

ECO-COOL AREA C: TRANSIENTE SIMULATION VON KLEINKÄLTEANLAGEN

Projektdauer: Jänner 2015 – Juni 2017
Projektförderung durch: FFG, SFG, KWF, Standortagentur Tirol
Projektleiter: Helmut Eichlseder, Raimund Almbauer
Projektpartner: SECOP Kompressoren, Liebherr Hausgeräte,
Infineon Technologies AG Villach,
SimTech Graz
TU Graz: IVT, EAM, TTM
Projektmitarbeiter IVT: Erwin Berger, Martin Eichinger, Martin Heimel,
Johann Hopfgartner, Stefan Posch,
Mario Rohrhofer, Bernhard Zuber

Transiente Simulationen gelten gemeinhin als vielversprechender Ansatz um ein umfangreiches Verständnis der Betriebszustände von technischen Systemen zu erlangen. Ein vernünftig funktionierendes Simulationsmodell kann fundierte Grundlagen für potentielle Systemverbesserungen liefern. Aus diesen Gründen war es ein wesentliches Projektziel von ECO-COOL ein derartiges Simulationsmodell für Haushaltskühlanwendungen zu entwickeln. Da es keine brauchbare kommerzielle Lösung gibt, wurde ein eigenständiges Simulationsprogramm entwickelt, das zurzeit in die kommerzielle Software IPSEpro übertragen wird. Das Ziel der Portierung ist die bessere und einfachere Nutzbarkeit für die Industriepartner, sowie die nachhaltige Wartung und Weiterentwicklung durch einen Softwareanbieter.

Im Rahmen von ECO-COOL ist ein semi-implizites Simulationsmodell, das aus eigenständig validierten Untermodellen besteht, entstanden. Die Kopplung der Untermodelle führt zu einem ganzheitlichen Kältekreislaufmodell. Die verwendeten Methoden umfassen empirische Modelle, künstliche neuronale Netzwerke und komplexe transiente 1D Beschreibungen der Zweiphasenströmung.

Die erste Validierung der Kreislaufsimulation erfolgt anhand der Daten eines konventionellen Haushaltsgefriergeräts. Dieses wurde mit sorgfältiger Messtechnik, unter anderem an Stellen, die nur während der Pro-

duktion beim Hersteller zugänglich sind, ausgerüstet. Das Modell wird für einen Betriebspunkt abgestimmt und anschließend werden die Modell-ergebnisse bei veränderten Umgebungstemperaturen und Innenraum Thermostatstellungen untersucht.

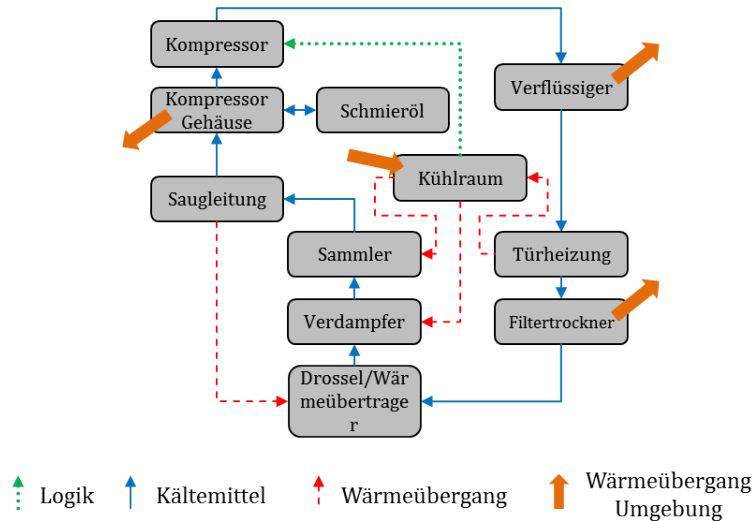


Abb. 1: Simulationsmodell – Wechselwirkungen zwischen den Systemkomponenten

Die Übereinstimmung von Messung und Simulation liegt zwischen 6,9 % mittlerer Abweichung und 5,5 % Standardabweichung in Bezug auf den Energieverbrauch. Außerdem können verschiedenste Zustandsgrößen und Zustandsänderungen wie Temperaturen, Massenströme, Kältemittelverteilung oder Druckverluste ausgewertet werden.

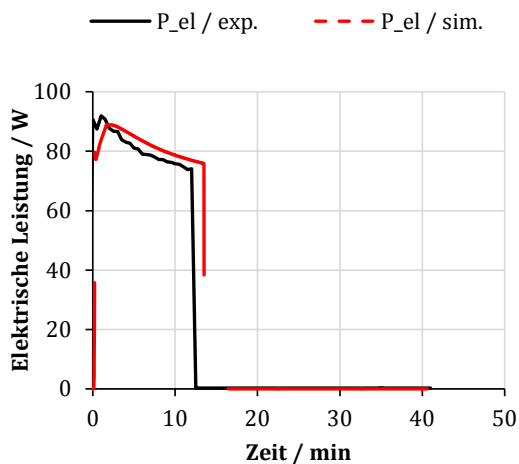


Abb 2: Vergleich der elektrischen Leistung

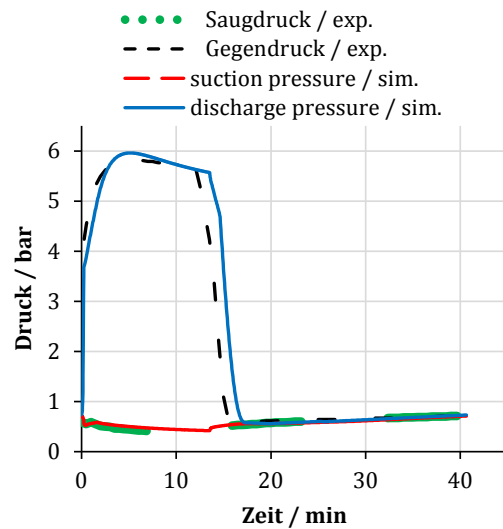


Abb 3: Zeitlicher Verlauf von Saug- und Gegendruck

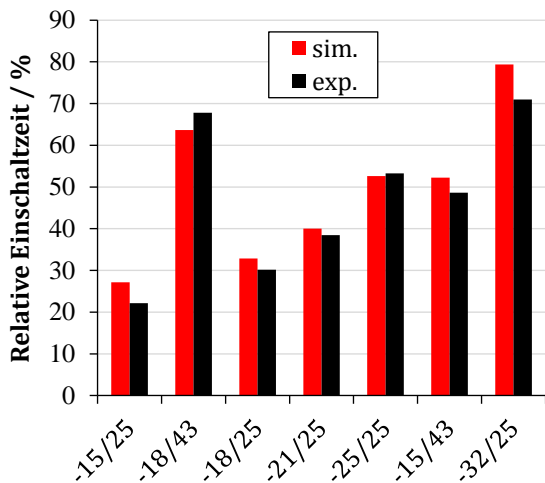


Abb 4: Relative Einschaltzeit - Variation der Innenraum- und Umgebungstemperatur

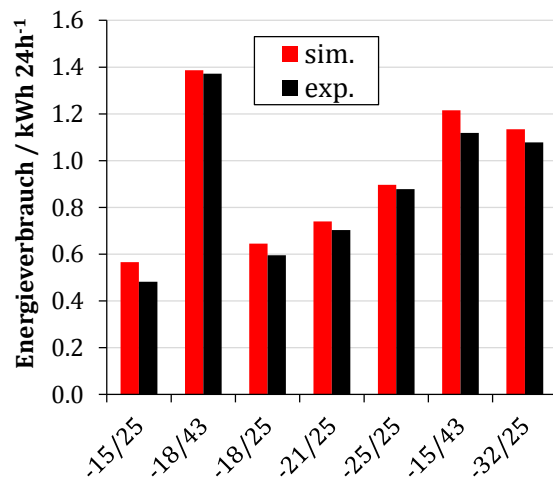


Abb 5: Energieverbrauch - Variation der Innenraum- und Umgebungstemperatur

Das der ersten Validierung zugrundeliegende Gefriergerät ist verhältnismäßig einfach aufgebaut und damit lassen sich Modellaufbau und Modellvalidierung noch mit vertretbarem Aufwand bewerkstelligen. Demgegenüber sind aktuelle, dem Stand der Technik entsprechende Kühl-Gefrierkombinationen von zunehmend wachsender Komplexität. Ventilatoren zur Zwangsbelüftung von Kühlraum, Verflüssiger oder Verdampfer, drehzahlvariable Kompressoren und umschaltbare Drosselungsmöglichkeiten sind miteinander verknüpft und gehorchen einer sensorbasierten, im Vorhinein festgelegten Regelung. Mit der wachsenden Systemkomplexität steigt auch die Zahl der abzubildenden und relevanten physikali-

schen Phänomene und die Erstellung eines plausiblen Simulationsmodelles wird immer herausfordernder.

Die Modellerstellung der Kühl-Gefrierkombination führt zu innovativem Knowhow in Hinblick auf die Modellabstimmung. Regelungen anhand eines Thermostaten erfordern die präzise Abbildung der physikalischen Vorgänge, die zur Entstehung des Schaltwerts beitragen. Als relevante Effekte können in diesem Zusammenhang der Wärmeeintrag in den Temperaturfühler durch Wärmeleitung und durch konvektiven Wärmeübergang, die Verzögerungen aufgrund der thermischen Trägheit des Sensors oder die Effekte aus den lokalen Strömungs- und Temperaturfeldern genannt werden.