

# Innovative Akustik-Gadgets für die Praxis und die dafür benötigten HighTech- Messverfahren

aus dem **IEA HPT Annex 51**

*30.09.2020, 16:00 – 17:00*



Acoustic Signatures  
of Heat Pumps

IEA HPT

Annex **51**

Ch. Reichl, J. Emhofer, P. Wimberger, F. Linhardt, N. Schmidbauer,  
G. Drexler-Schmid, B. Blank-Landeshammer, A. Sporr, C. Köfinger, T. Fleckl



# INHALT

- 1 Einleitung & Motivation
- 2 Akustische Gadgets
- 3 High-Tech Messverfahren
- 4 Der internationale IEA HPT Annex 51
- 5 Akustische Messungen im mehreren Laboratorien
- 6 Zusammenfassung und Ausblick

# 1 EINLEITUNG & MOTIVATION

WAS ERWARTET SIE IN DIESER PRESENTATION?



# EINLEITUNG & MOTIVATION

„Insbesondere Luft/Wasser-Wärmepumpen spielen eine wichtige Rolle um die **Klimaziele** zu erreichen..“

“**Schallemissionen** haben das Potential, das notwendige Marktwachstum zu verlangsamen.“



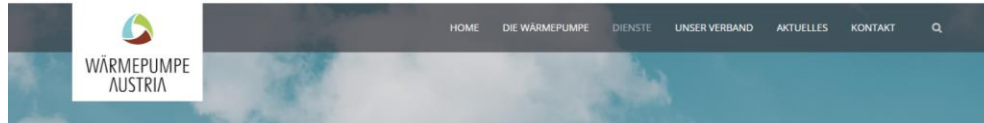
# 2 AKUSTISCHE GADGETS

Schallrechner, 2D Visualisierung und HVAC positioner



# SCHALLRECHNER & 2D VISUALISIERUNG

<http://stoejberegner.ens.dk/>






## Schall-Rechner

Der Schallrechner ermöglicht die Abschätzung der Schallimmissionen von Luft-/Wasser-Wärmepumpen in Anlehnung bestehender Richtlinien und Normen zu den Nachtstunden bzw. Zeiten erhöhter Empfindlichkeit (22:00 Uhr - 06:00 Uhr). Dieses Online-Tool entstand in Zusammenarbeit mit Sachverständigen und Experten aus den Bereichen Forschung, Akustik und Wärmepumpentechnik. Die Berechnung ermöglicht die Ermittlung der Lärmimmissionen an schutzbedürftigen Räumen (maßgebliche Immissionsorte), auf angrenzenden Grundstücken bzw. des notwendigen Abstands der Wärmepumpe.

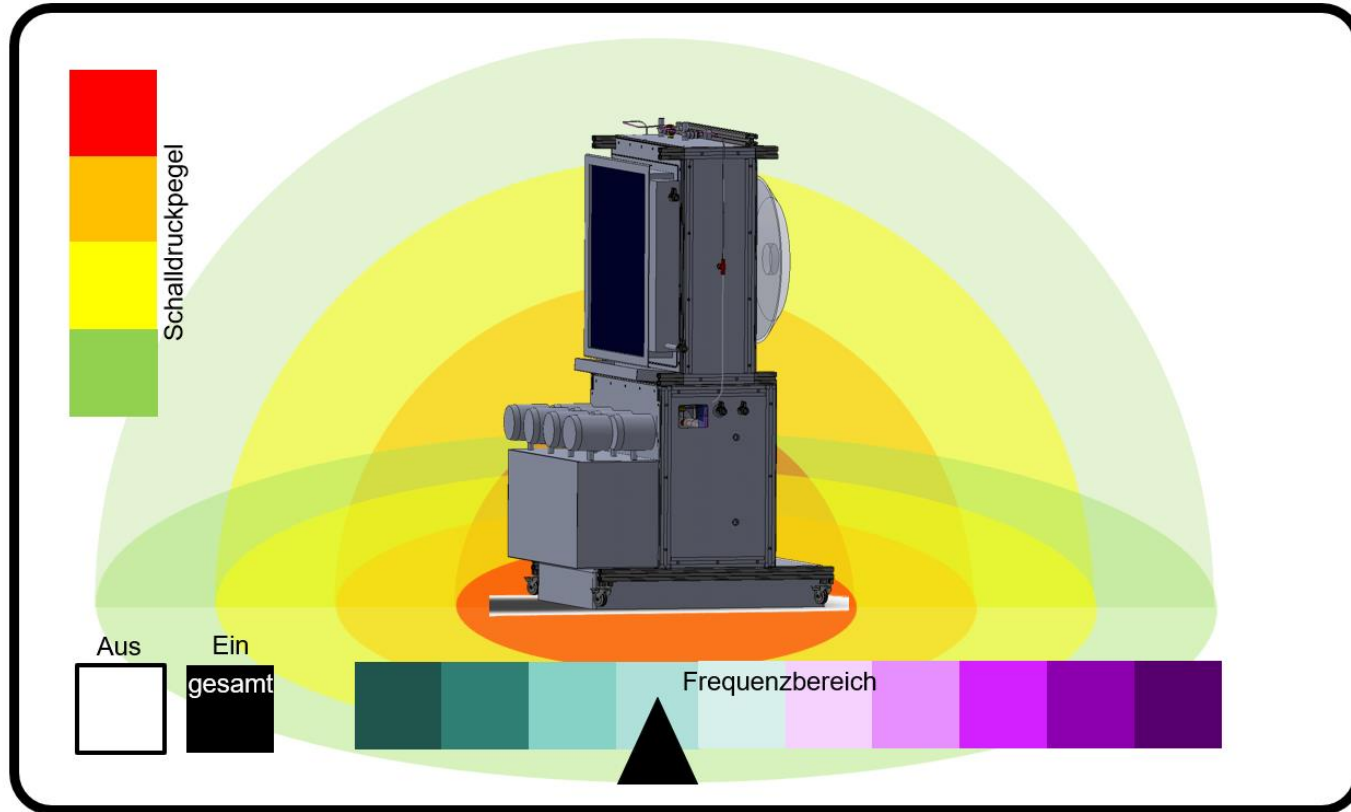
Das Ergebnis dieser Berechnung dient als Unterstützung bei der Planung von Luft-/Wasser-Wärmepumpen und kann im Falle eines Nachbarschaftstreits kein individuelles Schallgutachten ersetzen. Bei sämtlichen Gerätedaten handelt es sich um Herstellerangaben, die Verantwortung für die Richtigkeit liegt beim jeweiligen Unternehmen bzw. beim planenden Unternehmen. Aus reduziertem Betrieb - dieser ist mittels Abschlagwert anzugeben - kann eine Leistungsreduzierung der Wärmepumpe resultieren.

## Downloads

- FAQ (PDF) (135,9 KiB) 
- Infoblatt (PDF) (126,5 KiB) 
- Kurzanleitung (PDF) (158,8 KiB) 

<https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>

# VIRTUAL / AUGMENTED REALITY



Microsoft HoloLens

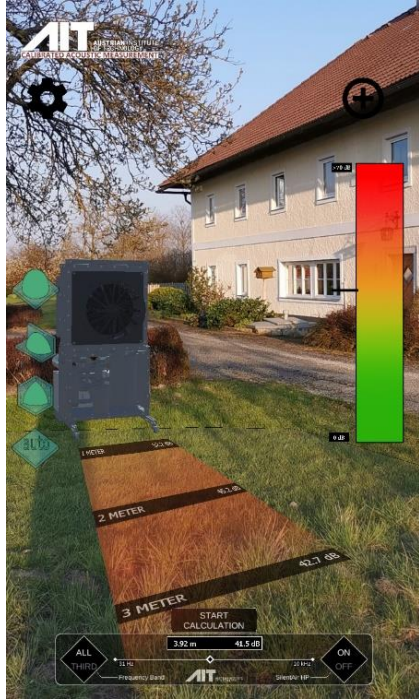


Sam Rutherford/Gizmodo





# AUGMENTED REALITY / 5 KANAL MESSUNG



*Der Laborwärmepumpenprototyp SilentAirHP wird virtuell in eine reale Welt eingeblendet und die Schallemissionen werden sichtbar gemacht (links); 5-Kanal Messsystem zur Generierung der Datenbasis für die Aurealisierung der Wärmepumpen in der Augmentend Reality App.*



# HVAC POSITIONER ENTWICKLUNG



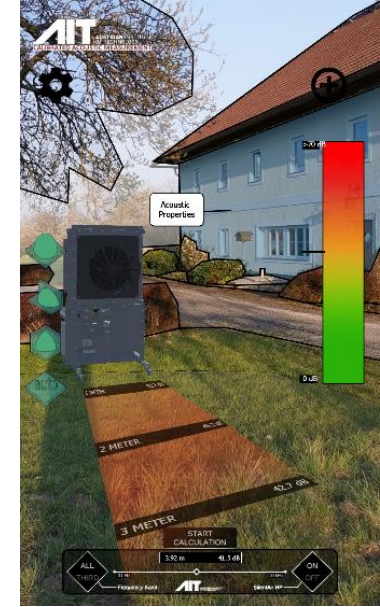
(a)



(b)



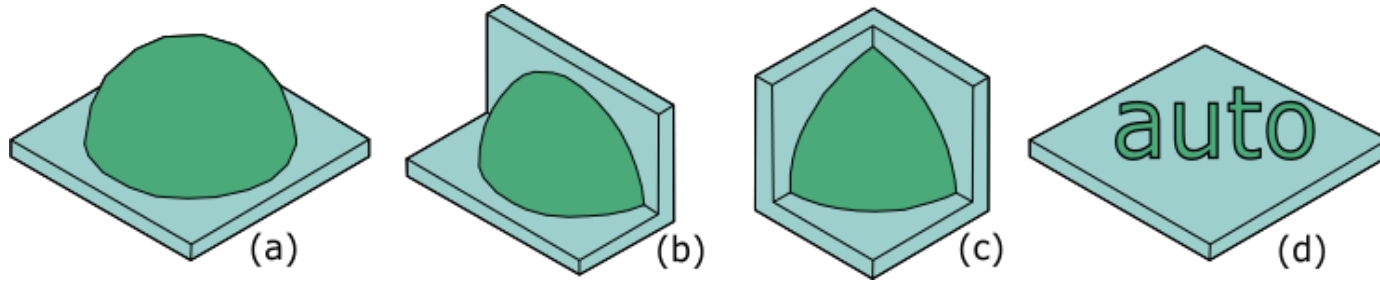
(c)



(d)

Die Entwicklung der App während des RAARA-Projekts. (a) zeigt das Live-Bild der mobilen App mit eingebauter Tonquelle. (b) zeigt den identifizierten Boden und die nicht identifizierten anderen sichtbaren Elemente. In (c) wurde eine Wand eingefügt, um die nicht identifizierte Hauswand auszugleichen. (d) zeigt einen Teil der am Ende des Projekts implementierten Funktionen.

# HVAC POSITIONER // REFLEKTIONEN



*Berechnung der Schallausbreitung mit verschiedenen Optionen bezüglich der Umgebung:  
(a) Freifeld mit Bodenebene; (b) entlang einer Wand; (c) in einer Ecke; (d) automatische Erkennung  
der Umgebungsgeometrie für die Simulation*

# MESSUNGEN MIT DER INTENSITÄTSSONDE

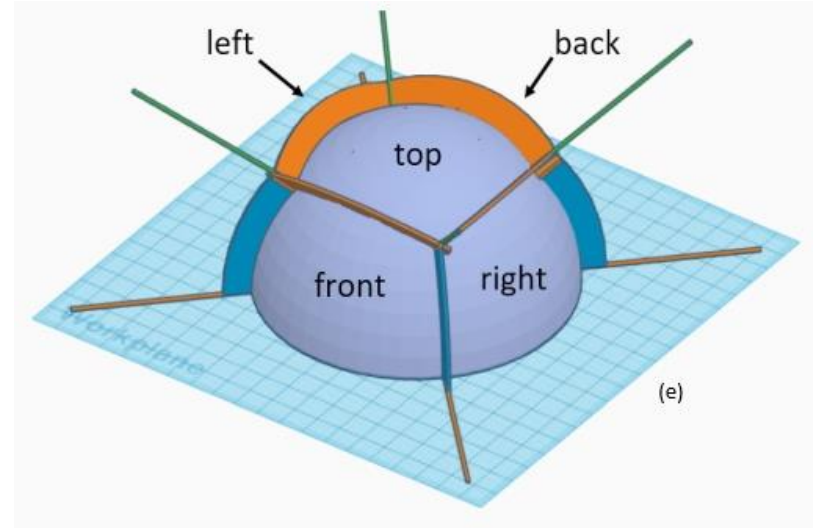
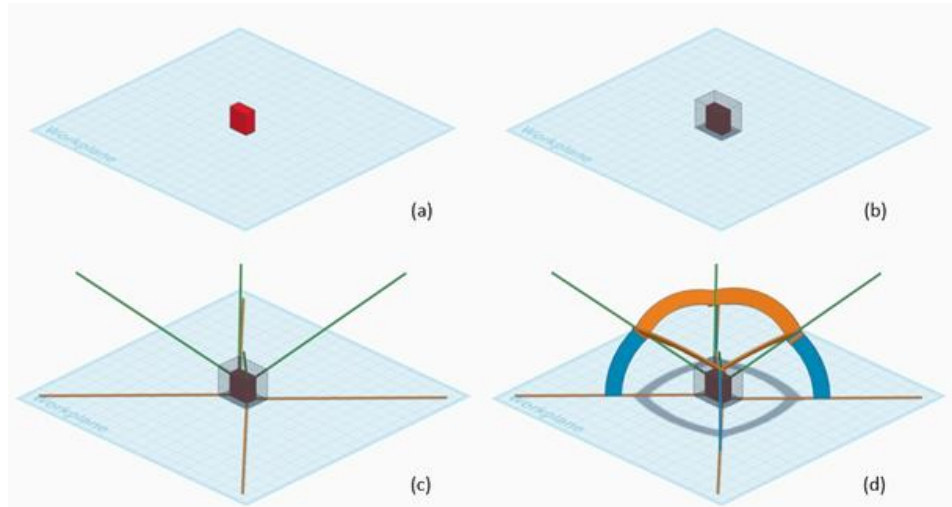
	Top	Right	Left	Back	Front	Total
50	22.0	26.8	29.6	29.0	40.8	41.6
63	20.7	-15.3	22.8	27.1	-25.8	
80	32.4	33.9	30.5	34.1	33.6	40.1
100	32.2	32.9	32.1	36.7	36.5	41.6
125	41.4	40.6	39.5	45.6	41.8	49.3
160	39.5	35.9	37.6	42.5	43.2	47.6
200	43.3	40.5	41.1	45.0	44.7	50.2
250	45.6	42.6	42.4	46.7	46.9	52.2
315	52.2	47.4	50.7	51.1	55.1	58.9
400	47.7	45.9	47.0	49.1	50.8	55.4
500	47.1	44.4	45.1	48.5	50.5	54.7
630	49.1	44.4	46.1	48.4	51.9	55.7
800	52.3	49.2	48.9	52.6	53.7	58.7
1000	50.4	46.7	48.1	50.8	52.7	57.2
1250	49.5	45.0	46.8	48.9	52.0	56.1
1600	48.0	44.2	45.9	47.1	51.7	55.1
2000	46.0	42.9	45.1	46.4	50.4	53.9
2500	44.9	41.2	43.4	45.2	48.8	52.4
3150	43.4	40.2	41.9	45.7	47.0	51.3
4000	40.5	37.2	39.2	42.9	44.4	48.6
5000	37.5	34.1	36.2	40.1	41.2	45.5
6300	34.5	32.9	33.2	38.5	38.3	43.1
Overall	59.9	56.4	57.8	60.3	62.6	66.9

Sound power level [dB(A)]

*Intensitätsmessung mit der Scan-Technik:*

*A-bewerteter Schallleistungspegel in dBA (EN 14511, A7W35)*

# BERECHNUNG SCHALLDRUCKPEGEL



*Visualisierung der Technik zur Aurealisierung der Richtwirkung: (a) der rote Kasten stellt die schallabstrahlende HLK-Komponente (z.B. Wärmepumpe) dar; (b) der Schalldruck wird in einem bestimmten Abstand zu den abstrahlenden Flächen an 5 Stellen aufgezeichnet - es entsteht eine Messfläche; (c) es werden Strahlen erzeugt, die die Ecken des Emitters mit den Ecken der Messfläche verbinden; (d) Teile der durch diese Strahlen gestreckten Ebenen schneiden sich mit einer Kugel; (e) endgültige Visualisierung der 5 Teile der Halbkugel, die den 5 Mikrofon-Messpositionen zugeordnet sind.*

# HVAC POSITIONER APP IM WEB

## APP zur optischen und akustischen Positionierung von Heiz- und Kühlgeräten

*Wärmepumpen sind die erste Wahl, wenn es darum geht, Heizkosteneinsparung und umweltschonende Wärmeerzeugung zusammenzubringen. Ihre Anschaffung ist jedoch eine langfristige Entscheidung und bedarf einer genauen Planung. Der HVAC Positioner ist die erste und einzige App, die Augmented Reality nutzt, um eine Wärmepumpe in einer realen Umgebung zu platzieren. Die implementierte Echtzeit-Schallausbreitungsberechnung erlaubt es, das System (Wärmepumpe oder Kältesystem) perfekt nach den aktuellen Vorschriften und persönlichen Vorlieben zu positionieren. Das AIT Austrian Institute of Technology hat eine Methode entwickelt, um die Lärmemissionen der Bevölkerung in städtischen Gebieten zu minimieren. Diese Methoden ermöglichen eine einfache, intuitive und gleichzeitig präzise Handhabung der Schallemissionen und werden im APP des HVAC Positioners eingesetzt.*

Die Vorteile des HVAC-Positionierers auf einen Blick:

- Integration der Wärmepumpe / Kühleinheit in jede Umgebung
- Die Geräuschentwicklung kann visuell dargestellt werden
- Laufende Entwicklung der Anwendung
- Kontinuierliche Aktualisierung der Datenbank und der Gerätetypen
- Verfügbar in iOS und Playstore - Endgerät (Tablet, Handy) muss Augmented Reality unterstützen

APP im Playstore: [HVAC Positioner](#)

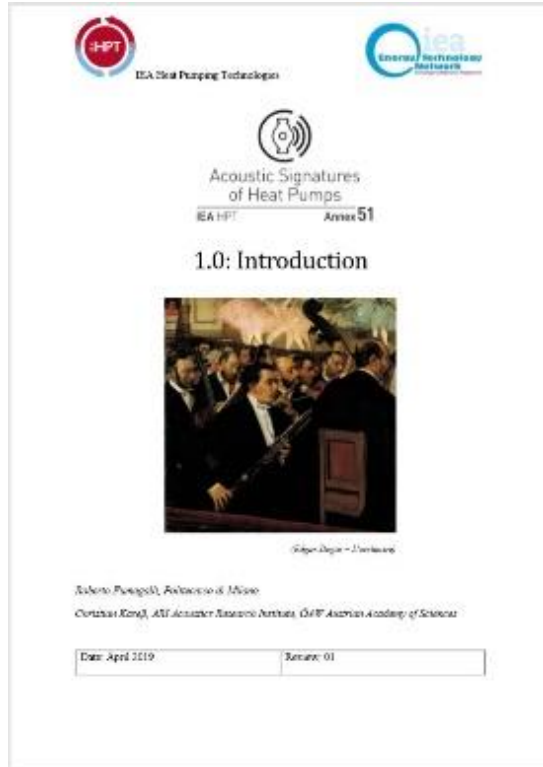
APP im iOS store: [iOS HVAC Positioner](#)



# 3 HIGH TECH MESSVERFAHREN

AKUSTISCHER DOM, SCHALLQUELLENLOKALISATION,  
KORRELIERTE MESSUNG STRÖMUNG-AKUSTIK-VIBRATION





- Introduction
- What is acoustics?
- Spherical propagation
- Directivity of sound sources
- Wind- and temperature effects
- Sound Absorption in air
- Reflection, diffraction and transmission
- Heat pump case
- Psychoacoustics





IEA Heat Pumping Technology

IEA HPT

Acoustic Signatures  
of Heat Pumps

IEA HPT Area 51

1.1: Measurement techniques

*(From a study of Federico de Montebello)*

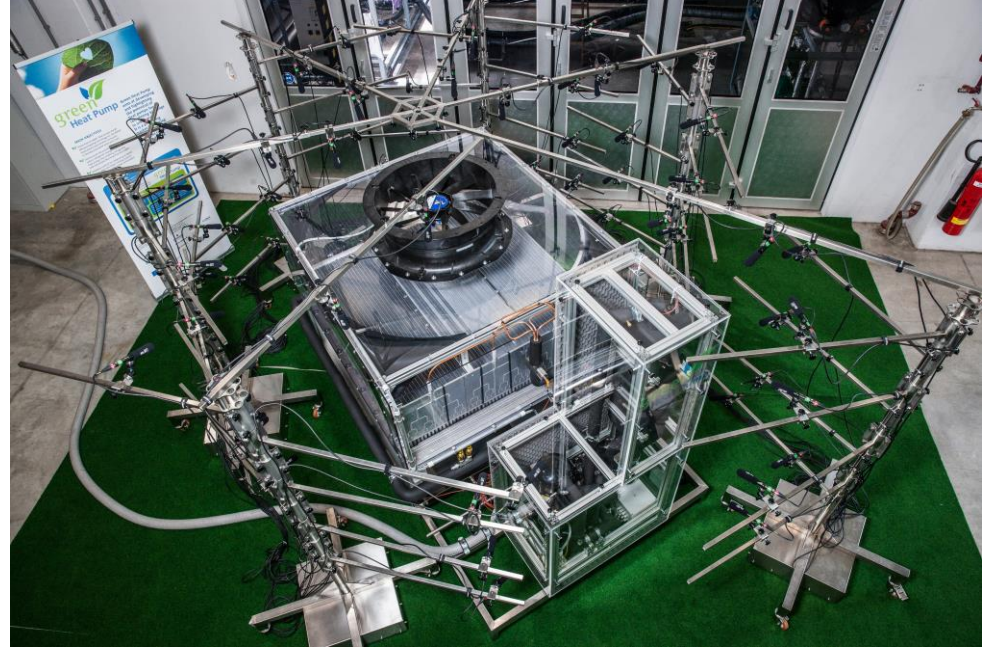
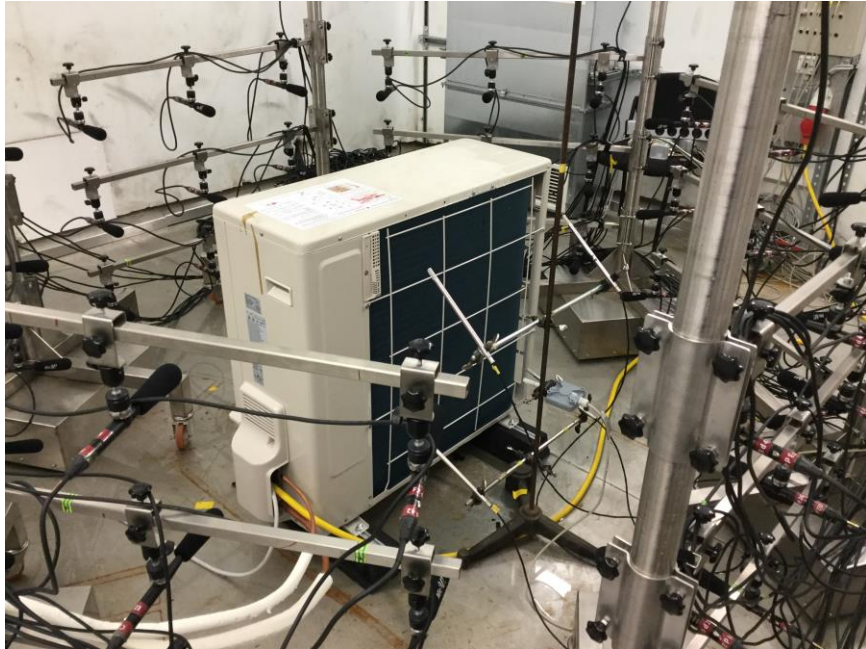
Klaus Frennau, Director of Infineon Power Systems, Infineon Technologies AG  
Stefan Brunnbauer, PhD, Faculty of Civil Engineering, Institute of Mechanical Engineering, TU Wien  
Christian Karger, AIT Austrian Institute of Technology, OAW Austrian Academy of Sciences

Date: April 2014

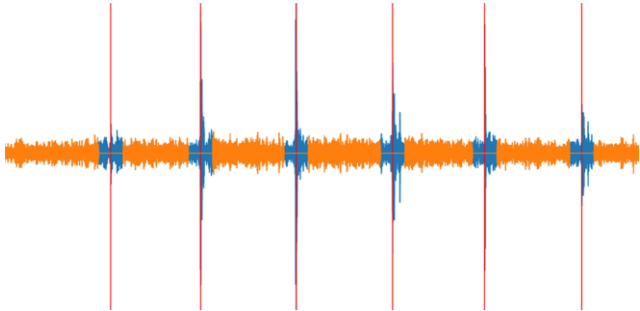
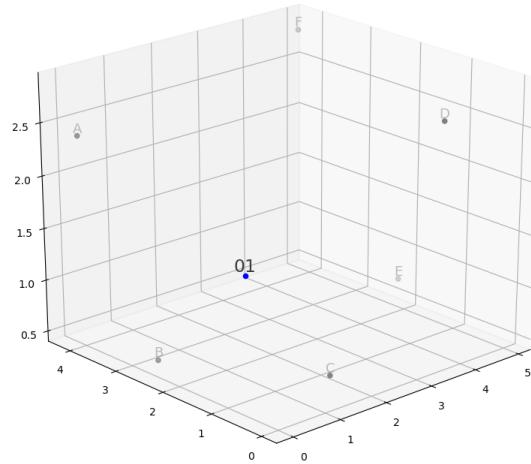
Revision: 11

- Introduction
- Instrumentation (Fonometers, Mikrophones, Calibrators, Intensity probes, Arrays)
- Frequency Response, Dynamic Range, Directivity
- Measurement methods (sound pressure, sound power, acoustic mapping, psychoacoustic investigations)

# AKUSTISCHER „DOM“

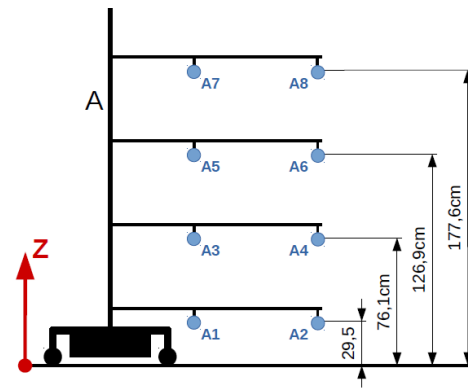
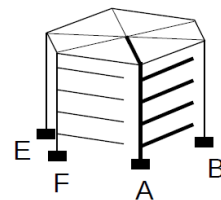
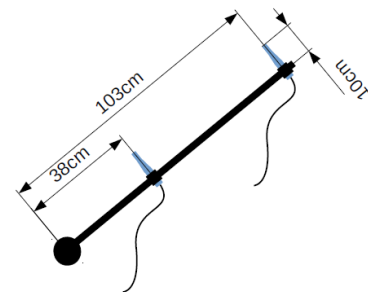
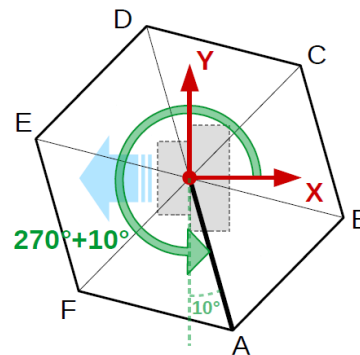


# AUTOMATISIERTE BERECHNUNG DER MIKROFONPOSITIONEN

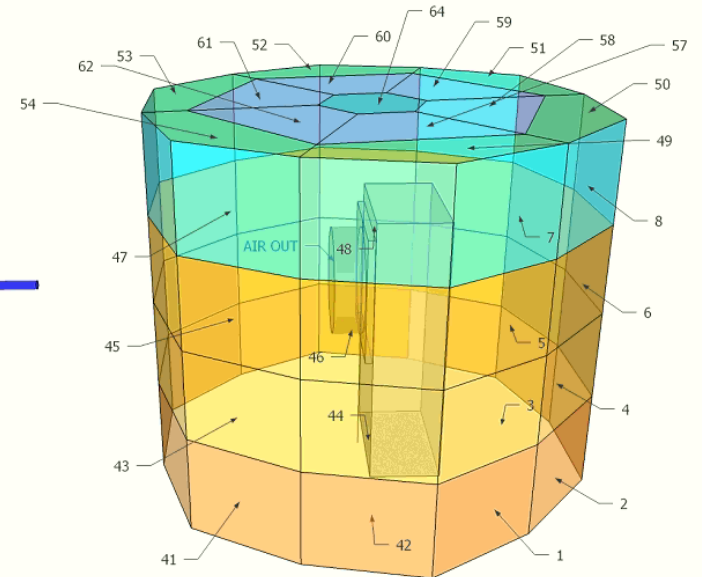
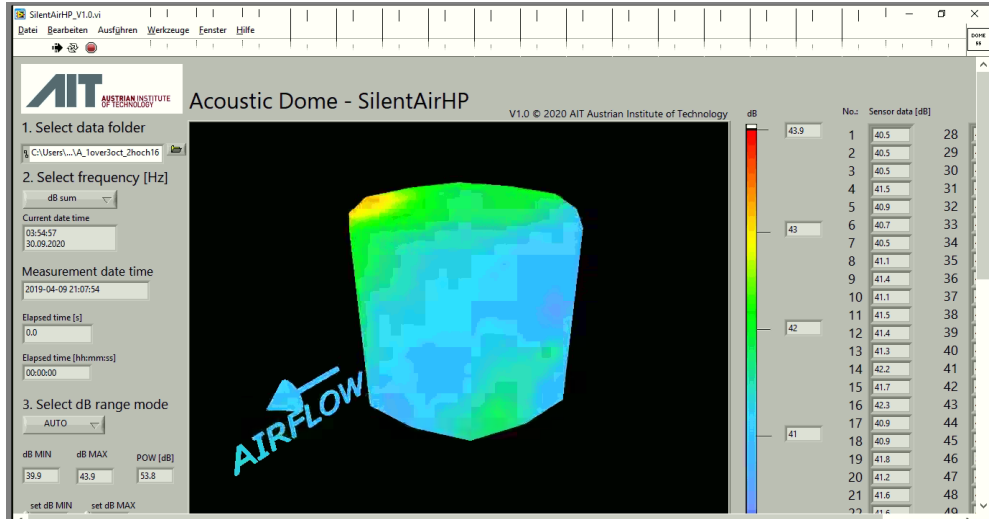




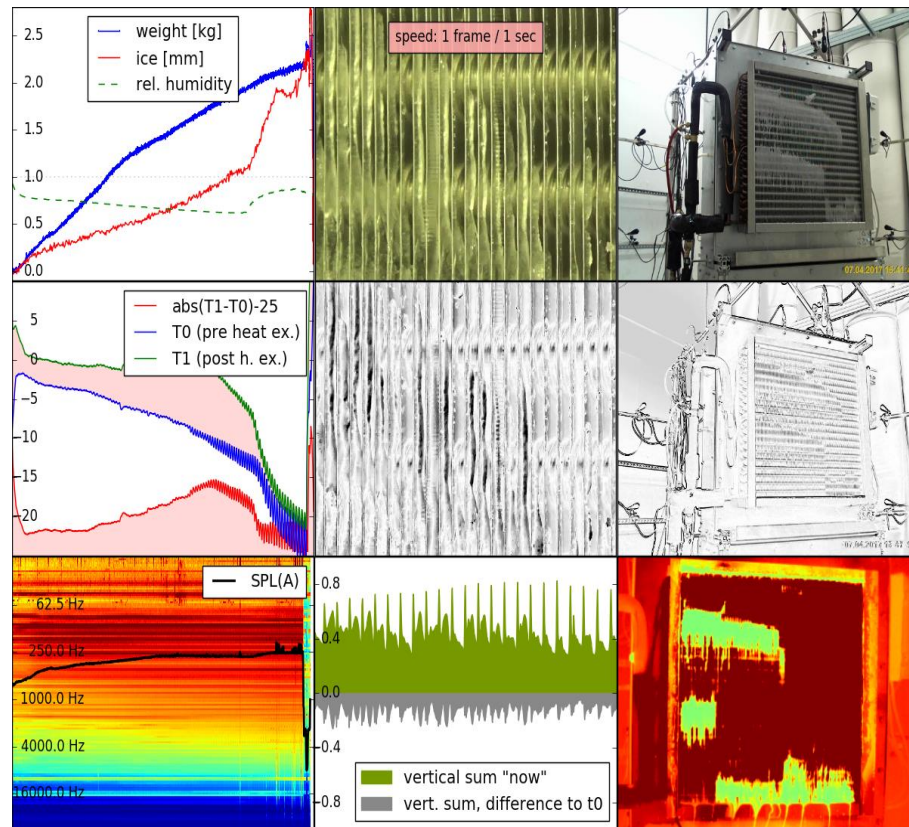
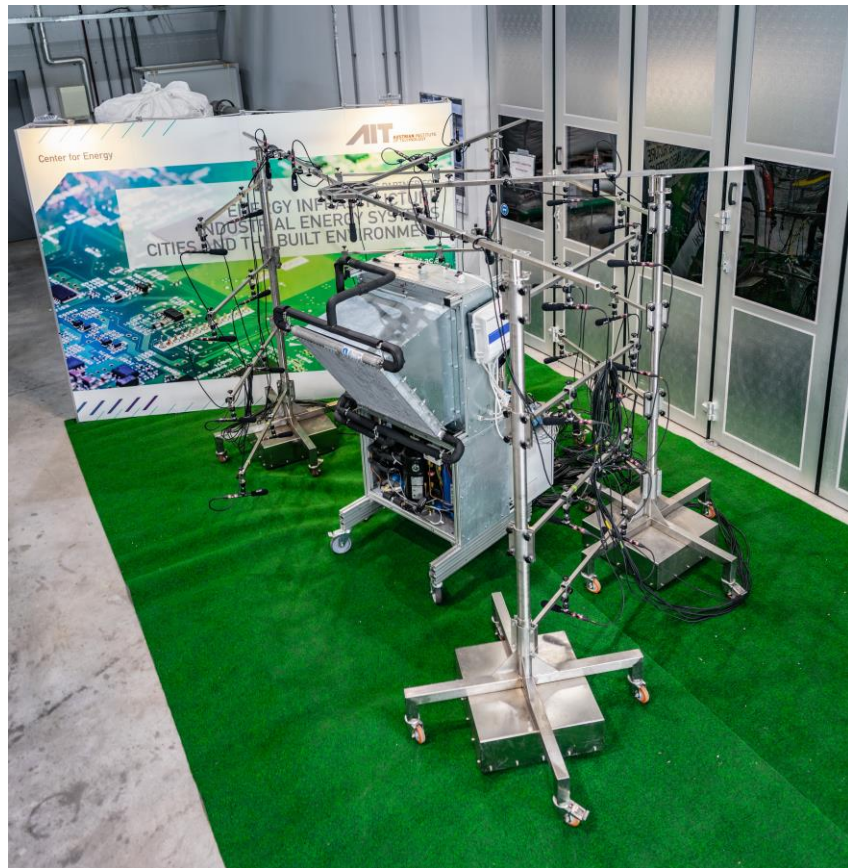
# AKUSTISCHER „DOM“



# AKUSTISCHER „DOM“ – 3D VISUALISIERUNG

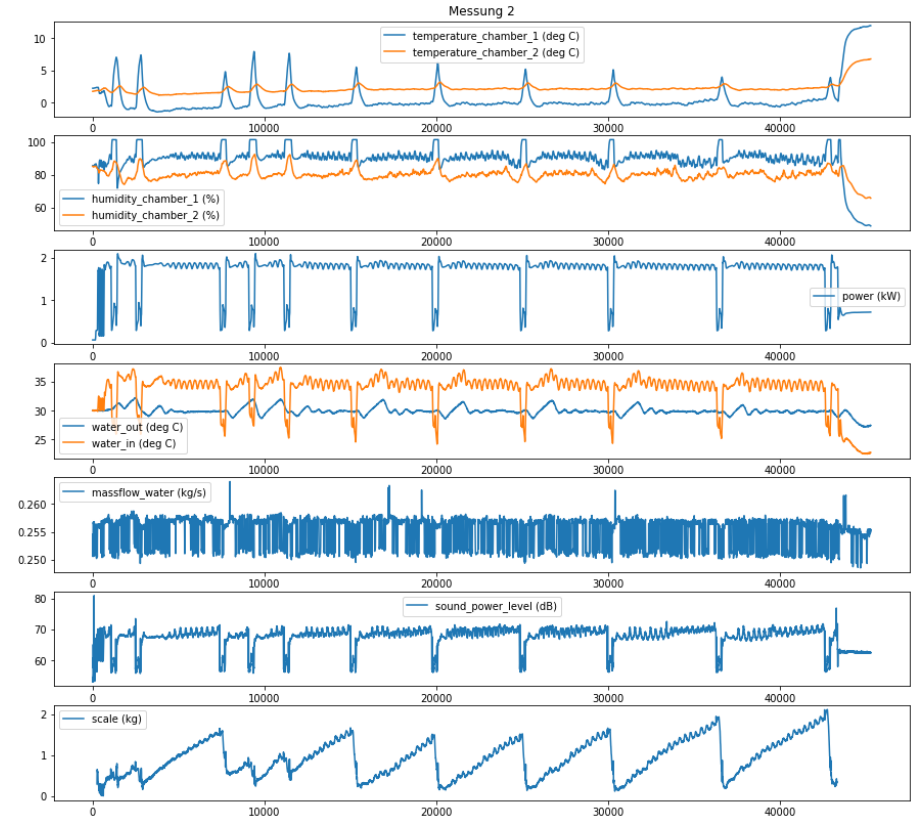
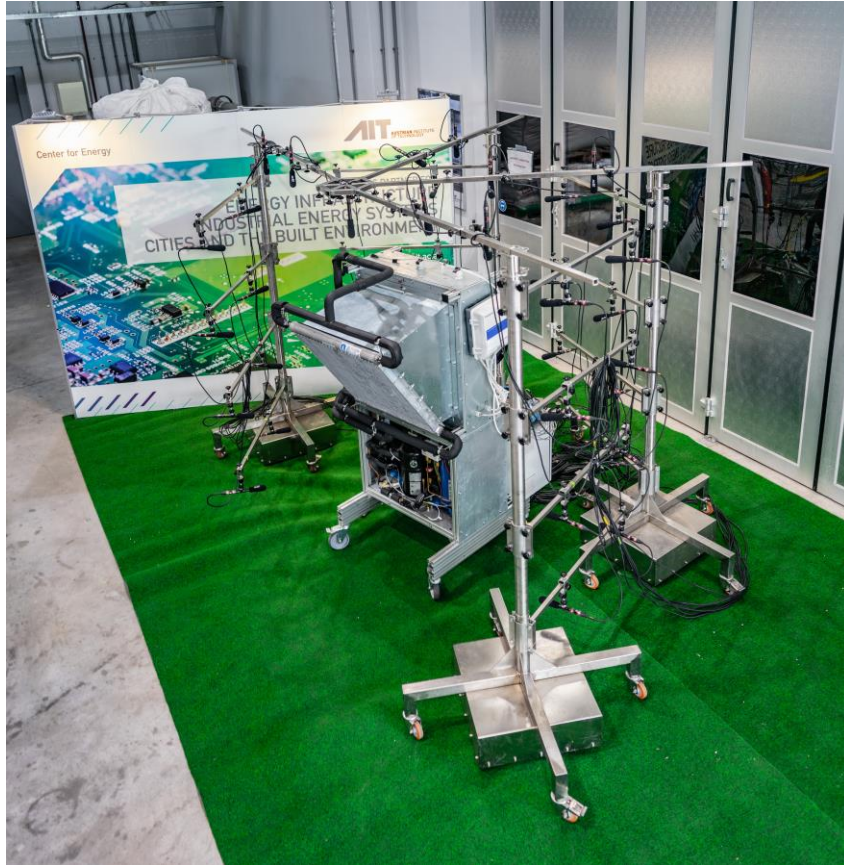


# AKUSTISCHER „DOM“ / ZEITVERLAUF



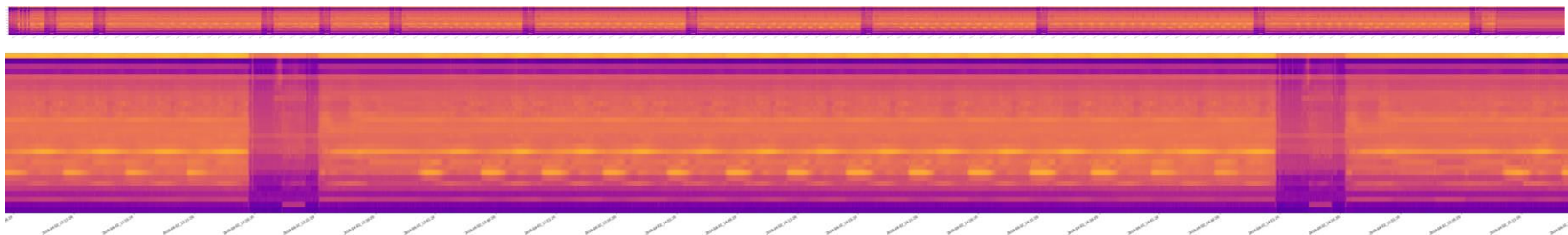
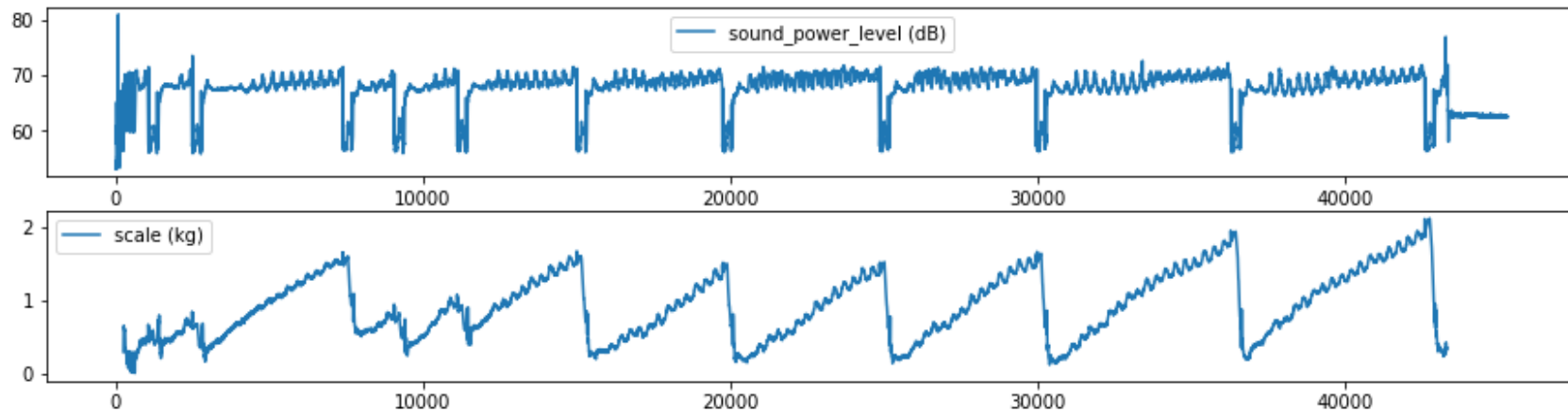


# AKUSTISCHER „DOM“ / ZEITVERLAUF

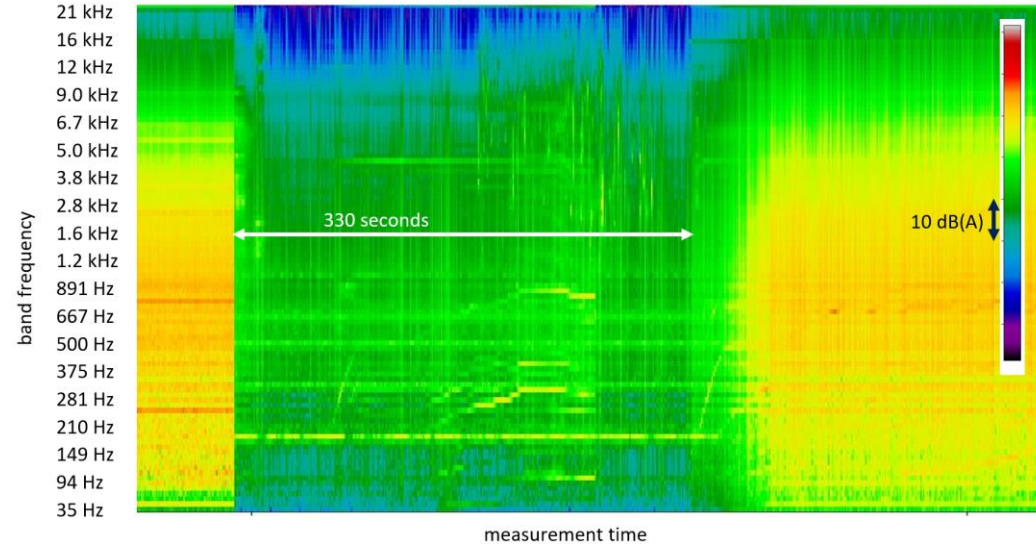
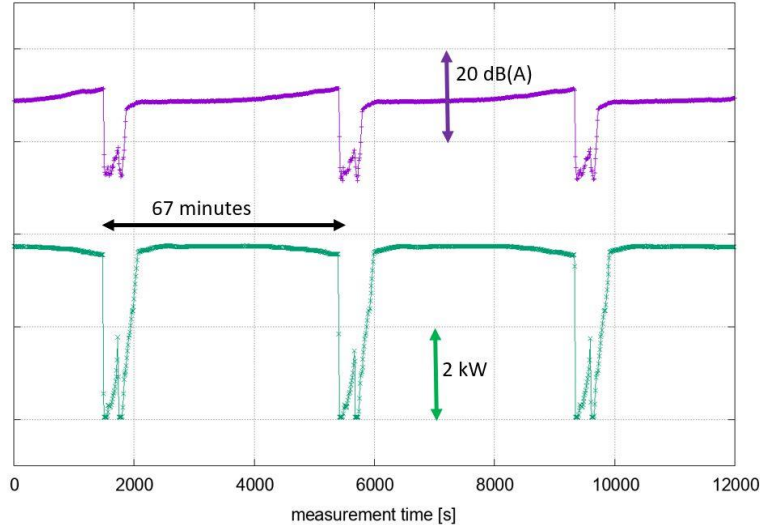




# AKUSTISCHER „DOM“ / ZEITVERLAUF

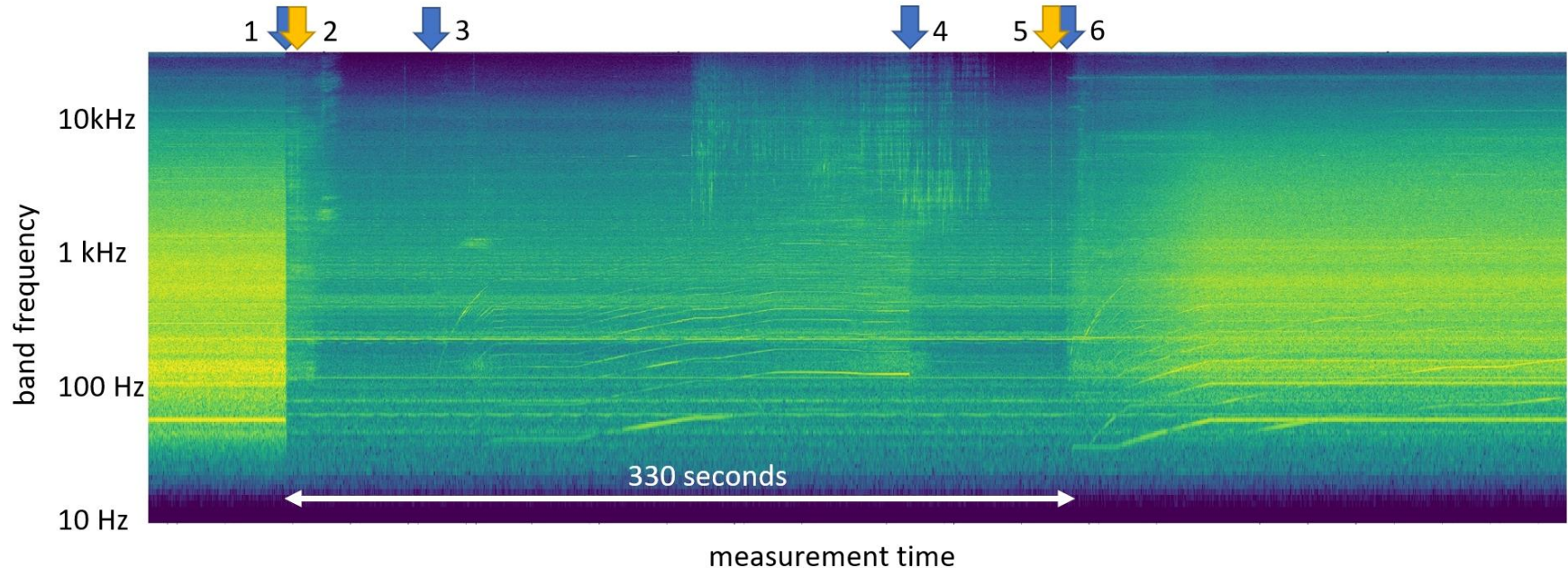


## Schallleistungspegel und Frequenzverlauf



*links: A-gewichteter Schalldruckpegel und elektrische Leistungsaufnahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Es sind mehrere Abtauzyklen gezeigt (Quelle: AIT, Österreich)  
rechts: zeitaufgelöster SchallLEISTUNGSpiegel in Drittel-Oktav-Band Representation.*

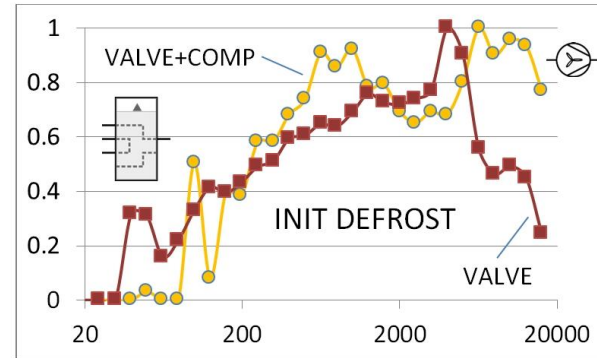
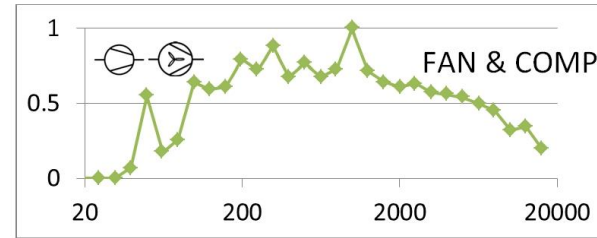
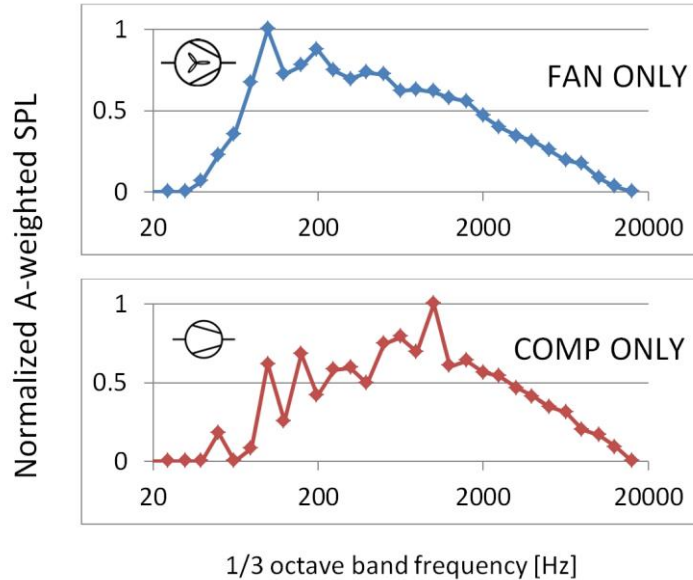
# AKUSTISCHER „DOM“ / ZEITVERLAUF



*Frequenz aufgelöste akustische Signatur (in Wasserfall Representation) während des Abtauvorgangs einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Das Bild zeigt den SchalDRUCKpegel an einer ausgewählten Mikrofonposition in Schmalband-Representation (Quelle: AIT, Österreich).*

# EXPERIMENTELLE ERFAHRUNGEN

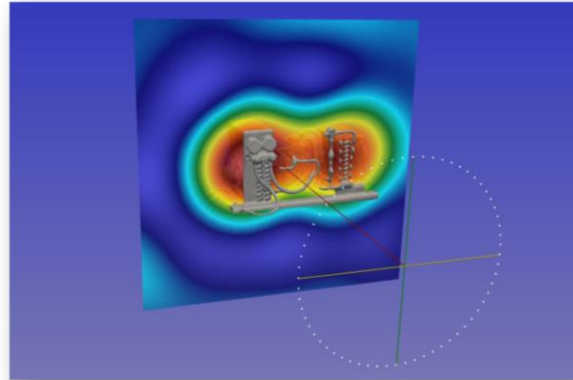
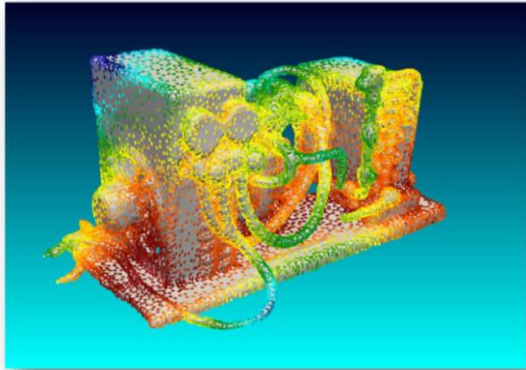
## Akustische "Signaturen" von Komponenten





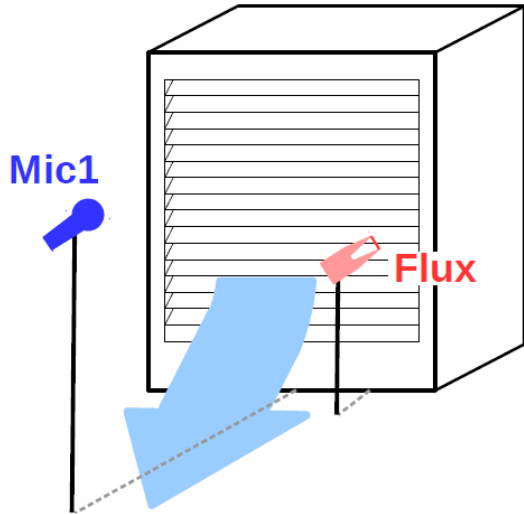
# SCHALLQUELLENLOKALISATION

## Beam Forming Techniques

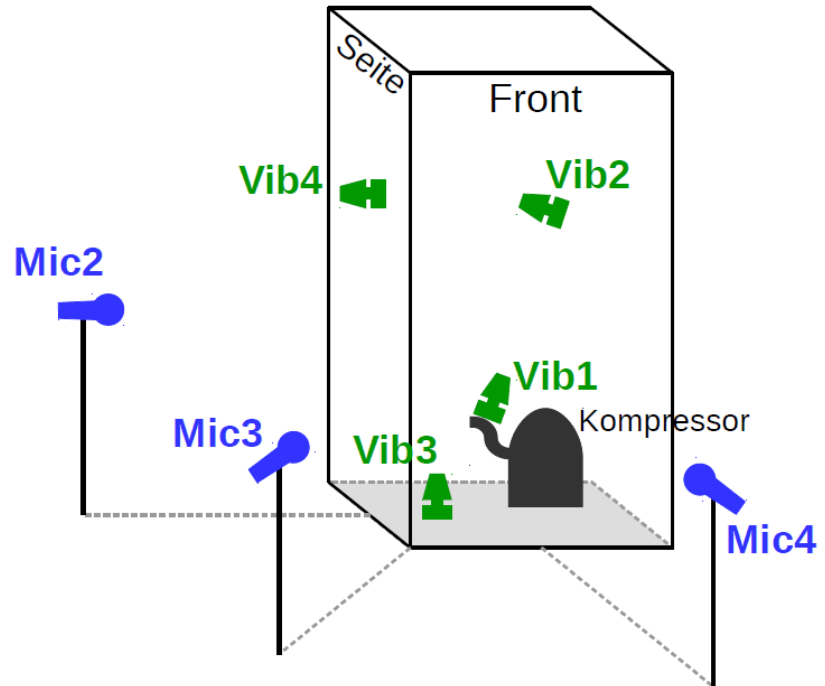


# KORRELATION AKUSTIK – VIBRATION & STRÖMUNG

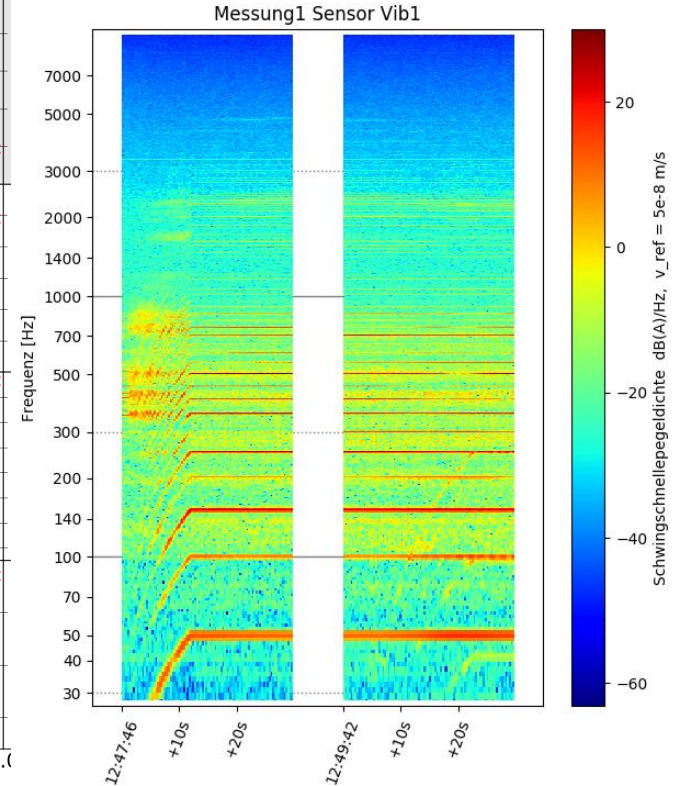
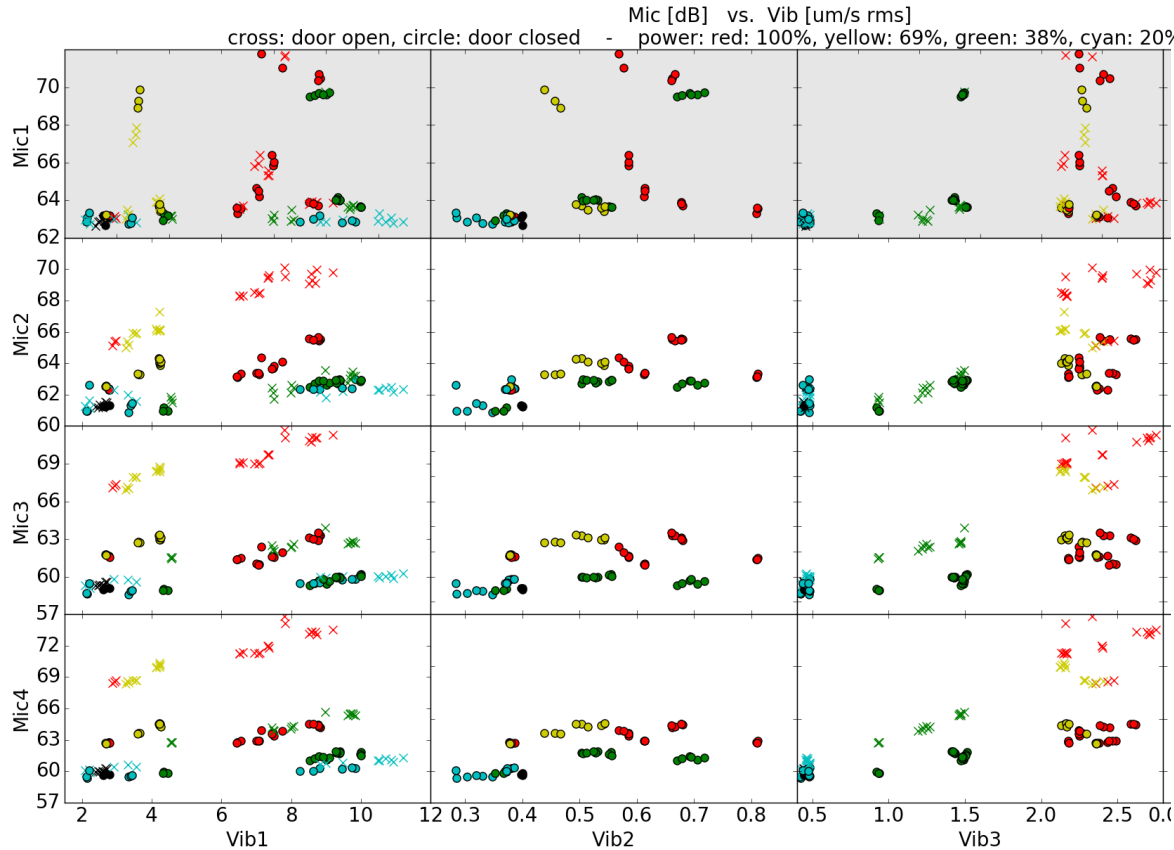
Ausseneinheit



Inneneinheit

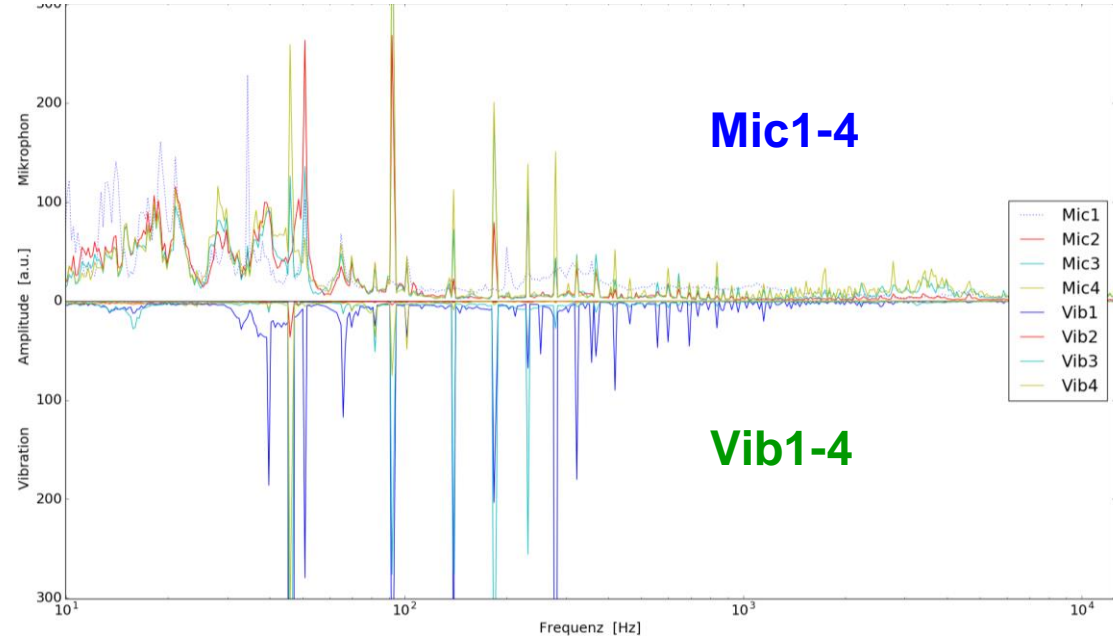
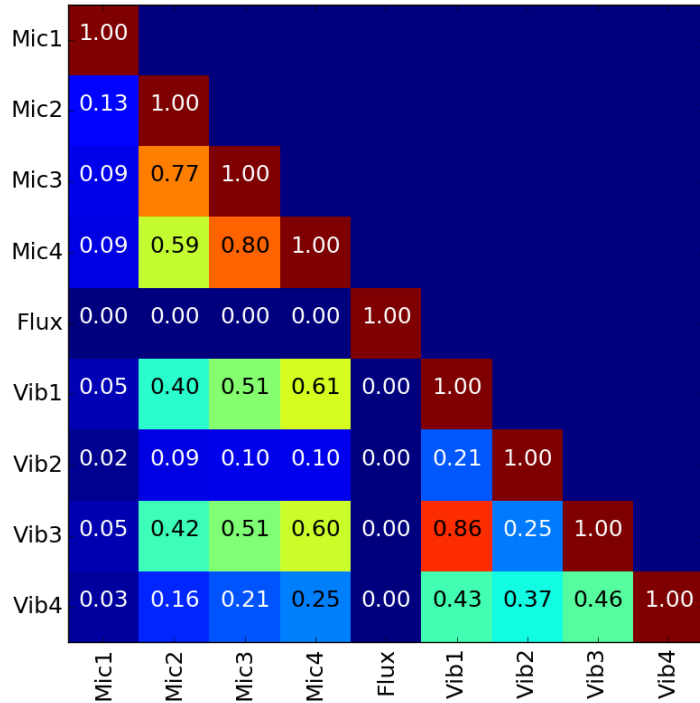


# KORRELATION AKUSTIK – VIBRATION & STRÖMUNG

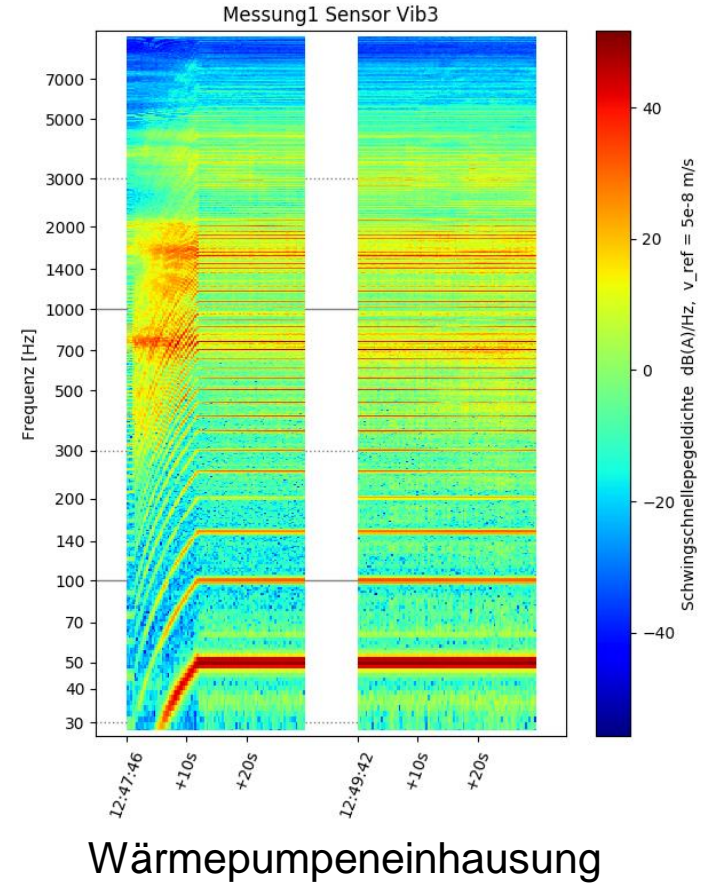
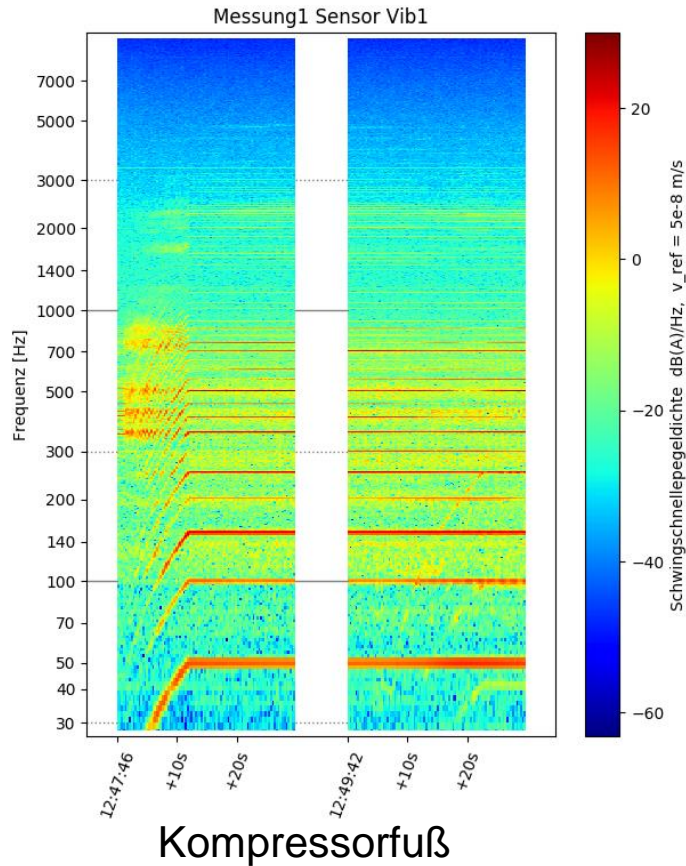




# KORRELATION AKUSTIK – VIBRATION & STRÖMUNG



# VIBRATIONSMESSUNGEN



# 4 DER INTERNATIONALE IEA HPT ANNEX 51 "ACOUSTIC SIGNATURES OF HEAT PUMPS" EINE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT IM RAHMEN DER IEA, APRIL 2017 - DEZEMBER 2020



POLITECNICO  
DI MILANO



## IEA TECHNOLOGY COLLABORATION PROGRAMMES



ANNEX  
**51**

START DATE:  
**1 April 2017**  
END DATE:  
**31 March 2020**



Cross-Cutting

End-Use: Buildings

End-Use: Electricity

End-Use: Industry

End-Use: Transport

Fossil Fuels

Fusion Power

Renewable Energy

## End-Use: Buildings

- » Buildings and Communities (EBC TCP)
- » District Heating and Cooling (DHC TCP)
- » Energy Efficient End-Use Equipment (4E TCP)
- » Energy Storage (ECES TCP)
- » Heat Pumping Technologies (HPT TCP)



Reduction of acoustic emissions and the transient behaviour of acoustic signatures during different operating conditions (e.g. icing, de-frosting, capacity control, cooling mode) is important to further **increase the acceptance of heat pumps** as air-to-water, water-to-air and air-to-air units (referred to as "units" in the following text. Depending on the source used, noise is an indoor-only issue for the end user and/or an outdoor issue, for the neighbour). Furthermore, both **new and retrofit markets** are important to be considered, as a simple and effective way to exploit the potential energy savings.

**Steigerung der Akzeptanz  
von Wärmepumpen!**

Acoustic emissions have to be assessed in a hierarchical approach considering the **component level** (e.g. low noise components: fans and compressors), the **unit level** (combining the components, unit control, transient acoustic features), and the **application level** (building/neighbourhood, including smart grid, **psychoacoustic effects** & acoustic propagation). Furthermore, **Education & training** are very important aspects in heat pump acoustics (placement, noise reduction measures, modes of control & operation) so that bad installations will not go against good acoustic design and construction of the units. As the current legislation is globally very diverse (also serving the needs of the different locations & countries), the Annex is structured to contribute to **guidance and future standards** in this field.

# TEILNEHMENDE LÄNDER UND AUFGABEN



**Task 1:** *Gesetzgebung und Normen*

**Task 2:** *Definition der Wärmepumpeneinheiten, die von der Studie / Prüfung abgedeckt werden & Tests*

**Task 3:** *Identifizierung von Lärm auf Komponenten- und Geräteebene und Störschallunterdrückungstechniken*

**Task 4:** *Analyse des Einflusses der Betriebsbedingungen von Wärmepumpen auf das akustische Verhalten*

**Task 5:** *Installation der Wärmepumpe und Auswirkungen auf die Umgebung*

**Task 6:** *Verbesserte Messung und Beschreibung der akustischen Leistung*

**Task 7:** *Diffusion & Verbreitung von Informationen; Richtlinien, Bildungsmaterial, Empfehlungen für verschiedene Benutzergruppen*





# ANNEX 51 INFORMATIONEN



## About

About HPT TCP, HPC, IEA and our conference

Contact us

News

Activities

Market & technology

Member login

Disclaimer

Cookies



## Projects

All ongoing and completed projects/annexes

## Publications

The results and publications within HPT TCP

## HPT Magazine

Our Magazine about technology, markets and development

## The conference

Every third year HPT TCP organizes a conference

ABOUT HPT TCP

Worldwide key player in generating and communicating independent knowledge on heat pumping technologies

HPT CONFERENCE

Save the date for the IEA Heat Pump Conference 2020



## HPT NEWS

2019  
INTERNATIONAL  
SYMPOSIUM  
ON REFRIGERATION  
(i) Montreal, Quebec, Canada



27 SEP 2019 FIELD NEWS

Workshop "Acoustics of Heat Pumps" presentations in the...

All presentations given at the workshop "Acoustics of Heat Pumps" in the framework of the ICR2019 by ...

[Read more](#)

## UPCOMING ACTIVITIES

SEP  
25  
2019

DENVER, COLORADO, USA

2019 ASHRAE Building Performance Analys...

OCT  
22  
2019

NURNBERG, GERMANY

European Heat Pump Summit 2019



# ANNEX 51 INFORMATIONEN

Heat Pumping Technologies About Projects Publications Activities HPT Magazine Contact us News Market & technology Member login Disclaimer Cookies

Annex 51 Home Activities Contact Participants Team site

ANNEX 51

## Acoustic Signatures of Heat Pumps

Reduction of acoustic emissions is important to further increase the acceptance of heat pumps as air-to-water, water-to-air, air-to-air and brine-to-water (ground source) units. To increase this acceptance and minimize noise annoyance more focus has to be put on the acoustics emissions at steady state and transient behaviour of acoustic signatures during different operating conditions (e.g. icing, de-frosting, capacity control, cooling mode).

**The primary aim** with Annex 51 is to further increase the acceptance of heat pumps (as air-to-water, water-to-air, air-to-air and brine-to-water units) for comfort purpose with respect to the noise and vibration emissions.

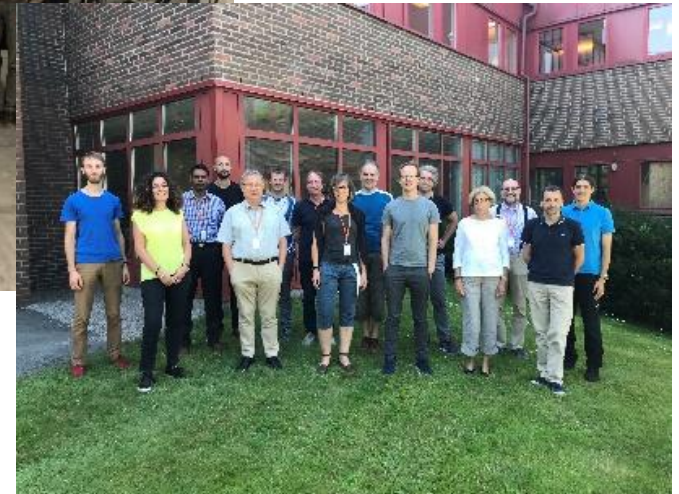
**A second focus** is placed on increasing knowledge at different levels (manufacturers, acoustic consultants, installers, legislators). To reach this goal, first different reasons to reduce sound emissions depending on countries (legislation), locations and applications have to be gathered and understood. The main influencing factors to the acoustic signature of these units will be identified. Collecting and combining research results in these fields on the different implementation levels (component, unit and application) will finally lead to directions for improved components, units and control strategies including guidelines, as well as training and inputs to future standards. The aim is to gather the knowledge and expertise of the participants on the different levels in order to forward this knowledge and establish recommendations and advices.

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex51/>

# ANNEX 51 DOKUMENTE ZUM DOWNLOAD

Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" in the framework of the International Energy Agency Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (IEA HPT),	Thomas Fleckl, Christoph Reichl	AIT Austrian Institute of Technology
1D modelling of heat pumps including acoustics	Johann Emhofer, Christoph Reichl	AIT Austrian Institute of Technology
Simultaneous energy efficiency and acoustic evaluation of heat pump systems using dynamic simulation models	Christian Vering, Jonas Klingebiel, Markus Nürenberg, Dirk Müller	RWTH Aachen
Acoustic Emissions and Noise Abatement of Air to Water Heat Pumps	Christoph Reichl, Peter Wimberger, Felix Linhardt, Johann Emhofer	AIT Austrian Institute of Technology
Testing campaign on the energetical and acoustical behaviour of a heat pump	Karlheinz Bay, Simon Braungardt, Thomas Gindre, Thore Oltersdorf, Jens Rohlfing, Lena Schnabel, Agostino Troll	Fraunhofer ISE/IBP
Heat pump noise – operation dependence and seasonal averaging	Ola Gustafsson, Henrik Hellgren, Caroline Haglund Stignor	RISE Research Institutes of Sweden
IEA HPT Annex 51 Task 1.0 Introduction V01	Roberto Fumagalli <sup>1</sup> , Simon Hinterseer <sup>2</sup> , Christian Kaseß <sup>2</sup>	<sup>1</sup> Politecnico di Milano, <sup>2</sup> ARI Acoustics Research Institute, ÖAW Austrian Academy of Sciences
IEA HPT Annex 51 Task 1.1 Measurement Techniques V01	Roberto Fumagalli <sup>1</sup> , Christian Kaseß <sup>2</sup>	<sup>1</sup> Politecnico di Milano, <sup>2</sup> TU Wien, Faculty of Civil Engineering, Institute of Material Technology, Building Physics and Building Ecology, <sup>3</sup> ARI Acoustics Research Institute, ÖAW Austrian Academy of Sciences
IEA HPT Annex 51 Task 1.2 Regulations V01	Roberto Fumagalli <sup>1</sup> , Philipp Wagner <sup>2</sup> , Robert Pratter <sup>2</sup> , René Rieberer <sup>2</sup> , François Bessac <sup>3</sup> , Michèl Modot <sup>3</sup> , Henrik Hellgren <sup>4</sup>	<sup>1</sup> Politecnico di Milano, <sup>2</sup> Technischen Universität Graz, Institute für Wärmetechnik, <sup>3</sup> CETIAT Centre Technique des Industries Aérauliques et Termique, <sup>4</sup> Chalmers University of Technology, Goteborg
IEA HPT Annex 51 Task 1.3 Regulations-Synthesis V01	Roberto Fumagalli	Politecnico di Milano

# ANNEX 51 TREFFEN



TeilnehmerInnen des IEA HPT Annex 51 bei Treffen in Freiburg, Deutschland (links), Aarhus, Dänemark (mittel) und Borås, Schweden (rechts).

# 5 AKUSTISCHE MESSUNGEN IN MEHREREN LABORATORIEN

3 WÄRMEPUMPEN auf Tournee durch EUROPA

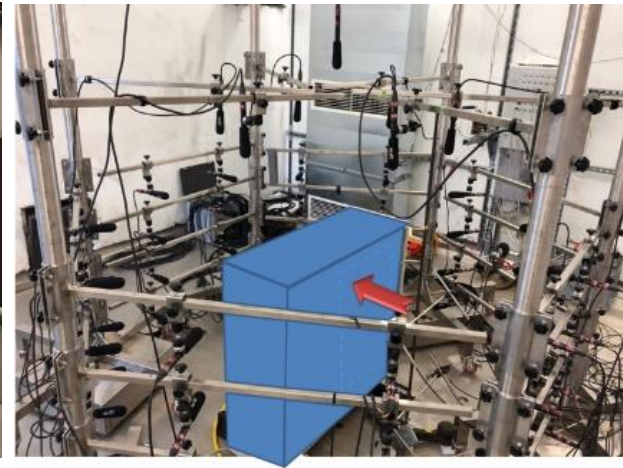
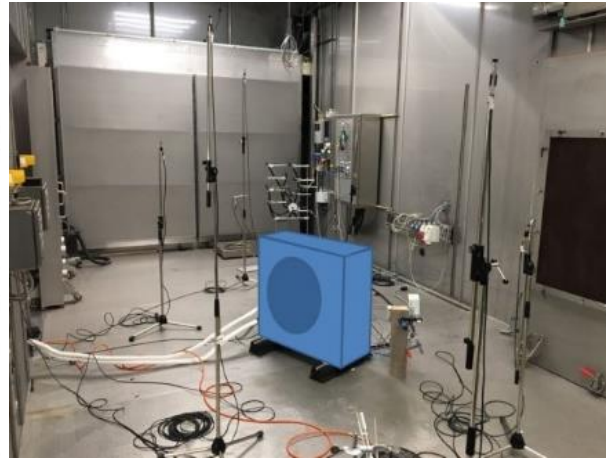




- **3 Wärmepumpen** auf Tournee durch Europa:
  - Abluft Wärmepumpe Wassererhitzer
  - Luft-Wasser Wärmepumpe
  - Luft-Luft Wärmepumpe
- Messungen mit **verschiedenen experimentellen Techniken** bei
  - CETIAT, France
  - DTI, Denmark
  - Fraunhofer ISE & IBP, Germany
  - Polimi, Italy
  - RI.SE, Sweden
  - AIT, TU Wien, Austria

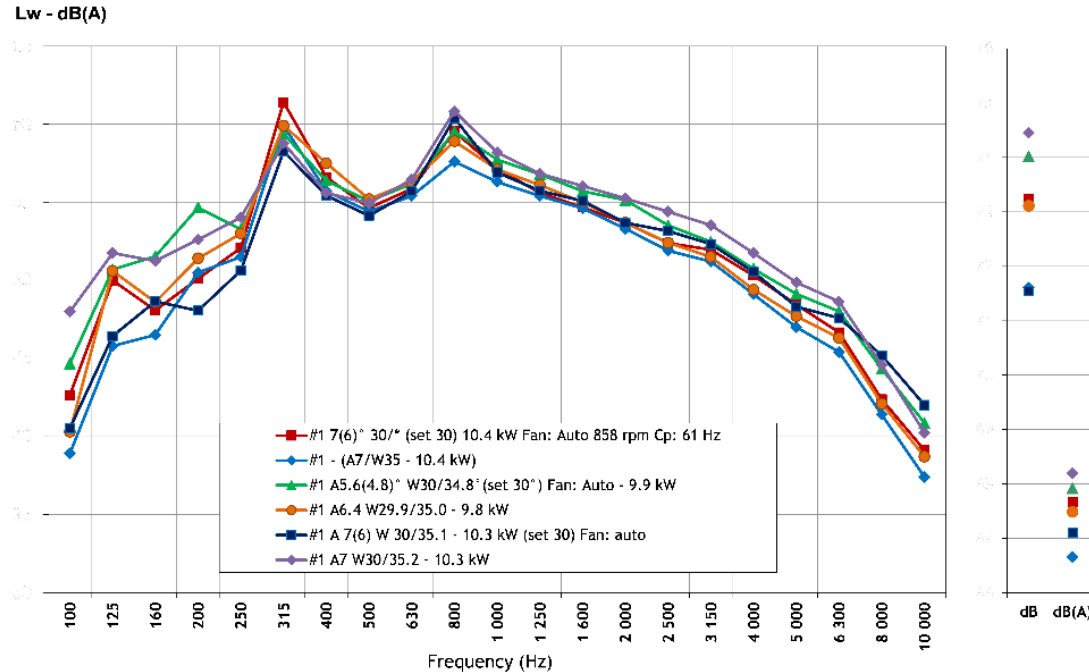


# AKUSTISCHE RINGVERSUCHE



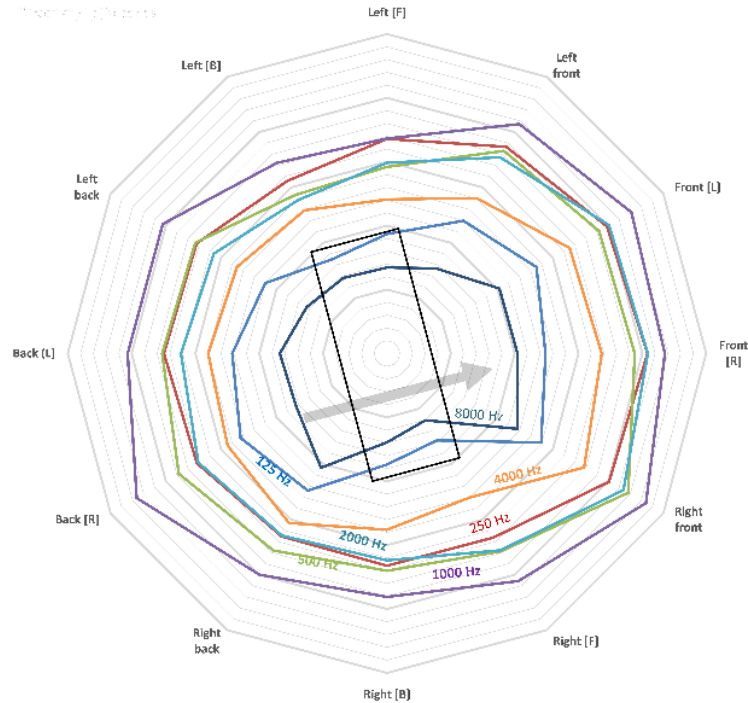
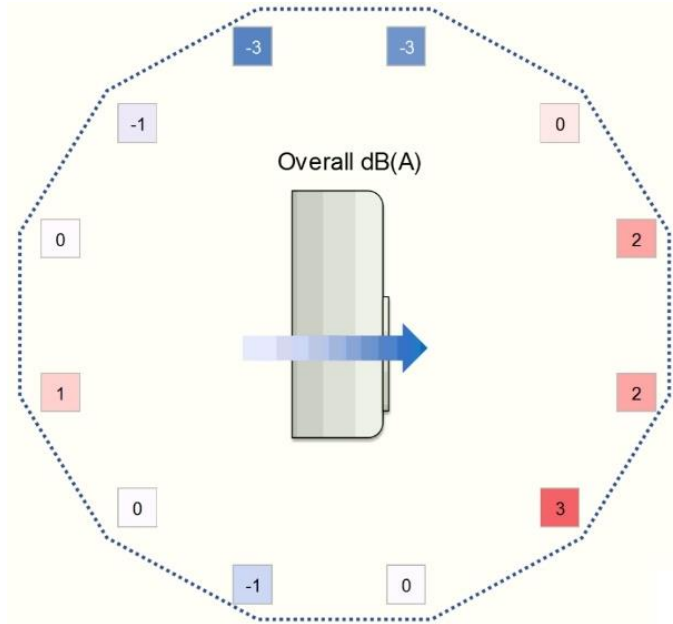
Beispiele der Wärmepumpeninstallation in einem Hallraum (links) und in Klimakammern (mitte und rechts). Ein Aufbau mit Mikrophon-Array ist im rechten Bild gezeigt. Quelle: CETIAT, Frankreich (links), ISE, Deutschland (mitte) und AIT, Österreich (rechts).

# AKUSTISCHE RINGVERSUCHE



Frequenzspektrum des A-gewichteten Schallleistungspegels für Standardbedingungen laut EN 14511 (#1) mit den Resultaten von 6 Laboratorien (Quelle: CETIAT, Frankreich).

# AKUSTISCHE RINGVERSUCHE



Richtcharakteristik des gesamten A-gewichteten Schalldruckpegels gemessen in einer Höhe von 75 cm (links) und die Richtcharakteristik für die unterschiedlichen A-gewichteten Oktavbänder (rechts) (Quelle: AIT, Österreich)

# 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

**AKTUELLER STATUS**  
**NÄCHSTE SCHRITTE**



# ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

- IEA HPT Annex 51 "Acoustic Signatures of Heat Pumps" mit 12 teilnehmenden Institutionen aus 6 Ländern
- Akustische Gadgets ermöglichen Visualisierung der Schallemissionen von HVAC Komponenten mittels AR/VR
- Innovative Messtechniken ermöglichen die Lokalisierung von Schallquellen und die zeit-, raum- und frequenzunabhängige Analyse von Emissionen auf Komponenten- und Systemebene sowie die Bewertung von Vibrationen.
- IEA HPT Annex 51 und Messungen und Datenanalyse in mehreren europäischen Instituten (akustische Ringversuche) zeigen gute Übereinstimmung der Ergebnisse





# DANKSAGUNG



Die Arbeiten zum "IEA HPT Annex 51" werden im Rahmen der "IEA Research Cooperation" finanziell unterstützt, das Projekt "SilentAirHP" im Rahmen des "Klima Energy Fonds" im Auftrag des "Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie".

 Federal Ministry  
Republic of Austria  
Transport, Innovation  
and Technology



FFG



IEA RESEARCH  
COOPERATION





Acoustic Signatures  
of Heat Pumps

IEA HPT


Annex 51

# DANKE!

Christoph Reichl für das  
AIT und Annex 51 team

30.09.2020



 **Bundesministerium**  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

 **IEA Forschungskooperation**  
im Rahmen von open4innovation

 **FFG**  
Forschung wirkt.