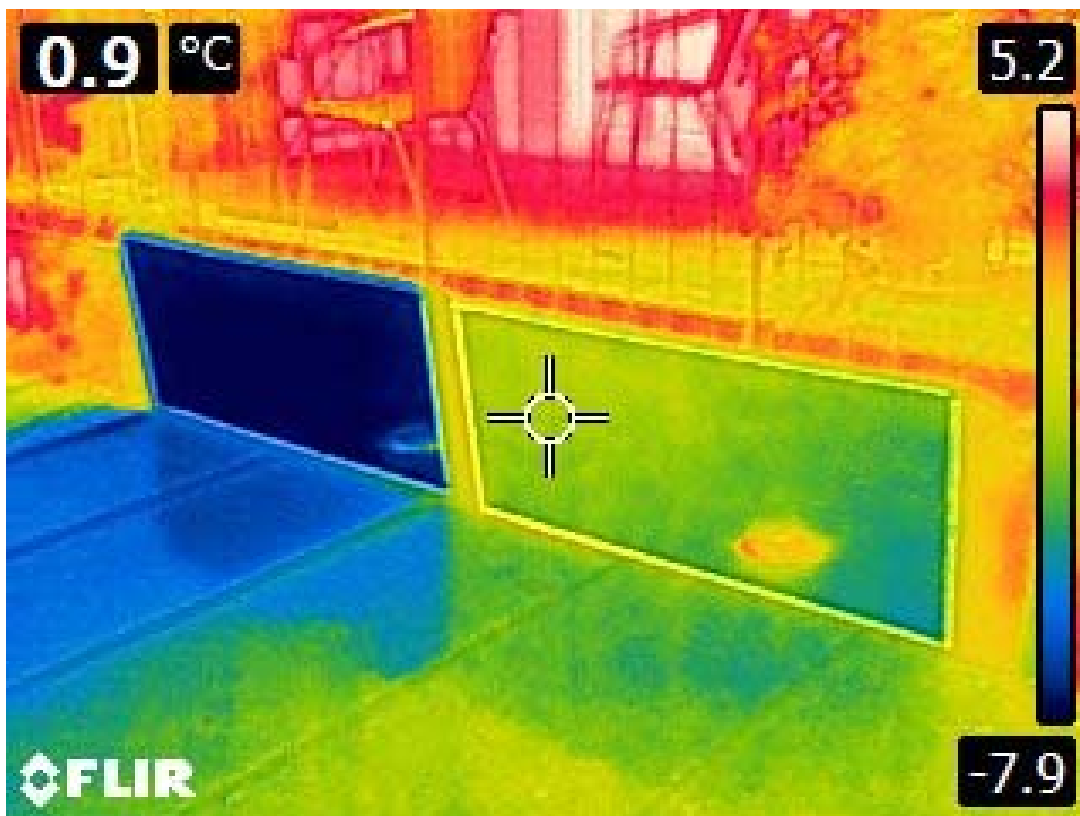




Schlussbericht 21.12.2016

Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe für die Gebäudeerneuerung

MFH Höggerstrasse 23, 8037 Zürich



Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Cleantech
Pilot- und Demonstrationsprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10
CH-8006 Zürich
www.lemonconsult.ch

Stockwerkeigentümergeinschaft
Hönggerstrasse 23
CH-8037 Zürich

Dolder Wärmetechnik AG
Neugrütstrasse 3
CH-9430 St. Margrethen
www.dolderwaermetechnik.ch

Autoren:

Valentin Muller, Lemon Consult AG, muller@lemonconsult.ch
Martin Ménard, Lemon Consult AG, menard@lemonconsult.ch

BFE-Programmleitung: Yasmine Calisesi, Leiterin P+D-Programm
yasmine.calisesi@bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleitung: Marc Köhli, Stv. Leiter Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
koehli@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501003-01

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

Zusammenfassung

Im Rahmen des P+D-Projekts wurde eine kombinierte Abluft-Aussenluft-Wärmepumpenanlage untersucht. Die Pilotanlage soll dank einem doppelten, besonders gross dimensionierten Verdampfer hohe COP-Werte und einen tiefen Schalleistungspegel der Ausseneinheit erreichen. Der doppelte Verdampfer erlaubt das Abtauen eines Verdampfers parallel zum Wärmepumpenbetrieb.

Das Anlagenkonzept eignet sich insbesondere für Bestandsgebäude, bei denen aus Budgetgründen oder aufgrund von Auflagen der Denkmalpflege eine vollständige Wärmedämmung der Gebäudehülle oder der Einbau einer Zu-/Abluftanlage (Komfortlüftung) aus Platzgründen nicht möglich sind.

Die Pilotanlage erfüllt die hohen Anforderungen an den Schallschutz, die Jahresarbeitszahl blieb aber in der ersten Heizperiode hinter den Erwartungen zurück. Durch eine weitere Optimierung des Abtaubetriebs und eine Reduktion der Bereitschaftsverluste der Anlagensteuerung soll die Arbeitszahl weiter optimiert werden.

Abstract

Within the present P+D project, a combined exhaust air outdoor air heat pump system was investigated. The pilot plant is to achieve high COP values and a low sound power level of the outdoor unit thanks to a double, especially large-sized evaporator. The double evaporator allows the defrosting of one evaporator parallel to the heat pump operation of the other evaporator.

The plant concept is particularly suitable for existing buildings where a complete thermal insulation of the building envelope or the installation of a balanced ventilation system (comfort ventilation) are not possible for reasons of space or due to the requirements of the monument conservation.

The pilot plant fulfills the high requirements for the noise protection, but the annual energy performance ratio remained below expectations in the first heating season. A further optimization of the defrosting operation and a reduction in the standby losses of the plant control system are intended to further optimize the energy performance ratio.

Inhaltsverzeichnis

1.	Inhaltsverzeichnis.....	4
2.	Ausgangslage.....	5
3.	Zielsetzung	5
4.	Anlagenbeschrieb.....	5
4.1	Messkonzept	9
5.	Projektanpassungen und Terminverzögerung	10
6.	Ergebnisse.....	11
6.1	Energieeffizienz	11
6.2	Lärmschutz	12
7.	Schlussfolgerungen und Fazit	15
8.	Nationale Zusammenarbeit	15
9.	Ausblick	15

1. Ausgangslage

Ein Mehrfamilienhaus in der Quartiererhaltungszone in Zürich mit Baujahr 1894, soll energetisch erneuert werden. Aufgrund der grosszügig dimensionierten bestehen Heizkörper konnte die Heizvorlauftemperatur nach Umsetzung einer Reihe von Wärmedämmmassnahmen (Fensterersatz, Innendämmung Dach) reduziert werden. Dies ermöglicht nun, trotz Verzicht auf eine Wärmedämmung der Aus-senwände, den Einsatz einer Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser. Erdsonden sind aufgrund des kleinen Grundstücks nicht möglich. Daher soll der alte Ölkessel durch eine neue, besonders effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden.

2. Zielsetzung

Ziel der Eigentümer ist eine sanfte, schrittweise Erneuerung in bewohntem Zustand und unter Beibehaltung der ursprünglichen Gebäudecharakteristik. Zudem sollen die Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft gemäss SIA-Effizienzpfad Energie erreicht werden.

Zusätzlich sollen die im Rahmen der „Vertiefungsstudie «stadtverträgliche» Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger“ der Stadt Zürich definierten Anforderungen an Schallemissionen und Jahresarbeitszahl eingehalten werden.

Das vorliegende Projekt soll durch eine umfassende Erfolgskontrolle die Einhaltung der hohen Anforderungen überprüfen, eine weitere Optimierung der einzelnen Komponenten der Pilotanlage ermöglichen und die Erkenntnisse für weitere Interessierte aufbereiten und veröffentlichen.

3. Anlagenbeschrieb

Die 20 kW Wärmepumpe, eine neu entwickelte Pilotanlage der Firma Dolder Wärmetechnik AG, soll dank einem doppelten, besonders gross dimensionierten Verdampfer, hohe COP-Werte und einen tiefen Schalleistungspegel der Ausseneinheit erreichen. Der doppelte Verdampfer erlaubt das Abtauen eines Verdampfers parallel zum Wärmepumpenbetrieb. Diese sogenannte Bäckström-Schaltung soll bei tiefen Aussentemperaturen einen effizienteren Abtaubetrieb ermöglichen. Ein Teil der Heizwärme wird zudem mit einer zweiten kleinen Abluft-Wärmepumpe erzeugt. Die Abluft wird pro Wohnung in Küche und Bad abgesogen. Als Steigzone wird ein Kaminzug der früher mit Holzöfen beheizten Zimmer genutzt.

Diese Anlagenkonfiguration eignet sich insbesondere für die Erneuerung von geschützten Wohngebäuden im städtischen Umfeld, wo aufgrund geologischer oder räumlicher Gegebenheiten nur Aus-senluft und Abluft als Wärmequellen verfügbar sind.

Abb. 1 Energiekonzept

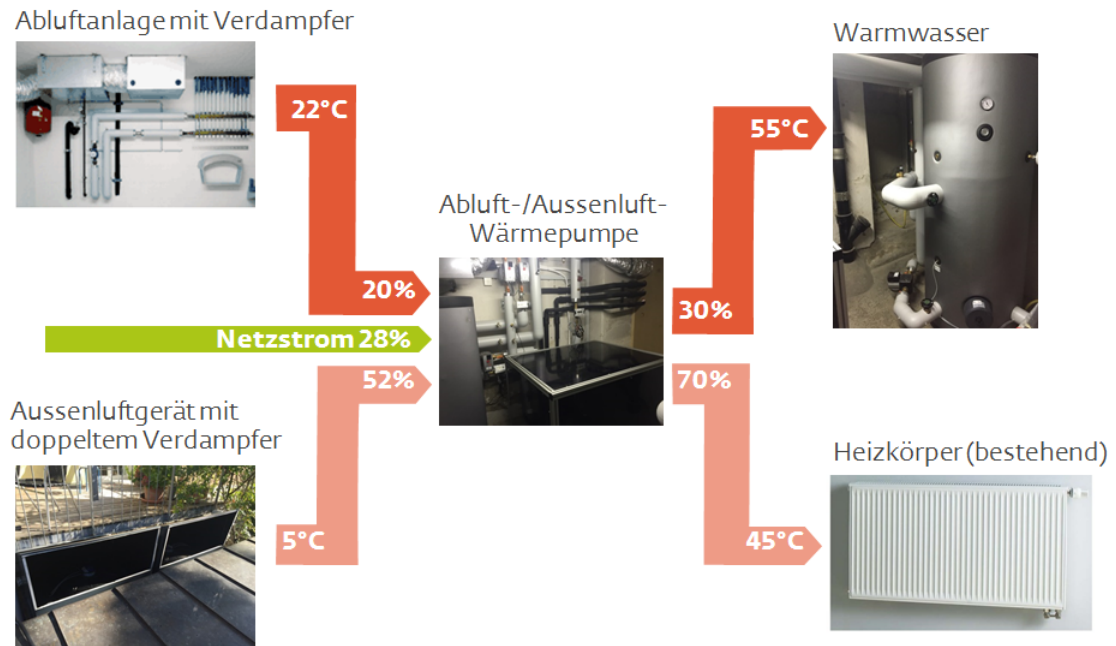


Abb. 2 Prinzipschema der Abluft-Aussenluft-Wärmepumpenanlage

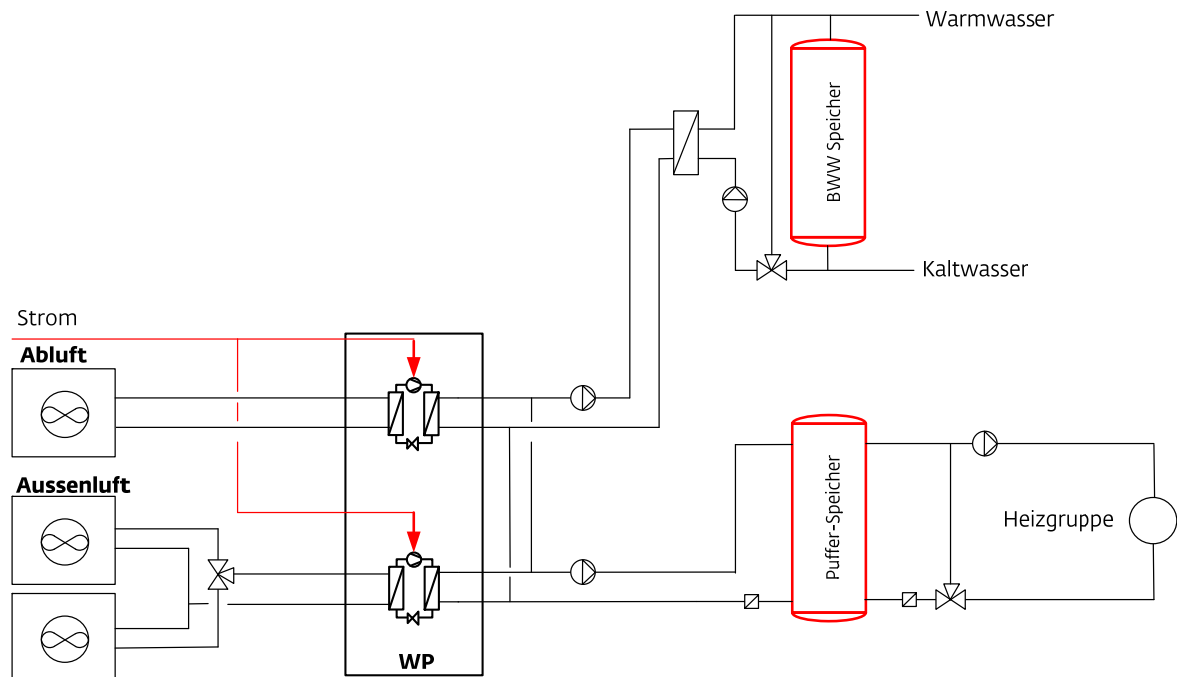


Abb. 3 Wärmepumpe und Pufferspeicher



Abb. 4 Abluftanlage mit internem Verdampfer



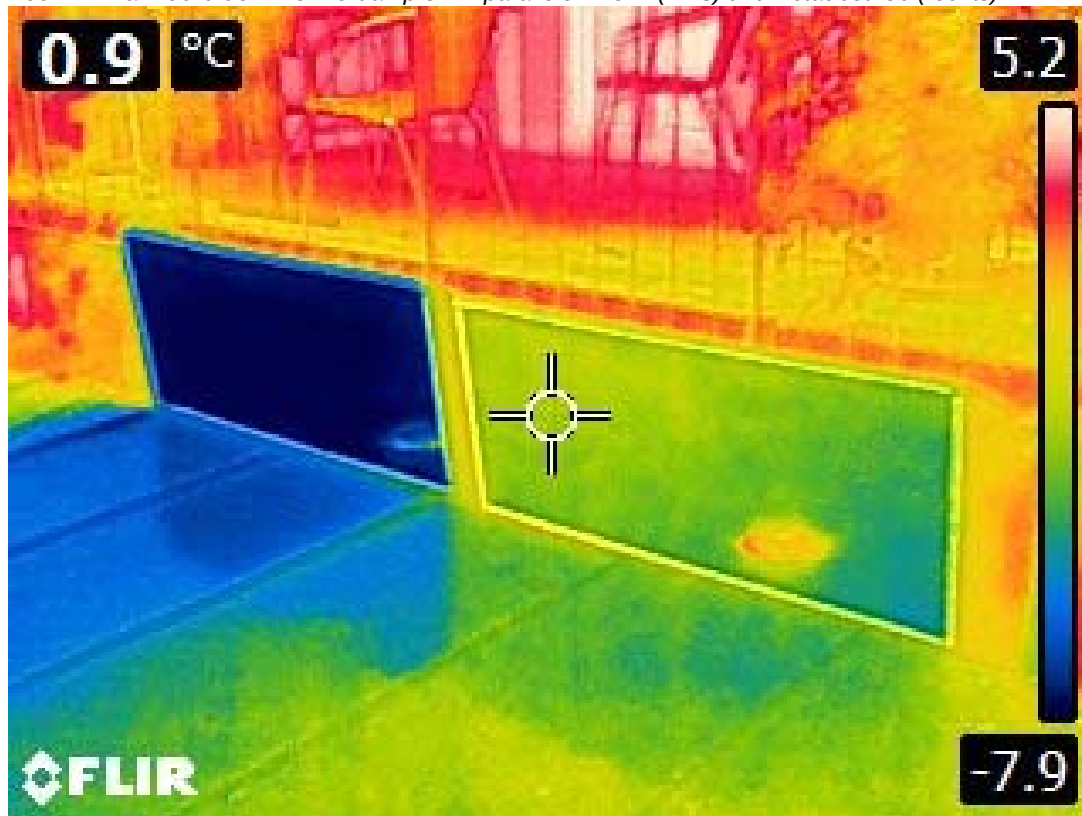
Abb. 5 Zwei Tischverdampfer als Ausseneinheit mit Fortlufthauben



Abb. 6 Luftaustritt der beiden Verdampfer



Abb. 7 Wärmebild der zwei Verdampfer im parallelen Heiz- (links) und Abtaubetrieb (rechts)



3.1 Messkonzept

Im Rahmen des P+D-Projekts wurden die folgenden Messdaten im Zeitraum Juli 2015 bis Juni 2016 erfasst:

- Wärmeproduktion für Heizung und Warmwasser mit zwei M-Bus Wärmezählern
- Elektrischer Energieverbrauch der Wärmepumpen inkl. aller Hilfsantriebe mit einem privaten M-Bus Elektrozähler
- In drei Wohnungen jeweils im Schlaf- und Wohnzimmer: Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration
- Punktuell: in drei Wohnungen Luftmengen pro Ablufteinlass
- Punktuell: Schallleistungspegel der Ausseneinheit

4. Projektanpassungen und Terminverzögerung

Zwischen der ursprünglichen Planung und der Ausführung musste das Konzept der Pilotanlage angepasst werden. Auf Wunsch der Eigentümer wurde die Abluftmenge von einer kontrollierten, kontinuierlichen Lüftererneuerung (450 m³/h) auf eine Grundlüftung zum Feuchteschutz in den Badezimmern (200 m³/h) reduziert. Die Heizleistung der Abluft-Wärmepumpe liegt damit nur noch bei 2.2 statt bei den ursprünglich vorgesehenen 5 kW. Die Heizleistung der Aussenluft-Wärmepumpe musste auf 20 kW (A2/W35) erhöht werden. Die Effizienz der kombinierten Anlage ist nun in Folge dieser Anpassungen primär durch die Aussenluft-Wärmepumpe bestimmt.

Aufgrund von geänderten Anforderungen der Stockwerkeigentümergeinschaft bezüglich der Anordnung der Ausseneinheit der Luft/Wasser-Wärmepumpe sowie aufgrund von Kapazitätsengpässen der Herstellerfirma, konnte die Anlage erst im Juni 2015 in Betrieb gesetzt werden. Gegenüber dem ursprünglichen Terminplan im Gesuch vom 29.05.2013 ergab sich dadurch eine Verzögerung von rund 12 Monaten.

	Termin Meilenstein	
	Gesuch	Projekt
Unterzeichnung Subventionsvertrag	Jun. 2013	23.12.2013
Abschluss Projektierung	Aug. 2013	Aug. 2014
Baufreigabe	Aug. 2013	Dez. 2014
Inbetriebsetzung	Sep. 2013	Mai 2015
Abnahme	Sep. 2013	Jun. 2015
Messungen:		
Messkonzept	-	Dez. 2014
Messbericht (Energieeffizienz, Lärmschutz)	Jun. 2015	Sep. 2016
Berichterstattung und Kommunikation:		
Schlussbericht, Artikel, Fachbeiträge	Jun. 2015	Dez. 2016

5. Ergebnisse

5.1 Energieeffizienz

Die Arbeitszahl der Pilotanlage ist in Abb. 8 dargestellt. Dabei wird zwischen der Wärmepumpe (Verdichter der kombinierten Aussenluft-Abluft-Wärmepumpe) und der gesamten Heizanlage inkl. aller Hilfsenergien für Umwälzpumpen, Abluftventilator, Steuerung und Messung unterschieden. Der parallele Abtaubetrieb mit dem doppelten Verdampfer der Aussenluft-Wärmepumpe konnte erst im Dezember 2015 vollständig einreguliert werden. Aufgrund der häufigen Abtauzyklen im Testbetrieb ist die Arbeitszahl im Dezember 2015 vorübergehend eingeknickt.

Abb. 8 Arbeitszahl der Wärmepumpe sowie der gesamten Heizanlage (inkl. Abluftanlage, Umwälzpumpen, Steuerschrank und Messgeräte) pro Monat. Messperiode: Juli 2015 bis Juni 2016. Im Dezember 2015 fiel die Arbeitszahl durch der Einregulierung des Abtauzyklus stark ab.

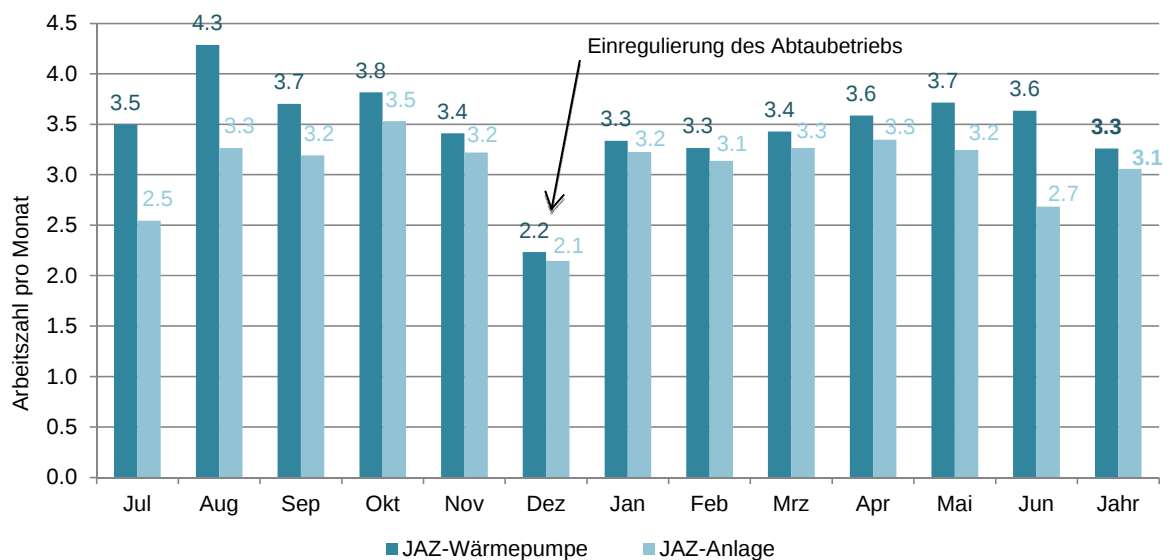
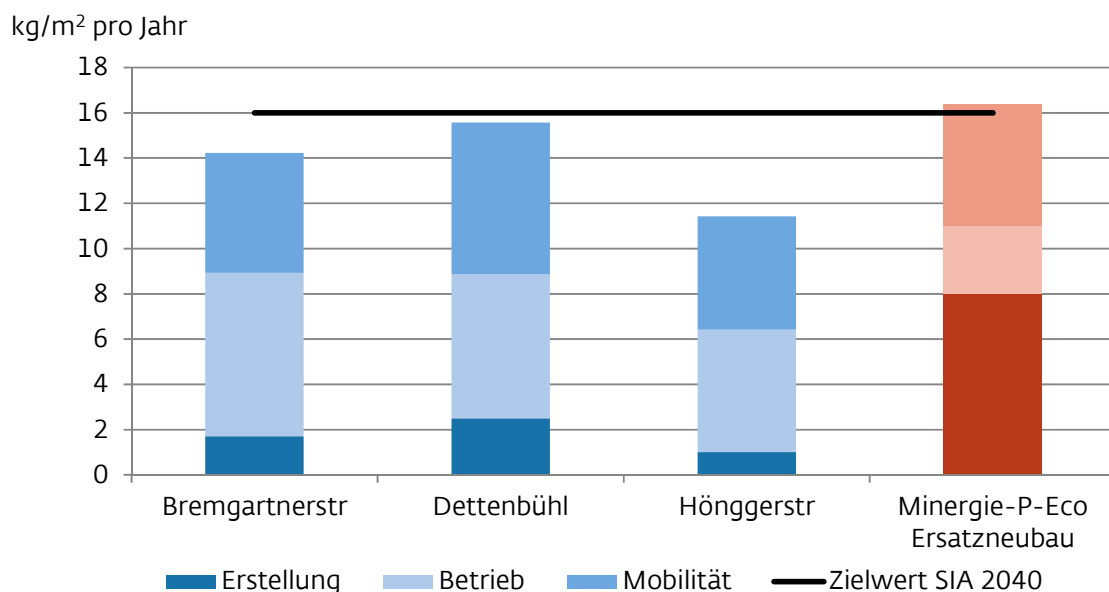


Abb. 9 Treibhausgasbilanz des P&D-Projekts an der Hönggerstrasse gemäss SIA 2040 im Vergleich zu anderen Erneuerungsprojekten sowie im Vergleich zu einem sehr effizienten Ersatzneubau (Stromprodukt Betrieb: CH-Verbrauchermix)



Die gemessene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in der ersten Heizperiode liegt bei 3.3 bzw. inkl. aller Hilfsenergien bei 3.1. Die erwartete Jahresarbeitszahl von über 3.5 konnte somit noch nicht erreicht werden. Besonders im reinen Warmwasserbetrieb im Sommer drückt der Hilfsenergieverbrauch auf die Arbeitszahl. Alleine die Regelung der beiden elektronischen Expansionsventile verursacht einen permanenten Bereitschaftsverbrauch von 40 W.

Die Einregulierung des parallelen Abtau- und Wärmepumpenbetriebs hat sich als anspruchsvoll erwiesen. Zu Beginn der ersten Kälteperiode im Dezember 2015 sind mehrmals beide Verdampfer komplett zugefroren. Um weitere Betriebsstörungen zu vermeiden, musste die Abtauung zunächst wesentlich konservativer eingestellt werden. Im Verlaufe der folgenden Wochen konnten die Parameter zur Regelung des Abtaubetriebs wieder schrittweise näher an das energetische Optimum herangeführt werden. Es wird daher erwartet, dass die Jahresarbeitszahl in der zweiten Heizperiode höher ausfallen wird.

5.2 Lärmschutz

Die beiden Verdampfer der Aussenluftwärmepumpen wurden nicht nur bezüglich Energieeffizienz sondern gleichzeitig auch bez. Lärmschutz optimiert. Die speziell leisen Ventilatoren („Eulenflügel“ FE2owlet von Ziehl-Abegg) in Kombination mit einem grossen Lammellenabstand der Verdampfer zeigen Wirkung: der im Luftauslass gemessene Schallleistungspegel liegt bei 58.7 dB(A). Bereits in 2 m Abstand vom Luftauslass ist der Schalldruckpegel des Aussengeräts (47.7 dB(A)) vor dem Hintergrundrauschen der Stadt (55 dB(A)) nicht mehr wahrnehmbar. In 10 m Abstand liegt der Immissionswert noch bei 33 dB(A).

Abb. 10 Flüsterleiser Ventilator: „Eulenflügel“ FE2owlet von Ziehl-Abegg



Abb. 11 Messung des Schalleistungspegels im Luftauslass



Abb. 12 Gemessener Schalleistungspegel je Terzband

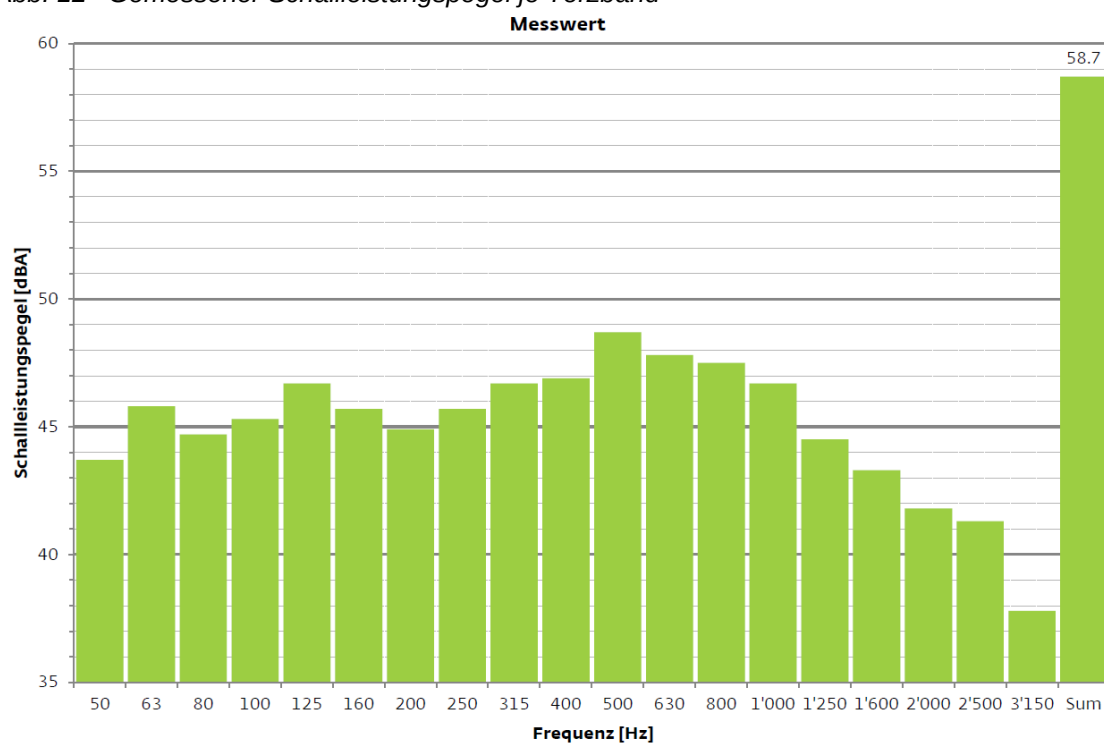


Abb. 13 Berechneter Schalldruckpegel in unterschiedlichen Abständen von der Quelle

1.2 Schalleistungspegel

Der Schalleistungspegel L_{WA} gibt an, wie viel Schall eine Maschine insgesamt erzeugt. Der Pegel hängt von der Intensität der abgestrahlten Schallwellen und von der Größe der Maschine ab (Bild 1).

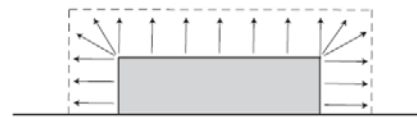


Bild 1
Der Schalleistungspegel informiert über die gesamte Schallabstrahlung einer Maschine.

• Messfläche S in m^2

Fiktive Messoberfläche um den Messgegenstand, auf der die Mikrofonpositionen liegen.
Die Messfläche endet auf einer oder mehreren reflektierenden Ebenen.

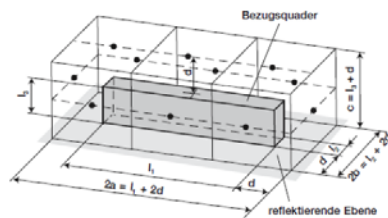


Bild 11
Beispiel einer Messfläche und der Mikrofonpositionen für eine lange Maschine.

Messresultate umgerechnet

L_{pA}	58.7 dBA	L_{WA}	
Fläche S	1 m^2		58.7 dBA
Fläche S	2 m^2		61.7 dBA
Fläche S	3 m^2		63.5 dBA
Fläche S	4 m^2		64.7 dBA

Umrechnung auf Immissionen ($L_{WA} = 58.7$ dBA)		L_{pA}	
Abstand	1 m		53.7 dBA
	2 m		47.7 dBA
	5 m		39.7 dBA
	10 m		33.7 dBA
	20 m		27.7 dBA

Umrechnung auf Immissionen ($L_{WA} = 64.7$ dBA)		L_{pA}	
Abstand	1 m		59.7 dBA
	2 m		53.7 dBA
	5 m		45.8 dBA
	10 m		39.7 dBA
	20 m		33.7 dBA

9.1 Berechnung des A-bewerteten Schalleistungspegels

Der A-bewertete Schalleistungspegel L_{WA} wird wie folgt berechnet:

$$L_{WA} = L_{p(A)} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad [dB] \quad [GL 19]$$

$L_{p(A)}$ = A-bewerteter Messflächenschalldruckpegel nach Gleichung 18
 S = Inhalt der Messfläche [m^2]
 S_0 = 1 m^2

6. Schlussfolgerungen und Fazit

Die wichtigsten Erkenntnisse aus dem P+D-Projekt lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die untersuchte Abluft-Aussenluft-Wärmepumpe mit doppeltem Verdampfer erfüllt die hohen Anforderungen an den Schallschutz.
- Die Jahresarbeitszahl blieb in der ersten Heizperiode hinter den Erwartungen zurück. Eine weitere Optimierung des Abtaubetriebs und eine Reduktion der Standby-Verluste der Anlagensteuerung sollte in der zweiten Heizperiode zu höheren Arbeitszahlen führen.
- Auch bei einer weiteren Steigerung der Arbeitszahl stellt sich die Frage, ob sich der hohe analgentechnische Aufwand für den doppelten Verdampfer mit alternierendem Abtaubetrieb tatsächlich für eine Massenproduktion eignet. Insgesamt scheint der Weg zu einem marktkonformen Serienprodukt bei dieser Pilotanlage noch recht weit.

Unabhängig davon eignet sich Anlagenkonzept insbesondere für Bestandsgebäude, bei denen aus Budgetgründen oder aufgrund von Auflagen der Denkmalpflege eine vollständige Wärmedämmung der Gebäudehülle oder der Einbau einer Zu-/Abluftanlage (Komfortlüftung) aus Platzgründen nicht möglich sind. Kombinierte Abluft-Aussenluft-Wärmepumpen können somit einen relevanten Beitrag für die nachhaltige Transformation von Bestandsgebäuden ohne eine umfassende Gesamterneuerung leisten. Gemäss einer Studie zur Entwicklung des Gebäudeparks der Schweiz¹, werden im Jahr 2050 gut 40 % der Gebäude nicht oder nur teilweise energetisch erneuert sein. Damit auch diese Gebäude in Zukunft ohne fossile Brennstoffe beheizt werden können, sind Kompromisse bezüglich Energieeffizienz, Luftqualität und thermischem Komfort nötig. Für dieses Segment des Gebäudeparks eignen sich Abluft-Aussenluft-Wärmepumpen gut. Gegenüber energetisch optimalen Neubauten, werden diese teilsanierten Gebäude zwar eine höhere Energiekennzahl von rund 50 statt 30 kWh/m² aufweisen. Die anspruchsvollen Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft insbesondere im Bereich der Treibhausgasemissionen erfüllen sie aber dank der geringen baulichen Aufwendungen besser und zu wesentlich tieferen ökonomischen und sozialen Kosten als der beste Ersatzneubau.

7. Nationale Zusammenarbeit

Ein Austausch mit dem Projekt „Vertiefungsstudie «stadtverträgliche» Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger“ der Stadt Zürich, Umwelt- und Gesundheitsschutz (Kontakt: Georg Hafner, georg.hafner@zuerich.ch, 044 412 20 28) ist vorgesehen.

Eine internationale Zusammenarbeit war im Rahmen des vorliegenden P&D-Projekts nicht vorgesehen.

8. Ausblick

Weitere Massnahmen zur Optimierung des Abtaubetriebs werden geprüft, z.B. der Einbau eines zusätzlichen Ventils zur präziseren Verteilung des Kältemittels auf die beiden Verdampfer.

¹ M. Jakob et al., „Erweiterung des Gebäudeparkmodells gemäss SIA-Effizienzpfad Energie“, BFE-Vertragsnummer: SI/500984-01, Schlussbericht Juni 2016