



Schlussbericht vom 31.3.2024

# Kosteneffiziente Strategien zur umfassenden energetischen Modernisierung von bestehenden städtischen Quartieren

## Beitrag zum IEA EBC Annex 75



Quelle: Satellitenbild: Google



**Datum:** 31.3.2024

**Ort:** Bern

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Ko-Finanzierung:**

Stadt Luzern  
CH-6005 Luzern  
[www.stadtluzern.ch](http://www.stadtluzern.ch)

Elektrizitätswerk der Stadt Zürich  
CH-8050 Zürich  
[www.ewz.ch](http://www.ewz.ch)

**Subventionsempfänger/innen:**

INDP  
CH-6003 Luzern  
[www.indp.ch](http://www.indp.ch)

Basler & Hofmann AG  
CH-6003 Luzern  
[www.baslerhofmann.ch](http://www.baslerhofmann.ch)

econcept AG  
CH-8002 Zürich  
[www.econcept.ch](http://www.econcept.ch)

**Autoren/innen:**

Roman Bolliger, INDP, [roman.bolliger@indp.ch](mailto:roman.bolliger@indp.ch)  
Silvia Domingo Irigoyen, INDP, [silvia.domingo@indp.ch](mailto:silvia.domingo@indp.ch)

**BFE-Projektbegleitung:**

BFE-Bereichsleitung:	Andreas Eckmanns, <a href="mailto:andreas.eckmanns@bfe.admin.ch">andreas.eckmanns@bfe.admin.ch</a>
BFE-Programmleitung:	Nadège Vetterli, <a href="mailto:nadege.vetterli@anex.ch">nadege.vetterli@anex.ch</a>

,

**BFE-Vertragsnummer:** SI/501819-01

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



## Zusammenfassung

Ziel des Projekts war zu untersuchen, wie bestehende Gebäude in städtischen Arealen und Quartieren im Rahmen von kosteneffizienten Gesamtstrategien energetisch umfassend modernisiert werden können. Dabei wurden sowohl Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle wie auch Massnahmen zur Nutzung von erneuerbaren Energien evaluiert und vernetzte Lösungen mit dezentralen Lösungen verglichen.

Die Forschungsfragen waren insbesondere die folgenden: Mit welchen Ansätzen, unter Berücksichtigung verschiedener Möglichkeiten für Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, können vollständig mit erneuerbaren Energien versorgte Areale und Quartiere zu tiefstmöglichen Kosten erreicht werden? Welche Faktoren bestimmen dabei jeweils das kosteneffiziente Verhältnis zwischen Massnahmen an der Gebäudehülle und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, wenn ambitionierte Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs angestrebt werden? Inwiefern unterscheidet sich die Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen in einem lokalen Wärmeverbund basierend auf erneuerbaren Energien von der Kosteneffizienz solcher Effizienzmassnahmen, wenn stattdessen in jedem Gebäude einzeln erneuerbare Energien zum Heizen verwendet werden?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden in einem internationalen Projektteam die techno-ökonomischen Eigenschaften verschiedener möglicher Massnahmen charakterisiert. Es wurde eine Methodik zur Untersuchung von Fallstudien und zur Definition von kosteneffizienten Strategien zur Modernisierung von Gebäuden in Arealen und Quartieren entwickelt und anhand von generischen Berechnungen für hypothetische Quartiere getestet. Strategien wurden entwickelt für unterschiedliche Ausgangssituationen. Success stories wurden identifiziert und charakterisiert. Es wurden im internationalen Projekt neun Fallstudien in acht Ländern durchgeführt zu konkreten bestehenden Arealen oder Quartieren. Zwei dieser Fallstudien wurden in der Schweiz durchgeführt, je eine in den Städten Luzern und Zürich, zu zwei Arealen im Wohngebiet. Hemmnisse und Treiber für effiziente Massnahmen auf Quartierebene wurden untersucht. Ebenso wurden geeignete Politikinstrumente identifiziert sowie diesbezüglich geeignete Business Models untersucht, um die Umsetzung von kosteneffizienten Quartiermodernisierungsprojekten zu unterstützen. Dazu wurde insbesondere eine Expertenbefragung in verschiedenen Ländern durchgeführt. Aus den Erkenntnissen aus dem Projekt wurden Empfehlungen für die Politik wie auch für Gebäudeeigentümerschaften und Energieunternehmen erarbeitet.

Aufgrund von anonymisierten Daten aus den Kantonen Zürich und Luzern zu Investitionskosten von Wärmepumpen konnte festgestellt werden, dass die Skaleneffekte bei Wärmepumpensystemen weniger gross sind als normalerweise angenommen wird, d.h. dass bei grösseren Wärmepumpensystemen die spezifischen Kosten pro kW Leistung weniger stark abnehmen als gemeinhin angenommen. Die Daten zeigen vielmehr eher einen linearen Anstieg der Investitionskosten mit steigender Leistung als eine abflachende Zunahme, wie dies für Skaleneffekte erwartet würde. Gründe dafür können sein, dass bei grösseren Heizsystemen zusätzliche Herausforderungen auftreten wie beispielsweise für das Bohren von Erdwärmesonden oder die Einhaltung von Lärmvorschriften für Luft-Wasser-Wärmepumpen, die Skaleneffekte allein aufgrund der Wärmepumpe kompensieren.

Aus den weiteren Arbeiten geht unter anderem hervor, dass die Ausgangslage einen starken Einfluss auf die Entwicklung von kosteneffizienten Strategien hat zur Modernisierung von Quartieren – es wird grundsätzlich nach Strategien unterschieden, je nachdem ob bereits ein Fernwärmenetz vorhanden ist oder nicht und wie gross in diesem der Anteil an erneuerbaren Energien ist. Weiter wurde festgehalten, dass die Möglichkeit der Nutzung einer grossen Quelle von erneuerbarer Energie ein wichtiger Faktor sein kann, der für eine Verbundlösung spricht. Gleichzeitig wurde allerdings auch erkannt, dass sich dezentrale und zentrale Lösungen zur Wärmeversorgung von Arealen und Quartieren in Bezug auf ihre Kosteneffizienz wenig unterscheiden. Als ein interessanter Ansatz wurde auch die Möglichkeit identifiziert, zwei oder drei Gebäude zu Mikroverbunden zusammenzuschliessen,



was eine Nutzung von gewissen Synergien erlaubt, ohne starke Abhängigkeiten zu schaffen. Die Entwicklung von Quartierlösungen ist mit einem grossen Aufwand und einem hohen Risiko verbunden, dass ein solcher schliesslich nicht umgesetzt wird. Dies bedeutet, dass der Markt allein voraussichtlich nicht dazu führt, dass Quartierlösungen in grossem Umfang realisiert werden. Verbundlösungen können jedoch bedeutende andere Vorteile haben als in Bezug auf die Kosten. Dazu gehört etwa, dass sie die Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien für einzelne Gebäude vereinfachen können, bei denen dezentrale Lösungen basierend auf erneuerbaren Energien ansonsten nur unter grossen Herausforderungen umgesetzt werden können. Ein Wärmeverbund kann Sinn machen, auch wenn dies nur für einen Teil der damit versorgten Gebäude die Wärmeversorgung vereinfacht, wenn ansonsten die Hindernisse gross wären, um für die entsprechenden Gebäude eine Wärmeversorgung basierend auf erneuerbaren Energien zu erreichen. Falls die Politik aus diesen oder anderen Gründen erreichen möchte, dass mehr Wärmeverbunde erstellt werden, braucht es somit geeignete Politikinstrumente, um solche zu fördern.

In den meisten Fallstudien und generischen Berechnungen ergab sich, dass das kosteneffizienteste Niveau von Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen sich nicht wesentlich unterscheidet zwischen zentralen oder dezentralen Heizungssystemen auf der Basis erneuerbarer Energien, und das für verschiedene Arten von Heizungssystemen. Dies ist eine wesentliche Erkenntnis, weil dies darauf hindeutet, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen in Kombination mit der Nutzung erneuerbarer Energien auf Quartierebene ähnlich attraktiv sind wie in Kombination mit der Nutzung erneuerbarer Energien in einzelnen Gebäuden.

Weiter wurde erkannt, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen besonders starke Synergien mit einer Nutzung erneuerbarer Energien auf Quartierebene haben, wenn solche Effizienzmassnahmen für alle Gebäude eines Quartiers umgesetzt werden und damit eine Senkung der Temperatur im Verteilnetz erlauben. Dies hat sowohl Vorteile für die Effizienz einer zentralen Wärmepumpe wie auch für die Reduktion von Verlusten im Netz. Ausserdem wurde festgestellt, dass eine weitere wesentliche Synergie von Massnahmen an den Gebäudehüllen auf Quartierebene mit der Nutzung erneuerbarer Energien darin besteht, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen den Bedarf zur Regeneration von Erdsonden reduzieren.

Auf politischer Ebene wurden verschiedene Politikinstrumente identifiziert, wie insbesondere Städte und Gemeinden kosteneffiziente Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene unterstützen können, die Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen und den Einsatz erneuerbarer Energien kombinieren. Zu diesen gehören:

- Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien in Energieplanungen
- Pflicht zur Umstellung auf erneuerbare Energien als Rahmenbedingung
- Ziele / Aufträge für Energieunternehmen im Eigentum der öffentlichen Hand
- Anreize für Energieeffizienzmassnahmen in den Tarifen für Fernwärme
- Eine Verbindung mit Energieeffizienz-Vorgaben bei der Vergabe von Konzessionen für Wärmeverbunde
- Verbindung von Förderbeiträgen für erneuerbare Energien mit Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen
- Finanzielle Unterstützung für die Erarbeitung von «Integrierten Quartiermodernisierungsplänen», welche sowohl Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen wie auch die Umstellung auf erneuerbare Energien beinhalten
- Ein umfangreiches Coaching oder anderweitige direkte organisatorische Unterstützung für Quartierprojekte durch die lokalen Behörden
- Beratung und Ausbildung
- Networking Veranstaltungen
- Kommunikationsaktivitäten



Eine wichtige Erkenntnis aus dem Projekt ist insgesamt, dass eine Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien aus wirtschaftlicher und organisatorischer Sicht auf Quartierebene oftmals anspruchsvoll ist. Nicht nur haben Projekte auf Quartierebene ohnehin oftmals keine klaren ökonomischen Vorteile gegenüber Einzellösungen. Solche Projekte sind auch komplex. Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbare Energien betreffen zudem zwei verschiedene Themengebiete, Spezialisten kennen sich häufig nur in einem dieser Gebiete aus, was sich etwa auch daran zeigt, dass bisher kaum Geschäftsmodelle auf Quartierebene angewendet werden, um Energieeffizienzmassnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien zu kombinieren. Bei Projekten auf Quartierebene sind ausserdem jeweils viele Akteure beteiligt, was eine Koordination erschwert. Es ist daher unwahrscheinlich, dass der Markt zu einer starken Verbreitung von Projekten auf Quartierebene führt, und noch unwahrscheinlicher, dass diese auch Synergien zwischen Energieeffizienz und erneuerbaren Energien nutzen.

Projekte auf Quartierebene zur Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien haben allerdings bedeutende positive Effekte. Neben konkreten Vorteilen für die Gebäudeeigentümer/innen in Bezug auf den gebotenen Service und die Verringerung des Investitionsbedarfs können es Quartierprojekte insbesondere vereinfachen, auch diejenigen Gebäude mit erneuerbaren Energien zu versorgen, bei denen dies sonst mit Einzellösungen besonders anspruchsvoll ist. Sie können die Dekarbonisierung des Gebäudeparks auch wesentlich beschleunigen, indem solche Projekte, wenn erfolgreich, Gebäudeeigentümer/innen dazu motivieren können, auf erneuerbare Energien umzusteigen, die dies sonst noch einige Zeit nicht machen würden. Der Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien kommt dabei eine hohe Bedeutung zu, um Strategien zur Dekarbonisierung mit hoher Kosteneffizienz und einem möglichst geringen Energieverbrauch umzusetzen.

Dies bedeutet, dass Politikinstrumente sinnvoll sind, um Quartierprojekte sowie die Nutzung von Synergien zwischen Energieeffizienz und erneuerbaren Energien zu fördern.

## Résumé

L'objectif du projet était d'identifier et d'étudier des stratégies visant à rénover de manière efficace, en ce qui concerne les coûts, et en profondeur, à ce qui concerne la portée des mesures, des groupes de bâtiments existants dans les zones urbaines. Les mesures prises en compte comprennent à la fois des mesures d'efficacité énergétique et des mesures basées sur l'utilisation d'énergies renouvelables. Les approches centralisées ont été comparées aux solutions décentralisées.

Les questions de recherche étaient notamment les suivantes : Avec quelles approches, en tenant compte de diverses options de mesures d'efficacité énergétique sur l'enveloppe des bâtiments et de mesures pour l'utilisation d'énergies renouvelables, des zones et des quartiers entièrement approvisionnés en énergies renouvelables peuvent-ils être atteints à des coûts les plus bas possibles ? Quels facteurs déterminent la balance efficace entre les mesures concernant l'enveloppe du bâtiment et les mesures en faveur de l'utilisation des énergies renouvelables, lorsque des objectifs ambitieux sont envisagés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie primaire ? Dans quelle mesure la rentabilité des mesures d'efficacité énergétique appliquées à l'enveloppe des bâtiments dans un réseau de chauffage local basé sur des énergies renouvelables diffère-t-elle de la rentabilité de ces mesures d'efficacité si les énergies renouvelables sont utilisées individuellement pour le chauffage de chaque bâtiment ?

Pour répondre aux questions de recherche, une équipe de projet internationale a caractérisé les propriétés technico-économiques de diverses mesures possibles. Une méthodologie d'examen des études de cas et pour la définition de stratégies efficaces pour la rénovation de bâtiments dans un quartier a été développée et testée à l'aide de calculs génériques pour des quartiers hypothétiques. Des stratégies ont été élaborées pour différentes situations initiales. Des exemples de projets réussis ont été identifiés et caractérisés. Dans le cadre du projet international, neuf études de cas ont été



réalisées dans huit pays sur des zones ou quartiers existants spécifiques. Deux de ces études de cas ont été réalisées en Suisse, une dans la ville de Lucerne et une dans la ville de Zurich, sur deux quartiers résidentiels. Les obstacles et les facteurs favorisant des mesures efficaces au niveau des quartiers ont été examinés. Des instruments politiques appropriés ont également été identifiés et des modèles économiques appropriés ont été examinés afin de soutenir la mise en œuvre de projets de modernisation de quartier rentables, combinant des mesures d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. En particulier, une enquête d'experts a été réalisée dans différents pays. Les résultats du projet ont été utilisés pour élaborer des recommandations à l'intention des politiciens ainsi que des propriétaires d'immeubles et des entreprises énergétiques.

Sur des bases de données anonymisées des cantons de Zurich et de Lucerne sur les coûts d'investissement des pompes à chaleur, il a été constaté que les économies d'échelle pour les systèmes de pompe à chaleur sont moins importantes qu'on ne le pense habituellement, c'est-à-dire que pour les systèmes de pompe à chaleur plus grands, les coûts spécifiques par puissance en kW diminue moins qu'on ne le suppose généralement. Les données montrent plutôt une augmentation linéaire des coûts d'investissement avec l'augmentation de la capacité, au lieu d'une augmentation réduite comme on pourrait s'y attendre pour des économies d'échelle. Cela peut s'expliquer par des défis supplémentaires liés aux systèmes de chauffage plus grands, comme le forage de sondes géothermiques ou le respect des réglementations en matière de bruit pour les pompes à chaleur air-eau, qui compensent les économies d'échelle dues à la pompe à chaleur seule.

Les travaux ultérieurs montrent, entre autres, que la situation initiale a une forte influence sur le développement de stratégies rentables pour la modernisation des quartiers - une distinction fondamentale est faite entre les stratégies selon qu'un réseau de chauffage urbain existe déjà ou non, et selon la part couverte par des énergies renouvelables. Il a également été noté que la possibilité d'utiliser une importante source d'énergie renouvelable peut constituer un facteur important en faveur d'un réseau thermique. Mais en même temps, il a également été reconnu que les solutions décentralisées et centralisées pour la fourniture de chaleur aux zones et aux quartiers diffèrent peu en termes de rentabilité. Il a été constaté qu'une approche intéressante pourrait également être de relier deux ou trois bâtiments pour former des micro-réseaux, ce qui permettrait d'exploiter certaines synergies sans créer de fortes dépendances. Le développement de solutions de quartier implique beaucoup d'efforts et un risque élevé qu'elles ne soient finalement pas mises en œuvre. Cela signifie qu'il est peu probable que le marché à lui seul aboutisse à la mise en œuvre à grande échelle de solutions de quartier. Cependant, les solutions pour un quartier entier peuvent présenter des avantages importants autres que ceux liés au coût. Cela inclut, par exemple, la possibilité de simplifier l'approvisionnement en chaleur avec des énergies renouvelables pour des bâtiments individuels, alors que des solutions décentralisées basées sur des énergies renouvelables ne peuvent autrement être mises en œuvre qu'avec de grands défis quelquefois. Un réseau de chaleur peut avoir du sens, même s'il ne simplifie que l'approvisionnement en chaleur de certains des bâtiments qu'il alimente, s'il existe autrement de grands obstacles à la réalisation d'un approvisionnement en chaleur basé sur les énergies renouvelables pour les bâtiments correspondants. Si les responsables politiques veulent garantir la création d'un plus grand nombre de réseaux de chaleur pour ces raisons ou pour d'autres, il faut introduire des instruments politiques appropriés pour les promouvoir.

La plupart des études de cas et des calculs génériques ont révélé que le niveau le plus rentable des mesures d'efficacité de l'enveloppe du bâtiment ne diffère pas significativement entre les systèmes énergétiques centralisés ou décentralisés basés sur les énergies renouvelables, et ceci pour différents systèmes de chauffage. Il s'agit d'une conclusion essentielle car elle suggère que les mesures d'efficacité énergétique appliquées à l'enveloppe des bâtiments en combinaison avec l'utilisation d'énergies renouvelables au niveau du quartier sont tout aussi attractives qu'en combinaison avec l'utilisation d'énergies renouvelables dans des bâtiments individuels.

Il a également été reconnu que les mesures d'efficacité énergétique sur l'enveloppe des bâtiments présentent des synergies particulièrement fortes avec l'utilisation d'énergies renouvelables au niveau du quartier si de telles mesures d'efficacité sont mises en œuvre pour tous les bâtiments d'un quartier et réduisent ainsi la température dans le réseau de distribution. Cela présente des avantages tant pour l'efficacité d'une pompe à chaleur centrale que pour réduire les pertes dans le réseau. Il a également été constaté qu'une autre synergie significative entre les mesures sur l'enveloppe des



bâtiments au niveau du quartier et l'utilisation d'énergies renouvelables est que les mesures d'efficacité énergétique sur l'enveloppe des bâtiments réduisent le besoin de régénération des sondes géothermiques.

Au niveau politique, divers instruments politiques ont été identifiés quant à la manière dont les villes et les communes en particulier peuvent soutenir une modernisation rentable des bâtiments au niveau de quartiers, en combinant des mesures d'efficacité énergétique sur l'enveloppe des bâtiments et l'utilisation d'énergies renouvelables. Ceux-ci incluent :

- Combinaison de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables dans la planification énergétique
- Obligation de passer aux énergies renouvelables comme condition générale
- Objectifs / commandes pour les entreprises énergétiques appartenant au secteur public
- Incitations aux mesures d'efficacité énergétique dans les tarifs de réseaux thermiques
- Créer un lien avec des exigences concernant l'augmentation de l'efficacité énergétique lors de l'attribution des concessions pour des réseaux thermiques
- Combiner des subventions pour des énergies renouvelables avec des mesures d'efficacité sur les enveloppes des bâtiments
- Soutien financier à l'élaboration de « plans intégrés de modernisation des quartiers », qui incluent à la fois des mesures d'efficacité énergétique sur l'enveloppe des bâtiments et la conversion aux énergies renouvelables
- Coaching approfondi ou autre soutien organisationnel direct pour les projets de quartier de la part des autorités locales
- Conseils et formations
- Événements de réseautage
- Activités de communication

Une conclusion importante de l'ensemble du projet est qu'une combinaison de mesures d'efficacité énergétique et d'utilisation d'énergies renouvelables est souvent un défi d'un point de vue économique et organisationnel au niveau du quartier. Non seulement les projets au niveau du quartier ne présentent souvent aucun avantage économique évident par rapport aux solutions individuelles. De tels projets sont également complexes. Les mesures d'efficacité énergétique et les énergies renouvelables concernent également deux domaines différents ; les spécialistes ne connaissent souvent qu'un seul de ces domaines, ce qui se reflète dans le fait que jusqu'à maintenant, pratiquement aucun modèle économique n'est utilisé fréquemment dans le marché pour combiner les mesures d'efficacité énergétique et l'utilisation d'énergies renouvelables au niveau de quartiers. Dans les projets au niveau des quartiers, de nombreux acteurs sont impliqués, ce qui rend la coordination difficile. Il est donc peu probable que le marché conduise à une multiplication de projets à l'échelle des quartiers, et encore plus improbable que ceux-ci exploitent également les synergies entre l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

Cependant, les projets de quartier combinant efficacité énergétique et énergies renouvelables ont des effets positifs significatifs. Outre les avantages concrets pour les propriétaires d'immeubles en termes de service offert et de réduction des besoins d'investissement, les projets de quartier peuvent faciliter l'approvisionnement en énergie renouvelable de bâtiments qui autrement seraient particulièrement exigeants à transformer vers des énergies renouvelables avec des solutions individuelles. Ils peuvent également accélérer considérablement la décarbonisation du parc immobilier dans la mesure où de tels projets, s'ils réussissent, peuvent motiver des propriétaires d'immeubles à passer aux énergies renouvelables qui, autrement, ne le feraient pas rapidement. La combinaison de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables est très importante afin de mettre en œuvre des stratégies de décarbonation avec une rentabilité élevée et une consommation d'énergie la plus basse possible.



Cela signifie que les instruments politiques ont du sens pour promouvoir des projets de quartier et l'utilisation de synergies entre l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables.

## Summary

The aim of the project was to investigate, with which cost-effective strategies a deep renovation of groups of existing buildings can be achieved in urban areas. The measures taken into account included both energy efficiency measures and measures based on the use of renewable energies. Centralized approaches were compared with decentralized solutions.

The research questions were in particular the following: Which approaches, taking into account various possibilities for energy efficiency measures and renewable energy measures, allow achieving districts supplied entirely with renewable energies at least cost? Which factors determine the cost-effective balance between efficiency measures on the building envelopes and measures to use renewable energies, if far-reaching reductions in greenhouse gas emissions and primary energy use in urban districts are the target? To what extent does the cost-effectiveness of renovation measures on the building envelopes in the case of a local district heating system based on renewable energies differ from the cost-effectiveness of such measures in case of a decentralised use of renewable energy sources for heating in each individual building?

To answer the research questions, an international project team characterized the techno-economic properties of various possible measures. A methodology for examining case studies and for the definition of cost-effective strategies for the renovation of buildings in areas or districts was developed and tested using generic calculations for hypothetical groups of buildings. Strategies were developed for different initial situations. Success stories were identified and characterized. In the international project, nine case studies were carried out in eight countries on specific existing areas or districts. Two of these case studies were carried out in Switzerland, one each in the cities of Lucerne and Zurich, on two residential areas. Barriers and drivers for efficient building renovation measures at the district level were examined. Suitable policy instruments were also identified and suitable business models were examined in order to support the implementation of cost-effective district renovation projects. In particular, an expert survey was carried out in various countries. The findings from the project were used to develop recommendations for policy makers as well as for building owners and energy companies.

Based on anonymized data from the cantons of Zurich and Lucerne on the investment costs of heat pumps, it was found that the economies of scale for heat pump systems are less large than is usually assumed, i.e. that for larger heat pump systems the specific costs per kW of capacity decrease less strongly than is generally assumed. The data show a linear increase in investment costs with increasing output, rather than a leveling off as would be expected for economies of scale. The reasons for this may be that additional challenges arise with larger heating systems, for example associated with the drilling of geothermal probes or for complying with noise regulations for air-water heat pumps, which compensate for economies of scale due to the heat pump alone.

The further work shows, among other things, that the initial situation has a strong influence on the development of cost-effective strategies for the renovation of districts - a basic distinction is made between strategies, depending on whether a district heating network already exists or not and how large its share of renewable energy is. It was also noted that the possibility of using a large source of renewable energy can be an important factor in favor of a district solution. At the same time, however, it was also recognized that decentralised and centralised solutions for supplying heat to areas and districts differ little in terms of their cost-effectiveness. It was also identified to be an interesting approach to connect two or three buildings to form micro-grids, which allows certain synergies to be used without creating strong dependencies. The development of district solutions involves a great deal of effort and a high risk that it will ultimately not be implemented. This means that the market alone is unlikely to result in district solutions being implemented widely. However, district solutions can have significant benefits other than those related to cost. This includes, for example, being able to simplify



the heat supply with renewable energies for individual buildings, in locations where decentralised solutions based on renewable energies can otherwise only be implemented with great challenges. District heating can make sense, even if it only simplifies the heat supply for some of the buildings it supplies, if there were otherwise great obstacles to achieving a heat supply based on renewable energies for the corresponding buildings. If politicians want to ensure that more district heating systems are created for these or other reasons, suitable policy instruments are required to promote them.

Most case studies and generic calculations found that the most cost-effective level of building envelope efficiency measures does not differ significantly between centralised or decentralised energy systems based on renewable energy, for various types of heating systems. This is a key finding because it suggests that energy efficiency measures on the building envelopes in combination with the use of renewable energy at the district level are similarly attractive as in combination with the use of renewable energy in individual buildings.

It was also recognized that energy efficiency measures on the building envelopes have particularly strong synergies with the use of renewable energies at the district level if such efficiency measures are implemented for all buildings in a district and thus reduce the temperature in the distribution network. This has advantages both for the efficiency of a central heat pump and for reducing losses in the network. It was also found that another significant synergy between efficiency measures on the building envelopes at the district level and the use of renewable energies is that energy efficiency measures on the building envelopes reduce the need for the regeneration of geothermal boreholes.

At the political level, various policy instruments have been identified as to how cities and municipalities in particular can support cost-effective building renovation at the district level, combining energy efficiency measures on the building envelopes and the use of renewable energies. These include:

- Combination of energy efficiency and renewable energies in energy planning
- Obligation to switch to renewable energies as a general requirement
- Goals / orders for energy companies owned by the public sector
- Incentives for energy efficiency measures in district heating tariffs
- A connection with energy efficiency requirements when awarding concessions for heating networks
- Combining funding for renewable energies with efficiency measures on the building envelopes
- Financial support for the development of «Integrated District Renovation Plans», which include both energy efficiency measures on the building envelopes and a switch to renewable energies
- Extensive coaching or other direct organizational support by the local authorities for district projects
- Advice and training
- Networking events
- Communication activities

An important finding from the project overall is that a combination of energy efficiency measures and the use of renewable energies is often challenging from an economic and organisational perspective at the district level. Not only do projects at neighborhood level often have no clear economic advantages over individual solutions. Such projects are also complex. Energy efficiency measures and renewable energies also concern two different subject areas; specialists are often only familiar with one of these areas, which is reflected in the fact that so far hardly any business models are used at district level to combine energy efficiency measures and the use of renewable energies at district level. In projects at the neighborhood level, many actors are involved, which makes coordination challenging. It is therefore unlikely that the market will lead to a strong proliferation of district-level



projects all by itself, and even more unlikely that these will also exploit synergies between energy efficiency and renewable energies.

However, district-level projects combining energy efficiency and renewable energies have significant positive effects. In addition to concrete advantages for the building owners in terms of the service offered and the reduction in investment requirements, district projects can make it easier to supply those buildings with renewable energy for which this would otherwise be particularly challenging to achieve with individual solutions. They can also significantly accelerate the decarbonisation of the building stock in that such projects, if successful, can motivate building owners to switch to renewable energy who otherwise would not do so for some time. In this context, the combination of energy efficiency measures and renewable energies is highly important in order to implement strategies for decarbonisation with high cost-effectiveness and the lowest possible primary energy use.

This means that policy instruments make sense to promote district projects and the use of synergies between energy efficiency measures and renewable energies.

## Take-home messages

- Transforming districts from heating based on fossil fuels to heating based on renewable energies was found to be cost-effective or nearly cost-effective in both of two Swiss case studies carried out for all types of renewable energy systems investigated
- Synergies with energy efficiency measures on building envelopes increase the cost-effectiveness of renewable energy based solutions in comparison with fossil fuel based solutions; this concerns in particular renewable energy solutions based on a centralized heat pump, if it is taken into account that energy efficiency measures on building envelopes allow to reduce the temperature in the grid.
- Energy efficiency measures on the building envelopes in combination with the use of renewable energy in thermal grids at the district level are similarly attractive as in combination with the decentralised use of renewable energy in individual buildings.
- District projects based on renewable energies have significant benefits for the decarbonisation of the building sector; in particular they also provide a renewable energy source to buildings for which switching to renewables would otherwise be challenging, and they can accelerate the decarbonisation of the building sector
- However, district projects based on renewable energies are not necessarily significantly more cost-effective than decentralised solutions based on renewable energies and are associated with significant risks. Furthermore, combining energy efficiency measures on building envelopes and renewables is challenging at district level. It is accordingly unlikely that the market by itself will allow to harness associated benefits fully. Action by policy makers is therefore necessary to harness benefits of district projects and in particular also of related synergies between energy efficiency and renewables. Examples for such action include regulations, the binding of provision of concessions for district heating to requirements for improving the energy efficiency of building envelopes, financial incentives, and in particular organizational support, advice and communication.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>3</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>5</b>
<b>Summary .....</b>	<b>8</b>
<b>Take-home messages .....</b>	<b>10</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>11</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>13</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>14</b>
1.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	14
1.2 Motivation des Projektes .....	14
1.3 Projektziele.....	15
<b>2 Anlagenbeschrieb .....</b>	<b>15</b>
<b>3 Vorgehen und Methode.....</b>	<b>16</b>
3.1 Das Vorgehen im Überblick.....	16
3.2 Struktur des internationalen Projekts .....	16
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>17</b>
4.1 Subtask A: Technology Overview .....	17
4.2 Subtask B: Optimization Methodology and Strategy Development .....	21
4.2.1 Bericht «Methodology for investigating cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables» .....	21
4.2.2 «Annex 75 Calculation Tool» und «Annex 75 Calculation Tool Documentation» .....	22
4.2.3 Bericht «Cost-effective building renovation strategies at the district level combining energy efficiency & renewables – investigation based on parametric calculations with generic districts» .....	22
4.2.4 Bericht «Strategies to transform existing districts into low-energy and low-emission districts» .....	23
4.3 Subtask C: Case-Studies .....	24
4.3.1 Bericht «Success Stories of Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables (EBC Annex 75) – Summarising Report» .....	24
4.3.2 Bericht «Investigation of cost-effective building renovation strategies at the district level combining energy efficiency & renewables – a case studies-based assessment» .....	25
4.3.3 Bericht «Barriers and drivers for energy efficient renovation at district level» .....	33
4.4 Subtask D: Policy Instruments, Stakeholder Dialogue, and Dissemination .....	35
4.4.1 Bericht «Policy instruments for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables» .....	35
4.4.2 Bericht «Business Models for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables» .....	37
4.4.3 Bericht «The District as Action Level for Building Renovation Combining Energy Efficiency & Renewables: Making use of the Potentials – A Guide for Policy and Decision-Makers» .....	38
<b>5 Schlussfolgerungen und Fazit .....</b>	<b>40</b>
<b>6 Ausblick und zukünftige Umsetzung .....</b>	<b>41</b>



7	Nationale und internationale Zusammenarbeit .....	42
8	Kommunikation .....	42
9	Publikationen .....	42
10	Literaturverzeichnis .....	42



## Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
IEA	Internationale Energieagentur
EBC	Energy in Buildings and Communities Programme



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Das vorliegende Projekt ist abgestimmt auf das internationale Projekt «Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables» und stellt den Schweizer Beitrag zu diesem Projekt dar. Das internationale Projekt wird im Rahmen des Energy in Buildings and Communities (EBC) Programms der Internationalen Energie-Agentur (IEA) durchgeführt und trägt innerhalb dieses Programms die Bezeichnung Annex 75.

Die Transformation des Gebäudeparks in Richtung einer Energieversorgung basierend auf erneuerbaren Energien in Kombination mit einer Erhöhung der Energieeffizienz der Gebäude stellt eine grosse Herausforderung dar. Deren Bewältigung ist jedoch erforderlich, um die Ziele der internationalen und auch der schweizerischen Klima- und Energiepolitik zu erreichen. Dabei gibt es verschiedene Wege, die zum Ziel führen. Mit dem vorliegenden Projekt werden kosteneffiziente Strategien ermittelt, wie dies erreicht werden kann.

## 1.2 Motivation des Projektes

Das energetische Potenzial für die Umsetzung von Strategien in Bestandsarealen und -quartieren zur Vernetzung und Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energiequellen in Kombination mit gezielten Massnahmen zur Bedarfssenkung ist hoch. Dabei ist es wichtig, abhängig von den jeweiligen Kontextbedingungen die kosteneffizienten Strategien zu finden, d.h. diejenigen technischen Ansätze, die relativ geringe Lebenszykluskosten aufweisen. Eine verstärkte Nutzbarmachung des kosteneffizienten Potenzials ist von hoher Bedeutung, insbesondere auch da in städtischen Gebieten die Wärmeversorgung bisher erst zu einem geringeren Anteil von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien umgestellt wurde als in ländlicheren Gebieten [Energierепorter 2024]. Strategien zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs auf der Ebene von Bestandsarealen oder -quartieren, mit einer Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien und gezielten Massnahmen an der Gebäudehülle, stellen einen potenziell wirkungsvollen Ansatz dar, um die Transformation des Energieverbrauchs und der Energieversorgung von Gebäuden in Städten voranzutreiben. Wie Studien an Einzelgebäuden zeigen (IEA EBC Annex 56: Bolliger et al. 2015, Bolliger und Ott 2017; ERA-NET Eracobuild INSPIRE-Projekt; Jakob et al. 2014), sind zur Erreichung weitgehender Reduktionen von Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch Kombinationen von Energieeffizienz-Massnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien oftmals kosteneffizienter als Gebäudeerneuerungen, welche nur auf Energieeffizienz-Massnahmen oder nur auf Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien setzen. So ist es beispielsweise bei der Installation von Luft-Wasser-Wärmepumpen oder Erdwärmepumpen häufig kosteneffizient, darauf abgestimmt auch gewisse Elemente der Gebäudehülle energetisch zu verbessern. Die Kosteneffizienz entsprechender Kombinationen bei Massnahmen auf Quartierebene sind bisher erst wenig untersucht. Die mit dem Projekt unterstützte Strategieentwicklung für bestehende Areale und Quartiere ist von Interesse für Gebäudeeigentümerschaften bzw. Investierende, städtische Energie- und Siedlungsplanungsstellen sowie ausführende Unternehmungen, Contractoren und städtische Energieversorgungsunternehmen. Die im Projekt untersuchten Politikinstrumente und daraus abgeleitete Empfehlungen können zudem von Interesse sein für die Politik, insbesondere auf kommunaler Ebene, doch auch für übergeordnete Regierungsebenen.



### 1.3 Projektziele

Ziel des Projekts ist zu untersuchen, wie bestehende Gebäude in städtischen Arealen und Quartieren im Rahmen von kosteneffizienten Gesamtstrategien energetisch umfassend modernisiert werden können. Dabei werden sowohl Massnahmen an der Gebäudehülle wie auch Massnahmen zur Nutzung von erneuerbaren Energien evaluiert. Innerhalb des Projekts wird untersucht, welche Synergien und Trade-Offs zwischen diesen beiden Arten von Massnahmen für die Lebenszykluskosten bestehen. Ein Fokus wird auf vernetzte Lösungen gelegt sowie auf ihre möglichen Beiträge für die Ausgestaltung einer kosteneffizienten Strategie zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs für die Energieversorgung der Gebäude im entsprechenden Areal oder Quartier. Vernetzte Lösungen werden dabei auch mit dezentralen Lösungen verglichen.

Die Beantwortung folgender Forschungsfragen stand dabei im Zentrum:

- Wie sieht ein kosteneffizienter Transformationspfad eines städtischen Bestandquartiers oder Areals zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs in Richtung von nahezu Null Treibhausgasemissionen und möglichst geringem Primärenergieverbrauch aus? Mit welchen Strategien können diese weitgehenden Ziele am ehesten erreicht werden, und von welchen lokalen Voraussetzungen hängt die Strategiewahl ab? Mit welchen Ansätzen, unter Berücksichtigung verschiedener Möglichkeiten für Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, können vollständig mit erneuerbaren Energien versorgte Areale und Quartiere zu tiefstmöglichen Kosten erreicht werden?
- Welche Faktoren bestimmen dabei jeweils das kosteneffiziente Verhältnis zwischen Massnahmen an der Gebäudehülle und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, wenn ambitionierte Ziele zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs angestrebt werden? Inwiefern unterscheidet sich die Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen in einem lokalen Wärmeverbund basierend auf erneuerbaren Energien von der Kosteneffizienz solcher Effizienzmassnahmen, wenn stattdessen in jedem Gebäude einzeln erneuerbare Energien zum Heizen verwendet werden?
- Welche Vor- und Nachteile, Chancen und Risiken haben bei der Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme in städtischen Gebieten Strategien, die auf einer Vernetzung der entsprechenden Siedlungsgebiete mit einem Wärmeverbund basieren bzw. die auf Strategien basieren, welche vorhandene erneuerbare Energie dezentral nutzen? Unter welchen Umständen sind Verbundlösungen bzw. die dezentrale Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme vorteilhafter?

## 2 Anlagenbeschrieb

Das Projekt beinhaltet keine Erstellung von Anlagen.



## 3 Vorgehen und Methode

### 3.1 Das Vorgehen im Überblick

Das im Projekt vorgesehene Vorgehen umfasst die folgenden Schritte:

1. Besprechung und Bereinigung des Projektablaufs und der übergeordneten Vorgaben und Zielsetzungen
2. Erarbeitung einer Methodik für die Evaluation von kosteneffizienten Gesamtstrategien zur weitreichenden energetischen Modernisierung von bestehenden Arealen oder Quartieren
3. Ermittlung, Charakterisierung und Beurteilung der im Rahmen solcher Strategien zu berücksichtigenden Massnahmen, insbesondere: vergleichende Betrachtung von bestehenden Niedertemperatur-Wärmeverbunden, dezentralen Massnahmen und Effizienzmassnahmen; Identifikation von Erfolgsfaktoren für entsprechende Massnahmen
4. Durchführung von Fallstudien zur Anwendung der Methodik zur Entwicklung und Evaluation von kosteneffizienten Gesamtstrategien in konkreten bestehenden Arealen oder Quartieren in den Städten Luzern und Zürich
5. Beschreibung geeigneter Strategien zur weitreichenden energetischen Erneuerung von Arealen und Quartieren sowie zu deren Vor- und Nachteilen, Chancen und Risiken wie auch zu deren Multiplizierbarkeit
6. Identifikation von Hemmnissen, von Massnahmen zur Überwindung festgestellter Hemmnisse und von Instrumenten zur Umsetzung kosteneffizienter Gesamtstrategien zur weitreichenden energetischen Erneuerung städtischer Areale und Quartiere
7. Synthese und Empfehlungen, Ausarbeitung Schlussbericht

Der Begriff Gebäudemodernisierung kann sich im Bericht sowohl auf Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen wie auch auf Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien beziehen.

### 3.2 Struktur des internationalen Projekts

Das Projekt auf internationaler Ebene war in die folgenden Subtasks unterteilt:

- Subtask A : Technology Overview

Das Ziel dieses Subtasks war, eine Übersicht zu geben zu verschiedenen Technologieoptionen zur energetischen Modernisierung von Gebäudehüllen und zum Umstellen von Heizungs- und Kühlsystemen wie auch von Brauchwarmwassersystemen auf erneuerbare Energien in Arealen und Quartieren.

- Subtask B : Optimization Methodology and Strategy Development

Das Ziel dieses Subtasks war, eine Methodik zu entwickeln zur Definition von kosteneffizienten Strategien zur Modernisierung von Gebäuden in Arealen und Quartieren in Richtung von weitreichenden Reduktionen von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch. Die Methodik baut auf einer früheren Methodik auf, die im Rahmen des Projekts IEA EBC Annex 56 für Einzelgebäude entwickelt wurde, indem diese Methodik auf Areale und Quartiere erweitert wird.



- Subtask C : Case Studies

Das Ziel dieses Subtasks war, in ausgewählten Fallstudien die Entwicklung von kosteneffizienten Strategien zur Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und der Nutzung erneuerbarer Energien

- Subtask D : Policy Instruments, Stakeholder Dialogue, and Dissemination

Das Ziel dieses Subtasks war, Entscheidungsträgern/innen in der Politik und in lokalen Unternehmen mit Bezug zu Energiethemen Empfehlungen abzugeben, wie sie die Verbreitung kosteneffizienter Kombinationen von Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien bei der Modernisierung von Gebäuden in Arealen und Quartieren beeinflussen können. Zudem war es das Ziel, diesebezügliche Empfehlungen auch an Gebäudeeigentümern/innen zu geben.

Zum Schweizerischen Projektbeitrag gehörte auch die Leitung des Subtasks B innerhalb des internationalen Projekts.

Subtask B war in die folgenden Work Packages unterteilt:

- WP B1 - Methodological guidelines and framework conditions
- WP B2 - Adaptation or development of optimization tools
- WP B3 - Cost optimization with respect to varying energy and GHG reduction targets for generic reference districts
- WP B4 - Strategy development

Beim Work Package B1 bestand eine Co-Leitung zwischen Jon Terés Zubiaga von der Baskischen Universität aus Spanien und Roman Bolliger vom schweizerischen Projektpartner INDP, Work Package B2 wurde von Toivo Säwén von Strusoft aus Schweden geleitet, Work Package B3 von Johnny Kronvall ebenfalls von Strusoft aus Schweden, Work Package B4 von Harald Walnum von Sintef aus Norwegen.

Zudem bestand eine Co-Leitung des Work Package C1 im Subtask C zu Success Stories mit Schweizer Beteiligung durch Silvia Domingo Irigoyen, ebenfalls von INDP. Ausserdem gab es eine Schweizer Beteiligung bei der Co-Leitung des Work Package D2 durch Matthias Haase von der ZHAW.

Im Schweizer Projektteam wirkten zudem Roland Limacher, Patrick Egger, Clint Christen und Dominic Jurt vom Unternehmen Basler & Hofmann sowie Walter Ott vom Unternehmen econcept mit. Weiter wurde das Projekt bei einer der Fallstudien für die Erstellung von Beratungsberichten durch Marcel Nufer und Carsten Schickor von Unternehmen Amstein + Walthert unterstützt.

In allen Work Packages wurden die Arbeiten vom Schweizer Projektteam unterstützt.

Die Ergebnisse des Projekts wurden in verschiedenen Berichten dokumentiert. Deren Inhalte werden im folgenden Kapitel zusammengefasst.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Subtask A: Technology Overview

Auf internationaler Ebene wurde mit dem Bericht «Technology overview» (Mørck et al. 2020) eine Übersicht verschiedener Technologien zur energetischen Modernisierung von Gebäuden in Arealen und Quartieren erstellt. Diese beschreibt Einsatzmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile



verschiedener Technologien für Energieeffizienzmassnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien bei Gebäuden, insbesondere mit Blick auf deren Anwendung auf Quartierebene. So wurde festgehalten, dass Erdwärmepumpen insbesondere die Vorteile haben, dass sie eine hohe Effizienz aufweisen, dass sie kaum sichtbar und leise sind, dass sie auch im Winter relativ wenig Energie in Form von Strom benötigen und dass sie relativ wartungsarm sind. Demgegenüber wurde festgehalten, dass deren Installation höhere Investitionskosten erfordert als für andere Wärmepumpen und das Bohren von Erdsonden manchmal Schwierigkeiten verursacht. Als Vorteile von Luft-Wasser-Wärmepumpen wurde festgehalten, dass sie relativ tiefe Investitionskosten aufweisen, im Vergleich mit Erdwärmepumpen; sie sind allerdings etwas weniger effizient und lauter. Zudem haben sie eine kürzere Nutzungsdauer als Erdwärmesonden. In Bezug auf eine Nutzung auf Quartierebene wurde insbesondere auch auf die Möglichkeit zur Nutzung von Oberflächengewässern oder von Abwärme durch Wärmepumpen hingewiesen. Ebenfalls wurden Abhängigkeiten, Hindernisse und Erfolgsfaktoren für verschiedene Technologien sowie deren Potenziale und Weiterentwicklungsmöglichkeiten untersucht und dokumentiert.

Im Rahmen der Arbeiten dieses Subtasks wurden Kostendaten von Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger zusammengetragen. In Bezug auf Heizungssysteme für einzelne Gebäude konnten von den Kantonen Zürich und Luzern anonymisierte Kostendaten eingeholt werden zu Investitionskosten von Wärmepumpen aufgrund von Angaben aus Förderprogrammen. Die Daten beziehen sich sowohl auf Luft-Wasser-Wärmepumpen wie auch auf Erdwärmepumpen. Aufgrund der zusätzlichen Daten konnte festgestellt werden, dass die Skaleneffekte bei Wärmepumpensystemen weniger gross sind als normalerweise angenommen wird, d.h. dass bei grösseren Wärmepumpensystemen die spezifischen Kosten pro kW Leistung weniger stark abnehmen als gemeinhin angenommen. Die Daten zeigen vielmehr eher einen linearen Anstieg der Investitionskosten mit steigender Leistung als eine abflachende Zunahme, wie dies für Skaleneffekte erwartet würde. Gründe dafür können sein, dass bei grösseren Heizsystemen zusätzliche Herausforderungen auftreten wie beispielsweise für das Bohren von Erdwärmesonden oder die Einhaltung von Lärmvorschriften für Luft-Wasser-Wärmepumpen, die Skaleneffekte allein aufgrund der Wärmepumpe kompensieren. Die folgenden Abbildungen 1 bis 4 illustrieren dies. Dies trägt zur Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen in Verbindung mit Wärmepumpensystemen bei. Wie erwartet sind die Investitionskosten für Erdsonden-Wärmepumpen höher als für Luft-Wasser-Wärmepumpen.

In den Investitionskosten der Heizungssysteme werden grundsätzlich alle Kosten zur Installation der Wärmepumpe berücksichtigt; energetische Massnahmen an der Gebäudehülle werden jedoch separat berechnet. Aufgrund der Datenherkunft ist es möglich, dass die tatsächlichen Kosten für dezentrale Heizungssysteme höher liegen als in den Daten ausgewiesen. Grund dafür kann sein, dass bei Abrechnungen zu entsprechenden Projekten zuhanden von Förderprogrammen bauseitige Kosten wie etwa für Baumeister/innen, Gärtner/innen oder Elektriker/innen darin nicht oder nur zum Teil enthalten sind.

In Bezug auf Kostendaten für Wärmeverbunde konnten Daten eingeholt werden von zwei Energieversorgungsunternehmen. Die entsprechenden Daten wurden auf vertraulicher Basis zur Verfügung gestellt und können nicht als solche veröffentlicht werden. Die Systemgrenzen und die auf den Kostendaten aufbauende Berechnungsmethode sind im Methodikbericht im Subtask B dokumentiert.



### «Investitionskosten für Luft-Wasser-Wärmepumpen im Kanton Luzern»

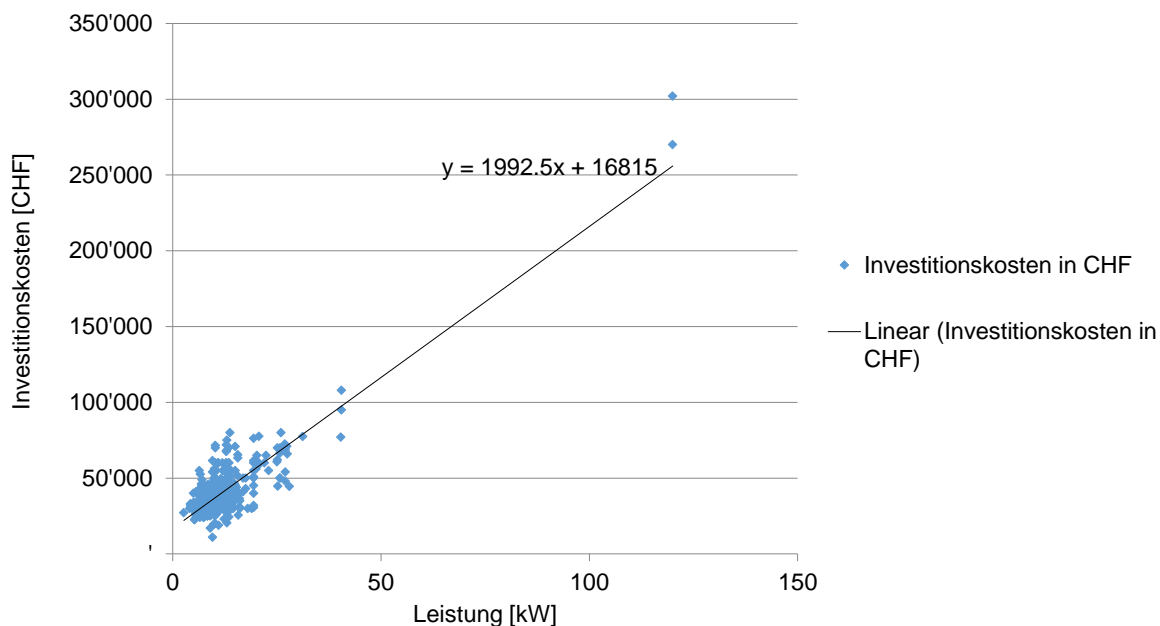


Abbildung 1: Investitionskosten für Luft-Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit der installierten Leistung bei 637 vom Kanton Luzern geförderten Anlagen; Datenquelle: Kanton Luzern, Förderprogramm Energie; die tatsächlichen Gesamtkosten der Anlagen können aufgrund möglicherweise nur teilweise einbezogener bauseitiger Kosten höher liegen als gemäss dieser Datenquelle ausgewiesen

### «Investitionskosten für Erdsonden-Wärmepumpen im Kanton Luzern»

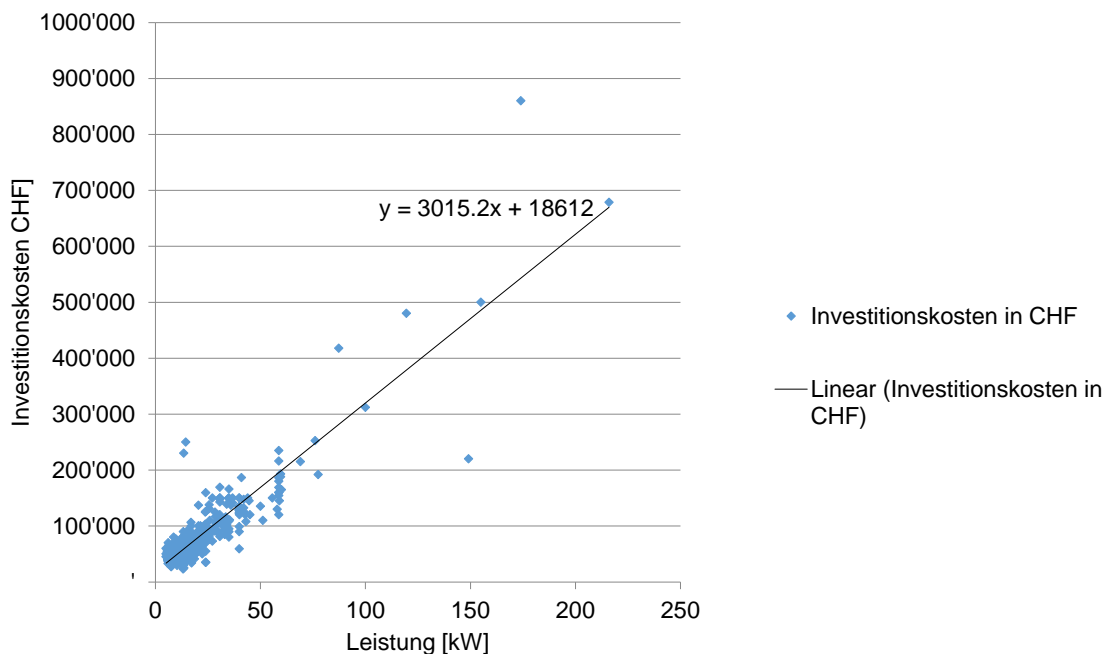


Abbildung 2: Investitionskosten für Erdsonden-Wärmepumpen in Abhängigkeit der installierten Leistung bei 550 vom Kanton Luzern geförderten Anlagen; Datenquelle: Kanton Luzern, Förderprogramm Energie; die tatsächlichen Gesamtkosten der Anlagen können aufgrund möglicherweise nur teilweise einbezogener bauseitiger Kosten höher liegen als gemäss dieser Datenquelle ausgewiesen



### «Investitionskosten für Luft-Wasser-Wärmepumpen im Kanton Zürich»

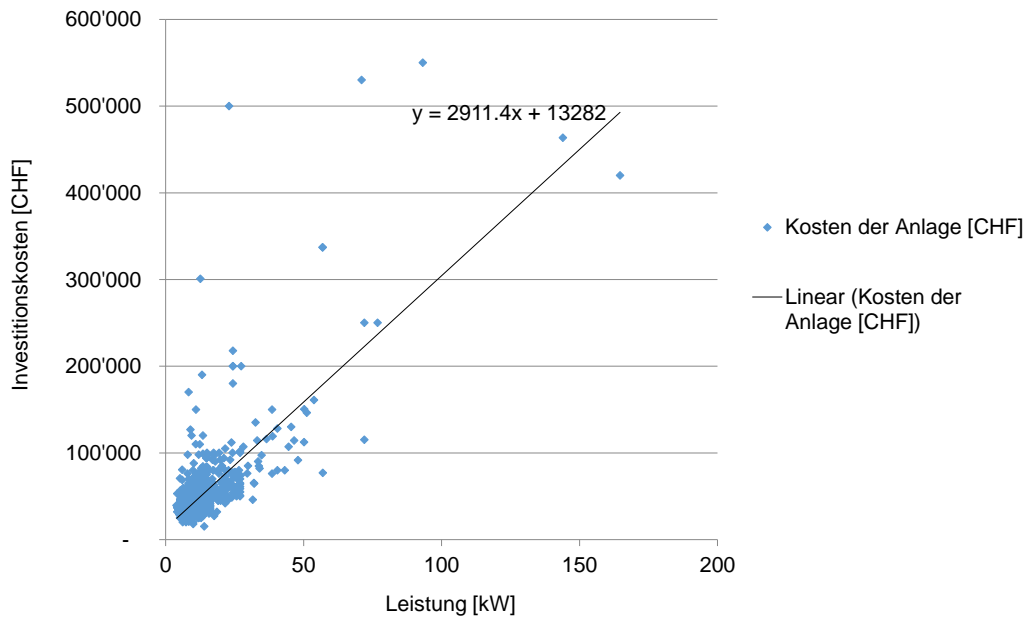


Abbildung 3: Investitionskosten für Luft-Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit der installierten Leistung bei 1'666 vom Kanton Zürich geförderten Anlagen; Datenquelle: Kanton Zürich, Förderprogramm Energie; die tatsächlichen Gesamtkosten der Anlagen können aufgrund möglicherweise nur teilweise einbezogener bauseitiger Kosten höher liegen als gemäss dieser Datenquelle ausgewiesen

### «Investitionskosten für Erdsonden-Wärmepumpen im Kanton Zürich»

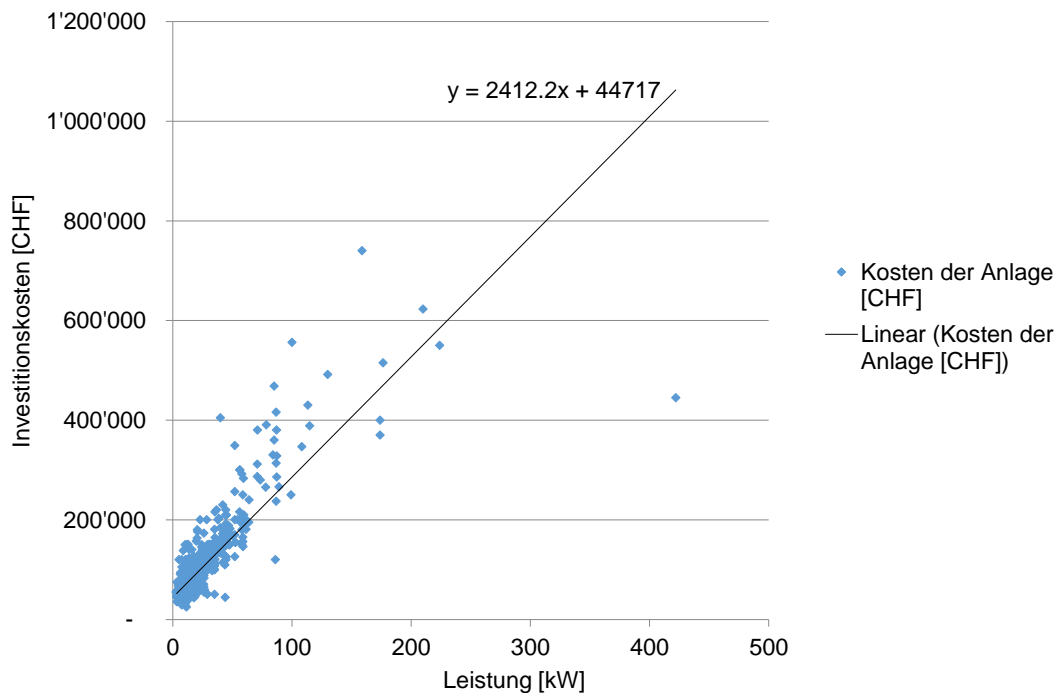


Abbildung 4: Investitionskosten für Erdsonden-Wärmepumpen in Abhängigkeit der installierten Leistung bei 1'336 vom Kanton Zürich geförderten Anlagen; Datenquelle: Kanton Zürich, Förderprogramm Energie; die tatsächlichen Gesamtkosten der Anlagen können aufgrund möglicherweise nur teilweise einbezogener bauseitiger Kosten höher liegen als gemäss dieser Datenquelle ausgewiesen



## 4.2 Subtask B: Optimization Methodology and Strategy Development

### 4.2.1 Bericht «Methodology for investigating cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables»

Der Bericht «Methodology for investigating cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables» (Bolliger und Terés-Zubiaga et al., 2023) hatte zum Ziel, die Entwicklung und Evaluation von kosteneffizienten Gesamtstrategien zur umfassenden energetischen Modernisierung von bestehenden städtischen Arealen oder Quartieren zu unterstützen. Die entwickelte Methodik diene zudem als Grundlage für Untersuchungen zur Beantwortung der Forschungsfragen.

Mit dem Bericht wird eine Methodik beschrieben zur Untersuchung der Kosteneffizienz verschiedener Strategien zur umfassenden energetischen Modernisierung von bestehenden Arealen und Quartieren. Unter den Strategien wird jeweils eine Kombination von einem Paket von Massnahmen an den Gebäudehüllen einerseits und der Installation eines neuen Heizungssystems andererseits verstanden. Bei den neuen Heizungssystemen kommen dabei sowohl zentrale als auch dezentrale Systeme in Frage.

Die Methodik sieht den Vergleich der Kosteneffizienz verschiedener Strategien vor. Zur Beurteilung der Kosteneffizienz wird jeweils eine Gesamtbetrachtung von Investitions-, Energie- und Unterhaltskosten erstellt.

Wichtige Erkenntnisse aus der Erarbeitung der Methodik sind insbesondere die folgenden:

- Um Orientierung zu bieten bei Wegen zur Erreichung der Klimaziele des Übereinkommens von Paris, ist es wichtig, dass der Fokus auf die Untersuchung von Strategien gelegt wird, die zu 100 % auf der Nutzung erneuerbarer Energien beruhen. Die Frage der Kosteneffizienz ist vor allem aus einer solchen Perspektive zu beurteilen, das heisst aus der Perspektive eines Wegs, der die Erreichung der Klimaziele von Paris erlaubt.
- Dies bedingt auch eine Stromversorgung, die zu 100 % auf erneuerbaren Energien beruht. Treibhausgasemissionen und Primärenergie sind damit tiefer als bei einem heutigen Strommix, doch ist dadurch mit höheren Strompreisen zu rechnen als früher.
- Energetische Massnahmen bedingen zusätzliche Investitionen, doch sind damit Einsparungen bei den jährlichen Energiekosten verbunden. Eine Berücksichtigung der Lebenszykluskosten ist daher zentral zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Strategien. Ein einfacher Ansatz dazu ist, mit der Annuitätenmethode Investitionen in jährliche Kapitalkosten umzurechnen und mit den jährlichen Energiekosten sowie jährlichen Unterhaltskosten in Bezug zu setzen.
- Bei der Beurteilung der Kosteneffizienz ist jeweils der Vergleich mit einem Referenzszenario wichtig, das zwar keine energetischen Verbesserungen bringt, jedoch trotzdem mit Kosten verbunden ist, um die Funktionalität verschiedener Gebäudeelemente aufrechtzuerhalten.
- Zur Ermittlung optimaler Strategien auf Quartierebene macht es Sinn, Wärmenetze und einzelne Gebäude als eine hypothetische Einheit zu betrachten, unabhängig von den tatsächlichen Eigentumsverhältnissen. Dies bedeutet, Berechnungen nicht mit einem vorgegebenen Tarif für die Fernwärme durchzuführen, wie dieser Gebäudeeigentümern/innen angeboten wird, sondern jeweils die Kosten des Gesamtsystems zu betrachten. Um die Kosteneffizienz verschiedener Strategien zu ermitteln, ist es von Bedeutung, wenn auf diese Weise die Investitions-, Energie- und Unterhaltskosten von Wärmeverbunden in die Berechnungen einbezogen werden und nicht auf einen vom Wärmeverbund angebotenen Tarif abgestützt wird.
- Bezüglich der untersuchten Quellen erneuerbarer Energien ist es insbesondere wichtig, Optionen zu untersuchen, die an vielen Orten verfügbar sind, wie etwa Solarenergie oder



Umweltwärme aus dem Boden, aus Oberflächengewässern oder aus der Luft, je nach den jeweiligen Verhältnissen, im Unterschied etwa zu Holzenergie, deren Potenzial beschränkt ist.

- Um Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien bei Wärmeverbunden zu untersuchen und diesbezügliche kosteneffiziente Strategien zu entwickeln, bietet es sich an, Wärmenetze insbesondere in vier verschiedene Hauptkomponenten zu unterteilen, deren Kosten jeweils abhängig von der benötigten Leistung sind: Die Fassung der Energiequelle, die zentrale Wärmeerzeugung und Umwälzpumpen, die Leitungen sowie die Übergabestationen bei den einzelnen Gebäuden. Bei einem kalten Wärmeverbund, d.h. einem Niedertemperaturnetz, entfällt die Energiezentrale und stattdessen werden einzelne dezentrale Wärmepumpen berücksichtigt.

#### 4.2.2 «Annex 75 Calculation Tool» und «Annex 75 Calculation Tool Documentation»

Ziel der Entwicklung eines Annex 75 Berechnungstool war es, die Anwendung der Methodik und diesbezügliche Auswertungen zu unterstützen. Das Annex 75 Berechnungstool wurde als Online-Tool erstellt. Es erlaubt, Strategien mit verschiedenen Kombinationen von Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien zu entwickeln und miteinander zu vergleichen. Mit dem Tool wurde aufgezeigt, wie eine umfassende Betrachtung von Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz der Gebäudehüllen auf der einen Seite und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien auf der anderen Seite in einem gemeinsamen Tool für Betrachtungen auf Quartierebene erfolgen kann. Das Tool erlaubt die Eingabe von allgemeinen Standortinformationen sowie von Daten für die Berechnungen, die Definition verschiedenener Szenarien, die Festlegung von Modellierungsparametern und die Darstellung entsprechender Resultate. Das Tool ist frei zugänglich unter der folgenden URL: <https://annex75.bim.energy>. Ein kurzes Benutzerhandbuch wurde ebenfalls erstellt (Säwen 2023).

#### 4.2.3 Bericht «Cost-effective building renovation strategies at the district level combining energy efficiency & renewables – investigation based on parametric calculations with generic districts»

Zur Anwendung und Prüfung der Methodik wurden von verschiedenen Projektpartnern generische Berechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind im Bericht «Cost-effective building renovation strategies at the district level combining energy efficiency & renewables – investigation based on parametric calculations with generic districts» (Säwen und Kronvall et al., 2023) dokumentiert.

Eine wesentliche Erkenntnis aus den entsprechenden Berechnungen ist, dass in fünf von sieben untersuchten Fällen die Hypothese bestätigt wurde, dass das kosteneffizienteste Niveau von Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen sich nicht wesentlich unterscheidet zwischen zentralen oder dezentralen Energiesystemen auf der Basis erneuerbarer Energien.

Darüber hinaus wurden grossen Unterschiede festgestellt in der Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen je nach dem Ausgangszustand der Gebäude und den jeweiligen klimatischen Bedingungen. In Fällen, in denen ein Wärmenetz bereits vorhanden war, war eine zentrale Versorgung mit erneuerbarer Energie kosteneffizienter als eine dezentrale Versorgung mit erneuerbaren Energien. Wurden Investitionskosten für ein neues Wärmenetz berücksichtigt, waren in manchen Fällen zentrale Lösungen zur Nutzung erneuerbarer Energien kosteneffizienter, in anderen Fällen schnitten jedoch dezentrale Lösungen besser ab.

Heizungslösungen basierend auf der Nutzung erneuerbarer Energien waren in den meisten Fällen kosteneffizienter als Referenzszenarien basierend auf der Nutzung fossiler Energien.

In den Fällen, in denen dies untersucht wurde, erwiesen sich die durch Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen erzielbaren Kosteneinsparungen grösser für Heizsysteme basierend auf Wärmepumpen als für solche basierend auf fossilen Energieträgern.



Insgesamt waren die Unterschiede in der Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen relativ klein in Bezug auf zentrale oder dezentrale Heizsysteme basierend auf erneuerbaren Energien.

In der generischen Fallstudie in der Schweiz fiel zusätzlich auf, dass ein Wärmeverbund mit zentraler Grundwasserwärmepumpe eine besonders kosteneffiziente Lösung darstellt, sofern dazu lokal Möglichkeiten vorhanden sind, das heisst wenn überhaupt entsprechend nutzbare Grundwasservorkommen vorliegen. Nicht untersucht wurde in der generischen Fallstudie in der Schweiz die Möglichkeit einer Nutzung von Grundwasser durch einen kalten Wärmeverbund mit dezentralen Wärmepumpen. Basierend auf dem guten Abschneiden einer Nutzung des Grundwassers mit zentraler Wärmepumpe sowie ähnlichen Ergebnissen für eine Nutzung von Seewasser mit zentraler Wärmepumpe oder dezentralen Wärmepumpen wird allerdings vermutet, dass auch eine Nutzung des Grundwassers durch einen kalten Wärmeverbund mit dezentralen Wärmepumpen eine kosteneffiziente Lösung darstellen kann, sofern entsprechende Grundwasservorkommen vorliegen und genutzt werden können.

#### 4.2.4 Bericht «Strategies to transform existing districts into low-energy and low-emission districts»

Im Bericht «Strategies to transform existing districts into low-energy and low-emission districts» (Walnum et al. 2023) wurden verschiedene Strategien beschrieben, um in bestehende Arealen und Quartiere Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch möglichst zu reduzieren. Dabei wurde auch eine länderspezifische Betrachtung von Chancen und Risiken verschiedener Strategien gemacht.

Aus dem Bericht zur Strategieentwicklung geht unter anderem hervor, dass die Ausgangslage einen starken Einfluss auf die Strategieentwicklung hat – es wird grundsätzlich nach Strategien unterschieden, je nachdem ob bereits ein Fernwärmenetz vorhanden ist oder nicht und wie gross in diesem der Anteil an erneuerbaren Energien ist. Weiter wurde festgehalten, dass die Möglichkeit der Nutzung einer grossen Quelle von erneuerbarer Energie ein wichtiger Faktor sein kann, der für eine Verbundlösung spricht. Gleichzeitig wurde allerdings auch erkannt, dass sich dezentrale und zentrale Lösungen zur Wärmeversorgung von Arealen und Quartieren in Bezug auf ihre Kosteneffizienz wenig unterscheiden. Ein interessanter Ansatz kann auch sein, zwei oder drei Gebäude zu Mikroverbunden zusammenzuschliessen, was eine Nutzung von gewissen Synergien erlaubt, ohne starke Abhängigkeiten zu schaffen. Die Entwicklung von Quartierlösungen ist mit einem grossen Aufwand und einem hohen Risiko verbunden, dass ein solcher schliesslich nicht umgesetzt wird. Dies bedeutet, dass der Markt allein voraussichtlich nicht dazu führt, dass Quartierlösungen in grossem Umfang realisiert werden. Verbundlösungen können jedoch bedeutende andere Vorteile haben als in Bezug auf die Kosten. Dazu gehört etwa, dass sie die Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien für einzelne Gebäude vereinfachen können, bei denen dezentrale Lösungen basierend auf erneuerbaren Energien ansonsten nur unter grossen Herausforderungen umgesetzt werden können. Ein Wärmeverbund kann Sinn machen, auch wenn dies nur für einen Teil der damit versorgten Gebäude die Wärmeversorgung vereinfacht, wenn ansonsten die Hindernisse gross wären, um für die entsprechenden Gebäude eine Wärmeversorgung basierend auf erneuerbaren Energien zu erreichen.

Falls die Politik aus diesen oder anderen Gründen erreichen möchte, dass mehr Wärmeverbunde erstellt werden, braucht es somit geeignete Politikinstrumente, um solche zu fördern. Der Bericht zur Strategieentwicklung empfiehlt für alle Strategien eine Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, aufgrund der festgestellten Synergien, welche zu Kosteneinsparungen führen. Dazu gehört insbesondere die Möglichkeit, verschiedene Komponenten eines Heizsystems zur Nutzung erneuerbarer Energien kleiner zu dimensionieren, wenn durch Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen die benötigte Wärmeleistung reduziert werden kann. Weitere Synergien ergeben sich aus der Möglichkeit, die Temperaturen im Netz zu senken, was die Effizienz von zentralen Wärmepumpen erhöht und Verluste aufgrund des Wärmetransports in Leitungen reduziert.

Im internationalen Vergleich zeigte sich auch, dass in der Schweiz die Oberflächengewässer eine besonders grosse Bedeutung als eine mögliche Energiequelle für Wärmeverbunde haben.



## 4.3 Subtask C: Case-Studies

### 4.3.1 Bericht «Success Stories of Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables (EBC Annex 75) – Summarising Report»

Im Rahmen des Annex 75 wurden in verschiedenen Ländern Success Stories zu Energieeffizienzmassnahmen und dem Einsatz erneuerbarer Energien auf Quartierebene gesammelt. Im Bericht «Success Stories of Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables (EBC Annex 75) – Summarising Report» sind diese zusammenfassend dokumentiert (Domingo Irigoyen et al. 2023). Im Unterschied zu den weiter unten erwähnten Case Studies handelte es sich bei den Success Stories um eine Beschreibung bereits umgesetzter Projekte. Die verschiedenen Success Stories wurden zudem auf einer Online-Karte auf der Webseite des Annex 75 eingetragen: <https://annex75.iea-ebc.org/success-stories>.

Die Success Stories zeigen ein grosses Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch durch Effizienzmassnahmen und erneuerbare Energien auf Quartierebene auf, verdeutlichen gleichzeitig allerdings auch die Komplexität entsprechender Vorhaben. Es wurde bestätigt, dass das Ausloten von optimalen Strategien durch Kombination von Effizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien bisher zu kurz kommt, und somit ein Bedarf für diesbezügliche Unterstützung besteht, wozu auch die Methodik und die Resultate aus dem Annex 75 beitragen können. Für die erfolgreiche Umsetzung von Quartiermodernisierungsprojekten erwiesen sich in den Success Stories neben der erforderlichen Finanzierung insbesondere eine umfassende und frühzeitig einsetzende Kommunikation, gleichzeitig stattfindende Verbesserungen auf Quartierebene sowie Flexibilität in der Umsetzung als Schlüsselmassnahmen. Beispiele für Verbesserungen waren etwa Massnahmen auf städtischer Ebene wie eine Reorganisation der Strassen sowie die Schaffung neuer Grünflächen oder neuer Fussgängerzonen. Flexibilität ist insbesondere wichtig, da es sich bei Quartiermodernisierungsprojekten um komplexe Vorhaben handelt. Flexibilität kann dabei insbesondere dazu beitragen, trotz überlappender Projektphasen und möglicher Verzögerungen in einer Projektphase nah am Zeitplan zu bleiben. Ausserdem zeigte sich, dass die lokalen Behörden bei der erfolgreichen Lancierung entsprechender Vorhaben in den untersuchten Success Stories entscheidend waren. Lokale Behörden können beispielsweise von entscheidender Bedeutung sein, um entsprechende Projekte auszulösen, um den Kontakt unter verschiedener Akteuren zu koordinieren, um Quartiermodernisierungsprojekte finanziell zu unterstützen, um dazu beizutragen, dass sich verschiedene Projektbeteiligte auf ein gemeinsames Vorgehen einigen, um Informationen bereitzustellen und auch um Informationen zu solchen Projekten weiterzuverbreiten.

In Bezug auf die Kombination von Effizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien wurde in der Success Story, die in der Schweiz porträtiert wurde, insbesondere erkannt, dass der Anschluss zusätzlicher Liegenschaften eine Reduktion des Wärmebedarfs durch Energieeffizienzmassnahmen im bereits an einen Wärmeverbund angeschlossenen Gebiet für den Betreiber eines Wärmeverbunds interessant machen kann, da dies den Anschluss neuer Gebäude an den Wärmeverbund und damit die Zahlung damit verbundener Anschlussgebühren ermöglicht, ohne dass die Leistung des Wärmeverbunds erhöht wird. Weiter wurde erkannt, dass in jener Success Story entscheidend war, dass die grosse Wärmequelle des Sees nur durch ein Quartierprojekt erschlossen werden konnte. Weiter war bedeutend, dass sich dessen Nutzung durch einen Wunsch aus der Bevölkerung ergab und sich eine Korporation als öffentliche Institution als besonders vertrauenswürdiger Betreiber eines solchen Wärmeverbunds erwies. Zudem waren in jener Success Story Synergien mit Renovierungsarbeiten von Strassen und anderer Infrastruktur vorteilhaft. Die Möglichkeit zur Generation von CO<sub>2</sub>-Reduktionszertifikaten begünstigte die Umsetzung. Bei der Verbundlösung kam eine Wärmepumpe mit natürlichem Kältemittel zum Einsatz, was derzeit ansonsten noch nicht überall der Fall ist. Dies gab einen Hinweis darauf, dass Verbundprojekte den Vorteil haben können, dass besonders effiziente und klimaschonende Technologien zum Einsatz kommen können. Laut Aussagen des Betreibers des Wärmeverbunds haben durch diesen Wärmeverbund ausserdem auch Gebäudeeigentümer/innen auf erneuerbare Energien umgestellt, die dies sonst nicht getan hätten. Dies veranschaulichte einen weiteren potenziell wesentlichen Vorteil von Verbundprojekten.



#### 4.3.2 Bericht «Investigation of cost-effective building renovation strategies at the district level combining energy efficiency & renewables – a case studies-based assessment»

Im Bericht «Investigation of cost-effective building renovation strategies at the district level combining energy efficiency & renewables – a case studies-based assessment» (Venus et al., 2023) wurden die Ergebnisse zu neun durchgeführten Case Studies in acht verschiedenen Ländern beschrieben. Die Case Studies dienten der Anwendung und Prüfung der Methodik. Bei den Case Studies handelt es sich im Unterschied zu den Success Stories nicht um bereits umgesetzte Projekte, sondern um Fallstudien mit Berechnungen zu möglichen zukünftigen Quartiermodernisierungsprojekten in ausgewählten Gebieten. Die Idee war, dass die Resultate der Fallstudien auch von Nutzen sind für die weitere Modernisierung des konkret untersuchten Gebiets.

In den meisten Case Studies wurde das Ergebnis aus den generischen Berechnungen bestätigt, wonach das kosteneffizienteste Niveau von Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen sich nicht wesentlich unterscheidet zwischen zentralen oder dezentralen Energiesystemen auf der Basis erneuerbarer Energien. Dies war eine wesentliche Erkenntnis, weil dies darauf hindeutet, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen in Kombination mit der Nutzung erneuerbarer Energien auf Quartierebene ähnlich attraktiv sind wie in Kombination mit der Nutzung erneuerbarer Energien in einzelnen Gebäuden.

Weiter wurde erkannt, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen besonders starke Synergien mit einer Nutzung erneuerbarer Energien auf Quartierebene haben, wenn solche Effizienzmassnahmen für alle Gebäude eines Quartiers umgesetzt werden und damit eine Senkung der Temperatur im Verteilnetz erlauben. Dies hat sowohl Vorteile für die Effizienz einer zentralen Wärmepumpe wie auch für die Reduktion von Verlusten im Netz. Ausserdem wurde festgestellt, dass eine weitere wesentliche Synergie von Massnahmen an den Gebäudehüllen auf Quartierebene mit der Nutzung erneuerbarer Energien darin besteht, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen den Bedarf zur Regeneration von Erdsonden reduzieren.

In Bezug auf das kosteneffiziente Niveau von Gebäudehüllenmodernisierungen wurden in den Fallstudien grosse Unterschiede festgestellt. Die Ausgangslage mit Bezug auf die thermischen Eigenschaften der Gebäudehüllen, die klimatischen Gegebenheiten und der dadurch bedingte Heizbedarf sowie das Verhältnis von Investitionskosten zu Energiekosten wurden als wesentliche Faktoren identifiziert, welche die Kosteneffizienz entsprechender Massnahmen beeinflussen.

In Bezug auf die Wahl zwischen zentralen oder dezentralen Energiesystemen zur Wärmeversorgung mit erneuerbaren Energien konnte keine spezifische Empfehlung abgeleitet werden. Dezentrale Systeme waren häufig ähnlich kosteneffizient wie zentrale Systeme. Dies verdeutlicht, dass Wärmeverbundprojekte häufig einer zusätzlichen Begründung bedürfen, über allfällige Vorteile in Bezug auf die Kosteneffizienz hinaus.

Es wurde festgehalten, dass in besonders grossen Wärmeverbunden die Skaleneffekte möglicherweise besonders gross sind und damit Wärmeverbunde klarere Vorteile in Bezug auf die Kosteneffizienz haben. Allerdings wurde unterstrichen, dass es in solchen grossen Verbunden eine grössere Herausforderung darstellt, die Energieeffizienz der Gebäudehüllen zu verbessern und damit die Temperaturen im Netz zu senken. In grossen Verbunden ist es somit schwieriger, Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien nutzbar zu machen. Teilweise anders sieht es aus bei grossen kalten Seewasserwärmeverbunden. In diesen lassen sich die Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen und der Nutzung erneuerbarer Energien auch bei grossen Verbunden nutzen, insofern als die Gebäude über einzelne Wärmepumpen verfügen. Dadurch dass es kein zentrales Heizsystem gibt bei einem solchen Verbund, gibt es allerdings auch weniger Skaleneffekte, die bei besonders grossen Systemen die Kosten senken.

In der Schweiz wurde eine Fallstudie in Luzern und eine in Zürich erarbeitet. Es handelt sich jeweils um Wohngebiete mit Mehrfamilienhäusern, die zum grössten Teil noch mit fossilen Energien beheizt werden, und in denen einige der Gebäude einen Modernisierungsbedarf aufweisen. Bei beiden Fallstudien handelt es sich um Gebiete mit 18 Mehrfamilienhäusern, allerdings unterschiedlicher Grösse. Die Ergebnisse und die zu Grunde liegenden Annahmen wurden im erwähnten Bericht



(Venus et al., 2023) beschrieben. Zudem wurde für beide Fallstudien ein separater Bericht erstellt (Bolliger et al. 2023a, Bolliger et al. 2023b).

Die folgenden Grafiken zeigen zusammenfassend die Ergebnisse aus den beiden in der Schweiz durchgeführten Case Studies:

### «Kosten, Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch verschiedener Szenarien von Gebäudemodernisierungen in der Fallstudie Luzern»

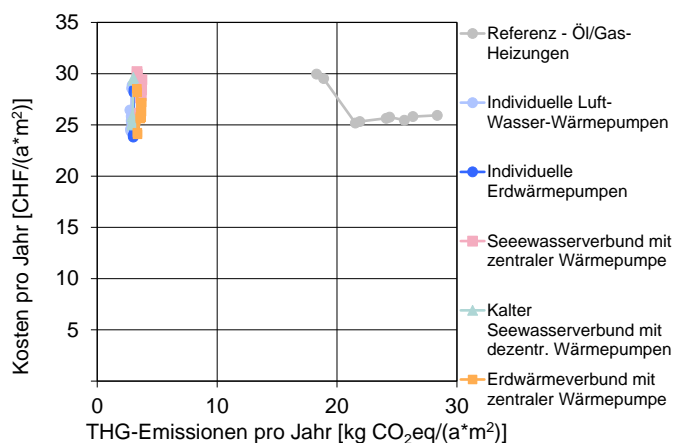


Abbildung 5: Fallstudie Luzern: Übersicht zu Treibhausgasemissionen, Primärenergieverbrauch und Kosten für unterschiedliche Wahl von Heizungssystemen und jeweils einem Referenzszenario mit Instandsetzungsmassnahmen sowie unterschiedlichen Paketen von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle

### «Kosten, Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch verschiedener Szenarien von Gebäudemodernisierungen in der Fallstudie Zürich»

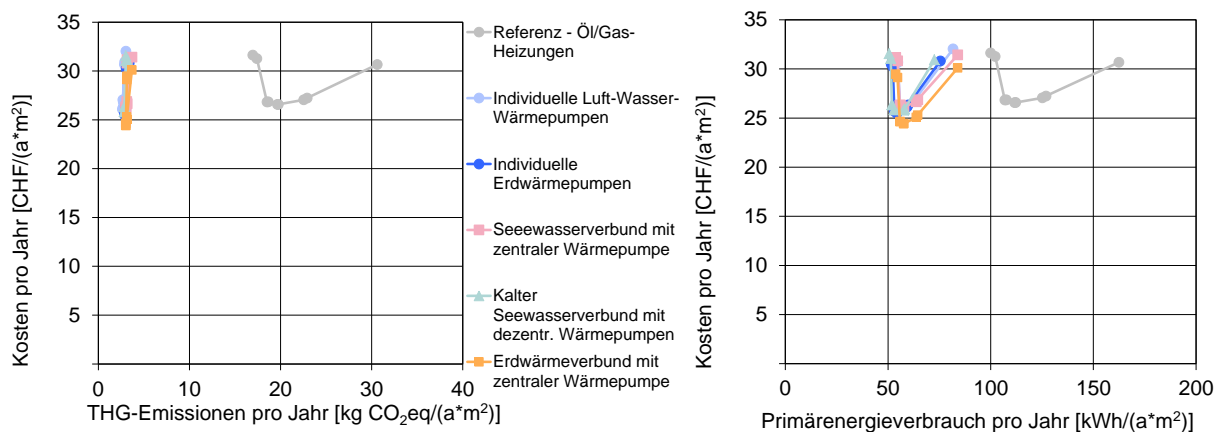


Abbildung 6: Fallstudie Zürich: Übersicht zu Treibhausgasemissionen, Primärenergieverbrauch und Kosten für unterschiedliche Wahl von Heizungssystemen und jeweils einem Referenzszenario mit Instandsetzungsmassnahmen sowie unterschiedlichen Paketen von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle

Die folgenden Grafiken zeigen zusätzlich die Kosteneinsparungen zwischen einem Heizungersatz und blossen Instandsetzungsmassnahmen an der Gebäudehülle einerseits und



der jeweils optimalen Variante in Bezug auf Massnahmen an der Gebäudehülle in Kombination mit dem Heizungsersatz:

#### «Übersicht zu Kosteneinsparungen optimaler Varianten von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei verschiedenen Heizungssystemen in der Fallstudie Luzern»

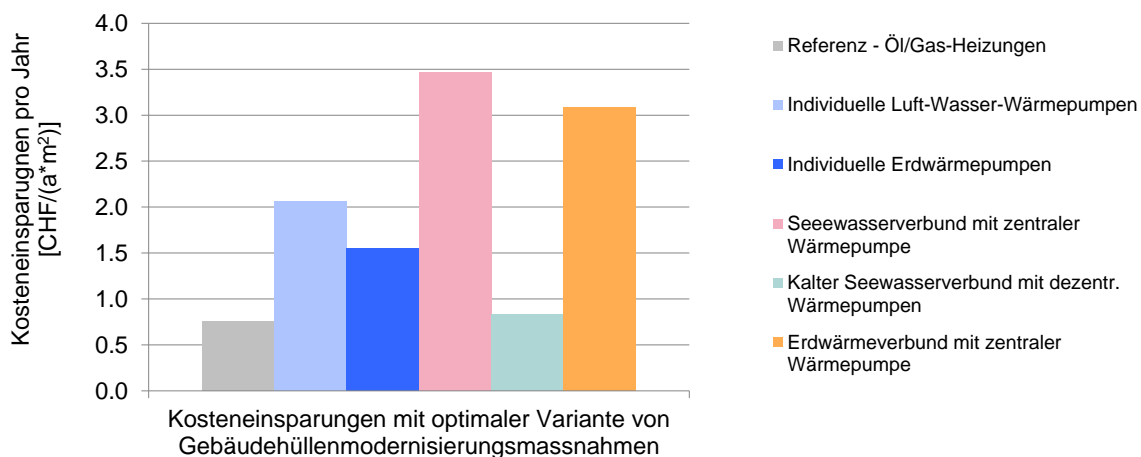


Abbildung 7: Übersicht zu Einsparungen der jährlichen spezifischen Kosten aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung zwischen einem Heizungsersatz und blossen Instandsetzungsmassnahmen an der Gebäudehülle einerseits und der jeweils optimalen Variante in Bezug auf Massnahmen an der Gebäudehülle in Kombination mit dem Heizungsersatz, für verschiedene Arten von Heizungssystemen in der Fallstudie Luzern

#### «Übersicht zu Kosteneinsparungen optimaler Varianten von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei verschiedenen Heizungssystemen in der Fallstudie Zürich»

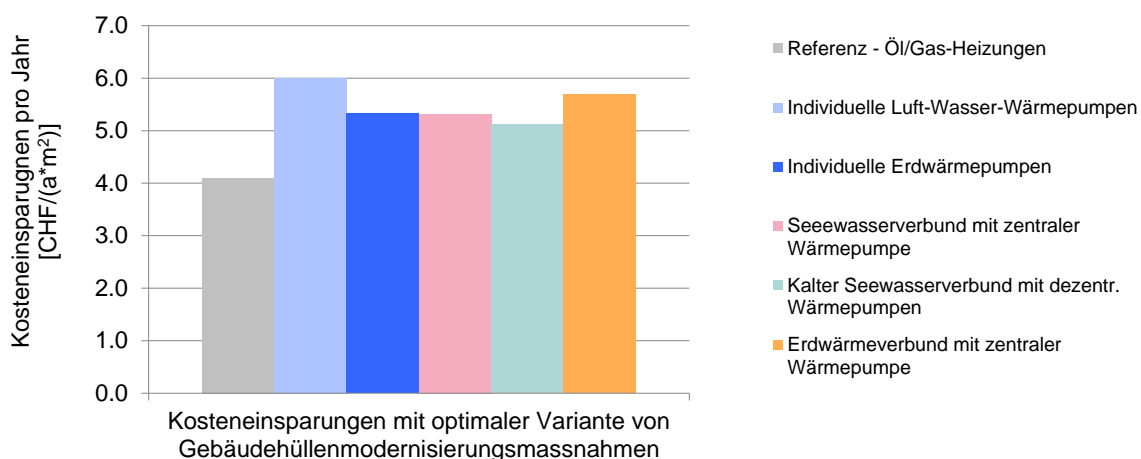


Abbildung 8: Übersicht zu Einsparungen der jährlichen spezifischen Kosten aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung zwischen einem Heizungsersatz und blossen Instandsetzungsmassnahmen an der Gebäudehülle einerseits und der jeweils optimalen Variante in Bezug auf Massnahmen an der Gebäudehülle in Kombination mit dem Heizungsersatz, für verschiedene Arten von Heizungssystemen in der Fallstudie Zürich

Abbildungen 11 und 12 zeigen ausserdem einen Vergleich der Kosten verschiedener Heizungssysteme, oben ohne energetischen Massnahmen an der Gebäudehülle, jedoch mit



Instandsetzungsmassnahmen, unten mit der jeweiligen kosteneffizientesten Variante für das Paket von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle:

**«Kosteneffizienz verschiedener Szenarien mit unterschiedlichen Heizungssystemen, ohne und mit Massnahmen an Gebäudehülle in der Fallstudie Luzern»**

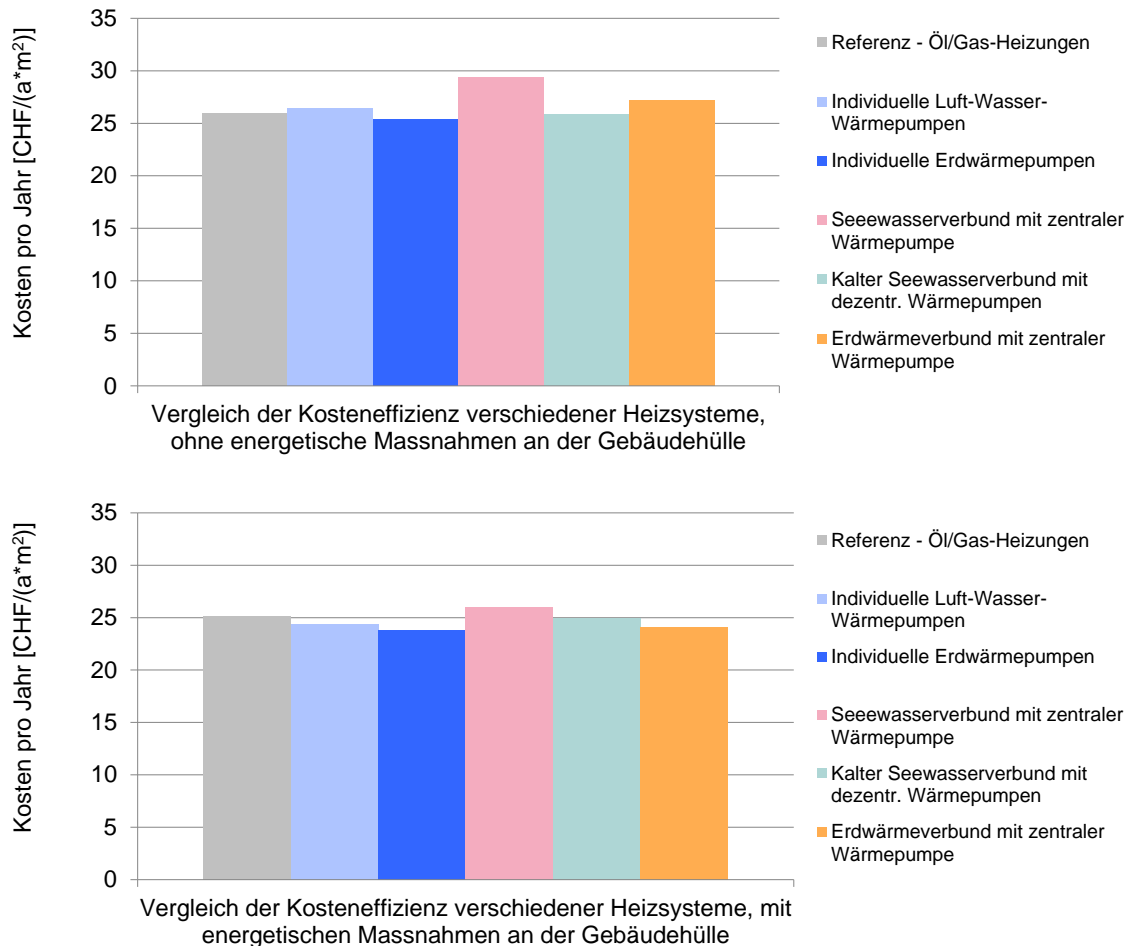


Abbildung 9: Vergleich der jährlichen spezifischen Kosten verschiedener Heizungssysteme aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung in der Fallstudie Luzern, in der oberen Grafik ohne energetische Massnahmen an den Gebäuden und unten in Verbindung mit der jeweiligen kosteneffizientesten Variante eines Pakets energetischer Massnahmen an der Gebäudehülle



«Kosteneffizienz verschiedener Szenarien mit unterschiedlichen Heizungssystemen, ohne und mit Massnahmen an Gebäudehülle in der Fallstudie Zürich»

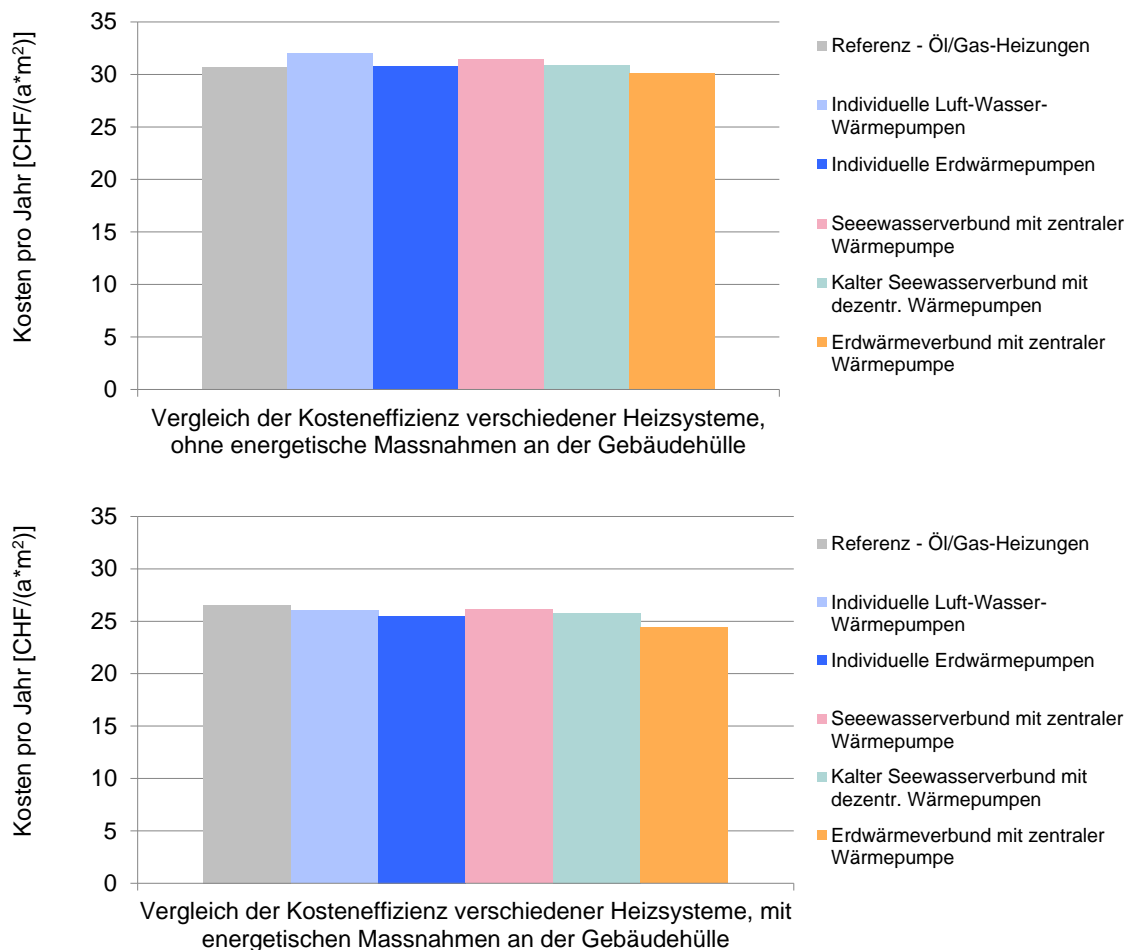


Abbildung 10: Vergleich der jährlichen spezifischen Kosten verschiedener Heizungssysteme aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung in der Fallstudie Zürich, in der oberen Grafik ohne energetische Massnahmen an den Gebäuden und unten in Verbindung mit der jeweiligen kosteneffizientesten Variante eines Pakets energetischer Massnahmen an der Gebäudehülle



Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei unterschiedlichen Heizungssystemen von den untersuchten Varianten jeweils das gleiche Paket von Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen am kosteneffizientesten ist, V6 im Falle der Fallstudie Luzern und V4 im Falle der Fallstudie Zürich, auch wenn es kleine Unterschiede in der Kosteneffizienz gibt auf der Ebene einzelner Gebäude. Das kosteneffizienteste Paket enthält Energieeffizienzmassnahmen an Dach, Wand und der Kellerdecke im Falle der Fallstudie in Luzern und Massnahmen an der Wand und der Kellerdecke im Falle der Fallstudie in Zürich. Nicht kosteneffizient ist dagegen in beiden Fallstudien in Kombination mit allen untersuchten Heizungssystemen der Einbau neuer Fenster. Die entsprechende Modernisierungsmassnahme bedarf deshalb einer anderen Begründung. In Bezug auf Heizungssysteme mit erneuerbarem Energieträger wurden dabei die folgenden Systeme geprüft: Luft-Wasser-Wärmepumpen, Wärmepumpen mit Erdsonden, Seewasser-Wärmeverbunde mit zentraler Wärmepumpe oder einem kalten Wärmeverbund mit dezentralen Wärmepumpen wie auch Erdwärme-Wärmeverbunde mit zentraler Wärmepumpe. Die erwähnte Aussage gilt auch im Vergleich mit einem fossilen Referenzszenario. Dies bedeutet, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen ebenso sinnvoll sind, wenn ein Quartier mit einem Wärmeverbund basierend auf einer Seewasserwärmepumpe versorgt wird, wie wenn das entsprechende Quartier dezentral mit Luft-Wasser-Wärmepumpen oder Wärmepumpen mit Erdsonden oder weiterhin dezentral mit fossilen Energien beheizt würde. Ein Wechsel auf erneuerbare Energien ist den Ergebnissen zufolge dabei kosteneffizient im Vergleich mit dem hypothetischen Szenario einer Weiterführung einer Beheizung des Quartiers mit dezentralen fossilen Heizungen, insbesondere wenn Synergien mit Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen berücksichtigt werden.

Die Resultate zeigen weiter:

- Unabhängig von der Wahl der untersuchten Heizungssysteme sind zahlreiche Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle insgesamt kosteneffizient gegenüber einem Heizungersatz mit blossen Instandsetzungsmassnahmen an den Gebäudehüllen
- Für alle untersuchten Heizungssysteme mit erneuerbarem Energieträger sind Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle mindestens so kosteneffizient wie mit einem Heizungssystem mit fossilem Energieträger.
- Die jährlichen Kosteneinsparungen, die sich mit Massnahmen an der Gebäudehülle aus einer Lebenszykluskostenbetrachtung erzielen lassen, sind für Wärmeerzeugungssysteme basierend auf der Nutzung erneuerbarer Energien grösser als bei einer Nutzung fossiler Energien. Die Synergien sind am grössten bei einem Wärmeverbund mit einer zentralen Wärmepumpe sowie Luft-Wasser-Wärmepumpen.
- Die Kosten für verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Heizsystemen sind relativ ähnlich. Dies gilt insbesondere, wenn die jeweils kosteneffizienteste Variante für ein Paket von Massnahmen an der Gebäudehülle berücksichtigt wird.
- Von den untersuchten Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger sind manche kosteneffizient gegenüber einem fossilen Referenzszenario, ohne Massnahmen an der Gebäudehülle. Werden Synergien mit Massnahmen an der Gebäudehülle berücksichtigt, sind mehr Lösungen kosteneffizient, und bei denjenigen, die dies nicht sind, verringert sich die Differenz zur Kosteneffizienz.

Die Ähnlichkeit in der Kosteneffizienz von Wärmeverbunden gegenüber dezentralen Lösungen kann dadurch erklärt werden, dass Wärmeverbunde zwar von Skaleneffekten bei einer grossen Wärmepumpe profitieren, es jedoch andere Effekte gibt, die dezentrale Lösungen begünstigen:

- Bei individuellen Wärmepumpen können Kosten für die Leitungen des Wärmenetzes eingespart werden.
- Bei individuellen Wärmepumpen können Kosten für die Bereitstellung eines Gebäudes für die Energiezentrale eingespart werden.



- Eine zentrale Wärmepumpe benötigt oftmals eine höhere Vorlauftemperatur, weil die Temperatur des Wärmenetzes jeweils auf diejenigen Gebäude ausgerichtet wird, welche die höchsten Vorlauftemperaturen bedürfen; bei individuellen Wärmepumpen hingegen können die Vorlauftemperaturen auf jedes Gebäude einzeln abgestimmt werden. Das führt zu weniger hohen Wirkungsgraden bei einer zentralen Wärmepumpe im Vergleich zu dezentralen Wärmepumpen.
- Eine zentrale Wärmepumpe führt zu Energieverlusten bei der Verteilung über das Leitungsnetz.

Bei einem Vergleich zwischen einem kalten Seewasserwärmeverbund mit dezentralen Wärmepumpen in jedem Gebäude und einem Seewasserwärmeverbund mit einer zentralen Wärmepumpe stehen sich verschiedene Effekte gegenüber:

- Ein kalter Seewasserwärmeverbund hat den Vorteil, dass der Wirkungsgrad der Wärmepumpen höher ist, weil jedes Gebäude über eine eigene Wärmepumpe verfügt und damit nur genau die Vorlauf-Temperatur erhält, welche dieses Gebäude benötigt.
- Ein kalter Seewasserwärmeverbund hat zudem den Vorteil, dass Leitungsverluste weitgehend vermieden werden können, da die Temperatur in den Leitungen tief ist.
- Bei einem kalten Seewasserwärmeverbund gibt es allerdings demgegenüber keine Skaleneffekte durch die Nutzung einer gemeinsamen grossen Wärmepumpe.
- Bei einem kalten Seewasserwärmeverbund haben die zu verlegenden Fernwärmeleitungen einen grösseren Durchmesser, da sie mehr Fluid transportieren, um die gleiche Wärmemenge zu liefern, als Fernwärmesysteme mit hoher Temperatur. Dies kann zu einer starken Steigerung der Kosten für den Leitungsbau führen, wenn dies zum Beispiel dazu führt, dass eine Strasse dafür vorübergehend ganz gesperrt werden muss, statt dass es nur die Sperrung eines Teils der Strasse braucht.

In den vorliegenden Fällen überwiegen bei den berücksichtigten Gegebenheiten und den gemachten Annahmen die Vorteile eines kalten Seewasserwärmeverbunds leicht gegenüber einem Wärmeverbund mit zentraler Wärmepumpe.

Die Ergebnisse zeigen, dass Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei allen untersuchten Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger mindestens gleich kosteneffizient sind wie in einem fossilen Referenzszenario. Dies ist dahingehend eine wichtige Aussage, als somit Gebäudemodernisierungsmassnahmen aus Investorensicht weiterhin mindestens gleich attraktiv sind wie zuvor bei fossilen Energieträgern. Dieses Ergebnis ist auf den ersten Blick erstaunlich, da ja Heizungssysteme mit erneuerbarem Energieträger generell tiefere Energiekosten haben und es somit mit Massnahmen an der Gebäudehülle diesbezüglich weniger Kosten einzusparen gibt. Hingegen gibt es zwei Effekte, die Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger kosteneffizient machen: Heizungssysteme mit erneuerbarem Energieträger bedingen typischerweise höhere Investitionen als solche mit fossilem Energieträger – dies zeigte sich aufgrund der Kostenangaben für die Komponenten von Wärmeverbunden, die im Rahmen des Projekts von den Energieunternehmen ewl und ewz zur Verfügung gestellt wurden. Je tiefer der Energiebedarf ist, desto geringer auch die benötigte Kapazität des installierten Heizungssystems; davon profitieren in Bezug auf die Reduktion der benötigten Investitionen entsprechend vor allem Heizungssysteme mit erneuerbarem Energieträger. Hinzu kommt, dass Wärmepumpen einen höheren Wirkungsgrad haben, wenn der Temperaturhub zwischen der Energiequelle und dem Wärmeverteilsystem möglichst gering ist. Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle erlauben es, die Temperaturen in der Wärmeverteilung zu senken, so dass die Effizienz der Wärmepumpen steigt. Auch dies trägt zur Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger bei, sofern es sich dabei um Wärmepumpen handelt.



Bei Wärmeverbunden mit erneuerbarem Energieträger würde die Vermutung im Prinzip nahe liegen, dass sich Energieeffizienzmassnahmen in Kombination mit solchen Energieverbunden finanziell betrachtet weniger lohnen als bei individuellen Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger für jedes einzelne Gebäude. Der Grund dafür ist, dass man erwarten könnte, dass es bei Wärmeverbunden bedeutende Skaleneffekte gibt, das heisst, dass die Kosten entsprechender Systeme bei grösseren Leistungen nur wenig zunehmen, weil sie mit bedeutenden Fixkosten verbunden sind, die wenig von der Grösse der Anlage abhängig sind. Insgesamt wird hingegen festgestellt, dass die gleiche Variante in Bezug auf die Pakete von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle am kosteneffizientesten ist, für alle untersuchten Heizungssysteme.

Eine Betrachtung der Höhe der Kosteneinsparungen beim Vergleich eines reinen Heizungersatzes mit blossen Instandsetzungsmassnahmen an der Gebäudehülle einerseits und einem Heizungersatz in Kombination mit energetischen Massnahmen an der Gebäudehülle andererseits zeigt allerdings, dass es gewisse Unterschiede in der Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei unterschiedlichen Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger gibt, wie in Abbildungen 7 und 8 dargestellt.

So sind die Kosteneinsparungen, die sich bei einer Kombination von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle mit einem kalten Seewasserwärmeverbund erzielen lassen, geringer als mit den anderen untersuchten Heizungssystemen. Hier wirkt sich vermutlich der oben beschriebene Effekt aus: Ein solcher Wärmeverbund weist einen hohen Anteil von Kosten aus, die relativ fix sind, unabhängig von der Grösse der Anlage. So lassen sich nur relativ wenig Kosten einsparen, wenn eine Wasserrfassung für die Seewassernutzung kleiner ausgestaltet werden kann, aufgrund einer geringeren benötigten Leistung wegen Effizienzmassnahmen.

Ein weiterer Grund für die relativ geringe Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle in Kombination mit einem kalten Seewasserwärmeverbund liegt darin, dass die dabei eingesetzten Wärmepumpen bereits über einen relativ hohen Wirkungsgrad verfügen, da sie Seewasser als Wärmequelle verwenden können und dieses eine höhere Temperatur als Luft hat im Winter und sich aufgrund des flüssigen Zustands gut für den Wärmeaustausch eignet (vgl. dazu SIA-Norm 384/3).

Zu berücksichtigen ist, dass bei einem Wärmeverbund mit zentraler Wärmepumpe Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei einem einzelnen Gebäude einen bedeutenden positiven Einfluss auf die Gesamteffizienz des Systems haben können. Dies gilt insbesondere für diejenigen Gebäude, die bisher einen hohen spezifischen Energiebedarf pro Energiebezugsfläche haben und damit hohe Vorlauftemperaturen erforderlich machen. Bei einem kalten Seewasserwärmeverbund gibt es demgegenüber bei den Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle in Bezug auf die Kosten der Wärmepumpe nur Synergien auf Ebene eines einzelnen Gebäudes, da jedes Gebäude eine eigene Wärmepumpe hat, die auf die spezifischen Bedürfnisse des jeweiligen Gebäudes angepasst ist.

Der Umstand, dass für einen Verbund mit zentraler Wärmepumpe ohne weitere Massnahmen eine relativ hohe Temperatur im Verteilsystem benötigt wird – schliesslich richtet sich die Temperatur im System nach den am wenigsten gut gedämmten Gebäuden im Projektperimeter – ist generell ein Grund für Synergien bei Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle in Kombination mit einem Wärmeverbund mit zentraler Wärmepumpe. Die Effizienz der zentralen Wärmepumpe kann wie erwähnt gesteigert werden, wenn aufgrund von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle die benötigte Temperatur im System gesenkt werden kann. Eine Senkung der Temperatur reduziert zudem die Leitungsverluste im Netz. Im Vergleich dazu gibt es bei den individuellen Heizungssystemen mit erneuerbarem Energieträger, das heisst bei einer Lösung mit Luft-Wasser-Wärmepumpen oder Erdwärmepumpen, kaum Skaleneffekte. Die von den Kantonen Luzern und Zürich zur Verfügung gestellten Kostendaten zeigen, dass grössere Erdwärmepumpen oder auch grössere Luft-Wasser-Wärmepumpen im Durchschnitt kaum tiefere spezifische Investitionen pro kW Leistung bedingen als entsprechende kleinere Systeme. Dies kann damit zusammenhängen, dass es zwar Skaleneffekte bei der Wärmepumpe an sich gibt – grössere Wärmepumpen sind im Vergleich zu kleineren pro kW Leistung günstiger; hingegen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass es bei grösseren Luft-Wasser-Wärmepumpen oder Erdwärmepumpen andere Kosten gibt, wie etwa aufgrund



Lärmschutz oder zusätzlicher Schwierigkeiten beim Bohren, die solche allein bei der Wärmepumpe vorliegende Skaleneffekte insgesamt wieder aufheben.

Die bestehende Form der Wärmeabgabe in den Gebäuden über Radiatoren kann ein Hindernis darstellen zur Absenkung der Temperaturen im Netz. Verbesserungen an den Gebäudehüllen können eine solche Absenkung allerdings trotzdem ermöglichen. Bei Bedarf sind auch Massnahmen bei der Anpassung der Wärmeabgabe möglich, dies ist jedoch mit zusätzlichen Kosten verbunden. Entsprechende Kosten wurden in der Studie nicht berücksichtigt.

Im Falle einer Absenkung der Temperatur im Wärmeverbund bedarf es ausserdem unter Umständen spezieller Lösungen für das Warmwasser. Um die Anforderungen an den Legionellenschutz zu erfüllen, muss dieses nämlich allenfalls regelmässig auf höhere Temperaturen erhitzt werden, als dies in einem solchen Fall von der Fernwärme bereitgestellt wird. Mögliche Lösungen sind beispielsweise ein separates Netz für Warmwasser oder separate Übergabestationen für Brauchwarmwasser oder Wärmepumpenboiler in jedem Gebäude zur zusätzlichen Aufheizung des Brauchwarmwassers. Ebenfalls eine Möglichkeit stellen Frischwasserstationen dar, mit der in den einzelnen Gebäuden Warmwasser nur auf Bedarf hin bereitgestellt wird; indem es dabei keine Warmwasserspeicher braucht, kann das zusätzliche Aufheizen des Brauchwarmwassers zum Legionellenschutz vermieden werden. Dabei gilt es, die Grenzen der Kundenakzeptanz und des technischen Aufwandes in den einzelnen Gebäude-Unterstationen nicht ausser Acht zu lassen. Diese schränken den Spielraum für eine Absenkung von Vorlauf- und Rücklauftemperaturen ein. Es kann dabei zudem passieren, dass sich die Temperaturspreizung im Fernwärmenetz reduziert, was sich negativ auf die Transportkapazität auswirkt. Entsprechende Kosten für zusätzlich erforderliche spezielle Lösungen für das Brauchwarmwasser wurden in der Studie nicht berücksichtigt.

Um die Synergien zwischen Effizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien im Wärmeverbund voll nutzen zu können, erfolgt die Modernisierung der Gebäudehülle sinnvollerweise vor einem Anschluss an den Wärmeverbund.

In Bezug auf die unterschiedliche Kosteneffizienz von Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle bei individuellen-Luft-Wasser-Wärmepumpen im Vergleich zu Erdwärmepumpen, kann folgendes festgestellt werden: Energieeffizienzmassnahmen an der Gebäudehülle sind kosteneffizienter bei individuellen Luft-Wasser-Wärmepumpen als bei Erdwärmepumpen. Dies liegt daran, dass Erdwärmepumpen bereits aufgrund der Erdsonden über einen relativ hohen Wirkungsgrad verfügen, da mit diesen eine Wärmequelle genutzt wird, die im Winter über eine höhere Temperatur verfügt als die mit den Luft-Wasser-Wärmepumpen genutzte Aussenluft.

Im Falle von Erdwärmesonden gibt es trotzdem bedeutende Synergien mit Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen, auch weil, wie die Fallstudie Luzern zeigte, bei genügend umfangreicher Dämmung der Gebäudehülle auf eine Regeneration der Erdwärmesonden durch Solarwärme verzichtet werden kann. Ein Teil der Kosten für die Modernisierung der Gebäudehülle kann somit durch einen Wegfall von Kosten für die Regeneration der Erdwärmesonden kompensiert werden.

Weitergehende Untersuchungen in der Fallstudie der Stadt Zürich zeigten, dass in Bezug auf eine möglichst hohe Kosteneffizienz insbesondere auch Mikroverbunde für eine Wärmepumpe mit Erdwärmesonden zur gemeinsamen Beheizung jeweils dreier benachbarter Gebäude attraktiv sind.

#### 4.3.3 Bericht «Barriers and drivers for energy efficient renovation at district level»

Basierend auf den Success Stories, in Subtask D durchgeführten Interviews mit verschiedenen Stakeholders sowie weiteren Quellen wurden in einem Bericht Hemmnisse und Treiber von Quartiermodernisierungsprojekten beschrieben (Johansson und Davidsson et al. 2023).

Es wurden dabei politische, rechtliche, ökonomische, soziale, kommunikationsbezogene und technische Hemmnisse und Treiber identifiziert und charakterisiert.

Zu den identifizierten politischen Hemmnissen gehören ein Mangel an Abstimmung zwischen nationalen und lokalen Regierungsebenen, ein mangelnder Wille zur Erreichung ambitionierter Ziele



auf lokaler Ebene, sowie Schwierigkeiten im Umgang mit Eigentümervereinigungen und heterogenen Quartieren mit grossen Unterschieden bezüglich Zustand und Alter der Gebäude. Identifizierte rechtliche Hemmnisse sind die Anforderung, zusätzliche Bauvorschriften zu erfüllen, wenn energetische Modernisierungen umgesetzt werden, sowie der Denkmalschutz. Zu den identifizierten ökonomischen Hemmnissen zählen fehlende Mittel für Investitionen, Marktverzerrungen, fehlende finanzielle Anreize, komplexe Regeln, um finanzielle Mittel zu erhalten für Gebäudemodernisierungen, und die Zurückhaltung von Gebäudeeigentümern/innen, Kredite aufzunehmen. Identifizierte soziale Hemmnisse stellen die Schwierigkeit dar, Gebiete zu modernisieren, in denen vor allem Personen mit tiefem Einkommen leben, und ein Mangel an Vertrauen gegenüber verschiedenen Akteuren im Bereich der Gebäudemodernisierungen. Zu den identifizierten kommunikationsbezogenen Hemmnissen gehören ein Mangel an Beratung, zu wenig umfangreicher Dialog unter verschiedenen Stakeholdern, fehlender Kontakt zwischen Gebäudeeigentümern/innen und Energiefachleuten, und auch fehlende Kommunikation zwischen verschiedenen Institutionen. Zu den technischen Hemmnissen gehören ein Mangel an innovativen technischen Lösungen sowie die geringe Energieeffizienz von Gebäuden, die effizienten Tieftemperatur-Wärmeverbunden im Weg steht. Ein weiteres identifiziertes Hemmnis ist der Mangel an Wissen und Ausbildung verschiedener Energieakteure.

Auf politischer Ebene identifizierte Treiber sind die Vorbildfunktion von Gemeinden wie auch deren Funktion, viele lokale Stakeholders erreichen zu können. Als Treiber wirkt es zudem, wenn Gemeinden finanzielle Unterstützung leisten, zum Beispiel durch verschiedene Arten von Subventionen, durch Bankgarantien oder Darlehen mit tiefem Zins, insbesondere auch für Wohnbaugenossenschaften. Ausserdem stellt die Koordination der Modernisierung ganzer Quartiere durch Gemeinden unter verschiedenen privaten Gebäudeeigentümern/innen einen Treiber dar. In Bezug auf rechtliche Aspekte sind ambitionierte regulatorische Vorgaben zu Energieeffizienz und Heizungssystemen basierend auf erneuerbaren Energieträgern wichtige Treiber. Solche Vorgaben können kombiniert werden mit einer Belohnung für die Einhaltung weitreichender Standards, zum Beispiel durch die Gewährung der Möglichkeit eines zusätzlichen Stockwerks oder eines anderweitigen Ausnutzungsbonus. Solche Vorgaben stossen auf besonders hohe Akzeptanz und sind damit besonders wirkungsvoll. Zu den identifizierten ökonomischen Treibern gehören Subventionen oder weitere finanzielle Anreize. Ökonomische Treiber können durch Skaleneffekte entstehen, d.h. Skaleneffekte können einen Anreiz für Quartiermodernisierungsprojekte bewirken. Um die Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern, ist ein wichtiger Treiber, Subventionen basierend auf der Energiebezugsfläche zu gewähren statt basierend auf der installierten Kapazität des Heizungssystems. Weiter stellt es einen Treiber dar, wenn die Lebenszykluskosten in den Vordergrund gestellt werden statt die Investitionskosten. Zu den identifizierten sozialen Treibern für Quartiermodernisierungsprojekte zählen die Bürgerbeteiligung und die Mitwirkung durch die Nutzer/innen wie auch die Aufwertung der Umgebung und die weitere Attraktivierung des Quartiers. Zudem gehören die Sicherstellung der Kontinuität für Familien und des sozialen Zusammenhalts im Quartier dazu. Identifizierte kommunikationsbezogene Treiber umfassen eine Beratung auf Quartierebene für die an Gebäudemodernisierungen beteiligten Energieakteure, über die ganze Dauer solcher Modernisierungen, die Organisation von Netzwerktreffen unter Gebäudeeigentümern/innen, die Bekanntmachung von Informationen zu guten Beispielen und Pilotprojekten, eine gute Kommunikation zwischen den verschiedenen an einem Projekt beteiligten Stakeholdern wie auch kartenbasierte Informationen zu vorhandenen Energieoptionen. Zu den identifizierten technischen Treibern gehören die Standardisierung und vorgefertigte Lösungen, was eine raschere und kosteneffizientere Modernisierung erlauben kann, insbesondere, wenn es im Quartier verschiedene Gebäude des gleichen Typs hat. Weiter wurden die Möglichkeit, eine grosse vorhandene Energiequelle zu nutzen oder die Möglichkeit, besonders weit entwickelte effiziente Technologien einzusetzen als technische Treiber identifiziert. Zudem wurden ein gestärktes Wissen und der Austausch von Erfahrungen unter Energieakteuren, die in verschiedenen Teilen eines Modernisierungsprojekts beteiligt sind, als Treiber identifiziert. Dazu gehört insbesondere auch der Austausch zwischen Energiefachleuten aus der Privatwirtschaft und der öffentlichen Hand.

Der Bericht unterstreicht die Bedeutung von Städten und Gemeinden als Akteure, um Projekte zur Modernisierung von Gebäuden auf Quartierebene voranzubringen. Auch die Bedeutung von



Wohnbaugenossenschaften wird hervorgehoben als Treiber von Modernisierungsprozessen und der Einbringung einer ganzheitlichen Sicht für solche Modernisierungen.

## **4.4 Subtask D: Policy Instruments, Stakeholder Dialogue, and Dissemination**

### **4.4.1 Bericht «Policy instruments for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables»**

Basierend auf einer Befragung von 38 Interviewpartnern in acht Ländern sowie verschiedenen Workshops hat das internationale Projektteam einen Bericht erarbeitet, der die Frage beleuchtet, mit welchen Politikinstrumenten die Nutzung erneuerbarer Energien und Energieeffizienzmassnahmen in Gebäuden auf Quartierebene sowie insbesondere deren Kombination unterstützt werden können (Mlecnik und Hidalgo-Betanzos et al., 2023). Dabei wurde der Fokus auf Politikinstrumente auf lokaler Ebene gelegt, die Städten und Gemeinden zur Verfügung stehen.

Im Bericht wird als eines der Resultate der Arbeiten ein Inventar von verschiedenen Politikinstrumenten aufgeführt, um Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene zu fördern. Der Bericht enthält zudem Einschätzungen zur Wichtigkeit und Einfachheit in der Umsetzung verschiedener Politikinstrumente. Weiter enthält der Bericht Vorschläge für Politikinstrumente, um auf Quartierebene spezifisch Kombinationen von Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern.

Als mögliche Politikinstrumente werden dabei insbesondere verbindliche Vorgaben, ökonomische Anreize, organisatorische bzw. beratende Unterstützung sowie Kommunikationsaktivitäten ermittelt.

Es wurde erkannt, dass die Bedeutung von verbindlichen Vorgaben vor allem darin liegen kann, eine Veränderung bei den Gebäuden zu erreichen, die bisher über eine besonders geringe Energieeffizienz verfügen, wie auch um dazu beizutragen, dass die Energiewende genügend schnell voranschreitet. Sofern Gemeinden die Möglichkeit haben, über nationale oder kantonale Standards hinauszugehen, können sie Mindeststandards erlassen für die am wenigsten effizienten Gebäude, eine Umstellung auf erneuerbare Energien beim Heizungersatz oder einen Anschluss an einen Wärmeverbund vorschreiben wie auch etwa Inspektionen und Kontrollen einsetzen, um die Einhaltung von Energiestandards sicherzustellen. Entsprechende regulatorische Möglichkeiten sind allerdings auf lokaler Ebene teilweise nicht vorhanden oder werden von Gemeinden oftmals nur zögerlich eingesetzt. Gemeinden wünschen sich oftmals zusätzliche finanzielle Mittel, um sicherzustellen, dass zusätzliche Kosten für Gebäudeeigentümer/innen gut tragbar sind und entsprechende Regelungen damit gut akzeptiert werden. Manche Gemeinden bevorzugen es, Quartierinitiativen und entstehende Energiegenossenschaften zu unterstützen, statt eine top-down-Planung durchzuführen. Andere Gemeinden hingegen bevorzugen demgegenüber top-down Energieplanungen.

Finanzielle Anreize für Quartierplanungen, für Anschlüsse an Wärmeverbunde oder für Gruppen von Gebäudeeigentümern/innen haben sich in manchen Ländern als nützliche Instrumente erwiesen. Finanzielle Unterstützung kann auch von Bedeutung sein für die Zusammenarbeit unter Stakeholdern oder Genossenschaften sowie für die Absicherung gegenüber Risiken von Innovationen und den längeren Prozessen, die mit Quartierprojekten verbunden sind. Interviewpartner betonten auch die Bedeutung finanzieller Unterstützung, um finanzielle Lösungen für Haushalte mit tiefem Einkommen zu ermöglichen.

Die interviewten Fachleute betonten die besonderen Möglichkeiten, die Gemeinden haben, um Quartiermodernisierungsprojekte zu initiieren oder zu koordinieren, aufgrund ihrer Komplexität und um private Akteure von den Risiken zu entlasten, die mit solchen Projekten verbunden sind. Es wurde allerdings festgestellt, dass Dienstleistungen, um Energieakteure dabei zu unterstützen, entsprechende Quartiermodernisierungsprojekte umzusetzen, erst wenig vorhanden sind. In diesem Zusammenhang bietet sich Gemeinden die Möglichkeit, mit spezifischen lokalen Beratungsangeboten die Entwicklung entsprechender Quartiermodernisierungsprojekte zu unterstützen. Kommunikationskanäle von Gemeinden können auch dazu dienen, die Sensibilisierung für entsprechende Möglichkeiten zu erhöhen. Gleichzeitig besteht ein Bedarf, dass Gemeinden solche



kollaborativen Projekte genauer erfassen und die Einhaltung von diesbezüglichen Zielwerten mitverfolgen.

Die durchgeführten Interviews bestätigten das Interesse von Stakeholdern, verpflichtende Vorgaben, finanzielle Anreize für Quartiere oder Gruppen von Gebäudeeigentümern/innen, Beratungsdienstleistungen, digitale Kommunikation und Vernetzungstreffen in Quartieren einzusetzen. Die meisten Interviewpartner sahen die Umsetzung entsprechender Instrumente eher als wenig einfach an. Kommunikationsinstrumente wurden als am einfachsten zum Umsetzen betrachtet, und verpflichtende Vorgaben als am wenigsten einfach.

Beim Betrachten von Unterschieden in den Antworten von Interviewpartnern von privater oder öffentlicher Seite fiel auf, dass Interviewpartner von privater Seite die Bedeutung finanzieller Anreize, von Beratungsangeboten sowie von Inspektionen und Kontrollen höher gewichteten als Interviewpartner der öffentlichen Hand. Kommunikationsaktivitäten über die Webseite wurden demgegenüber von Interviewpartnern der öffentlichen Hand höher gewichtet als von privaten Akteuren. Dies deutet darauf hin, dass Gemeinden eine gewisse Tendenz haben, die für sie am einfachsten umzusetzenden Massnahmen wie Kommunikationsmassnahmen über die Webseite als am wichtigsten anzusehen, obwohl private Akteure andere Instrumente als wichtiger erachten würden.

Ineffiziente Mehr-Ebenen-Politik, geringe Vorteile für einige Stakeholders, ein Mangel an guten Beispielen, inkompatible rechtliche Vorgaben, ein alleiniger Fokus auf Einzelgebäude und eine hohe Komplexität wurden als Risiken von Quartiermodernisierungsprojekten identifiziert, die allerdings durch Massnahmen auf politischer Ebene angegangen werden können. Ein Vorteil von Modernisierungsaktivitäten auf Quartierebene kann dabei sein, dass sie grosse Gruppen von Bürgern/innen motivieren können, Energieaktivitäten zu unternehmen. Die vielfältigen sozialen und organisatorischen Herausforderungen von Quartiermodernisierungsprojekten stellen gleichzeitig auch eine Gelegenheit dar, durch einen integrierten Ansatz verschiedene Herausforderungen der urbanen Transformation gleichzeitig anzugehen.

Als mögliche Politikinstrumente, welche spezifisch die Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien auf Quartierebene fördern, wurden unter anderem die folgenden identifiziert:

- Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien in Energieplanungen
- Pflicht zur Umstellung auf erneuerbare Energien als Rahmenbedingung
- Ziele / Aufträge für Energieunternehmen im Eigentum der öffentlichen Hand
- Anreize für Energieeffizienzmassnahmen in den Tarifen für Fernwärme
- Eine Verbindung mit Energieeffizienz-Themen bei der Vergabe von Konzessionen für Wärmeverbunde
- Verbindung von Förderbeiträgen für erneuerbare Energien mit Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen
- Finanzielle Unterstützung für die Erarbeitung von "Integrierten Quartiermodernisierungsplänen", welche sowohl Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen wie auch die Umstellung auf erneuerbare Energien beinhalten
- Ein umfangreiches Coaching oder anderweitige direkte organisatorische Unterstützung für Quartierprojekte durch die lokalen Behörden
- Beratung und Ausbildung
- Networking Veranstaltungen
- Kommunikationsaktivitäten



#### 4.4.2 Bericht «Business Models for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables»

Basierend auf Experten/innen-Interviews und Literaturrecherchen wurden in einem Bericht verschiedene Elemente von Geschäftsmodellen beschrieben, um Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene durchzuführen und dabei nach Möglichkeit Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen und dem Einsatz erneuerbarer Energien zu nutzen (Konstantinou und Haase et al., 2023). Untersuchungen bestehender Praxisbeispiele zeigten, dass Geschäftsmodelle für die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäudehüllen bisher typischerweise getrennt sind von Geschäftsmodellen zum Aufbau von Fernwärmenetzen. Es wurden vier Archetypen von Geschäftsmodellen für Gebäudemodernisierungen ermittelt: «Atomised», «Market intermediation», «One-stop-shop» und «Energy Service Company (ESCO)». Als Elemente, welche die Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und den Einsatz erneuerbarer Energien unterstützen können, wurden insbesondere die folgenden erkannt:

- «Value proposition»: Idealerweise ist das Geschäftsmodell darauf ausgerichtet, neben energetischen Verbesserungen einen weiteren Nutzen für ein Quartier zu bringen, wie beispielsweise eine gestalterische Aufwertung des Gebiets, was den Wert der Gebäude erhöht. Da bei Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien wie auch noch weiteren Interventionen die Komplexität des Vorhabens steigt, wird es umso wichtiger, dass das Geschäftsmodell einen einzigen Kontakt anbietet als Teil des Angebots, wie dies etwa bei einem One-Stop-Shop der Fall ist. Es ist sinnvoll, wenn die entsprechende Dienstleistung unter anderem Unterstützung zu folgenden Aspekten umfasst: technische Beratung zu Energieeffizienzmassnahmen und der Nutzung erneuerbarer Energien, Koordination von entsprechenden Installateuren mit Baufachleuten, finanzielle Aspekte wie die Sicherung von Subventionen oder die Beantragung von Krediten, und Energiecontracting.
- «Partnerships»: Um Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene zu skalieren und dabei Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbare Energien zu nutzen, ist es klar, dass es eine Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Unternehmen braucht, die entsprechende Dienstleistungen anbieten. Es macht zudem Sinn, wenn Kommunikations- und Finanzfachleute als Intermediäre ebenfalls für entsprechende Partnerschaften in Betracht gezogen werden, weil entsprechende Dienstleistungen Teil des Angebots sein können. Partnerschaften sind ausserdem sinnvoll mit Energienetzbetreibern, da Quartiere mit der gemeinsamen Nutzung erneuerbarer Energien zu Energieproduzenten werden und es eine Berücksichtigung von deren Rolle in der Energieinfrastruktur braucht. Weiter sind Partnerschaften mit der Gemeinde von Bedeutung zur Unterstützung der Kommunikation und zur Vertrauensbildung unter Gebäudeeigentümern/innen und Marktakteuren. Es braucht dabei von den Behörden auch eine Zusage für eine längerfristige Unterstützung und eine Einbettung entsprechender Geschäftsmodelle in die weitere Entwicklung des Quartiers und einen Plan zur Umsetzung der Energiewende.
- «Financing»: Mit zunehmender Komplexität der Energieversorgung in Gruppen von Gebäuden oder Quartieren ist davon auszugehen, dass der Marktanteil von Energy Service Companies (ESCOs) laufend zunimmt. Deren verstärkte Beteiligung könnte verschiedene Vorteile bringen, wie etwa neue standardisierte Finanzierungswege oder höhere Qualität und höherer Wert der Modernisierungen. Der öffentliche Sektor ist in der Lage, verschiedene lokale Zielsetzungen miteinander in Beziehung zu setzen, wie etwa tiefere Energiekosten, Schaffung von Arbeitsplätzen, lokale Wertschöpfung, klimaschonende Energiebereitstellung oder eine Reduktion der lokalen Luftverschmutzung. Durch Quantifizierung und Einbezug des Nutzens für entsprechende Ziele ist es möglich, die Attraktivität von neuen Finanzierungsmodellen noch zu erhöhen.
- «Communication»: Kommunikation zwischen Stakeholdern und insbesondere der Dialog mit Anwohnern/innen zur Bekanntmachung und Vertrauensbildung ist ein Schlüssel, um



Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene zu skalieren und dabei Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbare Energien zu kombinieren. Es geht dabei um eine Betonung des gemeinsamen Ziels der Dekarbonisierung wie auch um eine Berücksichtigung der konkreten Bedürfnisse des Quartiers. Das ökologische Bewusstsein ist zwar in der Gesellschaft weit entwickelt, doch allein trotzdem nicht ausreichend, um hohe und unsichere Investitionen zu tätigen.

Die Ergebnisse des Berichts «Business Models for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables» können als Grundlage dienen für zukünftige Business Modelle, welche Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbare Energien kombinieren.

#### 4.4.3 Bericht «The District as Action Level for Building Renovation Combining Energy Efficiency & Renewables: Making use of the Potentials – A Guide for Policy and Decision-Makers»

Im Bericht «The District as Action Level for Building Renovation Combining Energy Efficiency & Renewables: Making use of the Potentials – A Guide for Policy and Decision-Makers» (Meyer et al. 2023) wurden vom internationalen Projektteam Empfehlungen festgehalten zur Dekarbonisierung des Gebäudeparks auf Quartierebene, insbesondere zu Ansätzen, die Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien kombinieren. Zum entsprechenden Bericht sind auch zusammenfassende Auszüge für Entscheidungsträger/innen in der Politik einerseits (Meyer et al. 2023a) sowie private Entscheidungsträger/innen und insbesondere Investoren andererseits (Meyer et al. 2023b) erarbeitet worden,

Der Bericht illustriert, dass Gebäudemodernisierungsansätze auf Quartierebene das Potenzial von Synergien haben durch Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und der Nutzung von erneuerbaren Energien. Er zeigt allerdings auch, dass damit Herausforderungen verbunden sind. Zu diesen zählen hohe Anfangsinvestitionen, eine lange Zeitdauer bis zur Amortisation von Investitionen, und Risiken, dass solche Projekte nicht realisiert werden wegen des Rückzugs eines Teils der involvierten Gebäudeeigentümer/innen. Der Bericht hebt allerdings auch hervor, dass die Chancen oft grösser als die Herausforderungen sind bei Gebäudemodernisierungsstrategien auf Quartierebene, auch wenn eine höhere Kosteneffizienz nicht notwendigerweise zu diesen Chancen gehört.

Der Bericht unterstreicht, dass es für jedes Quartier oder Areal eine eigene Betrachtung braucht, aufgrund der grossen Unterschiede. Dennoch betont der Bericht das Vorhandensein von klaren potenziellen Vorteilen von Quartieransätzen. Er spezifiziert zudem, dass der energetische Ausgangszustand der Gebäude in Bezug auf ihre Dämmung und die vorhandenen Heizungs- oder Kühlungssysteme wie auch das Vorhandensein erneuerbarer Energiequellen und Möglichkeiten zu deren Nutzbarmachung entscheidende Faktoren sind zur Beantwortung der Frage, welches die kosteneffizientesten Gebäudemodernisierungsstrategien sind.

Basierend auf den gesammelten Erkenntnissen aus dem IEA EBC Annex 75 Projekt macht der Bericht unter anderem folgende Empfehlungen:

Energieeffizienzmassnahmen sind von Bedeutung für die Gebäudemodernisierung auf Quartierebene, insbesondere wenn die Gebäude in der Ausgangslage eine tiefe Energieeffizienz aufweisen. Die im Projekt durchgeführten Berechnungen zeigen, dass das gleiche Paket von Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen üblicherweise das kosteneffizienteste ist für alle Arten von Heizungssystemen. Das gilt insbesondere auch unabhängig davon, ob dezentrale oder zentrale Heizungssysteme gewählt werden.

Es gibt allerdings verschiedene Gründe, die eher für die Wahl eines Quartierprojekts als für einen dezentralen Ansatz sprechen, insbesondere wenn Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbare Energie kombiniert werden. Zu diesen Gründen zählt die Möglichkeit, eine grosse Quelle erneuerbarer Energien oder ein Potenzial für die Energiespeicherung zu nutzen, das durch dezentrale Systeme nicht nutzbar wäre. Andere Gründe sind etwa: die Möglichkeit, Restriktionen aufgrund von Platzverhältnissen oder des Lärmschutzes bei dezentralen Systemen zu überwinden; eine grössere Flexibilität in der Energieträgerwahl und dem Zeitpunkt der Wärmeerzeugung; die Möglichkeit, in Bezug auf die Emissionsverminderung besonders innovative Systeme einzusetzen; oder die



Möglichkeit, durch gemeinsames Handeln ein grösseres Engagement unter Gebäudeeigentümern/innen auszulösen. Um die Chancen von Wärmeverbunden auch in Gebäuden zu nutzen, bei denen bereits vor Inbetriebnahme eines Wärmeverbunds ein Heizungsersatz ansteht, besteht die Möglichkeit, für ausgewählte Gebäude Übergangslösungen mit erneuerbarem Energieträger anzubieten. Damit kann auch dazu beigetragen werden, dass der Aufbau von Wärmeverbunden in Bezug auf entsprechende Gebäude nicht die Dekarbonisierung verzögert.

Es gibt Hinweise, dass Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien sogar grösser sind auf Quartierebene als auf Ebene dezentraler Systeme, wenn Umweltwärme durch Wärmepumpen genutzt wird. Dies kann insbesondere dann der Fall sein, wenn Energieeffizienzmassnahmen es erlauben, die Temperatur und die damit die Energieverluste im Wärmenetz zu senken wie auch die Gesamteffizienz des Systems zu erhöhen. Die Nutzung entsprechender Synergien ist allerdings nicht einfach, und bis jetzt auch nicht verbreitet anzutreffen, da Gebäudemodernisierungsprojekte auf Quartierebene ohnehin bereits komplexe Vorhaben sind, und die Nutzung der erwähnten Synergien mit zusätzlichen Herausforderungen verbunden ist.

Auch wenn manche Modernisierungsmassnahmen nicht kosteneffizient sind, können weitere mit diesen Massnahmen verbundene Vorteile der Hauptgrund sein, um entsprechende Massnahmen auszuwählen. Es ist daher von Bedeutung, eine Gesamtbetrachtung vorzunehmen, bei der die techno-ökonomische Sicht nur eine von verschiedenen Faktoren ist, welche in Betracht gezogen werden. Dabei spielen insbesondere auch soziale und städtebauliche Aspekte eine Rolle, welche zu einer generellen Aufwertung des Raums führen und den Komfort und die Lebensqualität von Anwohnern/innen steigern können. Dies sind auch wichtige Aspekte für die Sicherstellung der Akzeptanz und die Partizipation von Anwohnern/innen. Weiter ist es von Bedeutung, dass verschiedene Energieakteure ein gemeinsames Verständnis erarbeiten für die zu erreichenden Dekarbonisierungsziele.

Häufig fehlen jedoch die Voraussetzungen für Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene, und es bedarf der Schaffung einer ganzen Reihe förderlicher Rahmenbedingungen, um weitgehende Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene zur Regelung zu machen.

Zunächst bedarf es einer Anpassung von Vorschriften, Gebäudestandards und Gebäudeenergieausweisen auf die Gebäudemodernisierung und die Quartierebene als zusätzliche Ebene zur Einzelgebäudeebene. Es wird ausserdem empfohlen, dass Vorschriften die Umstellung auf Energiesysteme basierend auf erneuerbaren Energien erleichtern und vorgeben, dass die Nutzung fossiler Brennstoffe auf internationaler, nationaler, regionaler und lokaler Ebene ab einem bestimmten Zeitpunkt verboten wird. Dadurch werden klare Rahmenbedingungen geschaffen.

Ausserdem sind übergeordnete finanzielle Anreize wie etwa durch eine CO<sub>2</sub>-Abgabe oder aufgrund eines Emissionshandelssystems von grosser Bedeutung, um die externen Kosten des Verbrauchs fossiler Energieträger besser abzubilden. Es braucht weiter finanzielle Unterstützung für die Planung und Umsetzung ganzer Gebäudemodernisierungsprojekte auf Quartierebene statt nur für die Umsetzung von Teilmassnahmen.

Weiter wird empfohlen, neue Finanzierungsmodelle zu testen und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln, welche sicherstellen, dass Synergien genutzt werden trotz unterschiedlicher Gebäudeeigentümerschaften und vorhandener Wärmenetze. Entsprechende Geschäftsmodelle und Finanzierungsmodelle werden vorzugsweise zielgruppenspezifisch ausgestaltet und tragen dabei auch den besonderen Bedürfnissen von Personen mit tiefem Einkommen und den Mietenden Rechnung.

Zur Förderung der Qualität und zur Beschleunigung von Gebäudemodernisierungsprojekten braucht es ein stärker verbreitetes Verständnis für weitgehende Gebäudemodernisierungen. Dazu bedarf es zusätzlicher Aus- und Weiterbildung für eine ganze Kette von Fachleuten im Gebäudebereich, Gebäudeeigentümern/innen sowie das Personal von Gemeinden und Städten.

Schlüsselfaktoren zur Bewirkung erfolgreicher Gebäudemodernisierungsprojekte auf Quartierebene sind wirkungsvolle Kommunikation und Koordination. Ohne dies können die anderen Rahmenbedingungen nicht ihre volle Wirkung entfalten. Die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von



transparenten und klaren Informationen in Kombination mit Informationsaustausch und Einbezug von Energieakteuren haben eine hohe Bedeutung für die Unterstützung und Teilnahme. Insbesondere ist der Einbezug von Einwohnern/innen von grosser Bedeutung für die Akzeptanz entsprechender Projekte. Dies kann auch Auswirkungen auf das Nutzerverhalten haben, um die Erreichung ambitionierter Ziele von Gebäudemodernisierungsprojekten zu unterstützen.

Insbesondere lokalen Behörden kommt bei der Sicherstellung angemessener Kommunikation und Beratung von Gebäudeeigentümern/innen eine Schlüsselrolle zu. Sie können entscheidend dazu beitragen, Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene zu koordinieren und zu organisieren. Städte und Gemeinden können dabei verschiedene Funktionen wahrnehmen, als Unterstützer, Mediatoren, Koordinatoren und als Motivatoren. Aufgrund ihrer Nähe zu den Einwohnern/innen sind sie gut positioniert, um zusammen mit diesen Ziele zu definieren, Hubs für die Gebäudemodernisierung einzurichten, CO<sub>2</sub>-freie Pilotquartiere zu schaffen und Gebäudeeigentümer/innen zur Mitwirkung zur Zielerreichung zu motivieren. Sie können Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene insbesondere durch die lokale Energieplanung, lokale Vorgaben und lokale finanzielle Anreize fördern und dabei auch spezifisch auf die Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und Massnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien hinwirken. Je nach Land können sie dabei auch spezifische lokale Vorgaben machen, wie etwa die Modernisierung von Gebäudehüllen und den Umstieg auf Heizungs- oder Kühlungssysteme basierend auf erneuerbaren Energien für obligatorisch zu erklären oder entsprechende regulative Anreize zu gewähren, wie etwa die Gewährung einer höheren Ausnutzungsziffer. Ausserdem können sie lokale finanzielle Anreize schaffen oder Finanzierungsmodelle fördern, um Gebäudemodernisierungen attraktiv zu machen, und auch entsprechende Geschäftsmodelle.

Es braucht somit kosteneffiziente Kombinationen technischer Möglichkeiten, die auf den jeweiligen lokalen Kontext angepasst sind, und auf das öffentliche Interesse sowie das Ziel ausgerichtet sind, die Lebensqualität der Bürger/innen zu erhöhen. Dafür ist ein Ansatz notwendig, der verschiedene Interessen, auch über den ausgewogenen Einbezug von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien hinaus, berücksichtigt. Es wird empfohlen, einen solchen Ansatz auf Kooperation mit den Energieakteuren, Interessensausgleich, fundiertes Wissen, angemessene Anreize und regulatorische Rahmenbedingungen zu basieren, welche Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene fördern und dabei Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien nutzen.

Wenn Entscheidungsträger/innen in der Politik möchten, dass es mehr entsprechende Gebäudemodernisierungsprojekte auf Quartierebene gibt, um die damit verbundenen Vorteile zu verwirklichen, bedarf es entsprechender Massnahmen auf politischer Ebene. Es ist unwahrscheinlich, dass der Markt allein dafür sorgt, dass Gebäudemodernisierungen auf Quartierebene einen grossen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten.

## 5 Schlussfolgerungen und Fazit

In den meisten Fallstudien und generischen Berechnungen ergab sich, dass das kosteneffizienteste Niveau von Effizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen sich nicht wesentlich unterscheidet zwischen zentralen oder dezentralen Heizungssystemen auf der Basis erneuerbarer Energien, und das für verschiedene Arten von Heizungssystemen. Dies ist eine wesentliche Erkenntnis, weil dies darauf hindeutet, dass Energieeffizienzmassnahmen an den Gebäudehüllen in Kombination mit der Nutzung erneuerbarer Energien auf Quartierebene ähnlich attraktiv sind wie in Kombination mit der Nutzung erneuerbarer Energien in einzelnen Gebäuden.

Eine wichtige Erkenntnis aus dem Projekt ist insgesamt, dass eine Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien aus wirtschaftlicher und organisatorischer Sicht auf Quartierebene oftmals anspruchsvoll ist. Nicht nur haben Projekte auf Quartierebene ohnehin oftmals keine klaren ökonomischen Vorteile gegenüber Einzellösungen. Solche Projekte sind auch komplex. Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbare Energien betreffen zudem zwei verschiedene Themengebiete, Spezialisten kennen sich häufig nur in einem dieser Gebiete aus, was sich etwa auch daran zeigt, dass kaum Geschäftsmodelle angewendet



werden, um Energieeffizienzmassnahmen und die Nutzung erneuerbarer Energien auf Quartierebene zu kombinieren. Bei Projekten auf Quartierebene sind ausserdem jeweils viele Akteure beteiligt, was eine Koordination erschwert und Risiken mit sich bringt. Es ist daher unwahrscheinlich, dass der Markt zu einer starken Verbreitung von Projekten auf Quartierebene führt, und noch unwahrscheinlicher, dass diese auch Synergien zwischen Energieeffizienz und erneuerbaren Energien nutzen.

Diese Schlussfolgerungen ergeben sich bereits dann, wenn Quartiere betrachtet werden, in denen in den meisten Gebäuden die Heizung noch nicht auf erneuerbare Energien umgestellt wurde, was eine Wärmeverbundlösung zur Umstellung auf erneuerbare Energien im Prinzip begünstigt. Die dezentrale Umstellung auf Gebäude mit erneuerbaren Energieträgern ist allerdings im Gang. Je mehr Gebäude in einem Quartier bereits erneuerbar heizen und sich daher nicht an einer Quartierlösung beteiligen, desto weniger kosteneffizient sind entsprechende Quartierprojekte. Projekte auf Quartierebene zur Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien haben allerdings bedeutende positive Effekte. Neben konkreten Vorteilen für die Gebäudeeigentümer/innen in Bezug auf den gebotenen Service und die Verringerung des Investitionsbedarfs können es Quartierprojekte insbesondere vereinfachen, auch diejenigen Gebäude mit erneuerbaren Energien zu versorgen, bei denen dies sonst mit Einzellösungen besonders anspruchsvoll ist. Sie können die Dekarbonisierung des Gebäudeparks auch wesentlich beschleunigen, indem solche Projekte, wenn erfolgreich, auch solche Gebäudeeigentümer/innen dazu motivieren können, auf erneuerbare Energien umzusteigen, die dies sonst noch einige Zeit nicht machen würden. Der Kombination von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien kommt dabei eine hohe Bedeutung zu, um Strategien zur Dekarbonisierung mit hoher Kosteneffizienz und einem möglichst geringen Energieverbrauch umzusetzen.

Dies bedeutet, dass Politikinstrumente sinnvoll sind, um Quartierprojekte sowie die Nutzung von Synergien zwischen Energieeffizienzmassnahmen und erneuerbaren Energien zu fördern. Im Projekt wurden diesbezüglich verschiedene erfolgversprechende Ansätze aufgezeigt.

## 6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Im Anschluss an die Fertigstellung der Arbeiten zum Annex 75 werden die Resultate der durchgeführten Fallstudien den Gebäudeeigentümern/innen in den jeweiligen Gebieten vorgestellt. Daraus können sich Aktivitäten zur Unterstützung der Gebäudeeigentümer/innen zur weiteren Abklärung und Umsetzung geeigneter Quartiermodernisierungsstrategien ergeben.

Darüber hinaus liegt die Prüfung und gegebenenfalls Aufnahme der Empfehlungen bezüglich Gebäudemodernisierungsprojekten auf Quartierebene unter Einbezug einer Kombination von Energieeffizienzmassnahmen und der Nutzung erneuerbarer Energien als Beitrag zur Beschleunigung der Energiewende bei der Politik, den Gebäudeeigentümer/innen und weiteren Energieakteuren.

Die Arbeiten zur Bekanntmachung der Projektergebnisse sind im Kapitel 8 Kommunikation aufgeführt.

Die Forschungsarbeiten im Rahmen des Annex 75 zeigten verschiedene Fragen auf, deren weitere Untersuchung zukünftig interessant ist. Insgesamt besteht ein Bedarf für die weitere Entwicklung geeigneter Frameworks von Politikinstrumenten, Finanzierungsmöglichkeiten und Geschäftsmodellen zur Beschleunigung der Dekarbonisierung des Gebäudeparks und der Reduktion des Energieverbrauchs. Von Bedeutung ist dabei die Frage, wie kosteneffiziente Strategien zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ganzer Städte und Gemeinde aussehen. Dabei erhält auch die Frage nach optimaler Nutzung von Speichermöglichkeiten zusätzliche Bedeutung. Schliesslich steht zunehmend die Frage im Vordergrund, wie es gelingen kann, Menschen für eine Mitwirkung und Unterstützung der Zielerreichung einzubeziehen.



## 7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Es fanden im Projektzeitraum acht internationale Expertentreffen innerhalb des Annex 75 statt. Drei davon wurden physisch, die restlichen online durchgeführt. Es gab jeweils ca. 30 Teilnehmende aus etwa 10 Ländern.

Zunächst unter den Subtask-Leadern des Annex 75 und anschliessend unter allen Lead-Autoren von Berichten fanden monatliche Online-Besprechungen statt.

Weiter fanden 2021/2022 regelmässige Austauschtreffen zu den generischen Untersuchungen und zu den Fallstudien statt. Dabei wurde das Vorgehen abgestimmt, und Zwischenresultate wurden ausgetauscht.

## 8 Kommunikation

Die Gesamtergebnisse des Annex 75 wurden auf internationaler Ebene im Oktober 2022 an der Konferenz Sustainable Built Environment SBE22 in Delft vorgestellt. Ausserdem wurde zur Vorstellung der Projektergebnisse im Oktober 2023 ein Webinar durchgeführt im Rahmen der EU-Plattform BUILD UP. Ergebnisse aus den Arbeiten zum Annex 75 wurden auf schweizerischer Ebene am 21. und 22. Status-Seminar in den Jahren 2020 bzw. 2022 vorgestellt.

Zur weiteren Bekanntmachung der Projektergebnisse in der Schweiz ist die Durchführung eines zusätzlichen Vortrags an einer geeigneten Veranstaltung geplant.

Der Annex 75 und dessen Aktivitäten wurden auch über einen Newsletter und Social Media bekannt gemacht.

## 9 Publikationen

Es wurden zwei Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften mit Schweizer Beteiligung veröffentlicht: ein Artikel zur Methodik im Jahr 2020 (Terés-Zubiaga et al. 2020) sowie ein Artikel zu Success Stories im Jahr 2021 (Rose et al. 2021). Der Titel des zweiten Artikels bezieht sich dabei auf case studies, doch projektintern sind damit success stories gemeint. Die Erstellung der Papers wurde von Schweizer Seite durch Textbeiträge unterstützt.

Es sind weitere Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften und in einer Fachzeitschrift geplant.

## 10 Literaturverzeichnis

Bolliger R, Ott W and von Grünigen S (2015) Finding the balance between energy efficiency measures and renewable energy measures in building renovation: An assessment based on generic calculations in 8 European countries, *Energy Procedia*, Volume 78, November 2015, 2372-2377, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.191>

Bolliger R. and Ott W (2017) Cost-Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation - Investigation based on parametric calculations with generic buildings and case studies (Annex 56), Report produced within the IEA's Energy in Buildings and Communities Programme, Annex 56, <http://www.iea-annex56.org/>

Bolliger, R., J. Terés-Zubiaga, Almedia, M., Barbosa, R., Dadvidsson, H., Engelund Thomsen, K., Domingo Irigoyen, S., Ferrari, S., Johansson, E., Konstantinou, T., Limacher, R., Matuska, T., Mlecnik, E., Mørck, O. C, Ott, W., Romagnoni, P., Rose, J., Säwén, T., Walnum, H. T., Venus, D., and Z. Winkels (2023) Methodology for investigating cost-effective building renovation strategies at district



level combining energy efficiency & renewables, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Bolliger, R., Domingo Irigoyen, S., Christen, C., Egger, P., Limacher, R. (2023a) Kosteneffiziente Strategien zur umfassenden energetischen Modernisierung des Gebiets Matthofring, Fallstudie in der Stadt Luzern im Rahmen des IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Bolliger, R., Domingo Irigoyen, S., Christen, C., Egger, P., Limacher, R. (2023b) Kosteneffiziente Strategien zur umfassenden energetischen Modernisierung des Gebiets David-Hess-Weg, Fallstudie in der Stadt Zürich im Rahmen des IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Domingo Irigoyen, S., Almeida, M., Barbosa, R., Bell Fernández, O., Bolliger, R., Davidsson, H., Dall'ò, G., Dalla Mora, T., Engelund Thomsen, K., Ferrari, S., Grisaleña Rodríguez, D., Gugg, G., Hidalgo Betanzos, J. M., Johansson, E., Monge-Barrio, A., Peron, F., Romagnoni, P., Rose, J., San Miguel Bellod, J., Sánchez Ostiz A, Strassl, I., Teso, I., and F. Zagarella (2022), Success Stories of Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables, Summarizing report, prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Energiereporter (2024) Online-Tool, <https://www.energieschweiz.ch/tools/energiereporter/>

Gaudard A, Schmid, M, Wüest, A (2018) Thermische Nutzung von Seen und Flüssen – Potenzial der Schweizer Oberflächengewässer. AQUA & GAS No 2 | 2018

Jakob M, Ott W, Bolliger R, Kallio S, Chobanova H, Nägeli C, von Grünigen S, Remmen A, Maneschi D, Mosgaard M, Strandgaard C, Kiss B, Ungureanu V, Botici A, Fülöp L, Talja A (2014) Integrated strategies and policy instruments for retrofitting buildings to reduce primary energy use und GHG emissions (INSPIRE) - Final Report

Jakob M, Reiter U, Catenazzi G, Sunarjo B, Lienhard L, Müller A, Steinmann S, Herbst A, Nägeli C (2020) Erneuerbare und CO<sub>2</sub>-freie Wärmeversorgung Schweiz – Eine Studie zur Evaluation von Erfordernissen und Auswirkungen, im Auftrag von AEE Suisse, <https://aeesuisse.ch/wp-content/uploads/2021/08/AEE-SUISSE-WIS-Dekarbonisierung-Waermesektor-Ecoplan-TEP.pdf> [Last accessed 18-04-2022]

Johansson, E., Davidsson, H., Mlecnik, E., Konstantinou, T., Meyer, H., Hidalgo Betanzos, J. M., Bolliger, R., Domingo Irigoyen, S., Haase, M., Gutt, B., Almeida, M., and A. Tan De Domenico (2023) Barriers and drivers for energy efficient renovation at district level, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Konstantinou, T., Haase, M., Hidalgo-Betanzos, J. M., Motoasca, E., Conci, M., Winkels, Z., Mlecnik, E., Meyer, H., and E. Johansson (2023) Business Models for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Meyer, H., Pechstein, M., Almeida, M., Tan de Domenico, A., Bolliger, R., Gutt, B., Lynar, U., Walnum, H., Rose, J., Mlecnik, E., Konstantinou, T (2023) The District as Action Level for Building Renovation Combining Energy Efficiency & Renewables: Making use of the Potentials – A Guide for Policy and Decision-Makers, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables, <https://annex75.iea-ebc.org/publications>

Meyer, H., Pechstein, M., Almeida, M., Tan de Domenico, A., Bolliger, R., Gutt, B., Lynar, U., Walnum, H., Rose, J., Mlecnik, E., Konstantinou, T (2023a) The District as Action Level for Building Renovation Combining Energy Efficiency & Renewables - A Short Guide for Policymakers, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables, <https://annex75.iea-ebc.org/publications>

Meyer, H., Pechstein, M., Almeida, M., Tan de Domenico, A., Bolliger, R., Gutt, B., Lynar, U., Walnum, H., Rose, J., Mlecnik, E., Konstantinou, T (2023b) The District as Action Level for Building Renovation



Combining Energy Efficiency & Renewables - A Short Guide for Investors and Decision-Makers, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables, <https://annex75.iea-ebc.org/publications>

Mlecnik, E., Hidalgo-Betanzos, J. M., Meyer, H., Schneider Gräfin zu Lynar, U., Konstantinou, T., Meijer, F., Bolliger, R., Haase, M., Johansson, E., Davidsson, H., Peters-Anders, J., Gugg, B., Almeida, M., and A. Tan De Domenico (2022) Policy instruments for cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Mørck O C, Rose J, Thomsen K E, Matuška T, Vega Sánchez S, with contributors Venus D, Peron F, Romagnoni P, Mlecnik E, Walnum H, Almeida M, Barbosa R, Hidalgo J M, Zubiaga J T, Johansson E, Davidsson H, Bolliger R, Domingo-Irigoyen S, Lynar U, Meyer H (2020) Annex 75 - Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables, Subtask A: Technology overview, May 2020

Rose J, Thomsen K E, Domingo-Irigoyen S, Bolliger R, Venus D, Konstantinou T, Mlecnik E, Almeida M, Barbosa R, Terés-Zubiaga J, Johansson R, Davidsson H, Conci M, Dalla Mora T, Ferrari S, Zagarella F, Sanchez Ostiz A, San Miguel-Bellod J, Monge-Barriok A, Hidalgo-Betanzos J M (2021) Building renovation at district level – Lessons learned from international case studies, *Sustainable Cities and Society*, Volume 72, September 2021, 103037

Säwén, T., Kronvall, J., Venus, D., Rose, J., Engelund Thomsen, K., Balslev Olesen, O., Dalla Mora, T., Romagnoni, P., Teso, L., Blázquez, T., Ferrari, S., Zagarella, F., Almeida, M., Tan De Domenico, A., Hidalgo, J. M., Davidsson, H., Johansson, E., Bolliger, R. and S. Domingo Irigoyen (2023) Report on parametric assessments of generic districts, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Säwén, T. (2023) Annex 75 Calculation Tool Documentation, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Schweizerischer Bundesrat (2021) Potenzial von Fernwärme- und Fernkälteanlagen, Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 19.4051, FDP-Liberale Fraktion, 18. September 2019, 17. Dezember 2021

Steinke G, Genkinger A, Kobler R, Dott R, Aflei T, Naef G, Steiner L (2018) Integration von Luft/Wasser-Wärmepumpen im städtischen Kontext, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW und Hochschule für Gestaltung und Kunst HGK, mandate by Umwelt- und Gesundheitsschutz (UGZ) of the city of Zürich Amt für Umwelt und Energie of the canton Basel-Stadt, final report of 8-11-2018

Terés-Zubiaga J, Bolliger R, Almeida M G, Barbosa R, Rose J, Thomsen K E, Monteroe E, Briones-Llorente R (2020) Cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables – Methodology assessment proposed in IEA-Annex 75 and a demonstration case study, *Energy and Buildings*, Volume 224, 1 October 2020, 110280

Venus, D., Romagnoni, P., Dalla Mora, T., Teso, L., Almeida, M., Tan De Domenico, A., Terés Zubiaga, J., Hidalgo, J. M., Davidsson, H., Johansson, E., Walnum, H. T., Bolliger, R., Christen, C., Domingo-Irigoyen, S., Egger, P., and P. van den Brom (2023) Report on parametric assessments of case studies, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables

Walnum, H. T., Venus, D., Rose, J., Engelund Thomsen, K., Dalla Mora, T., Romagnoni, P., Teso, L., Almeida, M., Tan De Domenico, A., Davidsson, H., Johansson, E., Bolliger, R. and P. van den Brom. (2023) Report on strategy development, report prepared within IEA EBC Annex 75 on Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables