

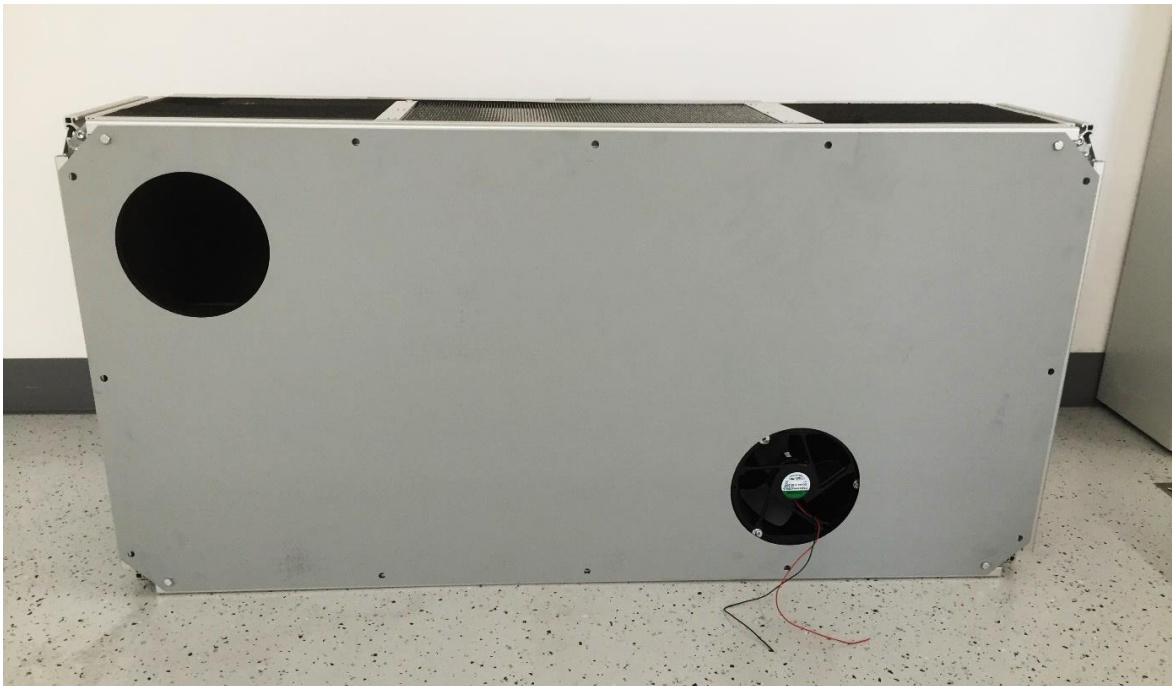


## Schlussbericht

---

# Einzelraumwärmepumpe ERWP für den Wohnbau

## Energieeffiziente Ersatzlösung für Elektrospeicheröfen





**Datum:** 30. November 2016

**Ort:** Bern

**Auftraggeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

ait-Deutschland GmbH, D-95359 Kasendorf  
BKW Energie AG, CH-3000 Bern

**Auftragnehmer/in:**

Schweizerische Agentur für Energieeffizienz SAFE  
Schaffhauserstrasse 34  
CH-8006 Zürich  
[www.energieeffizienz.ch](http://www.energieeffizienz.ch)

**QUO AG**

Leutschenbachstrasse 48  
CH-8050 Zürich  
[www.quo.ch](http://www.quo.ch)

**Autor/in:**

Stefan Stahl, QUO AG, [stefan.stahl@quo.ch](mailto:stefan.stahl@quo.ch)  
Dr. Joachim Maul, ait-Deutschland GmbH, [joachim.maul@ait-deutschland.eu](mailto:joachim.maul@ait-deutschland.eu)

**BFE-Bereichsleitung:**

Michael Moser, [michael.moser@bfe.admin.ch](mailto:michael.moser@bfe.admin.ch)

**BFE-Programmleitung:**

Roland Brüniger, [roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch](mailto:roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch)

**BFE-Vertragsnummer:**

SI/501033-01

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

**Bundesamt für Energie BFE**

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)



## Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projekts soll eine effiziente Lösung für den direkten Ersatz von Elektrospeicheröfen basierend auf der Wärmepumpentechnologie erarbeitet werden. Mit dem Industriepartner ait-Deutschland wurden im ersten Schritt die Anforderungen an eine sogenannte Einzelraumwärmepumpe (ERWP) definiert und ein technisches Konzept erarbeitet. Dafür wurde eine erste System-Auslegung gemacht, passende Komponenten gesucht und diese Ansätze iterativ zu einer Grobkonstruktion verfeinert.

Das so erarbeitete Konzept wurde im zweiten Schritt in ein Funktionsmuster umgesetzt. Schallmessungen haben gezeigt, dass das Funktionsmuster die Geräuschanforderungen auf Anhieb weit verfehlt. Durch weiterführende Abklärungen und Messungen konnten die für die weitere Entwicklung notwendigen Arbeitsschritte ermittelt und die Zuversicht an die technische Machbarkeit aufrechterhalten werden.

Das weiterhin grosse Marktpotential für den Ersatz von Elektrospeicheröfen und neu aufkeimende Initiativen mit ähnlichen Anforderungen (z.B: Integration von Wärmepumpen in die Fassade) zeigen, dass eine Projekt-Fortführung anzustreben ist. Diese Meinung teilen alle Beteiligten, insbesondere der Industriepartner ait-Deutschland und BFE und BKW.

Für den nächsten Schritt mit erheblichem experimentellem Aufwand strebt ait-Deutschland die Zusammenarbeit mit einer Hochschule und eine entsprechende experimentelle Studienarbeit an, in welcher die für den Schall relevanten Parameter experimentell geprüft und optimiert werden. Diese Arbeit soll die fundierte, wissenschaftliche Grundlage für eine nachgelagerte Wiederaufnahme der Produktentwicklungsarbeiten für die ERWP bilden.

## Résumé

Le but de ce projet est le développement d'une pompe à chaleur pour une pièce unique («ERWP») pour remplacer les chauffages électriques à accumulation. Avec le partenaire industriel ait-Deutschland, les exigences pour un tel produit ont été définies et le concept initial a été élaboré. Avec la réalisation de la première conception du système, les composants appropriés ont été choisis. Cet ensemble a été finalement amélioré de manière itérative pour afin définir une première ébauche.

Un modèle fonctionnel a été réalisé pour procéder aux premières mesures. Celles-ci ont relevé que le bruit était plus élevé que prévu. Des clarifications et expériences supplémentaires ont rétabli la confiance dans la faisabilité technique du produit et les prochaines tâches ont été définies.

Parce qu'il y a toujours un grand potentiel de marché pour le remplacement des chauffages électriques à accumulation, et en plus des nouvelles opportunités (par exemple l'intégration des pompes à chaleur dans la façade), tous les partenaires du projet ont favorisé la poursuite du projet.

Pour les prochaines étapes avec beaucoup de travail expérimental, ait-Deutschland planifie une coopération avec une université pour mener un projet de recherche dans lequel les paramètres pertinents pour la prévention de bruit doivent être expérimentalement identifiés et optimisés. Ce projet est la base pour la poursuite du développement de la pompe à chaleur de chambre individuelle



## Summary

In this project, a single-room heat pump as a replacement for a conventional electric storage stove shall be developed. With the industry partner ait-Deutschland, the requirements were defined and a concept was worked out. A first system design was prepared, matching components were identified and the approach was iteratively redefined to a raw construction.

A functional model was built and first tests were conducted. The measurements showed a substantially higher noise level than planned. Additional experiments however restored the confidence in the technical feasibility of the product and the next work packages were defined.

As there is still a big market potential for electric storage stove replacements and also new opportunities (e.g. façade integrated heat pumps), all project partners promote the continuation of the project.

For the next steps with substantial experimental workload, ait-Deutschland targets to work with a university to conduct a student research project in which the relevant parameters for noise generation shall be experimentally identified and optimized. This project shall be the basis for the further development of the single room heat pump.



## Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage .....	6
1.1	Ziel der Arbeit .....	6
1.2	Angestrebtes Produkt .....	6
1.3	Bisherige Entwicklung und Produkte .....	7
1.4	Vorgehen .....	7
2	Überarbeitung der Anforderungen .....	8
2.1	Zielmärkte .....	8
2.2	Marktgetriebene Anforderungen .....	8
2.3	Weitere Anforderungen .....	9
3	Konzepte .....	10
3.1	Teilkonzepte .....	10
3.2	Ansätze für das Gesamtkonzept .....	10
3.3	Angestrebtes Gesamtkonzept .....	11
4	Umsetzung Funktionsmuster .....	13
4.1	Grobauslegung und Konstruktion .....	13
4.2	Aufbau Funktionsmuster .....	16
5	Messungen Funktionsmuster .....	18
5.1	Messaufbau .....	18
5.2	Vertiefende Experimente .....	19
5.3	Experimente mit alternativen Lüftern .....	19
6	Ergebnisse / Erkenntnisse .....	21
7	Ausblick .....	22

# 1 Ausgangslage

Elektrospeicheröfen (ESO) wurden in den 60er und 70er Jahren von Kraftwerksbetreibern und öffentlichen Verwaltungen als sichere und günstige Heizquelle für die Raumheizung in Wohnungen angepriesen. Heute gelten die ESO zu den grössten Stromverbrauchern in den Haushalten mit einem enormen Energieeinsparpotential.

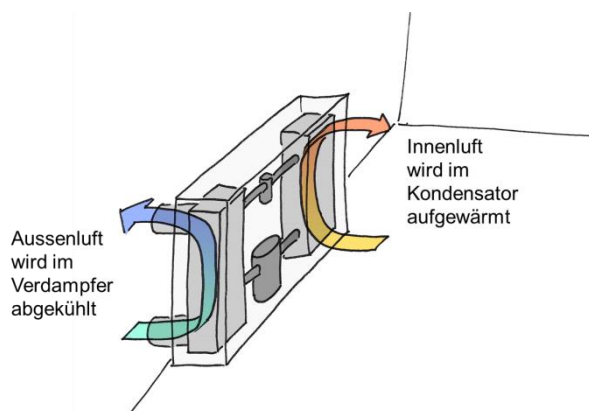
Die Umwandlung von Strom in Wärme mit ESO wird aufgrund anwendbarer effizienterer Technologie vielerorts von den Kantonen neu nicht mehr zugelassen. Die EU plant die Einführung des Verbots für 2020. In der Schweiz ist dieses mit der Umsetzung der Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) faktisch Tatsache. Die Einführung ist von der Mehrheit der Kantone in den Jahren 2008 bis 2013 erfolgt. Der gezielte Ersatz von bestehenden Elektrospeicheröfen durch effiziente Ersatzgeräte ist (noch) nicht zufriedenstellend gelöst.

## 1.1 Ziel der Arbeit

Das Ziel ist die Bereitstellung der Grundlagen für die Entwicklung einer Einzelraumwärmepumpe (ERWP) als gute, marktgerechte Lösung für den Ersatz der veralteten und ineffizienten Elektrospeicheröfen. Das Gerät soll für den Markt Schweiz und EU-Raum entwickelt werden. Das Etappenziel dieses Projektes ist der Bau und Prüfung eines ERWP-Funktionsmodells mit Partnern aus der Industrie und Forschung mit Unterstützung durch das BFE und die BKW Energie AG. Das Funktionsmodell soll praxisnah sein und die geforderten technischen Daten erfüllen.

## 1.2 Angestrebtes Produkt

Die ERWP ist eine im Innenraum aufgestellte Luft-Luft-Wärmepumpenlösung zur Beheizung eines einzelnen Raumes oder mehrerer Räume in einer Wohnung. Die Aussenluft wird über Aussenwanddurchbrüche ins Gerät gebracht, im Wärmetauscher abgekühlt und wieder nach aussen abgegeben. Über einen Wärmepumpenkreislauf wird die Wärme auf ein höheres Niveau gebracht und an die Raumluft abgegeben.



**Abbildung 1: Grundfunktion der Einzelraum-Wärmepumpe**

Da die Geräte im Wohnraum stehen, ist ein sehr geringer Schallpegel die grösste technische Herausforderung für das Projekt. Hier gilt es neue Ansätze zu finden, damit die Geräuschanforderungen erfüllt werden. Aufgrund des Einsatzzweckes als Ersatz für ESO sind das



Einhalten der gleichen Aussenmasse, eine hohe Effizienz und eine einfache Installation weitere wichtige Anforderungen.

## 1.3 Bisherige Entwicklung und Produkte

In den 90er Jahren wurde von der Firma Hegner Energiesysteme in Galgenen an Einzelraum-Wärmepumpen geforscht; es wurden auch Produkte auf den Markt gebracht, die bis heute in Betrieb sind (z.B. Schulhaus Käferberg, Zürich), aber sie fanden keine grosse Verbreitung, da man Geräusch-emissionen und Kosten nicht in den Griff bekam. Ein zusätzliches Problem stellte das anfallende Kondensat dar.

Das Bundesamt für Energie (BFE) ist 2009 an die Firma QUO AG in Zürich herangetreten mit dem Auftrag, eine energieeffiziente Ersatzlösung für die alten Elektrospeicheröfen zu entwickeln. Gemeinsam mit einem Industriepartner (Zehnder AG) wurde von 2010 bis 2012 ein Projekt durchgeführt und zuerst das Marktpotential sowie die Anforderungen an das Produkt ermittelt. Ein entsprechendes Konzept wurde erarbeitet und ein Funktionsmuster gebaut und getestet. Das damalige Produkt sollte folgende Konzeptanforderungen erfüllen:

- JAZ (Jahresarbeitszahl) >3
- Schalldruckpegel < 30 dB(A)
- Design entsprechend Trends und Anforderungen in Mitteleuropa (Substitut für ESO)
- Dimensionen und Gewicht max. denjenigen der auszutauschenden Geräte
- Herstellkosten für installierte Wärmeleistung < 1'000 Euro/kW
- Heizleistung ca. 2 kW

Um die Machbarkeit der ERWP zu prüfen, wurde ein Funktionsmuster gebaut und Komponenten, Gesamtsystem in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Energieeffizienz und Lautstärke getestet und optimiert. Folgende wesentlichen Anforderungen wurden vom gebauten Funktionsmuster erfüllt:

- Schall: Peaks bei 30dB(A) bei Volllast
- Leistungsmessung: ca. 1.9 kW mit COP 3.5 bei 7/28 (A/A)

Aufgrund interner Priorisierung hat sich Zehnder danach aus dem Projekt zurückgezogen. Angemeldete Schutzrechte an den erarbeiteten Ergebnissen aus dieser Zeit bestehen nicht. Auf den bereits erarbeiteten Ergebnissen darf bei Fortführung des Projektes aufgebaut werden. Dies bestätigten die bisher im Projekt beteiligten Parteien.

## 1.4 Vorgehen

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern BKW Energie AG und ait-Deutschland GmbH (ait), der Firma QUO und dem Bundesamt für Energie (BFE) durchgeführt. Die Projektleitung liegt bei S.A.F.E.

- Die Anforderungen an das Produkt mit dem Industriepartner werden eruiert. Im Vergleich zum früheren Projekt (Zehnder) können diese erheblich differieren, z.B. durch andere resp. weitere Zielmärkte, künftige Markt-Regulatoren, technische Anforderungen, Trends, Gestaltung etc. (Phase 1a). Das in der Phase 1a zu erarbeitende Lastenheft ist Grundlage der nachfolgenden Arbeiten in diesem Projekt.
- Überarbeitung des Produktkonzepts gemäss den Anforderungen des Lastenhefts. (Phase 1b)
- Das neu erarbeitete Konzept wird im neuen Funktionsmuster geprüft unter Einbezug der Erkenntnisse aus dem früheren Projekt (speziell Akustik). (Phase 2)



## 2 Überarbeitung der Anforderungen

Um ein im Markt erfolgreiches Produkt zu erhalten, müssen Positionierung, Zielmärkte und die daraus folgenden Anforderungen auf ait, den neuen Industriepartner im Projekt, angepasst sein. Deswegen wurden die Anforderungen aus dem Vorprojekt vollständig überarbeitet und ein Lastenheft erstellt. Anhand des Lastenheftes wurde das Konzept aus dem Vorprojekt überprüft und überarbeitet.

### 2.1 Zielmärkte

Das Produkt soll primär für den Verkauf in folgenden Märkten entwickelt werden:

- Deutschland
- Frankreich
- Österreich
- Schweiz
- Skandinavien

In D/A/CH werden ESO hauptsächlich durch Radiatorheizung ersetzt, in Skandinavien, Frankreich und Südeuropa werden mehrheitlich Split-Kühl/Heizgeräte (Wärmepumpe als Einheit an der Fassade; Wärmetauscher im Gebäude) als Ersatz eingesetzt.

Benelux, England und Osteuropa verwenden hauptsächlich Gas und kaum Elektrizität zum Heizen und sind deswegen nicht im Fokus.

Südeuropa wird durch ait als wenig interessant eingeschätzt, weil dort Splitgeräte für die Kühlung Standard sind und die Kunden deswegen deren Nachteile (z.B. Optik) auch beim Ersatz von ESO mutmasslich in Kauf nehmen. In Frankreich und Skandinavien, wo Kühlgeräte nicht so verbreitet sind, werden diese stärker wahrgenommen.

### 2.2 Marktgetriebene Anforderungen

Neben dem ESO-Ersatz soll das Gerät in Zukunft auch als primäres HLK-System in Niedrigenergie-wohnungen, Lofts oder bei Temporärbauten einsetzbar sein. Aus den zusätzlichen Märkten und Einsatzgebieten ergeben sich die folgenden wesentlich geänderten Anforderungen:

- Lüftungsfunktion als Festforderung:  
da die ERWP nicht nur als ESO-Ersatz eingesetzt werden soll, wird das Anbieten einer Lüftungsfunktion notwendig.
- Kosten:  
Da ait auch Märkte mit hohem Preisdruck bearbeiten will, wurde der Ziel-VP des Basisgeräts auf 750 EUR/kW (Wunsch: 500 EUR/kW) inkl. Kernbohrung gesetzt.  
Die Verkaufspreise müssen auch mit einem dreistufigen Vertriebskanal (Marke Novelan) eingehalten werden können.
- Einsatzbedingungen:  
Der Einsatz in Skandinavien und Osteuropa ergibt wesentlich härtere Umgebungsbedingungen als bei der Fokussierung auf CH/D/F (Aussentemperatur, Fest-Anforderung: -20-40°C, Wunsch: -25-50°C)





## 2.3 Weitere Anforderungen

Neben den direkt von den Märkten getriebenen Anforderungen wurden aufgrund der Erfahrungen und Einschätzungen von ait die folgenden Anforderungen angepasst oder detailliert (Auswahl):

- Schallanforderungen:  
Zusätzlich zum Schalldruck innen wurde auch die maximale Schallleistung ausserhalb des Gebäudes definiert. Diese wurde im Vorprojekt nicht betrachtet.
- Anforderungen Lüften und Kühlen  
Für die Funktionen Lüften und Kühlen wurden Leistungsanforderungen definiert
- Installation:  
Das Gerät soll (bei bestehender Kernbohrung) vom Kunden weitestgehend selbst installiert werden können → steckerfertiges Gerät (230V, 1ph), max. 50 kg
- Wanddurchbruch:  
ait sieht die konzentrische Luftführung als heikel an, da ein Luftkurzschluss möglich ist. Deswegen soll mit zwei Durchbrüchen mit möglichst viel Abstand (Dezentrales Lüftungsgerät Konkurrenz: 800 mm) gearbeitet werden
- Windlast:  
Für die im Vorprojekt nicht betrachtete Windlast wurde eine Anforderung definiert (max. 15 m/s).
- Wärmespeicher:  
Ein Wärmespeicher wird als nicht zwingend notwendig betrachtet – falls aber eine einfache Lösung zur Wärmespeicherung gefunden wird, soll dies mit integriert werden
- Be-/Entfeuchtung:  
Die Möglichkeit zur Entfeuchtung wird durch die Kühlfunktion bereits zum Grossteil umgesetzt – zusätzlich soll auch eine Befeuchtungsoption mit eingeplant werden.

Das konkrete Lastenheft ist im Anhang ersichtlich.



## 3 Konzepte

### 3.1 Teilkonzepte

Um die Komplexität tief zu halten, möglichst viele Ideen zu erarbeiten und auch ungewöhnliche Kombinationen nicht zu verlieren, wurde die ERWP in Teilprobleme aufgeteilt, für die Lösungen und Konzepte erarbeitet wurden. Diese können anschliessend zu Gesamtkonzepten kombiniert werden.

Die folgenden Teilprobleme wurden betrachtet:

- Luftführung/Komponentenanordnung
- Lüften
- Energie speichern
- Entfeuchtung/Kondensathandling
- Befeuchtung der Luft
- Schalldämmung/-dämpfung
- Einbindung/Installation
- Regelung

Die gefundenen Lösungen für die Teilprobleme sind im Anhang ersichtlich.

### 3.2 Ansätze für das Gesamtkonzept

Um die Vorauswahl der Teilkonzepte zu erleichtern, wurden in einem ersten Schritt radikale Gesamtkonzepte nach den folgenden Ansätzen zusammengestellt:

1. Möglichst einfache Umsetzung, d.h. Erfüllen der Minimalanforderungen (Heizen/Kühlen/Lüften)
2. Möglichst viele Funktionen im Funktionsmuster überprüfen
3. Das Funktionsmuster möglichst nahe an ein Serienprodukt bringen

Dies ergab die in Tabelle 1 ersichtlichen Profile:



<b>Möglichst...</b>	<b>...einfache Umsetzung</b>	<b>...viel überprüfbar</b>	<b>...nahe an Serienprodukt</b>
Kompressor	R410a, gekapselt	R410a, gekapselt	R410a, gekapselt
Bauweise/ Schalldämmung	Rahmenaufbau, Schaum- und Rohrteile	Rahmenaufbau, EPP-Teile	EPP-Aufbau
Lüften	Externe Luftzu- führung, zwei Klappen	Raum für möglichst viele Varianten vorsehen, mehrere Varianten konstruieren	Detaillierte fluiddynamische Auslegung der Luftwege, um möglichst viele Aktoren einzusparen, mehrere Varianten konstruieren und bauen
Speicher	Kein Speicher	Latenzwärmespeicher umsetzen	Raum für Latenzwärme- speicher
Kondenswasser- Handling	Beheizte Leitung, Tropfen	Beheizte Leitung, Tropfen/Pumpe	Beheizte Leitung, Tropfen/Pumpe
Luftbefeuchtung	Im Fumu nicht betrachten	Vernebler einkaufen und integrieren	Vernebler, Anbindung konstruieren

**Tabelle 1: Gesamtkonzepte nach radikalen Ansätzen**

### 3.3 Angestrebtes Gesamtkonzept

Generell wird angestrebt, mit dem Funktionsmuster möglichst viel zu überprüfen, um anschliessend die notwendigen Informationen über Machbarkeit und Beschränkungen einer ERWP und damit die Basis für eine ait-interne Weiterführung des Projektes ohne Fördermittel zu schaffen.

Die grösste Herausforderung im Projekt und damit auch die grösste Priorität bei der Funktionsmuster-Auslegung und den Experimenten liegt auf der Schallvermeidung im Heizbetrieb, d.h. es ist primär zu zeigen, wieviel Heizleistung bei der Erfüllung der Schallanforderungen erreichbar ist.

Die Lüftungsfunktion hat eine tiefere Priorität, da sie aber den Aufbau stark mitbestimmt, soll sie ins Funktionsmuster integriert werden. Es müssen aber nicht mehrere Varianten getestet werden können, sondern nur eine Variante soll ausgelegt und umgesetzt werden. Für dieses Vorgehen wird ein Konzept mit möglichst guter Regelbarkeit bevorzugt (genügend Regelparameter und entsprechende Aktoren).

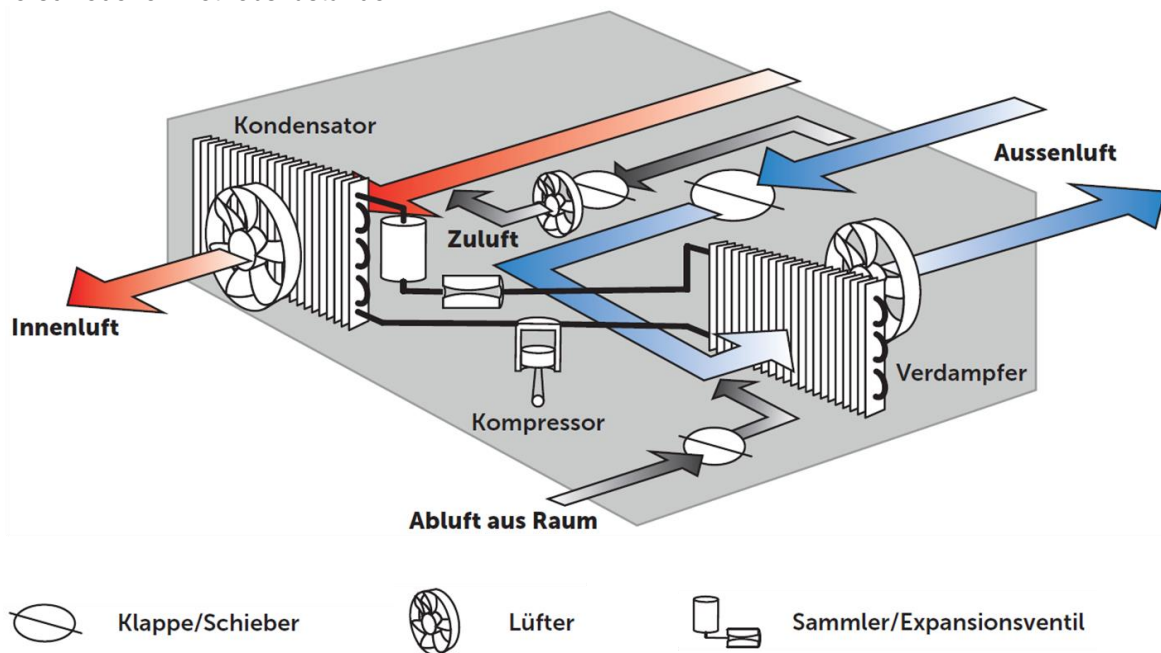


Entsprechend der Priorisierung, der Anforderungen aus dem Lastenheft sowie der technischen Rahmenbedingungen wurde das folgende Gesamtkonzept für das Funktionsmuster erarbeitet:

Kompressor	R410a, gekapselt
Bauweise/Schalldämmung	Rahmenaufbau, EPP-Teile
Lüften	Eine möglichst gut regelbare Variante auslegen und integrieren
Speicher	Kein Speicher, Möglichkeit für Platten-Wärmetauscher für Anbindung an Warmwassernetz wird integriert
Kondenswasser-Handling	Beheizte Leitung nach aussen, Ablauf/Zerstäuber mit Pumpe
Luftbefeuchtung	Wird im Funktionsmuster nicht umgesetzt

**Tabelle 2: Angestrebtes Gesamtkonzept**

Im Schema in Abbildung 2 ist das angestrebte Lüftungskonzept ersichtlich: Um die Wärme aus der Abluft zurückgewinnen zu können, wird diese vor dem Verdampfer in den Aussenluftkanal eingebracht. Die Zuluft wird über einen separaten Lüfter auf die Innenluftseite gebracht. Die zusätzlichen Absperr-/Steuerorgane (Klappen/Schieber) ermöglichen eine robuste Funktion in den verschiedenen Betriebszuständen.



**Abbildung 2: Schematische Darstellung des angestrebten Gesamtkonzeptes (vereinfacht)**



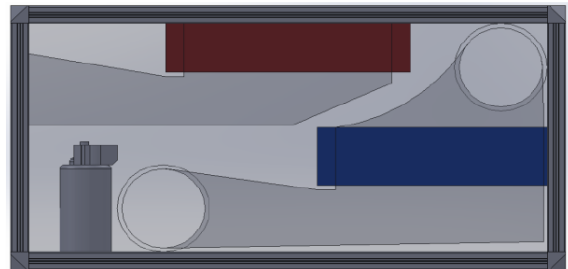
## 4 Umsetzung Funktionsmuster

### 4.1 Grobauslegung und Konstruktion

Um das Funktionsmuster auszulegen, hat QUO bestehende Berechnungsmodelle kombiniert und zu einem Gesamtmodell ergänzt, mit welchem das thermische und fluiddynamische Verhalten des Gerätes statisch simuliert werden können. Die Berechnungen basieren auf Microsoft-Excel.

#### GROBAUSLEGUNG EINZELRAUMWÄRMEPUMPE

Lastfall		IST 1	IST 2
		Heizen NB	Heizen&Lüften
<b>Luft</b>	<b>Luftaustausch</b>	0	75 m <sup>3</sup> /h
Innenluft	Luftmenge	350	210.0 m <sup>3</sup> /h
0.203	Raumtemperatur	20	9.6 °C
	Ausgangstemperatur	37.2	37.9 °C
	Druckverlust WT	4.1	1.7 Pa
	Wärmeleistung	2002	2045 W
	Druckverlust	6	2 Pa
Aussenluft	Luftmenge	480	210.0 m <sup>3</sup> /h
0.238	Aussentemperatur	-9	1.4 °C
	Ausgangstemperatur	-16.3	-17.0 °C
	Druckverlust WT	8.0	1.7 Pa
	Wärmeleistung	1284	1370 W
	Druckverlust	13	10 Pa
<b>Wärmetauscher</b>			
Innenluft	Länge	130	130 mm
	Breite	230	230 mm
	Höhe	450	450 mm
Aussenluft	Länge	130	130 mm
	Breite	230	230 mm
	Höhe	450	450 mm
<b>Kältekreis</b>			
Kondensationstemp.		40	40 °C
Unterkühlung		15	15 °C
Verdampfungstemp.		-20	-20 °C
Überhitzung		6	6 °C
Drehzahl		4200	4200 rpm
COP		3.02	3.0
Wärmeleistung		2002	2002 W
Einsatzgrenzen Kompressor		OK	OK

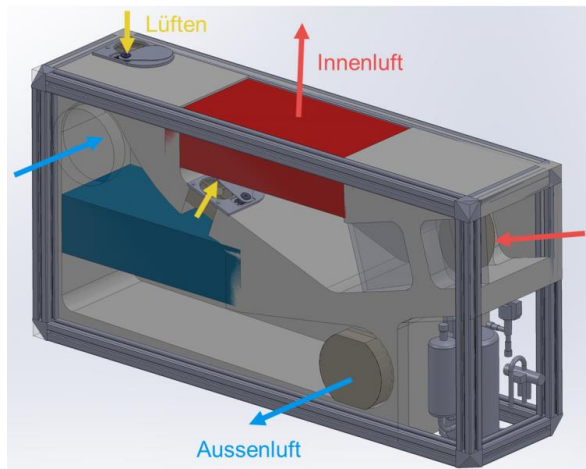


In WT-Berechnung nicht berücksichtigt, Standard: RT - 5°C

In WT-Berechnung nicht berücksichtigt, Standard: RT - 5°C

Abbildung 3: Ein- und Ausgabemaske Modell (Excel)

Anschliessend wurden verschiedene Grobkonzepte für die Positionierung der Komponenten und die Gestaltung der Luftwege erarbeitet und ihr Potential mittels des Modells überprüft. Dabei wurde das folgende Luftführungskonzept ausgewählt:



**Abbildung 4: Luftführungskonzept mit horizontaler Teilung**

Für dieses Konzept wurde eine erste Auslegung gemacht und passende Komponenten gesucht. Anhand der Kenndaten dieser Komponenten wurde die Berechnung überprüft. So wurde das System iterativ verfeinert. Die so erarbeitete Grobkonstruktion wurde durch beide ausführenden Projektpartnern analysiert und anschliessend durch QUO insbesondere an den aus Schallgründen als problematisch eingeschätzten Stellen verfeinert.

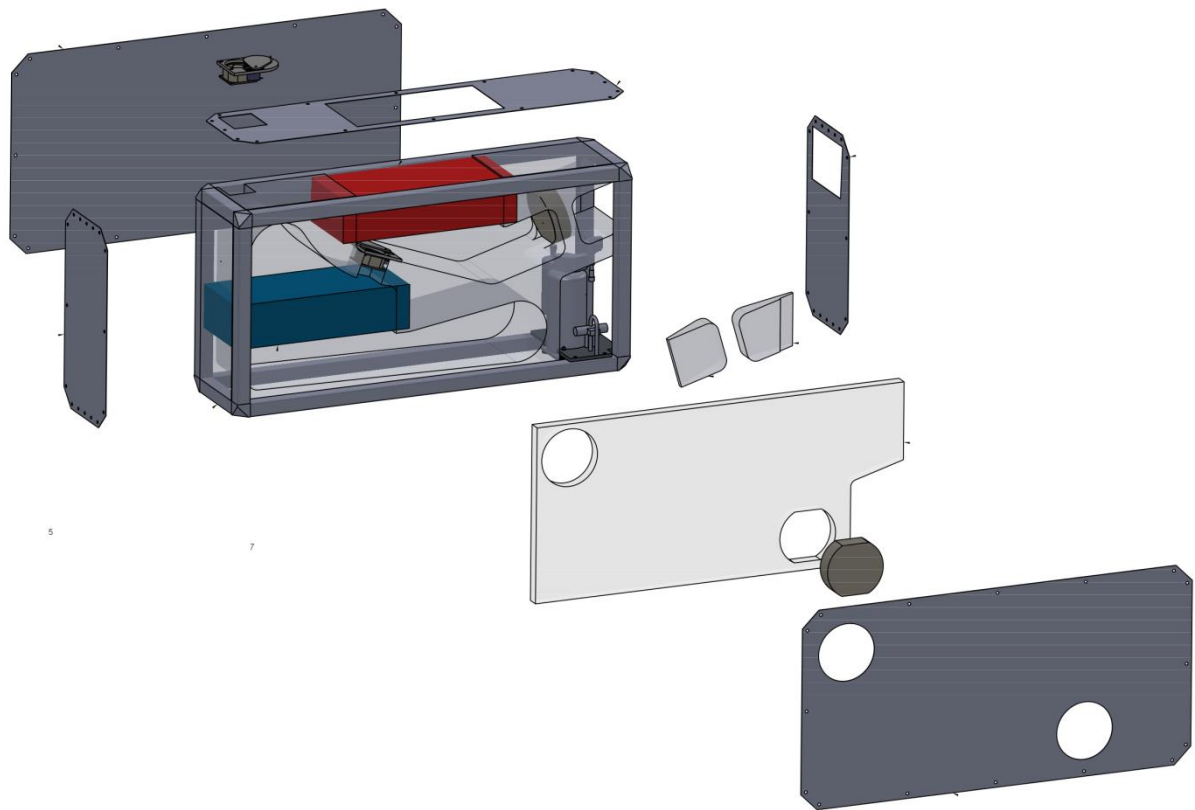
Die Lüfterauswahl wurde auf Basis der praktischen Erfahrungen im Vorprojekt durchgeführt: es wurde ein möglichst grosser Lüfter eingeplant, welcher in Teillast betrieben wird, um die Schallleistung klein zu halten. Aufgrund der Anforderungen an die Aussendimension des Gerätes und den Abstand der Aussenluft-Durchführungen ist die Auswahl aber stark eingeschränkt. Der geringe Druckverlust der geplanten Luftführungsvariante und der knappe verfügbare Bauraum implizieren die Verwendung von Axiallüftern.

Der ausgewählte Lüfter von Sunon (PSD24H0AZBX) besitzt ähnliche Maximalleistungsdaten wie der Radiallüfter im Vorprojekt (ebmpapst K3G220-RC05-03), mit dem maximale Schalldruckpeaks des Gesamtgerätes von 30 dB(A) bei Gerätevollast erreicht wurden. Eine grobe Abschätzung<sup>1</sup> beim berechneten Druckverlust des Gesamtsystems sagt einen Schalldruckpegel des freistehenden Lüfters von 37 dB(A) voraus – eine weitere Reduktion des Schallpegels zur Erreichung der Anforderungen (<30 dB(A)) muss somit durch das Gehäuse und entsprechende Dämmung und Dämpfung erfolgen. Im Vorprojekt konnte dies durch experimentelle Optimierung erreicht werden.

Der Aufbau kleineren Kältekreis-Komponenten (z.B. Rohleitungen, Ausschnitte für Rohrführungen, elektrische Leitungen, Halterungen etc.) sollte durch ait-Deutschland ad-hoc erfolgen. Sie sind deshalb in der Grobkonstruktion (vergleiche Abbildung 5) nicht enthalten.

---

<sup>1</sup> Ansatz:  $\Delta L \approx 6 \cdot 10 \cdot \text{LOG}(n/n_0)$



**Abbildung 5: Grobkonstruktion des Funktionsmoders**

Im Rahmen der Konstruktion und nach Diskussion der kritischen Punkte zwischen ait und QUO wurden mögliche Optimierungsmassnahmen erarbeitet, die je nach Messresultaten zur iterativen Weiterentwicklung (Schallpegelreduktion) eingesetzt werden können, z.B. Dämmung und Dämpfung der Aussenhülle, Anpassungen an der Kompressorhalterung, Dämpfungskulissen im Aussenluftkanal, Anpassungen an Luftführung und Ein- und Austritten, etc.).





## 4.2 Aufbau Funktionsmuster

Das Funktionsmuster und entsprechend beschaffte Komponenten wurde nach den Konstruktionsplänen von QUO in der Musterbauwerkstatt der ait-Deutschland aufgebaut. Dabei wurden einige nicht auskonstruierte Komponenten ad-hoc integriert und nicht exakt passende Teile (z.B. Wärmetauscher, Kompressorhalterung) in Abstimmung mit QUO angepasst.

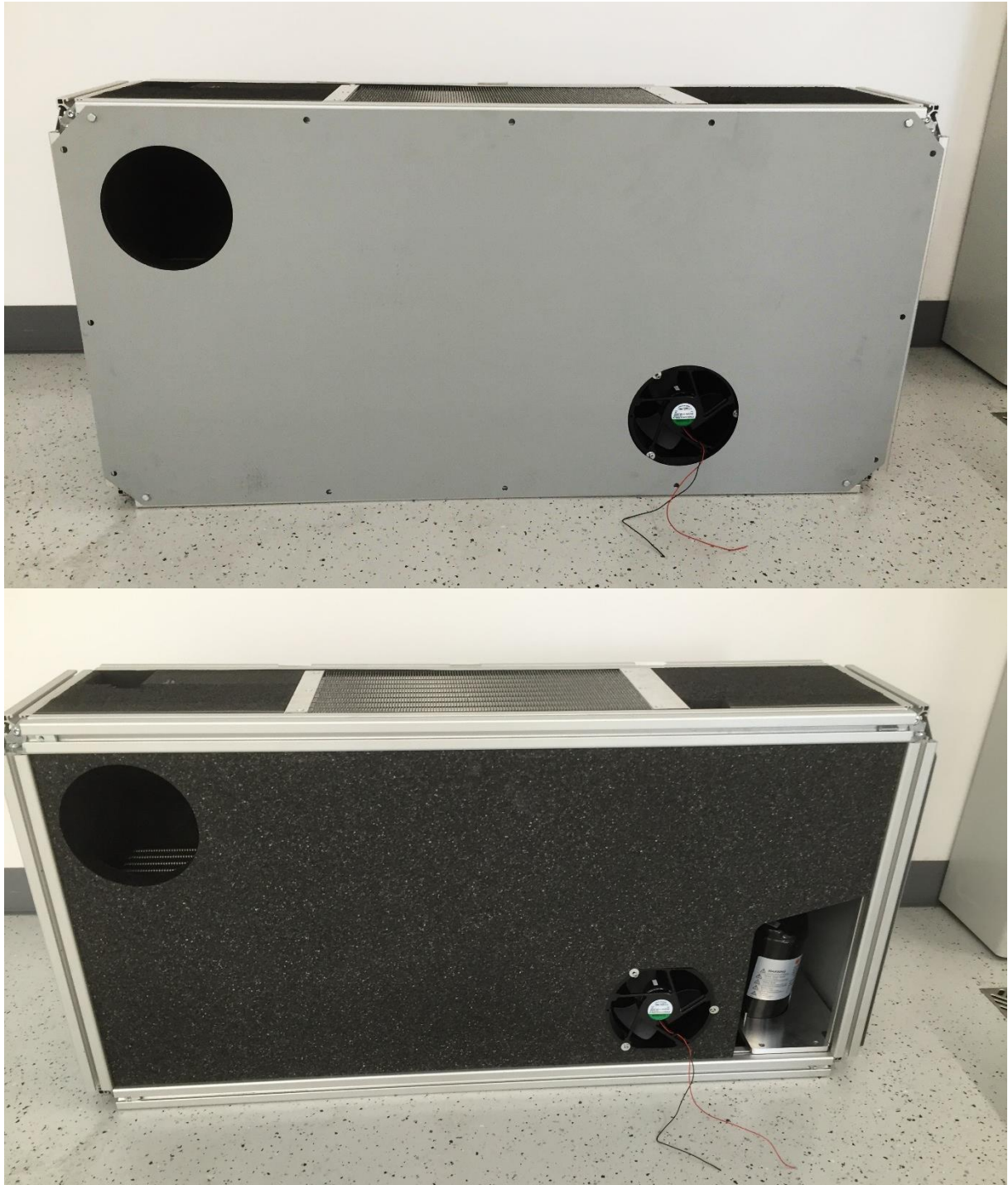


Abbildung 6: Funktionsmuster im Aufbau



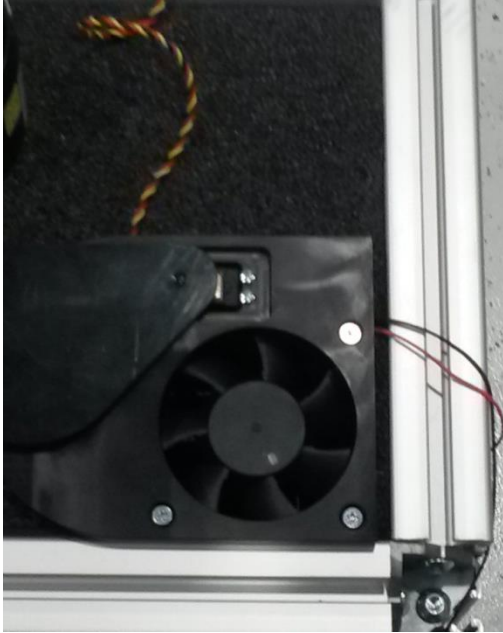


Abbildung 7 - Detailansicht Klappe und Lüfter für die Lüftungsfunktion

## 5 Messungen Funktionsmuster

Bei den ersten Untersuchungen wurde der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Geräuscentwicklung gelegt, noch vor dem Aufbau des Kältekreis und Untersuchung der Heizleistung.

### 5.1 Messaufbau

Gemessen wurden jeweils die dem Innenraum zugewandten Lüfter des Geräts in einem Meter Abstand zum Gerät. Die Messung wurde in der kleinen Schallmesskammer des neuen Technikums der ait-Deutschland durchgeführt. Folgende Hilfsmittel und Messgeräte kamen dabei zum Einsatz:

- Labornetzgerät zur Versorgung der Lüfter mit Strom
- Multifunktionsmessgerät der Marke „Fluke“ zur Überwachung der eingestellten Lüfterspannung
- Schiltknecht-Flügelradanemometer und AMR-Handauslesegerät zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeit und damit der Abschätzung des Volumenstroms
- Brüel&Kjaer Mediator 2238 zur Messung der Schalldruckpegel



Abbildung 8: Messaufbau Innenluftlüfter Erste Messergebnisse

In einer ersten Messung (ohne Verschalung/Dämmung) wurden folgende Werte gemessen:

	Hauptlüfter (Innenluft)	Luftaustauschlüfter
Soll – Volumenstrom [m³/h]	350	75
Ist – Volumenstrom [m³/h]	342	75
Spannung [V]	18,15	7,35
Schalldruckpegel in 1m [dB]	49,5	44,5



Folgendes wurde beobachtet:

- Unangenehmes Laufgeräusch der Lüfter
- Starke Übertragung von Vibrationen des Lüfters auf die Rahmen und das EPP-Gehäuse

Die Ergebnisse zeigen, dass das Funktionsmuster ohne weitere Optimierung alleine mit dem Hauptlüfter, der die Luft im Innenraum des Gebäudes bewegt, weit über den geforderten 30 dB(A) liegt. Durch den Lufteintritt kommt es weiter zu hörbaren Strömungsgeräuschen.

## 5.2 Vertiefende Experimente

Um dennoch der Ursache auf die Spur zu kommen wurden auf Basis der Messergebnisse weitere Messungen zur Einschätzung des Verhaltens des Funktionsmusters und dessen Komponenten, durchgeführt:

- Mit montierten Blechen
- Reduzierter Drehzahl
- Lüfter alleine, außerhalb des Funktionsmusters

Die Ergebnisse zeigen, dass mit montierten Blechen sich das Ergebnis nicht verbessert, es sich beim Schall also auch um ein Luftgeräusch handelt. Es wurde sogar eine leichte Verschlechterung in Höhe von 2 dB(A) gemessen. Dies ist auf die zusätzlichen Körperschallgeräusche von den Blechen zurückzuführen, welche vom Lüfter über die Rahmen auf die Bleche übertragen werden.

Mit reduzierter Drehzahl und ca. 20% weniger Volumenstrom konnten die Geräusche um ca. 3 dB(A) reduziert werden, würden damit aber die angepeilten technischen Daten weiterhin deutlich verfehlen.

Der Hauptlüfter alleine gemessen bringt ausgebaut ca. 50 dB(A) und ist somit maßgeblich für die Geräuschentwicklung des Gerätes verantwortlich. Der Unterschied zur rechnerischen Abschätzung und zu den praktischen Erfahrungen aus dem Vorprojekt ist enorm. Um die Auslegung und das Messverhalten zu hinterfragen wurde beschlossen, alternative Lüfter ähnlicher Baugröße zu testen.

## 5.3 Experimente mit alternativen Lüftern

Da die ausgewählten Lüfter die Schallanforderungen voraussichtlich auch bei einer optimalen Kapselung/Dämmung nicht erfüllen werden, sind weitere Lüfter mit möglichem Potential unter erweiterten Kriterien (teilweise grössere Aussenmasse; nicht kompatibel mit den bisherigen Anforderungen) evaluiert worden:

- ebmpapst 6314/2TDHP
- Orion Fans OD180APL-48MWB
- ebmpapst K3G220-RC05-03 (Radiallüfter aus Vorprojekt)

Alle Messungen wurden mit der Luftmenge des Vollast-Auslegungsfalles durchgeführt.

Zu Beginn wurde ebmpapst 6314/2TDHP untersucht. Der Lüfter hat nominell einen Schalldruckpegel von 60dB(A), der durch die reduzierte Drehzahl deutlich reduziert werden sollte. Er besitzt im Vergleich zum Sunon-Lüfter 5 statt 3 Flügel und ist somit in der Lage, mehr Volumenstrom zu fördern bzw. bei gleichem Volumenstrom langsamer zu drehen. Die Versuche wurden freistehend durchgeführt, da die Messungen mit dem Sunon-Lüfter gezeigt haben, dass die Ergebnisse bei einem Axiallüfter sich nicht stark unterscheiden. Dabei wurde ein Geräusch von 39,8 dB(A) gemessen. Dieses Messresultat zeigt das Potential, welches ein Lüfter mit mehr Flügeln birgt.



Die Versuche mit dem Radiallüfter ebmpapst K3G220-RC05-03 wurden ebenfalls freistehend, ausserhalb des Funktionsmusters, durchgeführt, da dieser aktuell wegen seiner Abmessungen nicht in das Funktionsmuster eingebaut werden kann. Die Drehzahl wurde gemäss dem erforderlichen Volumenstrom eingestellt (gedrosselt); dabei wurde ein Geräuschpegel in der Höhe von 40,5 dB(A) gemessen. Also eine ähnliche Grössenordnung wie der erstgenannte ebmpapst-Axiallüfter.

Versuche mit dem Lüfter Orion Fans OD180APL-48MWB konnten bisher nicht durchgeführt werden, da der Hersteller den Liefertermin laufend verschoben hat, zuletzt auf Februar 2017. Der Lüfter wird in Taiwan hergestellt und über die USA nach Europa versendet. Versuche, den Lüfter über andere Kanäle zu beziehen schlugen fehl.

Die Messungen mit den ebmpapst-Lüftern zeigen Messwerte, welche näher an den Erwartungen und den Erfahrungen/Resultaten aus dem Vorprojekt liegen. Dies ist damit ein interessanter Ansatzpunkt für den weiteren Verlauf des Forschungsprojekts. Andererseits hat sich allerdings gezeigt, dass die gewählte Kombination aus Blechhülle und EPP-Isolation (thermische Isolation) bezüglich Schalldämpfung und -dämmung wesentlich schlechter wirkt als erwartet.



## 6 Ergebnisse / Erkenntnisse

In den ersten Messungen mit dem Teilaufbau des Funktionsmusterst lag die Geräuschentwicklung deutlich oberhalb der angestrebten Zielwerte. Hinzu kommt eine Verstärkung des Geräusches durch die Luftführung (Innenraumluft) im Ansaugbereich sowie eine Verstärkung über den Rahmen des Funktionsmusters (Körperschall). Die hohen Anforderungen an das Gerät in Sache Akustik wurden mit dem konzipierten Funktionsmuster auf Anhieb klar verfehlt.

Die Ergebnisse mit den im weiteren Verlauf evaluierten und getesteten Lüftern zeigen, dass die Auslegung und Zielwerte analog zum Vorprojekt in Reichweite liegen, jedoch einer weiterführenden experimentellen Beschäftigung mit der Komponente Lüfter und dem Thema Luftführung, Schalldämmung und -dämpfung bedürfen.

Für die experimentelle Weiterentwicklung wird die Prüfung weiterer vom Durchmesser her grösserer Axiallüfter mit einer höheren Schaufelanzahl vorgeschlagen. Diese können für den erforderlichen Volumenstrom bei einer Drehzahl deutlich unter dem Nennwert, und somit leise, betrieben werden. Für deren Verwendung müssen aber gegebenenfalls die Anforderungen an die Gehäusedimensionen und den Wanddurchbruch-Abstand „aufgeweicht“ werden.

Der Werkstoff EPP hat die Erwartungen aus Sicht der Schalldämpfung nicht erfüllt. Es müssen für diese Anwendung zumindest punktuell besser dämpfende Materialien verwendet werden, was den Aufbau des Produkts erheblich verteuert. Auch die Aufhängung der Lüfter ist im Vergleich zur ersten Ausführung des Funktionsmusters zu verbessern. Die Lagerung direkt im EPP-Teil hat aufgrund der geringen Dämpfung zur Übertragung der Schwingungen auf den Rahmen und die Verschalungsbleche geführt.

Die Luftführung muss hauptsächlich an den Ein- und Auslässen bezüglich Schalldämpfung und Verringerung von Luftgeräuschen experimentell verbessert werden.

Eine konsequente Optimierung des Wärmepumpen-Betriebspunktes auf minimale Luftvolumenströme ist ein Punkt, der in einem zweiten Optimierungs-Schritt weiteres Potential bietet, wenn die Reduktion der Schallentwicklung im Bereich der Anforderungen erreicht wurde. Bisher wurden alle Experimente bei Auslegungsbedingungen durchgeführt.



## 7 Ausblick

Die bisherigen Messungen mit dem Funktionsmuster zeigen, dass bis zur Umsetzung der Einzelraumwärmepumpe nach den Anforderungen von ait-Deutschland noch wesentliche experimentelle Arbeit geleistet werden muss (siehe Kapitel „Ergebnisse /Erkenntnisse“).

Grundsätzlich schätzen alle Projektpartner die Chancen eines solchen Produktes sowohl marktseitig wie auch technisch weiterhin als vielversprechend ein. Insbesondere marktseitig ist die Attraktivität während dem bisherigen Projektverlauf gestiegen, da sich nun auch in Deutschland verschiedenen Interessenten zeigten und die noch vielfach installierten Elektrospeicheröfen in den D-A-CH-Ländern nach wie vor Tatsache sind.

So gibt es am Fraunhofer Institut Bestrebungen ein ähnliches Projekt hinsichtlich der Integration von Wärmepumpen in Fassaden zu starten. Weiter gibt es auf Landesebene Bayern Überlegungen Forschungsprojekte zum Thema Fassadenheizungen zu initiieren. Die Anforderungen sind teilweise ähnlich wie bei der ERWP, das Produkt ist aber nicht direkt übertragbar. Die auf den ersten Blick unterschiedlichen Anforderungen sind sehr ähnlich in Bezug auf Geräusche und Leistungen. Trotz größerer Räume ist die Heizleistung im Büro ähnlich der Wohnräume wegen der zahlreich in einem Büro installierten elektrischen Geräte. Geräuschtechnisch sind die Anforderungen auf den ersten Blick geringer, aber in der Summe wegen der Vielzahl von installierten Geräten im Außenbereich gleichsam anspruchsvoll.

ait-Deutschland schlägt zur Weiterführung eine Änderung der Projektkonstellation und -Finanzierung vor. Um den erheblichen experimentellen Aufwand für den nächsten Schritt zu leisten, strebt ait-Deutschland die Zusammenarbeit mit einer Hochschule und eine entsprechende experimentelle Studienarbeit an, mit welcher diverse Lüftermodelle, -Position sowie Ein- und Auslassgeometrien und deren Auswirkung auf die Schallemissionen in verschiedensten Varianten aufgebaut und experimentell geprüft resp. optimiert werden.

Diese Arbeit soll die fundierte, wissenschaftliche Grundlage für eine nachgelagerte Wiederaufnahme der Produktentwicklungsarbeiten für die ERWP durch ait bilden.



## Anhang

### Übersicht Teilkonzepte

#### Luftführung/Komponentenanordnung

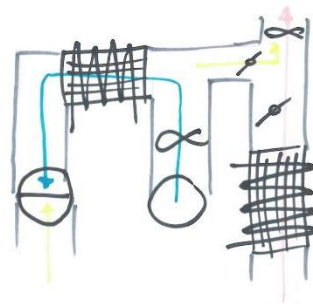
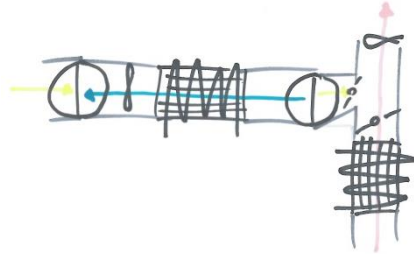
- Luftförderung
  - Lüfter
    - Axial
    - Radial
    - Querstrom
  - Membranpumpe/Balg
  - Elektrostatischer Antrieb
- Position Luftförderung
  - Lüfter in Durchbruch
  - Lüfter innerhalb, Labyrinth
- Speicher an Lüftung ankoppeln
  - Speicher mit Abluft füllen
  - Speicher mit Zuluft leeren
  - Lüftungs-Wärmetauscher nur über Speicher beheizen (Speicherfunktion in Übergangszeit)
- EPP-Bauweise für wenig Einzelteile und gute Schalldämmung und -dämpfung
- Umgang mit Windlast
  - Blende gegen direkten Wind
  - Luftein- und -auslass-Richtung voneinander weg
  - Abstand zwischen Ein- und Auslass maximieren  
Konkurrenz: ca. 80 cm Abstand (vertikal) bei tiefer Geschwindigkeit
- Verdichter
  - In Luftstrom
  - Gekapselt
- Kältemittel
  - R290
  - R410a
  - R32

#### Lüften

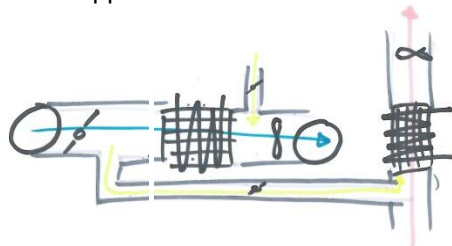
- Ein-/Auslass
  - Eigene Öffnung für Zu-/Abluft
    - Zusätzliche Bohrungen (Zuluft-/Abluftventil)
    - Getrennte Kanäle in Bohrung
    - Bohrungen verbinden, Raum dazwischen nutzen
    - Fenster nutzen (Fensterbank)
  - Nutzung der bestehenden Bohrungen
- Steuern/Regeln
  - Steuerorgan
    - Schieber
    - Klappe



- Schlauchquetschventil
  - Ev. manuell betreiben (vier Stellungen)
- Luftmengensteuerung
  - Einstellbare Klappe/Schieber/etc.
  - Takten (on-off)
- Regelung aufgrund
  - Differenzdruckmessung innen/aussen, Modell aufgrund Betriebsparameter
  - Volumenstrommessung
    - Thermisch
    - Staudruck/Differenzdruck über Blende
    - Mischtemperaturen
- Fördern
  - Position vor/nach Wärmetauscher
    - Zwei Klappen: keine Wärmerückgewinnung, kein Vorheizen

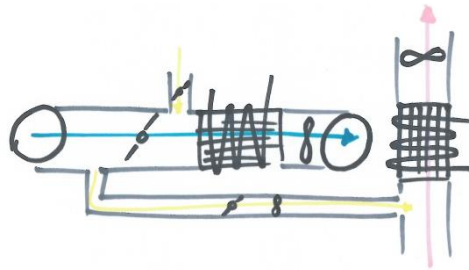


- Drei Klappen: Vorheizen

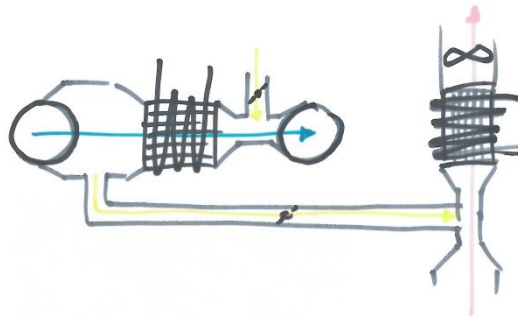


- Drei Klappen, ein Lüfter





- Ev. mehrere Innenluft-Wärmetauscher, damit richtiges Druckniveau und Vorwärmung Frischluft erreicht werden kann
- Künstliche Verengung (Venturi)



- Förderung durch Lüfter statt Venturi, mit Steuerorganen vollständig abgetrennt
- Staudruck nutzen

## Energie speichern

- Haussystem nutzen
  - Warmwasser
  - Heizsystem
- Gebäude kontaktieren
- Latenzwärmespeicher auf Wärmetauscher
- Batterie
- Kältemittelspeicher (Ventil)
- Warmwasserspeicher
  - Einkoppeln über Schichtung des Wassers
- Druckluftspeicher
- Schwungrad
- Schamottstein

## Entfeuchtung/Kondensathandling

- Sammeln
  - Gemeinsame Kondensatwanne Verdampfer/Verflüssiger
  - Verdampfer-Wanne höher, Abfluss mit Siphon
- Entsorgung
  - Durch die Wand nach aussen
    - Hydrophobe Beschichtung lässt Wasser abfließen



- Beheizte Leitung
    - Über Schwerkraft
    - Mit Pumpe
  - Tank, der manuell geleert wird
- Technologie
  - Verdampfen
    - Heizelement
    - Auf Kompressor
  - Vernebeln
    - Ultraschall
    - Düse
    - Rotationszerstäuber
  - Strahl/Tropfen
- Position
  - in Kanal
    - Eisbildung
  - An Sichtblende/Schutzgitter
  - Ausserhalb

## Befeuchtung der Luft

- Kondenswasser-Nutzung
  - Verschmutzung im Wärmetauscher
  - Kondenswasser fällt an, wenn nicht viel Befeuchtung notwendig ist.
- Herkömmliche Luftbefeuchtertechnologie
  - Vernebeln
  - Verdampfen
  - Verdunsten über Matten
- Über Wärmetauscher tropfen
- In Lüfter tropfen
- Anstecken eines externen Luftbefeuchters, der durch ERWP geregelt wird
- Position vor Wärmetauscher erhöht Effizienz des Heizsystems

## Schalldämmung/-dämpfung

- EPP-Bauweise
- Labyrinth vor Ein-/Auslass
- Kulissen in Bohrungen
- Blende vor Austritt
- Entkopplung Kompressor/Lüfter von Gehäuse

## Einbindung/Installation

- Schablone für Bohrung
- Aufhängung
  - Direkt an Wand
  - Konsole an Wand
  - Stehend auf dem Boden
    - Fussleiste muss kompensiert werden











- Bodenunebenheiten ausgleichen
  - Nachjustiermöglichkeit für exakte Positionierung zur Bohrung an der Wand
- Transport
  - Palette mit Abfahrrampe, gleichzeitig als Montagehilfe
  - Tragen: Alleine: max. 25 kg / zu zweit: max. 50 kg
  - Transport mit Sackwagen: 90° kippbar, Transportsicherungen

## Regelung

- Einzelraumregelung mit Raumsensor an Gerät
- Kommunikation mit Elektro-Heizung(en) zur Spitzenlastabdeckung

### Legende Skizzen:

	Lüfter
	Klappe/Schieber
	Wärmetauscher
	Innenluft
	Aussenluft
	Frischluft/Abluft
	Bohrung durch Wand
	Bohrung durch Wand mit zwei Kanälen (Alternativ auch zwei separate Bohrungen resp. Bohrung und Frischluftventil)



# EINZELRAUM- WÄRMEPUMPE

## Lastenheft (Arbeitsdokument)

Version	Datum	Kurzbeschreibung / Änderung	Visum QUO	Visum ait
1	8.7.2014	Abschluss Phase 1a		

ROOT\_Lastenheft in Arbeit.docx

VERTRAULICH  
© QUO | ZÜRICH, 13. NOVEMBER 2014



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Definitionen und Handhabung</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Funktionen</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Umgebungsbedingungen</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Leistungsdaten</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Kosten/Vertrieb/Installation/Service</b>	<b>12</b>

## Anhang

<b>A1</b>	<b>Effizienzanforderungen</b>	<b>13</b>
<b>A2</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>14</b>



# 1 Ausgangslage

## 1.1 Ziel des Projektes

Das Endziel ist die Entwicklung einer Einzelraumwärmepumpe (ERWP) als gute, marktgerechte Lösung für den Ersatz der veralteten und ineffizienten Elektroheizkörper (ESO).

Einzelraumwärmepumpe (ERWP)

## 1.2 Angestrebtes Produkt

Die ERWP ist eine innen aufgestellte Luft-Luft-Wärmepumpenlösung zur Beheizung eines einzelnen Raumes oder mehrerer Räume in einer Wohnung. Die Aussenluft wird über Aussenwanddurchbrüche ins Gerät gebracht, im Wärmetauscher abgekühlt und wieder nach aussen abgegeben. Über einen Wärmepumpenkreislauf wird die Wärme auf ein höheres Niveau gebracht und an die Raumluft abgegeben.

Luft-Luft-Wärmepumpe  
Innenaufstellung

Da die Geräte im Wohnraum stehen sollen, ist ein möglichst geringer Schallpegel die grösste Herausforderung. Aufgrund des Einsatzzweckes als Ersatz für ESO sind das Einhalten der gleichen Aussenmasse, eine hohe Effizienz und eine einfache Installation weitere wichtige Anforderungen.

Hauptanforderungen

## 1.3 Angestrebte Märkte

Das Produkt soll primär für den Verkauf in folgenden Märkten entwickelt werden:

Primärmärkte

- Deutschland
- Frankreich
- Österreich
- Schweiz
- Skandinavien

In D/A/CH werden ESO hauptsächlich durch Radiatorheizung ersetzt, in Skandinavien, Frankreich und Südeuropa werden mehrheitlich Split-Kühlgeräte (Wärmepumpe in Einheit an der Fassade; 2. Wärmetauscher im Gebäude) als Ersatz eingesetzt.

Durch ait geprüft werden folgende zusätzliche Märkte:

- Benelux (vermutlich mehr Gas als Elektrizität zum Heizen)
- England (vermutlich mehr Gas als Elektrizität zum Heizen)
- Osteuropa z.B. Polen

Südeuropa wird durch ait als wenig interessant eingeschätzt, weil dort Splitgeräte für die Kühlung Standard sind und die Kunden deswegen deren Nachteile (z.B. Optik) auch beim Ersatz von ESO mutmasslich in Kauf nehmen.



## 2 Definitionen und Handhabung

### 2.1 Lastenheft

Ein Lastenheft, auch Anforderungsspezifikation genannt, beschreibt gemäss DIN 69901-5 die unmittelbaren Anforderungen, Erwartungen und Wünsche an ein geplantes Produkt.

Anforderungen werden definiert

Im übertragenen Sinne werden hier die Antworten auf die Fragestellungen „Was ist zu erarbeiten?“ und „Für was ist etwas zu erarbeiten?“ gegeben.

Sachbezogene Fragestellungen sollen beantwortet werden

Das Lastenheft ist während der Entwicklungsphase als nicht abgeschlossenes System zu betrachten und wird stetig weiter entwickelt.

Lastenheft wird stetig weiterentwickelt

Ein Lastenheft bietet die Voraussetzung für ein Pflichtenheft.

Kein Pflichtenheft ohne Lastenheft

### 2.2 Pflichtenheft

Im Pflichtenheft ist gemäss DIN 69901-5 die Umsetzung der im Lastenheft definierten Anforderungen vermerkt.

Umsetzung der Anforderungen

Im übertragenen Sinne werden hier die Antworten auf die Fragestellungen „Wie werden die Anforderungen gemäss Lastenheft erfüllt“ bzw. „Womit werden die Anforderungen gemäss Lastenheft erfüllt?“.

Lösungsorientierte Ansätze

### 2.3 Handhabung Lastenheft

Die folgenden Anforderungen im Rahmen des Lastenhefts stellen erste Randbedingungen, Abgrenzungen, Bestimmungen, etc. dar, welche sich im Rahmen des Projektfortschritts stetig weiterentwickeln werden. Folglich kann und soll sich auch der Inhalt des Lastenhefts weiterentwickeln bzw. detaillieren.

Erste Randbedingungen können sich während Projektfortschritt weiterentwickeln

Somit ist dieses Lastenheft als nicht abschliessend zu betrachten und weitere Ergänzungen wie auch Anpassungen können in weiteren Versionen eingebracht werden. Die darin enthaltenen Angaben sind jedoch zum jeweiligen Zeitpunkt verbindlich.

Lastenheft nicht abschliessend aber verbindlich



### 3 Funktionen

Das angestrebte Gerät soll die folgenden Grundfunktionen erfüllen:

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
3.1.	Raumluft beheizen		Leistungsanforderungen siehe Kap. 5.1	Fest	Grundfunktion zur Erfüllung von 1.2
3.2.	Raumluft kühlen		Leistungsanforderungen siehe Kap.	Fest	Zusatzfunktion, als Option geplant
3.3.	Raum mit Aussenluft belüften		Leistungsanforderungen siehe Kap. 0	Fest	Zusatzfunktion
3.4.	Speichern der Wärme		Leistungsanforderungen siehe Kap. 0	Wunsch	Zusatzfunktion
3.5.	Be-/Entfeuchten		Leistungsanforderungen siehe Kap. 5.5	Wunsch	Zusatzfunktion

Diese bedingt aufgrund des in 1.2 gewählten Lösungsansatzes mittels Wärmepumpe die folgenden Sekundärfunktionen:

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
3.6.	Kondensat aus Aussenluft abführen		Leistungsanforderungen siehe Kap. 5.1	Fest	Grundfunktion zur Erfüllung von 3.1
3.7.	Kondensat aus Innenluft abführen		Leistungsanforderungen siehe Kap. 5.2	Fest	Grundfunktion zur Erfüllung von 3.2
3.8.	Luft filtern		Leistungsanforderungen siehe Kap 5.3	Fest	Grundfunktion zur Erfüllung von 3.3
3.9.	CO <sub>2</sub> -Gehalt der Luft messen			Wunsch	Zusatzfunktion zu 3.3

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 5 | VERTRAULICH

### 4 Umgebungsbedingungen

In diesem Kapitel wird definiert, in welcher Umgebung und zu welchem Zweck das angestrebte Gerät eingesetzt werden soll.

Es sind die folgenden Einsatzzwecke vorgesehen:

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
4.1.	Elektrospeicherofen-Ersatz			Fest	Projektzweck (Finanzierung BFE/BKW)
4.2.	Ersatz von Elektro-Fussbodenheizungen und Infrarotpanels			Fest	
4.3.	Primäres Heiz-/Kühl-/Lüftungssystem von Niedrigenergiehäusern/-Wohnungen/Lofts			Fest	
4.4.	Beheizung von Temporärbauten			Fest	
4.5.	Primäres Heiz-/Kühl-/Lüftungssystem für 1-2Zimmer-Appartments			Fest	
4.6.	Warmwasser-Bereitung	Nicht im Gerät integriert	Lösung für Gesamtsystem (Heizung und Warmwasserbereitung) muss erarbeitet werden (Betrifft Neubau / Sanierung bestehende Lösung)	Fest	

Dies ergibt die folgenden Umgebungsbedingungen:

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 6 | VERTRAULICH





Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
4.7.	Innentemperatur	10-35	°C	Fest	
4.8.		5-40	°C	Wunsch	
4.9.	Luftfeuchtigkeit Innen	30-75	%	Fest	
4.10.		30-80	%	Wunsch	
4.11.	Aussentemperatur	-20-40	°C	Fest	
4.12.		-25-50	°C	Wunsch	
4.13.	Luftfeuchtigkeit aussen	30-80	%	Fest	
4.14.					
4.15.	Beheiztes Raumvolumen	25-65	m <sup>3</sup> /Gerät	Fest	
4.16.		25-85	m <sup>3</sup> /Gerät	Wunsch	
4.17.	Elektrischer Anschluss	230V, 50 Hz, 1 ph steckerfertig		Wunsch	Einfache Installation ohne Elektriker
4.18.	Aussenmasse maximal	Tbd auf Basis Komponenten; Tiefe so schmal wie möglich	mm (BreitexHöhexTiefe)	Fest	Muss in Lücke des Elektrospeicherofen passen
4.19.	Windlast	Max 15 m/s			
4.20.	Dimensionierung Wanddurchbruch	Luftgeschwindigkeit max. 3 m/s			

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 7 | VERTRAULICH

## 5 Leistungsdaten

In diesem Kapitel werden die Leistungsdaten bei der Erfüllung der Grundfunktionen des angestrebten Gerätes definiert.

### 5.1 Heizen

Für das Beheizen der Raumluft werden die folgenden Leistungsdaten gefordert:

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
5.1.1.	Heizleistung nominal	2	kW bei -9/20°C (Luft-Luft)	Fest	Richtwert aus Vorprojekt
5.1.2.	Kältekreis- und Lüftersteuerung	Modulierend	Stufen, Bereich?		
5.1.3.	Effizienz	A+	COP $\geq$ 3.6 bei 7/20 (A/A)	Fest	Gemäss (EU) Nr. 626/2011 vom 4. Mai 2011 [1]
5.1.4.		A++	COP $\geq$ 4.1 bei 7/20 (A/A)	Wunsch	
5.1.5.	Schalldruck im Innenraum	30	dB (A)	Fest	Gemäss EN 12102:2013 [2], DIN 4109 [3]
5.1.6.		25	dB (A), Nachtmodus	Wunsch	
5.1.7.	Schalleistung aussen	max 55	dB (A)	Fest	Zukunftssicherer Wert gemäss Einschätzung J. Maul
5.1.8.		max 50	dB (A)	Wunsch	
5.1.9.	Tonhaltigkeit Schall	<6	dB (A) Abweichung über Durchschnitt	Wunsch	
5.1.10.	Strahlungsanteil an Heizleistung	10%	bei Vollast	Wunsch	Ankopplung der Gehäuseoberfläche bringt Komfort und Mehrleistung
5.1.11.	Max. Luftmenge im Innenraum	Raumluftgeschwindigkeit sollte unter 1.5m/s bleiben	Behaglichkeit	Fest	DIN EN 7730 [4]
5.1.12.	Max. Lufttemperatur beim Austritt	35	°C		Passivhausvorgabe/Behaglichkeit
5.1.13.	Steuerung/Regelung	Einzelraumregelung		Fest	

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 8 | VERTRAULICH



## 5.2 Kühlen

Für das Kühlen der Raumluft werden folgende Leistungsdaten gefordert:

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
5.2.1.	Kühlleistung	1.5	kW bei 30/30°C (Luft-Luft)	Fest	
5.2.2.	Min. Lufttemperatur beim Austritt	15	°C	Fest	Kondensation am Gerät muß vermieden werden
5.2.3.	Effizienz	A	EER $\geq$ 2.6 bei 35/27 (A/A)	Fest	Gemäss (EU) Nr. 626/2011 vom 4. Mai 2011 [1]
5.2.4.		A+	EER $\geq$ 3.1 bei 35/27 (A/A)	Wunsch	
5.2.5.	Schalldruck im Innenraum 1 m vom Gerät	30	dB (A)	Fest	Gemäss EN 12102:2013 [2]
5.2.6.		20	dB (A) Nachtmodus	Wunsch	
5.2.7.	Schallleistung aussen	50	dB (A)	Fest	
5.2.8.	Tonhaltigkeit Schall	<6	dB (A) Abweichung über Durchschnitt	Wunsch	
5.2.9.	Steuerung/Regelung	Einzelraumregelung		Fest	

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 9 | VERTRAULICH

## 5.3 Lüften

Es wird ein Basisgerät ohne Lüftungsfunktion und eine Option mit Lüftungsfunktion angestrebt. Die folgenden Anforderungen beziehen sich nur auf das Gerät mit Lüftungsoption

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
5.3.1.	Luftmengen (Stufen)	75	m <sup>3</sup> /h	Fest	Stosslüftung (bei einem Gerät pro Raum)
5.3.2.		50	m <sup>3</sup> /h	Fest	Auslegungsbetrieb
5.3.3.		25	m <sup>3</sup> /h	Fest	Abgesenkter Betrieb
5.3.4.		0	m <sup>3</sup> /h	Fest	Reiner Heizbetrieb
5.3.5.	Luftmengen Genauigkeit	±X	m <sup>3</sup> /h	Fest	
5.3.6.	Vorheizung	Führung der Aussenluft über Verflüssiger-Wärmetauscher		Wunsch	Verhinderung von Vereisungsproblemen, Leistungserhöhung
5.3.7.	Filterklasse Luftfilter	Min. F7		Fest	
5.3.8.	Filtertyp	Partikelfilter	z.B. mechanischer Filter	Fest	
5.3.9.		Geruchsfilter	z.B. Aktivkohle	Wunsch	
5.3.10.	CO <sub>2</sub> -Sensor	1350	ppm	Fest	Nach EN 13779 [5]
5.3.11.	Steuerung/Regelung	Luftmengenstufe oder Schadstoffkonzentration		Fest	

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 10 | VERTRAULICH



## 5.4 Wärme speichern

Ein Wärmespeicher wird als nicht zwingend notwendig betrachtet – falls aber eine einfache Lösung zur Wärmespeicherung gefunden wird, werden die folgenden Anforderungen an den Speicher gestellt:

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
5.4.1.		4	kWh bei T= 25°C entspricht einer Überbrückungszeit von 2 h	Wunsch	Ermöglicht BKW-Tarif „Ito1 energy break“ mit 2x2h Sperrzeit pro Tag [6]
5.4.2.	Speichergrosse	16	kWh bei T= 25°C entspricht einer Überbrückungszeit von 8 h	Wunsch	Ersetzt Nachtspeicheröfen vollständig
5.4.3.		24	kWh bei T= 25°C entspricht einer Überbrückungszeit von 12 h	Wunsch	Ermöglicht Heizen nur mit Nachttarif (BKW)
5.4.4.	Ansteuerung		KNX, EE	Wunsch	Smart-Grid-Funktionalität
5.4.5.	Speicherposition	Im Gerät oder im Speicher der nicht im Gerät integrierten Warmwasserbereitung denkbar		Siehe 3.4	

## 5.5 Be-/Entfeuchten

Eine Be-/Entfeuchtungsfunktion wird als allfällige Option betrachtet.

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
5.5.1.	Entfeuchtungsleistung	ergibt sich aus Verdampferleistung	l/h	Wunsch	
5.5.2.	Befeuchtungsleistung	Max. 200	ml/h	Wunsch	
5.5.3.	Volumen Wasserspeicher	2	l	Wunsch	Kein Netzwasseranschluss, Nachzufüllender Speicher, ggf. als Option
5.5.4.	Feuchtigkeitssensor			Wunsch	
5.5.5.	Steuerung/Regelung	Einzelraumregelung			

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 11 | VERTRAULICH

## 6 Kosten/Vertrieb/Installation/Service

In diesem Kapitel werden die Kostenziele und die angestrebten Vertriebskanäle definiert.

Nr.	Bezeichnung	Wert	Einheit/Bemerkung	Typ	Herkunft
6.1.	Verkaufspreis Basisgerät	750	EUR/kW inkl. Kernbohrung	Fest	
6.2.		500	EUR/kW	Wunsch	
6.3.	Verkaufspreis Option Kühlen	100	EUR		Zusätzlich zu Preis Basisgerät
6.4.	Verkaufspreis Option Lüften	150	EUR		Zusätzlich zu Preis Basisgerät
6.5.	Preis Installation Montagezeitvorgabe max.1,5 h	100 ohne Kernlochbohrung	EUR/Gerät (in D, A) ohne Demontage eines allfälligen bestehenden Gerätes	Fest	Basis: Preise in Deutschland 1h-1,5h
6.6.		Zweistufig (Kunde: Installateur)		Fest	Marke Alpha-Innotec
6.7.	Vertrieb	Dreistufig (via Grosshandel)		Fest	Marke Novolan
6.8.		In CH via BKW		Wunsch	Gemäss Angabe Hr Giger/BKW möglich
6.9.	Installation	Durch Kunden möglich		Wunsch	Kein Fachmann notwendig: starkes Verkaufsargument
6.10.	Gewicht	Max. 50	kg	Fest	Durch 2 Personen installierbar
6.11.	Bedienung/Steuerung	Fernbedienung/App	Falls Lösung bei ait vorhanden oder einkaufbar ist der Einsatz zu prüfen	Wunsch	

© QUO | LASTENHEFT EINZELRAUMWÄRMEPUMPE | SEITE 12 | VERTRAULICH



## A1 Effizienzanforderungen

Gemäss EU-Verordnung 626/2011 [1] ist die Einzelraum-Wärmepumpe ein „Zweikanal-Luftkonditionierer“:

„Zweikanal-Luftkonditionierer“ bezeichnet einen Luftkonditionierer, bei dem während des Kühlens oder Heizens die Eintrittsluft des Verflüssigers (oder Verdampfers) dem Gerät über einen Kanal aus dem Freien zugeführt und über einen zweiten Kanal wieder ins Freie abgeleitet wird, und der vollständig innerhalb des zu behandelnden Raums in der Nähe einer Wand platziert ist“ [1]

Zweikanal-  
Luftkonditionierer

Dafür gelten die folgenden Effizienzanforderungen für die Energieeffizienzklassen:

Effizienzklasse

Energieeffizienz- klasse	Zweikanalgeräte	
	EER <sub>rated</sub>	COP <sub>rated</sub>
A+++	$\geq 4,10$	$\geq 4,60$
A++	$3,60 \leq \text{EER} < 4,10$	$4,10 \leq \text{COP} < 4,60$
A+	$3,10 \leq \text{EER} < 3,60$	$3,60 \leq \text{COP} < 4,10$
A	$2,60 \leq \text{EER} < 3,10$	$3,10 \leq \text{COP} < 3,60$
B	$2,40 \leq \text{EER} < 2,60$	$2,60 \leq \text{COP} < 3,10$
C	$2,10 \leq \text{EER} < 2,40$	$2,40 \leq \text{COP} < 2,60$
D	$1,80 \leq \text{EER} < 2,10$	$2,00 \leq \text{COP} < 2,40$
E	$1,60 \leq \text{EER} < 1,80$	$1,80 \leq \text{COP} < 2,00$
F	$1,40 \leq \text{EER} < 1,60$	$1,60 \leq \text{COP} < 1,80$
G	$< 1,40$	$< 1,60$

Tabelle 1: Effizienzklassen für Zweikanalgeräte [1]

Gerät	Funktion	Raumlufttemperatur (°C)	Außenlufttemperatur (°C)
Luftkonditionierer, außer Einkanal- Luftkonditionierern	Kühlung	27 (19)	35 (24)
	Heizung	20 (max. 15)	7(6)
Einkanal-Luftkonditionierer	Kühlung	35 (24)	35 (24) (*)
	Heizung	20 (12)	20 (12) (*)

(\*) Im Fall von Einkanal-Luftkonditionierern wird der Verflüssiger (Verdampfer) beim Kühlen (Heizen) nicht mit Außenluft, sondern mit Raumluft versorgt.

Tabelle 2: Norm-Nennbedingungen, Temperaturangaben als Trockentemperaturen (Feuchtttemperaturen in Klammern) [1]



## A2 Literaturverzeichnis

- [1] EU-Verordnung 626/2011 „Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU im Hinblick auf die Kennzeichnung von Luftkonditionierern in Bezug auf den Energieverbrauch“, 4.5.2011
- [2] Europäische Norm EN 12102 „Klimageräte, Flüssigkeitskühlsätze, Wärmepumpen und Entfeuchter mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung - Messung der Luftschallemissionen - Bestimmung des Schalleistungspegels, 10.2013
- [3] Deutsche Norm DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“, 11.2013
- [4] Europäische Norm EN 7730 „Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“, 5.2006
- [5] Europäische Norm EN 13779 „Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme“, 9.2007
- [6] Webseite BKW „Stromprodukte“  
<http://www.bkw.ch/stromprodukte.html>, abgerufen am 30.06.2014