



Zwischenbericht vom 27. Dezember 2019

Low-Invest-Cost Sanierungen (LICS)

Potenziäle und Limitationen von bestehenden
und neuen Lösungen für Low-Invest-Cost
Sanierungen zur Erreichung eines tiefen CO₂-
Grenzwerts bei Bestandsbauten



TEP

econcept

LEMON • CONSULT •

durable

Datum: 30. Dezember 2019

Ort: Zürich/Bern

Subventionsgeberin:

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

Ko-Finanzierung:

EWZ, 2000-Watt-Beiträge
Stadt Zürich, Amt für Hochbauten (AHB)
Stadt Winterthur, Fachstelle Energie, Pionierstrasse 7, 8403 Winterthur

Subventionsempfänger/innen:

| | | | |
|--|--|--|--|
| TEP Energy GmbH | econcept AG | Lemon Consult AG | Durable GmbH |
| Rotbuchstrasse 68 | Gerechtigkeitsgasse 20 | Sumatrastrasse 10 | Binzstr. 12 |
| 8037 Zürich | 8002 Zürich | 8006 Zürich | 8045 Zürich |
| www.tep-energy.ch | www.econcept.ch | www.lemonconsult.ch | www.studiodurable.ch/ |

Autoren/innen:

Jakob Martin, TEP Energy GmbH, martin.jakob@tep-energy.ch
Benjamin Sunarjo, TEP Energy GmbH, benjamin.sunarjo@tep-energy.ch
Lehmann Meta, econcept AG, meta.lehmann@econcept.ch
Ott Walter, econcept AG, walter.ott@econcept.ch
Roost Mario, Lemon Consult AG, roost@lemonconsult.ch
Ménard Martin, Lemon Consult AG, menard@lemonconsult.ch
Jörg Lamster, Durable Planung und Beratung GmbH, lamster@studiodurable.ch

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501969-01

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



Zusammenfassung

Hohe Investitionskosten sind eines der Haupthemmnisse gegen energetische Gebäudesanierungen, selbst wenn diese über die Lebensdauer wirtschaftlich wären. Dieses Projekt identifiziert und entwickelt für die Eigentümer attraktive, d.h. investitionsgünstige Ansätze für Energieeffizienz und erneuerbare Energien und zeigt auf, wie auch mit investitionskostengünstigen Lösungen weitreichende Beiträge an die Ziele der Energiestrategie 2050 und des Klimaschutzes erzielt werden können. Beispiele für Low-Invest-Cost-Sanierungskonzepte sind:

- Stadtverträgliche bi-valente Luft-Wasser-WP als Kompaktgerät
- Luft-Wasser-WP mit Erdreich-Spitzenlastdeckung
- Senkung der Vorlauftemperatur durch verteilungsseitige Massnahmen
- Kostengünstige Lüftungskonzepte

Es werden die folgenden Ergebnisse erwartet:

- Aktualisierte Kostendatenbasis von bestehenden Technologieangeboten und Herangehensweisen, insbesondere im Bereich Gebäudetechnik.
- Konzeptbeschrieb inkl. techno-ökonomische Beurteilung für neue technische Lösungen.
- Darstellung von Energiebedarf, CO₂-Emissionen, Investitions- und Jahreskosten für Einzelgebäude (generisch und für acht konkrete Fallbeispiele) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Sanierungsstrategien.
- Darstellen der Auswirkungen dieser Sanierungsstrategien auf Energieverbrauch, Leistungsbedarf, Investitionskosten und CO₂-Emissionen des gesamten Gebäudeparks.

Mögliche Ansätze und Anreize für den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien und der Steigerung der Energieeffizienz durch kostengünstige Sanierungen werden konkretisiert und in Form von Handlungsempfehlungen festgehalten.

Das Projekt LICS wird von einer Projektgemeinschaft bestehend aus den Firmen TEP Energy GmbH (Lead), econcept AG, Lemon Consult AG und Durable Planung und Beratung GmbH durchgeführt. Es wird begleitet durch Vertreter der finanzierenden Institutionen (Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Gebäude und Städte, 2000 Watt-Beiträge EWZ, Stadt Zürich (AHB) und Stadt Winterthur (Energiefachstelle) sowie durch Branchenvertreter (nachfrage- und angebotsseitig).

Per Ende des ablaufenden Berichtsjahr 2019 liegen der Entwurf des Detailkonzepts sowie erste Ergebnisse zur Aktualisierung und Kontextualisierung von Kostenkennwerten und zur Konzeptentwicklung von neuen technischen Lösungen für Low-Invest-Cost-Sanierungen (LICS) vor.

Die bisherigen Ergebnisse verdeutlichen, wie wichtig der Einfluss des Kontextes auf Kostenkennwerte und technische Lösungen ist. Hierbei ist nicht nur das Gebäude als Einzelnes zu betrachten, sondern auch standortbedingte Einflussfaktoren, namentlich im Hinblick auf die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Methodisch können die verschiedenen Einflussfaktoren mit sogenannten Kostenstufen berücksichtigt werden, der verschiedene Preis- bzw. Kostenniveau mit der Häufigkeit ihres Auftretens verknüpft. Damit können Potenziale der Nutzung von erneuerbaren Energien und der Senkung von CO₂-Emissionen im Gebäudebestand in der gesamtschweizerischen Parkbetrachtung wesentlich realistischer eingeschätzt werden.

Der Entwurf des Detailkonzepts und die ersten vorliegenden Ergebnisse bilden eine gute Grundlage die zentralen Aspekte des Projekts zu diskutieren und die weiteren Projektschritte zu steuern und zu konkretisieren. Dies soll u.a. mit der Begleitgruppe Anfang Januar 2020 erfolgen.



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 3 |
| Inhaltsverzeichnis | 4 |
| Abkürzungsverzeichnis | 5 |
| 1 Einleitung | 6 |
| 1.1 Ausgangslage und Hintergrund..... | 6 |
| 1.2 Motivation des Projektes | 6 |
| 1.3 Projektziele | 7 |
| 2 Vorgehen und Methode | 8 |
| 3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse | 9 |
| 3.1 Detailkonzept (AP 1)..... | 9 |
| 3.1.1 Vorschlag für zu berücksichtigende Gebäudetypen..... | 10 |
| 3.1.2 Definition der Beurteilungskriterien für die Bewertung der Massnahmenkombinationen | 13 |
| 3.2 Aktualisierung und Kontextualisierung (AP 2) | 14 |
| 3.2.1 Systemgrenzen und Formalisierung der Kostenkennwerte | 14 |
| 3.2.2 Kostenkennwerte | 15 |
| 3.2.3 Kostenstufen | 16 |
| 3.3 Konzeptentwicklung von neuen technischen Lösungen für Low-Invest-Cost-Sanierungen (LICS) (AP 3) | 18 |
| 3.3.1 Stadtverträgliche bivalente Luft/Wasser-WP als Kompaktgerät:..... | 18 |
| 3.3.2 Luft/Wasser-WP mit Erdreich-Spitzenlastdeckung: | 20 |
| 3.3.3 Senkung der Vorlauftemperatur durch verteilungsseitige Massnahmen: | 20 |
| 3.3.4 Kostengünstige Lüftungskonzepte | 21 |
| 4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse | 21 |
| 5 Weiteres Vorgehen | 22 |
| 5.1 Bewertung aus Eigentümersicht (AP 4) | 22 |
| 5.2 Bewertung auf Ebene des Gebäudeparks (AP 5) | 22 |
| 5.3 Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Kommunikation (AP 6)..... | 22 |
| 6 Nationale und internationale Zusammenarbeit | 22 |
| 6.1 Nationale Zusammenarbeit | 22 |
| 6.2 Internationale Zusammenarbeit..... | 23 |
| 7 Literaturverzeichnis | 24 |



Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|--|
| AP | Arbeitspaket |
| AWEL | Amt für Wasser, Energie und Luft |
| BAFU | Bundesamt für Umwelt |
| BFE | Bundesamt für Energie |
| BKP | Baukostenplan |
| BP | Bauperiode |
| CO ₂ | Kohlenstoffdioxid |
| CRB | Centre suisse d'études pour la rationalisation de la construction |
| EFH | Einfamilienhaus |
| GA | Gebäudeautomation |
| GIS | Geographisches Informationssystem |
| GPM | Gebäudeparkmodell |
| HCLKSE | Heizung, Lüftung, Kälte, Sanitär, Elektro |
| HP | Heat pump |
| IEA | Internationale Energieagentur |
| KBOB | Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren |
| KVA | Kehrichtverbrennungsanlagen |
| LICS | Low-Invest-Cost Sanierungen |
| LW | Luft-Wasser |
| MFH | Mehrfamilienhaus |
| MuKE | Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich |
| MWST | Mehrwertsteuer |
| NWG | Nicht-Wohngebäude |
| SIA | Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein |
| SN | Schweizer Norm |
| SW | Sole-Wasser |
| TEP | Technology, Economics, Policy |
| THG | Treibhausgas |
| WP | Wärmepumpen |



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die Raten der energetischen Erneuerungen im Schweizer Gebäudepark sind im Allgemeinen und im Besonderen im Bereich der Gebäudehülle tief (bei rund 1% des Gebäudebestands pro Jahr, was zu einer Effizienzsteigerung von deutlich weniger als 1% pro Jahr führt siehe Jakob et al. 2014), Instandsetzungen und Sanierungen werden kaum gemäss einem langfristigen Gesamtkonzept, sondern eher ad hoc und schrittweise vorgenommen, wie nach früheren Arbeiten (z.B. Banfi et al. 2012) auch das BFE-Projekt SANTEP 2015 (Lehmann et al. 2015) wieder aufgezeigt hat. Die Untersuchungen zeigten insbesondere, dass neue Fassadendämmungen, bei Altbauten selten sind, u. a. weil sie als zu teuer (zu hohe Investitionskosten) eingeschätzt werden. Aus verschiedenen und oft nachvollziehbaren Gründen wird bei Sanierungen häufig auf tiefe Investitionen fokussiert. Damit können die grossen Effizienzgewinne von Fassadendämmungen nicht realisiert werden. Typische Gründe sind:

- Andere Lebensprioritäten (Familiengründung, Rentensicherung, hedonische Wünsche)
- Mismatch beim Zeithorizont zwischen Eigentümer (Lebenserwartung) und Payback-Erwartung oder wirtschaftlicher Amortisationsdauer der Massnahmen
- Dadurch reduzierte Finanzierungsmöglichkeit
- Unsichere Wirtschaftlichkeit wegen der langen Rückzahlfristen und der damit verbundenen Unsicherheit bei den Energiekosteneinsparungen
- Falsche oder fehlende Informationen bzw. Vorstellungen über die Life-Cycle-Kosten von energetischen Erneuerungsmassnahmen.
- Bei vermieteten Objekten werden zudem die Auswirkungen auf die Ertrags- bzw. Renditeverhältnisse unter Berücksichtigung der bestehenden Überwälzungs- und der steuerlichen Abzugsmöglichkeiten oft zu wenig berücksichtigt.
- Langfristige Bindung des Kapitals und dadurch Verlust von anderen wirtschaftlichen Optionen (Wertminderung nach Realoptionenansatz)

Hohe Investitionskosten, wie sie bei umfassenden Gebäudehüllenerneuerungen oder Gesamtsanierungen oft auftreten, stellen daher aus energie- und klimapolitischer Sicht ein grosses Hemmnis dar. Sie sind einer der Hauptgründe für die Diskrepanz zwischen tatsächlicher und angestrebter Sanierungsrate.

1.2 Motivation des Projektes

Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts «Nachhaltige Gebäudeerneuerung in Etappen - SANETAP» (Lehmann et al. 2015) und eigene Berechnungen der TEP Energy zeigen auf, dass ambitionierte Ziele wie die des SIA-Effizienzpfads Energie SIA 2040 (Primärenergie und Treibhausgase), der MuKE und von Minergie auch bei Gebäudeerneuerungen ohne zusätzliche Fassadendämmung erreichbar sind. Bedingungen dazu sind, dass die Wärmeerzeugung ganz oder zu einem wesentlichen Teil über erneuerbare Energieträger erfolgt und dass andere Dämm- und Erneuerungsmassnahmen in hoher energetischer Qualität umgesetzt werden.

Zwischenzeitlich hat die treibhausgasbedingte Klimaproblematik im öffentlichen Bewusstsein grössere Aufmerksamkeit erreicht und die Schweiz hat das Pariser Klimaabkommen ratifiziert. Dadurch haben die Zielsetzungen der Klimapolitik einen hohen Stellenwert erhalten. Die daraus abgeleitete Dringlichkeit erfordert auch im Gebäudebereich angepasste Strategien, um die Reduktion der Treibhaus-



gasemissionen von Gebäuden zu beschleunigen. Massnahmen zur schnelleren Transformation der Energieversorgung des Gebäudebereiches in Richtung CO₂-Neutralität sollten verstärkt und priorisiert werden. Die Gebäude-Energieversorgung weist im Vergleich zu umfassenden Massnahmen an der Gebäudehülle eine vergleichbare oder gar bessere Wirtschaftlichkeit und vor allem einen geringeren Investitions- und Finanzbedarf auf und sieht sich auch deswegen geringeren Realisierungshemmnissen gegenüber und verspricht schnellere Fortschritte bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen (2 bis 3% pro Jahr statt weniger als 1% pro Jahr).

Gefragt sind Ansätze, welche bisherige Investitionshemmnisse zur Reduktion der CO₂-Emissionen überwinden. Die Frage nach adäquaten Erneuerungslösungen hat sich in den letzten Jahren auch deshalb akzentuiert, weil der Bundesrat ein subsidiäres Verbot von fossilen Heizanlagen prüfen liess und verbindliche und das Parlament stringente CO₂-Grenzwerte für bestehende Gebäude (bei einem Heizungsersatz) vorschlägt (Absenkpfad), die bei ineffizienten Gebäuden einem Verbot von rein fossilen Heizungen gleich kämen.

Im Fokus der zu erarbeitenden Massnahmenkombinationen steht der Einsatz von erneuerbaren Energien als zentrale Massnahme zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Bekannte Hemmnisse in diesem Bereich werden bei der Entwicklung und bei den Umsetzungsvorschlägen berücksichtigt².

1.3 Projektziele

Ziel dieses Projektes im Rahmen des BFE-Forschungsprogramms Gebäude und Städte ist es, für die Eigentümerschaften attraktive, d. h. investitions günstige Ansätze für erneuerbare Energien und mehr Energieeffizienz zu identifizieren. Damit wird gezeigt, wie auch mit kostengünstigen Lösungen ambitionierte Klima- und Energieziele erreicht werden können. Durch das Aufzeigen praxisnaher Massnahmenkombinationen und die Entwicklung neuer Ansätze zur Verwendung erneuerbarer Energien und zur Energieeffizienzsteigerungen im Schweizer Gebäudepark soll ein Beitrag zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 geleistet werden. Konkret sollen sowohl die Potenziale als auch die Potenzialeinbussen von Low-Invest-Cost-Sanierungen (LICS) in einer Einzelfall- und in einer Gebäudeparkbetrachtung aufgezeigt werden. Die Adressierung folgender Fragen soll hierbei als Richtschnur dienen:

- Mit welchen Sanierungskonzepten (Massnahmenkombinationen) können ambitionierte CO₂-Grenzwerte erreicht werden (z.B. gemäss Vorschlag des Bundesrates oder des Absenkpfad des Parlaments) und welche davon weisen tiefe Investitionskosten auf?
- Welche Unterschiede bestehen bei den geeigneten Sanierungskonzepten zwischen verschiedenen Gebäude- und Siedlungstypen bzw. Baudichten (Stadt-Land), d.h. je nach Verfügbarkeit von leitungsgebundenen Energieträgern, je nach der räumlichen Energiedichte der Nachfrage, je nach der örtlichen Verfügbarkeit von Potenzialen erneuerbarer Energien?
- In welchem Umfang können investitionskostengünstige Massnahmenkombinationen, so genannte Low-Invest-Cost-Sanierungen (LICS), im Gebäudepark als Ganzes zu den verschiedenen klima- und energiepolitischen Zielen und Instrumenten (Paris-Abkommen, Energiestrategie 2050, SIA-Effizienzpfad, 2000-Watt-Gesellschaft, Minergie) beitragen?

² Gemäss der Studie «Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz» von Energieforschung Stadt Zürich (Lehmann et al. 2017) und gemäss der «Vollzugsuntersuchung Heizkesseleratz 2017» des AWEL Kanton Zürich (Gruenberg + Partner 2017) zieht die Mehrheit der Gebäudeeigentümerschaften bei einem fossilen Heizungsersatz eine erneuerbare Alternative gar nicht in Erwägung. Das könnte u. a. auch damit zu tun haben, dass die Leute meinen, man könne erneuerbare Energien nur einsetzen, wenn das Gebäude zusätzlich aussen gedämmt werde. Weil sie das nicht wollen, prüfen sie keine Alternativen



- Welcher Teil der Potenziale kann durch LICS nicht erschlossen werden, weil sie zu wenig weit gehen? Und welche weiteren Nachteile sind zu beachten (z.B. markanter Anstieg des elektrischen Leistungsbedarfs an kalten Wintertagen bei hohen WP-Anteilen in unsanierten Gebäuden, höherer Bedarf an (knappen) erneuerbaren Energien, etc.)?
- Genügen die heute verfügbaren und verwendeten technischen Produkte und konzeptionellen Herangehensweisen oder sind neue, innovative Ansätze zu entwickeln und wenn ja, welche?

2 Vorgehen und Methode

Das Vorgehen besteht darin, die Datenbasis für das bestehende Technologie- und Massnahmen-spektrum zu aktualisieren, dieses in einen nutzungs-planerischen und städtebaulichen Kontext zu stellen, konzeptionell weiter zu entwickeln und auf der Ebene des einzelnen Gebäudes und des gesamten Gebäudeparks zu bewerten. Zu diesem Zweck und zur Beantwortung der genannten Fragestellungen werden die folgenden Arbeiten durchgeführt:

1. **Detailkonzept:** Ergänzung zu den Ausführungen im finalen Projektantrag vom 12. Juni 2019. Definition des methodischen Rahmens, der Systemgrenzen und Rahmenparameter sowie des Untersuchungsgegenstands (inkl. Vorschlag für die zu bearbeitenden Gebäudetypen).
2. **Aktualisierung und Kontextualisierung** der techno-ökonomischen Datenbasis von bestehenden Technologieangeboten und Herangehensweisen. Formalisierung der Kostenkennwerte gemäss transparenter und anerkannter Methodik.
3. **Konzeptentwicklung von neuen technischen Low-Invest-Cost-Sanierungslösungen** (Technologien und Strategien) inkl. techno-ökonomische Charakterisierung
4. **Bewertung aus Eigentümersicht**, betreffend CO₂-Grenzwerten und gemäss SIA-Effizienzpfad: Darstellung der CO₂- und Treibhausgasemissionen, End- und Primärenergie, Investitions- und Jahreskosten, generisch für verschiedene Gebäudetypen und Bauperioden und für konkrete Einzelgebäude. Die Betrachtung erfolgt für häufige Gebäudetypen (Wohnen, Büro, Schulen und für eine Siedlung gemäss den definierten Systemgrenzen (z.B. inkl. Klimakälte).
5. **Bewertung auf Ebene des Gebäudeparks:** Darstellen der Auswirkungen LICS-Lösungen auf die CO₂-Emissionen, den Energieverbrauch sowie auf den Investitions- und Leistungsbedarf des gesamten Schweizer Gebäudeparks bzw. der leitungsgebundenen Energieträger. Betrachtet werden die Phasen Betrieb (direkte Wirkungen und Wirkungen der vorgelagerten energetischen Prozessketten) sowie Erstellung.
6. Erarbeitung von **Handlungsempfehlungen und Kommunikation** der Ergebnisse

Die Projektstruktur und die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitspaketen (AP) sind in der nachfolgenden Abbildung 1 graphisch dargestellt. Bei den AP 2 und 3 geht es um die Aktualisierung und Kontextualisierung bestehender Lösungen bzw. um die konzeptionelle Entwicklung von neuen LIC-Ansätzen. Die Ergebnisse beider Module fliessen in die Bewertung auf Ebene Einzelgebäude (AP 4) und auf Ebene Gebäudepark (AP 5) ein. Aus diesen Bewertungsergebnissen werden, unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den AP 2 und 3, Handlungsempfehlungen abgeleitet und Kommunikationsmassnahmen vorbereitet.

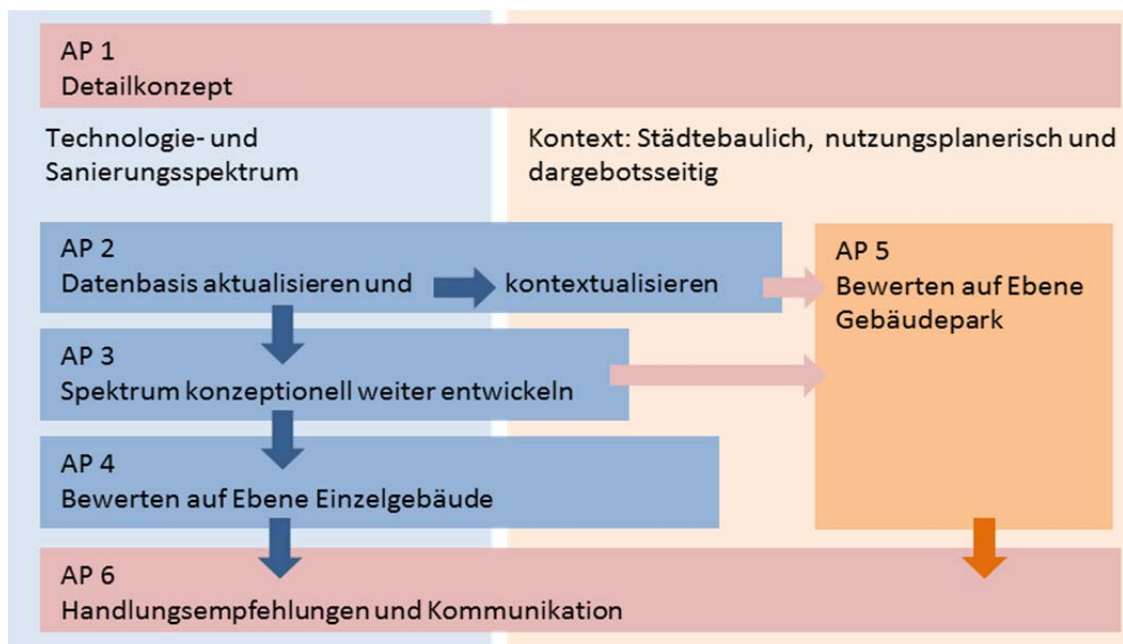


Abb. 1 Darstellung der Projektstruktur und der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitspaketen (AP).

3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Beschreibung der im Jahr 2019 durchgeführten Arbeiten wird nachfolgend anhand der Struktur der Arbeitspakete (AP) gegliedert, wobei aufgrund des erreichten Projektfortschritts auf die AP 1 bis 3 eingegangen wird. Auf die übrigen AP (Bewertung aus Eigentümersicht, Bewertung auf Ebene des Gebäudeparks und Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Kommunikation wird kurz im Kap. Ausblick eingegangen.

3.1 Detailkonzept (AP 1)

In der ersten Phase des Projekts fand ein intensiver Austausch zwischen den beteiligten Firmen statt. Dabei ging um die Konkretisierung des Vergehens, der im bereinigten Projektantrag «Potenziale und Limitationen von bestehenden und neuen Low-Invest-Cost Sanierungslösungen – LICS» beschrieben ist.³ Basierend auf diesem Austausch und dem Kickoff-Treffen, das am 13. Juni 2019 stattfand, wurde der Entwurf des Detailkonzepts erarbeitet. Inhalte des Detailkonzepts sind:

1. Definition der Systemgrenzen und Berechnungsgrundlagen für den CO₂ Grenzwert der Gebäude gemäss Anforderungen des Bundes (direkte Emissionen, scope 1) und für den Vergleich mit den SIA-2040-Anforderungen (inkl. indirekte und graue Emissionen, d.h. scope 2 und 3, und inkl. Primärenergie).
2. Vorschlag für die Gebäudetypen, für welche praxisnahe Massnahmenkombinationen zur Erreichung der CO₂-Grenzwerte entwickelt werden sollen. Dabei wird sowohl die Häufigkeit

³ Dieser basiert ursprünglich auf zwei unabhängig voneinander eingereichten Projektanträgen im BFE-Forschungsprogramm Gebäude und Städte eingegeben. Beide Projektanträge schlugen eine ähnliche Fragestellung im Schwerpunkt 1 der Ausschreibung «Pragmatische Ansätze für die Bauerneuerung» vor, und zwar zum Unterpunkt «Vorschläge für investitionskostengünstige Sanierungskonzepte zur Erreichung des 6 kg-CO₂-Grenzwertes mit Breitenwirkungspotenzial. Mit welchen Konzepten kann dieses Ziel auch ohne Fassadendämmung erreicht werden? Welche Projektwerte erzielen diese Konzepte nach der SIA 2040-Methodik?». Das Bundesamt für Energie schlug den beiden Antragsteams vor, die Fragestellungen gemeinsam zu bearbeiten.



der Gebäudetypen im Gebäudepark als auch die energetischen und standortbedingten Potenziale erneuerbarer Energien berücksichtigt.

3. Zusammenstellung von Objekten, welche als Fallbeispiele für die zu untersuchenden Gebäudetypen in Frage kommen.
4. Definition der Beurteilungskriterien, anhand derer die Massnahmenkombinationen bewertet werden sollen.
5. Festlegen der für die Berechnungen zu erhebenden Gebäudeparameter
6. Diskussion der zu verwendenden Berechnungstools

Auf die Punkte 2 und 4 wird nachfolgend näher eingegangen. Der Entwurf des Detailkonzepts enthält insbesondere den Vorschlag für die zu bearbeitenden Gebäudetypen, die notwendigen Objektparameter und das Berechnungs- und Auswertungskonzept. Die Begleitgruppe hat anlässlich der Sitzung die Möglichkeit, insbesondere Anpassungen an den zu untersuchenden Gebäudetypen einzubringen.

3.1.1 Vorschlag für zu berücksichtigende Gebäudetypen

Für die Beurteilung, welche Fälle für die Entwicklung von Low-Invest-Cost-Sanierungslösungen besonders relevant sind, werden zwei Dimensionen berücksichtigt:

- Gebäudetypologie: hierbei geht es um die Typisierung des Gebäudebestands in Bezug auf Charakteristika wie Grösse, Bauart/Konstruktionstyp, Gebäudehüllenstruktur (Fensterarten und -grössen, Dachform), Nutzung (inkl. Reserven, z.B. im Dachraum), Technisierung, bisher durchgeführte Effizienzmassnahmen etc.
- Energiebezogene Standorttypologie: hierbei geht es um die Verfügbarkeit von leitungsgebundenen Energieträgern (z.B. Gas, Fernwärme) und von lokalen Potenzialen erneuerbarer Energiequellen oder um Einschränkungen, zur Nutzung solcher Potenziale.

Die Gebäudetypologie ist z.T. im Gebäudeparkmodell von TEP Energy abgebildet, das den Gebäudepark gemäss Attributen wie Bauperioden, Gebäudekategorie, Heizsysteme, Sanierungsstandards, bereits durchgeführte Massnahmen etc. charakterisiert und segmentiert. Das GPM nimmt u.a. auf die Studie «Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family homes» von Schwehr und Fischer (2010) Bezug. Die Typologie wurde im Rahmen des IEA ECBCS Annex 50 (Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings) erarbeitet, wobei die häufigsten Typen für die Mehrfamilienhäuser in der Deutschschweiz ermittelt und beschrieben wurden.

Die bereits durchgeführten Massnahmen werden mit dem Modell ermittelt, indem die Erneuerungsentscheidungen der Eigentümer seit dem Erstellungsjahr simuliert werden. Damit können Häufigkeitsverteilungen ausgewertet werden, z.B. in Bezug auf spezifische Kennwerte wie Nutzenergie oder CO₂-Emissionen pro m² EBF. Hierbei zeigt sich, dass sowohl energetische als auch emissionspezifische Kennwerte eine relativ grosse Verteilung aufweisen (siehe Abb. 2). Es ist vorgesehen, Strategien, Massnahmen und LICS sowohl für Gebäude mit hohen Kennwerten als auch solche mit mittleren bis tiefen Kennwerten zu entwickeln, d.h. sowohl weitgehend unsanierte Gebäude mit Baujahr vor 1980 und teilweise sanierte oder später erstellte Gebäude (bis Baujahr 1990).

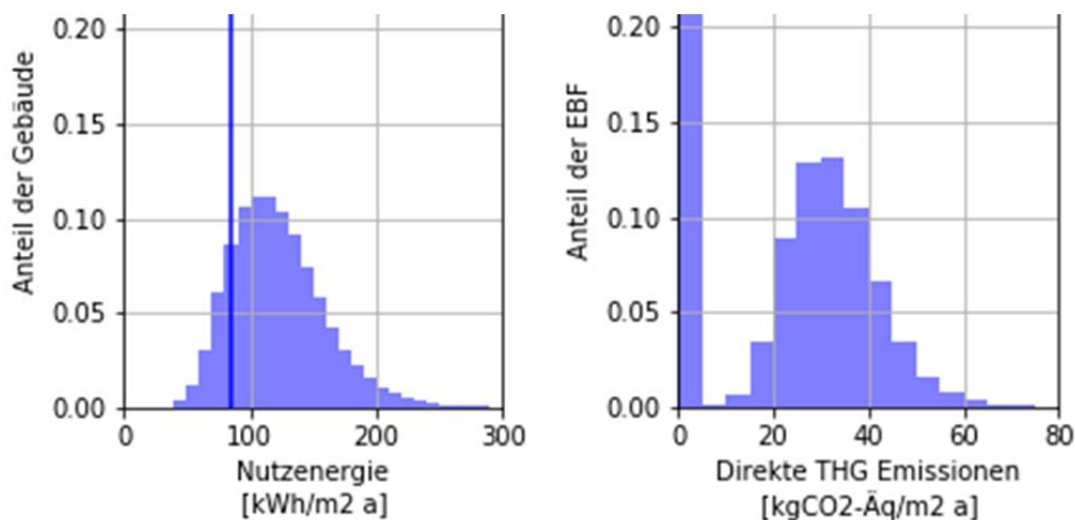


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung von Nutzenergie und direkten CO₂-Emissionen von Wohngebäuden (Quelle: Auswertung von GPM-Ergebnissen, TEP Energy und Chalmers University). Die vertikale Linie stellt den Top 15% Benchmark dar.

Für die Erstellung einer energiebezogenen Standorttypologie werden räumlich gebundene oder ortsfeste Potenziale und Einschränkungen sowie räumliche Nachfragedichten berücksichtigt.

- Nutzung von Erdsonden: (i) möglich, (ii) mit substantiellen Anteilen nur inkl. Regeneration möglich (wegen hoher Nachfragedichte), (iii) nicht möglich (z.B. wegen Grundwasserschutzbestimmungen).
- Luft-Wasser-WP: (i) ohne Einschränkung möglich, (ii) mit speziellen (konventionellen) Massnahmen möglich (Lärmschutz, Platzierung), (iii) mit LICS möglich, (iv) nicht möglich.
- Nah- und Fernwärme: (i) Anschluss vorhanden, (ii) Leitung in der Nähe vorhanden, (iii) mögliches künftiges Versorgungsgebiet, z.B. aufgrund von hoher Energiedichte und vorhandenem Potenzial, (iv) künftige Versorgung unwahrscheinlich.

Die Häufigkeit der lokalen Verfügbarkeit von Energiequellen und -trägern wird mittels GIS-Analysen vorgenommen, indem georeferenzierte Gebäudeinformationen mit räumlichen Informationen zu diesen Energiequellen verschnitten werden. Methodisch analog werden Einschränkungen zur Nutzung von Potenzialen und Technologien (z.B. wegen Grundwasser-, Gewässer- oder Lärmschutzbestimmungen). Diesbezügliche Grundlagenarbeiten wurden im Rahmen anderer Projekte von TEP Energy durchgeführt (namentlich was die geothermischen und die gewässerspezifischen Potenziale betrifft) und im Rahmen dieses Projekts verfeinert, insbesondere was die Beurteilung der Nutzung von Luft-Wasser-WP betrifft. Hierbei wurden insbesondere Gebäudeabstände berücksichtigt (differenziert nach Schallemissionen pro WP-Leistungsklasse). Im Hinblick auf die LICS-Lösung „WP im Dachraum“ wurden auch die Dachneigungen des 3D-Modells von Swisstopo ausgewertet.

Die häufigsten Standorttypen und ihre Relevanz für die verschiedenen Gebäudetypen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.



| Energie dichte | Typologie-Kriterium | | | Relevant für |
|----------------|--|--------------------------------|----------------------------------|---|
| | Luft-Wasser-WP | Erdsonden-WP | Nah-/Fernwärme | |
| Tief | Möglich | Möglich | Nicht verfügbar | EFH , kleine MFH, vereinzelt NWG |
| Tief | Möglich | Nicht möglich (***) | Nicht verfügbar | EFH , kleine MFH, vereinzelt NWG |
| Mittel | Bedingt möglich (*) | Nur möglich inkl. Regeneration | Evtl. künftig verfügbar | MFH , z.T. auch NWG |
| Mittel | Bedingt möglich (*) | Nicht möglich (***) | Nicht verfügbar | MFH , z.T. auch NWG |
| Hoch | Nicht möglich (*) | Nur möglich inkl. Regeneration | Nicht verfügbar (**) | MFH, NWG |
| Hoch | Nicht möglich (*) | Nur möglich inkl. Regeneration | Künftig verfügbar | MFH, NWG |
| Hoch | Nicht möglich (*) | Nur möglich inkl. Regeneration | Verfügbar | MFH, NWG |
| Hoch | Nicht möglich (*) | Nicht möglich (***) | Künftig verfügbar oder verfügbar | MFH, NWG |
| (*) | Unter Umständen mit spezifischen Massnahmen möglich | | | |
| (**) | z.B. weil keine grosse erneuerbare Quelle in der vorhanden ist | | | |
| (***) | z.B. wegen Gewässerschutzgebiet | | | |

Vor diesem Hintergrund der oben dargestellten Gebäude- und Standorttypologie und auf Grund der Erfahrung aus anderen Projekten schlagen wir vor, Massnahmenkombinationen für folgende Gebäudetypen zu ermitteln:



| Nr. | Gebäudetypologie | | | Energiebezogene Standorttypologie | | |
|-----------------------|---|----------------------|---|--|--------------------------------------|-------------------|
| | Gebäudetyp, Grösse | Bauperiode (BP) | Energieeffizienz (Nutzenergie) | Luft-Wasser-WP | Erdsonden-WP | Nah-/Fernwärme |
| 1 | MFH, klein, 2 Geschosse, freistehend | BP1a (vor 1920) | Mittel, Gesamt-sanierung ohne Fassade um 2000 | Möglich | Nicht möglich (Gewässerschutzgebiet) | Nicht verfügbar |
| 2 | MFH, mittelgross, 3 Geschosse freistehend | BP1b (1920 bis 1950) | Mittel, Teilsanierung (z.B. Fenster und Dachboden 1990er) | Möglich (mit konventionellen Massnahmen) | Nicht möglich (Gewässerschutzgebiet) | Verfügbar |
| 3 | MFH, Siedlung (5 bis 20 Gebäude, 2- und 3spänner) | BP2a (1951-1980) | Schlecht, nur Fenster saniert (ca. 2000) | Evtl. möglich (innerhalb Siedlung) | Nur möglich inkl. Regeneration | Künftig verfügbar |
| 4 | MFH (*), mittelgross (7-10 Wohnungen, evtl mit Geschäft), freistehend | BP2a (1951-1980) | Mittel, Fassade, Fenster mit tiefem, Dach mit hohem Standard saniert. | Möglich (mit konventionellen Massnahmen) | Möglich | Nicht verfügbar |
| 5 | MFH (*), gross, 5 Geschosse, ein- oder zweiseitig angebaut | BP2a (1951-1980) | Schlecht, nur Fenster saniert (ca. 1990) | Evtl. mit LICS möglich (zu prüfen) | Nicht möglich | Künftig verfügbar |
| 6 | MFH (*), mittelgross, 3 Geschosse, einseitig angebaut | BP2b (1981-1990) | Mittel, nicht saniert | Möglich | Nur möglich inkl. Regeneration | Künftig verfügbar |
| 7 | Bürogebäude, mittelgross, Bandfenster | BP2b (1981-1990) | Mittel, Flachdach saniert | Evtl. mit LICS möglich (zu prüfen) | Nicht möglich | Künftig verfügbar |
| 8 | EFH, klein, freistehend | BP1b (1920 bis 1950) | | Möglich | Möglich | Künftig verfügbar |
| 9 | EFH, mittel, freistehend | BP2a (1950 bis 1980) | Schlecht, nicht saniert | Möglich | Möglich | Nicht verfügbar |
| 10 | EFH, gross, freistehend | BP2b (1981-1990) | Mittel, nicht saniert | Möglich | Möglich | Nicht verfügbar |
| (*) Auch als Siedlung | | | | | | |

3.1.2 Definition der Beurteilungskriterien für die Bewertung der Massnahmenkombinationen

Die nachfolgende Tabelle zeigt stellvertretend die vorgeschlagenen Beurteilungskriterien und weitere Kennwerte, die mit den Berechnungen ermittelt werden sollen:



| | Beurteilungskriterium | Einheiten |
|---|--|--|
| CO ₂ | CO ₂ -Emissionen der eingesetzten Endenergieträger nach Definition Kyoto-Protokoll | kgCO ₂ eq/m ² *a |
| CO ₂ | CO ₂ -Emissionen der eingesetzten Endenergieträger nach SIA-2040-Methodik | kgCO ₂ eq/m ² *a |
| Energie | Nicht-erneuerbarer Primärenergiebedarf nach SIA-2040-Methodik | kWh/m ² *a |
| Kosten | Investitionsausgaben pro m ² EBF | CHF/m ² |
| Weitere Berechnungsergebnisse | | |
| Energie | Graue Treibhausgasemissionen der Erneuerungsmassnahmen nach SIA-2040-Methodik (Phase Erstellung) | kgCO ₂ eq/m ² *a |
| Energie | Graue Energie der Erneuerungsmassnahmen nach SIA-Methodik (Phase Erstellung) | kWh/m ² *a |
| Energie | Endenergieverbrauch Gebäude total pro Energieträger | kWh/a |
| Energie | Netto-Endenergieverbrauch (nach Abzug erneuerbarer on-site Produktion) pro Energieträger | kWh/a |
| Kosten | Investitionsausgaben total | CHF |
| Kosten | Lebenszykluskosten des Massnahmenbündels pro m ² | CHF/m ² *a |
| Kosten | Auf die Mietenden überwälzbarer Teil der Investitionsausgaben | CHF bzw. % |
| Kosten | Investitionsausgaben pro m ² EBF nach Abzug der Überwälzung | CHF/m ² |
| Weitere Informationen zu den Massnahmenkombinationen: | | |
| | Energiebedarf Gebäude nach SIA 380/1 | kWh/m ² *a |
| | Erforderliche Heizleistung | kW |
| | Erforderliche Anschlussleistung (Stromanschluss für WP, Fernwärme, Gas etc) | kW |
| | Vorlauftemperatur neu | °C |
| | Onsite Stromproduktion | kWh/a |

Tabelle 1: Resultate und Beurteilungskriterien

3.2 Aktualisierung und Kontextualisierung (AP 2)

Im Arbeitspaket AP2 geht es um die Aktualisierung und Kontextualisierung der techno-ökonomischen Datenbasis von bestehenden Technologieangeboten und Herangehensweisen sowie um die Formalisierung der Kostenkennwerte gemäss transparenter und anerkannter Methodik.

3.2.1 Systemgrenzen und Formalisierung der Kostenkennwerte

Beim Vergleich von Kosten (und Nutzen) von Energieeffizienzmassnahmen und von Heizsystemen mit unterschiedlichen Energieträgern ist die Wahl der Systemgrenze mit entscheidend für das Ergebnis. Eine Vergleichbarkeit und Interpretation von Kostenkennwerten wird zudem erleichtert, wenn diese gemäss anerkannter Methodik strukturiert und auf ihre Kostenkomponenten zurückgeführt werden können. In der Schweiz sind im Wesentlichen zwei Systematiken gebräuchlich:

- Baukostenplan (BKP): gliedert die Kosten gemäss Arbeitsgattungen (Planer, Installateur, Sanitär, Baumeister etc.). Normative Basis ist die SN 506 500 «Baukostenplan BKP», Ausgabe 2017.
- eBKB-H Baukostenplan Hochbau: gliedert die Kosten hierarchisch nach einzelnen Hauptgruppen (z.B. „Technik Gebäude“), Elementgruppen (z.B. „Wärmeanlage“ und Elemente (z.B. „Wärmeerzeugung“). Für jede einzelne hierarchische Ebene des Baukostenplans Hochbau eBKB-H sind Kosten- und Bezugsgrössen definiert. Normative Basis ist die SN 506 511 «Baukostenplan Hochbau eBKB-H», Ausgabe 2012.



Die beiden Systematiken werden aufgrund ihrer spezifischen Vorteile jeweils unterschiedlich eingesetzt. In der Phase der strategischen Planung, in der oft auch Entscheidungen zu Energieeffizienz, Gebäudetechnik und Energieträger getroffen werden, kommt aufgrund des elementbasierten Ansatzes häufig der eBKP-H zum Einsatz, weil damit die Kosten schneller als mit dem BKP berechnet werden können und weil mit Kostenkennwerten mit klaren Bezugsgrössen und klaren Systemgrenzen auch in einer frühen Planungsphase systembedingte Ungenauigkeiten (wie sie mit BKP vorkommen können) vermieden werden können. Weil der eBKB-H jedoch keine Aussagen zu Arbeitsgattungen und Leistungspositionen macht, liegen die Baukostenabrechnungen aufgrund der Organisation des Bauprozesses in der Regel in der ausführungorientierten Gliederung des BKP vor. Diese bottom-up vorliegenden Kostendaten können zu Elementen und Bauteilen aggregiert werden, um so Kostenkennwerte des eBKP-H zu generieren oder zu aktualisieren. In diesem Sinn sind die beiden Kosten-Systematiken ineinander überführbar (formal mit dem eBKP-gate des CRB). Diesem Umstand wird auch im Projekt LICS Rechnung getragen, wenn es darum geht, Kostendaten zu erheben und Kostenkennwerte zu bilden.

3.2.2 Kostenkennwerte

Als Grundlage und Vergleichsbasis wurden im Berichtsjahr 2019 Kostenkennwerte erhoben, wobei zunächst ein Fokus auf Heizanlagen unterschiedlicher Energieträger gelegt wurde. Ausgegangen wurde von bestehenden Kostendatenbanken, namentlich dem INSPIRE-Tool, dem Heizkostenvergleichsrechner der Hochschule Luzern sowie dem Gebäudeparkmodell von TEP Energy. Diese Werte wurden mit Baukostenabrechnungen realisierter Heizungsanlagen und Erfahrungswerten von Fachplanern ergänzt. Neben den typischen, von der Leistungsklasse des Wärmeerzeugers direkt abhängigen Kosten der Heizungsanlage (BPK 240 bis 245), wurden auch die Kosten der Nebengewerke (Sanitär, Elektro, Baumeister, etc.), Planungshonorare, Gebühren und die MWST berücksichtigt. Jeweils für Neubau und Heizungsersatz mit Wechsel des Energieträgers (Systemwechsel) liegen per Ende 2019 vorläufige Kostenkennzahlen für die Leistungsklassen 10 kW, 20 kW und 100 kW vor:

- Ölkessel,
- Gaskessel,
- Pelletkessel,
- Luft/Wasser-Wärmepumpen und
- Sole/Wasser-Wärmepumpen,

Durch die Berücksichtigung aller Nebengewerke und der Honorare fallen die ermittelten durchschnittlichen Kostenkennzahlen insgesamt höher aus, als jene der geläufigen Heizkostenvergleichsrechner (siehe AWEL 2019 für eine Übersicht). Auch der Kostenunterschied zwischen Neubau und Heizungsersatz fällt im Durchschnitt tiefer aus als gemeinhin angenommen. Dies liegt daran, dass bei der Analyse von Baukostenabrechnungen von Neubauten in der Regel nur die Kosten des Heizungsunternehmers herangezogen werden, während die Aufwendungen aller Nebengewerke und Honorare meist nicht anteilmässig der Wärmeerzeugung angerechnet werden.

Beim Heizungsersatz mit besonders günstigen Voraussetzungen können die Kosten deutlich tiefer als im durchschnittlichen Neubauprojekt liegen (siehe Tabelle 1). Günstige Voraussetzungen sind z.B. gegeben, wenn ein neuer Wärmeerzeuger direkt in die bestehende Hydraulik eingebunden werden kann und die bestehenden Heizverteiler, Warmwasserspeicher, Elektro- und Sanitärinstallationen ohne Anpassungen weitergenutzt werden können. Ebenfalls zu tiefen Heizungsersatzkosten kann eine Ausführung direkt durch den Heizungsinstallateur mit einfacher Installationsanzeige führen, ohne Beizug von Fachplanern und ohne Baubewilligungsverfahren.



3.2.3 Kostenstufen

Bei der Modellierung der Energieträgerwahl bei Neubau und im Heizungersatz und für gesamtschweizerische Betrachtungen stellt sich die Frage, inwiefern die o.g. idealtypischen Kosten- und Effizienzwerte generalisierbar sind und ob bei markanten Durchdringungen Potentialbeschränkungen und/oder verteuernde Faktoren zu berücksichtigen sind. Dazu gehören bei Erdsonden-WP beispielsweise Massnahmen zur Regenerierung, bei Luft-Wasser-WP beispielsweise Schallschutz- oder andere bauliche Massnahmen (z.B. aus Platzgründen) und bei Wasser-Wasser-WP Aufwände für die Quellenerschliessung oder für Nahwärmeverbunde. Solche Einflussfaktoren hängen zum einen von der konkreten Situation im Gebäude und zum anderen vom Siedlungskontext ab. Bis dato wurden solche Einflussfaktoren kaum systematisch untersucht und berücksichtigt. Eine Ausnahme bilden Ganter et al 2000, 2001, welche solche Kostenstufen für Wärmekraftkopplungsanlagen entwickelt hatten.

Um diese Lücke zu schliessen, wurden in einem zweiten Schritt die oben genannten technologie-, standort- und projektabhängigen verteuernenden Faktoren als Kostenstufen pro Kostenposition abgeschätzt. Hierbei wurde zwischen drei Kostenstufen unterschieden und für jeden Kostenpunkt wurde zu jeder Kostenstufe deren mutmassliche Häufigkeit im Gebäudebestand abgeschätzt. Zudem wurde abgeschätzt, ob und wenn ja in welchem Ausmass bei gewissen Kostenpositionen die Voraussetzungen für eine Realisierung nicht gegeben sind bzw. es nicht sinnvoll wäre, für solche Spezialfälle Kostenkennwerte anzugeben.

Die Kostenstufe 1 stellt günstige Voraussetzungen dar. Solche sind z.B. gegeben, wenn ein neuer Wärmeerzeuger direkt in die bestehende Hydraulik eingebunden werden kann und die bestehenden Heizverteiler, Warmwasserspeicher, Elektro- und Sanitärinstallationen ohne Anpassungen weitergenutzt werden können. Ebenfalls zu tiefen Heizungersatzkosten kann eine Ausführung direkt durch den Heizungsinstallateur mit einfacher Installationsanzeige führen, ohne Beizug von Fachplanern und ohne Baubewilligungsverfahren. Bei mittलगünstigen Voraussetzungen, welche im Gebäudebestand am häufigsten auftreten, verteuern sich sowohl die Kosten für die Wärmeerzeugung im eigentlichen Sinn (z.B. weil im Fall der WP Geräte mit tieferem Schallpegel und besserer Eignung für hohe Vorlauftemperaturen zu wählen sind) als auch für die übrigen Kostenpunkte der BKP 240 bis 245). Dabei und v.a. bei den übrigen Gewerken kommen z.T. Kostenpunkte dazu, welche im günstigsten Fall gar nicht auftreten. Dies kann dazu führen, dass sich die Kosten im mittleren Fall gegenüber dem günstigsten Fall mehr als verdoppeln, siehe exemplarische Darstellung für den Fall der Luft-Wasser-WP in Tabelle 1. Damit ist das Kostenniveau im mittleren Fall ähnlich wie im Neubaufall. Eine weitere Kostensteigerung ist bei aufwändigen Voraussetzungen zu erwarten, wobei dieser Fall wiederum deutlich seltener auftritt als der mittlere Fall. Per Ende 2019 liegen solche Kostenstufen im Sinne von provisorischen Ergebnissen für die o.g. Heizanlagentypen vor, siehe Darstellungen in Abb. 3 (günstige Voraussetzungen) und Abb. 4 (aufwändige Voraussetzungen).



| Teilanlage / Leistung | BKP | 10 kW Systemwechsel - Kostenstufen | | | | | | | |
|--|-----------|------------------------------------|---------------|---------|---------------|--------|---------------|-----------|--|
| | | Neubau | | günstig | | mittel | | aufwändig | |
| | | CHF | CHF | % | CHF | % | CHF | % | |
| WP (LW) | | | | | | | | | |
| Wärmepumpe | 242 | 17'500 | 14'000 | 10 | 17'500 | 70 | 19'250 | 20 | |
| Armaturen & Apparate | 242 | 1'000 | 800 | 10 | 1'000 | 70 | 1'100 | 20 | |
| Heizungsspeicher | 242 | 1'400 | 1'120 | 10 | 1'400 | 70 | 1'540 | 20 | |
| Luftkanal | 244 | 2'200 | 0 | 10 | 2'200 | 60 | 2'420 | 30 | |
| Montage | 242 | 8'500 | 4'250 | 10 | 8'500 | 70 | 9'350 | 20 | |
| Heizverteiler | 243 | 1'000 | 0 | 10 | 1'000 | 70 | 1'100 | 20 | |
| Warmwasserspeicher | 242 | 1'000 | 0 | 10 | 1'000 | 70 | 1'100 | 20 | |
| Demontage | 240 | 0 | 0 | 20 | 1'000 | 60 | 1'500 | 20 | |
| Total Heizungsanlagen | 24 | 32'600 | 20'170 | | 33'600 | | 37'360 | | |
| | | 3'260 | 2'017 | | 3'360 | | 3'736 | | |
| Erschliessung Elektro | 232 | 3'900 | 1'950 | 60 | 3'900 | 20 | 5'850 | 20 | |
| Mehrauf. Elektrokasten | 231 | 550 | 0 | 60 | 550 | 20 | 825 | 20 | |
| Anschlussgebühren | 231 | 2'080 | 0 | 60 | 2'080 | 20 | 3'120 | 20 | |
| Erschliessung Sanitär | 254 | 500 | 0 | 20 | 500 | 60 | 1'000 | 20 | |
| GA (Steuerung und Messung) | 236 | 1'000 | 0 | 20 | 1'000 | 60 | 1'500 | 20 | |
| Sicherheitsanlagen | 247 | 0 | 0 | 20 | 0 | 60 | 0 | 20 | |
| Lärmschutzmassnahmen | 272 | 1'000 | 0 | 70 | 1'000 | 20 | 2'000 | 10 | |
| Baumeister | 211 | 400 | 0 | 10 | 1'000 | 70 | 2'000 | 20 | |
| Gartenarbeiten | 421 | 0 | 0 | 20 | 1'000 | 60 | 2'000 | 20 | |
| Total weitere Kosten | | 9'430 | 1'950 | | 11'030 | | 18'295 | | |
| Honorar HLKSE-Ingenieure | 294, 29 | 6'305 | 0 | 30 | 6'305 | 50 | 8'406 | 20 | |
| MWSt | | 3'722 | 150 | | 1'495 | | 2'296 | | |
| Gesamtkosten inkl. Honorar und MWSt | | 52'056 | 22'270 | | 52'429 | | 66'357 | | |
| | | 5'206 | 2'227 | | 5'243 | | 6'636 | | |

Tabelle 2: Kostenstruktur am Beispiel einer 10 kW Luft/Wasser Wärmepumpe; dargestellt sind durchschnittliche Kosten für Neubauten und drei Kostenstufen für den Heizungsersatz mit Energieträgerwechsel

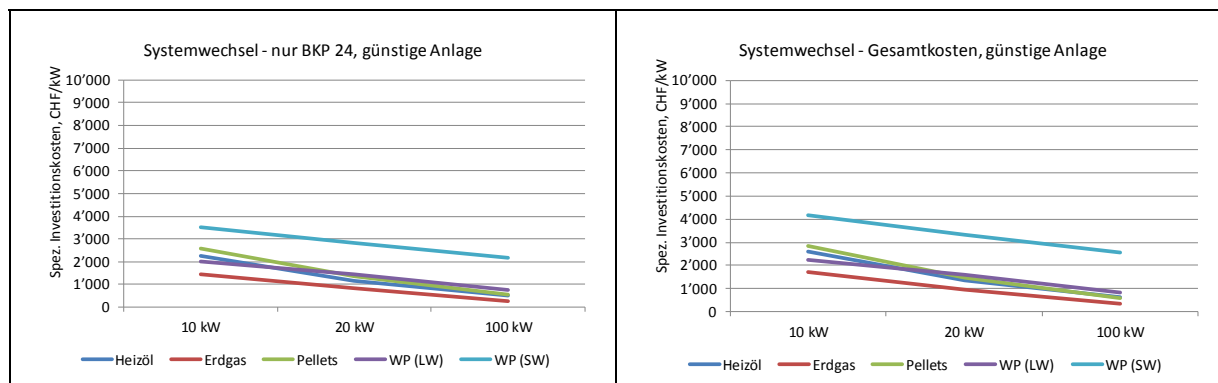


Abb. 3: Spezifische Investitionskosten eines Heizungswechsels bei günstigen Rahmenbedingungen; links: nur Kosten der Heizungsanlage (BKP 24), rechts: Gesamtkosten inkl. Nebengewerken.

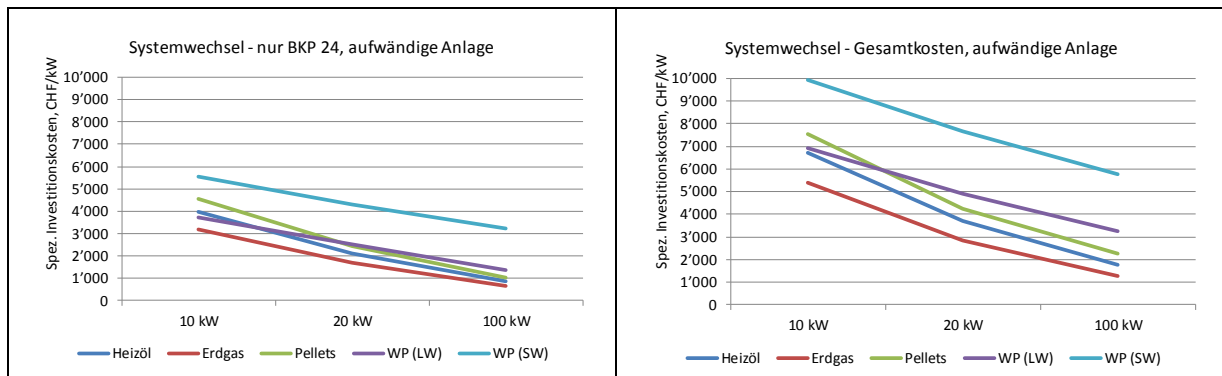


Abb. 4: Spezifische Investitionskosten eines Heizungswechsels bei aufwändigen Rahmenbedingungen; links: nur Kosten der Heizungsanlage (BKP 24), rechts: Gesamtkosten inkl. Nebengewerken und Honoraren

In einem nächsten Schritt werden die entwickelten Kostenkennwerte und Kostenstufen durch eine Expertengruppe geprüft und bei Bedarf angepasst.

3.3 Konzeptentwicklung von neuen technischen Lösungen für Low-Invest-Cost-Sanierungen (LICS) (AP 3)

Im Rahmen des Projekts werden folgende technische Lösungen mit potentiell niedrigen Investitionskosten und entsprechend hohen Marktchancen beim Heizungsersatz konzeptionell weiterentwickelt:

- Stadtverträgliche bivalente Luft/Wasser-WP als Kompaktgerät
- Luft/Wasser-WP mit Erdreich-Spitzenlastdeckung
- Senkung der Vorlauftemperatur durch verteilungsseitige Massnahmen
- Kostengünstige Lüftungskonzepte

Die per Ende des Berichtsjahres 2019 vorliegenden Ergebnisse werden für diese vier LICS nachfolgend beschrieben.

3.3.1 Stadtverträgliche bivalente Luft/Wasser-WP als Kompaktgerät:

Die Luft/Wasser-WP ist kostengünstig und hat in den vergangenen Jahren einen grossen Entwicklungsschub und relevante Effizienzgewinne erlebt. Trotzdem bleibt der Markt bislang weitgehend auf Einfamilienhäuser beschränkt. Ein Einsatz in bestehenden Mehrfamilienhäusern in der Stadt und Agglomeration kommt aus Lärm-, Platz- und Kostengründen oft nicht in Frage.

Eine mögliche Lösung stellen bivalente modulierende Kompaktgeräte dar, die aus Lärmschutzgründen im dichten Siedlungsgebiet bevorzugt im Estrich integriert oder auf dem Flachdach bestehender Gebäude aufgestellt werden. Die Spitzenlastdeckung und die Abtauung erfolgt durch eine integrierte modulierende Gas- oder Öl-Brennwert-Wandtherme. Anstelle von Gas oder Öl kann die Spitzenlast auch durch Biogas oder Biomethanol gedeckt werden. Mittelfristig ist auch der Einsatz von Brennstoffzellen zur Deckung des Spitzenstrombedarfs im Winter denkbar. Ein Pufferspeicher entfällt. Die elektrische Spitzenlast ist im Vergleich zu einer monovalenten Anlage stark reduziert. Die Regelung ist für den bivalenten Betrieb optimiert und unterstützt den Eigenverbrauch von PV-Strom sowie ein netzdienliches Lastmanagement.

Obwohl die Wärmepumpe typischerweise nur 50% des Leistungsbedarfs deckt, kann sie 90 bis nahezu 100% des jährlichen Wärmebedarfs decken. Dies liegt daran, dass der normative



Heizleistungsbedarf mit Sicherheitszuschlägen ermittelt wird und gleichzeitig die Winter zunehmend milder werden. Eine Spitzenlastdeckung muss trotzdem installiert werden, denn auch in Zukunft sind Kälteperioden mit Temperaturen von unter -10°C während mehreren Tagen zu erwarten, selbst wenn solche Wetterlagen nur noch selten auftreten werden.

Die Weiterentwicklung dieses Konzepts wird anhand von Fallbeispielen und Pilotanlagen mit zeitlich hochauflösenden Messwerten der Wärmeleistung und vorliegenden Investitions- und Betriebskostendaten angestrebt. Die Kostenoptimierungspotentiale durch eine weitergehende Integration und Regelung der einzelnen Anlagenteile werden beschrieben und durch Interviews mit Experten aus der Wärmepumpen- und Regeltechnik plausibilisiert.

| Vorteile | Nachteil und Lösungsansatz |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• 20% geringere Investitionskosten• 50% geringer Platzbedarf der Ausseneinheit oder der Luftkanäle bei Innenaufstellung• Pufferspeicher entfällt• 10 dB(A) geringerer Schalleistungspegel• 60% geringere elektrische Anschlussleistung; eine allenfalls notwendige Erneuerung der Hausanschlussleitung entfällt• Ökonomische Flexibilität bei stark schwankenden Energiepreisen• Geringere Belastung des Stromnetzes an besonders kalten Tagen• Lagerbarer Brennstoff für Spitzenlastdeckung möglich, mittelfristig auch aus biogenem oder solarem Ursprung• Höhere Flexibilität und Resilienz der Energieversorgung• Mittelfristig könnte die Spitzenlast auch durch Brennstoffzellen gedeckt und damit eine Beitrag zur Deckung der Stromlücke im Winter geleistet werden | <ul style="list-style-type: none">• Zwei Wärmeerzeuger -> Kompaktgeräte mit Wärmepumpe und Wandtherme auf demselben Rahmen• Höhere CO₂-Emissionen -> dank optimierter Bivalenz-Regelung wird Spitzenlastanteil auf unter 10% reduziert• Höhere Installations- und Wartungskosten -> Reduktion dank Kompaktgerät und Wartungsangebot aus einer Hand |

Tabelle 3: Heizungsersatz durch eine bivalente im Vergleich zu einer monovalenten Luft/Wärmepumpe (Heizleistung > 30 kW)

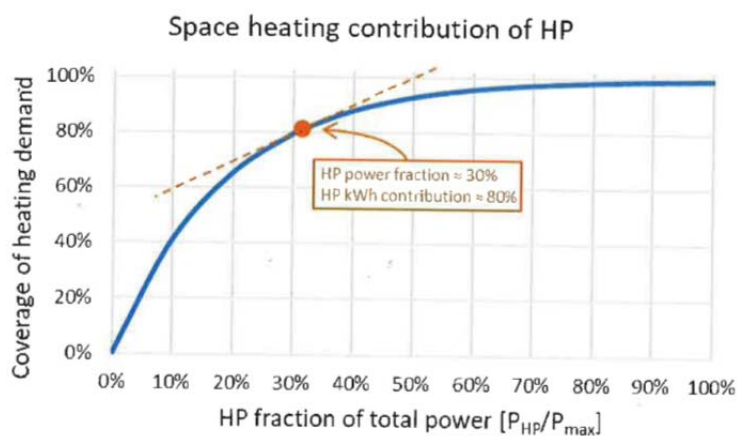


Abb. 1: Bei bivalenten Anlagen kann die Wärmepumpe mit einem Leistungsanteil von nur 40% bis zu 80% des jährlichen Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser decken; Quelle: IEA Annex 45

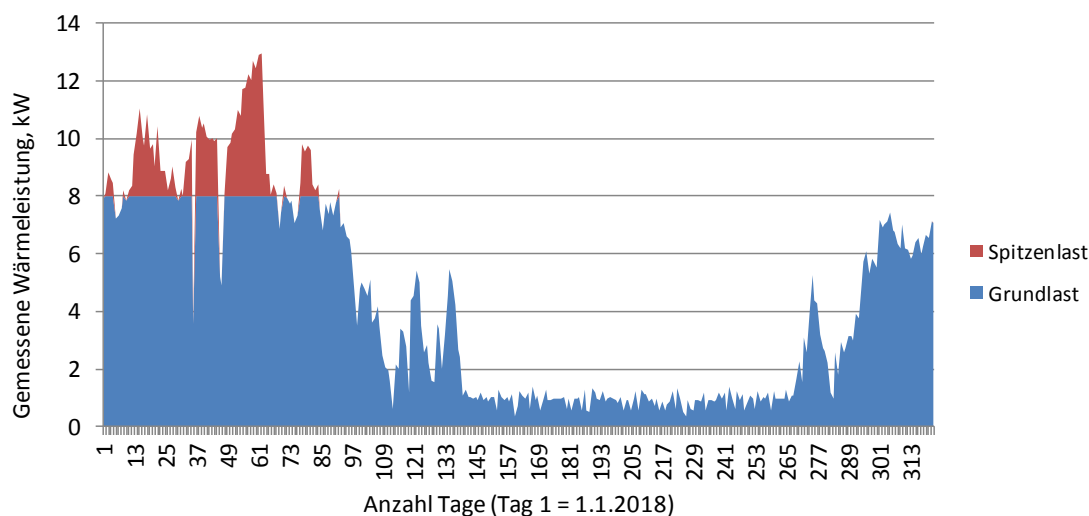


Abb. 2: Auswertung der gemessenen Heizleistung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einer Nennleistung von 16 kW bei A-7/W55; Heizleistungsbedarf gemäss SIA 384.201: 15 kW bei -8°C; mit einem Leistungsanteil von 50% (8 kW) hätte die Luft/Wasser-Wärmepumpe im Jahr 2018 92% des Wärmebedarfs gedeckt

3.3.2 Luft/Wasser-WP mit Erdreich-Spitzenlastdeckung:

Anstelle von Brennstoffen kann die Spitzenlast auch durch Erdsonden, Erdregister oder Erdkörbe gedeckt werden. Dank dem bivalenten Betrieb muss der Erdwärmespeicher nur für zwei bis drei Wochen Volllast ausgelegt werden. Investitionskosten und Platzbedarf fallen entsprechend deutlich tiefer aus. Anstelle von direktverdampfenden Wärmepumpen kommen hier eher Sole/Wasser-Maschinen zum Einsatz. Über den Rückwärmer⁴ wird auch das Erdreich regeneriert, sobald die Aussen-temperaturen genügend hoch über der Austrittstemperatur des Erdwärmespeichers liegen. Die lärmschutz- und regelungstechnischen Lösungsansätze von AP2 kommen auch hier zum Tragen.

Noch wenig erforscht ist bei diesem Konzept das Verhalten des Erdreichs bei einer zeitlich begrenzten sehr hohen thermischen Belastung, mit spezifischen Wärmeentzugsleistungen im Bereich von 100 bis 200 W pro Meter Erdsonde oder Erdregister. Zur Auslotung der Belastungsgrenzen und der Langzeitauswirkungen sind Simulationen mit einem Erdsondensimulationsprogramm sowie die Auswertung von Messdaten stark belasteter Erdsonden, Erdregister oder Erdkörben vorgesehen.

3.3.3 Senkung der Vorlauftemperatur durch verteilungsseitige Massnahmen:

Der Einbau einer Fussbodenheizung kommt im Umbau aus Kostengründen und zur Vermeidung einer Leerräumung der Wohnungen oft nicht in Frage. Nach dem Ersatz der Fenster, Wärmedämmung von Estrichboden und Kellerdecke sowie Ausschaltung der Nachtabenkung sind Vorlauftemperaturen unter 50°C trotzdem auch bei Radiatoren möglich. Jahresarbeitszahlen über 3.0 sind dann mit heutigen Luft/Wasser-Wärmepumpen erreichbar. Nicht selten wird aber die Absenkung der Vorlauftemperatur durch einzelne kritische Räume limitiert.

Eine punktuelle Nachrüstung von Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen (Konvektoren, Heizkörper mit Lüfter, Decken- und Wandheizpanelen) sowie praktikable und standardisierte Lösungen zu deren Einbindung in bestehende Heizverteilssysteme bilden den Schlüssel zur Erreichung tiefer Vorlauftemperaturen in Umbauten ohne Fassadendämmung und Fussbodenheizung.

⁴ Der Rückwärmer entzieht der Aussenluft Wärme; wird auch als Rückkühler oder Luftkühler bezeichnet.



Das Potenzial, die typischen Kosten und die noch zur erschliessenden Kostenoptimierungspotentiale solcher verteilseitigen Massnahmen werden anhand einer Zusammenfassen bestehender Studien und durch den Austausch mit Lieferanten von innovativen Niedertemperatur-Wärmeabgabesystemen aufgearbeitet.

3.3.4 Kostengünstige Lüftungskonzepte

Der Einbau einer konventionellen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in bestehenden Gebäuden ist aufwändig und kostenintensiv. Durch den Fensterersatz steigt aber auch bei Umbauten der Bedarf für einen kontrollierten Luftaustausch. Einfache Abluftanlagen sind eine kostengünstige und effiziente Alternative. Die Abluft kann meist über bestehende Abluftschächte über Dach geführt und die Abwärme dort wiederum durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe genutzt werden.

Zentrales Element einer konzeptionellen Weiterentwicklung liegt in einer kostengünstigen, pro Nutzeinheit an den Bedarf angepassten Regelung des Abluftvolumenstroms.

Als Alternative zu einer zentralen Abluftanlage kommen bei kleineren Objekten und in schlecht erschliessbaren Räumen auch dezentrale Fassadenlüfter (Pendellüfter, Einzelraumgeräte) in Frage.

Auch die kostengünstigen Lüftungskonzepte werden anhand von Fallbeispielen und Pilotanlagen mit bereits vorhandenen Messwerten und vorliegenden Investitions- und Betriebskostendaten dokumentiert und die vermuteten Entwicklungspotentiale durch Interviews mit Experten aus der Wärmepumpen- und Lüftungstechnik plausibilisiert und quantifiziert.

4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Auf Grund der ungewöhnlichen Ausgangslage, dass zwei Teams ihre Projektideen zu einer gemeinsamen zu verschmelzen hatten und wegen des dadurch verzögerten Projektstarts, dauerte die Koordination und die Konkretisierung des Vorgehens etwas länger als geplant und deshalb liegen gewisse Projektarbeiten hinter dem vorgesehenen Zeitplan. Dafür wurden gewisse Arbeiten bereits vorgezogen gestartet.

Per Ende des ablaufenden Berichtsjahr 2019 liegen der Entwurf des Detailkonzepts (AP 1) sowie erste Ergebnisse für die Arbeitspakete AP 2 (Aktualisierung und Kontextualisierung der Kostenkennwerte und der LICS) und AP 3 (Konzeptentwicklung von neuen technischen Low-Invest-Cost-Sanierungen (LICS).

Die bisherigen Ergebnisse verdeutlichen, wie wichtig der Einfluss des Kontextes auf Kostenkennwerte und technische Lösungen ist. Hierbei ist nicht nur das Gebäude als Einzelnes zu betrachten, sondern auch standortbedingte Einflussfaktoren, namentlich im Hinblick auf die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Bei den potenziellen LICS, konkret den Luft-Wasser-WP spielen das Gebäude und v.a. bei den grösseren Gebäuden die unmittelbare Umgebung des Gebäudes eine zentrale Rolle, namentlich die Platzverhältnisse (dies im Hinblick auf die Lärmthematik). Methodisch können die verschiedenen Einflussfaktoren mit sogenannten Kostenstufen berücksichtigt werden, der verschiedene Preis- bzw. Kostenniveau mit der Häufigkeit ihres Auftretens verknüpft. Damit können Potenziale der Nutzung von erneuerbaren Energien und der Senkung von CO₂-Emissionen im Gebäudebestand in der gesamtschweizerischen Parkbetrachtung wesentlich realistischer eingeschätzt werden.

Der Entwurf des Detailkonzepts und die ersten vorliegenden Ergebnisse bilden eine gute Grundlage die zentralen Aspekte des Projekts zu diskutieren und die weiteren Projektschritte zu steuern und zu konkretisieren. Dies soll u.a. mit der Begleitgruppe Anfang Januar 2020 erfolgen.



5 Weiteres Vorgehen

Im folgenden (und abschliessenden) Projektjahr werden die Arbeiten der drei laufenden Arbeitspakete abgeschlossen (AP 1) bzw. intensiv methodisch und inhaltlich bearbeitet (AP 2 und 3), dies basierend auf dem von der Begleitgruppe verabschiedeten Detailkonzept (vorgesehen für Anfang Januar 2020). Mit einem gewissen zeitlichen Versatz werden die AP 4 bis 6 in Angriff genommen). Auf letztere wird nachfolgend kurz eingegangen:

5.1 Bewertung aus Eigentümersicht (AP 4)

Die Bewertung der LICS aus Eigentümersicht wird sowohl für die direkten CO₂-Emissionen als auch für die Parameter gemäss SIA-Effizienzpfad vorgenommen. Dargestellt werden die CO₂- und die Treibhausgasemissionen, End- und Primärenergie, Investitions- und Jahreskosten, generisch für verschiedene Gebäudetypen und Bauperioden und für konkrete Einzelgebäude. Die Betrachtung erfolgt für häufige Gebäudetypen (Wohnen, Büro, Schulen und für eine Siedlung gemäss den definierten Systemgrenzen.

5.2 Bewertung auf Ebene des Gebäudeparks (AP 5)

Darstellen der Auswirkungen LICS-Lösungen auf die CO₂-Emissionen, den Energieverbrauch sowie auf den Investitions- und Leistungsbedarf des gesamten Schweizer Gebäudeparks bzw. der leitungsgebundenen Energieträger. Betrachtet werden die Phasen Betrieb (direkte Wirkungen und Wirkungen der vorgelagerten energetischen Prozessketten) sowie Erstellung.

5.3 Erarbeitung von Handlungsempfehlungen und Kommunikation (AP 6)

Abschliessend werden Handlungsempfehlungen zuhanden der öffentlichen Hand für die Förderung der beschriebenen LICS-Ansätze formuliert. Zudem soll Merkblatt mit den Massnahmenkombinationen für die Einfamilienhaus-Typen in Deutsch und Französisch erstellt werden (optional auch für Mehrfamilienhäuser). Zudem werden ein Kurzartikel zur Information von privaten Gebäudeeigentümern und eine Präsentation (auf Deutsch) erstellt, dies als Grundlage für die Präsentation der Ergebnisse an einer oder mehreren Informationsveranstaltungen.

6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

6.1 Nationale Zusammenarbeit

Die jeweiligen Mitglieder des Projektteams sind stark in diversen nationalen (und regionalen / kommunalen) thematisch verwandten Projekten engagiert. Dies erlaubt es zum einen, neue Erkenntnisse im LICS Projekt mit vertretbarem Aufwand zu generieren, weil auf bereits entwickelte methodischen und datenseitige Grundlagen aufgebaut werden kann, und zum anderen, neue Erkenntnisse aus dem LICS Projekt rasch in eine Anwendung zu überführen. Stellvertretend für weitere werden folgende Beispiele genannt:

- BFE-Energieperspektiven: die Erkenntnisse, welche im LICS-Projekt gewonnen werden, dienen auch den BFE-Energieperspektiven 2020, in dessen Rahmen die erarbeiteten techno-ökonomischen Daten Verwendung finden, u.a. mittels des Gebäudeparkmodells von TEP für den Fall der Nicht-Wohngebäude und mittels des Haushaltsektormodell der Prognos, mit welchem die Kosten der verschiedenen Szenarien berechnet werden.



- In Zusammenarbeit mit der Wärme-Initiative-Schweiz, einem Zusammenschluss von Verbänden aus dem Bereich Erneuerbare Energien (AEE Suisse) und Gebäudetechnik (Suissetec) führen TEP Energy und Ecoplan eine Studie zur Dekarbonisierung des Wärmesektors mit Fokus auf den Gebäudebereich durch. Sowohl im Hinblick auf die Potenziale der erneuerbaren Energien als Funktion der Kosten und Energiepreise als auch in Bezug auf die Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf Branchen, Regionen und die Gesamtwirtschaft waren erste Erkenntnisse aus dem LICS-Projekt nützlich.
- Bei Energieforschung Stadt Zürich läuft aktuell ein Forschungsprojekt mit 6 Fallstudien in der Stadt Zürich. Untersucht werden vier EFH und 2 MFH, bei denen ein Heizungsersatz ansteht und bei welchen von den erneuerbaren Alternativen auf Grund des Standorts und/oder der Grösse des Objekts (zu klein für Fernwärmeanschluss) insbesondere eine Luft-Wasser-Wärmepumpe in Frage kommt. Das Projekt wird von econcept zusammen mit Energie-Coachs der Stadt Zürich bearbeitet. Es können Synergien bezüglich inhaltlichem Austausch genutzt und evtl. die Fallstudien aus dem Projekt in Zürich teilweise als Beispielgebäude zur Validierung der Sanierungskonzepte im hier vorgeschlagenen Forschungsprojekt verwendet werden.
- Vorgesehen ist ein Austausch mit dem Projekt der FHNW im Auftrag der Stadt Zürich „Stadtverträgliche Luft-Wasser-Wärmepumpe“ (Ergänzungsstudie).

6.2 Internationale Zusammenarbeit

Das Projekt LICS hat zwar einen nationalen Charakter, ist aber für die internationale Community doch auch von Interesse:

- Bezüglich des 3. und 4. LICS-Lösungsansatzes ist eine internationale Zusammenarbeit mit dem Kooperationsnetzwerk „Klimaneutrale Gebäude“ des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand des Bundesministeriums für Wirtschaft ist geplant.
- Die Kostenstufen, d.h. der spread zwischen den günstigen und den aufwändigen Voraussetzungen sowie die Potenziale bzw. Einschränkungen bilden eine Grundlage für die inhaltliche Festlegung von sinnvollen Parameterbereichen in Sensitivitätsanalysen, welche TEP Energy in Zusammenarbeit mit weiteren Teams des IEA EBC Annex 70 durchführt.



7 Literaturverzeichnis

AHB (2019). Variantenvergleich Energiesysteme - Version 3.0

AWEL (2019). Heizkostenvergleichsrechner, Version 2 2. Zürich, April.

Banfi, S., Farsi M., Jakob M. et al. (2012) An Analysis of Investment Decision for Energy-Efficient Renovation of Multi-Family Buildings. Zürich.

Bundesamt für Umwelt (2019): Faktenblatt. CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz, 15. April 2019

Fischer R., Ehrbar D., Kobler R., Bürgin M., Forny R., Birkendahl Y., von Arb S., Bieli R., Schwehr P. (2012): SanStrat. Ganzheitliche Sanierungsstrategien für Wohnbauten und Siedlungen der 1940er bis 1970er Jahre. Herausgeber: Hochschule Luzern. KTI-Projekt Nr. 11654.1 PFES-ES. Oktober 2012.

Gantner U., Jakob M., Hirschberg S. (2000a). Grundlagen sowie ökologische und ökonomische Vergleiche von zukünftigen Energieversorgungsoptionen der Schweiz. Beitrag zum VSE-Projekt: Dezentral - Möglichkeiten, Grenzen und Auswirkungen einer verstärkt dezentralen Stromproduktion aus nicht erneuerbaren Energieträgern. PSI, Villigen i.A. VSE, Zürich (unveröffentlicht).

Gantner U., Jakob M., Hirschberg S. (2000b). Perspektiven der zukünftigen Strom- und Wärmeversorgung für die Schweiz. VSE-Bulletin, Nr. 12 (2000), Zürich, S. 11-20.

Gantner U., Jakob M., Hirschberg S. (2001). Perspektiven der zukünftigen Strom- und Wärmeversorgung für die Schweiz: ökologische und ökonomische Betrachtungen. Projekt GaBE: Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen. PSI Bericht 01-12, Villigen, August

Gross C. (2018): Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren für die Berichterstattung der Kantone. Bundesamt für Umwelt, 15.2.2018

Hartmann C., Jakob M. (2016): Methodik zur Berechnung der kantonalen CO₂-Emissionen im Gebäudebereich auf Basis des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR). ECOSPEED und TEP Energy im Auftrag des Bundesamts für Energie, 19.12.2016

Infras/TEP Energy (2017): Auswirkungen eines subsidiären Verbots fossiler Heizungen – Grundlagenbericht für die Klimapolitik nach 2020.

Jakob, M., Berleth H., Catenazzi C., Martius G. (2014). Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich – Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie, Bern.

KBOB Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (2014): Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2014

Lehmann M., Ott W., Bade S., Inderbitzi L., Rutz M. (2015): Nachhaltige Gebäudeerneuerung in Etappen – SANETAP. econcept und Meier + Steinauer Partner im Auftrag des Bundesamts für Energie, der Kantone Basel-Stadt, Schaffhausen und Thurgau und der Stadt Zürich, 20.10.2015

Lehmann M., Meyer M., Kaiser N., Ott W. 2017: Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger beim Heizungersatz. Energieforschung Stadt Zürich, Bericht Nr. 37, Forschungsprojekt FP-2.8

Messmer A., Frischknecht R. (2016): Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014. Treeze Ltd. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. 7.12.2016. Version 589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3.0, 07.12.2016 09:19:00

Schwehr P., Fischer R. (2010): Building Typology and Morphology of Swiss Multi-Family homes. Hochschule Luzern. Oktober 2010



Schweizerische Eidgenossenschaft (2017): 17.071 Botschaft zur Totalrevision des CO₂-Gesetzes nach 2020 vom 1. Dezember 2017.