

# **IEA Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 51: Akustische Emissionen von Wärmepumpen**

T. Bednar, S. Hinterseer, Ch. Kaseß,  
T. Natiesta, M. Neusser, Ch. Reichl,  
R. Rieberer, P. Wagner, H. Waubke

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**30/2022**

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe  
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

### **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Interimistischer Leiter: DI Theodor Zillner

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:  
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

# IEA Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 51: Akustische Emissionen von Wärmepumpen

Christoph Reichl, Thomas Natiesta  
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Philipp Wagner, René Rieberer  
Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik

Simon Hinterseer, Maximilian Neusser, Thomas Bednar  
Technische Universität Wien,  
Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie

Christian Kaseß, Holger Waubke  
Österreichische Akademie der Wissenschaften,  
Institut für Schallforschung

Wien, Mai 2020

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) gewährleistet wird.

DI Theodor Zillner

Interimistischer Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>11</b>
4.1.	Der internationale IEA HPT Annex 51 „Acoustic Signatures of Heat Pumps“ .....	11
4.1.1.	Partnerländer.....	11
4.1.2.	Taskuntergliederung.....	12
4.1.3.	Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes im Task/Annex.....	13
4.1.4.	Österreichischen Kooperation .....	15
4.2.	Spezifische Projektziele.....	16
4.3.	Vorgangsweise und Methoden .....	17
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>19</b>
5.1.	Ergebnisse und Highlights im IEA HPT Annex 51 .....	19
5.1.1.	Task 1: „Gesetzgebung und Normen“ .....	20
5.1.2.	Task 2: „Definition der von der Studie zu erfassenden Wärmepumpeneinheiten“ ..	22
5.1.3.	Task 3: „Ermittlung der Lärmbelastung auf der Komponenten- und Wärmepumpenebene sowie Techniken zur Störschallunterdrückung“ .....	23
5.1.4.	Task 4: „Analyse des Einflusses der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten“ .....	25
5.1.5.	Task 5: „Installation der Wärmepumpe und Auswirkungen auf die Umgebung“ .....	27
5.1.6.	Task 6: „Verbesserte Messung und Beschreibung der akustischen Leistung“ .....	31
5.1.7.	Task 7: „Dissemination, Verbreitung“ .....	34
5.1.8.	Erkenntnisse und Wirkungen .....	36
5.2.	Veröffentlichungen im internationalen IEA HPT Annex 51.....	38
5.3.	Publikationen mit österreichischer Autorenschaft.....	44
5.3.1.	Akustische Optimierung von Wärmepumpen (IEA HPT Annex 51) .....	44
5.3.2.	Perception Rating of the Acoustic Emissions of Heat Pumps.....	44
5.3.3.	Acoustic Characterisation of an Air-To-Water Heat Pump for Different Operating Conditions: Inter-laboratory Results.....	45
5.3.4.	Acoustics of heat pumps with special focus on icing, defrosting and placement.....	45
5.3.5.	HPT TCP Annex 51 - „Acoustic Signatures of Heat Pumps“ - Reduction of Noise Emissions of Air-Water-Heat-Pumps .....	46
5.3.6.	Charakterisierung der Schallabstrahlung von Luft-Wasser-Wärmepumpen mittels simultaner Hitzdrahtanemometrie, Vibrationsmessung und Schalldruckbestimmung .....	47
5.3.7.	Aktive Störschallunterdrückung für Wärmepumpenanwendungen .....	48
5.3.8.	SilentAirHP - Analyse und Entwicklung von Schallreduktionsverfahren für Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	48
<b>6</b>	<b>Vernetzung und Ergebnistransfer</b> .....	<b>50</b>

6.1. Zielgruppen und Kommunikation der Ergebnisse.....	50
6.1.1. Wärmepumpenhersteller und Wärmepumpenkomponentenhersteller .....	50
6.1.2. Akustische Berater:innen .....	51
6.1.3. Installateur:innen und Planer:innen von Wärmepumpenanlagen.....	51
6.1.4. Nationale Entscheidungsträger:innen .....	51
6.2. Relevanz und Nutzen der Ergebnisse.....	52
6.3. Verwertung der Ergebnisse.....	52
<b>7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....</b>	<b>53</b>
7.1. Fachliche Schlussfolgerungen .....	53
7.2. Weiterführende Aktivitäten.....	54
7.3. Empfehlungen für FTI Politik.....	55



# 1 Kurzfassung

Wärmepumpen sind eine vielfältig einsetzbare Energieeffizienz- und Erneuerbare Technologie mit großem Potenzial, einen substanziellen Beitrag zum geforderten Umbau des Energiesystems zu leisten. Eine wichtige Rolle können Luft-Wärmepumpen (L-WP) aufgrund ihrer Charakteristika wie z.B. geringer Platzbedarf und einfacher Installation insbesondere in dicht bebauten, städtischen Siedlungsgebieten spielen. L-WP emittieren aufgrund des hohen benötigten Luftvolumenstroms oftmals Geräusche beim Ventilator und Verdampfer, die sich in der Übergangszeit aufgrund der Vereisung des Verdampfers noch verstärken. Die als störend wahrgenommenen Betriebsgeräusche können zu Nachbarschaftskonflikten mit gesundheitlichen, psychischen und finanziellen Folgen führen, damit zu einem gravierenden Wettbewerbsnachteil der Technologie werden, und deren breiten Einsatz hemmen.

**Das gegenständliche Projekt zielt primär darauf ab, die Akzeptanz von Wärmepumpen zu erhöhen und Marktbarrieren durch Reduktion von Schallemissionen und Vibrationen abzubauen.**

Zu diesem Zweck wurden Vorarbeiten zur Erarbeitung einheitlicher rechtlicher und normativer Rahmenbedingungen durchgeführt, und die Entwicklung akustischer Emissionen im Betrieb von WP auf Komponenten- und Systemebene mittels innovativer Methoden und Prüfinfrastruktur im Detail analysiert. Es wurden neuartige Ansätze zur Reduktion der akustischen Emissionen von Wärmepumpen wie Störschallunterdrückung, verschiedene Montageoptionen, Schallabsorptions- und Schwingungsdämpfungsmaßnahmen untersucht und hinsichtlich ihrer Wirkung bewertet. Zudem wurden realistische Schallausbreitungssimulationen durchgeführt, um optimale Aufstellungsszenarien und -orientierungen insbesondere in kleineren Siedlungsgebieten zu identifizieren. Des Weiteren wurden innovative Konzepte zur optimalen Lagerung sowie zur Wirkung optimierter Schallschutzummantelungen entwickelt. Mittels Wahrnehmungstests wurde der Einfluss verschiedener operativer und schallmindernder Maßnahmen auf die Lästigkeit erhoben. Diese Lästigkeitsurteile wurden zu akustischen und psychoakustischen Parametern in Beziehung gesetzt, um daraus ein Bewertungsschema abzuleiten.

Das gewonnene Know-how wurde, gemeinsam mit den Ergebnissen und Erkenntnissen aus den Vorprojekten, in internationale Expert:innen-Meetings eingebracht, und intensiv auf nationaler Ebene in verschiedenen Zielgruppen (insbesondere bei Herstellern von Wärmepumpen und deren Komponenten, akustischen Berater:innen, Installateur:innen und Planer:innen von Wärmepumpenanlagen, nationalen Entscheidungsträger:innen) disseminiert. Nationale Forschungsaktivitäten sowie internationaler Know-how- und Ergebnistransfer in Bezug auf die Reduktion akustischer Emissionen von Wärmepumpen, wie sie in diesem Projekt angestrebt wurden, sind von zentraler Bedeutung für die Beibehaltung bzw. Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Wärmepumpenbranche, die mögliche Akzeptanzprobleme aufgrund akustischer Emissionen als eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung eines Wärmepumpenmassenmarktes sieht.

Im Rahmen des IEA HPT Annex 51 entstanden eine Vielzahl von frei verfügbaren detaillierten Dokumenten der internationalen und nationalen Arbeitsgruppe, die im Folgenden beschrieben werden. Weiters steht der Mitschnitt eines Webinars als Einführung in die Themenbereiche auf der [Webseite des internationalen IEA HPT Annex 51](#) zum Download bereit.

## 2 Abstract

Heat pumps are a versatile energy efficient and renewable energy technology with vast potential in contributing substantially to the required changes in the energy system. Especially air-based heat pump systems can play an important role in densely populated, urban areas due to their multiple advantages such as low space requirement or simple installation. The compressor and fans of air-sourced heat pumps often emit acoustic emissions which are reinforced in the transition period as a result of the icing of the compressor. The operating noise of heat pumps can cause conflicts in neighbourhoods leading to health, psychological and financial problems. This may become a serious disadvantage for the heat pump technology and may hamper its broad market penetration.

**This project primarily aims at improving the acceptance of heat pumps and removing market barriers by reducing acoustic noise emissions and vibrations.**

For that purpose, preliminary work for elaborating uniform legal and normative boundary conditions was carried out. The development of acoustic emissions in the operation of heat pumps has been analysed in detail on component and unit level by means of innovative methods and test infrastructure. Novel approaches in reducing acoustic emissions of heat pumps such as noise suppression, various installation options, sound and vibration absorption measures have been pursued and assessed regarding their impact. In addition, realistic noise propagation simulations were carried out to identify optimal installation scenarios and orientations especially in smaller settlement areas. Furthermore, innovative concepts for an optimum mounting and insulation sheathing have been developed. Perceptual tests were used to elaborate the impact of various operative and acoustic noise absorbing measures on the annoyance. The assessment of the annoyance was put in relation to acoustic and psychoacoustic parameters to develop an assessment scheme.

The know how gained within this project, and the results and findings from former research projects, have been disseminated in both, the framework of international expert meetings and on national level to various target groups comprising especially manufacturers of heat pumps and their components, acoustic consultants, installers and planners of heat pumps, and national decision makers. National research activities and international transfer of know-how and findings relating to the reduction of acoustic noise emissions of heat pumps as envisaged in this project, is of vital importance for strengthening the competitiveness of the national heat pump sector. Possibly arising problems of acceptance due to acoustic noise emissions are seen as one of the greatest challenges in developing the heat pump market to a mass market.

Within the framework of the IEA HPT Annex 51, a large number of freely available detailed documents were produced by the international and national working group, which are described in this document. Furthermore, the recording of a webinar as an introduction to the topics is available for download on the [website of the international IEA HPT Annex 51](#).

# 3 Ausgangslage

Die Einhaltung ambitionierter Klima-, Energie- und Umweltziele verlangt den Umbau zu einem CO<sub>2</sub>-armen, effizienten und erneuerbaren Energiesystem. Wärmepumpen (WP) sind eine vielfältig einsetzbare Technologie zur Raumwärmebereitstellung, Warmwasserbereitung und Kühlung von Gebäuden, mit einem großen Potenzial, einen substanziellen Beitrag zum Umbau des Energiesystems zu leisten. Gemäß des neuesten IEA Reports über die Perspektiven Erneuerbarer Energietechnologien können WP wesentlich zur Erreichung des 2°C-Ziels beitragen; im „Beyond 2°C-Szenario“ stellen WP sogar die wesentliche Schlüsseltechnologien im Gebäudesektor dar.<sup>1</sup> Das Potenzial der WP-Technologien in Österreich zur Einsparung an Treibhausgas (THG)-Emissionen bis zum Jahr 2030 liegt - je nach Szenario - zwischen 1,1 Mio. tCO<sub>2</sub>äqu und 3,02 Mio. tCO<sub>2</sub>äqu.<sup>2</sup> Eine besondere Rolle können zukünftig L-WP in dichter bebauten, städtischen Siedlungsgebieten spielen. Sie weisen aufgrund ihrer Charakteristika wie geringem Platzbedarf, vergleichsweise geringer Anschaffungskosten sowie einfacher Installation wesentliche Vorteile gegenüber anderen Heiz- und Kühlsystemen auf, und sind der am häufigsten verkaufte WP-Typ in Europa<sup>3</sup>.

L-WP emittieren aufgrund des hohen benötigten Luftvolumenstroms oftmals störende Geräusche beim Ventilator und Verdampfer, die sich in der Übergangszeit aufgrund der Vereisung des Verdampfers noch verstärken. Die als störend wahrgenommenen Betriebsgeräusche können Nachbarschaftskonflikte<sup>4</sup> mit gesundheitlichen, psychischen<sup>5</sup> und finanziellen Folgen auslösen, und damit zu einem gravierenden Wettbewerbsnachteil dieser Technologie werden, und deren breiten Einsatz hemmen bzw. überhaupt unmöglich machen.

Vorschriften bezüglich der erlaubten Lärmemissionen von L-WP sind örtlich sehr verschieden. In Österreich gibt es beispielsweise unterschiedliche Regelungen auf Landes- und Gemeindeebene. In einigen Bundesländern wie z.B. Oberösterreich sind Förderungen zur erstmaligen Installation von WP an Lärmemissionsgrenzwerte gebunden. In der Steiermark hängt die Vergabe von Förderungen mit der Einhaltung der im Forum Schall, 2013 publizierten Grenzen zum Lärmschutz im Nachbarschaftsbereich von L-WP ab (Land Steiermark, 2017). Für Hersteller:innen von L-WP ist dieser derzeit unregulierte Bereich ein großes Problem. Sie müssen sich laufend über neue ortsspezifische Regulierungen informieren und ihre Systeme entsprechend anpassen. Um ihre Produkte in Regionen mit niedrigeren Lärmemissionsgrenzwerten verkaufen zu können, müssen diese hinsichtlich der Lärmemission optimiert werden, wodurch zusätzlich Kosten entstehen.

---

<sup>1</sup> Vgl. IEA, Energy Technology Perspectives 2017, June 2017

<sup>2</sup> Vgl. M. Hartl et al: Österreichische Technologie-Roadmap für Wärmepumpen, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 08/2016

<sup>3</sup> Vgl. EHPA, European Heat Pump Market and Statistics Report 2015, September 2016

<sup>4</sup> Vgl. Entscheidung des OGH, 3.5.2011, Geschäftszahl: 10Ob25/11s, OLG Nürnberg, Urteil vom 30.01.2017 - 14 U 2612/15

<sup>5</sup> Erfahrungsberichte Betroffener sind auf der [Homepage des „Informationskreis tieffrequenter Schall im Wohnumfeld“](#) abrufbar.

Aktuelle in-situ Schallmessungen standen dem Konsortium nicht zur Verfügung<sup>6</sup>. Feldmessungen der Napier University<sup>7</sup> aus 2011 an neun im Einsatz befindlichen Anlagen haben gezeigt, dass die gemittelten Schallpegelmessungen meist mit den Angaben der Hersteller:innen übereinstimmen, dass aber einzelne schmalbandige störende Töne, die vermehrt bei Vereisung im tiefen Frequenzbereich auftreten, von den Hersteller:innen in der Regel nicht angeführt werden. Gerade diese tiefen Frequenzbereiche, welche durch die A-Bewertung nur wenig berücksichtigt werden, sind es, die von Nachbar:innen bzw. Anrainer:innen als besonders störend empfunden werden, und oftmals die Quelle für deren Beeinträchtigung darstellen. Schallmessungen im Labor des Schweizer Wärmepumpentestzentrums Buchs<sup>8</sup> zeigen, dass die Schalleistungspegel der zur Außenaufstellung bestimmten Geräte nationaler Hersteller:innen zwischen 54-67 dB(A) liegen, und damit wesentlich lauter als das leiseste am Markt erhältliche Gerät (rd. 48 dB(A)) sind.<sup>9</sup>

Akustik Forschung Dresden (AFD) hat mehr als 400 Prüfstandsmessungen von über 40 Wärmepumpenhersteller, darunter vier nationale Anbieter, ausgewertet<sup>10</sup>. Der Schalleistungspegel von außenaufgestellten Kompaktgeräten lag im Schnitt zwischen 55-75 dB(A), jener von im Gebäudeinneren aufgestellten bei 47-75 dB(A), Geräte in Split-Bauweise wiederum lagen bei 50 -73 dB(A). Zudem wurden Ventilatoren sowie Kompressoren als dominante Lärmquellen identifiziert. Weiters wurde herausgefunden, dass niedrigere Außentemperaturen in der Regel mit höheren Schallemissionen einhergehen. Die europäische, wie auch nationale, WP-Branche sieht mögliche Akzeptanzprobleme aufgrund akustischer Emissionen als eine große Herausforderung bei der Entwicklung eines WP-Massenmarktes im kleinen Leistungsbereich (<20 kW) speziell im urbanen Umfeld. Dieses Segment ist historisch gesehen ein besonderes Stärkefeld der nationalen Hersteller:innen, und wird auch in Zukunft deren Hauptabsatzmarkt sein. Szenarienrechnungen für Österreich gehen davon aus, dass die jährlichen Verkaufszahlen im Segment Heizungs-WP in der Leistungsklasse bis 20 kW im Jahr 2030 im mittleren Szenario bei 32.200 Stück/Jahr liegen werden. Das kommt einer Verdoppelung der Verkaufszahlen im Vergleich zu 2016 gleich<sup>11</sup>.

Nationale Forschungsaktivitäten sowie internationaler Know-how- und Ergebnistransfer in Bezug auf die Reduktion akustischer Emissionen von WP, wie sie durch dieses Projekt möglich werden, sind daher von zentraler Bedeutung für die Beibehaltung bzw. Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der nationalen WP-Branche.

---

<sup>6</sup> RI.SE SE ist dabei 2-3 In-Site Messungen abzuschließen. Die Messergebnisse wurden in den Annex 51 einbracht.

<sup>7</sup> Acoustic Noise Measurements of air source heat pumps, <https://www.gov.uk/government/publications/acoustic-noisemeasurements-of-air-source-heat-pumps>

<sup>8</sup> [www.wpz.ch](http://www.wpz.ch); Vermessung nach EN 14511:2011 im Jahr 2013

<sup>9</sup> [http://www.elco.ch/de/resources/Medieninfos/ELCO\\_Medienmitteilung\\_JULI\\_2014\\_D.pdf](http://www.elco.ch/de/resources/Medieninfos/ELCO_Medienmitteilung_JULI_2014_D.pdf)

<sup>10</sup> Hübelt, J, Geräuschemission und Lärminderung bei Luft-Wasser-Wärmepumpen, [http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/laerm\\_licht\\_mobilfunk/20131127\\_Huebelt\\_Laermminderung\\_LW-Waermepumpen.pdf](http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/laerm_licht_mobilfunk/20131127_Huebelt_Laermminderung_LW-Waermepumpen.pdf)

<sup>11</sup> Biermayr et al., Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2016, Berichte aus der Energie- und Umweltforschung, 13/2017

# 4 Projektinhalt

## 4.1. Der internationale IEA HPT Annex 51 „Acoustic Signatures of Heat Pumps“

### 4.1.1. Partnerländer

IEA HPT Annex 51 ist eine Zusammenarbeit von sechs europäischen Ländern, die in Tabelle 1 mit den jeweiligen national leitenden Institutionen und deren Ansprechpersonen angegeben sind.

Tabelle 1: Partnerländer mit Kontaktpersonen und jeweils leitendem Institut des Landes

Ländername	Kontakt
<b>Österreich</b>	<b>Name:</b> Christoph Reichl (Operating Agent) <b>Affiliation:</b> AIT Austrian Institute of Technology GmbH <b>Postal address:</b> Giefinggasse 4   A-1210 Vienna   Austria <b>Telephone number:</b> +43(0) 664 – 386 58 41 <b>E-mail address:</b> christoph.reichl (at) ait.ac.at
<b>Frankreich</b>	<b>Name:</b> Francois Bessac <b>Affiliation:</b> CETIAT <b>Postal address:</b> 25 Avenue des Arts – BP 52042   69903 Villeurbanne Cedex   France <b>Telephone number:</b> +33 4 72 444 935 <b>Mobile:</b> +33 609635392 <b>E-mail address:</b> francois.bessac (at) cetiat.fr
<b>Schweden</b>	<b>Name:</b> Ola Gustafsson <b>Affiliation:</b> RISE <b>Postal address:</b> Box 587   501 15 Boras   Sweden <b>Telephone number:</b> +46 10 516 51 20 <b>E-mail address:</b> ola.gustafsson (at) ri.se
<b>Italien</b>	<b>Name:</b> Prof. Mario Motta <b>Affiliation:</b> Politecnico di Milano, Energy Department <b>Postal address:</b> Piazza Leonardo da Vinci, 32   20131 Milan   Italy <b>Telephone number:</b> +39 02 23993818 <b>Mobile:</b> +39 320 8393652 <b>Fax:</b> +39 02 23993868 <b>E-mail address:</b> mario.motta (at) polimi.it

Ländername	Kontakt
<b>Deutschland</b>	<p><b>Name:</b> Dr.-Ing. Lena Schnabel</p> <p><b>Affiliation:</b> Fraunhofer ISE</p> <p><b>Postal address:</b> Heidenhofstr. 2   79110 Freiburg   Germany</p> <p><b>Telephone number:</b> +49 761 4588-5412</p> <p><b>E-mail address:</b> lena.schnabel (at) ise.fraunhofer.de</p>
<b>Dänemark</b>	<p><b>Name:</b> Svend Pedersen</p> <p><b>Affiliation:</b> Danish Technological Institute</p> <p><b>Postal address:</b> Kongsvang Alle 29   DK-8000 Aarhus C   Denmark</p> <p><b>Telephone number:</b> +4572201271</p> <p><b>E-mail address:</b> svp (at) teknologisk.dk</p>

#### 4.1.2. Taskuntergliederung

Der IEA HPT Annex 51 ist in sieben Tasks gegliedert, die mit Namen und Inhalt in Tabelle 2 gelistet sind.

Tabelle 2: Taskuntergliederung des internationalen IEA HPT Annex 51

Nummer	Name	Inhalt
<b>Task 1</b>	Gesetzgebung und Normen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geltende Vorschriften zur Akustik in den verschiedenen Ländern</li> <li>• Bestehende Normen und Messtechniken</li> <li>• Zertifizierungssysteme und -anforderungen</li> </ul>
<b>Task 2</b>	Definition der von der Studie zu erfassenden Wärmepumpeneinheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es werden Produkte identifiziert und ausgewählt, die repräsentativ für die Akustik relevante Betriebsverhalten (Wechselrichter, Frost/Abtauung, etc.) sind</li> </ul>
<b>Task 3</b>	Ermittlung der Lärmbelastung auf der Komponenten- und Wärmepumpenebene sowie Techniken zur Störschallunterdrückung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geräusch der Komponenten: Ventilator, Verdichter, Pumpen, 4-Wege-Ventile, Kältemittel, etc.</li> <li>• Geräusche im Zusammenhang mit der Wärmepumpe: Verrohrung, Montage, Systemeffekt, Kompaktheit der Komponenten, Gehäuse</li> <li>• Lärmschutz: aktive Geräuschunterdrückung, akustische Materialien, optimiertes Design</li> </ul>
<b>Task 4</b>	Analyse des Einflusses der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akustik des instationären Wärmepumpenbetriebs: Ein/Aus, Frost/Abtauung, Invertersteuerung,</li> <li>• Reversierbetrieb, Warmwasserzapfung</li> </ul>

Nummer	Name	Inhalt
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abhängigkeit von der Art der Wärmequelle und dem Temperaturniveau</li> </ul>
<b>Task 5</b>	Installation der Wärmepumpe und Auswirkungen auf die Umgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundprinzipien guter/wirksamer Installationen</li> <li>• Studien zu standortbezogenen Effekten: mehrere Geräte auf engem Raum, Hintergrundgeräuschpegel (z. B. städtische oder ländliche Umgebung, Tag-/Nachtbetrieb), etc.</li> <li>• Wahrnehmung durch Nutzer:innen und Nachbar:innen</li> </ul>
<b>Task 6</b>	Verbesserte Messung und Beschreibung der akustischen Leistung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Psychoakustik / Geräuschwahrnehmung</li> <li>• Akustische Kamera</li> <li>• Transienter/nichtstationärer Schallleistungspegel</li> <li>• Alternative akustische Metriken: Minimal-/Maximal-Schallleistungspegel, bewerteter Wert ("Seasonal dB"), psychoakustische Messgrößen, etc.</li> </ul>
<b>Task 7</b>	Dissemination, Verbreitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitlinien und Empfehlungen für die folgenden Zielgruppen: Planer:innen und Hersteller:innen, Installateur:innen, Endnutzer:innen, Öffentliche Behörden</li> <li>• Materialien für Bildung und Ausbildung</li> <li>• Workshops Website, Konferenzen, etc.</li> </ul>

#### 4.1.3. Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojektes im Task/Annex

Der IEA HPT Annex 51 „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“ zielt primär darauf ab, die Akzeptanz von WP zu erhöhen und Marktbarrieren durch Reduktion von Schallemissionen und Vibrationen abzubauen. Ein weiterer Fokus liegt auf dem Wissenstransfer auf unterschiedlichen Ebenen (Hersteller:innen, akustische Berater:innen, Installateur:innen und Gesetzgeber). Dazu werden Informationen auf verschiedenen Implementationsebenen (Komponente, WP, Installationsumgebung) gesammelt und kombiniert. Dies führt zu verbesserten Komponenten, WP-Systemen und Steuerungsstrategien, die in Leitfäden für Ausbildung und Training zusammengefasst werden. Zudem fließen die Erkenntnisse auch in zukünftige Normen ein.

Die Vorschriften in Bezug auf Lärmemissionen sind aktuell sehr unterschiedlich. Um einheitliche Regelungen entwickeln zu können, muss zuerst erhoben werden, auf Basis welcher Kriterien die momentanen Grenzwerte festgelegt wurden. Aufbauend auf den Erkenntnissen können erste Anhaltspunkte zur Erarbeitung einheitlicher Regelungen in Österreich geliefert werden. Diese werden von nationaler auf internationale Ebene übertragen und in Zukunft Teil der Entwicklung eines eigenen Labels für Lärmemissionen sein.

Basierend auf Recherchen zu Lärmemissionen und -quellen und einer Analyse bestehender Datensätze, werden WP und deren Komponenten akustisch mit numerischen und experimentellen

Methoden charakterisiert, wobei akustische Kameras und ein akustischer Dom zum Einsatz kommen. Ergänzend zu Transmissionsmessungen werden mit Hilfe von Laservibrometrie und Schallintensitätssonden die emissionsgebenden Bauteile hinsichtlich ihres Beitrags zur Lärmentwicklung im Betrieb von WP-Anlagen in akustisch optimierten Klimakammern und Prüfräumlichkeiten, die einen besonderen Fokus auf tiefe Frequenzen (<100 Hz) besitzen, untersucht. Dieser intensivierte messtechnische Aufwand stellt in Zusammenhang mit dem Know-how des Konsortiums eine optimal geeignete Möglichkeit dar, die Schallemissionen von WP zu charakterisieren und Ansätze zur Reduktion der Schallemissionen zu liefern. Neben messtechnischen Untersuchungen hinsichtlich Schallabstrahlung werden die Schallemissionen der WP-Anlage in unterschiedlichen Arbeitspunkten und unter Nutzung verschiedener Schallabsorptionsmaßnahmen charakterisiert und aufgezeichnet. Diese messtechnisch erfassten Messgrößen erlauben eine vertiefte, realitätsnahe Beurteilung der Schallemission im Betrieb solcher Anlagen. Neben den direkten Schallemissionen der WP wird durch die Messung der Dämpfung des Schwingungsenergieeintrags durch unterschiedliche Montagevarianten im Testbetrieb der WP im Prüfraum ermittelt. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen als Basis für die Entwicklung neuer Montagemöglichkeiten von WP. Als neuartige Methode zur Bekämpfung ungewollter Emissionen werden Erkenntnisse zur Störschallunterdrückung erarbeitet und aufbereitet. Insbesondere die Erweiterung von Systemsimulationen um akustische Kenngrößen, sowie der Einsatz simultaner Erfassung von (transienten) Schallemissionen sind innovative Ansätze zur Sicherstellung der Akzeptanz von WP.

Durch die in Vorprojekten gewonnene und in diesem Projekt erweiterte Datenbasis zur akustischen Charakteristik von WP und deren Komponenten konnte das Konsortium realistische Schallausbreitungssimulationen durchführen, die zur Identifikation optimaler Aufstellungsszenarien genutzt werden. Mittels Simulation wurde der Einfluss der Aufstellungsorientierung der Wärmepumpenanlage untersucht, und die durch in der Nähe der Anlage befindliche Gebäudeteile veränderte Schallabstrahlungscharakteristik prognostiziert. Informationen und Erfahrungen zu Bestandsanlagen im Feld vervollständigen die Analysen. Eine optimierte Lagerung kann die Körperschallübertragung im Gebäude minimieren.

Es wurden Konzepte erarbeitet, wie eine solche elastische Lagerung der Anlage kostengünstig durchgeführt kann. Dabei werden die notwendige Abstimmfrequenz und Lagermasse sowie die Impedanz des Fundamentes festgelegt, um eine ausreichende Abschirmung zu erreichen. Mittels der Randelemente Methode ist es möglich, die Schallausbreitung im Freien zu berechnen. Für die relativ kompakte Außeneinheit der WP wurden Berechnungen in 2.5D durchgeführt und somit die Fernfeldwirkung des Schallerzeugers bestimmt.

Psychoakustische Untersuchungen im Bereich des Verkehrslärms haben gezeigt, dass mit dem energieäquivalenten A-bewerteten Schalldruckpegel die Wirkung von Schallminderungsmaßnahmen teilweise nur unzureichend beschrieben werden kann. Sowohl im Straßen- als auch im Bahnverkehr konnte gezeigt werden, dass die Lautheit oder der Lautstärkepegel ein besseres Maß für die Wirkung lärmindernder Maßnahmen ist. Insbesondere die tieffrequenten Anteile werden hinsichtlich der psychoakustischen Wirkung mit der A-Bewertung nicht richtig erfasst. Versuche, dies durch Hinzuziehung einer C-Bewertung zu korrigieren, erscheinen bei WP eher problematisch, da die C-Bewertung für sehr laute Signale abgeleitet wurde. Die Lautheit zeigt hingegen eine bessere Repräsentation der empfundenen Lästigkeit bei Verkehrslärm. Durch Hinzunahme weiterer



psychoakustischer Maße, wie Rauigkeit, kann zudem die Korrelation zwischen der Lästigkeit aus Tests mit Probanden und psychoakustischen Modell geringfügig erhöht werden.

Neben Rechercheergebnissen und pränormativen Arbeiten als Vorbereitung für akustisches Labelling von WP, wurden Schallemissionen auf WP und Komponentenebene detailliert erhoben, und die Wirkung von Störschallunterdrückungsmaßnahmen, Montageoptionen, Schallabsorptions- und Schwingungsdämpfungsmaßnahmen im Detail analysiert. Systemsimulationen mit akustischen Kenngrößen und Schallausbreitungsrechnungen erlauben die Identifikation optimaler Aufstellungsszenarien in Siedlungsgebieten. Berechnungen zur optimierten Aufstellungsorientierung wurden durch innovative Konzepte zur optimalen Lagerung sowie zur Wirkung optimierter Schallschutzummantelungen komplettiert.

#### **4.1.4. Österreichischen Kooperation**

Das internationale IEA HPT Annex 51 Projekt wurde von Dr. Christoph REICHL (AIT) geleitet. Österreich leitete, neben der Tätigkeit als Operating Agent (OA), die zwei Tasks 5 und 7. Fünf weitere Länder beteiligten sich am IEA HPT Annex 51 und haben die Leitung der anderen Tasks übernommen. Die inhaltliche Arbeit im österreichischen Konsortium wurde thematisch ebenfalls in diese Tasks aufgeteilt. Alle Teilnehmer:innen brachte eigene Inhalte und Ergebnisse nationaler Projekte ein.

Die Zusammensetzung des österreichischen Konsortiums wurde dabei so gewählt, dass sich die Kompetenzen und Ressourcenausstattungen ideal im Sinne der Erfüllung der qualitativen sowie quantitativen Projektziele ergänzen, und die für die Durchführung des Vorhabens erforderlichen wissenschaftlichen, technischen und ökonomischen Kompetenzen abgedeckt werden. Das Center for Energy des AIT – Austrian Institute of Technology GmbH hat ausgewiesene Expertise im Bereich der Wärmepumpenforschung auf Komponenten- und Systemebene und vertritt seit Jahren Österreich erfolgreich in verschiedenen Programmen der IEA (HPT, EBC, DHC, IETS). Die Einrichtung bringt insbesondere umfangreiche Kompetenz und Laborinfrastruktur zur akustischen Bewertung sowie schall- und strömungstechnischen Optimierung von Wärmepumpen, sowie ein großes Netzwerk ein.

Das Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie der Technischen Universität Wien besitzt durch seine intensive F&E-Aktivitäten im Bereich Akustik, im speziellen der Bauakustik, umfassendes Know-how hinsichtlich der im Projekt durchzuführenden Arbeiten zur Erreichung der Projektziele und ist (inter-)national im projektrelevanten Bereich sehr gut vernetzt.

Das Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz hat umfangreiche wissenschaftliche Kompetenz im Bereich Wärmepumpentechnik bzw. Heizungs-, Kälte- und Klimatechnik. Das Institut ist ausgezeichnet vernetzt und kooperiert mit den wichtigsten Institutionen bzw. Vereinen wie z.B. IEA, IIR/IIF oder Wärmepumpe Austria.

Das Institut für Schallforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) hat umfangreiche Erfahrung auf dem Bereich der Simulation der Schallausbreitung im Freien auf Basis der Randlelemente Methode sowie der psychoakustischen Bewertung von Lärm, im Besonderen von Verkehrslärm.

## 4.2. Spezifische Projektziele

Die Projektziele des internationalen IEA HPT Annex 51 sind in der dritten Spalte der Taskdefinition (Tabelle 2), die des nationalen IEA HPT Annex 51 sind in Tabelle 3 angegeben.

Die Ziele des nationalen Projektes wurden derart gewählt, dass ein optimaler Transfer von Erkenntnissen in die internationalen IEA HPT Annex 51 möglich wurde.

Tabelle 3: Projektziele des nationalen IEA HPT Annex 51

Task	Ziele
1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kenntnisse über die gesetzlichen Richtlinien und Normen</li><li>• Kenntnisse über verwendete Messtechnik und zugehörige Standards</li><li>• Kenntnisse über verwendete Zertifikations-Schemata und notwendige Voraussetzungen</li></ul>
2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Erstellung einer Liste von Wärmepumpentypen</li><li>• Unterstützung bei der internationalen Auswahl von zwei Wärmepumpen (davon eine L/W-WP)</li></ul>
3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zusammenfassung von Wissen/Erfahrung über WP-Komponenten mit geringer akustischer Schallabstrahlung</li><li>• Akustische Charakterisierung von Komponenten unter Nutzung der akustischen Kamera</li><li>• Ermittlung der Schallabstrahlungscharakteristik</li><li>• Untersuchung des wechselseitigen Einflusses von Wärmetauscher und Ventilator</li><li>• Untersuchung des Einsatzes von aktiver Störschallunterdrückung</li><li>• Untersuchung von optimalen Einhausungen zur optimalen Unterdrückung des emittierten akustischen Spektrums</li></ul>
4	<ul style="list-style-type: none"><li>• Zeitabhängige Systemmodellierung der Effizienz unter Berücksichtigung von akustischen Parametern für fortschrittliche Steuerung</li><li>• Untersuchung zeitabhängiger akustischer Emissionen bei Vereisung und Enteisung bzw. Ein/Ausschalten</li></ul>
5	<ul style="list-style-type: none"><li>• Subtask-Lead im Rahmen des internationalen Annex 51</li><li>• Analyse der Platzierung von WP in Bezug auf Schallemission und Schallausbreitung</li><li>• Analyse des Potentials von Schallabsorption durch nahegelegene Oberflächen</li><li>• Analyse von WP-Befestigungen und deren Einfluss auf Schallausbreitung und Schallemission ins Gebäude und zur Nachbarschaft</li><li>• Studie des Einflusses der Schallimmission auf die Nachbarschaft</li></ul>
6	<ul style="list-style-type: none"><li>• Messung der in AP2 ausgewählten Wärmepumpen mit Hilfe des akustischen Domes</li><li>• Wahrnehmungstests auf Basis eines vom Konsortium des Annexes ausgewählten Samples von typischen Geräuschen</li><li>• Vergleich der Ergebnisse verschiedener Zentren (Schweden, Österreich)</li><li>• Ableiten einer Methode, um psychoakustische Größen in die Beurteilung von akustischen Effekten von Wärmepumpen einzubeziehen</li></ul>

Task	Ziele
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subtask-Lead im Rahmen des internationalen Annex 51</li> <li>• Information nationaler Zielgruppen insbesondere WP- und Komponentenhersteller:innen, Architekt:innen, Bauträger:innen, öffentliche Entscheidungsträger:innen auf Landes- und Bundesebene</li> <li>• Know-how Transfer auf unterschiedlichen Ebenen (Installateur:innen, Planer:innen, Studierende) durch Organisation und Durchführung von Weiterbildungsmaßnahmen</li> <li>• Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit der nationalen Wärmepumpenforschung (Österreich als Operating Agent &amp; zweifacher Subtask-Leader; Präsentation auf Konferenzen; Einbringen der Ergebnisse in nationale sowie europäische Normungs- und Standardisierungsgremien</li> <li>• Know-how / Ergebnistransfer zu österreichischen Unternehmen</li> </ul>

### 4.3. Vorgangsweise und Methoden

Zur Bewältigung der gestellten Aufgaben wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden genutzt, die in Tabelle 4 zusammengestellt sind.

Tabelle 4: Eingesetzte Methoden im nationalen IEA HPT Annex 51

Task	Methoden
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literaturrecherche</li> <li>• Recherche von Gesetzestexten</li> <li>• Recherche von Zertifizierungsschemata</li> <li>• Messtechnik und Standards</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marktrecherche</li> <li>• Anfrage bei österreichischen Hersteller:innen</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transfer von Wissen aus mobilen Anwendungen</li> <li>• Zusammenfassung durchgeführter WP Messungen sowie von Arbeiten im Bereich der aktiven Störschallunterdrückung</li> <li>• Vergleichsmessungen von WP (mit/ohne Einhausung)</li> <li>• Akustische Messungen und Analyse bestehender Datensätze</li> <li>• Analyse akustischer Transmission durch Wärmetauscher</li> <li>• Laservibrometrie</li> <li>• Schallintensitätsmessung</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literaturrecherchen</li> <li>• Akustische Messungen und Analyse bestehender Datensätze</li> <li>• System-Simulationsrechnungen</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numerische Simulation der Schallausbreitung und Untersuchung unterschiedlicher Lagertypen</li> <li>• Schallfeldsimulationen</li> </ul>

Task	Methoden
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Telefonbefragungen</li> <li>• persönliche Gespräche</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung und Durchführung eines Wahrnehmungstests im Labor in Abstimmung mit anderen Gruppen (z.B. Harmonisierung der verwendeten Testmethode und Darbietungsform)</li> <li>• Modellierung der Ergebnisse mittels verschiedener psychoakustischer Parameter und Vergleich mit Ergebnissen aus dem Projekt SilentAirHP</li> <li>• Messung der ausgewählten Wärmepumpen mit Hilfe des akustischen Domes zu Erfassung orts-, zeit- und frequenzauflöser Schallfelder</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinative/Kommunikative Tätigkeiten im Rahmen des Taskleads im internationalen IEA HPT Annex 51 Projekt</li> <li>• Teilnahme an Veranstaltungen</li> <li>• Organisation/Durchführung von Verbreitungsmaßnahmen (Workshops, Publikationen)</li> <li>• Erarbeitung von Informationsmaterialien</li> </ul>

Die Zusammenstellung der normativen und regulativen Texte gestaltete sich sowohl im nationalen als auch internationalen Kontext äußerst aufwendig, da eine Vielzahl von Vorschriften auf unterschiedlichen Ebenen zu berücksichtigen waren. Auch die messtechnischen Arbeiten im Rahmen der Round Robin Tests durch AIT und TU Wien sowie die psychoakustischen Tests der ÖAW waren sehr zeitintensiv. Die Messungen mussten dabei in die Round Robin Tests mit mehreren international teilnehmenden Instituten optimal eingebettet werden.

# 5 Ergebnisse

## 5.1. Ergebnisse und Highlights im IEA HPT Annex 51

Im Folgenden sind die Ergebnisse und Highlights des nationalen IEA HPT Annex 51 zusammengestellt. Sie werden in der Reihenfolge des Tasks präsentiert. Für jeden Task sind für die weitere Lektüre die Deliverables zum freien Download auf der [Webseite des internationalen IEA HPT Annex 51](#) verfügbar, in denen weitere Details zu finden sind. Sie sind in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5: Deliverables auf Taskebene in nationalen IEA HPT Annex 51

Nummer	Deliverable Name
D1.1	Zusammenfassung der Gesetzes- und Normenlage
D1.2	Zusammenfassung der Messtechnik und Standards
D1.3	Zusammenfassung der Zertifizierungsschemata
D2.1	Liste von nationalen Wärmepumpentypen und Wärmepumpenmodellen
D3.1	Überblick über Schallemissionen von Komponenten und Wärmepumpen-Einheiten
D3.2	Überblick über Aktive Störschallunterdrückung
D3.3	Resultate der Transmissionsmessungen an Wärmetauschern
D4.1	Bericht über den Einfluss des gewählten Betriebspunktes auf das akustische Verhalten
D4.2	Bericht zur Untersuchung der Schallemissionen transienter Prozesse
D5.1	Bericht über Wärmepumpeninstallationen mit speziellem Fokus auf akustischen Emissionen
D5.2	Bericht mit den Ergebnissen aus Subtask 5 – Tätigkeitsbericht mit auszugsweisen Berichtsteilen
D6.1	Bericht über zukünftige Optionen zur Beschreibung der akustischen Performanz
D6.2	Psychoakustischer Bewertungsindex für die Beschreibung von Wärmepumpengeräuschen
D7.1	Bericht über durchgeführte und besuchte Veranstaltungen
D7.2	Bericht über Veröffentlichungen
D7.3	Bericht mit Schulungsunterlagen sowie den durchgeführten Schulungsmaßnahmen
D7.4	Bericht mit den Ergebnissen aus Subtask 7

### **5.1.1. Task 1: „Gesetzgebung und Normen“**

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 1 („Legislation and standards“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“. Im Wesentlichen werden hier Kurzzusammenfassungen der Ergebnisdokumente zur Gesetzes- und Normenlage in Österreich und der Schweiz (D 1.1), der Messtechnik und Standards (D 1.2) sowie der Zertifikations-Schemata (D 1.3) gegeben. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

#### **D1.1 Gesetzes- und Normenlage von Schallemissionen von Luftwärmepumpen in Österreich und der Schweiz**

Wärmepumpen werden in immer größerem Umfang zum Heizen sowie auch zur Warmwasseraufbereitung verwendet. Die Verwendung von Wärmepumpen für diese Einsatzzwecke stellt eine wesentliche Maßnahme zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen dar, wodurch sie auch als Schlüsseltechnologie gegen den Klimawandel gesehen werden. Die Energie auf niedrigem Temperaturniveau kann von der Außenluft, dem Grundwasser oder von Flächenkollektoren zur Verfügung gestellt werden. In den letzten Jahren erfreuen sich Wärmepumpen, welche als Wärmequelle die Außenluft verwenden, immer stärkerer Beliebtheit, da diese Wärmequelle leicht zu erschließen und die Installation im Vergleich zu anderen Energiequellen einfacher und somit günstiger ist. Manchmal stellt die Außenluft auch die einzig mögliche Wärmequelle dar.

Der starke Trend zu Luft/Wasser-Wärmepumpensystemen bringt aber auch neue Herausforderungen mit sich. Ein wesentlicher Punkt ist dabei die Schallemission der Luft/Wasser Wärmepumpen. Aufgrund von Lärmemissionen, welche bei Luft/Wärmepumpen bzw. bei außenaufgestellten Wärmepumpen auftreten, ist zumeist eine Genehmigung der Baubehörde notwendig. Die Genehmigung beruht im Wesentlichen auf einer rechnerischen Abschätzung der zu erwartenden Schallimmission an der Grundstücksgrenze bzw. des nächstgelegenen Schlafzimmerfensters.

Speziell in Österreich gibt es keine landesweit einheitliche Regelung betreffend der Schallemissionen und -immissionen von Luft/Wärmepumpen. Stattdessen gibt es verschiedene Regelungen auf Länder und auf Gemeindeebene, wodurch es schwer ist, alle Regelungen zu überblicken. Die wichtigste Norm ist die ÖNORM S 5021:2017, welche in Abhängigkeit der Widmungskategorie (Standplatz) unterschiedliche Beurteilungspegel für verschiedene Tageszeiten vorsieht. Für die Bewertung der Lärmimmissionen in der Nachbarschaft kann die ÖAL-Richtlinie Nr. 3 (2008) herangezogen werden.

In der Schweiz haben Wärmepumpen als Heizsystem eine lange Tradition. Aufgrund des hohen Marktanteils gibt es in der Schweiz „genaue“ Vorschriften zur Schallemission und -immission, wodurch diese als Vorbild dienen können. Die wesentliche Grundlage bilden das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG, 2017) und die Lärmschutz-Verordnung (LSV, 2016). Abweichend von diesen beiden Regelungen gibt es im Kanton Basel andere Immissionsgrenzwerte. Der Cercle Bruit (2016) – Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute – hat in der Vollzughilfe eine gute Zusammenfassung der geltenden rechtlichen Bestimmungen erstellt. Ebenso wurden unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen konkretisiert.

Das Deliverable D1.1 gibt einen Überblick der aktuellen Gesetzes- und Normenlage in Österreich und der Schweiz in Bezug auf die zulässigen Emissionen/Immissionen von Außenluftwärmepumpen. Des Weiteren wird auf die Beurteilung von Schallimmissionen eingegangen.

## **D1.2 Messtechnik und Standards**

In diesem Deliverable wird ein Überblick über die Messtechnik und die diesbezügliche Standardisierung gegeben, soweit diese relevant für die Quantifizierung der Lärmemissionen von Wärmepumpen sind.

Es werden akustische Messsysteme erläutert, wobei ein besonderes Augenmerk auf Mikrofone, Schallpegelmesser, akustische Kalibratoren und Intensitätssonden gelegt wird. Mikrofone wandeln Schwankungen des Schalldruckes in ein elektrisches Signal um. Je nach Bauart unterscheiden sie sich hinsichtlich Richtcharakteristik, Dynamikumfang und Frequenzgang. Schallpegelmesser verstärken das analoge Signal eines Mikrofons, digitalisieren und verarbeiten es, sodass Auswertungen wie Frequenzanalyse etc. möglich werden. Akustische Kalibratoren sind nicht selbst Teil der Messkette, sondern dienen der Überprüfung und Kalibrierung. In vielen Standards ist eine derartige Überprüfung vorgesehen. Dabei wird ein wohldefinierter Schalldruckpegel bei einer wohldefinierten Frequenz am Mikrofon erzeugt. Intensitätssonden messen die Schallintensität, indem sie den Schalldruck an zwei Punkten im Raum messen. Von diesem Druckgefälle kann dann auf die Schallintensität geschlossen werden. Diese und andere Elemente der akustischen Messausrüstung werden in drei Klassen eingeteilt, die Aufschluss über die Genauigkeit geben. Standards nehmen auf diese Klassen Bezug, indem sie fordern, dass eine Messkette an jedem Punkt eine gewisse Klasse aufweist. Darüber hinaus wird Messausrüstung wie Mikrofonarrays, Laser-Vibrometer, Beschleunigungssensoren und Kunstköpfe beschrieben.

Abgesehen von der Messausrüstung werden Messmethoden diskutiert. Diesbezüglich sind Methoden zur Bestimmung des Schalldruckpegels, des Schalleistungspegels, der Richtwirkung und Methoden zur Untersuchung psychoakustischer Aspekte von Bedeutung. Bei Messungen des Schalldruckpegels ist auf verschiedene Aspekte des Messaufbaus zu achten. Zuerst ist die Umgebung der Messung zu betrachten. Diesbezüglich sind beispielsweise Nachhallzeit des Messortes und Abstände zwischen Schallquelle und Mikrofonen von Bedeutung.

Weiters werden Messungen des Schalleistungspegels diskutiert, die für die Untersuchung von gebäudetechnischen Anlagen wie Wärmepumpen von großer Bedeutung sind. Diesbezügliche Messverfahren werden in den Normen ISO 3740-3746 sowie ISO 9614 beschrieben. Je nach Messverfahren werden dabei Schallintensität oder Schalldruck gemessen. Die Messungen finden dabei im Freifeld, Hallraum oder Reflexionsarmen Raum statt. Jedes Verfahren verlangt den Einsatz von Messausrüstung einer gewissen Genauigkeitsklasse und ist in der Folge für unterschiedliche Anwendungen geeignet.

Darüber hinaus werden Methoden der Psychoakustik diskutiert. Diese verwenden Messausrüstung wie Mikrofonpaare, die in Kunstköpfen verbaut sind, um binaurale Aufnahmen zu erhalten. Diese werden Probanden zumeist über Kopfhörer vorgespielt. Das Ergebnis wird durch die statistische Auswertung der Befragung der Probanden erzielt.

## **D1.3 Zertifikations-Schemata**

In diesem Dokument wird ein Überblick über Wärmepumpen-Zertifizierungsverfahren gegeben, die das Ziel haben, einen belastbaren Nachweis der Energieeffizienz und anderer Qualitätskriterien von Wärmepumpen und ggf. Klimaanlage zu ermöglichen. Die vorgestellten Zertifizierungen sind:

- Eurovent Zertifizierung: bescheinigt die Performancewerte von Klima- und Kälteprodukten nach europäischen und internationalen Normen. Zertifizierte Produkte und deren zertifizierte Produkteigenschaften sind online im Eurovent-Verzeichnis aufgeführt.
- EHPA-Gütesiegel: Nachfolger des D-A-CH-Gütesiegels. Ziel des 2009 eingeführten Gütesiegels ist die Erreichung hoher, einheitlicher Qualitätsstandards in Europa. Angewendete Kriterien sind beispielsweise einheitliche Prüfkriterien, die Einhaltung von Fabrikationsstandards, eine geforderte minimale Effizienz sowie die Messung der Schallemissionen. Die Schallmessungen sind nach der ÖNORM EN 12102-1:2018 durchzuführen. Dabei ist die Klasse A-Methode anzuwenden und die Referenzbedingungen der höchsten Wärmenutzertemperatur zu wählen, für welche die Wärmepumpe garantieren soll.
- Heat Pump Keymark: Gilt seit 2016 und ist auf Wärmepumpen für Raumheizung, Kühlung und/oder Warmwasserbereitung anwendbar. Das Zertifizierungssystem stützt sich auf jährliche Werkskontrollen (Produktionsaudits) mit Überprüfung des Qualitätsmanagements des/r HerstellersIn und auf die Prüfung aller Wärmepumpen einer Baureihe bei unabhängigen Prüfinstituten. Die Heat Pump Keymark-Zertifizierung bestätigt die Einhaltung der Ökodesign- und der Energy Labelling-Verordnung. Darin sind auch Anforderungen hinsichtlich der Schallemissionen enthalten. Die Schallmessungen haben ebenfalls nach der ÖNORM EN 12102-1:2018 zu erfolgen.

### **5.1.2. Task 2: „Definition der von der Studie zu erfassenden Wärmepumpeneinheiten“**

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 2 („Definition of heat pump units to be covered by the study“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

#### **D2.1 Liste von nationalen Wärmepumpentypen und Wärmepumpenmodellen**

Zur Auswahl der im Zuge des IEA HPT Annex 51 vermessenen Luft/Wasser- und Brauchwasser-Wärmepumpenmodelle wurden von den nationalen Teams Listen der im jeweiligen Land am Markt verfügbaren Wärmepumpen dieser Wärmepumpentypen erstellt. Die Listen wurden basierend auf der Produktplattform [www.topprodukte.at](http://www.topprodukte.at) des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie erstellt und enthalten folgende Informationen:

- Marke
- Modellname
- Namenszusatz
- Energieeffizienzklasse
- Wärmenennleistung [kW]
- Raumheizungs-Energieeffizienz bei durchschnittlichen Klimaverhältnissen [%]
- Kombiheizgerät [ja/nein]
- Warmwasserbereitungs-Energieeffizienz bei durchschnittlichen Klimaverhältnissen [%]
- Kältemittel
- Schalleistungspegel innen [dB(A)]
- Schalleistungspegel außen [dB(A)]
- Gewicht Innenteil [kg]



- Gewicht Außenteil [kg]
- Qualitätssiegel EHPA-DACH [ja/nein]

Die nach Wärmepumpenart getrennten Listen enthalten 51 Modelle von Luft/Wasser-Wärmepumpen und 12 Modelle von Brauchwasser-Wärmepumpen. Für die Schallmessungen in IEA HPT Annex kamen schlussendlich keine der gelisteten Modelle, sondern zwei Modelle aus anderen Ländern zum Einsatz.

### **5.1.3. Task 3: „Ermittlung der Lärmbelastung auf der Komponenten- und Wärmepumpenebene sowie Techniken zur Störschallunterdrückung“**

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 3 („Analysis of the effect of operating conditions of heat pumps on acoustic behaviour“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“.

Im Wesentlichen werden hier Kurzzusammenfassungen der Ergebnisdokumente zum Überblick über Schallemissionen von Komponenten und Wärmepumpen-Einheiten (D 3.1), dem Überblick über aktive Störschallunterdrückung (D 3.2) sowie Resultate der Transmissionsmessungen an Wärmetauschern (D 3.3) gegeben. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

#### **D3.1 Überblick über Schallemissionen von Komponenten und Wärmepumpen-Einheiten**

In diesem Dokument werden die einzelnen Komponenten von Wärmepumpen hinsichtlich ihrer Lärmemissionen diskutiert. Dabei werden sowohl aktive Komponenten wie Ventilator und Kompressor detailliert behandelt als auch Komponenten, welche die Lärmemissionen der Wärmepumpe auf passive Art und Weise beeinflussen wie Wärmetauscher, Gehäuse und Montagesystem. Es werden die Gründe für Lärmentwicklung identifiziert und Gegenmaßnahmen beschrieben.

Ventilatoren sind für Wärmepumpen, die Luft als Energiequelle verwenden, unerlässlich, da sie für das ständige Umspülen des Wärmetauschers sorgen müssen. Grundsätzlich kann zwischen radialen, axialen, Misch- und Querstromventilatoren unterschieden werden, wobei vor allem radiale und axiale Ventilatoren für die Anwendung in Wärmepumpen von Bedeutung sind. Die Lärmquellen von Ventilatoren können in aerodynamische, elektromagnetische und mechanische Quellen eingeteilt werden, wobei für gewöhnlich die aerodynamischen dominieren. Die mechanischen können jedoch zu Vibrationen und Körperschallübertragung auf die Tragstruktur der Wärmepumpe führen.

Der Kompressor sorgt für die Förderung und Druckerhöhung des Kältemittels im Wärmepumpenkreis. Er verursacht eine Kombination von breitbandigem Lärm und Lärm, der aus tonalen Komponenten besteht, deren Frequenz ein Vielfaches der Drehzahl ist. Abgesehen vom Luftschall, der vom Kompressorgehäuse ins Innere der Wärmepumpe abgestrahlt wird, ist der Kompressor meist der Hauptverursacher von Vibrationen der Wärmepumpe.

Das Gehäuse spielt eine wichtige Rolle bei der Lärmemission von Wärmepumpen. Einerseits sind die Transmissionseigenschaften und Abstrahlgrad für die Übertragung des im Inneren emittierten Luftschall der Komponenten nach außen von Bedeutung. Darüber hinaus ist es wichtig, Gehäusewand-Moden in Frequenzbereichen zu vermeiden, bei denen es im Betrieb der

Wärmepumpe zu starken Anregungen kommt. Das sind Frequenzen wie beispielsweise Vielfache der Kompressor-Drehzahl oder dem Produkt aus Ventilator-drehzahl und Schaufelzahl des Ventilators.

Abgesehen von einer sicheren Installation der Wärmepumpe ist es Aufgabe des Montagesystems, die Umgebung vor Vibrationseinträgen zu schützen. Es werden verschiedene Montagearten und Methoden der numerischen Berechnung des Vibrationsverhaltens diskutiert.

### **D3.2 Überblick über Aktive Störschallunterdrückung**

Im Deliverable 3.2 werden die Arbeiten des nationalen Konsortiums zusammengefasst, die auch in den internationalen Annex eingebracht wurden. Weiterführende Informationen finden sich im Deliverable 3 des internationalen IEA HPT Annex 51 in den Kapiteln 3.1.4, 3.2.4 sowie 4.2.3. Das Deliverable steht auf der [Webseite des internationalen IEA HPT Annex 51](#) zum Download bereit.

Aktive Störschallunterdrückung (Active Noise Cancelling, ANC) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes SilentAirHP als eine Möglichkeit untersucht, die Geräuschentwicklung von Luft-Wasser-Wärmepumpen-Systemen zu verringern beziehungsweise zu verändern. Diese Methode wird in Kopfhörern, aber auch in der Flugzeug- und Automobilindustrie erfolgreich eingesetzt. Aufgrund der Verfügbarkeit schneller Prozessoren ist eine Beeinflussung des Schallspektrums durch Einbau von Lautsprechern und Berechnung von Gegenschallsignalen möglich. Die Signalauslöschung ist dabei nicht perfekt und hängt zusätzlich vom Ort des Beobachters ab. Während die Methode in langen Kanälen, die eine näherungsweise eindimensionale Schallausbreitung ermöglichen, gute Schallreduktion zeigt, ist die Anwendung in größeren Volumina mit mehrdimensionaler Schallausbreitungscharakteristik schwierig. Aufgrund baulicher Restriktionen sind derartige Szenarien in der Realität aber nur schwer vermeidbar. Im Rahmen der Arbeit wurden unterschiedliche Optionen vorgestellt und analysiert, ANC für Wärmepumpen zu realisieren.

Das beschriebene Experiment zeigt, dass es möglich ist, eine Schallquelle in mehrere, separate Kanäle aufzuteilen, und jedes dieser Schallfelder durch die Messung eines Referenzsignals in nur einem Kanal mittels Active Noise Cancelling zu behandeln. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass jeder Kanal einen separaten Lautsprecher benötigt.

Weiters zeigt sich, dass sehr viele Parameter auf die Qualität der aktiven Störschallunterdrückung Einfluss haben:

- Größe und Geometrie der Schallquelle
- Schalldruckpegel der Quelle
- Oberflächenbeschaffenheit der Kanäle
- Luftgeschwindigkeit und -turbulenzgrad

Weiterführend wird empfohlen, Mikrofone zu verwenden, welche unempfindlich gegenüber Luftströmungen und -turbulenzen sind und die Geometrien der Experimente weiter gemäß den oben genannten Punkten zu optimieren. Den Erkenntnissen folgend wäre in einem weiterführenden Projekt als nächster Schritt die Entwicklung eines neuen ANC-Moduls speziell auf die Anwendung in größeren Maßstäben voranzutreiben.

### **D3.3 Resultate der Transmissionsmessungen an Wärmetauschern**

Übertragungsfunktionen von akustischen Absorbermaterialien und luftseitigen Wärmetauschern wurden gemessen und die Effekte der Luftströmung auf diese Übertragungsfunktionen untersucht.

Diese Arbeit wurde im Kontext des Forschungsprojektes SilentAirHP am Austrian Institute of Technology (AIT) ausgeführt.

Die akustischen Übertragungsfunktionen wurden von verschiedenen Materialien aufgezeichnet und analysiert und werden in die Modelica SSElib aufgenommen. Außerdem wurden erste Schritte unternommen, um die Auswirkungen der Luftströmung auf die aeroakustischen Übertragungsfunktionen von Wärmetauschern zu quantifizieren.

#### **5.1.4. Task 4: „Analyse des Einflusses der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten“**

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 4 („Heat pump installation and effects on surrounding environment (neighbourhood, noise perception)“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“.

Im Wesentlichen werden hier Kurzzusammenfassungen der Ergebnisdokumente über den Einfluss des gewählten Betriebspunktes auf das akustische Verhalten (D4.1) und zur Untersuchung der Schallemissionen transienter Prozesse (D4.2) gegeben. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

D4.1 Bericht über den Einfluss des gewählten Betriebspunktes auf das akustische Verhalten

Das Deliverable 4.1 „Bericht über den Einfluss des gewählten Betriebspunktes auf das akustische Verhalten“ und das Deliverable 4.2 „Bericht zur Untersuchung der Schallemissionen transienter Prozesse“ sind eng miteinander verknüpft. Daher finden sich auch in diesem Deliverable Informationen zu instationären Prozessen.

Gezeigt werden die Resultate der Messungen an der Luft/Wasser-Wärmepumpe (RRT1) am Akustik Center Austria (ACA) und am Austrian Institute of Technology (AIT). Ziel ist es, die Schalleistung bei unterschiedlichen Betriebszuständen zu bestimmen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Vereisungs- und Abtauzyklus der Wärmepumpe gelegt, da zu erwarten ist, dass sich in diesem Betriebsfall die höchste Schalleistung einstellt.

In diesem Bericht wird auch eine Zusammenfassung der internationalen Resultate des akustischen Round Robin Tests inkludiert. Der damit im direkten Zusammenhang stehende Task 2 hatte dabei folgende Ziele: Erstens, die Durchführung eines Ringversuchs zwischen den Laboratorien, um zu überprüfen, ob die Messungen zu ähnlichen Ergebnissen führen und eine Rückmeldung über die Umsetzung der Normen zu erhalten. Und zweitens, um einen Beitrag zu anderen Aufgaben des Annexes zu leisten: bei Task 4: „Analyse der Auswirkungen der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten“, bei Task 5: „Installation von Wärmepumpen und Auswirkungen auf die Umgebung“ und bei Task 6: „Verbesserte Messtechniken und Beschreibung der akustischen Leistung“. Dieser Bericht beschreibt die von den Teilnehmer:innen durchgeführten Ringversuche und analysiert die Ergebnisse aus einer Luft/Wasser-Wärmepumpe (RRT1) und einem Wärmepumpen-Wassererhitzer (RRT4). Dieser Round Robin Test war auch deshalb interessant, weil die Laboratorien unterschiedliche akustische Testmethoden anwenden, nämlich Diffusfeld-, Intensitäts- und Freifeld-Methoden, und zwar in allen Präzisionsklassen (Labor, Technik und Vermessung). Eine kurze Beschreibung der Laboratorien findet sich in Anhang 1 des internationalen IEA HPT Annex 51 Deliverables D.2.2 auf Seite 35.

Akustische Tests wurden an einer geteilten Luft-Wasser-Wärmepumpe durchgeführt, die in sechs europäischen Labors unter verschiedenen Betriebsbedingungen im Umlauf war. Der Vergleich der Schallmessungen zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse für Standardbetriebsbedingungen (EN 14511-2:2019 und EN 12102-1:2018). Die für die Ökodesign-Konformität verwendete EN 12102-1:2018 Anhang 4 erfordert eine nicht leicht verständliche Geräteeinstellung. Eine Klarstellung seitens der Europäischen Kommission könnte hilfreich sein.

Die polare Richtwirkung scheint mit einer moderaten Amplitude (6,2 dB(A) für den gesamten A-bewerteten Wert und 7,5 dB(A) für mittlere Frequenz-Oktavbänder) vorhanden zu sein, was für eine optimierte Ausrichtung der Außeneinheit genutzt werden kann, um den Lärm für die Nachbarschaft zu begrenzen.

Als Teil des IEA HPT Annex 51 sind die Ergebnisse dieser Ringversuche von großem Nutzen, um ein besseres Verständnis der Hersteller:innen für das akustische Verhalten von Wärmepumpen in Abhängigkeit von den Klimabedingungen zu erreichen und einen Beitrag zur Überarbeitung von akustischen Produktnormen wie der EN 12102-1:2018 zu leisten. Weiters dienen die Ergebnisse zur Ausarbeitung von Empfehlungen für Installateur:innen, insbesondere zum Schallabstrahlverhalten sowie einem besseren Verständnis für politischen Entscheidungsträger:innen für die Komplexität des Schalleistungspegels, da dieser häufig einen Kompromiss mit der Energieeffizienz von Wärmepumpen darstellt.

Die Ergebnisse trugen dazu bei, den relevantesten Betriebspunkt der Wärmepumpen auszuwählen und entsprechende Anforderungen an den Schalleistungspegel in den ErP Ökodesign Richtlinie festzulegen (Richtlinie 2009/125/EG, 2009).

#### **D4.2 Bericht zur Untersuchung der Schallemissionen transienter Prozesse**

Das Deliverable 4.2 „Bericht zur Untersuchung der Schallemissionen transienter Prozesse“ und das Deliverable 4.1 „Bericht über den Einfluss des gewählten Betriebspunktes auf das akustische Verhalten“ sind eng miteinander verknüpft. Daher finden sich auch in diesem Deliverable Informationen zu stationären Prozessen.

Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die beiden Hauptlärmquellen einer typischen Luft/Wasser-Wärmepumpe der Betrieb des Ventilators und des Kompressors sind, die beide einen umso höheren Schallpegel erreichen, je schneller sie arbeiten, d.h. je größer die Last ist. Der Plötzlichkeit bzw. dem evolutiven Charakter dieser transienten Geräusche kommt vermutlich eine entscheidende Rolle bei der Wahrnehmung der akustischen Belästigung durch solche Geräte zu. Dabei werden zunächst die physikalischen Vorgänge untersucht, welche die am stärksten wahrnehmbaren flüchtigen Geräusche produzieren.

Weiters sind internationale Resultate aus dem Deliverable 4 „Analysis of the Effect of Operating Conditions of Heat Pumps on Acoustic Behaviour“ zusammengefasst. Ab Seite 30 finden sich dort Arbeiten zu Schallemissionen bei transientem Betrieb, Akustik des instationären Wärmepumpenbetriebs (Kurzzeit- und Langzeitverhalten) sowie eine Untersuchung von zeitabhängigen akustischen Signaturen.

Zusätzliche Messungen während des transienten Verhaltens zwischen den Abtauphasen zeigen, dass das Abtauen den Schalleistungspegel bei positiven Außentemperaturen um 3,5 dB(A) erhöhen kann.

### **5.1.5. Task 5: „Installation der Wärmepumpe und Auswirkungen auf die Umgebung“**

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 5 („Heat pump installation and effects on surrounding environment (neighbourhood, noise perception“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“.

Im Wesentlichen werden hier Kurzzusammenfassungen der Ergebnisdokumente über Wärmepumpeninstallationen mit speziellem Fokus auf akustischen Emissionen (D5.1) und ein Bericht mit den Ergebnissen aus Subtask 5 (D5.2) gegeben. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

#### **D5.1 Bericht über Wärmepumpeninstallationen mit speziellem Fokus auf akustischen Emissionen**

Dieses Dokument beschreibt die Arbeiten des nationalen IEA HPT Annex 51 Teams im Bereich des Task „Wärmepumpeninstallation und Auswirkung auf die Umgebung“.

Schallfeldsimulationen bei unterschiedlicher Platzierung von Wärmepumpen in einer Reihenaussiedlung wurden für die Verwendung als Fallstudie aufbereitet. Diese Arbeiten sind Teil einer Bachelorarbeit<sup>12</sup>, die in englischer Sprache auf der [Webseite des internationalen IEA HPT Annex 51](#) zu finden ist. Eine Beschreibung dieser von Österreich in den internationalen Annex eingebrachten Arbeiten ist in Deliverable 5.2, „Analyse der akustischen Interaktion von mehreren Wärmepumpen“ aufgeführt.

Um den Körperschall und mithin den Sekundärluftschall zu reduzieren, wurden numerisch verschiedene Lagertypen untersucht. Die Schallausbreitung bei einer vorhandenen lärmindernden Wand wurde mittels der Randelemente Methode untersucht. Im Rahmen des nationalen IEA HPT Annex 51 wurden Expert:innen-Meinungen durch Befragung von Ziviltechniker:innen, Gutachter:innen und erfahrenen Installateur:innen und Planer:innen hinsichtlich Vorkehrungen, Problemen, Abhilfe-, und Sofortmaßnahmen zur Reduktion von Schallemissionen gesammelt.

Die Messung des Schwingungsenergieeintrages ist mittels messtechnischer Bestimmung der Dämpfung von Körperschallemissionen durch unterschiedliche Maschinenlagerung durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind im Deliverable 3.1 „Überblick über Schallemissionen von Komponenten und Wärmepumpen-Einheiten“, im Kapitel „Potential zur Reduktion des eingeleiteten Körperschalls“ ausgeführt, da sie dort thematisch besser eingeordnet werden konnten.

#### **D5.2 Bericht mit den Ergebnissen aus Subtask 5**

Dieses Dokument hat das Ziel, einen Überblick über die im Rahmen des internationalen IEA HPT Annex 51 Subtask 5 „Heat pump installation and effects on surrounding environment (neighbourhood, noise perception)“ zu geben.

Luft/Wasser-Wärmepumpen werden auch häufig dort eingesetzt, wo der Platz begrenzt ist oder baurechtliche Hindernisse bestehen. Im Vergleich zu Luft-Luft-Wärmepumpen wird Wasser, das für diesen Zweck besser geeignet ist, zur Wärmeübertragung verwendet. Der Nachteil der Luft/Wasser-

---

<sup>12</sup> <https://heatpumpingtechnologies.org/annex51/wp-content/uploads/sites/59/2020/11/soundfieldsimulations-1.pdf>

Wärmepumpe ist ihr vergleichsweise geringer Wirkungsgrad und die erhöhte Geräuschemission. Letztere werden vor allem durch den Motor des Ansauggebläses und durch den Kompressor verursacht. Ziel dieser Arbeit ist es daher, Luft/Wasser-Wärmepumpen so auszuwählen und aufzustellen, dass der Schalldruckpegel in den umliegenden Häusern niedrig gehalten wird. In den folgenden Kapiteln werden verschiedene Themen rund um die Platzierung von Wärmepumpen beleuchtet.

In diesem Bericht wird eine Auswahl an Instrumenten vorgestellt, die zur Berechnung von Schalldruckpegeln verwendet werden. Dazu gehören einfache, auf Formeln basierende Tools, die häufig online auf den Websites von Wärmepumpenherstellern oder Wärmepumpenverbänden verfügbar sind. Als Beispiele werden eine schweizerische, deutsche und österreichische Version gezeigt (siehe Abbildung 1).

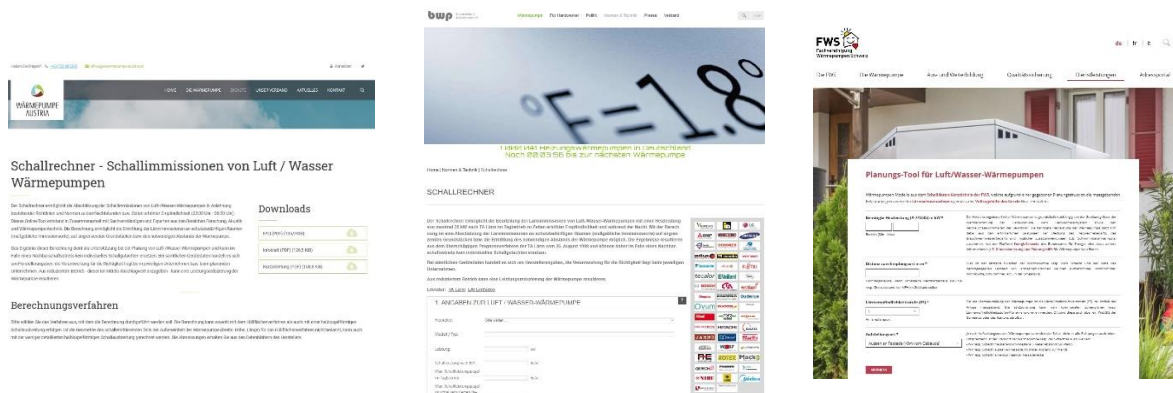


Abbildung 1: Einfache webbasierte Berechnungstools aus Österreich (Schallrechner, Österreich) (links), Deutschland (Schallrechner, Deutschland) (mitte) und der Schweiz (Lärmschutznachweis, Schweiz) (rechts).

Die zweidimensionale Visualisierung basiert auf denselben Formeln, ermöglicht es den Benutzer:innen jedoch, die Schalldruckpegel in einer horizontalen Ebene um die frei aufstellbare Wärmepumpe herum zu sehen. Alle diese Tools vernachlässigen - abgesehen von den Eck- und Wandplatzierungs-"Strafen" - Absorption, Reflexion oder Frequenzabhängigkeiten bei der Berechnung (siehe Abbildung 2). Die zugrunde liegende Formel ist sehr einfach und kann von Hand berechnet werden. Um die Auswirkungen von Richtwirkung und Frequenzverhalten sowie Absorption und Reflexion einzubeziehen, wäre ein wesentlich größerer Rechenaufwand erforderlich.

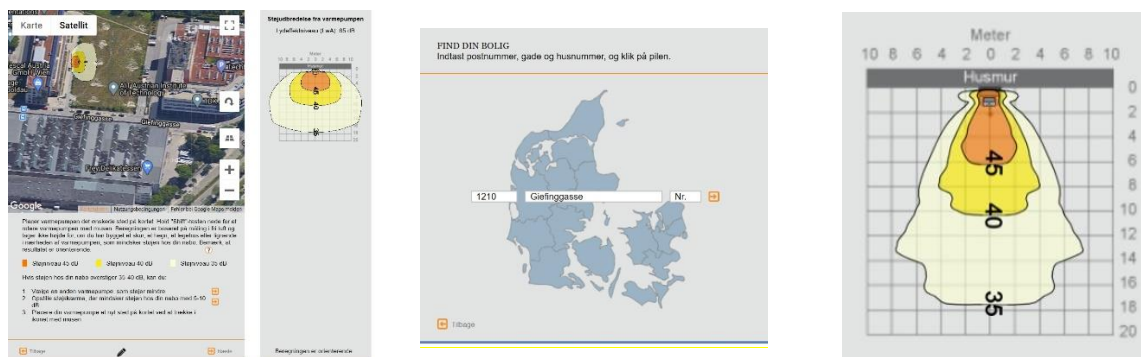


Abbildung 2: Zweidimensionale Visualisierung von Schalldruckpegeln (Stoeberegner, Denmark)

Einige Ansätze, die versuchen, diese Effekte zu beleuchten, werden im Folgenden vorgestellt. Fortgeschrittene Schallausbreitungsprogramme wie CadnaA, SoundPlan, NoiseD3D, Mithra-SIG, IMMI, Olive Tree Lab Suite und OpenPSTD werden aufgeführt (siehe gleichlautende Referenzen im Literaturverzeichnis). Die vollständige dreidimensionale Berechnung der Schallausbreitung ist möglich, indem man die akustische Wellengleichung z.B. mit FEM und BEM löst. BEM steht dabei für die Boundary Element Method (die Randelemente Methode), bei der die Schalldrücke an einem beliebigen Punkt im Raum aus einem Integral über auf den Begrenzungsflächen definierte Funktionen berechnet werden. Dies geschieht ohne Berücksichtigung des dazwischenliegenden Volumens. Im Gegensatz dazu löst die FEM (Finite Element Method, Methode der finiten Elemente) die Wellengleichung im gesamten Volumen, sodass zum Beispiel Absorptionseffekte der Luft mitberücksichtigt werden können. Bei der BEM ist der Modellierungsaufwand geringer, jedoch der Rechenaufwand wegen voll besetzter, frequenzabhängiger Matrizen größer. Moderne Randelement-Methoden basieren auf der Fast Multipole Method (FMM). Die Gleichungen werden iterativ gelöst, ohne dass die Matrizen explizit aufgestellt werden. Der Einfluss eines Flächenstückes auf Punkte, die weit davon entfernt liegen, wird über Multipole approximiert (Wandinger, 2012).

Die virtuelle Platzierung von Wärmepumpen mit Hilfe von Augmented Reality wird vorgestellt (siehe Abbildung 3). Dies beinhaltet eine Beschreibung der akustischen Messungen von Lärmquellen, des Auralisierungsansatzes und der Methoden zur Berechnung der Schallausbreitung. Die App wird durch einen Modellierungs- und Mapping-Ansatz realisiert und Hard- und Software für Visualisierung und Akustik werden beschrieben.

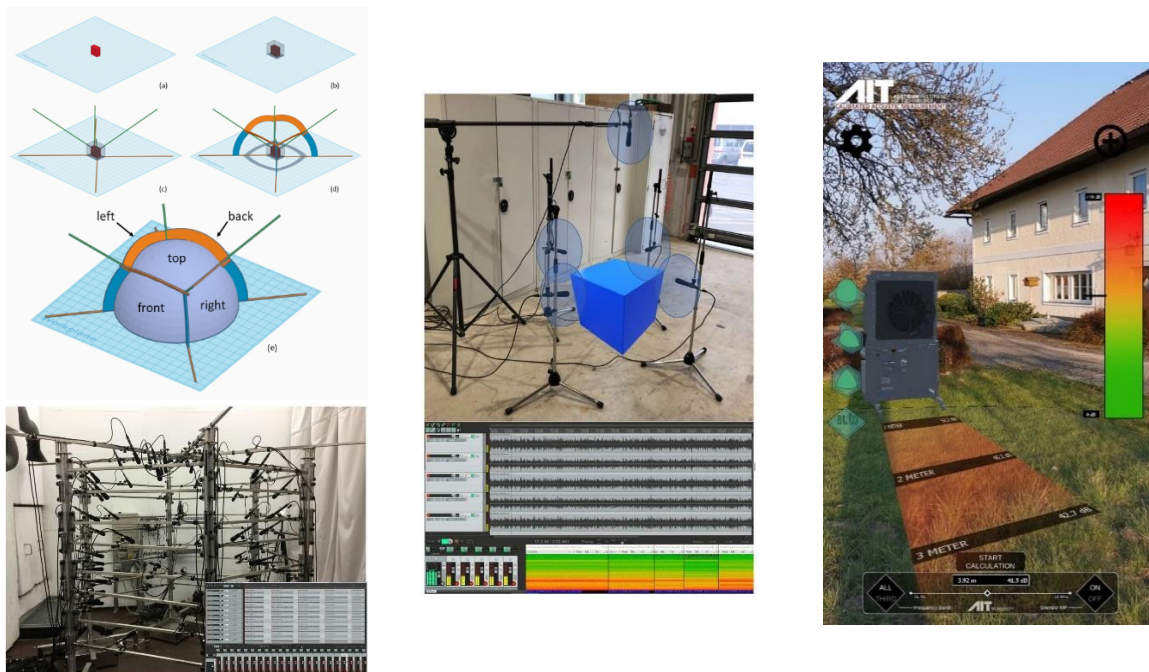


Abbildung 3: Augmented Reality und akustische App

Das akustische Zusammenspiel mehrerer Wärmepumpen einschließlich der Reduktionsmaßnahmen wird vor allem mit dem Tool IMMI analysiert. Zunächst wird die für eine exemplarische Untersuchung gewählte Reihenhaussiedlung mit der Beschreibung der Heizlast, der Warmwasserbereitung, des Heizbedarfs und der Analyse der Nachbargrundstücke vorgestellt. Die maximale Schallausbreitung wird mit IMMI nach ÖNORM ISO 9613-2:2008 und ÖNORM S 5021:2017 berechnet. Es wurden

mehrere Szenarien verglichen: Eine Wärmepumpe pro Haushalt, eine Wärmepumpe pro Haus und ein Szenario mit Nahwärmeversorgung. In allen Fällen werden die Auswahl und Platzierung der Wärmepumpen beschrieben. Die Ergebnisse werden mit einer Methode verglichen, bei der Strafpunkte an allen definierten Immissionspunkten (Türen, Fenster, Grenzen) eingeführt werden (siehe Abbildung 4). Für zwei vielversprechende Fälle wurden die Berechnungen wiederholt, indem Lärmschutzwände in die Berechnung einbezogen wurden. Die tageszeitabhängige Schallausbreitung wurde untersucht, um Nutzer:innen-Profile der verschiedenen Gebäude zu erstellen. Alternative Werkzeuge wie OpenPSTD und Olive Tree Lab Suite und die damit verbundenen Möglichkeiten werden beschrieben.

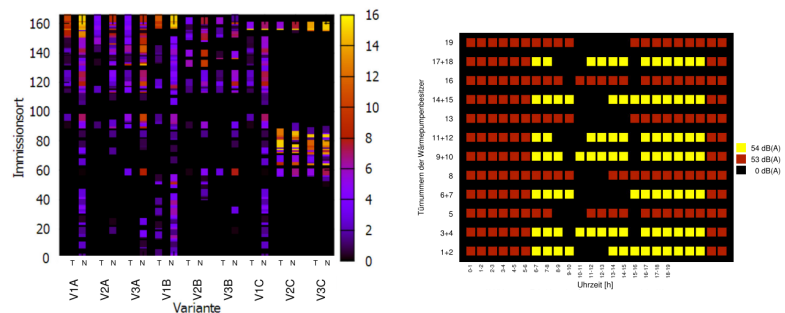


Abbildung 4: Schallfeldemissionsstudien mit Mehrfach-Wärmepumpen

Der Bericht befasst sich außerdem mit der Analyse der Geräteaufstellung sowie der Schallausbreitung in Innenräumen und im Freien. Dies beinhaltet die Beschreibung verschiedener Aufstellungsorte und verknüpfte Schalldruckkarten, die die Ausbreitung des Lärms in verschiedenen Szenarien zeigen. Eine Tabelle fasst den Schalldruckpegel zusammen, der je nach Standort der Wärmepumpe zu erwarten ist (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Aufstellung (Kopatsch & Doppler, 2014)

Fall Nr.	Beschreibung	Pegel in der Nachbarschaft	Pegel am eigenen Gebäude	
			Abseits der WP	Nahe der WP
1	Aufstellung im Bereich der Grundstücksgrenze	~ 30 dB	< 20 dB	> 25 dB
2	Aufstellung im Bereich der Grundstücksgrenze mit einer Schutzwand	> 25 dB	< 20 dB	> 25 dB
3	Aufstellung im Bereich der Grundstücksgrenze (90° gedreht)	< 25 dB	< 25 dB	> 25 dB
4	Aufstellung im Nahbereich des Eigentümerhauses	< 20 dB	< 25 dB	> 30 dB**
5	Aufstellung in Richtung der Straßenseite	> 25 dB	< 20 dB	> 40 dB**
6	Aufstellung im Bereich eines Flachdaches	> 25 dB	< 20 dB	> 30 dB**
7	Aufstellung in einem Bodenschacht	< 25 dB	< 20 dB	> 40 dB**

Der Anlagenbetrieb sollte in den meisten Nachbarschaftslagen möglich sein.

Für gering belastete Gebiete ist eine Optimierung der Anlagenemission und / oder der Aufstellungsart zu veranschlagen.

Eine kritische Überschreitung der Ortsüblichkeit kann nicht mehr durch „einfache“ Maßnahmen korrigiert werden. Die Wahl der Anlagenemission und der Aufstellungsweise wäre grundsätzlich zu überprüfen bzw. abzuändern.

\*\* an den Fassaden sollten keine Wohn- / Schlafräume anliegen.



Das Potenzial der Schallabsorption an benachbarten Flächen wird skizziert und die Minderungseffekte verschiedener Maßnahmen tabellarisch dargestellt. Abschließend werden häufige Fehlentscheidungen bei der Aufstellung von Wärmepumpen erläutert, wie z. B. falsche Standorte, die Installation auf dem Dach, die (unvorhergesehene) Bebauung der Nachbargrundstücke, die Auswahl ungeeigneter schallabsorbierender Maßnahmen und schließlich die Installation weiterer Anlagen in der Nachbarschaft.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch die Problematik der Aufstellung einer L-WP am Hausdach in Verbindung mit einer Photovoltaik-Anlage. Wird die L-WP vor einer Photovoltaikanlage aufgestellt (siehe Luftwärmepumpe Variante 1 in Abbildung 5), so kommt es an der Oberfläche, der zumeist schräg gestellten Elemente der Photovoltaikanlage, zur Reflexion des Schalls in die Umgebung und teilweise zu Lärmproblemen in der Nachbarschaft. In Abbildung 6 ist exemplarisch die Problematik der Verwendung einer Hecke als „Schallschutz“ dargestellt. Die weniger störenden hochfrequenten Geräusche werden dadurch zwar sofort weggedämpft, die problematischen niederfrequenten Geräusche gehen aber ohne weiteres fast ungestört durch die Hecke hindurch, wodurch diese Schallschutzmaßnahme ungeeignet ist.

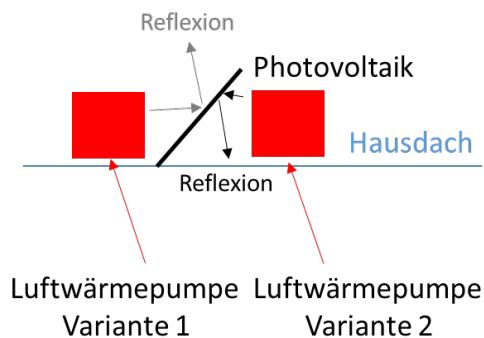


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Problemfalls „Aufstellung am Hausdach“

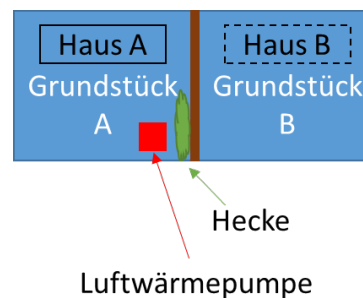


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Problemfalls „Schalldämmung durch Bewuchs“

### 5.1.6. Task 6: „Verbesserte Messung und Beschreibung der akustischen Leistung“

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 6 („Improved measurement and description of the acoustic performance“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“.

Im Wesentlichen werden hier Kurzzusammenfassungen der Ergebnisdokumente über die zukünftigen Optionen zur Beschreibung der akustischen Performanz (D6.1) und ein Bericht über einen psychoakustischen Bewertungsindex für die Beschreibung von Wärmepumpengeräuschen (D6.2) gegeben. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

### **D6.1 Bericht über zukünftige Optionen zur Beschreibung der akustischen Performanz**

Der aktuelle Standard zur Bestimmung der Schallemissionen verlangt die Bestimmung der Schalleistung der Wärmepumpe in einem einzigen Arbeitspunkt laut EN 12102-1:2018. Ein Ziel des IEA HPT Annex51 war es, die Emissionen auch in anderen Arbeitspunkten wie sie zum Beispiel für die Bestimmung des SCOP (Seasonal Coefficient of Performance, EN 14825:2018) definiert werden, einer wichtigen Größe, welche die Effizienz einer Wärmepumpe in einem durchschnittlichen Klima abbilden soll. Aus den gemessenen Daten nach EN 14825:2018 wurde ein saisonaler Schalleistungspegel berechnet. Hierzu wurden meteorologische Daten eines mittleren Klimas in Form von Betriebsstunden bei verschiedenen Temperaturen verwendet. Der daraus bestimmte saisonale Schalleistungspegel lag nahe am Messpunkt bei einer Lufttemperatur von 2°C. Dieser Betriebspunkt ist allerdings für Schallmessungen schwierig zu erreichen, da sowohl die Wärmepumpe als auch das Messequipment vereisen können. Es zeigt sich aber, dass der Betriebspunkt in der EN 14511-2:2018 deutlich näher am saisonalen Wert liegt als der für akustischen Messungen definierte Punkt in Anhang D der EN 12102-1:2018. Diese Richtlinie sollte daher dahingehend überarbeitet werden.

Um auch den Bezug zur Bewertung von Umgebungslärm herzustellen, wurden verschiedene weitere Aspekte behandelt, z.B. Richtungs- und Frequenzabhängigkeit der Schallabstrahlung, welche wichtige Parameter für die Schallausbreitungsrechnung darstellen (Richtlinie 2015/996, 2015).

Beispielhaft wurde eine saisonale Richtcharakteristik von in einer Ebene gemessenen Schalldruckpegeln berechnet. Hier zeigten sich keine eindeutigen Unterschiede zwischen EN 14511:2018 und EN 12102-1:2015. Die Richtcharakteristik ist hier vor allem in Bezug auf die Aufstellung der Wärmepumpe relevant aber auch in Bezug auf mögliche Lärmschutzmaßnahmen, welche die Abstrahlrichtungen beeinflussen können (siehe z.B. Kasess et. al., 2020). In Bezug auf Lärmschutzmaßnahmen ist hier auch der Frequenzinhalt wichtig.

Ein weiterer Punkt in Bezug auf die Belästigungswirkung ist die Berücksichtigung der Tageszeit (Richtlinie 2002/49/EG, 2002). Hier wird z.B. im LDEN (Day-Evening-Night-Level) ein Zuschlag von 5 dB am Abend und 10 dB in der Nacht definiert. Da in der Nacht typischerweise etwas niedrigere Temperaturen vorherrschen und die Schallemissionen dadurch höher sind, wurde untersucht, ob ein Unterschied besteht, einen mittleren saisonalen Schalleistungspegel über die Tageszeiten zu mitteln oder tageszeitabhängige Temperaturverteilungen direkt in der Berechnung miteinfließen zu lassen. Bei sehr geringen Unterschieden zwischen Tag und Nacht ist der Unterschied in der Berechnung gering. Bei einer Verringerung der Nachttemperaturen um 4°C ergab sich ein Unterschied von ca. 0,6 dB, also noch immer ein relativ geringer Wert. Daher sollte die deutlich einfachere Berechnung eines saisonalen Pegels mit späterer Berücksichtigung der Tageszeiten für viele Fälle ausreichend genau sein.

Zusammenfassend ist die Definition eines saisonalen Schalleistungspegels ein wichtiges Mittel, um die schalltechnischen Eigenschaften von Wärmepumpen realistischer darzustellen und um einen, für eine Abschätzung der Auswirkung der Wärmepumpe auf die Umgebung, repräsentativen Wert zu erhalten. Um zuverlässige Prognosen zu stellen, ist aber die Kenntnis der Richtungsabhängigkeit und des Frequenzinhaltes von entscheidender Bedeutung.

### **D6.2 Psychoakustischer Bewertungsindex für die Beschreibung von Wärmepumpengeräuschen**

Von Wärmepumpen verursachter Umgebungslärm kann potentiell sowohl Nachbar:innen als auch Besitzer:innen stören. Der Grad der Störung wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die

akustischen Eigenschaften des Lärms, Installation und Aufstellung der Wärmepumpe aber auch die individuelle Lärmempfindlichkeit können hier eine Rolle spielen (Fidell, 2007). Um die Akzeptanz von Wärmepumpen zu erhöhen ist es wichtig, den Lärm und die damit verbundene Belästigung zu reduzieren. Um dies zu erreichen, ist ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen akustischen Eigenschaften und Belästigungswirkung notwendig. Das den Lärm betreffende Regelwerk ist hier sehr stark auf A-gewichtete Pegelmaße ausgerichtet, es gibt aber auch andere Maße, welche möglicherweise besser geeignet sind, die Belästigungswirkung zu beschreiben, wie z.B. der Anteil tiefer Frequenzen (Person et. al., 2001) oder Tonhaltigkeit (z.B. in der DIN 45681). Typische Parameter sind auch Lautheit, Schärfe und Rauigkeit. In verschiedenen Studien zum Thema Verkehrslärm zeigt sich, dass Lautheit die Lästigkeit besser erklärt als der A-gewichtete Schallpegel (Nilsson et. al., 2008 und Kasess et. al., 2017).

Eine gängige Methode, um Unterschiede in der Belästigungswirkung zu untersuchen, sind Hörversuche im Labor. Diese erlauben es, die Zusammenhänge zwischen Akustik und Wahrnehmung genauer zu untersuchen. Da hier nur relativ kurze Geräusche untersucht werden, ist eine Schwierigkeit bei solchen Experimenten die Laborergebnisse so umzusetzen, dass auch über Langzeiteffekte Aussagen getroffen werden können. Die Ergebnisse können z.B. in Form eines Lärmindex abgebildet werden, der mittels akustischer Parameter die Lästigkeitswahrnehmung beschreibt. Solche Indizes könnten auch für Wärmepumpen hilfreich sein.

Im Task 6 des IEA HPT Annex 51 wurde der gleiche Hörversuch mit einer österreichischen und einer schwedischen Studienpopulation durchgeführt. Hierfür wurden die Geräusche der Außeneinheit einer Luft-Luft-Wärmepumpe in verschiedenen Betriebszuständen an verschiedenen Positionen um die Wärmepumpe herum gemessen. Die Aufnahmen wurden auf den gleichen A-Pegel normalisiert, um Effekte anderer Schallgrößen auf die Wahrnehmung zu untersuchen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Studiengruppen. Ein Lästigkeitsindex wurde auf Basis der zusammengeführten Testdaten abgeleitet. Einzelne Parameter beschreiben die Daten nur zu einem relativ geringen Anteil, wobei die psychoakustische Rauigkeit hier am besten abschneidet (41% erklärte Varianz). Das Hinzufügen von Lautheit, Lautstärkepegel und Schärfe bringt hier aber deutliche Verbesserungen (92%). Tonhaltigkeit trägt nur mehr wenig (zirka 2%) zur Qualität des Modells bei. Das Ergebnis zeigt die komplexen Zusammenhänge von Akustik und Wahrnehmung. Die Bedingung mit der niedrigsten Verdichter- und Lüftergeschwindigkeit ergab die höchste Lästigkeit. Allerdings war hier der gemessene Schalleistungspegel auch niedriger als in allen anderen Bedingungen. Trotzdem zeigen die Ergebnisse, dass auf ähnliche Bedingungen stärker geachtet werden sollte.

Weiters werden in D6.2 die Ergebnisse zweier Studien zum Thema Wärmepumpenlärm zusammengefasst. Eine schwedische Studie untersuchte die Wahrnehmung des Lärms, der von einer Sole-Wärmepumpe verursacht wurde. Drei bis vier verschiedene Verdichtersfrequenzen wurden pro Modell untersucht. Bei gleichem A-Pegel bevorzugten die Proband:innen höhere Frequenzen. Aufgrund des fehlenden Lüfters dominierte hier der Lärm des Verdichters (siehe Abbildung 7).

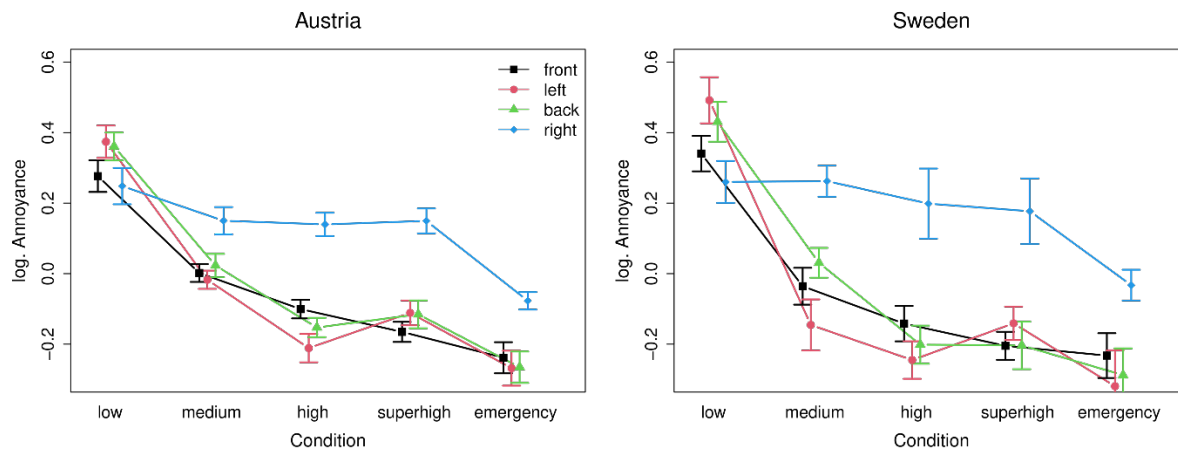


Abbildung 7: Mittelwert und Standardfehler der logarithmierten Lästigkeitsurteile als Funktion des Betriebszustandes und der Position. Die linke Spalte enthält die Daten aus Österreich, die rechte Spalte jene aus Schweden

In einer weiteren Studie wurde der Effekt von verschiedenen Lärmschutzmaßnahmen auf die Wahrnehmung des Lärms einer Luft-Wasser-Wärmepumpe untersucht (Kasess et. al., 2020). Hier wurden die Pegelunterschiede beibehalten und es zeigte sich sowohl in den akustischen Daten als auch in der Wahrnehmung eine starke Richtungsabhängigkeit der Wirkung der Maßnahmen. Ein richtungsunabhängiger Gesamteffekt der Maßnahmen konnte nicht beobachtet werden. Im Gegensatz zu anderen Studien, z.B. bei Verkehrslärm, erklärte hier der A-gewichtete Pegel mehr Varianz als lautheitsbezogene Größen. Durch Hinzufügen von Lautheit, Lautstärkepegel, Schärfe und Rauigkeit zum A-Pegel konnten zusätzlich noch ca. 10% der Varianz erklärt werden.

Die Ergebnisse legen nahe, dass zusätzlich zum A-gewichteten Pegel die Verwendung anderer Parameter wie Lautheit, Schärfe und Rauigkeit eine mögliche Verbesserung der Vorhersage der Belästigungswirkung ermöglichen können. Ein weiterer Punkt, der sich deutlich gezeigt hat, ist, dass die Richtungsabhängigkeit der Schallabstrahlung einen relevanten Effekt hat und bei der Aufstellung, sofern möglich, berücksichtigt werden sollte.

### 5.1.7. Task 7: „Dissemination, Verbreitung“

Diese Kurzzusammenfassung gibt einen Überblick des nationalen Beitrags Österreichs zum Task 7 („Diffusion, dissemination, education & training“) des internationalen IEA HPT Annex 51: „Akustische Emissionen von Wärmepumpen“. Umfangreichere Informationen können den einzelnen Ergebnisdokumenten entnommen werden.

#### D7.1 Bericht über durchgeführte und besuchte Veranstaltungen

Dieses Deliverable gibt einen Überblick über die im Rahmen des nationalen IEA HPT Annex 51 besuchten und veranstalteten Veranstaltungen. Es listet die sechs Konferenzen mit Bezug zu den Tätigkeiten im IEA HPT Annex 51, an denen die nationalen Projektpartner:innen teilgenommen haben. Die präsentierte Tabelle enthält die Namen und das Datum der Konferenz sowie die Teilnehmer:innen aus dem nationalen Projektteam je Konferenz.

Des Weiteren werden die seit 2017 vom AIT veranstalteten Weiterbildungsveranstaltungen, die das Weiterbildungsmodul „Akustikplanung bei Wärmepumpen“ beinhalteten, insgesamt 14 Termine, mit

Bezeichnung der Veranstaltung, dem Veranstaltungsdatum und der Anzahl der Teilnehmer:innen aufgelistet.

Außerdem wird die im Herbst 2020 aufgrund von COVID-19 online veranstaltete Veranstaltungsformat „Online-Seminarreihe: Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen“ zur Weitergabe von Forschungserkenntnissen aus den Tätigkeiten in den IEA Forschungskoooperationsprojekten IEA HPT Annex 50 und IEA HPT Annex 51 an Planende und Ausführende vorgestellt. Der Vollständigkeit halber wurden neben den beiden Online-Seminaren auch die Online-Seminare betreffend IEA HPT Annex 51 angeführt und beschrieben.

### **D7.2 Bericht über Veröffentlichungen**

Dieses Dokument hat das Ziel, einen Überblick über die im Rahmen des nationalen IEA HPT Annex 51 durchgeführten Veröffentlichungen, Reports, Master- und Bachelorarbeiten sowie dem Webinar zu geben.

Insgesamt wurden 22 Beiträge bei Konferenzen und Workshops, eine Bachelorarbeit, zwei Masterarbeiten, 12 internationale Deliverables (in englischer Sprache), sieben Beiträge im Webinar des IEA HPT Annex 51 und acht Beiträge im Heat Pump Magazine veröffentlicht.

### **D7.3 Bericht mit Schulungsunterlagen sowie den durchgeführten Schulungsmaßnahmen**

Dieses Deliverable beschreibt die während der Laufzeit des IEA HPT Annex entstandenen Unterlagen, die bei den in D7.1 genannten Weiterbildungen und Online-Seminaren zum Einsatz kamen:

- Vortragsunterlagen des Weiterbildungsmodul „Akustikplanung bei Wärmepumpen“
- Vortragsfolien und Mitschrift des Online-Seminars „Innovative Akustik-Gadgets für die Praxis und die dafür benötigten HighTech-Messverfahren“ vom 30.09.2020
- Vortragsfolien und Mitschrift des Online-Seminars „Einflüsse auf die Wärmepumpen-Akustik und davon abgeleitete Optimierungsmaßnahmen“ vom 28.10.2020

Die Vortragsfolien der genannten Veranstaltungen sind im Anhang von D7.3 enthalten.

### **D7.4 Bericht mit den Ergebnissen aus Subtask 7**

Im internationalen IEA HPT Annex 51 wurden in Subtask 7 „Dissemination, Verbreitung“ zwei Deliverables angefertigt, wobei der Subtasklead bei AIT lag.

- Deliverable D7.1 „Educational material on acoustics of heat pumps“
- Deliverable D7.2 „Workshop material and conference contributions“

Diese Dokumente wurden in englischer Sprache verfasst und in D7.4 ins Deutsche übersetzt. Es sind vier Leitfäden in diesem Dokument integriert:

- Den Lärm kontrollieren - ein Leitfaden für die Installation von Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Wärmepumpen und Umweltakustik
- Wärmepumpen und Empfehlungen für die Installation
- Wärmepumpen - Studie über das Risiko der Lärmbelästigung in der Nachbarschaft

Weiters finden sich dort tabellarische Listen der Workshop- und Konferenzpräsentationen, die Links zu den Dokumenten des Webinars, die Daten der Treffen des IEA HPT Annex 51 Teams und die Liste der Veröffentlichungen. Außerdem sind die Links der Deliverable-Dokumente angegeben, der Verbreitungsworkshop in Montreal verlinkt sowie die IEA HPT Wärmepumpen-Magazin Beiträge gelistet. Den Abschluss bilden weitere Verbreitungen und Dokumente, die von der [IEA HPT Annex 51 Website](#) heruntergeladen werden können.

### **5.1.8. Erkenntnisse und Wirkungen**

Wärmepumpen sind eine vielfältig einsetzbare Energieeffizienz- und Erneuerbare Technologie mit großem Potenzial, einen substanziellen Beitrag zum geforderten Umbau des Energiesystems zu leisten. Eine wichtige Rolle kommt dabei Luft-Wärmepumpen (L-WP) aufgrund ihrer Charakteristika wie z.B. geringer Platzbedarf und einfacher Installation insbesondere in dicht bebauten, städtischen Siedlungsgebieten zu. L-WP emittieren aber aufgrund des hohen benötigten Luftvolumenstroms oftmals Geräusche beim Ventilator und Verdampfer, die sich in der Übergangszeit aufgrund der Vereisung des Verdampfers noch verstärken. Die als störend wahrgenommenen Betriebsgeräusche können zu Nachbarschaftskonflikten mit gesundheitlichen, psychischen und finanziellen Folgen führen, und damit zu einem gravierenden Wettbewerbsnachteil der Technologie werden, und deren breiten Einsatz hemmen. Die Arbeiten am nationalen und internationalen IEA HPT Annex 51 „Acoustic Signatures of Heat Pumps“ waren ein wesentlicher Beitrag, die Akzeptanz von Wärmepumpen zu erhöhen und Marktbarrieren durch Reduktion von Schallemissionen und Vibrationen abzubauen. Ein zweiter Schwerpunkt ist die Erweiterung des Wissens auf verschiedenen Ebenen (Hersteller:innen, Akustikberater:innen, Installateur:innen, Gesetzgeber).

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden zunächst die verschiedenen Gründe für die Verringerung der Schallemissionsgrenzwerte je nach Land (Gesetzgebung), Standorten und Anwendungen gesammelt und analysiert. Damit konnten die Haupteinflussfaktoren auf die akustische Signatur dieser Geräte bestimmt werden. Das Sammeln und Kombinieren von Forschungsergebnissen in diesen Bereichen auf den verschiedenen Umsetzungsebenen (Komponente, Einheit und Anwendung) führte schließlich zu Hinweisen auf verbesserte Komponenten, Einheiten und Kontrollstrategien sowie auf Leitlinien, einer verbesserten Ausbildung und Beiträge zu künftigen Normen. Das Ziel war es, das Fachwissen der Teilnehmer:innen auf den verschiedenen Ebenen zu sammeln, weiterzugeben und Empfehlungen und Ratschläge zu erarbeiten.

Der internationale Annex behandelte dabei die folgenden Themen im Zusammenhang mit der Akustik von Wärmepumpen:

- Gesetzgebung und Normen
- Definition der von der Studie zu erfassenden Wärmepumpeneinheiten
- Ermittlung des Lärms auf Komponenten- und Aggregatebene und Techniken zur Schallminimierung
- Analyse der Auswirkungen der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten
- Installation von Wärmepumpen und Auswirkungen auf die Umgebung (Nachbarschaft, Lärmwahrnehmung)
- Verbesserte Messung und Beschreibung der akustischen Leistung
- Diffusion, Verbreitung, Bildung und Ausbildung

Wohneinheiten für Ein- und Mehrfamilienhäuser, sowohl für Neubauten als auch für Nachrüstungen, wurden berücksichtigt. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf dem Heizbetrieb - offene Fenster im Sommer können die Wahrnehmung von Wärmepumpen im Kühlbetrieb verändern. Methoden zur Lärmvermeidung und zur Erhöhung der Akzeptanz sind jedoch vergleichbar und können übertragen werden.

Da es auf dem Markt eine Vielzahl von Geräten gibt, wurden im Annex 51 einige typische Produkte mit verschiedenen technischen Merkmalen (Größe, Leistungsregelung, Wärmequelle, Temperaturniveaus usw.) ermittelt. Sowohl der inhärente Geräuschpegel eines Geräts als auch der wahrgenommene Lärm in der Umgebung sind die wichtigsten Punkte, die bei den Arbeiten für eine bessere Akzeptanz von Wärmepumpen berücksichtigt werden müssen. Es war wichtig, Informationen über die Wahrnehmung in verschiedenen Ländern zu sammeln und nach Möglichkeiten zu suchen, die Psychoakustik auf effiziente und sinnvolle Weise in künftige Richtlinien und Normen einzubeziehen, die für die verschiedenen Regionen der Welt gelten.

Bei industriellen Anwendungen von Wärmepumpen werden Schallemissionen in der Regel nicht berücksichtigt (dort gibt es ein ganzes Spektrum anderer Lärmemissionen) und wurden daher in Annex 51 nicht behandelt. Die Ergebnisse können jedoch auf Wärmepumpen industrieller Größe angewandt werden (z. B. in kommerziellen Anwendungen wie Bürogebäuden). Kühlgeräte wurden im Annex 51 ebenfalls nicht behandelt. Die Methoden und Ergebnisse des Annex 51 sind aber auf stationäre und mobile schallabstrahlende Einheiten im Allgemeinen anwendbar.

Insbesondere die Verfügbarkeit von Resultaten, die mit den unterschiedlichen angewendeten Messtechniken im Rahmen des Round Robin Tests erarbeitet wurden, wird als wichtige Erkenntnis für die österreichischen Laboratorien eingestuft, da in Österreich Messungen sowohl im Hallraum als auch in der Klimakammer mit Intensitätssonden und einem akustischen Dom durchgeführt wurden. Die Vergleiche ermöglichen weitere Verfeinerungen der eingesetzten Methoden.

Der Vergleich der Analysen der psychoakustischen Untersuchungen in Schweden und Österreich an unterschiedlichen Probanden aber mit gleichen akustischen Samples zeigte eine gute Übereinstimmung und kann in die Weiterentwicklung von Testdesigns einfließen.

Die regulativen Vorgaben sind international sehr divers. Aber auch national gibt es bis hinunter auf die Gemeindeebene sehr unterschiedliche Vorgehensweisen. Eine Vereinheitlichung der Grenzwerte sowie ein einheitliches Vorgehen bei der Erteilung von Installationsgenehmigungen scheint sowohl im nationalen als auch im internationalen Maßstab essenziell.

Das derzeitige Label für Wärmepumpen gibt in den meisten Fällen nur einen Schalleistungspegel bei einem bestimmten Betriebspunkt vor. Nicht berücksichtigt werden dabei die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung, deren Frequenzinhalt sowie die Effekte, die durch instationäre Effekte (z.B. Vereisung) hervorgerufen werden. Die Norm schreibt vor, dass man für die Messung den Betriebspunkt über einen längeren Zeitraum einhalten muss. Für transiente Vorgänge (z.B. Vereisung) ist dies aber nicht möglich.

## 5.2. Veröffentlichungen im internationalen IEA HPT Annex 51

Auf internationaler Ebene sind Deliverables auf Taskebene in Tabelle 7 angeführt und zum freien Download auf der [Webseite des internationalen IEA HPT Annex 51](#) verfügbar.

Tabelle 7: Deliverables auf Taskebene im internationalen IEA HPT Annex 51 (deutsche Übersetzung der Titel)

Nummer	Deliverable Name
D1.0	Einleitung
D1.1	Messtechnische Verfahren
D1.2	Verordnungen und Regularien - Länderübersicht
D1.3	Verordnungen - Synthese
D2.1	Auswahl von Wärmepumpen für Round Robin Tests
D2.2	Ringversuche - Luft-Wasser-Wärmepumpe
D2.3	Saisonaler Schallleistungspegel
D3	Überblick über die Geräusche von Wärmepumpenkomponenten und Lärmschutztechniken
D4	Analyse des Einflusses der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten
D5.1	Bericht über die Installation von Wärmepumpen unter besonderer Berücksichtigung der akustischen Auswirkungen
D6.1	Bewertung der Lästigkeit und psychoakustische Analyse von Wärmepumpengeräuschen
D7.1	Lehr- und Schulungsmaterial über die Akustik von Wärmepumpen
D7.2	Workshop-Material und Konferenzbeiträge

Zusätzlich wurde eine Reihe von Publikationen bei Konferenzen akzeptiert, die in folgender Tabelle 8 zusammengefasst sind.



Tabelle 8: Konferenzen mit Bezug zu IEA HPT Annex 51 mit Veranstaltungsdatum und Autoren

<b>Name, Ort und Datum der Konferenz</b>	<b>Titel der Veröffentlichung</b>	<b>Autoren</b>
11de Warmtepomp Symposium, Communicatiehuis, Gent, Belgien, 10. Oktober 2018	International Research: Acoustic Signatures of Heat Pumps	Ch. Reichl, J. Emhofer, M. Popovac, G. Drexler-Schmid, P. Wimberger, F. Linhardt, K. Alten, T. Fleckl
Chillventa Congress 2018, 5. Innovationstag Kältetechnik, Nürnberg, Deutschland, 14. Oktober 2018	<i>Akustische Emissionen von Wärmepumpen</i>	Ch. Reichl, J. Emhofer, M. Popovac, G. Drexler-Schmid, P. Wimberger, F. Linhardt, K. Alten, T. Fleckl,
DAGA 2017-43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, Deutschland, 6.-9. März 2017	<i>Charakterisierung der Schallabstrahlung von Luft-Wasser-Wärmepumpen mittels simultaner Hitzdrahtanemometrie, Vibrationsmessung und Schalldruckbestimmung</i>	Felix Linhardt, Karoline Alten, Johann Emhofer, Christian Köfinger, Thomas Fleckl, Peter Wimberger, Martin Gröschl, Christoph Reichl
DAGA 2017-43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, Deutschland, 6.-9. März 2017	<i>Aktive Störschallunterdrückung für Wärmepumpenanwendungen</i>	Norbert Schmiedbauer, Johann Emhofer, Christian Köfinger, Peter Wimberger, Thomas Fleckl, Martin Gröschl, Christoph Reichl
DAGA 2017-43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, Deutschland, 6.-9. März 2017	<i>SilentAirHP - Analyse und Entwicklung von Schallreduktionsverfahren für Luft-Wasser-Wärmepumpen</i>	Christoph Reichl, Johann Emhofer, Peter Wimberger, Norbert Schmiedbauer, Felix Linhardt, Elisabeth Wasinger, Christian Köfinger und Thomas Fleckl
European Heat Pump Summit, Nürnberg, Deutschland, 24.-25. Oktober 2017	<i>HPT TCP Annex 51 - „Acoustic Signatures of Heat Pumps“ - Reduction of Noise Emissions of Air-Water-Heat-Pumps</i>	Christoph Reichl
68th Annual Meeting of the Austrian Physical Society, TU Graz, Österreich, 11.- 13. September 2018	<i>MicLocator - Determine multiple microphones' positions using sound wave delay and trilateration</i>	P. Wimberger, J. Emhofer, C. Reichl

<b>Name, Ort und Datum der Konferenz</b>	<b>Titel der Veröffentlichung</b>	<b>Autoren</b>
68th Annual Meeting of the Austrian Physical Society, TU Graz, Österreich, 11.- 13. September 2018	<i>Determining the Influence of the Operating Point on Noise Emissions of Air Source Heat Pumps</i>	S. Hinterseer, T. Bednar
EHPA Sound Workshop, Wien, Österreich, 10. Oktober 2019	<i>Presentation on the Annex 51 and Experiences</i>	Christoph Reichl
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR 2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019	<i>Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" in the framework of the International Energy Agency Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (IEA HPT)</i>	Thomas Fleckl, Christoph Reichl
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR 2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019	<i>Acoustic Regulations of Heat Pumps</i>	Philipp Wagner, Rene Rieberer, Roberto Fumagalli
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR 2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019	<i>1D modelling of heat pumps including acoustics</i>	Johann Emhofer, Christoph Reichl
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR 2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019	<i>Simultaneous energy efficiency and acoustic evaluation of heat pump systems using dynamic simulation models</i>	Christian Vering, Jonas Klingebiel, Markus Nürenberg, Dirk Müller
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR 2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019	<i>Acoustic Emissions and Noise Abatement of Air to Water Heat Pumps</i>	Christoph Reichl, Peter Wimberger, Felix Linhardt, Johann Emhofer
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR 2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019	<i>Testing campaign on the energetical and acoustical behaviour of a heat pump</i>	Karlheinz Bay, Simon Braungardt, Thomas Gindre, Thore Oltersdorf, Jens Rohlfing, Lena Schnabel, Agostino Troll
Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR	<i>Heat pump noise – operation dependence and seasonal averaging</i>	Ola Gustafsson, Henrik Hellgren, Caroline Haglund Stignor

Name, Ort und Datum der Konferenz	Titel der Veröffentlichung	Autoren
2019, Montreal, Kanada, 24.-30. August 2019		
DAGA 2019 - 45. Jahrestagung für Akustik, Rostock, Deutschland, 18.-21. März 2019	<i>Charakterisierung der Geräuschentwicklung einer Wärmepumpe</i>	A. Troll, T. Gindre
e Forum Acusticum, Lyon, Frankreich, 7.-11. Dezember 2020	<i>Perception Rating of the Acoustic Emissions of Heat Pumps</i>	Christian H. Kasess, Chirstoph Reichl, Holger Waubke, Piotr Majdak
DAGA 2020, 46. Jahrestagung für Akustik, Hannover, Deutschland, als Proceeding verfügbar, Konferenz abgesagt	<i>Beurteilung der Wahrnehmung der Schallemission von Wärmepumpen</i>	Christian H. Kasess, Christoph Reichl, Holger Waubke, Piotr Majdak
26. Tagung des BFE-Forschungsprogramms «Wärmepumpen und Kälte», online BFH Burgdorf, 24. Juni 2020	<i>Akustische Optimierung von Wärmepumpen (IEA HPT Annex 51)</i>	Christoph Reichl, Johann Emhofer, Peter Wimberger, Felix Linhardt, Norbert Schmid-bauer, Gerwin H.S. Drexler-Schmid, Brigitte Blank-Landeshammer, Andreas Sporr, Christian Köfinger, Thomas Fleckl
Chillventa eSpecial Congress, online, 13. November 2020	<i>Acoustics of heat pumps with special focus on icing, defrosting and placement</i>	Christoph Reichl, Brigitte Blank-Landeshammer, Andreas Sporr, Gerwin Drexler-Schmid, Johann Emhofer, Mirza Popovac, Peter Wimberger, Camilla Sandström, Christian Köfinger, Andreas Zottl, Thomas Fleckl
In The Essence of Heat Pumps Series, EHPA Webinar, 2. September 2020	<i>Acoustic behaviour and placement of heat pumps, The perception of sound and heat pumps</i>	Christoph Reichl, Johann Emhofer, Gerwin Drexler-Schmid, Peter Wimberger, Felix Linhardt, Brigitte Blank-Landeshammer, Andreas Sporr, Thomas Fleckl
13 <sup>th</sup> IEA HPC, Jeju Island, South Korea, 26.-29. April 2021 (online)	<i>Acoustic Characterisation of an Air-To-Water Heat Pump for Different Operating Conditions: Inter-laboratory Results</i>	François Bessac, Roberto Fumagalli, Henrik Hellgren, Thore Oltersdorf, Svend Pedersen, Thomas Fleckl, Christoph Reichl,

Name, Ort und Datum der Konferenz	Titel der Veröffentlichung	Autoren
13 <sup>th</sup> IEA HPC, Jeju Island, South Korea, 26.-29. April 2021 (online)	<i>Augmented reality acoustics of air heat pumps – App development and methods</i>	Gerwin H.S. Drexler-Schmid, Christian H. Kasess, Brigitte Blank-Landeshammer, Christian Köfinger, Johann Emhofer, Holger Waubke, Christoph Reichl
13 <sup>th</sup> IEA HPC, Jeju Island, South Korea, 26.-29. April 2021 (online)	<i>Simultaneous energy efficiency and acoustic evaluation of heat pump systems using dynamic simulation models</i>	Christian Vering, Jonas Klingebiel, Christoph Reichl, Johann Emhofer, Markus Nürenberg, Dirk Müller
ICSV27, 27th International Congress on Sound and Vibration, Prag, Tschechische Republik, 11.-16. Juli 2021, virtual	<i>Noise Propagation Modelling and Mapping using Augmented Reality for HVAC Sound Sources</i>	Brigitte Blank-Landeshammer, Andreas Sporr, Gerwin Drexler-Schmid, Christian Kasess, Christian Köfinger, Johann Emhofer, Holger Waubke, Christoph Reichl
e & i Elektrotechnik und Informationstechnik DOI:10.1007/s00502-021-00885-2	<i>Application of multilateration for microphone localization using audio samples at room scale</i>	Peter Wimberger, Christoph Reichl

Leider sind nur wenige frei als Download verfügbar. Sie sind in Tabelle 9 mit Conclusions und Link aufgeführt.

Tabelle 9: Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR2019, Montreal, Canada

Titel der Veröffentlichung	Schlussfolgerungen
<u><i>Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" in the framework of the International Energy Agency Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (IEA HPT)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IEA HPT Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" with 12 participating institutions from 6 countries</li> <li>• Legislative situation complex</li> <li>• Innovative measurement techniques allow for sound source localisation and time-, space- and frequency resolved analysis of emissions on component- and system level and assessment of vibrations</li> <li>• Simulation techniques (frosting / defrosting, sound field simulations, 1D system simulations, VR/AR)</li> <li>• Psychoacoustics</li> <li>• Measurements and data analysis in several European institutes</li> </ul>
<i>Acoustic Regulations of Heat Pumps</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basics about acoustics</li> <li>• Measurement techniques</li> </ul>

Titel der Veröffentlichung	Schlussfolgerungen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Overview of the different regulations</li> </ul>
<u><i>1D modelling of heat pumps including acoustics</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• We wrote a library to include acoustic behavior to existing models</li> <li>• Priority was given to simplicity and fast computation</li> <li>• Frequency dependence of sound was considered in the one-octave band</li> <li>• Published under Modelica 2.0 licence</li> </ul>
<u><i>Simultaneous energy efficiency and acoustic evaluation of heat pump systems using dynamic simulation models</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coupling of energetic and acoustic modelling was successful</li> <li>• Implementation works in MatLab</li> <li>• Energetic acoustic optimal operation identifies optimization potentials in design and operation</li> </ul>
<u><i>Acoustic Emissions and Noise Abatement of Air to Water Heat Pumps (and part 2)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimental Methods: Dome, Beamforming, Correlations</li> <li>• Numerical Methods: Noise Propagation, 1D heat pump models</li> <li>• Results: list of measures, mechanisms and influence on sound power level</li> </ul>
<u><i>Testing campaign on the energetical and acoustical behaviour of a heat pump (and part 2)</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acoustic measurements: goals and suited devices (measurements with microphones and acceleration sensors, Complement from laservibrometer (LVM))</li> <li>• Deconstruction analysis: concept and experimental setup (Bringing thermic and acoustical aspects together, Assessment under various operating conditions)</li> <li>• Results: Sound power levels and thermic efficiency, eigenfrequencies v Eigenmodes and stress on the structure</li> </ul>
<u><i>Heat pump noise – operation dependence and seasonal averaging</i></u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The compressor and fan speed are the dominating factors for the sound power level of a heat pump. The temperature levels and the temperature lift are of less importance.</li> <li>• The noise of a heat pump should be evaluated at: The temperature/part load that corresponds best to the seasonal averaged noise = +2°C, 54% (or +7°C, but 54% part load for air source heat pumps, Maximum compressor speed (and fan speed) – to inform about the range</li> <li>• Listening tests: sounds with less sharpness and a compressor speed at higher frequency are preferred</li> </ul>

Derzeit sind keine weiteren Publikationen geplant.

### 5.3. Publikationen mit österreichischer Autorenschaft

Nur die in Tabelle 5 (nationale Deliverable-Dokumente in deutscher Sprache), Tabelle 7 (internationale Deliverable-Dokumente in englischer Sprache) und Tabelle 9 (Acoustic Workshop in Montreal in englischer Sprache) gelisteten Arbeiten sind frei verfügbar.

Folgende wesentliche Publikationen aus Tabelle 8, bei denen es – neben der Präsentation – auch eine schriftliche Einreichung gibt, sollen aber mit ihrer Synopsis hier angeführt werden:

#### 5.3.1. Akustische Optimierung von Wärmepumpen (IEA HPT Annex 51)

Christoph Reichl, Johann Emhofer, Peter Wimberger, Felix Linhardt, Norbert Schmid-bauer, Gerwin H.S. Drexler-Schmid, Brigitte Blank-Landeshammer, Andreas Sporr, Christian Köfinger, Thomas Fleckl, *Akustische Optimierung von Wärmepumpen (IEA HPT Annex 51)*, 26. Tagung des BFE-Forschungsprogramms «Wärmepumpen und Kälte», online BFH Burgdorf, 24.06.2020

Der IEA HPT Annex 51 zielt darauf ab, die Akzeptanz von Wärmepumpen zu erhöhen und Marktbarrieren durch Reduktion von Schallemissionen und Vibrationen abzubauen. Innovative experimentelle Laborarbeiten, unterschiedliche numerische Ansätze sowie Vorarbeiten zur Erstellung einheitlicher rechtlicher und normativer Rahmenbedingungen und die Erarbeitung neuer Bewertungsschemata durch Wahrnehmungstests sind Kern der Arbeiten. Ein internationales Konsortium mit Forscherinnen und Forschern aus Italien, Deutschland, Schweden, Dänemark, Frankreich und Österreich arbeitet dabei an unterschiedlichen Tasks: Dazu gehören eine Aufstellung der akustischen Regulatorien, bestehende Normen, Messverfahren und Zertifizierungsschemata. Ausgewählte Wärmepumpen wurden mit unterschiedlichen Messmethoden analysiert. Der Annex 51 befasst sich mit den Schallemissionen auf Komponenten- und Systemebene und gibt einen Überblick über Schallreduktionstechniken. Ein Fokus liegt dabei auch auf dem Einfluss des Betriebszustands und der Installation der Wärmepumpe auf die akustischen Emissionen. Eine psychoakustische Analyse der Schallemissionen und die Erstellung von Weiterbildungsmaterialien runden die Arbeiten ab.

#### 5.3.2. Perception Rating of the Acoustic Emissions of Heat Pumps

C.H. Kasess, C. Reichl, H. Waubke, P. Majdak, *Perception Rating of the Acoustic Emissions of Heat Pumps*, e Forum Acusticum, Lyon, Frankreich, 7.-11. Dezember 2020

Wärmepumpen sind eine vielseitige Technologie, die sich immer größerer Beliebtheit erfreut. Daher werden die Betrachtung sowie die Reduzierung der Schallemissionen solcher Geräte immer wichtiger. Ziel der vorgestellten Studie ist es, die Schallemissionen einer Luft/Wasser-Wärmepumpe in verschiedenen Richtungen unter Einsatz verschiedener, potenziell schallmindernder Maßnahmen bezüglich ihrer Lästigkeit subjektiv zu bewerten. Untersucht wurden vier Varianten einer Wärmepumpe, deren Emissionen in einer mit schallabsorbierenden Wänden ausgestatteten Klimakammer aufgezeichnet wurden. Es wurden vier Richtungen um die Wärmepumpe herum untersucht: in der Nähe des Lüftereinlasses, des Auslasses und zwei Richtungen senkrecht zur Lüfterachse. 20 Zuhörer:innen bewerteten diese Aufnahmen.

Die Hörer:innen wurden gebeten, die Lästigkeit der Geräusche anhand einer freien Größeneinschätzung zu beurteilen. Die Ergebnisse zeigen einen Richtungseffekt, der von der Variante der Wärmepumpe abhängt. Die Unterschiede in der Belästigung können durch den A-Pegel und den Lautstärkepegel erklärt werden. Durch die Einbeziehung der psychoakustischen Schärfe und Rauigkeit erhöht sich die erklärte Varianz der Wahrnehmungsdaten, wenn auch in geringerem Maße.

### **5.3.3. Acoustic Characterisation of an Air-To-Water Heat Pump for Different Operating Conditions: Inter-laboratory Results**

François Bessac, Roberto Fumagalli, Henrik Hellgren, Thore Oltersdorf, Svend Pedersen, Thomas Flechl, Christoph Reichl, *Acoustic Characterisation of an Air-To-Water Heat Pump for Different Operating Conditions: Inter-laboratory Results*, 13th IEA HPC, Jeju Island, South Korea, 26.-29. April 2021

Seit den letzten fünf Jahren ist auf dem europäischen Wärmepumpenmarkt ein beschleunigtes Wachstum von Außenluft-Wärmepumpen zu beobachten. Die von Wärmepumpen ausgehenden Geräusche werden als ein Nachteil der Technologie angesehen, insbesondere während des instationären Betriebs der Wärmepumpe. Im Rahmen von Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" des IEA HPT TCP ist die experimentelle Untersuchung der akustischen Leistung von Luft/Wasser-Wärmepumpen eine spezielle Aufgabe. Die Messungen mehrerer Laboratorien an einer Einheit unter verschiedenen Betriebsbedingungen, unter Standardbedingungen (EN 14511-2:2018), Teillastbedingungen (EN 14825:2018) und ERP (EN 12102-1:2018) werden verglichen. Unter einigen Bedingungen treten einige Frost-/Auftauzyklen auf, und der Schwerpunkt liegt auf dem Spektrum und den Schallpegeländerungen, die zwischen diesen Zyklen beobachtet werden können. Außerdem werden einige Daten über die akustische Richtwirkung des Geräts vorgestellt.

### **5.3.4. Acoustics of heat pumps with special focus on icing, defrosting and placement**

Christoph Reichl, Brigitte Blank-Landeshammer, Andreas Sporr, Gerwin Drexler-Schmid, Johann Emhofer, Mirza Popovac, Peter Wimberger, Camilla Sandström, Christian Köfinger, Andreas Zottl, Thomas Flechl, *Acoustics of heat pumps with special focus on icing, defrosting and placement*, Chillventa eSpecial Congress, online, 13. November 2020

Akustische Emissionen werden – neben Verkehr und Industrie – auch von Heiz- und Kühlgeräten wie Luft/Wasser-Wärmepumpen, Ventilatoren und Rückkühlern emittiert. Eine immer größere Anzahl von Personen fühlen sich von der allgemein zunehmenden Lärmbelastung betroffen. Klimaanlageanlagen werden angesichts des stetigen Ausbaus der erneuerbaren Energien für Wärme und des prognostizierten zukünftigen starken Wachstums einen deutlichen Anstieg verzeichnen. Von seitens der Hersteller wird sehr großer Aufwand zur Minimierung der Schallabstrahlung der Geräte betrieben. Die Erfahrung zeigt, dass zur Einschätzung der Auffälligkeit einer installierten Einheit neben dem Schallleistungspegel aber auch das zeitliche Verhalten der Emissionen und deren Frequenzinhalt eine wesentliche Rolle spielt. Solche Emissions-Schwankungen treten bei der Vereisung und der damit verbundenen Abtauprozesse von Luft-Wasser-Wärmepumpen auf. Im Rahmen des Vortrags werden typische Situationen beleuchtet und auch das Vereisungsverhalten von herkömmlichem und beschichtetem Wärmetauscher analysiert.

Neben der akustischen Optimierung der Geräte ist aber auch eine optimale Aufstellung wesentlich. Daher wurden Methoden entwickelt, die einen einfachen und intuitiven Zugang zu Lärmemissionen und deren Reduktion ermöglichen. Dabei handelt es sich zum einen um Methoden der Schallmessung, zum anderen um Fortschritte in der Augmented Reality, die eine virtuelle Darstellung des schallabstrahlenden Gerätes und der daraus resultierenden Schallausbreitung in einer realen Umgebung ermöglichen. Gezeigt wird die Entwicklung einer Anwendung für mobile Geräte, die die richtungsabhängige Schallausbreitung virtuell in einer realen Umgebung nutzt. Das virtuelle schallabstrahlende HLK-System kann mittels Augmented Reality frei positioniert werden. An jeder vom Beobachtenden gewählten Position können dann die Schallemissionen und der Schalldruckpegel unter Berücksichtigung des Absorptions- und Reflexionsverhaltens durch Erkennen der Umgebung ermittelt und visualisiert werden. In einem zweiten Schritt kann die Quelle einfach bewegt werden, um die akustisch optimale Position und Orientierung in der realen Umgebung zu finden. Die Technik soll damit den Planungs- und Installationsvorgang von Heizungs- und Klimaanlage mit Fokus auf die Lärmbelastung unterstützen. Auf diese Weise wird sie dazu beitragen, die Akzeptanz von Wärmepumpen zu erhöhen und damit zu einem höheren Anteil erneuerbarer Energie zu führen.

### **5.3.5. HPT TCP Annex 51 - „Acoustic Signatures of Heat Pumps“ - Reduction of Noise Emissions of Air-Water-Heat-Pumps**

Christoph Reichl. *HPT TCP Annex 51 - „Acoustic Signatures of Heat Pumps“ - Reduction of Noise Emissions of Air-Water-Heat-Pumps*, European Heat Pump Summit, 24.-25. Oktober 2017, Nürnberg, Deutschland

Aufgrund ihrer vielfältigen Vorteile wie niedrige Investitionskosten und geringer Platzbedarf sind Luft-Wasser-Wärmepumpen in den letzten Jahren sehr populär geworden und stellen heute europaweit das meistverkaufte Pumpensystem zum Heizen und Kühlen von Wohngebäuden dar. Neben den Geräuschen des Verdichters entstehen aufgrund des erforderlichen hohen Luftdurchsatzes von Luft-Wasser-Wärmepumpen mitunter unangenehme Geräusche durch den Ventilator und den Verdampfer. Vor allem in der Übergangszeit, wenn die Vereisung des Verdampfers auftritt, kommt es zu einer zusätzlichen Geräuschemission. Dies könnte zu einem Wettbewerbsnachteil dieser Technologie werden, der ihre weite Verbreitung insbesondere in dicht besiedelten Gebieten behindert. Die in der Literatur und in den Akustikleitfäden der Wärmepumpenhersteller-Verbände diskutierten Maßnahmen zur Geräuschminderung umfassen konstruktive, komponentenspezifische, regelungstechnische und aktive Maßnahmen, deren Wirkung auf den Geräuschpegel qualitativ bewertet wird. Das österreichische Forschungsprojekt SilentAirHP zielt auf die Entwicklung bzw. Anpassung fortschrittlicher numerischer und experimenteller Methoden zur Bewertung von schallreduzierenden Maßnahmen für Luft-Wasser-Wärmepumpen unter Berücksichtigung der gleichzeitigen Auswirkungen dieser schallreduzierenden Maßnahme(n) auf Leistung, COP, Geräuschemission und psychoakustische Wahrnehmung. Die Ergebnisse umfassen eine Reihe von quantitativ analysierten Maßnahmen für bekannte und innovative Geräuschminderungsmaßnahmen, die auf energetischer und geräuschbezogener Ebene bewertet werden. Darüber hinaus wird eine umfassende Systembeschreibung eines Luft-Wasser-Wärmepumpensystems unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Vereisungsverhaltens und der Geräuschemission vorgestellt. Die Analysen basieren auf raum-, frequenz- und zeitaufgelösten 64-Kanal-Schalldrucksensordaten, die in einem zylindrischen Messraster verwendet werden, sowie auf



Daten einer akustischen Kamera in Kombination mit einer Thermokamera zur Temperaturvisualisierung. Dazu wurde das SilentAirHP mit austauschbaren Komponenten und Maßnahmen zur Geräuschreduktion konzipiert. Die Ergebnisse werden mit Schallausbreitungsmodellen gekoppelt, die den Einfluss der Platzierung der Wärmepumpe in einer Siedlung auf die resultierenden Schalldruckpegel an empfindlichen Stellen an Gebäuden zeigen. Schließlich wird der neue Annex 51 Acoustic Signature of Heat Pumps des Heat Pump Program der Internationalen Energieagentur vorgestellt.

Das Projekt SilentAirHP wurde im Rahmen des Energieforschungsprogramms des Klima- und Energiefonds (5148527) vom österreichischen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert.

### **5.3.6. Charakterisierung der Schallabstrahlung von Luft-Wasser-Wärmepumpen mittels simultaner Hitzdrahtanemometrie, Vibrationsmessung und Schalldruckbestimmung**

Felix Linhardt, Karoline Alten, Johann Emhofer, Christian Köfinger, Thomas Fleckl, Peter Wimberger, Martin Gröschl, Christoph Reichl, *Charakterisierung der Schallabstrahlung von Luft-Wasser-Wärmepumpen mittels simultaner Hitzdrahtanemometrie, Vibrationsmessung und Schalldruckbestimmung*, DAGA 2017-43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, 6.-9. März 2017

Am Beispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpe wurde die gleichzeitige Messung von punktuellen Strömungsgeschwindigkeiten, Vibrationen und orts- und frequenz aufgelöste Schalldruckpegeln zur spektralen Charakterisierung herangezogen. Die Messungen wurden in einer akustisch optimierten Klimakammer durchgeführt, um auch die transienten Vorgänge bei der Vereisung des Verdampfers beobachten zu können. Dabei wurde die Strömung lokal mittels eines Hitzdrahtanemometers bestimmt, das nach Applikation einer nichtlinearen Kalibrierung eine Analyse der Strömungsgeschwindigkeiten sowie der Turbulenzspektren ermöglichte. Die Vibrationen wurden durch piezoelektrische Schwingbeschleunigungssensoren erfasst, die mittels Magnethalterungen an den maßgeblich schwingenden Komponenten der Wärmepumpe montiert waren. Aufgrund ihres geringen Gewichts von nur 54g und ihrem breiten Frequenzbereich (0.1 - 4800 Hz) eigneten sie sich gut für derartige Schwingungsmessungen, ohne eine rückkoppelnde Wirkung auf das Messobjekt auszuüben. Im Postprocessing wurden die mit 5120 Hz abgetasteten Daten integriert, um die Schwingungsschnelle für die weitere Berechnungsschritte zu erhalten. Die Messung der Schalldruckpegel erfolgte orts aufgelöst mittels 1/2 Zoll Klasse 1 Messmikrofonen. Neben der herkömmlichen Charakterisierung durch Vergleich von Schwingungs-, Strömungsturbulenz- und Schalldruckspektren wurde durch die zeitgleiche Messung der Signale eine zusätzliche zeitliche Korrelation der Signale möglich, die weitere Rückschlüsse auf die Signalzusammenhänge ermöglicht.

Das Projekt SilentAirHP wurde im Rahmen des Energieforschungsprogramms des Klimaenergiefonds (5148527) in einer Initiative des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert.

### **5.3.7. Aktive Störschallunterdrückung für Wärmepumpenanwendungen**

Norbert Schmiedbauer, Johann Emhofer, Christian Köfinger, Peter Wimberger, Thomas Fleckl, Martin Gröschl, Christoph Reichl, *Aktive Störschallunterdrückung für Wärmepumpenanwendungen*, DAGA 2017-43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, 6.-9. März 2017

Aktive Störschallunterdrückung (Active Noise Cancelling, ANC) wird im Rahmen des Forschungsprojektes SilentAirHP als eine Möglichkeit untersucht, die Geräuschentwicklung von Luft-Wasser-Wärmepumpen-Systemen zu verringern beziehungsweise zu verändern. Diese Methode wird in Kopfhörern, aber auch in der Flugzeug- und Automobilindustrie erfolgreich eingesetzt. Aufgrund der Verfügbarkeit schneller Prozessoren ist eine Beeinflussung des Schallspektrums durch Einbau von Lautsprechern und Berechnung von Gegenschallsignalen möglich. Die Signalauslöschung ist dabei nicht perfekt und hängt zusätzlich vom Ort des Beobachtenden ab. Während die Methode in langen Kanälen, die eine näherungsweise eindimensionale Schallausbreitung ermöglichen, gute Schallreduktionen zeigt, ist die Anwendung in größeren Volumina mit mehrdimensionaler Schallausbreitungscharakteristik schwierig. Aufgrund baulicher Restriktionen sind derartige Szenarien in der Realität aber nur schwer vermeidbar. Im Rahmen der Arbeit werden unterschiedliche Optionen vorgestellt und analysiert, ANC für Wärmepumpensysteme zu realisieren. Die Temperaturabhängigkeit des Active Noise Cancelling Testaufbaus wurde in akustisch optimierten Klimakammern untersucht. Dies ist wichtig, da vor allem die Vereisung von Komponenten einen Einfluss auf die abgestrahlten Schallspektren und je nach Typ der Wärmepumpe auf die Drehzahl des Ventilators hat und das ANC System dementsprechend reagieren muss.

Das Projekt SilentAirHP wurde im Rahmen des Energieforschungsprogramms des Klimaenergiefonds (5148527) in einer Initiative des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert.

### **5.3.8. SilentAirHP - Analyse und Entwicklung von Schallreduktionsverfahren für Luft-Wasser-Wärmepumpen**

Christoph Reichl, Johann Emhofer, Peter Wimberger, Norbert Schmiedbauer, Felix Linhardt, Elisabeth Wasinger, Christian Köfinger und Thomas Fleckl, *SilentAirHP - Analyse und Entwicklung von Schallreduktionsverfahren für Luft-Wasser-Wärmepumpen*, DAGA 2017-43. Jahrestagung für Akustik, Kiel, 6.-9. März 2017

Luft-Wasser-Wärmepumpen werden immer häufiger für Heizen und Kühlen eingesetzt. Ihren Vorteilen des geringen Platzbedarfs und der niedrigen Investitionskosten steht - je nach Aufstellung und Typ der Installation - die Geräuschentwicklung der Systeme entgegen. Dabei kann es bei transienten Prozessen (zunehmende Vereisung, Enteisungsmaßnahmen) zu auffällenden Emissionen kommen. Das österreichische Forschungsprojekt SilentAirHP zielt darauf ab, fortschrittliche numerische und experimentelle Methoden zur quantitativen Bewertung schallreduzierender Maßnahmen für diese Wärmepumpen zu entwickeln. Die Analysen basieren auf orts-, frequenz-, und zeitaufgelösten 64 Kanal Schalldruckdaten mit einem zylindrischen akustischen Messgitter (acoustic dome) sowie auf Messdaten einer akustischen Kamera in Kombination mit einer Thermokamera zur temperaturabhängigen Visualisierung der Schallquellen. Dazu wird ein Wärmepumpenprototyp mit austauschbaren Komponenten und Schallreduktionsmaßnahmen aufgebaut. Neben passiven Maßnahmen kommt dabei auch Active Noise Cancelling zum Einsatz. Die Messergebnisse werden in

Folge mit Schallausbreitungsmodellen verknüpft, die den Einfluss der Platzierung von Wärmepumpen in einem Siedlungsgebiet auf die Schalldrücke an sensiblen Wohnbereichen in Gebäuden unter Berücksichtigung psychoakustischer Größen analysieren. Abschließend wird ein Proposal "Acoustic Signature of Heat Pumps" für einen Annex im Rahmen des Heat Pump Programs der International Energie Agentur vorgestellt.

Das Projekt SilentAirHP wurde im Rahmen des Energieforschungsprogramms des Klimaenergiefonds (5148527) in einer Initiative des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert.

# 6 Vernetzung und Ergebnistransfer

## 6.1. Zielgruppen und Kommunikation der Ergebnisse

Zielgruppen des IEA HPT Annex 51 waren Wärmepumpenhersteller, Wärmepumpenkomponentenhersteller, akustische Berater:innen, Installateur:innen und Planer:innen von Wärmepumpenanlagen, sowie nationale Entscheidungsträger:innen. Die Zielgruppen konnten wie folgt in das Projekt eingebunden werden.

**Wärmepumpenhersteller:** Bei der Erhebung der normativen Regelungen der Kenntnisse über die Schallemissionen von Komponenten der Wärmepumpen wurden Wärmepumpenhersteller eingebunden.

**Anlagenplaner:innen, Energieberater:innen:** Ein wesentliches Ziel des IEA HPT Annex 51 war es, diese Gruppe über die Ergebnisse zu informieren. Zudem haben Veröffentlichungen auf Konferenzen sowie die angebotenen Workshops dazu beigetragen, potentielle involvierte Gruppen mit notwendigen Informationen zu versorgen.

**Gutachter:innen, Sachverständige:** Im Zuge der Recherche der normativen Vorgaben sowie der Erfahrungen aus der Praxis wurden österreichische Gutachter:innen und Sachverständige eingebunden. Diese Gruppe kann auf umfangreiches Know-how in Bezug auf die unterschiedlichen Vorgaben sowie Erfahrungen von Problemfällen zurückgreifen.

**Behörden, Gesetzgeber:** Im Zuge der Recherchen der regulativen Vorgaben zur Aufstellung von Wärmepumpen wurden Behörden eingebunden, da diese anhand der eingereichten Daten entscheiden müssen, ob eine Wärmepumpe eine Betriebsgenehmigung erhält oder nicht. Zudem wurde das Vorgehen bei der Genehmigung sowie mögliche Abhilfemaßnahmen bereits im Zuge der Genehmigung erläutert.

**Wissenschaft:** Die Ergebnisse wurden auf wissenschaftlichen Konferenzen und Workshops, sowie in Zeitschriften veröffentlicht, was zur Sichtbarkeit in der wissenschaftlichen Community beiträgt.

### 6.1.1. Wärmepumpenhersteller und Wärmepumpenkomponentenhersteller

Diese Zielgruppen wurde durch den regen Austausch mit dem Verband Wärmepumpe Austria, dem Newsletter von *Wärmepumpe Austria* und zahlreiche Vorträge bei Fachtagungen und Konferenzen, bei denen die zum jeweiligen Datum vorliegenden Erkenntnisse aus dem Projekt präsentiert wurden, in das Projekt eingebunden (siehe Deliverable D7.1 *Bericht über durchgeführte und besuchte Veranstaltungen*). Bei den genannten Veranstaltungsformaten gab es zahlreiche Gelegenheiten, mit Vertreter:innen dieser Zielgruppen in Kontakt zu treten und die präsentierten Erkenntnisse zu diskutieren. Des Weiteren nahmen zahlreiche Mitarbeiter:innen von Wärmepumpenhersteller an den von AIT und Wärmepumpe Austria in Zusammenarbeit angebotenen Weiterbildungen „Planung, Errichtung und Wartung von Wärmepumpen“ teil, welche mit Aufnahme der Annexaktivitäten um das Weiterbildungsmodul „Akustikplanung bei Wärmepumpen“ erweitert wurden. Auch zur im Herbst 2020, also gegen Ende des Annex, durchgeführten Online-Seminarreihe „Wärmepumpen in MFH und Akustik von Wärmepumpen“ waren Wärmepumpenhersteller herzlich eingeladen. Die

Vorträge der Online-Seminarserie stehen auf der der öffentlichen Disseminations-e-Learning-Seite [Kurs: Public Presentations and Papers ([waermepumpe-weiterbildung.at](http://waermepumpe-weiterbildung.at))] auf der AIT-Lernplattform [www.waermepumpe-weiterbildung.at](http://www.waermepumpe-weiterbildung.at) zum Download zur Verfügung.

### **6.1.2. Akustische Berater:innen**

Zu dieser Gruppe gehören in erster Linie Sachverständige, welche beispielsweise mit der Bewertung von Wärmepumpeninstallationen mit Akzeptanzproblemen in der unmittelbaren Umgebung betraut sind. Aber auch Energieberater:innen, die Endkund:innen zu möglichen Heizsystemen beraten, fallen in diese Zielgruppe. Bei der Einbindung dieser Zielgruppe ist z.B. der Kurstermin der Weiterbildung „Planung, Errichtung und Wartung von Wärmepumpen“, zu erwähnen, der im November 2020 in Zusammenarbeit mit dem Oberösterreichischen Energiesparverband veranstaltet wurde, bei der auch zahlreiche Energieberater:innen des Landes Oberösterreich teilgenommen haben. Auch bei weiteren Kursterminen z.B. am WIFI Salzburg waren immer wieder Energieberater:innen unter den Teilnehmenden.

### **6.1.3. Installateur:innen und Planer:innen von Wärmepumpenanlagen**

Diese Zielgruppen wurden in besonderer Weise in das Projekt eingebunden, da sie am meisten Einfluss auf die Qualität von geplanten und ausgeführten Wärmepumpenheizsystemen haben. Sie sind auch die Hauptzielgruppe der oben genannten Weiterbildung „Planung, Errichtung und Wartung von Wärmepumpen“. Durch die Personenzertifizierungen „Zertifizierter Wärmepumpeninstallateur“ und „Zertifizierter Wärmepumpenplaner“, die alle drei Jahre unter Nachweis absolvierter Weiterbildungen innerhalb der jeweils aktuellen Zertifizierungsperiode erneuert werden muss, besteht eine starke Bindung zum AIT. Auch aus diesem Grund wurde die oben genannte Online-Seminarreihe „Wärmepumpen in MFH<sup>13</sup> und Akustik von Wärmepumpen“ besonders gut von zertifizierten Wärmepumpen-Installateur:innen und -planer:innen besucht.

### **6.1.4. Nationale Entscheidungsträger:innen**

Auch diese Zielgruppen wurden in erster Linie über Fachtagungen und Konferenzen erreicht, bei denen Erkenntnisse aus dem Projekt präsentiert wurden. Bei diesen Veranstaltungen kam es zu interessanten Gesprächen, bei denen die vorgetragenen Erkenntnisse mit Vertreter:innen dieser Zielgruppen diskutiert werden konnten.

Für alle Zielgruppen relevant waren die Veröffentlichung von Projektergebnissen in den Fachzeitschriften „Österreichischer Installateur“ (Artikel „Forschung und Weiterbildung für die Wärmepumpe in der Ausgabe 09/2018) und „HLK - Heizung Lüftung Klimatechnik“ (Artikel „Lärmemissionen reduzieren - AIT-Experten forschen an der Reduktion akustischer Wärmepumpen-Emissionen“ in der Ausgabe 10/2019).

---

<sup>13</sup> Mehrfamilien-Häuser

## **6.2. Relevanz und Nutzen der Ergebnisse**

Die im Zuge der Annex-Aktivitäten laufend neuen Erkenntnisse wurden den Zielgruppen des IEA HPT Annex 51 in kurzen Abständen auf zahlreichen Veranstaltungen und durch etliche Veröffentlichungen kommuniziert. Die Installateur:innen und Haustechnikplaner:innen, welche die oben genannten Weiterbildungen besucht haben, sind sich bei der Planung und Ausführung von Wärmepumpen Ihrer Verantwortung, auf einen geeigneten Schallschutz zu achten, bewusst und führen diese Anlagen entsprechend aus. Dies wirkt sich positiv auf die Akzeptanz und folglich auf die Marktverbreitung von Wärmepumpen aus, die aufgrund der Notwendigkeit des Ausstiegs aus fossilen Technologien unumgänglich ist. Insbesondere Wärmepumpenhersteller konnten in den letzten Jahren auf Fachtagungen und durch regelmäßige Kontakte mit dem Projektteam wichtige Inputs für die Weiterentwicklung Ihrer Wärmepumpen, die Gestaltung der technischen Dokumentation ihrer Produkte und Produktschulungen bekommen. Eine entsprechende Sensibilisierung für das Akustikthema konnte definitiv erreicht werden.

## **6.3. Verwertung der Ergebnisse**

Es gibt zahlreiche konkrete Vorstellungen und Vorhaben zur Übertragung von Projekterkenntnissen in die Gesetzgebung, Normung und die FTI-Politik. Aufgrund der langen Umsetzungszeiträume werden die Erkenntnisse aus diesem IEA HPT Annex 51 erst in einigen Jahren in der Gesetzgebung und Normung umgesetzt sein. An der Definition eines möglichen Folge-Annex unter österreichischer Guidance wird derzeit gearbeitet. Mit dem Beginn der nationalen und internationalen Abstimmungen dazu wird voraussichtlich im ersten Quartal 2022 zu rechnen sein.

# 7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

## 7.1. Fachliche Schlussfolgerungen

Die untersuchten Regularien sind sehr undurchsichtig. Es scheint auch für Hersteller:innen und Planer:innen sehr schwierig zu sein, festzustellen, welche Vorgaben wo gelten. Hier sind Vereinfachungen und Angleichungen auf sowohl nationaler als auch internationaler Ebene dringend notwendig. Problemfälle mit der akustischen Schallabstrahlung treten erst im Betrieb auf bzw. nachdem sich Nachbar:innen beschweren, u.a. auch erst, wenn weitere WP aufgestellt werden – dazu kommen auch psychoakustische Effekte: Einem vorausschauenden Lärmschutz kommt eine besondere Bedeutung zu, da bereits sensibilisierte Personen bei einer nachträglichen Verbesserung des Lärmschutzes die Verbesserung der Situation unter Umständen nicht oder nur zum Teil als solche wahrnehmen. In diesem Sinne kommen auch dem Design und der Platzierung der Wärmepumpen eine bedeutende Rolle zu.

Neben dem Frequenzinhalt ist auch die Richtcharakteristik bei Lärmschutzmaßnahmen äußerst relevant. Ihre Wirkung kann je nach Abstrahlrichtung variieren und die Wahrnehmung beeinflussen. Auf alle Fälle ist die Einschränkung der Information für den Nutzer:innen auf einen einzigen Schallleistungspegel zu gravierend, denn auch die Änderung der akustischen Emissionen durch transiente Vorgänge bleibt dabei unberücksichtigt. In diesem Sinne ist eine umfassendere akustische Messung im Rahmen der Zertifizierungsmessungen von Wärmepumpen, die Frequenzinhalte, Richtcharakteristik und transiente Effekte miteinschließt, sehr zu empfehlen.

Die im Konsortium durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Mittelung der temperaturabhängigen akustischen Emissionen durch die geeignete Wahl des Messpunktes dargestellt werden kann. Damit kommt einem akustischen „aSCOP“ (Acoustic Seasonal Coefficient of Performance) eine große Bedeutung zu. Die Definition eines saisonalen Schallleistungspegels ist ein wichtiges Mittel, um die schalltechnischen Eigenschaften von Wärmepumpen realistischer darzustellen und um einen, für eine Abschätzung der Auswirkung der Wärmepumpe auf die Umgebung repräsentativen Wert zu erhalten. Um zuverlässige Prognosen zu stellen, ist aber die Kenntnis der Richtungsabhängigkeit und des Frequenzinhaltes von entscheidender Bedeutung.

In der ÖNORM EN 12102:2018 wird gefordert, dass die Messung der Schallleistung einer Wärmepumpe erst dann durchgeführt werden darf, wenn sich ein Beharrungszustand für 30 Minuten (bzw. 10 Minuten nach einem Enteisungsvorgang) eingestellt hat. In diesem Zeitraum dürfen sich die Betriebsbedingungen nur in geringem Maße ändern. Im Zuge der Vereisung ändern sich jedoch Vorlauf- und Rücklauf-temperatur. Daher stellt sich während der Vereisung kein Beharrungszustand ein. Gleichzeitig kommt es im Zuge der Vereisung zu einer signifikanten Erhöhung der Schallleistung. Es ist daher zu hinterfragen, ob eine Messung nach ÖNORM EN 12102:2018 die maximale Schallleistung einer Wärmepumpe erfasst.

Die Ergebnisse aus früheren Studien aber auch aus der aktuellen Studie zeigen, dass neben dem A-gewichteten Pegel weitere akustische, bzw. psychoakustische Parameter wie Lautheit, Rauigkeit

und Schärfe die Lästigkeitswahrnehmung beeinflussen. Allerdings gibt es nicht einen einzelnen Parameter, mit dem sich die Wahrnehmung erklären lässt, sondern es zeigt sich, dass die Kombination mehrerer Parameter, allen voran Lautheit, Rauigkeit und Schärfe, entscheidende Verbesserungen bei der Beschreibung der Lästigkeit bringen kann. Weiters zeigt sich, dass die Richtungsabhängigkeit einen entscheidenden Einfluss auf die Lästigkeitsurteile hat. Daraus folgt, dass die Aufstellung einer Wärmepumpe ein wichtiges Thema ist und einen Einfluss auf die Wahrnehmung der Lästigkeit hat.

Im Deliverable D7.4 sind mehrere Leitfäden ausgeführt. Diese enthalten wertvolle Materialien zu Lärmstehung (bedeutendste Komponenten), Lärmverteilung, Berechnungsmodellen, Lärminderung, guter Installation, akustischen Dämpfungseinrichtungen sowie Rohrleitungen und Luftnetze. Sie fließen in die Schulungen ein, die kontinuierlich für Wärmepumpen-Installateur:innen abgehalten werden.

## 7.2. Weiterführende Aktivitäten

Im Rahmen der Arbeiten haben sich mehrere Stoßrichtungen herauskristallisiert. Insbesondere kommt der Platzierung der Wärmepumpen eine sehr wichtige Rolle zu. Dies inkludiert sowohl die Schulung der entsprechenden Installationsausführenden als auch die Bereitstellung von innovativen Tools zur Unterstützung der Umsetzungsentscheidung im Einzelfall. Weiters zeigte sich, dass richtungs- und frequenzabhängige Informationen zur Schallabstrahlung von Wärmepumpen eine wesentliche Voraussetzung für die Etablierung von innovativen Berechnungsmethoden sind – es erscheint daher günstig, diese Größen bei den üblichen Messungen zur Erlangung der Zertifizierungen mit zu erfassen.

Im Zuge der Tätigkeiten im nationalen und internationalen IEA HPT Annex 51, sowie Anfragen seitens der Industrie haben sich mehrere Themenfelder geöffnet, die in einem Nachfolge-Annex Betrachtung finden sollten. Dies sind insbesondere:

- Feld 1: Akustik von Wärmepumpenfeldern – optimale Aufstellung unter Berücksichtigung von Bildung von Kälteseen in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und -Geschwindigkeit)
- Feld 2: Akustik von Großwärmepumpen im industriellen Kontext
- Feld 3: Ausbreitung von Luft- und Körperschall im Innenraum, ausgehend von innenaufgestellten Wärmepumpen
- Feld 4: Schallemission von am Dach aufgestellten Wärmepumpenaußeneinheiten und Einfluss auf die Umgebung unter Berücksichtigung psychoakustischer Effekte
- Feld 5: Tiefergehende Untersuchung der Tonalität der Geräte, da bestimmte Frequenzbänder nicht bewertet werden – so können sich für die gleichen Geräte unterschiedliche Resultate in unterschiedlichen Laboren ergeben, was Verwirrung stiftet: Obwohl ausgewählte Geräte messtechnisch leiser sind, werden sie lauter empfunden.
- Feld 6: Weiterführende Untersuchung der Richtungsabhängigkeit und Etablierung eines Akustik SCOP (aSCOP)
- Feld 7: Verfeinerung der Messtechnik durch Korrelation von zeitgleich gemessener Strömungsgeschwindigkeit, Akustik und Vibrationssignalen



- Feld 8: Digital unterstützte Platzierung von Wärmepumpen (dazu läuft das Forschungsprojekt Residential Area Augmented Reality Acoustics - RAARA, FFG Nr. 873588)

Erste Entwürfe eines solchen Nachfolge–Annex, der spezielle akustische Fragestellungen in spezifischen Anwendungsfällen untersuchen soll, werden derzeit erstellt und mit dem bestehenden internationalen Annex 51-Konsortium sowie weiteren interessierten Ländern noch im laufenden Jahr 2021 diskutiert. Start eines solchen Annex 51+ könnte bereits im Jänner 2023 sein.

### **7.3. Empfehlungen für FTI Politik**

Wärmepumpen sind ein wesentliches Element für eine zukünftige ökologischere Wärmebereitstellung sowohl für Warmwasser als auch zum Heizen. Um die weitere Verbreitung zu forcieren, sollten Wärmepumpen auch hinsichtlich akustischer Parameter optimiert werden. Ebenso sollte es in der Gesellschaft zu einer Bewusstseinsbildung bezüglich Schallemissionen kommen, sodass per se nicht jede Aufstellung einer Wärmepumpe von den Nachbar:innen bereits im Vorhinein als unerwünschte und störende Schallquelle gesehen wird. Für die weitere Verbreitung von Wärmepumpen sind Investitionsförderungen, sowie Signale notwendig, welche die Nutzung fossiler Energieträger (Öl, Gas, etc.) weniger attraktiv machen.

Insbesondere der Planungsebene und somit der Platzierung der Wärmepumpen kommt große Bedeutung zu. Dazu zählt die Optimierung von Wärmepumpenfeldern und Positionierung von Großwärmepumpen ebenso wie die digital unterstützte Visualisierung der Schallemissionen, die zur Findung einer optimalen Position herangezogen wird. Mit dem Ersatz von konventionellen Heizsystemen wie Gasthermen in der Renovierung durch Wärmepumpen wird auch eine intensive Auseinandersetzung mit der Schall- und Schwingungsausbreitung in Gebäudeinnenräumen notwendig. Der psychoakustischen Behandlung dieser Emissionen kommt dabei eine wichtige Rolle zu, die Tonalität, Richtcharakteristik, Frequenzabhängigkeit und die Behandlung von transienten Effekten miteinschließen muss. Für die Bewertung und damit einem seriösen Vergleich von Systemen scheint eine weiterführende Analyse eines akustischen SCOP wesentlich. In diesem Sinne ist auch die geforderte Messtechnik bei Wärmepumpenmessungen im Labor anzupassen, um die relevanten Daten zu erfassen.

Abschließend wird angeregt, die Weiterführung der Arbeiten mit Fokus auf die Behandlung tiefergehender, spezieller akustischer Fragestellungen bei Wärmepumpen in einem Nachfolge-Annex zu unterstützen.

## Literaturverzeichnis

- CadnaA, Computer Aided Noise Abatement, DataKustik,  
<https://www.datakustik.com/products/cadnaa/cadnaa> (abgerufen am 12.12.2019).
- Cercle Bruit, 2016. Lärmtechnische Beurteilung von Heizungs- Lüftungs- Klima und Kälteanlagen, Solothurn.  
[http://www.cerclebruit.ch/enforcement/6/622\\_CB.pdf](http://www.cerclebruit.ch/enforcement/6/622_CB.pdf) (abgerufen am 12.12.2019).
- Fidell, 2007, S. Fidell, "Noise-Induced Annoyance," in Handbook of Noise and Vibration Control, Hoboken, New Jersey, John Wiley and Sons, 2007, pp. 316-319.
- Forum Schall, 2013: Informationsblatt zum Lärmschutz im Nachbarschaftsbereich von Luftwärmepumpen, Wien.  
[https://www.lea.at/download/Richtlinien2018/Info\\_LWP\\_2013\\_ForumSchall.pdf](https://www.lea.at/download/Richtlinien2018/Info_LWP_2013_ForumSchall.pdf) (abgerufen am 12.12.2019).
- Land Steiermark, 2017: Förderung von innovativen Heizsystem-Wärmepumpen, Amt der Steiermärkischen Landesregierung Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik FA Energie und Wohnbau - Sanierung und Ökoförderung, Graz  
[https://regionalenergie.at/images/Richtlinien\\_W%c3%a4rmepumpen\\_2017.pdf](https://regionalenergie.at/images/Richtlinien_W%c3%a4rmepumpen_2017.pdf) (abgerufen am 15.12.2019)
- Immi, Firma Wölfel Messsysteme GmbH, <https://www.immi.eu/en/>
- Kasess et. al., 2017, C. Kasess, P. Majdak, T. Maly and H. Waubke, "The relation between psychoacoustical factors and annoyance under different noise reduction conditions for railway noise," J. Acoust. Soc. Am., vol. 141, pp. 3151-3163, 2017.
- Kasess et. al., 2020, C. H. Kasess, C. Reichl, H. Waubke and P. Majdak, "Perception Rating of Acoustic Emissions of Heat Pumps," in Forum Acusticum, Lyon, 2020.
- Kopatsch & Doppler, 2014: Kopatsch, S., Doppler, A., 2014. Leitfaden zur Akustik von Luft-Wasser Wärmepumpen. Verband Wärmepumpe Austria, Linz.
- Lärmschutznachweis Schweiz, Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS,  
<https://www.fws.ch/laermschutznachweis/>
- LSV, 2016. Lärmschutzverordnung. Der Schweizer Bundesrat, Bern.
- MITHRA-SIG, Acoustic Mapping Software, <http://www.ingeniasrl.it/english/software.html>
- Nilsson et. al., 2008, M. Nilsson, M. Andehn and P. Lesna, "Evaluating roadside noise barriers using an annoyance-reduction criterion," J. Acoust. Soc. Am., vol. 124, pp. 3561-3567, 2008.
- Noise3D, Calculation of sound propagation and noise mapping outdoor for industrial and urban development, <https://noise3d.com/wp/>
- ÖAL-Richtlinie Nr. 3 Blatt 1:2008, 01.03.2008. Beurteilung von Schallimmissionen im Nachbarschaftsbereich. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.  
[http://www.oenal.at/images/rl\\_downloads/rl\\_3\\_bl1\\_2008.pdf](http://www.oenal.at/images/rl_downloads/rl_3_bl1_2008.pdf) (abgerufen am 12.12.2019).
- ÖNORM EN 12102-1:2018, 01.01.2018. Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen, Prozesskühler und Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Bestimmung des Schallleistungspegels: Teil 1: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen zur Raumbeheizung und -kühlung, Entfeuchter und Prozesskühler. Austrian Standards Institute, Wien.

ÖNORM EN 14511-2:2018, 15.04.2018. Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern: Teil 2: Prüfbedingungen. Austrian Standards plus GmbH, Wien.

ÖNORM EN 14825:2019, 15.06.2019. Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung — Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der jahreszeitbedingten Leistungszahl. Austrian Standards plus GmbH, Wien.

ÖNORM ISO 9613-2:2008, 01.07.2008. Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Austrian Standards Institute, Wien.

ÖNORM S5021:2010, 01.04.2010. Schalltechnische Grundlagen für die örtliche und überörtliche Raumplanung und -ordnung. Austrian Standards Institute, Wien.

Olive Tree Lab Suite, Version 4.0. <https://www.mediterraneanacoustics.com/olive-tree-lab-suite.html>

OpenPSTD (2016). OpenPSTD, Version V2, Open Source. [Online]: [http://cordis.europa.eu/project/rcn/104345\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/104345_en.html) (November 6, 2016)

Person et. al., 2001, K. Person Waye and R. Rylander, "The prevalence of annoyance and effects after long-term exposure to low-frequency noise," Journal of Sound and Vibration, vol. 240, pp. 483-497, 2001.

Richtlinie 2002/49/EG, 2002, Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm - Erklärung der Kommission im Vermittlungsausschuss zur Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm

Richtlinie 2015/996, 2015, Richtlinie 2015/996 der Kommission vom 19. Mai 2015 zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates

SoundPlan, <https://www.soundplan.eu/en/>

USG, 2017. Bundesgesetz über den Umweltschutz. Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Bern.

Richtlinie 2009/125/EG, 2009, 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 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0125>

Schallrechner Deutschland, Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., <https://www.waermepumpe.de/schallrechner/>

Schallrechner, Österreich, Schallimmissionen von Luft / Wasser Wärmepumpen, <https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>

Stoejbjergner, Denmark, Danish Energy Agency, Dänemark - <http://stoejbjergner.ens.dk>

Wandinger, 2012, Lehrveranstaltung Akustik, Version 5.2, [https://wandinger.userweb.mwn.de/LA\\_Akustik/v5\\_2.pdf](https://wandinger.userweb.mwn.de/LA_Akustik/v5_2.pdf)

Weiterführende Literaturverzeichnisse finden sich in den jeweiligen (frei verfügbaren) nationalen (in deutscher Sprache) und internationalen (in englischer Sprache) Deliverable-Dokumenten, abrufbar unter [Webseite des internationalen IEA HPT Annex 51](#).

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Partnerländer mit Kontaktpersonen und jeweils leitendem Institut des Landes.....	11
Tabelle 2: Taskuntergliederung des internationalen IEA HPT Annex 51.....	12
Tabelle 3: Projektziele des nationalen IEA HPT Annex 51.....	16
Tabelle 4: Eingesetzte Methoden im nationalen IEA HPT Annex 51.....	17
Tabelle 5: Deliverables auf Taskebene in nationalen IEA HPT Annex 51 .....	19
Tabelle 6: Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Aufstellung (Kopatsch & Doppler, 2014).....	30
Tabelle 7: Deliverables auf Taskebene im internationalen IEA HPT Annex 51 (deutsche Übersetzung der Titel) .....	38
Tabelle 8: Konferenzen mit Bezug zu IEA HPT Annex 51 mit Veranstaltungsdatum und Autoren .....	39
Tabelle 9: Acoustics of Heat Pumps, Workshop at ICR2019, Montreal, Canada .....	42

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einfache webbasierte Berechnungstools aus Österreich (Schallrechner, Österreich) (links), Deutschland (Schallrechner, Deutschland) (mitte) und der Schweiz (Lärmschutznachweis, Schweiz) (rechts). .....	28
Abbildung 2: Zweidimensionale Visualisierung von Schalldruckpegeln (Stoejberegner, Denmark).....	28
Abbildung 3: Augmented Reality und akustische App .....	29
Abbildung 4: Schallfeldemissionsstudien mit Mehrfach-Wärmepumpen .....	30
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Problemfalls „Aufstellung am Hausdach“ .....	31
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Problemfalls „Schalldämmung durch Bewuchs“ .....	31
Abbildung 7: Mittelwert und Standardfehler der logarithmierten Lästigkeitsurteile als Funktion des Betriebszustandes und der Position. Die linke Spalte enthält die Daten aus Österreich, die rechte Spalte jene aus Schweden .....	34

## Abkürzungsverzeichnis

ACA	Akustik Center Austria
AFD	Akustik Forschung Dresden
AIT	Austrian Institute of Technology
ANC	Active Noise Cancelling (Aktive Störschallunterdrückung)
AP	Arbeitspaket
aSCOP	Acoustic Seasonal Coefficient of Performance (akustische saisonale Leistungszahl)
COP	Coefficient of Performance (Leistungszahl)
BEM	Methode der Randelemente (Boundary Element Method)
FEM	Methode der Finiten Elemente (Finite Element Method)
D	Deliverable
D-A-CH	Deutschland-Österreich-Schweiz
EBC	Energy in Building and Communities Programme (Energie in Gebäuden und Kommunen)
EHPA	European Heat Pump Association
F&E	Forschung und Entwicklung
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
DHC	District Heating and Cooling Programme (Fernwärme und -Kälte)
HLK	Heizung-Lüftung-Klimatechnik
HPT	Heat Pump Technology (Wärmepumpentechnologie)
IEA	International Energy Agency (Internationale Energieagentur)
IETS	Industrial Energy-Related Technologies and Systems (Industrielle Energietechnologien und Systeme)
LDEN	Day-Evening-Night-Level
LSV	Lärmschutz-Verordnung
LVM	Laservibrometer
L-WP	Luft-Wärmepumpe
L/W-WP	Luft-Wasser-Wärmepumpe
MFH	Multi Family House (Mehrfamilienhaus)
OA	Operating Agent
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften

SCOP	Seasonal Coefficient of Performance (Saisonale Leistungszahl)
THG	Treibhausgas
TUW	Technische Universität Wien
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz
VR/AR	Virtual Reality / Augmented Reality
WIFI	Wirtschaftsförderungsinstitut
WP	Wärmepumpe

A large, light blue geometric shape, resembling a right-angled triangle or a trapezoid, is positioned on the right side of the page. It has a vertical right edge and a horizontal top edge, with a diagonal line connecting the top-left corner to the bottom-right corner.

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,  
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)