

# Charakterisierung der Geräuschentwicklung einer Wärmepumpe

Agostino Troll<sup>1</sup>, Thomas Gindre<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Nobelstraße 12 70569 Stuttgart

<sup>2</sup> Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstr. 2 79110 Freiburg

E-Mail: [agostino.troll@ibp.fraunhofer.de](mailto:agostino.troll@ibp.fraunhofer.de)

## Einleitung

Wärmepumpen sind Maschinen, welche Wärme aus der Umwelt aufnehmen und auf ein höheres, nutzbares Niveau „pumpen“. Immer öfter werden Wärmepumpen zur Beheizung von Gebäuden verwendet. Durch die Nutzung der Umweltwärme können Wärmepumpen besonders effizient sein und wurden daher vielfach als eine zentrale Technologie identifiziert, um den Energieverbrauch und den CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Gebäudesektor zu senken.

Insbesondere Wärmepumpen, die Außenluft als Wärmequelle verwenden, werden aufgrund der Verfügbarkeit und der geringen Kosten in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen. Hierbei ist vor allem im urbanen Raum die Lärmbelastung ein Hindernis, was die Marktdurchdringung erschwert. Daher sind zwingend Maßnahmen zur akustischen Optimierung von Wärmepumpen erforderlich.

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung der Schallquellen einer Wärmepumpe, deren Wechselwirkung sowie die Luft- und Körperschallpfade. Die primären Schallquellen einer Wärmepumpe sind der Ventilator und der Verdichter.

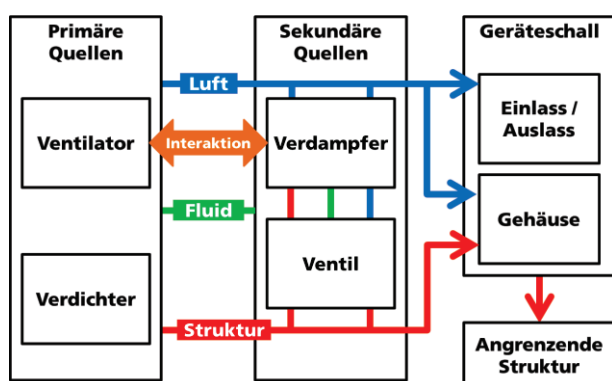


Abbildung 1: Schallquellen einer Wärmepumpe, deren Wechselwirkung sowie die Luft- und Körperschallpfade.

Der Ventilator erzeugt vorwiegend direkten Luftschall, welcher über die Öffnungen im Gehäuse abgestrahlt wird. Weil der Ventilator die Außenluft über den Verdampfer ansaugt, wechselwirken diese beiden Komponenten miteinander. Der Verdampfer hat somit einen direkten Einfluss auf das vom Ventilator erzeugte Geräusch. Dies ist besonders von Bedeutung, wenn der Verdampfer vereist und sich dadurch die Druckerhöhung des Ventilators ändert.

Der Verdichter erzeugt durch die periodischen Verdichtungs Vorgänge dynamische Wechselkräfte, welche sich auf die Gehäusestruktur übertragen. Von dort aus kann der Körperschall als Luftschall abgestrahlt werden oder an angrenzende Strukturen, z.B. einem Gebäude, weitergeleitet werden.

Um geeignete Entwicklungsmethoden, u.a. auch zur Geräuschminderung, für Hersteller von Wärmepumpen anwendbar zu machen, wurde vom Fraunhofer ISE und dem Fraunhofer IBP das vom BMWi geförderte Projekt WAMS (Wärmepumpen – Akustik und Mehrquellensysteme) initiiert. In diesem Projekt werden Wärmepumpen sowie deren Einzelkomponenten mit experimentellen und numerischen Methoden untersucht und Entwicklungsmethoden erarbeitet.

In diesem Tagungsbeitrag werden das experimentelle Vorgehen und einige ausgewählte Ergebnisse aus den ersten Messungen an einer Luft-Wasser-Wärmepumpe dargestellt.

## Prüfverfahren

Um eine Wärmepumpe gleichzeitig akustisch und energetisch vermessen zu können wurde ein kombinierter Messablauf auf Basis von Normverfahren entwickelt.

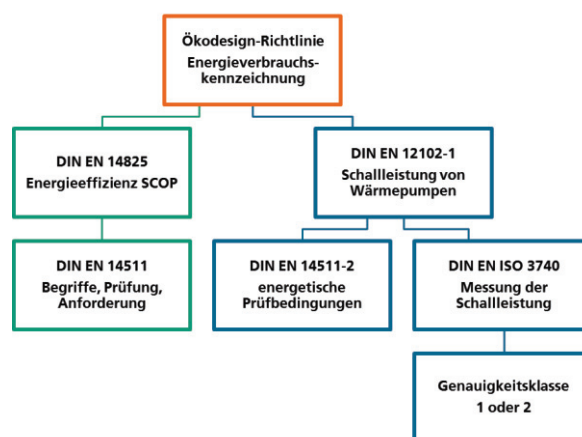


Abbildung 2: Normen für die energetische und die akustische Leistungsprüfung von Wärmepumpen.

In Abbildung 2 ist der Zusammenhang der Normen für die energetische und die akustische Prüfung von Wärmepumpen im Rahmen der Konformitätserklärung nach der Ökodesign-Richtlinie [1] und der Energieverbrauchskennzeichnung [2] dargestellt.

Die energetischen Messungen werden nach DIN EN 14511-3 [3] durchgeführt, die akustischen Messungen werden nach DIN EN 12102-1 [4] durchgeführt. Die DIN EN 12102-1 verbindet, unter maschinenspezifischen Gesichtspunkten, die Bestimmung der Schallleistung nach DIN EN ISO 3740 [5] mit den Prüfbedingungen nach DIN EN 14511-2 [6]. Die Schallleistung nach DIN EN ISO 3740 muss mit einem Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 oder 2 durchgeführt werden.

Die hier beschriebenen Messungen erfolgten unter definierten klimatischen und akustischen Prüfbedingungen in der Doppelklimakammer am Fraunhofer ISE (Abbildung 3) nach dem Hallraumverfahren der DIN EN ISO 3743-1 [7].

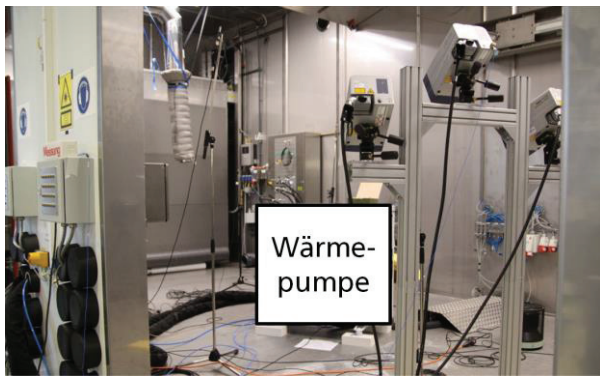


Abbildung 3: Versuchsaufbau in der Klimakammer am Fraunhofer ISE.

Die Prüfbedingungen wurden in Anlehnung an die DIN EN 14511-2 gewählt, in welcher die Temperatur am Außenwärmeübertrager (Lufttemperatur) sowie die Ein- und Austrittstemperaturen am Innenwärmeübertrager (Vor- und Rücklauftemperaturen) vorgegeben werden. In Tabelle 1 sind die eingestellten Prüfbedingungen aufgeführt.

Tabelle 1: Prüfbedingungen

Lufttemperatur A [°C]	Vorlauftemperatur W [°C]
-15	35 / 45 / 55 / 65
-7	35
-2	35 / 45 / 55
7	35
12	55

Während den Messungen wurden energetische und akustische Größen sowie die Betriebsdaten der Wärmepumpe aufgezeichnet. Unter anderem wurden die Lufttemperatur, die Vor- und Rücklauftemperaturen, die relative Feuchte, die Kältemitteldrücke, die Drehzahlen von Ventilator und Verdichter, die Druckerhöhung am Ventilator, der räumlich gemittelte Schalldruckpegel und die Schnellepegel an verschiedenen Stellen der Wärmepumpe erfasst. Die Datenerfassung der akustischen Größen erfolgte über ein Multikanalsystem mit Mikrofonen und Beschleunigungssensoren. Außerdem kam ein 3D Laser-Scanning-Vibrometer zum Einsatz.

## Messungen

Bei dem untersuchten Gerät handelt es sich um eine Luft-Wasser-Wärmepumpe für Außenaufstellung in Kompaktbauweise. Um ein Verständnis für das akustische Verhalten der Wärmepumpe zu erlangen wurden Messungen für drei Bauzustände sowie einer Vielzahl von Betriebszuständen durchgeführt.

Die untersuchten Bauzustände sind:

- ohne Verkleidungsteile des Gehäuses und ohne Isolierung des Verdichters,
- ohne Verkleidungsteile des Gehäuses und mit Isolierung des Verdichters und
- mit Verkleidungsteilen des Gehäuses und mit Isolierung des Verdichters (Normalzustand).

Die Untersuchungen der unterschiedlichen Betriebszustände erfolgten jeweils bei den Prüfbedingungen nach Tabelle 1. Die untersuchten Betriebszustände sind:

- stationäre Zustände mit selbstständiger Regelung der Wärmepumpe,
- stationäre Zustände mit vorgegeben Drehzahlen von Verdichter und Ventilator,
- stationäre Zustände mit abgeschaltetem Verdichter oder Ventilator, um deren Beitrag zum Gesamtgeräusch zu quantifizieren und
- instationäre Vorgänge wie der Abtauvorgang und das Vereisen des Verdampfers.

## Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die A-bewerteten Schallleistungspegel in Terzen für den separaten Betrieb von Ventilator und Verdichter für den Bauzustand ohne Gehäuseverkleidung und ohne Isolierung des Verdichters.

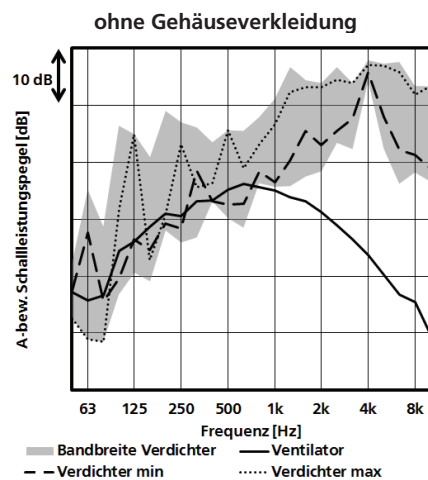


Abbildung 4: A-bewertete Schallleistungspegel für den separaten Betrieb von Ventilator und Verdichter für den Bauzustand ohne Gehäuseverkleidung und ohne Isolierung des Verdichters.

Die durchgezogene Kurve zeigt das Spektrum des Ventilators bei seiner charakteristischen konstanten Betriebsdrehzahl. Die grau hinterlegte Fläche zeigt die Streubreite aller gemessenen Spektren des Verdichters bei unterschiedlichen Drehzahlen. Die gestrichelte und gepunktete Kurve zeigen die Spektren des Verdichters mit dem minimalen und dem maximalen A-bewerteten Summenschallleistungspegel.

In Abbildung 5 sind die entsprechenden A-bewerteten Schallleistungspegel für den separaten Betrieb von Ventilator und Verdichter für den Bauzustand mit Gehäuseverkleidung und mit Isolierung des Verdichters aufgetragen.

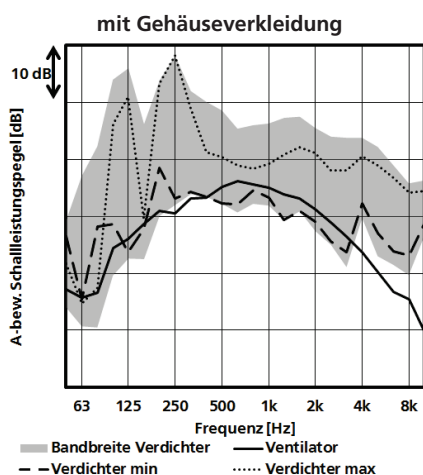


Abbildung 5: A-bewertete Schallleistungspegel für den separaten Betrieb von Ventilator und Verdichter für den Bauzustand mit Gehäuseverkleidung.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl mit als auch ohne Gehäuseverkleidung der Verdichter die dominierende Schallquelle der untersuchten Wärmepumpe ist.

Abbildung 6 zeigt die A-bewerteten Schallleistungspegel in Abhängigkeit der Verdichterdrehzahl für die Bauzustände mit Gehäuseverkleidung und mit Verdichterisolierung sowie ohne Gehäuseverkleidung und ohne Verdichterisolierung.

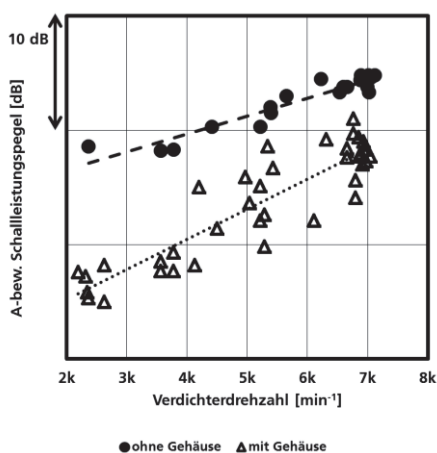


Abbildung 6: A-bewertete Schallleistungspegel in Abhängigkeit der Verdichterdrehzahl für die Bauzustände mit Gehäuseverkleidung sowie ohne Gehäuseverkleidung und ohne Verdichterisolierung.

Zusätzlich sind in Abbildung 6 die Regressionsgeraden durch die Messpunkte dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass a) der A-bewertete Summenschallleistungspegel mit Gehäuseverkleidung geringer ist, b) die Regressionsgeraden für die Messungen mit und ohne Gehäuseverkleidung eine andere Steigung haben und c) die Streubreite der A-bewerteten Summenschallleistungspegel mit Gehäuseverkleidung höher ist als ohne Gehäuseverkleidung.

Abbildung 7 zeigt das Einfügungsdämm-Maß der Gehäuseverkleidung und dessen Streubreite über Messungen bei vergleichbaren Betriebszuständen. Bei tiefen Frequenzen wird von der Wärmepumpe mit Gehäuseverkleidung mehr Schall abgestrahlt als von der Wärmepumpe ohne Gehäuseverkleidung. Bei Frequenzen oberhalb von 800 Hz kommt es durch die schalldämmende Wirkung des Gehäuses zu einer Minderung des Schallleistungspegels. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gehäusestruktur einen maßgeblichen Einfluss auf die von der Wärmepumpe abgestrahlte Schallleistung hat. Dieser Einfluss ist abhängig vom komplizierten Zusammenspiel des frequenzabhängigen Resonanz- und Abstrahlverhalten des Gehäuses und den Erregerfrequenzen.

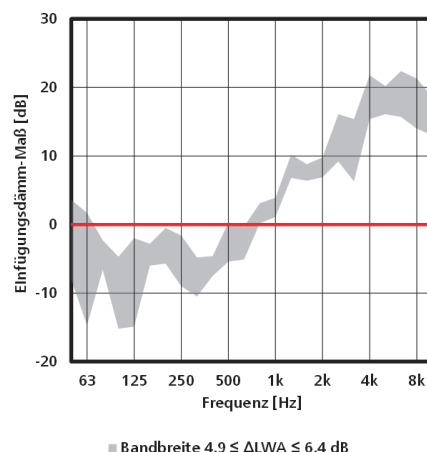


Abbildung 7: Einfügungsdämm-Maß der Gehäuseverkleidung und dessen Streubreite bei vergleichbaren Betriebszuständen.

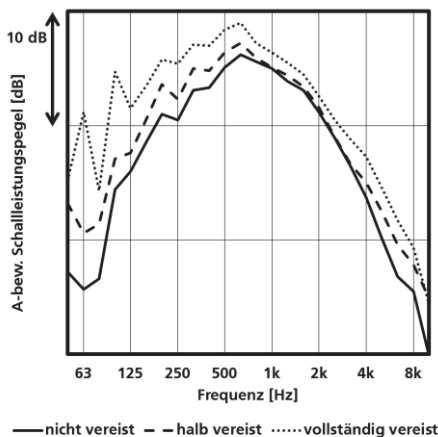
Um das Abstrahlverhalten der Gehäuseverkleidung genauer untersuchen zu können wurden Messungen mit einem 3D Laser-Scanning-Vibrometer auf den Gehäuseoberflächen durchgeführt. Diese sollen zukünftig dazu verwendet werden mittels numerischer Verfahren die von der Gehäuseverkleidung abgestrahlte Schallleistung genauer zu analysieren und daraus mögliche Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Zudem wurden Betriebsschwingenanalysen bei unterschiedlichen Zuständen durchgeführt.

Um die Abhängigkeit des Ventilatorgeräusches vom Vereisungsgrad des Verdampfers zu untersuchen wurden Messungen bei unterschiedlichen Vereisungszuständen durchgeführt. In Abbildung 8 sind die drei Vereisungszustände des Verdampfers dargestellt, bei welchen der erzeugte Schallleistungspegel des Ventilators ermittelt wurde.



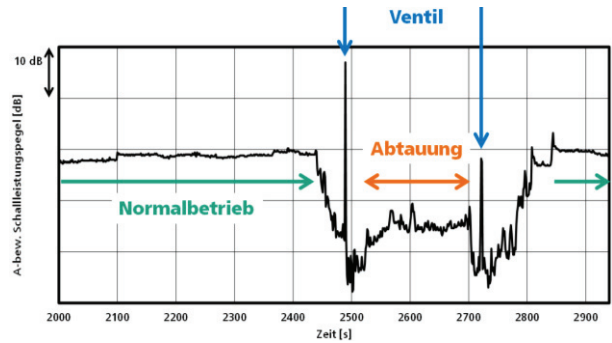
**Abbildung 8:** Verdampfer, links: nicht vereist, mitte: halb vereist und rechts: vollständig vereist.

Abbildung 9 zeigt die A-bewerteten Schalleistungspegel für den Betrieb des Ventilators für die drei in Abbildung 8 dargestellten Vereisungszustände des Verdampfers. Der Unterschied im A-bewerteten Summschalleistungspegel ohne Vereisung und vollständiger Vereisung beträgt bei den hier durchgeführten Messungen ca. 3 dB.



**Abbildung 9:** A-bewertete Schalleistungspegel für den Betrieb des Ventilators bei den Vereisungszuständen des Verdampfers nach Abbildung 8.

In Abbildung 10 ist der zeitabhängige A-bewertete Summschalleistungspegel vor, während und nach einem Abtauzyklus aufgetragen. Der Abtauzyklus beginnt bei Sekunde 2440 mit der Reduzierung der Verdichterdrehzahl von  $6960 \text{ min}^{-1}$  auf  $2100 \text{ min}^{-1}$ . In Sekunde 2490 tritt eine Pegelspitze durch das Auslösen des Vierwegeventils auf, welche als besonders störend wahrgenommen werden kann. Danach erhöht der Verdichter stufenweise seine Drehzahl von  $2100 \text{ min}^{-1}$  auf  $4500 \text{ min}^{-1}$  und die eigentliche Abtauung beginnt. Bei Sekunde 2700 endet die Abtauphase und der Verdichter senkt seine Drehzahl wieder auf  $2100 \text{ min}^{-1}$ . Bei Sekunde 2720 tritt durch das erneute Auslösen des Vierwegeventils wieder eine Pegelspitze auf. Abschließend erhöht der Verdichter seine Drehzahl stufenweise auf  $6960 \text{ min}^{-1}$  und die Wärmepumpe schaltet wieder in den Normalbetrieb.



**Abbildung 10:** A-bewerteter Schalleistungspegel über der Zeit vor, während und nach dem Abtauzyklus.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und dem Projektträger Jülich (PTJ) für die Unterstützung des Vorhabens „WAMS: Wärmepumpen - Akustik und Mehrquellensysteme“ (Förderkennzeichen 03ET1535A).

## Literatur

- [1] 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.
- [2] Richtlinie 2010/30/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen.
- [3] DIN EN 14511-3:2018-05 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Teil 3: Prüfverfahren.
- [4] DIN EN 12102-1:2018-02 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen, Prozesskühler und Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Bestimmung des Schalleistungspegels - Teil 1: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen zur Raumbeheizung und -kühlung, Entfeuchter und Prozesskühler.
- [5] DIN EN ISO 3740:2001-03 Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen - Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen.
- [6] DIN EN 14511-2:2018-05 Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Teil 2: Prüfbedingungen.
- [7] DIN EN ISO 3743-1:2011-01: Akustik - Bestimmung der Schalleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern - Teil 1: Vergleichsverfahren in einem Prüfraum mit schallharten Wänden.