



Master-Thesis
im
Studiengang
Simulation und Experimentaltechnik

Erweiterung eines vorhandenen CARNOT-Simulationsmodells für Elektro-Wärmepumpen bezüglich der energetischen Auswirkungen der Vereisungs- und Abtauvorgänge am Verdampfer inkl. Validierung

Marcel Gocht
Matrikelnummer 593992

Düsseldorf
05.Juli 2018

Betreuer Professor (Erster Prüfer)

Prof. Dr. Mario Adam
Nachhaltige Energiesysteme und Energieeffizienz
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Josef-Gockeln-Str. 9
40474 Düsseldorf
mario.adam@hs-duesseldorf.de

Zweiter Prüfer

Fabian Ille, M. Sc.
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Arbeitsgruppe E² - Erneuerbare Energien und Energieeffizienz
Josef-Gockeln-Str. 9
40474 Düsseldorf
Tel.: +49 211-4351-3576
fabian.ille@hs-duesseldorf.de



Thema der Arbeit:	Erweiterung eines vorhandenen CARNOT-Simulationsmodells für Elektro-Wärmepumpen bezüglich der energetischen Auswirkungen der Vereisungs- und Abtauvorgänge am Verdampfer inkl. Validierung
Bearbeiter:	Marcel Gocht
Betreuer:	Prof. Adam, Fabian Ille (in Kooperation mit der Fa. Viessmann)

Bisherige Modelle von in der CARNOT-Bibliothek enthaltenen Wärmepumpen basieren auf einen linearen Funktionszusammenhang nach Allen und Hamilton (1983) und wurden nach dem Prinzip von Schwamberger (1991) in CARNOT umgesetzt. Sie bilden stationäre Betriebsbedingungen von Wärmepumpen mit den Quellen Erdreich und Wasser sehr gut ab. Jedoch hat sich gezeigt, dass Wärmepumpen mit der Quelle Luft unterhalb von Außenlufttemperaturen von ca. 7 °C fehlerhaft abgebildet werden. Dies liegt daran, dass die Verluste durch Vereisung und Abtauung nicht berücksichtigt werden. In einem ersten Lösungsansatz der Fa. Viessmann wurde basierend auf dem bestehenden Modell ein zusätzlicher Block eingefügt, der die Abtauvorgänge mittels weniger Parameter (Verdichterleistung, Abtauzeit, Laufzeit ohne Abtauung) abbildet. Mithilfe dieses Abtaumodells konnten die Messwerte nach EN 14511 von drei Luft-Wasser Split Wärmepumpen der Fa. Viessmann in sehr guter Näherung abgebildet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu prüfen, ob der gewählte Ansatz allgemeingültig ist und die Identifikation der obigen Parameter aus Prüfberichten nach EN 14511 / EN 14825 möglich ist. Dazu soll das Modell anhand von Prüfpunkten nach EN 14511 weiterer (und v.a. auch leistungsgeregelter) Luft-Wasser-Wärmepumpen verifiziert und entsprechend verbessert werden. Hierzu werden von der Fa. Viessmann Messpunkte und zugehörige notwendige Randbedingungen wie Drehzahl, Prüfzyklusdauer und Anzahl der Abtauungstakte geliefert. Zudem sollen Prüfpunkte (und möglichst auch zugehörige Randbedingungen) von weiteren Herstellern recherchiert und angefragt werden.

Es sind folgende Arbeitspunkte geplant:

- Recherche und Anfrage bei Wärmepumpenherstellern zu Prüfpunkten nach EN 14511
- Aufbereitung der ermittelten bzw. erhaltenen Daten/Prüfpunkte
- Verifikation aller Daten/Prüfpunkte
- Anpassung bzw. Verbesserung des Modells
- Dokumentation der Ergebnisse

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung	I
Inhaltsverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Wärmepumpen	2
2.1 Funktionsweise einer Luft-/Wasser-Wärmepumpe.....	2
2.2 Wärmepumparten.....	3
2.3 Vereisungs- und Abtauvorgang	4
2.4 Ausschnitt Regelwerke	5
2.4.1 DIN EN 14511.....	5
2.4.2 DIN EN 14825.....	5
3 Modell.....	6
3.1 Software (MATLAB, CARNOT, Simulink)	6
3.2 Dynamische Modelle mit Vereisungs- und Abtauvorgängen.....	6
3.3 Modellvorlagen	7
3.3.1 Standard-Modell Wärmepumpenmodul.....	9
3.3.2 Viessmann-Modell Wärmepumpenmodul.....	10
3.3.3 Änderungen am Viessmann Modell hinsichtlich Simulation.....	12
3.3.4 Notwendige Datengrundlage.....	14
3.4 Ergebnisse und Probleme der vorhandenen Modelle	15
4 Versuchsplanung und Optimierung.....	19
4.1 Versuchsplanung DOE	19
4.1.1 Versuchsplan und Annahmen	19
4.1.2 Simulation und Resultate	25
4.1.3 Optimierung	35
4.2 Validierung der Optimierung	38
5 Zusammenfassung und Ausblick.....	42
Quellenverzeichnis.....	44
Anhang A: MATLAB-Skript Daten Einlesen.....	46
Anhang B: Beispielhafte Excel-Datei	49
Anhang C: Beispiel Matlab-Skript Simulation Versuchsplan -7°C	50
Anhang D: Beispiel Matlab-Skript Bestimmung Regressionskoeffizienten Versuchsplan -7°C.....	57
Anhang E: Beispiel Matlab-Skript Simulation Validierung -7°C	64
Eidesstattliche Erklärung	68

1 Einleitung

Im Rahmen der Bearbeitung soll ein MATLAB-Modell der Firma Viessmann überprüft und gegebenenfalls verbessert werden. Das konkrete Modell behandelt die Problematik, dass das bisherige Wärmepumpenmodul in CARNOT zwar stationäre Betriebspunkte von Wärmepumpen, die nicht Luft als Wärmequelle haben, gut abbildet, jedoch die Vereisungen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht berücksichtigt. Das Problem ist, dass das ursprüngliche Modell auf dem Prinzip von Schwamberger beruht und die Heizleistung und elektrische Leistungsaufnahme als lineare Beziehung hinterlegt [1].

In der Realität ergibt sich aber bei Luft, als Wärmequelle in einem Temperaturbereich unter 7°C, das Problem der Vereisung. Durch die Vereisung verringert sich die Wärmeübertragung und es werden Abtauvorgänge benötigt. Die Verluste der Vereisung werden zwar durch das neue Modell nicht abgebildet, jedoch die Verluste durch den Abtauvorgang.

Dieses Modell soll auf seine Allgemeingültigkeit überprüft und verbessert werden. Für die Überprüfung der Allgemeingültigkeit wird das Modell mit verschiedenen Anlagendaten gespeist und bei verschiedenen Temperaturniveaus simuliert. Anschließend werden die Ergebnisse auf ihre Genauigkeit und Probleme untersucht und mit Hilfe eines DOE-Versuchsplans soll eine Verbesserung der Allgemeingültigkeit erreicht werden. Anschließend soll das Modell verbessert und erneut überprüft werden.

2 Wärmepumpen

Im technischen Bereich dienen Wärmepumpen der thermischen Änderung eines Mediums. Die grundlegende Funktionsweise, welche im Folgenden noch erläutert wird, kann sowohl für die Erwärmung, wie auch zur Kühlung verwendet werden.

2.1 Funktionsweise einer Luft-/Wasser-Wärmepumpe

Bei Wärmepumpen wird im Allgemeinen mit Hilfe von thermischer und mechanischer Energie die thermische Energie eines Nutzsystems beeinflusst. Jedoch kommt es nur bei Luft-/Wasser-Wärmepumpen zu Vereisungen und dadurch notwendigen Abtauvorgängen, die für die grundlegende Problematik in der Simulationsgenauigkeit verantwortlich sind.

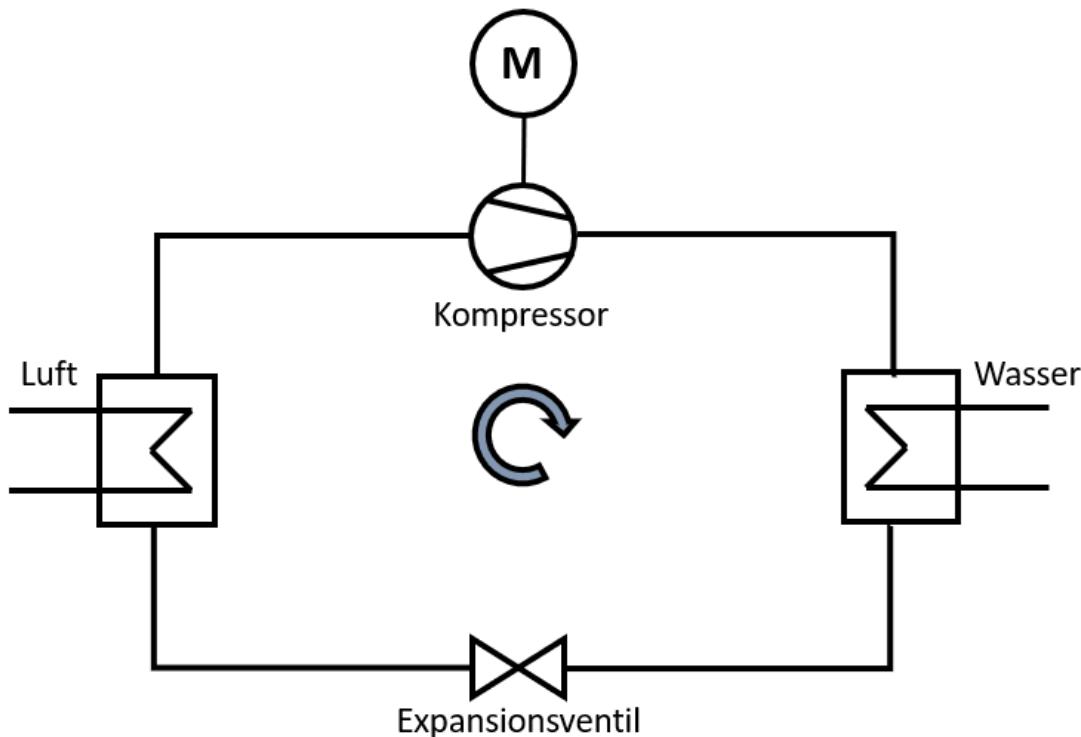


Abbildung 2-1: Überträger Kältekreislauf Wärmepumpe

Die Luft-/Wasser-Wärmepumpe besteht insgesamt aus drei verschiedenen Abschnitten. Einem Überträger-Kreislauf, einem Nutz-System (siehe Abbildung 2-1) und einem Zulieferer. Bei der Luft-/Wasser-Wärmepumpe ist die Luft (Umgebungsluft) der Zulieferer, der Kältemittelkreislauf der Überträger und der Warmwasserkreislauf das Nutz-System. Um mit einem kühleren Zulieferer das wärmere Nutz-System zu erwärmen wird dem Kältemittelkreislauf nicht nur die thermische Energie des Zulieferers, sondern auch mechanische Energie mit Hilfe eines Kompressors zugeführt. Innerhalb des Überträger-

Kreislaufs wird das Fluid (Kältemittel) mit Hilfe des Kompressors verdichtet um eine höhere Temperatur zu erreichen. Mit der höheren Kältemitteltemperatur im Vergleich zur Nutz-System-Temperatur wird Wärmeenergie vom Kältemittel auf den Warmwasserkreislauf übertragen. Die Grundlage hierfür sind die Hauptsätze der Thermodynamik, welche unter anderem besagen, dass die Übertragung thermischer Energie von warm zu kalt abläuft und das sich zwei thermische ungleiche Systeme angleichen wollen. Anschließend wird das durch die Temperatursenkung verflüssigte Kältemittel mit Hilfe eines Expansionsventils entspannt. Die Druckverringerung des Kältemittels bewirkt eine weitere Abkühlung, wodurch die Kältemitteltemperatur unter die der Umgebungslufttemperatur sinkt. Durch den Temperaturunterschied zwischen Umgebungstemperatur und Kältemittel und den dadurch folgenden versuchten Angleich, erhöht sich die Temperatur des Kältemittels. Dieses vollzieht durch seine geringe Siedetemperatur erneut eine Aggregatzustandsänderung vom flüssigen in den gasförmigen Zustand und durchläuft anschließend den Verdichter und damit den Kreislauf erneut.

2.2 Wärmepumparten

In Abhängigkeit von den verwendeten Fluiden und damit auch Verwendungszwecken, kann eine erste Unterscheidung der Wärmepumpen getroffen werden. Die Hauptverwendungszwecke sind die thermische Änderung von Wasser oder der Luft. Durch eine reversible Schaltung können viele Wärmepumpen für einen Heiz- und Kühlbetrieb genutzt werden [1]. Die häufigsten Fluid Zusammensetzungen sind:

- Luft-/Luft-Wärmepumpe
- Wasser-/Luft-Wärmepumpe
- Sole-/Luft-Wärmepumpe
- Luft-/Wasser-Wärmepumpe
- Wasser-/Wasser-Wärmepumpe
- Sole-/Wasser-Wärmepumpe

Das zuerst genannte Fluid ist die Wärmequelle und das zweite Fluid ist das zu erwärmende Medium. Im laufenden Betrieb unterscheiden sich die Fluid Zusammensetzungen vor allem durch ihre benötigten Energien und ihre Effizienz. Jedoch spielt die Wahl des Quellfluides auch eine Rolle in der Planung, ob umfangreiche Vorarbeiten und Genehmigungen benötigt werden oder nicht.

Für die passende Auswahl einer Wärmepumpe müssen auch die Unterschiede in der Bauart berücksichtigt werden. Hier unterscheidet man zwischen:

- Split-Bauweise
- Mono-Bauweise
- Regulierbarkeit

Die Bauweise ist, wie schon die Fluid Auswahl, im Betrieb und in der Planung relevant, da zum Beispiel Split-Wärmepumpen laut Gesetz nur von Kältemitteltechnikern

eingebaut werden dürfen und ab einer bestimmten Kältemittelmenge jährlich gewartet werden müssen. Im laufenden Betrieb sind die Jahresarbeitszahlen von Split- und Mono-Bauweise zwar ähnlich, jedoch können bei der Split-Bauweise aufgrund von zu langen Kältemittelleitungen die Verluste und der Energieaufwand steigen und damit die Jahresarbeitszahl sinken. Hauptentscheidungsgründe für oder gegen eine der beiden Bauweisen ist der vorhandene Platz, der Aufstellungsort und die Kosten für die notwendigen Arbeiten. Grund hierfür ist der unterschiedlich hohe Platzbedarf, die Lautstärke im Betrieb und die benötigten Arbeiten am Mauerwerk. Bei diesen drei Punkten schneidet die Split-Bauweise meistens besser ab und ist zudem häufig kostengünstiger [3].

Im Gegensatz zur Bauweise hat die Regulierbarkeit keine weiteren Genehmigungen oder Auflagen für den Besitzer zur Folge. Dennoch ist es ein wichtiger Punkt mit dessen Hilfe die Jahresarbeitszahl im Betrieb gesteigert werden kann.

Zudem ist der angestrebte Temperatur-Verwendungsbereich ein weiteres Kriterium für die Auswahl der Wärmepumpe, welcher die Effizienz im laufenden Betrieb beeinflusst.

2.3 Vereisungs- und Abtauvorgang

Die Luft-/Wasserwärmepumpe ist die einzige Wärmepumpenart bei der es zu Vereisungsvorgängen kommt. Ursache dafür ist die immer dicker werdende Reifschicht und -dichte. Die Reifschicht entsteht am Verdampfer und verringert damit den Lüftungsquerschnitt, was einen erhöhten Druckverlust zur Folge hat. Dieser Druckverlust hat eine Volumenstromverringerung zur Folge und zusammen mit der isolierenden Wirkung der Frostschicht sinkt die übertragene Heizleistung [4]. Aufgrund der Übertragungsverluste mit ansteigender Reifschicht und -dichte sind Abtauvorgänge notwendig.

Die Abtauvorgänge führen auch zu einem Leistungsverlust, da Sie meistens entweder durch Kreislaufumkehr oder ein zusätzliches elektrisches Heizelement realisiert werden. Dennoch sind die Leistungsverluste durch die in modernen Anlagen am häufigsten verwendete Kreislaufumkehr besser für die Gesamtleistung, als keinen Abtauvorgang durchzuführen.

2.4 Ausschnitt Regelwerke

Als einheitliches Regelwerk für die Einstufung von Luftkonditionierern, Flüssigkeitskühlrätsen und Wärmepumpen, die für die Raumbeheizung oder -kühlung genutzt werden und einen elektrischen Verdichter haben, dient die DIN EN 14511. Eine weitere Bedingung für die Gültigkeit der DIN EN 14511 ist die Verwendung von Luft, Wasser oder Sole als Wärmeträger.

Die DIN EN 14825 ist eine Erweiterung, für die Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl.

Die Normen ermöglichen einen Vergleich von Wärmepumpen verschiedener Hersteller, aufgrund vorgegebener und somit gleicher Prüfbedingungen [5] [6].

2.4.1 DIN EN 14511

Die DIN EN 14511:2013 „Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlrätsen und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und -kühlung“ beinhaltet verschiedene Normnennbedingungen in Abhängigkeit vom Wärmepumpentyp. Allerdings sind in der Norm keine Industrieanlagen oder Anlagen für die Brauchwassererwärmung enthalten, sondern nur Anlagen für die Raumbeheizung/-kühlung [5].

2.4.2 DIN EN 14825

Die DIN EN 14825:2016 „Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlrätsen und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung – Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl“ beinhaltet im Vergleich zur DIN EN 14511 die Prüfbedingungen für die Teillastprüfung. Gültig ist die Norm für alle Anlagen die auch mit der DIN EN 14511 abgedeckt werden, jedoch gibt es weitere Ausnahmen. Einkanal-Luftkonditionierer, Zweikanal-Luftkonditionierer, Schaltschrank-Kühlgeräten und Verfahrens-Luftkonditionierern werden von dieser Norm nicht abgedeckt [6].

3 Modell

Simulationsmodelle haben im technischen Bereich einen großen Stellenwert, da ein genaues Modell eine gute Abschätzmöglichkeit für den Realfall bietet.

Im Rahmen der Bearbeitung der Aufgabenstellung wird die Software MATLAB mit den Toolboxen CARNOT und Simulink verwendet. Zudem wird von der Firma Viessmann ein geändertes Wärmepumpenmodell, Prüfberichte und verschiedene Messdaten nach DIN EN 14511 zur Verfügung gestellt.

3.1 Software (MATLAB, CARNOT, Simulink)

MATLAB ist eine Software des amerikanischen Unternehmens “The MathWorks“. Die ursprünglich größte Stärke der Software war das Rechnen mit Matrizen, welche mittlerweile durch eine Vielzahl an Toolboxen erweitert werden kann. Sie wird in verschiedenen wissenschaftlichen und technischen Themengebieten genutzt.

Simulink stellt eine wichtige Toolbox für MATLAB dar und dient der Modellierung von technisch-physikalischen Systemen [7].

CARNOT ist eine Erweiterung der Simulink Toolbox und ist für die Berechnung und Simulation von Komponenten aus dem HVAC- Bereich (Heating, Ventilation and Air Conditioning/Heizung, Lüftung und Klimatechnik) gedacht. Sie enthält in ihrer Bibliothek verschiedene Komponenten aus dem HVAC Bereich [8].

Im Rahmen der Bearbeitung wird die MATLAB Version R2017a, die Simulink Version 8.9 und die CARNOT Toolbox Version 6.0.1 verwendet.

3.2 Dynamische Modelle mit Vereisungs- und Abtauvorgängen

Vereisungs- und Abtauvorgänge sind bereits in verschiedenen Publikationen behandelt, welche sich mit der Frostschichtbildung und Vergletscherung (Änderung der Frostdicke) mit Hilfe von teil-empirischen-Modellen beschäftigen [3] [9]. Die genannten Publikationen beschäftigen sich mit den Wärmeübertragungsverlusten, Druckverlusten und Temperaturänderungen. Eine weitere beschäftigt sich mit einem bestimmten Wärmetauschertyp unter Kalt-Wetter-Bedingungen mit Hilfe eines numerischen Modells [10].

Wärmepumpenmodelle werden in einigen Fällen durch ein Zusatzmodul, welches den Vereisungsvorgang berücksichtigt erweitert [11] [12]. Wärmepumpenmodelle werden einfach durch ein Vereisungsmodul erweitert, welches dann die Temperaturänderungen und somit Leistungsverluste durch die Vereisung und die Abtauung berücksichtigt [13].

Für die Realisierung dieses Zusatzmoduls der Simulation wird die Frostentstehung als quasi-dynamischer Prozess angesehen und je ein einzelner Zeitpunkt betrachtet, der im

Folgenden als Ausgangspunkt für die Berechnung im nächsten Zeitpunkt genutzt wird. Die Berechnung in einem Zeitpunkt wird unterteilt in die Berechnung der neuen Frostmasse und in zwei Berechnungen die die Frostdicke und -dichte wiedergeben. In bestimmten Zeitintervallen werden die jeweiligen Werte mit Hilfe von empirischen Formeln neu bestimmt. Dies führt zu Ergebnissen mit einer Abweichung von maximal 20% [11].

Ein anderer Ansatz ist, die Startwerte schon in unterschiedliche Bereiche einzuteilen und weiter zu verarbeiten. Hierfür wird die Startdichte in vier und die Startdicke in acht Bereiche unterteilt [3] [12]. Die Startdichte ist von der Luftgeschwindigkeit und der absoluten Feuchte abhängig und wird deshalb in vier Bereiche unterteilt. Die Startdicke ist von der Luftgeschwindigkeit, der absoluten Feuchte und der Differenz zwischen Gefrierpunkt und Verfrostungsplatten-Temperatur abhängig und wird deshalb in acht Bereiche unterteilt [3] [12].

3.3 Modellvorlagen

Das Standard-Wärmepumpenmodell bildet das dynamische Verhalten einer Wärmepumpe an einem stationären Lufteintrittstemperaturpunkt ab und ist für die meisten Arten von Wärmepumpen hinreichend genau. Jedoch für die Luft-/Wasserwärmepumpen fehlt die Genauigkeit im Bereich unter 7°C. Die Ursache dafür ist die Tatsache, dass das Phänomen der Reifschichtbildung erst in diesem Temperaturbereich auftritt und im Modell nicht berücksichtigt wird.

Eine Berücksichtigung der Leistungsänderung im relevanten Temperaturbereich bietet das Viessmann-Modell, welches zwar nicht die Verluste durch die Vereisung an sich berücksichtigt, aber die Hauptverluste durch die Abtauvorgänge. Beide Modelle basieren auf dem Prinzip von Schwamberger, wodurch das dynamische Verhalten in den relevanten Komponenten berücksichtigt wird [1]. Im Folgenden werden die Modelle als „Standard-Modell“ und „Viessmann-Modell“ bezeichnet. Die Wärmepumpenmodelle unterscheiden sich erst auf der Wärmepumpen-Ebene, auf der Hauptebene sehen beide identisch aus (siehe Abbildung 3-1) und müssen um eine Simulation zu ermöglichen, um Anschlüsse erweitert werden (siehe Abbildung 3-2).

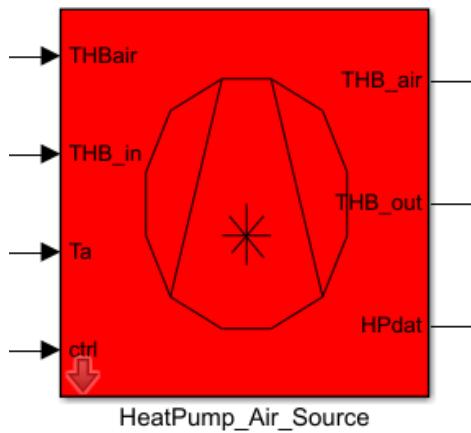


Abbildung 3-1: Allgemeines Wärmepumpenmodul

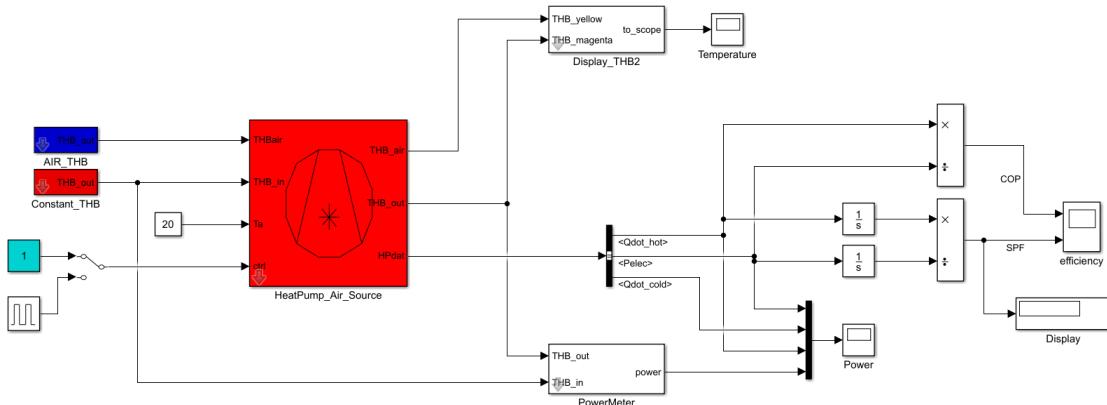


Abbildung 3-2: Allgemeines Wärmepumpenmodul mit Ein- und Austrittswerten

Die Hauptebene enthält neben dem Wärmepumpenmodul „HeatPump_AirSource“ verschiedene „Block-Parameters“. Diese liefern die Eingangssignale und -werte für die Simulation. Im Block „AIR_THB“ und „Constant_THB“ sind die Datengrundlagen für die Luft und das Wasser hinterlegt. Diese Daten werden auf das „HeatPump_AirSource“ Modul übertragen und für die Simulation verwendet. Das „HeatPump_AirSource“ Modul liefert seinerseits Datensätze, welche mit Hilfe von Displays dargestellt werden.

Für die Darstellung einiger Simulationsergebnisse wird mit Hilfe eines „BusSelectors“ auf einzelne Werte eines Bussignals zugegriffen und dieses dann an ein Display oder zuvor für die weitere Verarbeitung an ein anderes Modul übertragen.

Um die verschiedenen Leistungen in einem Display anzuzeigen, werden die jeweiligen Leistungen in einem „Mux“ zusammengefasst und gemeinsam an ein Display übergeben.

Für andere Ergebnisse müssen die gelieferten Simulationsdaten erst verrechnet werden. Zum Beispiel für die Darstellung des COP's (Coefficient of Performance) der simulierten Anlage, wird das Verhältnis aus Heizleistung („Qdot_hot“) und elektrischer Leistungsaufnahme („Pelec“) gebildet und anschließend an ein Display übermittelt.

3.3.1 Standard-Modell Wärmepumpenmodul

Die erste Unterebene vom Standard Wärmepumpenmodul aus der CARNOT-Bibliothek beinhaltet verschiedene Module (siehe Abbildung 3-3).

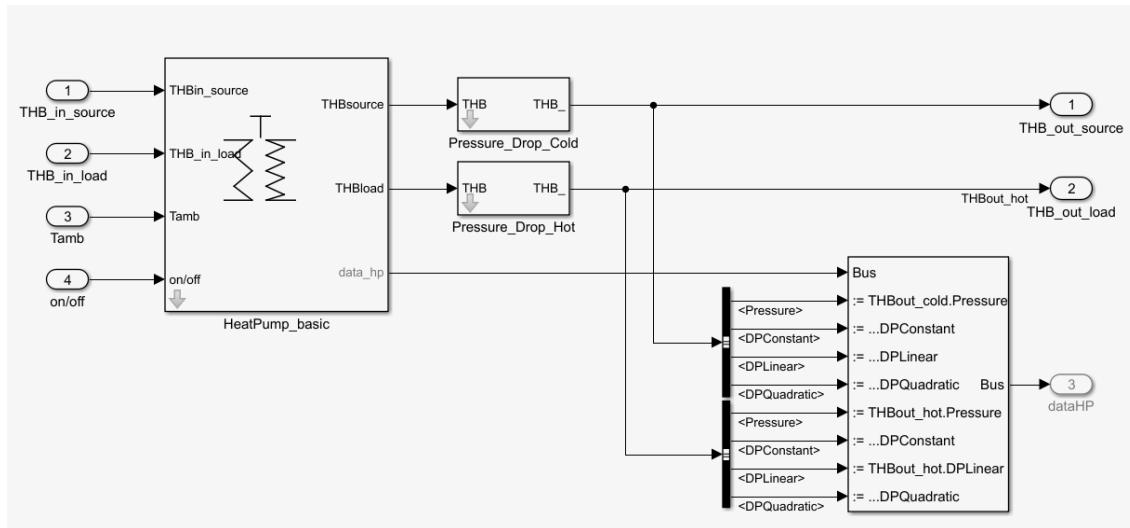


Abbildung 3-3: Komponente: Standard Wärmepumpe erste Unterebene (HeatPump_Air_Source)

Es besteht aus den Eingangssignalen für die jeweiligen Fluide, dem Eingangssignal für die Umgebungsbedingungen und einem Eingangssignal für die Steuerung/Kontrolle. Diese Daten werden im „HeatPump_basic“ Modul weiterverarbeitet und anschließend wieder in das Hauptmodell übertragen.

Das Modell basiert auf dem Prinzip von Schwamberger und ist ein empirisches Modell, welches die Regelungen und Dynamik berücksichtigt. Innerhalb des Modells werden K-Werte ermittelt. Für die Ermittlung dieser Werte wird die Kennlinienschar eines zweidimensionalen Leistungsdiagramms annähernd genau durch eine Formel beschrieben. Die ermittelten K-Werte werden so bestimmt, dass der mittlere quadratische Fehler minimal ist. Für die Ermittlung der K-Werte, wird ein Gleichungssystem erstellt und gelöst.

Auf der Unterebene des „HeatPump_basic“ Moduls werden verschiedene Werte berechnet (siehe Abbildung 3-4).

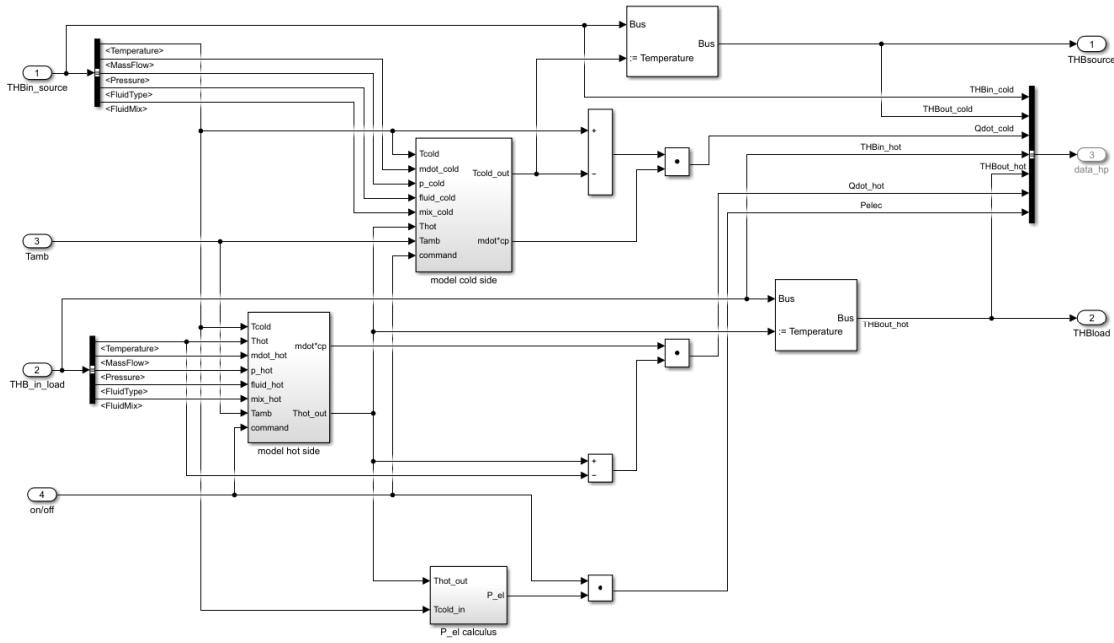


Abbildung 3-4: Komponente: Standard Wärmepumpe zweite Unterebene (HeatPump_basic)

Für die Berechnungen werden die in den höheren Ebenen hinterlegten Datenbusse für die Luft- und Wasserdaten verwendet. Zudem werden die Außenlufttemperatur und das Steuerungssignal „on/off“ übermittelt. In drei weiteren Unterebenen werden die elektrische Leistung und weitere Werte bestimmt. Unterebene „model hot side“ bestimmt die Luftaustrittstemperatur und übergibt in einem zweiten Ausgang das Ergebnis der Gleichung Luftmassenstrom multipliziert mit der isobaren Wärmekapazität. Die dritte Unterebene „model hot side“ bestimmt die Wasseraustrittstemperatur und auch die Gleichung des Wassermassenstroms multipliziert mit der isobaren Wärmekapazität. Die Hauptunterebene „HeatPump_basic“ leitet die Ergebnisse und Teile der Eingangssignale durch drei Bussignale wieder an die oberste Ebene.

3.3.2 Viessmann-Modell Wärmepumpenmodul

Im Gegensatz zum Standard-Modell werden beim Viessmann-Modell die Abtauvorgänge durch eine Erweiterung berücksichtigt. Berücksichtigt werden allerdings nur die Verluste durch den Abtauvorgang und nicht die Verluste durch die Vereisung. Um die Abtauvorgänge zu integrieren wurden dem Standard-Modell mehrere Komponenten hinzugefügt (siehe Abbildung 3-5).

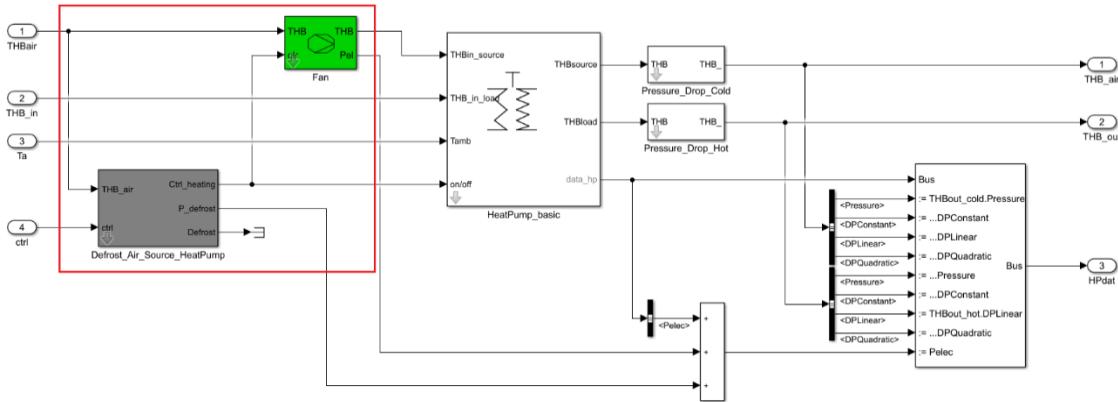


Abbildung 3-5: Neue Komponenten: Viessmann Wärmepumpe (neue Komponenten im rot umrandeter Kasten)

Die Komponente „Defrost“ bringt die Startbedingung, sowie Dauer und Verluste des Abtauvorgangs im laufenden Betrieb mit in die Simulation. Innerhalb der Komponente wird in Abhängigkeit von hinterlegten Kennfeldern bestimmt, wann und wie lange der Abtauvorgang anhält (siehe Abbildung 3-6).

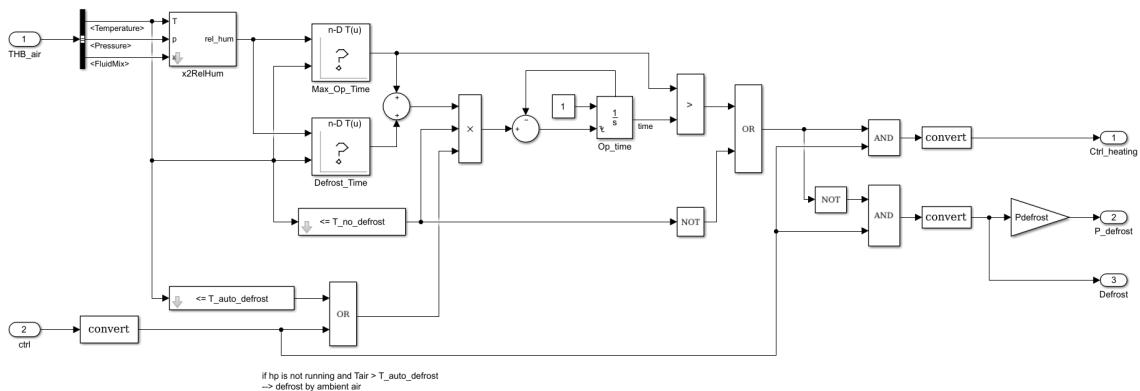


Abbildung 3-6: Komponente: Defrost

Hierfür wird ein Kennfeld „Max_Op_Time“ und ein Kennfeld „Defrost_Time“ hinterlegt. Das erste Kennfeld beinhaltet die Abtauzeit in Abhängigkeit der Luftfeuchte und Lufttemperatur. Das andere Kennfeld gibt die Laufzeit ohne Abtauungen mit der gleichen Abhängigkeit an. Für die Luftfeuchtigkeit werden drei Varianten ([0, 80, 100] %) und für die Temperatur 8 Varianten ([-15, -7, 2, 7, 10, 12, 20, 30] °C) hinterlegt. Für jede Konstellation sind die jeweiligen Zeiten hinterlegt und bei abweichenden Werten, werden die Zeiten linear interpoliert oder linear extrapoliert. Abhängig vom Steuersignal „ctrl“ und den vorliegenden Konstellationen wird die Laufzeit der einzelnen Vorgänge bestimmt. Hierfür wird die maximale Laufzeit ohne Abtauung an der vorliegenden Konstellation bestimmt und bei erfüllter Bedingung für den Abtauvorgang weitergegeben. Die Bedingungen sind Vorgaben, dass die Abtauungen erst ab Temperaturen unter 7°C stattfinden und bei Temperaturen unter 0°C auch bei nicht laufender Anlage notwendig sind. Für die Überprüfung der Abtaustarttemperatur dient das Modul „T_no_defrost“ und für die Überprüfung für den automatischen Abtauvorgangsfall dient das Modul „T_auto_defrost“.

Beide liefern ein einfaches Signal (Eins oder Null) welches dann durch eine Elementweise Multiplikation mit den Ergebnissen aus den hinterlegten Kennfeldern der Abtauung einen Wert ergibt. Dieser Wert wird dann über die Zeit integriert und mit dem Wert der Laufzeit ohne Abtauung verglichen. Bei diesem Vergleich kann nur „true“ oder „false“ rauskommen. Dieses einfache Signal sorgt dafür, dass solange das Signal Eins („true“) ist, die zusätzliche elektrische Leistungsaufnahme nicht berücksichtigt wird. Dafür wird ein weiteres Modul „NOT“ benötigt, der das Signal in 0 umwandelt. Dieses einfache Steuersignal wird mit Hilfe eines „convert“ Moduls in einen realen Wert umgewandelt (0), um die Kalkulation mit der Heizelementleistung zu ermöglichen. Sollte ein Abtauungsvorgang eintreten, dann wird dieses Signal zu einer Eins, wodurch die elektrische Leistungsaufnahme berücksichtigt wird.

Die Leistung und das Steuersignal werden an die darüber liegende Ebene weitergegeben und dort wird das Steuersignal in die Wärmepumpe „HeatPump_basic“ weitergeleitet. Der Leistungsbedarf der Abtauung wird in einem Modul mit der Leistung des Ventilators und der Wärmepumpe zusammengefasst.

Die Komponente „Fan“ wird vom „THBair“ und dem Steuersignal der Komponente „Defrost“ gespeist. Innerhalb der Komponente wird die elektrische Leistungsaufnahme weitergeleitet und die Lufteintrittstemperatur bestimmt (siehe Abbildung 3-7).

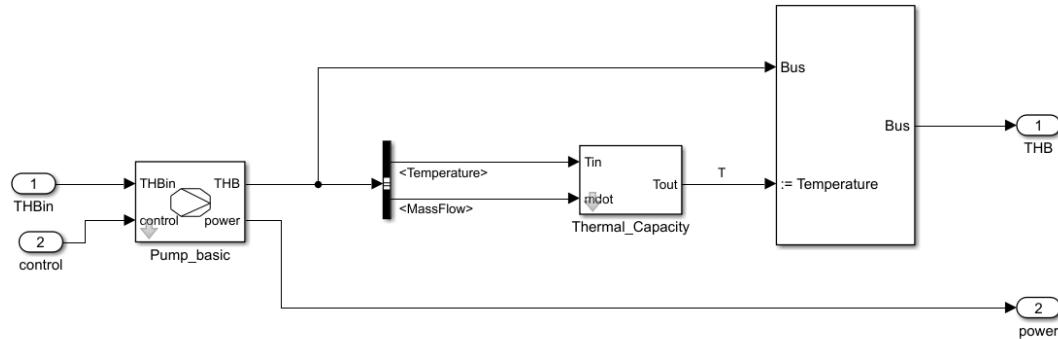


Abbildung 3-7: Komponente: FAN

Aufgrund der beiden neuen Komponenten wird die Wärmepumpe bei Erfüllung der Abtaubedingungen ausgeschaltet und liefert keine Wärme mehr. Durch die temporär fehlende Heizleistung in Kombination mit der für die Abtauung benötigten elektrischen Leistungsaufnahme des Heizelementes wird der COP geringer.

3.3.3 Änderungen am Viessmann Modell hinsichtlich Simulation

Um die vorhandenen Daten einfacher verarbeiten zu können, werden die Daten nicht mehr manuell im Modell hinterlegt, sondern mit Hilfe eines MATLAB-Skripts eingelesen. Das MATLAB-Skript (Anhang A) liest die Daten aus einer einheitlich gestalteten Excel-Datei (Anhang B) ein und hinterlegt diese im Workspace. Auf diese Art und Weise werden folgende Daten aus der Excel-Datei für die Simulation im Workspace hinterlegt:

- Luft-Eingangssignal
 - o Massenstrom
 - o Eintrittstemperatur
 - o Luftfeuchtigkeit
- Wasser-Eingangssignal
 - o Massenstrom
 - o Eintrittstemperatur
- Wärmepumpenmodul-Daten
 - o Außenlufttemperatur
 - o Wasseraustrittstemperaturen
 - o Heizleistung (Kennfeld)
 - o Elektrische Leistung (Kennfeld)
 - o Wärmequellenleistung (Kennfeld)

Anschließend öffnet das Skript die Modell-Datei „b_HeatPumpAirSource_r05_Daten-einlesen“ und startet die Simulation. Am Ende des Simulationsvorganges werden wieder Daten in den Workspace geschrieben und mit einer vordefinierten Bezeichnung abgespeichert.

Hierfür ist eine erste Änderung am Modell nötig. Es werden bestimmte Namen beispielsweise für die Wärmepumpe (siehe Abbildung 3-8) im Modell hinterlegt, damit die Daten aus dem Workspace eingelesen werden können.

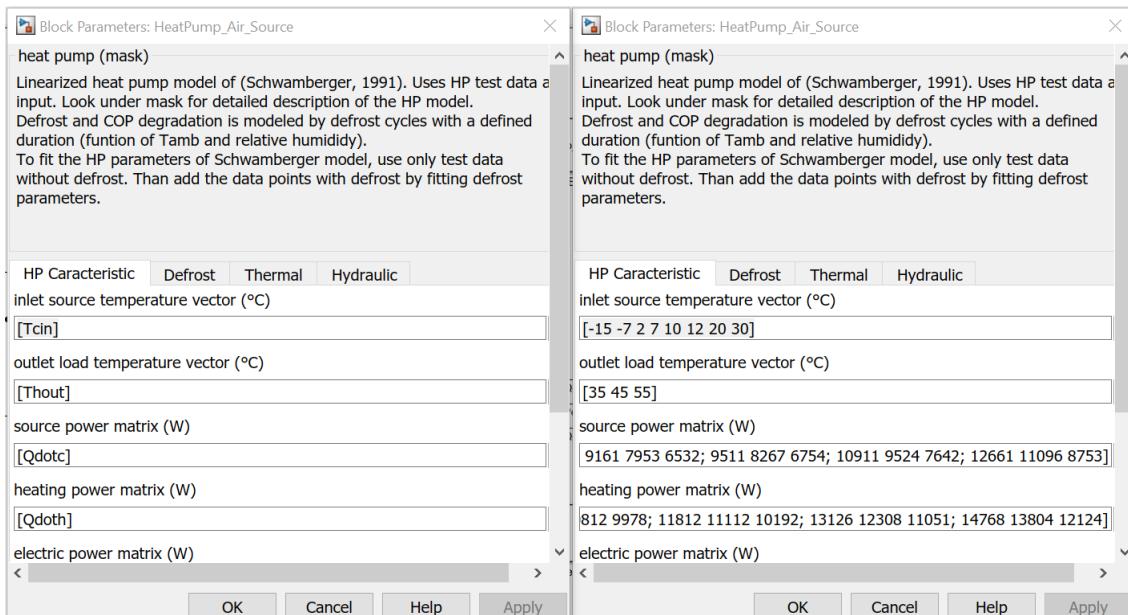


Abbildung 3-8: Wärmepumpen-Modul Parameter: links neu (Workspace) – rechts alt (manuell)

Die zweite Änderung am Modell ist das Austauschen der „Displays“ gegen „to Workspace“ Module (siehe Abbildung 3-9). Dies bewirkt eine schnellere Simulation und andere Auswertemöglichkeit von mehreren Simulationen, da keine grafische Darstellung während der Simulation erfolgen muss und die Daten, mit vordefinierten Variablenamen, in den Workspace geschrieben und gespeichert werden.

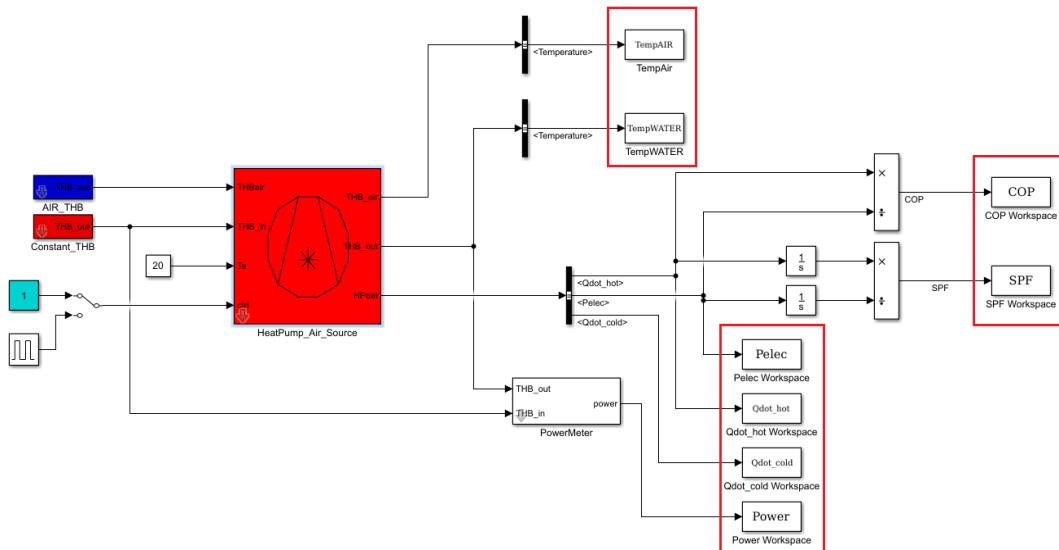


Abbildung 3-9: Viessmann Wärmepumpenmodell mit ausgetauschten Komponenten (rot umrandete Kästen)

Zusätzlich wird am Modell ein grundlegender Fehler in der Komponente „Fan“ behoben (siehe Abbildung 3-10).

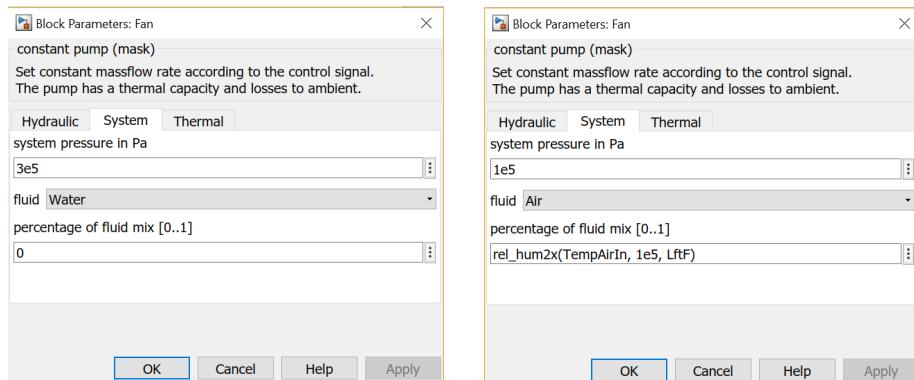


Abbildung 3-10: Fan Einstellungen

In der Komponente ist standardmäßig Wasser als Fluid eingetragen, aber es muss Luft als Fluid hinterlegt werden. Dieses Modul wird auch vom Bus-Signal der Eintrittsluft gespeist und nicht vom Bus-Signal des Wassereintritts.

3.3.4 Notwendige Datengrundlage

Für eine Simulation werden verschiedene Daten im Modell hinterlegt oder die Standardwerte der CARNOT-Wärmepumpe genommen. Diese Daten bzw. Standardwerte sind zum Beispiel bei einer Luft-/Wasserwärmepumpe die Lufteintrittstemperaturen und Wasseraustrittstemperaturen, außerdem werden die Leistungsaufnahmen, Heizleistungen und Leistungsübertragung bei den verschiedenen Temperaturkonstellationen hinterlegt. Neben den Wärmepumpendaten werden auch die thermischen Daten benötigt. Diese bestehen aus der Wärmekapazität des kalten und warmen Kreislaufs und dem

Wärmeübergangskoeffizienten. Ein weiterer Datensatz der im Wärmepumpenmodell hinterlegt sein muss, sind die hydraulischen Daten, welche aus den linearen und quadratischen Druckverlusten in Abhängigkeit des Massenstroms bestehen. Beim Viessmann-Modell werden noch die Daten der Abtauungen benötigt und ebenfalls in der Wärmepumpe hinterlegt.

Für den Start der Simulation müssen anschließend noch die Wunschdaten für Wasser, Luft und Simulationsdauer, sowie die Steuerung eingetragen werden.

3.4 Ergebnisse und Probleme der vorhandenen Modelle

Eine Simulation einer „Vitocal 200-S 7kW“ mit Hilfe des Standard-Modells und des Viessmann-Modells zeigt, dass es zu unterschiedlichen Ergebnissen kommt (siehe Abbildung 3-11).

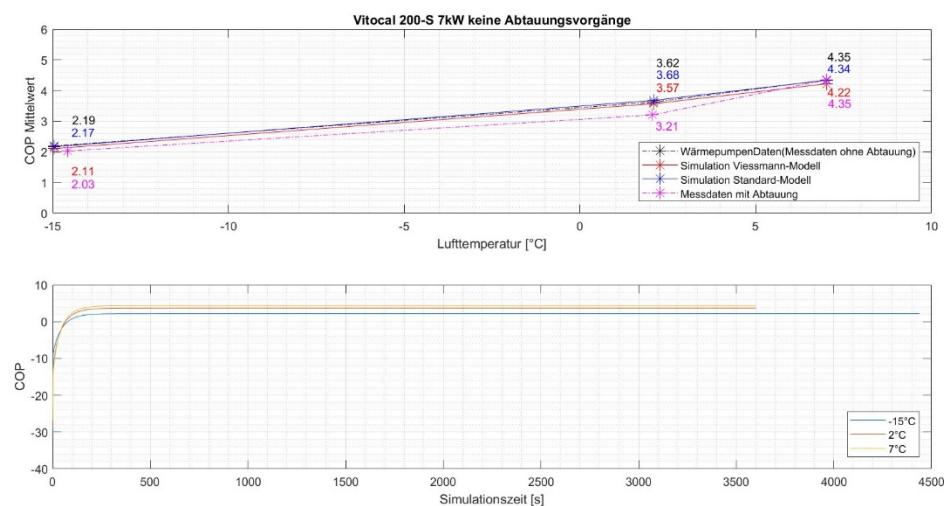


Abbildung 3-11: Vergleich Simulation Standard- und Viessmann-Modell hinterlegt Messdaten ohne Abtauung und ohne Abtauung

Bei allen drei Simulationen (unterschiedliche Lufteintrittstemperaturen) sind die gleichen Wärmepumpen-Messdaten hinterlegt. Bei den Messdaten handelt es sich um eine Messung bei der es zu keinen Abtauvorgängen kommt. Obwohl die Grundlage bei beiden Modellen gleich ist und es zu keiner Abtauung im Viessmann-Modell kommt unterscheiden sich die gemittelten COP's. Das Viessmann-Modell liefert bei allen drei Simulationspunkten geringere gemittelte COP's. Die Findung der Ursache von diesem Problem ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Ausgehend von dem Ziel einen COP zu simulieren, der die Abtauungen berücksichtigt wird die Simulation erneut mit hinterlegten Abtauungsdaten durchgeführt (siehe Abbildung 3-12).

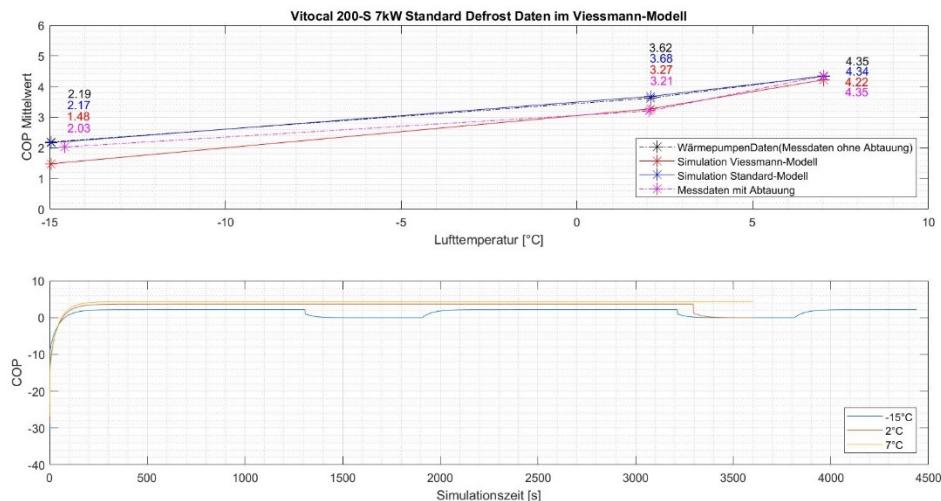


Abbildung 3-12: Vergleich Simulation Standard- und Viessmann-Modell hinterlegt Messdaten ohne Abtauung (aber mit Abtadvorgang in der Simulation)

Im ersten Ansatz werden die im Viessmann-Modell hinterlegten Abtauungsdaten für die Abtauzeit und Laufzeit ohne Abtauung genutzt. Als Resultat ergibt sich der neue Verlauf der „Simulation Viessmann-Modell“-Linie. Es wird deutlich, dass die gewählten Abtauungsdaten nicht passend für die Anlage sind, da die Abweichungen zu den Messdaten mit Abtauung bei -15°C noch größer sind als sie es zuvor waren. Bei $+2^{\circ}\text{C}$ ist die Differenz zwischen den Messdaten mit Abtauung und dem Simulationsergebnis des Viessmann-Modells gegenüber der vorherigen Simulation ohne Abtauung geringer geworden. Am Punkt 7°C hat sich trotz der Hinterlegung der Abtauungsdaten nichts am gemittelten COP geändert.

Für ein besseres Resultat an den Punkten $+2^{\circ}\text{C}$ und -15°C werden die Abtauungsdaten geändert (Fitting des gemittelten Simulations-COP an den Verlauf der Messdaten mit Abtauung). Nach mehreren Durchläufen ist es möglich einen sehr ähnlichen Verlauf der Linien zu erhalten (siehe Abbildung 3-13).

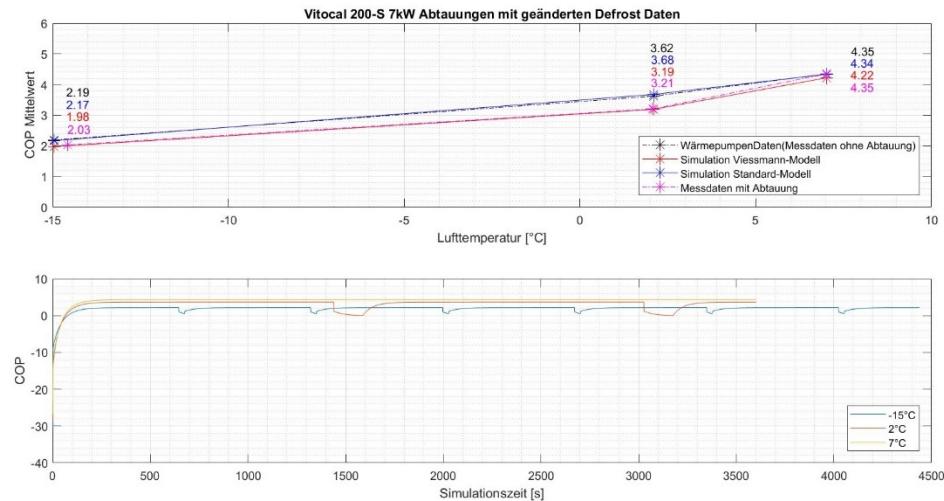


Abbildung 3-13: Vergleich Simulation Standard- und Viessmann-Modell hinterlegt Messdaten ohne Abtauung (mit fiktiven Abtauvorgang in der Simulation)

Die fiktiven Abtausungsdaten führen zu einer guten Angleichung der beiden Verläufe (gemittelter COP Viessmann-Modell und Messdaten mit Abtauung). Allerdings entsprechen die hinterlegten Daten keinen realen Messdaten, sondern sind frei gewählt. Hierdurch könnte man die meisten Verläufe von unterschiedlichen Anlagen gut an die Messdaten mit Abtauung anpassen. Allerdings würden dadurch die Taktungszeiten nicht mit einer realen Anlage übereinstimmen und jeglicher Logik widersprechen können.

Das Hauptproblem an dieser Methodik ist, dass für viele Anlagen die Daten ohne Abtauung nicht vorhanden sind. Und ohne diese Daten ist eine höhere Abweichung vorhanden und ein Fitting teilweise nicht möglich, da die Simulations-COP's bereits unter den Messdaten mit Abtauung liegen. (siehe Abbildung 3-14).

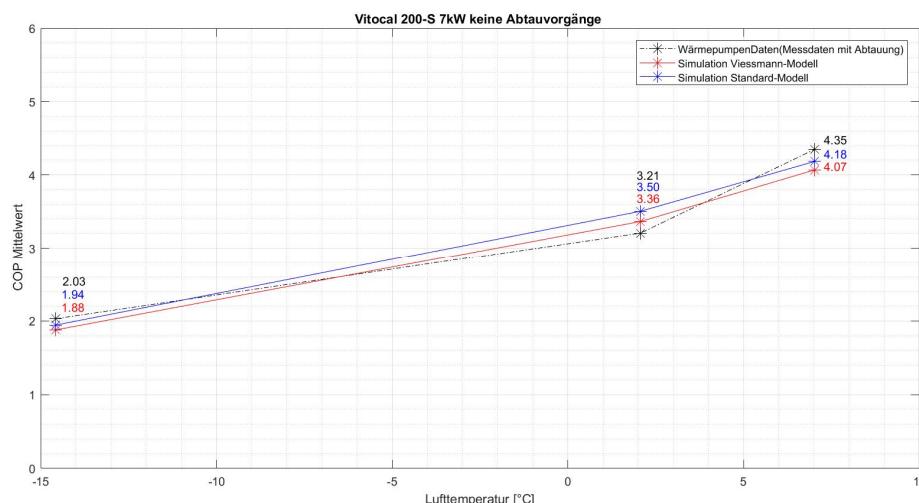


Abbildung 3-14: Vergleich Simulation Standard- und Viessmann-Modell hinterlegt Abtauungsmessdaten (aber ohne Abtauvorgang in der Simulation)

Zudem ist aufgrund der Linearisierung der Wärmepumpendaten im Modell das Problem, dass die Simulationsergebnisse sich in Abhängigkeit der hinterlegten Datensatzanzahl ändern (siehe Kapitel 3.3.1). Hierdurch kommt es nicht nur zu Abweichungen im Bereich $<7^{\circ}\text{C}$, sondern auch in den Bereichen $>7^{\circ}\text{C}$.

Als letztes ist auffällig, dass sich die Simulationsergebnisse des gemittelten COP's in Abhängigkeit der Simulationszeit ändern. Diese Problematik tritt allerdings nur bei kurzen Simulationszeiten (< 2 Stunden) auf und verändert sich bei längeren Simulationszeiten nicht mehr.

Das größte Problem für die genaue Überprüfung des Viessmann-Modells ist die Datengrundlage für verschiedene Anlagen. Da die meisten Anlagen keine Messdaten ohne Abtauung beinhalten, ist es kein allgemeingültiges Modell. Außerdem werden nur die Verluste der Abtauung und nicht die der Vereisung berücksichtigt. Dies ist nur korrekt, so lang die Laufzeiten ohne Abtauung kurz genug sind, dass die Vereisung einen vernachlässigbaren Einfluss hat. Dies kann aber im Rahmen dieser Arbeit nicht überprüft werden.

Aufgrund der mangelnden Datengrundlage, kann zudem keine aussagekräftige Überprüfung des Modells stattfinden. Für die Überprüfung wären die einheitlichen Messdaten von mehreren Anlagen bei den Lufteintritts- und Wasseraustrittstemperaturen notwendig (siehe Tabelle 3-1). Diese Messdaten müssten im Temperaturbereich -15°C bis $+7^{\circ}\text{C}$ einmal mit und einmal ohne Abtauungsvorgänge bei gleicher Verdichterfrequenz ermittelt werden.

Luft	Wasser	Wärmepumpendaten	Abtauungsdaten	Sonstige
Eintrittstemperatur [-15, -7, 2, 7, 10, 12, 20, 30] $^{\circ}\text{C}$	Eintrittstemperatur	Heizleistung	Laufzeit ohne Abtauung	Verdichterfrequenz
Austrittstemperatur	Austrittstemperatur [35, 45 ,55] $^{\circ}\text{C}$	Elektrische Leistungsaufnahme	Laufzeit Abtauvorgang	Messzeiten
Massenstrom	Massenstrom		Anzahl der Abtauungen	
Umgebungs-temperatur				
Luftfeuchtigkeit				

Tabelle 3-1: Notwendige Messdaten pro Anlage

4 Versuchsplanung und Optimierung

Mit Hilfe von Versuchsplänen wird im technischen Bereich die Anzahl der notwendigen Versuche oder Simulationen für ein aussagekräftiges Ergebnis minimiert. Es wäre zwar auch möglich das Viessmann-Modell grundlegend zu ändern und die Linearisierung zu entfernen, allerdings wäre damit nur das Problem der Abweichung $>7^{\circ}\text{C}$ behoben und es wäre immer noch nicht allgemeingültig.

4.1 Versuchsplanung DOE

Das Ziel ist es mit Hilfe eines DOE-Versuchsplanes die optimalen Einstellungen für die Wärmepumpendaten zu ermitteln. Die Ursache für die Wahl eines Versuchsplans ist, dass viele der notwendigen Messdaten für die Bestimmung der Faktoren und Abtauungsdaten nicht in Anlagendatenblättern oder Prüfberichten vorhanden sind, weswegen das Modell nicht als allgemeingültiges Modell nutzbar ist. Um ein allgemeingültiges Modell zu erhalten muss, aufgrund der Linearisierung der Heizleistung und elektrischen Leistungsaufnahme, zunächst ein Korrekturfaktor für die beiden Werte auf die Anlagenkenndaten (Heizleistung und elektrische Leistungsaufnahme) gerechnet werden. Anschließend werden die korrigierten Anlagendaten im Modell hinterlegt und mit standardisierten Abtauungsdaten simuliert.

Die Ermittlung eines allgemeingültigen Faktors ist aber aufgrund der mangelnden Datenvielfalt nicht durch die Mittelung von Faktoren unterschiedlicher Anlagen möglich. Hierfür würden Daten einzelner Anlagen mit und ohne Abtauung bei gleicher Verdichterfrequenz benötigt werden, damit der Faktor aus der Differenz bestimmt werden kann. Da jedoch die Daten für einzelne Temperaturen, von einzelnen Anlagen vorhanden sind, besteht die Möglichkeit mit Hilfe eines DOE-Versuchsplans einen Faktor zu ermitteln.

Aufgrund der mangelnden Messdaten im Bereich der Abtauungsvorgänge besteht auch hier die Möglichkeit den DOE-Versuchsplan für die Ermittlung dieser zu verwenden.

4.1.1 Versuchsplan und Annahmen

Für die Erstellung des Versuchsplans werden zunächst die Einflussfaktoren und Zielfaktoren bestimmt. Anschließend wird der Grenzbereich der Einflussfaktoren festgelegt und auf den normierten Versuchsplan angewendet. Eine Störgrößenanalyse ist in diesem Fall vereinfacht, da es sich um eine deterministische Simulation handelt und somit keine Abweichungen entstehen können. Allerdings kann es durch Falscheintragungen, Rechenfehler und Modellfehler aufgrund der Komplexität des Modells zu grundlegend falschen Simulationen kommen.

Parameter	Min	Max	Vorgabewert und Begründung	Einheit
Zeit ohne Abtauungen	1100	3000	Realfall	[s]
Zeit mit Abtauungen	90	180	Realfall	[s]
Faktor Heizleistung	1,05	1,2	Annahme nach Testsimulationen	[-]
Faktor elektrische Leistungs-aufnahme	0,95	1,1	Annahme nach Testsimulationen	[-]
Lufttemperatur Eintritt			-15, -7, 2, 7, (10), (20) Anlagendatenpunkte	[°C]
Wassertemperatur Eintritt			30 angenommen	[°C]
Wassertemperatur Austritt			35 (Norm DIN EN 14511)	[°C]
Luftmassenstrom			Anlagenabhängig konstant	[kg/s]
Wassermassenstrom			Anlagenabhängig konstant	[kg/s]
Simulationsdauer			3600 festgelegt	[s]
Luftfeuchtigkeit			80 angenommen	[%]
Heizleistung			Anlagenabhängig	[W]
elektrische Leistungsaufnahme			Anlagenabhängig	[W]
Wärmequellenleistung			Anlagenabhängig	[W]
COP				[-]
Wärmeverluste			Standard Modellvorgabe	
Druckverluste			Standard Modellvorgabe	

Tabelle 4-1: Parameter und Grenzbereiche

Der Versuchsplan soll allgemeingültige Einstellungen für die Zeit ohne Abtauung, die Zeit mit Abtauung, den Faktor für die Heizleistung und für den Faktor für die elektrische Leistungsaufnahme liefern. Diese Parameter sind die Einflussfaktoren mit einem bestimmten Variationsbereich (siehe Tabelle 4-1). Als Hauptzielparameter dient der COP, welcher das Verhältnis aus Source und elektrischer Leistungsaufnahme ist. Die anderen aufgelisteten Parameter sind entweder von der jeweiligen Anlage abhängig, im Modell als Standardwerte hinterlegt oder werden als konstant angenommen.

Die Grenzbereiche für die Zeit ohne Abtauungen und für die Zeit mit Abtauungen ergeben sich aus der Praxis. Anlagen sollten im Idealfall maximal drei Mal die Stunde einen Abtauvorgang benötigen und dieser sollte zwischen eineinhalb und drei Minuten andauern (mündliche Aussage von Herrn Dr. Haffner, Firma: Viessmann).

Als Grundlage für die beiden Faktoren dienen Datenmesswerte verschiedener Viessmann-Anlagen. Die Daten beinhalten für einen Temperaturmesspunkt die Werte mit und ohne Abtauvorgänge. Der Faktor für die elektrische Leistungsaufnahme zwischen den beiden Messwerten (mit und ohne Abtauung) variiert je nach Anlage und Temperatur (siehe Tabelle 4-2), wodurch sich die Grenzen in Form von minimalem und maximalem Faktor ergeben.

Temperatur	-15	-7	2
Nullseriengerät		1.01	0.99
7kW Mono			1.02
5kW Split		1.05	1.02
7kW Split	1.05		1.02

Tabelle 4-2: Ermittelte Faktoren für die elektrische Leistungsaufnahme

Gleiches gilt für den Faktor der Heizleistung (siehe Tabelle 4-3).

Temperatur	-15	-7	2
Nullseriengerät		1.07	1.05
7kW Mono			1.09
5kW Split		1.15	1.14
7kW Split	1.14		1.2

Tabelle 4-3: Ermittelte Faktoren für die Heizleistung

Als Grenzbereich für den Faktor der elektrischen Leistungsaufnahme ergeben sich mit einer Sicherheit von 0.05 der Minimalwert 0.95 und der Maximalwert 1.1. Für den Grenzbereich des Faktors für die Heizleistung ergeben sich ein Minimalwert von 1.05 und ein Maximalwert von 1.2.

Konstant angenommene Parameter sind Lufttemperatur Eintritt, Wassertemperatur Eintritt, Wassertemperatur Austritt, Luftmassenstrom, Wassermassenstrom, Simulationsdauer, Luftfeuchtigkeit, Heizleistung, elektrische Leistungsaufnahme, Wärmequellenleistung, Wärmeverluste und die Druckverluste. Die Lufteintrittstemperaturen werden für die jeweiligen Simulationen eines Versuchsplans als konstant angenommen. Als Aufteilung der Lufteintrittstemperaturen im relevanten Bereich <7°C werden die in der Norm DIN EN 14511 vorgegeben Temperaturen genutzt. Bei der Wassertemperatur wird aufgrund mangelnder Daten für alle Temperaturkonstellationen das Delta T von 5°C eingehalten. Der Wassermassenstrom stammt aus den PolySun-Daten [14]. Bei der Luftfeuchtigkeit wird ein konstanter Wert von 80% eingestellt und die Druck- und Wärmeverluste werden innerhalb der Simulation vernachlässigt. Heizleistung, elektrische Leistungsaufnahme und Source stammen aus den jeweiligen Datenblättern der Anlage. Um einheitliche Ergebnisse zu erhalten wird die Simulationsdauer auf drei Stunden gesetzt, da sich in Kapitel 3.4.1 gezeigt hat, dass bei einer Stunde die Resultate deutliche Abweichungen von längeren Simulationsdauern haben.

Der mit Hilfe von MATLAB erstellte 2^4 (Zentral-Zusammengesetzte-Versuchsplan mit einem Zentralpunkt) normierte Versuchsplan (siehe Tabelle 4-4) ergibt einen Alphawert von 2. Das positive- und negative Alpha stellen die Grenzen des Versuchsraums dar. Um den realen Versuchsraum zu erhalten, werden die normierten Versuchspunkte mit Hilfe der Parameter-Grenzbereiche umgerechnet.

Versuchs-punkt	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1
3	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	1
5	-1	1	-1	-1
6	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1
8	-1	1	1	1
9	1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1
11	1	-1	1	-1
12	1	-1	1	1
13	1	1	-1	-1
14	1	1	-1	1
15	1	1	1	-1
16	1	1	1	1
17	-2	0	0	0
18	2	0	0	0
19	0	-2	0	0
20	0	2	0	0
21	0	0	-2	0
22	0	0	2	0
23	0	0	0	-2
24	0	0	0	2
25	0	0	0	0

Tabelle 4-4: Anlagendaten

Für die Umrechnung auf reale Werte, werden die normierten Werte mit Hilfe der Formel 1 umgerechnet.

$$f(x) = f_0 + \frac{f_1 - f_0}{x_1 - x_0} \cdot (x - x_0) \quad <\text{Gl. 1}>$$

Beispielrechnung für die Zeit ohne Abtauung (A) für den Versuchspunkt 1 (siehe Tabelle 4-5).

$$t_{\text{ohne Abt}} = 2050 \text{ s} + \frac{(3000 - 2050) \text{ m}^3}{2 - 0} \cdot (-1 - 0) = 1575 \text{ s}$$

Versuchs-punkt	Zeit ohne Abtauung (A)	Zeit mit Abtauung (B)	Faktor Heiz-leistung (C)	Faktor elektrische Leis-tungsaufnahme (D)
1	1575	112,5	1,0875	0,9875
2	1575	112,5	1,0875	1,0625
3	1575	112,5	1,1625	0,9875
4	1575	112,5	1,1625	1,0625
5	1575	157,5	1,0875	0,9875
6	1575	157,5	1,0875	1,0625
7	1575	157,5	1,1625	0,9875
8	1575	157,5	1,1625	1,0625
9	2525	112,5	1,0875	0,9875
10	2525	112,5	1,0875	1,0625
11	2525	112,5	1,1625	0,9875
12	2525	112,5	1,1625	1,0625
13	2525	157,5	1,0875	0,9875
14	2525	157,5	1,0875	1,0625
15	2525	157,5	1,1625	0,9875
16	2525	157,5	1,1625	1,0625
17	1100	135	1,125	1,025
18	3000	135	1,125	1,025
19	2050	90	1,125	1,025
20	2050	180	1,125	1,025
21	2050	135	1,05	1,025
22	2050	135	1,2	1,025
23	2050	135	1,125	0,95
24	2050	135	1,125	1,1
25	2050	135	1,125	1,025

Tabelle 4-5: Anlagendaten

Für die Simulationen werden die jeweiligen Zeiten mit und ohne Abtauung im Kennfeld hinterlegt. Die Faktoren für die Heizleistung und elektrische Leistungsaufnahme werden vor Beginn der Simulation zu den jeweiligen Anlagenkenndaten (siehe Tabelle 4-6) gerechnet und anschließend für die Wärmepumpe hinterlegt.

Anlagennummer	Name	Heizleistung	COP
1	FLWi1-12	12.7	3.02
2	Belaria8kW	8.6	3.52
3	AeroheatFS08ar	5.65	3.17
4	Vitocal200-A201-A07	4.98	3.77
5	Vitocal200-S201-B10	7.7	3.5

6	Vitocal300-A301-B11	7	3.91
7	Vitocal200-S201-B04	3	3.3
8	MLW12	10.5	3.1
9	LWSE-10	9.3	3.32
10	WPM12	12.49	3.51
11	RLW16-3	10.5	3.09
12	LWsp1-8	8.65	3.28
13	ECO5LCI	9.1	3.3
14	H2Q-1200	9.13	3.31
15	AWX08	6.61	3.1
16	Belaria15kW	15.2	3.4
17	Aeroheat-CN9a	9	3.6
18	LW-81ASX	7.9	3.1
19	LW140	13.6	3.8
20	LA25TU	19.6	3.7
21	WKF120	7	3.61
22	PUHZ-HRP71VHA2	7.9	3.41
23	L-WP-07H	6.5	3.8
24	L08EuC-n	6.3	3.8
25	Bösch-LA12TU	9.4	3.7

Tabelle 4-6: Anlagendaten Betriebsnennpunkt (A2/W35)

Um genauere Ergebnisse zu erhalten werden für die Lufteintrittstemperatur keine unterschiedlichen Konstellationen mit der Wasseraustrittstemperatur hinterlegt, sondern zwei Mal die gleiche Temperatur. Beispielsweise wird beim Durchlauf des Versuchsplan, der Ergebnisse für die Lufteintrittstemperatur -15°C liefern soll, zwei Mal die Wärmepumpendaten für -15°C hinterlegt. Dies ist notwendig, da die Simulation ohne zwei eingetragene Werte nicht funktioniert und bei beispielsweise -15°C und -7°C andere Ergebnisse liefert, aufgrund der Linearisierung (für nähere Informationen zur Entstehung siehe Kapitel 3.3.1).

4.1.2 Simulation und Resultate

Die 25 Versuchspunkte werden für alle 25 Anlagen, bei der jeweiligen Lufteintrittstemperatur (-15°C, -7°C, 2°C, 7°C), mit dem geänderten Viessmann-Modell simuliert und anschließend werden die 625 (=25*25) COP's gemittelt und ein Durchschnitts-COP ermittelt (siehe Abbildung 4-1).

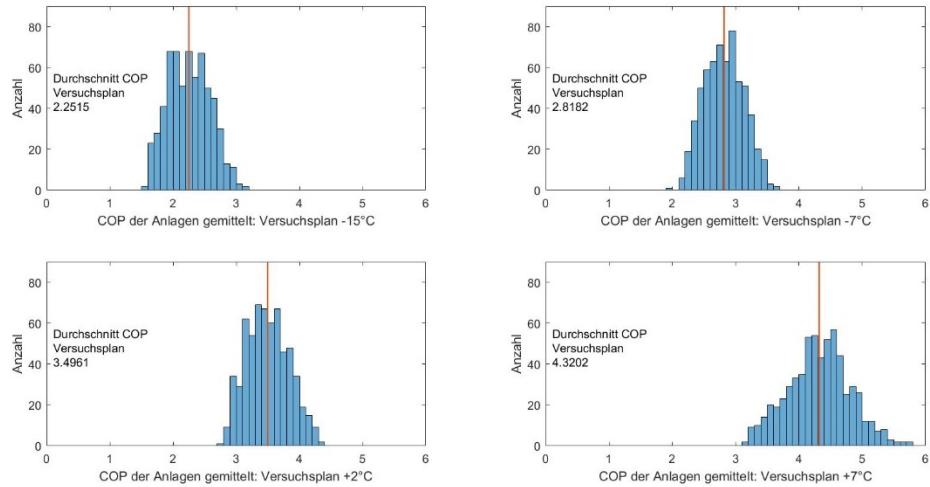


Abbildung 4-1: Häufigkeitsverteilung der 625 COP's je Lufteintrittstemperatur

Die Häufigkeitsverteilung zeigt auf, dass die COP-Verteilung bei allen Temperaturen ähnlich ist und die meisten COP's der Versuchspunkte in einem Bereich von $\pm 20\%$ zum gemittelten COP (rote Linie) liegen.

Im Vergleich zum Simulations-COP ist der Großteil des Anlagendatenblatt-COP's der 25 Anlagen bei den jeweiligen Temperaturen weiter um den Mittelwert gestreut (siehe Abbildung 4-2).

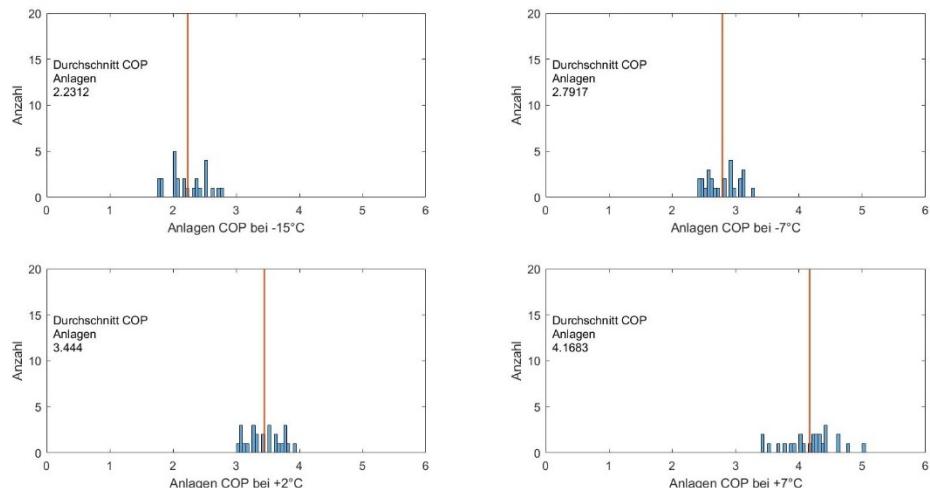


Abbildung 4-2: Häufigkeitsverteilung COP Anlagendaten

Die große Streuung zwischen dem gemittelten Anlagendatenblatt-COP und dem maximalen und minimalen COP der einzelnen Anlagen (siehe Abbildung 4-3), liegt an den

gewählten Anlagen (siehe Tabelle 4-6), die von verschiedenen Herstellern und aus unterschiedlichen Leistungsbereichen stammen. Der Bereich der Anlagen umfasst kleine Anlagen mit 3kW Heizleistung bis hin zu Anlagen mit 20kW Heizleistung. Jedoch wurde bei der Auswahl der Anlagen darauf geachtet, dass die Anlagendaten alle nach DIN EN 14511 erhoben sind und ein Heizstab mit einer Leistung von 6kW vorliegt.

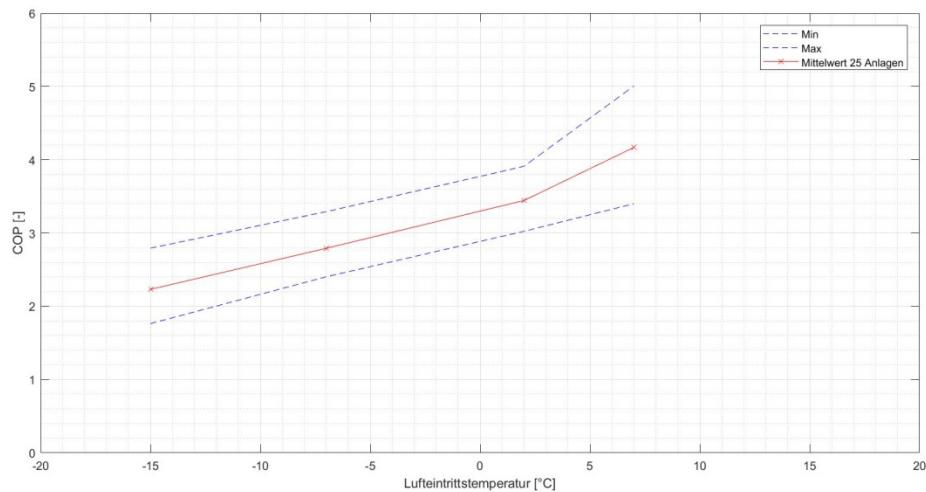


Abbildung 4-3: gemittelter Anlagen-COP der 25 Datenblätter inklusive min max

Trotz der großen Spannbreite der Anlagen, zeigt der gemittelte Anlagendatenblatt-COP den erwarteten und realistischen Verlauf. Der erwartete Verlauf ist keine lineare zwischen -15°C und $+7^{\circ}\text{C}$, sondern eine stärkere Steigung zwischen $+7^{\circ}\text{C}$ und 2°C , die im Bereich $+2^{\circ}\text{C}$ und -15°C wieder abnimmt.

Um die Regressionskoeffizienten zu bestimmten, wird der normierte Versuchsraum, die gemittelten Simulations- COP's und die Gleichung 2 benötigt. Mit Hilfe dieser Komponenten können in MATLAB mit der „fitlm“-Funktion die Regressionskoeffizienten bestimmt werden.

$$\begin{aligned}
 Y = & b_0 + A \cdot b_1 + B \cdot b_2 + C \cdot b_3 + D \cdot b_4 + AB \cdot b_5 + AC \cdot b_6 + AD \cdot \\
 & b_7 + BC \cdot b_8 + BD \cdot b_9 + CD \cdot b_{10} + A^2 \cdot b_{11} + B^2 \cdot b_{12} + C^2 \cdot b_{13} + \quad <\text{Gl. 2}> \\
 & D^2 \cdot b_{14} + ABC \cdot b_{15} + ABD \cdot b_{16} + ACD \cdot b_{17} + BCD \cdot b_{18}
 \end{aligned}$$

Als Ergebnis kommen die Regressionskoeffizienten einer „gemittelten Anlage“ bei einer bestimmten Lufteintrittstemperatur, wie zum Beispiel -15°C raus (siehe Abbildung 4-4). Dieser Vorgang wird für alle vier Lufteintrittstemperaturen durchgeführt (siehe Abbildung 4-4 | Abbildung 4-8 | Abbildung 4-12 | Abbildung 4-16).

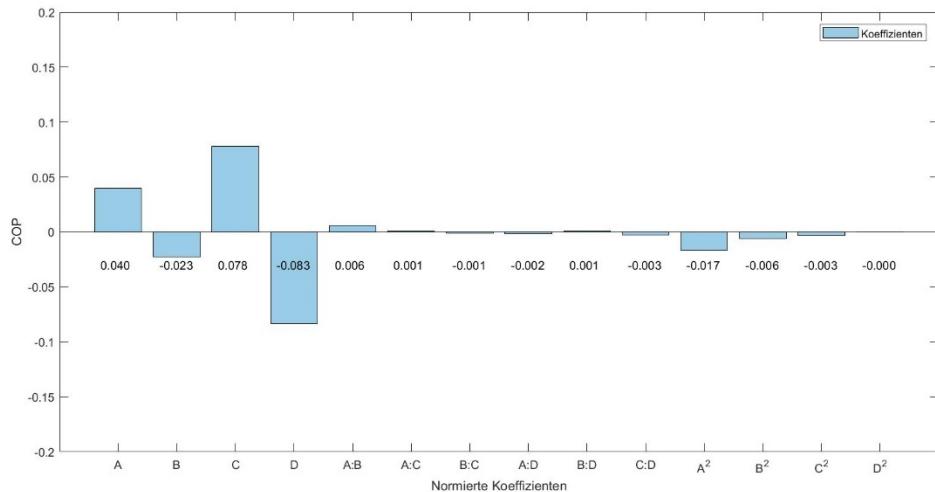


Abbildung 4-4: Quadratische Modell Regressions-Koeffizienten -15°C

Den größten Einfluss auf den gemittelten COP bei -15°C haben die Faktoren der Heizleistung (C) und der elektrischen Leistungsaufnahme (D). Die Laufzeit ohne (A) und mit (B) Abtauung beeinflussen ebenfalls deutlich den COP. Alle 2-Fach-Wechselwirkungen haben nur einen geringen Einfluss, jedoch haben die quadratischen Regressionskoeffizienten der Laufzeit ohne Abtauungen einen nennenswerten Einfluss. Die Einflüsse der 3-Fach-Wechselwirkungen sind noch deutlich kleiner als die der 2-Fach-Wechselwirkung und somit vernachlässigbar.

Die Anpassungsprüfung der Funktion zeigt, dass diese sehr gut ist. Sowohl der RMSE (siehe <Gl.3>), wie auch das Bestimmtheitsmaß R² (siehe <Gl.4>) zeigen dies. Der RMSE beträgt 0.0222 und das Bestimmtheitsmaß beträgt 0.992. In Bezug auf die Daten beträgt der RMSE nicht einmal 1%, welches einer sehr geringe Abweichung entspricht.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad <\text{Gl. 3}>$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad <\text{Gl. 4}>$$

n = Anzahl der Versuchspunkte

Y_i = Messwert am Versuchspunkt i

\hat{Y}_i = Prognosewert am Versuchspunkt i

\bar{Y} = Mittelwerte der Messwerte

Der Prognose Beobachtungsplot (siehe Abbildung: 4-5) bestätigt die sehr gute Übereinstimmung zwischen Prognosewert (Regressionsfunktion) und Beobachtungswert (Simulationsergebnis).

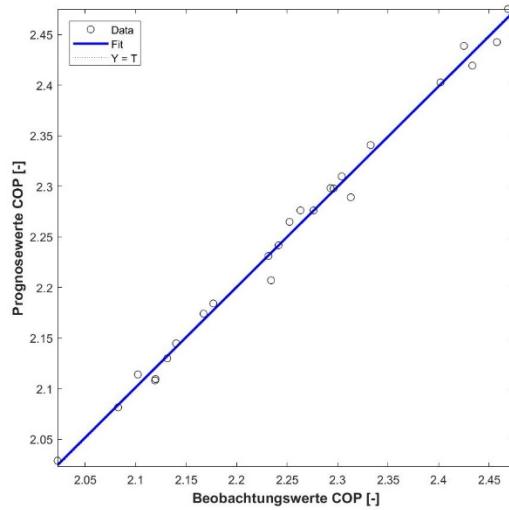


Abbildung 4-5: Prognose Beobachtungsplot COP -15°C

Im Konturplot (siehe Abbildung 4-6 | siehe Abbildung 4-7) ist erkennbar, dass bei konstanter Zeit ohne Abtauung (A) und konstanter Zeit mit Abtauung (B) ein sinkender Faktor für die Heizleistung (C) eine Senkung des COP's zur Folge hat. Zeitgleich steigt der COP bei sinkendem Faktor für die elektrische Leistungsaufnahme (D).

Bei einer steigenden Zeit ohne Abtauung (A) steigt der COP an, während eine Steigerung der Zeit mit Abtauung (B) eine Senkung bewirkt.

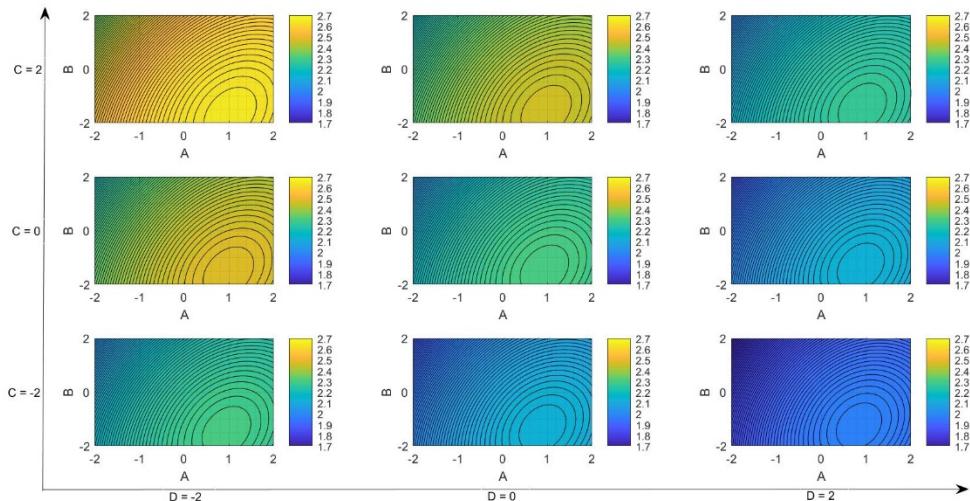


Abbildung 4-6: Konturplot -15°C

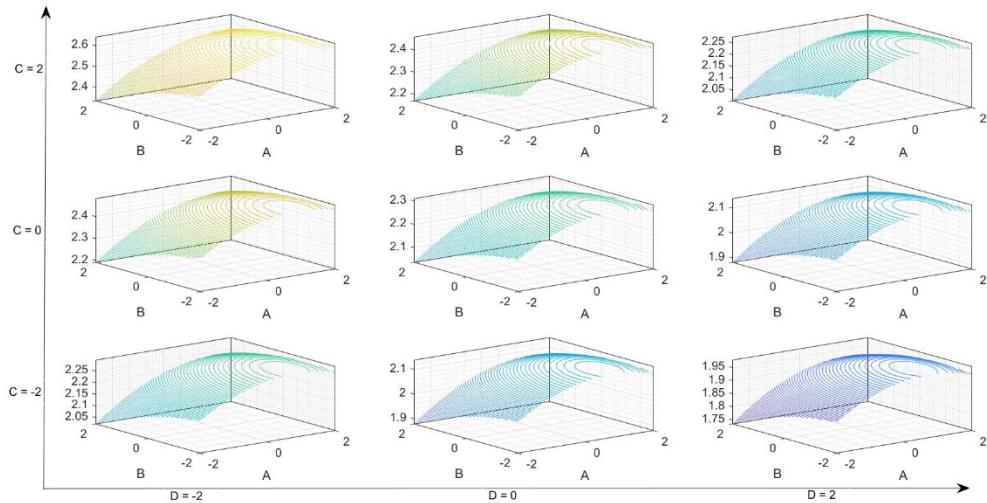


Abbildung 4-7: Konturplot -15°C 3D

Die Einflüsse (A) und (B) entstehen, da bei steigender Laufzeit ohne Abtauung die Heizleistungsverluste durch den Abtauvorgang gesteigert wird und zeitgleich der elektrische Leistungsbedarf durch das Heizelement ansteigt. Der Einfluss der Faktoren (C) und (D) ist dadurch zu erklären, dass der COP von der Heizleistung und der elektrischen Leistungsaufnahme abhängig ist und somit eine höhere Heizleistung, durch den Faktor (C), bei geringerer elektrischer Leistungsaufnahme zu einem größeren COP führt. Zudem wird durch die Konturplots deutlich, dass es für einzelne COP-Werte mehrere Möglichkeiten im Versuchsräum gibt. Auf dieses Thema wird im Folgekapitel Optimierung eingegangen.

Wie bereits für -15°C werden die Regressionskoeffizienten für -7°C ermittelt. Hierfür wurden neue Simulationen bei gleichem Versuchsprinzip durchgeführt.

Beim gemittelten COP für -7°C zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Regressionskoeffizienten (siehe Abbildung 4-8), wie schon bei -15°C.

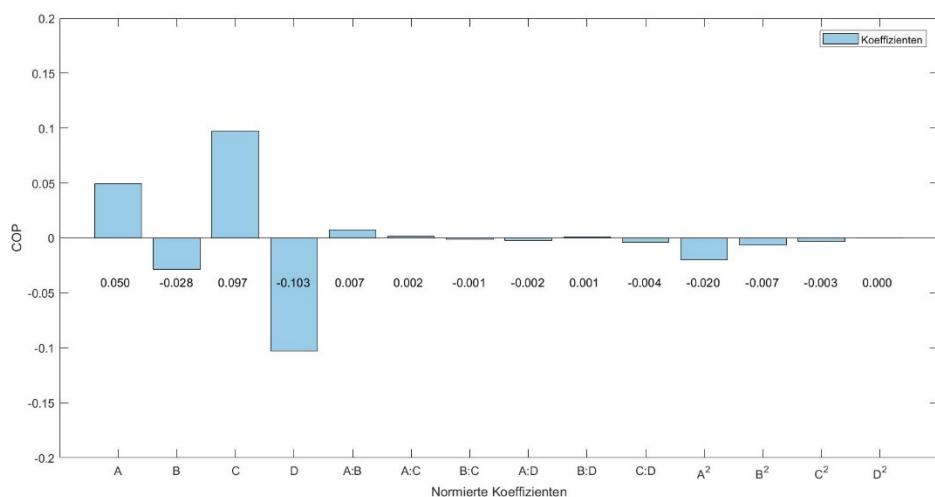


Abbildung 4-8: Quadratische Modell Regressions-Koeffizienten -7°C

Der Wert der einzelnen Koeffizienten entspricht ungefähr $5/4$ der Werte für -15°C , was auch dem Unterschied im gemitteltem COP entspricht (siehe Abbildung 4-2). Auch bei -7°C zeigt der Prognose Beobachtungsplot eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Prognosewert (siehe Abbildung 4-9).

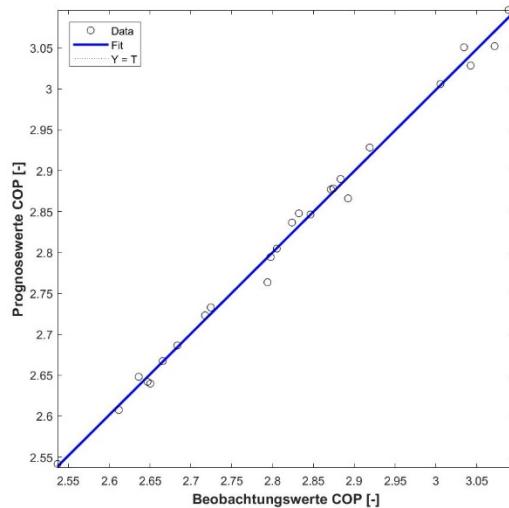


Abbildung 4-9: Prognose Beobachtungsplot COP -7°C

Erneut ist im Konturplot der gleiche grundlegende Verlauf vorhanden (siehe Abbildung 4-10 | siehe Abbildung 4-11). Der einzige Unterschied ist der höhere COP, welcher von der höheren Heizleistung der Anlagen bei ähnlicher elektrischer Leistungsaufnahme stammt.

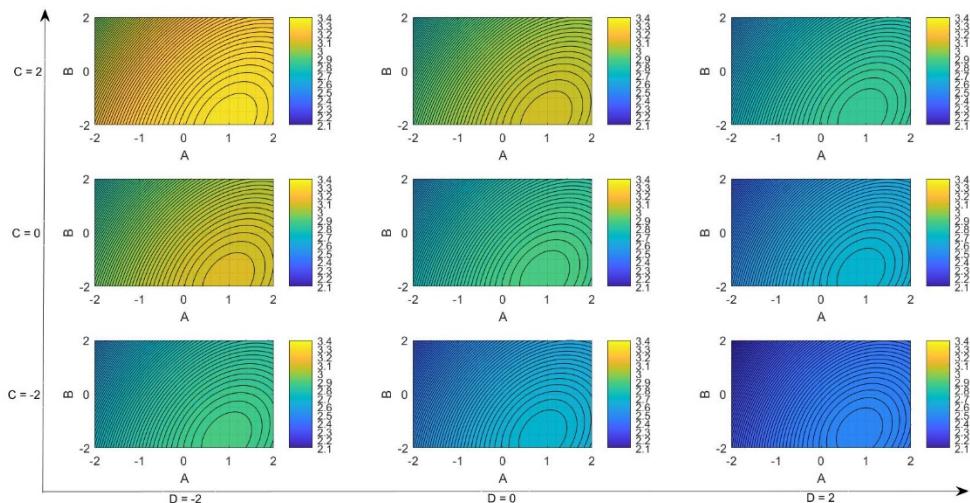


Abbildung 4-10: Konturplot -7°C

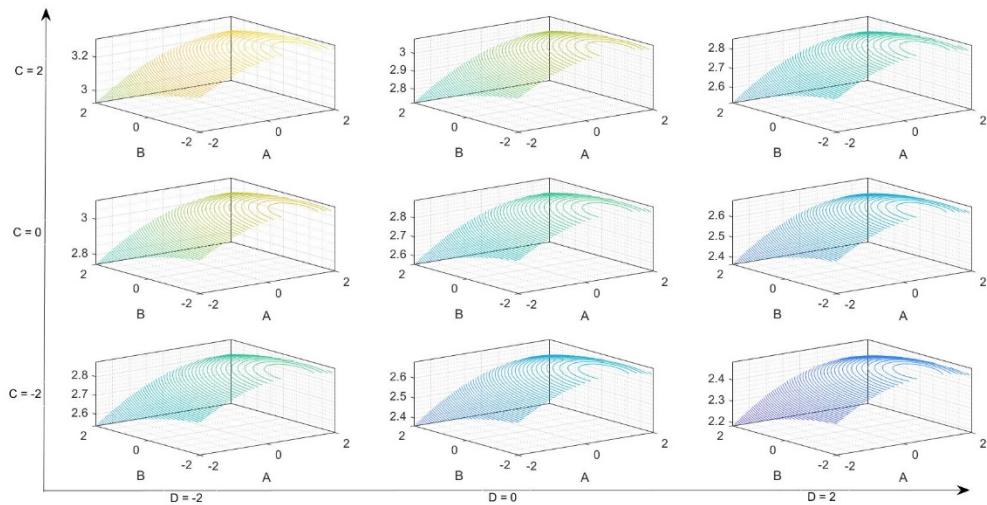


Abbildung 4-11: Konturplot -7°C 3D

Ebenfalls werden für $+2^{\circ}\text{C}$ die Regressionskoeffizienten wie schon für -15°C und -7°C ermittelt. Hierfür wurden neue Simulationen bei gleichem Versuchsplan durchgeführt.

Der gemittelte COP für $+2^{\circ}\text{C}$ hat eine ähnliche Verteilung der Regressionskoeffizienten (siehe Abbildung 4-12), wie schon bei -7°C und -15°C .

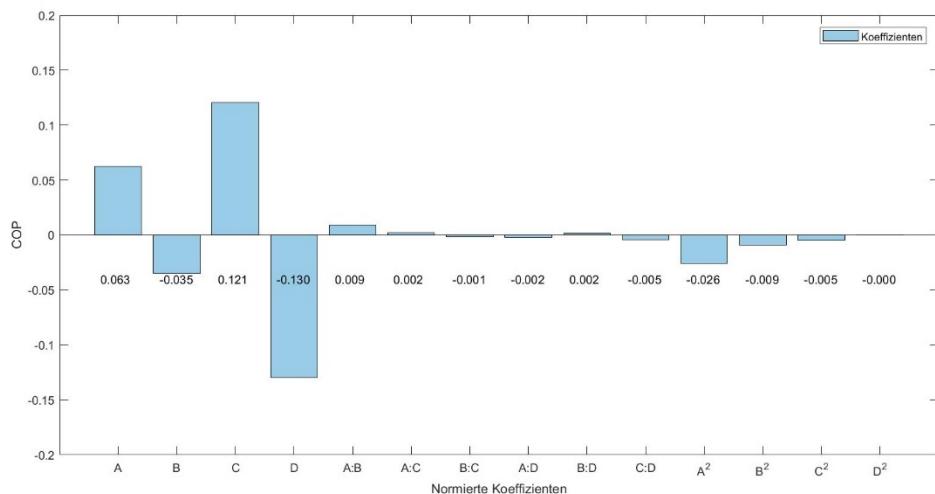


Abbildung 4-12: Quadratische Modell Regressions-Koeffizienten $+2^{\circ}\text{C}$

Der Wert der einzelnen Koeffizienten wächst wieder im gleichen Verhältnis wie die gemittelten COP's der Versuchsräume bei unterschiedlichen Temperaturen (siehe Abbildung 4-2). Bei $+2^{\circ}\text{C}$ zeigt der Prognose Beobachtungsplot eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Prognosewert (siehe Abbildung 4-13).

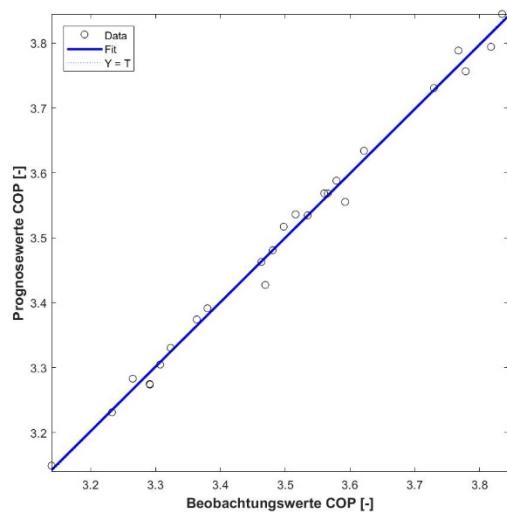


Abbildung 4-13: Prognose Beobachtungsplot COP +2°C

Der aus den vorherigen Lufteintrittstemperaturpunkten bekannte Verlauf des Konturplots, ist auch bei +2°C vorhanden (siehe Abbildung 4-14 | siehe Abbildung 4-15). Auch hier ist der COP wie erwartet weiter angestiegen.

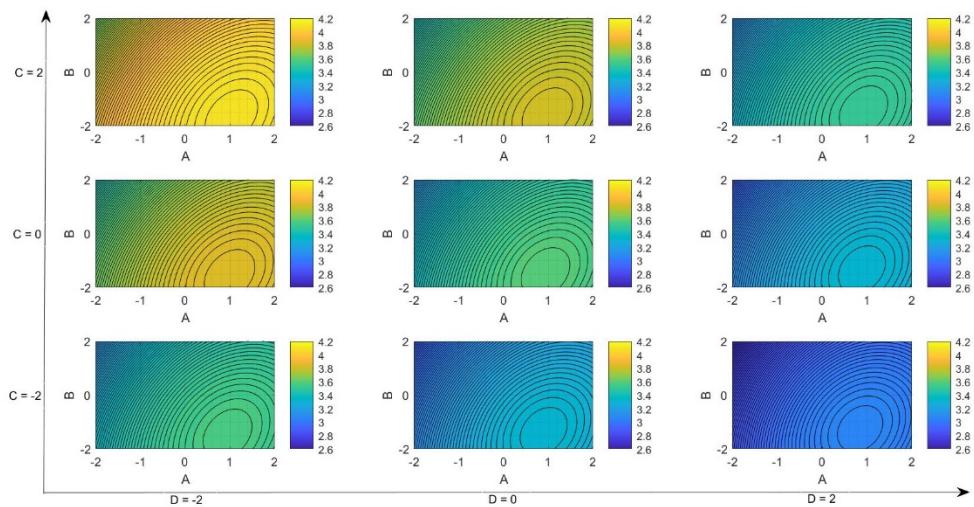


Abbildung 4-14: Konturplot +2°C

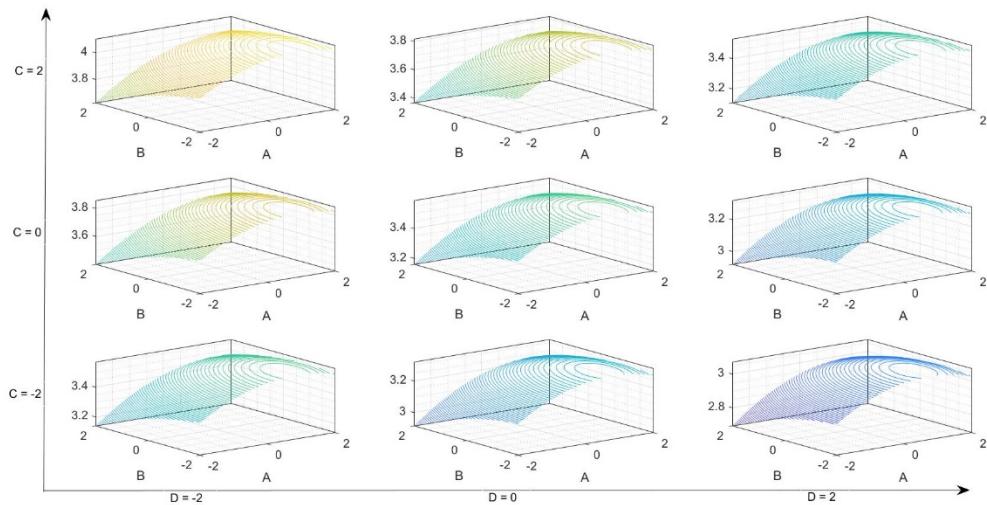


Abbildung 4-15: Konturplot +2°C 3D

Am letzten der vier Lufteintrittstemperaturpunkte (+7°C) werden die Regressionskoeffizienten auf die Gleiche Art und Weise wie bei den anderen Lufteintrittstemperaturpunkten (-15°C, -7°C, +2°C) ermittelt.

Die ähnliche Verteilung, wie an den anderen Lufteintrittstemperaturpunkten, der Regressionskoeffizienten findet sich auch bei +7°C wieder (siehe Abbildung 4-16).

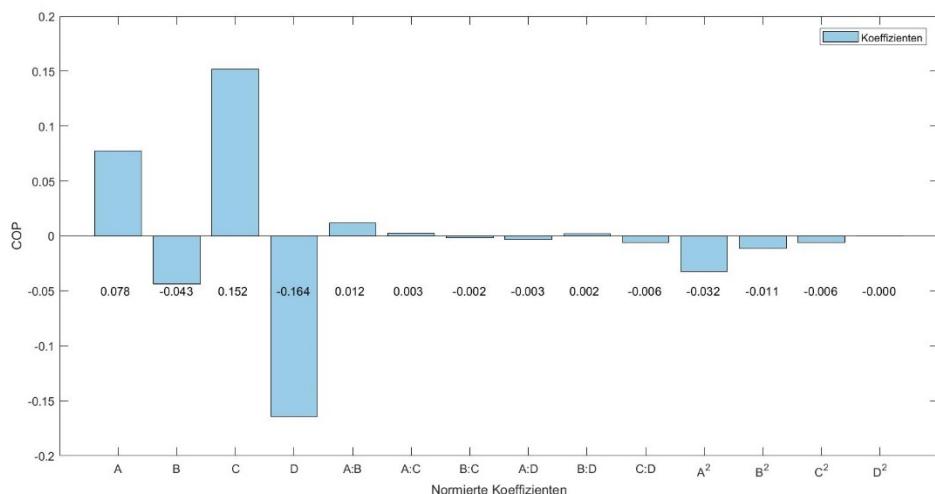


Abbildung 4-16: Quadratische Modell Regressions-Koeffizienten 7°C

Der Wert der einzelnen Koeffizienten wächst wieder im gleichen Verhältnis wie die gemittelten COP's der Versuchsräume bei unterschiedlichen Temperaturen (siehe Abbildung 4-2). Auch bei +7°C zeigt der Prognose Beobachtungsplot eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Prognosewert (siehe Abbildung 4-17).

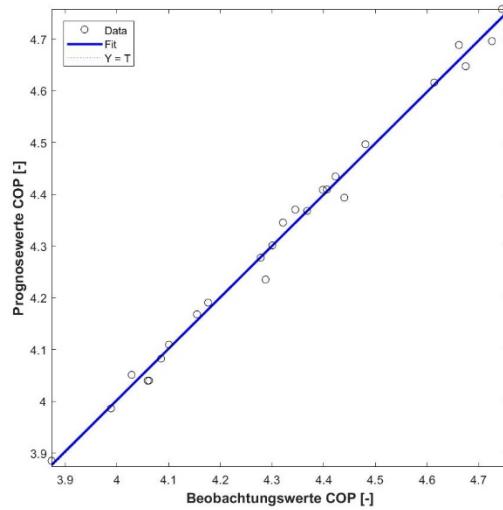


Abbildung 4-17: Prognose Beobachtungsplot COP +7°C

Bei einer Lufteintrittstemperatur von +7°C ergibt sich wieder der bekannte Verlauf des Konturplots, für eine Erläuterung des Konturplots siehe weiter oben innerhalb dieses Kapitels (siehe Abbildung 4-18 | siehe Abbildung 4-19). Auch hier ist der COP wie erwartet weiter angestiegen.

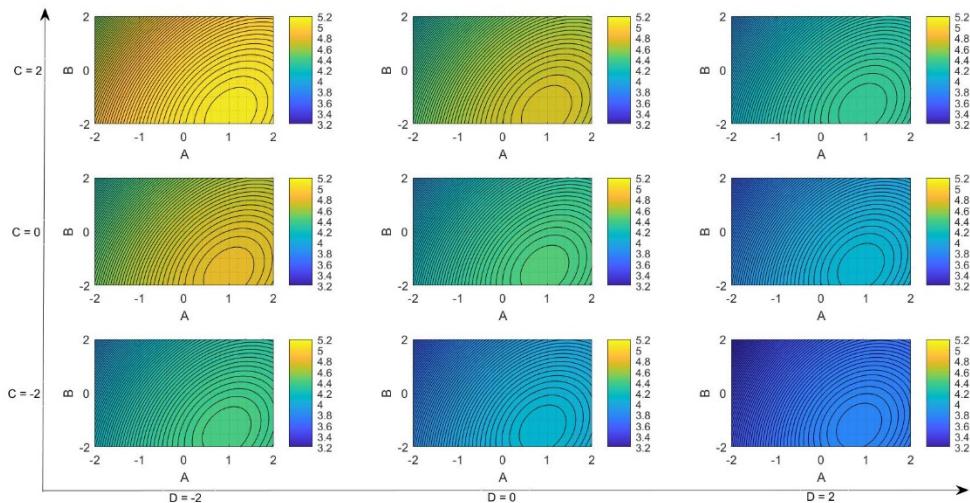


Abbildung 4-18: Konturplot +7°C

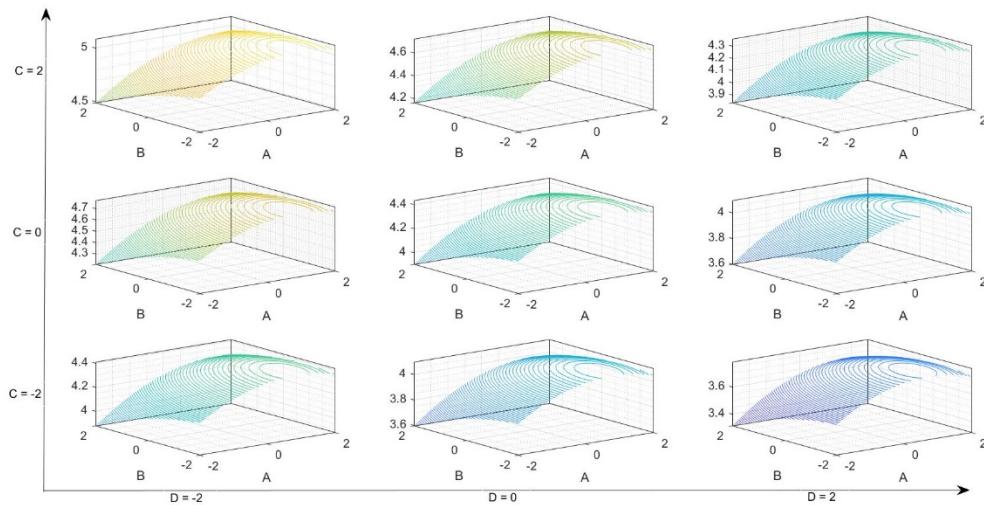


Abbildung 4-19: Konturplot +7°C 3D

4.1.3 Optimierung

Um optimale allgemeingültige Einstellungen zu erhalten, wird überprüft an welchen Punkten der Ziel-COP erreicht wird. Der Ziel-COP entspricht dem gemittelten COP der Anlagendaten bei der jeweiligen Temperatur.

Die in Kapitel 4.1.2 gezeigten Konturplots veranschaulichen das es für einzelne COP's verschiedene Einstellungsvarianten gibt, dabei bildet der Ziel-COP keine Ausnahme. Unter Berücksichtigung der physikalischen Effekte lässt sich dennoch eine sinnvolle Einstellung für die einzelnen Temperaturen finden. Da bei sinkender Temperatur auch die absolute Feuchte der Luft abnimmt (siehe Tabelle 4-7), kommt es trotz dem Temperaturfall nicht zwangsläufig zu einer schnelleren Vereisung.

	-15	-7	2	7
Absolute Feuchte [g/m³]	1,29	2,36	4,45	6,2

Tabelle 4-7: Absolute Feuchte bei relativer Luftfeuchtigkeit (80%)

Die Taupunkttemperaturen der Lufteintrittstemperaturen liegen auf einem Niveau, dass die Frostbildung unter 7°C verursacht. In Verbindung mit der absoluten Feuchte bei einer 80%igen relativen Luftfeuchtigkeit entsteht im Bereich von 2 bis 7°C die schnellste Frostbildung, wobei bei +7°C die Frostbildung langsamer verläuft als bei +2°C.

Im Bereich -7 bis 2°C verlangsamt sich die Geschwindigkeit der Frostbildung wieder, da sich die absolute Feuchte in diesem Bereich fast halbiert. Und im Bereich -7 bis -15°C ist die absolute Feuchte nochmal geringer, wodurch sich trotz der höheren Minustemperaturen eine ähnliche Frostbildung ergibt. Zusammenfassend sollte der größte Wert für die Zeit ohne Abtauung (A) bei Lufteintrittstemperatur +7°C sein. Bei -7°C und -15°C sollte

eine etwas geringere Zeit für die Laufzeit ohne Abtauung sein und für die Lufteintrittstemperatur von $+2^{\circ}\text{C}$ sollte die Zeit ohne Abtauung am kürzesten sein.

Für die Dauer der Abtauungen ergibt sich eine ungefähr gleichbleibende Dauer bei allen Lufteintrittstemperaturpunkten. Ursache hierfür sind die gegenläufigen Effekte das im wärmeren Bereich die Abtauung durch die Außentemperatur begünstigt wird. Aber zeitgleich steigt mit sinkender Lufteintrittstemperatur, die Temperaturdifferenz zum Heizelement oder im Falle einer Kreislaufumkehr die Temperaturdifferenz zur Wärmequelle.

Die Faktoren für die Heizleistung und elektrische Leistungsaufnahme sollten sich in Abhängigkeit der Lufteintrittstemperatur ebenfalls ändern. Der Faktor der Heizleistung (C) sollte bei $+7^{\circ}\text{C}$ am geringsten sein, da dort der Abstand vom COP zwischen berücksichtigter und unberücksichtigter Abtauung am geringsten ist. Mit niedriger werdender Lufteintrittstemperatur wird der Abstand größer, weswegen der Faktor der Heizleistung bei den verbleibenden Lufteintrittstemperaturen ($+2^{\circ}\text{C}$, -7°C , -15°C) größer sein sollte.

Beim Faktor der elektrischen Leistungsaufnahme (D) sollte es bei den Möglichen Varianten ($D = -2$, $D = 0$, $D = 2$) keine Veränderung zwischen den Lufteintrittstemperaturen geben. Die Ursache dafür ist die fast gleichbleibende elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe.

Bei einer Lufteintrittstemperatur von -15°C liegt der gewählte Punkt, für die idealen Einstellungen für den gemittelten Anlagendatenblatt-COP von 2.2312, bei $A = -1.46$, $B = 2$, $C = 2$ und $D = 0$ (siehe Abbildung 4-20).

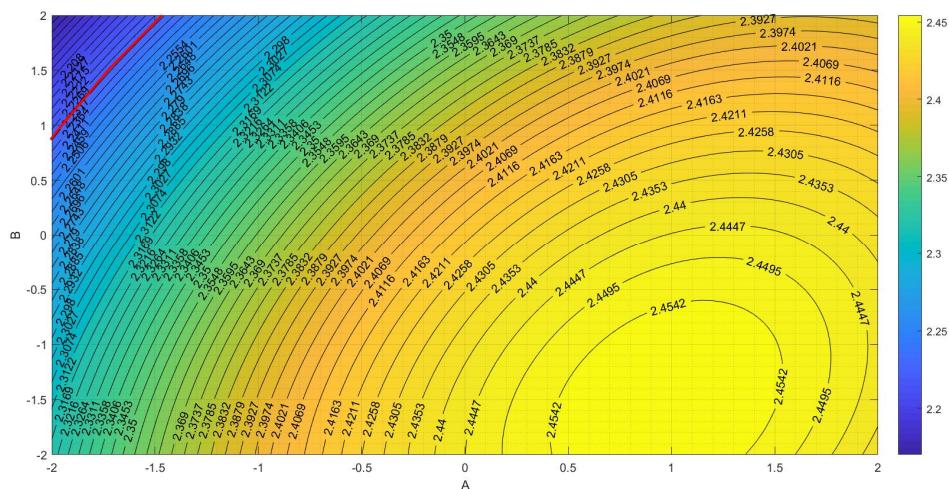


Abbildung 4-20: Konturplot -15°C ($C = 2$, $D = 0$)

Dieser Punkt erfüllt alle vorher festgelegten Parameterbedingungen und ergibt mit Hilfe der Regressionsfunktion den Ziel-COP.

Für eine Lufteintrittstemperatur von -7°C liegt der ausgewählte Punkt, für die idealen Einstellungen für den gemittelten Anlagendatenblatt-COP von 2.7917, bei $A = -1.51$, $B = 2$, $C = 2$ und $D = 0$ (siehe Abbildung 4-21).

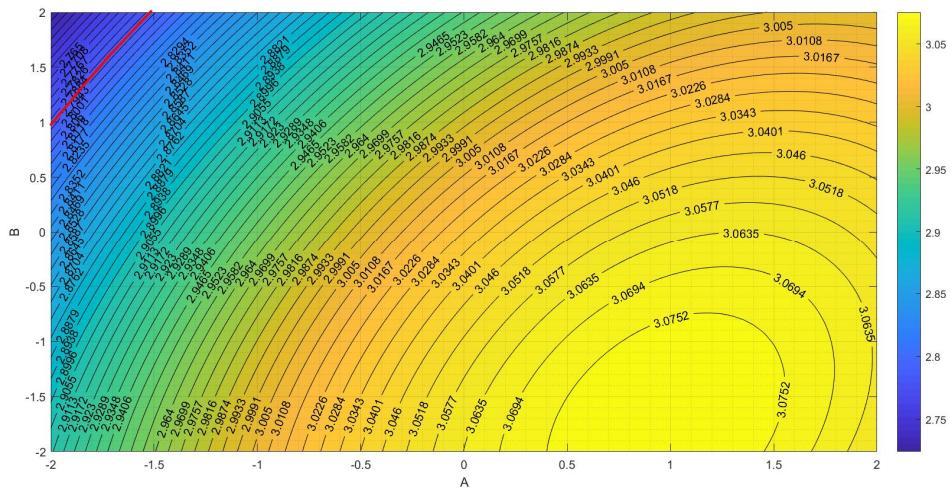


Abbildung 4-21: Konturplot -7°C (C = 2, D = 0)

Hiermit ist auch die Bedingung erfüllt, dass die Zeit ohne Abtauung mit steigender Temperatur (ausgehend von -15°C) erst einmal leicht absinkt.

Für die Temperatur $+2^{\circ}\text{C}$ wird mit den gleichen Rahmenbedingungen wie bei den anderen beiden Versuchsräumpunkten der Punkt A = -1.57, B = 2, C = 2 und D = 0 grafisch ermittelt (siehe Abbildung 4-22).

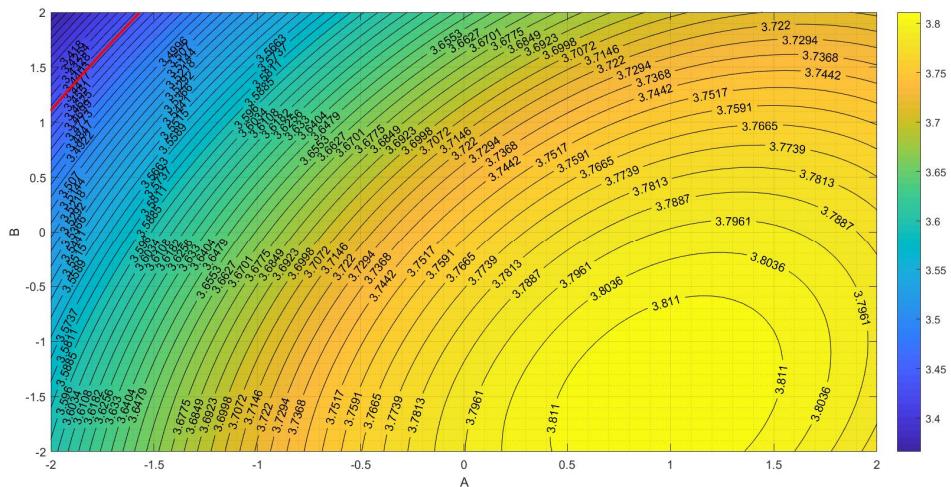


Abbildung 4-22: Konturplot +2°C (C = 2, D = 0)

Erneut ist wie gewollt die Laufzeit ohne Abtauung gesunken und der Faktor der Heizleistung genauso hoch wie bei -7°C und -15°C.

Beim letzten Lufteintrittstemperaturpunkt $+7^{\circ}\text{C}$ ergeben sich als mögliche ideale Einstellungen $A = -0.57$, $B = 2$, $C = 0$ und $D = 0$ (siehe Abbildung 4-23).

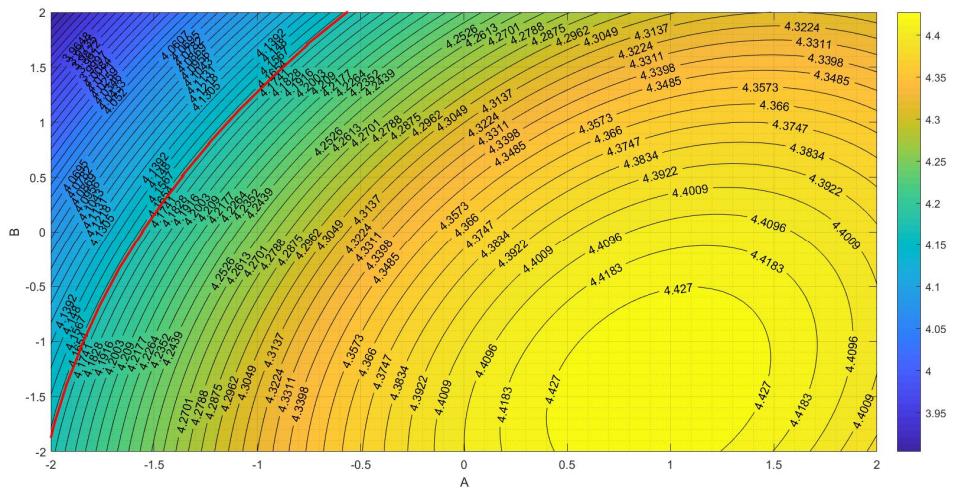


Abbildung 4-23: Konturplot +7°C (C = 0, D = 0)

Hier ist der Sprung zwischen der vorherigen Temperaturpunkteinstellung am größten. Die Laufzeit ohne Abtauungen ist bei +7°C am größten und der Faktor der Heizleistung am kleinsten.

4.2 Validierung der Optimierung

Für die Validierung der ermittelten optimalen Einstellungen werden erneut die 25 Anlagen simuliert. Da die Faktoren nur für die Wasseraustrittstemperatur von 35°C ermittelt sind, werden die Faktoren auch für 45°C und 55°C hinterlegt. Vor der Simulation werden die hinterlegten Heizleistungen und elektrischen Leistungsaufnahmen mit dem jeweiligen Faktor verrechnet (siehe Abbildung 4-24) und die Abtauungsdaten hinterlegt.

Bei mangelnder Datengrundlage bzw. nur Anlagenkenndaten mit berücksichtiger Abtautung müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

heat power matrix:
[Anlagenkenndaten].*[1.2 1.2 1.2; 1.2 1.2 1.2; 1.2 1.2 1.2; 1.125 1.125 1.125; 1 1 1; 1 1 1; 1 1 1; 1 1 1]

electric power matrix:
[Anlagenkenndaten].*[1.025 1.025 1.025; 1.025 1.025 1.025; 1.025 1.025 1.025; 1.025 1.025 1.025; 1 1 1; 1 1 1; 1 1 1; 1 1 1]

Für diese Faktoren sind auch allgemeingültige Abtauungskennfelder hinterlegt!

Table data: Operation time in s
[1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4; 1356.5 1332.75 1304.25 1779.25 1e4 1e4 1e4; 1356.5 1332.75 1304.25 1779.25 1e4 1e4 1e4]

Table data: Defrost time in s
[0 0 0 0 0 0 0; 180 180 180 180 250 250 250; 180 180 180 180 250 250 250]

HP Characteristic	Defrost	Thermal	Hydraulic
Temperature limit for defrost	7		
Temperature vector for tables	[-15 -7 2 7 10 12 20 30]		
Relative humidity vector for tables	[0 80 100]		
Table data: Operation time in s	[1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4; 1356.5 1332.75 1304.25 1779.25 1e4 1e4 1e4; 1356.5 1332.75 1304.25 1779.25 1e4 1e4 1e4]		
Table data: Defrost time in s	[0 0 0 0 0 0 0; 180 180 180 180 250 250 250; 180 180 180 180 250 250 250]		

Abbildung 4-24: Neues Wärmepumpenmodell mit den ermittelten allgemeingültigen Faktoren
(HeatPump_Air_Source Defrost)

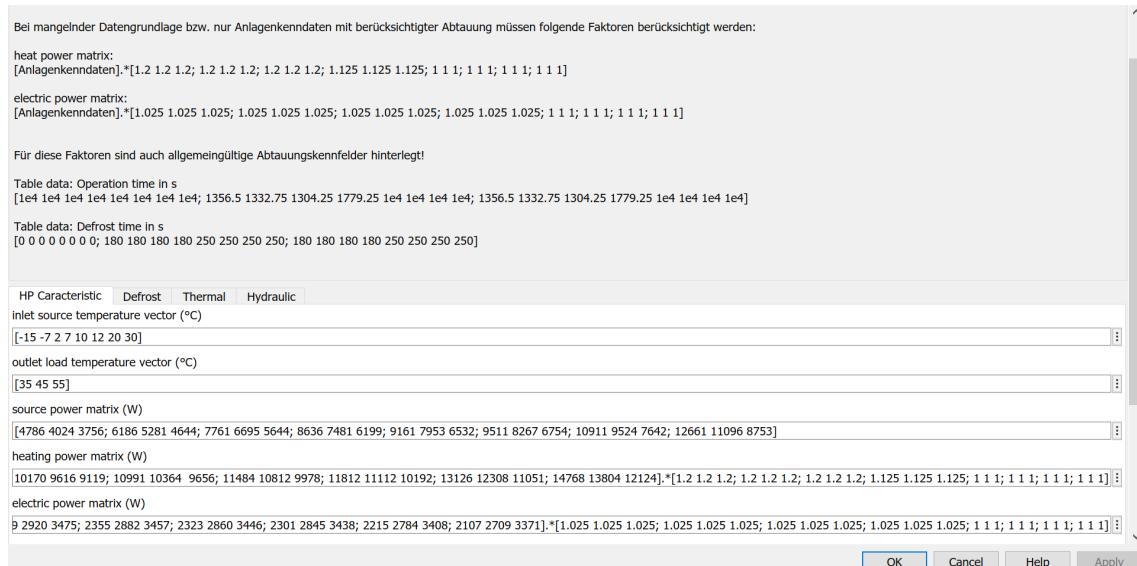


Abbildung 4-25: Neues Wärmepumpenmodell mit den ermittelten allgemeingültigen Faktoren (HeatPump_Air_Source HP Caracteristic)

Die hinterlegten Abtauungsdaten der Wärmepumpe werden entsprechend der ermittelten Werte angepasst (siehe Tabelle 4-8).

	-15	-7	2	7
A	-1.46	-1.51	-1.57	-0.57
B	2	2	2	2
C	2	2	2	0
D	0	0	0	0

Tabelle 4-7: normierte allgemeingültige Faktoren

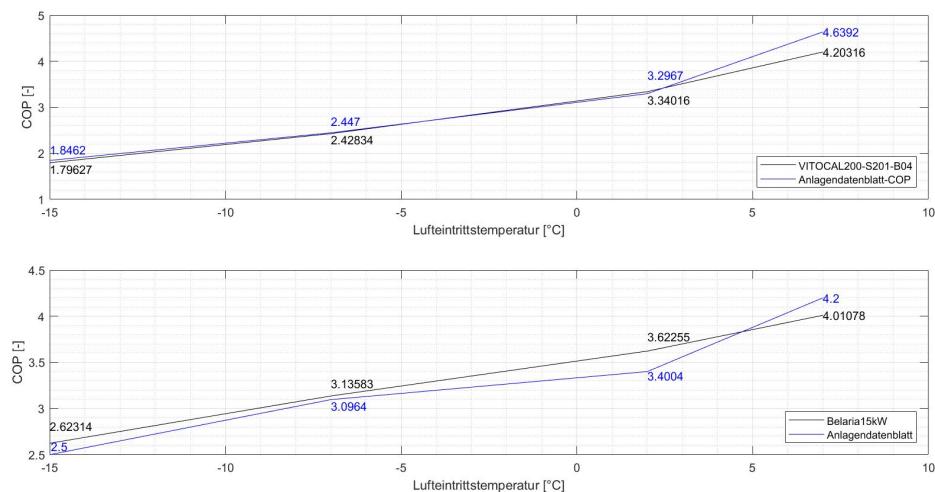
Um die ermittelten Punkte verwenden zu können müssen diese erst wieder vom normierten umgerechnet werden (siehe Kapitel 4.1.1: <Gl 1>). Daraus ergeben sich dann die Zeit ohne Abtauung, die Zeit mit Abtauung, der Faktor der Heizleistung und der Faktor der elektrischen Leistungsaufnahme (siehe Tabelle 4-8).

	-15	-7	2	7
Laufzeit ohne Abtauung	1356.5s	1332.75s	1304.25s	1779.25s
Laufzeit mit Abtauung	180s	180s	180s	180s
Faktor Heizleistung	1.2	1.2	1.2	1.125

Faktor elektrische Leis- tungsaufnahme	1.025	1.025	1.025	1.025
--	-------	-------	-------	-------

Tabelle 4-7: Allgemeingültige Faktoren

Die Simulation von zwei einzelnen Anlagen mit Hilfe der allgemeingültigen Faktoren zeigt auf, dass die Ergebnisse immer noch stark schwanken (siehe Abbildung 4-24).

**Abbildung 4-24:** Validierungsplot zweier Anlagen mit Hilfe der ermittelten allgemeingültigen Faktoren

Für die Anlage „Vitocal200-S201-B04“ verläuft der COP der Validierungssimulation oberhalb vom Anlagendatenblatt-COP (gemittelte Anlagenkenndaten). Die Abweichungen im Temperaturbereich -15°C bis +2°C sind minimal und im Bereich +2°C bis +7°C werden die Abweichungen größer. Bei dieser Anlage haben die ermittelten allgemeingültigen Faktoren (siehe Tabelle 4-7) den gewünschten Effekt.

Für die zweite Anlage „Belaria15kW“ ist bei der Validierungssimulation zwar der typische Verlauf einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im Lufteintrittstemperaturbereich <7°C vorhanden, allerdings sind die Differenzen zum Anlagendatenblatt-COP größer als bei der anderen Anlage. Bei der zweiten Anlage liegen die Validierungs-COP's teilweise über und teilweise unter den Anlagendatenblatt-COP's.

Eine Simulation aller 25 Anlagen führt zu einem gemittelten Validierungs-COP an der jeweiligen Temperatur (siehe Abbildung 4-25).

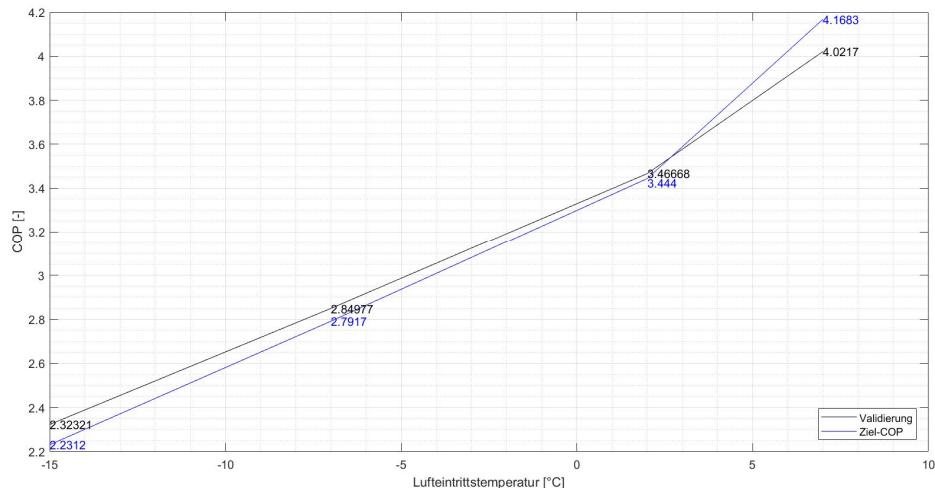


Abbildung 4-25: Gemittelter Validierungsplot aller 25 Anlagen mit Hilfe der ermittelten allgemeingültigen Faktoren

Die gemittelten Validierungs-COP's liegen bei allen Lufteintrittstemperaturen bei einer Abweichung von unter 5% im Verhältnis zum Ziel-COP. Diese Abweichung ist durch die Modellberechnung zu erklären, da für die Simulation der einzelnen Lufteintrittstemperaturen alle vier Lufteintrittstemperaturen mit den dazugehörigen Daten hinterlegt sind. Durch die Modell-Berechnung kommt es dann zur Bildung des geringsten quadratischen Fehlers bei den hinterlegten Heizleistungen und elektrischen Leistungsaufnahmen (siehe Kapitel 3.3.1). Bei der Ermittlung der allgemeingültigen Faktoren sind nur zwei gleiche Lufteintrittstemperaturen hinterlegt, da ansonsten eine Iteration notwendig werden würde (für Nähere Informationen siehe Kapitel 5).

In erster Näherung erfüllen die ermittelten allgemeingültigen Faktoren ihren Zweck und verbessern die Simulationsresultate von Simulationen die auf einfache Anlagenkenndaten basieren.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Masterarbeit sollte ein erweitertes Standard-Modell für Wärmepumpen in MATLAB Simulink validiert und verbessert werden. Die Erweiterung wurde durch die Firma Viessmann ausgeführt und soll bei Luft-Wasser-Wärmepumpen die Verluste durch Abtauvorgänge, aufgrund der Vereisung unter 7°C sicherstellen. Nach einer Einarbeitung in die Thematik und in das Modell, sollte überprüft werden, ob der gewählte Ansatz anhand von Anlagenkenndaten und Prüfberichten nach DIN EN-14511 allgemeingültig ist. Die erste Überprüfung des Modells zeigt mehrere Probleme auf.

Das Modell hat im Vergleich zum Standard-Wärmepumpenmodell aus der CARNOT Bibliothek Abweichungen, obwohl keine Abtauvorgänge vorliegen. Zusätzlich sind die standardmäßig im Viessmann-Modell hinterlegten Abtauungsdaten nicht allgemeingültig. Die Simulation einer Anlage zeigt deutliche Abweichungen zwischen den Anlagenkenndaten-COP (mit berücksichtiger Abtauung) und den Simulations-COP. Ein grundlegendes Problem der Simulation ist der Bedarf an Wärmepumpendaten ohne Abtauung. Die nach DIN-EN-14511 ermittelten Daten berücksichtigen die Abtauungen und werden in den Anlagendatenblättern angegeben. Zudem sind die Anlagenkenndaten für die Abtauungsvorgänge notwendig, aber selten angegeben. Ein Versuch mit fiktiven Anlagenkenndaten für die Abtauung und Anlagenkenndaten ohne berücksichtigte Abtauung (für die Wärmepumpe) hat gezeigt, dass es möglich ist eine Simulation beliebig genau zu fitten. Der Nachteil dieser Variante ist, dass die hinterlegten Abtauungsdaten nicht mit realistischen Zeiträumen für die Abtauung übereinstimmen müssen. Ein weiteres Problem ist die Berechnungsart des Wärmepumpenmodells. Da es auf dem Prinzip von Schwamberger basiert, ermittelt es eine Lineare mit dem geringsten quadratischen Fehler zu den hinterlegten Daten. Dies führt bei der Hinterlegung von mehr als zwei Datenpunkten zu Abweichungen. Zusätzlich weichen die gemittelten Simulations-COP's bei kurzen Simulationen deutlich von den gemittelten Simulations-COP's, von Simulationen mit höherer Simulationsdauer, ab.

Eine Validierung des Modells konnte aufgrund mangelnder Messdatengrundlage nicht durchgeführt werden. Die Messdatengrundlage besteht oftmals nur aus Messdaten mit berücksichtiger Abtauung. Für eine Validierung wären aber die Messdaten mit und ohne Abtauung für ein und dieselbe Anlage notwendig. Aufgrund der Zielsetzung ein allgemeingültiges Modell zu erhalten, ohne das grundlegende Modell zu verwerfen, wurde anschließend ein DOE-Versuchsplan erstellt. Um die Grenzbereiche der Einflussfaktoren zu ermitteln, sind die wenigen vorhandenen Anlagenkenndaten mit und ohne Abtauung, bei 35°C Wasseraustrittstemperatur, genutzt worden. Anschließend wurde der Versuchsplan für die einzelnen Lufteintrittstemperaturen simuliert und ausgewertet. Insgesamt sind 25 Anlagen simuliert und anschließend gemittelt worden. Mit Hilfe der aus dem gemittelten Ergebnissen des Versuchsplans wurden eine Regressionsfunktion und die

dazugehörigen Regressionskoeffizienten bestimmt. Die Prognosedaten haben einen hohen Aussagegehalt aufgrund der geringen Abweichung zu den Simulationsdaten. Anschließend sind unter Verwendung der grafischen Auswertung von Konturplots, die idealen Einstellungen für die Einflussgrößen ermittelt worden. Hierfür sind verschiedene Überlegungen bezüglich des Verhaltens der Heizleistung, elektrischen Leistungsaufnahme und der Laufzeiten mit und ohne Abtauung bei den jeweiligen Lufteintrittstemperaturen angestellt worden.

Als letztes wurden die ermittelten Faktoren an zwei Anlagen beispielhaft validiert und anschließend wurde eine Validierung anhand des Mittelwerts der 25 Anlagen durchgeführt. Hierfür wurde das Simulationsmodell um die Faktoren der Heizleistung und der elektrischen Leistungsaufnahme ergänzt. Die ermittelten allgemeingültigen Abtauvorgangsdaten wurden ebenfalls im Modell hinterlegt. Das Ergebnis der Validierung zeigt bei den gemittelten Werten nur eine Abweichung von unter 5% an den jeweiligen Lufteintrittstemperaturpunkten (-15°C, -7°C, 2°C, 7°C). Auch die Ergebnisse der einzelnen Anlagen zeigen den typischen Verlauf einer Luft-Wasser-Wärmepumpe und weichen nur begrenzt von den Anlagenmessdaten ab.

Als weiterführende Arbeiten sollte das neue Modell anhand von mehr Anlagen validiert werden. Es ist zu erwarten, dass es bei einigen Anlagen zu größeren Abweichungen kommt, weswegen dann weiterführende Optimierungsarbeiten am Modell notwendig sind. Um bessere Faktoren zu erhalten, kann auch eine feinere Unterteilung bei der grafischen Auswertung der Einflussgrößen vorgenommen werden. Eine andere Möglichkeit wäre es mehrere Iterationen des Versuchsplans mit den neuen Faktoren durchzuführen und sich so dem Optimum immer weiter anzunähern. Ein weiterer Ansatz wäre die Vermessung mehrerer Wärmepumpen um die Faktoren für die Heizleistung und elektrische Leistungsaufnahmen, sowie die durchschnittlichen Abtauungsdaten zu bestimmen. Die Näherung an das Problem kann auch mit einem geänderten Viessmann-Modell geschehen, in dem die Linearisierung ausgekoppelt wird. In allen Fällen müssten die Werte auch für andere Wasseraustrittstemperaturen ermittelt werden. Die wichtigste Voraussetzung für weiterführende Arbeiten ist die Schaffung einer besseren Messdatengrundlage.

Quellenverzeichnis

- [1] Schwamberger, Klaus: „Modellbildung und Regelung von Gebäudeheizungsanlagen mit Wärmepumpen“, VDI Verlag, Düsseldorf, Fortschrittsberichte VDI Reihe 6 Nr. 263, 1991
- [2] Viessmann: Online verfügbar unter
<https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/waermepumpe/split-luft-wasser-waermepumpen/vitocal-200-s.html>, letzter Zugriff am 15.05.2018
- [3] Energie-Experten: Split Wärmepumpe. Online verfügbar unter
<https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/luftwaerme-pumpe/split.html>, letzter Zugriff am 13.06.2018
- [4] Rasid Sahinagic; Martin Imholz; Louis Berlinger; Heinrich Huber; Karl Hilfiker: LOREF: Luftkühler-Optimierung mit Reduktion von Eis- und Frostbildung, Untersuchung der Frostbildung für Lamellenluftkühler von Wärmepumpen, Schlussbericht September 2004, Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Luzern
- [5] DIN EN 14511: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern für die Raumbeheizung und -kühlung; Deutsche Fassung 2013
- [6] DIN EN 14825: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und -kühlung – Prüfung und Leistungsbemessung unter Teillastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl; Deutsche Fassung 2016
- [7] RWTH AACHEN: Online verfügbar unter
<http://www.matlab.rwth-aachen.de/index.php?id=14>, letzter Zugriff 03.04.2018
- [8] Mathworks: Online verfügbar unter
<https://de.mathworks.com/matlabcentral/linkexchange/links/4321-carnot-toolbox>, letzter Zugriff am 03.04.2018
- [9] Katrin Prölss; Gerhard Schmitz: Modeling of Frost Growth on Heat Exchanger Surfaces; Modelica 2006, September 4th – 5th; The Modelica Association
- [10] Moo-Yeon Lee: Numerical Model on Frost Height of Round Plate Fin Used for Outdoor Heat Exchanger of Mobile Electric Heat Pumps; Hindawi Publishing Corporation; Advances in Mechanical Engineering; Volume 2012, Article ID 863731; 26.01.2015
- [11] Yi-Guang Chen*; Qing-Yang Jiang; Ji-Chun Yang; Jing-Xin Hou; Xiao-Yan Wu: Modeling and performance analyses of fin-and-tube heat exchanger operating under frost conditions, PR China, 09.02.2016
- [12] Rasid Sahinagic, dipl. Ing. FH; Martin Imholz, dipl. Ing. FH; Louis Berlinger, dipl. Ing. FH; Heinrich Huber, dipl. Ing. FH; Karl Hilfiker, Prof. Dr. Ing. ETH: LOREF: Luftkühler-Optimierung mit Reduktion von Eis- und Frostbildung Untersuchung der Frostbildung für Lamellenluftkühler von Wärmepumpen, Schlussbericht Institut für Produktentwicklung (IPE) Thermische Verfahren und Anlagen (TVA), September 2004

- [13] Qiao, Hongtao; Aute, Vikrant; Radermacher, Reinhard: "A New Dynamic Heat Exchanger Model with Frosting and Defrosting"; International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1415, (2014)
- [14] PolySun 10 (velar solaris), Wärmepumpen-Katalog

Anhang A: MATLAB-Skript Daten Einlesen

```

clear
clc
close

%%%Änderbare Variablen%%

%%%Dateinamen%%
%Excel-Datei (filename fn) -> Grundlage für die Wärmepumpe bei den Simulationen
fn = 'VitocalSplit7kWmaxHzAbtauungen';
%Excel-Datei (filename fn) -> Grundlage für die verschiedenen Simulationsparameter
fn2 = 'VitocalSplit7kWmaxHzAbtauungen';
%Excel-Datei (filename fn) -> Quelle für die Daten mit Abtauung
fn3 = 'VitocalSplit7kWmaxHzAbtauungen';
%Tabelle der Excel-Datei (sheet)
sh = 1;
%Name der Simulationsdatei
Simulationsdateiname = 'b_HeatPumpAirSource_r05_Dateneinlesen';
%Name der Simulationsdatei mit der alten Berechnung
Simulationsdateiname2 = 'WaermepumpenmodellOHNEabt';

%%%Auswertung%%
%Ignoriert die ersten (z.B. 29) Stellen der Simulationsaufnahmewerte um die
%Anlaufschwankungen und Abweichungen nicht zu berücksichtigen
SimAnf = 30;

%%%PLOT%%
PlotTitel = 'Vitocal 200-S 7kW';
%Anzeigebereich des Plots
x1= -10;
x2= 10;
y1= 0;
y2= 6;
%Beschriftungsverschiebung (1. Beschriftung) in der x Achse
BeschriftungX1 = 0.1;
%Beschriftungsverschiebung (1. Beschriftung) in der y Achse
BeschriftungY1 = +0.1;

%%%Ende der änderbaren Variablen%%

%%%Parameters%%
hp_air.linc = 10;
hp_air.quac = 10;
hp_air.linh = 10;
hp_air.quah = 10;
hp_air.caph = 80000;
hp_air.capc = 50000;
hp_air.heatloss = 7;
hp_air.mdot_air = 3000/3600;
hp_air.T_no_defrost = 7;
hp_air.T_auto_defrost = 0;
hp_air.T_table_defrost = [-15 -7 2 7 10 12 20 30];
hp_air.rh_table_defrost = [0, 80, 100];
hp_air.optime_table_defrost = [1e4, 1e4, 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4; 1300 2400 3200 8500
1e4 1e4 1e4 1e4; 1300 2400 3200 8500 1e4 1e4 1e4 1e4];
hp_air.time_defrost = [0 0 0 0 0 0 0; 600 500 400 250 250 250 250; 600 500 400 250
250 250 250];
hp_air.power_defrost = 6000;

%%%Einlesen der Daten als Grundlage für die Wärmepumpe%%
Tcin=[xlsread(fn, sh, 'D15'), xlsread(fn, sh, 'E15'), xlsread(fn, sh, 'F15'), xls-
read(fn, sh, 'G15'), xlsread(fn, sh, 'H15'), xlsread(fn, sh, 'I15'), xlsread(fn, sh,
'J15'), xlsread(fn, sh, 'K15')];
disp('Eintrittstemperatur (Tcin) im Workspace hinterlegt 1/5');

Thout=xlsread(fn, sh, 'A4');
disp('Austrittstemperatur (Thout) im Workspace hinterlegt 2/5');

Qdotc=[xlsread(fn, sh, 'D7'); xlsread(fn, sh, 'E7'); xlsread(fn, sh, 'F7'); xlsread(fn,
sh, 'G7'); xlsread(fn, sh, 'H7'); xlsread(fn, sh, 'I7'); xlsread(fn, sh, 'J7');
xlsread(fn, sh, 'K7')];
disp('Kälteleistung (Qdotc) im Workspace hinterlegt 3/5');

```

```

Qdotoh=[xlsread(fn, sh, 'D8'); xlsread(fn, sh, 'E8'); xlsread(fn, sh, 'F8'); xlsread(fn, sh, 'G8'); xlsread(fn, sh, 'H8'); xlsread(fn, sh, 'I8'); xlsread(fn, sh, 'J8'); xlsread(fn, sh, 'K8')];
disp('Wärmeleistung (Qdotoh) im Workspace hinterlegt 4/5');

Pel=[xlsread(fn, sh, 'D9'); xlsread(fn, sh, 'E9'); xlsread(fn, sh, 'F9'); xlsread(fn, sh, 'G9'); xlsread(fn, sh, 'H9'); xlsread(fn, sh, 'I9'); xlsread(fn, sh, 'J9'); xlsread(fn, sh, 'K9')];
disp('Elektrische Leistung (Pel) im Workspace hinterlegt 5/5');

disp('Grundlegende Daten für die Wärmepumpe im Workspace hinterlegt');

%%%%Einlesen der Daten als Grundlage für die Simulationsdurchläufe%%%%
SimTime=[xlsread(fn2, sh, 'D4'); xlsread(fn2, sh, 'E4'); xlsread(fn2, sh, 'F4'); xlsread(fn2, sh, 'G4'); xlsread(fn2, sh, 'H4'); xlsread(fn2, sh, 'I4'); xlsread(fn2, sh, 'J4'); xlsread(fn2, sh, 'K4')];
disp('SimulationszeitMessung (SimTime) im Workspace hinterlegt 1/6');

TempAirInGes=[xlsread(fn2, sh, 'D15'); xlsread(fn2, sh, 'E15'); xlsread(fn2, sh, 'F15'); xlsread(fn2, sh, 'G15'); xlsread(fn2, sh, 'H15'); xlsread(fn2, sh, 'I15'); xlsread(fn2, sh, 'J15'); xlsread(fn2, sh, 'K15')];
disp('Luftteintrittstemperatur (TempAirInGes) im Workspace hinterlegt 2/6');

MassAirGes=[xlsread(fn2, sh, 'D14'); xlsread(fn2, sh, 'E14'); xlsread(fn2, sh, 'F14'); xlsread(fn2, sh, 'G14'); xlsread(fn2, sh, 'H14'); xlsread(fn2, sh, 'I14'); xlsread(fn2, sh, 'J14'); xlsread(fn2, sh, 'K14')];
disp('Luftmassenstrom (MassAirGes) im Workspace hinterlegt 3/6');

TempWaterInGes=[xlsread(fn2, sh, 'D12'); xlsread(fn2, sh, 'E12'); xlsread(fn2, sh, 'F12'); xlsread(fn2, sh, 'G12'); xlsread(fn2, sh, 'H12'); xlsread(fn2, sh, 'I12'); xlsread(fn2, sh, 'J12'); xlsread(fn2, sh, 'K12')];
disp('Wassereintrittstemperatur (TempWaterInGes) im Workspace hinterlegt 4/6');

MassWaterGes=[xlsread(fn2, sh, 'D11'); xlsread(fn2, sh, 'E11'); xlsread(fn2, sh, 'F11'); xlsread(fn2, sh, 'G11'); xlsread(fn2, sh, 'H11'); xlsread(fn2, sh, 'I11'); xlsread(fn2, sh, 'J11'); xlsread(fn2, sh, 'K11')];
disp('Wassermassenstrom (MassWaterGes) im Workspace hinterlegt 5/6');

LftFGes=[xlsread(fn2, sh, 'D17'); xlsread(fn2, sh, 'E17'); xlsread(fn2, sh, 'F17'); xlsread(fn2, sh, 'G17'); xlsread(fn2, sh, 'H17'); xlsread(fn2, sh, 'I17'); xlsread(fn2, sh, 'J17'); xlsread(fn2, sh, 'K17')];
disp('Luftfeuchtigkeit (LftFGes) im Workspace hinterlegt 6/6');

disp('Daten im Workspace hinterlegt');

%%%%Simulation%%%%
%Anzahl der Messsimulationsdurchläufe
Sim = size(SimTime, 1);

%Simulationsparametervariation und Abspeicherung der Simulationsdurchläufe
for AnzSim=1:Sim
    %Simulationszeit der einzelnen Simulation
    t = SimTime(AnzSim, 1);

    %Lufttemperatur der einzelnen Simulation
    TempAirIn = TempAirInGes(AnzSim, 1);
    %Luftmassenstrom der einzelnen Simulation
    MassAir = MassAirGes(AnzSim, 1);
    %Luftfeuchtigkeit der einzelnen Simulation
    LftF = LftFGes(AnzSim, 1);

    %Wassertemperatur der einzelnen Simulation
    TempWaterIn = TempWaterInGes(AnzSim, 1);
    %Wassermassenstrom der einzelnen Simulation
    MassWater = MassWaterGes(AnzSim, 1);

    %Öffnen des Modells
    open_system (sprintf('%s', Simulationsdateiname));
    %Start der Simulation mit Startzeit und Endzeit
    sim((sprintf('%s', Simulationsdateiname)), [0 t*3600]);

    %Speichert die Simulationen mit neuer Endung ab (1,2,3,...)
    Savename = sprintf('Simulation%d', AnzSim);
    save(Savename);
    fprintf('%d. Simulation wurde gespeichert.\n', AnzSim)
    close
end

%Simulationsparametervariation und Abspeicherung der Simulationsdurchläufe
%der alten Variante
%Anzahl der Messsimulationsdurchläufe

```

```
Sim2 = size(SimTime, 1);
for AnzSim2=1:Sim2
    %Simulationszeit der einzelnen Simulation
    t = SimTime(AnzSim2, 1);

    %Lufttemperatur der einzelnen Simulation
    TempAirIn = TempAirInGes(AnzSim2, 1);
    %Luftmassenstrom der einzelnen Simulation
    MassAir = MassAirGes(AnzSim2, 1);
    %Luftfeuchtigkeit der einzelnen Simulation
    LftF = LftFGes(AnzSim2, 1);

    %Wassertemperatur der einzelnen Simulation
    TempWaterIn = TempWaterInGes(AnzSim2, 1);
    %Wassermassenstrom der einzelnen Simulation
    MassWater = MassWaterGes(AnzSim2, 1);

    %Öffnen des Modells
    open_system (sprintf('%s', Simulationsdateiname2));
    %Start der Simulation mit Startzeit und Endzeit
    sim((sprintf('%s', Simulationsdateiname2)), [0 t*3600]);

    %Speichert die Simulationen mit neuer Endung ab (1,2,3,...)
    Savename = sprintf('SimulationAlt%d', AnzSim2);
    save(Savename);
    fprintf('%d. SimulationAlt wurde gespeichert.\n',AnzSim2)
    close
end
```

Anhang B: Beispielhafte Excel-Datei

Wasservorlauf			Lufttemperatur							
			-15,00	-7,00	2,00	7,00	10,00	12,00	20,00	30,00
	Messung 35°C									
35	Messdauer	[h]								
	Verdichterfrequenz	[Hz]								
	Anzahl Abtauungen	[]								
	Source	[W]								
	QdotHeiz	[W]								
	Pel Außen	[W]								
	Pel Innen	[W]								
	Massenstrom W	[kg/s]								
	Temperatur Eintritt W	[°C]								
	Temperatur Austritt W	[°C]								
	Massenstrom A	[kg/s]								
	Temperatur Eintritt A	[°C]								
	Temperatur Austritt A	[°C]								
	Luftfeuchtigkeit	[%]								
	COP									
	Temperatur Austritt W	[°C]								
	Massenstrom A	[kg/s]								
	Temperatur Eintritt A	[°C]								
	Temperatur Austritt A	[°C]								
	Luftfeuchtigkeit	[%]								
	COP									

Anhang C: Beispiel Matlab-Skript Simulation

Versuchsplan -7°C

```

%% Versuchsplan
Versuchsplan2 = ccdesign(4, 'type', 'circumscribed');
Versuchsplan = Versuchsplan2(1:25, 1:4); %Beschleunigung der Simulation da 26-36 nur
wiederholungspunkte im Zentrum sind

%% Einflussgrößen Grenzen
ZeitOhneAbt = [1100; 3000];
ZeitMitAbt = [90; 180];
KorrekturfaktorHeizleistung = [1.05; 1.2];
KorrekturfaktorElLeisgtungsaufnahme = [0.95; 1.1];

%% Datengrundlage
Simulationsdateiname = 'b_HeatPumpAirSource_r05_Dateneinlesen';

% Nächste Anlage (1)
Anlagenname1 = 'FLWil-12'; %PolySun 98
HeizleistungZiel1 = [8700; 11000; 12700; 15400; 16700; 20000];
ElLeistungsaufnahmehZiel1 = [4000; 4100; 4200; 4400; 4400; 4600];
COPZiel1 = HeizleistungZiel1./ElLeistungsaufnahmehZiel1;
WassermassenstromZiel1 = [0.803138889; 0.803138889; 0.803138889; 0.803138889;
0.803138889];
LuftmassenstromZiel1 = [1.691542289; 1.691542289; 1.691542289; 1.691542289; 1.691542289;
1.691542289];

% Nächste Anlage (2)
Anlagenname2 = 'Belaria8kW'; %PolySun 106
HeizleistungZiel2 = [5700; 7300; 8600; 11100; 11800; 13500];
ElLeistungsaufnahmehZiel2 = [2240; 2370; 2440; 2590; 2620; 2690];
COPZiel2 = HeizleistungZiel2./ElLeistungsaufnahmehZiel2;
WassermassenstromZiel2 = [0.415416667; 0.415416667; 0.415416667; 0.415416667;
0.415416667];
LuftmassenstromZiel2 = [1.225870647; 1.225870647; 1.225870647; 1.225870647; 1.225870647;
1.225870647];

% Nächste Anlage (3)
Anlagenname3 = 'AeroheatFS08ar'; %PolySun 403
HeizleistungZiel3 = [5500; 5700; 5650; 7500; 7500; 7500];
ElLeistungsaufnahmehZiel3 = [2620; 2230; 1780; 1840; 1690; 1340];
COPZiel3 = HeizleistungZiel3./ElLeistungsaufnahmehZiel3;
WassermassenstromZiel3 = [0.357258333; 0.357258333; 0.357258333; 0.357258333;
0.357258333; 0.357258333];
LuftmassenstromZiel3 = [0.770149254; 0.770149254; 0.770149254; 0.770149254; 0.770149254;
0.770149254];

% Nächste Anlage (4) AB HIER ÄNDERN
Anlagenname4 = 'VITOCAL200-A201_A07'; %PolySun 715
HeizleistungZiel4 = [5240; 7490; 4980; 5160; 5500; 6530];
ElLeistungsaufnahmehZiel4 = [2340; 2650; 1320; 1080; 1070; 1010];
COPZiel4 = HeizleistungZiel4./ElLeistungsaufnahmehZiel4;
WassermassenstromZiel4 =
[0.226263611; 0.226263611; 0.226263611; 0.226263611; 0.226263611];
LuftmassenstromZiel4 =
[0.728358209; 0.728358209; 0.728358209; 0.728358209; 0.728358209];

% Nächste Anlage (5)
Anlagenname5 = 'VITOCAL200-S201_B10'; %PolySun 718
HeizleistungZiel5 = [6120; 9000; 7700; 10900; 11200; 13600];
ElLeistungsaufnahmehZiel5 = [3470; 3480; 2200; 2360; 2320; 2210];
COPZiel5 = HeizleistungZiel5./ElLeistungsaufnahmehZiel5;
WassermassenstromZiel5 =
[0.469974722; 0.469974722; 0.469974722; 0.469974722; 0.469974722; 0.469974722];
LuftmassenstromZiel5 =
[1.094527363; 1.094527363; 1.094527363; 1.094527363; 1.094527363; 1.094527363];

% Nächste Anlage (6)
Anlagenname6 = 'VITOCAL300-A301B11'; %PolySun 721
HeizleistungZiel6 = [10280; 10500; 7000; 7210; 7720; 8860];
ElLeistungsaufnahmehZiel6 = [3680; 3380; 1790; 1440; 1500; 1430];
COPZiel6 = HeizleistungZiel6./ElLeistungsaufnahmehZiel6;
WassermassenstromZiel6 =
[0.343688056; 0.343688056; 0.343688056; 0.343688056; 0.343688056; 0.343688056];
LuftmassenstromZiel6 =
[1.03681592; 1.03681592; 1.03681592; 1.03681592; 1.03681592; 1.03681592];

% Nächste Anlage (7)

```

```

Anlagenname7 = 'VITOCAL200-S201_B04'; %PolySun 856
HeizleistungZiel7 = [2400;3230;3000;4500;4600;5000];
ElLeistungsaufnahmeZiel7 = [1300;1320;910;970;950;950];
COPZiel7 = HeizleistungZiel7./ElLeistungsaufnahmeZiel7;
WassermassenstromZiel7 =
[0.200230833;0.200230833;0.200230833;0.200230833;0.200230833;0.200230833];
LuftmassenstromZiel7 =
[0.415920398;0.415920398;0.415920398;0.415920398;0.415920398;0.415920398];

% Nächste Anlage (8)
Anlagenname8 = 'MLW12'; %PolySun 145
HeizleistungZiel8 = [6500;8200;10500;11900;13800];
ElLeistungsaufnahmeZiel8 = [3200;3300;3400;3500;3600];
COPZiel8 = HeizleistungZiel8./ElLeistungsaufnahmeZiel8;
WassermassenstromZiel8 = [0.664666667;0.664666667;0.664666667;0.664666667];
LuftmassenstromZiel8 = [1.412935323;1.412935323;1.412935323;1.412935323;1.412935323];

% Nächste Anlage (9)
Anlagenname9 = 'LWSE-10'; %PolySun 147
HeizleistungZiel9 = [6300;7900;9300;12200;13200];
ElLeistungsaufnahmeZiel9 = [2600;2700;2800;2900;3000];
COPZiel9 = HeizleistungZiel9./ElLeistungsaufnahmeZiel9;
WassermassenstromZiel9 = [0.581583333;0.581583333;0.581583333;0.581583333];
LuftmassenstromZiel9 = [1.293532338;1.293532338;1.293532338;1.293532338;1.293532338];

% Nächste Anlage (10)
Anlagenname10 = 'WPM12'; %PolySun 150
HeizleistungZiel10 = [8070;10380;12490;15980;16380];
ElLeistungsaufnahmeZiel10 = [3440;3530;3560;3830;3800];
COPZiel10 = HeizleistungZiel10./ElLeistungsaufnahmeZiel10;
WassermassenstromZiel10 = [0.775444444;0.775444444;0.775444444;0.775444444];
LuftmassenstromZiel10 = [1.777114428;1.777114428;1.777114428;1.777114428;1.777114428];

% Nächste Anlage (11)
Anlagenname11 = 'RLW16_3'; %PolySun 154
HeizleistungZiel11 = [6500;8200;10500;11900;13800];
ElLeistungsaufnahmeZiel11 = [3200;3300;3400;3500;3600];
COPZiel11 = HeizleistungZiel11./ElLeistungsaufnahmeZiel11;
WassermassenstromZiel11 = [0.664666667;0.664666667;0.664666667;0.664666667];
LuftmassenstromZiel11 = [1.412935323;1.412935323;1.412935323;1.412935323];

% Nächste Anlage (12)
Anlagenname12 = 'LWspl-8'; %PolySun 157
HeizleistungZiel12 = [4860;6520;8650;10890;11820];
ElLeistungsaufnahmeZiel12 = [2360;2490;2640;2760;2780];
COPZiel12 = HeizleistungZiel12./ElLeistungsaufnahmeZiel12;
WassermassenstromZiel12 = [0.526194444;0.526194444;0.526194444;0.526194444];
LuftmassenstromZiel12 = [1.1960199;1.1960199;1.1960199;1.1960199;1.1960199];

% Nächste Anlage (13)
Anlagenname13 = 'EC05LCI'; %PolySun 166
HeizleistungZiel13 = [6040;7510;9100;10840;13100];
ElLeistungsaufnahmeZiel13 = [3020;2890;2760;2780;3000];
COPZiel13 = HeizleistungZiel13./ElLeistungsaufnahmeZiel13;
WassermassenstromZiel13 = [0.570505556;0.570505556;0.570505556;0.570505556;0.570505556];
LuftmassenstromZiel13 = [1.261691542;1.261691542;1.261691542;1.261691542;1.261691542];

% Nächste Anlage (14)
Anlagenname14 = 'H2Q-1200'; %PolySun 170
HeizleistungZiel14 = [4350;7630;9130;11790;12390];
ElLeistungsaufnahmeZiel14 = [2440;2820;2760;2930;2890];
COPZiel14 = HeizleistungZiel14./ElLeistungsaufnahmeZiel14;
WassermassenstromZiel14 = [0.5982;0.5982;0.5982;0.5982;0.5982];
LuftmassenstromZiel14 = [1.267661692;1.267661692;1.267661692;1.267661692;1.267661692];

% Nächste Anlage (15)
Anlagenname15 = 'AWX08'; %PolySun 172
HeizleistungZiel15 = [3890;5060;6610;8660;9280];
ElLeistungsaufnahmeZiel15 = [1930;2010;2130;2280;2320];
COPZiel15 = HeizleistungZiel15./ElLeistungsaufnahmeZiel15;
WassermassenstromZiel15 = [0.407108333;0.407108333;0.407108333;0.407108333;0.407108333];
LuftmassenstromZiel15 = [0.390049751;0.606965174;0.891542289;1.269651741;1.385074627];

% Nächste Anlage (16)
Anlagenname16 = 'Belarial5kW'; %PolySun 205
HeizleistungZiel16 = [9700;12200;15200;18900;19200;20200];
ElLeistungsaufnahmeZiel16 = [3880;3940;4470;4500;4470;4490];
COPZiel16 = HeizleistungZiel16./ElLeistungsaufnahmeZiel16;
WassermassenstromZiel16 =
[0.733902778;0.733902778;0.733902778;0.733902778;0.733902778];

```

```

LuftmassenstromZiel16 =
[2.135323383;2.135323383;2.135323383;2.135323383;2.135323383;2.135323383];

% Nächste Anlage (17)
Anlagenname17 = 'Aeroheat_CN9a'; %PolySun 400
HeizleistungZiel17 = [6300;7500;9000;10100;11300];
ElLeistungsaufnahmeZiel17 = [2400;2400;2500;2500;2500];
COPZiel17 = HeizleistungZiel17./ElLeistungsaufnahmeZiel17;
WassermassenstromZiel17 = [0.473575;0.473575;0.473575;0.473575;0.473575];
LuftmassenstromZiel17 =
[1.293532338;1.293532338;1.293532338;1.293532338;1.293532338];

% Nächste Anlage (18)
Anlagenname18 = 'LW_81ASX'; %PolySun 626
HeizleistungZiel18 = [4700;6200;7900;9500];
ElLeistungsaufnahmeZiel18 = [2610;2580;2550;2570];
COPZiel18 = HeizleistungZiel18./ElLeistungsaufnahmeZiel18;
WassermassenstromZiel18 = [0.413478056;0.413478056;0.413478056;0.413478056];
LuftmassenstromZiel18 = [1.064676617;1.064676617;1.064676617;1.064676617];

% Nächste Anlage (19)
Anlagenname19 = 'LW140'; %PolySun 632
HeizleistungZiel19 = [8400;10800;13600;15900];
ElLeistungsaufnahmeZiel19 = [3500;3720;3580;3700];
COPZiel19 = HeizleistungZiel19./ElLeistungsaufnahmeZiel19;
WassermassenstromZiel19 = [0.691807222;0.691807222;0.691807222;0.691807222];
LuftmassenstromZiel19 = [1.994029851;1.994029851;1.994029851;1.994029851];

% Nächste Anlage (20)
Anlagenname20 = 'IA25TU'; %PolySun 643
HeizleistungZiel20 = [14400;16700;19600;26100];
ElLeistungsaufnahmeZiel20 = [5760;5570;5300;5930];
COPZiel20 = HeizleistungZiel20./ElLeistungsaufnahmeZiel20;
WassermassenstromZiel20 = [1.135749167;1.135749167;1.135749167;1.135749167];
LuftmassenstromZiel20 = [2.845771144;2.845771144;2.845771144;2.845771144];

% Nächste Anlage (21)
Anlagenname21 = 'WKF120'; %PolySun 647
HeizleistungZiel21 = [4800;6100;7000;9900];
ElLeistungsaufnahmeZiel21 = [2000;2100;1940;2250];
COPZiel21 = HeizleistungZiel21./ElLeistungsaufnahmeZiel21;
WassermassenstromZiel21 = [0.430648611;0.430648611;0.430648611;0.430648611];
LuftmassenstromZiel21 = [1.006965174;1.006965174;1.006965174;1.006965174];

% Nächste Anlage (22)
Anlagenname22 = 'PUHZ-HRP71VHA2'; %PolySun 654
HeizleistungZiel22 = [8900;10300;7900;7800];
ElLeistungsaufnahmeZiel22 = [4450;3960;2320;1810];
COPZiel22 = HeizleistungZiel22./ElLeistungsaufnahmeZiel22;
WassermassenstromZiel22 = [0.339256944;0.339256944;0.339256944;0.339256944];
LuftmassenstromZiel22 = [1.110447761;1.110447761;1.110447761;1.110447761];

% Nächste Anlage (23)
Anlagenname23 = 'L-WP-07H'; %PolySun 662
HeizleistungZiel23 = [4000;5000;6500;7200];
ElLeistungsaufnahmeZiel23 = [1600;1610;1710;1670];
COPZiel23 = HeizleistungZiel23./ElLeistungsaufnahmeZiel23;
WassermassenstromZiel23 = [0.313224167;0.313224167;0.313224167;0.313224167];
LuftmassenstromZiel23 = [0.953233831;0.953233831;0.953233831;0.953233831];

% Nächste Anlage (24)
Anlagenname24 = 'L08EuC-n'; %PolySun 683
HeizleistungZiel24 = [4300;5300;6300;7100];
ElLeistungsaufnahmeZiel24 = [1590;1610;1660;1610];
COPZiel24 = HeizleistungZiel24./ElLeistungsaufnahmeZiel24;
WassermassenstromZiel24 = [0.308793056;0.308793056;0.308793056;0.308793056];
LuftmassenstromZiel24 = [0.923383085;0.923383085;0.923383085;0.923383085];

% Nächste Anlage (25)
Anlagenname25 = 'Bösch_LA12TU'; %PolySun 752
HeizleistungZiel25 = [6200;7900;9400;11200];
ElLeistungsaufnahmeZiel25 = [2820;2820;2540;2550];
COPZiel25 = HeizleistungZiel25./ElLeistungsaufnahmeZiel25;
WassermassenstromZiel25 = [0.487422222;0.487422222;0.487422222;0.487422222];
LuftmassenstromZiel25 = [1.365174129;1.365174129;1.365174129;1.365174129];

Temperatur = -7;%Variabel?!?!?!!?!
if Temperatur == -15
    S = 1; % S ist die Variable für z.B. MassAir(S,1)
elseif Temperatur == -7
    S = 2;

```

```

elseif Temperatur == 2
    S = 3;
elseif Temperatur == 7
    S = 4;
else disp('Falsche Temperaturvorgabe')
end

%% Simulation
Durchlauf1= 0; %Zähl-Variable für die DatenGrundlagen if Schleife
Durchlauf2= 0; %Zähl-Variable für die DatenGrundlagen for Schleife
Anlagenanzahl = 25;
for DatenGrundlage = 1:Anlagenanzahl

    Durchlauf1 = Durchlauf1+1;

    if Durchlauf1 == 1
        Heizleistung = HeizleistungZiel1;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel1;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel1;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel1;
        Anlagenname = Anlagenname1;
    elseif Durchlauf1 == 2
        Heizleistung = HeizleistungZiel2;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel2;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel2;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel2;
        Anlagenname = Anlagenname2;
    elseif Durchlauf1 == 3
        Heizleistung = HeizleistungZiel3;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel3;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel3;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel3;
        Anlagenname = Anlagenname3;
    elseif Durchlauf1 == 4
        Heizleistung = HeizleistungZiel4;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel4;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel4;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel4;
        Anlagenname = Anlagenname4;
    elseif Durchlauf1 == 5
        Heizleistung = HeizleistungZiel5;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel5;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel5;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel5;
        Anlagenname = Anlagenname5;
    elseif Durchlauf1 == 6
        Heizleistung = HeizleistungZiel6;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel6;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel6;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel6;
        Anlagenname = Anlagenname6;
    elseif Durchlauf1 == 7
        Heizleistung = HeizleistungZiel7;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel7;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel7;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel7;
        Anlagenname = Anlagenname7;
    elseif Durchlauf1 == 8
        Heizleistung = HeizleistungZiel8;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel8;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel8;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel8;
        Anlagenname = Anlagenname8;
    elseif Durchlauf1 == 9
        Heizleistung = HeizleistungZiel9;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel9;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel9;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel9;
        Anlagenname = Anlagenname9;
    elseif Durchlauf1 == 10
        Heizleistung = HeizleistungZiel10;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel10;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel10;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel10;
        Anlagenname = Anlagenname10;
    elseif Durchlauf1 == 11
        Heizleistung = HeizleistungZiel11;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmZiel11;

```

```

Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel11;
Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel11;
Anlagenname = Anlagenname11;
elseif Durchlauf1 == 12
    Heizleistung = HeizleistungZiel12;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel12;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel12;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel12;
    Anlagenname = Anlagenname12;
elseif Durchlauf1 == 13
    Heizleistung = HeizleistungZiel13;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel13;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel13;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel13;
    Anlagenname = Anlagenname13;
elseif Durchlauf1 == 14
    Heizleistung = HeizleistungZiel14;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel14;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel14;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel14;
    Anlagenname = Anlagenname14;
elseif Durchlauf1 == 15
    Heizleistung = HeizleistungZiel15;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel15;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel15;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel15;
    Anlagenname = Anlagenname15;
elseif Durchlauf1 == 16
    Heizleistung = HeizleistungZiel16;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel16;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel16;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel16;
    Anlagenname = Anlagenname16;
elseif Durchlauf1 == 17
    Heizleistung = HeizleistungZiel17;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel17;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel17;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel17;
    Anlagenname = Anlagenname17;
elseif Durchlauf1 == 18
    Heizleistung = HeizleistungZiel18;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel18;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel18;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel18;
    Anlagenname = Anlagenname18;
elseif Durchlauf1 == 19
    Heizleistung = HeizleistungZiel19;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel19;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel19;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel19;
    Anlagenname = Anlagenname19;
elseif Durchlauf1 == 20
    Heizleistung = HeizleistungZiel20;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel20;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel20;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel20;
    Anlagenname = Anlagenname20;
elseif Durchlauf1 == 21
    Heizleistung = HeizleistungZiel21;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel21;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel21;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel21;
    Anlagenname = Anlagenname21;
elseif Durchlauf1 == 22
    Heizleistung = HeizleistungZiel22;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel22;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel22;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel22;
    Anlagenname = Anlagenname22;
elseif Durchlauf1 == 23
    Heizleistung = HeizleistungZiel23;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel23;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel23;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel23;
    Anlagenname = Anlagenname23;
elseif Durchlauf1 == 24
    Heizleistung = HeizleistungZiel24;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmefZiel24;

```

```

Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel24;
Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel24;
Anlagenname = Anlagenname24;
elseif Durchlauf1 == 25
    Heizleistung = HeizleistungZiel25;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel25;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel25;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel25;
    Anlagenname = Anlagenname25;
else
    Heizleistung = 1;
    ElLeistungsaufnahme = 1;
    Wassermassenstrom = 1;
    Luftmassenstrom = 1;
    Anlagenname = Falsch;
end

Durchlauf2 = Durchlauf2+1;

HeizleistungZiel = [Heizleistung(S,1); Heizleistung(S,1)];
ElLeistungsaufnahmeZiel = [ElLeistungsaufnahme(S,1); ElLeistungsaufnahme(S,1)];
MassAir = Luftmassenstrom(S,1);
MassWater = Wassermassenstrom(S,1);
LftF = [80];
TempAirIn = [Temperatur];
TempWaterIn = [35];

Tcin = [Temperatur, Temperatur]; %°C
Thout = [35]; %°C
t = 3; %Simulationszeit in Stunden

hp_air.linc = 10;
hp_air.quac = 10;
hp_air.linh = 10;
hp_air.quah = 10;
hp_air.caph = 80000;
hp_air.capc = 50000;
hp_air.heatloss = 7;
hp_air.mdot_air = 3000/3600;
hp_air.T_no_defrost = 7;
hp_air.T_auto_defrost = 0;
hp_air.T_table_defrost = [-15 -7 2 7 10 12 20 30];
hp_air.rh_table_defrost = [0, 80, 100];
hp_air.power_defrost = 6000;

Simulationsanzahl = 0;
ForVersuchsplan = size(Versuchsplan, 1);
for Simulationsanzahl = 1:ForVersuchsplan
    Durchlauf = Simulationsanzahl;
    Simulation = Versuchsplan(Durchlauf,:);

    % Bestimmung der Zeit ohne Abtauung
    % der jeweiligen Simulation nach Versuchsplan
    ZeitOhneAbt2 = mean(ZeitOhneAbt)+(ZeitOhneAbt(2:2)-mean(ZeitOhneAbt))/(2-0)*(Simulation(1:1)-0);

    % Bestimmung der Zeit der Abtauung
    % der jeweiligen Simulation nach Versuchsplan
    ZeitMitAbt2 = mean(ZeitMitAbt)+(ZeitMitAbt(2:2)-mean(ZeitMitAbt))/(2-0)*(Simulation(2:2)-0);

    % Bestimmung des Korrekturfaktors der Heizleistung
    % der jeweiligen Simulation nach Versuchsplan
    KorrekturfaktorHeizleistung2 = mean(KorrekturfaktorHeizleistung)+(KorrekturfaktorHeizleistung(2:2)-mean(KorrekturfaktorHeizleistung))/(2-0)*(Simulation(3:3)-0);

    % Bestimmung des Korrekturfaktors der elektrischen Leistungsaufnahme
    % der jeweiligen Simulation nach Versuchsplan
    KorrekturfaktorElLeistungsaufnahme2 = mean(KorrekturfaktorElLeistungsaufnahme)+(KorrekturfaktorElLeistungsaufnahme(2:2)-mean(KorrekturfaktorElLeistungsaufnahme))/(2-0)*(Simulation(4:4)-0);

    %Jedes Mal neu hinterlegten Daten
    KorrekturHeiz = [KorrekturfaktorHeizleistung2; KorrekturfaktorHeizleistung2];
    Qdoh = HeizleistungZiel .* KorrekturHeiz(1:2); %Einflussgröße

    KorrekturElLeist = [KorrekturfaktorElLeisgtungsaufnahme2; KorrekturfaktorElLeisgtungsaufnahme2];

```

```
Pel = ElLeistungsaufnahmeZiel .* KorrekturElLeist(1:2); %Einflussgröße
Qdotc = Qdoth - Pel;

hp_air.optime_table_defrost = [1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4; ZeitOhneAbt2 ZeitOhne-
    Abt2 ZeitOhneAbt2 ZeitOhneAbt2 1e4 1e4 1e4 1e4; ZeitOhneAbt2 ZeitOhneAbt2 ZeitOhneAbt2
    ZeitOhneAbt2 1e4 1e4 1e4 1e4]; %Einflussgröße
hp_air.time_defrost = [0 0 0 0 0 0 0; ZeitMitAbt2 ZeitMitAbt2 ZeitMitAbt2 ZeitMitAbt2
    ZeitMitAbt2 ZeitMitAbt2 ZeitMitAbt2 ZeitMitAbt2 0 0 0 0]; %Einflussgröße

%Simulation
%Öffnen des Modells
open_system (sprintf('%s', Simulationsdateiname));
%Start der Simulation mit Startzeit und Endzeit
sim((sprintf('%s', Simulationsdateiname)), [0 t*3600]);

Savename = sprintf('T%dC_%s_%d', TempAirIn, Anlagenname, Durchlauf)
save(Savename);
fprintf('%d. Simulation wurde gespeichert.\n', Durchlauf)
close
end
%bei 3 Stunden Simulationszeit ca. 5 Minuten

end
```

Anhang D: Beispiel Matlab-Skript Bestimmung Regressionskoeffizienten Versuchsplan -7°C

```

Versuchsplan2 = ccdesign(4, 'type', 'circumscribed');
Versuchsplan = Versuchsplan2(1:25, 1:4); % Beschleunigung der Simulation da 26-36 nur
wiederholungspunkte im Zentrum sind

%% Einflussgrößen Grenzen
ZeitOhneAbt = [1100; 3000];
ZeitMitAbt = [90; 180];
KorrekturfaktorHeizleistung = [1.05; 1.2];
KorrekturfaktorElLeisgtungsaufnahme = [0.95; 1.1];

%% Datengrundlage
Simulationsdateiname = 'b_HeatPumpAirSource_r05_Dateneinlesen';

% Anlagendaten laden
load('Anlagen25')

Temperatur = -7;
if Temperatur == -15
    S = 1; % S ist die Variable für z.B. MassAir(S,1)
elseif Temperatur == -7
    S = 2;
elseif Temperatur == 2
    S = 3;
elseif Temperatur == 7
    S = 4;
else disp('Falsche Temperaturvorgabe')
end

for Ladezahl = 1:25
    for Anlagennummer = 1:25
if Anlagennummer ==1
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname1, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl1(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==2
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname2, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl2(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==3
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname3, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl3(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==4
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname4, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl4(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==5
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname5, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl5(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==6
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname6, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl6(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==7
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname7, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl7(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==8
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname8, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl8(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==9
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname9, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl9(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==10
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname10, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl10(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==11
        Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname11, Ladezahl); % Dateiname
        load(Loadname);
        COPSimAnl11(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;

```

```

elseif Anlagennummer ==12
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname12, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl12(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==13
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname13, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl13(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==14
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname14, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl14(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==15
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname15, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl15(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==16
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname16, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl16(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==17
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname17, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl17(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==18
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname18, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl18(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==19
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname19, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl19(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==20
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname20, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl20(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==21
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname21, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl21(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==22
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname22, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl22(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==23
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname23, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl23(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==24
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname24, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl24(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
elseif Anlagennummer ==25
    Loadname = sprintf('T%dC_%s_%d', Temperatur, Anlagenname25, Ladezahl); % Dateiname
    load(Loadname);
    COPSimAnl25(1:size(COP(1:end,1)),Ladezahl) = COP;
end
end
end

COPSimAnl1Mittel = [mean(COPSimAnl1(1:end,
1));mean(COPSimAnl1(1:end,2));mean(COPSimAnl1(1:end,3));mean(COPSimAnl1(1:end,4));mean(COPSimAnl1(1:end,5));mean(COPSimAnl1(1:end,6));mean(COPSimAnl1(1:end,7));mean(COPSimAnl1(1:end,8));mean(COPSimAnl1(1:end,9));mean(COPSimAnl1(1:end,10));mean(COPSimAnl1(1:end,11));mean(COPSimAnl1(1:end,12));mean(COPSimAnl1(1:end,13));mean(COPSimAnl1(1:end,14));mean(COPSimAnl1(1:end,15));mean(COPSimAnl1(1:end,16));mean(COPSimAnl1(1:end,17));mean(COPSimAnl1(1:end,18));mean(COPSimAnl1(1:end,19));mean(COPSimAnl1(1:end,20));mean(COPSimAnl1(1:end,21));mean(COPSimAnl1(1:end,22));mean(COPSimAnl1(1:end,23));mean(COPSimAnl1(1:end,24));mean(COPSimAnl1(1:end,25))];

COPSimAnl2Mittel = [mean(COPSimAnl2(1:end,
1));mean(COPSimAnl2(1:end,2));mean(COPSimAnl2(1:end,3));mean(COPSimAnl2(1:end,4));mean(COPSimAnl2(1:end,5));mean(COPSimAnl2(1:end,6));mean(COPSimAnl2(1:end,7));mean(COPSimAnl2(1:end,8));mean(COPSimAnl2(1:end,9));mean(COPSimAnl2(1:end,10));mean(COPSimAnl2(1:end,11));mean(COPSimAnl2(1:end,12));mean(COPSimAnl2(1:end,13));mean(COPSimAnl2(1:end,14));mean(COPSimAnl2(1:end,15));mean(COPSimAnl2(1:end,16));mean(COPSimAnl2(1:end,17));mean(COPSimAnl2(1:end,18));mean(COPSimAnl2(1:end,19));mean(COPSimAnl2(1:end,20));mean(COPSimAnl2(1:end,21))];
```



```

COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,17) = COPSimAnl17Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,18) = COPSimAnl18Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,19) = COPSimAnl19Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,20) = COPSimAnl20Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,21) = COPSimAnl21Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,22) = COPSimAnl22Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,23) = COPSimAnl23Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,24) = COPSimAnl24Mittel(AnzahlKomplett, 1);
COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett,25) = COPSimAnl25Mittel(AnzahlKomplett, 1);

end

for AnzahlKomplett2 = 1:25
COPSimKomplettMittel2(AnzahlKomplett2,1) = mean(COPSimKomplettMittel(AnzahlKomplett2,
1:end));
end

COPZielAnlagen(1,1)=COPZiel1(S,1);
COPZielAnlagen(2,1)=COPZiel2(S,1);
COPZielAnlagen(3,1)=COPZiel3(S,1);
COPZielAnlagen(4,1)=COPZiel4(S,1);
COPZielAnlagen(5,1)=COPZiel5(S,1);
COPZielAnlagen(6,1)=COPZiel6(S,1);
COPZielAnlagen(7,1)=COPZiel7(S,1);
COPZielAnlagen(8,1)=COPZiel8(S,1);
COPZielAnlagen(9,1)=COPZiel9(S,1);
COPZielAnlagen(10,1)=COPZiel10(S,1);
COPZielAnlagen(11,1)=COPZiel11(S,1);
COPZielAnlagen(12,1)=COPZiel12(S,1);
COPZielAnlagen(13,1)=COPZiel13(S,1);
COPZielAnlagen(14,1)=COPZiel14(S,1);
COPZielAnlagen(15,1)=COPZiel15(S,1);
COPZielAnlagen(16,1)=COPZiel16(S,1);
COPZielAnlagen(17,1)=COPZiel17(S,1);
COPZielAnlagen(18,1)=COPZiel18(S,1);
COPZielAnlagen(19,1)=COPZiel19(S,1);
COPZielAnlagen(20,1)=COPZiel20(S,1);
COPZielAnlagen(21,1)=COPZiel21(S,1);
COPZielAnlagen(22,1)=COPZiel22(S,1);
COPZielAnlagen(23,1)=COPZiel23(S,1);
COPZielAnlagen(24,1)=COPZiel24(S,1);
COPZielAnlagen(25,1)=COPZiel25(S,1);

A = Versuchsplan(1:25, 1);
B = Versuchsplan(1:25, 2);
C = Versuchsplan(1:25, 3);
D = Versuchsplan(1:25, 4);

Y = COPSimKomplettMittel2;

tbl = table(A,B,C,D,Y, 'VariableNames', {'A', 'B', 'C', 'D', 'Y'});
%mdl= fitlm(tbl,
'Y~A+B+C+D+A*B+A*C+A*D+B*C+B*D+C*D+A*B*C+A*B*D+A*C*D+B*C*D+A^2+B^2+C^2+D^2')
mdl= fitlm(tbl, 'Y~A*B*C*D-A:B:C:D+A^2+B^2+C^2+D^2')

COPZielDurchschnitt = mean(COPZielAnlagen)
save('Regression')
save('Regression_Minus7')

Ny1 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(2:2));
Ny2 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(3:3));
Ny3 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(4:4));
Ny4 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(5:5));
Ny5 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(6:6));
Ny6 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(7:7));
Ny7 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(8:8));
Ny8 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(9:9));
Ny9 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(10:10));
Ny10 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(11:11));
Ny11 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(12:12));
Ny12 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(13:13));
Ny13 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(14:14));
Ny14 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(15:15));
Ny15 = sprintf('%0.3f', mdl.Coefficients.Estimate(16:16));
Beschriftung = {Ny1,Ny2,Ny3,Ny4,Ny5,Ny6,Ny7,Ny8,Ny9,Ny10,Ny11,Ny12,Ny13,Ny14};
y1 = mdl.Coefficients.Estimate(2:2);
y2 = mdl.Coefficients.Estimate(3:3);
y3 = mdl.Coefficients.Estimate(4:4);
y4 = mdl.Coefficients.Estimate(5:5);
y5 = mdl.Coefficients.Estimate(6:6);

```

```
y6 = mdl.Coefficients.Estimate(7:7);
y7 = mdl.Coefficients.Estimate(8:8);
y8 = mdl.Coefficients.Estimate(9:9);
y9 = mdl.Coefficients.Estimate(10:10);
y10 = mdl.Coefficients.Estimate(11:11);
y11 = mdl.Coefficients.Estimate(12:12);
y12 = mdl.Coefficients.Estimate(13:13);
y13 = mdl.Coefficients.Estimate(14:14);
y14 = mdl.Coefficients.Estimate(15:15);
y15 = mdl.Coefficients.Estimate(16:16);
figure
h = bar(mdl.Coefficients.Estimate(2:15));
set(h,'facecolor',[0.6 0.8 0.9])
legend('Koeffizienten')
set(gcf,'units','normalized','position',[0.05 0.4 0.35 0.4])
set(gca,'xticklabel',mdl.CoefficientNames(2:15))
ylabel('COP')
xlabel('Normierte Koeffizienten')
%title('Quadratische Modell Koeffizienten')
axis([0 15 -0.2 0.2])
%text([1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14],[y1,y2,y3,y4,y5,y6,y7,y8,y9,y10,y11,y12,y13,y14
], Beschriftung)
text([0.7,1.7,2.7,3.7,4.7,5.7,6.7,7.7,8.7,9.7,10.7,11.7,12.7,13.7],[-0.04,-0.04,-0.04,-
0.04,-0.04,-0.04,-0.04,-0.04,-0.04,-0.04,-0.04,-0.04], Beschriftung)
```

Anhang E: Beispiel Matlab-Skript Simulation Validierung -7°C

```

%% Datengrundlage
Simulationsdateiname = 'b_HeatPumpAirSource_r05_Dateneinlesen';

% Anlagendaten laden
load('Anlagen25')

Temperatur = -7;%Variabel?!?!?!!?!
if Temperatur == -15
    S = 1; % S ist die Variable für z.B. MassAir(S,1)
elseif Temperatur == -7
    S = 2;
elseif Temperatur == 2
    S = 3;
elseif Temperatur == 7
    S = 4;
else disp('Falsche Temperaturvorgabe')
end

Durchlauf1= 0; %Zähl-Variable für die DatenGrundlagen if Schleife
Anlagenanzahl = 25;
for DatenGrundlage = 1:Anlagenanzahl

    Durchlauf1 = Durchlauf1+1;

    if Durchlauf1 == 1
        Heizleistung = HeizleistungZiel1;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli1;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel1;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel1;
        Anlagenname = Anlagenname1;
    elseif Durchlauf1 == 2
        Heizleistung = HeizleistungZiel2;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli2;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel2;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel2;
        Anlagenname = Anlagenname2;
    elseif Durchlauf1 == 3
        Heizleistung = HeizleistungZiel3;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli3;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel3;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel3;
        Anlagenname = Anlagenname3;
    elseif Durchlauf1 == 4
        Heizleistung = HeizleistungZiel4;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli4;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel4;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel4;
        Anlagenname = Anlagenname4;
    elseif Durchlauf1 == 5
        Heizleistung = HeizleistungZiel5;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli5;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel5;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel5;
        Anlagenname = Anlagenname5;
    elseif Durchlauf1 == 6
        Heizleistung = HeizleistungZiel6;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli6;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel6;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel6;
        Anlagenname = Anlagenname6;
    elseif Durchlauf1 == 7
        Heizleistung = HeizleistungZiel7;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli7;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel7;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel7;
        Anlagenname = Anlagenname7;
    elseif Durchlauf1 == 8
        Heizleistung = HeizleistungZiel8;
        ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeli8;
        Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel8;
        Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel8;
        Anlagenname = Anlagenname8;
    elseif Durchlauf1 == 9

```

```

Heizleistung = HeizleistungZiel9;
ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel9;
Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel9;
Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel9;
Anlagenname = Anlagenname9;
elseif Durchlauf1 == 10
    Heizleistung = HeizleistungZiel10;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel10;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel10;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel10;
    Anlagenname = Anlagenname10;
elseif Durchlauf1 == 11
    Heizleistung = HeizleistungZiel11;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel11;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel11;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel11;
    Anlagenname = Anlagenname11;
elseif Durchlauf1 == 12
    Heizleistung = HeizleistungZiel12;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel12;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel12;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel12;
    Anlagenname = Anlagenname12;
elseif Durchlauf1 == 13
    Heizleistung = HeizleistungZiel13;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel13;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel13;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel13;
    Anlagenname = Anlagenname13;
elseif Durchlauf1 == 14
    Heizleistung = HeizleistungZiel14;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel14;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel14;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel14;
    Anlagenname = Anlagenname14;
elseif Durchlauf1 == 15
    Heizleistung = HeizleistungZiel15;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel15;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel15;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel15;
    Anlagenname = Anlagenname15;
elseif Durchlauf1 == 16
    Heizleistung = HeizleistungZiel16;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel16;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel16;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel16;
    Anlagenname = Anlagenname16;
elseif Durchlauf1 == 17
    Heizleistung = HeizleistungZiel17;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel17;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel17;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel17;
    Anlagenname = Anlagenname17;
elseif Durchlauf1 == 18
    Heizleistung = HeizleistungZiel18;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel18;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel18;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel18;
    Anlagenname = Anlagenname18;
elseif Durchlauf1 == 19
    Heizleistung = HeizleistungZiel19;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel19;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel19;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel19;
    Anlagenname = Anlagenname19;
elseif Durchlauf1 == 20
    Heizleistung = HeizleistungZiel20;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel20;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel20;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel20;
    Anlagenname = Anlagenname20;
elseif Durchlauf1 == 21
    Heizleistung = HeizleistungZiel21;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel21;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel21;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel21;
    Anlagenname = Anlagenname21;
elseif Durchlauf1 == 22

```

```

Heizleistung = HeizleistungZiel22;
ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel22;
Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel22;
Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel22;
Anlagenname = Anlagenname22;
elseif Durchlauf1 == 23
    Heizleistung = HeizleistungZiel23;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel23;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel23;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel23;
    Anlagenname = Anlagenname23;
elseif Durchlauf1 == 24
    Heizleistung = HeizleistungZiel24;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel24;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel24;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel24;
    Anlagenname = Anlagenname24;
elseif Durchlauf1 == 25
    Heizleistung = HeizleistungZiel25;
    ElLeistungsaufnahme = ElLeistungsaufnahmeZiel25;
    Wassermassenstrom = WassermassenstromZiel25;
    Luftmassenstrom = LuftmassenstromZiel25;
    Anlagenname = Anlagenname25;
else
    Heizleistung = 1;
    ElLeistungsaufnahme = 1;
    Wassermassenstrom = 1;
    Luftmassenstrom = 1;
    Anlagenname = Falsch;
end

HeizleistungZiel = [Heizleistung(1,1); Heizleistung(2,1); Heizleistung(3,1);
Heizleistung(4,1)];
ElLeistungsaufnahmeZiel = [ElLeistungsaufnahme(1,1); ElLeistungsaufnahme(2,1);
ElLeistungsaufnahme(3,1); ElLeistungsaufnahme(4,1)];
MassAir = Luftmassenstrom(S,1);
MassWater = Wassermassenstrom(S,1);
LftF = [80];
TempAirIn = [Temperatur];
TempWaterIn = [35];
Tcin = [-15, -7, 2, 7]; %°C
Thout = [35]; %°C
t = 3; %Simulationszeit in Stunden

hp_air.linc = 10;
hp_air.quac = 10;
hp_air.linh = 10;
hp_air.quah = 10;
hp_air.caph = 80000;
hp_air.capc = 50000;
hp_air.heatloss = 7;
hp_air.mdot_air = 3000/3600;
hp_air.T_no_defrost = 7;
hp_air.T_auto_defrost = 0;
hp_air.T_table_defrost = [-15 -7 2 7 10 12 20 30];
hp_air.rh_table_defrost = [0, 80, 100];
hp_air.power_defrost = 6000;

KorrekturHeiz = [1.2; 1.2; 1.2; 1.125];
Qdoth = HeizleistungZiel .* KorrekturHeiz; %Einflussgröße
KorrekturElLeist = [1.025; 1.025; 1.025; 1.025];
Pel = ElLeistungsaufnahmeZiel .* KorrekturElLeist; %Einflussgröße
Qdotc = Qdoth - Pel;

hp_air.optime_table_defrost = [1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4 1e4; 1356.5 1332.75 1304.25
1779.25 1e4 1e4 1e4 1e4; 1356.5 1332.75 1304.25 1779.25 1e4 1e4 1e4 1e4]; %Einflussgröße
hp_air.time_defrost = [0 0 0 0 0 0 0; 180 180 180 180 0 0 0 0; 180 180 180 180 0 0 0 0
0]; %Einflussgröße

%Simulation
%Öffnen des Modells
open_system (sprintf('%s', Simulationsdateiname));
%Start der Simulation mit Startzeit und Endzeit
sim((sprintf('%s', Simulationsdateiname)), [0 t*3600]);
Savename = sprintf('T%dC_%s', TempAirIn, Anlagenname)

```

```
save(Savename);
fprintf('%d. Simulation wurde gespeichert.\n', DatenGrundlage)
close
end
```

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Marcel Gocht, an Eides statt, die vorliegende Master-Thesis selbstständig verfasst und keine weiteren als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt zu haben.

Dies ist die von der Hochschule Düsseldorf zu bewertende Version.

Ort, Datum _____ Unterschrift _____