wesentlich strengere Auflagen bezüglich der erneuerbaren Gebäudebeheizung / Gebäudekühlung anzutreffen?	<i>Ist dem Planer bewusst, dass wesentlich strengere Regulatorik absehbar ist?</i>
9	Welches System favorisieren Sie persönlich für die zukünftige Beheizung des Gebäudeparks? Welche Anlagen planen sie am häufigsten?	<i>persönliche Präferenz / unabhängig von ST</i>
10	Sehen sie (ausgenommen finanziellen) technische oder regulatorische Hürden welche eine breite Nutzung der Dachfläche zur Energieerzeugung (Wärme oder elektrisch) verunmöglichen würden?	<i>persönliche Präferenz / abhängig von ST</i>

Installateur

Voraussetzung: Hat Anlagen in einem der Bereiche ST/PV/PVT realisiert oder ist gewillt (sh. Umfrage)

Nr.	Frage	Bemerkung
1	Haben Sie in den letzten 3 Jahren Anlagen im Bereich ST/PV/PVT(Hybrid) realisiert ?	<i>Einführend, zur klaren Abgrenzung der Anwendung ST/PV/PVT</i>
2	Für welche Anwendungen haben sie ST-Anlagen realisiert ? In welcher Grösse waren die Anlagen?	<i>Anwendung ST abfragen; welche Zwecke (EFH/MFH/Zweckbau/Industrie/...) welche Grösse (klein bis 4m2 / mittel bis 12 m2 / gross bis 20m2)</i>
3	Was war der Haupttreiber zur Planung einer ST Anlage? Wer war der wichtigste Entscheidungsträger für die Wahl der thermischen Solaranlage?	<i>Initiative von wo? Arch/Planer/Bauherr/Auflage (Behörde)</i>
4	Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Wohnungsbau?	<i>Persönliche Einstellung zu ST</i>



	Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Zweckbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST in Sanierungen?	
5	Der Zubau von neuen ST-Anlagen ist sehr schleppend. Was ist aus Sicht vom Installateur der Grund für die tiefen Zubauraten?	<i>Gründe Abfragen / persönliche Meinung → nicht aktiv auf Konkurrenzsituation PV hinweisen, erst wenn kein Feedback dazu bis hier!</i>
6	Welche Massnahmen wären aus Ihrer Sicht als Installateur hilfreich, um die Planung und Umsetzung von ST-Anlagen zu vereinfachen? Nennen/kennen sie bekannte Hürden in der Planung? Bevorzugen sie rechnerische / oder Standardlösungen?	<i>Erst persönliche Meinung, dann (falls offen):</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Einfache Systeme 2. Auslegehilfen (Berechnungstools) 3. Informationen für Bauherrschaften 4. Günstige Anlagen 5. Vorschriften/Regulatorik (ex. MuKEn)
7	Sind sie beim Bau der ST Anlagen auf Probleme gestossen? Gab es (nach ihrem Wissen) Probleme in Betrieb und Unterhalt?	Abfragen Probleme ST wie auch PV
8	Rechnen Sie damit in Zukunft wesentlich strengere Auflagen bezüglich der erneuerbaren Gebäudebeheizung / Gebäudekühlung anzutreffen?	<i>Ist dem Planer bewusst, dass wesentlich strengere Regulatorik absehbar ist?</i>
9	Welches System favorisieren Sie persönlich für die zukünftige Beheizung des Gebäudeparks? Welche Anlagen planen sie am häufigsten?	<i>persönliche Präferenz / unabhängig von ST</i>
10	Sehen sie (ausgenommen finanziellen) technische oder regulatorische Hürden welche eine breite Nutzung der Dachfläche zur Energieerzeugung (Wärme oder elektrisch) verunmöglichen würden?	persönliche Präferenz / abhängig von ST

Energieberater

Voraussetzung: Hat Anlagen in einem der Bereiche ST/PV/PVT oder ist gewillt (sh. Umfrage)

Nr.	Frage	Bemerkung
1	Empfehlen sie bei Beratungen häufig Lösungen im Bereich ST/PV/PVT(Hybrid)?	Einführend, zur klaren Abgrenzung der Anwendung ST/PV/PVT
2	Für welche Anwendungen haben sie ST-Anlagen empfohlen? In welcher Grösse waren die Anlagen?	<i>Anwendung ST abfragen; welche Zwecke (EFH/MFH/Zweckbau/Industrie/...) welche Grösse (klein bis 4m2 / mittel bis 12 m2 / gross bis 20m2)</i>
3	Was war der Haupttreiber zur Empfehlung einer ST Anlage?	<i>Initiative von wo? Arch/Planer/Bauherr/Auflage (Behörde)</i>
4	Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Wohnungsbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST im Zweckbau? Wie sehen Sie pers. die Nutzung von ST in Sanierungen?	<i>Persönliche Einstellung zu ST</i>
5	Der Zubau von neuen ST-Anlagen ist sehr schleppend. Was ist aus Sicht vom Berater der Grund für die tiefen Zubauraten?	<i>Gründe Abfragen / persönliche Meinung → nicht aktiv auf Konkurrenzsituation PV hinweisen, erst wenn kein Feedback dazu bis hier!</i>
6	Welche Massnahmen wären aus Ihrer Sicht als Beraters hilfreich, um die Planung und Umsetzung von ST-Anlagen zu vereinfachen? Nennen/kennen sie bekannte Hürden und Hemmungen in Kontakt mit den Bauherrschaften? Bevorzugen sie rechnerische / oder Standardlösungen?	<i>Erst persönliche Meinung, dann (falls offen):</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. 'Halbwissen' der Bauherren 2. Hilfstool / Werkzeuge 3. Zu viel Information / Struktur 4. Klare Vorstellungen 5. Vorschriften/Regulatorik



7	Stehen die Bauherrschaften gegenüber der Nutzung von ST offen gegenüber oder bevorzugen sie PV? Kenne die Bauherrschaften den Unterschied?	Sensibilisierung Differenz PV/ST
8	Rechnen Sie damit in Zukunft wesentlich strengere Auflagen bezüglich der erneuerbaren Gebäudebeheizung / Gebäudekühlung anzutreffen?	Ist dem Planer bewusst, dass wesentlich strengere Regulatorik absehbar ist?
9	Welches System favorisieren Sie persönlich für die zukünftige Beheizung des Gebäudeparks? Welche Anlagen planen sie am häufigsten?	persönliche Präferenz / unabhängig von ST
10	Sehen sie (ausgenommen finanziellen) technische oder regulatorische Hürden welche eine breite Nutzung der Dachfläche zur Energieerzeugung (Wärme oder elektrisch) verunmöglichen würden?	persönliche Präferenz / abhängig von ST

Bauherr (Fokus Institutionell)

Voraussetzung: Hat Anlagen in einem der Bereiche ST/PV/PVT realisiert (sh. Umfrage)

Nr.	Frage	Bemerkung
1	Sind sie Bauherr in einer beruflichen Funktion oder als Privatperson	Diff. Institutioneller Anleger / privat
2	Haben Sie Anlagen im Bereich ST/PV/PVT(Hybrid) realisieren können/dürfen?	Einführend, zur klaren Abgrenzung der Anwendung ST/PV/PVT (versteht der Bauherr den Unterschied – evtl. kurze Ausführung)
3	Für welche Gebäude haben sie ST-Anlagen realisiert? In welcher Grösse waren die Anlagen?	Anwendung ST abfragen; welche Zwecke (EFH/MFH/Zweckbau/Industrie/...) welche Grösse (klein bis 4m ² / mittel bis 12 m ² / gross bis 20m ²)
4	Was war der Haupttreiber zur Realisierung einer ST Anlage? Wer hat Sie auf die Möglichkeit aufmerksam gemacht?	Initiative von wo? Arch/Planer/Bauherr/Auflage (Behörde) Evtl. Regulatorik (Vorschrift)
6	Denken Sie, gut informiert gewesen zu sein über Varianten und Möglichkeiten?	Informationsgrundlage
8	Haben sie gute Erfahrungen gemacht und würden Sie das installierte System der thermischen Solarnutzung weiterempfehlen? Wo gab/gibt es Probleme?	Hürden?
9	Haben Sie weitere Investitionen geplant in die energetische Sanierung ihres Gebäudes? Rechnen Sie mit erweiterten Anforderungen in Zukunft?	Erst offen, dann spezifisch Fragen nach evtl. solare Erweiterung (ST oder PV)
10	Welches System favorisieren Sie persönlich für die zukünftige Beheizung des Gebäudeparks?	persönliche Präferenz.