

Konzeptstudie über den Aufbau eines Versuchsstandes zur Untersuchung von VRF-Systemen

Verfasser:
**Forschungsgesellschaft
Heizung-Lüftung-Klimatechnik Stuttgart mbH**

**Dipl.-Ing. Bernd Klein
Dipl.-Ing. Armin Ruppert**

**Forschungsvorhaben 2021-02
gefördert vom
Verein der Förderer der Forschung im Bereich
Heizung-Lüftung-Klimatechnik Stuttgart e.V.**

Verein der Förderer
der Forschung im Bereich
Heizung • Lüftung • Klimatechnik
Stuttgart e.V.



Dezember 2021

Vorwort und Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns recht herzlich beim Verein der Förderer der Forschung im Bereich Heizung-Lüftung-Klimatechnik Stuttgart e.V. für die Förderung des Forschungsvorhabens bedanken.

Kurzfassung

Im Zuge der Energiewende sind Wärmepumpen ein fester Bestandteil der Strategie zur Dekarbonisierung der Wärmeenergieerzeugung für die Raumheizung. Gleichzeitig sinkt der Wärmebedarf von neuen und sanierten Gebäuden aufgrund höherer Wärmedämmung stetig. Die erhöhte Dämmung führt immer öfter zu Situationen, bei denen aufgrund von inneren und äußeren Lasten ein Kühlbedarf entsteht. Dieser kann mit der gleichen Technologie, der Wärmepumpe im reversiblen Betrieb abgedeckt werden. In größeren Gebäuden werden daher oft Wärmepumpen mit einem Außengerät und einem kältemittelseitigen Verteilnetz im Gebäude eingesetzt. Diese VRF-Systeme (Variable Refrigerant Flow) können sowohl die Funktion Heizen als auch Kühlen abdecken.

Im vorliegenden Projekt wird ein Prüfstand zur Prüfung von VRF-Systemen (Luft/Luft-Wärmepumpen mit einer Außen- und mehreren Inneneinheiten) konzipiert. Dieser ist in der Lage, Energierückgewinnung durch gleichzeitiges Heizen und Kühlen in verschiedenen Nutzungszonen messtechnisch zu erfassen. Der Prüfstand besteht aus drei Kammern, einer Außenkammer und zwei kalorimetrischen Innenkammern. Zur Dimensionierung des Prüfstandes wird eine Marktanalyse über die Bauformen und Leistungsklassen von VRF-Systemen durchgeführt, wobei sich zeigt, dass der Großteil der Geräte im Leistungsbereich von 25 ...50 kW zu finden sind. Basierend auf Erfahrungswerten von bestehenden Prüfständen zur Leistungsermittlung von heiz- und raumluftechnischen Komponenten werden für diese Leistungsklassen die Dimensionen und notwendigen Komponenten des Prüfstandes beschrieben.

Abstract

In the course of the energy transition, heat pumps are an integral part of the strategy to decarbonize heat generation for space heating. At the same time, the heat demand of new and renovated buildings is constantly decreasing due to higher thermal insulation. The increased insulation leads more and more often to situations where cooling demand arises due to internal and external loads. This can be covered with the same technology, the heat pump in reversible operation. Therefore, in larger buildings, heat pumps are often used with an outdoor unit and a refrigerant-side distribution network inside the building. These VRF (Variable Refrigerant Flow) systems can cover both heating and cooling functions.

In the present project, a test bench for testing VRF systems (air-to-air heat pumps with one outdoor and several indoor units) is designed. It is able to measure energy recovery by simultaneous heating and cooling in different utilization zones. The test bench consists of three chambers, an outdoor chamber and two calorimetric indoor chambers. For the dimensioning of the test stand, a market analysis of the designs and performance classes of VRF systems is carried out, whereby it becomes apparent that the majority of the devices are to be found in the performance range of 25...50 kW. Based on empirical values from existing test benches for determining the performance of heating and ventilation components, the dimensions and necessary components of the test bench are described for these performance classes.

Inhalt

1.	Einführung	4
1.1.	Hintergrund und Motivation	4
1.2.	Aufgabenstellung	5
1.3.	Vorgehen	5
2.	Marktanalyse.....	6
2.1.	Begriffe	6
2.2.	Marktvolumen	6
2.2.1.	Weltweit	6
2.2.2.	Europa	6
2.2.3.	Förderfähige Luft/Luft Wärmepumpen in Deutschland	7
2.2.4.	Prognose	8
2.3.	Bauformen und Größen.....	9
2.3.1.	Außengeräte	9
2.3.2.	Leistungsbereich.....	10
2.3.3.	Innengeräte.....	10
2.3.4.	Ansatz für Energieverschiebung.....	11
2.4.	Prüfnormen	12
2.4.1.	EN 14511	12
2.4.2.	EN 14825.....	15
3.	Auslegung.....	17
3.1.	Geometrische Randbedingungen.....	17
3.2.	Thermische Leistungen	17
3.2.1.	Leistungsbereich.....	17
3.2.2.	Leistungsverteilung	17
3.2.3.	Abschätzung	17
3.3.	Weitere Randbedingungen.....	18
4.	Konzept Prüfstand.....	19
4.1.	Klimakammern	19
4.1.1.	Konzept.....	19
4.1.2.	Konstruktion	19
4.1.3.	Leistungsanforderung	19
4.2.	Konditionierung	20
4.2.1.	Feuchte.....	20
4.2.2.	Innenkammern	20
4.2.3.	Außenkammer	20

4.3.	Heizkreis	21
4.4.	Messtechnik	21
4.4.1.	Temperatur	21
4.4.2.	Feuchte	21
4.4.3.	Massenstrom	21
4.4.4.	Strom	24
4.5.	Medienversorgung	24
4.5.1.	Kaltsole	24
4.5.2.	Wärme	24
4.5.3.	Strom	25
4.6.	Regelung und Steuerung	25
4.6.1.	Platzbedarf	25
4.6.2.	Software	25
4.6.3.	Hardware	26
5.	Komponentenzusammenstellung	27
6.	Literaturverzeichnis	30

1. Einführung

1.1. Hintergrund und Motivation

Im Zuge der Energiewende sind Wärmepumpen ein fester Bestandteil der Strategie zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung für die Raumheizung. Hierbei wird mit der elektrisch eingesetzten Energie ein Mehrfaches an Wärmeenergie auf einem nutzbaren Temperaturniveau gewonnen. Hierzu ist eine Wärmequelle notwendig, in der Regel wird hierfür Energie der Umgebung (Umgebungsluft oder Erdwärme) verwendet.

Auf der anderen Seite sinkt der Wärmebedarf moderner Gebäude durch die höhere Wärmedämmung stetig. Die erhöhte Dämmung führt aber immer öfter zu Situationen, bei denen aufgrund von inneren und äußeren Lasten ein Kühlbedarf entsteht. Dieser kann mit der gleichen Technologie der Wärmepumpe im reversierten Betrieb abgedeckt werden.

In größeren Gebäuden werden oft Wärmepumpen mit einem Außengerät und mehreren Innengeräten an einem kältemittelseitigen Verteilnetz im Gebäude eingesetzt. Diese Systeme werden als Multisplit-Systeme bezeichnet und können sowohl die Funktion Heizen als auch Kühlen abdecken. Ist hierbei eine Gleichzeitigkeit von Heizen und Kühlen in unterschiedlichen Räumen möglich, werden solche Systeme auch als VRF-Systeme bezeichnet.

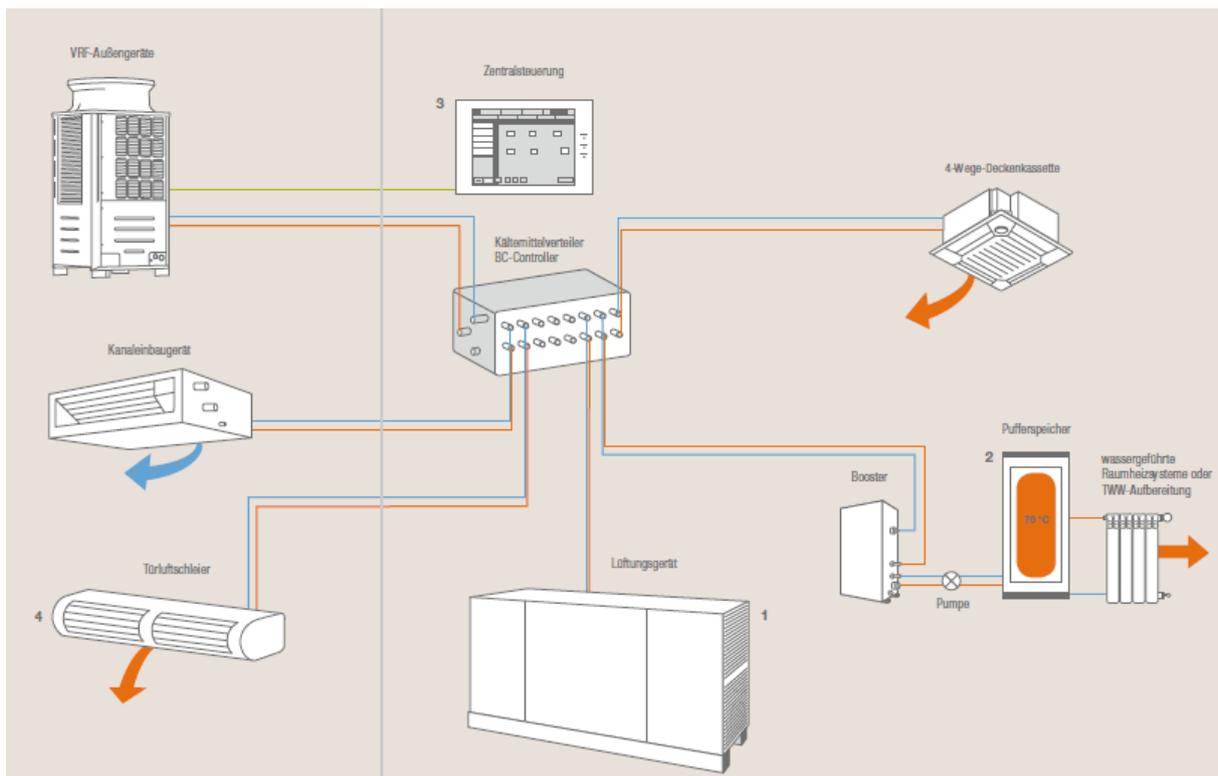


Bild 1: Beispiel für ein VRF-System (Mitsubishi, 2021)

Wenn in einem Gebäude in unterschiedlichen Zonen gleichzeitig ein Heiz- und ein Kühlbedarf entsteht, kann ein solches System, bei richtiger Auslegung, die Energiemengen im Gebäude verschieben, und so zur Energieeffizienz des gesamten Gebäudes beitragen.

In der Normprüfung nach EN 14511 wird die Effizienz von VRF-Systemen entweder für die Heiz- oder die Kühlfunktion an einem festen Punkt statisch geprüft. Aus dieser Normmessung

lässt sich nur bedingt eine Aussage über eine jahreszeitliche Effizienz des Systems ableiten, eine Bewertung bei gleichzeitigem Heizen und Kühlen ist nur rudimentär vorgesehen.

Genauere Aussagen über die Effizienz bei gleichzeitigem Heizen und Kühlen könnten durch ein „Hardware in the loop“-Verfahren (HiL) gewonnen werden, bei dem das System in einer dynamisch aufgeprägten Umgebung betrieben wird. Die Anforderungen an den Prüfstand gehen hierbei über die für die in EN 14511 notwendigen Anforderungen hinaus, insbesondere muss hier auch die Dynamik der Regelung berücksichtigt werden.

1.2. Aufgabenstellung

In dieser Studie soll ein Konzept für den Aufbau eines Prüfstandes für die Leistungsprüfung von Luft/Luft Wärmepumpen mit dem Fokus auf VRF-Systeme erstellt und hinsichtlich Größe und Kosten abgeschätzt werden.

Ziel dieser Studie soll die Konzeptionierung eines Prüfstandes sein, bei dem die Messung der Energierückgewinnung durch gleichzeitiges Heizen und Kühlen sowohl als statische Normprüfung, als auch durch Einbindung in eine dynamischen Simulationsumgebung für ein HiL-Verfahren verwendet werden kann.

Die Aufgaben und Ziele dieser Studie sind dabei:

- Erhebung von Marktdaten zur Charakterisierung von verbreiteten Leistungsgrößen und Bauformen
- Analyse von Normen zur Festlegung von Anforderungen für die Normprüfung
- Identifikation von Leistungsanforderungen an eine Versuchseinrichtung
- Identifikation von Voraussetzungen für eine HiL-Kopplung
- Dimensionierung und Konzeptionierung eines Prüfstandes unter besonderer Berücksichtigung der Messung der Energierückgewinnung

Bei der Dimensionierung des Prüfstandes soll insbesondere auch der zur Verfügung stehende Raum berücksichtigt werden.

1.3. Vorgehen

In einem ersten Schritt werden der Markt an VRF-Geräten gesichtet sowie typische Baugrößen und deren Spezifikationen abgeleitet. Hierbei werden auch typische Bauformen von Innen- und Außengeräten identifiziert. Anschließend werden die Anforderungen der einschlägigen Prüfnormen an die Prüfung der Energieeffizienz zusammengestellt.

Im nächsten Schritt werden die Anforderungen an die notwendige Leistung einer Prüfeinrichtung definiert. Hierfür werden die notwendigen Temperatur- und Leistungsbereiche für die Funktion Heizen und Kühlen ermittelt. Es werden auch Anforderungen für den Betrieb in einem HiL-System berücksichtigt.

Basierend auf den erzielten Ergebnissen wird ein Konzept für einen Prüfstand erstellt. Dieses enthält neben den räumlichen Dimensionen auch den Bedarf an Versorgungsmedien und die Mess- und Regeltechnik. Basierend auf einer Komponentenliste werden die Kosten für einen solchen Prüfstand abgeschätzt.

2. Marktanalyse

2.1. Begriffe

Mit dem Überbegriff „Wärmepumpen“ werden Geräte bezeichnet, die Energie für die Gebäudetemperierung mit Hilfe eines Kältekreislaufes von einer Quellen- auf eine Nutzungsseite übertragen. Auf der Nutzungsseite kann damit sowohl eine Wärme- als auch eine Kältebelastung abgeführt werden.

Bei Wärmepumpen wird die Bauart nach dem Medium der Wärmequelle und Wärmenutzung unterschieden. In diesem Konzept werden hauptsächlich Luft/Luft-Wärmepumpen betrachtet, also Geräte die als Wärmequelle Außenluft und die Nutzwärme direkt an die Innenluft übertragen

Luft/Luft-Wärmepumpen existieren in folgenden Bauformen:

- Single-Split
- Multi-Split
- VRF-Multi-Split

Split bedeutet, dass die Inneneinheit mit der Außeneinheit über kältemittelgefüllte Leitungen verbunden ist. Wird die Wärmepumpe nur zum Kühlen verwendet, wird sie auch mit „Klimagerät“ bezeichnet. Hierbei handelt es sich fast durchweg um Single-Split-Geräte.

Bei Multi-Split Geräten kann die Energie im Gebäude auf mehrere Räume verteilt werden, es ist jedoch in allen Räumen nur die gleiche Funktion (Heizen oder Kühlen) verfügbar. Jedes Innengerät ist direkt am Außengerät angeschlossen

VRF (Variable Refrigerant Flow, bei Daikin VRV) bedeutet, dass die Inneneinheiten an einem Kältemittelverteilnetz angeschlossen sind. Jede Inneneinheit kann individuell geregelt werden.

Sind die Inneneinheiten mit mehr als zwei kältemittelgefüllten Leitungen mit der Außeneinheit verbunden, kann an jeder Inneneinheit individuell wahlweise geheizt oder gekühlt werden. In diesem Fall kann die Effizienz des Gesamtsystems durch Energierückgewinnung signifikant erhöht werden.

2.2. Marktvolumen

2.2.1. Weltweit

Der weltweite Absatz von VRF-Systemen wird laufend von der Japan Air Conditioning, Heating & Refrigeration News Ltd (JARN) analysiert. Laut Analyse der Zahlen durch CCI (CCI, 9. August 2021) betrug der weltweite Absatz von VRF-Systemen 2020 1,8 Mio. Geräte. China hat mit 61,4 % den größten Anteil am Weltmarkt, gefolgt von Europa (9 %) und Japan (7,9%).

2.2.2. Europa

Laut JARN hat sich auf dem europäischen Markt der Trend weg von gewerblich genutzten VRF-Systemen hin zu Mini-VRF-Geräten verschoben. Die Hauptanwendungsbereiche dieser kleineren Geräte sind kleinere Büroeinheiten (45 %), Geschäfte (16 %), Hotels (13 %), Wohneinheiten (11 %) und Schulen/Krankenhäuser (10 %).

Auch in Deutschland gab es 2020 laut JARN eine gesteigerte Nachfrage nach Mini-VRF-Geräten begünstigt durch die Tatsache, dass viele Arbeitnehmer im Home Office arbeiteten. Die neue Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG) fördert Luft/Luft-Wärmepumpen, wovon auch VRF profitieren.

Eine Statistik über die Entwicklung des Marktvolumens von Wärmepumpen für Heizzwecke in Europa wird von der European Heatpump Association (EHPA) geführt. Folgende aktuellen Marktzahlen sind auf der EHPA-Homepage zu finden:

Heat Pump Sales Europe

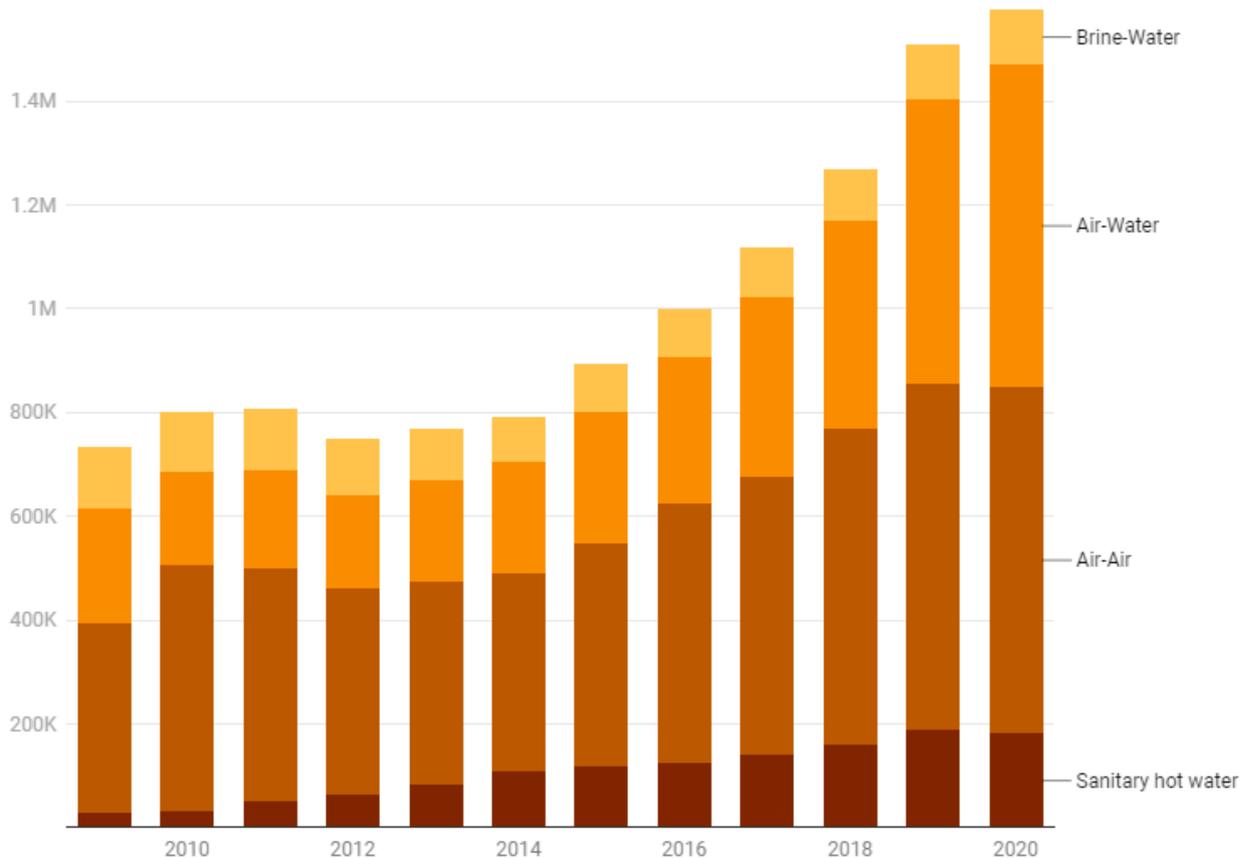


Bild 1: Marktentwicklung von Wärmepumpen in Europa (EHPA, 2021)

Aus der Statistik ist ersichtlich, dass das Marktvolumen von Wärmepumpen in den vergangenen Jahren in Europa stetig gewachsen ist. Dies gilt auch für den Bereich der Luft/Luft-Wärmepumpen, wovon laut dieser Statistik im Jahr 2020 ca. 667.000 Einheiten in Europa verkauft wurden. Unter dem Überbegriff Luft/Luft-Wärmepumpen (Air-Air) werden in der Statistik allerdings neben den VRF-Geräten auch einfache Raumklimageräte und Multi-Split Geräte zusammengefasst.

2.2.3. Förderfähige Luft/Luft Wärmepumpen in Deutschland

Weitere Marktzahlen können aus der Liste der förderfähigen Anlagen des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) gewonnen werden. Hier werden auf Antrag des Hersteller Geräte gelistet, die eine Mindesteffizienz bei der Heizfunktion erfüllen, und damit förderfähig durch die Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG) sind.

Luft / Luft – Wärmepumpen mit Prüfnachweis 04.06.2021					
Heizleistung ≤ 12 kW (bei Geräten mit Kühlfunktion: Kühlleistung, siehe EU 206/2012)					
Die nachfolgend aufgeführten Wärmepumpen werden zur Zeit vom BAFA als förderfähig nach der geltenden Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM) vom 17. Dezember 2020 eingestuft. Änderungen bleiben jederzeit vorbehalten. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Liste wird nicht übernommen.					
Die Entscheidung über die Bewilligung von Zuschüssen erfolgt ausschließlich im Rahmen des Antragsverfahrens.					
Hersteller	Typ	Heizleistung Bezugs-Bedingung Raumlufttemperatur 20 °C	Leistungs- Regelung	Anzahl Verdichter	Netzdienliche Schnittstelle (z.B. SG Ready)
Bosch Thermotechnik GmbH	Climate 6000i - CL6000i 25 E / CL6000i-W 25 E	3,30 kW	Inverter	1	nein
Bosch Thermotechnik GmbH	Climate 6000i - CL6000i 35 E / CL6000i-W 35 E	4,09 kW	Inverter	1	nein
Bosch Thermotechnik GmbH	Climate 8000i - CL8000i 25 E / CL8000i-W 25 E	3,29 kW	Inverter	1	nein
Bosch Thermotechnik GmbH	Climate 8000i - CL8000i 35 E / CL8000i-W 35 E	4,46 kW	Inverter	1	nein
Bosch Thermotechnik GmbH	Climate 9000i - CL9000i 35 E / CL9000i-W 35 E	4,35 kW	Inverter	1	nein
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logacool AC186i-35 / AC186i-25 W	3,30 kW	Inverter	1	nein
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logacool AC186i-35 / AC186i-25 W	4,09 kW	Inverter	1	nein
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logacool AC186i-35 / AC186i-25 W	3,29 kW	Inverter	1	nein
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logacool AC186i-35 / AC186i-35 W	4,46 kW	Inverter	1	nein
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Logacool AC196i-35 / AC196i-35 W	4,35 kW	Inverter	1	nein
DAIKIN Airconditioning Germany	Sky Air Deckengeräte FHA-100A + RZAG-100HV1	7,80 kW	Inverter	1	nein
DAIKIN Airconditioning Germany	Sky Air Deckengeräte FHA-100A + RZAG-100HV1	7,80 kW	Inverter	1	nein
DAIKIN Airconditioning Germany	Sky Air Roundlow Zwischendeckengerät FCA6-35B + RXM-35H9	3,32 kW	Inverter	1	nein

Bild 2: Auszug aus der Liste der förderfähigen Luft/Luft Wärmepumpen der BAFA (BAFA, 2021)

Die BAFA-Liste unterscheidet Baugrößen kleiner und größer 12 kW. Es sind zum derzeitigen Zeitpunkt ca. 500 Geräte kleiner 12 kW und 700 Geräte größer 12 kW gelistet. Bei der Leistungsangabe wird hier auf die Nennleistung zur Heizung Bezug genommen.

Bei den Geräten kleiner 12 kW handelt es sich teilweise um Single-Split-Wärmepumpen, teilweise um Multi-Split-Geräte.

Bei den Geräten größer 12 kW handelt es sich durchweg um Multi-Split- oder VRF-Geräte. Der genaue Anteil ist aus der Liste nicht direkt ablesbar.

2.2.4. Prognose

Die CCI (CCI Dialog GmbH, 2021) berichtet über eine Prognose des Marktforschungsunternehmens Markets & Markets. Dieses erstellte 2021 eine Prognose für den Weltmarkt von VRF-Systemen bis 2025. Demnach soll sich der Markt in diesem Zeitraum fast verdoppeln. Das hohe Energiesparpotenzial sowie die einfachen und minimalen Wartungsanforderungen von VRF-Systemen seien die wichtigsten Wachstumstreiber. CCI berichtet weiter:

„VRF-Systeme werden in den meisten gewerblichen Gebäuden eingesetzt, von kleinen Geschäften und Cafés bis hin zu großen Bürogebäuden und öffentlichen Räumen. Der Markt für VRF-Wärmepumpensysteme für den Wohnbereich wird durch Faktoren wie das steigende verfügbare Einkommen, das wachsende Bewusstsein für Energieeffizienz und die steigenden Energiekosten angetrieben. M&M erwartet, dass VRF-Systeme für Wohnanwendungen die schnellste Wachstumsrate während des Prognosezeitraums aufweisen werden.

Nordamerika soll die am schnellsten wachsende Region im VRF-Markt während des Prognosezeitraums sein. In diesem Markt haben VRF-Systeme aufgrund des zunehmenden Bewusstseins über die Energieeffizienz und den einfachen Installationsprozess mit minimalem Verrohrungsaufwand eine enorme Popularität erlangt. In letzter Zeit haben viele nordamerikanische Unternehmen VRF-Systeme auf den Markt gebracht, die mit Kältemitteln mit niedrigem Treibhauspotenzial arbeiten.

Wichtige Marktteilnehmer – laut M&M – sind Daikin (Japan), Toshiba (Japan), Mitsubishi Electric (Japan), Midea Group (China) und Johnson Controls (USA) den globalen Markt für VRF-Systeme. Weitere Unternehmen auf dem Markt für VRF-Systeme sind LG (Südkorea), Fujitsu (Japan), United Technologies (USA), Ingersoll Rand (Irland), Lennox (USA), Panasonic (Japan) und Samsung Electronics (Südkorea).“

2.3. Bauformen und Größen

2.3.1. Außengeräte

In der Außeneinheit ist in der Regel der Verdichter zusammen mit einem Wärmeübertrager und einem Ventilator integriert. Die Anströmung des Wärmeübertragers erfolgt überwiegend horizontal, die Ausblasung des Ventilators kann horizontal oder vertikal erfolgen. Beispielhaft sind folgende Außeneinheiten dargestellt:



Bild 3: Horizontal durchströmte VRF-Außeneinheiten bis 45 kW (Bosch Thermotechnology, 2021)



Bild 4: Horizontal/vertikal durchströmte VRF-Außeneinheit bis 88 kW (Mitsubishi, 2021)

2.3.2. Leistungsbereich

1.1.1.1 Daikin

Daikin gilt als Erfinder und Marktführer der VRF-Technik, sie wird hier jedoch VRV genannt. Folgender Leistungsbereich wird abgedeckt (Daikin, 2021):

- Baureihe RXYSCQ-TV1 12 ... 33 kW
- Baureihe RXYLQ-T 28 ... 45 kW

1.1.1.2 Mitsubishi

Die Analyse des Produktportfolios von Mitsubishi ergibt folgende Leistungsgrößen bezogen auf die Heizleistung (Mitsubishi, 2021):

- VRF-Geräte von 25 ... 88 kW

1.1.1.3 Bosch

Folgendes Bild ergibt sich bei Bosch (Bosch Thermotechnology, 2021):

- Baureihe AirFlux/MDCI 5300: 7 ... 90 kW
- Baureihe AirFlux 6300: 22 ... 60 kW

Für größere Leistungen werden die Geräte bei allen Herstellern kaskadiert. Laut Aussage von Mitsubishi geht der Trend eher zu kleineren Außengeräten.

2.3.3. Innengeräte

Bei den Innengeräten werden verschiedene Bauformen unterschieden. Folgende Bauformen sind verbreitet:



Bild 5: Wandgerät (Daikin, 2021)

Typische Leistungsbereiche bei Daikin sind hier 1,7...8 kW.



Bild 6: Deckengeräte (Daikin, 2021)

Typische Leistungsbereiche bei Daikin sind hier 1,7...16 kW.



Bild 7: Truhengeräte (Daikin, 2021)

Typische Leistungsbereiche bei Daikin sind hier 2,2...8 kW.



Bild 8: Kanalgerät (Daikin, 2021)

Typische Leistungsbereiche bei Daikin sind hier 1,7...18 kW

OP-Air bietet hierfür Sekundärluft-Kühlgeräte an, die die hygienischen Anforderungen der VDI 6022 und der DIN 1946 Teil 4 voll erfüllen. Diese Geräte eignen sich mit Kälteleistungen von 1,7 bis 14 kW und Luftmengen von 300 m³/h bis 2.500 m³/h für Einzelraumanwendungen von kleiner bis mittlerer Größe.

2.3.4. Ansatz für Energieverschiebung

Um gleichzeitig Heizen und Kühlen zu können, muss sowohl die flüssige als auch die gasförmige Phase des Kältemittels im Netz zur Verfügung stehen. Standardmäßig ist hier ein Verteilnetz aus drei Leitungen zu installieren.

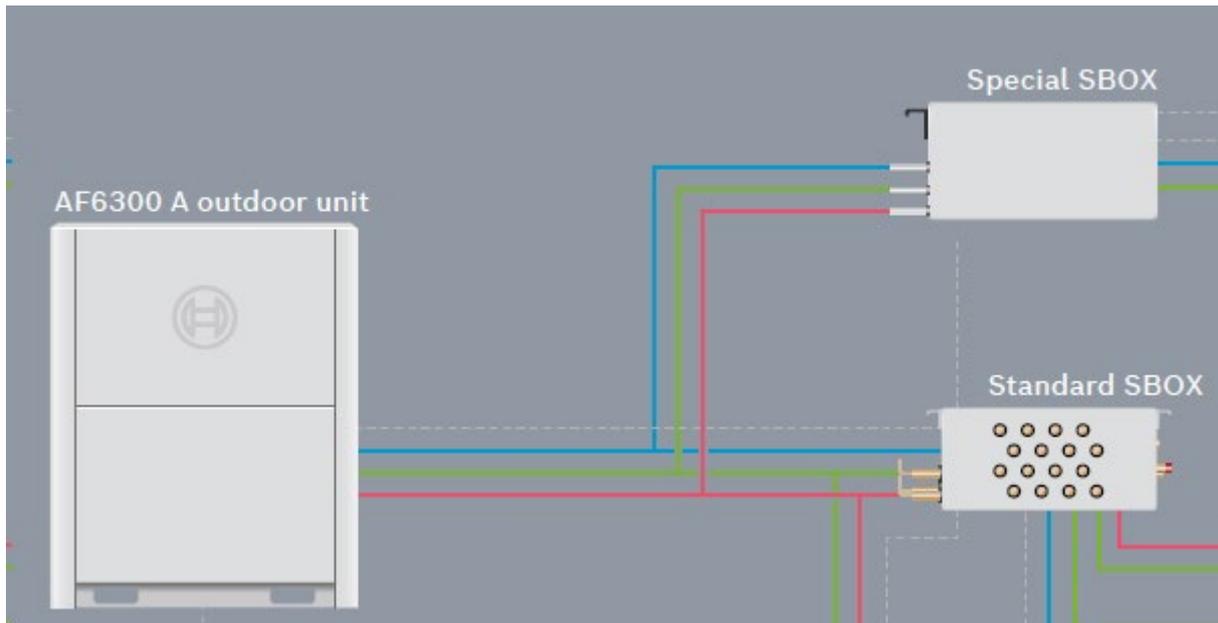


Bild 9: 3-Leiter Verteilnetz (Bosch Thermotechnology, 2021)

Mitsubishi beschreitet hier einen Sonderweg, bei dem ein Netz mit nur zwei Leitungen verlegt wird. Hierbei wird in einer Leitung eine flüssige und gasförmige Phase gemeinsam geführt und erst in den Unterverteilern im Gebäude getrennt.



Bild 10: Unterverteiler für 2-Leiter Verteilnetz (Mitsubishi, 2021)

2.4. Prüfnormen

2.4.1. EN 14511

Grundlage für die Prüfung von Wärmepumpen ist die Normenreihe EN 14511 (DIN EN, 2018): „Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern“

Sie umfasst die folgenden Teile:

- Teil 1: Begriffe
- Teil 2: Prüfbedingungen
- Teil 3: Prüfverfahren
- Teil 4: Anforderungen

Inhalt der Norm ist die Beschreibung der Messung des Wirkungsgrades für die verschiedenen Arten von Wärmepumpen. Der Wirkungsgrad im Heizbetrieb wird hier „Coefficient of Performance“ (COP) genannt.

In der Norm werden die Konditionen am Außen- und Innenwärmneübertrager definiert. Der Innenwärmeübertrager ist hierbei die Nutzseite. Folgende Prüfbedingungen sind im Teil 2 für den Heizbetrieb von Luft/Luft Wärmepumpen vorgegeben (für VRF-Geräte sind hierbei die Prüfpunkte Außenluft/Umluft relevant):

Tabelle 3 — Luft/Luft-Geräte - Heizbetrieb

		Außenwärmeübertrager		Innenwärmeübertrager	
		Trocken- kugel- temperatur am Eintritt °C	Feucht- kugel- temperatur am Eintritt °C	Trocken- kugel- temperatur am Eintritt °C	Feuchtkugel- temperatur am Eintritt °C
Norm-Nenn- bedingungen	Außenluft/Umluft (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	7	6	20	max. 15
	Abluft/Umluft (z. B. Einkanal-Wärmepumpe)	20	12	20	12
	Abluft/Außenluft	20	12	7	6
Betriebs-Nenn- bedingungen	Außenluft/Umluft (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	2	1	20	max. 15
	Außenluft/Umluft (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	-7	-8	20	max. 15
	Außenluft/Umluft (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	-15	—	20	max. 15
	Außenluft/Umluft (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	12	11	20	max. 15
	Abluft/Außenluft	20	12	2	1
	Abluft/Außenluft	20	12	-7	-8

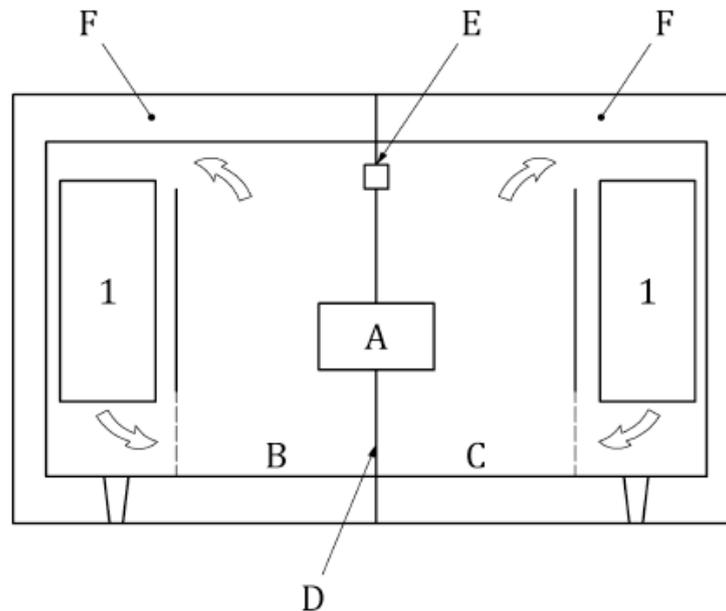
Die Effizienz im Kühlbetrieb wird in der Norm mit „Energy Efficiency Ratio“ (EER) bezeichnet. Für den Kühlbetrieb sind folgende Bedingungen definiert:

Tabelle 4 — Luft/Luft-Geräte - Kühlbetrieb

		Außenwärmeübertrager		Innenwärmeübertrager	
		Trocken- kugel- temperatur am Eintritt °C	Feuchtkugel- temperatur am Eintritt °C	Trocken- kugel- temperatur am Eintritt °C	Feuchtkugel- temperatur am Eintritt °C
Norm-Nenn- bedingungen	Komfortgeräte (Außenluft/Umluft) (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	35	24 ^a	27	19
	Komfortgeräte (Abluft/Umluft)	27	19	27	19
	Komfortgeräte (Abluft/Außenluft)	27	19	35	24
	Einkanal-Geräte ^{b,c}	35	24	35	24
	Schaltschrank	35	24	35	24
	Verfahrens- Luftkonditionierer	35	24	24	17
Betriebs-Nenn- bedingungen	Komfortgeräte (Außenluft/Umluft) (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	27	19 ^a	21	15
	Einkanal-Geräte ^{b,c}	27	19	27	19
	Komfortgeräte (Außenluft/Umluft) (z. B. Fenster, Zweikanal-Geräte, Split-Geräte)	46	24 ^a	29	19
	Schaltschrank	50	30	35	24
	Verfahrens- Luftkonditionierer	27	19	21	15

Für Luft/Luft-Wärmepumpen wird darin zum einen ein enthalpisches, zum anderen ein kalorisches Verfahren für die Messung der Nutleistung beschrieben. Aufgrund der geringeren Unsicherheit hat sich in der Praxis das kalorische Verfahren durchgesetzt.

Der Prüfraum ist in der Norm als Doppelkammer beschrieben, bei dem sowohl die Innenkammer als auch die Außenkammer als kalorische Räume ausgeführt sind:



Legende

- A zu prüfendes Gerät (in diesem Beispiel ein Luft/Luft-Kompaktgerät)
- B Innenraum
- C Außenraum
- D raumabschließende Trennwand
- E Druckausgleichssystem
- F umgebender Zwischenraum für jeden Raum
- 1 Rekonditionierungsgerät

Bild A.2 — Beispiel eines Kalorimeterdoppelraumes vom Typ Umgebungsausgleich

Die Auswertung kann wahlweise durch Bilanzierung der Innen- oder Außenkammer erfolgen, jedoch hat es sich in der Praxis durchgesetzt, nur die Innenkammer als kalorische Kammer auszuführen.

Einen großen Teil der Prüfvorschrift nimmt dabei die Bewertung von Abtauvorgängen ein. Insbesondere bei niedrigen Temperaturen bildet sich im Heizfall am Außenwärmeübertrager Eis, das zyklisch abgetaut werden muss. Die dafür notwendige Energie mindert den COP. Die Norm legt sehr detailliert fest, wie und in welchem Umfang die Abtauenergie bei der Ermittlung des COP zu berücksichtigen ist. An den Prüfstand werden hier hohe Anforderungen an die Stabilität während dieser un stetigen Periode gestellt.

2.4.2. EN 14825

In der EN 14825 werden neben den Normnennpunkten weitere Prüfpunkte beschrieben, welche die Grundlage für die Berechnung einer Jahresarbeitszahl im Heizfall (SCOP, „Seasonal Coefficient Of Performance“) bzw. Kühlfall (SEER, „Seasonal Energy Efficiency Ratio“) sind.

Für den Heizfall werden drei Klimazonen mit unterschiedlichen Auslegungstemperaturen unterschieden:

- Cold climate (CC): Auslegungstemperatur -22°C
- Average climate (AC): Auslegungstemperatur -10°C
- Warm climate (WC): Auslegungstemperatur -2°C

Der Hersteller kann nun für jede Klimazone einen Bivalenzpunkt (T_{biv}) definieren, aus dem sich die Auslegeleistung P_{dh} für die jeweilige Klimazone ergibt.

Ausgehend von der Auslegeleistung werden dann vorgegebene Lastpunkte entlang einer Heizkennlinie definiert, für die der zugehörige COP nach EN 14511 gemessen wird.

Im Kühlfall werden zwar keine Klimazonen, aber ebenfalls eine Auslegeleistung P_{dc} vom Hersteller definiert, anhand deren die anzufahrenden Teillastpunkte ermittelt werden.

Mit Hilfe einer Jahresstundenverteilung wird aus den gemessenen Punkten eine Jahresarbeitszahl berechnet (BIN-Methode).

3. Auslegung

3.1. Geometrische Randbedingungen

Zum Aufbau der Prüfeinrichtung steht ein Raum mit einer Grundfläche von 6,8 m x 10 m und einer Höhe von 5,0 m im EG des Laborgebäudes Pf.10 zur Verfügung.

Für die Normprüfung von VRF-Systemen werden zur Abbildung der Funktion von gleichzeitigem Kühlen und Heizen drei Klimakammern benötigt, eine Außenkammer und zwei Innenkammern. Dieser Prüfstand wird auch als Dreikammerprüfstand bezeichnet.

Alle Kammern müssen hinsichtlich Temperatur und Feuchte konditionierbar sein. In den beiden Innenkammern muss zusätzlich die zu- oder abgeführte Energie bilanzierbar sein, d.h. es muss sich hierbei um kalorische Kammern handeln. Dies bedingt, dass die Wände gut gegen die Umgebung gedämmt und luftdicht sind. Die Temperierung sollte durch einen Wasserkreis erfolgen, so dass übertragene Wärmeleistungen mit geringer Unsicherheit gemessen werden können. Eine Konditionierung mit Wasser ist in den Innenkammern möglich, da die Prüfkonditionen immer im positiven Temperaturbereich liegen.

In der Außenkammer können auch Temperaturen unter dem Gefrierpunkt von Wasser auftreten. Diese Kammer muss daher mit Sole konditioniert werden, wobei aufgrund einer Unsicherheit der spezifischen Enthalpie des Gemisches eine Leistungsmessung nur mit sehr hoher Unsicherheit möglich wäre. Auf diese kann jedoch verzichtet werden.

3.2. Thermische Leistungen

3.2.1. Leistungsbereich

Aus der Marktanalyse kann abgeleitet werden, dass der abzudeckende Leistungsbereich mindestens 12 kW sein sollte, aber auch nicht größer als 90 kW sein muss.

3.2.2. Leistungsverteilung

Wird nur eine Funktion (Heizen oder Kühlen) untersucht, muss die gesamte Leistung in der Außenkammer zur Verfügung gestellt werden, und die beiden Innenkammern müssen jeweils ca. die Hälfte der Leistung abdecken. Aus dieser Betrachtung kann abgeschätzt werden, dass die beiden Innenkammern jeweils in etwa halb so groß wie die Außenkammer dimensioniert werden sollten. Bei dem zur Verfügung stehenden Raum würde dies bedeuten, dass die Innenkammer ca. 3,4 m x 5 m, die Außenkammer ca. 6,8 m x 5 m groß sein könnte.

Wird die Funktion der Wärmerückgewinnung untersucht, ist die Last der Außenkammer geringer, aber die beiden Innenkammern müssen jeweils die volle Kühl- oder Heizlast abdecken.

3.2.3. Abschätzung

Die im Raum übertragbare Leistung ist begrenzt durch die mögliche Übertragungsfläche des Konditionierers und das Raumvolumen, das eine definierte Luftströmung mit homogenen Ansaugzonen erlauben muss.

Eine Leistungsdimensionierung für die Innenkammer kann aus den Erfahrungen von bisherigen Messungen erfolgen. Bisherige Messungen erfolgten in einem Prüfraum mit der Größe 3,8 m x 3,8 m x 2,8 m. Damit konnte eine Heizleistung von 12 kW abgedeckt werden. Hieraus kann eine mögliche maximale Lastabführung der Innenkammern von 25 kW abgeschätzt werden.

Daraus ergibt sich eine mögliche Gesamtleistung von 50 kW für den Prüfstand. Diese Leistung würde auch einen Großteil der am Markt erhältlichen Gerätegrößen abdecken.

3.3. Weitere Randbedingungen

Im Keller steht ein Nebenraum zur Stationierung einer Kälteanlage zur Verfügung. Hier können eine oder mehrere innenaufgestellte Kältemaschinen mit Pufferspeicher (Kaltsoleanlage) aufgebaut werden. Die Rückkühlung erfolgt über das vorhandene Rückkühlnetz der Universität.

Die Wärmeversorgung soll bevorzugt über das Fernwärmenetz der Universität erfolgen.

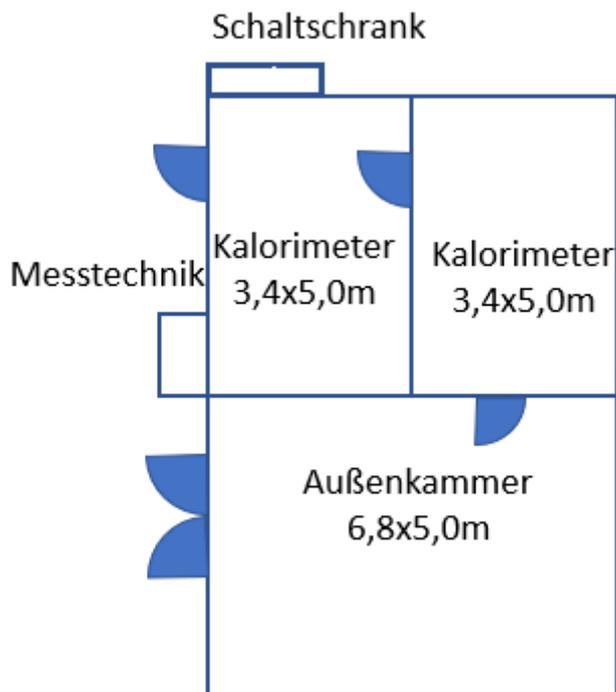
4. Konzept Prüfstand

4.1. Klimakammern

4.1.1. Konzept

Der Prüfstand wird aus drei miteinander verbundenen Klimakammern aufgebaut.

Unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Platzes werden die Kammern wie folgt angeordnet:



4.1.2. Konstruktion

Die Kammern werden aus Blech/Schaum-Sandwich-elementen mit einer Wanddicke von 100 ...140 mm aufgebaut. Hierbei muss beachtet werden, dass auch der Boden gedämmt werden muss und ca. 100 mm aufrägt. Für einen ebenen Zugang zu den Prüfkabinen müsste entweder der Rohboden im Bereich der Kammern abgesenkt werden, oder die Umgebung mit einem Doppelboden versehen werden, so dass der Versatz ausgeglichen wird. Da beides nicht möglich ist, ist ein Absatz im Bereich der Türen nicht zu vermeiden.

4.1.3. Leistungsanforderung

Die Kammern werden für folgende Konditionen ausgelegt:

Außenkammer

- Temperatur -20°C...+50°C mit hoher Regelgüte (Ausgleich von Abtauvorgängen an der Wärmepumpe)
- Befeuchtung bis nahe 100%, 0,3... 25 kg/h

- Heiz-/Kühlleistung 50 kW

Innenkammer

- Temperatur +15...+35°C mit hoher Regelgüte ($\pm 0,3$ K)
- Befeuchtung bis nahe 100%, 0,3... 10 kg/h
- Heiz-/Kühlleistung 25 kW

Eine Entfeuchtung ist nicht notwendig.

4.2. Konditionierung

4.2.1. Feuchte

Temperatur und Feuchte in den Kammern werden getrennt konditioniert.

Die Befeuchtung erfolgt mit Hilfe von Prozess-Dampfbefeuchtern. Diese werden in die kalorischen Kammern integriert, so dass die Leistung in die Energiebilanz einfließen kann.

Der Befeuchter für die Außenkammer muss außerhalb positioniert werden, da sonst Einfriergefahr besteht.

Um die Leistungsspanne abdecken zu können, werden für jede Kammer zwei Befeuchter-Baugrößen vorgesehen (1x 0,2...5 kg/h, 1x 2...25 kg/h).

4.2.2. Innenkammern

Die Temperaturkonditionierung erfolgt über Gebläse-Umluftkonditionierer, die hydraulisch beheizt oder gekühlt werden.

In den kalorischen Innenkammern werden jeweils fünf Umluftkonditionierer vorgesehen, die in Abhängigkeit von der Luftströmung des Prüflings mobil positioniert werden können. Diese werden mit Wasser konditioniert, so dass eine zuverlässige Leistungsmessung möglich ist. Die Energiemessung in den kalorischen Kammern erfolgt auf der Wasserseite im Konditionierungskreis. In diesem können die Wassertemperatur und der Durchfluss geregelt werden.

Jeder Konditionierungskreis wird für eine Heiz- oder Kühlleistung von jeweils 25 kW ausgelegt. Diese Heizleistung muss bei einer Wassertemperatur von 50°C, die Kühlleistung bei einer Wassertemperatur von 10°C zur Verfügung stehen.

Die Temperaturregelung erfolgt mit Hilfe von hysteresefreien elektromechanischen Regelventilen. Um eine große Leistungsspanne abdecken zu können, werden jeweils zwei Baugrößen für die Heizung und Kühlung vorgesehen.

Die Massenstromregelung erfolgt über drehzahlgeregelte Pumpen.

4.2.3. Außenkammer

Da in der Außenkammer Temperaturen unter dem Gefrierpunkt von Wasser erforderlich sind, wird der Umluftkühler mit Sole konditioniert. Hierbei wird die Leistung auf zwei Konditionierer aufgeteilt. Diese werden getrennt angesteuert, so dass ein alternativer Enteisungsbetrieb möglich ist.

Um ein ungewolltes Einfrieren auf der Heizseite zu vermeiden, wird die Wärmeversorgung über einen solegefüllten Zwischenkreis angeschlossen.

4.3. Heizkreis

Zur Prüfung von wassergeführten Komponenten wird ein Heizkreis installiert. Mit diesem können Wassertemperatur und Durchfluss in einem Prüfling geregelt werden.

Der Heizkreis wird für eine maximale Kühlleistung von 25 kW bei einer Wassertemperatur von 30°C, und einer maximalen Heizleistung von 25 kW bei einer Wassertemperatur von 20°C ausgelegt.

Als Durchfluss wird ein Bereich von 250 ... 2.500 kg/h vorgesehen.

4.4. Messtechnik

4.4.1. Temperatur

Zur Messung der Umgebungsbedingungen müssen mittlere Eintrittstemperaturen an den Prüflingen gemessen werden. Es werden hierfür PT100-Fühler vorgesehen. Die Fühler werden auf ein Multiplexsystem aufgelegt und als Messkette kalibriert. Dies gewährt eine geringe Messunsicherheit (0,03 K).

In jedem Raum werden 10 Lufttemperaturfühler vorgesehen. Werden noch fünf Fühler als Reservefühler berücksichtigt, werden insgesamt 35 Manteltemperaturfühler benötigt.

Für die kalorische Bilanzierung werden in den kalorischen Kammern jeweils vier Einschraubtemperaturfühler zur Messung der Wassertemperatur benötigt. Werden noch vier Fühler als Reservefühler berücksichtigt, so werden insgesamt 8 Einschraubtemperaturfühler vorgesehen.

4.4.2. Feuchte

Die Feuchte in den Prüfkammern wird mit kapazitiven Feuchtefühlern mit einer relativen Messunsicherheit von 3% gemessen. Zur Verkleinerung der Messunsicherheit werden für Referenzgrößen mehrere Feuchtefühler verwendet.

Werden für jede Kammer zwei Feuchtefühler berücksichtigt, werden insgesamt 6 Feuchtefühler benötigt.

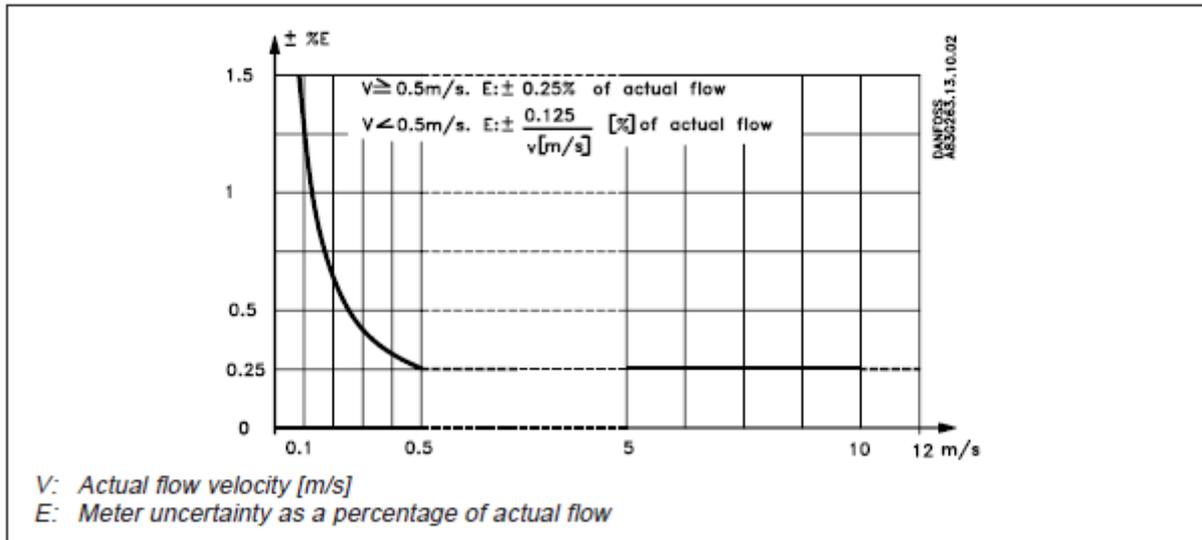
4.4.3. Massenstrom

Massenströme auf der Wasserseite werden mit MID mit einer Unsicherheit von 0,3% gemessen.

Für die kalorischen Kammern müssen Durchflüsse im Bereich von 500 ... 5.000 m³/h gemessen werden, beim Heizkreis 250 ... 2.500 kg/h.

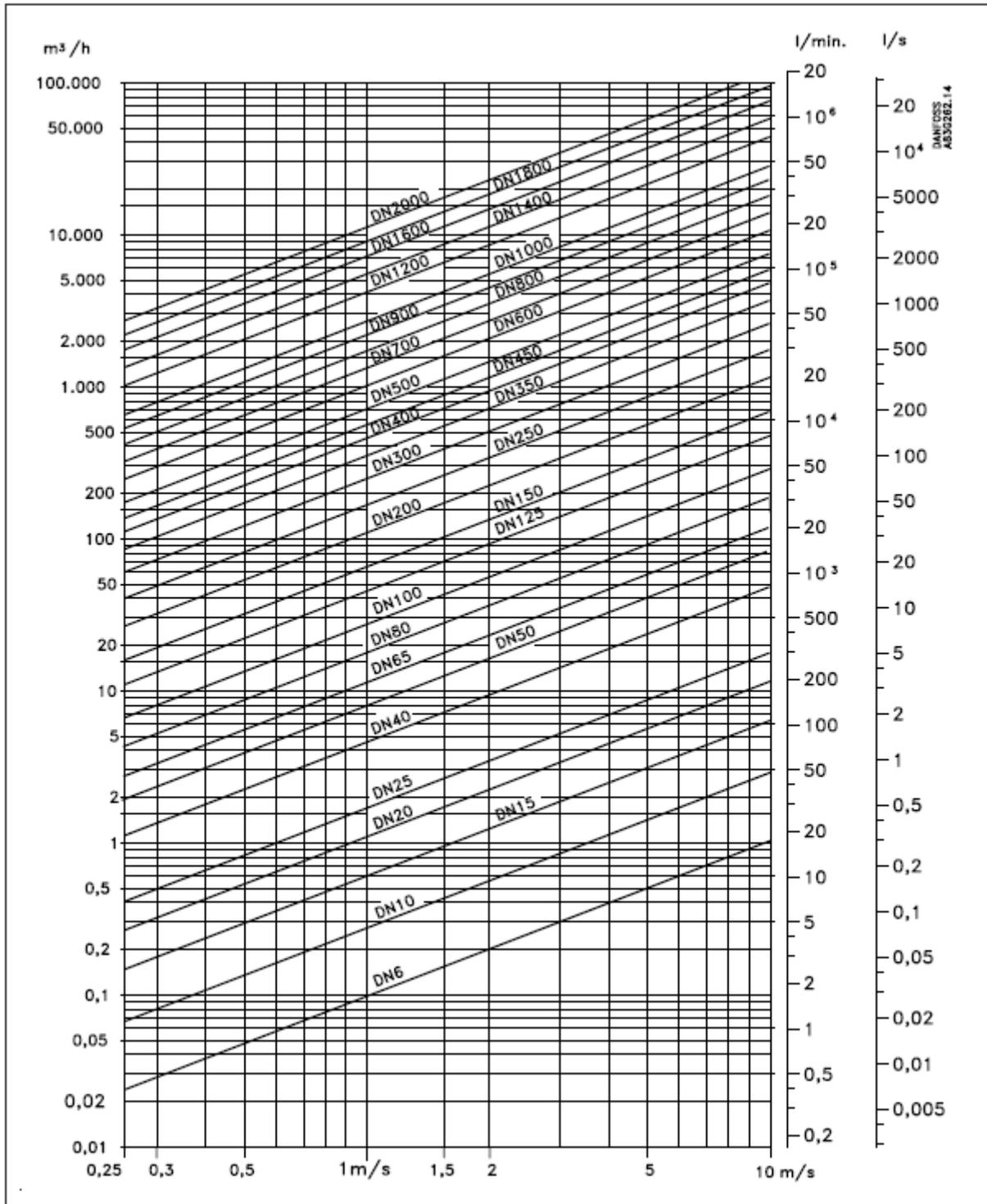
Für Siemens MID der Serie MAG6000 werden folgende Fehlergrenzen angegeben:

MAG 6000



Unter einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s steigt die Messunsicherheit.

Das Auswahldiagramm für die gleiche Serie zeigt folgenden Zusammenhang:



Für eine Strömungsgeschwindigkeit größer $0,5 \text{ m}/\text{s}$ kann hieraus folgender Einsatzbereich abgelesen werden:

- DN15 $0,3 \dots 10 \text{ m}^3/\text{h}$

Damit kann mit diesem Durchmesser der gesamte Einsatzbereich abgedeckt werden, es werden also insgesamt 3 MID DN15 benötigt.

4.4.4. Strom

Die elektrische Leistungsaufnahme des Prüflings wird mit einem digitalen 3-phasigen Leistungsanalysator gemessen. Für die Messung von hohen Leistungen muss ein Stromwandler vorgesehen werden.

Zusätzlich wird noch die elektrische Leistungsaufnahme von drei weiteren einphasigen Verbrauchern vorgesehen. Dies ist insbesondere zur Analyse von Teilsystemen hilfreich.

4.5. Medienversorgung

4.5.1. Kaltsole

Zur Kühlung der Kammern wird eine solebasierte Kälteversorgung aufgebaut. Als Sole wird ein 50% Ethylenglykol/Wasser-Gemisch verwendet. Dies ist einsatzfähig bis -30°C . Die Kaltsoleversorgung wird mit einem Temperaturniveau von -10°C ... -30°C betrieben.

Die Kaltsoleanlage muss es ermöglichen, sowohl die Last der Außenkammer im Kühlbetrieb abzuführen, als auch die Außenkammer im Heizbetrieb auf -20°C abzukühlen. Die höchste Anforderung an die Leistung ergibt sich hierbei bei der Kühlleistungsmessung.

Bei maximaler Kühllast herrschen in der Außenkammer Lufttemperaturen von über 20°C . Wird für die Auslegung des Konditionierers eine Temperaturdifferenz von 30 K zugrunde gelegt, so ergibt sich eine Kaltsoletemperatur von -10°C , bei der eine Kälteleistung von 50 kW erbracht werden muss

Im Fall der Heizleistungsmessung bei -20°C Lufttemperatur müsste dann bei einer Kaltsoletemperatur von -30°C die Verlustleistung der Kammer zur Verfügung stehen. Diese wird basierend auf Erfahrung mit kleiner 5 kW abgeschätzt.

Die Auslegungsbedingungen sind daher:

- Kühlleistung ca. 50 kW bei einer Soletemperatur von -10°C , minimale Betriebstemperatur -30°C

Bevorzugt wird die benötigte Gesamtleistung auf zwei Kältemaschinen verteilt, so dass im Teillastfall mit nur einer Maschine gearbeitet wird und die andere als Redundanz zur Verfügung steht. Die Ankoppelung der Kältemaschinen erfolgt über einen Pufferspeicher. Die Rückkühlung erfolgt über das Kältenetz der Universität.

Die Kaltsoleerzeuger müssen in einem schallgeschützten Raum mit Anschluss an das Fernkältenetz der Uni aufgestellt werden. Hierzu ist der Kälteraum im UG vorgesehen. Von dort muss eine diffusionsdicht gedämmte Verteilleitung bis zum Prüfstand geführt werden.

4.5.2. Wärme

Wärmeleistung wird über ein Wärmenetz mit einem Temperaturniveau von ca. 50°C zur Verfügung gestellt.

Das Wärmenetz wird bevorzugt vom Fernwärmenetzes der Uni gespeist und über einen Pufferspeicher entkoppelt. Dies setzt voraus, dass das ganz Jahr über Fernwärme mit einer Temperatur von mindestens 60°C zur Verfügung steht.

4.5.3. Strom

Für die Prüflingsversorgung wird folgender Anschluss benötigt:

- Strom 400V/3~ 32A

Zum Betrieb der Prüfraumkonditionierung und den Heizkreis wird folgende Anschlussleistung benötigt:

- Strom 400V/3~ 16,

Zum Betrieb der Kältsoleanlage wird folgende Anschlussleistung benötigt:

- Strom 400V/3~63A

Für die Messtechnik werden folgende Anschlüsse benötigt:

- Steckdose 230V 16A
- Netzwerkanschluss mit Internetzugang

4.6. Regelung und Steuerung

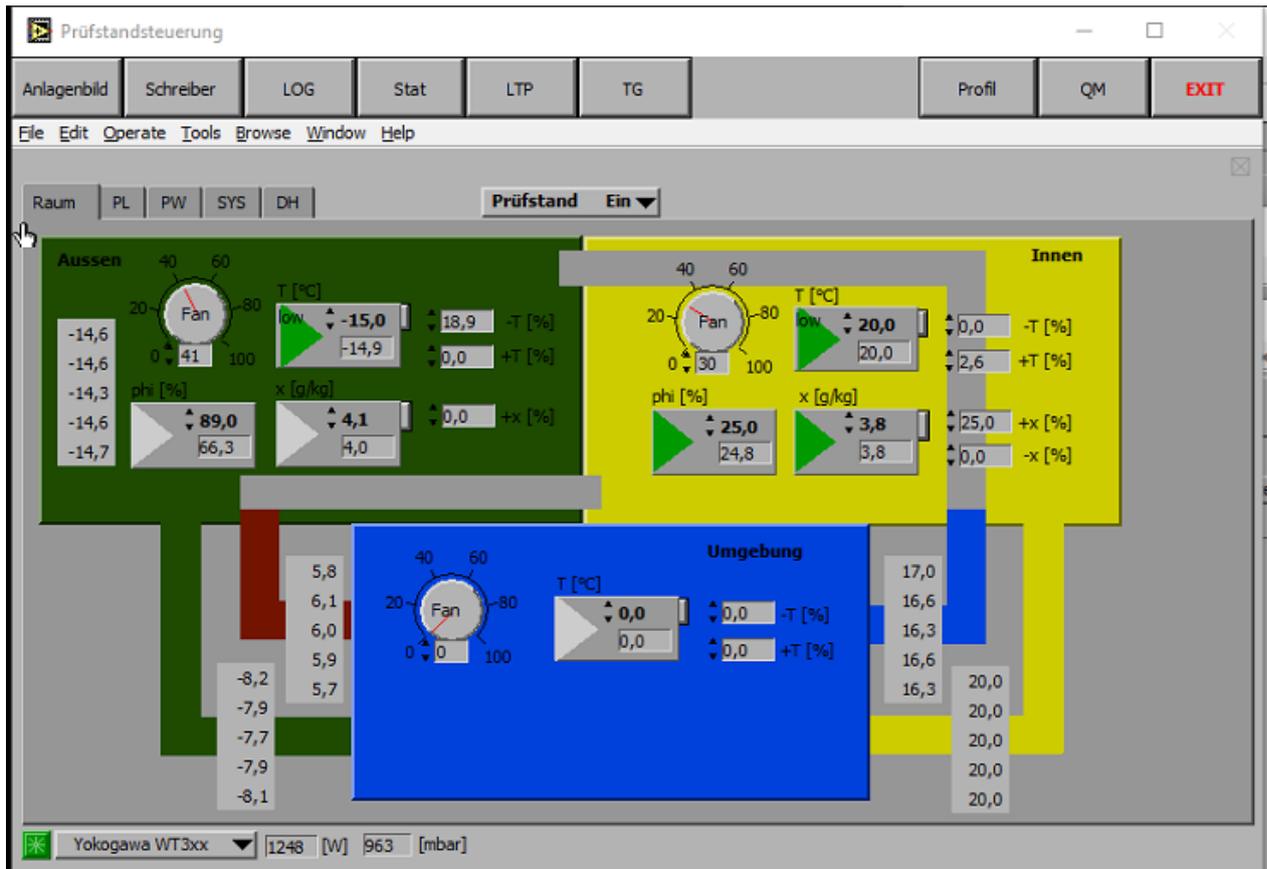
4.6.1. Platzbedarf

Die Regelung und Steuerung des Prüfstandes sowie die Messwerverfassung erfolgt durch einen Windows basierten PC. Dieser ist zusammen mit den wesentlichen Komponenten der Messtechnik in einem 19“-Schrank untergebracht, der in direkter Nähe zur Umgebungskabine platziert ist. Der 19“-Schrank erlaubt eine Bedienung des Prüfstandes als Steharbeitsplatz. Hier findet hauptsächlich die Inbetriebnahme der Messung statt. Die Überwachung von Messungen erfolgt dann von einem separaten Büro oder sonstigen Sitz-Arbeitsplatz per Remotezugriff über Netzwerk.

4.6.2. Software

Die Messwerverfassung, Regelung und Steuerung erfolgt über eine zentrale LabView-Software basierend auf der HLK-HWS Modulplattform.

Die Bedienung erfolgt über eine intuitive Oberfläche in der die Zustände des Prüfstandes dargestellt und verändert werden. Hauptregelgrößen sind hier Feuchte und Temperaturen der Kammern. Diese kann beispielhaft wie folgt aussehen:



Alle Daten können auf einem frei konfigurierbaren Schreiber dargestellt werden:

Mit Hilfe von Modulen können Verläufe aufgezeichnet (LOG), stationäre Messpunkte automatisch gemessen (STAT) oder dynamische Verläufe vorgegeben werden (PROFIL).

Eine Koppelung mit externen Simulationsprogramme zur Sollwertvorgabe und Rückmeldung von Zustandsgrößen ist möglich.

4.6.3. Hardware

Die Messung von Hilfsgrößen sowie die Ansteuerung der Stellglieder erfolgt über WAGO-Feldbusmodule, die über Ethernet an den Steuer-PC angeschlossen sind.

Referenzmessgrößen werden mit agilent-Multiplexer sowie mit Almemo-Sensoren erfasst.

5. Komponentenzusammenstellung

Num	Menge	Beschreibung
1		Aufbau Prüfräume
1.1	1	Dreikammeraufbau PU-Sandwichelemente
1.2	1	Fußboden gedämmt, Edelstahl mit Ablaufrinne
1.3	4	Türen mit Fenster
1.4	1	Arbeitssteckdosen, Beleuchtung
1.5	1	Montage
1.6	1	Planung, Koordination
1.7	1	Aufbau, Ausrichtung, Bauüberwachung
2		Konditionierung Prüfräume
2.1	2	Umluftkonditionierer Sole 25 kW
2.2	10	Umluftkonditionierer Wasser 5 kW
2.3	1	Montage und Anschluss Konditionierer
2.4	3	Dampfbefeuchter 25 kg/h
2.5	3	Dampfbefeuchter 5 kg/h
2.6	1	Montage und Anschluss Dampfbefeuchter mit Dampfzange
2.7	3	Umwälzpumpen Nassläufer
2.8	12	Kühlventile elektromechanisch
2.9	3	Aufbau Konditionierungskreise hydraulisch incl. Fittinge und Rohre
2.10	1	Dämmung Konditionierungskreise
2.11	1	Schaltschrank mit Ansteuerung Leistungskomponenten, Feldbussystem
2.12	1	Feldverkabelung
2.13	1	Planung, Koordination
2.14	1	Inbetriebnahme, Dokumentation

3		Heizkreis
3.1	1	Aufbau Heizkreis hydraulisch incl. Fittinge und Rohre
3.2	1	Umwälzpumpe Nassläufer
3.3	4	Kühlventile elektromechanisch
3.4	2	Wärmetauscher
3.5	1	Massenstromventil elektromechanisch
3.6	1	Regelsensoren Temperatur, Druck
3.7	1	Automatische Nachspeisung
3.8	1	Sicherheitsgruppe, Ausdehnungsgefäß
3.9	1	Erweiterung Schaltschrank mit Ansteuerung Leistungskomponenten, Feldbussystem
3.10	1	Feldverkabelung
3.11	1	Planung, Koordination
3.12	1	Inbetriebnahme, Dokumentation
4		Messtechnik und Prüfraumausstattung
4.1	1	Präzisionsmessgerät Almemo 19" 16-Kanal
4.2	1	Umgebungsdruckfühler Almemo
4.3	6	Feuchtesensoren Almemo mit Verlängerung
4.4	3	Durchflussmesser MID DN15
4.5	1	Datenerfassung Multiplex keysight (bis 200 Kanäle)
4.6	35	Temperaturfühler PT100 Mantel konfektioniert
4.7	8	Temperaturfühler PT100 Einschraub konfektioniert
4.8	2	Leistungsmessgerät elektrisch 3-phasig 16A
4.9	1	Stromwandler 3-phasig 40A
4.10	1	Messtechnikschrank 19"
4.11	1	Steuer-PC Windows, incl. Erweiterungen
4.12	1	Konfektionierung und Verkabelung Messtechnik
4.13	1	Kalibrierung Temperaturen
4.14	8	Temperaturmessköpfe Einschraub

4.15	1	Schläuche und Schnellverschlusskupplungen
4.16	1	Planung, Koordination
4.17	1	Inbetriebnahme, Dokumentation
5		Medienversorgung
5.1	2	Kaltsoleerzeuger -30°C, 25kW@-10°C
5.2	1	Montage und Anbindung Kaltsoleerzeuger
5.3	2	Pufferspeicher mit Pumpe und Sicherheitsgruppe
5.4	1	Montage und Verrohrung Pufferspeicher und Pumpen
5.5	1	Solefüllung 1000l
5.6	2	Regelsensoren Temperatur, Druck
5.7	1	Verteilleitung Kaltsole Edelstahl mit Dämmung
5.8	1	Verteilleitung Wärme Edelstahl mit Dämmung
5.9	1	Planung, Koordination
5.10	1	Inbetriebnahme, Dokumentation
6		Regelung und Steuerung, Software
6.1	1	Basissoftware mit grundlegender Daten Ein-/Ausgabe, erstellt mit NI LabView basierend auf HLK-HWS-Standard, Steuerung und Überwachung des Prüfstandes mit Hilfe eines intuitiven graphischen Anlagenbildes, Bediensprache deutsch
6.2	1	Erstellung Regelkreise Hydraulik
6.3	1	Messsoftware allgemein, graphische Anzeige der Messwerte auf einem frei konfigurierbaren Echtzeitschreiber, Datenlogger LOG zur Aufzeichnung von Messwerten in einer ASCII-Datei zur anschließenden Weiterverarbeitung
6.4	1	Modul STAT zum automatisierten Messen von stationären Messpunkten
6.5	1	Modul DP zum automatisierten Messen von Widerstandskennlinien
6.7	1	Anpassung, Inbetriebnahme

6. Literaturverzeichnis

- BAFA. (16. September 2021). *Energie*. Von Liste der Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis:
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_waermepumpen_anlag_enliste.html abgerufen
- Bosch Thermotechnology. (07 2021). *VRF Air Conditioning Systems*. Von General Catalogue :
https://www.bosch-thermotechnology.com/ocsmedia/optimized/full/o487803v272_Bosch_VRF_Systems_July_2021_Web.pdf abgerufen
- CCI. (9.August 2021). WELTMARKT FÜR VRF-KLIMASYSTEME 2020. *CCI Wissensportal*.
- CCI Dialog GmbH. (10. 09 2021). *Wissensportal*. Von ABSATZ VRF-KLIMASYSTEME BIS 2025:
https://cci-dialog.de/absatz-vrf-klimasysteme-bis-2025_cci-wissensportal/ abgerufen
- DIN EN. (2018). 14511. *Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen für die Raumbeheizung und -kühlung und Prozess-Kühler mit elektrisch angetriebenen Verdichtern*. DIN.
- EHPA. (30. September 2021). *Data Stories*. Von Heat Pump Sales Europe:
<https://ehpa.symantra.eu/dashboard?locale=en#/data-stories> abgerufen
- Mitsubishi. (08. 10 2021). *City Multi VRF Produktinformation*. Von https://mitsubishi-les.com/media/me-city-multi-vrf-produktinformation-de.pdf?_ga=2.183954406.1700146436.1633679247-1529040028.1633679247&_gac=1.13771461.1633679247.CjwKCAjw2P-KBhByEiwADBYWCrTfFMK0jXm6vt_7RvsTs_xr04-lv3AQVPkP_I8lXnmobg5GYe3eHRoCQRgQAvD_BwE abgerufen
- Mitsubishi. (30. Juni 2021). *VRF*. Von Produktionformation: <https://innovations.mitsubishi-les.com/files/pdf/de/ME-City-Multi-VRF-Produktinformation-DE.pdf> abgerufen