

Stadtverträgliche Luft/Wasser- Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger

Auftraggeber

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz
Energie und Nachhaltigkeit
Walchestrasse 31
8021 Zürich
Georg Hafner

Autoren

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik HABG
Institut Energie am Bau IEBAU
St. Jakobs-Strasse 84, CH-4132 Muttenz
Ralf Dott
Thomas Afjei
Fon +41 61 467 45 45
Fax +41 61 467 45 43
E-Mail iebau.habg@fhnw.ch
Internet <http://www.fhnw.ch/habg/iebau>

Begleitgruppe

Simon Alge	Stadt Luzern
Beat Wellig	Hochschule Luzern – CC TEVT
Martin Ménard	Lemon Consult, Energie-Coach
Reto Burkhart	ewz – Energiedienstleistungen
Nicole Külling	Stadt Zürich – Amt für Hochbauten, Energie- und Gebäudetechnik
Stefanie Rüttener-Ott	Stadt Zürich – Umwelt- und Gesundheitsschutz, Lärmschutz
Toni W. Püntener	Stadt Zürich – Umwelt- und Gesundheitsschutz, Energie und Nachhaltigkeit

Muttenz, August 2014

Projekt-Zusammenfassung

Das Projekt „Stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger“ untersucht die vermehrte Anwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger für Wohngebäude auf dem Gebiet der Stadt Zürich mit dem Ziel, Umweltwärme und erneuerbare Energien stärker zu nutzen. Es stützt sich auf die Projekte „Zentral-Dezentral“ und „Konzept Energieversorgung 2050“ ab. Diese zeigen auf, wie eine vorwiegend erneuerbare Wärmeversorgung im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft im Gebiet der Stadt Zürich realisiert werden kann. Die „Effizienz-Szenario-Variante a“ geht davon aus, dass die mit Luft/Wasser-Wärmepumpen zu beheizende Gebäude-Energiebezugsfläche von heute ca. 350'000 m² um den Faktor fünf bis elf erhöht werden kann.

Die Beschreibung der für das Verständnis erforderlichen Grundlagen zu verschiedenen Typen von Luft/Wasser-Wärmepumpen, zu Methoden der Effizienzbeurteilung sowie zu Schall und Lärm schaffen eine Basis für eine fachübergreifende Bestellerkompetenz. Es werden **vier Gebäude-Typen** mit einer Energiebezugsfläche im Bereich 100 – 1200 m² respektive einer Normheizlast von 2.5 – 90 kW mit typischen Randbedingungen definiert. Eine **Marktanalyse** zeigte, dass die Coefficient of Performance - Werte (COP) aktueller Geräte im Bereich 2.6...4.4 für A2/W35¹, 2.1...3.5 für A7/W55 und 1.4...2.6 für A-7/W55 liegen. Die Schalleistungspegel variieren von ca. 48 dB(A) bis 78 dB(A), wobei die Stichprobenmenge der leisen Geräte eher klein war. Eine kurze Einführung in das EHPA-Gütesiegel, die EU-Ecodesign-Richtlinie und das Wärmepumpen-System-Modul runden die Situationsanalyse ab.

Darauf aufbauend wurden **Kriterien für stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger** erarbeitet, die auf der nächsten Seite zusammengefasst werden.

Am Ende des Berichts werden Checklisten zur Umsetzung, Hinweise für ein Monitoring zur Erfolgskontrolle und Best Practice-Beispiele aufgeführt.

¹ A2 = Wärmequelle Aussenluft mit 2°C / W35 = Wärmesenke Wasser mit 35°C Vorlauftemperatur

Kriterien für eine stadtverträgliche Luft-Wasser-Wärmepumpe

Eine stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

A. Anforderungsniveau an die energetische Geräte-Effizienz von stadtverträglichen Luft/Wasser-Wärmepumpen:

Betriebspunkt	A2/W35	A7/W55	A-7/W55
COP-Wert mindestens	3.6	2.6	1.8

Mindest-COP-Werte gemäss [EN14511:2013] (A2 = Wärmequelle Aussenluft mit 2°C / W35 = Wärmesenke Wasser mit 35°C) (Stand August 2014)

B. Anforderungsniveau an den Schall- und Lärmschutz von stadtverträglichen Luft/Wasser-Wärmepumpen:

Anforderungen Lärmschutz für	ES II	ES III
erforderlicher Schalleistungspegel L_{wA}	≤ 50 dB(A)	≤ 55 dB(A)

gemäss [LSV2010] ohne Schallschutzmassnahmen bei einem Mindestabstand zum Immissionsort von 5 m (Stand August 2014)

C. Anforderungen an das Heizsystem und die Auslegung

Als monovalente Wärmeerzeugung sind Luft/Wasser-Wärmepumpen geeignet, wenn niedrige Vorlauftemperaturen (Bodenheizungen kleiner als 35°C, Radiatorenheizungen kleiner als 50°C) möglich sind. Bei bestehenden Gebäuden erfordert dies eine flächenspezifische Normheizlast von weniger als 75 W/m². Dimensionierung und die hydraulische Einbindung ins Heizsystem hat gemäss Standardschaltungen (STASCH – Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen“ [Gabathuler2002] oder bei grösseren Anlagen „Wärmepumpen für die Instandsetzung – Systemevaluation für die Instandsetzung“ [Primas2014]) zu erfolgen.

D. Weiterentwicklung der Anforderungen an stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen

Da die Entwicklung von Luft/Wasser-Wärmepumpen stetig weiter vorangetrieben wird, stellen die oben genannten Kriterien nur eine Momentaufnahme dar. Für die zukünftige, weitere Entwicklung im Bereich der Luft/Wasser-Wärmepumpen ist es daher wichtig die Anforderungen dynamisch zu gestalten. Zu diesem Zweck ist es vorgesehen die Anforderungen periodisch zu überprüfen, zu verstärken und allenfalls weitere Anforderungen zu definieren (höhere Anforderungen an den COP Wert, Anforderungen an das Kältemittel, Anforderung an die Vorlauf-Temperatur, ästhetische Gesichtspunkte, etc.). Im Rahmen der Weiterentwicklung der Anforderungen an stadtverträgliche Luft/Wasserwärmepumpen ist eine Überprüfung der oben genannten Kriterien im Zeitraum 2016 / 2017 geplant.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Auftrag	7
1.2	Abgrenzungen und Randbedingungen	7
1.3	Ziel	7
1.4	Konzept Energieversorgung 2050	8
2	Grundlagen und Analyse der heutigen Situation	10
2.1	Typen von Luft/Wasser-Wärmepumpen.....	10
2.2	Energieeffizienz- und Schallbeurteilung	14
2.3	Typologisierung Wohngebäude.....	16
2.4	Energieeffizienz marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen	23
2.5	Schallemissionen marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen	28
2.6	Qualitätslabel und EU-Aktivitäten.....	33
3	Herleitung der Anforderungen.....	38
3.1	Energieeffizienz-Anforderungen	38
3.2	Anforderungen an Schall und Lärm	43
3.3	Anforderungen an Hydraulik und Dimensionierung.....	51
4	Kriterien für stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen	54
4.1	Anforderungen an eine stadtverträgliche L/W-WP-Anlage.....	54
4.2	Wie komme ich zu einer stadtverträglichen L/W-WP Lösung?	56
4.3	Hinweise zum Monitoring für Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung	57
4.4	Best Practice Beispiele	58
5	Die stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe	61
6	Literaturangaben	62
A.	Effizienzbeurteilung.....	66
B.	Schall- und Lärmbeurteilung	69

1 Einleitung

Das Projekt „Stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger“ untersucht die vermehrte Anwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen mit dem Ziel, auf dem Gebiet der Stadt Zürich zunehmend erneuerbare Energien zu nutzen und den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft näher zu kommen. Mit dem Fokus auf Wohngebäude werden im Bericht die für das Verständnis erforderlichen Grundlagen zusammengefasst und Kriterien sowie Vorgehensweisen zur Realisierung stadtverträglicher Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger aufgezeigt.

Nach der Einordnung der Aufgabenstellung in Kapitel 1 werden im Kapitel 2 die erforderlichen technischen Grundlagen dargestellt, die in Frage kommenden Wohngebäude typologisiert und eine Auswertung der am Markt verfügbaren Wärmepumpen hinsichtlich Effizienz und Schall analysiert. Im Weiteren erfolgt eine kurze Einführung in verfügbare Qualitätslabel und Zertifizierungen. Die Herleitung für die Bewertung „stadtverträglich“ erfolgt in Kapitel 3 mit den Schwerpunkt-Themen Effizienz und Schallbeurteilung. Das Kapitel 4 beschreibt die Kriterien für eine stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe, gibt Hinweise zur Umsetzung, zeigt Möglichkeiten für Monitoring und Erfolgskontrolle auf und schliesst mit drei Best Practice Beispielen ab. Kapitel 5 fasst die erforderlichen Eigenschaften einer stadtverträglichen Luft/Wasser-Wärmepumpe zusammen.

1.1 Auftrag

In den Projekten „Zentral-Dezentral“ [Bürki2011] und „Konzept Energieversorgung 2050“ [Jakob2013] wurden Grundlagen aufgearbeitet, die aufzeigen wie eine vorwiegend erneuerbare Wärmeversorgung im Gebiet der Stadt Zürich realisiert werden kann. Dabei werden sowohl die Potenziale erneuerbarer Energieträger als auch die Verbrauchs-/Bedarfsstruktur berücksichtigt. Luft/Wasser-Wärmepumpen werden darin als Hauptwärmeerzeuger berücksichtigt und beschrieben, welche weitgehend universell einsetzbar sind, und aufgrund der begrenzten Effizienz immer dann als Lösung eingesetzt werden, wenn keine effizientere Technologie verfügbar ist und keine zu hohe Wärmedichte vorliegt.

Basierend auf diesen Grundlagen sollen

- Anforderungen und Voraussetzungen für einen zweckmässigen Einsatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger auf Stadtgebiet ausgearbeitet und
- technische Grundlagen und eine Analyse der aktuellen Situation abgeleitet werden.

1.2 Abgrenzungen und Randbedingungen

Das berechnete Potenzial von Luft/Wasser-Wärmepumpen auf Stadtgebiet wird aus den zur Verfügung gestellten Berichten „Zentral-Dezentral“ [Bürki2011] und „Konzept Energieversorgung 2050“ [Jakob2013] übernommen und nicht weiter hinterfragt. Die Betrachtung im Projekt beschränkt sich auf die Anwendungen Raumheizung und Warmwasserbereitung für Wohngebäude. Weiterhin liegt der Fokus auf monovalenten Luft/Wasser-Wärmepumpen-Anlagen als Heizsystem, andere Wärmepumpentypen sind nicht Gegenstand dieser Studie.

1.3 Ziel

Das Ziel des Projektes ist es eine Grundlage zu schaffen, mit deren Hilfe die vermehrte Anwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen auf Stadtgebiet so unterstützt und gelenkt werden kann, dass sich Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger in der Stadt Zürich langfristig etablieren können.

1.4 Konzept Energieversorgung 2050

Zentrale Grundlage für dieses Projekt ist das Konzept Energieversorgung 2050 für die Stadt Zürich [Jakob2013], welches die energiepolitischen und gesamtenergetischen Rahmenbedingungen vorgibt. Im Folgenden wird ein kurzer Einblick in die für dieses Projekt relevanten Aspekte aufgezeigt.

1.4.1 Was ist das Konzept Energieversorgung 2050?

Das Konzept Energieversorgung 2050 hat das Ziel, für die Stadt Zürich ein Konzept für die Energieversorgung zu erarbeiten, das die Anforderungen einer 2000-Watt-Gesellschaft so weit als möglich erfüllt und die besonderen Gegebenheiten der Stadt Zürich berücksichtigt. Hierzu werden, wie in Abbildung 1 dargestellt, das lokale Energieangebot, die Energieinfrastruktur, die bestehende oder sich entwickelnde Energienachfrage in Bezug auf Effizienz und Dichte untersucht und Vorschläge zur Versorgung und Entwicklung gemacht.

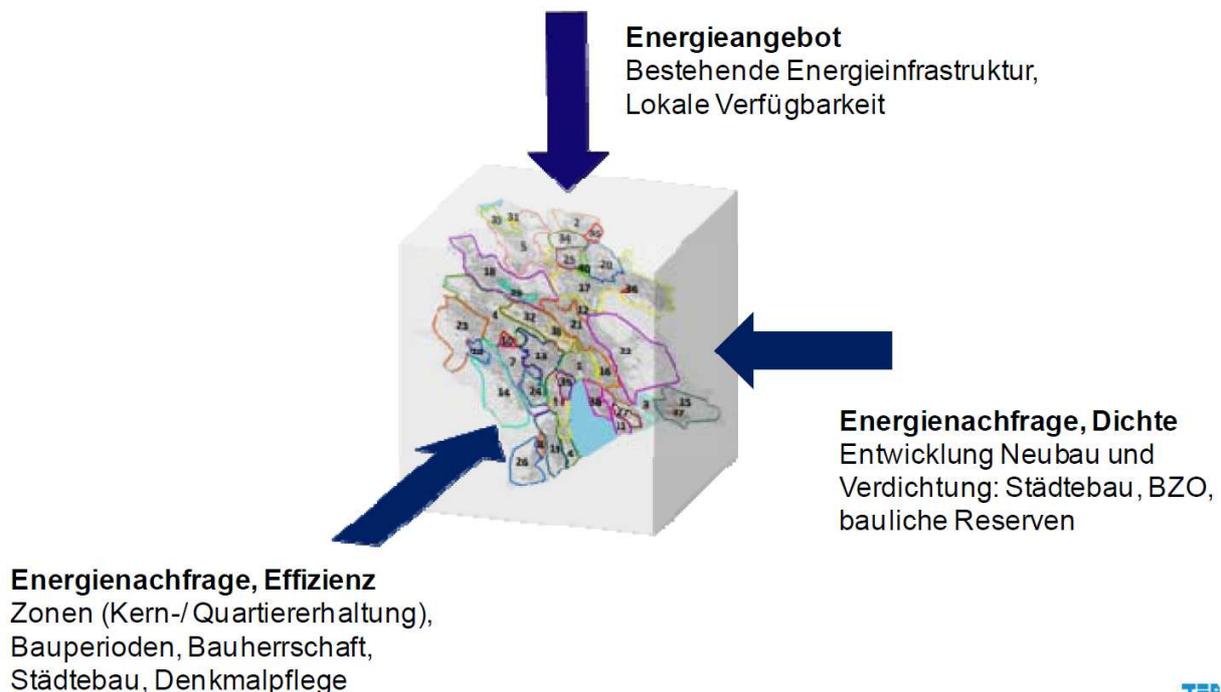


Abbildung 1: Konzept Energieversorgung 2050 der Stadt Zürich

Quelle: [Jakob2013]

Der Wärmebedarf und die verfügbaren Energiequellen werden dabei quartierspezifisch (vergl. Abbildung 2) beurteilt und es werden Szenarien für mögliche Versorgungssituationen im Jahr 2050 mit ihren Potenzialen und Restriktionen aufgezeigt.

Luft/Wasser-Wärmepumpen werden im Konzept Energieversorgung 2050 als zu bevorzugende Technologie zur Wärmeerzeugung für Gebiete mit tiefer Nachfragedichte (in der Regel weniger als 4,5 GWh/ha Nutzenergie) qualifiziert oder als Alternative, wenn keine Fernwärme oder Erdwärmenutzung möglich sind.

1.4.2 Bedeutung von Luft/Wasser-Wärmepumpen im Konzept Energieversorgung 2050

Im Konzept Energieversorgung 2050 wird die Entwicklung der mit Luft/Wasser-Wärmepumpen beheizten Energiebezugsfläche (EBF) für die jeweiligen Stadtgebiete abgeschätzt (Kapitel 6 in [Jakob2013]). In Abbildung 2 sind die im Konzept Energieversorgung 2050 vorgesehenen Stadtgebiete dargestellt, in denen Luft/Wasser-Wärmepumpen mit einem Anteil von 3 bis 30 Prozent zur Anwendung kommen sollen.

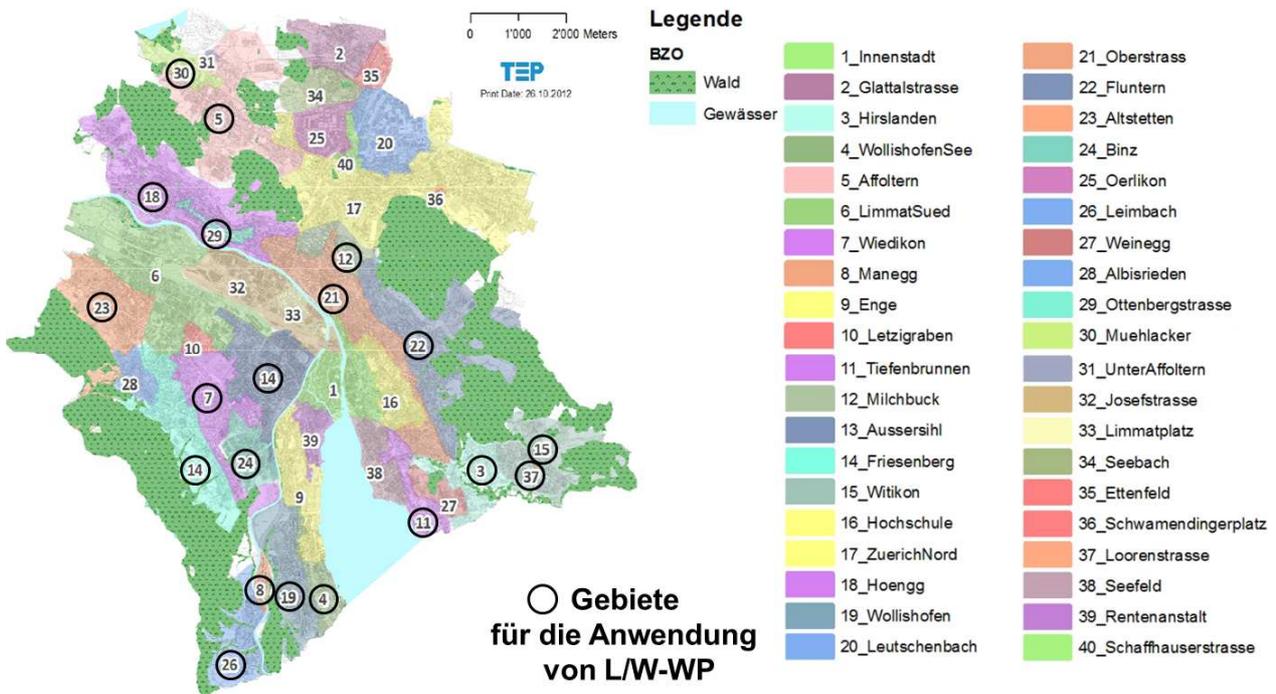


Abbildung 2: Designierte Stadtgebiete für die Anwendung von L/W-Wärmepumpen

basierend auf: [Jakob2013]

Daraus ergibt sich summarisch für die Stadt Zürich die in Tabelle 1 zusammengefasste Entwicklung. Von den heute etwa 350'000 m² Energiebezugsfläche, welche mit Luft/Wasser-Wärmepumpen beheizt werden, wird eine Steigerung um das fünf- bis elffache prognostiziert. Dies zeigt die Relevanz von Luft/Wasser-Wärmepumpen für die zukünftige Wärmeversorgung auf.

Energiesystem Szenario	EBF gesamt	Anteil L/W-WP	EBF mit L/W-WP
2010	34.3 Mio. m ²	1%	~343'000 m ²
2050 Referenz	41.74 Mio. m ²	4%	~1'669'000 m ²
2050 Effizienz	41.74 Mio. m ²	9%	~3'757'000 m ²

Tabelle 1: Entwicklung der mit L/W-Wärmepumpen beheizten Energiebezugsfläche in der Stadt Zürich

Quelle: [Jakob2013]

2 Grundlagen und Analyse der heutigen Situation

Das Kapitel „Grundlagen und Analyse der heutigen Situation“ fasst die erforderlichen technischen Grundlagen zusammen und möchte damit die Partizipation der beteiligten Fachdisziplinen für ein gemeinsames Ziel erreichen. Es werden die zu betrachtenden Wohngebäude analysiert und vier Referenzsituationen definiert, welche als Anwendungsbeispiele dienen und anhand derer beispielhaft Anwendungsdimensionen ermittelt werden. Weiterhin werden marktverfügbare Wärmepumpen hinsichtlich Effizienz und Schallemissionen untersucht sowie verfügbare Qualitätslabel und Zertifizierungen aufgezeigt.

2.1 Typen von Luft/Wasser-Wärmepumpen

Dieses Kapitel zeigt eine kurze, grundlegende Darstellung und Charakterisierung der im Projekt betrachteten Gerätetypen. Dabei stehen Geräte für monovalente Luft/Wasser-Wärmepumpen-Anlagen im Vordergrund. Im Besonderen sind dies:

- Kompaktwärmepumpe innen aufgestellt (Kap. 2.1.1)
- Kompaktwärmepumpe aussen aufgestellt (Kap. 2.1.2)
- Splitgerät mit Kältemittel-Wasser-Inneneinheit (Kap. 2.1.3)
- Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Sole-Zwischenkreis (Kap. 2.1.4)
- Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen (Kap. 2.1.5)

Weitere Bauformen oder Kombinationen mit anderen Systemen respektive Wärmeerzeugern werden in diesem Projekt nicht betrachtet. Die in diesem Kapitel gezeigten Bilder sollen lediglich die beschriebenen Anwendungen visualisieren und nicht einzelne Hersteller favorisieren.

2.1.1 Kompaktwärmepumpe innen aufgestellt

Innen aufgestellte Kompaktwärmepumpen kommen vor allem im kleineren Wärmeleistungsbereich zur Anwendung. Sie beinhalten alle wesentlichen Komponenten (Verdampfer, Ventilator, Kompressor, Kondensator) in einem Gehäuse. Aufgrund der kompakten Bauform und der Aufstellung im Gebäude muss die Aussenluft als Wärmequelle dem Gerät über Luftkanäle zugeführt und die abgekühlte Fortluft wieder aus dem Gebäude heraus geleitet werden.



Abbildung 3: Luft/Wasser-Wärmepumpe innen aufgestellt

Quelle: [StiebelEltron]

Typische Serienprodukte haben für den Betriebspunkt A2/W35 eine thermische Leistung von ca. 4 bis 35 kW. Bei Auslegungsbedingungen am Betriebspunkt A-7/W35 erreichen sie noch 25 kW.

Eine Sonderform stellen Kombigeräte mit Heizung, Wassererwärmung und integrierter Wohnungslüftung dar, welche im Leistungsbereich bis ca. 10 kW anzutreffen sind.

2.1.2 Kompaktwärmepumpe aussen aufgestellt

Aussen aufgestellte Kompaktwärmepumpen kommen ebenso wie die innen aufgestellten Pendants vor allem im kleineren Wärmeleistungsbereich zum Einsatz. Sie beinhalten alle wesentlichen Komponenten in einem Gehäuse (Verdampfer, Ventilator, Kompressor, Kondensator und oft auch Umwälzpumpen). Die Verbindung zum Heizsystem im Gebäude erfolgt hydraulisch über die Heizwasser-Leitungen. Diese müssen gedämmt und frostsicher nach innen geführt werden. Die thermische Leistung typischer Serienprodukte liegt bei ca. 4 bis 35 kW für den Betriebspunkt A2/W35 respektive bis 25 kW am Betriebspunkt A-7/W35.



Abbildung 4: Luft/Wasser-Wärmepumpe aussen aufgestellt

Quelle: [Viessmann]

2.1.3 Splitgerät mit Kältemittel-Wasser-Inneneinheit

Splitgeräte teilen die Wärmepumpe in zwei Baugruppen. Die Inneneinheit umfasst Kompressor, Kondensator und die Regelung; die Ausseneinheit enthält nur die zur Erschliessung der Wärmequelle Aussenluft notwendige Bauteile Verdampfer und Ventilator. Die Verbindung der beiden Baugruppen erfolgt über Kältemittel-Leitungen. Für diese Bauart liegen die serienmässig erhältlichen thermischen Leistungen im Bereich von etwa 4 bis 65 kW für den Betriebspunkt A2/W35 respektive bis 45 kW am Betriebspunkt A-7/W35.

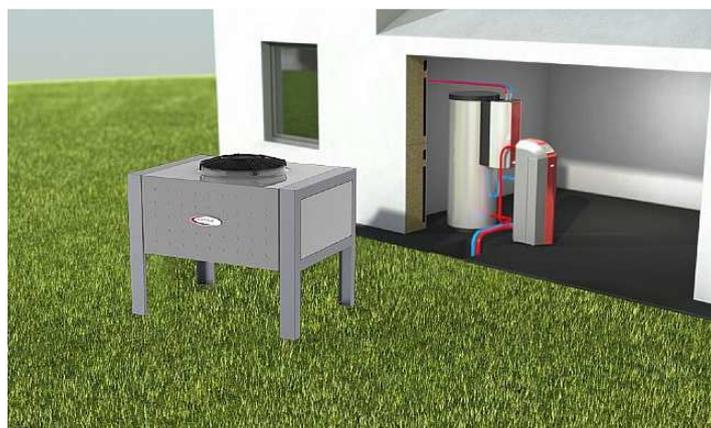


Abbildung 5: Splitgerät mit Kältemittel-Wasser-Inneneinheit und Tischverdampfer als Ausseneinheit

Quelle: [Heliotherm]

2.1.4 Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Sole-Zwischenkreis

Luft/Wasser-Wärmepumpen grösserer thermischer Leistung ab ca. 35 kW sind von der Bauart oftmals innen aufgestellte Sole/Wasser-Wärmepumpen, welche mit einem aussen aufgestellten Luft/Sole-Wärmeübertrager verbunden sind. Von ihrem äusseren Erscheinungsbild sind sie daher den Splitgeräten ähnlich, mit dem Unterschied, dass die Aussenluft-Baugruppe hydraulisch über Sole-Leitungen an das Innengerät angeschlossen ist. Diese Ausführungsart fällt jedoch eher in eine Produktgruppe, für die eine Planung erforderlich ist und die nicht als Serienprodukt angeboten wird. Grundsätzlich ist ein Sole-Zwischenkreis wegen der Temperaturdifferenz im Wärmeübertrager eher ein Nachteil. Eine Einbindung von Abwärmequellen kann bei solchen grösseren Anlagen aber insgesamt zu einem Effizienz-Vorteil werden.



Abbildung 6: Luft/Wasser-Wärmepumpe innen aufgestellt mit Sole-Zwischenkreis-Rückkühler

Quelle: [KWT]

2.1.5 Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen

Eine Leistungsregelung kann unabhängig von der Bauart die energetische Jahreseffizienz von Luft/Wasser-Wärmepumpen verbessern. Insbesondere bei Wärmepumpen kleiner thermischer Leistung ist eine Leistungsregelung von Kompressor und Ventilator Voraussetzung für eine Effizienzsteigerung. Dabei ist darauf zu achten, dass die eingesetzten Kompressoren für Leistungsmodulation geeignet sind, ein geeignetes Teillastverhalten aufweisen (vorzugsweise mit einem Synchronmotor mit Permanentmagnet) und im Effizienzmaximum betriebene „Class A“-Ventilatoren eingesetzt werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass Verdichter mit Asynchronmotor und pulsweitenmodulierendem Inverter („Drehstrom-Inverter“ in Abbildung 7 links) bei der Effizienz schlechter abschneiden als Permanentmagnetmotoren (siehe „Gleichstrom-Inverter“ in Abbildung 7 links). Abbildung 7 rechts zeigt ein Effizienzkennfeld eines Ventilators in Abhängigkeit der Druckdifferenz/Förderhöhe und dem geförderten Volumenstrom und eine typische Charakteristik der Teillasteffizienz.

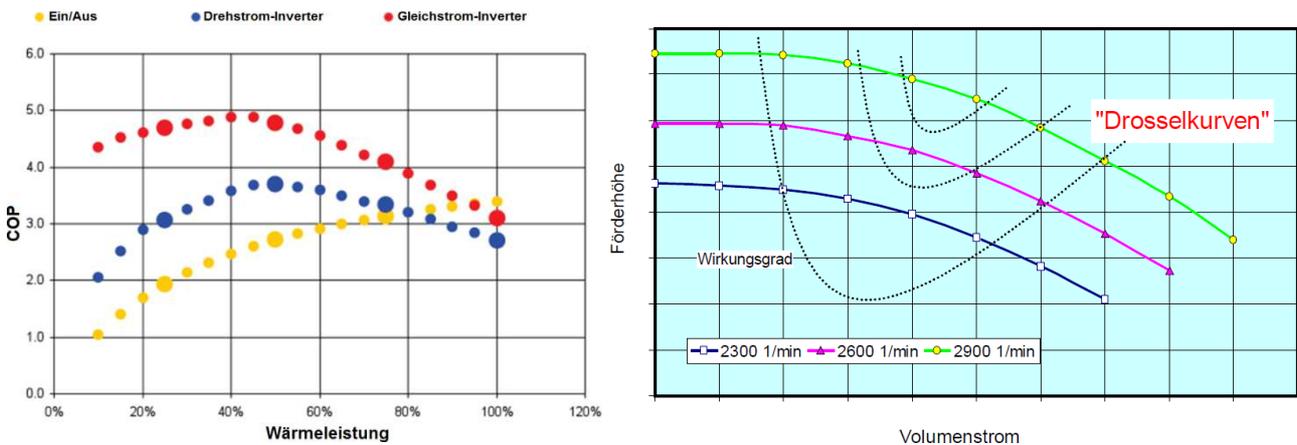


Abbildung 7: Teillast-Effizienz von Kompressoren und Ventilatoren

Die mögliche Effizienzsteigerung ist bei Sanierungen mit höheren Auslegungs-Vorlauftemperaturen grösser als bei Neubauten mit niedrigen Auslegungstemperaturen [Gasser2011], insbesondere bei Anwendung der Zwischendampfeinspritzung im Scroll-Verdichter. Jedoch ist nicht die Leistungsregelung alleine ein Garant für eine höhere Effizienz. Manche leistungsgeregelten Geräte zeigen eine schlechtere oder sogar deutlich schlechtere Effizienz als Ein/Aus-geregelte Geräte. Die Frage einer grundsätzlich guten Gesamteffizienz ist wichtiger als eine potenzielle Verbesserung durch eine Leistungsregelung.

Für Anlagen grösserer thermischer Leistung besteht zusätzlich die Option, mehrere Ein/Aus-geregelte Kompressoren parallel zu schalten und gegebenenfalls mit einem drehzahlgeregelten Kompressor zu kombinieren. Viele andere Verfahren der Leistungsregelung, wie Sauggasdrosselung, Heissgasbeimischung oder Zylinderabschaltung, dienen hauptsächlich dem Zweck der Leistungsanpassung, gehen aber nicht mit einer Effizienzverbesserung einher.

2.2 Energieeffizienz- und Schallbeurteilung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Grundbegriffe zur Effizienz- und Schallbeurteilung von Wärmepumpen kurz aufgeführt.

Die Beurteilung der energetischen Effizienz einer Wärmepumpe greift die zentrale Eigenschaft einer Wärmepumpe auf, dass mit Hilfe einer Antriebsenergie (hier Strom) ein Prozess betrieben wird, mit dem wiederum Wärme aus einer Wärmequelle (hier Umweltwärme) gewonnen wird und dann auf ein für die Anwendung (Heizwärme und Warmwasser) erforderliches Temperaturniveau gebracht wird (siehe Abbildung 8). Die Beurteilung erfolgt üblicherweise anhand der folgenden Kennzahlen:

- COP – Coefficient Of Performance
gibt als im Prüflabor messbare Leistungskennzahl Auskunft darüber, wie gross das Verhältnis zwischen erzeugter Heizleistung und aufgenommener elektrischer Leistung ist. Die Messung erfolgt bei konstanter Quellen- und Senkentemperatur. (siehe auch Anhang A.1)
- JAZ – Jahresarbeitszahl
Die Jahresarbeitszahl bewertet die Effizienz von Wärmepumpen-Heizungsanlagen. Sie gibt das Verhältnis zwischen der von der Wärmepumpe produzierten Heizenergie und der aufgewendeten elektrischen Energie an. Wenn die Heizwärmepumpe über einen Beistellboiler Warmwasser bereitstellt, ist dies in der JAZ auch enthalten. Basis sind die jährlichen Energiebezugswerte. Die JAZ ist eine gebäude- und anlagenspezifische Kenngrösse, welche sich auf ein konkretes Objekt bezieht. Dabei werden unterschiedliche Systemgrenzen angewandt. (siehe auch Anhang A.2)
- SCOP – Seasonal Coefficient Of Performance
ist eine reine Rechengrösse, die Basis für die Primärenergieeffizienz des EU Ecolabels ist (siehe auch Kap. 2.6.2). Der SCOP verknüpft COP-Werte an verschiedenen Betriebspunkten mit Klimadaten unter Berücksichtigung der Häufigkeit und bildet so eine mittlere Leistungskennzahl für einen definierten Zeitraum, üblicherweise ein Jahr. Im Gegensatz zur JAZ ist der SCOP eine Gerätegrösse und bezieht sich nicht auf ein konkretes Objekt oder eine Anlage (siehe auch Anhang A.3).

Eine detailliertere Erläuterung findet sich in Anhang A - Effizienzbeurteilung.

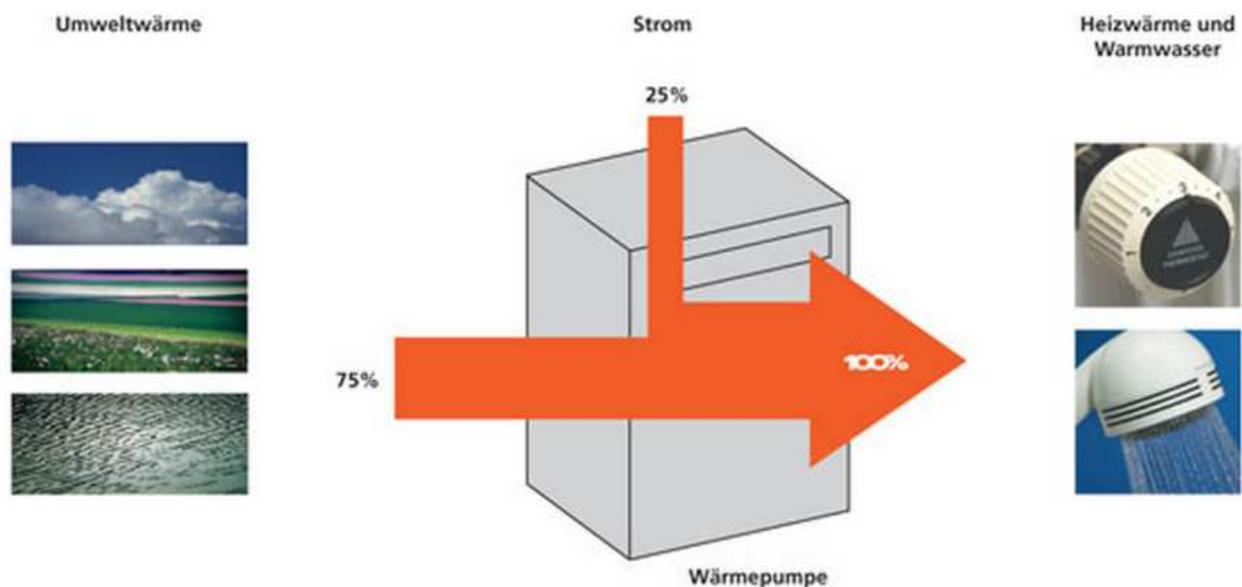


Abbildung 8: Anwendung und Effizienz von Wärmepumpenanlagen

Quelle: [FWS2014c]

Die Grundlagen für die Schall- und Lärmbeurteilung sind in Anhang B detailliert erläutert. Die Angaben basieren vornehmlich auf den Publikationen des Cercle Bruit [CercleBruit2013], der Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute, und der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS [Kunz2008], [Völkel2004].

Zentrale Begriffe sind:

- Der Schalleistungspegel (L_{wa}), welcher quantifiziert, wie viel Energie über den Schall abgegeben wird (→ Emission).
- Der Schalldruckpegel (L_{pa}), welcher eine messbare und ortsabhängige Grösse ist, die angibt, wie viel Schall ankommt.
- Der Beurteilungspegel am Immissionsort (L_r), welcher Pegelkorrekturen für Tonhaltigkeit, Impulshaltigkeit, tägliche Betriebsdauer und die Tageszeit enthält. (→ Immission).

Die Schallangaben erfolgen üblicherweise in A-bewerteten Dezibel (dB(A)), einer logarithmischen Einheit, wobei eine Erhöhung des Schallpegels um 10 dB einer Verzehnfachung der Schalleistung in Watt entspricht.

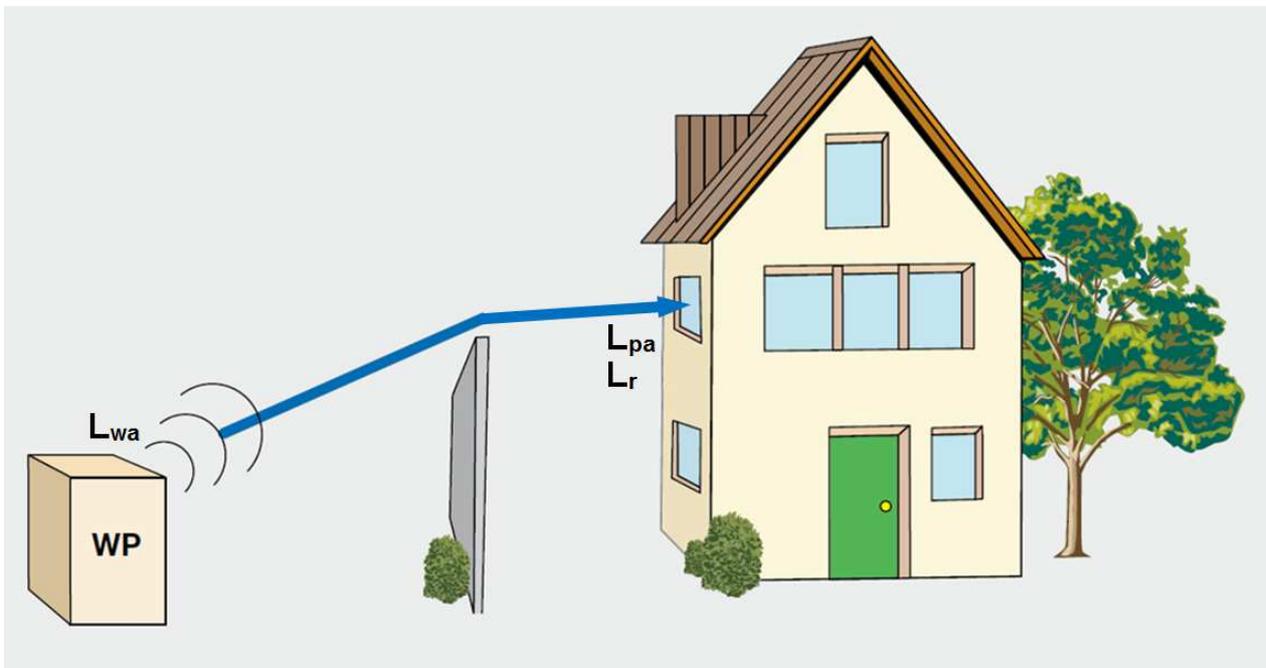


Abbildung 9: Schallwirkung von Wärmepumpen

basierend auf: [Kunz2008]

2.3 Typologisierung Wohngebäude

Für die Analyse und Bewertung der anzuwendenden Wärmepumpen und der sich daraus ergebenden Schallsituationen werden in diesem Kapitel die zu betrachtenden Wohngebäude und Bausituationen analysiert sowie darauf basierend vier Referenzsituationen definiert. Diese sollen die Stadtverträglichkeit an typischen Anwendungsbeispielen aufzeigen.

Grundlagen für die Definition der Referenzsituationen sind das Konzept Energieversorgung 2050 für die Stadt Zürich sowie Berichte von Energie-Coaching-Projekten im Gebiet Zürich-Nord mit detaillierteren Gebäudeangaben.

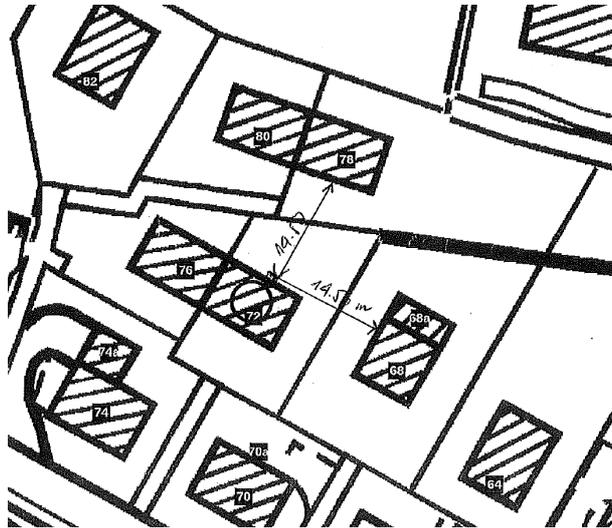


Abbildung 10: Ausschnitt aus einem Situationsplan zur Schallbeurteilung

2.3.1 Annahmen zu Normheizlast, Heizwärmebedarf und Vorlauftemperaturen

Für die Normheizlast, den Heizwärmebedarf und die zu erwartenden Vorlauftemperaturen werden in diesem Projekt vereinfachende Annahmen getroffen. Für die zu betrachteten Gebäude wird angenommen, dass ausgehend von dem anzutreffenden Baujahr Massnahmen mit nur geringer Eingriffstiefe bei der Erneuerung umgesetzt wurden. Dies sind insbesondere Massnahmen wie ein Fensterersatz oder die Dämmung von Kellerdecke und oberster Geschossdecke. Basierend auf dieser Annahme wird eine flächenspezifische Normheizlast im Bereich $\sim 15\text{-}75\text{ W/m}^2$ angesetzt.

Je nach Gebäudehüllenqualität werden die folgenden spezifischen Normheizlasten angenommen:

- $\sim 15\text{ W/m}^2$ Minergie-P
- $\sim 35\text{ W/m}^2$ Minergie / Neubau nach MuKE n
- $\sim 50\text{ W/m}^2$ neueres Bestandsgebäude oder nachträgliche Gebäudehüllendämmung
- $< 75\text{ W/m}^2$ Bestandsgebäude mit Fensterersatz, sowie Dach- und Kellerdeckendämmung

Mit diesen Annahmen zur Normheizlast können mit üblichen Wärmeübergabesystemen / Heizflächen Vorlauftemperaturen im Auslegungsfall im Bereich $< 50^\circ\text{C}$ realisiert werden. Mit Auslegungsvorlauftemperaturen $< 50^\circ\text{C}$ können auch mit Luft/Wasser-Wärmepumpen akzeptable bis gute Energieeffizienzen erreicht werden. Weiterhin sind die betrachteten Gebäude damit konsistent zur [MuKE n2008], welche maximale Vorlauftemperaturen von 50°C bei Heizkörpern respektive von 35°C für Fussbodenheizungen fordert. Allerdings kommen diese erst bei der Erneuerung des Wärmeabgabesystems zum Tragen. Offen ist, wie diese maximalen Vorlauftemperaturen umgesetzt werden können, wenn lediglich der Wärmeerzeuger erneuert wird.

Besondere Beachtung ist im Fall eines hohen Wärmebedarfs und ungünstiger Umsetzung einer energetischen Gesamterneuerung eher einzelnen Räumen mit hohem spezifischem Wärmebedarf zu

schenken, damit hier die Vorlauftemperatur abgesenkt werden kann und nicht einzelne Räume oder kleine beheizte Flächen die Vorlauftemperatur des gesamten Gebäudes hoch halten.

Im Sinne stadtverträglicher Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger wird also im weiteren davon ausgegangen, dass bei Sanierungen:

- Alle Gebäude einem energetischen Stand entsprechen, bei dem in der Gebäudehülle zumindest Erneuerungsmassnahmen geringer Eingriffstiefe realisiert wurden.
- Die flächenspezifische Normheizlast weniger als 75 W/m^2 beträgt.
- Auslegungs-Vorlauftemperaturen für den Heizbetrieb von höchstens 50°C erreicht werden.

2.3.2 Grundlagen und Annahmen

Im Bericht „Konzept Energieversorgung 2050“ sind die durchschnittlichen Energiebezugsflächen je Gebäude der Quartiere im Nachfragegebiet aufgeführt. In Abbildung 11 sind die für die Anwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen vorgesehenen Gebiete markiert. Die durchschnittlichen Energiebezugsflächen pro Gebäude für die Quartiere mit Luft/Wasser-Wärmepumpen liegen im Bereich von ca. $300\text{-}750 \text{ m}^2$. Hieraus kann abgeschätzt werden, dass Gebäude mit Energiebezugsflächen bis zu ca. 1000 m^2 in Betracht kommen.

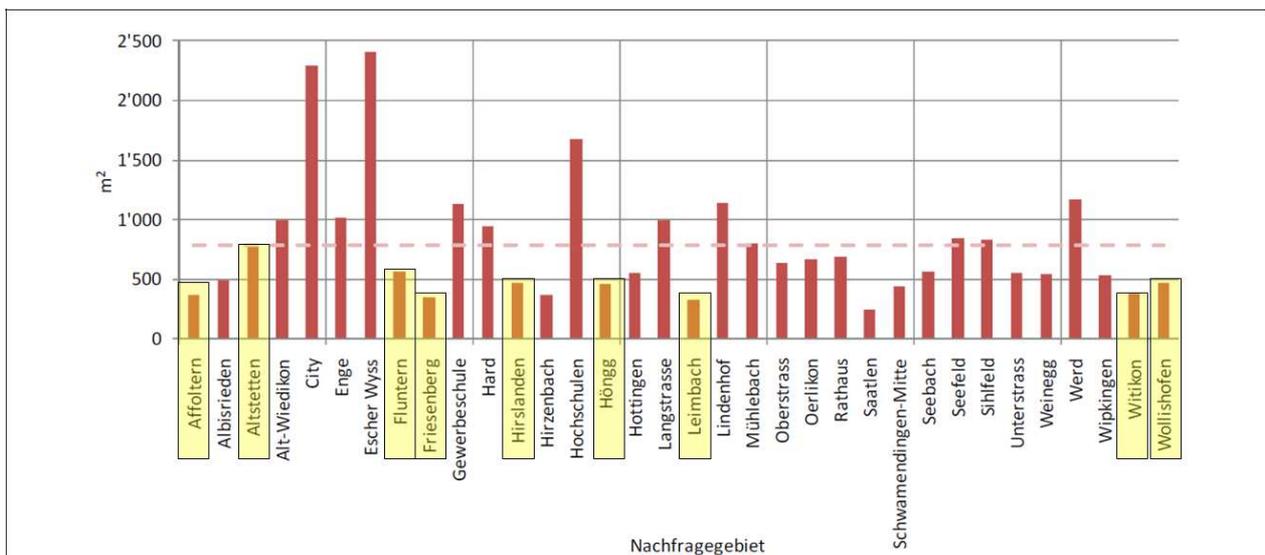


Abbildung 11: Durchschnittliche Energiebezugsfläche pro Gebäude nach Quartier mit markierten Quartieren für die Anwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen gemäss Konzept Energieversorgung 2050, [Jakob2013]

Eine statistisch nicht repräsentative Auswahl von Energie-Coaching-Projekten weist die in Abbildung 12 dargestellten Gebäudegrössen auf. Es wurden insgesamt 26 Gebäude einbezogen, welche Energiebezugsflächen zwischen 110 und 1200 m^2 aufweisen und zwischen 1 und 13 Wohneinheiten umfassen.

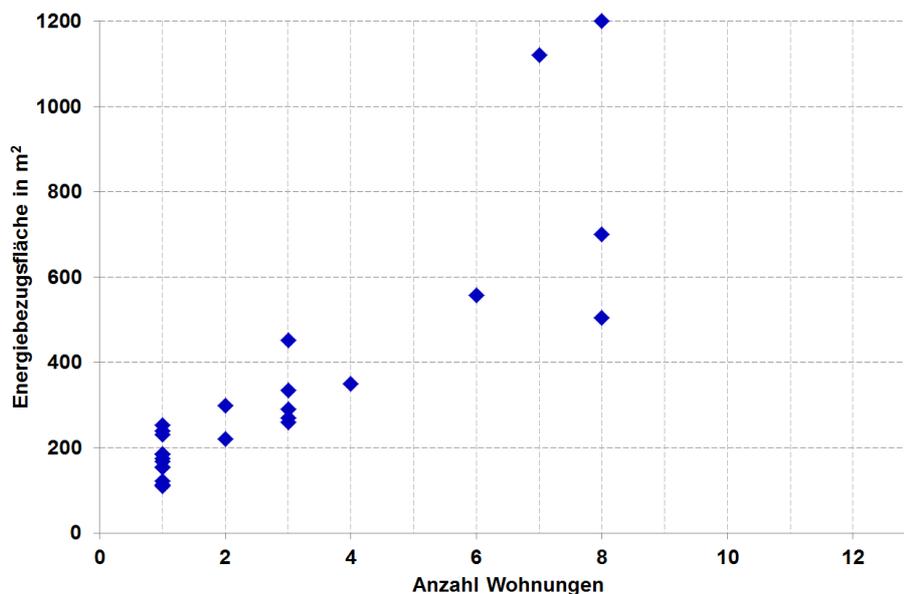


Abbildung 12: Grösse der ausgewählten Objekte aus den Energie-Coaching-Projekten

Basierend auf diesen beiden Auswertungen wird die zu betrachtende Gebäudegrösse mit bis zu 1200 m² festgelegt. Darüber hinaus werden die folgenden vier erwarteten Varianten örtlicher Gegebenheiten und entsprechende Aufstellsituationen definiert:

- Situation 1 – Reihenhaus / kleineres Einfamilienhaus
- Situation 2 – freistehendes Einfamilienhaus / Doppel-Einfamilienhaus
- Situation 3 – kleineres Mehrfamilienhaus
- Situation 4 – grösseres Mehrfamilienhaus

Für darüber hinausgehend grössere Gebäude oder Überbauungen wird üblicherweise eine individuelle Planung durchgeführt und dementsprechend umgesetzt. Weiterhin kommen grössere Wärmезentralen weniger häufig vor und sind dann oftmals separate Bauwerke. Sie können somit besser individuell behandelt werden. Anleihen für die Handhabung solcher Situationen können aber, soweit anwendbar, auch bei der Situation 4 genommen werden.

Im Weiteren werden die vier Referenzsituationen mit folgenden Annahmen kurz dargestellt und erläutert. Es werden jeweils die Grösse des Gebäudes anhand der Energiebezugsfläche, der thermischen Leistung der Wärmepumpe und der Anzahl Wohneinheiten charakterisiert. Grafisch wird eine typische Bebauungssituation skizziert, wobei eines oder mehrere Häuser mit der Grundstücksgrenze (— — — — —) aufgezeichnet werden. Darin sind mögliche Aufstellorte für Luft/Wasser-Wärmepumpen oder, für innen aufgestellte Geräte, Austrittsöffnungen von Luftauslässen dargestellt ■. Diese zeigen charakteristische Schallemissionsorte in Bezug zur Gesamtsituation. Mit Pfeilen (←→) sind weiterhin typische Abstände zwischen den möglichen Schall-Emissionsorten und dem nächsten Schall-Immissionsort eingezeichnet. Einen Anhaltspunkt für die Bestimmung der üblichen vorkommenden Abstände bietet der Grundgrenzabstand, der mit ca. 3.5 m angesetzt wird. Die Abstände zwischen den Schall-Emissionsorten und -Immissionsorten werden als abgeschätzter Bereich für typische Abstände zusammengefasst aufgeführt und werden insgesamt von minimal 3 m bis maximal 15 m angesetzt.

2.3.3 Situation 1 – Reihenhaus / kleines Einfamilienhaus

Situation 1 beschreibt die kleinsten als Gruppe definierten Gebäude, welche meist als Reihenhaus oder kleine Einfamilienhäuser ausgeführt sind. Charakterisierend sind geringe Normheizlasten der Gebäude sowie oftmals geringe Abstände zu den Nachbargebäuden.

- Energiebezugsfläche 100 – 150 m²
- Thermische Leistung der Wärmepumpe 2.5 – 10 kW
- Anzahl Wohneinheiten 1
- Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort: ca. 3 – 8 m

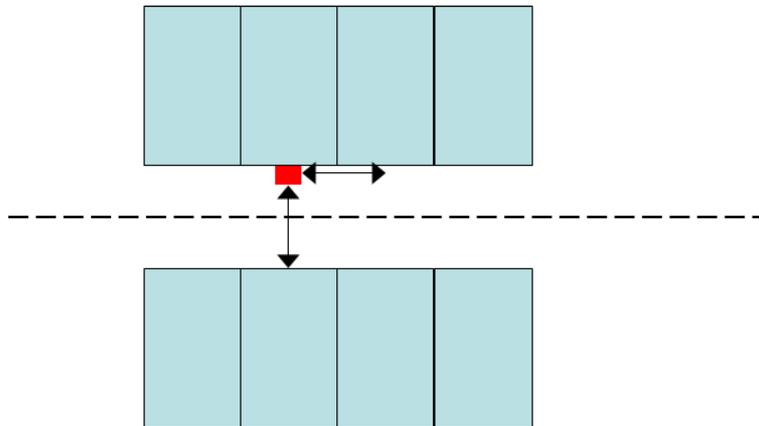


Abbildung 13: Situationsskizze Reihenhauses / kleines Einfamilienhaus mit angedeuteter Grundstücksgrenze (-----), mögliche Aufstellorte / Schallemissionsorte einer Wärmepumpe ■, Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort ↔



Abbildung 14: Beispielbild einer Situation 1 - Reihenhauses / kleines Einfamilienhaus

Quelle: [GoogleMaps]

2.3.4 Situation 2 – freistehendes Einfamilienhaus / Doppel-Einfamilienhaus

Situation 2 beschreibt grössere freistehende Einfamilienhäuser oder Doppel-Einfamilienhäuser. Diese zeichnen sich durch meist individuelle Heizanlagen mit höheren spezifischen Heizlasten aus und in der Regel grösseren Abständen zur Nachbarbebauung.

- Energiebezugsfläche 120 – 250 m²
- Thermische Leistung der Wärmepumpe 4 – 20 kW
- Anzahl Wohneinheiten 1 – 2
- Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort: ca. 3 – 11 m

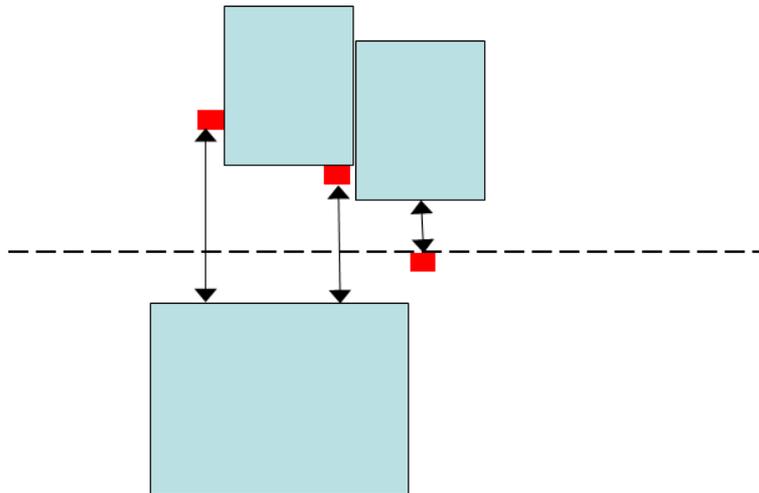


Abbildung 15: Situationsskizze freistehendes Einfamilienhaus / Doppel-Einfamilienhaus mit angedeuteter Grundstücksgrenze (-----), mögliche Aufstellorte / Schallemissionsorte einer Wärmepumpe ■, Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort ↔



Abbildung 16: Beispielbild einer Situation 2 - freistehendes Einfamilienhaus / Doppel-Einfamilienhaus Quelle: [GoogleMaps]

2.3.5 Situation 3 – kleineres Mehrfamilienhaus

Situation 3 beschreibt kleinere Mehrfamilienhäuser. Diese fassen meist eine Wärmeerzeugung für mehrere Wohneinheiten zusammen, wodurch die Nennleistung der einzelnen Wärmepumpe steigt. Die Nennleistung ist mit 35 kW noch in einem Bereich, in dem alle betrachteten Wärmepumpentypen als Seriengeräte in Betracht kommen.

- Energiebezugsfläche 250 – 500 m²
- Thermische Leistung der Wärmepumpe 6 – 35 kW
- Anzahl Wohneinheiten ~3 – 6
- Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort: ca. 3 – 15 m

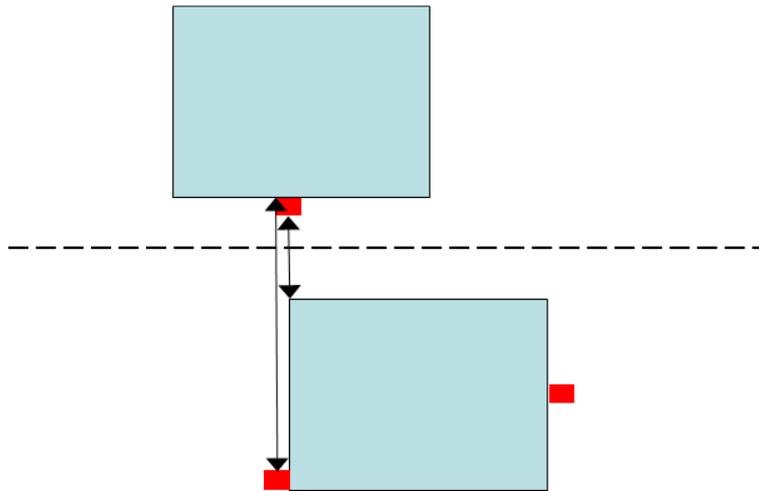


Abbildung 17: Situationsskizze kleineres Mehrfamilienhaus mit angedeuteter Grundstücksgrenze (-----), mögliche Aufstellorte / Schallemissionsorte einer Wärmepumpe ■, Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort ↔



Abbildung 18: Beispielbild einer Situation 3 - kleineres Mehrfamilienhaus

Quelle: [GoogleMaps]

2.3.6 Situation 4 – grösseres Mehrfamilienhaus

Situation 4 beschreibt die grössten hier typisierten Wohngebäude, grosse Mehrfamilienhäuser oder gegebenenfalls auch Wohngebäude in Blockbebauung. Dieser Gebäudetyp zeichnet sich durch die grosse Energiebezugsfläche und damit einhergehende höhere Nennleistung der einzusetzenden Wärmepumpe aus, wobei die Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort nahezu identisch sind mit denen in Situation 3. Hier ist zusätzlich eine Dachaufstellung eingezeichnet, welche für Gebäude mit Flachdach eine günstige Option in Bezug auf die Distanz zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort sein kann.

- Energiebezugsfläche 300 – 1200 m²
- Thermische Leistung der Wärmepumpe 8 – 90 kW
- Anzahl Wohneinheiten ~3 – 12
- Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort: ca. 3 – 15 m

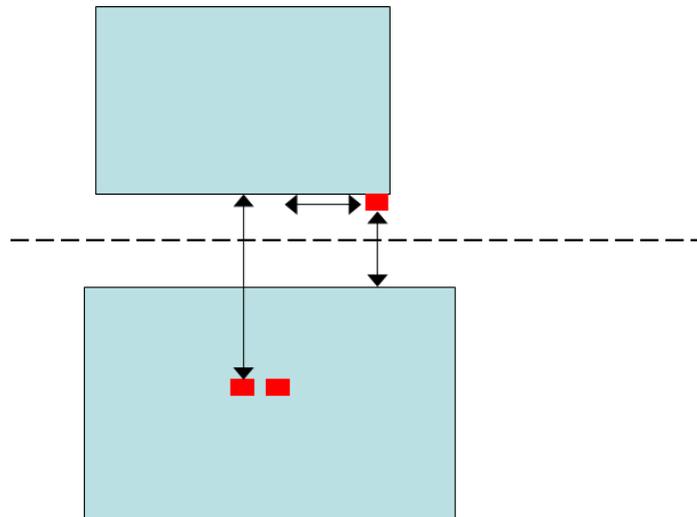


Abbildung 19: Situationsskizze grösseres Mehrfamilienhaus / MFH im Block mit angedeuteter Grundstücksgrenze (-----), mögliche Aufstellorte / Schallemissionsorte einer Wärmepumpe ■, Abstände zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort ↔



Abbildung 20: Beispielbild einer Situation 4 - grösseres Mehrfamilienhaus / MFH im Block

Quelle: [GoogleMaps]

2.4 Energieeffizienz marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen

In diesem Kapitel wird die aktuelle Situation marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen hinsichtlich energetischer Effizienzkennzahlen betrachtet. Hierfür wurden in Kapitel 2.4.1 einerseits Daten aus Herstellerangaben aktueller Baureihen sowie Daten des Wärmepumpen-Testzentrums WPZ [WPZ2013] in Buchs zu eigenen Auswertungen herangezogen. Des Weiteren werden aktuelle Ergebnisse des WPZ-Buchs zur Effizienz in Kapitel 2.4.2 aufgeführt.

2.4.1 Auswertung von Herstellerdaten

Im Folgenden werden die COP-Werte für die drei Betriebspunkte A2/W35, A7/W55 und A-7/W55 der betrachteten Wärmepumpen aufgezeigt. Für diese Betriebspunkte werden neben den einzelnen Geräten die Effizianzorderungen von [TopTen.ch] sowie der Schwellenwert zu den jeweils 25% besten Geräte und der Median aufgeführt. 10% aller Geräte überschreiten für alle drei Betriebspunkte gleichzeitig den Grenzwert der jeweils 25% Besten pro Betriebspunkt.

Für den Betriebspunkt A2/W35 sind in Abbildung 21 die COP-Werte aus Hersteller-Datenblättern und dem WPZ-Bulletin dargestellt. Zusätzlich abgebildet sind die verschiedenen Energieeffizienz-Grenzwerte von 3.6 von [TopTen.ch], 3.1 vom EHPA-Gütesiegel [EHPA2014], der Median und der Wert, den 25% aller Geräte erreichen. Es gibt nur wenige Geräte, welche den EHPA-Gütesiegelwert nicht erreichen. Der Grossteil der Wärmepumpen erreicht den Grenzwert mit grossem Abstand, der mit der heute üblichen Technik gut erreichbar ist. Die 25% Besten befinden sich oberhalb eines COP von 3.7. Die [TopTen.ch]-Anforderung von 3.6 erfüllen 35% der Geräte. Der Median (50%) liegt bei 3.5.

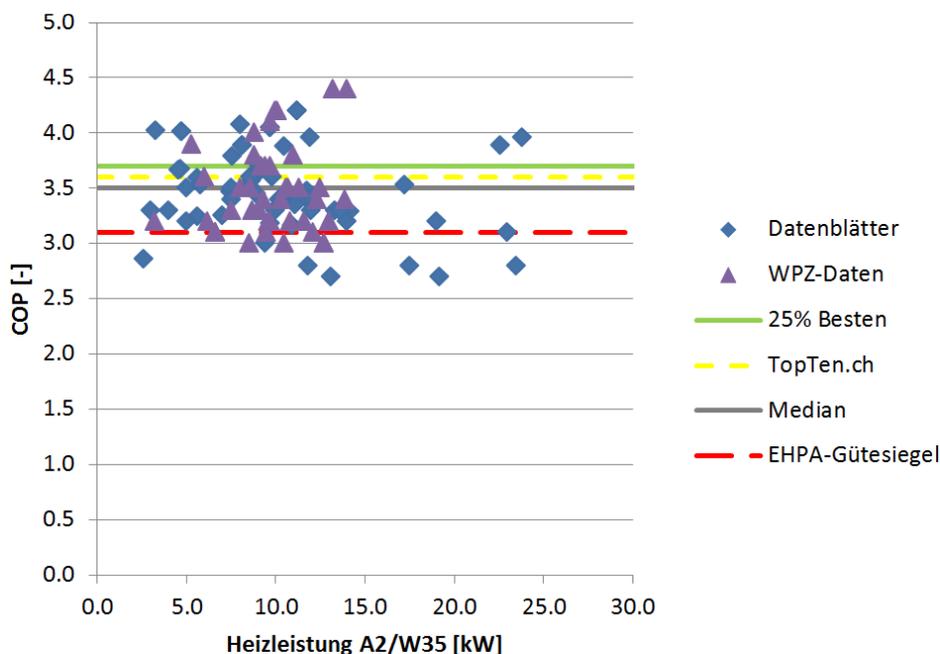


Abbildung 21: COP-Werte marktverfügbarer L/W-WP am Betriebspunkt A2/W35

Abbildung 22 zeigt COP-Werte marktverfügbarer Wärmepumpen für den Betriebspunkt A7/W55. Aufgrund des höheren Temperaturhubes liegen die Werte erwartungsgemäss tiefer als beim Betriebspunkt A2/W35. Allerdings zeigt sich eine etwas grössere Streubreite, wobei die Effizianzorderungen von [TopTen.ch] (3.6) in etwa dem Median entspricht. Durch diese Anforderung würde von den aktuellen Geräten etwas weniger als die Hälfte ausgeschieden. Zum Erreichen einer besseren Energieeffizienz müssten in Zukunft höhere Anforderungen an die Geräteentwicklung gestellt werden, welche aufgrund der hinreichenden Anzahl Geräte, die den Grenzwert überschreiten, technisch machbar, aber noch nicht in allen Geräten umgesetzt ist. Die 25% Besten erreichen einen COP von über 2.9.

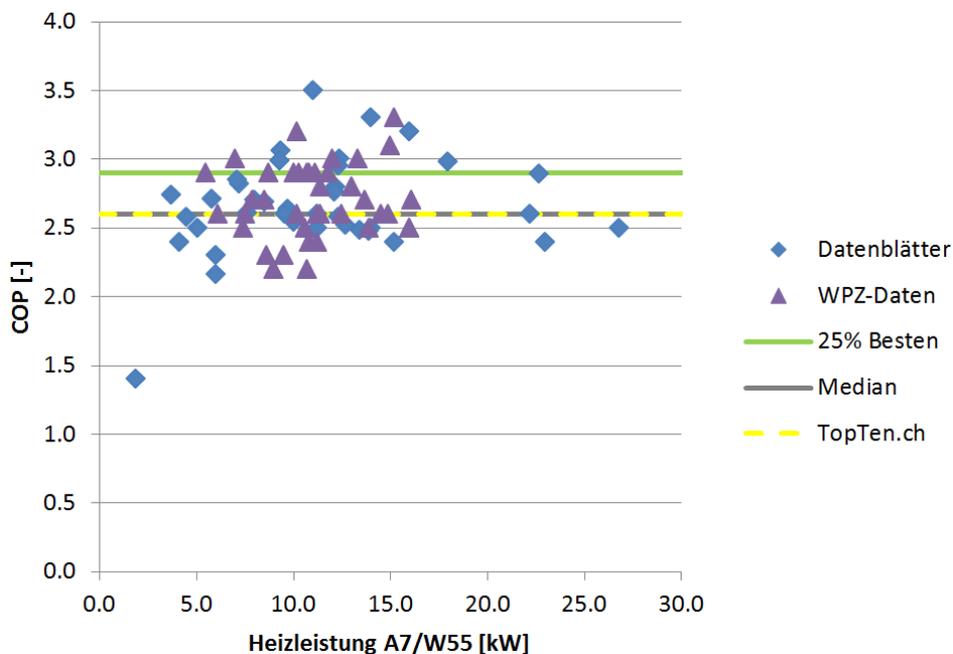


Abbildung 22: COP-Werte marktverfügbarer L/W-WP am Betriebspunkt A7/W55

Abbildung 23 zeigt die COP-Werte für den Betriebspunkt A-7/W55. Aufgrund des nochmals höheren Temperaturhubes liegen die COP-Werte im Vergleich der drei Betriebspunkte am niedrigsten. Für die Bewertung in Bezug zur Effizienzanforderungen von [TopTen.ch] von 1.8 zeigt sich ein ähnliches Bild wie für den Betriebspunkt A7/W55. Etwa die Hälfte der COP-Werte liegt unter dem Grenzwert. Allerdings weisen auch eine hinreichende Anzahl Geräte eine deutlich höhere Effizienz auf. Daher kann von einer technischen Machbarkeit ausgegangen werden, welche aber noch nicht in den marktverfügbaren Geräten umgesetzt ist. Die 25% besten Geräte erreichen einen COP-Wert über 2.0.

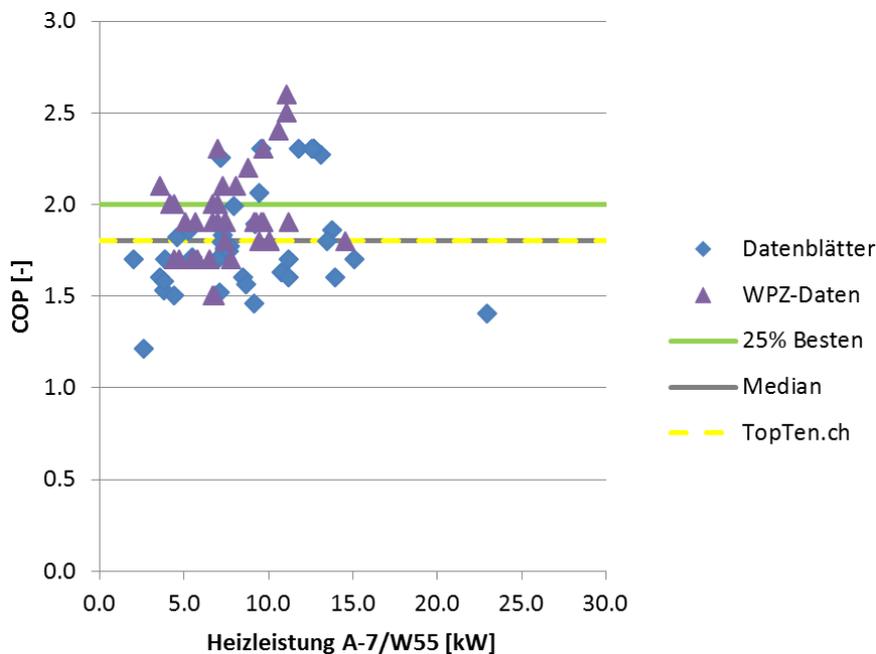


Abbildung 23: COP-Werte marktverfügbarer L/W-WP am Betriebspunkt A-7/W55

2.4.2 Auswertung WPZ Buchs

An der Tagung Update2013 der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz stellte Michael Eschmann vom Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs Auswertungen zur Effizienzentwicklung von L/W-

Wärmepumpen vor [Eschmann2013]. Die Entwicklung der mittleren COP-Werte von Luft/Wasser-Wärmepumpen über die Jahre 1993 bis 2012 zeigt Abbildung 24.

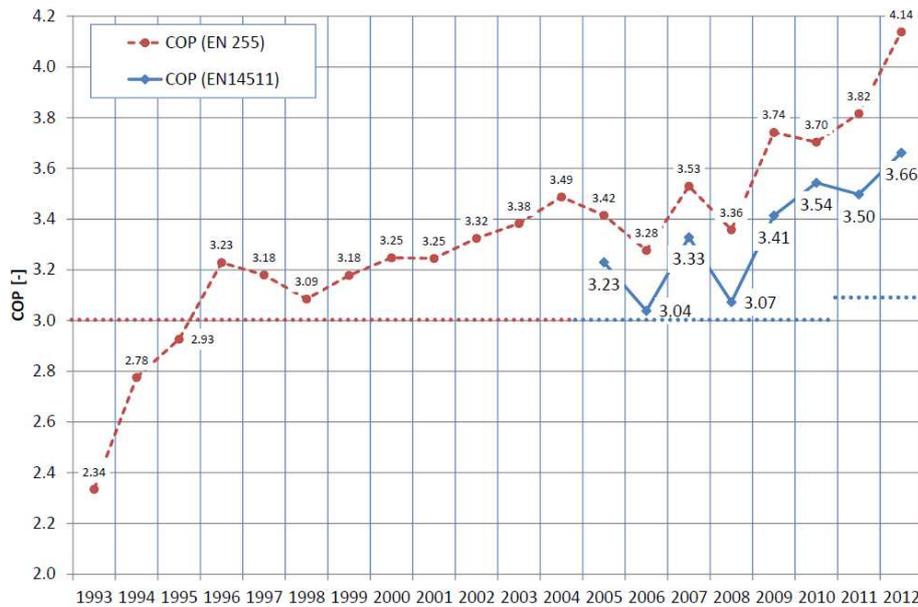


Abbildung 24: Entwicklung der COP-Werte marktverfügbarer L/W-WP bei A2/W35

Quelle: [Eschmann2013]

Bis 2004 wurde nach der Prüfnorm [EN255:1997] gemessen, woraus sich aufgrund einer grösseren Spreizung des Heizwassers höhere COP-Werte ergeben, als nach der ab 2005 der Prüfung zu Grunde liegenden Prüfnorm [EN14511:2013]. Die Grenzwerte von ehemals 3.0 respektive 3.1 seit 2010 können besonders für die aktuelle Situation als gut technisch machbar eingestuft werden. Dabei zeigt sich anhand der hier vorliegenden Quelle vor allem in den letzten Jahren eine deutliche Steigerung der Effizienz.

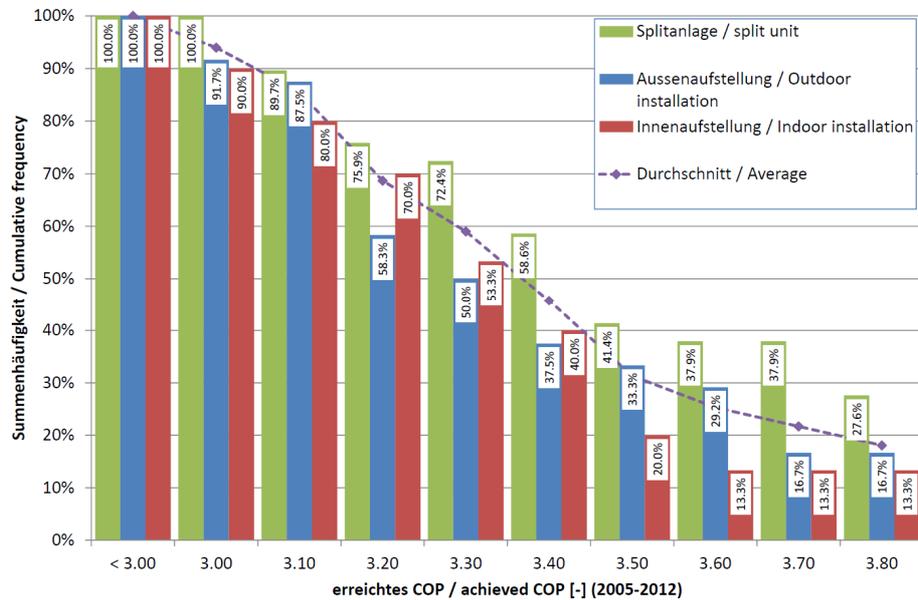


Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung der COP-Werte marktverfügbarer L/W-WP bei A2/W35

Quelle: [Eschmann2013]

Die in Abbildung 25 dargestellte Summenhäufigkeitsverteilung der COP-Werte umfasst Wärmepumpen aus den Jahren 2005 bis 2012 und ist in die drei Gerätebauarten „Split-Anlage“, „Aussenauflistung“ und „Innenaufstellung“ aufgeteilt. Die Verteilung zeigt eine leichte Tendenz zu höheren COP-Werten bei Split-Anlagen.

2.4.3 Ausblick zur Geräteentwicklung

Die Arbeiten zu leistungsgeregelten Luft/Wasser-Wärmepumpen im BFE-Projekt „Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung“ [Gasser2011] zeigen auf, welche Potenziale bei einer sehr guten Umsetzung solcher Anlagen erwartet werden können.

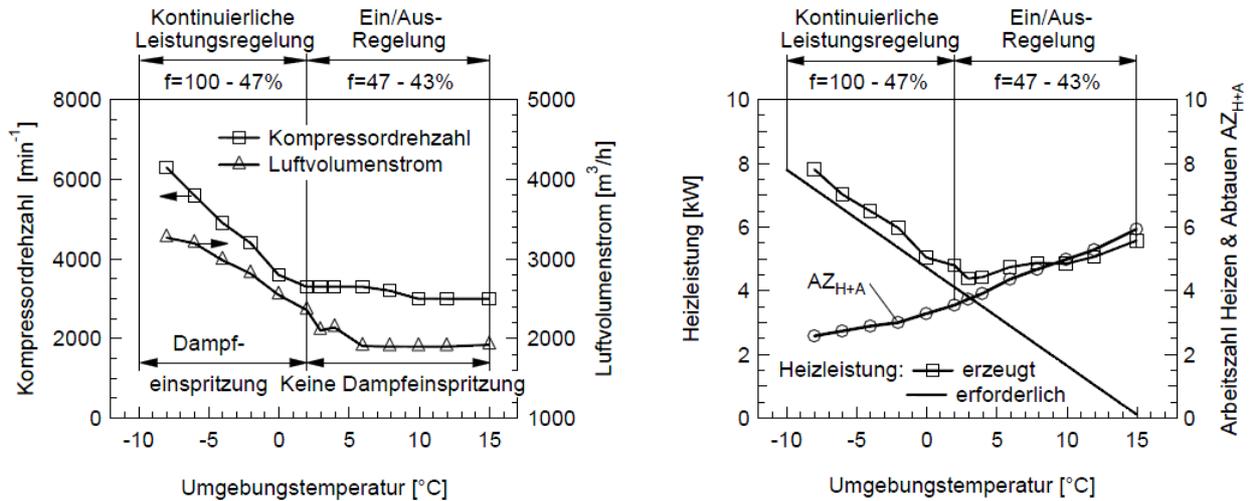


Abb. 8-43: LW-WP-Prototyp mit Inverter-Scroll-Kompressor mit Dampfeinspritzung für die Heizkurve sanierter Altbau (38°C Rücklauftemperatur, 46°C Vorlauftemperatur bei -10°C Umgebungstemperatur), links: Kompressorrehzahl und Luftvolumenstrom, rechts: Erforderliche und erzeugte Heizleistung sowie Arbeitszahl (Heizen & Abtauen) AZ_{H+A} (inkl. Ventilator)

Abbildung 26: Darstellung zur Anwendung der Leistungsregelung bei LW-WP

Quelle: [Gasser2011]

Jahresarbeitszahl JAZ

(inkl. Ventilator, ohne HW-Umwälzpumpe, ohne Warmwasser):

Heizkurve	Minergie-Standard	Hochwertig sanierter Altbau	Sanierter Altbau
Vorlauf-/Rücklauftemperatur bei -10°C Umgebungstemperatur	30°C/25°C	41°C/35°C	46°C/38°C
Jahresarbeitszahl mit Abtauerung JAZ_{H+A}	4.41	4.40	3.79

Zum Vergleich JAZ aus Feldmessungen:

FAWA [1]: **JAZ = 2.6** (nJAZ2, ohne Speicher)

Fraunhofer [2]: **JAZ = 2.95** (AZ1, inkl. Warmwasser)

Abbildung 27: Effizienzpotenzial der Leistungsregelung bei LW-WP

Quelle: [Gasser2011]

Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen einen vielversprechenden Ansatz zur Leistungsregelung von Luft/Wasser-Wärmepumpen und das sich daraus ergebende Effizienz-Potenzial für den Heizbetrieb. Demnach können sehr gute, leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen ähnlich effizient sein wie Ein/Aus-geregelte Erdwärmesonden-Wärmepumpen.

2.4.4 Schlussfolgerung zur Effizienz marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen

Die Auswertung in [Eschmann2013] zeigt, dass die COP-Werte der marktverfügbaren Luft/Wasser-Wärmepumpen am Betriebspunkt A2/W35 in den letzten Jahren von circa 3.2 auf rund 3.6 deutlich gesteigert werden konnten. Die Auswertung von Einzelgeräten aus Hersteller-Datenblättern und dem WPZ-Bulletin zeigt dabei allerdings noch eine recht grosse Streubreite der einzelnen Geräte. Tabelle 2 zeigt die COP-Schwellenwerte bei verschiedenen Betriebspunkten, welche 90% aller Geräte, 50% aller Geräte (Median) respektive die 25% besten Geräte in der Stichprobe erreichen sowie die

Effizianz Anforderung von [TopTen.ch]. Die Anforderungen von [TopTen.ch] stellen dabei für die Betriebspunkte A7/W55 und A-7/W55 in etwa den Median dar. Für den Betriebspunkt A2/W35 liegt der Median des COP mit circa 3.5 etwas unter dieser Anforderung.

Mit Blick auf die Beurteilungskriterien für die Stadtverträglichkeit von Luft/Wasser-Wärmepumpen kann kein direktes, technisches Entscheidungskriterium abgeleitet werden. Es könnte allenfalls aus der energetischen Gesamtsituation und der Verfügbarkeit erneuerbarer Elektrizität abgeleitet werden. Im Hinblick auf eine fördernde Wirkung in Bezug auf die energetische Effizienz kann allerdings das Kriterium für eine stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe auf die COP-Schwellenwertgruppe für 90%, 50% oder 25% der marktverfügbaren Geräte gelegt werden.

	Schwellenwert für 90% aller Geräte	Median der Stichprobe	Anforderung [TopTen.ch]	Schwellenwert für die 25% besten Geräte
A2/W35	3.1	3.5	3.6	3.7
A7/W55	2.4	2.6	2.6	2.9
A-7/W55	1.6	1.8	1.8	2.0
Anteil marktverfügbarer Geräte, die alle drei Kriterien erfüllen	74%	30%	19%	10%

Tabelle 2: COP-Schwellenwerte und Marktverfügbarkeit für die untersuchte Stichprobe

2.5 Schallemissionen marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen

In diesem Kapitel wird die aktuelle Situation marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen hinsichtlich Schallemissionen betrachtet. In Kapitel 2.5.1 werden einerseits Daten aus Herstellerangaben aktueller Baureihen sowie Daten vom Wärmepumpen-Testzentrum WPZ [WPZ2013] in Buchs zu eigenen Auswertungen herangezogen. Des Weiteren werden aktuelle Ergebnisse von zwei Fachgruppen mit ähnlichem Schwerpunkt aufgenommen, eine Auswertung des WPZ-Buchs in Kapitel 2.5.2 sowie eine Auswertung vom Cercle Bruit in Kapitel 2.5.3.

Die gesellschaftliche Akzeptanz von Luft/Wasser-Wärmepumpen in flächendeckender Anwendung hängt stark von den Schallemissionen der Geräte ab. Durch die Lärmschutzverordnung (siehe Kapitel 3.1) sind Anforderungen an die Schallimmissionen definiert und es besteht die Pflicht zur Vorsorge, die darauf abzielt, mit technischen und baulichen Massnahmen die Lärmbelastung zu minimieren. Da schalldämmende Massnahmen meist schwierig umzusetzen sind, ist es vorteilhafter, beim Schalleistungspegel anzusetzen, d.h. den Lärm an der Quelle zu reduzieren. Im Folgenden wird die aktuelle Marktlage gezeigt, wobei der A-bewertete Schalleistungspegel in Abhängigkeit der Heizleistung aufgetragen ist.

2.5.1 Auswertung von Herstellerdaten

In der eigenen Auswertung ist kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Heizleistung und Schalleistungspegel erkennbar. Wie in Abbildung 28 dargestellt, variieren die Schalleistungspegel zwischen 48 und 78 dB(A) für Geräte mit einer Heizleistung von 3 kW bis zu 90 kW.

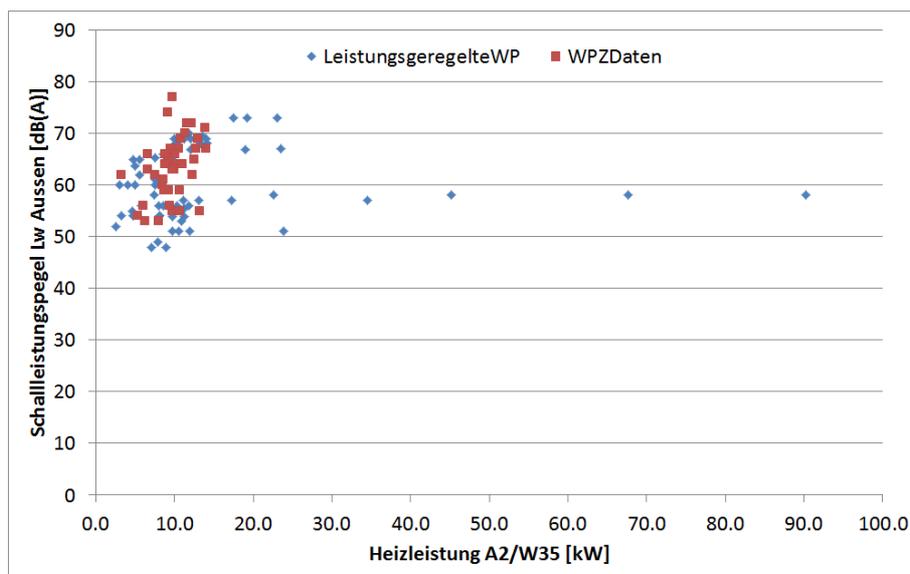


Abbildung 28: Schallemissionen marktverfügbarer L/W-WP in Bezug zur Heizleistung

Die Summenhäufigkeitsverteilung der Schalleistungspegel in Tabelle 3 zeigt, dass mit 3% nur sehr wenige der marktverfügbaren Luft/Wasser-Wärmepumpen einen sehr niedrigen Wert von unter 50 dB(A) aufweisen. Im Bereich bis 55 dB(A) sind immerhin schon 21% der Geräte anzutreffen. Knapp die Hälfte der Geräte (44%) weist einen Schalleistungspegel im Bereich 55 bis 65 dB(A) auf.

Schalleistungspegel	<= 50 dB(A)	<= 55 dB(A)	<= 60 dB(A)	<= 65 dB(A)	<= 70 dB(A)
Summenhäufigkeit	3%	21%	45%	65%	93%

Tabelle 3: Summenhäufigkeitsverteilung der Schalleistungspegel

Die Schalleistungspegel der Geräte sind in Abbildung 29 in Relation zum COP bei geringem Temperaturhub (A2/W35) und in Abbildung 30 zum COP bei grossem Temperaturhub (A-7/W55)

dargestellt. Dabei lässt sich kein klarer Zusammenhang zwischen dem Schallleistungspegel und der energetischen Effizienz der Geräte erkennen.

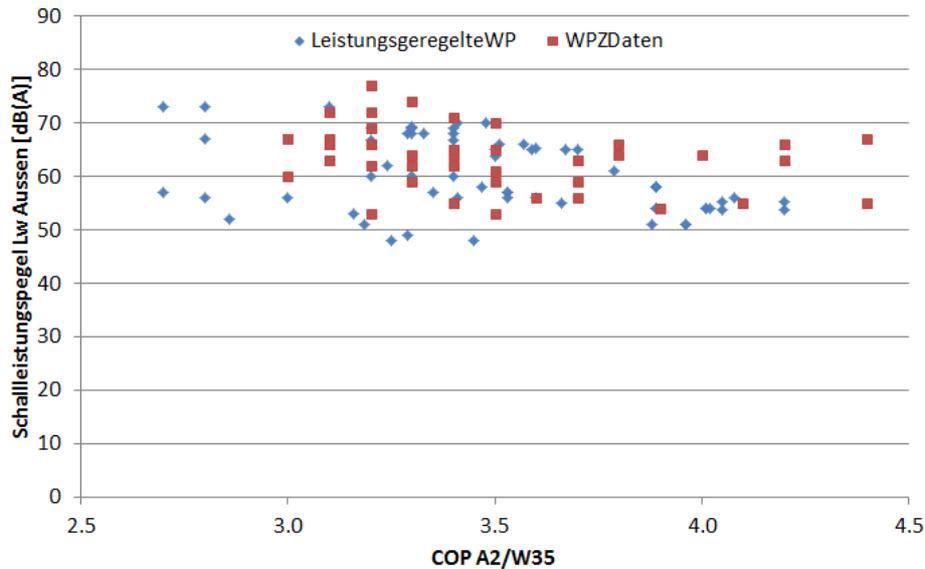


Abbildung 29: Schallemissionen marktverfügbarer LW-WP in Relation zum COP bei geringem Temperaturhub

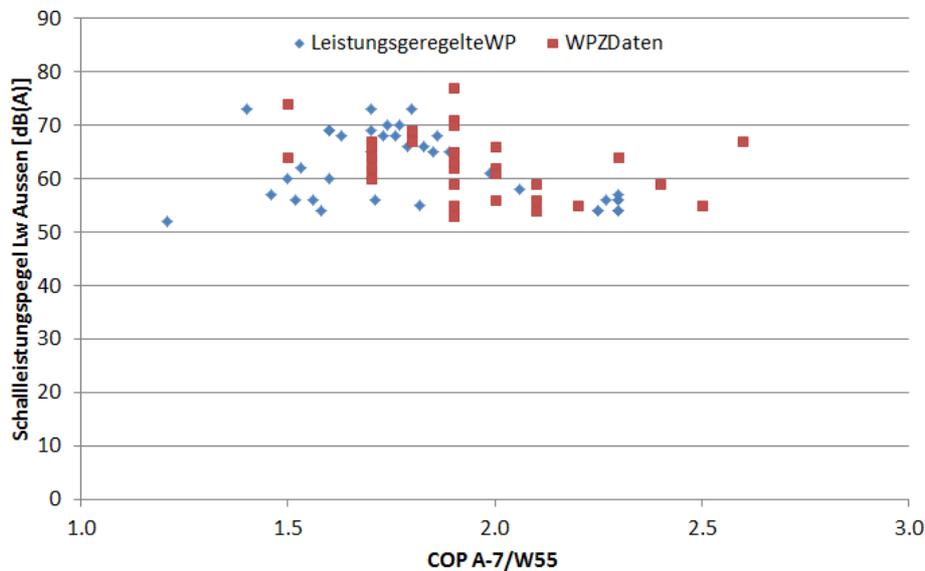


Abbildung 30: Schallemissionen marktverfügbarer LW-WP in Relation zum COP bei grossem Temperaturhub

2.5.2 Auswertung von Michael Eschmann, WPZ Buchs

In Abbildung 31 wird eine Übersicht präsentiert, die jeweils Wärmepumpen in einem gewissen Leistungsbereich zusammenfasst und ihre Schallleistungspegel darstellt. Die gestrichelte Linie entspricht einer Empfehlung des Cercle Bruit zur Schallleistung von Wärmepumpen abhängig von ihrer Heizleistung (siehe Kapitel 3.2.2). Es zeigt sich, dass jeweils nur sehr wenige Geräte, 8 bis 15%, dieser Empfehlung entsprechen und der Median dieser Stichprobe etwa 10 dB(A) über der Empfehlung des Cercle Bruit liegt.

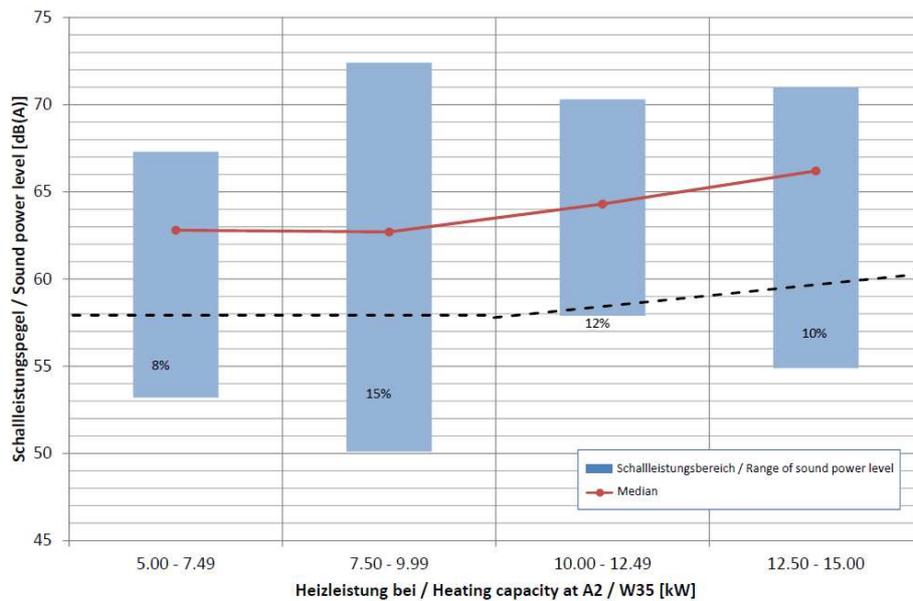


Abbildung 31: Schallemissionen marktverfügbarer LW-WP am Betriebspunkt A7/W35

Quelle: [Eschmann2013]

Abbildung 32 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der Schalleistungspegel von Luft/Wasser-Wärmepumpen aus dem Zeitraum 2005 bis 2012, aufgeteilt in die Gerätetypen „Split-Anlage“, „Aussenaufgestellt“ und „Innenaufgestellt“. Die innenaufgestellten Wärmepumpen weisen dabei etwas tiefere Schallemissionswerte auf.

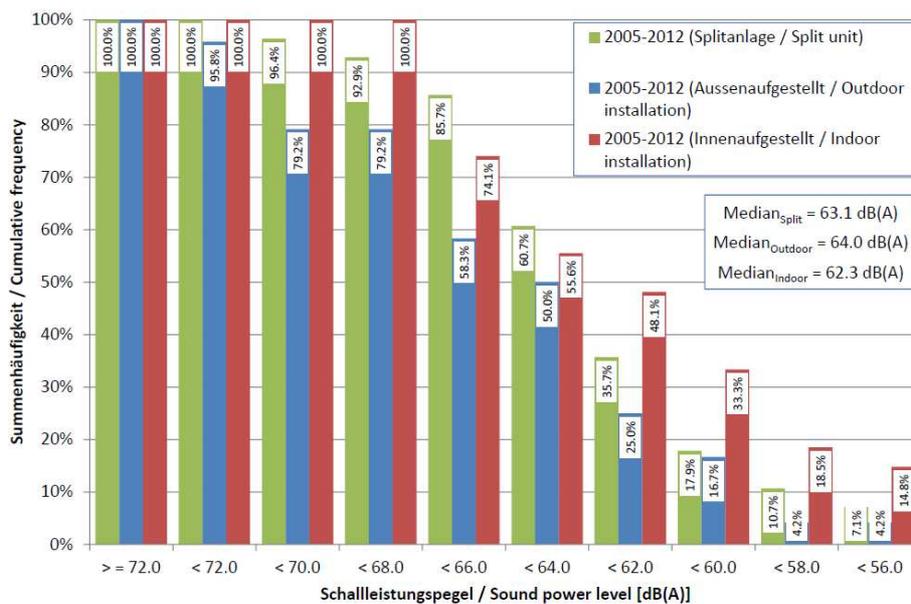


Abbildung 32: Summenhäufigkeitsverteilung der Schallemissionen marktverfügbarer LW-WP

Quelle: [Eschmann2013]

2.5.3 Auswertung von Martin Stocker Kt. SO im Rahmen des Cercle Bruit

Die Auswertung von Martin Stocker im Rahmen des Cercle Bruit zeigt ein ähnliches Bild für Heizleistungen von bis zu 35 kW wie die in Kapitel 2.5.1 dokumentierte eigene Auswertung, wobei ein Anstieg des Schalleistungspegels mit steigender Heizleistung interpretierbar ist. Während innenaufgestellte und aussenaufgestellte Geräte relativ dicht beieinander liegen, zeigt sich bei den Split-Geräten eine grössere Streuung von Schalleistungspegeln bei gegebenen Heizleistungen.

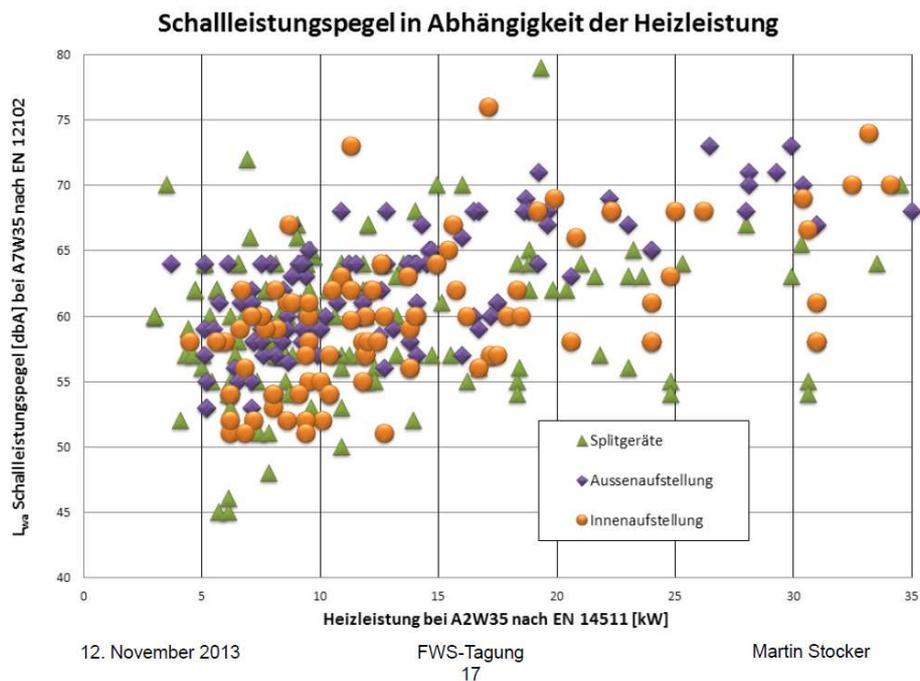


Abbildung 33: Schallemissionen marktverfügbarer LW-WP am Betriebspunkt A7/W35

Quelle: [Stocker2013b]

2.5.4 Ausblick zur Geräteentwicklung

In den Auswertungen bezüglich der Schallemissionen marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigen sich auch sehr positive Beispiele mit niedrigen Schalleistungspegeln. Gemäss Herstellerangaben sind niedrige Schalleistungspegel technisch realisierbar, zurzeit aber noch mit hohem Aufwand verbunden und noch nicht marktabdeckend in Seriengeräten umgesetzt. Eine beispielhafte Darstellung der technischen Möglichkeiten zeigt Abbildung 34. Darin bezeichnen die Angaben „2011“ bzw. „2013“ die Modelljahre der Wärmepumpe vom Typ „GLMW 35+“. Die Abkürzung „LLV“ steht für die Technologie eines „Langsam Laufenden Ventilators“ am Verdampfer. „Individuell“ ist die Bezeichnung für eine Sonderausstattung des Serienmodells und „2013 Silent Mode“ steht für eine besonders leise Betriebsweise des Gerätes aus dem Modelljahr 2013. So erzeugt die Ausführung „LLV“ dieser Wärmepumpe einen Schalleistungspegel L_{WA} von 55 dB(A), woraus in diesem Beispiel ein Schalldruckpegel L_{pA} von 27 dB(A) in einem Abstand von 10 m resultiert.

Beispiel GLMW 35+

2011	2013	LLV	Individuell	2013 Silent Mode
43/71	34/62,3	27/55	ca. 20/47	13,5/41,5

Schalldruckpegel 10m Entfernung/Schalleistungspegel in dB(A)

Abbildung 34: Reduktionspotenzial der Schallemissionen einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

Quelle: [Grabherr2013]

2.5.5 Schlussfolgerung zu Schallemissionen marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen

Die Schallemissionen marktverfügbarer Luft/Wasser-Wärmepumpen zeigen eine sehr grosse Bandbreite mit Schalleistungspegeln zwischen 45 und 78 dB(A) für Heizleistungen bis 90 kW. Nur sehr wenige der marktverfügbaren Luft/Wasser-Wärmepumpen (3%) weisen einen sehr niedrigen

Schalleistungspegel von unter 50 dB(A) auf. Im Bereich bis 55 dB(A) sind immerhin schon 21% der Geräte anzutreffen. Knapp die Hälfte der Geräte (44%) aber weist einen Schalleistungspegel im Bereich 55 bis 65 dB(A) auf.

Wie Kapitel 3.2.4 zeigt, sind für typische räumliche Situationen, wie sie in Kapitel 2.3 definiert sind, Schalleistungspegel im Bereich 50 dB(A) für ES II gemäss [LSV2010] und 55 dB(A) für ES III gemäss [LSV2010] oder geringer erforderlich, um die Lärmschutzvorschriften ohne zusätzliche, schalldämmende Massnahmen einhalten zu können. Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Schalleistungspegeln im Bereich 50 bis 55 dB(A) sind technisch machbar, werden aber nur von einem geringen Anteil der betrachteten Geräte erreicht.

2.6 Qualitätslabel und EU-Aktivitäten

Diese Kapitel will aufzeigen, welche Qualitäts- und Effizienzlabels oder Zertifizierungen für die stadtverträgliche Anwendung von Luft/Wasser-Wärmepumpen von Interesse sein können, welche Aktivitäten auf EU-Ebene relevant sind und welche charakteristischen Eigenschaften diese aufweisen.

2.6.1 EHPA – Gütesiegel

Das Wärmepumpen-Gütesiegel der European Heat Pump Association EHPA (siehe Abbildung 35) ist eine freiwillige Qualitätsauszeichnung, die für Wärmepumpen-Baureihen oder -Einzelgeräte bis zu einer Heizleistung von 100 kW für Raumheizung oder Brauchwarmwassererwärmung erteilt werden kann. Grundlage ist das Gütesiegelreglement der EHPA [EHPA2014]. Das Gütesiegel bezieht sich neben technischen Anforderungen, wie zum Beispiel einem minimalen COP-Wert, auch auf die Qualität der Planungsunterlagen und der Serviceorganisation. So müssen u.a. der Schalleistungspegel angegeben, im Bedarfsfall innerhalb von 24 Stunden reagiert und Geräte während zehn Jahren mit gleichwertigen Ersatzteilen instand gesetzt werden. Die Anforderungen an die Ermittlung des minimalen COP-Wertes, der für Luft/Wasser-Wärmepumpen bei 3.1 (A2/W35) liegt, sowie des Schalleistungspegels sind im Prüfreglement [EHPA2013a] festgelegt. Es findet eine breite Anwendung und wird in der Schweiz von der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS vergeben [FWS2014a].



Abbildung 35: EHPA-Gütesiegel

Quelle: [EHPA2014]

2.6.2 EU-Ecodesign-Richtlinie

Die Ecodesign-Richtlinie der Europäischen Union (ErP) [2009/125/EG] stellt Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte. Sie definiert Mindestanforderungen an die Marktzulassung von Raum- und Warmwasser-Heizgeräten und führt eine Energieetikette ein. Die EU-Verordnungen [EG/813/2013] (Raumheiz- und Kombiheizgeräte, siehe auch [UBA2013a]) und [EG/814/2013] (Warmwasserbereiter und Warmwasserspeicher, siehe auch [UBA2013b]) verpflichten die Anbieter, dass u.a. beim in Verkehr bringen von Wärmepumpen Mindest-Effizienzwerte eingehalten werden. Sie basieren auf Primärenergie-Effizienzwerten, welche aus dem SCOP-Wert mit einem Primärenergieumwandlungsfaktor von 2.5 berechnet werden (siehe Abbildung 36). Die Anforderungen an die Effizienz werden gestaffelt eingeführt und treten nach einer zweijährigen Übergangsfrist am 26. September 2015 in Kraft. Sie werden alle 2 Jahre verschärft. Weiterhin werden vom 26. September 2015 an Anforderungen an den Schalleistungspegel gestellt (siehe Abbildung 38). Zur Vergleichbarkeit von Wärmereizgeräten verschiedener Energieträger (z.B. Gas, Öl, Strom, Sonne) werden diese anhand ihrer Effizienz in Klassen eingeteilt und auf einer Energieetikette auf dem Produkt dargestellt. Abbildung 37 zeigt die Häufigkeitsverteilung aktueller Wärmepumpen-Heizgeräte für eine Niedertemperatur-Anwendung. Ein Beispiel für eine Energieetikette ist in Abbildung 39 dargestellt.

Klasse	η_s für Klasse	Feuerungen			WKK	Elektrisch	WP		η_s für Klasse	Klasse
		≤10/30 kW*	≤70 kW	70 - 400 kW			55 °C	35 °C		
A+++	≥ 150 %								≥ 175 %	A+++
A++	≥ 125 %								≥ 150 %	A++
A+	≥ 98 %								≥ 123 %	A+
A	≥ 90 %								≥ 115 %	A
B	≥ 82 %								≥ 107 %	B
C	≥ 75 %								≥ 100 %	C
D	≥ 36 %								≥ 61 %	D
E	≥ 34 %								≥ 59 %	E
F	≥ 30 %								≥ 55 %	F
G	< 30 %								< 55 %	G

— Anforderung 2 Jahre nach Inkrafttreten
 - - - Anforderung 4 Jahre nach Inkrafttreten

* Typ B11 Boiler ≤ 10 kW / Typ B11 Kombiboiler ≤ 30 kW

Abbildung 36: Klasseneinteilungen und Mindestanforderungen von Heizkesseln und Hochtemperatur-Wärmepumpen („WP 55 °C“) (linke Skala) zur Marktzulassung resp. Energiekennzeichnung aller Wärmereizgeräten gemäss EU Verordnungen 811/2013 und 813/2013. Für die Energie-Etikettierung gilt bei Niedertemperatur-Wärmepumpen („WP 35 °C“) eine spezielle Einteilung (Skala rechts).

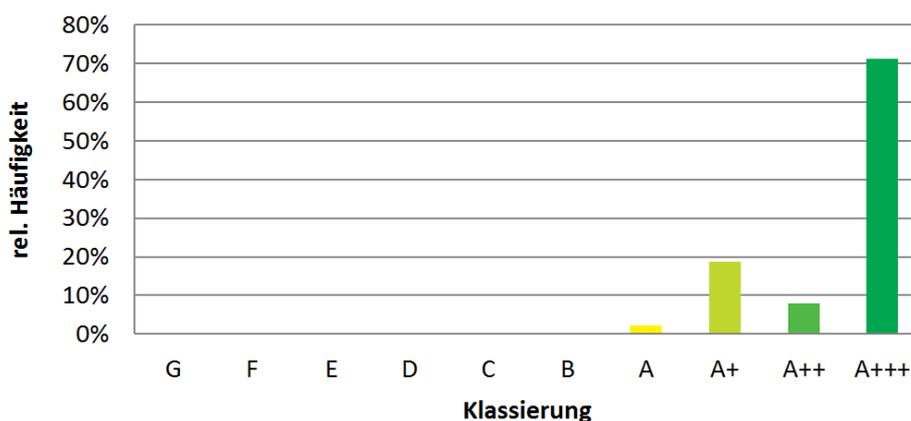


Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung der Klassifizierung aktueller Wärmepumpen. Alle Wärmequellen, Niedertemperatur-Anwendung. Datenbasis: [WPZ2013]

Wärmenennleistung ≤ 6 kW		Wärmenennleistung > 6 kW und ≤ 12 kW		Wärmenennleistung > 12 kW und ≤ 30 kW		Wärmenennleistung > 30 kW und ≤ 70 kW	
Schallleistungspegel (L _{WA}), innen	Schallleistungspegel (L _{WA}), außen	Schallleistungspegel (L _{WA}), innen	Schallleistungspegel (L _{WA}), außen	Schallleistungspegel (L _{WA}), innen	Schallleistungspegel (L _{WA}), außen	Schallleistungspegel (L _{WA}), innen	Schallleistungspegel (L _{WA}), außen
60 dB	65 dB	65 dB	70 dB	70 dB	78 dB	80 dB	88 dB

Abbildung 38: Ab dem 26. September 2015 darf der Schallleistungspegel von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten mit Wärmepumpe die dargestellten Werte nicht überschreiten Quelle: [EG/813/2013]

Die EU-Ecodesign-Richtlinie hat zum Ziel, Mindestanforderungen für eine Marktzulassung energieverbrauchsrelevanter Produkte zu stellen und somit zu verhindern, dass „schlechte“ Produkte verkauft werden können. Für die Effizienz-Anforderung, dargestellt in Abbildung 37, sind damit vorerst keine Produktausschlüsse zu erwarten, selbst wenn in Zukunft „A-Klasse-Geräte“ verlangt werden könnten. Ebenso sind die Anforderungen an den Schallleistungspegel, dargestellt in Abbildung 38, so geringfügig, dass von den in Kapitel 2.5 betrachteten marktverfügbaren Wärmepumpen nur zwei Geräte im Leistungsbereich 6-12 kW diese Anforderung nicht erfüllen und die meisten Geräte deutlich geringere Schallleistungspegel aufweisen. Die hohen zulässigen Schallleistungspegel der EU-Ecodesign-Richtlinie führen dazu, dass Geräte, die diesen Anforderungen zwar genügen, im städtischen Umfeld (bei geringen Abständen zu den lärmempfindlichen Nutzungen) dennoch nicht zum Einsatz kommen können, da sie die gesetzlichen Anforderungen der Lärmschutzverordnung nicht erfüllen und somit nicht bewilligungsfähig sind oder nur mit erheblichen zusätzlichen Abschirmungsmassnahmen zu bewilligen wären.

Für eine stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe reichen die Anforderungen gemäss EU-Ecodesign-Richtlinie nicht aus.

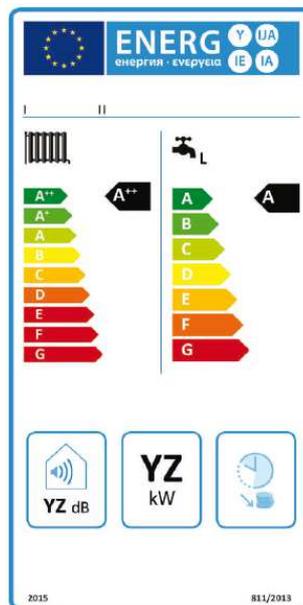


Abbildung 39: Energieetikette gemäss [EG/811/2013] für Raumheiz- und Kombiheizgeräte gemäss [EG/813/2013]

2.6.3 Wärmepumpen-System-Modul

Das Wärmepumpen-System-Modul [FWS2014b] ist ein neu lanciertes Gütesiegel für die gesamte Wärmeerzeugungsanlage mit Wärmepumpe, das vom BFE (Energie Schweiz) und von den Verbänden suissetec, FWS, GKS, SWKI, VSK, VSE getragen wird. Es baut auf dem EHPA-Gütesiegel auf und integriert zudem die Komponenten Wärmequelle, Wärmepumpe, Umwälzpumpen, Speicher, Hydraulik, Wärmeabgabesystem, Trinkwassererwärmung und Steuerung/Regelung. Dabei behandelt es neben technischen auch planerischen Anforderungen sowie die Inbetriebnahme und eine nachfolgende Betriebskontrolle. Hierdurch soll eine energieeffizient und betriebssicher betriebene Anlage erreicht werden. Es können Wärmepumpenanlagen bis ca. 15 kW Heizleistung (je nach WP-Typ bei A-7/W35, B0/W35, W10/W35) für Neubauten oder Erneuerungen zu Händen des Betreibers zertifiziert werden. Detaillierte Informationen sind bei der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS verfügbar [FWS2014b].

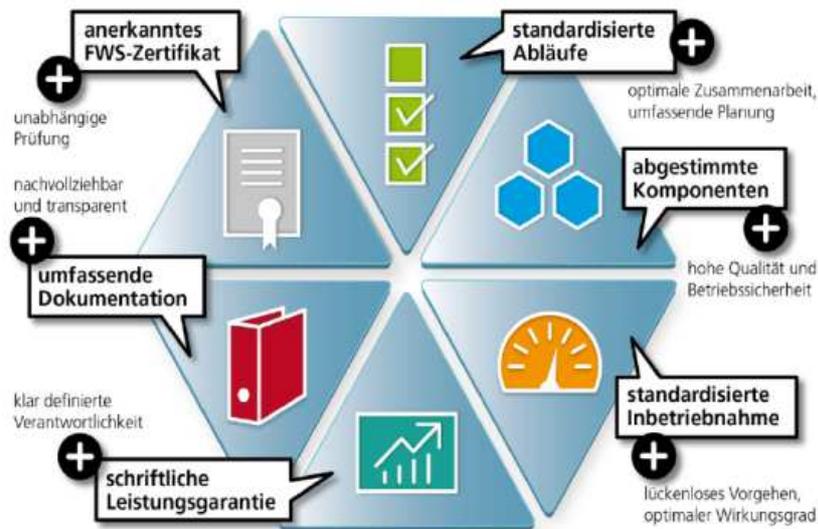


Abbildung 40: Inhalte des Wärmepumpen-System-Moduls

Quelle: [Egli2013]

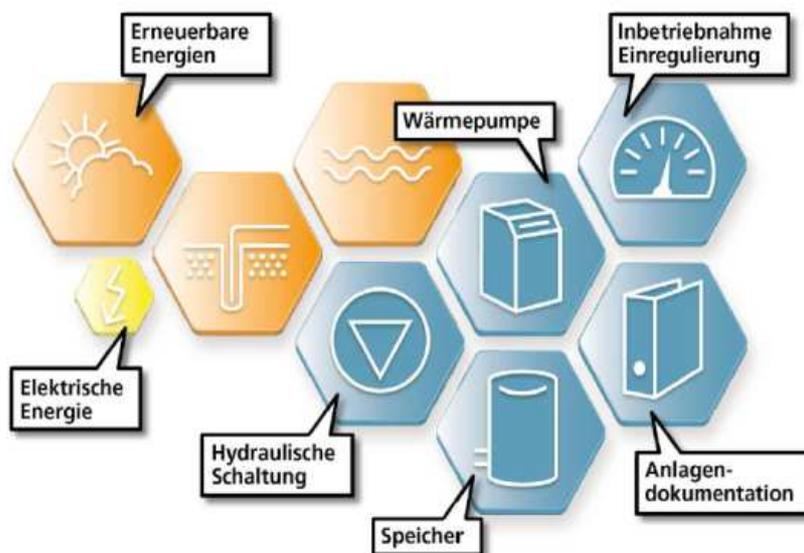


Abbildung 41: Komponenten des Wärmepumpen-System-Moduls

Quelle: [Egli2013]

2.6.4 Schlussfolgerung zu Labeln

Um eine Luft/Wasser-Wärmepumpe als „stadtverträglich“ bezeichnen zu können, muss sie höhere und zusätzliche Anforderungen erfüllen, als in den hier aufgeführten Labeln verlangt werden.

Bezüglich der Geräteeffizienz ist ein Ausschluss schlechterer Geräte zu erwarten. Höhere Anforderungen werden von Labeln bisher nicht abgedeckt.

Bezüglich der Schallemissionen sind die Anforderungen der heutigen Label nicht ausreichend. In der EU-Ecodesign-Richtlinie sind Richtwerte bezüglich Schallemissionen festgehalten. Die Schallemissions-Grenzwerte sind allerdings für eine stadtverträgliche Wärmepumpe zu hoch angesetzt, sodass die Vorgaben der Lärmschutzverordnung im städtischen Umfeld in der Regel nicht oder nur mit erheblichem Zusatzaufwand zu erfüllen sind.

Das Wärmepumpen-System-Modul bietet als einziges einen zusätzlichen Vorteil in dem Sinne, dass es bei Kleinanlagen, bei denen üblicherweise kein Planer beteiligt ist, eine gute, nach Stand der Technik geplante und realisierte Wärmepumpen-Heizanlage sicherstellen kann. Allerdings ist es ein gerade erst lanciertes Label, und es gibt bisher noch keine Erfahrung mit der praktischen Anwendung und der Akzeptanz.

3 Herleitung der Anforderungen

3.1 Energieeffizienz-Anforderungen

Die energetische Effizienz des Wärmeerzeugungssystems ist eine zentrale Anforderung im Konzept Energieversorgung 2050 der Stadt Zürich, damit die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft mit den nur begrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen erreicht werden können.

Ziel dieses Kapitels ist es zu diskutieren und Hinweise aufzuzeigen, wie mit Hilfe von Vorschriften, Anwendungsrichtlinien und Checklisten sichergestellt werden kann, dass energieeffiziente Wärmeerzeugungsanlagen mit Luft/Wasser-Wärmepumpen erstellt und betrieben werden. Dazu werden zwei Methoden zur Sicherstellung einer guten Systemeffizienz skizziert und im Weiteren auf die für die Erneuerung geeignetere detailliert eingegangen.

3.1.1 Systemeffizienz

Grundsätzlich ist für eine nachhaltige Wärmeerzeugungsanlage der gesamte energetische Aufwand für Raumwärme und Warmwasserbereitung relevant. Dieser kann über Rechenverfahren wie unter anderen [WPesti] aus dem Wärmebedarf eines Gebäudes gemäss [SIA380/1:2009] ermittelt werden. Allerdings ist dieses Vorgehen mit vielen Unsicherheiten in den Annahmen, Varianz in der realen Nutzung und einem erhöhten Aufwand im Vollzug behaftet. Eine Konzentration auf die energetische Effizienz der Komponenten des Wärmeerzeugungssystems zur Bewertung der Eignung kann im Zusammenspiel mit Anforderungen an den Wärmebedarf zu vergleichbar guten Ergebnissen bei einfacher und nachvollziehbarer Umsetzung führen. Zur Sicherstellung einer guten Systemeffizienz sind in diesem Sinne die beiden folgenden, grundlegenden Vorgehensweisen möglich:

1) „Jahresarbeitszahlberechnung“

Es werden Mindestanforderungen an die gebäudespezifische Anlageneffizienz gestellt. Diese werden anhand einer Jahresarbeitszahl (JAZ) analog [SIA384/3:2013] respektive [EN15316-4-2:2008] oder [WPesti] in einem theoretischen Planungsverfahren (Systemnachweis) ermittelt. Diese Methode hat den Vorteil, dass die Anlage als gesamtes in einem geschlossenen Verfahren für den spezifischen Anwendungsfall beurteilt wird. Allerdings wird diese Methode für die hier vorwiegend adressierte Erneuerung von Wohngebäuden als zu aufwändig erachtet. Nur selten liegen alle erforderlichen Daten für die Ermittlung der JAZ vor, was einen verhältnismässig grossen Aufwand und entsprechendes Hemmnis in der Anwendung darstellt.

2) „Einzelanforderungen“

Es werden „nur“ Mindestanforderungen an die Geräteeffizienz (COP oder SCOP) gestellt. Weiterhin gibt es Anforderungen oder Empfehlungen an die Hydraulik der Wärmeerzeugungsanlage sowie Anforderungen an die Auslegung und Dimensionierung der Anlage.

Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass weniger Daten erfasst werden müssen und es weniger spezifisch auf eine Einzelsituation bezogen ist. Ein grosser Vorteil ist die einfache Überprüfbarkeit beim Vollzug, auch oder gerade weil es die konkrete Situation nicht so genau abbildet.

In diesem Bericht wird detaillierter nur auf die Vorgehensweise „Einzelanforderungen“ eingegangen, weil sie für die Gebäudeerneuerung als geeigneter erachtet wird. Sie kann mit verhältnismässig geringem Aufwand umgesetzt werden und auch bei Etappierungen problemlos angewandt werden. Die erste Methode, welche sich auf die JAZ abstützt, ist zudem in dem zugrunde liegenden Normenwerk

hinreichend beschrieben. Nach Diskussion mit der Begleitgruppe spricht sich diese für die zweite Vorgehensweise aus, d.h. für die Definition von Einzelanforderungen.

3.1.2 Geräte-Effizienz

Die Geräte-Effizienz von Wärmepumpen wird standardmässig anhand der Kennzahlen COP (siehe auch Kap. A.1) oder SCOP (siehe auch Kap. A.3) ausgewiesen. Für beide Methoden ist die Angabe der Randbedingungen, beim COP der Betriebspunkt – beim SCOP der Anwendungsfall, zur Ermittlung der Kennzahl erforderlich. Im Folgenden soll aufgezeigt werden, unter welchen Randbedingungen die Kennzahlen angegeben werden müssen, damit eine gesamthafte Beurteilung der in Kapitel 2.3 definierten Referenzsituationen (Situation 1 bis 4) für Raumheizung und Warmwasserbereitung möglich ist.

Tabelle 4 zeigt erforderliche und in Normen definierte und somit verfügbare Betriebspunkte respektive Anwendungsfälle für eine umfassende Beurteilung der Geräteeffizienz anhand des COP oder SCOP. Es zeigt sich, dass für die Bewertung anhand von COP-Werten für alle Betriebssituationen, Heizbetrieb und Warmwasserbereitung, Prüfvorschriften existieren, und hierauf basierend Grenzwerte definiert werden können. Eine Definition des SCOP existiert nur für den Heizbetrieb, allerdings ist im kombinierten Heiz-/Warmwasserbetrieb die Wassererwärmung bei der Heizwärmepumpe mit enthalten. Hierauf wird dann die Energieeffizienzklasse (A+++ bis G) ermittelt. Seine Bedeutung erhält dieses Verfahren, da es als Berechnungsgrundlage für die Effizienzbeurteilung in den EU-Richtlinien zur Marktzulassung von Raumheiz- und Kombiheizgeräten [2009/125/EG] respektive [EG/813/2013] festgelegt ist.

	NT-Heizung	HT-Heizung	TWW-Sommer	TWW-Winter
COP	A2/W35 [EN14511:2013]	A2/W45 [EN14511:2013]	A7/W55 [EN14511:2013] oder A7 [EN16147:2011]	A-7/W55 [EN14511:2013]
SCOP [EN14825:2013]	mittleres Klima		- / -	
	niedrige Anw.Temp.	mittlere Anw.Temp.		

Tabelle 4: Kennzahlen und Betriebspunkte zur Effizienzbeurteilung der Referenzsituationen

NT-Heizung: Niedertemperatur-Raumheizung (VL <= 35 °C, siehe auch Kap. 2.3.1)

HT-Heizung: Hochtemperatur-Raumheizung (VL <= 50 °C, siehe auch Kap. 2.3.1)

TWW-Sommer: Warmwasserbereitung im Sommer

TWW-Winter: Warmwasserbereitung im Winter

mittleres Klima: gemäss [EN14825:2013] (Abbildung 54, Seite 68)

Anw.Temp.: Anwendungs-Temperaturniveau gemäss [EN14825:2013] (Tabelle 10, Seite 68)

Für Heizwärmepumpen existieren folgende Grenzwerte für die Mindesteffizienz in Labeln oder gesetzlichen Grundlagen:

- EHPA-Gütesiegel [EHPA2014] / FWS-Gütesiegel [FWS2014a]:
COP >= 3.1 für LW-WP bei A2/W35

- Energieverordnung des Bundes hinsichtlich Energieeffizienz von Wärmepumpen
Sie enthält in der Fassung [EnV1998] und auch in der neuen Fassung [EnV2014-E2] keine speziellen Anforderungen für Wärmepumpen. Im Entwurf [EnV2014-E1] waren Anforderungen enthalten, welche aber nicht umgesetzt wurden (siehe Abbildung 42).
Vorgesehen waren
 - COP \geq 3.1 für LW-WP bei A2/W35
 - COP \geq 2.6 für LW-WP bei A7/W55
 - COP \geq 1.8 für LW-WP bei A-7/W55
- EU-Ecodesign-Richtlinie [EG/813/2013] (in EU obligatorisch ab 26. September 2015)
mindestens Energieeffizienzklasse A
(zur Bedeutung siehe auch Abbildung 37, Seite 34)

Für Wärmepumpen zur Warmwassererwärmung existieren folgende Grenzwerte für die Mindesteffizienz in Labeln oder gesetzlichen Grundlagen:

- SIA-Richtlinie [SIA385/1:2011], Tabelle 8:
Separate Wärmepumpen für die alleinige Wassererwärmung, mit Wärmequelle Aussenluft
COP \geq 2.6 (Grenzwert) bzw. Zielwert 2.9 bei A7/W55 nach [EN14511:2013]
- FWS Gütesiegel Warmwasser-Wärmepumpen [FWS2013]
COP \geq 2.6 bei A7 nach [EN16147:2011] und Zapfprofil M L XL
- EHPA-Gütesiegel Warmwasser-Wärmepumpen [EHPA2013b]
COP \geq 2.4 nach [EN16147:2011] für A7 und alle Zapfprofile
- Die Anforderungen für den Hochtemperaturbetrieb (W55) in [TopTen.ch] können sinngemäss auch für den Warmwasserbetrieb angewandt werden, sofern es sich um eine elektrische Wärmepumpe zur Raumbeheizung und zur Brauchwassererwärmung handelt.

Anforderungen für das Inverkehrbringen von netzbetriebenen elektrischen Wärmepumpen zur Raumheizung

1 Geltungsbereich

Dieser Anhang gilt für netzbetriebene elektrische Wärmepumpen, die:

- a. ausschliesslich zur Raumbeheizung oder zur Raumbeheizung und zur Brauchwassererwärmung eingesetzt werden können;
- b. über eine Heizleistung bis zu 150 kW verfügen;
- c. die Wärme aus Luft, Geothermie oder Wasser beziehen.

2 Anforderungen an das Inverkehrbringen

2.1 Wärmepumpen nach Ziffer 1 dürfen in Verkehr gebracht werden, wenn sie die energetischen Mindestanforderungen und die Anforderungen an die geräteeigene Steuerung erfüllen:

2.2 Sie müssen die folgenden energetischen Mindestanforderungen erfüllen:

	Messpunkt	Leistungskennzahl nach EN 14511 ²³ (COP)
Sole/Wasser-Wärmepumpen	B0/W35	≥ 4.30
Wasser/Wasser-Wärmepumpen	W10/W35	≥ 5.10
Luft/Wasser-Wärmepumpen	A2/W35	≥ 3.10

2.3 Geräte, die für den Hochtemperaturbetrieb ausgerüstet sind, müssen zusätzlich die folgenden energetischen Mindestanforderungen erfüllen:

	Messpunkt(e)	Leistungskennzahl nach EN 14511 ²⁴ (COP)
Sole/Wasser-Wärmepumpen	B0/W55	≥ 2.50
Wasser/Wasser-Wärmepumpen	W10/W55	≥ 3.30
Luft/Wasser-Wärmepumpen	A7/W55 A-7/W55	≥ 2.6 ≥ 1.8

2.4 Wärmepumpen, welche ihre Heizleistung an die Systemanforderungen anpassen können, müssen auch im Teillastbetrieb die energetischen Mindestanforderungen erfüllen.

Abbildung 42: Auszug aus dem nicht umgesetzten Entwurf EnV vom 31.10.2013

Quelle: [EnV2014-E1]

3.1.3 Schlussfolgerung Energieeffizienz-Anforderungen

Mit den Normenwerken [EN14511:2013], [EN16147:2011] und [EN14825:2013] existieren gute Grundlagen für die Prüfung und zur Ermittlung der energetischen Effizienz von Luft/Wasser-Wärmepumpen sowie darauf aufbauende Definitionen von Mindest-Anforderungen.

Für den Heizbetrieb stellen sich die existierenden Anforderungen in Labeln oder gesetzlichen Richtlinien wie folgt dar. Wie in Kapitel 2.6.2 gezeigt, sind die Anforderungen der EU-Ecodesign-Richtlinie relativ einfach zu erfüllen. Ebenso ist der COP-Wert des EHPA-Gütesiegels, wie in Kapitel 2.4 dargestellt, keine grosse Herausforderung. Einen etwas anspruchsvolleren Ansatz bietet [TopTen.ch].

Die Begleitgruppe spricht sich in der Sitzung vom 01. April 2014 für mittlere Anforderungen der jeweiligen Betriebspunkte aller beurteilten Wärmepumpen als Grenzwert für den energetischen Aspekt der Stadtverträglichkeit aus, um eine hinreichende Auswahl an qualifizierten Wärmepumpen verfügbar zu haben, aber gleichzeitig auch eine lenkende Wirkung in Richtung energieeffizienter Anlagen erzielen zu können. Für die Beurteilung der Stadtverträglichkeit von Luft/Wasser-Wärmepumpen als Hauptwärmeerzeuger in Bezug auf die energetische Effizienz werden daher die Medianwerte gewählt, die im Kapitel 2.4.4 aus Ergebnissen der Marktanalyse berechnet wurden.

Anforderungsniveau	gering		mittel	hoch
	Schwellenwert für 90% aller Geräte	Median ² der Stichprobe	[TopTen.ch]	Schwellenwert für die 25% besten Geräte
A2/W35	3.1	3.5	3.6	3.7
A7/W55	2.4	2.6	2.6	2.9
A-7/W55	1.6	1.8	1.8	2.0
Marktverfügbarkeit	74%	30%	19%	10%

Tabelle 2: COP-Schwellenwerte und Marktverfügbarkeit für die untersuchte Stichprobe

Damit sind die klassischen Ein/Aus-geregelten Luft/Wasser-Wärmepumpen gut abgedeckt. Leistungsgeregelte Luft/Wasser-Wärmepumpen versprechen eine Effizienzsteigerung, aber es liegen bisher nur wenige praktische Erfahrungen vor und sie werden noch nicht vollumfänglich in den Anforderungen abgedeckt. Einzig die [EN14825:2013] und damit die EU-Ecodesign-Richtlinie [EG/813/2013] bilden leistungsgeregelte Geräte detailliert ab. Ein einfacher, pragmatischer Ansatz kann sein, dass Wärmepumpen, welche ihre Heizleistung an die Systemanforderungen anpassen können, auch im Teillastbetrieb die energetischen Mindestanforderungen erfüllen müssen.

Für den Warmwasserbetrieb bietet die SIA-Richtlinie [SIA385/1:2011] einen Ansatz zur Bewertung separater Wärmepumpen für die alleinige Warmwassererwärmung. Hierin wird ein COP-Grenzwert von 2.6 und ein Zielwert von 2.9 bei A7/W55 nach [EN14511:2013] definiert. Da die zugrundeliegende Prüfnorm [EN14511:2013] für den Heizbetrieb definiert ist, können diese Anforderungen mit denjenigen aus Tabelle 2 für den Heizbetrieb verglichen werden. Der Grenzwert entspricht dem Median der untersuchten Stichprobe, der Zielwert dem Schwellenwert für die 25% besten Geräte. Reine Wärmepumpen-Boiler werden heutzutage üblicherweise nach [EN16147:2011] geprüft. Die entsprechenden COP-Werte für den Betriebspunkt A15 liegen gemäss WPZ-Bulletin in einem ähnlichen Bereich wie diejenigen gemäss [SIA385/1:2011]. Dementsprechend kann das FWS-Gütesiegel Warmwasser-Wärmepumpen [FWS2013] mit einem COP-Anforderungsniveau von 2.6 als Nachweis für diese eher seltener eingesetzte Produktgruppe herangezogen werden.

² Median: 50% der Werte sind höher und 50% sind niedriger

3.2 Anforderungen an Schall und Lärm

3.2.1 Grenzwerte und gesetzliche Grundlagen

Die gesetzliche Grundlage für den Schutz vor Lärm ist die Lärmschutzverordnung [LSV2010]. Diese gibt Belastungsgrenzwerte vor, um die Lärmimmissionen von ortsfesten Anlagen wie Wärmepumpen zu beurteilen. Massgebend sind die Belastungsgrenzwerte für Industrie- und Gewerbelärm nach Anhang 6 der Lärmschutzverordnung [LSV2010]. Die Belastungsgrenzwerte unterscheiden sich nach Tag und Nacht, sowie nach Nutzungszonen zugeordneten Empfindlichkeitsstufen (siehe [LSV2010] Art. 43). In Bauzonen der Empfindlichkeitsstufe II (ES II), namentlich in Wohnzonen und z.T. in Zonen für öffentliche Bauten, sind keine störenden Betriebe zugelassen. Die Empfindlichkeitsstufe III (ES III) gilt hingegen für Zonen, in denen mässig störende Betriebe zugelassen sind, unter anderem in gemischten Wohn- und Gewerbebezonen.

In Zonen der Empfindlichkeitsstufe II gilt während der massgebenden Nachtperiode (19 Uhr bis 7 Uhr) für Neuanlagen ein Belastungsgrenzwert (sogenannter Planungswert) von 45 dB(A). In Zonen der Empfindlichkeitsstufe III gilt ein Planungswert von 50 dB(A). Der Planungswert ist im offenen Fenster des nächstliegenden, lärmempfindlichen Raumes einzuhalten.

Das Umweltschutzgesetz (USG) verlangt, dass die "Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist." [LSV2010] Kapitel 3, Art 7.

Neu eingebaute Wärmepumpen erfüllen das Vorsorgeprinzip, wenn die Lärmemissionen dem Stand der Technik entsprechen und der Anlagestandort so gewählt wird, dass die massgebenden Lärmemissionen so niedrig wie möglich sind. Im Sinne der Vorsorge sind bei der Planung folgende Punkte zu beachten:

- Wahl eines Gerätes mit möglichst tiefem Schalleistungspegel,
- Optimierung des Anlagestandortes,
- technische und bauliche Massnahmen zur Schallreduktion,
- betriebliche Regulierung.

Der wichtigste Faktor für einen guten Schutz gegen Lärm ist die Wahl einer Wärmepumpe mit möglichst tiefem Schalleistungspegel. Die Vollzugsbehörde erachtet das Vorsorgeprinzip in der Regel für erfüllt, wenn die Immissionen 3 dB(A) unterhalb des Planungswertes liegen.

3.2.2 Empfehlungen des Cercle Bruit

Die Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute Cercle Bruit hat bereits den Versuch unternommen, den Stand der Technik zu definieren.

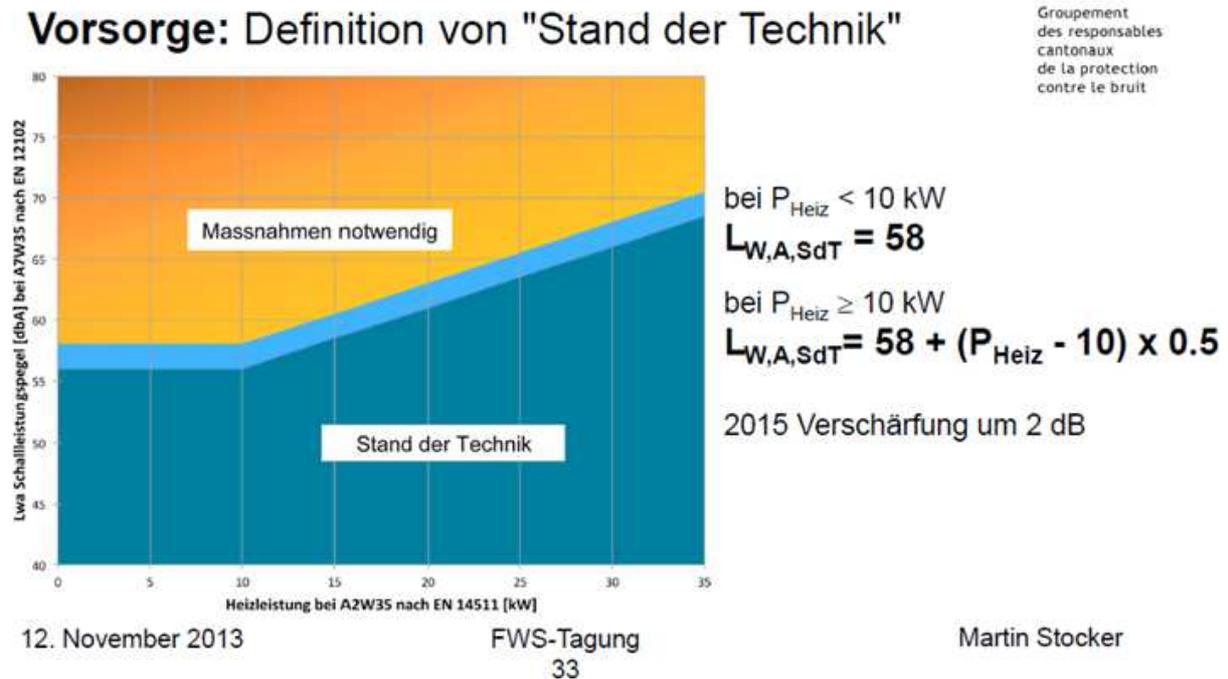


Abbildung 43: Vorschlag zum "Stand der Technik" von Cercle Bruit

Quelle: [Stocker2013a]

Als Stand der Technik 2012 definierte der Cercle Bruit für Luft/Wasser-Wärmepumpen bis zu einer Leistung von 10 kW einen maximalen Schalleistungspegel von 58 dB(A). Für Geräte über 10 kW erhöht sich der Schalleistungspegel linear um 0.5 dB(A) pro kW Leistungszuwachs (siehe Abbildung 43). Diese Definition, festgehalten in [Stocker2013a] und von den Mitgliedern kommuniziert, wurde von der Branche als zu streng kritisiert da lediglich 20% der Wärmepumpen den Stand der Technik 2012 aus ihrer Sicht erfüllen, wodurch die Luft/Wasser-Wärmepumpen aus Sicht der Branche wegen der strengen Lärmbestimmungen benachteiligt würden. Dabei wird verkannt, dass der Stand der Technik in dem Sinne unerheblich ist, als dass eine Bewilligung nur erteilt werden kann, wenn die gesetzlichen Vorgaben der Lärmschutzverordnung erfüllt sind. Sollen Luft/Wasser-Wärmepumpen im städtischen Umfeld grosse Verbreitung erhalten, so ist es unerlässlich, die Schallemissionen der Geräte wesentlich und nachhaltig zu senken. Nachträgliche Abschirmmassnahmen sind aufwändig respektive weisen meist ein unbefriedigendes Kosten/Nutzen-Verhältnis auf.

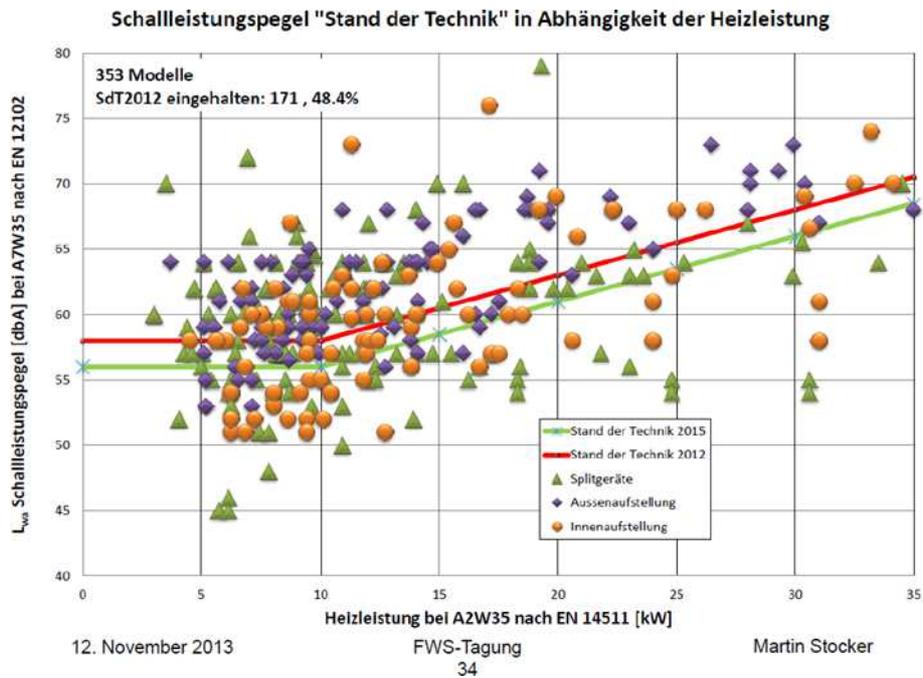


Abbildung 44: Vergleich marktverfügbarer Wärmepumpen mit dem Stand der Technik laut Cercle Bruit Quelle: [Stocker2013b]

Laut Cercle Bruit erfüllten etwa 40% der aussen aufgestellten Luft/Wasser-Wärmepumpen den Stand der Technik, wie in Abbildung 44 dargestellt. Wegen unklarer Datenlage und einer neuen Definition zur Messung des Schalleistungspegels, wurde der Stand der Technik jedoch bis auf weiteres sistiert, d.h. er wird nicht mehr explizit den kantonalen Vollzugsstellen empfohlen und findet sich auch nicht in der Vollzugshilfe.

Cercle Bruit stellt ein Lärmschutznachweisformular [CercleBruit2013] zur Verfügung. Das Formular entspricht weitestgehend den Bestimmungen in der LSV, wobei es einen zusätzlichen Summanden ‚+1 dB‘ in der Formel für den Schalldruckpegel gibt, der den Einfluss des offenen Fensters einbeziehen soll. Zudem empfiehlt Cercle Bruit, keine Pegelkorrektur für die Betriebsdauer vorzunehmen.

3.2.3 Beurteilungs- und Bewilligungspraxis der Stadt Zürich

Wie Cercle Bruit hat auch der Kanton Zürich ein eigenes Formular zum Lärmschutznachweis, welches in der Stadt Zürich angewendet wird. Dieses entspricht weitestgehend den Vorgaben in der LSV, abgesehen davon, dass wie bei Cercle Bruit keine Pegelkorrektur durch Betriebsdauer möglich ist und zusätzlich ein Sicherheits- und Vorsorgezuschlag von 3 dB(A) fixiert ist. Dieser kann als Ersatz für die Definition des Stands der Technik verstanden werden, bis dieser sauber definiert ist. Abbildung 45 zeigt das Formular für den Lärmschutznachweis.

 Lärmschutznachweis Art. 7 Abs. 1 LSV Projektkontrolle	X	Lärmschutznachweis Wärmepumpe
Gemeinde: <u>Lautikon</u> Parz. Nr.: <u>1234</u> Geb. Nr.: <u>98</u> Bauvorhaben: <u>Neubau EFH mit Wärmepumpe</u>		
Angaben zur Wärmepumpe		
<input type="checkbox"/> Luft-Wasser-Wärmepumpe: Innenmontage		Hersteller: <u>Eco Power</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Luft-Wasser-Wärmepumpe: Aussenmontage		Typ: <u>DHJU-VH-07DI-A</u>
<input type="checkbox"/> Sole-Wasser-Wärmepumpe (Erdsonden): keine Beurteilung für Aussenlärm notwendig		
Beurteilung Aussenlärm		
		<input type="checkbox"/> Siehe beiliegendes Lärmgutachten
Empfangspunkte: Gebäude	<u>Erfindungsstrasse 18</u>	<u>Erfindungsstrasse 18</u>
Raum/Fenster	<u>Wohnzimmer EG</u>	<u>Schlafzimmer OG</u>
Empfindlichkeitsstufe (gemäss Zonenplan)	ES = <u>II</u>	ES = <u>II</u>
Massgebender Grenzwert (Planungswert Nacht)	PW = 45 dB	PW = 45 dB
Messart des Emissionswertes	<u>Schalleistungspegel</u>	
Aussenlärm-Emission	L _{wA} = <u>60</u> dB	
Distanz Quelle - Empfangspunkt	d = <u>30</u> m	d = <u>19</u> m
Richtfaktor:	D _C = <u>6</u> dB	D _C = <u>6</u> dB
Wärmepumpe freistehend: + 3 dB Wärmepumpe an der Fassade: + 6 dB (Normalfall) Wärmepumpe in einspringender Fassadenecke: + 9 dB		
Pegelkorrektur K ₁ (Heizungs- und Lüftungsanlagen, Nacht)	K ₁ = <u>10</u> dB	K ₁ = <u>10</u> dB
Pegelkorrektur K ₂ (Tongehalt)	K ₂ = <u>2</u> dB	K ₂ = <u>2</u> dB
Schwach hörbarer Tongehalt: + 2 dB (Normalfall) Deutlich hörbarer Tongehalt: + 4 dB Stark hörbarer Tongehalt: + 6 dB		
Pegelkorrektur K ₃ (Impulsgehalt)	K ₃ = <u>0</u> dB	K ₃ = <u>0</u> dB
Sicherheits- und Vorsorgezuschlag	K _P = <u>3</u> dB	K _P = <u>3</u> dB
Pegelreduktion durch Lärmschutzmassnahmen (Beilage: Nachweis Pegelreduktion)	L = dB	L = dB
Ermittelte Lärmbelastung	L_{r,n} = 40 dB	L_{r,n} = 44 dB
Unterschriften: Projekt erfüllt alle Anforderungen nach LSV Art. 7 Abs.1 (Aussenlärm) und Anforderungen an haustechnische Anlagen (Innenlärm nach SIA 181) nach Art. 32 LSV:		
		<input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

Abbildung 45: Lärmschutznachweis für Wärmepumpen

Quelle: [FALS2013]

3.2.4 Schallbewertung der Referenz-Situationen

Basierend auf den in den vorgängigen Kapiteln dargelegten Analyse der IST-Situationen zu marktverfügbaren Geräten (Kap. 2.5), den betrachteten Gebäudesituationen (Kap. 2.3) und den Methoden zur Lärmbeurteilung wird in diesem Kapitel eine Analyse der Schallsituation für die vier definierten Referenz-Situationen aufgezeigt. Hierbei werden die mit dem Lärmschutznachweisformular [FALS2013] ermittelten Beurteilungspegel L_r den Planungswerten gemäss Anhang 6 [LSV2010] gegenübergestellt.

Für alle betrachteten Situationen gelten die folgenden generellen Annahmen:

- Richtwirkungskorrektur D_c : Aufstellung des Gerätes vor der Fassade + 6 dB(A)
- Pegelkorrektur K1: Heizbetrieb während der Nacht (19:00 – 07:00 Uhr) +10 dB(A)
- Pegelkorrektur K2: Tonhaltigkeit schwach hörbar + 2 dB(A)
- Pegelkorrektur K3: Impulshaltigkeit nicht hörbar + 0 dB(A)
- Pegelkorrektur durch Betriebsdauer (720 min) + 0 dB(A)
- keine Lärmschutzmassnahmen + 0 dB(A)
- Sicherheits- und Vorsorgezuschlag + 3 dB(A)

Für die vier Referenzsituationen,

- Situation 1 – Reihenhaus / kleineres Einfamilienhaus
- Situation 2 – freistehendes Einfamilienhaus / Doppel-Einfamilienhaus
- Situation 3 – kleineres Mehrfamilienhaus
- Situation 4 – grösseres Mehrfamilienhaus / MFH im Block,

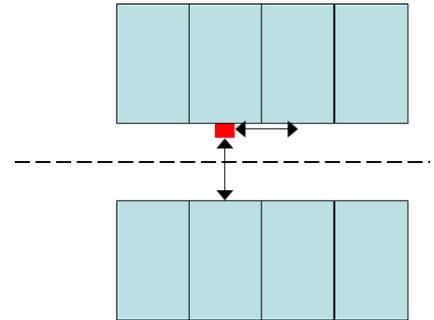
werden abhängig von der zu erwartenden thermischen Leistung der jeweiligen Wärmepumpen ein lautes und ein leises Gerät als Schallquelle angenommen. Weiterhin werden für den Abstand zwischen Emissionsort und Immissionsort zwei Fälle, nah und fern, betrachtet.

Darüber hinaus wird der Mindestabstand bestimmt, bei dem für die leise Wärmepumpe der Planungswert von 45 dB(A) der Empfindlichkeitsstufe II ohne zusätzliche Schallschutzmassnahmen gerade eingehalten wird.

Generell wird hier die Fremdbelärmung (Schalleinwirkung beim Nachbarn) entsprechend der [LSV2010] betrachtet. Für eine allfällige Eigenbelärmung oder eine Belärmung von weiteren Parteien auf einem Grundstück, wie beispielsweise Mieter oder Anteilseigner, gelten die Betrachtungen analog, insbesondere in Bezug auf die getroffenen Annahmen für die Distanz zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort. Können für diesen Fall die Abstände nicht realisiert werden, so sind zusätzliche schalldämmende und/oder schalldämpfende Massnahmen erforderlich.

Schallbewertung Situation 1 - Reihenhaus / kleines Einfamilienhaus

- EBF: 100 – 150 m²
- WP-Leistung: 2.5 – 10 kW
- Abstände: ca. 3 – 8 m zum Nachbarn
- Schall-Leistungspegel (A2/W35):
0 – 10 kW 50 – 60 dB(A)



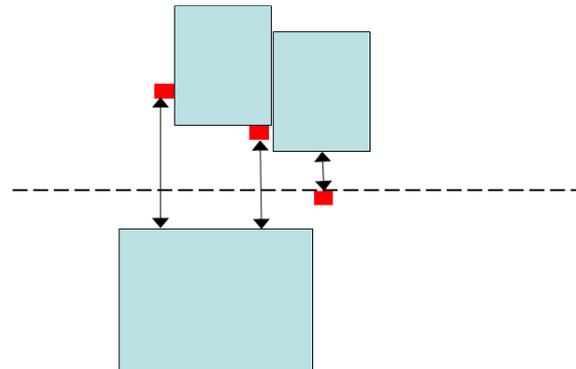
Schalleistungspegel L_{wA} der Wärmepumpe	Beurteilungspegel $L_{r,n}$ in Abhängigkeit des Abstands zwischen Emissions- und Immissionsort	
	nah: 3 m	fern: 8 m
leise WP: 50 dB(A)	50 dB(A)	42 dB(A)
laute WP: 60 dB(A)	60 dB(A)	52 dB(A)
Erforderlicher Abstand zur Einhaltung der LSV in ES II ohne Schallschutzmassnahmen für leise WP ≥ 5 m		

Tabelle 5: Situation 1 - Erwartungswerte für den Schalldruckpegel L_{pA} [dB(A)]

Für die Situation „Reihenhaus“ kann mit einer leisen Wärmepumpe ($L_{wA} \leq 50$ dB(A)) und einem wahrscheinlich noch häufig anzutreffenden Abstand ab 5 m zwischen Emissions- und Immissionsort der Planungswert ES II von 45 dB(A) eingehalten werden. Für laute Wärmepumpen ($L_{wA} \geq 60$ dB(A)) sind zusätzliche Schallschutzmassnahmen erforderlich, um die Planungswerte einzuhalten.

Schallbewertung Situation 2 – freistehendes Einfamilienhaus / Doppel-Einfamilienhaus

- EBF: 120 – 250 m²
- WP-Leistung: 4 – 20 kW
- Abstände: ca. 3 – 11 m zum Nachbarn
- Schall-Leistungspegel (A2/W35):
0 – 10 kW 50 – 60 dB(A)
20 kW 55 – 65 dB(A)



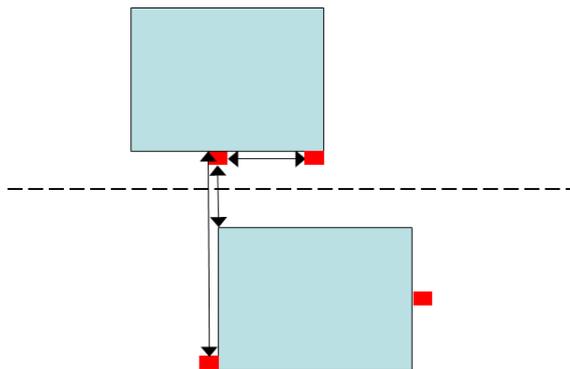
Schalleistungspegel L_{wA} der Wärmepumpe	Beurteilungspegel $L_{r,n}$ in Abhängigkeit des Abstands zwischen Emissions- und Immissionsort	
	nah: 3 m	fern: 11 m
leise WP: 55 dB(A)	55 dB(A)	44 dB(A)
laute WP: 65 dB(A)	65 dB(A)	54 dB(A)
Erforderlicher Abstand zur Einhaltung der LSV in ES II ohne Schallschutzmassnahmen für leise WP ≥ 10 m		

Tabelle 6: Situation 2 - Erwartungswerte für den Schalldruckpegel L_{pA} [dB(A)]

In der Situation freistehendes Einfamilienhaus sind die Verhältnisse ähnlich wie für das Reihenhaus. Mit grösseren vorkommenden Abständen zwischen Emissions- und Immissionsort (auch ≥ 10 m) wird der Planungswert von 45 dB(A) auch bei einem Schalleistungspegel von bis zu $L_{wA} \leq 55$ dB(A) ohne zusätzliche Massnahmen eingehalten. Für laute Wärmepumpen sind Schallschutzmassnahmen erforderlich, um die Planungswerte einzuhalten.

Schallbewertung Situation 3 – kleineres Mehrfamilienhaus freistehend

- EBF: 250 – 500 m²
- WP-Leistung: 6 – 35 kW
- Abstände: ca. 3 – 15 m zum Nachbarn
- Schall-Leistungspegel (A2/W35):
 0 – 10 kW 50 – 60 dB(A)
 35 kW 60 – 70 dB(A)



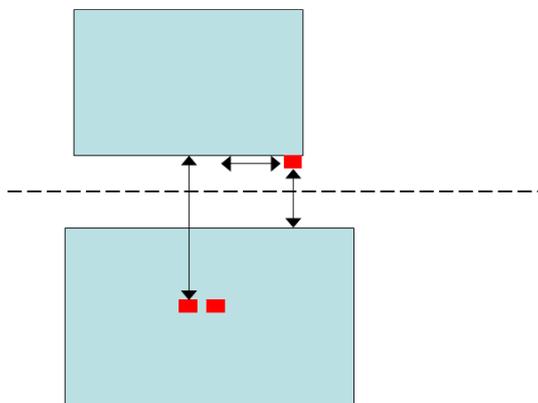
Schalleistungspegel L _{WA} der Wärmepumpe	Beurteilungspegel L _{r,n} in Abhängigkeit des Abstands zwischen Emissions- und Immissionsort	
	nah: 3 m	fern: 15 m
leise WP: 60 dB(A)	60 dB(A)	46 dB(A)
laute WP: 70 dB(A)	70 dB(A)	56 dB(A)
Erforderlicher Abstand zur Einhaltung der LSV in ES II ohne Schallschutzmassnahmen für leise WP ≥ 17 m		

Tabelle 7: Situation 3 - Erwartungswerte für den Schalldruckpegel L_{pA} [dB(A)]

Für kleinere Mehrfamilienhäuser mit einem erwarteten Schalleistungspegel leiserer Geräte von 60 dB(A) kann nur für verhältnismässig grosse Distanzen ein Unterschreiten des Planungswertes der ES II erwartet werden. Für alle anderen Fälle sind zusätzliche Schallschutzmassnahmen oder besonders leise Geräte erforderlich.

Schallbewertung Situation 4 – grösseres Mehrfamilienhaus / MFH im Block

- EBF: 300 – 1200 m²
- WP-Leistung: 8 – 90 kW
- Abstände: ca. 3 – 15 m zum Nachbarn
- Schall-Leistungspegel (A2/W35):
 0 – 10 kW 50 – 60 dB(A)
 90 kW ~65 – 80 dB(A)



Schalleistungspegel L _{WA} der Wärmepumpe	Beurteilungspegel L _{r,n} in Abhängigkeit des Abstands zwischen Emissions- und Immissionsort	
	nah: 3 m	fern: 15 m
leise WP: 65 dB(A)	65 dB(A)	51 dB(A)
laute WP: 80 dB(A)	80 dB(A)	66 dB(A)
Erforderlicher Abstand zur Einhaltung der LSV in ES II ohne Schallschutzmassnahmen für leise WP ≥ 30 m		

Tabelle 8: Situation 4 - Erwartungswerte für den Schalldruckpegel L_{pA} [dB(A)]

Die Situation grösserer Mehrfamilienhäuser erfordert den Einsatz besonders leiser Geräte oder den Einsatz zusätzliche Schallschutzmassnahmen. Mit aktuell marktverfügbaren Seriengeräten ist eine Einhaltung der Lärmschutzvorschriften ohne umfangreiche Zusatzmassnahmen nicht möglich.

3.2.5 Schlussfolgerung Schallbewertung

Grundsätzlich kann für die Schallbewertung festgehalten werden, dass im Gegensatz zur Effizienzbeurteilung, die Methoden und Anforderungen mit der [LSV2010] vorhanden und klar sind.

Die Schallbewertung der Referenzsituationen zeigt auf, dass für Wärmepumpen kleiner thermischer Leistung, angewandt bei Einfamilienhäusern, und der Auswahl leiser Geräte ($L_{WA} < 50$ dB(A) für ES II respektive $L_{WA} < 55$ dB(A) für ES III) die Anforderungen der Lärmschutzverordnung gerade eingehalten werden können. Vor allem aber bei Mehrfamilienhäusern mit grosser Normheizlast und demzufolge grösseren Geräten, die typenbedingt lauter sind, ist nur mit einem besonders leisen Gerät kombiniert mit einer geschickten Wahl des Aufstellungsorts die Einhaltung der Lärmschutzverordnung ohne zusätzliche Massnahmen möglich.

Für eine breite Anwendung mit üblichen Abständen zwischen Schall-Emissionsort und -Immissionsort von 5 m bis 10 m (über alle Referenzsituationen) erfüllen ohne zusätzliche Schallschutzmassnahmen nur Geräte mit einem Schalleistungspegel $L_{WA} \leq 50$ dB(A) bis 55 dB(A) die gesetzlichen Anforderungen der Lärmschutzverordnung.

Wie Kapitel 2.5 zeigt, sind diese Schalleistungspegel, zumindest für Wärmepumpen mit einer thermischen Leistung bis 35 kW (Kap. 2.5.4), technisch machbar, werden aber bisher nur von einem geringen Anteil der betrachteten Luft/Wasser-Wärmepumpen erreicht.

Für eine breite Umsetzung stadtverträglicher Luft/Wasser-Wärmepumpen, wie sie im Konzept Energieversorgung 2050 vorgesehen sind, stehen daher in Bezug auf die Schallanforderungen zwei Entwicklungspfade im Fokus:

- 1) Ein vereinfachtes Verfahren für die Umsetzung und Genehmigung bei günstiger Ausgangslage, welches die Anwendung jetzt schon verfügbarer guter Geräte (Schall + Effizienz) fördert, z.B. für:
 - die Anwendungssituation Wärmepumpe an Fassade,
 - den Abstand zum nächsten Immissionsort > 5 m (für Fremd- und Eigenbelärmung)
 - Schalleistungspegel des Gerätes $L_{WA} < 50$ dB(A) für ES II ($L_{WA} < 55$ dB(A) für ES III)

- 2) Mit den heute verfügbaren Luft/Wasser-Wärmepumpen ist der Einsatz bei grösseren Gebäuden mit entsprechend höherer Normheizlast nur mit sehr leisen Geräten sinnvoll. Hier sind die Hersteller noch gefordert, auch grössere Geräte mit niedriger Schalleistung anzubieten. Verfügbare Einzelgeräte zeigen auf, dass dies technisch möglich ist. Dies sind bisher jedoch noch Einzelfälle. Für einen stadtverträglichen Einsatz von Wärmepumpen in Mehrfamilienhäusern ist eine breitere Produktpalette an Geräten mit niedrigeren Schalleistungspegeln und hoher thermischer Leistung erforderlich.

3.3 Anforderungen an Hydraulik und Dimensionierung

Die hydraulische Einbindung ins Heizsystem und Dimensionierung der Wärmepumpen-Heizanlage hat einen grossen Einfluss auf die in der Praxis erzielbare Effizienz der Gesamtanlage. In diesem Projekt wird keine eigene Analyse zur hydraulischen Einbindung ins Heizsystem und Dimensionierung von Luft/Wasser-Wärmepumpen-Heizanlagen vorgenommen, sondern alternativ auf verfügbare Grundlagen verwiesen, anhand derer die Auswahl und Umsetzung einer guten Hydraulik und eine gute Dimensionierung der Komponenten möglich sind. Dabei soll, wie schon in der Einleitung zu diesem Kapitel dargelegt, der Blick auf die Hydraulik und Dimensionierung von Luft/Wasser-Wärmepumpen-Anlagen so erfolgen, dass die Gesamteffizienz der Anlage auch bei Einzelbetrachtung der Komponenten gewährleistet ist und kein Systemnachweis der Jahreseffizienz für ein spezifisches Objekt erforderlich ist.

Grundsätzlich günstige Voraussetzungen für eine effiziente Wärmepumpenanlage sind:

- Niedrige Normheizlast
- Möglichst niedrige erforderliche Vorlauftemperaturen, mit denen die Wärme bereit gestellt wird
- Geringe Verluste bei der Wärmespeicherung und -verteilung
- Wärmeerzeugung nahe dem Temperaturniveau, mit dem die Wärme bereit gestellt werden muss
- Temperatur der Wärmepumpe gleitend mit der Heizkurve fahren
- Möglichst keine direktelektrische Nachheizung einsetzen
- Class A-Pumpen und –Ventilatoren verwenden
- Auf tiefe Stand-by-Leistung achten.
- Verbrauchergruppen möglichst bedarfsgeführt betreiben

Grundlagen dazu werden mit der [MuKE2008] und ihren kantonalen Umsetzungen geschaffen. Zentrale Anforderungen darin sind die monovalente Auslegung ([MuKE2008], Art. 1.12 und 1.13 zu ortsfesten elektrischen Widerstandsheizungen) und die geforderten maximalen Vorlauftemperaturen für neue oder ersetzte Wärmeabgabesysteme ([MuKE2008], Art. 1.15 zu Wärmeverteilung und -abgabe). Allerdings wird in der [MuKE2008] eine maximale Vorlauftemperatur nur für neue oder ersetzte Wärmeabgabesysteme gefordert. Bei ausschliesslichem Ersatz des Wärmeerzeugers durch eine Wärmepumpe gibt es in dieser Richtung keine Vorschriften. Hier müsste noch eine Vorgehensweise definiert werden, dass auch im Fall eines Wärmeerzeuger-Austausches eine gute Effizienz dank adäquater Vorlauftemperaturen gewährleistet ist.

Für eine detailliertere Betrachtung wird im Folgenden abhängig von der thermischen Leistung der Wärmepumpe auf die Untersuchungen STASCH [Gabathuler2002] und [Afjei2002] (siehe Kap. 3.3.1) und das Projekt „Wärmepumpen für die Instandsetzung“ [Primas2014] (siehe Kap. 3.3.2) verwiesen. STASCH konzentriert sich auf Klein-Wärmepumpen-Anlagen, die häufig ohne Planer realisiert werden, und definiert den Anwendungsbereich mit thermischen Leistungen bis ca. 15 kW. Das Projekt „Wärmepumpen für die Instandsetzung“ konzentriert sich auf Lösungen für Gross-Wärmepumpen und definiert diese ab einer thermischen Leistung von ca. 50 kW. Dazwischen könnte je nach Anwendungsfall eine der beiden Vorgehensweisen gewählt werden.

3.3.1 Klein-Wärmepumpen-Anlagen

Klein-Wärmepumpen-Anlagen mit einer thermischen Leistung bis ca. 15 kW wurden im Projekt STASCH (= STAndardSCHaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen) [Gabathuler2002] detailliert untersucht. Die STASCH-Planungshilfen beschreiben sieben Standardlösungen:

- STASCH 1: Wärmepumpenanlage ohne Speicher ohne Wassererwärmung
- STASCH 2: Wärmepumpenanlage ohne Speicher mit Wassererwärmung
- STASCH 3: Wärmepumpenanlage mit Seriespeicher ohne Wassererwärmung
- STASCH 4: Wärmepumpenanlage mit Seriespeicher mit Wassererwärmung
- STASCH 5: Wärmepumpenanlage mit Parallelspeicher ohne Wassererwärmung
- STASCH 6: Wärmepumpenanlage mit Parallelspeicher mit Wassererwärmung
- STASCH 7: Wärmepumpenanlage mit Solarunterstützung für Heizung und Warmwasser

Zur Hydraulikauswahl, Auslegung und Dimensionierung von Kleinwärmepumpenanlagen wurde eine Schritt-für-Schritt-Methode entwickelt. Diese umfasst die Schritte:

- Auswahl der Hydraulik - anhand der Kriterien wie die Wärmeabgabe erfolgt, ob mehrere Heizgruppen vorliegen, ob Warmwasser bereitet wird und ob Solarthermie eingebunden werden soll. Daraus resultiert ein empfohlenes Hydraulikschema analog Abbildung 46.
- Erhebung der Grundlagendaten - für Neu- oder Bestandsbauten, wie Gebäudedaten, Bewohner, Auslegung der Wärmeabgabe oder Sperrzeiten
- Abklärung möglicher Wärmequellen
- Zusammenstellung und Auswahl geeigneter Wärmepumpen
- Auslegung des Wassererwärmers, der Wärmequellenanlage und der Umwälzpumpen
- Regler-Einstellungen

Dabei verwendet STASCH soweit möglich einfache Faustformeln, welche auf Erfahrungswerten und auf Resultaten aus Simulationen basieren.

Eine Rubrik Häufig gestellte Fragen FAQ rundet die Planungshilfe ab, indem sie allgemeine Fragen behandelt und Hinweise auf weiterführende Literatur und Software gibt. Der theoretische Hintergrund und die detaillierten Simulationsergebnisse, welche Grundlage für die Planungshilfe sind, werden in Teil 2 „Grundlagen und Computersimulationen“ [Afjei2002] erläutert.

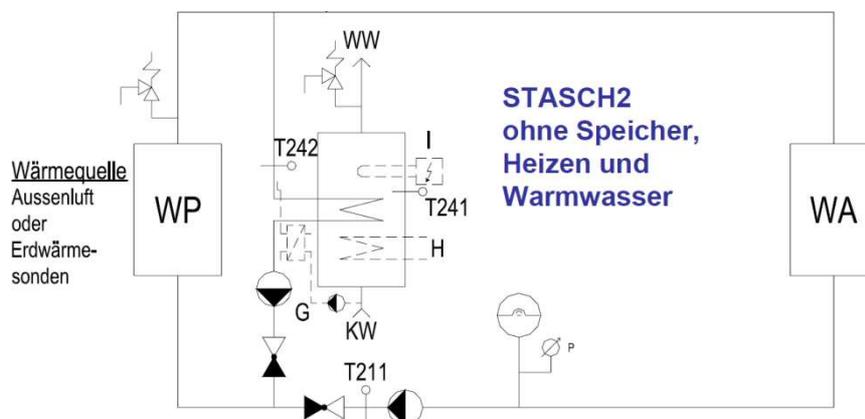


Abbildung 46: Beispiel für eine Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen (STASCH)

Quelle: [Gabathuler2002]

3.3.2 Gross-Wärmepumpen-Anlagen

Im Projekt „Wärmepumpen für die Instandsetzung – Systemevaluation für die Instandsetzung“ [Primas2014] wird die hydraulische Einbindung und Regelung von Wärmepumpenanlagen für grössere Wohn- und Dienstleistungsgebäude ab ca. 50 kW untersucht. Ziel ist es, wesentliche Entscheidungen aufzuzeigen, die einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe ermöglichen. Dazu stehen Ablaufdiagramme mit Lösungsvorschlägen für die Themenbereiche Heizgruppen und hydraulische Einbindung, Geräteauswahl, Leistungsregelung, Spitzenlastdeckung, Abwärme-Nutzung, Warmwasserbereitung, und Raumkühlung zur Verfügung.

Der Themenbereich Heizgruppen und hydraulische Einbindung konzentriert sich auf geeignete Massnahmen, um den Temperaturhub der Wärmepumpe zu minimieren und so eine gute Effizienz zu erreichen. Hierbei werden beispielsweise Abklärungen zu benötigten Systemtemperaturen, Optimierung kritischer Räume sowie die benötigten Leistungs- und Energieanteile auf hohem oder niedrigem Temperaturniveau adressiert.

Für die Wahl der Wärmepumpe wird empfohlen, den Energie- und Leistungsbedarf der zu versorgenden Nutzung zu ermitteln, diese auf die häufigsten auftretenden Aussentemperatur- und Leistungsbereiche hin zu optimieren und gegebenenfalls eine Leistungsaufteilung so zu wählen, dass der häufigste Betriebsbereich mit einer guten Effizienz bei geringer Schalthäufigkeit abgedeckt werden kann. Ein Einsatz von leistungsgeregelten Anlagen wird für hohe Temperaturhübe oder stark variable Quellen als wichtig erachtet. Eine Analyse der COP-Werte zeigt insbesondere bei Luft/Wasser-Wärmepumpen grosse Unterschiede sowohl beim Normpunkt A2/W35 als auch bei abweichenden Betriebspunkten.

Eine Spitzenlastdeckung mit Öl- oder Gaskessel wird im Bericht unabhängig vom Konzept Energieversorgung 2050 diskutiert. Als Argumente werden Kosteneinsparungen bei weiterhin hohem Anteil der Nutzung von Umgebungswärme (vor allem bei grossen Anlagen), sehr hohe Vorlauftemperaturen, die mit der Wärmepumpe nur mit ungünstiger Effizienz erreichbar sind, und ein Teilersatz einer bestehenden Anlage angeführt. Hieraus wird für dieses Projekt mit dem starken Fokus auf das Konzept Energieversorgung 2050 der Teilersatz einer Wärmeerzeugung als Baustein in einem etappierten Erneuerungsprozess als einziges relevantes Argument für eine fossile Spitzenlastdeckung erachtet.

Die diskutierte Abwärme-Nutzung wiederum ist für das vorliegende Projekt weniger relevant, da sie vor allem für grosse Anlagen interessant ist und auch hier die Empfehlung auf ein genügend einfaches Konzept mit klarer, robuster Regelung lautet.

Die Empfehlungen zur Warmwasser-Erwärmung unterscheiden zwischen dem Anteil des Warmwasserbedarfs am Gesamtwärmebedarf, einer zentralen oder dezentralen Bereitstellung, der Frage nach einer Zirkulationsleitung und den Anforderungen an die Warmwassertemperatur und den Legionellenschutz.

Zirkulationssysteme erfordern bei der Warmwasserbereitung mit Wärmepumpen besondere Beachtung wegen des dauerhaft hohen Temperaturniveaus und der Gefahr einer Durchmischung des Warmwasserspeichers. Ist ein Zirkulationssystem vorhanden, so sollten die Leitungen gut gedämmt sein, die zirkulierte Wassermenge minimiert werden und ein hydraulischer Abgleich der Zirkulationsstränge erfolgen.

4 Kriterien für stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen

Dieses Kapitel möchte die wichtigsten Kriterien für die praktische Anwendung stadtverträglicher Luft/Wasser-Wärmepumpen zusammenfassen und positive Umsetzungsbeispiele aufzeigen.

4.1 Anforderungen an eine stadtverträgliche L/W-WP-Anlage

Als Kriterien für die Beurteilung einer Luft/Wasser-Wärmepumpen-Heizanlage hinsichtlich ihrer Stadtverträglichkeit, auch im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft, werden im vorliegenden Projekt prioritär die Systemeffizienz und die Schallemissionen untersucht. Generelle Anforderungen sind in diesem Zusammenhang:

- 1) Überdurchschnittliche energetische Effizienz, damit die Nachhaltigkeitsziele im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden können
- 2) Geringe Schall-Immissionen und im Sinne der Vorsorge geringe Schall-Emissionen zum Schutz vor Lärmbelästigung im dicht bebauten städtischen Umfeld
- 3) Ästhetik und Integration in das Stadtbild (hier nicht Untersuchungsgegenstand)
- 4) Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien (hier nicht Untersuchungsgegenstand)

Die Energieeffizienz-Anforderungen im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft erfordern für die Nutzung begrenzt verfügbarer, erneuerbarer Energieträger eine gute Effizienz des Gesamtsystems zur Gebäudeheizung. Diese muss mit einer guten Geräte-Effizienz und Anforderungen an Hydraulik, Auslegung und Dimensionierung sichergestellt werden. Die Ermittlung der Systemeffizienz kann entweder für den konkreten Fall berechnet oder anhand von sorgfältig ausgewählten Einzelanforderungen und definierten, günstigen Randbedingungen postuliert werden.

Im Folgenden wird auf die zweite Methode detailliert eingegangen, da sie für den Vollzug und im Sinne einer Nutzungsflexiblen Beurteilung vor allem für die zu erwartende grosse Anzahl Bestandsbauten praktikabler erscheint. Einen möglichen Ansatz für ein umfassendes Zertifizierungsschema zeigt das Wärmepumpen-System-Modul der Schweizer Branchenverbände auf, welches allerdings noch sehr jung ist und zu dem noch Praxiserfahrungen fehlen.

Die Geräte-Effizienz sollte anhand von COP-Werten beurteilt werden. Für den Heizbetrieb bietet sich eine Bewertung für die Betriebspunkte A2/W35, A7/W55 und A-7/W55 basierend auf [EN14511:2013] an. An ihrer Sitzung am 01. April 2014 hat sich die Begleitgruppe für ein mittleres minimales Anforderungsniveau ausgesprochen um eine hinreichende Auswahl an geeigneten Wärmepumpen verfügbar zu haben, aber gleichzeitig eine lenkende Wirkung in Richtung energieeffizienter Anlagen erzielen zu können. Die Grenzwerte sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Betriebspunkt	A2/W35	A7/W55	A-7/W55
Mindest-COP-Wert	3.6	2.6	1.8

Tabelle 9: Anforderungsniveau der energetischen Geräte-Effizienz zur Gebäudeheizung und Wassererwärmung, ausgedrückt in Mindest-COP-Werten gemäss [EN14511:2013] (A2 = Wärmequelle Aussenluft mit 2°C / W35 = Wärmesenke Wasser mit 35°C)

Für die Warmwasserbereitung bietet sich eine Anlehnung an die [SIA385/1:2011] an, mit einem Grenzwert von 2.6 und einem Zielwert von 2.9 für den COP bei A7/W55 gemäss [EN14511:2013]. Die minimale Energieeffizienzklasse gemäss EU-Ecodesign-Richtlinie [EG/813/2013], welche in einem

komplexeren Verfahren ermittelt wird, ist eine insgesamt schwache Mindestanforderung für die europaweite Marktzulassung und für die stadtverträgliche Wärmepumpe nicht geeignet.

Die Anforderungen an den Schall- und Lärmschutz sind in der [LSV2010] vorgegeben und die Vollzugspraxis [FALS2013] ist festgelegt. Für typische, städtische Anwendungssituationen mit Abständen zwischen dem Emissions- und dem Immissionsort ab 5 m (siehe auch Kapitel 3.2.4) ergibt sich, dass der Schalleistungspegel der Geräte ohne zusätzliche Schallschutzmassnahmen bei 50 dB(A) für die ES II und 55 dB(A) für die ES III liegen muss, damit die rechtlichen Bestimmungen erfüllt werden können. Dieses wurde vorliegend für eine Fremdbelärmung (Nachbargebäude) betrachtet, kann aber analog auch auf eine Eigenbelärmung auf dem eigenen Grundstück übertragen werden. Diese Anforderung erfüllen allerdings, wie in Kapitel 2.5 aufgezeigt, nur sehr wenige der marktverfügbaren Geräte. Die daraus abzuleitende Vorgehensweise lässt sich zweigeteilt formulieren. Für sehr leise Geräte mit einem Schalleistungspegel ≤ 50 dB(A) für die ES II und einem Abstand von mindestens 5 m zum nächsten Immissionsort könnte ein vereinfachtes Verfahren für die Umsetzung und Genehmigung angestrebt werden, wenn auch die Anforderungen an die Geräte-Effizienz gemäss Tabelle 9 eingehalten werden. Insgesamt besteht aber ein grosser Bedarf, dass der Grossteil der Geräte, insbesondere mit zunehmender thermischer Leistung, deutlich leiser werden muss, um dieses Ziel zu erreichen. Dies ist technisch machbar wie einzelne Beispiele zeigen, aber entsprechende Geräte sind aktuell nicht breit verfügbar. Alternativ müssten die Schallimmissionen mit Schallschutzmassnahmen reduziert werden, was generell die aufwändigere Methode ist. Der Nutzen von Schallschutzmassnahmen auf dem Ausbreitungsweg ist im städtischen Umfeld in der Regel unbefriedigend.

Die Kernpunkte der Anforderungen an die hydraulische Einbindung ins Heizsystem, Auslegung und Dimensionierung sind die Sicherstellung einer guten Systemeffizienz, ohne diese individuell detailliert zu ermitteln. Dazu stehen eine monovalente Auslegung sowie maximale Vorlauftemperaturen analog MuKE n (35°C/50°C) im Vordergrund (siehe Kap. 2.3.1). Hieraus lässt sich ableiten, dass alle betroffene Bestandsgebäude ein energetisches Niveau erreichen müssen, bei dem Erneuerungsmassnahmen geringer Eingriffstiefe, wie Dämmung der obersten Geschossdecke und Kellerdecke sowie Fensterersatz, umgesetzt sind und so eine flächenspezifische Normheizlast von weniger als 75 W/m² erreichen. Die Hydraulik und Dimensionierung für Kleinwärmepumpen-Anlagen sollte analog den Empfehlungen aus dem Projekt STASCH (siehe Kap. 3.3.1 und [Gabathuler2002]) erfolgen, in dem eine Schritt für Schritt Methode zur Hydraulikauswahl, Auslegung und Dimensionierung von Kleinwärmepumpen-Anlagen ohne Haustechnikplaner erarbeitet wurden. Die Wahl der hydraulischen Einbindung und die Dimensionierung von Grosswärmepumpen-Anlagen sollte analog den Ergebnissen aus dem Projekt „Wärmepumpen für die Instandsetzung – Systemevaluation für die Instandsetzung“ der Stadt Zürich (siehe Kap. 3.3.2 und [Primas2014]) erfolgen.

4.2 Wie komme ich zu einer stadtverträglichen L/W-WP Lösung?

Die einzelnen Schritte für die Planung und Realisierung einer stadtverträglichen Luft/Wasser-Wärmepumpe sollen im Folgenden in Form einer Checkliste kurz aufgezeigt werden.

1) Gebäude- und Grundstück-Randbedingungen erfassen

- Ermittlung von Normheizlast und Heizwärmebedarf
- Bestimmung der Auslegungs-Vorlauftemperaturen

ZU PRÜFEN

- Wie liegen die aktuellen Werte in Bezug zu den Zielwerten [MuKE2008] (siehe Kap. 2.3.1)?
- Erst dämmen, dann Wärmeerzeugung sanieren
- Überdimensionierung vermeiden, aber EW-Sperrzeiten berücksichtigen
- hohe Vorlauftemperatur in einzelnen Räumen (z.B. Bad, Eckraum) meiden
- Vorlauftemperatur bei Sanierung senken
- Verbrauchergruppen möglichst bedarfsgeführt umrüsten
- Ist im Sinne einer Etappierung eines Erneuerungsprozesses eine temporäre Spitzenleistungsabdeckung mit einer anderen Wärmeerzeugung möglich/erforderlich?

2) Standortmöglichkeiten bestimmen

- Wo kann die WP aufgestellt werden? Innen / aussen / Split?
- Wo ist wie viel Platz zur Aufstellung der Wärmepumpe und ggf. Wärmespeicher?
- Wo können Rohrleitungen und ggf. Luftkanälen verlegt werden?
- Wie viel Platz steht zur Luftführung (Kanäle) bei innenaufgestellten Wärmepumpen zur Verfügung?
- Wie gross ist die Distanz zum nächsten Schall-Immissionsort? (Nachbargebäude und eigenes Gebäude)

ZU PRÜFEN

- Ist der Aufstellungsort lärmtechnisch geschickt gewählt?
- Ist die vorgesehene hydraulische Anbindung möglich?

3) Schallimmissionen ermitteln

- Wie gross ist der Abstand vom Emissionsort zum nächsten schallempfindlichen Ort?
- Wie weit können die Schall-Emissionen minimiert werden (leise WP)?
- Welche schallreduzierenden Massnahmen sind machbar und ästhetisch vertretbar?

ZU PRÜFEN

- Können die Anforderungen der [LSV2010] eingehalten werden?

4) Effizienz sicherstellen

- Welche energieeffizienten und leisen Geräte stehen zur Verfügung?
- Welche Hydraulik ist angezeigt (s. STASCH oder WP-Systemmodul)? Welche Einschränkungen ergeben sich im Bestandsfall?
- Sind Absenkungen der Vorlauftemperatur erforderlich respektive einfach möglich?

ZU PRÜFEN

- Erfüllt das ausgewählte Gerät die Mindest-COP-Anforderungen?
- Ist die Hydraulik in STASCH oder im WP-Systemmodul aufgeführt?
- Ist das Wärmeverteiler- und Übergabe-System auf niedrige Temperaturen für die Wärmeerzeugung optimiert? Ist die Heizkurve korrekt eingestellt?
- Entspricht die Hydraulik und Regelung den Anforderungen an ein effizientes System?

Insbesondere die zu erwartende häufigere Anwendung bei der Gebäudeerneuerung wird vermutlich zu mehr aussen aufgestellten Geräten führen. Gründe hierfür sind der im Gebäudeinnern oft begrenzte Platz und eine allfällig erforderliche Luftkanalführung. Hierbei wird zusätzlich die gestalterische Integration in die Gebäudeumgebung respektive das Erscheinungsbild und die Ästhetik Bedeutung haben.

4.3 Hinweise zum Monitoring für Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung

Dieses Kapitel möchte in kurzer Form ein paar Hinweise zum Monitoring für eine Erfolgskontrolle geben, ohne den Anspruch einer detaillierten Anleitung für die Durchführung zu adressieren.

Eine grundlegende Frage für die Ausarbeitung eines Monitoring-Konzeptes ist, welches Ziel mit dem Monitoring verfolgt werden soll – eine eher breit angelegte statistische Auswertung der im Feld realisierten Luft/Wasser-Wärmepumpen-Anlagen oder eine detailliertere Analyse einzelner Anlagen mit der Möglichkeit, Schwachstellen genauer zu analysieren und Verbesserungsoptionen daraus abzuleiten (Kausalitätsprinzip).

Eine breite Evaluierung der realisierten Anlagen sollte mit einem reduzierten Messaufwand vorwiegend den Zustand einer gewissen Anzahl realisierter Luft/Wasser-Wärmepumpen-Heizanlagen erfassen und im Sinne einer Erfolgskontrolle feststellen, ob diese in der Realität als stadtverträglich qualifiziert werden können oder nicht. Diese erfordert in Bezug zu den in Kapitel 4.1 erörterten Anforderungen eine Erfassung der Schallsituation und der Effizienzsituation sowie gegebenenfalls eine Sammlung von generellen Rückmeldungen. Die Schallsituation wäre als Momentaufnahmen charakteristischer Betriebsmomente zu erfassen. Dazu existieren mittlerweile auch Smartphone-Apps, deren Genauigkeit von den Autoren allerdings noch nicht beurteilt werden kann. Die Gesamteffizienz liesse sich sinnvoll auf der Basis von Jahresenergiewerten für den Elektrizitätsbezug und für die erzeugte Wärme erfassen, wobei die abgegebene Wärme teilweise bereits geräteintern erfasst wird.

Eine detaillierte Analyse einzelner Anlagen mit dem Ziel einer Betriebsoptimierung respektive Weiterentwicklung empfiehlt sich für Objekte, die schon im Vorhinein als kritisch bewertet werden, für Objekte, die Vorbildcharakter haben oder wenn ein genereller Entwicklungsbedarf vorliegt und entsprechende Felderfahrungen noch fehlen. Wichtig sind dabei sind eine detailliertere Erfassung von Messwerten mit kalibrierten Sensoren, insbesondere zeitliche Verläufe von Energien und Temperaturen sowie Schallmessungen bei unterschiedlichen Betriebssituationen, worauf basierend dann spezifische Problemanalysen durchgeführt werden können. In diesem Zusammenhang kann auch die Regelung überprüft und optimiert werden.

Diese können über die Feststellung des Zustandes hinaus dann auch die Ursachen und Gründe für positive oder negative Aspekte aufzeigen.

4.4 Best Practice Beispiele

4.4.1 Anlage Suhr (AG) - Einfamilienhaus

Ein gutes Beispiel für eine geräuscharme und effiziente Wärmepumpe ist die Anlage in Suhr, die genauso in einer urbanen Zone realisiert werden könnte. Das Resultat, welches in umfangreichen Messungen verifiziert wurde, kann sich sehen lassen – stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpen können mittlerweile gleich gut sein, wie konventionelle Wärmepumpen mit Erdwärmesonde. Die direkte Anbindung an das Heizsystem und ein Frischwassersystem zur Warmwasserbereitung verbessern den COP der Wärmepumpe wegen der tiefen Vorlauftemperaturen.

Gebäude	Einfamilienhaus
Dämmstandard	Neubau
Wärmepumpe	Prototyp basierend auf Heliotherm-Seriengerät
Jahresarbeitszahl 2012	4.1 für Heizen / 3.7 für Heizen & Warmwasser

Die wichtigen Punkte, auf die es ankommt, wurden beachtet:

- Wärmepumpe emittiert wenig Schall dank grosszügig dimensioniertem Verdampfer und grossflächiger, niedrig drehender hoch-effizienter Axialventilatoren (→ Schalleistung klein)
- Bewohner hören die Wärmepumpe kaum dank geschickter Positionierung (→ wenig Körperschall) und optimierter Luftführung (→ wenig Luftschall) mit dem Resultat, dass der Schalldruckpegel tief bleibt.
- Hohe Effizienz dank Leistungsvariation mittels drehzahl geregelter Scroll-Kompressoren der neuesten Generation.

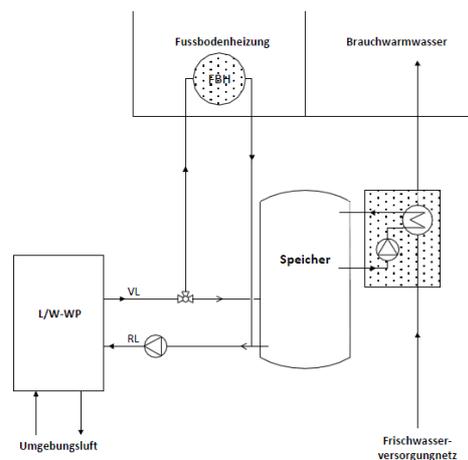


Abbildung 47: Drehzahl geregelte, effiziente und schallarme Luft/Wasser-Wärmepumpe (DGWP) in einem Neubau (links: Einfamilienhaus in Suhr (AG) in dem die DGWP installiert ist, rechts: Wärmepumpe mit Luftkanal & Verdampfer, unten: Hydraulische Einbindung der Wärmepumpe inklusive Frischwasser-System)

4.4.2 Anlage Zürich Altstetten (ZH) - Einfamilienhaus

Ein bestehendes Einfamilienhaus in Zürich-Altstetten (ZH) wurde mit einer leistungsgeregelten Luft/Wasser-Wärmepumpe ausgerüstet, welche sich durch eine gute Effizienz und einen niedrigen Schalleistungspegel auszeichnet. Es folgt eine kurze Beschreibung der Anlage mit einer Gebäudeansicht in Abbildung 48 und dem Hydraulikschema in Abbildung 49.

Baujahr 1924
 Beheizte Wohnfläche 120 m² zzgl. 60 m² unbeheizte Kellerfläche
 Dämmstandard Verbesserungen: Fensterersatz, Dachisolation
 Normheizlast ca. 10 kW
 Heizsystem Radiatoren (50°C Auslegungs-Vorlauftemperatur)
 Wärmepumpen - Modell Stiebel-Eltron WPL 25 A
 Schalleistungspegel L_{WA} = 56 dB(A) nach EN12102

	A2/W35	A-7/W35	A-7/W55
Wärmeleistung	8.04 kW	13.14 kW	13.20 kW
COP	4.1	3.0	



Abbildung 48: Anlage Altstetten (links: Gebäude, rechts: aussen aufgestellte Wärmepumpe)

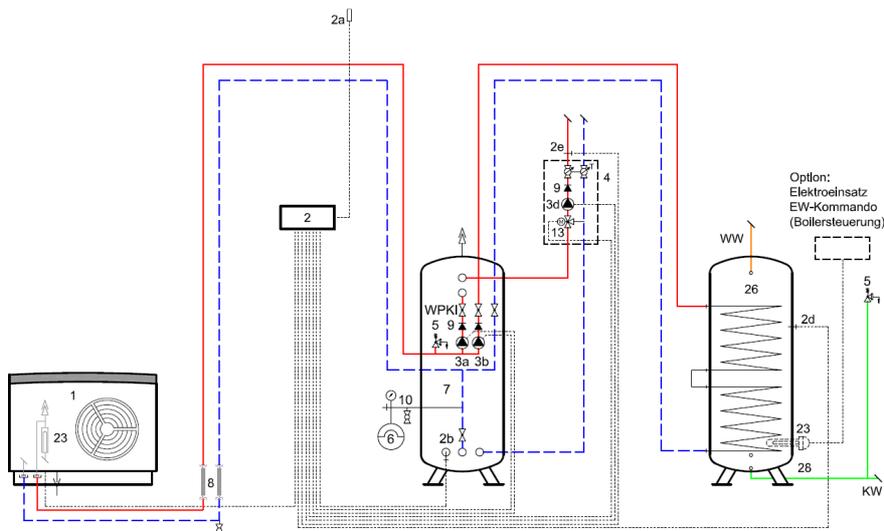


Abbildung 49: Hydraulikschema der Anlage Altstetten

4.4.3 Anlage Mellingen (AG) - Reihenhäuser

Die Anlage in Mellingen besteht aus 4 Reihen-Einfamilienhäusern. Diese stammen aus den 1990er Jahren und verfügen über eine Aussenwärmedämmung. Die gemeinsame Wärmeerzeugung erfolgte ursprünglich mit einem Ölkessel, welcher durch eine Luft/Wasser-Wärmepumpe in Splitbauweise ersetzt wurde. Dadurch wurde der ehemalige Öl-Lagerraum als zusätzlicher Kellerraum frei. Abbildung 50 zeigt eine Situationsansicht der Gebäude mit der Positionierung des aussen stehenden Verdampfers, Abbildung 51 eine Ansicht des Gebäudes inklusive des Verdampfers.

Gebäude 4 Reihen-Einfamilienhäuser aus den 1990er Jahren
 Dämmstandard Aussenwärmedämmung
 Wärmepumpen - Modell Ochsner Golf Maxi Plus GMLW 35 plus mit VHS-M 35
 Schalleistungspegel $L_{WA} = 62$ dB(A) nominal
 Schalleistungspegel $L_{WA} = 50$ dB(A) silent-modus
 Schalleistungspegel $L_{WA} = 55$ dB(A) mit LangsamLaufVerdampfer

	A2/W35	A-7/W35	A2/W50
Wärmeleistung	30.3 kW	25.1 kW	27.4 kW
COP	4.1	3.4	3.1

Verdampfer der Wärmepumpe



Abbildung 50: Anlage Mellingen: Situationsansicht der Gebäude mit der Positionierung des aussen stehenden Verdampfers



Abbildung 51: Anlage Mellingen: Ansicht des Gebäudes mit Verdampfer der Wärmepumpe

5 Die stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe

Eine stadtverträgliche Luft/Wasser-Wärmepumpe zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

Die Energieeffizienz-Anforderungen an die Gebäudeheizung müssen überdurchschnittlich sein, um den Ziel einer 2000-Watt-Gesellschaft gerecht zu werden. Erforderlich sind insbesondere eine hohe Effizienz des Gesamtsystems und die maximal mögliche Nutzung erneuerbarer Energieträger. Diese muss mit einer sehr guten Geräte-Effizienz und klaren Anforderungen an Hydraulik, Auslegung und Dimensionierung sichergestellt werden.

Die Geräte-Effizienz sollte anhand von drei COP-Werten gemäss folgender Tabelle beurteilt werden. Für die Warmwasserbereitung bietet sich eine Anlehnung an die SIA-Norm [SIA385/1:2011] an, welche aktuell einen Grenzwert von 2.6 und einen Zielwert von 2.9 für den COP bei A7/W55 gemäss [EN14511:2013] formuliert.

Betriebspunkt	A2/W35	A7/W55	A-7/W55
COP-Wert	mindestens 3.6	mindestens 2.6	mindestens 1.8
Marktverfügbarkeit	19% aller Geräte erfüllen diese Anforderungen (Stand : 8/2014)		

Anforderungsniveau der energetischen Geräte-Effizienz zur Gebäudeheizung und Wassererwärmung, ausgedrückt in Mindest-COP-Werten gemäss [EN14511:2013] (A2 = Wärmequelle Aussenluft mit 2°C / W35 = Wärmesenke Wasser mit 35°C)

Die Anforderungen an den Schall und Lärmschutz sind in der Lärmschutzverordnung [LSV2010] vorgegeben und die Vollzugspraxis [FALS2013] ist festgelegt. Für typische, städtische Anwendungssituationen, bei denen der Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort mehr als 5 m beträgt, und der Schalleistungspegel der Geräte ohne zusätzliche Schallschutzmassnahmen bei weniger als 50 dB(A) für die ES II und 55 dB(A) für die ES III liegt, werden die rechtlichen Bestimmungen erfüllt. Dies gilt für die Fremdbelärmung (Nachbargebäude) und die Eigenbelärmung (eigenes Grundstück). Die Anforderungen 50 dB(A) bzw. 55 dB(A) erfüllen nur sehr wenige der heute am Markt verfügbaren Geräte (21% für ES III bzw. 3% für ES II). Zwei Drittel dieser Geräte erfüllen gleichzeitig auch die oben formulierten Effizienz-Anforderungen. Insgesamt besteht ein grosser Bedarf, dass Luft/Wasser-Wärmepumpen, insbesondere mit zunehmender thermischer Leistung, deutlich leiser werden.

Anforderungen Lärmschutz für	ES II	ES III
erforderlicher Schalleistungspegel L_{WA}	höchstens 50 dB(A)	höchstens 55 dB(A)
Marktverfügbarkeit	3% aller Geräte	21% aller Geräte

Anforderungsniveau an den Schall- und Lärmschutz von stadtverträglichen Luft/Wasser-Wärmepumpen gemäss [LSV2010] ohne Schallschutzmassnahmen bei einem Mindestabstand zum Immissionsort von 5 m

Eine gute Systemeffizienz wird über Anforderungen an die hydraulische Einbindung in das Heizsystem und die Auslegung und Dimensionierung sichergestellt. Voraussetzung sind eine monovalente Auslegung sowie niedrige Vorlauftemperaturen (Bodenheizung kleiner als 35°C / Radiatorenheizung kleiner als 50°C). Hieraus lässt sich ableiten, dass alle betroffenen Bestandsgebäude eine flächenspezifische Normheizlast von weniger als 75 W/m² erreichen müssen und dafür ggf. Erneuerungsmassnahmen geringer Eingriffstiefe, wie Dämmung der obersten Geschossdecke und Kellerdecke sowie Fensterersatz, erforderlich sind. Die Hydraulik und Dimensionierung sollte in Anlehnung an die Projekte „STASCH – Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen“ [Gabathuler2002] oder bei grösseren Anlagen an „Wärmepumpen für die Instandsetzung – Systemevaluation für die Instandsetzung“ [Primas2014] erfolgen.

Die zukünftige, weitere Entwicklung sollte die Themen „Verstärkte Anforderungen an COP-Werte“, „umweltverträgliche Kältemittel“, „allfällige weitere Anpassungen beim Lärmschutz“ und „Sicherstellung niedriger Heiz-Vorlauftemperaturen“ behandeln.

6 Literaturangaben

- [2009/125/EG] Amtsblatt L 285/10 der Europäischen Union; Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung); Brüssel BE; Okt. 2009
- [EG/811/2013] Amtsblatt L 239/1 der Europäischen Union; Delegierte Verordnung (EU) Nr. 811/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energiekennzeichnung von Raumheizgeräten, Kombiheizgeräten, Verbundanlagen aus Raumheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen sowie von Verbundanlagen aus Kombiheizgeräten, Temperaturreglern und Solareinrichtungen; Brüssel BE; Feb. 2013
- [EG/813/2013] Amtsblatt L 239/136 der Europäischen Union; Verordnung (EU) Nr. 813/2013 der Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten; Brüssel BE; Sep. 2013
- [EG/814/2013] Amtsblatt L 239/162 der Europäischen Union; Verordnung (EU) Nr. 814/2013 DER Kommission vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern; Brüssel BE; Sep. 2013
- [Afjei2002] Afjei T. et al.; „Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen – Teil 2: Grundlagen und Computersimulationen“; Bundesamt für Energie BFE; Bern; Dez. 2002
- [Auer2008] Auer F., Schote H.; „Schlussbericht Zweijähriger Feldtest Elektro – Wärmepumpen am Oberrhein“; Lokale Agenda-Gruppe 21 Energie in Lahr (Schwarzwald); Lahr DE; Jan. 2009
- [Auer2014] Auer F., Schote H.; „Feldtest Phase 2: Innovative Wärmepumpensysteme“; Lokale Agenda-Gruppe 21 Energie in Lahr (Schwarzwald); Lahr DE; Feb. 2014
- [Bürki2011] Bürki T.; „LSP-4-Projekt Beurteilung von Energienutzungstechnologien für eine zentrale oder dezentrale Energieversorgung“; nicht öffentlicher Bericht; Stadt Zürich - Departement der Industriellen Betriebe; Zürich; Juni 2011
- [CercleBruit2013] „Cercle Bruit, Vollzugshilfe 6.21: Lärmtechnische Beurteilung von Luft/Wasser-Wärmepumpen“; Vereinigung Kantonaler Lärmschutzfachleute; verfügbar unter: http://www.cerclebruit.ch/cerclebruit/a_front_d/frameset_d.html?cerclebruit/vollzugso rdner/6/621.html; Mrz. 2013
- [Ecolabel2014] Fact Sheet zum Ecolabel für Wärmepumpen der Europäischen Kommission; zuletzt abgerufen unter <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/products-groups-and-criteria.html> am 13.02.2014
- [Egli2013] Egli P.; „Wärmepumpen-System-Modul - Übersicht“; Vortrag an der FWS-Hersteller-Tagung am 23.10.2013; FWS; Olten; Okt. 2013
- [EHPA2013a] „EHPA Testing Regulations – Testing of Air/Water Heat Pumps“ Version 1.6 Release 01.05.2013; European Heat Pump Association EHPA; Brüssel BE; Mai 2013

- [EHPA2013b] „EHPA Testing Regulation Testing of Heat Pumps for Domestic Hot Water Production“ Version 1.6 Release 01.05.2013; European Heat Pump Association EHPA; Brüssel BE; Mai 2013
- [EHPA2014] “EHPA regulations for granting the international quality label for electrically driven heat pumps” Version 1.5 Release 01.02.2014; European Heat Pump Association EHPA; Brüssel BE; Feb. 2014
- [EN255:1997] „EN255:1997 – Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Heizen“; CEN; Brüssel BE; 1997
- [EN14511:2013] „SN EN 14511:2013 - Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und Kühlung“; CEN; Brüssel, BE; Nov. 2013
- [EN14825:2013] „EN 14825:2013 - Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung - Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl“; CEN; Brüssel, BE; Sep. 2013
- [EN15316-4-2:2008] „SN EN 15316-4-2:2008 – Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen - Teil 4-2: Wärmeerzeugung für die Raumheizung, Wärmepumpensysteme“; CEN; Brüssel, BE; Dez. 2008
- [EN16147:2011] „SN EN 16147:2011 - Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwarmwasser“; mit Corrigendum SN EN 16147:2011/AC:2012; CEN; Brüssel, BE; Mai 2011
- [EnV1998] „SR 730.01 Energieverordnung (EnV) - vom 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Januar 2014)“; Der Schweizerische Bundesrat; Bern; Jan. 2014
- [EnV2014-E1] „SR 730.01 Energieverordnung (EnV) - Entwurf 2013 vom 31.10.2013“; Bundesamt für Energie (BFE) im Auftrag des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK); Bern; Okt. 2013
- [EnV2014-E2] „SR 730.01 Energieverordnung (EnV) - Entwurf 2014 vom 25.06.2014“; Bundesamt für Energie (BFE) im Auftrag des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK); Bern; Jun. 2014
- [Erb2004] Erb M., Hubacher P., Ehrbar M.; „Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996 – 2003“ Schlussbericht; Bundesamt für Energie BFE; Bern; Apr.2004
- [Eschmann2013] Mick Eschmann, "Wärmepumpen-Testzentrum", Vortrag am FWS-Update2013 am 12.11.2013; Wärmepumpen-Testzentrum; Spreitenbach; Nov. 2013
- [FALS2013] „Lärmschutznachweis Art. 7 Abs. 1 LSV – Lärmschutznachweis Wärmepumpe“; Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich FALS; Zürich; Jul. 2013
- [Feist2007] Feist W. (Hrsg.); „Schallschutz beim Einsatz von Wärmepumpen und Wärmepumpen-Kompaktgeräten im Passivhaus“, Protokollband Nr. 34 – Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase IV, Dr. Wolfgang Feist; Passivhaus Institut, Darmstadt, DE, Jun. 2007
- [FWS2013] „Reglement Gütesiegel Warmwasser-Wärmepumpen mit FWS Zertifikat“ Version 2 Ausgabe 01.01.2013 Ausführung CH; Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS; Bern; Jan. 2013

- [FWS2014a] Informationen der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS zum Wärmepumpen-Gütesiegel: <http://www.fws.ch/waermepumpen-mit-zertifikat.html>; zuletzt abgerufen am 13.02.2014
- [FWS2014b] Detaillierte Informationen der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS zum Wärmepumpen-System-Modul; <http://www.fws.ch/waermepumpen-system-modul.html>; zuletzt abgerufen am 13.02.2014
- [FWS2014c] Darstellung der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS zu Wärmepumpen und Strom; <http://www.fws.ch/waermepumpen-und-strom.html>; zuletzt abgerufen am 13.02.2014
- [Gabathuler2002] Gabathuler H.R., Mayer H., Afjei T.; „Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen – Teil1: STASCH-Planungshilfen“; Bundesamt für Energie BFE; Bern; Dez. 2002
- [Gasser2011] Gasser L., Wyssen Y., Albert M., Häusermann M., Kleingries M. und Wellig B.; „Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung“; Bundesamt für Energie BFE; Bern, Dez. 2011
- [GoogleMaps] <http://maps.google.ch>, Bilder aus Quartieren mit Anwendungspotenzial von Luft/Wasser-Wärmepumpen im Stadtgebiet Zürich
- [Grabherr2013] Michael Grabherr; „Wärmepumpen – kaum zu hören“; Vortrag am FWS-Update2013 am 12.11.2013; Mons Energy GmbH; Spreitenbach; Nov. 2013
- [Heliotherm] Exemplarische Darstellung einer Luftwärmepumpe in Splitbauweise: Heliotherm Basic Comfort; <http://www.heliotherm.com/de/luftwaermepumpe-splitbauweise-basic-comfort.html>; zuletzt abgerufen am 16.03.2014
- [Jakob2013] Jakob M., Flury K., Gross N.; „Konzept Energieversorgung 2050 für die Stadt Zürich“ – Zwischenstand August 2013; nicht öffentlicher Bericht; Stadt Zürich; Zürich; August 2013
- [Kunz2008] Peter Kunz et al.; "Handbuch Wärmepumpen: Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung"; Bundesamt für Energie; Bern; 2008
- [KWT] Exemplarische Darstellung einer Luftwärmepumpe mit Sole-Zwischenkreis: KWT; http://kwt.viessmann.com/content/dam/internet_kwt/dokumentation/prospekte/KWT_Waermepumpen.pdf; zuletzt abgerufen am 16.03.2014
- [LSV2010] „SR 814.41 Lärmschutz-Verordnung (LSV)“ vom 15. Dezember 1986 (Stand am 1. August 2010); Der Schweizerische Bundesrat; Bern; 2010
- [Miara2011] Miara M., Günther D., Kramer T., Oltersdorf T., Wapler J.; „Wärmepumpen Effizienz“; Endbericht – Langfassung; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme; Freiburg DE; Mai 2011
- [Miara2012] Miara M.; „WP Monitor“; Zwischenergebnisse; ; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme; Freiburg DE; Jun. 2012
- [MuKEEn2008] „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEEn) Ausgabe 2008“; Konferenz Kantonaler Energiedirektoren EnDK; Chur; Jun. 2008
- [Primas2014] Primas A., Stettler Y., Sonderegger B.; „Wärmepumpen für die Instandsetzung“; Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik; Zürich; Aug. 2014

- [Russ2010] Russ C., Miara M., Platt M., et al.; „Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand“; Kurzfassung zum Abschlussbericht; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme; Freiburg DE; Aug. 2010
- [SIA380/1:2009] „SIA 380/1:2009 – Thermische Energie im Hochbau“ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich; Dez. 2008
- [SIA384/3:2013] „SIA 384/3:2013 – Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf“; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich; Apr. 2013
- [SIA385/1:2011] „SIA 385/1:2011 Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen“; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich; Mai 2011
- [StiebelEltron] Exemplarische Darstellung einer innen aufgestellten Luftwärmepumpe: Stiebel-Eltron WPL; <http://www.stiebel-eltron.de/>; zuletzt aufgerufen am 16.03.2014
- [Stocker2013a] Martin Stocker, "CB-Fachgruppe Anhang 6 LSV, Vollzugshilfe Wärmepumpen", Vortrag an der CB Mitgliederversammlung am 27.09.2013; Cercle Bruit; Sep. 2013
- [Stocker2013b] Martin Stocker; "Lärmtechnische Beurteilung von Luft/Wasser-Wärmepumpen"; Vortrag am FWS-Update2013 am 12.11.2013; Cercle Bruit; Spreitenbach; Nov. 2013
- [TopTen.ch] Nipkow, Bush, Josephy, Berger-Wey; „Auswahlkriterien Wärmepumpen“ - Beschreibung der Kriterien für energieeffiziente Wärmepumpen auf <http://www.topten.ch>; TopTest GmbH; Zürich; Apr. 2014
- [UBA2013a] Datenblatt des Umweltbundesamtes der Bundesrepublik Deutschland zu Verordnung EG/813/2013; zuletzt abgerufen unter <http://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenblatt-zur-verordnung-eg-nr-8132013-oekodesign/> am 13.02.2014
- [UBA2013b] Datenblatt des Umweltbundesamtes der Bundesrepublik Deutschland zu Verordnung EG/814/2013; zuletzt abgerufen unter <http://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenblatt-zur-verordnung-eg-nr-8142013-oekodesign/> am 13.02.2013
- [Viessmann] Exemplarische Darstellung einer aussen aufgestellten Luftwärmepumpe: Viessmann Vitocal 350-A; http://www.viessmann.de/content/dam/internet-global/pdf_documents/energiearten-prospekte/pr-heizen_mit_luft-_und_erdwaerme.pdf; zuletzt abgerufen am 16.03.2014
- [Völkel2004] Völkel G., Baschnagel K., Hubacher P.; „Schallschutz bei der Aufstellung von Wärmepumpen“; Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz FWS; Bern; Mai 2004
- [Wemhöner2011] Wemhöner C.; "System solutions - Multifunctional heat pump systems for the application in low energy houses"; Final Report IEA HPP Annex 32 part 1; IEA Heat Pump Program; <http://www.annex32.net>; Mrz. 2011
- [WPesti] „Jahresarbeitszahl Wärmepumpen: Berechnungsprogramm WPesti (Version: 8.1.0) zur Abschätzung der JAZ von Wärmepumpen mit einem einfachen Excel-Blatt.“; EnDK; Bern; Mrz. 2014
- [WPZ2013] Mick Eschmann; „WPZ-Bulletin Ausgabe 02-2013“ Informationsblatt des Wärmepumpen-Testzentrums Buchs; Buchs, CH; Aug. 2013

A. Effizienzbeurteilung

A.1 COP – Coefficient Of Performance

Ein üblicher Kennwert zur Charakterisierung von Wärmepumpen sind Leistungskennzahlen, abgekürzt COP vom englischen Begriff Coefficient Of Performance. Sie geben Auskunft darüber die wievielfache Wärmeleistung bei den angegebenen Betriebsbedingungen aus der aufgenommenen elektrischen Leistung erzeugt wird.

Die Effizienz einer Wärmepumpe ist wesentlich vom sogenannten Temperaturhub abhängig, also dem Temperatur-Unterschied zwischen der Wärmequelle, aus der die Wärme gewonnen wird und der Wärmesenke, an welche die Wärme abgegeben wird. Daher muss zur Zuordnung der Effizienzangabe immer der Betriebspunkt mit angegeben werden, der sich zusammensetzt aus der Temperatur der genutzten Wärmequelle und der Temperatur bei der die erzeugte Wärme abgegeben wird. A2/W35 bedeutet beispielsweise Luft als Wärmequelle (A = air) bei einer Temperatur von 2°C (A2) sowie Wasser als Wärmesenke (W = water) bei einer Temperatur von 35°C (W35).

Der COP ist eine messbare und momentane bzw. stationäre Effizienzkennzahl für ein Gerät. Es wird die vom Geräte erzeugte thermische Leistung dividiert durch die dazu vom Gerät aufgenommene elektrische Leistung. Die zugrunde liegenden Regeln zur Bestimmung des COP sind in der europäischen Norm [EN14511:2013] festgehalten. Abbildung 52 zeigt ein Beispiel für ein COP-Kennfeld einer Luft/Wasser-Wärmepumpe im Heizbetrieb in Abhängigkeit von der Eintrittstemperatur der Wärmequelle Aussenluft und von der Austrittstemperatur des genutzten Heizwassers.

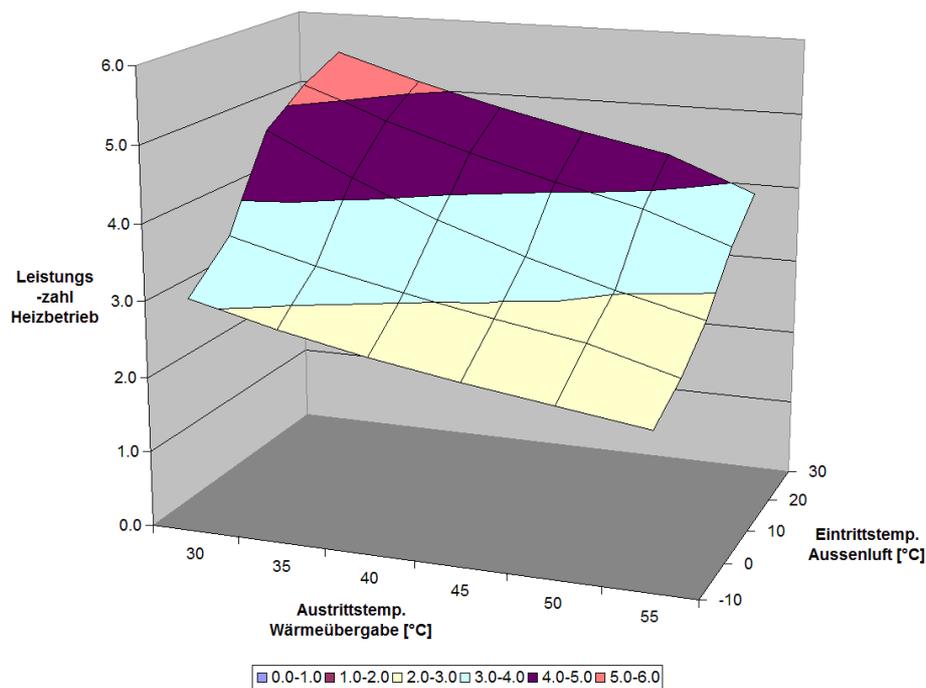


Abbildung 52: Beispiel für ein COP-Kennfeld einer Luft/Wasser-Wärmepumpe im Heizbetrieb

A.2 JAZ – Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl JAZ bewertet die Effizienz von Wärmepumpen-Heizungsanlagen auf Basis jährlicher Energiebezugswerte. Sie berücksichtigt nur den Wärmepumpenbetrieb ohne zusätzliche Wärmeerzeuger. Dabei wird analog den Leistungskennzahlen COP und SCOP die erzeugte Wärme durch den dafür erforderlichen Aufwand, in diesem Fall elektrischer Energieaufwand, dividiert. Allerdings kommen hier aufsummierte Energiewerte zur Anwendung, entgegen der Verwendung von momentanen Leistungsgrössen bei COP und SCOP.

Die JAZ ist eine gebäude- und anlagenspezifische Kenngrösse, welche sich auf ein konkretes Objekt bezieht. Dabei kann die JAZ sowohl eine gemessene Grösse sein oder auch eine Rechengrösse, welche auf Planungsdaten für das Gebäude und die Wärmepumpenanlage basiert. Eine weitere Eigenart der JAZ ist, dass sie oftmals für sehr unterschiedliche Bilanzgrenzen Anwendung findet.

Während COP und SCOP als Gerätekenngrosse eine eindeutig definierte Bilanzgrenze umfassen, muss bei der JAZ die verwendete Bilanzgrenze für die Beurteilung des Zahlenwertes mit angegeben werden. Abbildung 53 zeigt schematisch häufig verwendete Bilanzgrenzen für die Berechnung von Jahresarbeitszahlen. Diese reichen von reinen Gerätebetrachtungen mit einer Bilanzgrenze analog dem COP; über die Bilanzierung der Wärmeerzeugung und damit einer Vergleichbarkeit von beispielsweise Gaskessel-Anlagen mit Wärmepumpen; bis hin zur Bilanzgrenze über das gesamte System, wobei dann nur die tatsächlich genutzte Wärme ohne Wärmeverluste in der Anlage betrachtet wird.

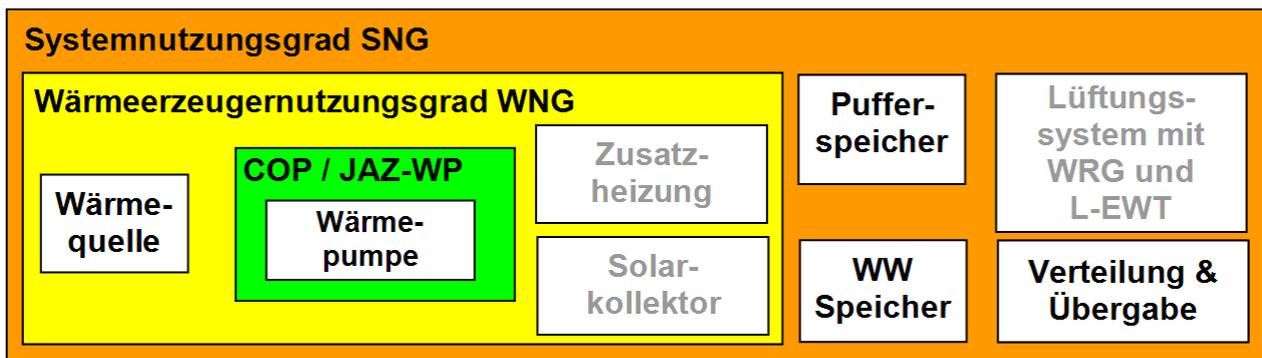


Abbildung 53: Bilanzgrenzen zur Ermittlung von Jahresarbeitszahlen

Regeln zur rechnerischen Bestimmung der JAZ sind für die Schweiz in der Norm [SIA384/3:2013] „Heizungsanlagen in Gebäuden – Energiebedarf“ und auf internationaler Ebene in der europäischen Norm [EN15316-4-2:2008] dokumentiert. Bei diesen Rechenverfahren werden der gemessenen Geräteeffizienz an mehreren Betriebspunkten (COP-Werten) Gewichtungsfaktoren zugeordnet, welche aus dem Wärmebedarf des Gebäudes ermittelt werden.

In Feldmessungen von realen Objekten wird häufig ebenso die Jahresarbeitszahl als Effizienzkenngrosse ermittelt. Grundsätzlich orientieren sich die dabei angewendeten Bilanzgrenzen ebenso an den in Abbildung 53 dargestellten. Die intensivere Auseinandersetzung mit der Effizienz von Wärmepumpenanlagen im realen Betrieb hat schon eine längere Geschichte. In den Projekten [Erb2004], [Auer2008], [Russ2010], [Miara2011], [Miara2012], [Auer2014] wurden in grossem Umfang Jahresarbeitszahlen gemessen.

A.3 SCOP – Seasonal Coefficient Of Performance

Der SCOP (Abkürzung für Seasonal Coefficient Of Performance) ist eine mittlere Leistungskennzahl³ für einen definierten Zeitraum, üblicherweise ein Jahr, bei fest definierten Randbedingungen dar. Diese Randbedingungen umfassen vor allem die erforderliche Nutztemperatur und die klimatischen Randbedingungen. Für diese fest definierten Randbedingungen wird mit dem SCOP eine mittlere Leistungskennzahl als gerätespezifische Kenngrösse rechnerisch ermittelt. Diese kann aufgrund der generischen Randbedingungen nicht mit einem real gemessenen Wert verglichen werden. Der SCOP dient der Schaffung einer neutralen Basis für die Vergleichbarkeit von Geräten, wobei nicht wie beim COP nur ein Betriebspunkt herangezogen wird, sondern der jahreszeitliche Einfluss für eine Referenzsituation berücksichtigt wird. Die zugrunde liegenden Regeln zur Ermittlung des SCOP für Raumheizung sind in der europäischen Norm [EN14825:2013] festgehalten. Zur Beurteilung des Ergebniswertes ist die Angabe des verwendeten Anwendungstemperaturniveaus (siehe Tabelle 10) und des verwendeten Referenzklimas (siehe Abbildung 54) erforderlich.

Temperaturniveau			
niedrig	mittel	hoch	sehr hoch
35 °C	45 °C	55 °C	65 °C

Tabelle 10: Anwendungs-Temperaturniveaus in der [EN14825:2013]

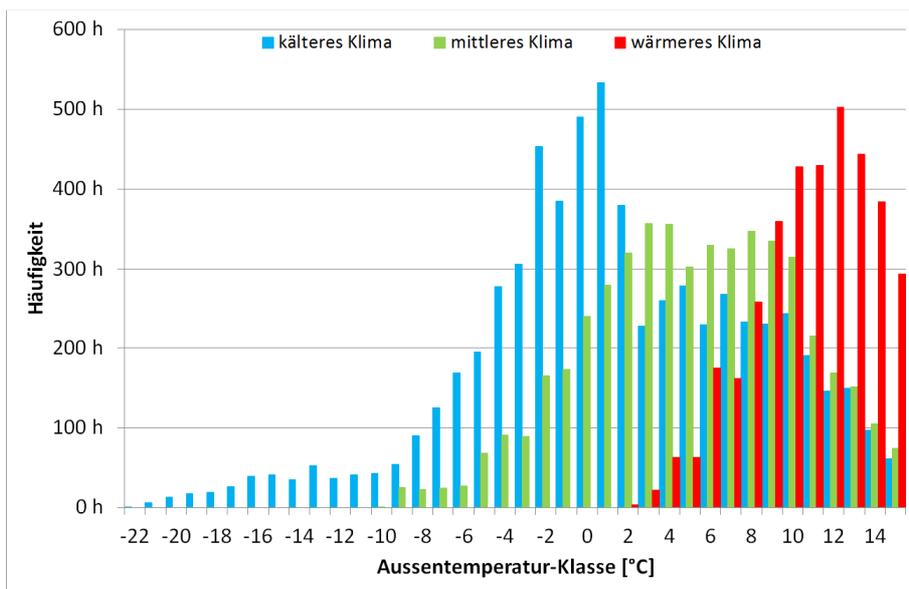


Abbildung 54: Häufigkeitsverteilung der Referenz-Aussentemperaturen in der [EN14825:2013] für drei Klimaregionen beim Heizbetrieb

³ Eigentlich handelt es sich um eine Arbeitszahl. Der Begriff „mittlere Leistungskennzahl“ wird verwendet, um Verwechslungen mit der als Gebäudekenngrösse verwendeten Jahresarbeitszahl zu vermeiden

B. Schall- und Lärmbeurteilung

B.1 Schall

Vibrationen irgendwelcher Art können über die Luft oder andere Medien - Festkörper, Flüssigkeiten, andere Gase - als mechanische Schwingungen an die Umwelt übertragen werden. In den Medien wird die Vibration in Form von Schall übertragen, wobei man zwischen Schall in Gasen und Schall in festen Medien - Körperschall - unterscheidet.

B.2 Wärmepumpen als Schallquellen

Die Hauptschallquelle bei Luft/Wasser-Wärmepumpen sind meist der Kompressor und der Ventilator, welche Körperschall aussenden aber auch indirekt Luftschall im Lüftungskanal erzeugen. Der Schall wird dann über den Lüftungsschacht oder Luftauslass an die Umwelt abgegeben. Weitere Schallquellen sind Umwälzpumpen. Bei Aussenanlagen auf festem Grund ist der Körperschall oft vernachlässigbar, in Gebäuden kann der Körperschall jedoch über Anschlüsse und Befestigungen an das Gebäude übertragen werden. Eine weitere Schallquelle sind Strömungsgeräusche der Luft, welche vorwiegend an Luftdurchlässen respektive Kanten in der Luftführung entstehen.

B.3 Schalleistungspegel

Jeder Schallquelle kann eine Grösse zugeordnet werden, welche quantifiziert, wie viel Energie über den Schall abgegeben wird. Diese Grösse ist der sogenannte Schalleistungspegel und sie wird in der typischen Einheit für akustische Grössen angegeben, dem Dezibel: dB. Das Dezibel ist eine logarithmische Einheit; eine Erhöhung des Schalleistungspegels um 10 dB entspricht einer Verzehnfachung der Schalleistung in Watt.

Der Schalleistungspegel kann nicht direkt gemessen werden, sondern muss aus Messresultaten des Schalldruckpegels berechnet werden. Falls die Schallquelle in alle Richtungen gleich viel Schall ausstrahlt, kann an einem Punkt in einem gewissen Abstand die Leistung gemessen werden und mit der Fläche einer Kugel, in deren Zentrum die Quelle steht und auf deren Oberfläche die Leistung gemessen wird, multipliziert werden. Strahlt die Quelle nicht gleichmässig in alle Raumrichtungen ab, muss die Leistung für jeden Punkt einer geschlossenen Oberfläche um die Quelle gemessen oder abgeschätzt werden.

B.4 Schalldruckpegel

Der Schalldruckpegel ist die mit Mikrofonen messbare Grösse des Schalldrucks bezogen auf einen Referenzwert. Er ist eine rein technische, keine psychoakustische Grösse.

Für die Stärke des Schalls sind der Abstand von der Quelle sowie die Umgebung wichtig. Breitet sich Schall kugelförmig aus, wie beispielsweise im Freien, so nimmt seine Stärke quadratisch mit dem Abstand zur Quelle ab, da eine konstante Energie über eine mit dem Abstand quadratisch wachsende Oberfläche verteilt werden muss. Ist der Schall jedoch gerichtet und breitet sich beispielsweise in einer Röhre aus oder einem Gang, bleibt die Schallfront relativ konstant. Die Oberfläche, über die sich die Energie verteilen muss, bleibt also gleich und die Schallstärke nimmt kaum ab.

Schall kann auch reflektiert werden oder sich um Ecken beugen, wobei ersteres dafür sorgt, dass die Schallstärke direkt vor einer Wand, an der Schall reflektiert wird, grösser ist, da der einkommende und der reflektierte Schall sich überlagern; letzteres sorgt dafür, dass es hinter einem Hindernis zwar leiser, aber nicht komplett still ist.

Die Energie, welche der Schall transportiert, wird auch in andere Energieformen umgewandelt, wodurch sich die Schallstärke vermindert. In Dämmmaterialien oder speziellen geometrischen Objekten (vgl. Eierschachtel) wird Schallenergie in Wärme umgewandelt, um die Schallstärke zu verkleinern.

Was wir an einem bestimmten Ort für eine Schallstärke messen können, hängt also von vielen Faktoren ab. Die Grösse, die man durch eine Messung bestimmen kann, ist der Schalldruckpegel, der wieder in dB ausgedrückt wird und direkt gemessen werden kann. Kann der Schalldruckpegel nicht gemessen werden, so lässt er sich im Freien nach folgender Formel abschätzen:

$$L_{pa} = L_{wa} + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4\pi d^2}\right)$$

Hierbei ist L_{pa} der Schalldruckpegel, L_{wa} der Schalleistungspegel, Q der Richtfaktor, welcher die Umgebung der Schallquelle einbezieht und d der Abstand zur Quelle. Q nimmt Werte von 2 (auf offener Fläche), 4 (an einer Wand) und 8 (in einer Ecke) an unter der Annahme, dass die Oberflächen perfekt reflektieren.

B.5 A-Bewertung

Der Schalldruckpegel ist jedoch wie der Schalleistungspegel eine rein physikalische Grösse, der wenig darüber aussagt, wie der Schall von einem Menschen wahrgenommen wird. Für die Wahrnehmung ist insbesondere das Frequenzspektrum entscheidend: Gewisse Frequenzen werden vom Menschen besser wahrgenommen als andere, was mit dem Aufbau des Ohrs und Innenohrs zu tun hat. Um diese psychoakustische Komponente in Messwerten zu berücksichtigen, wird der Schalldruckpegel A-bewertet:

Je nach Frequenz wird der Schalldruckpegel angehoben oder abgesenkt, um so der Wahrnehmung des Menschen gerecht zu werden. Dabei werden vor allem tiefe Frequenzen - bis etwa 1 kHz - abgesenkt und Frequenzen um 2 kHz leicht erhöht. Das Resultat dieser Modulation ist der A-bewertete Schalldruckpegel, der in dB(A) ausgedrückt wird.

B.6 Beurteilungspegel

Der Beurteilungspegel ist die entscheidende Grösse für die Beurteilung, wie störend Schallquellen sind.

Der Beurteilungspegel L_r wird nach folgender Formel berechnet [LSV2010] Anhang 6, 31:

$$L_r = L_{eq} + K1 + K2 + K3 + K_t$$

Der erste Term, L_{eq} , ist der sog. Mittelungspegel. Der Mittelungspegel ist ein A-bewerteter Schalldruckpegel, wobei der Schalldruckpegel in der Mitte des offenen Fensters lärmempfindlicher Räume gemessen wird.

Die K-Terme sind jeweils Pegelkorrekturen aufgrund von äusseren Umständen:

$K1$ ist die Pegelkorrektur für die Art des Industrie- und Gewerbelärms. Bei Wärmepumpen beträgt die Korrektur 5 dB(A) bei Tagbetrieb und 10 dB(A) bei Nachtbetrieb.

$K2$ ist die Pegelkorrektur für die Tonhaltigkeit, welche bei neueren Wärmepumpen in der Regel bei 2 dB(A) liegt.

$K3$ ist die Pegelkorrektur für die Impulshaltigkeit, welche jedoch bei Wärmepumpen in der Regel nicht relevant ist.

K_t ist die Pegelkorrektur für die tägliche Betriebszeit. Je kürzer die Betriebszeit, desto kleiner ist der Beurteilungspegel. K_t berechnet sich wie folgt:

$$K_t = 10 \cdot \log\left(\frac{t_i}{t_0}\right)$$

Wobei t_i die durchschnittliche tägliche Dauer der Lärmphase i in Minuten ist und für den Tag und die Nacht getrennt berechnet wird. t_0 beträgt dabei 720 Minuten oder 12 Stunden. Da t_i nicht grösser sein kann als t_0 ist K_t immer ein negativer Wert oder bei Dauerbetrieb Null.