

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

16/07/2015

Projekttitle: INTELLIGENT PUMP

Intelligentes Wärmepumpen-Fernwartungssystem zur Steigerung von Betriebssicherheit und Energieeffizienz

Projektnummer: 834605

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	5. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	01/11/2011
Projektende	31/03/2015
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	41 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	OCHSNER Wärmepumpen GmbH
AnsprechpartnerIn	DI Karl Ochsner
Postadresse	Ochsner-Straße 1, 3350 Haag
Telefon	+43 (0) 5 04245 – 110
Fax	+43 (0) 5 04245 – 8110
E-mail	karl.ochsner@ochsner.at
Website	www.ochsner.at

INTELLIGENT PUMP

Intelligentes Wärmepumpen-Fernwartungssystem zur Steigerung von Betriebssicherheit und Energieeffizienz

AutorInnen:

Ciepiela, DI Tomasz

Ochsner, DI Karl

Weiß, DI (FH) Michael M.Eng.

Zach, DI Franz

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	11
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	23
5	Ausblick und Empfehlungen	27
6	Literaturverzeichnis	Fehler! Textmarke nicht definiert.
7	Anhang	Fehler! Textmarke nicht definiert.
8	Kontaktdaten	28

2 Einleitung

Die Leistungsfähigkeit (COP) der Wärmepumpe konnte bisher kontinuierlich verbessert werden. Als Zeichen für die hohe Effizienz sei das Europäische Wärmepumpen-Gütesiegel genannt. Es definiert Mindest-COPs, welche von effizienten Wärmepumpen, die mit diesem Gütesiegel ausgezeichnet werden, erreicht werden müssen.

Tab. 1: COP von Wärmepumpen

EHPA (Qualitylabel)	Air to water Heat Pumps L2/W35	Water to water Heat Pumps W10/W35	Brine to water Heat Pumps S0/W35	Direct expansion Heat Pumps 4/35
COP	COP: 3,10	COP: 5,10	COP: 4,30	COP: 4,30

Quelle: EHPA (European Heat Pump Association, 2014); Gütesiegel für Wärmepumpen, eigene Darstellung

Als weiteres Beispiel für die intensive Entwicklungsarbeit, welche von Herstellern zur Effizienzsteigerung der Wärmepumpe geleistet wird, können die Erfolge des Konsortialführers selbst genannt werden:

Der Konsortialführer des Projekts ist Pionier und Benchmark-Unternehmen im Bereich der Wärmepumpenherstellung. Das Unternehmen produziert seit 30 Jahren Wärmepumpen für die Anwendungen Heizen, Kühlen, Warmwasserbereitung und Wärmerückgewinnung und für sämtliche Wärmequellen (Luft, Erde, Wasser, Abwärme, Abwasser). Das Vollsortiment reicht von Wärmepumpen für Passivhäuser bis zu industriellen Wärmepumpen mit einer Leistung von 1 MW.

Der Konsortialführer hat in den letzten Jahren intensive Forschungsarbeit in der Entwicklung von Wärmepumpen geleistet. Das Unternehmen verfügt über spezielle Prüfstände für Wärmepumpen und auch für Industriewärmepumpen. Ziele des Forschungs- und Entwicklungsprogramms der letzten Jahre waren insbesondere auf die Erhöhung der Leistungszahlen der Wärmepumpen und auf die Erweiterung der Einsatzgrenzen gerichtet.

Das Unternehmen erzielt mit seinen Produkten Spitzenleistungen und wurde bspw. für die Entwicklung eines hocheffizienten Splitverdampfers für Luft/Wasser-Wärmepumpen mit dem Österreichischen Staatspreis in der Kategorie "Energie & Effizienz" ausgezeichnet.

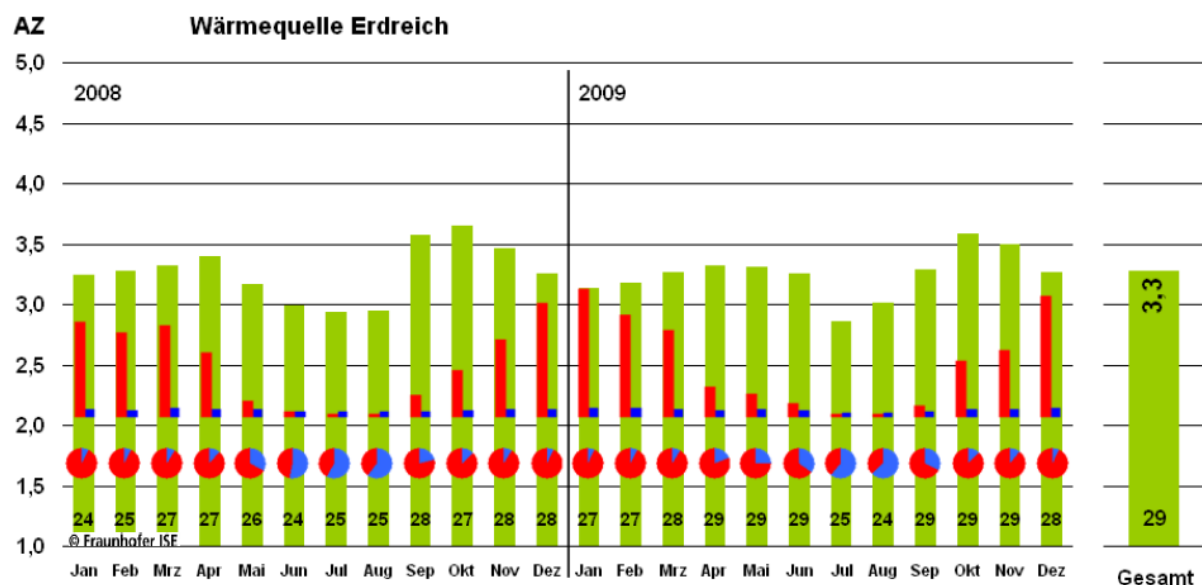
Während die Effizienz der Wärmepumpe (COP) von verschiedenen Herstellern auf höchstem Niveau gehalten wird, so weichen die gemessenen Jahresarbeitszahlen, welche abhängig vom Gesamtsystem Wärmepumpe sind, oft deutlich von diesen Werten ab. Ursachen dafür sind in den weiter unten genannten Problembereichen zu sehen. Gerade extrem kalte Winter in Europa zeigten, wie entscheidend die Effizienz und die Betriebssicherheit der Wärmepumpe von der Funktion des

Gesamtsystems abhängig sind. Alleine in Frankreich wurden in vergangenen Wintern bis zu 4000 Rechtsfälle in einer Saison im Zusammenhang mit Störungen von Wärmepumpensystemen gemeldet.

Verschiedenste Feldmessungen von Wärmepumpen, wie sie auch im Rahmen des Europäischen Forschungsprojekts SEPEMO durchgeführt werden, weisen auf die Notwendigkeit einer Systemoptimierung hin. So betragen durchschnittliche Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen in Großbritannien lediglich 2,3 bis 2,4. Schweden, einer der bedeutendsten Wärmepumpen-Märkte, weist Jahresarbeitszahlen im Bestand von ~3,2 auf.

Beispielhaft sei weiters eine Studie des Fraunhofer-Instituts genannt, welche die geringen Jahresarbeitszahlen dokumentiert: Feldmessungen von Wärmepumpen in Neubauten und Betriebsgebäuden hatten zur Aufgabe, die Effizienz der Wärmepumpen (Jahresarbeitszahl) zu ermitteln (Marek, Mai 2010). Im Zeitraum 2005-2010 wurden im Rahmen dieses Feldtests 110 Wärmepumpensysteme bewertet. Die Jahresarbeitszahlen weisen dabei einen Durchschnitt von 3,3 auf. Insgesamt beträgt der Durchschnitt aller Systeme ca. JAZ ~ 3,6. Nachfolgend werden die Ergebnisse für Erdreich-Wärmepumpen im Detail dargestellt.

Feldmessungen Fraunhofer-Institut:



Quelle: Marek, M.: Feldmessungen neuer Wärmepumpen: Messergebnisse und Implikationen für den Neubau und den Gebäudebestand, 11. Berliner Energietage, Mai 2010

Eine Steigerung der Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen fordern auch die einzelnen Mitgliedsstaaten im Rahmen der jeweiligen Fördersysteme für Erneuerbare Energien.

So fördert das Deutsche Marktanreizprogramm für Erneuerbare Energien Wärmepumpen in Bestandsgebäuden nur dann, wenn sie die nachfolgend angeführten Jahresarbeitszahlen (JAZ) erreichen:

- Luft-Wasser-Wärmepumpen mit JAZ von mindestens 3,7
- Wasser/Wasser-Wärmepumpen sowie Sole-Wasser-Wärmepumpen mit JAZ von mindestens 4,3

Besonders in Österreich – einem Vorreiterland in der Nutzung von Wärmepumpen – werden sehr strenge Anforderungen an das System Wärmepumpe gestellt. Beispielsweise fordert die Wärmepumpenförderung in Oberösterreich, dass Wärmepumpen eine Mindestjahresarbeitszahl von 4 (bzw. 3,5 bei Wärmequelle Luft aufweisen müssen). Um erhöhte Förderungen zu erhalten, muss die JAZ sogar mindestens 4,5 betragen.

Unter all diesen Gesichtspunkten ist eine Optimierung des Gesamtsystems, wie sie im Rahmen von INTELLIGENT-PUMP erfolgt, von größter Bedeutung.

Die Realisierung einer nachhaltigen Energieversorgung ist im Endeffekt lediglich durch ausschließliche Nutzbarmachung regenerativer Energieträger möglich. Erneuerbare Energieträger (Strahlung, Photosynthese, Verdunstung/Regen, Umgebungswärme und Wind) sind zur Gänze auf solare Energie zurückzuführen und können durch technische Lösungen zur Strom-, Wärme- und Treibstoffherzeugung verwendet werden. Innerhalb dieser Bandbreite erneuerbarer Energieträger zählt die Umgebungswärme zu den zukunftsreichsten, da sie überall durch die technische Nutzung der Wärmepumpe verfügbar gemacht und sowohl für den Einsatz von Kleinstanwendungen wie der Beheizung von Passivhäusern bis zur Versorgung ganzer Wohnsiedlungen, Schulen oder Hotelkomplexe mit Raumwärme geeignet ist.

Wärmepumpen können sowohl zu Zwecken der Heizung und Warmwassergestehung als auch zur Klimatisierung verwendet werden und zählen für beide Anwendungsfälle zu den effizientesten erneuerbaren Energietechnologien.

Insgesamt ist die Nachfrage nach Wärmepumpen von äußerst starkem Wachstum geprägt. Der Trend in Richtung eines geringeren Heizwärmebedarfs von Gebäuden hat die unmittelbare Erhöhung des Einsatzes von Wärmepumpen zur Folge. Herkömmliche Feuerungssysteme werden künftig an Bedeutung verlieren – der Einsatz der Wärmepumpe jedoch immer gefragter. Schon heute beträgt der Anteil von Wärmepumpen im Passivhausbau 68%.

Da Wärmepumpen das bestimmende Heizsystem der Zukunft sein werden, ist es umso notwendiger ihre Effizienz und Betriebssicherheit weiter zu erhöhen. Während die Wärmepumpe selbst bereits weitgehend optimiert ist, besteht noch großer Entwicklungsbedarf in der Optimierung des Gesamtsystems. Forschungsziel war es deshalb, die Effizienz und die Betriebssicherheit des Systems Wärmepumpe zu erhöhen. Die Lösung für die Optimierung des Gesamtsystems Wärmepumpe wird vom Konsortium in der automatisierten Selbstüberwachung gesehen – INTELLIGENT-PUMP soll eine vorausschauende, effizienzsteigernde Überwachung der Anlage ermöglichen. Sämtliche potentiellen Problembereiche sollen überwacht und etwaige Fehlerursachen frühzeitig erkannt und beseitigt werden.

Problembereiche des Systems ergeben sich aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems, welches auf das optimierte Ineinandergreifen verschiedenster Komponenten auf der Wärmequellenseite, der

Wärmepumpe selbst und auf der Wärmenutzungsseite ausgerichtet sein muss. Das Benutzerverhalten hat dabei mindestens ebenso großen Einfluss auf die Betriebssicherheit sowie schließlich auf die Effizienz der Anlage.

Nachfolgend werden zentrale Problembereiche des Wärmepumpensystems genannt.

A. Wasserqualität

1. Problembereich Wärmequellenseite:

- Die Qualität der Wärmequelle Wasser ist mitbestimmend für die Lebensdauer der eingesetzten Wärmetauscher. Schlechte Qualität führt zu Korrosionen und Undichtheiten und damit zur Beschädigung der Wärmetauscher.
- Kalkablagerungen im Wärmetauscher verursachen Hochdruckstörungen
- Verschlammung führt zur Beeinträchtigung der Wärmeübertragung und hat eine Reduktion der Leistungszahlen zur Folge.

2. Problembereich Warmwasserbereitung

- Bei der Warmwasserbereitung ist die Qualität des Wassers ebenfalls für das Auftreten von Verkalkungen verantwortlich. Brauchwasserspeicher können durch Verkalkungen korrodieren und in Folge Störabschaltungen auslösen.
- Verkalkungen des Registers von Brauchwasserspeichern führen zur Reduktion der Wärmeübertragung und vermindern so die Effizienz der Wärmepumpe.

3. Problembereich Wärmenutzungsseite

- Bei geschlossenen Systemen der Wärmenutzungsseite muss das Wasser entsprechend den geltenden Normen aufbereitet sein. Werden die geforderten Kriterien nicht eingehalten, resultieren daraus Schäden des Heizungssystems und Effizienzverluste des Gesamtsystems.

B. Wärmenutzungsanlage (Planung, Dimensionierung und Einregulierung)

- Unkorrekte Planung und Auslegung der Wärmenutzungsanlage: falsch ausgelegte Umwälzpumpen, falsch dimensionierte Rohrleitungsquerschnitte, zu kleine Pufferspeicher, fehlende hydraulische Trennungen, unkorrekte Anbindungen anderer Wärmequellen und daraus resultierende inkorrekte Volumenströme haben die Reduktion der Gesamteffizienz und die Verminderung der Betriebssicherheit zu Folge.

C. Wärmequelle Luft (Planung, Dimensionierung und Einregulierung)

- Falsche Aufstellung des Verdampfers führt zu Abtauproblemen und Vereisungen (zu lange und falsch ausgelegte Anbindungsleitungen sowie eine zu hohe Anzahl von Einzelwiderständen).
- Falsche Dimensionierung und Verlegung der Anbindeleitungen bei Splitverdampfern hat Leistungsminderungen zur Folge.
- Die falsche Aufstellung der Wärmepumpe oder des Verdampfers führt zu hohen Schallemissionen.

- Überdurchschnittliche Feuchtigkeit der Außenluft resultiert in Vereisungen bzw. im Ausfall des Ventilators.
- Bei überdurchschnittlichen Niederschlägen kann der Ventilator ebenfalls vereisen und damit Störabschaltungen nach sich ziehen.

D. Direktverdampfung (Planung, Dimensionierung und Einregulierung)

- Falsche Verlegung der Kollektorkreise und falsche Anbindung an die Wärmepumpe kann zur ungleichen Kältemittelbeaufschlagung führen, was wiederum Leistungsreduktionen zur Folge hat.
- Fehlerhafte Verlegeabstände von Kollektorrohren resultieren u.U. in Gefrierungen im Erdreich, was Deformierungen der Bodenkollektorfläche zur Folge haben kann bzw. die Funktion des Kältekreis der Wärmepumpe beeinträchtigt oder zu Abschaltungen der Wärmepumpe und im schlimmsten Fall sogar zum Ausfall des Verdichters führt.
- Undichtheiten der Kältemittelleitungen von Luft/Wasser-Wärmepumpen oder Direktverdampfungssystemen führen zum Entweichen von Kältemittel an die Umgebung bzw. können zu Beschädigungen der Wärmepumpe führen.

E. Kältekreis

- Versteckte Fehler in Einzelkomponenten führen zu Auswirkungen auf den und durch den Kältekreis: z.B. Produktionsfehler von Kompressoren. Undichte Wärmetauscher, versteckte Fehler bei Expansionsventilen, 4-Wege-Umschaltventilen oder Magnetventilen.

F. Regelung

- Fehlerhafte Regler und falsche Einstellung der Regler (durch falsches Benutzerverhalten verursacht) können zu Fehlfunktionen des Gesamtsystems und zum Ausfall der Wärmepumpe führen.

G. Auslegung des Gesamtsystems

- Wird die Wärmepumpe in Bezug auf den Heizbedarf des Gebäudes zu klein oder auch zu groß dimensioniert, hat dies eine zu hohe Betriebsstundenzahl oder zu hohe Schalthäufigkeit zur Folge – was wiederum Lebensdauer, Betriebssicherheit und Effizienz der Wärmepumpe beeinträchtigt.

H. Falsches Benutzerverhalten - Überschreiten der Betriebseinsatzgrenzen

- Durch falsches Verhalten kann es vorkommen, dass die Wärmepumpe außerhalb der Einsatzgrenzen betrieben wird (zu niedrige Vorlauftemperaturen im Kühlbetrieb, zu hohe Vorlauftemperaturen im Heizbetrieb (Warmwasser-Modus)). Der Betriebspunkt der Wärmepumpe (Heizen, Kühlen, Warmwasserbereitung, Schwimmbadheizung) muss jedoch immer innerhalb der Einsatzgrenzen bleiben, damit die Wärmepumpe nicht beschädigt wird bzw. damit es nicht zu Störabschaltungen kommt.

I. Schwankende Volumenströme (spezielle Betriebszustände)

- Rapides Abreißen der Volumenströme auf der Wärmequelleseite oder auf der Wärmenutzungsseite im Kühl- oder Abtaubetrieb kann zu Frostschäden (Aufrieren der Plattenwärmetauscher) führen.

Dies wäre der Fall, wenn etwa Wasser-Umwälzpumpen defekt sind oder die Druckhaltungseinrichtung nicht richtig dimensioniert ist oder die Volumenströme falsch berechnet und eingestellt sind.

Dem Benutzer sollte bei allen möglichen Randbedingungen, welche im Zuge der Nutzung von Umgebungswärme auftreten können, maximale Sicherheit des Gesamtsystems Wärmepumpe garantiert werden können. Um dies zu erreichen, ist es notwendig ein Überwachungssystem zu schaffen, welches alle (hier nur beispielhaft beschriebenen) Problembereiche kontrolliert und Vorkehrungen schafft, damit Schäden an Wärmepumpe, Kältekreis und anderen Komponenten vermieden werden. Als übergeordnetes Ziel hat das Überwachungssystem damit gleichzeitig die Aufgabe, die Effizienz des Gesamtsystems Wärmepumpe (ausgedrückt durch die Jahresarbeitszahl JAZ) im Heiz- und Kühlbetrieb zu erhöhen.

Ziel des Forschungsprojekts war es:

- Algorithmen zu entwickeln, welche dazu dienen, Störungen im Vorfeld durch präventive Maßnahmen zu vermeiden. (Die Algorithmen sind auf alle Problembereiche gerichtet, welchen das Wärmepumpensystem ausgesetzt sein kann.)
- Ziel ist es, Algorithmen auf Basis einer graphischen Programmiersprache zu implementieren.
- Ziel ist es, mithilfe des Supervisionssystems eine Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen zu erreichen.
- Ziel ist es, mithilfe des Supervisionssystems zukünftig maximale Betriebssicherheit des Wärmepumpensystems gewährleisten zu können.
- Weiteres Ziel ist die Darstellung der erzielbaren Effizienzsteigerungen, der ökologischen Bewertung und der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventionellen Systemen.

Projektaufbau:

Die Projektstruktur des Projekts „Intelligent-Pump“ umfasste 9 Arbeitspakete:

- AP1: Markt- und Technologierecherche
- AP2: Problem- und Ursachenforschung – Maßnahmenentwicklung
- APx: Neu als APx beantragt: Entwicklung eines Supervisionssystems
- AP3: Definition der Prozesse – Entwicklung der Algorithmen
- AP4: Implementierung der Algorithmen
- AP5: Feldlabortests
- AP6: Betrachtung der wirtschaftlichen und energetischen Potentiale des Supervisionssystems
- AP7: Dissemination der Projektergebnisse
- AP8: Projektmanagement

3 Inhaltliche Darstellung

AP1: Markt- und Technologierecherche

Auf Basis einer Literaturrecherche wurden Systeme folgender Wärmepumpenhersteller analysiert und bewertet:

Heliotherm, Neura, Vaillant, Junkers, Viessmann und Buderus. Bei zahlreichen anderen Herstellern wurden ebenfalls recherchiert, jedoch konnten hier keine brauchbaren Informationen gefunden werden.

Es zeigte sich, dass bestehende Systeme, soweit sich das eruieren ließ, Systemparameter messen, aber nicht bewerten, oder nur feststellen, ob eine Fehlermeldung vorliegt bzw. beides. Ein System, das Messwerte bewertet und so vorausschauend eingreift, konnte nicht gefunden werden. Gemäß Antrag sollen folgende Problembereiche durch das zu entwickelnde Supervisionssystem abgedeckt werden:

In Bezug auf die vorangegangene Schilderung der Problembereiche ergab sich folgende Kommentierung für das zu entwickelnde System:

Ad A.: Die Wasserqualität wird von den bestehenden Systemen nicht kontrolliert, höchstens, wenn sich daraus eine Störabschaltung ergibt.

Ad B., C., D., G.: Dies kann nicht direkt von einem Monitoringsystem abgedeckt werden. Dies kann nur durch Auswertung und Übertragung der Erkenntnisse auf zukünftige Systeme positiven Effekt haben, obwohl die meisten Fehler wohl auch jetzt schon vermeidbar wären. Das zu entwickelnde System ist jedoch insofern vorteilhaft, weil dadurch Feedback über die korrekte Auslegung der Anlage möglich ist, wodurch sich Erkenntnisse für Hersteller, Planer und ausführende Firmen ergeben werden. Bestehende Systeme können bei diesen Punkten vom Monitoringsystem nicht profitieren.

Ad E.: Wenn sich die Fehler in einem gemessenen Parameter niederschlagen, ist dies erfassbar. Von derzeitigen Systemen ist dies nur durch einen Systemausfall bzw. eine Störmeldung möglich.

Ad F., H: Bisherige Systeme stellen fest, ob die Wärmepumpe ausgefallen ist (= Wirkung). Ein neues System könnte die Ursache erkennen und damit vorausschauend eingreifen.

Ad I: Im Wesentlichen gilt hier das Gleiche wie bei F. und H. Allerdings handelt es sich hier um Akutfälle, die schon im Vorfeld detektiert und behoben werden sollten.

Sonderanforderungen:

Sonderanforderungen sind für Systeme mit Puffermanagement, hohen Vorlauftemperaturen, Schwimmbaderwärmung, Kombination mit Kessel, Kombination mit Solarthermie sowie Prozesswärme als WQ denkbar.

Puffermanagement:

Die Temperatur(en) des gespeicherten Wassers müssen bekannt sein. Der Pufferspeicher muss so angesteuert werden, dass einerseits der Komfort sichergestellt wird, andererseits aber möglichst wenig Speicherverluste auftreten. Sollten zeitabhängige Stromtarife existieren, ist dies entsprechend zu berücksichtigen. Muss der Speicher bei bekannten Temperaturen zu oft aufgeheizt werden oder strömt

mehr Wasser beim Einlass ein als beim Auslass hinaus (über eine längere Zeit), so liegt eine Undichtheit vor.

Hohe Vorlauftemperaturen:

Neben der unterschiedlichen Auslegung diverser Komponenten müssen die Sollwerte verändert werden. Separate Parameter sind nicht zu erfassen.

Schwimmbaderwärmung:

Hier existieren andere Temperatur- und Mengenanforderungen. Dabei ist auch der Punkt „Prozesswärme als WQ“ von Interesse, da ein Mindestwasseraustausch eingehalten werden muss und somit das Abwasser als Alternative WQ zur Verfügung steht, die als kontinuierliche Prozesswärme aufgefasst werden kann.

Kombination mit Kessel:

Entsprechende Vorrangschaltungen sind vorzusehen. Ziel muss es sein die Heizkosten zu optimieren. Der Preis pro kWh Nutzwärme aus der Wärmepumpe kann vom System anhand der aufgrund der aktuellen Messwerte sich ergebenden Arbeitszahl ermittelt werden, der Wert für den Kessel ist mehr oder weniger konstant. Je nachdem wird die WP oder der Kessel angesteuert bzw. wird ein bivalenter Betrieb eingestellt, wenn die Leistungsnachfrage zu hoch sein sollte.

Kombination mit Solarthermie:

Im Sinne der Kostenoptimalität ist hier der Solarthermieanlage der Vorzug zu geben. Sollte diese nicht genug Energie liefern können, ist die Wärmepumpe entsprechend anzusteuern. Das Supervisionssystem könnte hier auch eine Qualitätskontrolle der Solarthermieanlage umfassen. Basierend auf einer Solarstrahlungsmessstation (entweder eine nahe gelegene offizielle Messstelle oder eine private Messung in der Nähe) können theoretische Ertragswerte berechnet und mit den tatsächlichen Werten verglichen werden.

Prozesswärme als WQ:

Je nachdem, ob auch eine andere Wärmequelle zur Verfügung steht (bzw. benötigt wird) oder nicht, ergeben sich unterschiedliche Anforderungen.

Wenn ja, muss es je nach Wärmemengen- und Temperaturangebot bzw. -nachfrage ein abgestimmtes WQ-Management geben. (Bei der Nutzung des Abflusses wie im Fall von Schwimmbädern, Wäschereien etc. ist natürlich jedenfalls ein weiterer Prozess vorzusehen, sofern nicht angenommen werden kann, dass der elektrische Anteil des WP-Prozesses die Verluste ausgleicht.)

Wenn nein, ist zu unterscheiden, ob der Prozess dauernd sicher und mit ausreichender Leistung zur Verfügung steht bzw. die Betriebszeiten der Wärmepumpe damit übereinstimmen. Je nachdem ist ein entsprechend dimensionierter Pufferspeicher vorzusehen, der dann nach den jeweiligen Nutzungs- und Bereitstellungsprofilen dimensioniert und angesteuert werden muss.

AP2: Problem- und Ursachenforschung – Maßnahmenentwicklung

In diesem Arbeitspaket wurden die Serviceeinsätze der Jahre 2011 bis Anfang 2013 (rund 40.000 Datensätze) ausgewertet und die Fehlerhäufigkeiten ermittelt.

1. Die häufigste Ursache für Störungen sind defekte Schutz-, Regelungs- und Überwachungsbauteile und nicht defekte Funktionsbauteile. Paradoxerweise verringern diese Überwachungseinrichtungen offensichtlich die Standzeit der Wärmepumpe.
2. Je mehr starre Überwachungssysteme mit fixen Grenzen, desto mehr Störungsfälle, desto mehr Kundendiensteinsätze. → dynamisches Überwachungssystem für möglichst wenig Kundendiensteinsätze
3. Eventuell ist der Einbau redundanter Fühler/Sicherheitseinrichtungen wirtschaftlicher als eine hohe Anzahl an Störungsbehebungseinsätze → Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
4. Die häufigsten Ursachen für eine Funktionsstörung des Kältekreis sind Leckagen, defekte Verdichter und Expansionsventile. → Diese drei Fehlerquellen sollten mit einem Früherkennungssystem ausgestattet werden.
5. Jene Teile, die direkt überwacht werden (Leckage → Niederdruckstörung, defekter Verdichter Motorschutz/Phasenüberwachung), führen sofort zu einer Abschaltung und lösen in weiterer Folge einen Kundendiensteinsatz aus. Es ist daher anzunehmen, dass diese Defekte wesentlich häufiger in der Datenbank erfasst werden als nicht oder nur indirekt überwachte Bauteildefekte (Verschlammung, Verkalkung,...) → Berechnung von Anlagenparametern zur Bewertung nicht überwachter Bauteile.
6. Bei rund 10% der Einsätze ist die Störungsursache unbekannt bzw. nicht zuordenbar. Bei weiteren 10% der Einsätze finden Einstellungen des Reglers und justierbarer Bauteile statt. In 4% der Fälle ist eine zweite Anfahrt erforderlich. Eventuell können diese Anfahrten durch Ferndiagnose/Ferneingriff reduziert werden.

Das Projektteam erstellte einen Fragebogen zur Versendung an Installateure mit Fragen zu folgenden Themenbereichen:

- Fragen zur Vorgehensweise bei der Installation von Wärmepumpensystemen
- Fragen zu bevorzugten Wärmepumpensystemen
- Fragen zu häufig auftretenden Problemen

und versendete diesen an 38 Installateure, größtenteils in Österreich, aber auch ins europäische Ausland.

Die wesentlichen Erkenntnisse aus der schriftlichen Befragung der Installateure mittels Fragebogen sind:

1. Die Heizlast wird nur zum Teil nach Norm berechnet. Oft richtet man sich nach dem bisherigen Verbrauch.
2. Eine Jahresarbeitszahl wird nur teilweise vorausberechnet.
3. Rohrdurchmesser und Pumpenauslegung werden zwar mehrheitlich berechnet, oft aber auch nur überschlagsmäßig abgeschätzt.
4. Spülung der Rohre nach Installation gehört wie Einregulierung der Heizkreise zum Standard.
5. Die Regulierventilstellung wird jedoch nicht immer berechnet.
6. Die Einsatzgrenzen von Wärmepumpen werden stets berücksichtigt.

7. Wärmepumpen mit Kühlfunktion sind dzt. noch die Ausnahme. Nur etwa 20 % der Anlagen können auch kühlen. Kühllastberechnung erfolgen nur zum Teil.
8. Die Empfehlungen für bestimmte Wärmequellen sind sehr unterschiedlich. Es lässt sich keine Tendenz ablesen.
9. Als häufigste Fehler wurden genannt:
 - Unterdimensionierung der WP bzw. des Systems
 - Probleme mit der Hydraulik
 - Auslegung der Flachkollektoren
 - Optimistische EnergieausweiseDie Fehler werden im Wesentlichen als vermeidbar empfunden.
Probleme mit Tauwasserbildung bei Fußbodenkühlung und Verschlammung von Wärmetauschern wurden von einigen Installateuren bereits beobachtet.
10. Mehr als die Hälfte können sich vorstellen, Dienstleistungen im Rahmen des WP-Supervisionssystems anzubieten.

Aus den Ergebnissen der Störungsanalysen und der Installateursbefragung wurden 82 Fehlerszenarien abgeleitet und in folgende Kategorien unterteilt:

- Fehler im Kältekreis
- Planungs-/Installationsfehler
- Betriebs-/Bedienungsfehler
- Fehler in der Wärmenutzungsanlage (WNA)
- Fehler in der Wärmequellenanlage (WQA)

Ausgewählte Kundendiensttechniker ergänzten in einem Fragenkatalog die Symptome/Messgrößen, anhand deren der Fehler erkannt werden kann.

Im Rahmen des AP2 haben Expertengespräche mit Dr. David Zogg von der Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Automation, stattgefunden. Hr. Dr. Zogg hat sich im Rahmen seiner Dissertation „Fault Diagnosis for Heat Pump Systems“ (Zogg, 2002) an der ETH Zürich intensiv mit den möglichen Fehlerszenarien von Wärmepumpen, deren Diagnose und Früherkennung beschäftigt. Herr Zogg konnte dem Projektteam wertvolle Informationen für den weiteren Projektfortschritt zur Verfügung stellen.

Weiters wurden in AP2 thermodynamische Parameter und Gleichungen als Fehlerindikator definiert. Die Literaturrecherche und Expertengespräche haben ergeben, dass es grundsätzlich zwei Möglichkeiten gibt Fehler zu erkennen:

- Steady-State Parameter Identification
- Integrated Fault Classification

Bei der Steady-State Parameter Identification Methode werden durch ein hinterlegtes physikalisches Modell aus den Messwerten physikalische Parameter berechnet und Kennzahlen gebildet, welche

wiederum durch Veränderung bzw. Grenzwertüberschreitungen als Fehlerindikator herangezogen werden können.

Bei der Integrated Fault Classification Methode ist über das zu überwachende System selbst nichts bekannt. Ein Fehler wird anhand der Messwerte und der zuvor im Labor simulierten/trainierten Fehlerfälle (automatische Modellbildung) erkannt und klassifiziert.

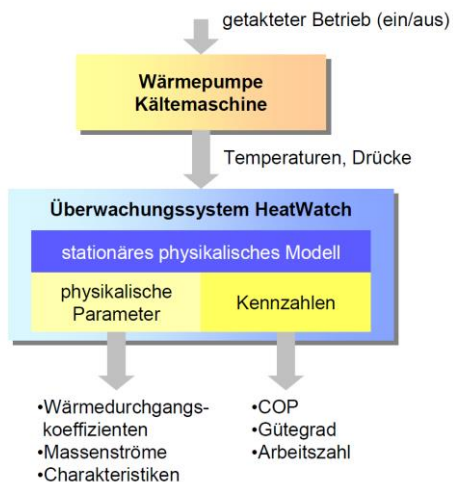


Abb. 1: Steady-State Parameter Identification

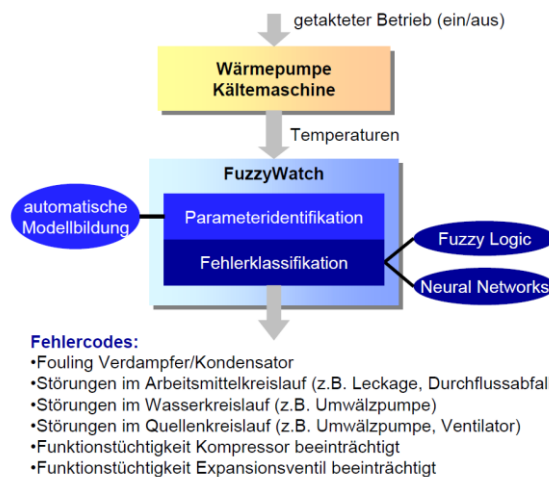


Abb. 2: Integrated Fault Classification (Zogg, 2002)

Vor und Nachteile:

Steady-State Parameter Identification:

- zeigt physikalische Parameter an
- zeigt direkt Fehler an, welche einfach interpretiert werden können
- kein Fehler-Training auf Prüfstand notwendig
- benötigt einfaches physikalisches Modell im stationären Zustand
- einfache Umsetzung

Integrated Fault Classification:

- wenig Sensoren
- Modellbildung und Training → automatisch (Software)
- braucht mehr Know-How

Alle Systeme sollten mit möglichst wenig Sensoren und möglichst geringem Aufwand (Eingriff in das bestehende Regelungssystem) implementiert werden können. Aus Sicht des Forschungsteams ist die Steady-State Parameter Identification Methode sinnvoller, da im Gegensatz zur Integrated Fault Classification Methode aufgrund der Parameterhistorie auch Aufschluss über die Problemursache gegeben werden kann.

APx: Entwicklung eines Supervisionssystems

Im Rahmen des APx wurde ein System entwickelt, das es nun ermöglicht, die Wärmepumpendaten aus der Regelung aufzuzeichnen und über Ethernet verfügbar zu machen. Dieses System wird in weiterer Folge als Supervisionstool bezeichnet. Das Supervisionstool ist die entscheidende Schnittstelle, um die Online-Werte aus der Wärmepumpenregelung zu speichern und via Internet für die zentrale Datensammlung, das sogenannte „Data-Warehouse“, verfügbar zu machen – siehe Abb. 3.

Die Schnittstelle und Datenpunkte für die Ferndatenübertragung wurden definiert. Vom Supervisionstool werden folgende Prozessdaten (Datenpunkte) abgefragt:

Prozess-			
daten Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Einheit
1	STATUS	Status der Wärmepumpe (Heizen, Kühlen,...)	-
2	TA	Außentemperatur	°C
3	Q_WNA	Heizleistung	kW
4	TWV	Vorlauftemperatur Wärmepumpe	°C
5	TWR	Rücklauftemperatur Wärmepumpe	°C
6	TQA	Austrittstemperatur Wärmequelle	°C
7	TQE	Eintrittstemperatur Wärmequelle	°C
8	THG	Heißgastemperatur	°C
9	TSG	Sauggastemperatur	°C
10	pND	Niederdruck	bar
11	pHD	Hochdruck	bar

Tabelle 1: Prozessdaten

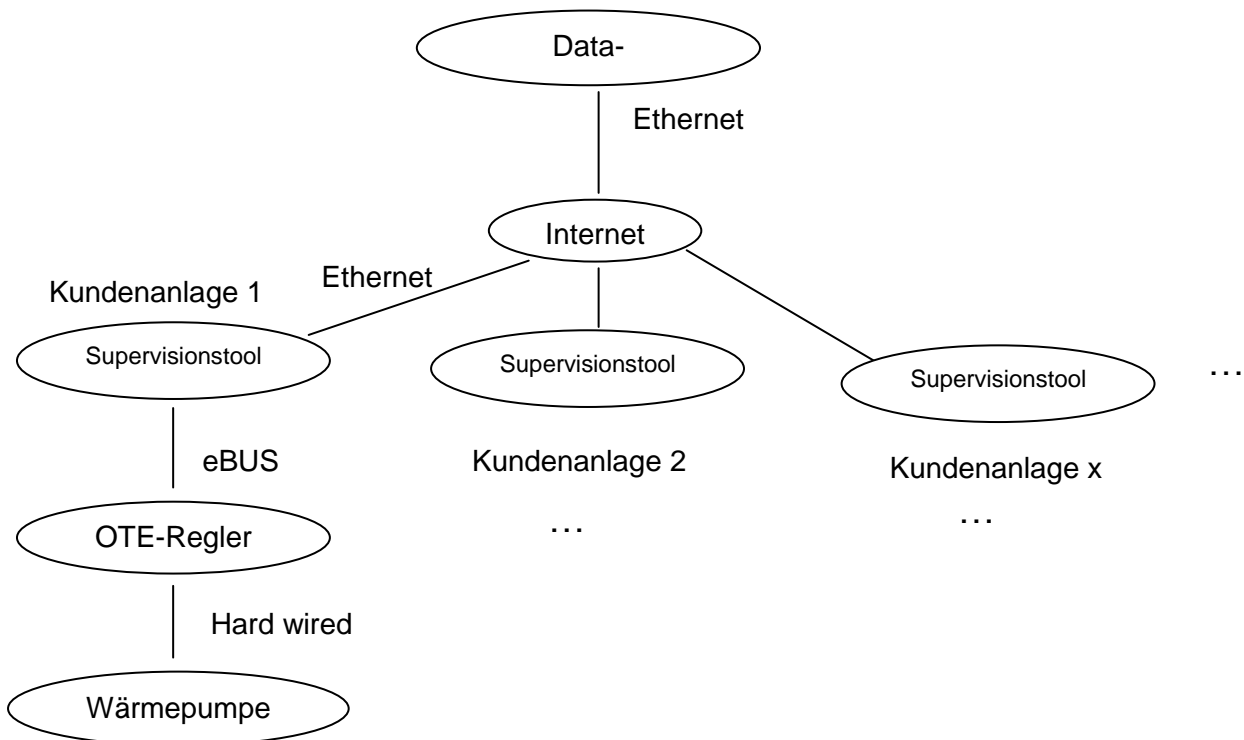


Abb. 3: Konfiguration der Datensammlung von den dezentralen Wärmepumpen

Die Messwerte der o.g. Datenpunkte werden vom Supervisionstool bei Betrieb der Wärmepumpe in einem Intervall von 10 s beim Regler über den eBUS abgefragt und abgespeichert. Aufgrund der geringen Datengeschwindigkeit des eBUS ist nur eine maximale Abfrage von 11 Datenpunkten innerhalb eines 10 s Intervalls möglich und somit die Datenaufzeichnung derzeit auf 11 Datenpunkte begrenzt. Zur Erhöhung der Datenpunkte müsste das Aufzeichnungsintervall erhöht werden, wodurch jedoch die dynamische Genauigkeit verringert wird. An einer Lösung dieser „Flaschenhals“-Problematik in der Datenübertragung wird über das Ende dieses Forschungsprojekts hinaus noch gearbeitet. Damit die Daten von einem externen Server abgeholt werden können, waren weiters zwei Probleme zu lösen:

1. Das Supervisionstool befindet sich in einem Heimnetzwerk hinter einem Router (mit Firewall).
2. Providerabhängig kann der Router seine IP-Adresse ändern

Dies wurde so gelöst, dass das Supervisionstool alle 10 min die WAN-IP-Adresse des Gateways (Router) an eine zentrale Ochsner IP-Datenbank übermittelt. Weiters muss das Port-Forwarding so konfiguriert werden, dass diese Adresse bei einer Gateway-Anfrage über einen gewissen Port (Port 56570 – 56579) direkt zum Supervisionstool weitergeleitet wird. Somit ist es nun möglich von einem beliebigen Gerät im Internet auf das Supervisionstool zuzugreifen, um die Messdaten abzuholen. Zusätzlich wurde im Supervisionstool eine Softwareschnittstelle geschaffen (SOAP), die es ermöglicht, direkt aus dem Internet auf sämtliche aktuellen Anlagenparameter zuzugreifen. Weiters wurden mit dem neuen Supervisionstool erste Feldmessdatenaufzeichnungen durchgeführt. Diese können neben den Labormesswerten in AP3 zum Entwickeln/Testen der Algorithmen in SCILAB verwendet werden.

AP3: Definition der Prozesse – Entwicklung der Algorithmen

Auf Basis des In AP2 gesammelten Fragenkatalogs wurden knapp 40 kennzahlbildende Algorithmen entwickelt. Mittels thermodynamischer Gleichungen können nicht bekannte/nicht gemessene Kälteanlagenparameter aus anderen Messwerten berechnet werden. So ist es beispielsweise möglich den Wärmeleitwert des Kondensators zu berechnen. Ein abnehmender Wärmeleitwert ist wiederum ein Indikator für „Fouling“ des Wärmetauschers, z.B. durch Verkalkung oder Verschlammung. In der folgenden Tabelle 2 sind einige Parameter aufgelistet, welche aus den Messdaten errechnet werden, und dargestellt, wofür sie als Indikator dienen können:

OCHSNER					
WÄRMEPUMPEN					
Parameter	Einheit	Beschreibung	Grenzwert	Formel	Indikator für
Steady State Algorithmen					
mr	kg/s	Massenstrom Kältemittel			Widerstände im Kältekreis, Leckage
kAc	W/K	Wärmeleitwert Kondensator			Fouling
kAe	W/K	Wärmeleitwert Verdampfer			Fouling, Icing
ms	kg/s	Massenstrom Wärmeträger Verdampfer			Unterschreitung Mindestmassenstrom, hydraulische Fehler
mw	kg/s	Massenstrom Wärmeträger Kondensator			Unterschreitung Mindestmassenstrom, hydraulische Fehler
kexp	kg/h	Ventilkonstante kV			Expansionsventil fehlerhaft
Tov	K	Überhitzung Verdampfer			Expansionsventil fehlerhaft, Kältemittelmangel
c_cmp	-	Polytropenexponent Verdichter			Verdichter fehlerhaft
lambda_cmp	-	mass flow supply efficiency			Verdichter fehlerhaft
Q_s	W	Wärmeleistung Verdampfer			
Q_HP	W	Wärmeleistung Kondensator			
COP	-	Leistungszahl			Effizienz
COP_carnot	-	Carnot-Leistungszahl			Effizienz
epsilon	-	exergetischer Wirkungsgrad			Effizienz
zusätzliche Parameter					
t_cmp,d	h	Tägliche Verdichterlaufzeit			
t_cmp,d/dT_mean,d	h/K	Verdichterlaufzeit/Differenz Außen- /Innentemperatur		$tc/(RT-AT)$	Unter/Überdimensionierung Wärmepumpe
T_sub	K	Unterkühlung			Kältemittelmangel
mit Economizer					
kA_eco		Wärmeleitwert Economizer			Fouling

Tabelle 2: Parameterliste zur Fehlererkennung

Für die Entwicklung und Tests der Algorithmen wurde das freie Software-Paket SCILAB verwendet. Die Funktionalität und Syntax von SCILAB/SCICOS ist zu weiten Teilen mit der von MATLAB/Simulink identisch. In einem ersten Schritt wurden in Scilab die Algorithmen zur Berechnung der Kältemittelzustände von R407C implementiert. Anhand der Messwerte von Hochdruck und Niederdruck können daraus die Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen berechnet werden. Da es sich bei R407C um ein azeotropes Kältemittel handelt, werden jeweils die Werte an der Siedelinie, Taulinie und die mittleren Werte berechnet. Weiters wurde das Verdichterpolynom des Verdichterherstellers implementiert. Dadurch kann bei Anlagen ohne elektrische Leistungsmessung (derzeit noch Standard) die elektrische Leistungsaufnahme anhand der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur ermittelt und daraus der COP berechnet werden. Abb. 4 zeigt den Messdatenverlauf aus einer Feldmessung. Bei den strichlierten Werten handelt es sich um die berechneten mittleren Verdampfungs- (tme) und Kondensationstemperaturen (tmc).

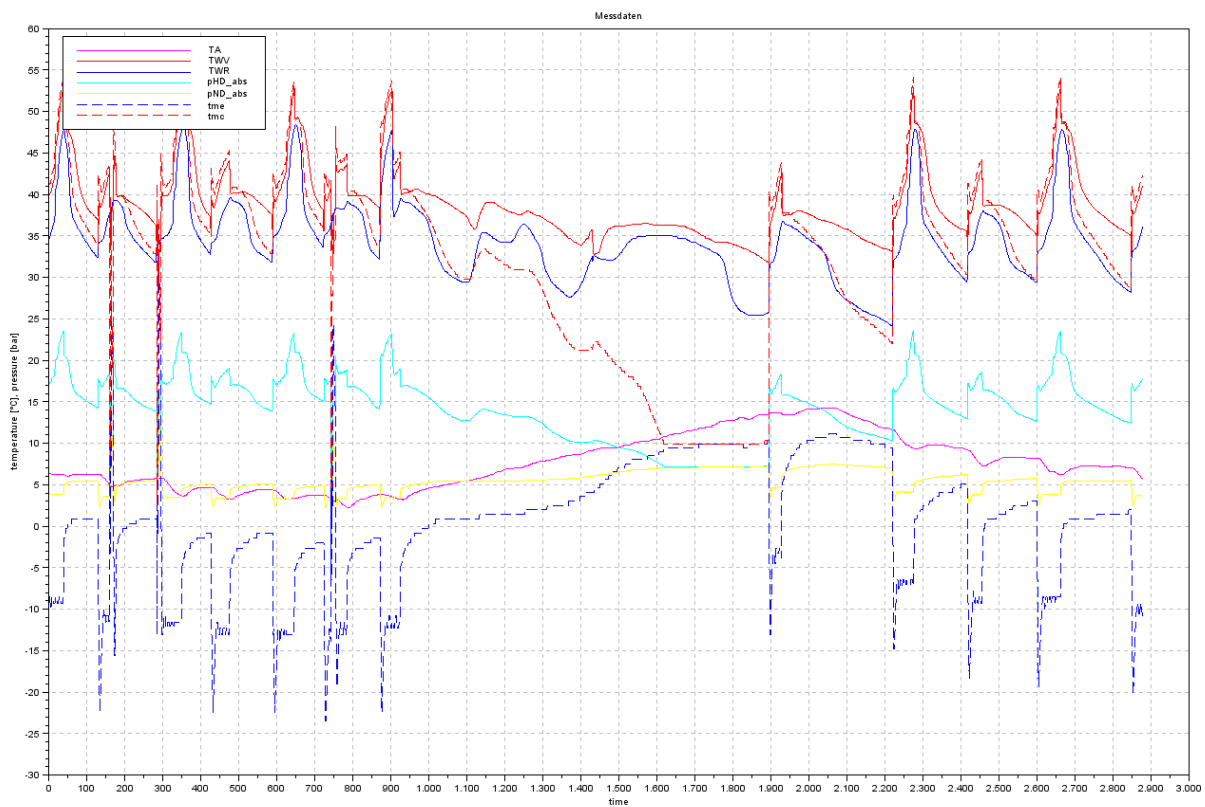


Abb. 4: Verlauf der Feldmessdaten (durchgehende Linien) und berechnete Werte (strichlierte Linien)

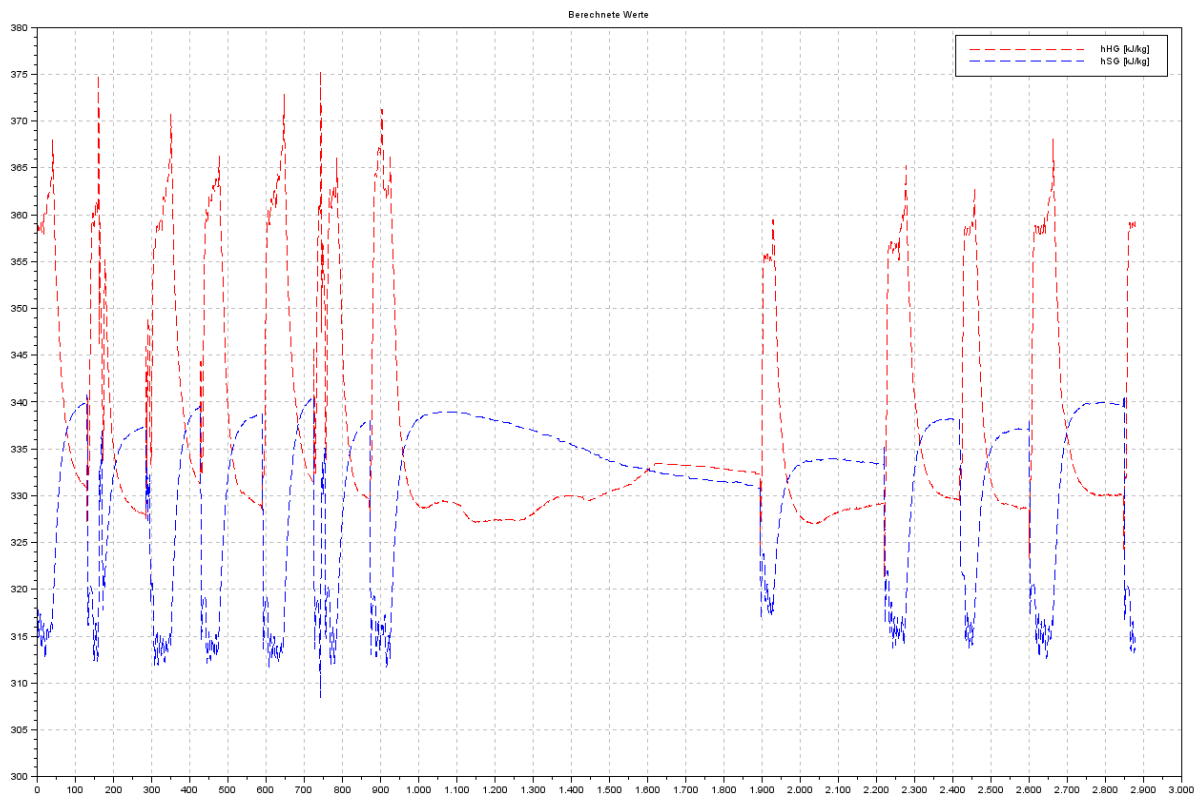


Abb. 5: Berechneter Enthalpieverlauf für Sauggas und Druckgas

Mit den verfügbaren Messwerten aus dem Supervisionstool können Wasser(Sole)-Wasser-Wärmepumpenkreisläufe und Luft-Wasser-Wärmepumpenkreisläufe ohne Economizer berechnet werden. Anlagen mit Economizer können mit der aktuellen Regelungs- und Sensorenausstattung noch nicht berechnet werden. Für die Economizer-Algorithmenentwicklung und -Tests muss deshalb vorerst mit den Labormessdaten das Auslangen gefunden werden. In den zukünftigen Wärmepumpengenerationen soll der Economizer ebenfalls mit elektronischen Einspritzventilen ausgestattet werden, wodurch diese Steuerungsmessdaten auch für das Supervisionssystem zur Verfügung stehen werden.

AP4: Implementierung der Algorithmen

Es wurde beschlossen die Implementierung der Algorithmen direkt im sogenannten Data-Warehouse durchzuführen. Für die Datenbank wurden als Hauptwerkzeuge Microsoft® Visual Studio Express für Windows Desktop 2012 – folgend als MSVS bezeichnet – und Microsoft® SQL Server ® 2012 – folgend als MSSQL bezeichnet – verwendet. Die Entwicklung in MSVS erfolgte in der Programmiersprache C# bzw. in TSQL in MSSQL.

Zunächst wurde in MSSQL eine Datenbank angelegt. In dieser werden die Rohdaten in einer Messwerttabelle und die zu überwachenden Wärmepumpen in einer Anlagentabelle gespeichert. Aus informationstechnischer Sicht gibt es 3 Arten von Datenquellen: web2com, das Supervisionstool und die webCard. Allen ist gemein, dass sie Daten tagesbasiert in csv-Dateien speichern, wobei das Raumterminal nur die einzelnen On-Zyklen in separate Dateien speichert und die webCard die Möglichkeit der Datenkomprimierung bietet, die auch genutzt wurde. Alle Anlagen (AP5) werden nun täglich ausgelesen und die Daten in der Messwerttabelle gespeichert, wobei die Einheiten so gewählt werden, dass man Integer-Werte zur Speicherung verwenden kann. Temperaturangaben wurden mit 10 multipliziert. Also ist die Temperatureinheit trotz Integereigenschaft nicht °C, sondern zehntel °C usw.

In weiterer Folge wurde die Datenbank im Hinblick auf die Algorithmen aus AP3 erweitert. Dabei zeigte sich bald, dass aufgrund der großen Datenmengen die Antwortzeiten einer traditionellen auf Views basierten Datenbank zu lange wurden. Deswegen wurden Zwischenergebnisse in Tabellen physikalisch abgespeichert, was die Zugriffszeiten extrem verkürzte – so wird ein Aspekt des Datawarehouses in diesem Projekt umgesetzt. Die Speicherung erfolgt über Skripts in TSQL. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung befinden sich so bereits über 100 Views und fast 50 Tabellen in der DB.

Es wurde auch eine Programmbibliothek erstellt, mit Hilfe derer einzelne e-Bus Datenpunkte explizit ausgelesen werden. Die zugrundeliegende Technologie ist SOAP. So wird z.B. nach Auslesen der csv-Datei auch der Störspeicher ausgelesen. Dieser muss in einem eigenen Verfahren decodiert werden. Es können auch Punkte explizit gesetzt werden – SollwertEinstellung. Dadurch kann aktiv die Arbeitsweise einer Wärmepumpe beeinflusst werden. Einige Algorithmen zielen auf diese Möglichkeit ab, wie z.B. Bivalenzpunkt und Nachtabsenkung. Bei der Thematik, einzelne Datenpunkte zu lesen bzw. zu setzen, haben sich auch einige prinzipielle Schwierigkeiten ergeben.

AP5: Feldlabortests

Zu Projektende werden 17 Anlagen überwacht und ausgelesen. Prinzipiell sind 2 Verbindungsarten möglich: Über bestehende Internetleitung oder über Mobilfunkrouter. Bei Anlagen mit fester IP-Adresse kann diese direkt verwendet werden, bei dynamischer IP-Adresse wurde zuerst ein DNS-Name bei dyndns.org vergeben, was bei Mobilfunkroutern immer der Fall ist.

Die gespeicherten Daten werden zyklisch von der Anlage abgeholt und in die Datenbank geschrieben.

AP6: Betrachtung der wirtschaftlichen und energetischen Potentiale des Supervisionssystems

Es wurde eine Bewertungsstrategie ausgearbeitet. Die Gesamteinsparung ergibt sich als Summe über die Produkte der Einzelerparnisse, der Auftrittswahrscheinlichkeit und der Detektionswahrscheinlichkeit.

Der Gesamtnutzen der Supervision ist also:

$$\sum(\text{Ersparnis} * \text{Auftrittswahrscheinlichkeit} * \text{Detektionswahrscheinlichkeit}) \text{ jeweils eines Fehlers}$$

Ersparnis: Ein Einsparungspotential liegt demnach vor, wenn eine WP suboptimal arbeitet. Die Abweichungen müssen in Fälle kategorisiert werden, also der Grund der Suboptimalität – der Fehler – gekennzeichnet werden. Es sind diesbezüglich Tabellen erstellt worden. Zusätzlich kann jedem Fehler eine physikalische und ökonomische Einsparung zugeordnet werden – das kann auf einem theoretischen Modell beruhen oder gemessen werden. Einige Modelle wurden ausgearbeitet.

Auftrittswahrscheinlichkeiten: Basierend auf der Auswertung der Servicedatenbank der letzten 3 Jahre konnten die Häufigkeiten einiger Fehler ermittelt werden. Aus der Gesamtzahl der Maschinen und der Fehlerhäufigkeiten konnten die Wahrscheinlichkeiten geschätzt werden.

Detektionswahrscheinlichkeiten: Sie müssen geschätzt und als Szenarien dargestellt werden. In AP4 wurde darauf geachtet nicht nur Werte zu berechnen, sondern auch die Güte der Schätzung, soweit möglich, über Varianzen zu beschreiben und so Signifikanzniveaus festlegen zu können. Es kann so die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers 1. Art nach Fisher angegeben werden.

Es wurde eine Tabelle der Auftrittswahrscheinlichkeiten verfasst und einige Ersparnismodelle tabellarisch zusammengefasst. Häufigste Fehler und Behebungsmaßnahmen bei Reparatur- und Störungsbehebungsmaßnahmen (Servicetyp 2) sind:

Einsparungsschätzungen:

Fehlerart	Fehler tritt auf in % der Laufzeit einer WP	JAZ sinkt in %	durchschnittlicher Effekt
Leckage	5%	30%	1,50%

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Überhitzung/Expansionsventil	2%	10%	0,20%
Temperaturdifferenz Spreizung WN	5%	10%	0,50%
Sollwert Raumtemperatur	20%	10%	2,00%
Sollwert Warmwassertemperatur	20%	1%	0,20%
falsch eingestellte Heizkurve / Heiz-Kühlgrenze	10%	4%	0,40%
Anforderung E-Heizstab (Absenkbetrieb, Bivalenzp., Störungen,...)	3%	20%	0,60%
Über-/Unterdimensionierung Wärmepumpe/Effizienz	1%	30%	0,30%
Fouling	3%	20%	0,60%
Gesamt-JAZ-Verringerung durch nicht erkannte Fehler			6,14%

Es wird darauf hingewiesen, dass es noch weitere Fehler bei Wärmepumpen gibt, die mit dem Supervisionssystem detektiert werden können. Allerdings wurden diese als nicht quantifizierbar beurteilt. Somit ist das Einsparungspotenzial höher als in der Tabelle angegeben.

Umweltauswirkungen

Ziel ist es nun, die kumulierte Energie- und CO₂-Einsparung durch das Supervisionssystem und die Wirtschaftlichkeit aus Sicht des Konsumenten zu bewerten.

Das Marktpotenzial wird mit 900 Geräten pro Jahr in den ersten drei Jahren und danach mit 2.000 Geräten pro Jahr abgeschätzt. Die Aufteilung auf die drei Wärmequellen Luft, Erdreich und Wasser erfolgt nach der Marktstatistik. Die JAZ mit Supervisionssystem wurden den Mindestwerten für das EHPA-Gütesiegel entnommen (Seite 5). Der Jahresstromverbrauch pro Wärmepumpe wird mit kWh/a angesetzt, der CO₂-Ausstoß pro kWh Strom wird gemäß neuer OIB 6-Richtlinie mit 276 g/kWh angenommen. Als durchschnittlicher jährlicher Nutzenergiebedarf pro Wärmepumpe werden 10.000 kWh/a angesetzt.

	Einsparung in kWh/a	kumuliert		Einsparung in €/a	kumuliert		Einsparung in t CO ₂ /a	kumuliert
2018	175230	175230	2018	29789	29789	2018	48	48
2019	350461	525691	2019	59578	89367	2019	97	145
2020	525691	1051382	2020	89367	178735	2020	145	290
2021	700921	1752304	2021	119157	297892	2021	193	484
2022	876152	2628456	2022	148946	446837	2022	242	725
2023	1051382	3679838	2023	178735	625572	2023	290	1016
2024	1226613	4906450	2024	208524	834097	2024	339	1354
2025	1401843	6308293	2025	238313	1072410	2025	387	1741
2026	1577073	7885367	2026	268102	1340512	2026	435	2176
2027	1752304	9637670	2027	297892	1638404	2027	484	2660
2028	1927534	11565204	2028	327681	1966085	2028	532	3192
2029	2102764	13667969	2029	357470	2323555	2029	580	3772
2030	2277995	15945963	2030	387259	2710814	2030	629	4401
2031	2453225	18399189	2031	417048	3127862	2031	677	5078
2032	2628456	21027644	2032	446837	3574699	2032	725	5804
2033	2803686	23831330	2033	476627	4051326	2033	774	6577

Dazu ist zu bemerken, dass es sich dabei um das Potenzial bei Geräten von Ochsner handelt. Die marktweite Einführung solcher intelligenten Systeme hätte österreich- und erst recht europaweit natürlich noch viel höhere Einsparwerte zur Folge.

Wirtschaftlichkeit

Unter Zugrundelegung von Mehrkosten von € 325.- netto (inkl. Servicevertrag) ergibt sich, dass sich die Einmalkosten bei der Anschaffung der Wärmepumpe für den Kunden nach 10 bis 11 Jahren amortisieren, also deutlich innerhalb der zu erwartenden Lebensdauer der Wärmepumpe. Der Zinssatz, der für Konsumenten relevant ist, wurde mit 2% angesetzt, ebenso die jährliche Strompreissteigerung (ausgehend von € 0,17 netto).

Hinzu kommt noch, dass die Zuverlässigkeit der Wärmepumpe steigen wird und auch die Lebensdauer, womit auch weitere komforttechnische und wirtschaftliche Komponenten hinzutreten, die in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Bei der Marktanalyse zu Projektbeginn wurde festgestellt, dass bestehende Produkte Sensorwerte lediglich aufzeichnen, aber nicht bewerten, oder nur feststellen, ob eine Fehlermeldung vorliegt. Ein System, das Messwerte bewertet und so vorausschauend eingreift, konnte nicht gefunden werden.

Im Rahmen der Befragungen wurde festgestellt, dass den Endkunden in erster Linie die Sicherstellung des Komforts und niedrige Betriebskosten wichtig sind. Störungen und Komfortverlust verursachen beim Installateur hohe Kosten und schaden seinem Renomé. Der Installateur ist daher ebenfalls an einem störungsfreien Betrieb und der Möglichkeit Ausführungsfehler durch Betriebsoptimierung zu beheben interessiert. Grundsätzlich wurden alle Fehler im Wesentlichen als vermeidbar empfunden. Mehr als die Hälfte der Installateure konnten sich vorstellen, Dienstleistungen im Rahmen des Wärmepumpen-Supervisionssystems anzubieten. Die Anforderungen der Kunden und Installateure deckten sich also genau mit den Projektzielen.

Im Zuge der Auswertung von Kundendienstesätzen hat sich gezeigt, dass die häufigsten Ursachen für Störungen defekte Schutz-, Regelungs- und Überwachungsbauteile und nicht defekte Funktionsbauteile sind. Je mehr starre Überwachungssysteme mit fixen Grenzen, desto mehr Störungsfälle. Umso wichtiger ist ein dynamisches Überwachungssystem für möglichst wenig Kundendienstesätze. Die häufigsten Ursachen für eine Funktionsstörung des Kältekreis sind Leckagen, eine frühzeitige Erkennung senkt daher auch die unbeabsichtigte Freisetzung klimawirksamer Gase. Teile die direkt überwacht werden führen sofort zu einer Abschaltung und lösen in weiterer Folge eine Störung aus. Es ist daher anzunehmen, dass diese Defekte statistisch wesentlich häufiger erfasst wurden als nicht oder nur indirekt überwachte Bauteildefekte (Verschlammung, Verkalkung,...). Daraus resultiert das Erfordernis Anlagenparametern zur Bewertung nicht überwachter Bauteile zur berechnen. Mehr als 10%

der Störfälle könnten per Fernwartung gelöst werden. Wodurch ebenfalls ein Sekundäreffekt durch Einsparung von PKW-Verkehr und CO₂-Emissionen eintreten würde.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Supervisionstool geschaffen, welches die Wärmepumpendaten lokal aufzeichnet und speichert. Darüber hinaus können mit dem Tool alle Regelparameter aus der Ferne verändert und dadurch direkt in das System eingegriffen werden. Weiters wurde ein zentraler Datenbankserver entwickelt, welcher zyklisch die Daten von den Wärmepumpen im Feld abholt und abspeichert. Auf Basis dieser Daten werden nach der Steady-State Parameter Identification Methode zyklisch Kennzahlen gebildet anhand deren eine Änderung/Verschlechterung des Anlagenzustandes festgestellt werden kann. Die Veränderung der Kennzahlen wird mit einem Ampelsystem einfach und übersichtlich dargestellt.

Das Ziel einer automatischen Diagnose und Fehlererkennung konnte mangels klarer Abgrenzung der Symptome noch nicht realisiert werden. Zur Interpretation der Kennzahlen ist eine technische Fachkraft (Kundendiensttechniker) erforderlich, der aufgrund seiner Erfahrung und der Veränderung der Kennzahlen eine Diagnose stellt und Maßnahmen einleitet. Der Kostenaufwand für eine vorausschauende Analyse und Betriebsoptimierung wird jedoch durch das entwickelte System stark reduziert und damit z.B. im Rahmen eines Wartungsvertrages wirtschaftlich darstellbar.

Es wurden folgende Erkenntnisse aus dem Projekt gewonnen:

- 1) Die Erstellung der Datenbank hat sich als wesentlich aufwändiger herausgestellt, als in der Projektplanung angenommen wurde.
- 2) Folgende Herausforderungen sind zu bewältigen: Big Data, Redundanzen, hohe Aufzeichnungsintervalle.
- 3) Datenverbindungen über Mobilfunk scheinen aufgrund schlechter Verfügbarkeit und vieler Kommunikationsabbrüche als ungeeignet.
- 4) Es wurden klar die Grenzen des aktuellen Systemdesigns aufgezeigt, das Datenbanksystem muss teilweise neu konzipiert werden.
- 5) Die Datensicherheit der Verbindung ist mangelhaft und künftig zu optimieren
- 6) Der hohe Aufwand für Messungen von Referenzanlagen wurde unterschätzt. Messungen im Prüflabor sind erforderlich. Jede Type muss bei einer Vielzahl von Betriebspunkten gemessen werden und Referenzwerte ermittelt werden.
- 7) Es ist sehr schwer nachträglich Kunden für ein Monitoring-System zu gewinnen. Es wird immer eine Gegenleistung erwartet. Bei einem integrierten System ab Werk ließe sich das vermeiden.
- 8) Zu geringe Anzahl an Datenpunkten mit hoher Aufzeichnungsdichte → Erweiterung der Anzahl an „schnellen“ Datenpunkten. Auch schnelle Messgrößen aus Wärmequellen und Wärmenutzungsanlagen werden benötigt.
- 9) Es sind größere Anpassungen in der Kundendienstorganisation erforderlich, neue Zuständigkeiten müssen definiert werden.
Wer bedient die geschaffenen Tools? Kundendiensttechniker, Innendienst oder der Kunde selbst (durch Ampelsystem).

Wer diagnostiziert? Komplexität der Diagnostik sehr hoch → Zeit, Fachkraft, Zusammenhänge teilweise schwer zu automatisieren. Es gibt sehr viele ähnlich Zusammenhänge unterschiedlicher Probleme (Fehlerdeutung).

Die Inhalte und Ergebnisse des Projektes Intelligent Pump eröffnen die Möglichkeit, ein für die Praxis einsetzbares Überwachungssystem zu entwickeln. Basierend auf den bisher entwickelten Algorithmen sind noch weitere hinzuzuziehen, um einen kompletten Steuerungsstandard zu entwickeln. Dies wird Aufgabe der Firma OCHSNER sein und wurde damit bereits begonnen. Die Firma OCHSNER ist bestrebt, die entsprechenden Details, Softwareentwicklungen und Hardwareimplementierungen zeitnah umzusetzen, damit eine Marktreife vor anderen Wettbewerbern erreicht wird.

Zum breiten Einsatz sollen noch Kriterien für folgende Faktoren erarbeitet werden:

- Beurteilung Anlagendimensionierung
- Optimierung Bivalenz-Schaltpunkt bei Luft-/Wasser-Wärmepumpen
- Optimierung Einstellung Heizkurve

und anderes.

Aus den Projektergebnissen wurden folgende Ziele für die weiteren Tätigkeiten bei Ochsner definiert:

- 1) Ochsner will auf jeden Fall weiter Algorithmen implementieren und die Anzahl der angeschlossenen Anlagen erhöhen. Folgende Überwachungsalgorithmen sollen in Zukunft realisiert werden:
 - a. Operating Envelope des Verdichters
 - b. Überhitzung
 - c. Temperaturdifferenz Kondensator (Verdampfer)
 - d. Sollwert Raumtemperatur
 - e. Sollwert Warmwassertemperatur
 - f. falsch eingestellte Heizkurve / Heiz-Kühlgrenze
 - g. aktiv/passiv Kühlen
 - h. Anforderung E-Heizstab (Absenkbetrieb, Bivalenzpunkt, Störungen,...)
 - i. Über-/Unterdimensionierung Wärmepumpe
 - j. Unterdimensionierung Wärmequelle
 - k. Verhältnis Warmwasserbereitung/Heizbetrieb (h, kWh)
- 2) Near-Realtime Umsetzung oder Umsetzung am lokalen Wärmepumpenregler
Das System soll weiter Richtung Near-Realtime-Fähigkeit (Aktualität der Daten auf Server <1h) entwickelt werden. Entsprechend leistungsfähige IT-Komponenten und zuverlässige Internetkonnektivität bei den Endkunden sind erforderlich.
- 3) Entwicklung eines neuen Wärmepumpenreglers
Auf Basis der Erkenntnisse soll ein Lastenheft für die Entwicklung eines neuen Reglers entstehen.

- 4) Entwicklung neuer Geschäftsmodelle: Garantie von Jahresarbeitszahlen oder Energiepreisen, Energiecontracting
Frühzeitiges Erkennen von Abweichungen gegenüber prognostizierter Jahresarbeitszahl und setzen von Maßnahmen. Weiters dient das System als Nachweis, falls die Abweichung durch Kundenverhalten verursacht wurde.
- 5) Jahresarbeitszahlenvergleich/Wettbewerb mittels Internetplattform
Die Kunden können ihre Jahresarbeitszahlen anonym oder unter einem Pseudonym in Form eines Rankings ONLINE publizieren lassen. Der Kunde weiß dabei welchen Platz er im Ranking der besten Jahresarbeitszahlen belegt. Dadurch soll ein Anreiz entstehen, damit der Kunde aktiv an der Verbesserung seiner Jahresarbeitszahl arbeitet.
- 6) Integration von Smart-Grid-Funktionalität und kostenloser PV-Energie zur Effizienzsteigerung

Die Grundlagen wurden von der Ochsner F&E-Abteilung erarbeitet. Die weitere Fortführung des Projekts muss jedoch bei den Systemanwendern (Ochsner Kundendienst) stattfinden. Fakt ist jedoch, dass ein derartiges System gerade in der Anfangsphase einen hohen Personalaufwand für die Betreuung erfordert. Es wird viel Zeit in Anspruch nehmen bis ein zumindest teilweise autonom funktionierendes System, welches zumindest einfach zu erkennende Fehler selbstständig diagnostiziert und meldet, fehlerfrei funktionieren wird. Für komplexe Fehler wird nach wie vor die Erfahrung eines Kundendiensttechnikers erforderlich sein, um hier die richtige Diagnose zu stellen.

Um das System zu einer Marktreife zu bringen sind folgende technische Verbesserungen durchzuführen:

- 1) Schaffung einer stabilen und sicheren Internetverbindung mit hoher Verfügbarkeit
Dies ist möglich, wenn auf das WLAN des Endkunden zurückgegriffen werden kann. Dazu ist es jedoch erforderlich, dass das Supervisionstool mit einer WLAN-Schnittstelle ausgestattet wird und diese selbstständig eine Verbindung zum Ochsner-Server aufbaut. Durch den Verbindungsaufbau vom Client zum Server sind sämtliche Eingriffe in die Firewall des Endkunden hinfällig, und man kann von jedem beliebigen WLAN-Netzwerk, welches über eine Gateway-IP-Adresse eine Verbindung zum Internet bietet, eine Verbindung zum Server und dieser damit wieder zum Client aufbauen. Auch die Sicherheit wird durch o.g. System drastisch erhöht, da die Kundenanlage ausschließlich zum Ochsner-Server eine Verbindung aufbauen kann, und damit nur der Server auf den Client zugreifen kann. Durch die Nutzung von WLAN entfällt eine aufwändige Leitungsverlegung.
- 2) Optimierung der Datenbankorganisation
 - a. Zyklische Berechnung von Kennzahlen und Mittelwertbildung im Idle-Mode und Speicherung in der Datenbank
 - b. Automatische Datenkomprimierung
 - c. Entfernen von Redundanzen

- d. Braucht man wirklich 10 s Daten-Intervalle in der Datenbank?
- e. Wann können Rohdaten entfernt werden?
- f. Welche Werte sind langfristig zu speichern?

3) Dynamische Abtastintervalle der Kundenanlage

Bei „Events“ wie z.B. Start oder Umschaltvorgänge von Heizen in den Abtaubetrieb höhere Datendichte oder bei Problemanlagen. Derzeit werden keine Messwerte bei Anlagenstillstand erfasst wie z.B. Außentemperatur oder Druckangleichungen etc.

5 Ausblick und Empfehlungen

Das Projekt hat die Voraussetzungen geschaffen, als nächsten Schritt die ergänzenden Maßnahmen durchzuführen und die Umsetzung zu starten. Durch die Fülle der zu lösenden Teilaufgaben war dies innerhalb des Projektes nicht gedacht, aber auch nicht möglich. Das Projekt hat eindeutig gezeigt, dass das Ziel einer vorausschauenden Wartung und Fernoptimierung bis hin zur Betriebskostengarantie umsetzbar ist. Insbesondere für den zuletzt genannten Punkt ist jedoch noch eine Datenerfassung über mehrere Heizperioden notwendig.

Zur breiten Einführung sind außerdem noch zusätzliche Auswahlalgorithmen und entsprechende EDV-Hardware notwendig.

Dieses Projekt ist innerhalb der Abteilung Forschung & Entwicklung abgeschlossen, die nächsten Schritte werden in der Abteilung Services / Kundendienst / IT umgesetzt werden.

Die Projektergebnisse lassen sich auch auf andere Branchen, Energiesysteme und Anlagen übertragen welche mit einer ausreichenden Anzahl von Sensoren und Aktoren ausgestattet sind, dies können z.B. sein:

- 1) Brauchwasserwärmepumpen
- 2) Klimaanlage (auch günstigere Split-Geräte aus Fernost)
- 3) Photovoltaikanlagen
- 4) Solarthermieanlagen
- 5) Großanlagen im Gewerbe und Nichtwohngebäuden
- 6) Fernheizwerke und Übergabestationen
- 7) Biomasseheizungen
- 8) Wohnungsübergabestation
- 9) Industrie- und Prozesswärmeanlagen

6 Literaturverzeichnis

- European Heat Pump Association. (01. 02 2014). <http://www.ehpa.org>. Abgerufen am 22. 07 2015 von EHPA: http://www.ehpa.org/ehpa-quality-label/apply-for-the-label/?elD=dam_frontend_push&docID=642
- Marek, M. (Mai 2010). Feldmessungen neuer Wärmepumpen: Messergebnisse und Implikationen für den Neubau und den Gebäudebestand. 11. *Berliner Energietage*. Berlin.
- Zogg, D. (2002). *Fault Diagnosis for Heat Pump Systems*. Zürich: ETH Zürich.

7 Kontaktdaten

Projektleiter: DI Karl Ochsner

Institut/Unternehmen: OCHSNER Wärmepumpen GmbH

Kontaktadresse: Ochsner-Straße 1, 3350 Haag, Tel.+43 (0) 5 04245 – 110, Fax +43 (0) 5 04245 – 8110, e-mail: karl.ochsner@ochsner.at web: www.ochsner.at

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. Kooperationspartner:

- Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency