



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Erneuerbare Energien

Bericht vom 16. Juni 2022

Einsatz von mittelgrossen Luft/Wasser- Wärmepumpen

Leistungsbereich 50 - 120 kW

Gross dimensionierte Anlagen

Weisskopf Partner GmbH

Datum: 16.06.2022

Ort: Zürich

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer/in:

Weisskopf Partner GmbH
Albisriederstrasse 184 b, CH-8047 Zürich
www.weisskopf-partner.ch

Autor/in:

Rita Hefti, Weisskopf Partner GmbH, rita.hefti@weisskopf-partner.ch
Benjamin Marti, Weisskopf Partner GmbH, benjamin.marti@weisskopf-partner.ch

BFE-Projektleitung: Rita Kobler, Rita.Kobler@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/402921-01

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

Einsatz von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

Bundesamt für Energie BFE

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen; Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Zusammenfassung	7
2 Einleitung	9
2.1 Ausgangslage	9
2.2 Fragestellung	9
3 Definitionen	11
3.1 Kaskadenanlage mit Standard-Geräten	11
3.2 Spezial-Anlagen (Einzelfertigungen)	11
3.3 Produkte aus der Kältetechnik (reversible Anlagen, Kaltwassersätze)	12
4 Fachinterviews	13
4.1 Vorgehen Interviews	13
4.2 Interview mit Herstellern	13
4.3 Interview mit Anlagenbetreibern	13
4.4 Fazit Interview mit Herstellern und Anlagenbetreibern	14
5 Vergleich und Beurteilung von Luft/Wasser-Wärmepumpen	15
5.1 Effizienz von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen	15
5.1.1 Abtauprozess	15
5.1.2 Leistungsregulierung	16
5.2 Fehleranfälligkeiten von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen	16
5.2.1 Fehleranfälligkeiten bei der Planung	16
5.2.2 Fehleranfälligkeiten bei der Erstellung	17
5.2.3 Fehleranfälligkeiten bei der Regelung	17
5.3 Kosten von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen	18
5.3.1 Typisches Anlagebeispiel als Grundlage für Referenzkosten	18
5.3.2 Kostenvergleich mittelgrosse Luft/Wasser-Wärmepumpen	19
6 Schlussfolgerungen	21
6.1 Effizienz	21
6.2 Fehler-Anfälligkeiten	21
6.3 Kosten	22
6.4 Matrix mittelgrosse Luft/Wasser-Wärmepumpen im Vergleich	23

Literaturverzeichnis	24
Anhang	25
Einzelassagen Interview mit Herstellern und Anlagenbetreibern.....	25

Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
COP	Coefficient of Performance
EHPA	European Heat Pump Association
FWS	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz
LSV	Lärmschutz-Verordnung
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance
WPSM	Wärmepumpen-System-Modul

1 Zusammenfassung

Luft/Wasser-Wärmepumpen sind heute aufgrund ihrer Kosten und der Einfachheit die meisteingebaute Wärmeerzeugungsanlage im kleineren Leistungsbereich und haben sich vor allem bei Einfamilienhäusern und kleineren Mehrfamilienhäusern sehr bewährt. Bei grösseren Heizleistungen kommen Luft/Wasser-Wärmepumpen noch deutlich weniger zum Einsatz, auch da auf dem Markt heute nur wenige Standardlösungen ab 50 kW zur Verfügung stehen. Alternativ kommen deshalb folgende Anlagentypen in Frage:

- Kaskadenanlage mit Standard-Geräten
- Spezial-Anlagen (Einzelfertigungen)
- Produkte aus der Kältetechnik (reversible Anlagen, Kaltwassersätze)

In der vorliegenden Studie wurden die Unterschiede sowie die Vor- und Nachteile der verschiedenen Anlagentypen untersucht. Dabei wurde der Fokus hauptsächlich auf die drei Themenbereiche Effizienz der Anlagen, Anfälligkeit auf Planungs-, Erstellungs- und Regelungsfehler und Anlagekosten gelegt. Die Studie konzentriert sich auf Anwendungen im Wohnungsbau.

Bei der Kaskadierung werden mehrere Luft/Wasser-Wärmepumpen zusammengeschaltet, um einen grösseren Leistungsbereich abzudecken. Für mittelgrosse Anlagen im Gebäudebereich werden dazu in der Regel Standard-Geräte verwendet. Mit einer individuellen Regelung kann die Laufzeit der einzelnen Geräte gesteuert werden. Der grosse Vorteil bei einer Kaskadierung ist, dass Standard-Geräte heute häufig moduliert werden können und der Verdichter entsprechend stufenlos betrieben wird.

Spezial-Anlagen werden in der Schweiz von einigen wenigen Herstellern angefertigt. Die Ausführung der Anlagen kann individuell geplant und auf das Objekt und die Platzverhältnisse abgestimmt werden. Dies kann vor allem auf dem Sanierungsmarkt bei schwierigen Aufstellungs- oder Einbringungsverhältnissen von Vorteil sein.

In der Kältetechnik eingesetzte Kaltwassersätze lassen sich bei reversiblen Betrieb teilweise auch als Wärmepumpe nutzen. In der Schweiz gibt es keine Hersteller von Kaltwassersätzen, diese werden hauptsächlich im Ausland produziert. Die Geräte sind oftmals nicht für den Schweizer Markt konzipiert und werden hauptsächlich für Kälteanwendungen hergestellt, die Wärmenutzung ist zweitrangig.

Im Vergleich der einzelnen Anlagentypen und bei der Befragung verschiedener Hersteller zeigen sich folgende Punkte:

Generell sind Standard-Geräte sowie auch Spezial-Anlagen gut entwickelt. Bei der Weiterentwicklung von Kompressoren und Ventilatoren wird das Potential zur Steigerung der Energieeffizienz als gering eingeschätzt. Die Optimierung des Abtauprozesses sowie auch eine Weiterentwicklung bei den Lamellenwärmetauschern und die Optimierung der Luftführung bergen jedoch noch weiteres Potential zur Steigerung der Energieeffizienz.

Während die Entwicklung von einzelnen Standard-Geräten schon weit fortgeschritten ist, kann die Regelung von Kaskadenanlagen aktuell noch eine Herausforderung sein. Je nach Hersteller sind die Kaskadenregelungen teilweise noch nicht ausgereift. Eine gute Kaskadenregelung sorgt für einen Laufzeitabgleich, damit die Geräte gleichmässig belastet werden und die Lebensdauer der Geräte nicht verkürzt wird. Standardmässig werden je nach Hersteller bis zu sechs Geräte in Kaskade geschaltet.

Kaltwassersätze haben meist höhere Schallemissionen als Standard-Wärmepumpen, weswegen damit die heutigen Anforderungen gemäss der Lärmschutz-Verordnung (LSV) in vielen Situationen nicht erreicht werden können. Kaltwassersätze werden somit überwiegend im Industrie- und Gewerbebereich eingesetzt und sind für den Wohnungsbau nur bedingt geeignet.

Die Themen Schall, Ökologie, Effizienz und Optik widersprechen sich in vielen Fällen und führen zu einem Zielkonflikt. Dies macht die Realisation von Luft/Wasser-Wärmepumpen heute zum Teil sehr schwierig. Ansätze zur Vereinfachung sind kantonsweise mit Änderungen der Lärmschutzanforderungen absehbar. Jedoch wird die Thematik auch zukünftig eine Herausforderung bleiben.

Es sind Entwicklungen im Gange für neue, grössere Standard-Geräte, auch mit natürlichem Kältemittel. Gemäss Herstellerangaben ist damit zukünftig der breite Einsatz bei grösseren Objekten vorgesehen. Der Einsatz von natürlichen Kältemitteln ist aufgrund der Brennbarkeit oder der Toxizität in der Planung und Ausführung anspruchsvoller als bei Anlagen mit FKW/HFKW-Kältemittel. Bei Standard-Geräten ist jedoch häufig kein Planer involviert, diesbezüglich sind Vorkehrungen zum sicheren Einsatz der Anlagen zu treffen.

Ein einfacher Kostenvergleich für ein typisches Anlagebeispiel zeigt, dass die groben Investitionskosten für Kaltwassersätze am tiefsten ausfallen. Wichtig zu erwähnen ist jedoch, dass die berücksichtigten Geräte die Vorgaben an die Schallemissionen nicht erfüllen. Kaskadenanlagen liegen im mittleren Kostenbereich und Spezial-Anlagen weisen die höchsten Kosten auf. Die Investitionskosten für Kaskadenanlagen verhalten sich gegenüber der Anlagenleistung insgesamt eher linear, während die Kosten für Spezial-Anlagen mit steigender Leistung nur unterproportional zunehmen.

Grundsätzlich konkurrenzieren sich Spezial-Anlagen und Kaskadenanlagen im Einsatz kaum. Kaskadenanlagen kommen aufgrund der maximalen Geräteanzahl und auch hinsichtlich des Platzbedarfes irgendwann an ihre Einsatzgrenzen. Ab diesem Punkt kommen häufig nur noch Spezial-Anlagen in Frage. Auch kostenseitig spricht der höhere Leistungsbereich eher für Spezial-Anlagen, während im kleineren Leistungsbereich Kaskadenanlagen deutlich kostengünstiger zu realisieren sind.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage

Der Ausbau der erneuerbaren Energien und die Dekarbonisierung sind Teil der Energiestrategie 2050, des CO₂-Gesetzes und der kantonalen Energiegesetze.

Im Gebäudebereich sind Luft/Wasser-Wärmepumpen heute aufgrund ihrer Kosten und der Einfachheit beim Einbau mengenmässig die meisteingebaute erneuerbare Heizung. Vor allem bei Einfamilienhäusern und grundsätzlich auch beim Neubau von Mehrfamilienhäusern haben sie sich sehr bewährt. Wenn keine anderen erneuerbaren Energiequellen zugänglich sind, d.h. Erdsonden nicht möglich sind, Grund- oder Oberflächenwasser nicht verfügbar ist und auch kein Energieverbund geplant ist, bleiben Luft/Wasser-Wärmepumpen häufig auch die einzige realisierbare Option für eine fossilfreie Heizung.

Bei grösseren Heizleistungen, die z.B. bei bestehenden/sanierten Mehrfamilienhäusern benötigt werden, kommen Luft/Wasser-Wärmepumpen noch deutlich weniger zum Einsatz. In diesem Bereich werden immer noch häufig fossile Heizungen durch neue fossile Heizungen ersetzt. Die Gründe dafür sind vielfältig:

- Keine Verfügbarkeit von Standardlösungen
- Platzbedarf, insbesondere im städtischen Umfeld
- Schallemissionen von grösseren Luft/Wasser-Wärmepumpen

Um aufzuzeigen, dass trotzdem gute Lösungen möglich sind, wurden bereits verschiedene Studien verfasst, u.a.:

- Heizungsersatz durch L/W-WPs in Mehrfamilienhäusern, Übersicht über realisierte Projekte, Studien und Fördermittel der Kantone (Energie Zukunft Schweiz, 2018)
- L/W-WPs im städtischen Bestand (Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, 2019)
- Rapport «PAC air-eau», Remplacement de chaudières classiques à mazout, à gaz ou électrique en milieu urbain : scénarii de remplacement, analyse des coûts et des contraintes (BG Ingénieurs Conseils SA, 2019)

Diese Studien bezogen sich v.a. auf die technische und bauliche Machbarkeit und die Präsentation von «guten Beispielen».

2.2 Fragestellung

Bei neu installierten Heizungsanlagen im kleineren Leistungsbereich bis 13 kW werden hauptsächlich Wärmepumpen eingesetzt. Im mittleren und grösseren Leistungsbereich hingegen wurden im Jahr 2018 immer noch mehr fossile Feuerungen als Wärmepumpen verkauft (siehe Abbildung 1, BFE 2019a). Die Anzahl der tatsächlich verkauften Wärmepumpen dürfte zwar noch etwas höher sein, da nur Hersteller mit einer FWS-Mitgliedschaft erfasst wurden. Dies hat aber keinen Einfluss auf diese grundsätzliche Feststellung.

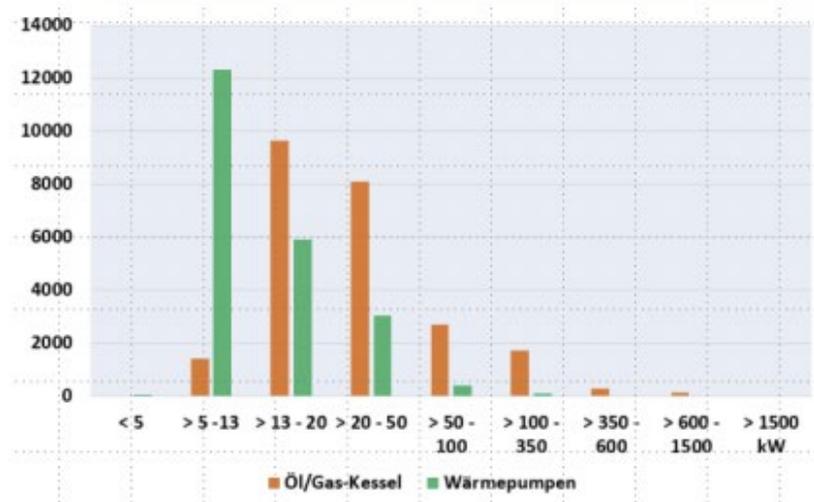


Abbildung 1: Aufteilung der Verkaufszahlen in Stück im Jahr 2018 (BFE 2019a)

Sollen zukünftig bestehende und neue Gebäude im mittleren und grösseren Leistungsbereich mit einer Wärmepumpe beheizt werden, müssen somit gute Alternativen zu Öl- und Gasfeuerungen geschaffen werden. Dabei sind Luft/Wasser-Wärmepumpen häufig die einzige Möglichkeit, wenn keine anderen erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung stehen. Für grössere Anlagen im Leistungsbereich ab 50 kW sind auf dem Markt aber nur wenige Standardlösungen verfügbar. Alternativ kommen deshalb folgende Anlagentypen in Frage:

- Kaskadenanlage mit Standard-Geräten
- Spezial-Anlagen (Einzelfertigungen)
- Produkte aus der Kältetechnik (reversible Anlagen, Kaltwassersätze)

In der vorliegenden Studie werden diese Anlagentypen hauptsächlich hinsichtlich der folgenden drei Themenbereiche untersucht und verglichen:

- Effizienz der Anlagen
- Anfälligkeit auf Planungs-, Erstellungs- und Regelungsfehler
- Anlagekosten

Die Themenbereiche Schallemissionen und Kältemiteleininsatz werden zwar miteinbezogen, stehen aber nicht im Fokus der Studie. Fest steht jedoch, dass die Themen Schall und Kältemittel stark im Zusammenhang mit den Themen Effizienz und Kosten stehen und nicht komplett ausgeklammert werden dürfen.

3 Definitionen

Im Jahr 2020 wurden 28'000 Wärmepumpen verkauft¹, rund 80% davon sind Kleinanlagen bis 20 kW. Knapp ein Drittel aller verkauften Wärmepumpen sind aussenaufgestellte Luft/Wasser-Wärmepumpen für Gebäude mit einem Wärmeleistungsbedarf unter 20 kW. Bei Anlagen über 20 kW haben Sole/Wasser-Wärmepumpen den grössten Marktanteil (Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz 2021). Daraus lässt sich schliessen, dass Luft/Wasser-Wärmepumpen über 20 kW heute keinen grossen Anwendungsbereich finden.

Eine Marktrecherche zeigt, dass Wärmepumpenhersteller Standard-Geräte bis ca. 30 kW herstellen. Für grössere Leistungsbereiche kommen Produkte aus der Kältetechnik (reversible Anlagen) oder Spezial-Anlagen zum Einsatz. Eine weitere Möglichkeit grössere Leistungsbereiche abzudecken, ist die Kaskadierung von mehreren Standard-Geräten. Mit diesen drei Anlagentypen können je nach Situation bis zu mehreren hundert Kilowatt Leistungsbedarf abgedeckt werden. Entsprechend wird das Leistungsspektrum von Luft/Wasser-Wärmepumpen (bei A-7/W35) in dieser Studie in folgende Bereiche unterteilt:

- Kleine Anlagen bis 50 kW
- Mittलगrosse Anlagen von 50 - 120 kW
- Grosse Anlagen ab 120 kW

Nachfolgend werden die drei Anlagentypen genauer vorgestellt.

3.1 Kaskadenanlage mit Standard-Geräten

Bei der Kaskadierung werden mehrere Luft/Wasser-Wärmepumpen zusammengeschaltet, um einen grösseren Leistungsbereich abzudecken. Für mittलगrosse Anlagen im Gebäudebereich werden dazu in der Regel Standard-Geräte verwendet. Mit einer individuellen Regelung kann die Laufzeit der einzelnen Geräte gesteuert werden. Der grosse Vorteil bei einer Kaskadierung ist, dass Standard-Geräte heute häufig moduliert werden können und der Verdichter entsprechend stufenlos betrieben wird. Dies verbessert die Effizienz der Anlage. Ausserdem ist eine gute Versorgungssicherheit gewährleistet, da die Anlagen mit mehreren Modulen betrieben werden. Kaskadenanlagen können als innen- oder aussenaufgestellte Anlage realisiert werden. Im Leistungsbereich ab 50 kW ist eine Innenaufstellung aber aufgrund der grossen Luftvolumenströme und der daraus resultierenden grossen Lüftungskanäle häufig schwieriger zu realisieren.

3.2 Spezial-Anlagen (Einzelanfertigungen)

In der Schweiz bieten einige wenige Hersteller die Einzelanfertigung von Luft/Wasser-Wärmepumpen an. Die Ausführung der Anlagen kann individuell geplant und auf das Objekt und die Platzverhältnisse abgestimmt werden. Dies kann vor allem auf dem Sanierungsmarkt bei schwierigen Aufstellungs- oder

¹ Nur Hersteller mit FWS-Mitgliedschaft berücksichtigt

Einbringungsverhältnissen von Vorteil sein. Die Anlagen können ausserdem optimal auf die Betriebsbedingungen ausgelegt und dimensioniert werden.

3.3 Produkte aus der Kältetechnik (reversible Anlagen, Kaltwassersätze)

Kaltwassersätze sind Geräte aus der Kältetechnik, welche als Kühlmedium kein Kältemittel nutzen, sondern Wasser oder Wasser-Glykol-Gemische. Das Kältemittel wird lediglich zur Kälteerzeugung eingesetzt, das Prinzip entspricht damit der Funktionsweise einer Wärmepumpe. Somit lassen sich Kaltwassersätze bei reversiblen Betrieb teilweise auch als Wärmepumpe nutzen. Ausgezeichnet werden die reversiblen Anlagen durch einen luft- oder wassergekühlten Wärmetauscher, welcher gleichzeitig zum Heizen und zum Kühlen genutzt werden kann. In der vorliegenden Studie werden luftgekühlte Anlagen für den Gebäudebereich berücksichtigt. In der Regel kommen für diesen Einsatzbereich kompakte Einheiten im Aussenbereich zum Einsatz. Die Anlage lässt sich jedoch auch als Splitanlage mit einer Innen- und Ausseneinheit ausführen. Kaltwassersätze werden aktuell überwiegend im Industrie- und Gewerbebereich eingesetzt.

4 Fachinterviews

4.1 Vorgehen Interviews

Um einen aktuellen Überblick über den Stand der heute eingesetzten Luft/Wasser-Wärmepumpen im mittleren Leistungsbereich zu erhalten, wurden verschiedene Interviews geführt. Einerseits wurden dazu vier Hersteller zur aktuellen und zukünftigen Marktsituation befragt, andererseits wurden drei Anlagen vor Ort besichtigt und auf die untersuchten Kriterien geprüft. Der Fokus der Interviews lag auf folgenden Themen:

- Effizienz von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen
- Anfälligkeit auf Planungs-, Erstellungs- und Regelungsfehler
- Kosten

Die Interviews wurden protokolliert. Eine Auswahl der wichtigsten Erkenntnisse wird im Anhang erwähnt. Grundsätzlich ging es bei den Interviews darum, ein Gesamtbild zu entwickeln und verschiedene Expertenmeinungen zu sammeln. Die Einzelaussagen der Hersteller unterliegen einer gewissen Beeinflussung und wurden entsprechend für den Bericht reflektiert und so weit als möglich überprüft.

4.2 Interview mit Herstellern

Die Interviews mit den Herstellern liefern einen guten Einblick in die derzeitige Marktsituation. Für die Interviews wurden Hersteller von Standard-Geräten und Spezial-Anlagen berücksichtigt, um möglichst die komplette Produktpalette abzubilden. Grundsätzlich wurden Hersteller berücksichtigt, welche selbst Anlagen produzieren und nicht nur ausschliesslich vertreiben. Hersteller von Anlagen aus der Kältetechnik wurden dagegen nicht direkt befragt, jedoch bietet einer der befragten Hersteller reversible Kaltwassersätze im Verkauf an. Folgende Hersteller wurden befragt:

- Hersteller 1: Spezial-Anlagen
- Hersteller 2: Standard-Geräte u.a. mit Marktsegment Kaskadenanlagen
- Hersteller 3: Standard-Geräte, Spezial-Anlagen, Vertrieb von Kaltwassersätzen
- Hersteller 4: Standard-Geräte

4.3 Interview mit Anlagenbetreibern

Für die Interviews wurden ausgewählte Anlagenbetreiber berücksichtigt. Die Auswahl erfolgte rein zufällig. Die Anzahl realisierter Anlagen ist aus bereits erläuterten Gründen beschränkt. Darum liegt die Leistung der Spezialanlage über der in der Studie berücksichtigten Anlagengrösse. Auf die Erkenntnisse hat dies jedoch keinen Einfluss. Ein Betreiber mit Contracting-Erfahrung wurde berücksichtigt, dies hat weitere interessante Erkenntnisse auch von anderen Anlagen gebracht. Die Erkenntnisse aus den Interviews sind nicht mit Ergebnissen aus einer Feldstudie zu vergleichen, dafür müsste eine grössere

Anzahl an Objekten berücksichtigt werden. Jedoch war ein Einblick in objektspezifische Themenbereiche möglich, welche zum Gesamtbild der Studie beigetragen haben. Folgende Anlagen wurden besichtigt:

- Anlagenbetreiber 1: Spezial-Anlage 140 kW (A-7/W35), MFH, Baugenossenschaft
- Anlagenbetreiber 2: Kaskadenanlage, 2er Kaskade, 44 kW (A-7/W35), MFH, Contractingbetreiber
- Anlagenbetreiber 3: Kaskadenanlage, 4er Kaskade, 54 kW (A-7/W35), MFH, privater Betreiber

4.4 Fazit Interview mit Herstellern und Anlagenbetreibern

Die Interviews mit den Wärmepumpenherstellern haben gezeigt, dass aktuell eine starke Nachfrage nach Luft/Wasser-Wärmepumpen generell, aber auch im mittleren Leistungsbereich vorhanden ist. Ein Hersteller spricht von einem exponentiellen Wachstum in den letzten Jahren. Zukünftig liegt der Fokus der Hersteller einerseits in der Entwicklung von grösseren Standard-Geräten, um auch den mittleren Leistungsbereich besser abzudecken, aber auch in der Weiterentwicklung der Kaskadenanlagen und Spezial-Anlagen. Bei den Kaskadenanlagen zeigen sich grosse Unterschiede bei den befragten Herstellern. Bei einem Hersteller ist der Einsatz der Kaskadenanlagen weit etabliert und in den letzten zwei Jahren wurden mehrere hundert Anlagen im mittleren Leistungsbereich umgesetzt. Bei einem anderen Hersteller, welcher ebenfalls Kaskadenanlagen im Sortiment hat, wurden kaum Kaskadenanlagen realisiert. Einerseits, weil Kaskadenanlagen noch nicht lange angeboten werden und der Einsatz und die Regelung darum noch nicht ausgereift ist, und andererseits, weil der Einsatz auch eher zurückhaltend empfohlen wird und teilweise eher Spezial-Anlagen eingesetzt werden.

Der Einsatz von natürlichen Kältemitteln ist aufgrund der Brennbarkeit oder der Toxizität in der Planung und Ausführung anspruchsvoller als bei Anlagen mit FKW/HFKW-Kältemittel. Bei Spezial-Anlagen werden natürliche Kältemittel schon länger eingesetzt. Bei Standard-Geräten über 15 kW werden natürliche Kältemittel bisher kaum eingesetzt. Zukünftig ist jedoch gemäss Herstellerinterviews auch der breite Einsatz bei Standard-Geräten absehbar. Bei Standard-Geräten ist jedoch häufig kein Planer involviert, diesbezüglich sind Vorkehrungen zum sicheren Einsatz der Anlagen zu treffen.

5 Vergleich und Beurteilung von Luft/Wasser-Wärmepumpen

5.1 Effizienz von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird mit dem COP (Coefficient of Performanc) bewertet. Die Leistungsprüfung umfasst die Ermittlung der Heizleistung sowie der wärmeseitigen Leistungszahlen. Dieser Wert wird im Labor gemessen. Der SCOP (Seasonal COP) basiert auf den im Labor gemessenen COP-Werten bei mehreren Prüfpunkten und verschiedenen Wasser- und Luft-Temperaturen.

Bei anerkannten Prüfverfahren werden die Anforderungen der internationalen Prüfnorm EN 14511, EN 14825 oder EN 16147 und die erweiterten Anforderungen des EHPA-Prüfreglementes oder des EcoLabels berücksichtigt. Damit kann ein nationales oder ein internationales Gütesiegel erlangt werden.

Für den Vertrieb und Verkauf von serienmässig hergestellten Wärmepumpen bis 70 kW muss in der Schweiz ein Energieetikett vorgewiesen werden (BFE 2020). Gestützt auf die Energieetikette werden Mindesteffizienzwerte definiert, welche regelmässig verschärft werden sollen. Eine weitere Qualitätsauszeichnung ist das Wärmepumpen-Gütesiegel. Das Gütesiegel ist die Grundlage für die behördliche Förderung von Wärmepumpen. Die Anforderungen für das Gütesiegel sind im Gütesiegelreglement des europäischen Wärmepumpenverbandes EHPA festgelegt.

Das EHPA Gütesiegel-Reglement besagt, dass Wärmepumpen auf einem akkreditierten Prüfstand eine Mindesteffizienz erreichen müssen. Die minimale SCOP-Anforderung von Luft/Wasser-Wärmepumpen für Raumheizungen beträgt 3.5 (mittleres Klima, niedrige Temperaturanwendung).

Generell sind gemäss Herstellerinterviews Standard-Geräte sowie auch Spezial-Anlagen gut entwickelt. Bei der Weiterentwicklung von Kompressoren und Ventilatoren wird das Potential zur Steigerung der Energieeffizienz als gering eingeschätzt. Die Optimierung des Abtauprozesses sowie auch eine Weiterentwicklung bei den Lamellenwärmetauschern und die Optimierung der Luftführung bergen jedoch noch weiteres Potential zur Steigerung der Energieeffizienz.

5.1.1 Abtauprozess

In einer umfassenden Untersuchung der Hochschule Luzern wurde gezeigt, dass für eine bestmögliche Effizienz einer Wärmepumpe der Kompressor und der Ventilator zwingend leistungsgeregelt sein müssen. Eine weitere Massnahme, welche die Effizienz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe steigert, ist die konsequente Verwendung der Abtaung mit Ventilatornachlauf (BFE 2011). Dabei wird bei genügend hohen Lufttemperaturen mit Umgebungsluft und mit Hilfe des Ventilators der Verdampfer abgetaut. Dafür muss lediglich die Lufteintritts- sowie die Verdampfungstemperatur erfasst und in die Regelung integriert werden. Sind die Umgebungstemperaturen zu tief, kommen die klassischen Verfahren, d.h. die Heissgasabtaung oder die Prozessumkehrabtaung zum Einsatz. Obwohl der regelungstechnische Aufwand für eine Abtaung mit Ventilatornachlauf gering ist, bieten nur einige wenige Hersteller von Standard-Geräten die Abtaung mit Ventilatornachlauf an. Gemäss den Interviewrückmeldungen sind Spezial-Anlagen dagegen häufig mit Ventilatornachlauf ausgerüstet.

Ausserdem erfolgt bei Spezial-Anlagen meist eine bedarfsgeregelte Abtauung mit variablen Abtauintervallen und Abtauzeiten. Dadurch ist der Abtauprozess bei Spezial-Anlagen sehr effizient. Neben den klassischen Abtauverfahren kommen bei Spezial-Anlagen fallweise auch weitere Abtauverfahren (Warmsole/Thermobank) zum Einsatz, dies kann ebenfalls zur besseren Effizienz beitragen. Jedoch stellt sich gemäss Herstelleraussagen dabei häufig die Kosten/Nutzen-Frage, je grösser die Anlage, desto eher lohnen sich alternative Abtauverfahren.

Bei Kaskadenanlagen kann die Abtauung ebenfalls energieeffizient ausgeführt werden, da bei einem Gerät der Abtauprozess gestartet werden kann, während die anderen Geräte weiter in Betrieb sind. Bei Spezial-Anlagen werden dafür häufig mehrere Kühler für eine effiziente, wechselseitige Abtauung eingesetzt.

5.1.2 Leistungsregulierung

Standard-Geräte im kleineren Leistungsbereich bis ca. 20 kW sind heute häufig leistungsreguliert verfügbar. Dies bringt klare Vorteile bei kaskadierten Anlagen, da diese sehr effizient betrieben werden können. Bei Anlagen im grösseren Leistungsbereich wird die kontinuierliche Leistungsregelung bei Wärmepumpen nur vereinzelt angewendet (Stadt Zürich 2019). Grundsätzlich haben jedoch gerade Luft/Wasser-Wärmepumpen grosses Potential zur Effizienzsteigerung, da diese im Gegensatz zu Sole/Wasser-Wärmepumpen und Wasser/Wasser-Wärmepumpen stark ändernden Quellentemperaturen ausgesetzt sind. Gemäss Herstellerinterviews werden neu entwickelte Standard-Geräte im kleineren Leistungsbereich fast ausnahmslos stufenlos gebaut. Bei Spezial-Anlagen sind je nach Hersteller die Anlagen stufenlos leistungsreguliert (Verdichter und Ventilator) oder mit mehreren Verdichtern mehrstufig geschaltet. Kaltwassersätze sind als ON/OFF-Geräte, stufengeschaltete Geräte aber mittlerweile auch als Inverter-Geräte erhältlich.

Kaskadenanlagen können gleichzeitig unterschiedliche Temperaturanforderungen abdecken. Beispielsweise kann im Wohnungsbau mit einer Anlage die Warmwasseraufbereitung auf höherem Temperaturniveau abgedeckt werden, während die anderen Kaskadenmodule die Raumheizung versorgen. Dies ermöglicht einen sehr effizienten Betrieb.

5.2 Fehleranfälligkeiten von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

5.2.1 Fehleranfälligkeiten bei der Planung

Die Planung von Kaskadenanlagen ist in der Regel einfach, da viele Hersteller für ihre Standard-Geräte bereits vorgefertigte Kaskadenlösungen mit entsprechender Regelung anbieten. Standardisierte Luft/Wasser-Wärmepumpen sowie auch vorgefertigte Kaltwassersätze sind somit in der Planung wesentlich weniger aufwändig als Spezial-Anlagen. Gemäss den Herstellerinterviews werden Kaskaden-Anlagen somit auch häufig ohne Planungsbüro direkt durch die Installationsbetriebe realisiert. Damit entfallen zwar teilweise die Kosten für die Planung, jedoch steigt auch die Fehleranfälligkeit. Eine gute Planung ist beim Einsatz einer Wärmepumpe wichtig, da beispielsweise bei der Anlagendimensionierung vielfach eine Überdimensionierung erfolgt. Dies führt gerade bei Luft/Wasser-Wärmepumpen zur schlechteren Effizienz.

Bei Spezial-Anlagen ist eine detaillierte Planung der Anlage mit umfangreichen Vorabklärungen notwendig. Dies bedingt zum Teil längere Vorlaufzeiten in der Planung. Vor allem im Sanierungsmarkt wird dies häufig zum Stolperstein, da bisher ein 1:1-Ersatz einer fossilen Feuerung schneller möglich war und mit weniger Hürden in der Realisation zu rechnen ist. Lange Vorlaufzeiten sind auch aufgrund von sehr langen Lieferfristen für gewisse Anlagenteile einzurechnen. Generell würde gemäss Herstellerangaben eine Sensibilisierung hinsichtlich den Vorlaufzeiten bei den Planenden und den Bauherren für bessere Voraussetzungen bei der Realisierung einer Luft/Wasser-Wärmepumpen sorgen.

5.2.2 Fehleranfälligkeiten bei der Erstellung

In bestehenden Gebäuden ist die Aufstellung von neuen Luft/Wasser-Wärmepumpen häufig eine Herausforderung. Einerseits können Lärmschutzvorgaben einschränken und andererseits ist die Aufstellung der Ausseneinheit oder der kompakten Aussenanlage häufig schwierig aufgrund der gegebenen baulichen Situation. Statische Massnahmen, aufgrund von hohen Anlagengewichten, können finanziell schnell ausufern und sprechen oftmals gegen eine Luft/Wasser-Wärmepumpe. Ausserdem kann die Einbringung von grossen Kaltwassersätzen im Bestandsbau erschwerend sein. Dementsprechend ist bei einer Kaskadenausführung die Einbringung und häufig auch die Aufstellung der Anlagen einfacher, da auf die Objektbegebenheiten Rücksicht genommen werden kann. Bei Spezial-Anlagen ist dies ebenfalls der Fall.

In der Schweiz gibt es keine Hersteller von Kaltwassersätzen, diese werden hauptsächlich im Ausland produziert. Die Geräte sind oftmals nicht für den Schweizer Markt konzipiert und werden hauptsächlich für Kälteanwendungen hergestellt, die Wärmenutzung ist zweitrangig. Dementsprechend gibt es auf dem Markt häufig Geräte, welche die technischen Anforderungen nicht erfüllen und schlecht verarbeitet sind. Dadurch können diese zwar kostengünstig in der Anschaffung sein, haben jedoch auch eine kürzere Lebensdauer. Ausserdem sollten beim Einsatz von Kaltwassersätzen explizit die Einsatzgrenzen beachtet werden. Diese sind teilweise beschränkt, so dass eine Anlage (in der Schweiz) nicht monovalent betrieben werden kann. Werden die Einsatzgrenzen nicht beachtet und die Anlage beispielsweise mit höheren Temperaturen verbraucherseitig betrieben, wirkt sich dies auf die Lebensdauer der Anlagen aus.

5.2.3 Fehleranfälligkeiten bei der Regelung

Während die Entwicklung von einzelnen Serien-Geräten schon weit fortgeschritten ist, kann die Regelung von Kaskadenanlagen aktuell noch eine Herausforderung sein. Je nach Hersteller sind die Kaskadenregelungen teilweise noch nicht ausgereift oder es sind maximal 2er-Kaskaden möglich. Eine gute Kaskadenregelungen sorgt für einen Laufzeitabgleich, damit die Geräte gleichmässig belastet werden und die Lebensdauer der Geräte nicht verkürzt wird.

Standard-Geräte werden gemäss einzelnen Herstellern teilweise mit (zu) konservativen Einstellwerten in Betrieb gesetzt, damit keine Störungen auftreten oder keine Kundenreklamationen eintreffen. Generell ist dadurch das Potential für Betriebsoptimierungen bei Standard-Geräten und Kaskadenanlagen höher als bei Spezial-Anlagen.

Gemäss Angaben von einem Anlagenbetreiber mit Contracting-Erfahrung gibt es bei einzelnen Herstellern bei der Integration der Wärmepumpen-Steuerungen in eine übergeordnete Steuerung teilweise

noch Probleme. Dies ist jedoch herstellerabhängig, teilweise funktioniert die Implementierung heute schon problemlos. Bei Spezial-Anlagen wird die Wärmepumpen-Steuerung individuell nach den Bedürfnissen des Objekts konfiguriert, dies ist zwar aufwändiger, führt aber in der Regel zu weniger Problemen, auch in der Einbindung in ein übergeordnetes Leitsystem.

5.3 Kosten von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

5.3.1 Typisches Anlagebeispiel als Grundlage für Referenzkosten

Für einen einfachen Vergleich der Kosten wurden für ein typisches Anlagebeispiel die Referenzkosten der verschiedenen Anlagentypen erhoben. Es handelt sich dabei um Richtpreise der Hersteller für die Investitionskosten der Wärmepumpe gemäss folgender Spezifikation:

- Objekt: Bestehendes MFH, saniert, CH-Mittelland
- Energiebezugsfläche: 1'800m²
- Heizleistung / Wärmebedarf: 85 kW / 180'800 kWh/a (Heizwärmebedarf, BWW)
- Heizsystem: Fussbodenheizung, Systemtemperaturen 40/32°C
- Kältemittel: In der Luft stabile Kältemittel (Gemische), HFO oder natürliche Kältemittel
- Schalleistung: Aussen und innen max. 65dB(A) im Nachtbetrieb
- Kosten inklusive: Lieferung und Montage Wärmepumpe, Speicher, Wärmepumpensteuerung
- Kosten exklusive: Feldgeräte (nur Lieferung), BWW-Speicher, Bauliches, Elektro

5.3.2 Kostenvergleich mittelgrosse Luft/Wasser-Wärmepumpen

	Produkte aus der Kältetechnik	Spezial-Anlagen		Kaskadenanlagen
Anlage	Kaltwassersatz, Aussenaufstellung, (erfüllt Vorgaben Schall oft nicht)	Spezialbau Aussenaufstellung	Spezialbau Split-Anlagen	Kaskadenanlage (Aussen- oder Innenaufstellung)
Kältemittel	R410A, R407C	HFKW-Gemische: R407C, R410A, R513A, HFO: R1234yf, natürliche: R290 ²	HFKW-Gemische: R407C, R410A, R513A, HFKW/HFO-Gemische: R449A ²	R410A
Kosten Total	CHF 80' - 110'000	CHF 130'-170'000	CHF 160'-180'000	CHF 120'000

Referenzkosten gemäss Herstellerangaben für spezifische Anlage, exkl. MWSt, Endkundenpreise

Der Kostenvergleich in der obenstehenden Tabelle zeigt, dass Produkte aus der Kältetechnik (Kaltwassersätze) die tiefsten Investitionskosten aufweisen. Wichtig zu erwähnen ist jedoch, dass die berücksichtigten Geräte die Vorgaben an die Schallemissionen nicht erfüllen. Kaskadenanlagen weisen gegenüber den Spezial-Anlagen tiefere Investitionskosten auf. Spezial-Anlagen in einer kompakten Aussenaufstellung sind grundsätzlich kostengünstiger als Spezial-Anlagen in der Split-Bauweise. Ausserdem variieren die Kosten je nach eingesetztem Kältemittel. Gemische mit HFO und natürliche Kältemittel bewegen sich im oberen Preissegment. Die berücksichtigten Kältemittel gemäss der obenstehenden Tabelle beziehen sich auf die konkreten Herstellerangebote, andere Kältemittel können jedoch auch zum Einsatz kommen.

Nicht in den Kosten berücksichtigt sind bauliche und statische Massnahmen am Gebäude. Diese können gerade bei Bestandsbauten erheblich ausfallen, wobei vor allem bei Dachaufstellungen von Kompaktanlagen zum Teil teure statische Massnahmen nötig werden können. Auch Kosten für zusätzliche Lärmschutz-Massnahmen können schnell ins Gewicht fallen und sind standortspezifisch unterschiedlich. Zum Teil kommen schalltechnische Probleme erst im Betrieb zum Vorschein und sorgen dadurch für Mehrkosten.

Spezial-Anlagen werden objektspezifisch angefertigt und benötigen eine detaillierte Planung der Anlage. In der Regel ist dabei ein Planungsbüro involviert. Kaskadenanlagen hingegen werden häufig direkt über den Installationsbetrieb in Zusammenarbeit mit dem Hersteller umgesetzt. Dabei entfallen die Kosten für die Planung.

Förderbeiträge sind vor allem beim Ersatz einer fossilen Feuerung möglich. Das Gebäudeprogramm von Bund und Kantonen verlangt dabei für die Förderung ein in der Schweiz gültiges internationales oder nationales Wärmepumpen-Gütesiegel oder eine Zertifizierung gemäss dem Wärmepumpen-System-Modul (WPSM). Für Einzelanfertigungen ohne Gütesiegel war bisher eine Einzelbeurteilung mög-

² Kosten variieren je nach Kältemittel. Gemische mit HFO und natürliche Kältemittel bewegen sich im oberen Preissegment

lich, jedoch wurde dies nicht breit kommuniziert. In der Regel werden Kaskaden bei mittelgrossen Anlagen mit standardisierten Serien-Geräten aufgebaut, welche meist über ein Gütesiegel verfügen. Damit ist eine Förderung über das Gebäudeprogramm grundsätzlich ohne Einschränkungen möglich. Bei Spezial-Anlagen war die Förderung bisher nicht einheitlich geregelt, dies wurde gemäss Herstellerinterviews bisher als Wettbewerbsnachteil gegenüber zertifizierten Geräten wahrgenommen. Unterdessen wurde für Spezial-Anlagen ein eigenes Gütesiegel für Sonderlösungen geschaffen.

6 Schlussfolgerungen

Nachfolgend werden die Schlussfolgerungen zusammengefasst. Die wichtigsten Erkenntnisse sind ausserdem in der Matrix im Kapitel 6.4 erfasst.

6.1 Effizienz

Generell sind Spezial-Anlagen sowie auch Kaskadenanlagen gut entwickelt und energieeffizient. Die stufenlose Leistungsregulierung sorgt vor allem bei Kaskadenanlagen für eine optimale Energieeffizienz, da Standard-Geräte mit Invertertechnik eingesetzt werden können. Eine Leistungsregulierung ist ausserdem nicht nur aus Sicht der Energieeffizienz optimal, sondern auch aus schalltechnischen Gründen vorteilhaft. Aufgrund von hohen Schallanforderungen müssen bei Spezial-Anlagen teilweise grosse Luftkühler gebaut werden, dadurch sinkt der Abtaubedarf und die Energieeffizienz steigt. Bei Spezial-Anlagen ist der Abtauprozess meist bedarfsgeregelt und neben den klassischen Abtauverfahren können fallweise auch weitere Abtauverfahren (Warmsole/Thermobank) zum Einsatz kommen. Dies trägt zusätzlich zur besseren Effizienz bei. Bei Kaskadenanlagen wird die Abtauung mit Ventilatornachlauf bisher noch nicht häufig eingesetzt, in diesem Bereich besteht Potential zur Steigerung der Energieeffizienz.

6.2 Fehler-Anfälligkeiten

Mit der Standardisierung der Wärmepumpen ist teilweise auch der Planungsbedarf gesunken. Kaskadenanlagen mit Standard-Geräten sowie auch Kaltwassersätze benötigen häufig keine umfangreiche Planung und werden in der Regel direkt durch die Installationsbetriebe realisiert. Dadurch steigt jedoch auch die Fehleranfälligkeit. Ist ein Planungsbüro bei der Realisation einer Wärmepumpe involviert, wird in der Tendenz eher der Einsatz einer Spezial-Anlage geprüft, erfolgt die Realisation direkt durch einen Installationsbetrieb kommen eher Kaskadenanlagen zum Zug.

Kaltwassersätze können die geforderten Lärmschutzvorgaben oftmals nicht einhalten. Gemäss den Herstellerinterviews wird dabei jedoch deutlich, dass Kaltwassersätze in der Romandie viel häufiger eingesetzt werden als in der Deutschschweiz, da offensichtlich an die Themen Schall und auch Optik nicht so hohe Anforderungen gestellt werden. Dieser Effekt ist auf das Vorsorgeprinzip gemäss der Lärmschutz-Verordnung zurückzuführen. Dieses besagt, dass unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung, Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

Generell müssen bei der Realisation einer Luft/Wasser-Wärmepumpe verschiedene Ansprüche erfüllt werden und insbesondere die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden. Die Themen Schall, Ökologie, Effizienz und Optik widersprechen sich in vielen Fällen und führen zu einem Zielkonflikt. Nachfolgende einige Beispiele welche zum Zielkonflikt führen:

- Aus ökologischer Sicht sollen natürliche Kältemittel eingesetzt werden, jedoch ist dadurch häufig eine Aussenaufstellung notwendig (Brennbarkeit und Toxizität). Mittlerweile oft im Einsatz ist zum Beispiel das Kältemittel Propan. Aufgrund dessen Brennbarkeit werden die Anlagen in der Regel aussen aufgestellt, dadurch steigen jedoch die schalltechnischen

Anforderungen und gebietsweise können auch die städtebaulichen Vorgaben zu Herausforderungen führen.

- Bei gleicher Wärmeleistung sind grosszügig ausgelegte Wärmepumpen-Komponenten aus Lärmschutzsicht besser, da damit die Schallemissionen reduziert werden können. Die Wärmepumpen werden aber grösser, was das Stadtbild stärker beeinflusst und damit oft nicht akzeptiert wird.
- Aus optischen Gründen (Vorgaben zur Anlagenverkleidung/Sichtschutz) entstehen z.T. Probleme mit der Luftführung (Kurzschlüsse) und eine schlechtere Effizienz der Anlage kann die Folge sein.

6.3 Kosten

Die Investitionskosten für Kaskadenanlagen verhalten sich gegenüber der Anlagenleistung insgesamt eher linear, da die Ausgaben für jeweils den kompletten Umfang der kaskadierten Geräte (inkl. Pumpen etc.) getätigt werden müssen. Die Kosten für Spezial-Anlagen hingegen nehmen mit steigender Leistung nur unterproportional zu.

Die Herstellerinterviews haben gezeigt, dass Kaskadenanlagen sich während den letzten Jahren im Einsatz bewährt haben. Der Einsatz von Kaskadenanlagen ist jedoch sehr herstellerabhängig. Standardmässig werden bei einem Hersteller heute bis zu sechs Geräte in Kaskade geschaltet, während bei anderen Herstellern der Einsatz von Kaskadenanlagen noch nicht so weit fortgeschritten ist. Grundsätzlich konkurrenzieren sich Spezial-Anlagen und Kaskadenanlagen im Einsatz jedoch kaum. Kaskadenanlagen kommen aufgrund der maximalen Geräteanzahl und auch hinsichtlich des Platzbedarfes irgendwann an ihre Einsatzgrenzen. Ab diesem Punkt kommen häufig nur noch Spezial-Anlagen in Frage. Auch kostenseitig spricht der höhere Leistungsbereich eher für Spezial-Anlagen, während im kleineren Leistungsbereich Kaskadenanlagen deutlich kostengünstiger zu realisieren sind.

6.4 Matrix mittelgrosse Luft/Wasser-Wärmepumpen im Vergleich

		Produkte aus der Kältetechnik	Spezial-Anlagen	Kaskadenanlagen
Effizienz	Leistungsregulierung	+/- Anlagen teilweise mit Leistungsregulierung	+ Leistungsregulierung mit Frequenzumformer wird häufig umgesetzt	+ Anlagen bis ca. 15kW sind häufig leistungsregulierbar verfügbar + Bessere Leistungsregulierung möglich, durch Invertertechnik und Kaskadierung
	Abtauung		+ Abtauung mit Ventilatornachlauf wird umgesetzt + Bedarfsgeregelte Abtauung (mit variablen Abtauintervallen und Abtauzeiten) möglich + Alternative Abtauverfahren (Warmsole/Thermobank) möglich	+ Effiziente Abtauung (Gerät taut ab, die anderen Geräte laufen weiter) - Anlagen eher ohne Ventilatornachlauf - Bei Standard-Geräten teilweise Abtauung nach fixem Zeitprogramm (Energieaufwändig)
Fehleranfälligkeit	Planung	+/- Einfache Planung oder keine Planung notwendig (jedoch dadurch auch fehleranfälliger)	+/- Anspruchsvolle Planung mit langer Vorlaufzeit nötig (dafür weniger fehleranfällig)	+/- Einfache Planung oder keine Planung notwendig (jedoch dadurch auch fehleranfälliger)
	Erstellung	- Schwierigkeiten bei der Statik und Einbringung im Bestandsbau (bei Kompaktanlagen) - Anlagen nicht für CH-Markt konzipiert (Einsatzgrenzen können einschränken). - Lärmschutzvorgaben werden häufig nicht erreicht	+ Einbringung im Bestand kann bei Einzelanfertigung gesteuert werden	+ Gute Einbringung im Bestand möglich - Platzbedarf teilweise gross (v.a. wenn Einzelgerät kleine Leistung hat und viele Geräte für Kaskade nötig sind)
	Regelung		+ Anlagenspezifische Betriebsoptimierung möglich (da i.d.R. grössere Anzahl Parameter veränderbar) + Individuelle Wärmepumpen-Steuerung führt zu weniger Problemen, auch in der Einbindung in eine übergeordnete Steuerung	+ Hohe Versorgungssicherheit - Teilweise werden Standard-Geräte mit (zu) konservativen Einstellwerten in Betrieb genommen (um Reklamationen) zu vermeiden - Einbindung von Wärmepumpen-Steuerung in eine übergeordnete Steuerung kann zu Problemen führen - Kaskadenregelung teilweise noch nicht ausgereift oder nur 2er-Kaskaden möglich
Kosten		+ Kostengünstig - Erfüllen jedoch häufig Vorgaben Schallwerte nicht - z.T. kurze Lebensdauer der Anlagen infolge schlechter Verarbeitung	- Hohe Investitionskosten durch individuelle Anfertigung - Kosteneinsparungen kaum möglich	+ Kostengünstig, da Standard-Geräte eingesetzt werden können + Kosteneinsparungen durch höhere Fertigungszahlen möglich

Matrix mittelgrosse Luft/Wasser-Wärmepumpen, Bewertung + = Positiver Aspekt, - = Negativer Aspekt, +/- = Neutral

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Energie (2011), Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung, 12.2011, Bern

Bundesamt für Energie (2019a), News aus der Wärmepumpen-Forschung, 26.06.2019, Bern

Bundesamt für Energie (2019b), Ausblick auf mögliche Entwicklungen von Wärmepumpen-Anlagen bis 2050, 30.11.2019, Bern

Bundesamt für Energie (2020), Revision der EnEV, 15.5.2020, Bern

Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (2021), Statistik 2020, 08.04.2021, Bern

Stadt Zürich (2019), Luft/Wasser-Wärmepumpen im städtischen Bestand, 07.2019, Zürich

Anhang

Einzelaussagen Interview mit Herstellern und Anlagenbetreibern

Grundlage für die Interviews war ein vorbereiteter Fragekatalog. Die Gespräche mit den Herstellern wurden per Video-Konferenz geführt, die Gespräche mit den Anlagenbetreibern wurden vor Ort auf der Anlage durchgeführt. Der Fragebogen ist in drei Themenbereiche Effizienz, Anfälligkeit auf Planungs-, Erstellungs- und Regelungsfehler und Kosten unterteilt. Nachfolgend finden sich einige ausgewählte Aussagen, welchen in diesem Zusammenhang genannt wurden.

Effizienz von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

- «Die Effizienz ist bei einer grossen Einzelanlage in der Tendenz besser als bei mehreren kleineren Anlagen (Mechanik kann bei grösseren Anlagen grundsätzlich effizienter gebaut werden). Der Betrieb von Kaskadenanlagen kann jedoch aufgrund des effizienteren Teillastbetriebs und einer abgestimmten Abtauung auch effizienter ausfallen, als bei einer grossen Einzelanlage. So werden für Spezial-Anlagen häufig mehrere Kühler für eine effiziente, wechselseitige Abtauung eingesetzt.»
- «Bei Standard-Geräten wird in der Regel häufiger und nach fixem Zeitprogramm abgetaut (energieaufwändig). Bei Spezialbauten eher mit hydraulischer Abtauung (zusätzliche Pumpe), der Energiebedarf ist durch den zusätzlichen Wärmeübergang und die zusätzliche Pumpe grösser als bei der Prozessumkehrabtauung. Häufig werden jedoch grosse Luftkühler (aufgrund Schallanforderungen) eingesetzt, dadurch besteht weniger Abtaubedarf und die Gesamteffizienz gegenüber einer Standardanlage ist in der Tendenz ebenbüdig bis besser.»
- «Aus Effizienzgründen leidet heute teilweise die Betriebssicherheit von Spezial-Anlagen, weil die Wärmetauscher aus Effizienzgründen sehr gross gebaut werden (mit kleinen Temperaturdifferenzen), dadurch ist die Inbetriebsetzung der Anlagen sehr anspruchsvoll. Standard-Geräte werden mit kleineren Tauschern ausgelegt (und entsprechend grösseren Temperaturdifferenzen), Standard-Geräte haben dadurch häufig eine höhere Betriebssicherheit (Abwägung Effizienz/Betriebssicherheit sollte überdacht werden).»
- «Vorteilhaft ist die anlagenspezifische Betriebsoptimierung bei Spezial-Anlagen. Dies kann ein Vorteil gegenüber Standard-Geräten sein, da eine grössere Anzahl Parameter veränderbar ist und üblicherweise für die Inbetriebsetzung mehr Zeit vorgesehen wird.»
- «Bei Spezial-Anlagen stellt sich immer die Kosten/Nutzen-Frage bei der Abtauung. Je grösser die Anlage, desto eher lohnen sich alternative Abtausysteme (z.B. Thermobankabtauung, Latentspeicher für die Abtauung mit Warmsole).»
- «Potential zur Steigerung der Energieeffizienz liegt bei der Weiterentwicklung der Lamellenwärmetauscher und bei der Optimierung der Luftführung (wie baut und platziert man den Verdampfer effizient, damit die Energie optimal genutzt werden kann) sowie bei der Optimierung des Abtauprozesses. Bei der Entwicklung der Kompressoren/Ventilatoren besteht nicht mehr viel Potential.»
- «Standard-Geräte werden häufig mit zu konservativen Einstellwerten in Betrieb gesetzt, damit keine Störungen/Kundenreklamationen kommen. Das Potential zur Betriebsoptimierung bei Standard-Geräten ist hoch.»

Anfälligkeit auf Planungs-, Erstellungs- und Regelungsfehler Luft/Wasser-Wärmepumpen

- «Propan-Anlagen bei Innenaufstellungen werden nur bei gutem Sicherheitsdispositiv empfohlen. Dies ist zukünftig eine Schwierigkeit bei standardisierten Geräten im grösseren Leistungsbereich. Eine gute Planung ist zwingend.»
- «Es ist eine Sensibilisierung hinsichtlich der langen Lieferfristen bei Bauherrn und Planungsbüros nötig (lange Vorlaufzeit einplanen, Oel- und Gasfeuerungen sind im Sanierungsfall schneller verfügbar).»
- «Einbindung von Wärmepumpen-Steuerung (bei Standard-Geräten) in eine übergeordnete Steuerung z.T. nicht richtig vorgesehen. Z.T. werden planerseitig Anforderungen an die Wärmepumpen-Steuerung gestellt, die nicht erfüllt werden können (da Wärmepumpen-Steuerung standardisiert ist).»
- «Bei Kaskadensteuerungen muss die Schnittstelle zwischen einer allffällig übergeordneten Steuerung und der Wärmepumpen-Kaskadensteuerung geklärt sein. Welche Funktionen werden über die Wärmepumpen-Steuerung abgedeckt und welche Funktionen sind über die übergeordnete Steuerung gelöst. Die Kaskadenregelung ist bei diesem Hersteller noch nicht ausgereift, auch da Erfahrungen im Kaskadenbereich fehlen.»
- «Bei Spezial-Anlagen treten in der Regel weniger Probleme mit der Steuerung auf, da die Steuerung individuell auf die Anlage zugeschnitten ist und flexibler ausgeführt werden kann.»
- «Gemäss einem Anlagenbetreiber mit Contracting-Erfahrung führt bei Standard-Geräten gewisser Hersteller die Schnittstelle zwischen Wärmepumpen-Steuerung und dem übergeordneten Leitsystem immer wieder zu Problemen. Es gibt aber auch Hersteller, bei welchen die Implementierung problemlos funktioniert.»

Kosten von mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

- «Bei Spezialbauten sind kaum Kosteneinsparungen möglich.»
- «Bei Standard-Geräten sind Kostenreduktionen durch höhere Fertigungszahlen möglich, technisch sind die Anlagen jedoch ausgereizt und können kaum kostengünstiger ausgeführt werden.»
- «Asiatische Hersteller sind gemäss Einschätzung des Herstellers auf dem Vormarsch und könnten längerfristig auch auf dem europäischen Markt Fuss fassen. In Asien sind kostengünstige Produktionen auch aufgrund von hohen Fertigungszahlen möglich. Die heutigen Geräte erfüllen jedoch die schweizerischen Vorgaben (z.B. bezüglich Schall) nicht.»
- «Kosteneinsparungen und Kostensteigerungen sind generell stark abhängig von den Schallanforderungen. Z.B sind italienische Standard-Geräte aus der Kältetechnik grundsätzlich günstig verfügbar, jedoch werden die Anforderungen an die Schallemission in der Schweiz häufig nicht erfüllt.»
- «Es sind Entwicklungen im Gange für neue, grössere Standard-Geräte. Einerseits konventionelle Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Kältemittelkreislauf auf den Verdampfer und andererseits Wärmepumpen mit Sole-Zwischenkreis und Aussenluftverdampfer. Generell wird eine Standardisierung angestrebt, damit eine Massenanwendung zukünftig möglich sein wird.»

Generelle Aussagen zu mittelgrossen Luft/Wasser-Wärmepumpen

- «Die Themen Platz-Lärm-Ökologie-Optik widersprechen sich in vielen Fällen und machen die Realisierung schwierig. Gross dimensionierte Anlagen sind aus Lärmschutzsicht vorteilhaft, jedoch nicht aus städtebaulicher Sicht und aus Sicht der Regulierbarkeit. Aus ökologischer Sicht sollen natürliche Kältemittel eingesetzt werden, jedoch sollte die Anlage dadurch aussen aufgestellt werden (Sicherheitsmassnahmen innen aufwändig). Aus optischen Gründen (Vorgaben zur Anlagenverkleidung/Sichtschutz) entstehen z.T. Probleme mit der Luftführung/Kurzschlüsse.»
- «Das Vorsorgeprinzip bei der Lärmbelastung (Schall ist so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist) stellt hohe Anforderungen an den Anlagenbau.»