



Schlussbericht vom 25. September 2025

EffiWag

Effizienzpotenzial eines Ersatzes des Wärmeabgabesystems





LEMON • CONSULT •



Ort: Zürich, 30.06.2025

Subventionsgeberin:

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

Ko-Finanzierung:

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL)
Stampfenbachstrasse 12
8090 Zürich

Dr. Stephan à Porta-Stiftung
Kreuzstrasse 31
8008 Zürich

Subventionsempfänger/innen:

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10
8006 Zürich

ZHAW Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Wildbachstrasse 21
8400 Winterthur

Autor/in:

Mario Roost, Lemon Consult AG, roost@lemonconsult.ch
Theresa Schwery, Lemon Consult AG, schwery@lemonconsult.ch
Flurin Guyer, Lemon Consult AG, guyer@lemonconsult.ch
Martin Mühlebach-Burkart, Lemon Consult AG, muehlebach@lemonconsult.ch
Andreas Witzig, ICP ZHAW, andreas.witzig@zhaw.ch
Johannes Bruderer, ICP ZHAW, brdj@zhaw.ch
Franziska Schranz, ICP ZHAW, scza@zhaw.ch

BFE-Projektbegleitung:

Martin Ménard, Low-Tech Lab GmbH, menard@lowtechlab.ch
Andreas Eckmanns, BFE, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502572-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autor/-innen dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Die vom Bundesrat verabschiedete Klimastrategie verfolgt das Ziel, dass der schweizerische Gebäudepark bis zum Jahr 2050 keine direkten Treibhausgasemissionen mehr verursacht. Zur Erreichung dieses Ziels stehen derzeit insbesondere energetische Sanierungsmassnahmen an der Gebäudehülle sowie der Ersatz fossiler Wärmeerzeuger durch Systeme mit erneuerbaren Energieträgern, wie beispielsweise Wärmepumpen, im Zentrum der nationalen Förderinstrumente. Diese Entwicklung führt zu einem steigenden Elektrizitätsbedarf, insbesondere im winterlichen Halbjahr, also dann, wenn wenig Energie zur Verfügung steht und deren CO₂-Intensität hoch ist. Effizienzsteigernde Massnahmen zur Senkung des Stromverbrauchs während dieser Periode leisten daher einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Netzbelastung.

Eine energetische Sanierung der Gebäudehülle ermöglicht nicht nur eine signifikante Reduktion des Heizwärmebedarfs, sondern auch eine Absenkung der erforderlichen Vorlauftemperatur. Letztere wirkt sich insbesondere bei Wärmepumpen positiv auf die Effizienz des Gesamtsystems aus. In der Praxis stellt die umfassende Sanierung der Gebäudehülle, insbesondere der Fassade, jedoch häufig eine gestalterische, technische und finanzielle Herausforderung für Eigentümerinnen und Eigentümer dar. Besonders betroffen sind Gebäude älterer Baujahre, die üblicherweise mit Wärmeabgabesystemen in Form von Radiatoren mit hohen Auslegungstemperaturen (> 50 °C) ausgestattet sind. Nach Einschätzung des Autorenteams bleibt deshalb ein grosser Teil der Fassaden bis heute ungedämmt.

Die Hypothese dieser Studie geht davon aus, dass der Ersatz bestehender Hochtemperatur-Wärmeabgabesysteme durch Niedertemperatursysteme (< 40 °C) zu einer signifikanten Effizienzsteigerung bei Wärmepumpenanlagen führen kann. Ziel der Untersuchung ist es, das technische und energetische Potenzial dieser Massnahme zu analysieren und sie hinsichtlich ihrer Wirksamkeit mit einer konventionellen Sanierung der Gebäudehülle zu vergleichen. Die Analyse erfolgt einerseits anhand von fünf realen Gebäudeobjekten (Arbeitspaket 1) und andererseits mittels einer übertragbaren Modellierung auf den schweizerischen Gebäudepark (Arbeitspaket 2). In einem ergänzenden Untersuchungsschritt (Arbeitspaket 3) sollen bestehende Hemmnisse identifiziert und geeignete Ansätze zur Förderung der Massnahme entwickelt werden.

Arbeitspaket 1

Im Rahmen des Arbeitspakets 1 wurden für fünf reale Gebäudeobjekte verschiedene Sanierungsvarianten konzipiert, die sich hinsichtlich der Gebäudehülle, des Wärmeabgabesystems sowie der Wärmeerzeugung unterscheiden. Je nach Variante bleibt die Gebäudehülle entweder unverändert oder wird teilweise oder vollständig saniert. Die teilweise Sanierung wird gemäss den Anforderungen des Einzelbauteilnachweises beziehungsweise vollständig nach Systemnachweis gemäss SIA 380/1 durchgeführt. Das Wärmeabgabesystem wird entweder beibehalten oder durch ein Niedertemperatur-Heizkörpersystem (Vorlauftemperatur 40°C) bzw. ein Flächenheizsystem (Vorlauftemperatur 35°C) ersetzt. Hinsichtlich der Wärmeerzeugung werden sowohl Luft/Wasser- als auch Sole/Wasser-Wärmepumpen als mögliche Optionen berücksichtigt.

Für jede dieser Varianten wird mithilfe dynamischer Jahressimulationen der Endenergiebedarf sowie die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen berechnet. In einem weiteren Schritt erfolgt die Evaluation der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), sowohl für die Erstellung als auch für den Betrieb der jeweiligen Massnahmen. Abschliessend werden die Jahreskosten für Erstellung, Betrieb und Unterhalt der einzelnen Varianten ermittelt und dem Endenergiebedarf und den THG-Emissionen gegenübergestellt.



Die Analyse zeigt, dass die grösste Reduktion der THG-Emissionen, im Bereich von etwa 85–90 %, durch den Ersatz fossiler Wärmeerzeugungssysteme durch Wärmepumpen erzielt wird. Diese Massnahme stellt zudem auch hinsichtlich der Endenergieeinsparung (rund 60 %) die kosteneffizienteste Option dar.

Die Pareto-Analysen in Abbildung 1 und 2 verdeutlichen die bestmöglichen Kompromisse zwischen minimalen spezifischen THG-Emissionen bzw. minimalen spezifischer elektrischer Aufnahmeleistung der Wärmepumpe im Auslegungspunkt und den spezifischen Jahreskosten am Beispiel von Luft/Wasser-Wärmepumpensystemen. Varianten oberhalb der Pareto-Front sind weder energetisch noch wirtschaftlich effizient. Die Darstellung ermöglicht eine differenzierte Einordnung der untersuchten Sanierungsoptionen (Variante 1 = keine energetische Sanierung der Gebäudehülle, Variante 2 = teilweise Sanierung der Gebäudehülle, Variante 3 = vollständige Sanierung der Gebäudehülle), der Wärmeabgabesysteme (h = Niedertemperatur-Heizkörper, f = Flächenheizung) sowie der Wärmeerzeugungssysteme (l = Luft/Wasser-Wärmepumpe).

Aus den Resultaten geht hervor, dass für die fünf betrachteten Objekte ein Ersatz des Wärmeerzeugers insbesondere bei unsanierten Gebäuden mit bestehendem Wärmeabgabesystem (1l), in Kombination mit neuem Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem (1hl), oder bei vollständig sanierten Gebäuden mit bestehenden Wärmeabgabesystem (3l) ein kosteneffizienter Ansatz zur Reduktion der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe im Auslegefall darstellt. Diese kann durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems um rund 30 % reduziert werden (1l zu 1h/f). Die Mehrkosten in Bezug auf den reinen Ersatz des Wärmeerzeugers belaufen sich auf rund 40 %. Durch die vollständige Dämmung der Gebäudehülle, ohne Ersatz des Wärmeabgabesystems ist eine Reduktion der elektrischen Leistungsaufnahme um 60 % möglich (1l zu 3l). Die Mehrkosten betragen in diesem Fall über 100%. Teilweise Sanierungen erscheinen aus energetischer Sicht nur eingeschränkt sinnvoll, wobei potenzielle Zusatznutzen, beispielsweise Komfort- oder Werterhaltungsaspekte, in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Die Beurteilung kann sich zugunsten der Teilsanierung verschieben, wenn ohnehin Unterhaltsarbeiten an der Gebäudehülle erforderlich sind

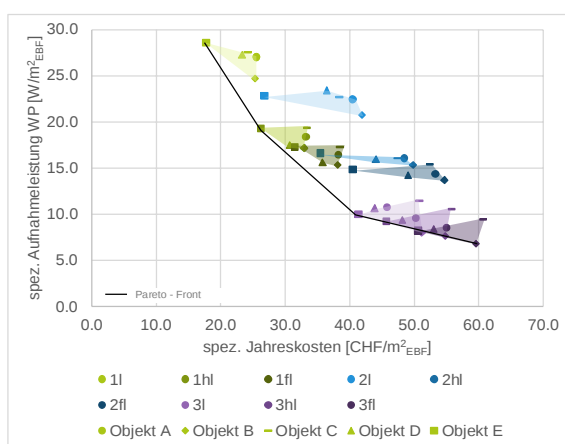


Abbildung 1: Übersicht spez. Aufnahmeleistung Luft/Wasser Wärmepumpe vs. spez. Jahreskosten.

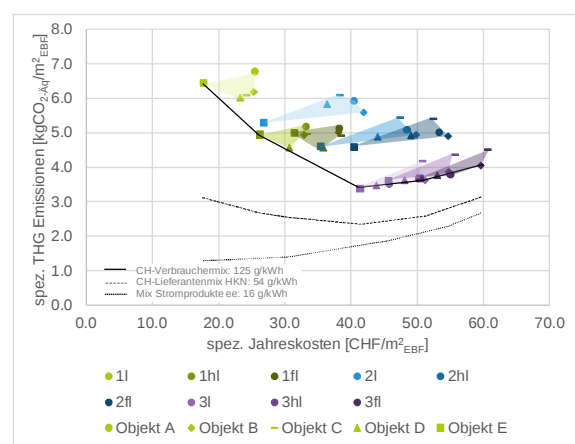


Abbildung 2: Übersicht spez. THG-Emissionen vs. spez. Jahreskosten für Gebäude mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

Besonders hervorzuheben ist, dass die grösste Sensitivität in den Ergebnissen durch die zugrunde gelegte CO₂-Intensität des verwendeten Stromproduktes verursacht wird. Andere Einflussgrössen wie Energiepreise oder Investitionskosten für Gebäudehülle und Wärmeabgabesysteme verschieben die



Pareto-Front zwar, führen jedoch im Unterschied zum Stromprodukt nicht zu substantziellen Veränderungen. Die Wahl des Stromprodukts beeinflusst die Treibhausgasemissionen eines Gebäudes mitunter so stark, als dass sich eine zusätzliche vollständige Sanierung der Gebäudehülle negativ auf die Gesamtemissionen auswirkt. Entsprechend hat die Wahl des Stromproduktes einen weitreichenderen Einfluss auf die THG-Emissionen als die baulichen Massnahmen in den unterschiedlichen Varianten. Vor diesem Hintergrund erscheint die Bereitstellung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen (Sonne, Wind, Wasser) mit geringer CO₂-Intensität nicht nur ökologisch vorteilhaft, sondern in vielen Fällen auch ökonomisch tragfähig. Im Gegensatz dazu lässt sich die energetische Sanierung der Gebäudehülle in einer rein ökonomischen Betrachtung oftmals nur schwer rechtfertigen, zumal die vorliegende Studie auch Hinweise dazu liefert, dass die in Tools wie GEAK und INSPIRE angenommenen Investitionskosten für eine energetische Sanierung der Gebäudehülle die realen Kosten massiv unterschätzen.

Arbeitspaket 2

Im Rahmen des zweiten Arbeitspakets wurden die im ersten Arbeitspaket entwickelten Sanierungsvarianten in vereinfachter Form auf den gesamten schweizerischen Wohngebäudepark übertragen. Zu diesem Zweck erfolgte eine Clustereinteilung des Wohngebäudeparks nach Bauperiode, auf welche verschiedene Sanierungsvarianten in Anlehnung an Arbeitspaket 1 angewandt wurden. Darauf aufbauend wurde der Endenergiebedarf, die THG-Emissionen für Erstellung und Betrieb sowie die maximale elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpen im Auslegefall für verschiedene Sanierungsszenarien auf nationaler Ebene berechnet.

Im Unterschied zum ersten Arbeitspaket wurden im zweiten Arbeitspaket ausschliesslich die im Arbeitspaket 1 ermittelten Sanierungsvarianten, welche die Pareto-Front bilden und somit für die jeweils erzielte Einsparung am kosteneffizientesten sind, untersucht. Die untersuchten Szenarien umfassen den Ist-Zustand (Variante 0), unsanierte Gebäude mit neuer eingebauter Wärmepumpe (1wp), Gebäude mit neu eingebauter Wärmepumpe und Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem (1nwp) sowie Gebäude mit umfassender energetischer Sanierung und neu eingebauter Wärmepumpe ohne Ersatz des Wärmeabgabesystems (3wp). Eine Differenzierung zwischen Niedertemperatur-Heizkörpern und Flächenheizsystemen sowie zwischen unterschiedlichen Wärmepumpentechnologien (z. B. Luft/Wasser vs. Sole/Wasser) wurde in diesem Arbeitspaket nicht vorgenommen. Auf die Berücksichtigung von Teilsanierungen der Gebäudehülle wurde verzichtet, da diese Massnahmen in den vorliegenden Analysen als nicht kosteneffizient bewertet wurden. Dies gilt ebenfalls für den Einbau von Niedertemperatur-Wärmeabgabesysteme in vollständig sanierten Gebäuden.

Die Wahl des neuen Wärmeerzeugers erfolgte auf Basis eines Entscheidungsbaumes, welcher unter Einbezug der bestehenden Gebäudedaten zum heute eingesetzten Wärmeerzeuger (z. B. Öl, Elektrizität, Holz, Fernwärme, Wärmepumpen) und der potenziell künftig verfügbaren erneuerbaren Systeme (Fernwärme, Wärmepumpen oder unverändert bei Holz & Elektrizität) getroffen wurde. Die Zuweisung der Wärmepumpentechnologie erfolgte vereinfacht anhand des erforderlichen Heizleistungsbedarfs: Bei einem Bedarf von über 40 kW wurde der Einsatz von Sole/Wasser-Wärmepumpen angenommen, darunter Luft/Wasser-Wärmepumpen. Für die Vorlauftemperatur im Auslegepunkt der Variante 0 wurde angenommen, dass diese 55°C (Szenario tief) bzw. 60°C (Szenario hoch) beträgt und diese in Abhängigkeit der Bauperiode bis 2024 auf 40°C bzw. 45°C abnimmt. Die Sanierungsmassnahmen der Varianten wurden, mit Ausnahme des Ersatzes des Wärmeabgabesystems, nur auf Objekte in einer Bauperiode mit einer Vorlauftemperatur >50°C angewandt.

Wie beim Arbeitspaket 1 stellt der Ersatz des fossilen Wärmeerzeugers in Bezug auf die THG-Emissionen die kosteneffizienteste Lösung dar. Durch diese Massnahme lassen sich die THG-Emissionen für den betrachteten Wohngebäudepark um bis zu 80 % reduzieren. Durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems kann der elektrische Leistungsbedarf der Wärmepumpen um 14-21% reduziert werden, dies bei Mehrkosten zu einem reinen Ersatz des Wärmeerzeugers von 15- 25% (1wp hoch/tief zu



1nwp hoch/tief). Eine vollständige energetische Sanierung der Gebäudehülle, ohne Ersatz des Wärmeabgabesystems, führt zu einer Reduktion von 34-44% bei Mehrkosten von 60-90% (1wp hoch/tief zu 3wp hoch/tief) (Abbildung 3).

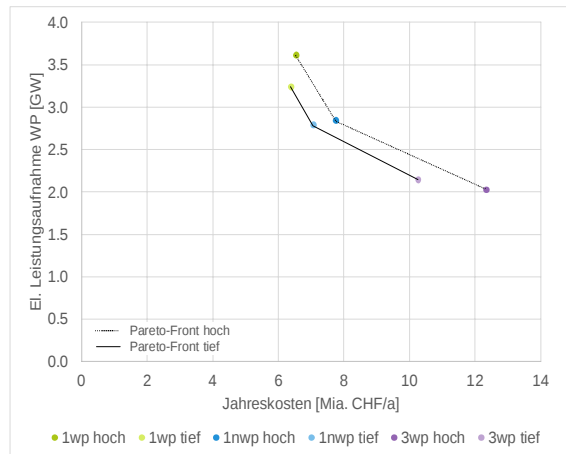


Abbildung 3: Übersicht el. Leistungsaufnahme WP vs. Jahreskosten des Schweizer Wohngebäudeparks in Abhängigkeit der Sanierungsvariante.

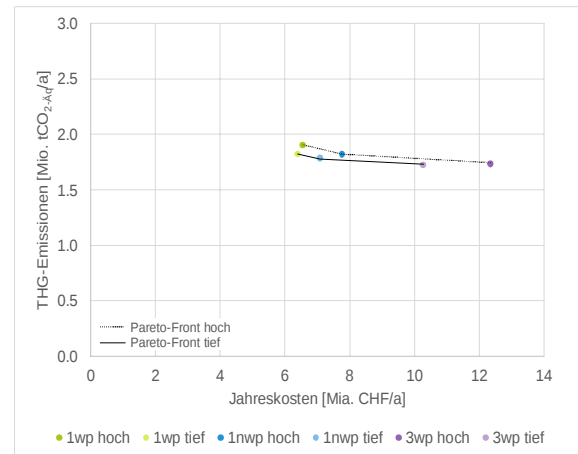


Abbildung 4: Übersicht THG-Emissionen vs. Jahreskosten des Schweizer Wohngebäudeparks in Abhängigkeit der Sanierungsvariante.

Der Einfluss des Stromproduktes auf die THG-Emissionen ist wiederum vergleichbar mit den Ergebnissen aus Arbeitspaket 1.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse aus Arbeitspaket 2 in ihrer Tendenz mit jenen aus Arbeitspaket 1 übereinstimmen. Das relative Massnahmenpotenzial der Sanierungsvarianten ist bei der gesamtheitlichen Betrachtung des Schweizer Wohngebäudebestands jedoch geringer. Dies ist dadurch begründet, als dass in den Einzelobjekten aus dem Arbeitspaket 1 durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems eine Reduktion der Vorlauftemperatur um 25-30K erreicht werden konnte. Über den gesamten Schweizer Wohngebäudepark liegt die erzielbare Temperaturreduktion im Mittel tiefer, da im Datensatz auch Objekte vorhanden sind, die heute bereits über eine tiefere Vorlauftemperatur verfügen wodurch nur eine geringere Absenkung der Vorlauftemperatur möglich ist.

Dennoch zeigen die Resultate, dass der Ersatz von Hochtemperatur-Wärmeabgabesystemen durch Systeme mit niedriger Vorlauftemperatur insbesondere in Bezug auf die Reduktion des elektrischen Energie- und Leistungsbedarfs im Winter, also in Zeiten geringer Stromverfügbarkeit und hoher CO₂-Intensität des Stroms, einen relevanten Beitrag leisten kann. Dies ist ein Thema von nationalem Interesse. Entsprechend sollte der Ersatz der Wärmeabgabesystems mehr in den Fokus der Energie- und Förderlandschaft gerückt werden. In Bezug auf die THG-Emissionen hat die Wahl des Stromproduktes die weitreichendere Auswirkung als die baulichen Massnahmen der unterschiedlichen Varianten.



Arbeitspaket 3

Im Arbeitspaket 3 wurden zentrale Hemmnisse für die breite Anwendung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen in bestehenden Gebäuden analysiert und erste Lösungsansätze erarbeitet. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass es keine Einzelmassnahme gibt, die alle Herausforderungen gleichzeitig lösen kann. Vielmehr sind technische, ökonomische, koordinative, regulatorische, soziale und informative Hürden zu überwinden.

Technisch bedingt erfordern Niedertemperatur-Wärmeabgabesysteme manchmal grössere Heizflächen und eine Anpassung der Heizverteilung, was baulichen Aufwand und Platzverlust bedeuten kann. Gleichzeitig wurde in Experteninterviews betont, dass viele Bestandsgebäude überdimensionierte Systeme besitzen, bei denen ein kompletter Austausch nicht notwendig ist. Neue technische Lösungen, wie Heizkörper mit erzwungener Konvektion, oder optimierte Kompaktbauformen, können diesen Aufwand weiter reduzieren.

Ökonomisch stellen vor allem hohe Investitionskosten sowie unklare Zuständigkeiten bei der Kostenübernahme zwischen Vermieter:innen und Mieter:innen zentrale Hürden dar. Förderprogramme, Contracting-Modelle oder gezielte Unterstützung bei Gebäudetypen mit hohem Einsparpotenzial können hier gezielt ansetzen. Wichtig ist zudem die Differenzierung bei der Förderwürdigkeit, etwa zugunsten unsanierter Gebäude mit begrenzten Sanierungsmöglichkeiten.

Koordinativ erschweren Fachkräftemangel, schlecht definierte Schnittstellen und komplexe Abläufe zwischen den beteiligten Gewerken die Umsetzung. Integrierte Planungsansätze, digitale Hilfsmittel sowie standardisierte Abläufe können die Effizienz und Qualität der Projektabwicklung deutlich verbessern.

Auch regulatorische Rahmenbedingungen wirken oft hemmend. Denkmalpflegevorgaben, Mieterschutzaufgaben und unklare Zuständigkeiten verlängern Prozesse oder machen sie aufwendig. Vereinfachte Verfahren, etwa für kleine bauliche Eingriffe wie Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen, sowie die Integration entsprechender Anforderungen in kantonale und bundesweite Gesetzen und Verordnungen könnten die Umsetzung erleichtern.

Sozial betrachtet stossen Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem auf Widerstand bei Mietenden – insbesondere wegen Lärm, Staub und Nutzungseinschränkungen während der Bauphase. Hier bieten sich modulare, rasch montierbare Systeme an, die im bewohnten Zustand umgesetzt werden können. Auch der Umbau bei Mieterwechseln oder während ohnehin geplanter Renovierungen kann helfen, Belastungen zu minimieren.

Ein zentrales informatives Hemmnis liegt im geringen Wissensstand über Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem, sowohl bei Fachleuten als auch bei Nutzenden. Eine verstärkte Informationsvermittlung, praxisnahe Studien, Weiterbildungen sowie die Integration des Themas in Planungstools und Ausbildungen sind entscheidend, um die Akzeptanz und Nachfrage langfristig zu erhöhen.

Insgesamt zeigt sich: Die Umsetzung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem muss sorgfältig geplant, zielgerichtet gefördert und gut kommuniziert werden. Eine breitere Bekanntmachung der Studienergebnisse und die Einbindung relevanter Akteure aus Planung, Handwerk, Verwaltung und Bildung sind daher zentrale nächste Schritte.



Résumé

La stratégie climatique adoptée par le Conseil fédéral vise à ce que le parc immobilier suisse ne génère plus aucune émission directe de gaz à effet de serre d'ici 2050. Pour atteindre cet objectif, les instruments nationaux de promotion se concentrent actuellement sur les mesures de rénovation énergétique de l'enveloppe des bâtiments et le remplacement des générateurs de chaleur fossiles par des systèmes utilisant des énergies renouvelables, tels que les pompes à chaleur. Cette évolution entraîne une augmentation de la demande en électricité, en particulier pendant les six mois d'hiver, c'est-à-dire lorsque l'énergie disponible est faible et que son intensité en CO₂ est élevée. Les mesures d'amélioration de l'efficacité visant à réduire la consommation d'électricité pendant cette période contribuent donc de manière significative à réduire la charge sur le réseau.

La rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment permet non seulement de réduire considérablement les besoins en chauffage, mais aussi d'abaisser la température de départ requise. Cette dernière a un effet positif sur l'efficacité globale du système, en particulier dans le cas des pompes à chaleur. Dans la pratique, cependant, la rénovation complète de l'enveloppe du bâtiment, en particulier de la façade, représente souvent un défi architectural, technique et financier pour les propriétaires. Les bâtiments anciens, généralement équipés de systèmes de diffusion de chaleur sous forme de radiateurs à haute température (> 50 °C), sont particulièrement concernés. Selon l'équipe d'auteurs, une grande partie des façades reste donc non isolée à ce jour.

L'hypothèse de cette étude part du principe que le remplacement des systèmes de dissipation thermique à haute température existants par des systèmes à basse température (< 40 °C) peut entraîner une augmentation significative de l'efficacité des pompes à chaleur. L'objectif de l'étude est d'analyser le potentiel technique et énergétique de cette mesure et de la comparer, en termes d'efficacité, à une rénovation conventionnelle de l'enveloppe du bâtiment. L'analyse est réalisée d'une part sur la base de cinq bâtiments réels (lot de travail 1) et d'autre part au moyen d'une modélisation transposable au parc immobilier suisse (lot de travail 2). Dans une étape complémentaire (lot de travail 3), les obstacles existants doivent être identifiés et des approches appropriées pour promouvoir la mesure doivent être développées.

Lot de travail 1

Dans le cadre du lot de travaux 1, différentes variantes de rénovation ont été conçues pour cinq bâtiments réels. Elles se distinguent par l'enveloppe du bâtiment, le système de dissipation thermique et la production de chaleur. Selon la variante, l'enveloppe du bâtiment reste inchangée ou est partiellement ou entièrement rénovée. La rénovation partielle est réalisée conformément aux exigences de la certification des composants individuels ou entièrement selon la certification du système conformément à la norme SIA 380/1. Le système de diffusion de chaleur est soit conservé, soit remplacé par un système de radiateurs à basse température (température de départ 40 °C) ou un système de chauffage par surface (température de départ 35 °C). En ce qui concerne la production de chaleur, les pompes à chaleur air/eau et sol/eau sont prises en compte comme options possibles.

Pour chacune de ces variantes, la demande énergétique finale et le coefficient de performance annuel des pompes à chaleur sont calculés à l'aide de simulations annuelles dynamiques. Dans une étape supplémentaire, les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont évaluées, tant pour la mise en place que pour le fonctionnement des mesures respectives. Enfin, les coûts annuels de mise en place, de fonctionnement et d'entretien des différentes variantes sont déterminés et comparés à la consommation d'énergie finale et aux émissions de GES.

L'analyse montre que la plus forte réduction des émissions de GES, de l'ordre de 85 à 90 %, est obtenue en remplaçant les systèmes de production de chaleur fossiles par des pompes à chaleur. Cette mesure représente également l'option la plus rentable en termes d'économies d'énergie finale (environ 60 %).



Les analyses de Pareto des figures 1 et 2 illustrent les meilleurs compromis possibles entre les émissions spécifiques minimales de GES ou la puissance électrique spécifique minimale de la pompe à chaleur au point de conception et les coûts annuels spécifiques, à l'exemple des systèmes de pompes à chaleur air/eau. Les variantes situées au-dessus du front de Pareto ne sont efficaces ni sur le plan énergétique ni sur le plan économique. La représentation permet une classification différenciée des options de rénovation examinées (variante 1 = aucune rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment, variante 2 = rénovation partielle de l'enveloppe du bâtiment, variante 3 = rénovation complète de l'enveloppe du bâtiment), des systèmes de dissipation de chaleur (h = radiateurs à basse température, f = chauffage par surface) et des systèmes de production de chaleur (l = pompe à chaleur air/eau).

Les résultats montrent que pour les cinq bâtiments considérés, le remplacement du système de production de chaleur, en particulier dans les bâtiments non rénovés avec un système de distribution de chaleur existant (1l), en combinaison avec un nouveau système de distribution de chaleur à basse température (1hl), ou dans le cas de bâtiments entièrement rénovés avec un système de distribution de chaleur existant (3l). Le remplacement du système de distribution de chaleur permet de réduire la consommation électrique de la pompe à chaleur d'environ 30 % (1l à 1h/fl). Les coûts supplémentaires liés au simple remplacement du générateur de chaleur s'élèvent à environ 40 %. L'isolation complète de l'enveloppe du bâtiment, sans remplacement du système de dissipation thermique, permet de réduire la consommation électrique de 60 % (1l à 3l). Dans ce cas, les coûts supplémentaires s'élèvent à plus de 100 %. D'un point de vue énergétique, les rénovations partielles ne semblent judicieuses que dans une mesure limitée, les avantages supplémentaires potentiels, tels que le confort ou la préservation de la valeur, n'ayant pas été pris en compte dans la présente étude. L'évaluation peut pencher en faveur d'une rénovation partielle si des travaux d'entretien sont de toute façon nécessaires sur l'enveloppe du bâtiment.

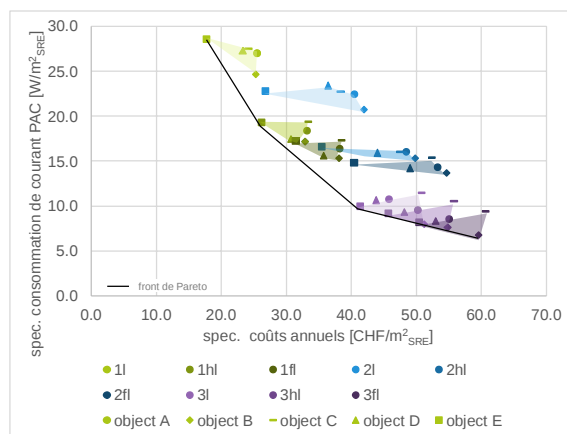


Figure 1 : Aperçu de la puissance absorbée spécifique de la pompe à chaleur air/eau par rapport aux coûts annuels spécifiques.

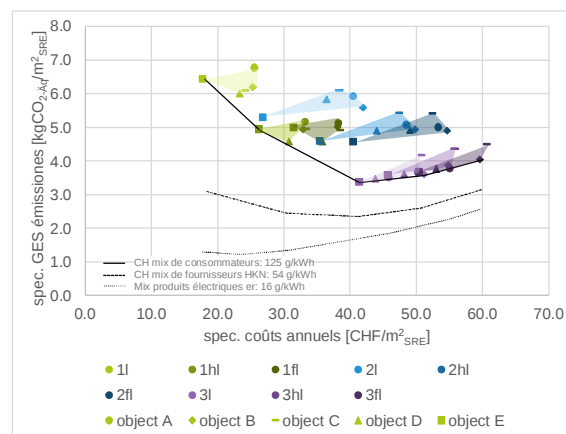


Figure 2 : Aperçu des émissions spécifiques de GES par rapport aux coûts annuels spécifiques pour les bâtiments équipés d'une pompe à chaleur air/eau.

Il convient de souligner que la plus grande sensibilité des résultats est due à l'intensité en CO₂ du produit électrique utilisé. D'autres facteurs tels que les prix de l'énergie ou les coûts d'investissement pour l'enveloppe du bâtiment et les systèmes de chauffage modifient certes le front de Pareto, mais n'entraînent pas de changements substantiels, contrairement au produit électrique. Le choix du produit électrique influence parfois tellement les émissions de gaz à effet de serre d'un bâtiment qu'une rénovation complète supplémentaire de l'enveloppe du bâtiment a un impact négatif sur les émissions totales. Par conséquent, le choix du produit électrique a une influence plus importante sur les émissions de GES que les mesures de construction dans les différentes variantes.



Dans ce contexte, la fourniture d'énergie électrique provenant de sources renouvelables (soleil, vent, eau) à faible intensité de CO₂ semble non seulement avantageuse sur le plan écologique, mais aussi économiquement viable dans de nombreux cas. En revanche, d'un point de vue purement économique, la rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment est souvent difficile à justifier, d'autant plus que la présente étude fournit également des indications selon lesquelles les coûts d'investissement supposés dans des outils tels que GEAK et INSPIRE pour une rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment sous-estiment massivement les coûts réels.

Lot de travail 2

Dans le cadre du deuxième lot de travaux, les variantes de rénovation développées dans le premier lot ont été transposées sous une forme simplifiée à l'ensemble du parc immobilier résidentiel suisse. À cette fin, le parc immobilier résidentiel a été divisé en clusters selon la période de construction, auxquels différentes variantes de rénovation ont été appliquées sur la base du lot de travaux 1. Sur cette base, la consommation d'énergie finale, les émissions de GES pour la construction et l'exploitation ainsi que la puissance électrique maximale absorbée par les pompes à chaleur dans le cas de conception ont été calculées au niveau national pour différents scénarios de rénovation.

Contrairement au premier lot de travaux, le deuxième lot de travaux a exclusivement porté sur les variantes de rénovation déterminées dans le lot de travaux 1, qui forment le front de Pareto et sont donc les plus rentables en termes d'économies réalisées. Les scénarios examinés comprennent l'état actuel (variante 0), les bâtiments non rénovés avec une nouvelle pompe à chaleur installée (1wp), les bâtiments avec une nouvelle pompe à chaleur installée et un système de distribution de chaleur à basse température (1nwp) ainsi que les bâtiments ayant fait l'objet d'une rénovation énergétique complète et équipés d'une nouvelle pompe à chaleur sans remplacement du système de distribution de chaleur (3wp). Dans ce lot de travaux, aucune distinction n'a été faite entre les radiateurs à basse température et les systèmes de chauffage par surface, ni entre les différentes technologies de pompes à chaleur (par exemple air/eau vs saumure/eau). Les rénovations partielles de l'enveloppe du bâtiment n'ont pas été prises en compte, car ces mesures ont été jugées non rentables dans les analyses disponibles. Il en va de même pour l'installation de systèmes de distribution de chaleur à basse température dans des bâtiments entièrement rénovés.

Le choix du nouveau générateur de chaleur a été effectué sur la base d'un arbre de décision qui a pris en compte les données existantes du bâtiment concernant le générateur de chaleur actuellement utilisé (par exemple, fioul, électricité, bois, chauffage urbain, pompes à chaleur) et les systèmes renouvelables potentiellement disponibles à l'avenir (chauffage urbain, pompes à chaleur ou, sans changement, bois et électricité). L'attribution de la technologie des pompes à chaleur a été simplifiée en fonction des besoins en puissance de chauffage : pour des besoins supérieurs à 40 kW, l'utilisation de pompes à chaleur sol/eau a été envisagée, et pour des besoins inférieurs, celle de pompes à chaleur air/eau. Pour la température de départ au point de conception de la variante 0, on a supposé qu'elle était de 55 °C (scénario bas) ou 60 °C (scénario haut) et qu'elle diminuerait à 40 °C ou 45 °C en fonction de la période de construction jusqu'en 2024. À l'exception du remplacement du système de distribution de chaleur, les mesures de rénovation des variantes n'ont été appliquées qu'aux bâtiments dont la température de départ est supérieure à 50 °C pendant la période de construction.

Comme pour le lot de travaux 1, le remplacement du générateur de chaleur fossile représente la solution la plus rentable en termes d'émissions de GES. Cette mesure permet de réduire les émissions de GES du parc immobilier résidentiel considéré jusqu'à 80 %. Le remplacement du système de distribution de chaleur permet de réduire la consommation électrique des pompes à chaleur de 14 à 21 %, moyennant un surcoût de 15 à 25 % par rapport au simple remplacement du générateur de chaleur (1wp haut/bas par rapport à 1nwp haut/bas). Une rénovation énergétique complète de l'enveloppe du bâtiment, sans remplacement du système de distribution de chaleur, permet une réduction de 34 à 44 % pour un surcoût de 60 à 90 % (1wp haut/bas à 3wp haut/bas) (Figure 3).

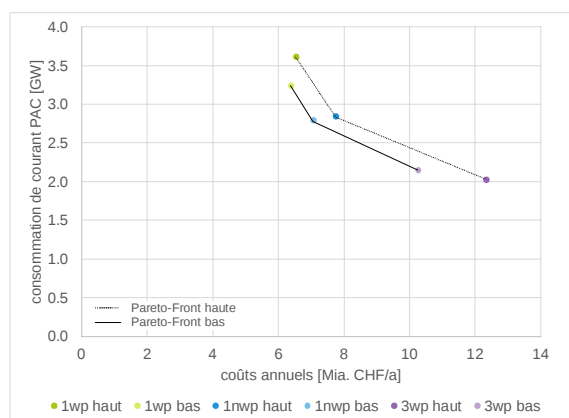


Figure 3 : Aperçu de la consommation électrique des pompes à chaleur par rapport aux coûts annuels du parc immobilier résidentiel suisse en fonction de la variante de rénovation.

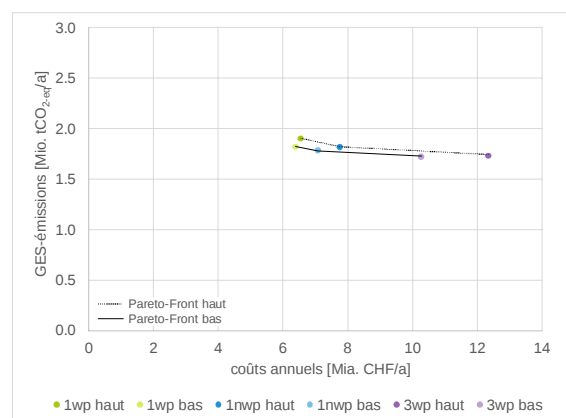


Figure 4 : Aperçu des émissions de GES par rapport aux coûts annuels du parc immobilier résidentiel suisse en fonction de la variante de rénovation.

L'influence du produit électrique sur les émissions de GES est quant à elle comparable aux résultats du lot de travail 1.

En résumé, on peut constater que les résultats du lot de travail 2 concordent globalement avec ceux du lot de travail 1. Le potentiel relatif des mesures de rénovation est toutefois moindre si l'on considère l'ensemble du parc immobilier résidentiel suisse. Cela s'explique par le fait que, dans les bâtiments individuels du lot de travaux 1, le remplacement du système de distribution de chaleur a permis de réduire la température de départ de 25 à 30 K. Sur l'ensemble du parc immobilier résidentiel suisse, la réduction de température réalisable est en moyenne plus faible, car l'ensemble de données comprend également des bâtiments qui disposent déjà aujourd'hui d'une température de départ plus basse, ce qui ne permet qu'une réduction moindre de la température de départ.

Néanmoins, les résultats montrent que le remplacement des systèmes de diffusion de chaleur à haute température par des systèmes à basse température de départ peut apporter une contribution significative, notamment en termes de réduction de la consommation d'énergie électrique et de la puissance requise en hiver, c'est-à-dire pendant les périodes de faible disponibilité d'électricité et de forte intensité en CO₂ de l'électricité. Il s'agit là d'un sujet d'intérêt national. En conséquence, le remplacement des systèmes de dissipation thermique devrait faire l'objet d'une attention accrue dans le domaine de l'énergie et des subventions. En ce qui concerne les émissions de GES, le choix du produit électrique a un impact plus important que les mesures de construction des différentes variantes.

Lot de travail 3

Le lot de travail 3 a analysé les principaux obstacles à la généralisation des systèmes de distribution de chaleur à basse température dans les bâtiments existants et a élaboré des premières pistes de solution. Les résultats montrent clairement qu'il n'existe pas de mesure unique capable de résoudre tous les défis à la fois. Il s'agit plutôt de surmonter des obstacles techniques, économiques, de coordination, réglementaires, sociaux et informationnels.

Pour des raisons techniques, les systèmes de diffusion de chaleur à basse température nécessitent parfois des surfaces de chauffage plus importantes et une adaptation de la distribution de la chaleur, ce qui peut entraîner des travaux de construction et une perte d'espace. Dans le même temps, les experts interrogés ont souligné que de nombreux bâtiments existants sont équipés de systèmes surdimensionnés qui ne nécessitent pas d'être entièrement remplacés. De nouvelles solutions techniques, telles que les radiateurs à convection forcée ou les modèles compacts optimisés, peuvent réduire encore davantage ces coûts.



Sur le plan économique, les coûts d'investissement élevés et le manque de clarté quant à la répartition des coûts entre les propriétaires et les locataires constituent les principaux obstacles. Des programmes de subvention, des modèles de contrats ou un soutien ciblé pour les types de bâtiments présentant un potentiel d'économies élevé peuvent être mis en place à cet effet. Il est également important de différencier l'éligibilité aux subventions, par exemple en faveur des bâtiments non rénovés dont les possibilités de rénovation sont limitées.

Sur le plan de la coordination, la pénurie de main-d'œuvre qualifiée, les interfaces mal définies et la complexité des processus entre les différents corps de métier impliqués compliquent la mise en œuvre. Des approches de planification intégrées, des outils numériques et des processus standardisés peuvent améliorer considérablement l'efficacité et la qualité de la gestion des projets.

Le cadre réglementaire a également souvent un effet inhibiteur. Les prescriptions en matière de conservation des monuments historiques, les obligations de protection des locataires et le manque de clarté des responsabilités allongent les processus ou les rendent coûteux. Des procédures simplifiées, par exemple pour les petites interventions architecturales telles que les systèmes de chauffage à basse température, ainsi que l'intégration des exigences correspondantes dans les lois et ordonnances cantonales et fédérales pourraient faciliter la mise en œuvre.

Sur le plan social, les systèmes de chauffage à basse température se heurtent à la résistance des locataires, notamment en raison du bruit, de la poussière et des restrictions d'utilisation pendant la phase de construction. Des systèmes modulaires, rapides à installer et pouvant être mis en place sans évacuer les lieux, constituent ici une solution. La transformation lors d'un changement de locataire ou pendant des rénovations déjà prévues peut également contribuer à minimiser les nuisances.

Un obstacle majeur à l'information réside dans le faible niveau de connaissances sur les systèmes de chauffage à basse température, tant chez les spécialistes que chez les utilisateurs. Une meilleure diffusion de l'information, des études pratiques, des formations continues et l'intégration du sujet dans les outils de planification et les formations sont essentiels pour accroître l'acceptation et la demande à long terme.

Dans l'ensemble, il apparaît que la mise en œuvre des systèmes de chauffage à basse température doit être soigneusement planifiée, encouragée de manière ciblée et bien communiquée. La diffusion plus large des résultats de l'étude et l'implication des acteurs concernés dans les domaines de la planification, de l'artisanat, de l'administration et de l'éducation constituent donc les prochaines étapes essentielles.



Summary

The climate strategy adopted by the Federal Council aims to ensure that Swiss buildings no longer cause any direct greenhouse gas emissions by 2050. To achieve this goal, national funding instruments are currently focusing in particular on energy-efficient renovation measures for building envelopes and the replacement of fossil fuel heat generators with systems using renewable energy sources, such as heat pumps. This development is leading to an increase in electricity demand, particularly in the winter months, when little energy is available and its CO₂ intensity is high. Efficiency-enhancing measures to reduce electricity consumption during this period therefore make a significant contribution to reducing the load on the grid.

Energy-efficient renovation of the building envelope not only enables a significant reduction in heating requirements, but also a reduction in the required flow temperature. The latter has a particularly positive effect on the efficiency of the overall system in the case of heat pumps. In practice, however, comprehensive renovation of the building envelope, especially the façade, often presents a design, technical and financial challenge for owners. This is particularly true for older buildings, which are usually equipped with heat emission systems in the form of radiators with high design temperatures (> 50 °C). According to the authors' assessment, a large proportion of façades therefore remain uninsulated to this day.

The hypothesis of this study is that replacing existing high-temperature heat emission systems with low-temperature systems (< 40 °C) can lead to a significant increase in the efficiency of heat pump systems. The aim of the study is to analyse the technical and energy potential of this measure and to compare its effectiveness with conventional renovation of the building envelope. The analysis is based on five real buildings (work package 1) and on transferable modelling of the Swiss building stock (work package 2). In a supplementary investigation step (work package 3), existing obstacles will be identified and suitable approaches for promoting the measure will be developed.

Work package 1

As part of work package 1, various renovation options were designed for five real buildings, differing in terms of the building envelope, the heat emission system and the heat generation system. Depending on the option, the building envelope either remains unchanged or is partially or completely renovated. Partial renovation is carried out in accordance with the requirements of the individual component verification or completely in accordance with the system verification in accordance with SIA 380/1. The heat emission system is either retained or replaced by a low-temperature radiator system (flow temperature 40°C) or a surface heating system (flow temperature 35°C). With regard to heat generation, both air/water and brine/water heat pumps are considered as possible options.

For each of these variants, dynamic annual simulations are used to calculate the final energy demand and the annual performance factor of the heat pumps. In a further step, greenhouse gas emissions (GHG emissions) are evaluated for both the construction and operation of the respective measures. Finally, the annual costs for construction, operation and maintenance of the individual variants are determined and compared with the final energy demand and GHG emissions.

The analysis shows that the greatest reduction in GHG emissions, in the range of around 85–90%, is achieved by replacing fossil fuel heating systems with heat pumps. This measure is also the most cost-effective option in terms of final energy savings (around 60%).

The Pareto analyses in Figures 1 and 2 illustrate the best possible compromises between minimum specific GHG emissions and minimum specific electrical power consumption of the heat pump at the design point and the specific annual costs using the example of air/water heat pump systems. Variants above the Pareto front are neither energy-efficient nor economically efficient. The diagram allows for a differentiated classification of the renovation options examined (variant 1 = no energy-efficient renova-



tion of the building envelope, variant 2 = partial renovation of the building envelope, variant 3 = complete renovation of the building envelope), the heat emission systems (h = low-temperature radiators, f = surface heating) and the heat generation systems (l = air/water heat pump).

The results show that for the five properties considered, replacing the heat generation system, especially in unrenovated buildings with an existing heat emission system (1l), in combination with a new low-temperature heat emission system (1hl), or in completely renovated buildings with existing heat emission systems (3l). This can be reduced by around 30% by replacing the heat emission system (1l to 1h/fl). The additional costs for replacing the heat generator alone amount to around 40%. By completely insulating the building envelope without replacing the heat emission system, it is possible to reduce the electrical power consumption by 60% (1l to 3l). In this case, the additional costs amount to over 100%. From an energy perspective, partial renovations appear to be of limited benefit, although potential additional benefits, such as comfort or value retention aspects, were not taken into account in this study. The assessment may shift in favour of partial renovation if maintenance work on the building envelope is required anyway.

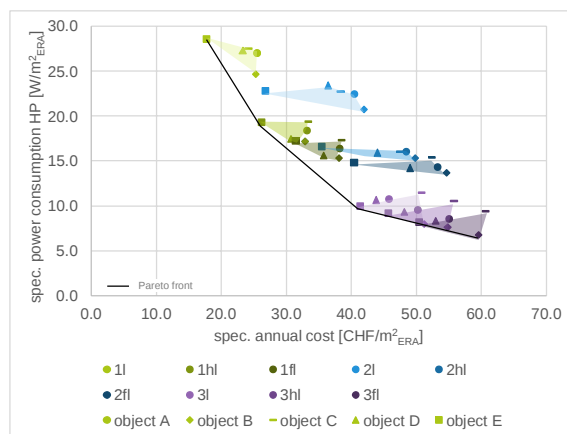


Figure 1: Overview of specific power consumption of air/water heat pumps vs. specific annual costs.

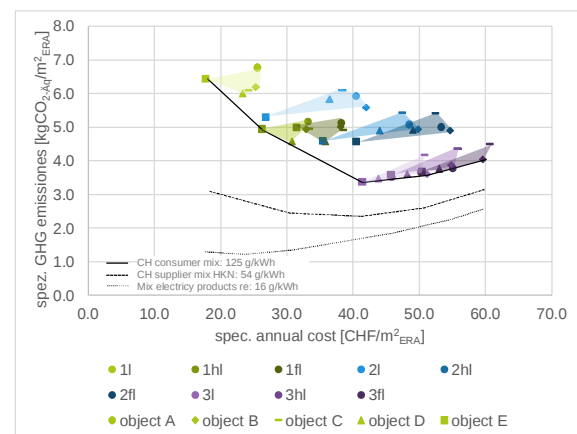


Figure 2: Overview of specific GHG emissions vs. specific annual costs for buildings with air/water heat pumps.

It should be emphasised that the greatest sensitivity in the results is caused by the underlying CO₂ intensity of the electricity product used. Other influencing factors such as energy prices or investment costs for building envelopes and heat emission systems shift the Pareto front, but unlike the electricity product, they do not lead to substantial changes. The choice of electricity product sometimes influences the greenhouse gas emissions of a building to such an extent that an additional complete renovation of the building envelope has a negative impact on overall emissions. Accordingly, the choice of electricity product has a more far-reaching influence on GHG emissions than the construction measures in the different variants.

Against this background, the provision of electrical energy from renewable sources (sun, wind, water) with low CO₂ intensity appears not only ecologically advantageous, but in many cases also economically viable. In contrast, the energy-efficient renovation of the building envelope is often difficult to justify from a purely economic point of view, especially since the present study also provides evidence that the investment costs assumed in tools such as GEAK and INSPIRE for energy-efficient renovation of the building envelope massively underestimate the real costs.



Work package 2

As part of the second work package, the renovation options developed in the first work package were applied in simplified form to the entire Swiss residential building stock. For this purpose, the residential building stock was divided into clusters according to construction period, to which various renovation options were applied based on work package 1. Based on this, the final energy demand, GHG emissions for construction and operation, and the maximum electrical power consumption of the heat pumps in the design case were calculated for various renovation scenarios at the national level.

In contrast to the first work package, the second work package exclusively examined the renovation options identified in work package 1 that form the Pareto front and are therefore the most cost-effective in terms of the savings achieved in each case. The scenarios examined include the current situation (variant 0), unrenovated buildings with a newly installed heat pump (1wp), buildings with a newly installed heat pump and low-temperature heat emission system (1nwp), and buildings with comprehensive energy renovation and a newly installed heat pump without replacement of the heat emission system (3wp). No distinction was made in this work package between low-temperature radiators and surface heating systems or between different heat pump technologies (e.g. air/water vs. brine/water). Partial renovations of the building envelope were not taken into account, as these measures were not considered cost-effective in the present analyses. This also applies to the installation of low-temperature heat emission systems in completely renovated buildings.

The choice of the new heat generator was made on the basis of a decision tree, which took into account the existing building data on the heat generator currently in use (e.g. oil, electricity, wood, district heating, heat pumps) and the renewable systems potentially available in the future (district heating, heat pumps or unchanged for wood & electricity). The allocation of heat pump technology was simplified based on the required heating output: for a demand of over 40 kW, the use of brine/water heat pumps was assumed, and for less than that, air/water heat pumps. For the flow temperature at the design point of variant 0, it was assumed that this would be 55°C (low scenario) or 60°C (high scenario) and that this would decrease to 40°C or 45°C depending on the construction period until 2024. With the exception of the replacement of the heat emission system, the renovation measures of the variants were only applied to properties in a construction period with a flow temperature >50°C.

As in work package 1, replacing the fossil fuel heat generator is the most cost-effective solution in terms of GHG emissions. This measure can reduce GHG emissions for the residential building stock under consideration by up to 80%. Replacing the heat emission system can reduce the electrical power requirement of the heat pumps by 14-21%, with additional costs of 15-25% compared to simply replacing the heat generator (1wp high/low to 1nwp high/low). A complete energy-efficient renovation of the building envelope, without replacing the heat emission system, leads to a reduction of 34-44% at an additional cost of 60-90% (1wp high/low to 3wp high/low) (Figure 3).

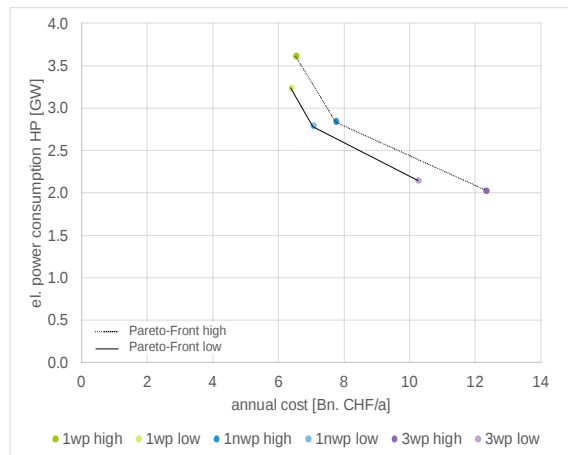


Figure 3: Overview of electrical power consumption of heat pumps vs. annual costs of Swiss residential buildings depending on the renovation option.

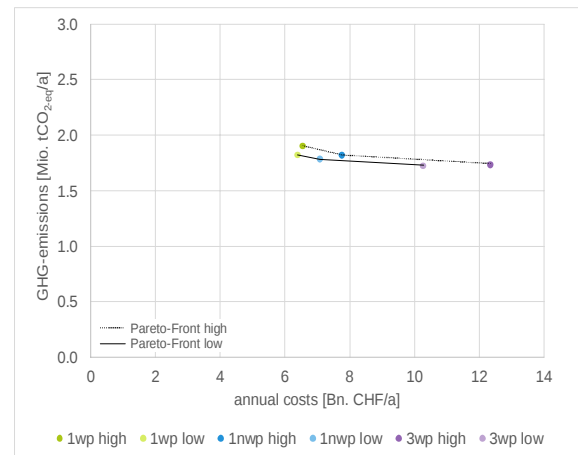


Figure 4: Overview of GHG emissions vs. annual costs of Swiss residential buildings depending on the renovation option.

The influence of electricity production on GHG emissions is again comparable to the results from work package 1.

In summary, it can be said that the results from work package 2 are consistent with those from work package 1. However, the relative potential of the renovation options is lower when considering the Swiss residential building stock as a whole. This is because the replacement of the heat emission system in the individual properties from work package 1 resulted in a reduction in the flow temperature of 25-30K. Across the entire Swiss residential building stock, the achievable temperature reduction is lower on average, as the data set also includes properties that already have a lower flow temperature, meaning that only a smaller reduction in the flow temperature is possible.

Nevertheless, the results show that replacing high-temperature heat emission systems with low flow temperature systems can make a significant contribution, particularly in terms of reducing electrical energy and power consumption in winter, i.e. at times of low electricity availability and high CO₂ intensity of electricity. This is a topic of national interest. Accordingly, the replacement of heat emission systems should be given greater focus in the energy and subsidy landscape. In terms of GHG emissions, the choice of electricity product has a more far-reaching impact than the structural measures of the different variants.

Work package 3

In work package 3, key obstacles to the widespread use of low-temperature heat emission systems in existing buildings were analysed and initial solutions developed. The results clearly show that there is no single measure that can solve all the challenges at once. Rather, technical, economic, coordinative, regulatory, social and informational hurdles must be overcome.

For technical reasons, low-temperature heat emission systems sometimes require larger heating surfaces and adjustments to the heat distribution, which can mean construction work and loss of space. At the same time, expert interviews emphasised that many existing buildings have oversized systems that do not need to be completely replaced. New technical solutions, such as radiators with forced convection or optimised compact designs, can further reduce this effort.

From an economic perspective, high investment costs and unclear responsibilities for cost absorption between landlords and tenants are the main obstacles. Subsidy programmes, contracting models or targeted support for building types with high savings potential can be used to address this issue. It is



also important to differentiate between eligibility for subsidies, for example in favour of unrenovated buildings with limited renovation options.

In terms of coordination, a shortage of skilled workers, poorly defined interfaces and complex processes between the trades involved make implementation difficult. Integrated planning approaches, digital tools and standardised processes can significantly improve the efficiency and quality of project management.

Regulatory frameworks also often have a restrictive effect. Monument preservation requirements, tenant protection regulations and unclear responsibilities prolong processes or make them costly. Simplified procedures, for example for small structural interventions such as low-temperature heat emission systems, and the integration of corresponding requirements into cantonal and federal laws and ordinances could facilitate implementation.

From a social perspective, low-temperature heat emission systems meet with resistance from tenants – particularly due to noise, dust and restrictions on use during the construction phase. Modular, quick-to-install systems that can be implemented while the building is occupied are a good solution here. Renovations when tenants change or during planned refurbishments can also help to minimise disruption.

A key barrier to uptake is the low level of knowledge about low-temperature heat emission systems, both among experts and users. Increased information dissemination, practical studies, further training and the integration of the topic into planning tools and education are crucial to increasing acceptance and demand in the long term.

Overall, it is to emphasize that the implementation of low-temperature heat emission systems must be carefully planned, purposefully promoted and well communicated. Wider dissemination of the study results and the involvement of relevant stakeholders from planning, trade, administration and education are therefore key next steps.



Take-home messages

- Im Vergleich zu energetischen Sanierungsmassnahmen an der Gebäudehülle und dem Ersatz des Wärmeabgabesystems ist der Ersatz des fossilen Heizkessels durch eine Wärmepumpe der kosteneffizienteste Ansatz zur Reduktion der THG-Emissionen. Auf Ebene des gesamten schweizerischen Gebäudeparks zeigt sich, dass die größte Reduktion der THG-Emissionen mit dem Ersatz fossiler Wärmeerzeuger durch Wärmepumpen erzielt wird (-80 %). Nachgelagerte Massnahmen führen hingegen nur zu geringen zusätzlichen Einsparungen von rund 5 % (Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem) bzw. etwa 10 % (energetische Vollsanierung). Die nachgelagerten Massnahmen gehen jedoch mit erheblichen Mehrkosten einher: Die Jahreskosten steigen dabei um 13–23 % bzw. 76–110 %, die Investitionskosten um 38–67 % bzw. 195–294 %.
- Der Ersatz eines Wärmeabgabesystems mit einer Vorlauftemperatur von über 50 °C durch ein System mit einer Vorlauftemperatur von unter 40 °C ist ein kosteneffizienter Ansatz, um die Endenergie und den elektrischen Leistungsbedarf von Wärmepumpen in unsanierten Altbauwerken zu reduzieren. Mit Blick auf den gesamten schweizerischen Wohngebäudepark reduziert der Ersatz eines bestehenden Wärmeabgabesystems durch ein Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem den Endenergiebedarf um 9-15 % pro Jahr und den elektrischen Leistungsbedarf um 14-21 %. Eine energetische Vollsanierung der Gebäudehülle bewirkt zwar höhere Einsparungen beim Endenergiebedarf (24-35 %) und beim elektrischen Leistungsbedarf (34-44 %), ist jedoch mit deutlich höheren Investitions- und Jahreskosten verbunden (siehe oben). Der Austausch des Wärmeabgabesystems stellt somit eine kosteneffizientere Massnahme dar, erreicht jedoch geringere absolute Einsparungen als eine umfassende Gebäudesanierung.
- Die Wahl des Stromprodukts hat einen grösseren Einfluss auf die anfallenden THG-Emissionen als bauliche Massnahmen zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle. Sinkt die THG-Intensität des Strommixes, können zusätzliche Massnahmen wie die Gebäudesanierung oder der Ersatz des Wärmeabgabesystems mehr graue Emissionen verursachen, als über die Lebenszeit der Gebäudeteile einspart wird. Eine Wärmepumpe ist dann ohne Gebäudesanierung oder Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem ökologisch vorteilhafter.
- Zur Erschliessung des Potenzials des Ersatzes des Wärmeabgabesystems sind auf verschiedenen Ebenen Massnahmen zum Abbau von Hemmnissen notwendig. Technische, ökonomische, regulatorische, koordinative, soziale und informative Barrieren bestehen, welche nur durch ein Bündel an Massnahmen - von neuen technischen Lösungen über gezielte Förderinstrumente bis hin zu integrierten Planungs- und Informationsstrategien - überwunden werden können. Für eine breite Anwendung sind daher sorgfältige Planung, gezielte Förderung und eine intensive Sensibilisierung relevanter Akteure entscheidend.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé.....	8
Summary	13
Take-home messages	18
Inhaltsverzeichnis	19
Abkürzungsverzeichnis	21
1 Einleitung	22
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	22
1.2 Motivation des Projektes	23
1.3 Arbeitspakete und Projektziele	23
2 Arbeitspaket 1: Fallstudien	25
2.1 Übersicht Varianten & Methode	25
2.2 Erhebung Grundlagendaten	27
2.3 Evaluation Bauteilaufbauten	27
2.4 Aufarbeitung Energieverbrauchsdaten	28
2.5 Simulation Gebäudemodell	30
2.6 Auslegung Wärmeabgabe und Wärmeerzeugung	32
2.7 Simulation Wärmeabgabe und Wärmeerzeugung	33
2.8 Berechnung Treibhausgasemissionen	34
2.9 Berechnung Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten	37
2.10 Resultate und Diskussion Arbeitspaket 1	43
3 Arbeitspaket 2: Gebäudepark Schweiz	61
3.1 Übersicht Varianten und Methode	61
3.2 Berechnung Wärmebedarf	62
3.3 Berechnung Heizleistungsbedarf	64
3.4 Definition Wärmeerzeuger	66
3.5 Berechnung Endenergiebedarf	67
3.6 Berechnung Treibhausgas-Emissionen	69
3.7 Berechnung Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten	70
3.8 Resultate und Diskussion Arbeitspaket 2	72
4 Arbeitspaket 3: Hemmnisse und Empfehlungen	80
4.1 Vorgehen und Methode	80
4.2 Hemmnisse und Lösungsansätze	81
4.3 Diskussion Arbeitspaket 3	95
5 Publikationen	96



6	Literaturverzeichnis.....	97
7	Anhang.....	100



Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
COP	Coefficient of Performance
DRY	Design Reference Year
EBF	Energiebezugsfläche
EFH	Einfamilienhaus
EWS	Erdwärmesonde
FBH	Fussbodenheizung
GEAK	Gebäudenergieausweis der Kantone
GH	Gebäudehülle
GWR	Gebäude- und Wohnungsregister
GWS	Gebäude- und Wohnungsstatistik
JAZ	Jahresarbeitszahl
MFH	Mehrfamilienhaus
NF	Nutzfläche
SP	Speicher
THG	Treibhausgase
WAG	Wärmeabgabesystem
WEZ	Wärmeerzeuger
WP	Wärmepumpe
WPSM	Wärmepumpensystemmodul
WV	Wärmeverteilung



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Der Bundesrat hat am 27. Januar 2021 die langfristige Klimastrategie verabschiedet [1]. Darin wurde definiert, dass der Gebäudepark, der im Jahr 2021 für 26% der gesamtschweizerischen Treibhausgasemissionen verantwortlich war [2], bis 2050 im Betrieb keine direkten Emissionen mehr verursacht. Dies trotz gleichzeitigem Anstieg der beheizten Wohnflächen angetrieben durch das Wachstum der Bevölkerung. Voraussetzung dafür ist, dass künftige Sanierungen wie auch Neubauten im Vergleich zu heute nochmals spürbar effizienter werden.

1.1.1 Heute stehen vor allem energetische Massnahmen zur Sanierung der Gebäudehülle sowie der Ersatz fossiler Wärmeerzeuger durch Alternativen mit einem erneuerbaren Energieträger (z.B. Wärmepumpe) im Fokus der schweizerischen Förderlandschaft. Letztgenannte Massnahme soll dazu führen, dass die Zahl der Wärmepumpen in der Schweiz von heute 0.3 Mio. bis ins Jahr 2050 auf 1.5 Mio. steigt [3]. Dies führt zu einer zunehmenden Nachfrage an Elektrizität, vor allem im Winterhalbjahr. Im Winter ist die Schweiz bereits heute auf Energieimport angewiesen. Effizienzmassnahmen zur Reduktion des Stromverbrauches im Winterhalbjahr helfen, die Nachfrage zu senken.

Eine energetische Sanierung der Gebäudehülle, hat neben einer Reduktion des Raumwärmebedarfs auch eine Absenkung der notwendigen Vorlauftemperatur zur Folge. Dies wiederum wirkt sich positiv auf die Effizienz des Wärmeerzeugers aus, insbesondere bei Wärmepumpen, welche während der Heizperiode weniger Strom benötigen. Die energetische Sanierung der Gebäudehülle, im speziellen das Dämmen der Aussenwände, stellt jedoch in vielen Fällen eine gestalterische, technische und finanzielle Herausforderung für die Eigentümerschaft dar. Gemäss der Erfahrung des Autorenteam bleiben daher viele Fassaden, trotz vorhandener Fördergelder, ungedämmt und es wird lediglich ein Ersatz der Fenster und gegebenenfalls eine Dämmung der Dachfläche bzw. Kellerdecke vorgenommen. Das energetische Sanierungspotenzial wird nicht ausgeschöpft. Häufig betrifft dies Gebäude älteren Baujahres, die über Wärmeabgabesysteme (Heizkörper) mit hohen Auslegetemperaturen ($>50^{\circ}\text{C}$) verfügen.

Mit dem Ersatz des Hochtemperatur-Wärmeabgabesystems ($>50^{\circ}\text{C}$) durch ein Niedertemperatursystem ($<40^{\circ}\text{C}$) könnte die Effizienz der Wärmepumpen deutlich gesteigert und somit die negativen Auswirkungen auf das Schweizer Stromnetz reduziert werden. Auf Grund der im Vergleich zur Dämmung der Aussenwand vermutlich deutlich geringeren Investitionskosten bei gleicher oder ähnlicher energetischer Wirkung, bietet der Ersatz des Wärmeabgabesystems möglicherweise eine Chance, Fördergelder kosteneffizienter einzusetzen und Vorgaben der Energiestrategie 2050 des Bundes schneller zu erreichen.



1.2 Motivation des Projektes

Mögliche Hindernisse für den Ersatz des Wärmeabgabesystems stellen nach aktuellen Kenntnissen vor allem die Investitionskosten, sowie die aufwändigen Bauarbeiten dar, welche meist eine Leerkündigung bei Mietobjekten bedingen. Das im vorliegenden Forschungsantrag beschriebene Projekt hat zum Ziel, das energetische Potenzial eines Ersatzes des Hochtemperatur- durch ein Niedertemperaturwärmeabgabesystems in Bezug auf die Schweiz aufzuzeigen, sowie technische und ökonomische Hemmnisse zu identifizieren. Darauf basierend werden Empfehlungen zuhanden der Produktehersteller, Installateure und der Gesetzgeber erarbeitet, mit welchen die Hemmnisse überwunden werden können.

1.3 Arbeitspakete und Projektziele

Der Inhalt der vorliegenden Studie wird in drei Arbeitspaketen mit separaten Zielformulierungen erarbeitet.

Arbeitspaket 1: Fallstudien

Im Rahmen des ersten Arbeitspaketes werden für fünf Realobjekte verschiedene Sanierungsvarianten in Bezug auf die Gebäudehülle, den Ersatz des Wärmeabgabesystems und der Wärmeerzeugung erstellt. Je nach Variante bleibt die Gebäudehülle bestehend, oder wird teilweise bzw. vollständig entsprechend den Anforderungen (Einzelbauteil. bzw. Systemnachweis) energetisch saniert. Das Wärmeabgabesystem bleibt ebenfalls bestehen, oder wird durch einen Niedertemperatur-Heizkörper bzw. ein Flächenheizsystem mit einer Vorlauftemperatur $< 40^{\circ}\text{C}$ ersetzt. In Bezug auf die Wärmeerzeugung werden die Varianten einer Luft/Wasser, oder einer Sole/Wasser Wärmepumpe betrachtet.

Für die verschiedenen Varianten wird mit Hilfe einer dynamischen Jahressimulation der Endenergiebedarf sowie die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ermittelt. In einem weiteren Schritt werden die Treibhausgasemissionen und der Anteil nichterneuerbarer Energie für die Erstellung und den Betrieb der einzelnen Massnahmen evaluiert. Abschliessend werden die Investitions- und Betriebskosten der verschiedenen Varianten berechnet.

Nach Abschluss des Arbeitspaket 1 kann eine Aussage zum Energie-, Kosten- und Ressourceneffizienzpotenzial des Ersatzes eines Hochtemperatur- durch ein Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem in Abhängigkeit des energetischen Sanierungsstandards und der Wärmepumpentechnologie in Realobjekten gemacht werden.

Arbeitspaket 2: Potenzial Gebäudepark

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes werden die Varianten aus dem Arbeitspaket 1, in vereinfachter Form, auf den gesamten Schweizer Gebäudepark ausgebreitet. Dazu wird dieser in Cluster aufgeteilt und auf diese entsprechende Sanierungsvarianten angewendet. Darauf basierend wird der Endenergie- und maximale Leistungsbedarf des schweizerischen Gebäudeparks für verschiedene Sanierungsszenarien berechnet.

Nach Abschluss von Arbeitspaket 2 kann eine Aussage zum Energie-, Kosten- und Ressourceneffizienzpotenzial des Ersatzes eines Hochtemperatur- durch ein Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem in Abhängigkeit des energetischen Sanierungsstandards und der Wärmepumpentechnologie für den Schweizerischen Gebäudepark gemacht werden.



Arbeitspaket 3: Hemmnisse und Lösungsansätze

Basierend auf den Erkenntnissen aus den vorangehenden Arbeitspaketen werden Interviews zum Thema technische und ökonomische Hemmnisse bezüglich der untersuchten Sanierungslösungen durchgeführt. Die Teilnehmer werden mit den im Projektverlauf erkannten Problemstellungen konfrontiert und bezüglich weiterer Hemmnisse befragt. Folgend werden unterschiedliche Lösungsansätze, um die Hemmnisse zu überwinden, auf verschiedenen Ebenen gesucht und beschrieben.

Nach Abschluss des Arbeitspaketes 3 kann eine Aussage gemacht werden, welche technischen und ökonomischen Hemmnisse in Bezug auf die Umsetzung der untersuchten Sanierungsvarianten vorhanden sind und wie sie möglicherweise abgebaut werden könnten. Ebenfalls werden Empfehlungen für mögliche Anpassungen der Förderstrategien angegeben.



2 Arbeitspaket 1: Fallstudien

2.1 Übersicht Varianten & Methode

In einem ersten Schritt wird der Ist-Zustand (Variante 0) des Gebäudes abgebildet. Dieser dient als Grundlage für die Kalibrierung des Gebäudemodells mit den Realverbrauchsdaten (Tabelle 1).

Davon ausgehend werden die folgenden drei Varianten für die Gebäudehülle abgeleitet.

1. Keine energetische Sanierung Gebäudehülle
In dieser Variante werden sämtliche energetischen Massnahmen an der Gebäudehülle, welche nicht dem Originalzustand des Gebäudes entsprechen und dazu geführt haben, dass das Bauteil den heutigen energetischen Anforderungen gemäss Einzelbauteilnachweis entspricht, kalkulatorisch rückgängig gemacht (z.B. Fensterersatz). Damit wird eine gewisse energetische Gleichstellung der Ausgangsszenarios sichergestellt.
2. Teilweise energetische Sanierung
Basierend auf der Variante 1 werden die Bauteile Fenster, Dachfläche/Estrichboden sowie Kellerdecke entsprechend den geltenden Anforderungen gemäss Einzelbauteilnachweis gedämmt. An der Fassade werden keine energetischen Massnahmen durchgeführt.
3. Umfassende energetische Sanierung der Gebäudehülle
Basierend auf der Variante 1 wird die Gebäudehülle entsprechend den Anforderungen des Systemnachweises energetisch gedämmt.

In einem weiteren Schritt werden die beschriebenen Varianten der Gebäudehülle durch neue Wärmeabgabe (h = Niedertemperatur-Heizkörper, f = Flächenheizung) und -erzeugersysteme (l = Luft/Wasser WP, s = Sole/Wasser WP) ergänzt. Als Referenzfall wird stets eine Variante mit einem reinen Ersatz der Wärmeerzeugung genommen. Es wird angenommen, dass Gebäudegeometrie, Energiebezugs- und Bauteilflächen (z.B. Fenster) sowie das Nutzerverhalten (z.B. Lüftungsverhalten) über alle Varianten gleichbleiben.

Tabelle 1: Übersicht Varianten Arbeitspaket 1

Gebäudehülle	Wärmeabgabe	Bestehende Wärmeerzeugung	Luft/Wasser Wärmepumpe	Sole/Wasser Wärmepumpe
Ist Zustand		0		
	Bestehend	1	1l	1s
	Niedertemperatur Heizkörper		1hl	1hs
	Flächenheizung		1fl	1fs
Teilweise Sanierung	Bestehend	2	2l	2s
	Niedertemperatur Heizkörper		2hl	2hs
	Flächenheizung		2fl	2fs
vollständige Sanierung	Bestehend	3	3l	3s
	Niedertemperatur Heizkörper		3hl	3hs
	Flächenheizung		3fl	3fs



die Varianten 1xx-3xx gebildet. Nun wird das gesamte Gebäude (Gebäudehülle und Haustechnik) simuliert (Kap. 2.7), die Berechnungen der Treibhausgasemissionen für die Erstellung und den Betrieb durchgeführt (Kap. 2.8) und die Investitions- und Betriebskosten (Kap. 2.9) berechnet. Abschliessend folgt das Zusammenstellen der Resultate und deren Interpretation (Kap. 2.10).

2.2 Erhebung Grundlagendaten

Zur Auswahl der fünf Objekte, die im Rahmen des ersten Arbeitspakets untersucht wurden, waren folgende Kriterien relevant.

- Wärmeabgabe mit Heizkörper
- Vorlauftemperatur Wärmeabgabesystem > 50°C
- Gebäudehülle möglichst im Originalzustand
- Reine Wohnnutzung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Eckwerte der ausgewählten Objekte dargestellt

Tabelle 2: Objektübersicht

Objekt	A	B	C	D	E
Baujahr	1926	1932	1914	1941	1933/34
Anzahl Wohnungen	8	2	4	8	106
Energieträger	Heizöl	Erdgas	Erdgas	Heizöl	Fernwärme ¹
Energiebezugsfläche	530 m ²	350 m ²	600 m ²	580 m ²	8'800 m ²
Heizwärmebedarf	120 kWh/m ²	114 kWh/m ²	115 kWh/m ²	105 kWh/m ²	105 kWh/m ²
Wärmeabgabesystem	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper	Heizkörper
Vorlauftemperatur	62°C	62°C	60°C	55°C	62°C

Zur Erhebung der Grundlagendaten wurden Begehungen vor Ort durchgeführt. Dabei wurde eine Fotodokumentation der Bauteile erstellt und vorhandene technische Unterlagen (z.B. Pläne) sowie die Energieverbrauchsdaten für mindestens drei Kalenderjahre erfasst. Ergänzend werden die Einstellparameter des bestehenden Wärmeerzeugers (Heizkurve, Heizgrenze) dokumentiert. Die Vorlagen der Checklisten und Aufnahmeblätter sind im Anhang I zu finden.

2.3 Evaluation Bauteilaufbauten

Da im Rahmen der vorliegenden Studie keine Sondierungen an den Bauteilen durchgeführt werden konnten, wurde der Bauteilaufbau, bzw. der U-Wert und die spezifische Wärmekapazität basierend auf den in Kap. 2.2 zusammengestellten Grundlagen, Literaturwerten [4] und den Erfahrungen des Projektteams abgeschätzt bzw. mit der Software Lesosai berechnet.

Das Messen der Bauteil U-Werte, wie beispielsweise in der Studie «UFELD: Feldmessungen von U-Werten zur Überprüfung der im Gebäudeenergieausweis (GEAK) hinterlegten U-Werte» [5] gemacht

¹ Hinweis: Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde angenommen, dass das Objekt E mit Erdgas und nicht mit Fernwärme beheizt wird.



wurde, war im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich. Die Erkenntnisse aus der Studie flossen jedoch in die Betrachtung mit ein.

Neben der Definition der U-Werte und spezifischen Wärmekapazität der Aussenbauteile, wurden auch der Aufbau bzw. die spezifische Wärmekapazität der Innenbauteile (Zwischenwände, -böden) ermittelt. Dies in Hinblick auf die thermische Trägheit des Gebäudes. Der Aufbau der innenliegenden Bauteile bleibt über alle Varianten gleich.

2.4 Aufarbeitung Energieverbrauchsdaten

Die Ermittlung des Heizwärmebedarfs aus den Endenergieverbrauchsdaten erfolgt in Anlehnung an Abbildung 6. Die Endenergieverbrauchsdaten wurden für drei Kalenderjahre erhoben. Die Berechnungen wurden für jedes Betrachtungsjahr einzeln durchgeführt und am Ende gemittelt.

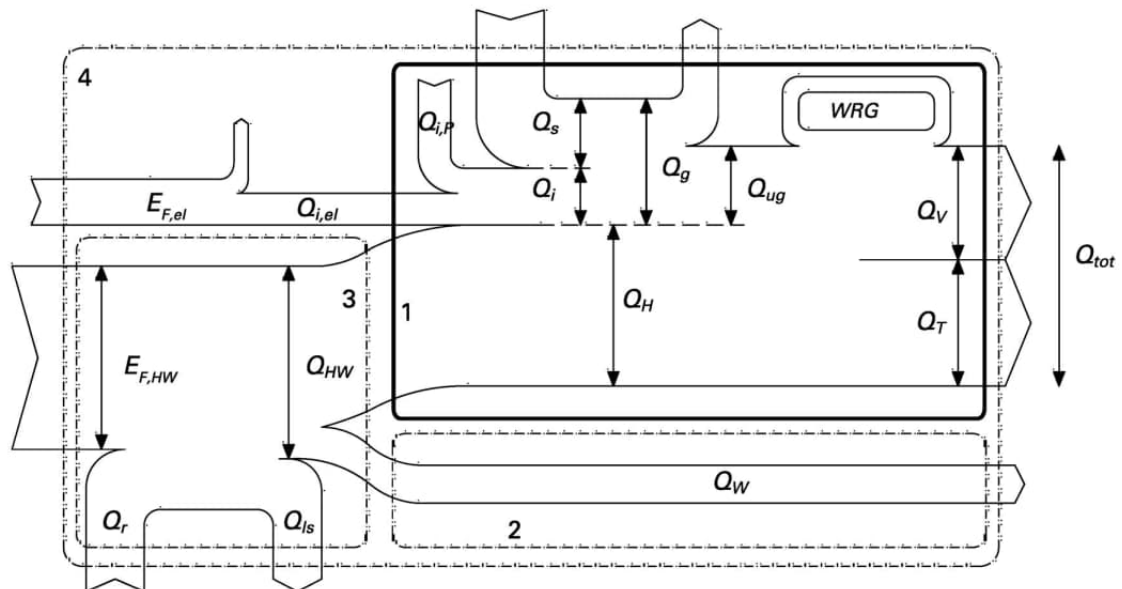


Abbildung 6: Darstellung thermische Energiebilanz in einem Gebäude nach SIA 380/1 [6]

Der Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser ($E_{F,HW}$) wird aus den Verbrauchsangaben des jeweiligen Primärenergieträgers und dessen Brennwert entsprechend SIA 416/1 [7] ermittelt. Der Wärmebedarf für Warmwasser (Q_W) wurde anhand der Energiebezugsfläche des Objektes und den Werten in Tabelle 3 abgeschätzt.

Tabelle 3: Spezifischer Wärmebedarf für Warmwasser (Bestandeswert nach SIA 2024) [8]

	Spezifischer Wärmebedarf für Warmwasser
EFH	13.5 kWh/m ² a
MFH	16.9 kWh/m ² a



Davon ausgehend wurden die Wärmeverluste des Heizsystems und der Warmwasserversorgung (Q_{ls}) unter Verwendung der Kennzahlen in den Tabelle 4 und Tabelle 5 zurückgerechnet.

Tabelle 4: Nutzungsgrade fossile Wärmeerzeuger in Bezug auf den Brennwert nach SIA 384/3 [9]

Abgaskondensation	Modulierender oder mehrstufiger Brenner	Nutzungsgrad Heizung Erdgas	Nutzungsgrad Heizung Heizöl
Ja	Ja	0.8	0.80
Ja	Nein	0.75	0.75
Nein	Ja	0.75	0.75
Nein	Nein	0.65	0.70

Tabelle 5: Übersicht Speicher und Verteilverluste in Anlehnung an [10]

	Warmwasser		Raumwärme	
	EFH	MFH	EFH	MFH
Speicher & Verteilverluste	15-30%	30-50%	1-3 %	3-15%

Im Anschluss wurde der absolute Heizwärmebedarf (Q_H) pro Kalenderjahr entsprechend der Formel berechnet.

$$Q_H = E_{F,HW} - Q_{ls} - Q_W$$

Q_H = Absoluter Heizwärmebedarf [kWh]

$E_{F,HW}$ = Energiebedarf für Heizung und Warmwasser [kWh]

Q_{ls} = Wärmeverluste des Heizsystems und der Warmwasserversorgung [kWh]

Q_W = Wärmebedarf für Warmwasser [kWh]

Der so hergeleitete, absolute Heizwärmebedarf wurde mittels der Methode der Heizgradtage nach SIA 381/3 [11] witterungsbereinigt. Als Basis für die Bereinigung wurden die langjährigen Mittelwerte 2011-2020 der entsprechenden Klimastation verwendet. Abschliessend wurde über die korrigierten Werte ein Mittelwert gebildet. Durch eine Division mit der Energiebezugsfläche ergibt sich der spezifische Heizwärmebedarf q_h .

Da der Warmwasserbedarf durch die in der vorliegenden Studie untersuchten Massnahmen nicht beeinflusst wird, fliesst er nicht weiter in die durchgeführten Simulationen ein.

Die so hergeleiteten Werte dienen zusammen mit den Grundlagen aus Kap 2.2 und Kap 2.3 als Basis für den Aufbau des Gebäudemodells der Variante 0 in der Simulationssoftware IDA ICE.



2.5 Simulation Gebäudemodell

Basierend auf den Grundlagen aus den vorhergehenden Kapiteln, wurde in der Simulationssoftware IDA ICE (Version 4.8, LOCAL-CH 4.8.0.2.) das Gebäudemodell aufgebaut. In einem ersten Schritt beschränkt sich dieses auf die Gebäudehülle. Folgend werden die wichtigsten Einflussgrössen im Modell beschrieben. Wo nicht anders spezifiziert, erfolgt die Berechnung gemäss SIA 380/2 [12].

2.5.1 Meteodaten

Es wird das Design Reference Year (DRY) nach SIA 2028 [13] der entsprechenden Klimastation verwendet. Es werden keine Klimaszenarien berücksichtigt.

2.5.2 Interne Wärmegewinne

Die Berechnung der internen Wärmegewinne basiert auf den Standardwerten gemäss SIA 2024 [8]. Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs wird eine Jahresgleichzeitigkeit von 80 % berücksichtigt. In der Berechnung der Normheizlast nach SIA 384.201 werden die internen Wärmegewinne nicht berücksichtigt [14].

2.5.3 externe Wärmegewinne

Der Grenzwert zur Aktivierung des aussenliegenden Sonnenschutzes (manuell oder automatisch) wird auf eine Einstrahlung von 200 W/m² auf die Fensterebene definiert. Die Verschattung durch nahegelegene Gebäude wird im Modell basierend auf GIS-Daten berücksichtigt. Dies gilt für die Berechnung des Heizwärmebedarfs. In der Berechnung der Normheizlast werden die externen Wärmegewinne nicht berücksichtigt.

2.5.4 Infiltration und Luftwechsel

Der durch die Infiltration und Hygiene bedingte Aussenluftvolumenstrom wird im IDA ICE vereinfacht als konstante mechanische Lüftung ohne Wärmerückgewinnung abgebildet. Die eingesetzten Werte sind in Tabelle 6 ersichtlich. Sie wurden basierend auf den Erkenntnissen aus der Begehung vor Ort und den Erfahrungen des Autorenteam teilweise objektspezifisch leicht angepasst.

Tabelle 6: Lüftungsverluste pro Nettogeschossfläche gemäss SIA 2024 [8]

Gebäudetyp	Einheit	EFH		MFH	
		Bestand	Ziel	Bestand	Ziel
Hygienebedingter Aussenluftvolumenstrom	[m ³ /m ² h]	0.6		0.8	
Aussenluftvolumenstrom durch Infiltration	[m ³ /m ² h]	0.3	0.15	0.3	0.15
Gesamt	[m ³ /m ² h]	0.9	0.75	1.1	0.95

2.5.5 Operative Temperatur

Der Raumkomfort wird neben der Raumtemperatur auch von der Temperatur der umgebenden Oberflächen (z.B. Aussenwand) bestimmt. Diese verändert sich im vorliegenden Fall von Variante zu Variante, je nach energetischem Sanierungsgrad der Gebäudehülle, oder Art des Wärmeabgabesystems. Um eine bessere Vergleichbarkeit innerhalb der Varianten zu erreichen, wurde in der vorliegenden Studie die operative Raumtemperatur als Regelgrösse definiert. Die operative Raumtemperatur wird auch als «Empfindungstemperatur» bezeichnet. Sie ist das arithmetische Mittel zwischen Lufttemperatur und der mittleren Temperatur der umgebenden Oberflächen. Sie wurde auf 21°C definiert.



2.5.6 Energetische Massnahmen Gebäudehülle

Nachfolgend sind die Grundlagen bezüglich der beiden Varianten der energetischen Sanierung der Gebäudehülle beschrieben. Die technische Machbarkeit der Massnahmen wird grundsätzlich vorausgesetzt. Limitierende Faktoren wie Grenzabstände, Denk- oder Ortsbildschutz wurden nicht berücksichtigt. In der Variante 1 werden keine energetischen Massnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt.

Variante 2: Einzelbauteilnachweis

Die energetische Sanierung der Dachflächen oder des Estrichbodens, der Fenster sowie der Kellerdecke erfolgt entsprechend den Grenzwerten gemäss Einzelbauteilnachweises SIA 380/1 [6]. Auf Grund der näherungsweise um 1°C höheren Raumtemperatur als standardmässig in der Norm abgenommen, wurden die Werte entsprechend der in der Norm beschriebenen Methodik korrigiert. Die Werte sind in Tabelle 7 abgebildet. Türen und Tore werden in der Betrachtung vernachlässigt.

Tabelle 7: Übersicht U-Wert Grenzwerte Einzelbauteilnachweis für ca. 21°C Raumtemperatur nach SIA 380/1 [6]

Bauteile gegen Bauteile	Grenzwerte in W(m ² *K)	
	Aussenklima oder weniger als 2 m im Erdreich	Unbeheizte Räume oder mehr als 2 m im Erdreich
Opake Bauteile (Dach, Decke, Wand Boden)	0.24	0.27
Fenster, Fenstertüren	0.95	1.2

Variante 3: Systemnachweis

Die Gebäudehülle wird entsprechend den Anforderungen des Systemnachweises nach SIA 380/1 gedämmt [6]. Die energetischen Massnahmen an den einzelnen Bauteilen wurden möglichst praxisnah ausgestaltet. Vorgaben zum sommerlichen Wärmeschutz wurden in der Betrachtung vernachlässigt. Abbildung 7 zeigt die einzuhaltenden Grenzwerte des Heizwärmebedarfs exemplarisch in Abhängigkeit des Gebäudetyps (EFH, MFH), der Gebäudehüllzahl und der mittleren Jahrestemperatur am Objektstandort auf.

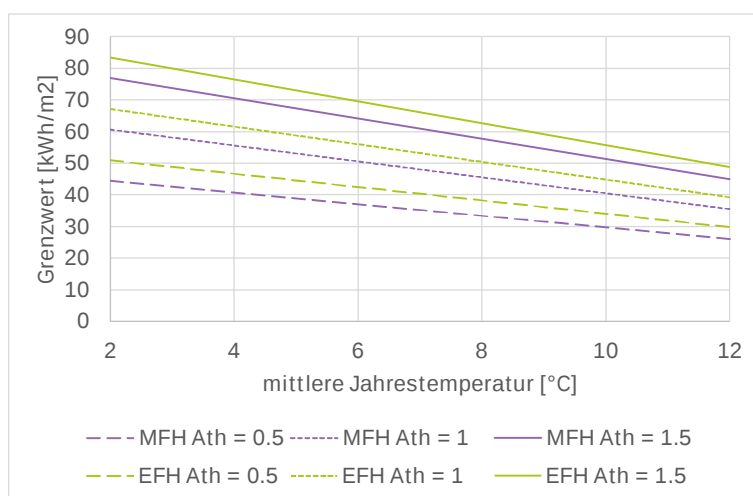


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Grenzwerte für den Heizwärmebedarf in Abhängigkeit des Gebäudetyps, der Gebäudehüllzahl (Ath) und der mittleren Jahrestemperatur am Objektstandort.



2.5.7 Wärmebrücken

Die vorhandenen Wärmebrücken werden im Modell mittels Addition eines Kompensationswertes zum U-Wert des jeweiligen Bauteils berücksichtigt. Die Höhe des Kompensationswertes wird objektabhängig durch das Autorenteam in einem Rahmen von 0.05-0.01 W/m²K definiert.

2.6 Auslegung Wärmeabgabe und Wärmeerzeugung

2.6.1 Wärmeabgabe

Die Auslegung der neuen Niedertemperatur-Wärmeabgabe basiert auf der raumweisen Berechnung der Normheizlast nach SIA 384.201 [14] in IDA ICE sowie den Auslegetemperaturen in Tabelle 8. Die technische Machbarkeit wird als gegeben betrachtet.

Tabelle 8: Auslegetemperaturen Niedertemperatur-Wärmeabgabesysteme

Variante	Einheit	Vor- Rücklauftemperaturen
Niedertemperatur Heizkörper	[°C]	40 / 33
Flächenheizung	[°C]	35 / 30

Im Falle der Variante 1l/s, 2l/s und 3l/s führen die Massnahmen an der Gebäudehülle (vgl. Kap. 2.1) dazu, dass die Vorlauftemperatur der bestehenden Heizkörper im Vergleich zur Variante 0 erhöht (Variante 1l/s) bzw. abgesenkt (Variante 2l/s, 3l/s) werden muss bzw. kann. Die unter den neuen Bedingungen notwendige Vorlauftemperatur wird, basierend auf den Betriebsparametern und der Normheizlast der Variante 0, sowie der Normheizlast der jeweiligen Variante, in einem iterativen Verfahren berechnet. Dabei wird von einem gleichbleibenden Volumenstrom und Raumtemperaturen ausgegangen.

2.6.2 Thermischer Speicher

Die Dimensionierung des Pufferspeichers erfolgt gemäss den Empfehlungen für Systeme ohne Eigenstromnutzung des Wärmepumpensystem-Moduls [15]. Entsprechend beträgt die Speichergrösse 35 l/kW Heizleistung am Auslegungspunkt A-7/W35 für Luft/Wasser bzw. B0/W35 für Sole/Wasser Wärmepumpen. Die maximale Speichergrösse beträgt 1'000 Liter.

2.6.3 Wärmeerzeugung

Die Auslegung der Wärmeerzeugung basiert auf den Auswertungen der dynamischen Simulationen des Wärmeabgabesystems im IDA ICE. Es werden keine Leistungsreserven, beispielsweise auf Grund von Sperrzeiten, berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Wärmepumpe die Vorlauftemperatur bei Auslegetemperatur erreichen kann und die technische Machbarkeit gegeben ist (z.B. Einhaltung Lärmschutzanforderungen).

2.6.4 Erdwärmesonde

Die Ermittlung der Länge der Erdwärmesonde erfolgt in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren gemäss SIA 384/6 [16]. Es wird von unbeeinflussten Einzelsonden ohne Regeneration ausgegangen. Die Kälteleistung der Wärmepumpe wird basierend auf der Normheizlast und dem COP der Wärmepumpe im variantenspezifischen Auslegungspunkt bestimmt. Zur Ermittlung der Anzahl der Sonden wird mit einer Entzugsleistung von 30 W/m und einer maximalen Sondenlänge von 250m gerechnet. Weiter wird angenommen, dass die technische Machbarkeit gegeben ist.



2.7 Simulation Wärmeabgabe und Wärmeerzeugung

2.7.1 Wärmeabgabe

Die eingesetzten Heizkörperexponenten für die unterschiedlichen Wärmeabgabesysteme sind in Tabelle 9 ersichtlich. Es wird von einer Einzelraumregulierung ausgegangen.

Tabelle 9: Übersicht Heizkörperexponent nach Wärmeabgabesystem [17]

Wärmeabgabesystem	Einheit	Heizkörperexponent
Heizkörper	[-]	1.3
Flächenheizung	[-]	1.1

2.7.2 Hydraulische Einbindung

Die hydraulische Einbindung der Komponenten erfolgt gemäss dem Funktionsschema 5a des Wärmepumpensystemmodul [18]. Dieses ist in Abbildung 8 dargestellt. Die thermischen Verteilverluste der Verbindungsleitungen werden gemäss Kap. 0, abzüglich der thermischen Verluste des Speichers gemäss Kap. 0 berücksichtigt.

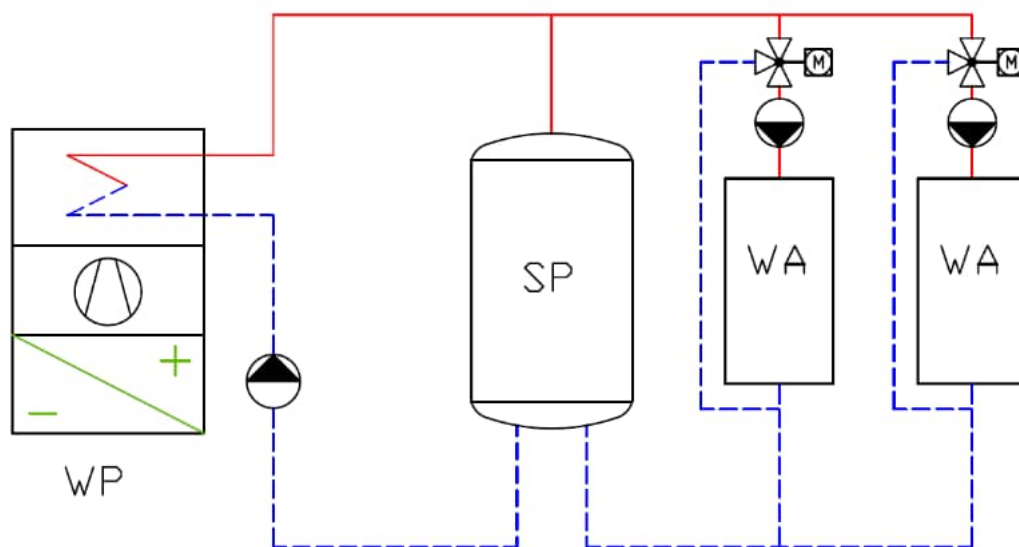


Abbildung 8: Darstellung der hydraulischen Einbindung nach Schemata 5 des Wärmepumpensystemmodul SP=Speicher, WA=Wärmeabgabe [18]

2.7.3 Thermischer Speicher

Die Betriebstemperaturen des Speichers entsprechen denjenigen des Wärmeabgabesystems. Es ist keine Speicherüberhöhung vorhanden. Die Dämmung des Speichers entspricht den Vorgaben der SIA 384/1 [19] Die Umgebungstemperatur des Speichers beträgt 20°C.

2.7.4 Wärmeerzeugung

Abbildung 9 zeigt den Zusammenhang zwischen der Vorlauftemperatur im Auslegepunkt und der erreichten JAZ für Realobjekte mit Luft/Wasser und Sole/Wasser Wärmepumpen für die Betriebsweisen Heizen (volle Linien) und Heizen und Warmwasseraufladung (gestrichelte Linien) [20].

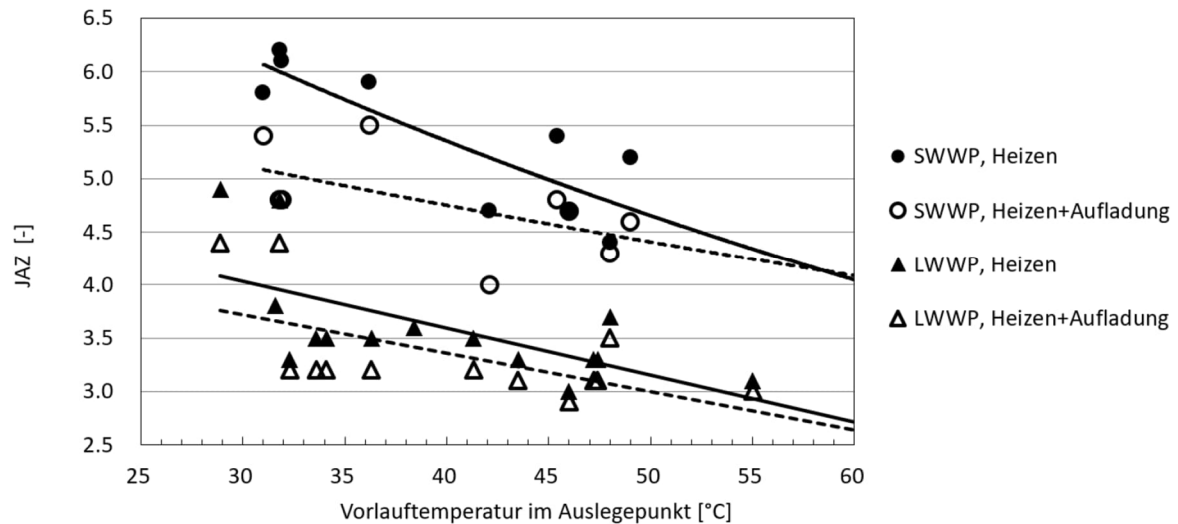


Abbildung 9: Jahresarbeitszahl versus Vorlauftemperatur im Auslegepunkt. [20].

Basierend auf Abbildung 9 wurden zwei Funktionen zur Herleitung der JAZ in Abhängigkeit der Wärmepumpentechnologie und der Vorlauftemperatur im Auslegepunkt ermittelt. Diese wurden zur Abschätzung der JAZ für die verschiedenen Varianten der fünf betrachteten Objekte eingesetzt.

$$JAZ_{L/W} = -0.0452 \cdot T_{VL} + 5.4097$$

$$JAZ_{S/W} = -0.0683 \cdot T_{VL} + 8.1667$$

2.8 Berechnung Treibhausgasemissionen

Die Berechnung der Treibhausgasemissionen erfolgt nach dem Vorgehen und den Grundlagen gemäss [21]. Die Berechnungen werden in der Software Lesosai v.2023.0 durchgeführt. Basis sind die Ökobilanzdaten von KBOB Version 6.2.

2.8.1 Gebäudehülle

Bei der Dämmstoffwahl stehen verschiedene Materialien zur Verfügung. Je nach Ausgangsmaterial und Herstellungsprozess, verfügen diese über unterschiedliche Treibhausgasemissionen.

Um die Relevanz der Dämmstoffwahl abzuschätzen, wurden verschiedene marktübliche Dämmstoffe an einem einfachen Referenzfall in Bezug auf deren ökologischen Auswirkungen verglichen. Als Referenz wurde eine 350 mm starke Aussenmauer aus Hohllochziegel (U-Wert 1.6 W/m²K) verwendet. Die Stärke des Dämmstoffes wurde so gewählt, dass das Bauteil nach dessen Aufbringen die in Tabelle 7 genannten Anforderungen an den Einzelbauteilnachweis (U-Wert 0.24 W/m²K, opakes Bauteil gegen aussen) erfüllt. Die Emissionen wurden basierend auf den spezifischen Materialdichten und Ökologiekennzahlen aus [22] berechnet und sind in Abbildung 10 dargestellt. Die Fehlerbalken sind auf die teilweise unterschiedliche Dichte verschiedener Produkte innerhalb derselben Dämmstoffart zurückzuführen.

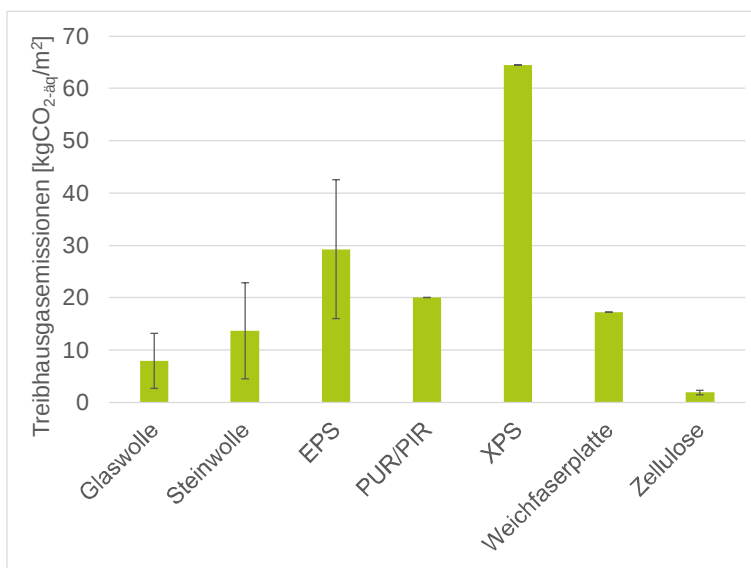


Abbildung 10: Übersicht THG-Emissionen in Abhängigkeit der Dämmstoffwahl, basierend auf [22]

Es ist ersichtlich, dass die Wahl des Dämmstoffes einen grossen Einfluss auf die Ökologie einer energetischen Sanierung hat. Insbesondere durch den Einsatz von Zellulose basierten Dämmstoffen, können die Ökologie der Sanierungsmassnahme im Vergleich zu den anderen Dämmstoffen deutlich verbessert werden. Der ökologische Vergleich von Dämmstoffen ist jedoch nicht Kernfrage des vorliegenden Forschungsprojektes. Da Glas- und Steinwolle gemäss [23] mit 55.6% im Jahr 2021 über den höchsten Marktanteil in der DACH-Region verfügt, wurde für das vorliegende Projekt Steinwolle als Referenzmaterial verwendet. Wo dieses technisch nicht eingesetzt werden kann (z.B. Flachdach), wurde expandiertes Polystyrol (EPS) (Marktanteil 27.2 %) eingesetzt. Es wurden von einer mittleren Materialdichte ausgegangen.

2.8.2 Wärmeabgabe

Die THG-Emissionen des neuen Wärmeabgabesystems wurden basierend auf den Standardwerten der KBOB V6.2 berechnet. Im Falle einer Fussbodenheizung wurde eine zusätzliche OSB-Platte als Trägersystem für die Fussbodenheizung und ein Parkett als Deckbelag eingerechnet (Trockenbausystem). Die Werte sind in Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 10: Übersicht THG-Emissionsfaktoren Wärmeabgabe

Komponente	Einheit	THG-Emissionen
Wärmeabgabe Heizkörper	[kgCO ₂ -äq/m ² _{EBFa}]	0.217
Wärmeabgabe Fussbodenheizung	[kgCO ₂ -äq/m ² _{EBFa}]	0.168
Unterlage FBH + Bodenbelag	[kgCO ₂ -äq/m ² _{EBFa}]	0.47

2.8.3 Wärmeverteilung

Sieht die betrachtete Variante einen Ersatz des Wärmeabgabesystems vor, so wird auch die Wärmeverteilung erneuert. Dies ist auf die geringere Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf und den damit verbundenen höheren Volumenstrom zurückzuführen. Es wird der Standardwerte für Wohngebäude (THG: 0.115 kgCO₂-äq/m²_{EBFa}) gemäss KBOB V 6.2 [22] verwendet



2.8.4 Wärmeherzeugung

Die Treibhausgasemissionen, bezogen auf Sondenlänge und Gewicht der Wärmepumpe der Wärmeherzeugung, werden in Abhängigkeit der Wärmeherzeugertechnologie (Luft/Wasser, Sole/Wasser), der Anlagenleistung gemäss Kap. 2.7.4 und, sofern vorhanden, der Länge der Erdsonden gemäss Kap. 2.6.4 basierend auf den Werten der KBOB V6 berechnet [22]. Die eingesetzten Werte sind in Tabelle 11 ersichtlich.

Tabelle 11: Übersicht THG-Emissionsfaktoren Wärmeherzeugung

Komponente	Einheit	THG-Emissionen
Sole/Wasser Wärmepumpe	[kgCO ₂ -äq/kg*a]	0.76
Erdwärmesonde	[kgCO ₂ -äq/m*a]	0.58
Luft/Wasser Wärmepumpe	[kgCO ₂ -äq/kg*a]	0.78

Zur Herleitung des Gewichtes der jeweiligen Wärmepumpe wurden die Funktionen in der untenstehenden Abbildung verwendet. Liegt der Heizleistungsbedarf über 50 kW (L/W WP) beziehungsweise 250 kW (S/W WP) wurde mit mehreren kleinen, kaskadierten Anlagen gerechnet.

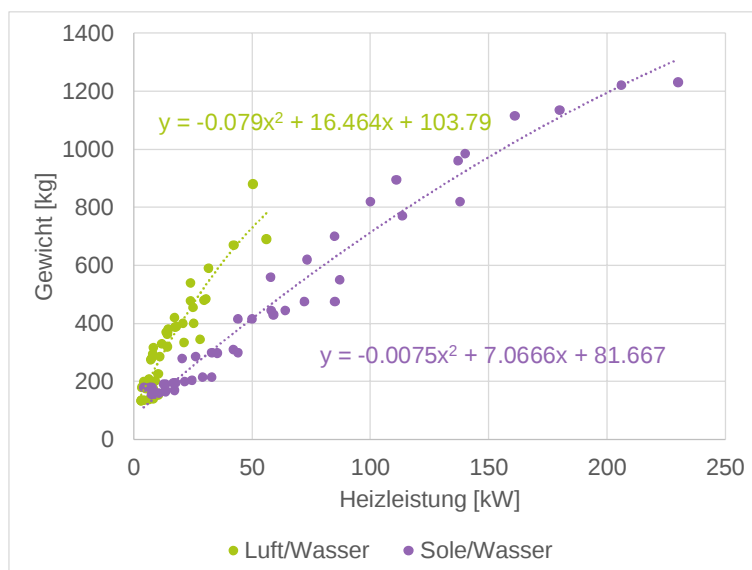


Abbildung 11: Übersicht Gewicht Wärmepumpe in Abhängigkeit der WP-Technologie und Heizleistung. Eigene Herleitung Lemon Consult AG (Daten aus WP-Gap Studie [24]).

2.8.5 Betriebsenergie

Für die Betriebsenergie wurden, die in Tabelle 12, aufgezeigten werden eingesetzt. Sie basieren auf den Angaben der KBOB V6.2. Standardmässig wurde der CH-Verbrauchermix eingesetzt. Die beiden anderen Stromprodukte werden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse eingesetzt.

Tabelle 12: Übersicht THG-Emissionsfaktoren Betriebsenergie

Komponente	Einheit	THG-Emissionen
CH-Verbrauchermix	[kgCO ₂ -äq/kWh]	0.125
Mix Stromprodukte ee	[kgCO ₂ -äq/kWh]	0.016
CH-Lieferantenmix HKN	[kgCO ₂ -äq/kWh]	0.054



2.9 Berechnung Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten

Im nachfolgenden Kapitel werden die Grundlagen der verwendeten Investitions-, Unterhalts-, und Betriebskosten dargelegt. Es werden die Brutto-Investitionskosten inkl. MWSt. ohne Abzug von Förderbeiträgen oder Steuerrabatten aufgeführt.

2.9.1 Gebäudehülle

Die Kosten für die energetische Sanierung der Gebäudehülle wurden basierend auf Daten aus dem Gebäudeprogramm der Kantone Basel-Stadt (BS), Thurgau (TG) und Schaffhausen (SH) ermittelt. Sie wurden den Autoren durch die Fachstelle des Gebäudeprogramm der jeweiligen Kantone zur Verfügung gestellt. Diese sind untenstehend grafisch dargestellt. Der Stichprobenumfang pro Kanton und Bauteil ist in der Grafik vermerkt. Zu Vergleichszwecken wurden Mittelwerte aus Empfehlungen von GEAK [25] und dem INSPIRE Tool [26] eingefügt.

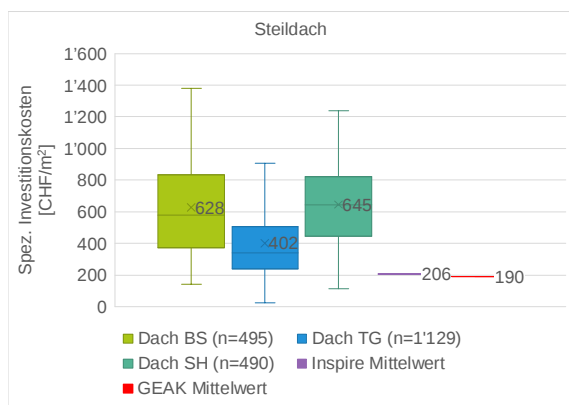


Abbildung 12: Übersicht spez. Investitionskosten Steildach.

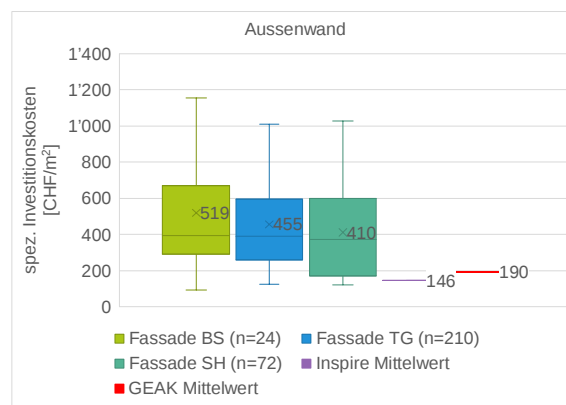


Abbildung 13: Übersicht spez. Investitionskosten Aussenwand.

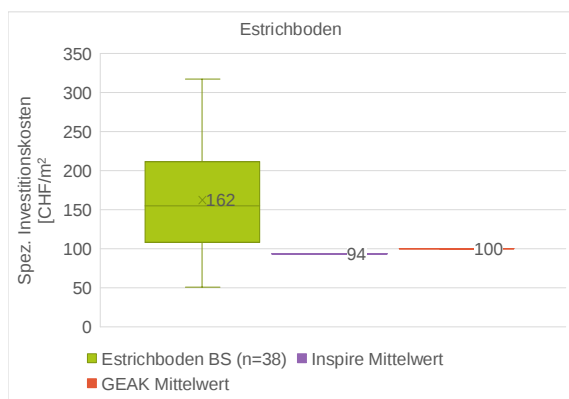


Abbildung 14: Übersicht spez. Investitionskosten Estrichboden

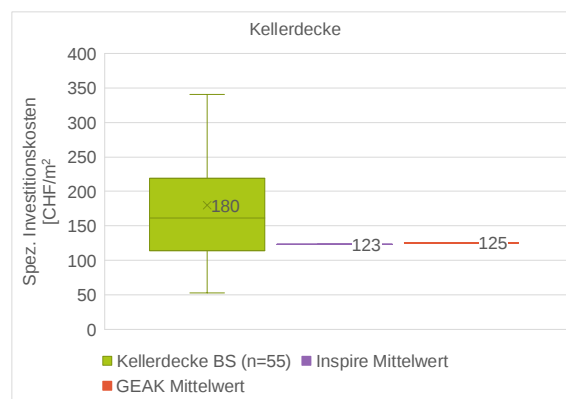


Abbildung 15: Übersicht spez. Investitionskosten Kellerdecke

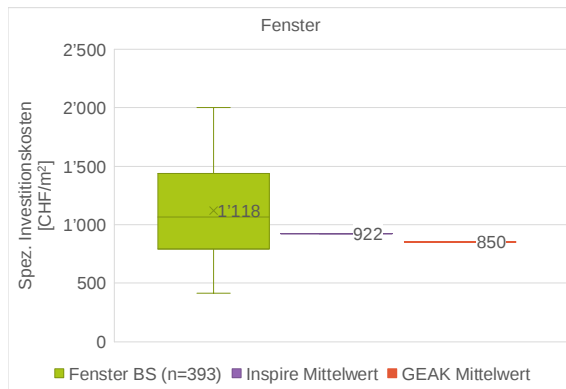


Abbildung 16: Übersicht spez. Investitionskosten Fenster

Für die vorliegende Studie wurden die in Tabelle 13 gezeigten Werte eingesetzt. Sie entsprechen den Mittelwerten aus den Kantonsdaten.

Tabelle 13: Übersicht spez. Investitionskosten energetische Sanierung Gebäudehülle

Komponente	Einheit	Spezifische Investitionskosten
Steildach/Flachdach	[CHF/m ²]	550.-
Aussenwand	[CHF/m ²]	460.-
Estrichboden	[CHF/m ²]	160.-
Kellerdecke	[CHF/m ²]	180.-
Fenster	[CHF/m ²]	1'100.-

2.9.2 Wärmeabgabe

Die spezifischen Investitionskosten für den Ersatz des Wärmeabgabesystems wurden basierend auf der Kostenkurven in Abbildung 17 und eigenen Erhebungen abgeschätzt. Die Vorlauftemperaturen wurden auf 40°C (Heizkörper) bzw. 35°C definiert.

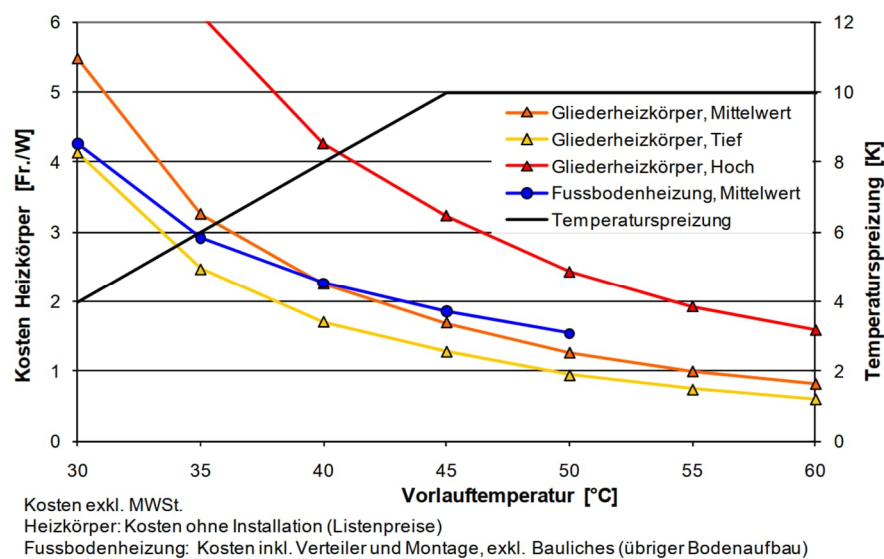


Abbildung 17. Übersicht spezifische Investitionskosten verschiedener Wärmeabgabesysteme [27]



Die in der Studie verwendeten Kosten (siehe Tabelle 14) berücksichtigen sämtliche Aufwände für Demontage, Material, Montage, Inbetriebsetzung und allfällige Anpassungsarbeiten des neuen Wärmeabgabesystems. Sie liegen daher höher als die in der obenstehenden Grafik angegebenen Kosten.

Tabelle 14: Übersicht spezifische Investitionskosten Wärmeabgabesysteme.

Komponente	Einheit	Spezifische Investitionskosten
Heizkörper	[CHF/kW]	4'000.-
Fussbodenheizung	[CHF/kW]	4'500.-
Bodenbelag	[CHF/m ² _{NF}]	3'000.-

2.9.3 Wärmeverteilung

Die Kosten für die Wärmeverteilung (1'000 CHF/kW) wurden vom Heizkostenrechner der HSLU übernommen [28].

2.9.4 Wärmeerzeugung

Zur Ermittlung der Investitionskosten der Wärmeerzeugung wurde in Anlehnung an die Daten aus dem Heizkostenvergleichsrechner der HSLU [28] und eigenen Erhebungen Kostenkennlinien für die verschiedenen Komponenten hergeleitet (vgl. Abbildung 18 & Abbildung 19). Folgende Kosten sind enthalten (vgl. Anhang II).

- Wärmepumpe
- Armaturen, Apparate, Rohrleitungen, Dämmung
- Heizungsspeicher
- Transport und Montage
- Anschlussgebühren Elektro (ab 70 kW)
- Zentrale Starkstromanlagen (ab 70 kW)
- Erschliessung Elektro
- Demontage bestehende Heizanlage
- Heizverteiler, inkl. Unterstationen (ab 200 kW)
- Wanddurchbrüche, Kernbohrungen
- Fundament, Sickergruben, Grabarbeiten
- Grabarbeiten Umgebung
- Wiederherstellung Umgebung

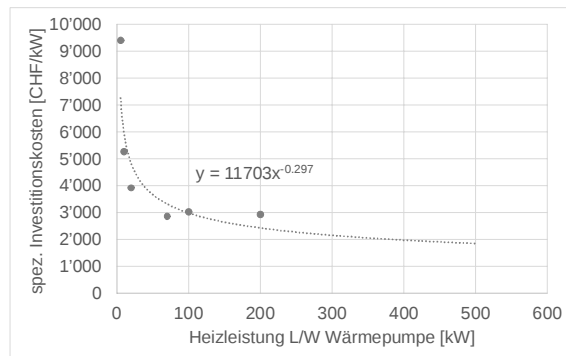


Abbildung 18: Kostenkennlinie Luft/Wasser Wärmepumpe.

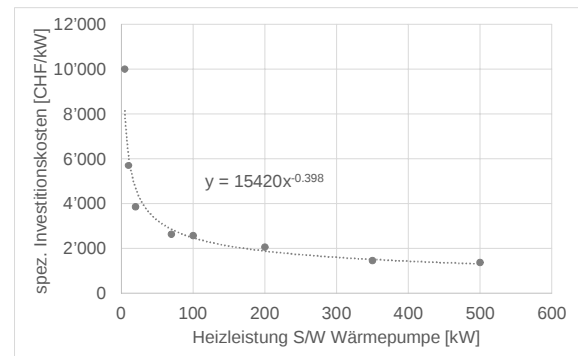


Abbildung 19: Kostenkennlinie Sole/Wasser Wärmepumpe.

Zur Herleitung der Kosten für die Erstellung der Erdwärmesonde wurde folgende Kostenkennlinie eingesetzt.

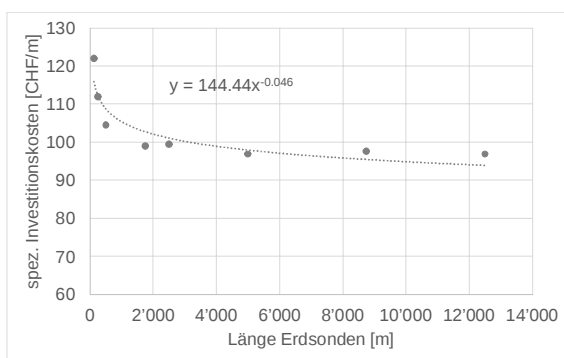


Abbildung 20: Kostenkennlinie Erdwärmesonde

2.9.5 Unterhaltskosten

Die Unterhaltskosten der Komponenten wurden mit den in Tabelle 15 und Tabelle 16 angegebenen Werten berücksichtigt. Sie geben die jährlichen Unterhaltskosten in Abhängigkeit der Investitionskosten an.

Tabelle 15: Unterhaltskosten Gebäudehülle (eigene Definition)

Komponente	Einheit	Unterhaltskosten
Steildach/Flachdach	[%]	0.5
Aussenwand	[%]	0.5
Estrichboden	[%]	0.5
Kellerdecke	[%]	0.5
Fenster	[%]	0.5



Für die Komponenten der Haustechnik gelten folgende Werte:

Tabelle 16: Unterhaltskosten Haustechnik inkl. Bodenbelag (eigene Definition)

Komponente	Einheit	Unterhaltskosten
Wärmepumpen	[%]	1
Erdwärmesonden	[%]	0.5
Wärmeverteilung	[%]	0.5
Heizkörper	[%]	0.5
Fussbodenheizung	[%]	0.5
Bodenbelag	[%]	0.5

2.9.6 Betriebskosten

Die Betriebskosten wurden basierend auf eigenen Auswertungen definiert. Ergänzend wurde eine Sensitivitätsanalyse mit Kosten +/- 25% durchgeführt.

Tabelle 17: Übersicht Kosten Betriebsenergie (eigene Definition, Energie & Netz inkl. MWSt.)

Komponente	Einheit	Kosten
CH-Verbrauchermix	[CHF/kWh]	0.25
Mix Stromprodukte ee	[CHF/kWh]	0.25
CH-Lieferantenmix HKN	[CHF/kWh]	0.25

2.9.7 Wirtschaftlichkeitsfaktoren

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt über die Annuitätenmethode. Folgende Grundlagen wurden für die Berechnung der energetischen Sanierung der Gebäudehülle angesetzt.

Tabelle 18: Lebensdauertabelle Gebäudehülle (eigene Definition)

Komponente	Einheit	Lebensdauer
Steildach/Flachdach	[a]	40/30
Aussenwand	[a]	30
Estrichboden	[a]	30
Kellerdecke	[a]	30
Fenster	[a]	30



Für die Komponenten der Haustechnik gelten folgende Werte:

Tabelle 19: Lebensdauertabelle Haustechnik inkl. Bodenbelag

Komponente	Einheit	Lebensdauer
Wärmepumpen	[a]	20
Erdwärmesonden	[a]	40
Wärmeverteilung	[a]	30
Heizkörper	[a]	30
Fussbodenheizung	[a]	30
Bodenbelag	[a]	30

Die Kapitalkosten werden mit einem Zinssatz von 2% gerechnet.



2.10 Resultate und Diskussion Arbeitspaket 1

Im vorliegenden Kapitel werden die Resultate aus dem Arbeitspaket 1 aufgezeigt und diskutiert. Die Resultate werden jeweils separiert nach Wärmepumpentechnologie (Luft/Wasser (1xl), Sole/Wasser (1xs)) aufgeführt.

2.10.1 Spezifischer Heizwärmebedarf

In Abbildung 21 ist der spezifische Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche für die verschiedenen Varianten dargestellt. Dieser ist unabhängig von der jeweiligen Wärmepumpentechnologie, weshalb nur die Abbildung für Luft/Wasser Wärmepumpen aufgeführt ist.

Es zeigt sich, dass der Heizwärmebedarf im unsanierten Zustand (1xx) bis auf die Varianten mit Fussbodenheizung als Wärmeabgabesystem (1hx), quasi identisch ist mit der Ist-Situation (V1). Für die Variante mit der Fussbodenheizung (1fx) ist der Heizwärmebedarf geringfügig reduziert. Die verschiedenen Effekte, welche zu diesem Simulationsergebnis führen, wurden nicht im Detail untersucht. Eine abschliessende Interpretation des Effektes ist daher nicht möglich. Ein massgebender Beitrag auf die tiefere Raumtemperatur und damit einhergehende reduzierte Transmissionsverluste aufgrund des höheren Strahlungsanteils der Fussbodenheizung zurückzuführen. Die operative Temperatur ist über alle Varianten gleich (vgl. Kap. 2.5.5).

Durch die teilweise energetische Sanierung der Gebäudehülle (2xx) lässt sich der Heizwärmebedarf um durchschnittlich knapp 10% reduzieren. Durch eine Vollsanierung (3xx) wird im Vergleich zum Ist-Zustand eine Reduktion des Heizwärmebedarfs um ca. 60% erreicht. In Bezug auf das Reduktionspotenzial dieser Massnahme ist anzumerken, dass verschiedene Studien darauf hinweisen, dass die mittels Simulation ermittelte Massnahmenwirkung einer energetischen Sanierung je nach Quelle zwischen 30-60 % überschätzt wird [29] [30] [31]. Entsprechend ist in der Realität mit einer verminderten Wirkung der Sanierungsmassnahmen zu rechnen. In Bezug auf die vorliegende Studie wirkt sich dies zu Gunsten des vorgeschlagenen Ersatzes des Wärmeabgabesystems und zu Lasten einer Sanierung der Gebäudehülle aus.

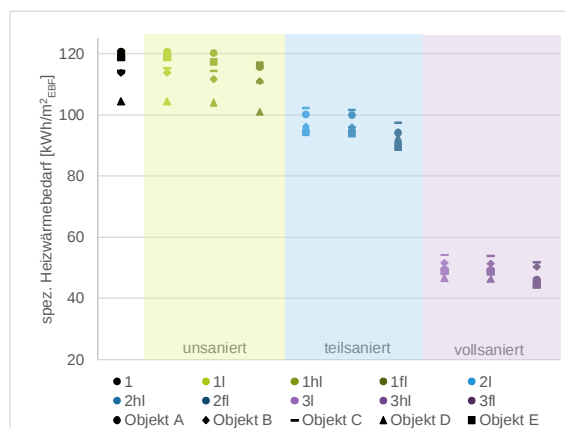


Abbildung 21: Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf mit Luft/Wasser Wärmepumpe.



Eine gewisse Unsicherheit besteht zudem in der Herleitung des Heizwärmebedarf pro Objekt und der Abbildung des Objektes im IDA ICE. Der Heizwärmebedarf der Objekte basiert auf Realmessdaten über mehrere Jahre. Je nach Objekt konnte jedoch nur der Verbrauch für Raumwärme und Warmwasser erfasst werden. Entsprechend waren gewisse Annahmen zum Warmwasserverbrauch und der Systemeffizienz notwendig, um den Heizwärmebedarf herzuleiten. Weicht nun das reale Verhalten der Benutzer von den verwendeten Standarddaten ab, kommt es zu einer Abweichung in der Herleitung des Heizwärmebedarfs. Weiter wurde nur bei Objekt A vor den Aufnahmen eine energetischen Betriebsoptimierung durchgeführt. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass in den verbleibenden Objekten ein gewisses Effizienzpotenzial besteht, das in der vorliegenden Betrachtung nicht berücksichtigt wurde.

Bei der Umsetzung und Validierung der Gebäude im IDA ICE Modell und der Simulation der verschiedenen Varianten, kommt die Problematik bezüglich fehlerhafter Annahmen ebenfalls zum Tragen. Eine Vielzahl von Angaben und Parametern (z.B. U-Werte der Bauteile, Luftwechselraten, externe Wärmeeinträge, Raumtemperatur, etc.) wurden abgeschätzt oder Standardwerte übernommen. Dies führte dazu, dass für die Variante 0 eine mehrfache Iteration notwendig war, um mittels einer Anpassung der Annahmen den simulierten Heizwärmebedarf auf den Realverbrauch einzujustieren. In der Folge kommt es innerhalb der verschiedenen Varianten unweigerlich zu Abweichungen der Energieströme in der Simulation im Vergleich zum Realobjekt. Gegebenenfalls werden dadurch gewisse Effekte, welche einen Einfluss auf den Heizwärmebedarf haben, z.B. veränderte Luftwechselraten aufgrund einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle, über- oder unterschätzt. Nach Ansicht der Autoren können die erarbeiteten Grundlagendaten dennoch als plausibel und vergleichbar betrachtet werden.

2.10.2 Spezifischer Heizleistungsbedarf

Die untenstehende Abbildung zeigt den spezifischen Heizleistungsbedarf der verschiedenen Objekte und Varianten auf. Der Heizleistungsbedarf ist wiederum unabhängig von der Wärmepumpentechnologie. Insgesamt zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Heizwärmebedarf. Auch in diesem Fall dürfte der im obenstehenden Abschnitt genannten Sachverhalte, bezüglich der Differenz zwischen dem simulierten bzw. realen Heizwärmebedarf und der erzielten Massnahmenwirkung in der Realität einen tieferen spezifischen Heizleistungsbedarf zur Folge haben. Dies wird durch die Resultate der OptiPower Studie bestätigt [32].

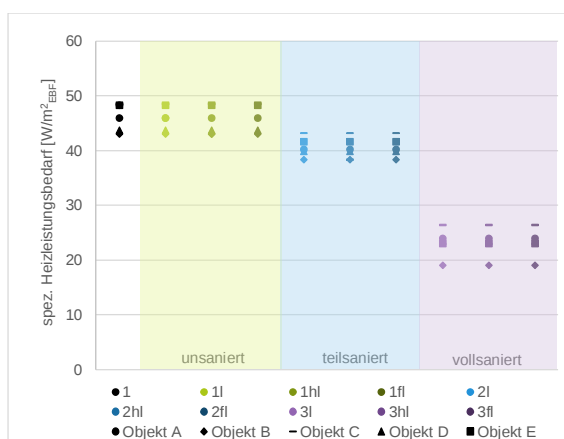


Abbildung 22: Übersicht spezifischer Heizleistungsbedarf mit Luft/Wasser Wärmepumpe.



2.10.3 Vorlauftemperaturen

Abbildung 23 zeigt den Einfluss des Sanierungsgrades und des Wärmeabgabesystems in Bezug auf die erreichbare Vorlauftemperatur im Auslegungspunkt. Die Vorlauftemperatur im unsanierten Zustand und mit dem bestehenden Wärmeabgabesystem (1, 1l/s) liegt bei allen Objekten im Bereich zwischen 60 und 65°C. Mit einer Teilsanierung (2l/s) kann eine Reduktion um maximal 5K erreicht werden. Eine Absenkung auf ca. 45°C ist mit einer Vollsaniierung (3l/s) möglich. Die Auslegetemperatur von 40°C im Falle von Niedertemperatur-Heizkörpern (xhx) bzw. 35°C bei der Fussbodenheizung (xfx) kann mit dem bestehenden Wärmeabgabesystem in keinem Fall erreicht werden. Die erreichte Vorlauftemperatur ist wiederum unabhängig von der eingesetzten Wärmepumpentechnologie.

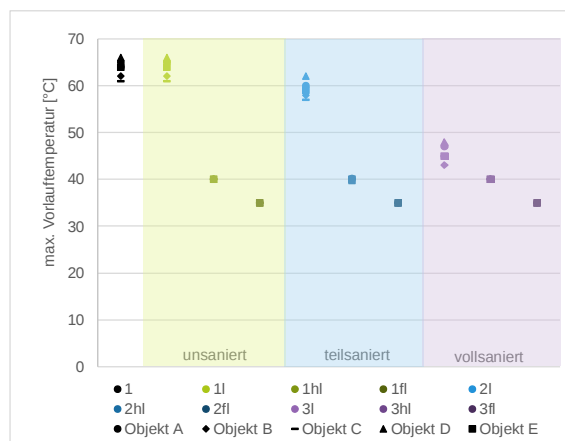


Abbildung 23: Übersicht maximale Vorlauftemperatur mit Luft/Wasser Wärmepumpe.



2.10.4 Jahreswirkungsgrad

Abbildung 24 zeigt den Jahreswirkungsgrad der Wärmeerzeugung für die Raumwärme (im Falle der Wärmepumpe die JAZ) für die Varianten mit Luft/Wasser Wärmepumpe. In Abbildung 25 sind die Werte für die Varianten mit Sole/Wasser Wärmepumpe ersichtlich. Es zeigt sich, dass die Reduktion der Vorlauftemperatur durch die energetische Teilsanierung der Gebäudehülle (1l/s zu 2l/s) zu einer Effizienzsteigerung von 7-10% führt. Durch eine Vollsaniierung (1l/s zu 3l/s) wird eine Steigerung von 27-34% erreicht. Dies bei gleichbleibenden Wärmeabgabesystem und unabhängig von der Wärmepumpentechnologie.

Im Falle eines Ersatzes des Wärmeabgabesystems kann im unsanierten Zustand die Effizienz um 36-48% (1l/s zu 1hl/s) bzw. 44-58% (1l/s zu 1fl/s) gesteigert werden. Ein Ersatz des Wärmeabgabesystems im teilsanierten Zustand führt zu einer Steigerung der Effizienz um 27-38% (2l/s zu 2hl/s) bzw. 35-47% (2l/s zu 2fl/s). Wird das Wärmeabgabesystem im voll sanierten Zustand ersetzt, reduziert sich die Effizienzsteigerung auf 7-11% (3l/s zu 3hl/s) bzw. 13-18% (3l/s zu 3fl/s). Die erzielte Effizienzsteigerung ist wiederum unabhängig von der Wärmepumpentechnologie.

Der grösste Vorteil durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems kann somit im unsanierten Zustand erreicht werden. Die durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems erzielbare Effizienzsteigerung der Wärmepumpe nimmt mit zunehmendem Sanierungsgrad ab. Die JAZ der Varianten mit Fussbodenheizung (f) ist aufgrund der um 5K tieferen Vorlauftemperatur im Vergleich zu den Niedertemperatur-Heizkörpern leicht höher.

Wird der Vergleich in Bezug auf die Wärmepumpentechnologie durchgeführt, zeigt sich ein deutlicher Effizienzvorteil der Sole/Wasser Wärmepumpe über alle Varianten.



Abbildung 24: Übersicht Jahreswirkungsgrad Raumwärmeerzeugung bestehend und mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

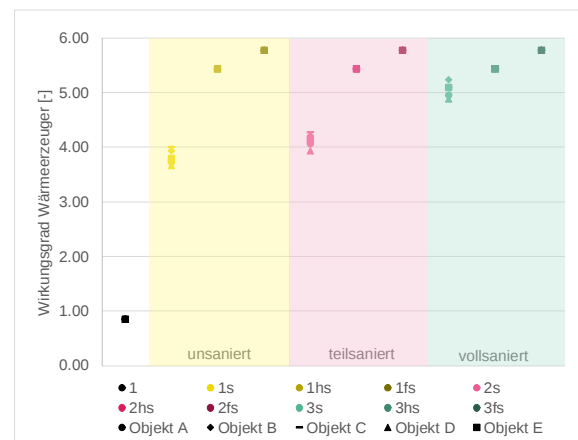


Abbildung 25: Übersicht Jahreswirkungsgrad Raumwärmeerzeugung bestehend und mit Sole/Wasser Wärmepumpe.

Als Basis für die Jahresarbeitszahlen wurde eine Studie der FH OST Buchs mit Messdaten von über 100 Einfamilienhäusern verwendet (vgl. Kap. 2.7.4). In der WP-Gap Studie [24], welche Daten für teilsanierte Mehrfamilienhäuser ausgewertet hat, liegen die Werte von teilsanierten Gebäuden und Neubauten mit Sole/Wasser Wärmepumpen und Fussbodenheizung (Vorlauftemp. 35-40°C) bei 2.9-4.8 und für Heizkörper (Vorlauftemp. 50-60°C) bei 2.6-3.9, jedoch inkl. Warmwasser. Ein möglicher Grund für die Abweichung ist der häufige Parallelbetrieb der Wärmepumpe zur Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme in Mehrfamilienhäusern. Der Vergleich liefert einen Hinweis darauf, dass die Effizienz der Wärmepumpen in der vorliegenden Studie tendenziell überschätzt wird. Weiter wirft sie die Frage auf, ob es möglicherweise sinnvoll wäre, in Mehrfamilienhäusern die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser über zwei getrennte Systeme oder eine Booster-Wärmepumpe auszuführen.



2.10.5 Spezifischer Endenergiebedarf

Der Jahreswirkungsgrad der Wärmeerzeugung wirkt sich direkt auf den spezifischen Endenergiebedarf der Objekte aus. Dies ist in Abbildung 26 für Luft/Wasser und in Abbildung 27 für Sole/Wasser Wärmepumpen ersichtlich. Die grösste Einsparung an Endenergie ist auf den Ersatz des Wärmeerzeugers (von Heizkessel auf Wärmepumpe, 1 zu 1l/s) zurückzuführen. Mit dieser Massnahme wird der Endenergiebedarf um ca. 60 % reduziert.

Nach dem Ersatz des Heizkessels durch eine Wärmepumpe kann der spezifische Endenergiebedarf durch die Teilsanierung der Gebäudehülle um 15-17% (1l/s zu 2l/s) reduziert werden. Eine Vollsanie- rung reduziert den spezifischen Endenergiebedarf um 56-61 % (1l/s zu 3l/s).

Durch den Einbau eines Niedertemperatur-Wärmeabgabesystems reduziert sich der spezifische Endenergiebedarf im unsanierten Zustand um 27-33% (1l/s zu 1hl/s) bzw. 33-39% (1l/s zu 1fl/s). Im teilsa- nierten Zustand werden Reduktionen um 22-28% (2l/s zu 2hl/s) bzw. 29-34% (2l/s zu 2fl/s) erreicht. Durch eine Vollsanie- rung reduziert sich das Reduktionspotenzial der Massnahme weiter auf 7-10 % (3l/s zu 3hl/s) bzw. 16-19% (3l/s zu 3fl/s).

Das relative Reduktionspotenzial im Falle eines Ersatzes des Wärmeabgabesystems ist im unsanier- ten Zustand am höchsten. Die relative Massnahmenwirkung nimmt mit steigendem Sanierungsgrad ab. Die Varianten mit Fussbodenheizung weisen durch die geringere Vorlauftemperatur leichte Vor- teile zu den Varianten mit Niedertemperatur-Heizkörpern auf. In Bezug auf die Wärmepumpentechno- logie zeigt sich wiederum ein Vorteil für die Sole/Wasser Wärmepumpe. Absolut lassen sich mit einer Vollsanie- rung inkl. Fussbodenheizung und Sole/Wasser Wärmepumpe die tiefsten Werte erreichen.

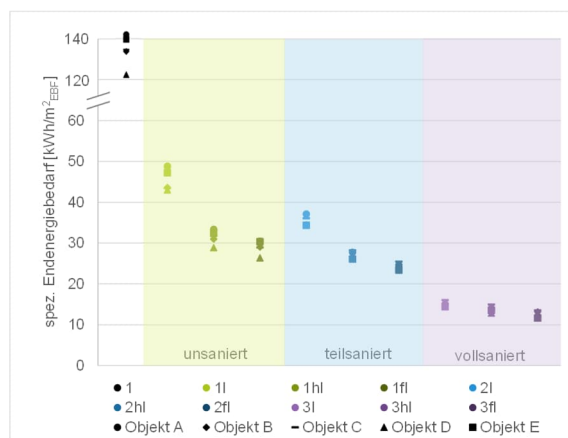


Abbildung 26: Übersicht spezifischer Endenergiebedarf bestehend und mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

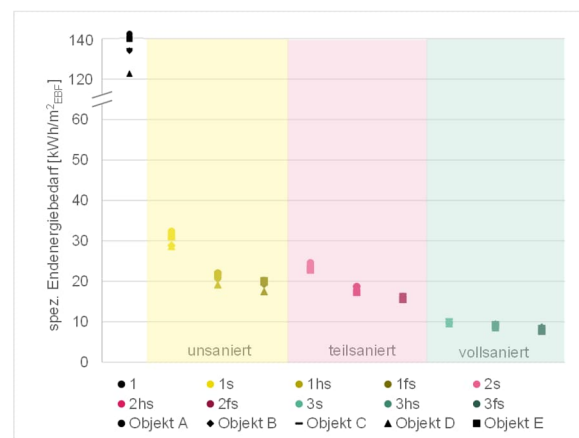


Abbildung 27: Übersicht spezifischer Endenergiebedarf bestehend und mit Sole/Wasser Wärmepumpe.



2.10.6 Coefficient of Performance (COP)

In Abbildung 28 und Abbildung 29 ist der COP pro Variante dargestellt. Zwischen den Varianten verhält es sich in Bezug auf die erreichbaren Effizienzsteigerungen ähnlich wie bei der JAZ.

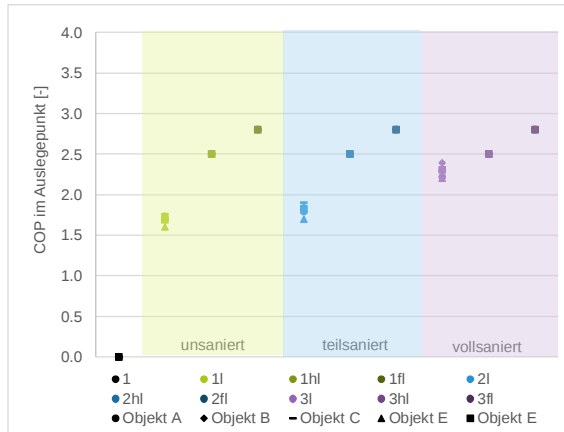


Abbildung 28: Übersicht COP im Auslegefall mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

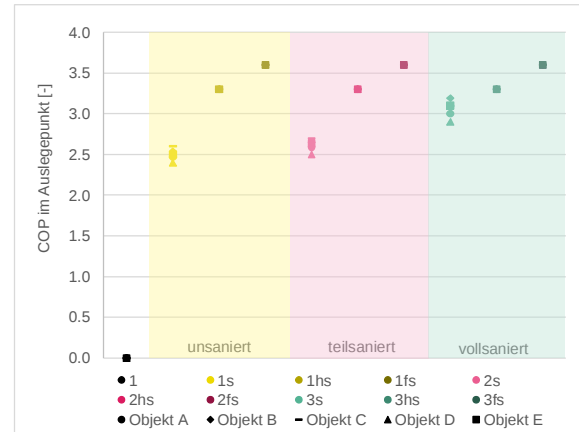


Abbildung 29: Übersicht COP im Auslegefall mit Sole/Wasser Wärmepumpe.



2.10.7 Spezifische elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpen

Als Folge des gesteigerten COP reduziert sich die elektrische Aufnahmeleistung der eingesetzten Wärmepumpe im Auslegefall. Dies ist in der Abbildung 30 und Abbildung 31 ersichtlich.

Durch eine Teilsanierung der Gebäudehülle lässt sich eine Reduktion der elektrischen Aufnahmeleistung der Wärmepumpe im Auslegepunkt um 14-17 % (1l zu 2l) bzw. 12-14 % (1s zu 2s) erreichen. Eine Vollsanierung führt zu einer Reduktion von 50-55 % (1l zu 3l) bzw. 47-49 % (1s zu 3s).

Im unsanierten Zustand kann durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems eine Reduktion der Aufnahmeleistung um 30-36 % (1l zu 1hl) bzw. 37-43 % (1l zu 1fs) für Luft/Wasser Wärmepumpe und 21%-27 % (1s zu 1hs) bzw. 28-33 % (1s zu 1fs) für die Sole/Wasser Wärmepumpe erreicht werden.

Im teilsanierten Zustand liegt das Reduktionspotenzial für Luft/Wasser Wärmepumpen bei 24-32 % (2l zu 2hl) bzw. 32-39 % (2l zu 2fl) und für Sole/Wasser Wärmepumpen bei 18-24 % (2s zu 2hs) bzw. 25-31 % (2s zu 2fs).

Durch eine vollständige Sanierung der Gebäudehülle kann die Aufnahmeleistung bei Luft/Wasser Wärmepumpen um weitere 8-12 % (3l zu 3hl) bzw. 18-31 % (3l zu 3fl) und für Sole/Wasser Wärmepumpen um 6-12 % (3s zu 3hs) bzw. 16-25 % (3s zu 3fs) reduziert werden.

Wie die untenstehenden Abbildungen zeigen, ist das relative Massnahmenpotenzial im unsanierten Zustand für Luft/Wasser Wärmepumpen am höchsten. Absolut werden mit einer Vollsanierung mit Fussbodenheizung und Sole/Wasser Wärmepumpe die tiefsten Werte erreicht.

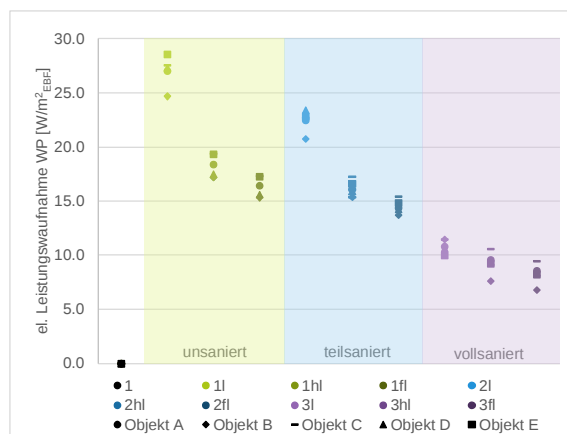


Abbildung 30: Übersicht elektrische Leistungsaufnahme der Luft/Wasser Wärmepumpe im Auslegefall.

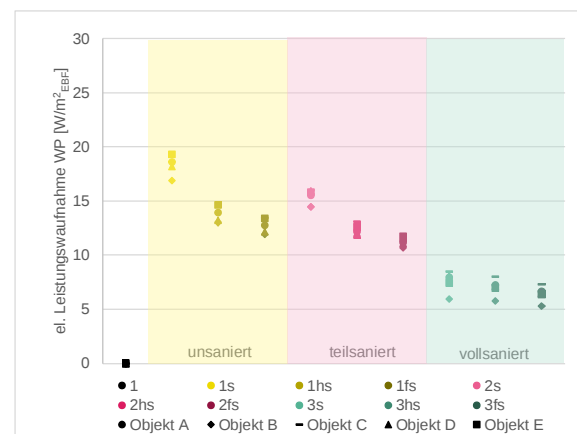


Abbildung 31: Übersicht elektrische Leistungsaufnahme der Sole/Wasser Wärmepumpe im Auslegefall.



2.10.8 Spezifische Brutto-Investitionskosten

Neben Daten zur Energieeffizienz wurden auch Kostenauswertungen durchgeführt. In Abbildung 32 und Abbildung 33 sind die spezifischen Brutto-Investitionskosten pro Quadratmeter Energiebezugsfläche dargestellt. Kostenreduzierende Faktoren wie Fördergelder, Steuerrabatte, Ohnehin Kosten (z.B. aufgrund altersbedingten Ersatzes) sind darin nicht berücksichtigt. Die detaillierten Investitionskosten, aufgeteilt nach Gebäude- und Haustechnik pro Objekt sind im Anhang II zu finden.

Durch eine Teilsanierung der Gebäudehülle steigen die spezifischen Investitionskosten um 190 bis 260 % (1l zu 2l) bzw. 230 bis 260 % (1s zu 2s) an. Für eine Vollsanierung liegt die Kostensteigerung bei bis 320-660 % (1l zu 3l) bzw. 320-520% (1s zu 3s).

Im unsanierten Fall steigen die Kosten durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems um 100-250 % (1l zu 1hl) bzw. 150-370 % (1l zu 1fl) für Luft/Wasser Wärmepumpen und 70-170 % (1s zu 1hs) bzw. 110-250 % (1s zu 1fs) für Sole/Wasser Wärmepumpen. Für die Teilsanierung steigen die Kosten durch ein neues Wärmeabgabesystem und einer Luft/Wasser Wärmepumpe um 30-60 % (2l zu 2hl) bzw. 50-100 % (2l zu 2fl). Für Sole/Wasser Wärmepumpen liegen die Werte bei 70-170 % (1s zu 1hs) bzw. 110-250 % (1s zu 1fs). Bei der Vollsanierung fallen die relativen Mehrkosten durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems mit 8-12 % (3l zu 3hl) bzw. 19-26 % (3l zu 3fl) bei Gebäuden mit Luft/Wasser Wärmepumpen und 8-12 % (3s zu 3hs) bzw. 18-26 % (3s zu 3fs) aufgrund der absolut hohen Investitionskosten vergleichsweise gering aus. Der Kostenvorteil der Varianten xhx (Ersatz Wärmeabgabesystem durch Heizkörper) ergibt sich hauptsächlich durch den, bei den Varianten xfx (Ersatz Wärmeabgabesystem durch Fussbodenheizung) zusätzlich notwendigen Bodenbelag.

Über alle Varianten zeigt sich zudem, dass die spezifischen Kosten für grosse Objekte (Objekt E, 8'800 m²) in der Regel tiefer liegen als für kleine Objekte (Objekt B, 350 m²). Die absolut tiefsten Kosten werden im unsanierten Zustand mit Luft/Wasser Wärmepumpe erreicht.

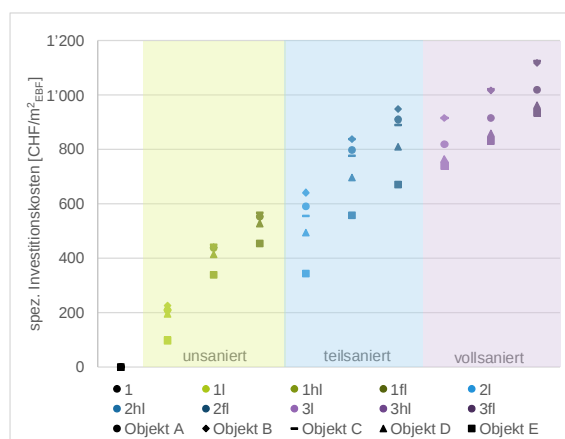


Abbildung 32: Übersicht spezifische Brutto-Investitionskosten mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

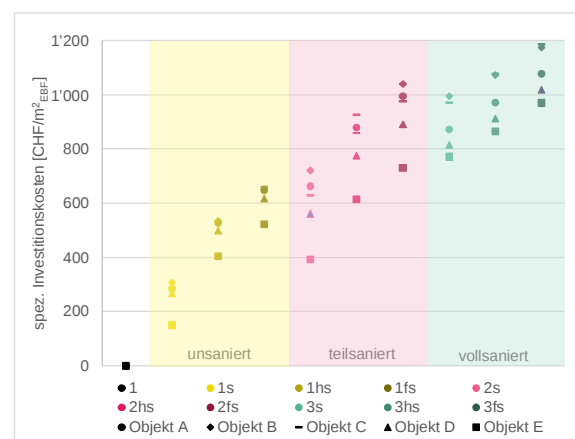


Abbildung 33: Übersicht spezifische Brutto-Investitionskosten mit Sole/Wasser Wärmepumpe.



2.10.9 Spezifische Jahreskosten

In Abbildung 34 und Abbildung 35 sind die spezifischen Jahreskosten abgebildet. Sie setzen sich zusammen aus den Kapital-, Betriebs-, und Unterhaltskosten. Die detaillierte Auswertung pro Objekt befindet sich im Anhang III. Für die Variante 1 sind nur die Betriebskosten abgebildet.

Eine energetische Teilsanierung hat eine Kostensteigerung von 51-66 % (1l zu 2l) bzw. 66-71 % (1s zu 2s) zur Folge. Bei einer Vollsanierung liegt sie bei 100-133 % (1l zu 3l) bzw. 112-169 % (1s zu 3s).

Im unsanierten Zustand führt der Einbau von einem Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem zu einer Kostensteigerung von 30-48 % (1l zu 1hl) bzw. 51-77 % (1l zu 1fl) im Falle von Luft/Wasser Wärmepumpen und 37-67 % (1s zu 1hs) bzw. 60-104 % (1s zu 1fs) bei Sole/Wasser Wärmepumpen. Bei einer Teilsanierung mit Luft/Wasser Wärmepumpe steigen die Kosten um 19-32 % (2l zu 2hl) bzw. 30-51 % (2l zu 2fl). Bei einer Sole/Wasser Wärmepumpe sind es 21-38 % (2s zu 2hs) bzw. 34-59 % (2s zu 2fs). Im Falle einer Vollsanierung liegen die Werte bei 7-10 % (3l zu 3hl) bzw. 16-22 % (3l zu 3fl) für Objekte mit Luft/Wasser Wärmepumpe und bei 7-11 % (3s zu 3hs) bzw. 17-23 % (3s zu 3fs) für Sole/Wasser Wärmepumpen.

Insgesamt steigen die Jahreskosten mit zunehmendem Sanierungsgrad der Gebäudehülle und Integration neuer Wärmeabgabesysteme an.

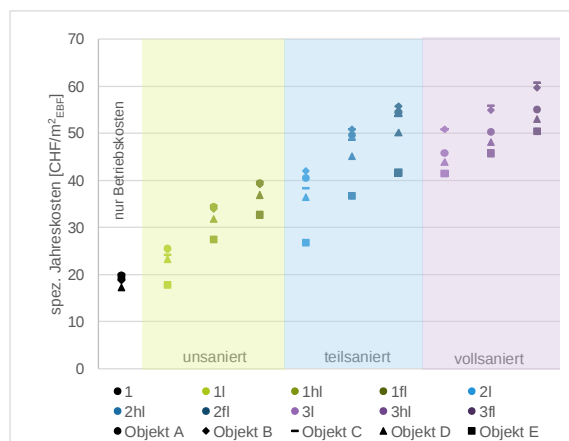


Abbildung 34: Übersicht spezifische Jahreskosten mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

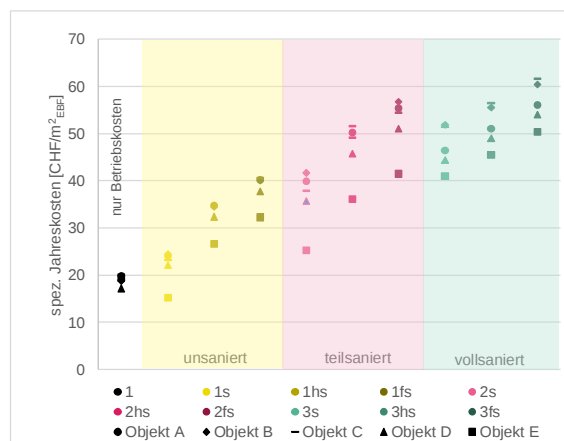


Abbildung 35: Übersicht spezifische Jahreskosten mit Sole/Wasser Wärmepumpe.



2.10.10 Spezifische Treibhausgasemissionen

Ergänzend zu den energetischen und ökonomischen Aspekten wurden die Treibhausgasemissionen für Erstellung und Betrieb pro Quadratmeter Energiebezugsfläche als ökologische Kennzahl ausgewertet. Die Resultate sind in Abbildung 36 und Abbildung 37 dargestellt. Eine detaillierte Auswertung pro Objekt und aufgeteilt nach Erstellung und Betrieb befindet sich im Anhang III.

Die grösste Reduktion wird mit 85-90 % (1 zu 1l/s) durch den Ersatz des fossilen Heizkessels erlangt. Durch eine Teilsanierung des Gebäudes werden die Emissionen um 0-18 % (1l zu 2l) bzw. 6-12 % (1s zu 2s) gesenkt, bzw. in einigen Fällen (Objekt C) auch erhöht. Wird eine Vollsanierung umgesetzt, reduzieren sich die THG-Emissionen um 32-48 % (1l zu 3l) bzw. 19-36 % (1s zu 3s).

Der Ersatz des Wärmeabgabesystems führt im unsanierten Zustand zu einer Reduktion der THG-Emissionen von 19-23 % (1l zu 1h/fl) Luft/Wasser Wärmepumpe. Die Werte für 1hl und 1fl sind quasi identisch, da der Effizienzgewinn der Wärmepumpe durch die tiefere Vorlauftemperatur bei der Fussbodenheizung (1fl) durch die Mehremissionen für die Erstellung der Fussbodenheizung inkl. Deckbelag kompensiert werden. Im Falle einer Sole/Wasser Wärmepumpe reduzieren sich die THG-Emissionen im unsanierten Zustand um 13-17 % (1s zu 1hs) bzw. 11-14 % (1s zu 1fs). In diesem Fall zeigt sich im Vergleich zur Variante mit den Heizkörpern (1hs) ein geringeres Reduktionspotenzial. Wird das betrachtete Gebäude einer Vollsanierung unterzogen, wirkt sich der Ersatz des Wärmeabgabesystems insgesamt kontraproduktiv aus. Die Massnahme führt zu einer Erhöhung der THG-Emissionen um 5-6 % (3l zu 3hl) bzw. 8-9 % (3l zu 3fl) bei Luft/Wasser Wärmepumpe und 7-9 % (3s zu 3hs) bzw. 13-15 % (3s zu 3fs) für Sole/Wasser Wärmepumpen.

Insgesamt wird die grösste Reduktion der THG-Emissionen durch den Ersatz des Wärmeerzeugers erzielt. Die weiteren Massnahmen führen im Vergleich nur zu einer geringfügigen Verbesserung.

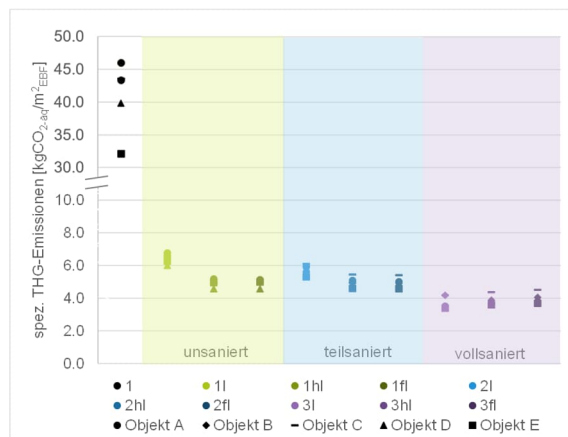


Abbildung 36: Übersicht spezifische THG-Emissionen mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

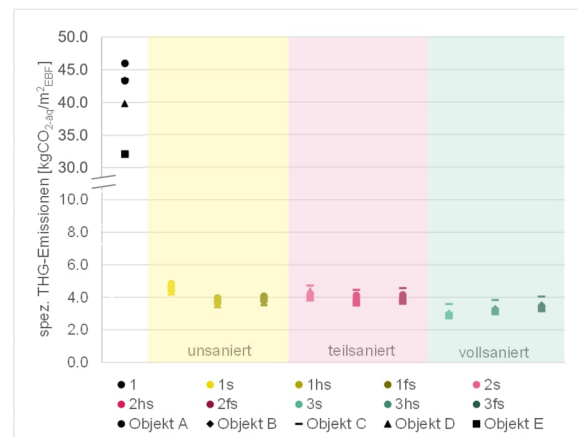


Abbildung 37: Übersicht spezifische THG-Emissionen mit Sole/Wasser Wärmepumpe.



2.10.11 Spezifische THG-Emissionen vs. spezifische Jahreskosten

Bis anhin wurden die einzelnen Kennzahlen unabhängig voneinander betrachtet. Dabei gibt es teilweise gegenläufige Entwicklungen, was eine Interpretation der Daten erschwert. Aus diesem Grund wurden die THG-Emissionen und die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe im Auslegungspunkt, als wichtigste Kennzahlen der vorliegenden Studie, den spezifischen Jahreskosten gegenübergestellt.

Durch diese Darstellung ist es möglich, eine sogenannte Pareto-Front zu bilden. Diese wird durch diejenigen Massnahmen gebildet, welche den bestmöglichen Kompromiss zwischen den vorliegenden Zielkonflikten bildet. Im vorliegenden Fall sind es die tiefst möglichen spezifischen THG-Emissionen bzw. elektrische Leistungsaufnahme bei den entsprechend tiefst möglichen spezifischen Jahreskosten. Somit ist eine Lösung, welche über der Pareto-Front liegt, im Vergleich zu denjenigen auf der Pareto-Front nicht kosteneffizient.

In den Abbildung 38 und Abbildung 39 ist die Pareto-Front für die spezifischen THG-Emissionen und spezifischen Jahreskosten dargestellt. Abbildung 38 zeigt die Auswertung für Luft/Wasser und Abbildung 39 für Sole/Wasser Wärmepumpen. Die Pareto-Front wird in diesem Fall von den Varianten 1l/s, der Variante 1hl/s und der Variante 3l/s gebildet. Alle anderen befinden sich oberhalb der Pareto-Front und sind entsprechend nicht kosteneffizient. Eine Ausnahme ist Objekt E. Aufgrund der grossen Energiebezugsfläche und der Geometrie des Gebäudes, liegen die Varianten 1hl und 2l bzw. 1hs und 2s sehr nahe beisammen. Für eine definitive Beurteilung ist eine differenzierte Betrachtung der Situation notwendig.

Beim Vergleich der beiden Grafiken fällt zudem auf, dass die Pareto-Front im Falle einer Sole/Wasser Wärmepumpe deutlich flacher liegt. Dies ist auf die höhere Effizienz der Sole/Wasser Wärmepumpe zurückzuführen.

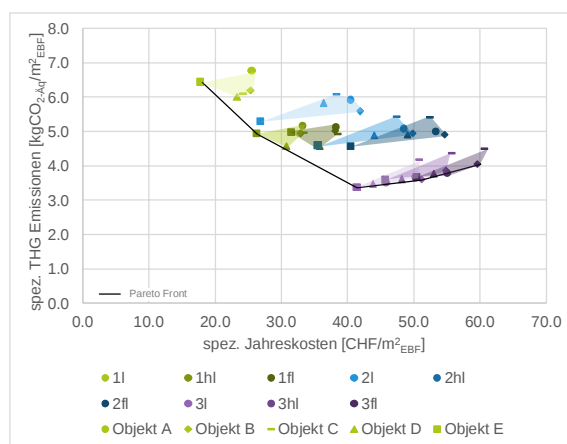


Abbildung 38: Übersicht spez. THG-Emissionen vs. spez. Jahreskosten für Gebäude mit Luft/Wasser Wärmepumpe.

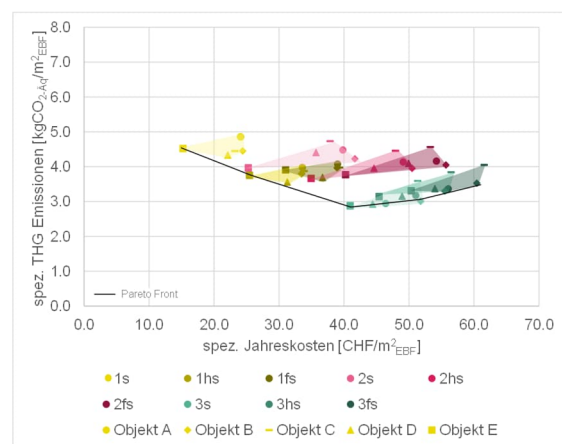


Abbildung 39: Übersicht spez. THG-Emissionen vs. spez. Jahreskosten für Gebäude mit Sole/Wasser Wärmepumpe.



2.10.12 Sensitivitätsanalysen spezifische THG-Emissionen vs. spezifische Jahreskosten

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden für verschiedenste Faktoren Abschätzungen vorgenommen. Obwohl dies nach bestem Wissen und Gewissen der Autoren erfolgte, können Fehleinschätzungen nicht ausgeschlossen werden. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden daher die Resultate bezüglich ihrer Anfälligkeit auf veränderte Werte untersucht. Im Fokus stehen dabei insbesondere die Form und Lage der Pareto-Front sowie die Lage der einzelnen Massnahmen zueinander. In den nachfolgenden Grafiken werden die Resultate bezüglich verschiedener Einflussfaktoren geprüft.

Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigen den Einfluss des Strommixes auf die Lage der Pareto-Front. Als Standard wurde der CH-Verbrauchermix mit einer THG-Intensität von 125 g/kWh angenommen. Die Auswertungen zeigen, dass die Pareto-Front ab einer THG-Intensität des Strommixes von ca. 54g (CH-Lieferantenmix HKN, gestrichelte Linie) zu kippen beginnt (Luft/Wasser) bzw. bereits gekippt ist (Sole/Wasser). Ab diesem Punkt wirken sich zusätzliche Massnahmen, wie die energetische Sanierung der Gebäudehülle oder auch der Ersatz des Wärmeabgabesystems, in Bezug auf die THG-Emissionen negativ aus. Wird die THG-Intensität des Stromproduktes weitere reduziert (Mix-Stromprodukte ee, 16 gCO₂-Äq/kWh, gepunktete Linie) kippt die Pareto-Front vollends.

Es muss angemerkt werden, dass die THG-Intensität ganzjährig als konstant angenommen wurde, obwohl diese in der Realität saisonalen Schwankungen unterliegen. Gemäss einer Studie des Amt für Hochbauten der Stadt Zürich [33] führt ein jährlicher Emissionsfaktor im Vergleich zu monatlich aufgelösten Faktoren zu einer Unterschätzung der Treibhausgasemissionen von Wärmepumpenanlagen von 30-70%. Dies liegt am höheren Anteil fossiler Energieträger im Strommix im Winterhalbjahr im Vergleich zum Jahresdurchschnitt.

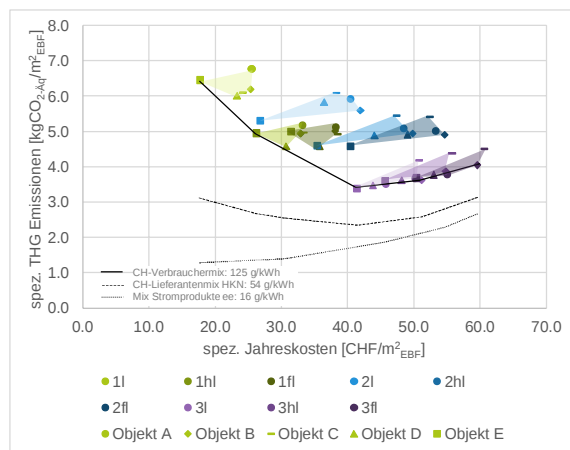


Abbildung 40: Übersicht Einfluss Strommix auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.

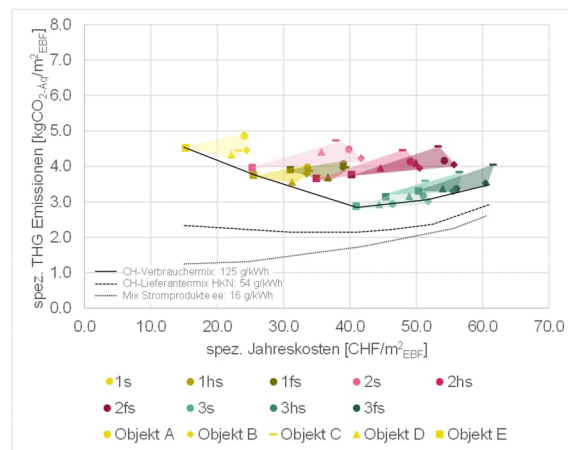


Abbildung 41: Übersicht Einfluss Strommix auf Pareto-Front für Sole/Wasser Wärmepumpen.



In den vergangenen Jahren waren die Strompreise starken Schwankungen unterworfen. Entsprechend gross sind die Unsicherheiten in Bezug auf den in der Studie angenommenen Energiepreis von 25 Rp./kWh. Um die Stabilität der Pareto-Front bezüglich dieses Faktors zu prüfen, wurde eine Auswertung mit einem um $\pm 25\%$ schwankenden Energiepreis durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 42 und Abbildung 43 ersichtlich. Es zeigt sich, dass vor allem bei den weniger energieeffizienten Varianten, sei es aufgrund der Wärmepumpentechnologie oder höheren Vorlauftemperaturen, eine grössere Instabilität vorliegt. Energieeffiziente Systeme erhöhen somit die Resilienz in Bezug auf die Betriebskosten. Die Lage und Form der Pareto-Front werden jedoch nicht grundlegend verändert.

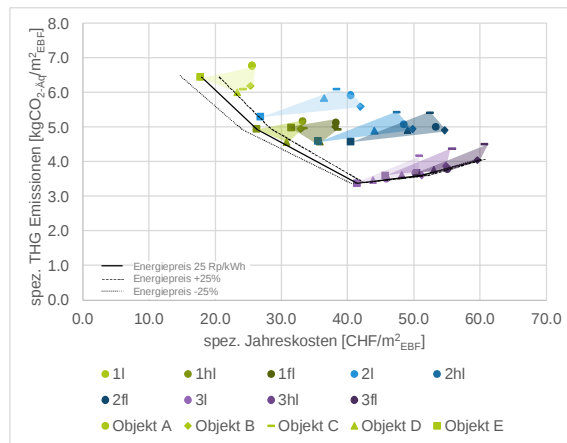


Abbildung 42: Übersicht Einfluss Stromkosten auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.

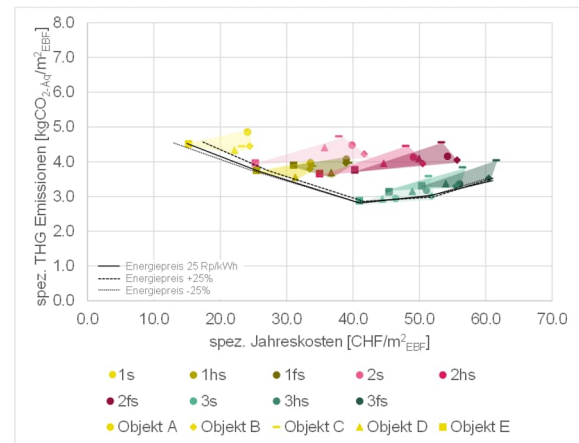


Abbildung 43: Übersicht Einfluss Stromkosten auf Pareto-Front für Sole/Wasser Wärmepumpen.

Abbildung 44 und Abbildung 45 zeigen den Einfluss auf die Pareto-Front bei einer Veränderung des Dämmmaterials der Fassade. Die Standardvariante wurde mit Steinwolle berechnet. Als Sensitivität wurde die Betrachtung mit EPS und einem fiktiven Dämmmaterial (Zero THG) mit einer CO₂-Intensität von 0 g/kg durchgeführt. Da die Fassade nur in Variante 3xx gedämmt wird, wirkt sich die Sensitivität nur auf diese Varianten aus. Im Falle von EPS zeigt sich insgesamt eine leichte Zunahme der THG-Emissionen. Der Einsatz vom Zero THG Material führt zu einer Reduktion der spezifischen THG-Emissionen.

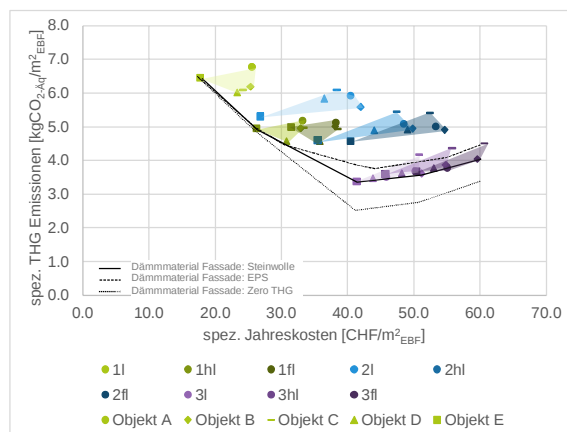


Abbildung 44: Übersicht Einfluss Dämmmaterial Fassade auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.

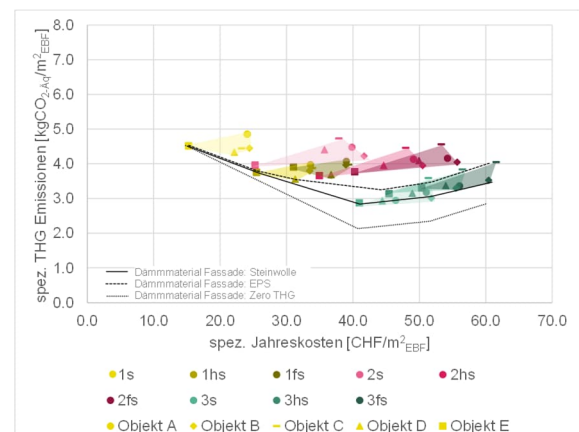


Abbildung 45: Übersicht Einfluss Dämmmaterial Fassade auf Pareto-Front für Sole/Wasser Wärmepumpen.



Eine weitere Unsicherheit besteht in Bezug auf die Kosten des Niedertemperatur-Wärmeabgabesystems. Entsprechend wurden dafür eine Sensitivität für eine Kostenungenauigkeit von ± 25 durchgeführt. Die Resultate sind in Abbildung 46 und Abbildung 47 abgebildet. Bei den Varianten mit Luft/Wasser Wärmepumpe zeigt sich insbesondere bei den Varianten 1h/fl ein Einfluss. Bei den Varianten 3h/fl ergibt sich eine geringfügige horizontale Verschiebung, die in der Grafik jedoch nur schlecht erkennbar ist. Bei Varianten mit Sole/Wasser Wärmepumpe sind die Auswirkungen vergleichbar. Eine massgebliche Veränderung der Form oder Lage der Pareto-Front ergibt sich nicht.

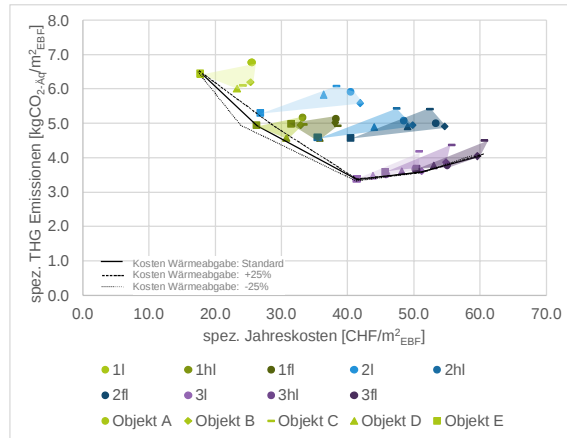


Abbildung 46: Übersicht Einfluss Kosten Wärmeabgabe auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.

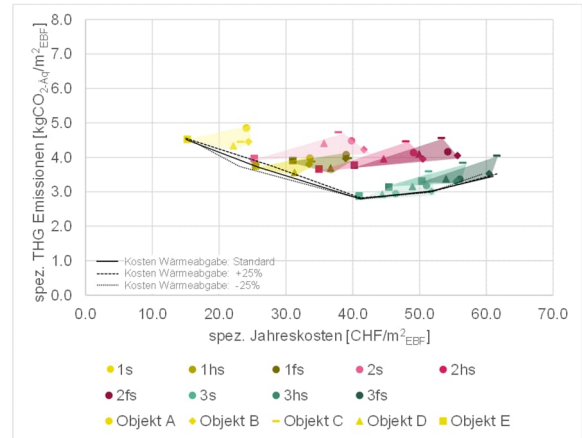


Abbildung 47: Übersicht Einfluss Kosten Wärmeabgabe auf Pareto-Front für Sole/Wasser Wärmepumpen.



In Bezug auf die Gebäudehülle stellen die Kosten für die Sanierungsmassnahmen eine grössere Unsicherheit dar. Die Erfahrung der Autoren zeigt, dass Kostenkennzahlen, beispielsweise von GEAK oder Inspire zu tief greifen, weil sie nicht sämtliche Arbeiten, welche aufgrund der Sanierung notwendig werden abdecken. Typischerweise z.B. zusätzlich notwendige Anschlussarbeiten (Spengler) oder Umgebungsarbeiten zur Wiederinstandsetzung des Gartens. Aus diesem Grund wurden für die vorliegende Studie eigene Kostenerhebungen durchgeführt (vgl. Kap. 2.9.1). Die Auswertungen sind in Abbildung 48 und Abbildung 49 ersichtlich.

Durch das Einsetzen der Kostenkennzahlen von GEAK/Inspire werden die Varianten mit einer Vollsanierung der Gebäudehülle deutlich kosteneffizienter. Die Form der Pareto-Front wird deutlich verändert. Wie obenstehend bereits erwähnt, bildet dies aus Sicht der Autoren jedoch eine unrealistische Situation ab. Es zeigt sich jedoch, dass die Durchführung einer umfangreicheren Studie zur Erhebung von realen Kostenkennzahlen zur Sanierung der Gebäudehülle durchaus als sinnvoll erachtet werden kann. Damit könnten die Kostenkennzahlen in den verschiedenen Tools angepasst und die Endkunden vor unerfreulichen Kostenanpassungen in späteren Planungsphasen bewahrt werden.

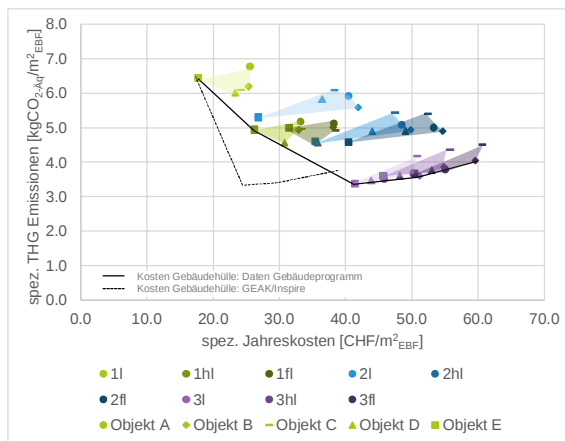


Abbildung 48: Übersicht Einfluss Kosten Gebäudehülle auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.

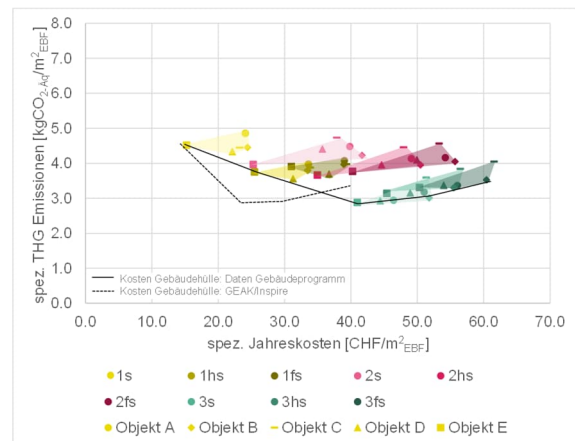


Abbildung 49: Übersicht Einfluss Kosten Gebäudehülle auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.



2.10.13 Spezifische Leistungsaufnahme Wärmepumpe vs. spezifische Jahreskosten

Neben dem Aspekt der THG-Emissionen ist die Aufnahmeleistung der Wärmepumpe im Auslegungspunkt eine wichtige Kenngrösse. Dies vor allem in Bezug auf den Umfang des zukünftig notwendigen Netzaufbaus aufgrund der starken Elektrifizierung verschiedener Sektoren (Mobilität, Industrie, Gebäude). Die Resultate dazu sind in Abbildung 50 und Abbildung 51 ersichtlich.

Die Pareto-Front zeigt ein ähnliches Bild wie bei den THG-Emissionen. Sie wird durch dieselben Varianten begründet wie die Pareto-Front der THG-Emissionen. Entsprechend können kostengünstige Massnahmen, wie der Ersatz des Wärmeabgabesystems im unsanierten Zustand (1h), den Leistungsbedarf deutlich senken, vermögen aber nicht die absoluten Werte zu erreichen wie im Falle einer Vollsanierung. Auch hier entfallen die Varianten 2xx als kostenineffizient, mit Ausnahme von Objekt E wo es einer detaillierteren Betrachtung bedarf.

In Bezug auf die Sensitivität der Kosten gelten dieselben Einflussfaktoren wie bei den THG-Emissionen. Entsprechend ist auch der Umfang der Einflüsse identisch. Eine weitere Sensitivität ergibt sich durch die Effizienz der Wärmeerzeugers. Diese lässt sich aus einem Vergleich der Pareto-Fronten der Varianten mit Luft/Wasser bzw. Sole/Wasser Wärmepumpen ableiten. Es ist sichtbar, dass eine Steigerung der Energieeffizienz der Wärmepumpe zu einer Abflachung der Pareto Front führt. Dies zugunsten der Varianten mit unsanierter Gebäudehülle und einem Ersatz des Wärmeabgabesystems. Die absolut niedrigsten Aufnahmeleistungen werden jedoch weiterhin mit den vollsanierten Varianten erreicht.

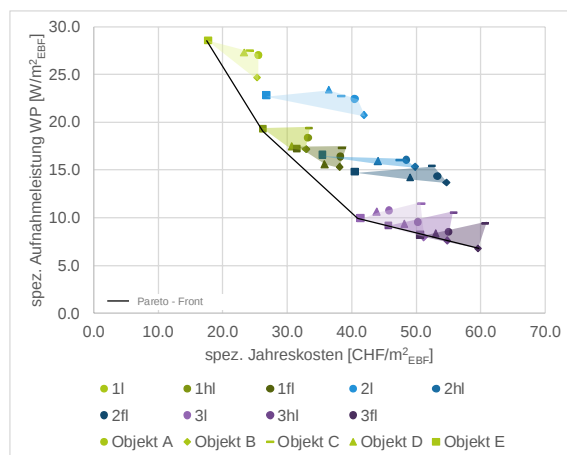


Abbildung 50: Übersicht spez. Aufnahmeleistung Luft/Wasser Wärmepumpe vs. spez. Jahreskosten.

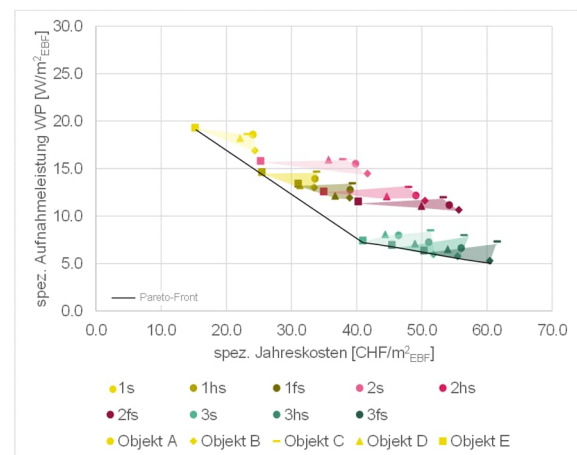


Abbildung 51: Übersicht spez. Aufnahmeleistung Sole/Wasser Wärmepumpe vs. spez. Jahreskosten.



2.10.14 Sensitivitätsanalyse Spezifische Leistungsaufnahme WP vs. spezifische Jahreskosten

Im Rahmen des Arbeitspaket 1 wurde die Heizleistung der betrachteten Objekte mit Hilfe der Simulationssoftware IDA ICE berechnet (vgl. Kap. 2.6.3). In der Berechnung werden keine interne und externe Wärmelasten berücksichtigt, was im Vergleich zur Realität zu einer zu hohen Heizleistung und zu überdimensionierten Wärmeerzeugungsanlagen führt.

In der Studie OptiPower [32] wurde die nach SIA-Norm berechnete und die am Realobjekt gemessenen Heizleistung verglichen. Basierend darauf wurde eine Funktion zur Abschätzung der spezifischen Heizleistung in Abhängigkeit des spezifischen Heizwärmeverbrauchs ermittelt. Für die Sensitivitätsanalyse wurde diese Funktion auf die Daten der fünf untersuchten Objekte angewandt und mittels des COP im Auslegungspunkt die spezifische elektrische Aufnahmeleistung der Wärmepumpe hergeleitet. Die Ergebnisse sind als eine Verschiebung der Parto-Front in Abbildung 52 und Abbildung 53 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Berechnung nach Norm insbesondere im unsanierten Zustand (Varianten 1xx) zu einer um 20-25 % überhöhten elektrischen Leistungsaufnahme führt. Die relative Abweichung zwischen Simulationswerten und Herleitung nach OptiPower nimmt mit zunehmendem Sanierungsgrad ab und liegt bei der Vollsanierung (Varianten 3xx) im Bereich von 10-15%. Um diesen Sachverhalt im weiteren Verlauf der Studie zu berücksichtigen, wurde die Heizleistung für die Auswertungen im Arbeitspaket 2 mit der Funktion aus OptiPower hergeleitet (vgl. Kap. 3.3).

Die Sensitivitätsanalyse weist darauf hin, dass es sich im Rahmen von Heizungssanierungen empfiehlt, die effektive Heizleistung zu messen anstelle nach Norm zu berechnen, bzw. dass die Berechnung nach Norm einer Überarbeitung Bedarf.

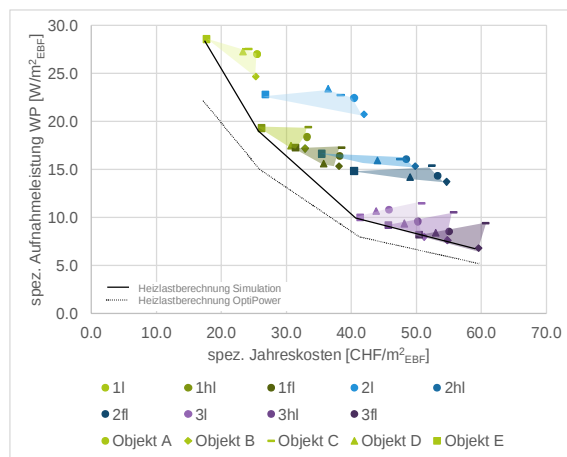


Abbildung 52: Übersicht Heizlastberechnung auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.

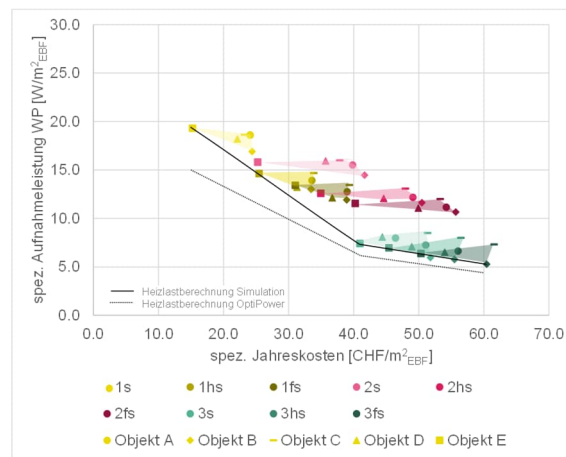


Abbildung 53: Übersicht Heizlastberechnung auf Pareto-Front für Luft/Wasser Wärmepumpen.



2.10.15 Diskussion Resultate

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Ersatz des bestehenden Wärmeabgabesystems durch einen Niedertemperatur-Heizkörper in allen Fällen, ausser bei Objekt E, wo aufgrund der sehr nahe beieinander liegenden Resultate eine differenzierte Betrachtung notwendig ist, eine kosteneffiziente Massnahme zur Reduktion der THG-Emissionen und der elektrischen Aufnahmeleistung der Wärmepumpe darstellt. Eine weitere Reduktion ist nur durch eine Vollsanierung möglich.

In Bezug auf das Massnahmenpotenzial zur Reduktion der CO₂-Emissionen zeigt sich der reine Ersatz der fossilen Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe mit einem Reduktionspotenzial von 85-90 % jedoch als kosteneffizienteste Massnahme. In Anbetracht der aktuell geltenden rechtlichen Vorgaben der Kantone zu den Energiekennzahlen, welche sich lediglich auf Vorgaben zum spezifischen Heizwärmebedarf stützen, wäre es daher wünschenswert, wenn diese durch eine Vorgabe zur spezifischen CO₂-Emission pro Quadratmeter Energiebezugsfläche für den Betrieb und die Erstellung ergänzt werden würden.

Aus den Resultaten ist ersichtlich, dass die grösste Instabilität in den Resultaten durch den eingesetzten Faktor für die CO₂-Intensität des Strommixes verursacht wird. Andere Faktoren wie Energiepreise, Kosten für Wärmeabgabesysteme und Gebäudehülle vermögen die Pareto-Front zu verlagern, jedoch nicht massgebend zu verändern. Die CO₂-Intensität des eingesetzten Stromproduktes vermag die THG-Emissionen eines Gebäudes auch deutlich mehr zu beeinflussen als die energetische Sanierung der gesamten Gebäudehülle. Dies selbst dann, wenn Dämmmaterialien mit einem THG-Emissionswert von 0 g/kg eingesetzt werden. Dies ist insofern interessant, als dass die Bereitstellung von erneuerbarer Energie aus Sonnen-, Wind- oder Wasserkraft mit einer tiefen CO₂-Intensität heute in vielen Fällen einen wirtschaftlichen Business Case darstellt. Hingegen lässt sich eine energetische Sanierung der gesamten Gebäudehülle rein ökonomisch in einer einfachen Betrachtung nur schwer begründen.

Eine ähnliche Fragestellung wie die vorliegende Studie untersucht das laufende Projekt T-DROP. Im Rahmen der Studie werden optimale Kombinationen von gezielter Renovierung der Gebäudehülle und einer technischen Optimierung des Wärmeverteils- und Abgabesystems zur Absenkung der Vorlauftemperaturen gesucht. Unter anderem wird auch der Ersatz des Wärmeabgabesystems als Massnahme untersucht. Neben einem Komplettersatz, wie er in der vorliegenden Studie vorgeschlagen wurde, wird auch nur der Ersatz einzelner Heizkörper in kritischen Räumen untersucht [34]. Dies ist kostengünstiger als ein Komplettersatz. Der teilweise Ersatz von Heizkörpern in kritischen Räumen wurde auch in der LICS Studie als kosteneffiziente Lösung vorgeschlagen [35].

Eine weitere Studie untersuchte diese Lösung an einem konkreten Objekt. Im Rahmen der Studie wurden 7% der Heizkörper durch Niedertemperatur-Heizkörper ersetzt. Durch die Massnahme konnte die Vorlauftemperatur von 75°C auf 55°C reduziert werden. Der Endenergiebedarf der Wärmepumpe reduzierte sich dabei um 40% [36]. Das Beispiel zeigt auf, dass sich mit einem Ersatz von einzelnen Heizkörpern in kritischen Räumen bereits beträchtliche Absenkungen der Vorlauftemperatur erreichen lassen. Im Falle eines Ersatzes sämtlicher Abgabesysteme lässt sich die Temperatur jedoch auf ein Niveau reduzieren, dass mit einem punktuellen Ersatz nicht möglich ist. Wo das Optimum bezüglich Kosten-, Energie-, und THG-Emissionen liegt wurde im Rahmen der vorliegenden Studie nicht evaluiert.



3 Arbeitspaket 2: Gebäudepark Schweiz

3.1 Übersicht Varianten und Methode

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes wurden die objektspezifischen Betrachtungen aus dem Arbeitspaket 1 auf den gesamtschweizerischen Gebäudepark hochskaliert. Das Vorgehen dazu ist in Abbildung 54 dargestellt und nachfolgend erläutert. In den Folgekapiteln werden die einzelnen Punkte im Detail erklärt. Die Nummern im Ablaufschema korrespondieren mit den jeweiligen Kapiteln.

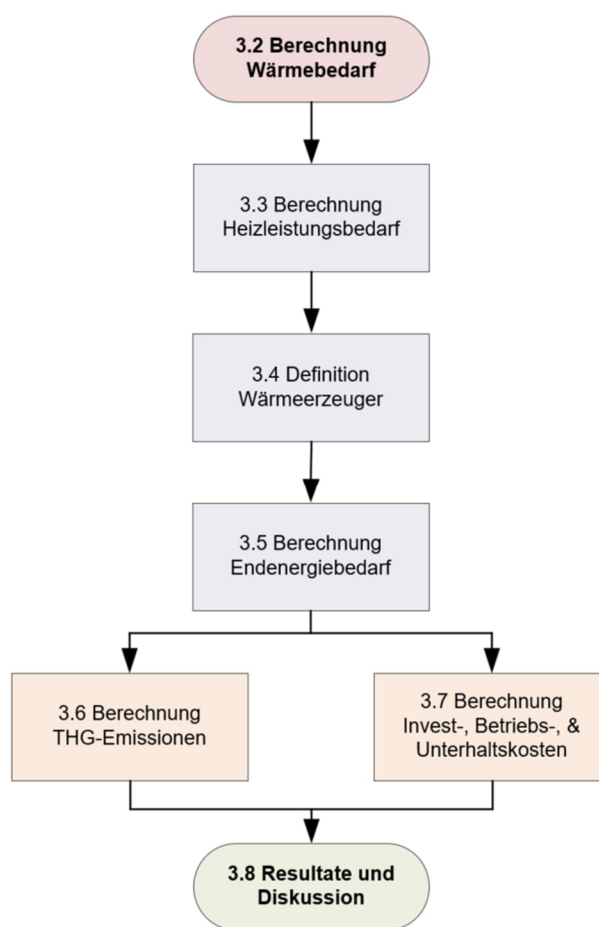


Abbildung 54: Übersicht Methode Arbeitspaket 2

Zu Beginn des Prozesses wurde für alle Ein- und Mehrfamilienhäuser der Schweiz der Wärmebedarf (Kap. 3.2) berechnet und daraus der Heizleistungsbedarf (Kap. 3.3) abgeleitet. Basierend auf der Wärmeerzeugertechnologie (Kap. 0) wurde der Endenergiebedarf (Kap. 3.5) berechnet. Diese Daten dienten als Grundlage für die Berechnung der Treibhausgas-Emissionen für Erstellung und Betrieb (Kap. 3.6), sowie der Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten (Kap. 3.7). Abschliessend wurden die Resultate grafisch ausgewertet, interpretiert und diskutiert (Kap. 3.8).



Das Vorgehen wurde auf die in Tabelle 20 aufgezeigten Varianten angewandt. Je nach Variante wurde das Vorgehen innerhalb des Prozessablaufs leicht variiert. Dies ist in den jeweiligen Kapiteln beschrieben.

Im Vergleich zu den Varianten aus Arbeitspaket 1, findet keine Unterscheidung zwischen Niedertemperaturheizkörper und Fussbodenheizung (n = Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem) sowie der Wärmepumpentechnologie (wp = Wärmepumpe) statt (Tabelle 20). Basierend auf den Resultaten aus Arbeitspaket 1 wurde auf Varianten mit einer Teilsanierung der Gebäudehülle verzichtet, da dies keine kosteneffiziente Lösung darstellt. Dies gilt auch für die Varianten mit einem Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem im vollsanierten Zustand.

Tabelle 20: Übersicht Varianten Gebäudepark Schweiz

Gebäudehülle	Wärmeabgabe	Bestehende Wärmeerzeugung	Wärmepumpe
Ist-Zustand	Bestehend	0	1wp
	Niedertemperatur Wärmeabgabesystem		1nwp
vollständige Sanierung	Bestehend		3wp

3.2 Berechnung Wärmebedarf

Zur Berechnung des Wärmebedarfs am Wärmeerzeuger für den Schweizer Wohngebäudeparks wurde in einem ersten Schritt aus den Daten des Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) und Gebäude- und Wohnungsstatistik (GWS) die Energiebezugsfläche pro Gebäude ermittelt. Wo diese nicht bekannt waren, wurde sie gemäss dem Vorgehen in [37] hergeleitet. Bei der Betrachtung wurden nur Ein- und Mehrfamilienhäuser (GKATS 1021,1025) berücksichtigt. Der Datensatz umfasst 1'785'321 Gebäude mit einer Energiebezugsfläche von 469 Mio. m².

3.2.1 Variante 0, 1wp, 1nwp

Als Grundlage zur Berechnung des Heizwärmebedarf der Varianten 0, 1wp und 1nwp wurden die kantonsspezifischen Kennzahlen von aus dem Gebäudeparkmodell in Abhängigkeit der Bauperiode und aufgeteilt nach Ein- oder Mehrfamilienhaus eingesetzt [38]. Diese sind in den untenstehenden Abbildungen dargestellt. Die Verteil- und Speicherverluste wurden mit 3 % für EFH und 5 % für MFH berücksichtigt. Durch eine Multiplikation der Energiebezugsfläche mit dem entsprechenden spezifischen Heizwärmebedarf und der Berücksichtigung der Verteil- und Speicherverluste ergibt sich der Wärmebedarf am Wärmeerzeuger für die ausgewählten Objekte.

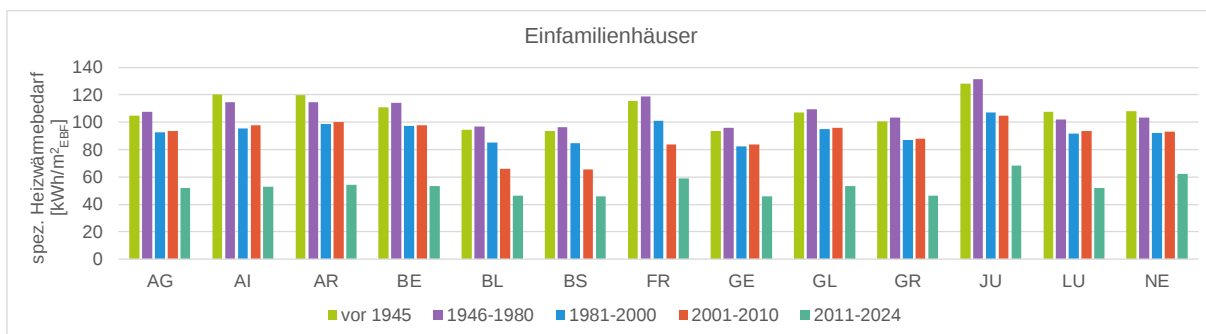


Abbildung 55: Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf pro Kanton und Bauperiode für Einfamilienhäuser 1 [38].

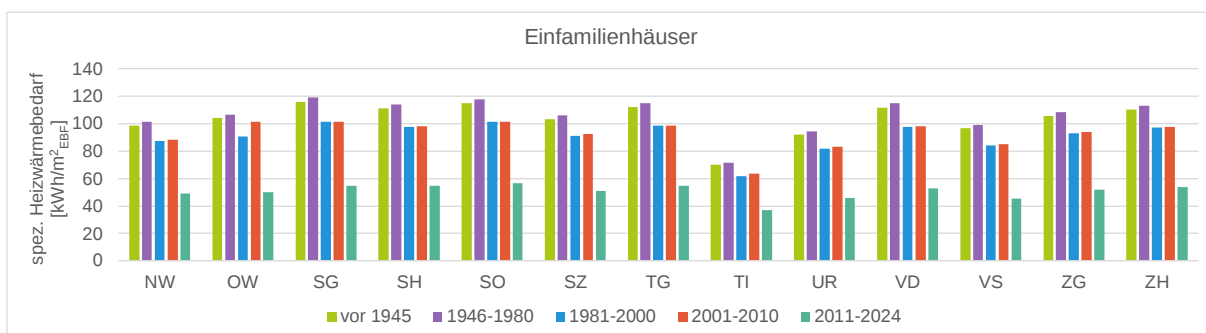


Abbildung 56: Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf pro Kanton und Bauperiode für Einfamilienhäuser 2 [38].

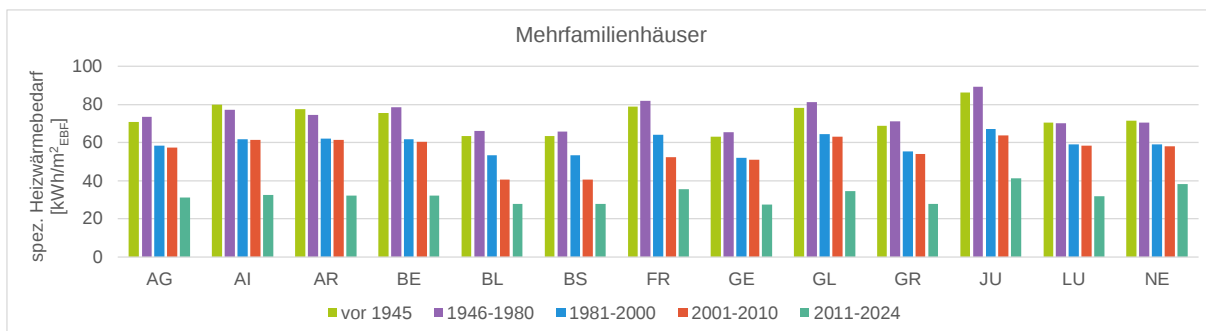


Abbildung 57: Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf pro Kanton und Bauperiode für Mehrfamilienhäuser 1 [38].

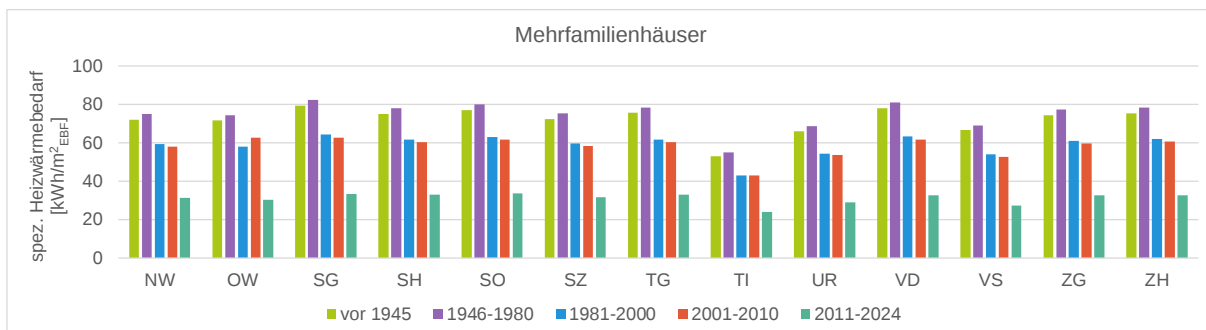


Abbildung 58: Übersicht spezifischer Heizwärmebedarf pro Kanton und Bauperiode für Mehrfamilienhäuser 2 [38].



3.2.2 Variante 3wp

In Rahmen der Variante 3wp wurden alle Objekte mit einem Hochtemperatur-Wärmeabgabesystem (Vorlauftemperatur >50°C vgl. Kap. 3.5.1) rechnerisch einer vollständigen Sanierung der Gebäudehülle nach SIA 380/1 Systemnachweis unterzogen. Dazu wurde der spezifische Heizwärmebedarf pro Objekt dem Grenzwert nach SIA 380/1 gleichgesetzt. Die zur Berechnung notwendige Gebäudehüllzahl basiert vereinfacht auf der Funktion in Abbildung 59.²

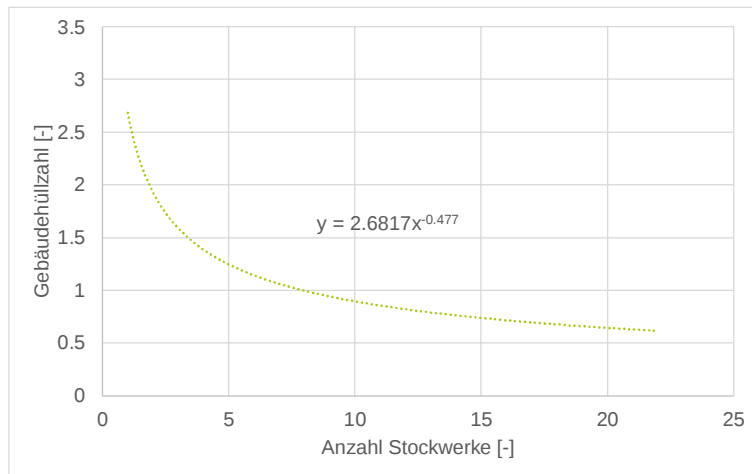


Abbildung 59: Funktion zur Herleitung der Gebäudehüllzahl in Abhängigkeit der Anzahl Stockwerke. [39]

3.3 Berechnung Heizleistungsbedarf

Der Heizleistungsbedarf des Wärmeerzeugers wurde basierend auf der folgenden Funktion ermittelt.

$$\phi_H = (0.260 * q_h + 6.301) * A_E$$

ϕ_H = Heizleistungsbedarf [W]

q_h = spez. Heizwärmeverbrauch [kWh/m²a]

A_E = Energiebezugsfläche [m²]

Die Funktion ist als +20 % Linie in der untenstehenden Grafik dargestellt und beschreibt den Zusammenhang zwischen der spezifischer Heizleistung und dem spezifischen Heizwärmebedarf von Wohn- und Bürogebäuden. Sie basiert auf Realmessdaten und wurde im Rahmen der Studie OptiPower hergeleitet [32].

² Die Gebäudehüllzahl wird durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst (z.B. Geometrie, angebaute/freistehende Bauweise). Mit dem gewählten Ansatz werden diese Faktoren nicht berücksichtigt. Für eine detailliertere Berechnung müssten pro Objekt 3D-Daten ausgewertet werden, was den Umfang der vorliegenden Studie übersteigt. Nach Einschätzung der Autoren bietet der gewählte Ansatz für die verwendete Flughöhe einen ausreichend genauen Ansatz.

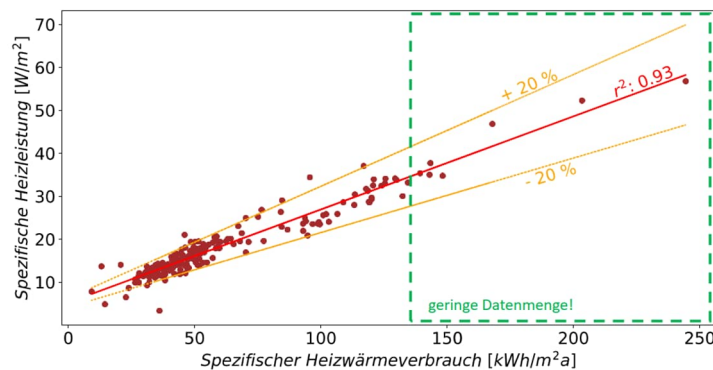


Abbildung 60: Real benötigte spezifische Heizleistung in Abhängigkeit des Heizwärmeverbrauch von Wohngebäuden. Die gelben Linien zeigen die Abweichung plus und minus 20% zum linearen Fit (rote Linie) mit einem Bestimmtheitsmass (r^2) von 0.93. [32]

Die obenstehende Grafik basiert überwiegend auf Daten von neueren Gebäuden im Mittelland und Genf. In Bezug auf die Herleitung des spezifischen Heizleistungsbedarfs für ältere Gebäude und Objekten auf unterschiedliche Standorthöhen beinhalten sie eine Unsicherheit. Um diese Unsicherheit in einem gewissen Mass auszugleichen, wurde in Anlehnung an die Korrektur der Anzahl Volllaststunden in Abhängigkeit der Höhenlagen (Fig 12. SIA 384/6 [16]) eine Funktion zur Korrektur des spezifischen Heizleistungsbedarfs, ermittelt nach der Funktion in Abbildung 60, hergeleitet. Diese ist in Abbildung 61 ersichtlich. Da dem spezifischen Heizwärmebedarf pro Objekt kantonale Mittelwerte zu Grunde gelegt wurden, wurde zur Korrektur der Heizleistung nicht die objektspezifische, sondern die mittlere Standorthöhe aller Objekte im entsprechenden Kanton angewendet.

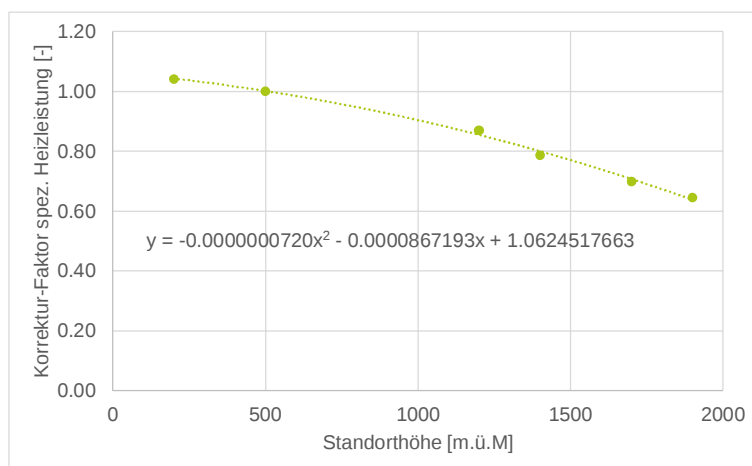


Abbildung 61: Funktion zur Korrektur der spezifischen Heizleistung in Abhängigkeit der Standorthöhe in Anlehnung an [16].



3.4 Definition Wärmeerzeuger

Die Definition des vorhandenen Wärmeerzeugers (WEZ) wurde in Abhängigkeit der Varianten mit verschiedenen Entscheidungsbäumen hergeleitet. Diese sind in der Abbildung 62 und Abbildung 63 ersichtlich.

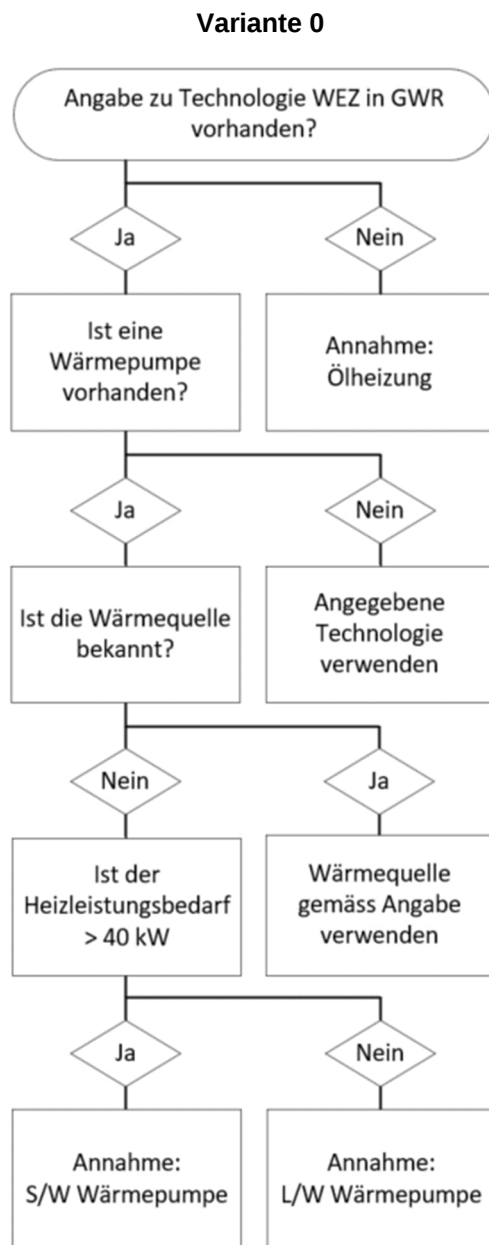


Abbildung 62: Entscheidungsbaum Wärmeerzeuger Variante 0

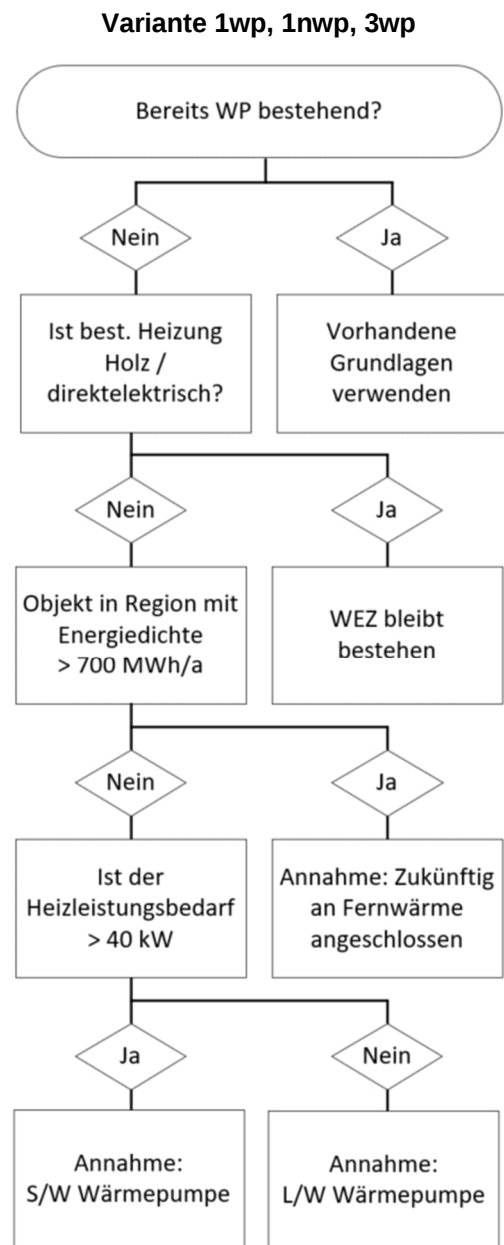


Abbildung 63: Entscheidungsbaum Wärmeerzeuger Varianten 1wp, 1nwp, 3wp



3.5 Berechnung Endenergiebedarf

Die Berechnung des Endenergiebedarfs basiert auf der Multiplikation des Wärmebedarfs am Wärmeerzeuger mit dem Jahresnutzungsgrad. Im Falle von Heizkesseln wurde ein Jahresnutzungsgrad von 0.85 angenommen. Bei elektrischen Direktheizungen und Fernwärme wurde der Faktor 1 verwendet. Die JAZ der Wärmepumpen wurde nach dem Vorgehen der folgenden Kapitel hergeleitet.

3.5.1 Definition Vorlauftemperatur

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe ist stark von der Vorlauftemperatur im Auslegungspunkt abhängig. Um dies zu berücksichtigen, wurde pro Bauperiode und Variante eine mittlere Vorlauftemperatur definiert. Die Vorlauftemperaturen der verschiedenen Varianten sind in den nachfolgenden Abschnitten aufgezeigt.

Varianten 0, 1wp

Die eingesetzten Vorlauftemperaturen für die Varianten 0 und 1wp gründen auf der Erfahrung der Autoren, Aufnahmen aus Objekten in Genf [40], sowie den Vorgaben der MukEN 2000-2014 [41] [42] [43] und deren Vorgängerversion [44]. Basierend auf diesen Daten wurden zwei Szenarien hoch und tief entsprechend der nachfolgenden Grafik definiert.

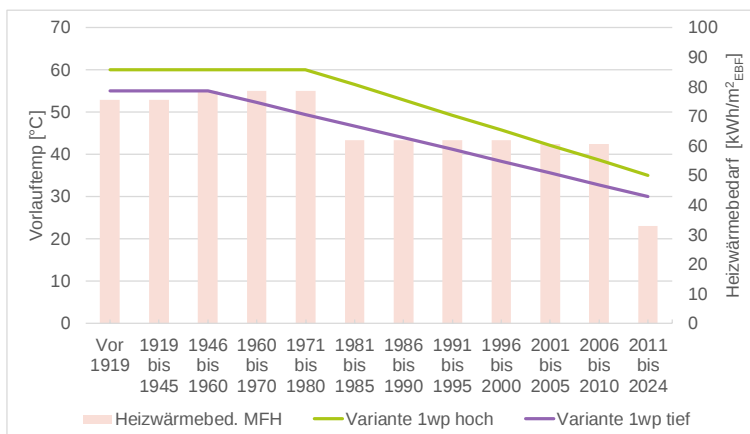


Abbildung 64: Übersicht Verlauf Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Bauperiode.

Variante 1nwp

Für die Variante 1 nwp wurde definiert, dass in Objekten mit einer Vorlauftemperatur von $>50^{\circ}\text{C}$ ein Ersatz des Wärmeabgabesystems durchgeführt wird. In Objekten unterhalb dieser Grenze wird die bestehende Vorlauftemperatur aus Variante 1wp belassen (siehe Abbildung 65).

Die Vorlauftemperatur des Niedertemperatur-Wärmeabgabesystems im Auslegefall wurde auf 38.5°C definiert. Dieser Wert basiert auf den Angaben zu den Vorlauftemperaturen der jeweiligen Wärmeabgabesystemen aus dem Arbeitspaket 1 und der Annahme, dass 70 % Heizkörper und 30 % Fussbodenheizungen verbaut werden.

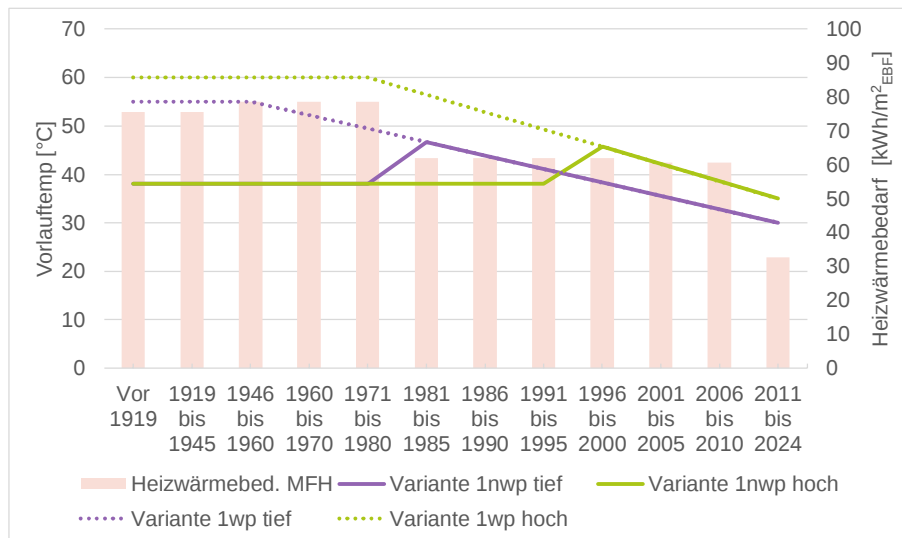


Abbildung 65: Übersicht Anpassung Vorlauftemperaturen in Abhängigkeit der Bauperiode.

Variante 3wp

In Variante 3wp werden analog zur Variante 1nwp alle Objekte einer Vollsanierung unterzogen, welche über eine Vorlauftemperatur im Auslegungspunkt über 50°C verfügen. Um die mit den bestehenden Wärmeabgabesystem erreichbare Vorlauftemperatur zu ermitteln, wurden die Funktionen in Abbildung 66 hergeleitet. Mit ihnen kann die nach der energetischen Sanierung erreichbare Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur im unsanierten Zustand und dem Verhältnis zwischen altem und neuem Heizleistungsbedarf ermittelt werden. Es wird ebenfalls ein Szenario tief und hoch berechnet.

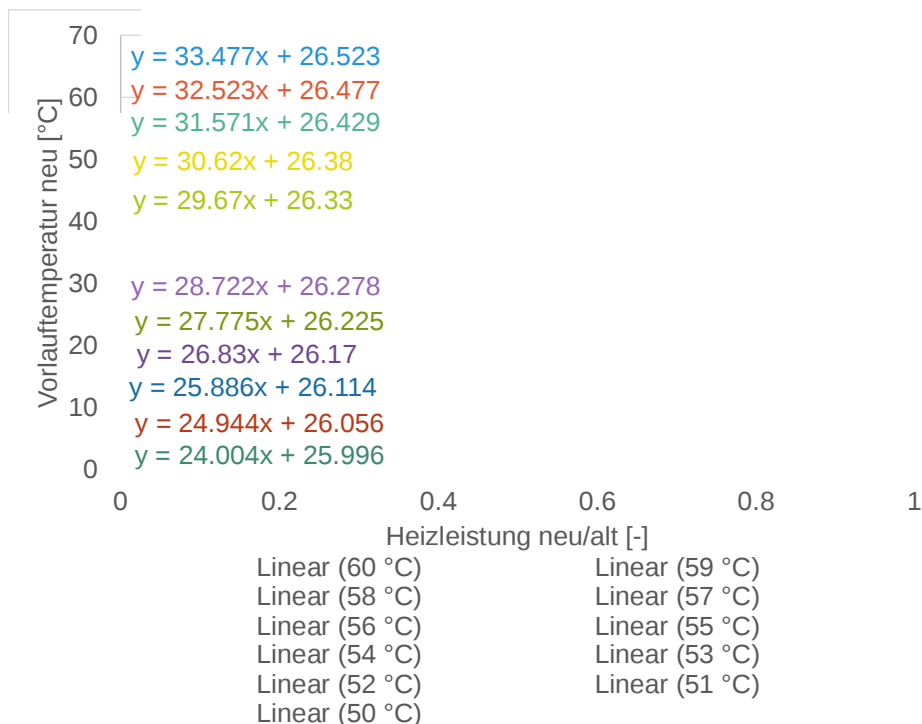


Abbildung 66: Übersicht Funktionen zur Herleitung neue Vorlauftemperatur (eigene Herleitung).



3.5.2 Herleitung Jahresarbeitszahl

Für jedes Objekt mit Wärmepumpe wurde eine objektspezifische JAZ, abhängig von der Wärmepumpentechnologie, dem Standort und der Vorlauftemperatur im Auslegepunkt ermittelt. Dazu wurde in Anlehnung an die SIA 384/3 [9] ein vereinfachtes Berechnungsmodell für Luft/Wasser und Sole/Wasser Wärmepumpen aufgebaut und die JAZ basierend auf Stundendaten für verschiedene Standorte berechnet. Das Berechnungsmodell wurde anhand der Daten in Kap. 2.7.4 einjustiert.

Pro Wärmepumpentechnologie und Vorlauftemperatur bzw. Bauperiode wurde eine Auswertung mit einer Funktion erstellt. Aus diesen Funktionen kann für jedes Objekt in Abhängigkeit der Standorthöhe, Vorlauftemperatur im Auslegepunkt bzw. Bauperiode und Wärmepumpentechnologie die JAZ ermittelt werden. In Abbildung 67 ist eine solche Funktion beispielhaft dargestellt.

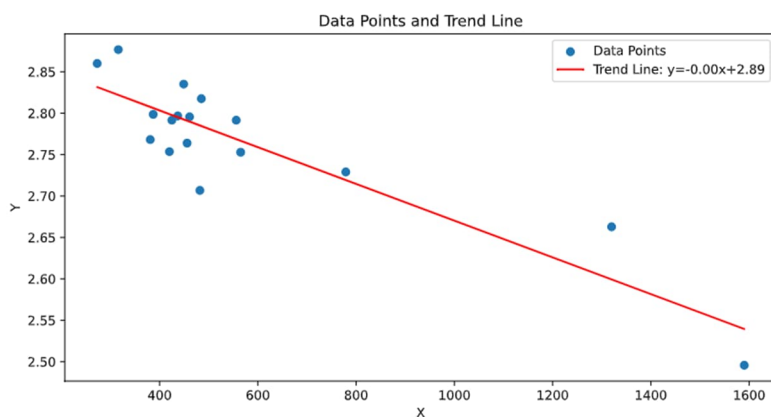


Abbildung 67: Beispielhafte Funktion zur Herleitung der JAZ in Abhängigkeit der Standorthöhe für eine Luft/Wasser Wärmepumpe bei 60°C Auslegetemperatur.

3.6 Berechnung Treibhausgas-Emissionen

Die Berechnung der Treibhausgas-Emissionen erfolgt in vereinfachter Art und Weise in Anlehnung an das Vorgehen im Arbeitspaket 1 mittels einer Multiplikation der Energiebezugsfläche mit einem Wert für die spezifischen THG-Emissionen pro Quadratmeter Energiebezugsfläche.

3.6.1 Gebäudehülle

Für die Varianten 0, 1wp und 1nwp fallen keine Treibhausgasemissionen zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle an. Die Treibhausgasemissionen für die vollständige Sanierung (Variante 3wp) basieren auf den Auswertungen der fünf Objekte aus dem ersten Arbeitspaket. Bei diesen Objekten wurden sämtliche Bauteile (Fenster, Kellerdecke, Estrichboden/Dachfläche, Aussenwand) einer energetischen Sanierung unterzogen, um den SIA-Grenzwert nach Systemnachweis einzuhalten.

Die Objekte stammen alle aus der Bauperiode vor 1980. Für die folgenden Bauperioden wurden stufenweise sinkenden THG-Emissionen für die energetische Sanierung angenommen, da aufgrund des bereits grundsätzlich besseren energetischen Zustandes des Gebäudes weniger Massnahmen vorgenommen werden müssen, um den SIA-Grenzwert zu erreichen. Für die Bauperiode 1991 bis 2000 gehen die Autoren davon aus, dass eine Sanierung der Fassade ausreicht, um den Grenzwert zu erreichen. Entsprechend werden nur die THG-Emissionen für die Dämmung der Aussenwände berücksichtigt. Für die Bauperiode 1981 bis 1990 wurde ein Mittelwert eingesetzt. Ab dem Jahr 2001 werden keine energetischen Sanierungen mehr durchgeführt. Objekte mit diesem Baujahr verfügen ohnehin über eine Vorlauftemperatur <50°C und werden daher in allen Varianten identisch abgebildet. Die Annahmen sind in Abbildung 68 abgebildet.

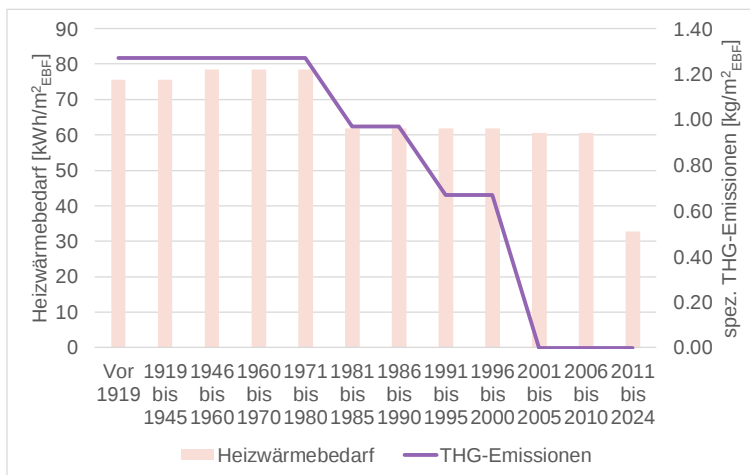


Abbildung 68: Übersicht spezifischen THG-Emissionen Gebäudesanierung zur Erreichung des SIA-Grenzwertes in Abhängigkeit der Bauperiode. Eigene Herleitung

3.6.2 Wärmeabgabe und -verteilung

Für die Berechnung der THG-Emissionen des Wärmeabgabesystems wurde angenommen, dass zukünftig 70% der Objekte mit Niedertemperatur-Heizkörpern und 30% mit Fussbodenheizungen ausgestattet werden. Entsprechend wurde aus den Angaben in Kap. 2.8.2 ein gewichteter Jahreswert für das Wärmeabgabesystem inkl. allfälligem Deckbelag hergeleitet. Dieser liegt bei $0.34 \text{ kgCO}_2\text{-Äq/m}^2_{\text{EBF}}$.

Für die Wärmeverteilung wurde der Wert analog zu Arbeitspaket 1 verwendet (siehe Kap. 2.8.3).

3.6.3 Wärmeerzeugung

Die THG-Emissionen für den Ersatz des Wärmeerzeugers wurde analog zum Vorgehen im Arbeitspaket 1 pro Objekt ermitteln (vgl. Kap. 2.8.4).

3.6.4 Betriebsenergie

Die Berechnung der THG-Emissionen für die Betriebsenergie erfolgt analog den Angaben aus Arbeitspaket 1 in Kapitel 2.8.5.

3.7 Berechnung Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten

Die Investitionskosten wurden in Anlehnung an die Methode aus Arbeitspaket 1 ermittelt.

3.7.1 Gebäudehülle

Für die Varianten 0, 1wp und 1nwp fallen keine Kosten zur energetischen Sanierung der Gebäudehülle an. Die Kosten für die Variante 3wp wurde analog zum Vorgehen zur Ermittlung der THG-Emissionen in Kapitel 3.6.1 ermittelt (siehe Abbildung 69).

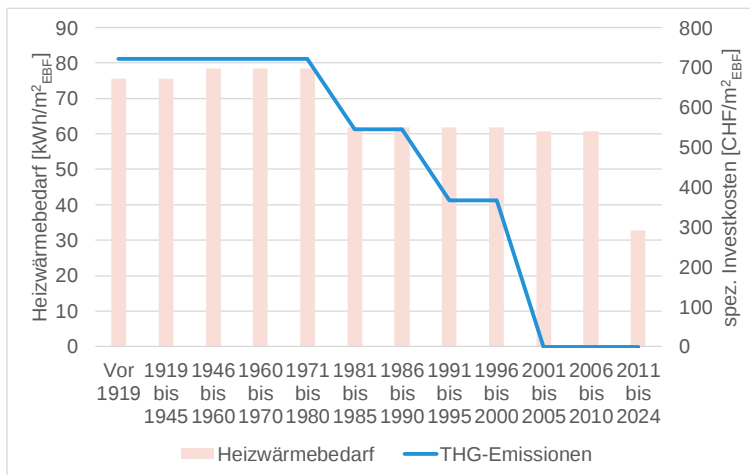


Abbildung 69: Übersicht spezifischen Investitionskosten Gebäudesanierung zur Erreichung des SIA-Grenzwertes in Abhängigkeit der Bauperiode. Eigene Herleitung

3.7.2 Wärmeabgabe- und Verteilung

Die Berechnung der Investitionskosten erfolgte analog dem Vorgehen zur Herleitung der Treibhausgasemissionen in Kapitel 3.6.2. Entsprechend wurde aus den Angaben in Kap. 2.9.2 eine gewichtete Investition für das Wärmeabgabesystem inkl. allfälligem Deckbelag hergeleitet. Dieser liegt bei 5'050 CHF/kW.

Für die Wärmeverteilung wurde der Wert analog zu Arbeitspaket 1 verwendet (siehe Kap. 2.9.3).

3.7.3 Wärmeerzeugung

Die Investitionskosten für den Ersatz des Wärmeerzeugers wurde analog zum Vorgehen im Arbeitspaket 1 ermittelt (vgl. Kap. 2.9.4).

3.7.4 Betriebs- & Unterhaltskosten sowie Wirtschaftlichkeitsfaktoren

Die Unterhalts- und Betriebskosten sowie die Wirtschaftlichkeitsfaktoren entsprechen den Angaben aus den Arbeitspaket 1 (siehe Kap. 2.9.5 ff).



3.8 Resultate und Diskussion Arbeitspaket 2

Im vorliegenden Kapitel werden die Resultate aus dem Arbeitspaket 2 aufgezeigt und diskutiert.

3.8.1 Heizwärmebedarf

In Abbildung 70 und Abbildung 71 ist der Heizwärmebedarf pro Energieträger in Abhängigkeit der Varianten dargestellt. Der Heizwärmebedarf der Variante 0 über alle Energieträger liegt bei 34.2 TWh. Im Vergleich zu anderen Studien ist dieser Wert niedrig (ca. 40 TWh [45], ca. 60 TWh [46], ca. 36 TWh [47]). Gemäss der Einschätzung der Autoren dürfte dies hauptsächlich auf die eher tiefen Annahmen zum Heizwärmebedarf liegen (vgl. Kap. 3.2). Weiter ist ein Vergleich des errechneten Heizwärmebedarfs mit Drittstudien aufgrund verschiedener Annahmen zu den Grundlagen, beispielsweise bezüglich der berücksichtigten Nutzungskategorie (mit/ohne Dienstleistungsgebäude) oder den Wärmebezüglern (mit/ohne Warmwasser) zudem äusserst schwierig. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie vor allem auf relative Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten fokussiert.

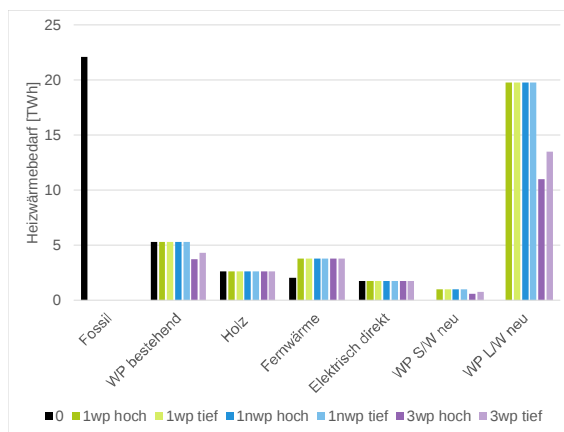


Abbildung 70: Übersicht Heizwärmebedarf pro Energieträger und Variante.

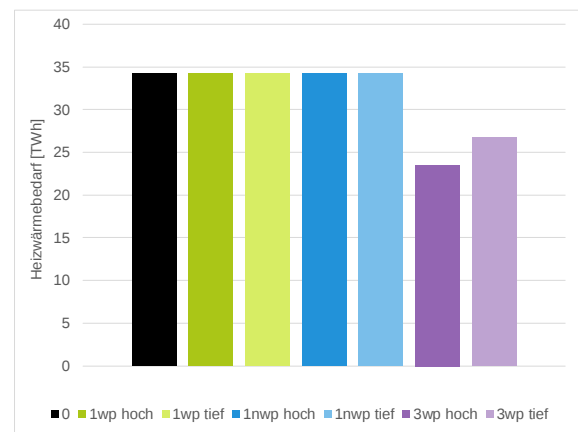


Abbildung 71: Übersicht Heizwärmebedarf pro Variante.

Es ist ersichtlich, dass von der Variante 0 zu den Varianten 1wp hoch/tief bzw. 1nwp hoch/tief, eine Verlagerung des fossil gedeckten Wärmebedarfs auf die neuen Sole/Wasser bzw. Luft/Wasser Wärmepumpen stattfindet. Der Grossteil der Heizwärme wird neu durch Luft/Wasser Wärmepumpen gedeckt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Objekte mit einem Heizleistungsbedarf >40 kW häufig in die Kategorie der Fernwärme fallen. (Wärmebedarf >700 MWh/a, vgl. Kap. 0). Entsprechend werden wenig neue Sole/Wasser Wärmepumpen erstellt und die Objekte stattdessen an die Fernwärme angeschlossen. Allfällige Wärmepumpen zur Bereitstellung von Fernwärme sind in der Betrachtung nicht berücksichtigt. Der durch Holz und Fernwärme gedeckte Teil des Heizwärmebedarfs bleibt über alle Varianten gleich.

Es ist anzumerken, dass diese Herleitung auf stark vereinfachten Annahmen beruht. Die reale Entwicklung und Erschliessung der Fernwärmepotenziale und der Entscheid über die gewählte Wärmepumpentechnologie ist multifaktoriell. Ein Vergleich mit einem Bericht des Bundesrates zeigt, dass eine Verdoppelung des Fernwärmeanteil bis 2050 jedoch als durchaus realistisch angesehen wird [48].

In Bezug auf den hohen Anteil an Luft/Wasser Wärmepumpen kann angemerkt werden, dass gemäss [49] ca. 75% der im 2023 installierten Wärmepumpen Luft/Wasser Geräte waren. Dass die Luft/Wasser Wärmepumpen auch zukünftig einen hohen Anteil zur Wärmeerzeugung beitragen, wird als wahrscheinlich betrachtet. Es ist aber nicht auszuschliessen, dass es in der Realität zu einer Verschiebung zwischen den Anteilen Fernwärme, Luft/Wasser und Sole/Wasser Wärmepumpe oder auch den ver-



bleibenden Energieträgern kommt. Entsprechend erhöht oder reduziert sich auf Grund der unterschiedlichen Jahresnutzungsgrader der Wärmeerzeuger der Endenergiebedarf für den entsprechenden Energieträger.

In den Varianten 3wp hoch/tief führen die Massnahmen an der Gebäudehülle zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfs um 28% (3wp tief) bzw. 32% (3wp hoch). Da im Szenario tief insgesamt weniger Objekte einer energetischen Sanierung unterzogen werden (vgl. Abbildung 65) liegt der Heizwärmebedarf (26.7 TWh) höher als beim Szenario hoch (23.5 TWh). Dies wirkt sich auch auf die Auswertungen der nachfolgenden Kapitel aus. Die Objekte mit den Energieträgern Holz, Fernwärme und direktelektrischer Heizung wurden von den Massnahmen an der Gebäudehülle ausgeschlossen, da dies eine Verzerrung der Massnahmenwirkung in Bezug auf die Objekte mit Wärmepumpen zur Folge hätte. In der Realität würde der Heizwärmebedarf dieser Objekte ebenfalls verändern.

3.8.2 Endenergiebedarf

Abbildung 72 und Abbildung 73 zeigt den Variantenvergleich in Bezug auf den Endenergiebedarf. In der Variante 0 liegt dieser über alle Energieträger bei 36.6 TWh. Rund 75 % entfallen auf die fossilen Energieträger. Durch den Einbau einer Wärmepumpe (1wp hoch/tief) wird der Endenergiebedarf, unabhängig vom Szenario hoch oder tief, um gut 50 % reduziert. Es verbleiben 17.5-18.2 TWh Endenergiebedarf über alle Energieträger. Der Energiebedarf verlagert sich dabei von den fossilen Energieträgern (-27.5 TWh) auf die Elektrizität (+6.9-7.5 TWh) und die Fernwärme (+1.9 TWh). Die restlichen Energieträger bleiben in der vorliegenden Betrachtung unverändert.

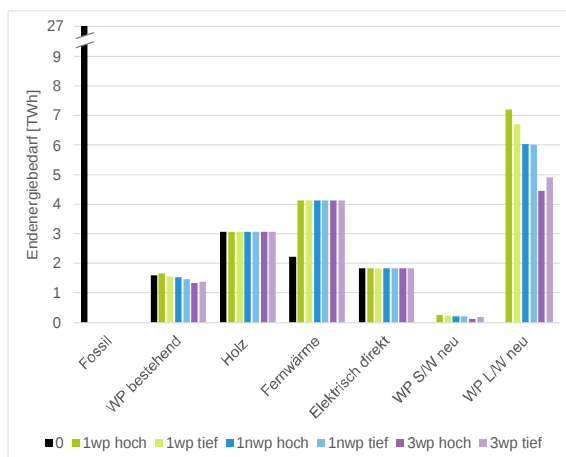


Abbildung 72: Übersicht Endenergiebedarf pro Energieträger und Variante.

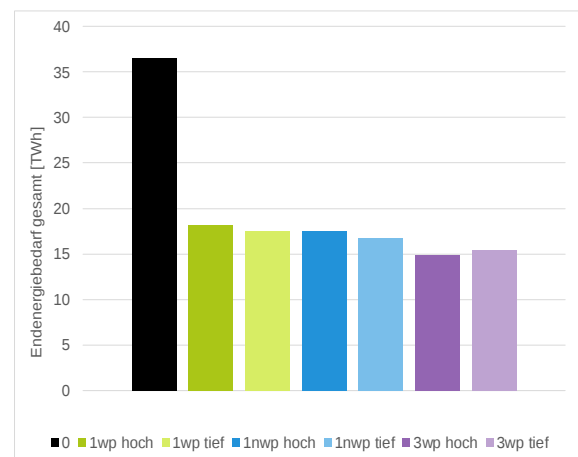


Abbildung 73: Übersicht Endenergiebedarf pro Variante für alle Energieträger

Weiter kann festgestellt werden, dass es zwischen den Varianten 1wp und 1nwp in Abhängigkeit des Szenarios hoch oder tief zu einer unterschiedlichen Verschiebung kommt. In Variante 1 wp ist der Endenergiebedarf des Szenarios hoch höher und derjenige des Szenarios tief tiefer. In der Variante 1nwp ist der Bedarf beider Szenarien fast identisch. Der Grund dafür ist, dass der Ersatz des Wärmeabgabesystems in der Variante tief bei weniger Objekten erfolgt als bei der Variante hoch. Dies ist bedingt durch die gewählte Methodik (vgl. Kap. 3.5.1). Entsprechend bleiben bei der Variante hoch mehr Objekte im Zustand der Variante 0, wodurch sich die Massnahmenwirkung reduziert.



In Abbildung 74 ist der elektrizitätsbedarf der objekte mit wärmepumpen pro variante aufgezeigt. Wie obenstehend bereits erwähnt, nimmt der elektrizitätsbedarf von der variante 0 zu 1wp hoch/tief um 6.9-7.5 TWh zu. Durch den einsatz von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen (1nwp hoch/tief) ist im Vergleich zu den Varianten 1wp hoch/tief eine Reduktion des elektrizitätsbedarfs um 9-15 % möglich (0.79-1.37 TWh). Im Vergleich zu den Resultaten aus dem Arbeitspaket 1 (Kap. 2.10.5), wo für die Einzelobjekte durch den Einbau eines Niedertemperatur-Wärmeabgabesystems Einsparpotenziale von bis zu 40% ermittelt wurden, ist die Massnahmenwirkung deutlich reduziert. Dies ist auf die im Vergleich zur durchschnittlichen Vorlauftemperatur des betrachteten Gebäudeparks hohen Vorlauftemperaturen (>60°C) der in Arbeitspaket 1 betrachteten Einzelobjekte zurückzuführen.

Die Varianten 3wp hoch/tief führen im Vergleich zur Variante 1wp hoch/tief zu einer Reduktion des elektrizitätsbedarfs von 24-35% (2.02-3.21 TWh). Auch hier findet durch die unterschiedliche Anzahl der Objekte, welche einer Gebäudesanierung unterzogen werden, eine Verschiebung innerhalb der Szenarien hoch und tief statt.

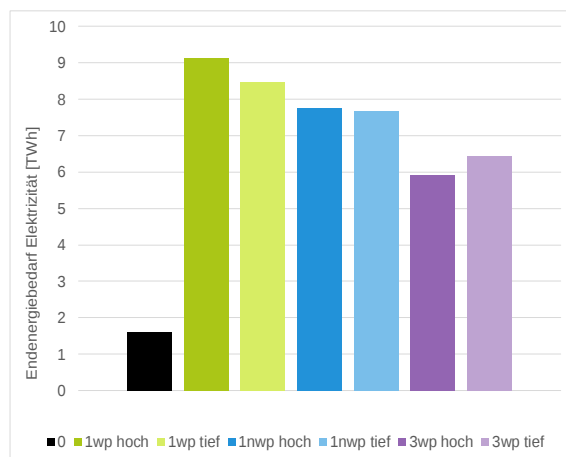


Abbildung 74: Übersicht Endenergiebedarf pro Variante Elektrizität Wärmepumpen.



3.8.4 Elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpen

Für die weiterführenden Betrachtungen werden nur die Ergebnisse der Objekte mit Wärmepumpen betrachtet. Die übrigen Energieträger werden ausgeblendet, da die Massnahmen «Ersatz Wärmeabgabesystem» bzw. «Sanierung Gebäudehülle» für diese Objekte nicht angewendet wurden und entsprechend keine Veränderung stattfindet (Abbildung 75).

Durch die Umsetzung von Variante 1wp hoch/tief nimmt der elektrische Leistungsbedarfs für den Betrieb der Wärmepumpen in Variante 0 von 0.7 GW auf 3.2-3.6 GW zu (+2.5-2.9 GW) zu. Mit der Umsetzung der Varianten 1nwp hoch/tief kann der elektrische Leistungsbedarf wieder um 14-21 % (0.45-0.77 GW) gesenkt werden.

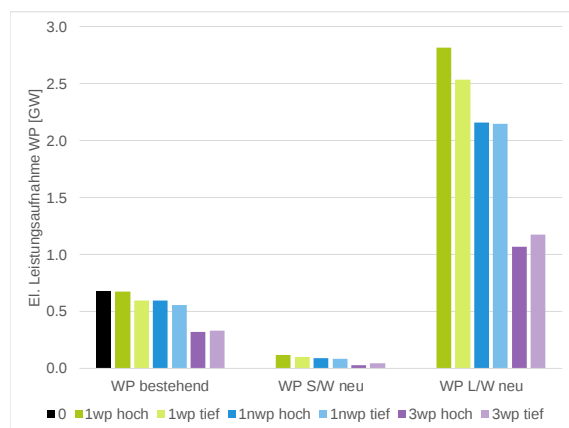


Abbildung 75: Übersicht elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpen im Auslegefall pro Wärmepumpentechnologie und Variante.

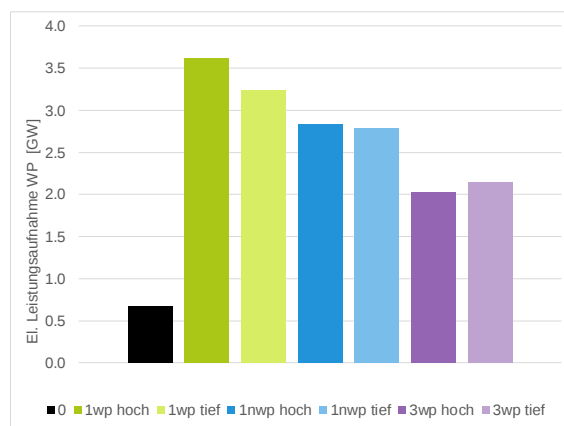


Abbildung 76: Übersicht elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpen im Auslegefall pro Variante.

Durch eine vollständige Gebäudesanierung (Variante 3wp hoch/tief) lässt sich der elektrische Leistungsbedarf der Wärmepumpen im Vergleich zur Variante 1wp hoch/tief um 34-44% (1.1-1.6 GW) reduzieren.

3.8.5 Investitionskosten

In Abbildung 77 sind die absoluten Investitionskosten in Mia. CHF für die Umsetzung der jeweiligen Massnahmen im betrachteten Gebäudepark aufgeteilt nach Komponente aufgezeigt. Die Kosten für die Wärmeerzeugung (WEZ) und Erdwärmesonden (EWS) kommen bei allen Varianten zum Tragen. Bestehende Wärmepumpen bleiben erhalten und es werden keine zusätzlichen Investitionskosten berücksichtigt. Bei den Varianten 1 nwp kommt die Wärmeverteilung (WV) und das Wärmeabgabesystem (WAG) hinzu. Die Investitionskosten nehmen dadurch im Vergleich zur Variante 1 wp um 38-67% zu. In den Varianten 3 wp fallen die Kosten für die neue Wärmeverteilung und Wärmeabgabe weg bzw. werden durch die Kosten für die energetische Sanierung der Gebäudehülle ersetzt. Dies führt im Vergleich zu Variante 1wp zu einer Zunahme der Kosten um 195-294%.

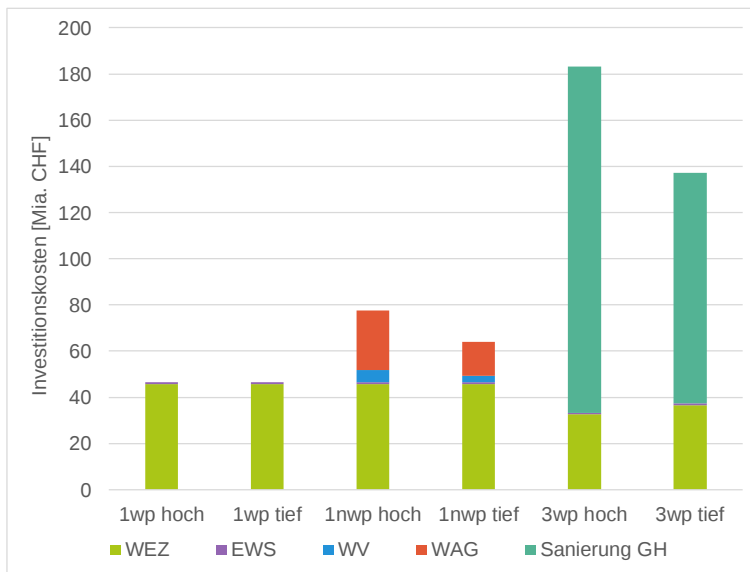


Abbildung 77: Übersicht Investitionskosten pro Komponente und Variante.

3.8.6 Jahreskosten

In Abbildung 78 sind die Jahreskosten, zusammengesetzt aus Kapital-, Unterhalts-, und Betriebskosten für die Varianten 1wp, 1nwp und 3wp dargestellt. Die Varianten 1nwp zeigen im Vergleich zu den Varianten 1wp um 13-23% höhere Gesamtkosten. Die Installation des neuen Wärmeabgabesystems und der Wärmeverteilung führt zu höheren Kapitalkosten. Die Mehrkosten werden durch die reduzierten Betriebskosten, aufgrund der höheren Effizienz der Wärmepumpe, teilweise kompensiert. In den Varianten 3wp nehmen die Gesamtkosten im Vergleich zu den Varianten 1wp um 76-110% zu. Hauptgrund sind die hohen Kapitalkosten aufgrund der Gebäudesanierung. Durch den reduzierten Heizwärmebedarf und die abgesenkte Vorlauftemperatur reduziert sich der Aufwand für die Betriebsenergie im Vergleich zur Variante 1wp.

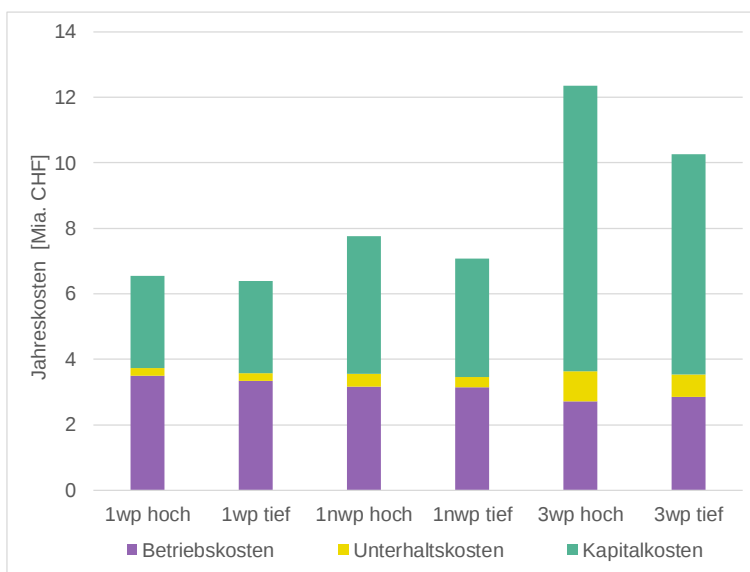


Abbildung 78: Übersicht Investitionskosten pro Komponente und Variante.



3.8.7 Treibhausgasemissionen

Abbildung 79 zeigt die THG-Emissionen des betrachteten Gebäudeparks aufgeteilt pro Komponente und Variante. Die Emissionen der Variante 0 (8.67 Mio. t) sind nicht abgebildet. Analog zu den Resultaten aus dem Arbeitspaket 1 (vgl. Kap. 2.10.10) zeigt sich auch bei der Betrachtung des gesamten Gebäudeparks, dass die grösste Reduktion (-80%) der THG-Emissionen mit dem Wechsel des Wärmeerzeugers von fossil auf Wärmepumpe erreicht werden kann (0 zu 1wp hoch/tief). Durch die darauffolgenden Massnahmen lassen sich die Emissionen nur um 5% (1wp hoch/tief zu 1nwp hoch/tief) bzw. ca. 10% (1wp hoch/tief zu 3wp hoch/tief) reduzieren.

Der grösste Anteil an den THG-Emissionen wird wie in Arbeitspaket 1 durch den Energieträger verursacht. Entsprechend ist hier die grösste Sensitivität bzw. der grösste Hebel vorhanden (vgl. Kap. 2.10.12). Der Wärmeerzeuger (WEZ), die Erdwärmesonde (EWS), die Wärmeverteilung (WV), die Wärmeabgabe (WAG) und die energetische Sanierung der Gebäudehülle spielen eine untergeordnete Rolle.

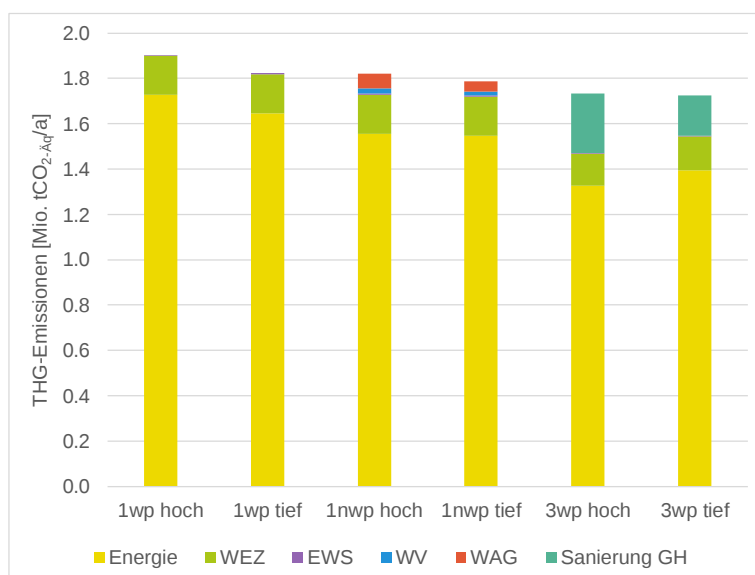


Abbildung 79: THG-Emissionen pro Komponente und Variante.

3.8.8 THG-Emissionen vs. Jahreskosten

In Abbildung 80 sind die Jahreskosten den THG-Emissionen, analog zur Abbildung 38 aus den Arbeitspaket 1 dargestellt. Insgesamt zeigt sich ein vergleichbares Bild. Der Ersatz des Wärmeabgabesystems ist ein kosteneffizienter Ansatz zur Reduktion der THG-Emissionen, wobei die weitaus grössere Reduktion der THG-Emissionen (-80%) durch den Ersatz des fossilen Wärmeerzeugers durch eine Wärmepumpe erreicht wird (siehe. 3.8.7). Die zusätzlich durch eine energetische Sanierung des Gebäudes erreichbare Reduktion der THG-Emissionen sind mit 8-13% ebenfalls vergleichsweise gering. Ein weitaus grösserer Hebel liegt in der CO₂-Intensität des gewählten Stromproduktes. Je nach gewählten Stromprodukt und Dämmstoff kann eine vollständige energetische Sanierung in Bezug auf die THG-Emissionen kontraproduktiv sein (siehe Kap. 2.10.12).

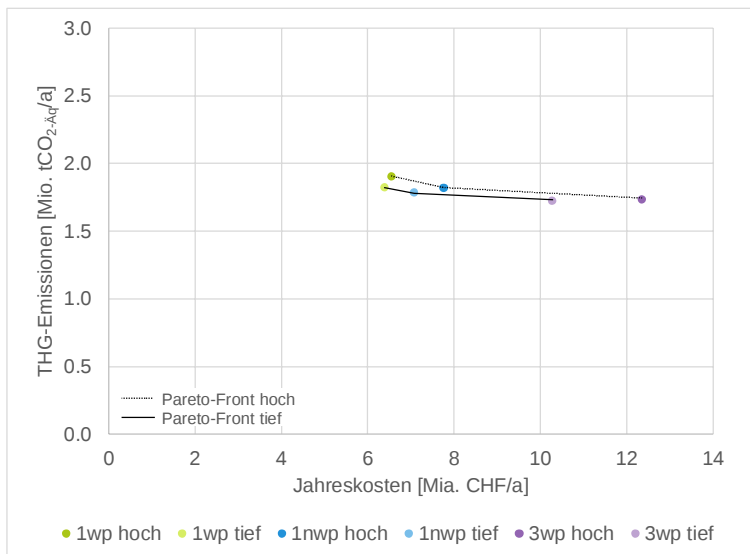


Abbildung 80: Übersicht THG-Emissionen vs. Jahreskosten pro Variante.

3.8.9 Elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpe vs. Jahreskosten

Abbildung 81 stellt den elektrischen Leistungsbedarf der Wärmepumpen den Jahreskosten gegenüber. Es zeigt sich ein vergleichbares Bild wie bei den Einzelobjekten aus dem Arbeitspaket 1 (vgl. Kap. 2.10.13). Durch den Einbau eines Niedertemperatur-Wärmeabgabesystems kann eine Reduktion des elektrischen Leistungsbedarfs von 14-21% erreicht werden, dies bei jährlichen Mehrkosten von 13-23%. Eine energetische Vollsaniierung der Gebäudehülle führt zu einer Reduktion des Leistungsbedarfs von 34-44 % bei Mehrkosten von 76-110%. Die Massnahme des Ersatzes des Wärmeabgabesystems zeigt somit eine bessere Kosteneffizienz als eine energetische Gebäudesanierung, wobei absolut nicht dieselben Absenkungen erreicht werden können.

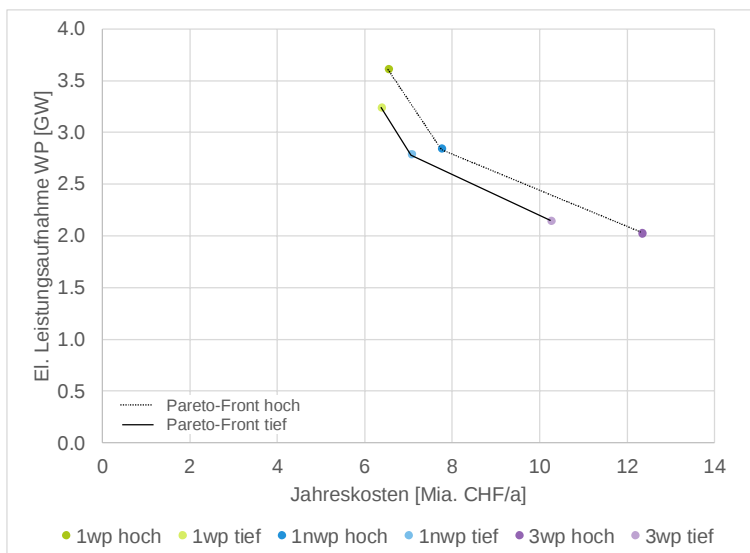


Abbildung 81: Übersicht elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpe im Auslegefall vs. Jahreskosten pro Variante.



3.8.10 Diskussion Resultate

Insgesamt zeigt sich, dass die Resultate aus dem Arbeitspaket 2 in der Tendenz mit denjenigen aus dem Arbeitspaket 1 vergleichbar sind. Bei den fünf Objekten im Arbeitspaket 1 konnte die Vorlauftemperatur durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems, je nach gewähltem Wärmeabgabesystem, um 25-30 K reduziert werden. Im zweiten Arbeitspaket steht die erzielbare Reduktion der Vorlauftemperatur im Zusammenhang mit der Bauperiode. Da die Betrachtung den gesamten Schweizer Wohngebäudepark einschliesst und darin Objekte vorhanden sind, bei welchen die Vorlauftemperatur durch den Ersatz des Wärmeabgabesystems nur um beispielsweise 10 K abgesenkt werden kann, ist das Massnahmenpotenzial über den gesamten Schweizer Wohngebäudepark aus dem Arbeitspaket 2 im Vergleich zu den Einzelobjekten im Arbeitspaket 1 reduziert.

Dennoch kann aus den Resultaten abgeleitet werden, dass der Ersatz von Hochtemperatur-Wärmeabgabesystemen, durch solche mit niedriger Vorlauftemperatur, eine Massnahme ist, die sich vor allem in Bezug auf die Reduktion des elektrischen Energie- und Leistungsbedarfs im Winter, also dann, wenn wenig Strom zur Verfügung steht und die CO₂-Intensität der Elektrizität hoch ist, positiv auswirkt. Damit kann die Massnahme einen nicht unerheblichen Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssituation und Netzstabilität im Winterhalbjahr leisten. Dies ist ein Thema von nationalem Interesse. Entsprechend sollte der Ersatz der Wärmeabgabesystems mehr in den Fokus der Energie- und Förderlandschaft gerückt werden.

Es ist anzumerken, dass die jeweiligen Massnahmen in der vorliegenden Studie isoliert betrachtet wurden und die Varianten den Ausbau im Endzustand beschreiben. Dabei wurde vernachlässigt, dass sich über den Zeitraum, den es bräuchte, um diesen Endzustand zu erreichen, verschiedenste Faktoren ergeben, welche sich auf das Resultat auswirken. So wurden beispielsweise Einflussfaktoren wie eine verbesserte Effizienz zukünftiger Wärmepumpen, weniger Heizwärmebedarf aufgrund von Klimaveränderungen, erhöhter Heizwärmebedarf aufgrund von mehr Wohnraum usw. in der Studie nicht berücksichtigt. Die Einführung solcher Einflussfaktoren würde zu einer deutlichen erhöhten Komplexität führen, was die Interpretierbarkeit der Resultate und die Schwierigkeit zur verständlichen Kommunikation erhöhen würde. Die Vernachlässigung dieser Effekte führt jedoch in Bezug auf die reale Entwicklung zu gewissen Verzerrungen.

Weiter wurde der Heizleistungsbedarf der einzelnen Objekte (siehe Kap. 3.3) auf Grundlagen der Studie OptiPower [32] durchgeführt. Die darin abgebildete Grafik zur Abschätzung des Heizleistungsbedarfs anhand des Heizwärmebedarfs basiert auf Daten neuerer Gebäude im Mittelland und Genf. Durch die Anwendung dieser Grafik auf Sanierungsgebäude in unterschiedlichen Höhenlagen und Klimaregionen der Schweiz kommt es zu einem Fehler in Bezug auf den verwendeten Heizleistungsbedarf. Im Nachfolgeprojekt OptiSanPower, dass sich aktuell in der Ausarbeitung befindet, soll eine vergleichbare Grafik für Sanierungsgebäude erarbeitet werden. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden Studie lagen die Resultate jedoch noch nicht vor. Die Autoren gehen zudem davon aus, dass nur minimale Unterschiede zu erwarten sind, die keinen relevanten Einfluss auf die Resultate der vorliegenden Studie haben.

Im Verlauf der Auswertung der Resultate wurde zudem erkannt, dass es mit den verwendeten Grundlagen zum Heizwärmebedarf und der gewählten Methode zur Berechnung des neuen Heizwärmebedarfs der Varianten 3wp bei einigen Objekten mit älterem Baujahr dazu kommt, dass der berechnete Grenzwert des Heizwärmebedarfs für Variante 3wp über dem bereits vorliegenden Heizwärmebedarf auf Variante 0 liegt. Dies würde bedeuten, dass das entsprechende Objekt bereits in seinem aktuellen Zustand der Variante 0 die energetischen Vorgaben der Variante 3wp einhält und keiner Sanierung bedarf. In einem solchen Fall wurde der Wert aus Variante 0 für Variante 3wp übernommen. Als Ursache sehen die Autoren unter anderem die zu niedrigen Annahmen zum Heizwärmebedarf pro Gebäudekategorie und Bauperiode. Zu weiteren Ungenauigkeiten führen die Annahmen zur Berechnung des Grenzwertes für den Heizwärmebedarf (Kap. 3.2). So wurde die Gebäudehüllzahl in Anlehnung an die Anzahl der Stockwerke abgeschätzt. Bei dieser Betrachtung kommt es bei nicht freistehenden Gebäuden zu einem Fehler bzw. wird der Grenzwert zu hoch definiert.



4 Arbeitspaket 3: Hemmnisse und Empfehlungen

Das Arbeitspaket 3 zielt darauf ab, mögliche Hemmnisse für die Verbreitung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen zu identifizieren und potenzielle Lösungsansätze zu entwickeln, um deren Implementierung zu fördern. Bei den Lösungsansätzen handelt es sich um Ideen, welche in Frage kommen könnten, zur Umsetzung aber noch weiter hinterfragt und ausgearbeitet werden müssen. Auch erhebt die Auflistung der Hemmnisse und Lösungsansätze keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Im folgenden Kapitel wird auf die Methodik (Kap. 4.1), die Hemmnisse und erarbeiteten Lösungsansätze (Kap. 4.2) eingegangen und zum Schluss die Resultate diskutiert (Kap. 4.3).

4.1 Vorgehen und Methode

Im Rahmen eines internen Workshops mit Lemon Consult sowie durch Interviews mit Herstellern, Ingenieuren und Planern wurden mögliche Hemmnisse und Lösungsansätze im Zusammenhang mit Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen erarbeitet.

Die sechs Experten sind in der Tabelle 21 in Reihenfolge der Interviewdaten aufgelistet. Die im Rahmen dieser Studie interviewten Experten hatten weder Einfluss auf die Konzeption noch auf die Durchführung oder Auswertung der Untersuchung der Arbeitspakete 1 und 2. Ihre geäußerten Ansichten stellen individuelle Meinungen dar und müssen nicht mit den in dieser Arbeit dargestellten Ergebnissen oder Interpretationen übereinstimmen.

Bei der Erarbeitung der Hemmnisse wurden unterschiedliche Perspektiven berücksichtigt. Von Hersteller:innen, Planer:innen, Architekt:innen, Installateur:innen, Eigentümer:innen, Bewohnenden, kantonalen und nationalen Behörden bis hin zu Netzbetreiber:innen. Die identifizierten Hemmnisse wurden in sechs Kategorien unterteilt: technisch, ökonomisch, koordinative, regulatorisch, sozial und informativ. Im Rahmen der qualitativen Auswertung konnte eine Reihe von Hemmnissen identifiziert werden, wobei es sich um eine nicht abschliessende Auflistung handelt.

Tabelle 21: Expertengruppe

Experte	Rolle	Firma
Edy Raschle	Hersteller Fussbodenheizung	clevertherm AG
Wolfgang Thiele	Hersteller Deckenheizung	SOLTOP Energie AG
Robert Uetz	Ingenieur / Planer	Amstein & Walthert AG
Steffen Porsche	Hersteller Heizkörper	Zehnder Group
Stefan Graf	Ingenieur / Planer	Graf Ingenieure AG
Marc Johannis	Ingenieur / Planer	Widmer + Co. AG



4.2 Hemmnisse und Lösungsansätze

Die aufgenommenen Hemmnisse werden folgend in die Kategorien technisch, ökonomisch, koordinativ, regulatorisch, sozial und informativ unterteilt.

4.2.1 Technische Hemmnisse

Im technischen Bereich ergeben sich Herausforderungen durch bauliche und systembedingte Anforderungen, die den Austausch oder die Anpassung von Wärmeabgabesystemen komplexer machen. Dazu zählen Aspekte wie der Platzbedarf, die Kompatibilität mit bestehenden Verteilungsleitungen sowie technische Voraussetzungen und Anpassungen.

Erhöhter Platzbedarf der Heizkörper

Hemmnis

Bei Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Wärmeabgabesystem und dem Raum deutlich geringer (7 bis 15°C) als bei Hochtemperatur-Systemen (ca. 30-40°C) (siehe Kap. 2.2 und 2.6.1). Ein grösserer Temperaturunterschied führt zu einer erhöhten Abgabeleistung. Um bei niedrigen Temperaturen trotzdem genug Wärme ohne zusätzliche Dämmung der Gebäudehülle zu erzeugen, muss das Wärmeabgabesystem über eine grössere Oberfläche verfügen, damit mehr Wärme über Konvektion und Strahlung abgegeben werden kann.

Dies führt dazu, dass bei einem Umbau auf Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen die Heizkörper mehr Fläche benötigen, was einen Platzverlust für die Anwohnenden mit sich bringt. Die Experten weisen auf mehrere Lösungsansätze hin, welche dieses Hemmnis verringern können.

Lösungsansätze:

Eine Lösung ist, Wärmeabgabesysteme zu entwickeln, die für den Betrieb mit niedrigen Vorlauftemperaturen bei zugleich hohen Temperaturdifferenzen optimiert sind, bei welchen die Heizkörper nur geringfügig, bis gar nicht grösser dimensioniert werden müssen.

- Heizkörper mit Ventilation: Dies ist beispielsweise durch eine mit Ventilatoren aktive Luftzirkulation anstelle der rein passiven Konvektion möglich. Solche Produkte sind bereits heute auf dem Markt verfügbar. Für die aktive Luftzirkulation ist jedoch zwingend ein elektrischer Anschluss notwendig, was ein Hemmnis dieser Lösung darstellt.
- Tiefere Heizkörper: Andererseits lässt sich die Konvektion auch durch eine Anpassung der Konstruktion optimieren z.B. mittels Anbringen von Lamellen oder zusätzlichen Gliedern, hierzu wird der Heizkörper tiefer, aber nicht breiter.
- Ergänzung von Heizkörpern: Weiter können in kritischen Räumen Heizkörper ergänzt werden, um so die benötigte Wärme zu liefern. Diese Ergänzung würde nur in einzelnen Räumen zu Platzverlust führen.

Ersatz Heizverteilung

Hemmnis

Aufgrund der reduzierten Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf benötigen Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen eine höhere Wassermenge (Volumenstrom) und gegebenenfalls grössere Rohrdurchmesser, um die gleiche Wärmemenge wie ein herkömmliches System zu transportieren. Dadurch erhöht sich in bestehenden Heizverteilungen der Druckverlust und die Umwälzpumpe benötigt mehr Betriebsenergie. Zusätzlich kann es zu Strömungsgeräuschen kommen. Je nach Dimensionierung des bestehenden Systems müssen die Leitungen neu dimensioniert und installiert werden.



In Experteninterviews wurde jedoch betont, dass die Heizverteilungen in den meisten Gebäuden ausreichend dimensioniert sind, um die erforderlichen höheren Wassermengen auch bei abgesenkter Vorlauftemperatur ohne grössere Anpassungen zu bewältigen. Nur in Ausnahmefällen könnte ein vollständiger Leitungsaustausch technisch notwendig werden.

Lösungsansatz

- Entwicklung WAG ohne Ersatz Heizverteilung: Eine Lösung wäre die Entwicklung von Wärmeabgabesystemen, welche ohne den Ersatz von Leitungen auskommen, beispielsweise durch die hohe Temperaturspreizungen minim erhöhten Druckverlusten (vgl. Hemmnis «erhöhter Platzbedarf der Heizkörper») und/oder eines bereits überdimensionierten Systems.
- Beurteilung Notwendigkeit Ersatz: Weiter gilt es Methoden zu prüfen, um die Notwendigkeit eines Ersatzes der Verteilungen einfach und effizient beurteilen zu können. Idealerweise ohne umfangreiche Berechnungen anstellen zu können. Auch gilt es zu definieren, bis zu welchem Punkt erhöhte Druckverluste für einen solchen Fall als akzeptierbar angesehen werden können.

4.2.2 Ökonomische Hemmnisse

Ökonomische Hemmnisse entstehen durch die hohen Kosten, die mit der Modernisierung von Wärmeabgabesystemen verbunden sind. Dies betrifft sowohl direkte Investitionen, mögliche Zusatzkosten für technische Massnahmen als auch Unsicherheiten bei der Kostenübernahme und fehlende finanzielle Förderungen. Auch detailliertere Planungs- und Analyseaufwände können die Projektkosten erhöhen.

Hohe Kosten des neuen WAG

Hemmnis

Die Anschaffungskosten für Niedertemperatur-Heizkörper, die mit Vorlauftemperaturen von rund 40 °C arbeiten, sind durchschnittlich etwa doppelt so hoch pro Kilowatt Heizleistung wie herkömmliche Hochtemperatur-Heizkörper (siehe Abbildung 17).

Dazu können noch zusätzliche Kosten für die neuen Verteilungen mit grösserem Rohrdurchmesser, Wand- und Boden-Durchbrüche zur Vergrösserung der Leitungslöcher, Anpassungen/Neuerstellung der Verschalungen der Heizkörper und die Montage dazukommen.

Lösungsansätze

- Finanzielle Förderprogramme könnten die wirtschaftliche Attraktivität von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen deutlich erhöhen. In den Experteninterviews wurde jedoch kontrovers diskutiert, wie wirksam solche Fördermittel tatsächlich sind und wie klar ihre Anwendungsbe-
reiche abgegrenzt werden sollten.
- Ein potenzieller Lösungsweg liegt in der Entwicklung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen, die ohne den vollständigen Ersatz bestehender Heizkörper oder Verteilungen auskommen. Systeme mit optimierter Auslegung und hoher Effizienz könnten die Notwendigkeit aufwendiger baulicher Eingriffe verringern (siehe auch Hemmnisse zu «Erhöhter Platzbedarf der Heizkörper» und «Ersatz der Heizverteilung»).

Zusätzliche Kosten durch Massnahmen gegen Unterkühlung der Erdwärmesonden (EWS)

Hemmnis

Die Absenkung der Vorlauftemperatur bei einem Wechsel zu Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen steigert die Effizienz von Wärmepumpen. Bei bestehenden Sole/Wasser-Wärmepumpen führt dies zu einer erhöhten Entzugsleistung aus der Erdwärmesonde.



Je nach Auslegung des bestehenden Systems kann dies zu einer Unterkühlung des Erdreichs und im Extremfall zu Beschädigungen der Erdsonde führen. Um solche Schäden zu vermeiden, sind Massnahmen wie die Erweiterung durch zusätzliche Sondenfelder oder die Regeneration der Erdsonde (z. B. thermisch oder solar) erforderlich, was die Gesamtkosten für die Umstellung auf ein Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem erhöhen kann.

In Experteninterviews wurde dieses Hemmnis jedoch als relativ gering eingeschätzt. Grund dafür ist, dass entsprechende Produkte, Verfahren und Planungsrichtlinien zur Vermeidung von Unterkühlung am Markt etabliert und in der Fachplanung bekannt sind. Eine sorgfältige Systemanalyse und -dimensionierung kann das Risiko wirksam minimieren.

Unklare Kostenübernahme bei Ersatz des WAG

Die Frage, ob die Kosten für den Ersatz des Wärmeabgabesystems vom Vermieter oder von den Mietenden zu tragen sind, ist nicht eindeutig geregelt. Im AP1 und AP2 wurde die Regelung zur Kostenübernahme nicht in den Investitionskosten beachtet, bei der Umsetzung ist die Regelung für die Eigentümerin trotzdem relevant (siehe Kap.2.10.8). Handelt es sich um eine wertvermehrende Investition im Sinne einer Massnahme zur rationelleren Energienutzung oder zur Förderung erneuerbarer Energien, kann ein Teil der Kosten gemäss Art. 14 der Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (VMWG) über eine Mietzinserhöhung auf die Mietenden überwält werden [50], es steht aber keine Vorgabe für den überwältbaren Anteil. Der mögliche überwältbare Anteil ist von Objekt zu Objekt unterschiedlich und muss im Einzelfall eruiert werden.

Der Mieterverband Basel-Landschaft insistiert in ihrer Stellungnahme zur Klimastrategie Basel-Landschaft, dass durch den Regierungsrat vorgeschriebene Massnahmen zur Energieeinsparung bei Umbauten und Sanierungen keine wertvermehrenden Investitionen sind und somit nicht zu einer Mietzinserhöhung führen dürfen [51]. Die Kostenübernahme muss im Einzelfall je nach Kanton und frühere Präzedenzfälle eruiert werden.

Die Rechtsunsicherheit auf Vermieterseite kann Investitionsentscheide bremsen, insbesondere, wenn davon ausgegangen wird, dass eine Überwälzung auf die Mietenden auf geringe Akzeptanz stösst.

Zudem besteht während des Umbaus im bewohnten Zustand die Möglichkeit, dass Mietende aufgrund von Lärm und eingeschränkter Nutzung der Wohnung eine Mietzinsreduktion verlangen. Diese temporäre Ertragsminderung kann die Attraktivität des Umbaus zusätzlich schmälern, insbesondere bei länger dauernden Arbeiten.

Lösungsansätze

- Um finanzielle Einbussen für Vermietende zu vermeiden, könnte durch den Bund vorgesehen werden, dass bei energetischen Sanierungsprojekten keine Mietzinsreduktion geltend gemacht werden darf.
- Ein alternativer Ansatz ist das Energiespar-Contracting (ESC): Dabei werden die Investitionskosten zwischen Vermieter und Mietern aufgeteilt. Der Vermieter ist berechtigt, einen festgelegten Anteil der Kosten für energetische Gebäudesanierungen über einen bestimmten Zeitraum über die Nebenkosten auf die Mieter umzulegen. Dabei gilt: Die umgelegten Kosten dürfen nicht höher ausfallen als die Betriebskosten des ursprünglichen, unsanierten Systems. Angebote gibt es hierzu unter anderem vom Verband swissesco.



Höhere Projektkosten durch detailliertere Analysen

Hemmnis

Soll die Heizverteilung im Detail analysiert werden, um zu prüfen, ob diese für den Einbau des neuen Wärmeabgabesystems ersetzt werden muss oder nicht, sind aufwändige Simulationen und energetische Analysen erforderlich. Dies verursacht zusätzliche Kosten und Zeitaufwand, da im bewohnten Zustand unter Umständen auch reale Tests mit reduzierter Vorlauftemperatur durchgeführt werden müssen. Dabei ist es oft nötig Temperaturmessungen vorzunehmen und das Verhalten des gesamten Heizsystems zu beobachten. Der Gesamtaufwand ist daher deutlich höher als bei einer rein theoretischen Betrachtung.

Lösungsansätze

- Einsatz statischer Berechnungen oder vereinfachter Simulationen zur Abschätzung der Systemleistung.
- Entwicklung und Nutzung technischer Hilfsmittel, die die Berechnung und Analyse vereinfachen und beschleunigen.

Keine Fördergelder für Ersatz von Wärmeabgabesystemen

Hemmnis

Derzeit werden Fördermittel hauptsächlich für den Austausch fossiler Heizungen durch Wärmepumpen gewährt. Der reine Ersatz von Wärmeabgabesystemen wird hingegen bislang nicht gefördert.

Lösungsansätze

- Finanzielle Förderprogramme: Die nachweisliche Wirksamkeit von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen sollte stärker kommuniziert werden, um Bund und Kantone zu motivieren, entsprechende Förderprogramme einzurichten. Allerdings sind sich Experten uneinig darüber, wie wirkungsvoll Fördergelder tatsächlich sind.

Im Fall von Installation Flächenheizung hohe Mehrkosten für Deckbelag

Hemmnis

Bei der Installation einer Fussbodenheizung verdoppeln sich die Kosten pro kW im Vergleich zum Austausch von Heizkörpern, da in der Regel auch der Bodenbelag erneuert werden muss (Kapitel 2.9.). Experten weisen darauf hin, dass aufgrund der höheren Kosten und des Mehraufwands viele Planende sich eher gegen eine Fussbodenheizung und zugunsten von Heizkörpern entscheiden.

Lösungsansätze

- Es könnte wirtschaftlich sinnvoll sein, bei ohnehin erforderlichen Bodenbelagssanierungen gleichzeitig eine Flächenheizung einzubauen. Hierfür sollten Planer:innen und Architekt:innen die Führung übernehmen, um Synergien zu nutzen.

4.2.3 Koordinative Hemmnisse

Die Koordination verschiedener Akteure und Gewerke stellt eine grosse Herausforderung dar. Fachkräftemangel, unklare Schnittstellen zwischen den beteiligten Gruppen sowie die aufwändige Organisation für den Zugang zu Wohnungen erschweren eine effiziente und reibungslose Umsetzung. Zudem ist die Sicherstellung der Wirksamkeit der Massnahmen organisatorisch anspruchsvoll.



Fachkräftemangel

Hemmnis

Es besteht aktuell ein Mangel an qualifizierten Planer:innen und Installateur:innen, was zu Verzögerungen, erhöhtem Aufwand und höheren Kosten bei der Umsetzung von Projekten führen kann. Nahezu alle Experten bestätigen, dass insbesondere gut ausgebildete Fachkräfte schwer zu finden sind.

Lösungsansätze

- Attraktive Ausbildung: Die Ausbildung in den relevanten Berufen sollte attraktiver gestaltet werden, um mehr Nachwuchs zu gewinnen. Dies ist eine Aufgabe für die Berufs- und Branchenverbände.
- Werbung: Durch gezielte Werbemassnahmen und eventuell erleichterte Zugangswege zur Ausbildung könnten mehr Interessierte für die Branche gewonnen werden.

Unklare Schnittstellen/ Schwierige Koordination zwischen Gewerben

Hemmnis

Der Einbau von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen erfordert die enge Zusammenarbeit mehrerer Beteiligter: Hersteller:innen, Planer:innen, Installateur:innen, Vermieter:innen sowie Mieter:innen. Die Koordination dieser Akteure, von der Besichtigung über die Planung bis zur Umsetzung, gestaltet sich häufig komplex und zeitaufwendig. Unklare Zuständigkeiten und schlecht abgestimmte Schnittstellen können zu Verzögerungen, Mehrkosten oder Umsetzungsfehlern führen.

Lösungsansätze

- Klare Definition von Schnittstellen und Abläufen: Hersteller:innen könnten standardisierte und vereinfachte Prozessmodelle entwickeln, in denen Rollen, Zuständigkeiten und Schnittstellen zwischen den Gewerken klar geregelt sind. Dies würde Planungs- und Abstimmungsaufwand deutlich reduzieren.
- Komplettlösungen aus einer Hand: Einige Anbieter setzen bereits erfolgreich auf integrierte Lösungen, bei denen Produkt, Planung und Installation aus einer Hand erfolgen. Dadurch reduziert sich die Zahl der notwendigen Schnittstellen erheblich. Die Abstimmung beschränkt sich im Wesentlichen auf den Austausch zwischen Anbieter, Vermieter:in und Mieter:in. Diese Herangehensweise kann insbesondere in der Sanierungspraxis den Aufwand deutlich verringern.

Aufwändige Organisation für Zugang zu Wohnungen

Hemmnis

Um den Heizkörperersatz/Einbau der Fussbodenheizung zu planen muss Zugang zu den Wohnungen für Begutachtung und Installation bestehen. Im bewohnten Zustand ist die Terminvereinbarung mit den Bewohnenden je nach Anzahl der Wohnungen mit grossem Zeitaufwand verbunden.

Lösungsansätze

- Die Nutzung von einfachen digitalen Hilfsmitteln könnte den Aufwand verringern. Grössere Liegenschaften bieten bereits eine vereinfachte Kommunikation über Apps an. Mit diesen können Termine geplant werden und zu Projektständen kommuniziert werden, ohne dass viel Aufwand für Telefonate und Mailings betrieben werden muss. In Bezug auf ältere Generationen könnte dieser Ansatz jedoch auch ein Hemmnis sein.



Sicherstellung der Wirkung der Massnahme

Hemmnis

Damit die Energieeinsparungen durch die Umstellung auf Niedertemperatur-Wärmeabgabesysteme erhalten bleiben, muss sichergestellt werden, dass die Vorlauftemperatur im Betrieb nicht über das geplante Niveau angehoben wird. Eine höhere Vorlauftemperatur würde die Effizienz und damit die Investitionswirkung erheblich beeinträchtigen.

Lösungsansätze

- Schulungen für Vermieter:innen und Installateur:innen: Sensibilisierung und gezielte Weiterbildung, damit bei regelmässigen Heizungsprüfungen die maximale Vorlauftemperatur überwacht und strikt gemäss Planung eingehalten wird.
- Technische Begrenzung der Vorlauftemperatur: Einstellung der Wärmepumpe auf eine festgelegte Maximaltemperatur durch qualifizierte Fachkräfte. Diese Einstellung sollte so gesichert werden, dass sie von nicht befugtem Personal, wie etwa der Hauswartin, nicht verändert werden kann.
- Alarmfunktion bei Überschreitung: Implementierung eines Alarmsystems, das bei Überschreiten der Maximalvorlauftemperatur eine Benachrichtigung an die zuständige Fachperson sendet, damit diese schnell reagieren und die Einstellungen korrigieren kann. Die Herausforderung liegt dabei in der Zuordnung des Alarms an die richtige Kontaktperson.
- Visualisierung direkt an der Anlage: Eine klare Anzeige der maximal zulässigen Vorlauftemperatur in der Nähe der Wärmepumpe kann als stetige Erinnerung dienen und Fehlbedienungen verhindern.

4.2.4 Regulatorische Hemmnisse

Regulatorische Rahmenbedingungen und gesetzliche Vorgaben führen zu Einschränkungen und zusätzlichen Aufwänden. Das betrifft insbesondere Denkmalschutzauflagen, längere Umsetzungsfristen aufgrund von Mieterschutz, mögliche Zusatzkosten durch gesetzliche Pflichten und oft unklare Zuständigkeiten bei der Umsetzung von Massnahmen.

Auflagen durch Denkmalschutz

Hemmnis

Gebäude unter Denkmalschutz unterliegen häufig strengen Vorgaben hinsichtlich Umbauten. Die Installation neuer Heizkörper oder einer Fussbodenheizung ist bei solchen Objekten oft mit erheblichem Mehraufwand verbunden oder teilweise sogar ausgeschlossen.

Laut Experten betrifft dies jedoch nur wenige Einzelfälle, insbesondere bei besonders geschützten Innenausstattungen wie historischen Böden in Schlössern. Insgesamt stellt der Denkmalschutz somit ein eher geringes Hemmnis dar.

Lösungsansatz

- Lockerung Denkmalschutz: Eine gezielte Lockerung der Denkmalschutzauflagen für Heizungssystemanpassungen könnte in Erwägung gezogen werden. Da nur wenige Gebäude davon betroffen sind, würde sich der damit verbundene Aufwand für Ausnahmeregelungen vermutlich nicht lohnen.



Evtl. Zusatzaufwendungen/-kosten

Hemmnis

In einigen Kantonen besteht eine gesetzliche Pflicht, Energiezähler (VHKA-Geräte) einzubauen, wenn bei bestehenden Gebäuden mit zentraler Wärmeversorgung wesentliche Erneuerungen am Heizungs- oder Warmwassersystem vorgenommen werden. Diese Pflicht gilt in der Regel ab fünf Nutzeinheiten (z. B. Wohnungen). Der Einbau der VHKA-Geräte verursacht zusätzliche Kosten und Aufwand. Experten sehen diese Mehrkosten jedoch nicht als wesentliches Hemmnis an, das einen Heizungsaustausch verhindern oder verzögern würde.

Längere Umsetzungsfristen aufgrund des Mieterschutzes

Hemmnis

Bauliche Massnahmen an Mietobjekten unterliegen dem Mieterschutz, was zu verlängerten Umsetzungsfristen führt. Sanierungen und bauliche Eingriffe müssen frühzeitig angekündigt, rücksichtsvoll geplant und eng mit den Mieter:innen abgestimmt werden. Bei temporären Komforteinschränkungen besteht zudem das Risiko von Mietzinsreduktionen, was eine sorgfältige und oft etappierte Umsetzung erforderlich macht.

Lösungsansatz

- Anreizsysteme für effiziente Umsetzung: Die Einhaltung oder Verkürzung von Bauzeiten könnte durch finanzielle Anreize, etwa reduzierte Bewilligungsgebühren, belohnt werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass die Bauqualität und die Rücksichtnahme auf Mieter:innen nicht darunter leiden.

Unklare Zuständigkeiten bei der Umsetzung von Massnahmen

Hemmnis

Die Verantwortung für die Verbreitung und Umsetzung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen ist unklar. Es fehlt ein klar definierter Akteur, der die Initiative koordiniert vorantreibt.

Einerseits könnten Bund und Kantone über gesetzliche Vorgaben, Förderprogramme oder regulatorische Rahmenbedingungen die Marktdurchdringung aktiv steuern. Andererseits haben auch Energieversorgungsunternehmen (EVU) bzw. Netzbetreiber:innen eine potenziell zentrale Rolle.

Lösungsansätze

- Die gezielte Verbreitung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen sollte offiziell anerkannt und aktiv unterstützt werden. Eine Integration entsprechender Zielsetzungen in die Klimastrategien von Bund, Kantonen und Gemeinden wäre ein sinnvoller Schritt, um deren Relevanz für die Dekarbonisierung des Gebäudebestands zu unterstreichen.
- Auf regulatorischer Ebene könnten, analog zu heutigen Neubauvorschriften, auch im Sanierungsfall verbindliche Vorgaben zur maximalen Vorlauftemperatur eingeführt werden. Solche Anforderungen könnten zudem an Förderkriterien für den Einsatz von Wärmepumpen geknüpft oder als Bonus-Programm ausgestaltet werden (z.B. analog Förderbonus Kt. Zürich für Erdwärmesonden ohne Frostschutzmittel). Bezüglich dem Vollzug stellt sich die Frage, wie diese Betriebseinstellung überprüft und langfristig sichergestellt wird.
- Förderprogramme sollten gezielt auf Systeme mit niedriger Vorlauftemperatur ausgerichtet werden, etwa durch differenzierte Förderbeiträge oder erleichterte Zugänge zu Subventionen bei Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem-konformen Projekten.



- Die Einführung dynamischer Strompreise könnten einen Anreiz setzen, um Systeme so zu dimensionieren, dass sie zu Zeiten von wenig Energie und hoher Strompreise (Winter) wenig Leistungsbezug haben. Die Auswirkungen dynamischer Stromtarife auf dieses Verhalten ist zurzeit schwer abschätzbar und bedarf einer detaillierten Betrachtung. (Netzbetreiber:innen).
- Ergänzend wäre auch die Einführung einer leistungsabhängigen Tarifkomponente für grössere Wärmepumpen denkbar – ähnlich wie es heute in der Industrie bereits teilweise praktiziert wird (Netzbetreiber:innen).

4.2.5 Soziale Hemmnisse

Soziale Hemmnisse ergeben sich durch Beeinträchtigungen der Mietenden während der Bauarbeiten, wie Lärm, Staub und Nutzungseinschränkungen, bis hin zu temporären oder dauerhaften Auszügen. Ausserdem hemmen fehlende Innovationsbereitschaft, Vorurteile gegenüber neuen Technologien und geringe Anreize für bauliche Anpassungen die Akzeptanz und Umsetzung.

Temporärer oder dauerhafter Auszug der Mieter:innen

Hemmnis

Bei umfangreicheren Umbauten, insbesondere beim Austausch oder der Nachrüstung von Wärmeabgabesystemen, kann ein temporärer, in manchen Fällen sogar dauerhafter, Auszug der Mieter:innen erforderlich werden. Für die Bewohnenden bedeutet dies zusätzlichen Aufwand und Kosten, etwa durch die Suche nach einer Übergangs- oder Ersatzwohnung. Gleichzeitig entstehen für Vermietende Mietausfälle und zusätzlicher Koordinationsaufwand. Die soziale Akzeptanz für solche Eingriffe ist generell gering.

Lösungsansatz

Ein zentrales Ziel sollte sein, bauliche Massnahmen möglichst im bewohnten Zustand umzusetzen. Technologische und prozessorientierte Lösungen können dazu beitragen, den Bedarf für einen Auszug deutlich zu reduzieren oder ganz zu vermeiden:

- Schnell installierbare WAG-Systeme:
 - o Heizkörper mit identischen Anschlusshöhen: Der Austausch kann laut Expert:innen innerhalb weniger Tage pro Wohnung erfolgen, ohne grössere Eingriffe in die bestehende Infrastruktur.
 - o Installation Trockenfussboden- oder Deckenheizsysteme: Diese lassen sich in der Regel innerhalb von einer Woche installieren. Voraussetzungen dafür sind das zeitweise Umlagern von Möbeln sowie ggf. kleinere Anpassungen (z. B. an Türhöhen). Durch die trockene Bauweise wird aufwändiges Trocknen vermieden, was die Bauzeit erheblich verkürzt.

Lärm, Staub und Einschränkungen der Nutzung während Einbau

Hemmnis

Die Installation neuer Wärmeabgabesysteme ist für Mieter:innen oft mit erheblichem Aufwand verbunden. Lärm, Staub und temporäre Einschränkungen in der Wohnnutzung sind häufige Begleiterscheinungen. In manchen Fällen müssen einzelne Räume für mehrere Tage unbenutzbar bleiben oder die Mieter:innen vorübergehend ausziehen. Diese Unannehmlichkeiten wirken abschreckend und verzögern oder verhindern notwendige Sanierungen.

Lösungsansatz



- Entwicklung von WAG-Systeme, die im bewohnten Zustand schnell und mit wenig oder ohne Lärm- und Staubemissionen installiert werden können.
 - o Heizkörper nach Mass: Es existieren Modelle mit standardisierten Anschlusshöhen, die sich ohne Anpassungen einfach und rasch austauschen lassen.
 - o Trockenbausysteme für Fussbodenheizung: Diese Systeme sind innerhalb von 3–4 Tagen installiert, verursachen kaum Feuchtigkeit, lassen sich deutlich schneller umsetzen als konventionelle Nasssysteme – allerdings bei etwas höheren Kosten.
 - o Modulare bzw. stufenweise Umsetzung: Ein Baukastensystem erlaubt es, die Sanierung über mehrere Jahre zu verteilen. Z. B. könnte bei einem Mieterwechsel eine Fussbodenheizung nachgerüstet werden. Dies würde Investitionskosten über mehrere Steuerjahre strecken.
- Einsatz moderner Montagetechnologien: Für eine saubere und lärmreduzierte Ausführung gibt es bereits praxiserprobte Lösungen:
 - o Vorgefertigte Rohrleitungen, die geklemmt statt geschweisst werden – schnell und ohne Lärm.
 - o Bohrgeräte mit integrierter Staubabsaugung reduzieren Verschmutzung erheblich.
 - o Vorinstallierte Module oder Systeme mit geringem Eingriff in die bestehende Bausubstanz.

Fehlende Innovationsbereitschaft

Hemmnis

Ein zentrales Hemmnis liegt in der mangelnden Innovationskultur. Es gibt zu wenig Bereitschaft, über den eigenen Aufgabenbereich hinaus ganzheitlich zu denken. Viele Akteure verbleiben in ihrer "eigenen Welt" und handeln aus Bequemlichkeit nach bekannten Mustern. Statt innovativer Ansätze wird bevorzugt auf Bewährtes gesetzt, was sich leicht verkaufen lässt und keine zusätzlichen Risiken birgt. Es herrscht die Haltung: „Es gibt genügend Arbeit. Innovation ist nicht zwingend nötig.“

Geringe Anreize für bauliche Anpassungen

Hemmnis

Ein weiteres Hemmnis sind die niedrigen Anreize zur baulichen Optimierung von Gebäuden. In Städten wie Zürich gibt es genügend Mietinteressenten, auch ohne bauliche Verbesserungen. Der bestehende Wohnungsmangel führt dazu, dass Investitionen in Gebäudeeffizienz wirtschaftlich oft nicht attraktiv erscheinen. Dazu kommt, dass finanzielle Vorteile durch Modernisierung oft nur den Mietern zugutekommen, was die Investitionsbereitschaft der Eigentümer hemmt.

Lösungsansätze

- Regulatorische Vorgaben, dass ab bestimmter Lebensdauer Wärmeerzeugung und -verteilung erneuert bzw. durch erneuerbare Systeme ersetzt werden muss. Bei der Definition der Lebensdauer ist eine Abwägung bezüglich dem effektiven ökologischen Mehrwert des Heizungsersatzes notwendig. Regulatorische Vorgaben müssen mit Bedacht gesetzt werden, um keine neuen Hürden zu schaffen.
- Wenn Heizsysteme künftig auch Kühlfunktionen übernehmen, kann dies ein zusätzlicher Anreiz sein, auf zukunftsfähige Wärmeerzeugungssysteme umzusteigen.



Vorurteile gegenüber Technologie

Hemmnis

Technologie-Skepsis ist ein verbreitetes Hemmnis. Häufig bestehen Zweifel an der tatsächlichen Effizienz neuer Systeme oder es wird befürchtet, dass der gewohnte Komfort verloren geht.

Lösungsansatz:

- Aufklärung und Wissensvermittlung sind essenziell, um bestehende Vorurteile abzubauen und Vertrauen in neue Technologien zu schaffen.

4.2.6 Informative Hemmnisse

Ein zentrales informatives Hemmnis ist das fehlende Wissen über die Wirkung, Möglichkeiten und Installation neuer Niedertemperatur-Wärmeabgabesysteme. Unzureichende Studien, mangelnde Weiterbildung und fehlende Informationsverbreitung erschweren die Verbreitung und Akzeptanz innovativer Lösungen.

Fehlendes Wissen über Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem

Hemmnis

Es mangelt an Wissen über die Wirkungsweise, Einsatzmöglichkeiten und Installation von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem. Bisher existieren nur wenige fundierte Studien, welche die Vorteile von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem gegenüber Hochtemperatur-Systemen oder der energetischen Sanierung der Gebäudehülle in Bezug auf Kosteneffizienz, Treibhausgasemissionen und Stromverbrauch umfassend untersuchen. Entsprechend ist das Potenzial von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem noch wenig bekannt, insbesondere in Fachkreisen.

Lösungsansätze

- Verstärkter Einsatz von praxisorientierten Studien und Pilotprojekte zur Veranschaulichung der Vorteile von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem hinsichtlich Effizienz und Nachhaltigkeit.
- Erstellung Fachartikel zur Publikation in Fachzeitschriften (Der Fachartikel zum AP 1 wurde bereits in der Fachzeitschrift «HK-Gebäudetechnik» veröffentlicht. Die Publikation der vollständigen Studie ist erfolgt nach Projektabschluss)
- Präsentation des Themas an Fachtagungen
- Schulungen und Weiterbildungen für Hersteller, Planer:innen und Installateur:innen zur Vermittlung von Grundlagen und praktischer Umsetzung.
- Konkrete Empfehlungen für Installateur:innen, wann ein Austausch des Wärmeabgabesystems sinnvoll oder erforderlich ist.
- Integration Wissen in Ausbildung technischer Berufe, insbesondere Planer:innen und Installateur:innen
- Breite Sensibilisierungskampagnen über die Relevanz der Wärmeverteilung und -abgabe, mit Fokus auf gesamtheitliches Systemverständnis.
- Entwicklung eines Merkblatts zur neuen Auslegung von Wärmeabgabeflächen, z. B. durch EnergieSchweiz, zur Erleichterung der Planung.
- In Planungs- und Auslege-Tools wie GEAK oder Minergie muss die Auswahl und Auslegung des Wärmeabgabesystems berücksichtigt werden, nicht nur die Wärmeerzeugung.



- Einbindung verschiedenster Akteure in den Wissensaufbau, darunter: Haustechnikverbände, Gebäudeklima Schweiz, Swisstec, Holzbauverband, Architekturverbände, Wohnbaugenossenschaften, Stadtwerke und Gemeinden, Immobilienverwaltungen von Gemeinden

Fehlende Nachfrage bei Nutzenden

Hemmnis

Laut Herstellern gibt es kaum Anfragen nach Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen, dafür jedoch eine zunehmende Nachfrage nach Kühlsystemen. Dies lässt darauf schliessen, dass bei den Nutzern oft ein mangelndes Wissen hinsichtlich der verfügbaren Optionen zur Wärmeerzeugung und -verteilung besteht.

Lösungsansätze

- Das Thema sollte verstärkt bei jenen Stellen verbreitet werden, an die sich Nutzende typischerweise zur Information über Heiztechnologien und energetische Sanierung wenden:
 - o Heizungsinstallateure / Gebäudetechniker (HLKS)
 - o Kantonale oder regionale Energieberatungsstellen
 - o Kantonale Energieämter
 - o Gebäudeprogramm von Bund & Kantonen
 - o GEAK-Expert:innen
 - o Energieberatungstools wie energiefranken.ch



Tabelle 22: Zusammenfassung Hemmnisse und Lösungsansätze

Kategorie	Hemmnis	Lösungsansatz	Schlüsselakteur
technisch	Erhöhter Platzbedarf der Niedertemperatur-Heizkörper	- Heizkörper mit Ventilation - Tiefere Heizkörper - Ergänzung von Heizkörpern	Hersteller:innen
	Ersatz Heizverteilung	- Entwicklung WAG ohne Ersatz Heizverteilung - Beurteilung Notwendigkeit Ersatz	Hersteller:innen Planer:innen
ökonomisch	Hohe Kosten des neuen WAG	- Finanzielle Förderprogramme - Beurteilung Notwendigkeit Ersatz	Bund/Kanton/Gemeinden Planer:innen
	Zusätzliche Kosten für Massnahmen gegen Unterkühlung EWS	- Es wurde kein Lösungsansatz evaluiert	
	Unklare Kostenübernahme bei Ersatz des WAG	- Keine Mietzinsreduktion bei energ. Sanierungen - Energiespar-Contracting (ESC)	Bund/Kanton/Gemeinden Unternehmen
	Höhere Projektkosten durch detailliertere Analysen	- Statischer Berechnungen oder vereinfachter Simulationen - Entwicklung und Nutzung technischer Hilfsmittel	Planer:innen
	Keine Fördergelder für Ersatz von Wärmeabgabesystemen	- Finanzielle Förderprogramme	Bund/Kanton
	Im Fall von Installation Flächenheizung hohe Mehrkosten für Deckbelag	- Installation bei erforderlicher Bodenbelagssanierung (Synergie)	Planer:innen
koordinativ	Fachkräftemangel	- Attraktivere Ausbildung - Werbemassnahmen und erleichterter Berufseinstieg	Ausbildungsstätten Unternehmen
	Unklare Schnittstellen zwischen Gewerben	- Klare Definition von Schnittstellen und Abläufen - Komplettlösungen aus einer Hand	Hersteller:innen Planer:innen
	Aufwändige Organisation für Zugang zu Wohnungen	- Digitale Hilfsmittel	Liegenschaftsverwaltungen



	Sicherstellung der Wirkung der Massnahme	- Schulungen für Vermieter:innen und Installateur:innen - Technische Begrenzung der Vorlauftemperatur - Alarmfunktion bei Überschreitung - Visualisierung direkt an der Anlage	Intallateur:innen
regulatorisch	Auflagen durch Denkmalschutz	- Lockerung des Denkmalschutzes	Bund/ Kanton/Gemeinde
	Evtl. Zusatzaufwendungen/-kosten	- Es wurde kein Lösungsansatz evaluiert	
	Längere Umsetzungsfristen aufgrund des Mieterschutzes	- Anreizsysteme für effiziente Umsetzung	Bund/ Kanton/Gemeinde
	Unklare Zuständigkeiten bei der Umsetzung von Massnahmen	- Offizielle Anerkennung der Effizienzmassnahme - Regulatorisch verbindliche Vorgaben - Förderprogramme - Dynamische Strompreise - Leistungsabhängige Tarifkomponente	Bund/Kantone Bund/Kantone Bund/Kantone Netzbetreiber:innen Netzbetreiber:innen
sozial	Ggfs. temporärer oder dauerhafter Auszug der Mieter:innen	- Heizkörper mit identischen Anschlusshöhen - Installation Trockenfussboden- oder Deckenheizsysteme	Hersteller:innen Installateur:innen
	Lärm, Staub und Einschränkungen der Nutzung während Einbau	- Heizkörper nach Mass - Trockenbausysteme für Fussbodenheizung - Modulare bzw. stufenweise Umsetzung - Einsatz moderner Montagetechnologien	Hersteller:innen Installateur:innen
	Fehlende Innovationsbereitschaft	- Es wurde kein Lösungsansatz evaluiert	
	Geringe Anreize für bauliche Anpassungen	- Regulatorische Vorgaben - Kühlfunktion als Verkaufsvorteil	Bund/Kanton/Gemeinde Verkäufer:innen
	Vorurteil gegenüber Technologie	- Aufklärung und Wissensvermittlung	
informativ	Fehlendes Wissen	- Praxisorientierte Studien und Pilotprojekte	



		- Fachartikel - Präsentation an Fachtagungen - Schulungen und Weiterbildungen - Konkrete Empfehlungen - Integration Wissen in Ausbildung - Sensibilisierungskampagnen - Entwicklung Merkblatt - Aufnahme Art WAG in Auslegetools - Wissensaufbau in Verbänden	
	Fehlende Nachfrage bei Nutzenden	- Verbreitung Themen an Anlaufstellen für Nutzende	



4.3 Diskussion Arbeitspaket 3

Im Rahmen des Arbeitspakets 3 wurden zentrale Hemmnisse für den Einsatz von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen identifiziert und erste Lösungsansätze entwickelt. Dabei hat sich deutlich gezeigt, dass es keine einzelne Massnahme gibt, die alle Herausforderungen gleichzeitig adressieren kann. Vielmehr handelt es sich um ein komplexes Zusammenspiel technischer, wirtschaftlicher und sozialer Faktoren.

Aus den durchgeführten Experteninterviews wurde insbesondere auf zwei Haupthindernisse hingewiesen: Einerseits stellen die vergleichsweise hohen Investitionskosten eine bedeutende Hürde dar, andererseits fehlt es in vielen Fällen an Wissen über die Technologie und deren praktische Umsetzung.

Ökonomische Hemmnisse könnten durch gezielte Förderprogramme abgefedert werden. Jedoch muss betont werden, dass sie allein nicht ausreichen, um den Markt grundlegend zu verändern. Förderungen sind unterstützend, aber kein Allheilmittel. Welche konkreten Förderinstrumente am besten geeignet sind, sei es investive Zuschüsse, zinsvergünstigte Kredite oder steuerliche Anreize, ist derzeit noch offen und bedarf vertiefter Untersuchungen.

Ein möglicher Ansatz zeigt sich im Abgleich mit den Erkenntnissen aus Arbeitspaket 1 und 2: Die Installation eines Niedertemperatur-Wärmeabgabesystems ist wirtschaftlich und energetisch insbesondere in unsanierten Gebäuden sinnvoll. Die Zielgruppe dieser Massnahme sollten deshalb Eigentümer solcher Gebäude sein, die keine Mittel für eine umfassende Sanierung aufbringen können, aber dennoch ihren Energieverbrauch und ihre Treibhausgasemissionen senken möchten. Eine Förderung könnte gezielt auf diesen Gebäudetyp und die tiefen Vorlauftemperaturen ausgerichtet sein, um die Massnahme sowohl kosten- als auch energieeffizient zu gestalten.

Ebenso stellt sich die Frage, an welchen Stellen im Bildungssystem technisches und praktisches Wissen über Niedertemperatur-Systeme sinnvoll integriert werden könnte. Eine weiterführende Studie in Kooperation mit Bildungsinstitutionen wäre in diesem Kontext hilfreich, liegt jedoch ausserhalb des gegenwärtigen Projektumfangs.

Ein zentrales Ergebnis der Analyse ist, dass der Einsatz von Niedertemperatur -Wärmeabgabesystemen stets standort- und gebäudespezifisch geprüft werden muss. In der vorliegenden Studie wurde aus Vereinfachungsgründen angenommen, dass Heizverteilung und Heizkörper vollständig ersetzt werden müssen. Fachleute aus der Praxis weisen jedoch darauf hin, dass dies nicht immer zutrifft. In vielen Bestandsgebäuden ist die bestehende Heizverteilung ausreichend dimensioniert, sodass nur ein Teil der Komponenten angepasst oder ersetzt werden müsste. Das bedeutet, dass die tatsächlichen Investitionskosten in der Praxis oft geringer sein könnten als in der Studie angenommen.

Als nächster Schritt wäre es zielführend, die im Rahmen dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse breit zu kommunizieren. Ein besonderer Fokus sollte dabei auf der Schliessung von Informationslücken und der Sensibilisierung relevanter Akteure liegen, sowohl in der Immobilienwirtschaft als auch bei Planern, Installateuren, Behörden und Bildungseinrichtungen. Nur so kann ein effektiver Wissenstransfer stattfinden und langfristig eine verstärkte Umsetzung von Niedertemperatur -Wärmeabgabesystemen erreicht werden.



5 Publikationen

Zur vorliegenden Studie wurde in folgenden Medien ein Fachartikel publiziert:

- Fachzeitschrift: HK Gebäudetechnik, Ausgabe 3 -2025
- Online Fachmagazin: ee-news.ch ([Deutsch](#), [Französisch](#))
- Fachzeitschrift: Erneuerbare Energien, Ausgabe Nr. 4 August 2025



6 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesrat, „Langfristige Klimastrategie der Schweiz,“ Bern, 2021.
- [2] BAFU, „Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz,“ 2021.
- [3] Kemmler. A. et. al., „Energieperspektiven 2050+,“ Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2021.
- [4] energieschweiz, „U-Werte Katalog von Bauteilen,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.bundespublikationen.admin.ch/>.
- [5] H. W. Wyss. S., „UFELD: Feldmessungen von U-Werten zur Überprüfung der im Gebäudeenergieausweis (GEAK) hinterlegten U-Werte,“ Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2016.
- [6] SIA 380/1, „Heizwärmebedarf,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2016.
- [7] SIA 416/1, „Kennzahlen für die Gebäudetechnik,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2007.
- [8] SIA 2024, „Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2021.
- [9] SIA 384/3, „Heizungsanlagen in Gebäuden, Energiebedarf,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2020.
- [10] EnDK, „Wärmepumpen-Berechnungsblatt WPEsti,“ V 8.0.6. [Online]. Available: <https://www.endk.ch/de/fachleute-1/hilfsmittel>.
- [11] SIA 381/3, „Heizgradtage der Schweiz,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 1982.
- [12] SIA 380/2, „Energetische Berechnungen von Gebäuden - Dynamisches Verfahren für Bedarfsabklärungen, Leistungs- und Energiebedarf,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2022.
- [13] SIA 2028, „Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2010.
- [14] SIA 384.201, „Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2017.
- [15] FWS, „Speicher Dimensionierungsvorgaben im WPSM-Pflichtenheft mit und ohne Eigenstromnutzung,“ Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS, Bern, 2018.
- [16] SIA 384/6, „Erdwärmesonden,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2021.
- [17] Dott. R. et al. , „Wärmepumpen: Planung; Optimierung, Betrieb, Wartung,“ Bundestamt für Energie (BFE), Bern, 2018.
- [18] FWS, „Funktionsschemata WPSM,“ Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS, Bern, 2023.
- [19] SIA 384/1, „Heizungsanlagenin Gebäuden - Grundlegende Anforderungen,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2009.
- [20] Prinzig M. et. al., „Feldmessung Wärmepumpen, 21. Status Seminar,“ 2020.
- [21] SIA 2032, „Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2020.
- [22] KBOB, „Ökobilanzdaten im Baubereich V6.2,“ 2022. [Online]. Available: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html. [Zugriff am 17 03 2025].



- [23] Interconnection Consulting , „IC Market Forecast & Company Profiles, Thermal Insulation in 2022,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.interconnectionconsulting.com/wp-content/uploads/2019/01/Press-Chart-Thermal-Insulation-in-DACH-2022-English.jpg>. [Zugriff am 27.11.2023].
- [24] Roost. M., et al, „WP-GAP: Performance Gap bei Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpe - die Rolle der Betreiber,“ Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2018.
- [25] Wesselmann K. , „Anwenderhandbuch zum GEAK Online-Tool,“ GEAK-Fachstelle c/o Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz, 2021.
- [26] Jakob M. et. al., „energieschweiz, INSPIRE Tool, Version Tool 1.48, Version Databade 1.21,“ 2015. [Online]. Available: <https://www.energieschweiz.ch/tools/inspire/> ,.
- [27] Primas A. et. al., „Niedertemperatur Wärmeverteilungssysteme, Systemevaluation für Instandsetzung und Neubauten,“ Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Zürich, 2012.
- [28] HSLU, „Heizkostenvergleichsrechner 2.0,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/ueber-uns/organisation/kompetenzzentren-und-forschungsgruppen/bau/gebaeudetechnik-und-energie/software-tools/>.
- [29] Ménard M., „Energy Performance GAP bei Instandsetzungen,“ Amt für Hochbauten Stadt Zürich, Zürich, 2022.
- [30] Cozza S. et al. , „GAPxPLORE: Energy Performance GAP in existing, new and renovated buildings,“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2019.
- [31] Hoffmann C. et. al. , „PRO380: Offene Fragen beim Einsatz der SIA380/1 als Prognoseinstrument bei Bestandesgebäuden (Wohnbauten),“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2017.
- [32] Bossard. I., et al., „OptiPower, Untersuchung der optimalen Auslegung der Leistung von Heiz- und Kühlsystemen für Wohn- und Verwaltungsgebäude,“ Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2023.
- [33] Bagemihl J. et. al. , „Von Zertifikat zur Physik, Bedeutung der zeitlichen Auflösung bei kosten- und emissionsbezogenen Entscheiden zur Wärmeversorgung von Gebäuden,“ Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Zürich, 2023.
- [34] Brischoux P. et. al. , „T-DROP: Lowering of heat distribution temperatures, for integration of renewables and decarbonization of multifamily buildings in dense districts (Intermin report),“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2024 .
- [35] Jakob M. et. al., „Low-Invest-Cost Sanierungen (LICS) - Potenziale und Limitationen von bestehenden und neuen Lösungen für Low-Invest-Cost Sanierungen zur Erreichung eines tiefen CO₂-Grenzwertes bei Bestandesbauten,“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2022.
- [36] Lämmle M. et. al. , „Performance of air and ground sources heat pumps retrofitted to radiator heating systems and measures to reduce space heating temperatures in existing buildings.,“ Elsevier, 2022.
- [37] Teutloff et. al. , „Beschleunigung des Ersatzes von Elektroheizungen,“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2022.
- [38] Jakob M. et al., „Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich,“ TEP Energy GmbH, 2021.
- [39] Hall M., Geissler A. , „Möglichkeiten und Grenzen von grossen Nullenergiegebäuden (GRENZNUL),“ Bundesamt für Energie , Bern, 2015.
- [40] Quiquerez L. et. al., „Températures de distribution de chauffage zu parc immobilier genevois,“ Université de Genève, Carouge, 2013.



- [41] EnDK, „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE),“ Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, Chur, 2000.
- [42] EnDK, „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE),“ Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, Chur, 2008.
- [43] EnDK, „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE),“ Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, Chur, 2014.
- [44] Bhend F. et. al., „Rationelle Energienutzung in Hochbauten, Musterverordnung,“ Bundesamt für Energiewirtschaft, Konferenz der kantonalen Energiefachstellen, 1992.
- [45] Kemmler A. et. al., „Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000-2022,“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2023.
- [46] BFE, „Wärmestrategie 2050,“ Bundesamt für Energie, Ittigen, 2023.
- [47] Walch M., Settembrini G., von Ew R., „Energieeinsparung bei Heizungsersatz - Mit Sanierung der Gebäudehülle vs. Ohne Sanierung der Gebäudehülle,“ Hochschule Luzern (HSLU), Luzern, 2025.
- [48] Anon., „Potenzial von Fernwärme- und Fernkälteanlagen,“ Bundesamt, Bern, 2021.
- [49] Bättschmann M. et al. , „FWS Jahresbericht 2023,“ Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS), 2023.
- [50] Schweizerische Bundesrat, „Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (VMWG),“ [Online]. Available: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1990/835_835_835/de. [Zugriff am 19 05 2025].
- [51] Mieterverband Basel-Landschaft, „Vernehmlassungen Klimastrategie Basel-Landschaft,“ 31 03 2023. [Online]. Available: <https://www.mieterverband.ch/mv-bl/medien/Vernehmlassungen.html>. [Zugriff am 19 05 2025].
- [52] B. f. S. (BFS), „Wohnungsgrösse,“ [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/wohnungen/groesse.html>. [Zugriff am 22. 11. 2023].
- [53] SIA 2031, „Energieausweis für Gebäude,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2009.
- [54] energieschweiz, „Leistungsgarantie Haustechnik,“ 2016. [Online]. Available: www.energieschweiz.ch.
- [55] S. Stettler, „Sonnendach.ch, Abschätzung der Heizenergiekennzahl für die Bauperiode ab 2016,“ Egon AG, Feldmeilen, 2021.
- [56] energieschweiz, „Heizkurve richtig einstellen,“ Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2022.
- [57] energieschweiz, „Energiehandbuch für Hauswartinnen und Hauswarte,“ 2022. [Online]. Available: www.energieschweiz.ch.
- [58] SINTEF Energi AS, „Software for modelling and simulation of ground source heating and cooling systems,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/interact/tr-a7570-software-for-modelling-and-simulation-of-ground-source-heating-and-cooling-systems-2016.pdf>.
- [59] Fadejev J., Kurnitski J., „Geothermal energy piles and boreholes design with heat pump in a whole building simulation software,“ 2015. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/enbuild.
- [60] SIA 480, „Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau,“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2004.



- [61] Rüdüsüli M., „Resiliente Stromversorgung: Gesamtsystem fit machen für neue Realitäten,“ Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, Aarau, 2025.
- [62] swissgrid, „Netzlaster,“ [Online]. Available: <https://www.swissgrid.ch/de/home/operation/grid-data/load.html#vertikale-netzlaster>. [Zugriff am 28.04.2025].
- [63] BFS, „Wohngebäude nach Bauperiode und Anzahl Wohnungen im Gebäude,“ 26.09.2023. [Online]. Available: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home.assetdetail.27585132.html>. [Zugriff am 22.11.2023].
- [64] FWS, „Pflichtenheft,“ Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS, Bern, 2020.
- [65] Jakob M. et al., „Erneuerbare - und CO2-freie Wärmeversorgung Schweiz,“ AEE Suisse, Bern, 2020.
- [66] Nussbaumer T. et al., „Faktenblatt Thermische Netze,“ Bundesamt für Energie (BFE), Ittigen, 2021.

7 Anhang

Anhang I: Aufnahmeformulare Objektbegehung

Anhang II: Kostengrundlagen

Anhang III: Objektauswertung Arbeitspaket 1



Anhang I: Aufnahmeformulare Objektbegehung

LEMON • CONSULT

Checkliste Objektdaten

Objektadresse:

Eigentümerschaft:

Ansprechperson für Zugang:

Allgemein

Baujahr

Anzahl Wohnungen

Anzahl Bewohner

Gebäudehülle

Bauteil

Aufbau

Unterlagen

- ☐ Grundrisse
- ☐ Schnitte
- ☐ Ansichten
- ☐ Fotodokumentation Gebäudehülle/Bauteile
- ☐ Fotodokumentation Wärmeabgabesystem
- ☐ Fotodokumentation Boden/Decke Wohnungen
- ☐ Energieverbrauchsdaten (mind. 3 Jahre, idealerweise exkl. WW)
- ☐ Leistungsmessung (optional)
- ☐ Aufnahmeblatt Wärmeerzeuger
- ☐ Aufnahmeblatt Heizgruppen
- ☐ Energietarife

Anmerkungen zum Objekt:



Aufnahmeblatt Wärmeerzeuger

erstellt durch:

Bezeichnung		Login:		Passwort:	
Anlagenzustand		Typ	Zustand	Typ	Zustand
Wärmeerzeugung				Energiemessung	
Heizungsregler				Stellantrieb	
Aussentemperatursensor				Regelventil	
Umwälzpumpe				Dämmung	
Grundlageninformationen					
Art der Wärmeerzeugung				Betriebspunkt. / th. Nennleistung	
Betriebsweise				Volumenstrom V _{max}	
Vorlauftemperatur bei Auslegung				Umwälzpumpe P _{max} / EFF	
Rücklauftemperatur bei Auslegung				Volumenstrom sekundär	
Regelparameter IST-Zustand					
Datum & Uhrzeit Regler				Aktuelle Aussentemp. / th. Leistung	0 kW
Heizgrenze Comfort	Param. Nr.: 0			Heizgrenze Economy	Param. Nr.: 0
Raumtemp Comfort / Fusspunkt	Param. Nr.: 0			Raumtemp Economy	Param. Nr.: 0
Min. Vorlauftemperatur	Param. Nr.: 0			Speicherüberhöhung	Param. Nr.: 0
Steigung	Param. Nr.: 0			Korrektur Raumtemp	Param. Nr.: 0
Bivalenzpunkt	Param. Nr.: 0			Gebäudezeitkonstante	Param. Nr.: 0
		Betriebszeiten		Nutzungszeiten	
		von	bis	von	bis
Mo-Fr					
Sa					
So					
		Kommentar			
Aussentemperatur	T _u , Comfort	T _u , Economy	Umwälzpumpe		
			Betriebsart		
			Volumenstrom		
			Förderhöhe		
			Leistungsaufnahme		
Aktuelle Vorlauftemp. (IST/SOLL)			Aktuelle Rücklauftemp. (IST/SOLL)		

Aufnahmeblatt Heizgruppe

erstellt durch: 0

Bezeichnung		Login:		Passwort:	
Anlagenzustand		Typ	Zustand	Typ	Zustand
Regulierung				Stellantrieb	
Aussentempersensor				Regelventil	
Umwälzpumpe				Dämmung	
Energiespeicherung					
Grundlageninformationen					
Wärmeleistung				Volumenstrom V _{max}	
Auslegungstemperatur				Umwälzpumpe P _{max} / EFF	
Vorlauftemperatur bei Auslegung				Hydraulische Schaltung	
Rücklauftemperatur bei Auslegung				Volumenstrom sekundär	
Rohrdimension					
Wärmeabgabesysteme		Typ	Zustand	Beschrieb	Temp.-Anforderung
Wärmeabgabesystem 1				Nutzung 1	
Wärmeabgabesystem 2				Nutzung 2	
Raumtemperaturregulierung				Nutzung 3	
Regelparameter IST-Zustand					
Datum & Uhrzeit Regler				Aktuelle Aussentemp. / th-Leistung	0 kW
Heizgrenze Comfort		Param. Nr.: 0		Heizgrenze Economy	Param. Nr.: 0
Raumtemp Comfort / Fusspunkt		Param. Nr.: 0		Raumtemp Economy	Param. Nr.: 0
Steigung		Param. Nr.: 0		Korrektur Raumtemp	Param. Nr.: 0
Minimale Vorlauftemperatur		Param. Nr.: 0		Gebäudezeitkonstante	Param. Nr.: 0
		Betriebszeiten		Nutzungszeiten	
		von	bis	von	bis
Mo-Fr					
Sa					
So					
Aussentemperatur		T _{VL} Comfort	T _{VL} Economy	Umwälzpumpe	
				Betriebsart	Stufe 0
				Volumenstrom	
				Förderhöhe	
				Leistungsaufnahme	
Aktuelle Vorlauftemp. (IST/SOLL)		°C		Aktuelle Rücklauftemp. (IST/SOLL)	



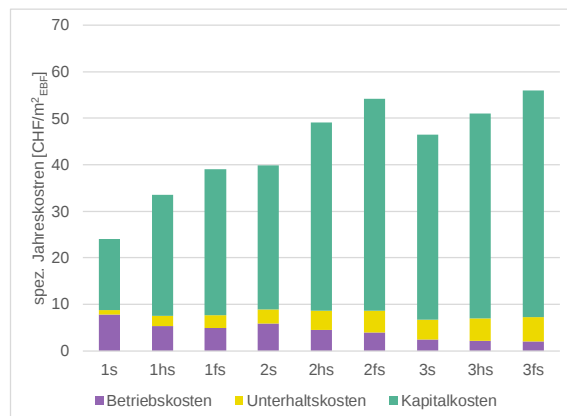
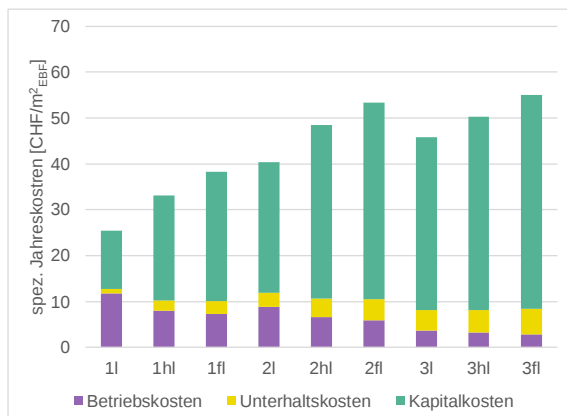
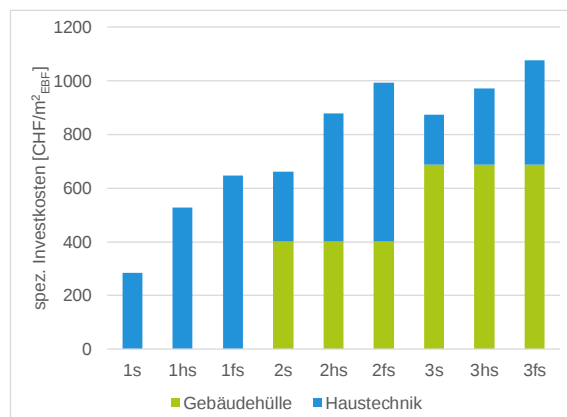
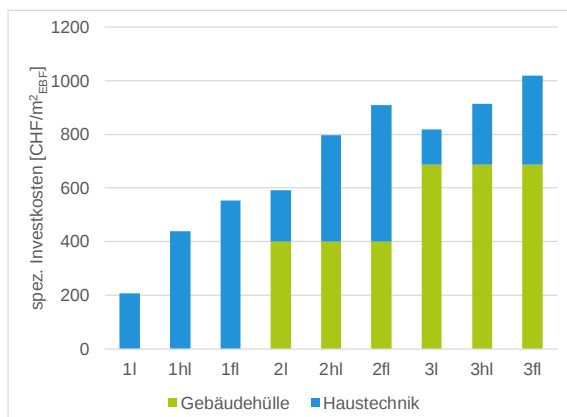
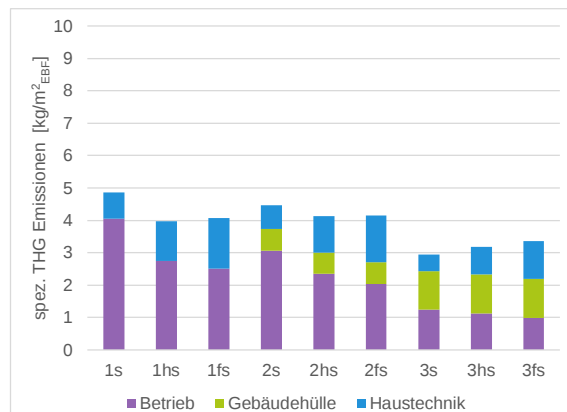
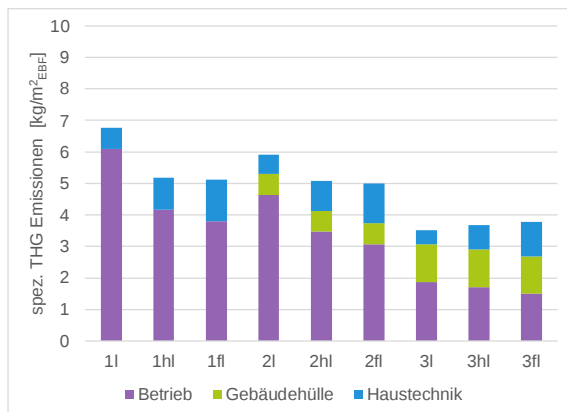
Anhang II: Kostengrundlagen

Öl		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Wärmequellen, -senken, Lager	Tankanlage (Öl)	x			[CHF]	1'500	1'700	1'700	2'900	3'300	3'300	5'300	5'300
Wärmeerzeugung	Öl Heizkessel, Abgaswärmetauscher, Neutralisations	x			[CHF]	9'400	10'400	15'200	20'300	32'900	40'500	67'500	99'200
Wärmeerzeugung	Armaturen, Apparate, Rohrleitungen, Dämmung	x			[CHF]	3'500	3'500	4'600	5'100	5'600	6'600	7'700	9'400
Wärmeerzeugung	Transport und Montage	x			[CHF]	8'500	8'500	8'700	8'700	8'700	13'900	13'900	13'900
Wärmeerzeugung	Kamin	x			[CHF]	4'000	4'200	4'500	7'000	10'600	11'700	17'100	21'400
Summe					[CHF]	25'400	26'600	33'000	41'100	57'800	72'700	106'300	143'900
Erdgas		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Wärmequellen, -senken, Lager	Anschlussgebühren (Wärmenetz, Gas)	x			[CHF]	4'000	4'000	5'000	6'000	6'000	8'000	10'000	12'000
Wärmeerzeugung	Gasheizkessel	x			[CHF]	5'100	5'600	6'100	10'700	15'900	26'500	40'800	66'300
Wärmeerzeugung	Armaturen, Apparate, Rohrleitungen, Dämmung	x			[CHF]	3'600	4'600	4'600	5'100	5'600	6'600	7'700	9'400
Wärmeerzeugung	Transport und Montage	x			[CHF]	6'000	6'000	7'500	8'700	8'700	13'900	13'900	13'900
Wärmeerzeugung	Kamin	x			[CHF]	4'000	4'200	4'500	7'000	10'600	11'700	17'100	21'400
Summe					[CHF]	18'700	20'400	22'700	31'500	40'700	58'700	79'500	111'000
Mittelwert fossiler WEZ					[CHF]	22'050	23'500	27'850	36'300	49'250	65'700	92'900	127'450
WP (LW) (max. 200 kW)		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Wärmequellen, -senken, Lager	Luftkanal (Innenaufstellung)				[CHF]	3'000	4'500	6'000	8'000	9'000	12'000	0	0
Wärmeerzeugung	Wärmepumpe	x			[CHF]	15'800	17'900	31'000	75'000	125'000	252'000	0	0
Wärmeerzeugung	Armaturen, Apparate, Rohrleitungen, Dämmung	x			[CHF]	3'600	4'000	4'500	6'000	7'200	15'000	0	0
Wärmespeicherung	Heizungsspeicher	x			[CHF]	1'500	2'000	2'500	4'000	5'000	10'000	0	0
Wärmeerzeugung	Transport und Montage	x			[CHF]	6'000	6'000	7'500	15'000	23'000	46'000	0	0
Installation Starkstrom	Anschlussgebühren (Elektro)	x			[CHF]	0	0	0	13'300	21'200	41'800	0	0
Installation Starkstrom	Zentrale Starkstromanlagen	x			[CHF]	0	0	0	3'400	3'400	6'000	0	0
Installation Starkstrom	Erschliessung Elektro	x			[CHF]	4'500	5'500	6'000	10'000	15'000	20'000	0	0
WP (SW)		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Wärmequellen, -senken, Lager	Erdsondenbohrungen				[CHF]	12'200	22'400	41'800	138'700	198'900	387'600	683'400	969'000
Wärmeerzeugung	Wärmepumpe		x		[CHF]	8'800	10'700	18'400	45'900	62'200	79'600	142'800	183'600
Wärmeerzeugung	Armaturen, Apparate, Rohrleitungen, Dämmung	x			[CHF]	3'600	4'600	4'600	5'100	5'600	6'600	7'700	9'400
Wärmespeicherung	Heizungsspeicher	x			[CHF]	1'500	2'000	2'500	4'000	4'500	4'600	6'100	8'200
Wärmeerzeugung	Transport und Montage	x			[CHF]	8'700	8'700	8'700	8'700	13'900	13'900	17'300	25'500
Installation Starkstrom	Anschlussgebühren (Elektro)		x		[CHF]	0	0	0	13'300	21'200	41'800	60'200	76'500
Installation Starkstrom	Zentrale Starkstromanlagen		x		[CHF]	0	0	0	3'400	3'400	6'000	8'000	12'000
Installation Starkstrom	Erschliessung Elektro		x		[CHF]	4'500	5'500	6'000	7'000	10'000	15'000	18'000	20'000
Demontage		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Röding, Rückbau	Demontage bestehende Heizanlage	x	x	x	[CHF]	1'050	1'100	1'200	1'700	2'000	3'000	4'500	6'000
Röding, Rückbau	Demontage bestehendes Lager, inkl. Baumeister	x	x	x	[CHF]	1'400	1'600	2'000	3'300	4'200	6'200	8'200	11'200
Weitere gebäudetechnische Installationen		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Wasserspeicher	Warmwassererzeugung, inkl. Elektro, Sanitär	x	x	x	[CHF]	3'500	3'500	4'000	14'000	20'000	40'000	70'000	100'000
Wasserspeicher	WP-Wassererwärmer, inkl. Elektro, Sanitär				[CHF]	6'000	7'000	10'000	35'000	50'000	100'000	175'000	250'000
Wärmeverteilung	Heizverteiler, inkl. Unterstationen ab 200 kW	x	x	x	[CHF]	0	0	4'000	11'200	16'000	32'000	56'000	80'000
Wärmeabgabe	Verteilleitungen				[CHF]	5'000	10'000	20'000	70'000	100'000	200'000	350'000	500'000
Wärmeabgabe	Wärmeabgabe				[CHF]	10'000	20'000	40'000	140'000	200'000	400'000	700'000	1'000'000
Gebäudeautomation	Feldgeräte und Schaltergerätekombination				[CHF]	0	0	0	0	0	15'000	20'000	25'000
Gebäudeautomation	Elektromessgeräte				[CHF]	500	500	800	800	1'200	1'200	1'500	1'500
Gebäudeautomation	Volumenmessgeräte				[CHF]	750	1'000	1'500	2'500	3'000	4'000	5'000	6'000
Gebäudeautomation	Vernetzung				[CHF]	1'000	1'500	1'500	2'000	2'500	3'000	3'000	3'000
Gebäudeautomation	Gross-Wärmepumpen (Evac., Exschutz, BMA)				[CHF]	0	0	0	0	0	0	0	0
Bauseitige Arbeiten		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
Umgebungsgestaltung	Grabarbeiten			x	[CHF]	3'000	3'000	3'000	6'300	9'000	12'000	18'900	24'000
Ergänzende Leistung zu Konstruktio	Erstellung Lagerraum				[CHF]	2'500	4'000	7'000	15'000	20'000	30'000	42'000	50'000
Ergänzende Leistung zu Konstruktio	Wanddurchbrüche, Kernbohrungen	x	x	x	[CHF]	3'600	5'300	8'500	24'800	34'600	67'000	0	0
Ergänzende Leistung zu Konstruktio	Fundament, Sickergrube, Grabarbeiten		x	x	[CHF]	4'000	4'000	4'000	7'600	10'900	21'700	0	0
Ergänzende Leistung zu Konstruktio	Statische Massnahmen				[CHF]	3'500	7'000	14'000	42'000	60'000	60'000	0	0
Lärmschutzmassnahmen	Lärmschutzhauben, Lärmschutzwände				[CHF]	0	0	13'400	25'100	30'000	42'400	0	0
Umgebungsgestaltung	Wiederherstellung Umgebung	x	x	x	[CHF]	1'800	1'800	3'100	10'800	15'400	24'700	43'000	62'000
Investkosten		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
SW WP					[CHF]	45'450	51'800	70'000	167'100	232'900	374'100	460'700	618'400
Erdwärmesonden					[CHF]	12'200	22'400	41'800	138'700	198'900	387'600	683'400	969'000
L/W WP					[CHF]	46'950	52'700	78'300	200'100	302'900	585'400	181'700	259'200
Wärmeverteilung					[CHF]	5'000	10'000	20'000	70'000	100'000	200'000	350'000	500'000
Wärmeabgabe					[CHF]	10'000	20'000	40'000	140'000	200'000	400'000	700'000	1'000'000
Öl/Gasheizung					[CHF]	32'000	35'200	48'650	98'800	137'250	232'400	266'400	375'450
Spez. Investkosten		fossil	L/W WP	SW WP	Leistung [kW]	5	10	20	70	100	200	350	500
SW WP					[CHF/kW]	9'090	5'180	3'500	2'387	2'329	1'871	1'316	1'237
Erdwärmesonden					[CHF/m]	98	90	84	79	80	78	78	78
L/W WP					[CHF/kW]	9'390	5'270	3'915	2'959	3'029	2'927		
Wärmeverteilung					[CHF/kW]	1'000	1'000	1'000	1'000	1'000	1'000	1'000	1'000
Wärmeabgabe					[CHF/kW]	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000	2'000
Öl/Gasheizung					[CHF/kW]	6'400	3'520	2'433	1'411	1'373	1'162	761	751



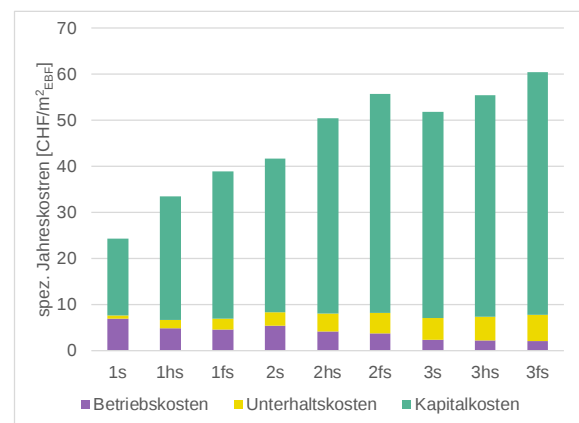
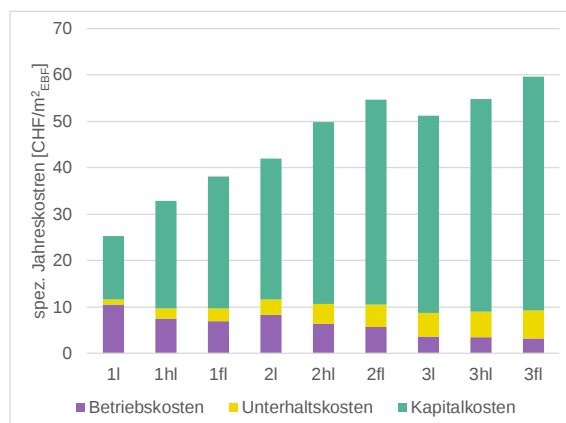
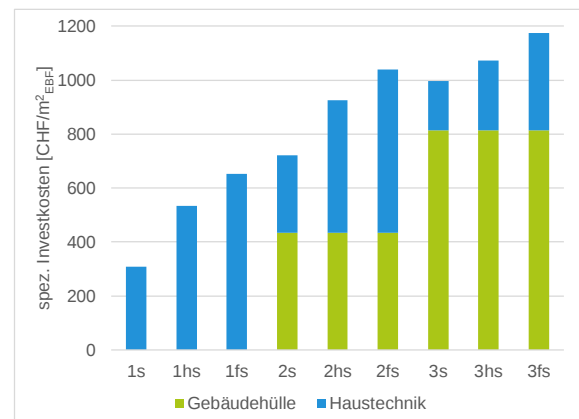
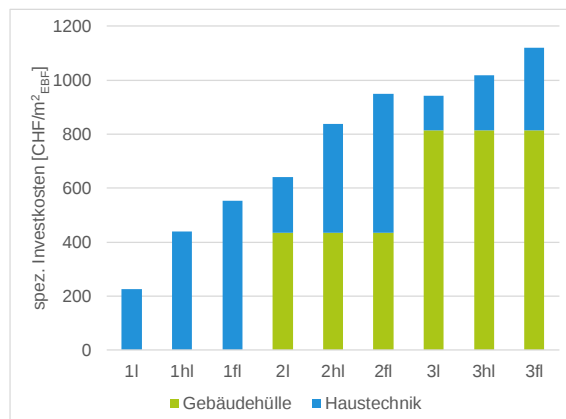
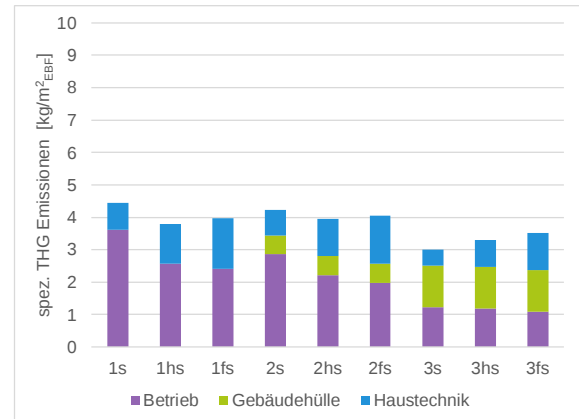
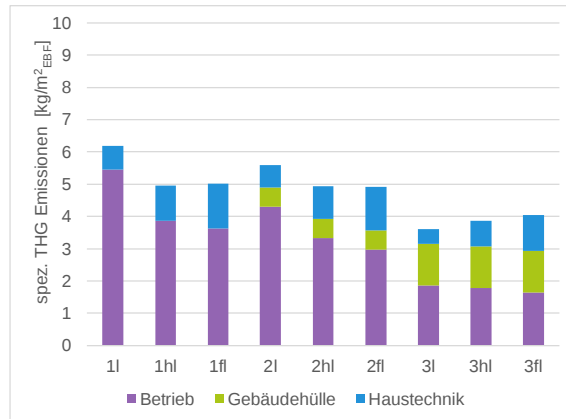
Anhang III: Objektauswertungen Arbeitspaket 1

Objekt A:



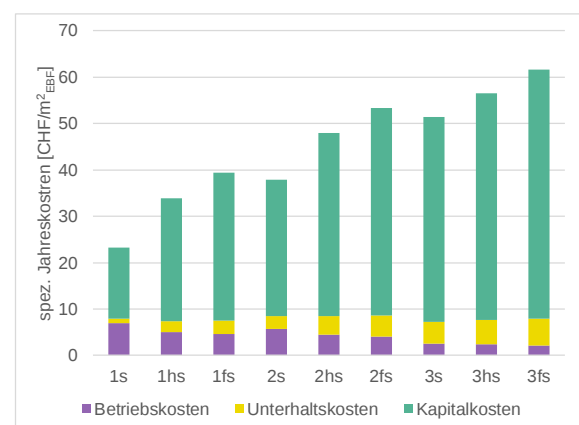
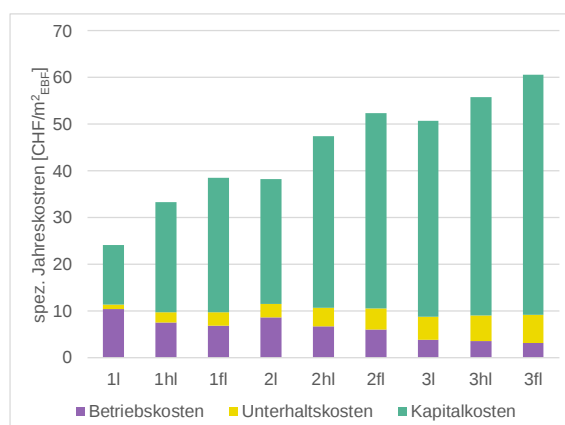
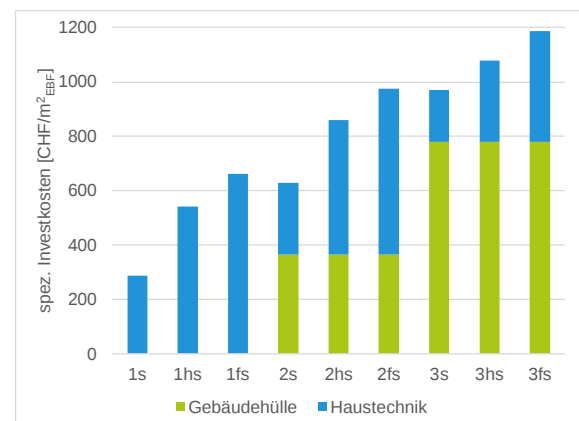
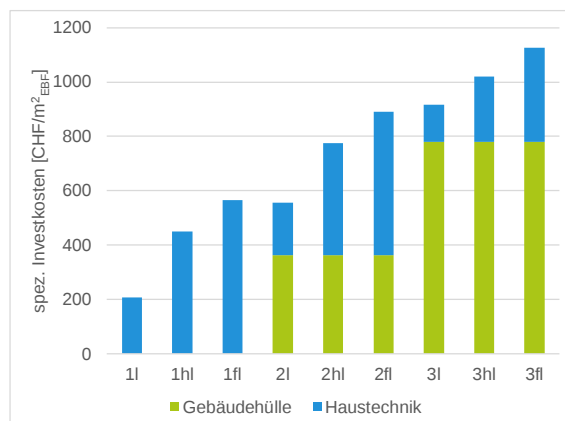
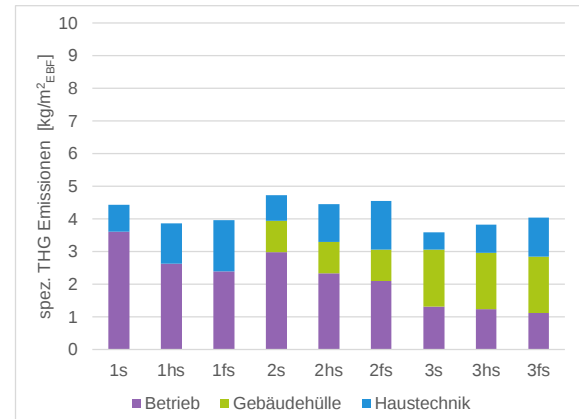
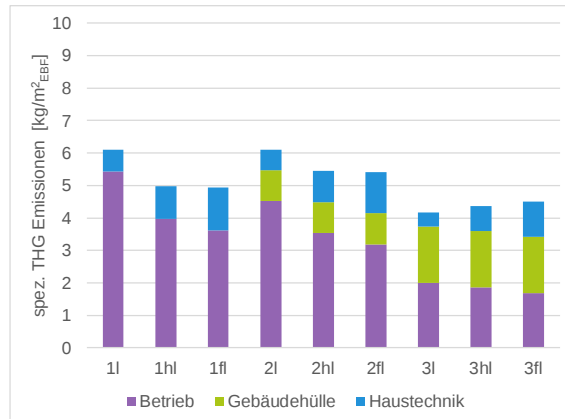


Objekt B:



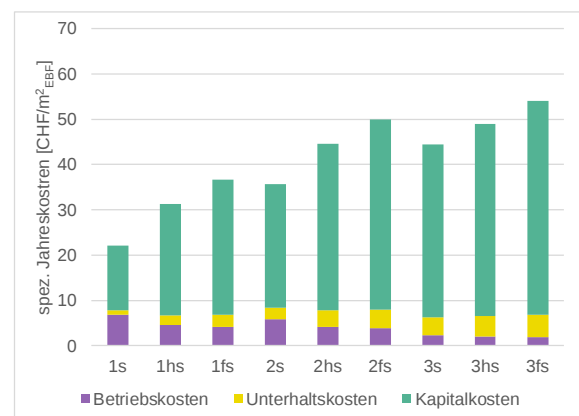
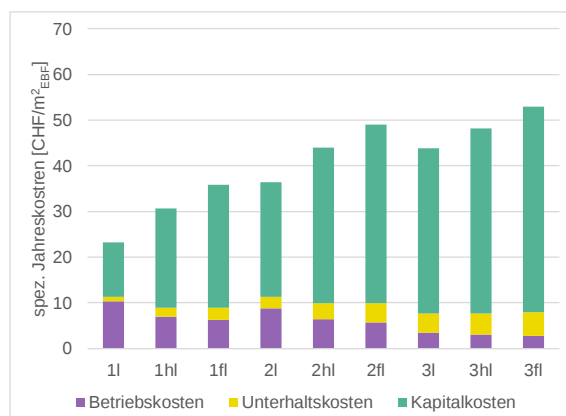
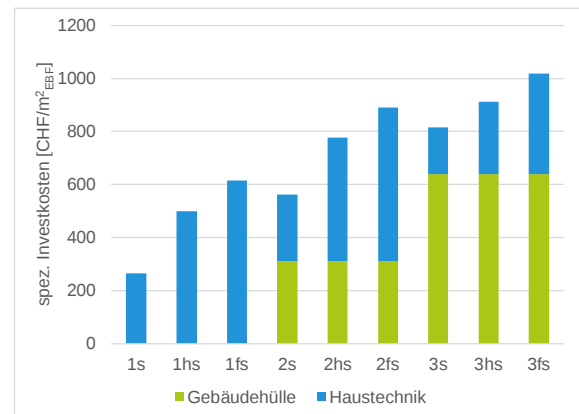
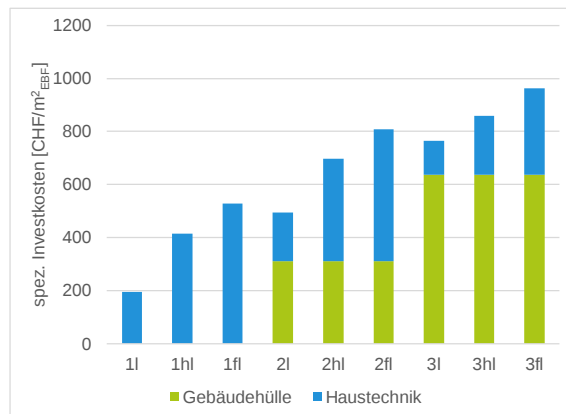
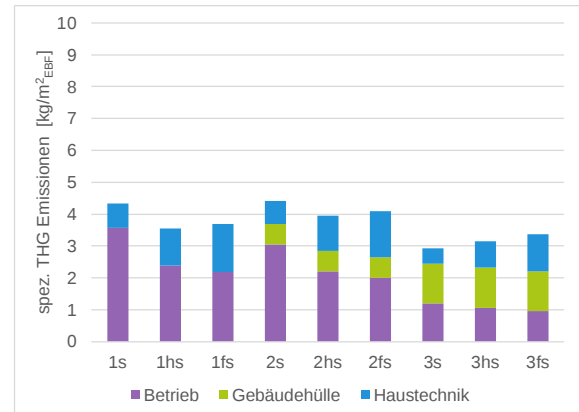
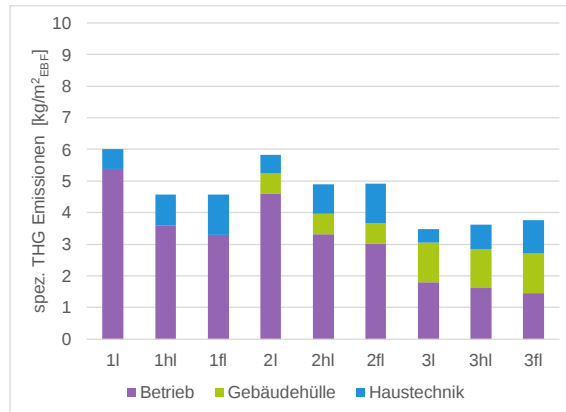


Objekt C:





Objekt D:





Objekt E:

