



# IoT for Heat Pumps

IEA HPT TCP Annex 56

**AP3 – Wärmepumpe in der Gebäudeautomation**

Aufbereitet von

Fachhochschule Burgenland GmbH  
(Helmut Plank, Christian Heschl, David Ziermann, Roman Stelzer)

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	2
2	Systemanalyse .....	2
2.1	Grundlagen Wärmepumpe .....	2
2.2	Wärmepumpe in der Gebäudeautomation .....	3
3	Parameteranalyse .....	4
3.1	Key performance indicators (KPIs) .....	4
3.1.1	Coefficient of performance (COP) .....	4
3.1.2	Seasonal performance factor (SPF) .....	5
3.1.3	Schaltzyklen .....	5
3.1.4	Elektrische Bereitschaftsverluste (Standby-Verluste) .....	6
3.1.5	Überwachung des Betriebszustandes .....	6
3.2	Charakterisierung von Messparametern und Datenpunkten .....	6
4	Sensor- und Datenpunktbezeichnung.....	8
4.1	Normative Rahmenbedingungen .....	8
4.2	Datenpunktbezeichnung im Energetikum (Beispiel).....	10
5	Feldstudie - intelligente Wärmepumpenintegration am Living Lab Energetikum .....	11
	Literatur .....	13

## 1 Einleitung

Dieser Bericht soll einen Einblick über die Rolle der Wärmepumpe als Teil der technischen Gebäudeausrüstung geben. Nach einer kurzen Erläuterung hinsichtlich der Funktionsweise einer Wärmepumpe wird näher auf die Bedeutung dieser im Gebäudesektor eingegangen. Danach werden die wesentlichen Parameter zur Bewertung einer Wärmepumpe erläutert. Ein weiterer Abschnitt widmet sich der Sensor- und Datenpunktsbezeichnung. In dem abschließenden Kapitel wird anhand des Living Lab Energetikums eine intelligente Einbindung einer Wärmepumpe in ein komplexes Gebäudeleittechniksystem exemplarisch dargestellt.

## 2 Systemanalyse

### 2.1 Grundlagen Wärmepumpe

Wärmepumpen sind technische Heizeinrichtungen, die ein Mehrfaches der aufgewendeten Energie in Nutzwärme abgeben. Als Wärmequellen dienen kostenlos vorhandene Umweltenergien (Luft, Erdreich, Wasser, Sonnenenergie) oder Prozessabwärme (Abluft, Abwasser, Kühlung). Pistohl (2009)

In der Abbildung 1 ist das Schema eines Wärmepumpenprozesses dargestellt. Die Funktionsweise einer Wärmepumpe beruht darauf, dass ein Arbeitsmedium (Kältemittel) der Reihe nach Verdampfer, Verdichter, Kondensator und ein Expansionsventil durchläuft.

Am Verdampfer wird das Kältemittel bei niedriger Temperatur verdampft (1-2). Durch mechanische Antriebsenergie wird der Arbeitsmitteldampf komprimiert. Durch die Erhöhung des Drucks wird die Temperatur auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben (2-3). An einem zweiten Wärmetauscher (Kondensator) wird die Wärme an ein Trägermedium ab (3-4). Das Kältemittel wird am Expansionsventil entspannt und kehrt mit niedrigem Druck und niedriger Temperatur wieder in den Verdampfer zurück (4-1), wo der Kreisprozess wieder von neuem beginnt. (Pistohl, 2009)

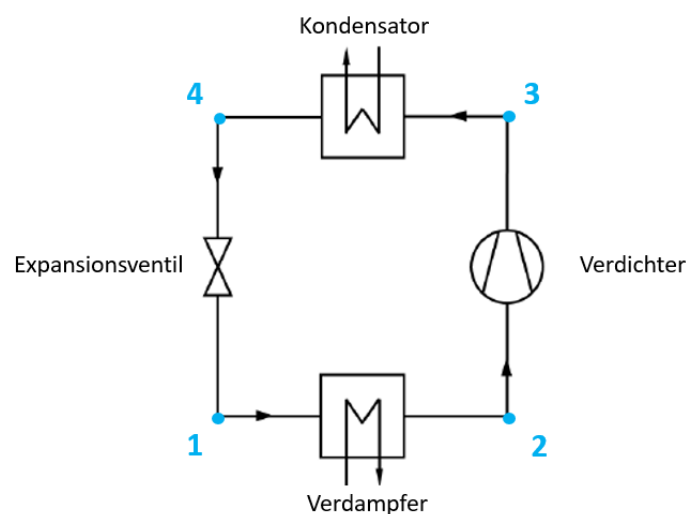


Abbildung 1: Schema eines Wärmepumpenprozesses

## Wärmepumpe in der Gebäudeautomation

Laut AMEV (2017) wird am häufigsten Außenluft als Wärmequelle genutzt, diese hat allerdings eine niedrige Energiedichte. Bei der Nutzung von Erdwärme wird mit Erdwärmesonden (in Bohrlöcher senkrecht zum Untergrund) oder Erdwärmekollektoren (horizontal in frostsicherer Tiefe) das natürliche Temperaturniveau im Untergrund genutzt. Grundwasser bietet ganzjährig gleichmäßige, relativ hohe Temperaturen. Es kann daher eine günstige Jahresarbeitszahl (siehe Kapitel 3.1.2) erreicht werden. Es ist jedoch für die Grundwassernutzung und das Herstellen von tiefen Bohrlöchern darauf zu achten, dass eine entsprechende Genehmigungspflicht benötigt wird.

### 2.2 Wärmepumpe in der Gebäudeautomation

Die Wärmepumpe spielt im Zusammenhang mit der Erzeugung von thermischer Energie in Form von Wärme in einem Gebäude eine wesentliche Rolle. Betrachtet man die Wärmepumpe und die dazugehörigen Technologien isoliert, so ist diese ausgereift sowie langzeit-erprobt. In der Abbildung 2 werden wesentlich (schwarz) und zusätzlich (grau) Messpunkte zur Evaluierung dargestellt. Neben den Temperaturen in den jeweiligen Kreisen sind auch die erzeugte Wärmemenge und die verbrauchte elektrische Energie wesentlich. Diese Parameter werden auch im nachfolgenden Kapitel (siehe Kapitel 3) näher betrachtet.

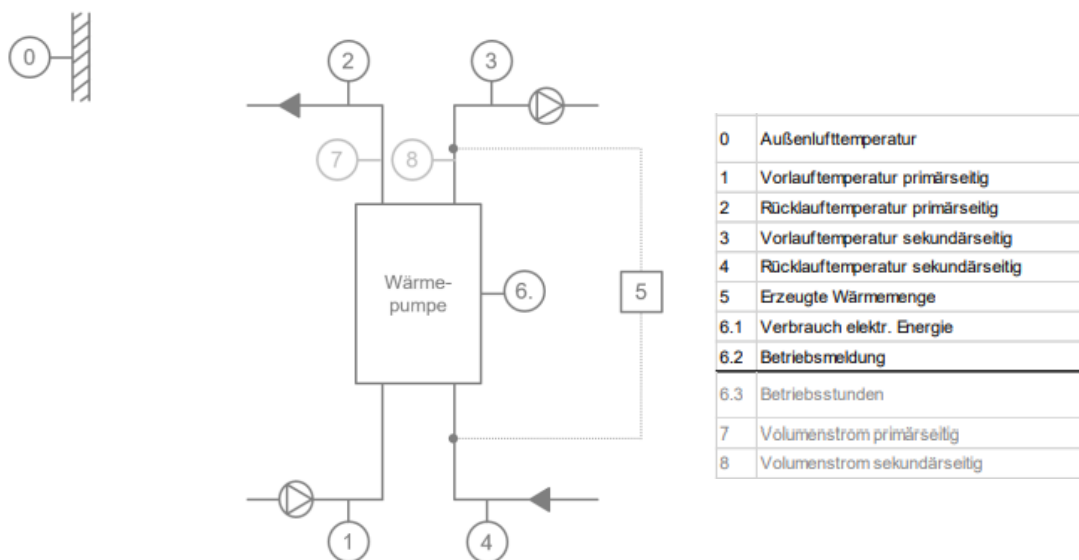


Abbildung 2: Schematische Darstellung (links) und Benennung (rechts) der Messpunkte zur Evaluierung einer Wärmepumpe (AMEV, 2020)

Jedoch ist darauf zu achten, dass die Wärmepumpe nur einen Teil der ganzheitlichen technischen Gebäudeausstattung darstellt. Dahingehend muss erwähnt werden, dass die Systemkombination aus mehreren Komponenten und Geräten sowie deren Einbindung in eine intelligente Gebäudeautomation komplex ist (siehe Abbildung 3) und nur in seltenen Fällen eine ideale Lösung darstellt.

Für den optimierten Betrieb der Wärmepumpe ist eine Berücksichtigung der Temperaturniveaus auf der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite von essenzieller Bedeutung. Damit wird das Prozessoptimum durch den theoretische Carnot-Prozess definiert. Die kombinierte Nutzung von Flexibilität im Gebäude ermöglicht beispielsweise eine auf den PV-Strom abgestimmte Nutzung der Wärmepumpe oder die Nutzung von günstigeren Außenlufttemperaturen aufgrund von Wettervorhersagen im Heiz- oder

Kühlbetrieb. Die Gewährleistung eines optimierten Wärmepumpenbetriebs erfordert technische Voraussetzungen, wie der korrekten Dimensionierung, der hydraulischen Integration und angepasster Abgabesysteme, welche mit niedrigen Temperaturniveaus ausreichend versorgt werden können. Eine auf den Einsatz abgestimmte Betriebsweise umfasst ebenso die Maximierung der Lebensdauer der Anlage, indem Mindestlaufzeit berücksichtigt werden und eine Taktung der Systeme vermieden wird. Durch diese unterschiedlichen Anforderungen ist ein optimaler Betrieb nur durch eine intelligente Automatisierung möglich. Die wesentlichen Parameter und Zusammenhängen können in Gleichungen formuliert werden. Damit kann mittels MPC oder DPC ein Optimum anhand der Zielfunktion bestimmt werden und die Betriebsweise dahingehend angepasst werden. Die Data-driven Predictive Control-Strategie (DPC) (Kapitel 5) vereint die Disziplin der Gebäudeoptimierung im Gebäude über den ganzheitlichen Ansatz und inkludiert neben dem optimierten Betrieb der Wärmepumpe auch die restlichen Anlagen des Gebäudes, wie die Lüftungsanlage, Speichersysteme, die PV-Anlage, als auch die konstruktiven Elemente der Bauphysik, welche die Speicherkapazitäten des Gebäudes betreffen. Gebäude verfügen aufgrund der vorhandenen Speichermassen über eine gewisse Trägheit, welche sich aufgrund von unterschiedlich eingesetzten Bauteiltypen wesentlich unterscheiden kann. Diese Trägheit beeinflusst ebenso den Einsatz von Systemen der Gebäudetechnik, welche somit einen wesentlichen Parameter der DPC-Strategie darstellt. Der Einfluss von großflächigen Glasfassaden wird über die implementierte Beschattungsstrategie des DPC geregelt, um den thermischen Komfort in den thermischen Zonen zu gewährleisten.

### 3 Parameteranalyse

#### 3.1 Key performance indicators (KPIs)

Key performance indicators (KPIs) oder auch Leistungskennzahlen stellen wesentliche Faktoren für die Bewertung einer Wärmepumpe dar. Im nachfolgenden werden die wichtigsten KPIs näher erläutert.

##### 3.1.1 Coefficient of performance (COP)

Der Coefficient of Performance (COP) oder Leistungszahl ( $\varepsilon$ ) ist das Verhältnis (Formel 1) von erzeugter Wärmeleistung ( $\dot{Q}_{WP}$ ) zur eingesetzten elektrischen Leistung inkl. Hilfsenergien ( $P_{el}$ ). Die Leistungszahl bezieht sich auf einen bestimmten Betriebszustand und ist abhängig von der Temperatur der Wärmequelle und der Temperatur des erforderlichen Heizwassers.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{WP}}{P_{el}} \quad \text{Formel 1}$$

$\varepsilon$  ...Leistungszahl

$\dot{Q}_{WP}$  ...abgegebene Wärmeleistung in kW

$P_{el}$  ...zugeführte elektrische Leistung in kW

## Wärmepumpe in der Gebäudeautomation

Für die Berechnung der Leistungszahl ist die Bestimmung der abgegebenen Wärmeleistung wesentlich. Hierzu ist gemäß Formel 2 vorzugehen, wobei die Parameter Massenstrom ( $\dot{m}$ ) sowie die spezifische Wärmekapazität ( $c_p$ ) des Mediums und die jeweiligen Ein- und Austrittstemperaturen ( $T_{ein}$ ;  $T_{aus}$ ) benötigt werden.

$$\dot{Q}_{WP} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{ein} - T_{aus}) \quad \text{Formel 2}$$

$\dot{m}$  ...Massenstrom des Mediums in kg/s

$c_p$  ...spezifische Wärmekapazität (isobar) in kJ/kg\*K

$T_{ein}$  ...Eintrittstemperatur in °C

$T_{aus}$  ...Austrittstemperatur in °C

Da Sensoren zur Messung des Massenstrom sehr kostspielig sind, werden in der Regel Sensoren zur Bestimmung des Volumenstroms ( $\dot{V}$ ), welche kostengünstiger sind, eingesetzt. Anschließend kann mittels der Dichte ( $\rho$ ) des Mediums auf den Massenstrom rückgerechnet (siehe Formel 3) werden.

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho \quad \text{Formel 3}$$

$\dot{V}$  ...Volumenstrom in m<sup>3</sup>/s

$\rho$  ...Dichte des Mediums in kg/m<sup>3</sup>

Außerdem wird für die Ermittlung der Leistungszahl die elektrische Leistungsaufnahme benötigt. Die Formel 4 beschreibt die erforderlichen Parameter.

$$P_{el} = U \cdot I \quad \text{Formel 4}$$

$U$  ...elektrische Spannung in V

$I$  ...elektrischer Strom in A

### 3.1.2 Seasonal performance factor (SPF)

Der Seasonal performance factor (SPF) oder Jahresarbeitszahl (JAZ,  $\beta$ ) ist die innerhalb eines Jahres von der Wärmepumpe abgegebene Wärme ( $W_{WP}$ ) im Verhältnis (siehe Formel 5) zur innerhalb eines Jahres zugeführten elektrischen Energie ( $W_{el}$ ).

$$\beta = \frac{W_{WP}}{W_{el}} \quad \text{Formel 5}$$

$\beta$  ...Jahresarbeitszahl

$W_{WP}$  ...abgegebene Wärmemenge der Wärmepumpe innerhalb eines Jahres in kWh

$W_{el}$  ...zugeführte elektrische Energie innerhalb eines Jahres in kWh

### 3.1.3 Schaltzyklen

Schaltzyklen, insbesondere zu viele und kurze, haben einen großen Einfluss auf die Effizienz einer Wärmepumpe. Während der Anlaufzeit des Wärmepumpenkompressors ist der Energieverbrauch viel höher als während des anschließenden Normalbetriebs. Daher könnten die Schaltzyklen als KPI verwendet werden, um Energieeffizienzverluste des Wärmepumpensystems zu erkennen.

### 3.1.4 Elektrische Bereitschaftsverluste (Standby-Verluste)

Um den Stromverbrauch von Wärmepumpen im Standby-Modus zu ermitteln, ist es notwendig, den Stromverbrauch des Wärmepumpensystems im Standby-Modus zu messen. Dieser KPI kann wiederum einen erheblichen Einfluss auf die Jahresarbeitszahl haben.

### 3.1.5 Überwachung des Betriebszustandes

Die Betriebszustandsüberwachung soll die gleichzeitige Nutzung der Betriebsarten von reversiblen Wärmepumpen überwachen. Die sinnvolle Auslegung der Betriebsart Heizen für definierte Heizfälle (z. B. im Winter) und Kühlen für Kühlanwendungen (z. B. im Sommer) muss je nach Anwendung individuell festgelegt werden.

## 3.2 Charakterisierung von Messparametern und Datenpunkten

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Parameter für eine laufende Analyse der Funktionsfähigkeit der Wärmepumpe sowie deren Effizienz ( $COP_{\text{momentan}}$ ,  $SPF_{\text{langzeit}}$ ) betrachtet.

Dabei wird für die folgenden Überlegungen zwischen Mindestanforderungen und optimalen Anforderungen an Mess- und Datenpunkte unterschieden:

- IoT Wärmepumpe ↔ Betreiber, Nutzer (Dienstleistungsunternehmen)
- IoT Wärmepumpe ↔ Hersteller

## Wärmepumpe in der Gebäudeautomation

Die nachfolgende Tabelle (siehe Tabelle 1) stellt eine Kategorisierung von Parameter einer Wärmepumpe nach Betreiber und Hersteller sowie nach Mindestanforderung und optimale Anforderung dar.

*Tabelle 1: Kategorisierung der Parameter nach Mindestanforderungen und optimalen Anforderungen sowie nach Betreiber und Hersteller*

<b>Parameter</b>	<b>Betreiber, Nutzer</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Mindest- anforderung</b>	<b>Optimale Anforderung</b>
Status Wärmepumpe (ein/aus)	X	X	X	
Modus Wärmepumpe (Heizen/Kühlen)	X	X	X	
Elektr. Energieverbrauch der Wärmepumpe in kWh	X	X	X	
Wärmemenge auf der Sekundärseite in kWh	X		X	
Thermische Leistung auf der Sekundärseite in kW		X	X	
Volumenstrom auf der Sekundärseite in m³/h	X	X	X	
Ein- und Austrittstemperatur auf der Sekundärseite in °C	X	X	X	
Status Pumpe (ein/aus) auf der Sekundärseite	X		X	
Status Ventil (Heizen/Kühlen) bei reversiblen Wärmepumpen	X			X
Elektr. Energieverbrauch des Rückkühlers bei reversiblen Wärmepumpen in kWh	X			X
Elektr. Energieverbrauch Pumpe für Rückkühlers bei reversiblen Wärmepumpen in kWh	X			X
Massenstrom auf der Primärseite in kg/s	X	X		X
Ein- und Austrittstemperaturen Kondensator in °C		X		X
Ein- und Austrittstemperaturen Verdampfer in °C		X		X
Druck am Kondensator und am Verdampfer		X		X
Betriebsstunden in h	X	X	X	
Schaltzyklen		X	X	
Standby-Verluste in kWh	X			X

## 4 Sensor- und Datenpunktbezeichnung

Im nachfolgenden wird auf die Sensor- bzw. Datenpunktbenennung näher eingegangen. Dahingehend wurde mittels Literatur- und Normenrecherche der aktuelle Stand der Technik festgehalten. Weiters wird beispielhaft die Sensor-/Datenpunktbenennung für das Living Lab Energetikum der Fachhochschule Burgenland dargestellt.

### 4.1 Normative Rahmenbedingungen

Das allgemeine Kennzeichnungssystem (AKS) dient zur eindeutigen örtlichen und funktionalen Kennzeichnung von planungs- und vor allem bewirtschaftungsrelevanten Teilen eines Bauwerks und der technischen Gebäudeausrüstung. Es ist somit zentrales Verbindungsglied der realen Anlagen einerseits mit den digitalen Daten der technischen Dokumentationen aus Planung und Errichtung und andererseits mit den Prozessdaten der Betriebsphase eines Gebäudes. Die AKS-Nummer ist so aufzubauen, dass die tatsächliche Wirkungsweise einer techn. Anlage mittels einer hierarchischen Struktur in einen alphanumerischen Code übersetzt wird. Zur Vergabe von AKS-Nummern werden somit Grundrisspläne, vor allem aber Gewerke-Anlagenschemas benötigt. Nur durch einen derartigen Aufbau können Wirkung und Ursache von Anlagensystemen und umgekehrt Ursache und Wirkung nachvollzogen werden. Das ist eine Grundvoraussetzung für outputorientiertes Facility Management. Um standardisierte und somit einheitliche Kennbuchstaben für Anlagen und Anlagenteile zu verwenden, wird zur AKS-Strukturierung die DIN 6779-12 „Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation“ zu Grunde gelegt.

„Um ein technisches System und die in den Phasen des Lebenswegs (z. B. Grundlagenermittlung, Planung, Bau, Betrieb und Entsorgung) anfallenden Informationen verwalten zu können, ist es erforderlich, das System in einzelne Betrachtungseinheiten (Objekte) zu unterteilen, d. h. zu strukturieren. Die Strukturierung erfolgt üblicherweise über mehrere Stufen vom Groben zum Feinen (top-down); eine Vorgehensweise vom Feinen zum Groben (bottom-up) ist ebenso anwendbar. Das Ergebnis der Strukturierung ist eine hierarchische Baumstruktur.“ (DIN 6779-12, 2011)

Das allgemeine Kennzeichnungssystem übernimmt die zentrale Aufgabe, eine eindeutige Verbindung zwischen allen bewirtschaftungsrelevanten Komponenten und Baugruppen mit den erforderlichen Dokumentationsunterlagen, den realen Anlagen, den Instandhaltungs- und Energiemanagement-, sowie allgemeinen Bewirtschaftungsprozessen und den Prozessfunktionen im CAFM-System herzustellen.

Eine klare Hilfe welche Bauelemente in der Technischen Gebäudeausrüstung unter diesen Kriterien fallen, geben die Richtlinien VDMA 24186 (Leistungsprogramm für die Wartung von technischen Anlagen und Ausrüstungen in Gebäuden), die AMEV-Wartung (Wartung, Inspektion und damit verbundene kleine Instandsetzungsarbeiten von technischen Anlagen und Einrichtungen in öffentlichen Gebäuden) sowie der Leitfaden Instandhaltung der RealFM.

Das allgemeine Kennzeichnungssystem basiert auf einer Orts- und Funktionsbezogenheit von Informationen. Mittels der ortsbezogenen Kennzeichnung ist im CAFM-System eine Lokalisierung einer gekennzeichneten Komponente möglich. Ferner ist es möglich, durch Anwendung von Reportfunktionen in z.B. CAFM-Systemen zu selektieren, welche

## Wärmepumpe in der Gebäudeautomation

Komponenten sich innerhalb eines Raumes, eines Geschosses bzw. einer Liegenschaft befinden.

Die funktionsbezogene Kennzeichnung wiederum ermöglicht das Erkennen von anlagenbezogenen, funktionalen Zusammenhängen, die für ein zielorientiertes Gebäudemanagement von ausschlaggebender Bedeutung sind, da die funktionsbezogene Kennzeichnung die Übersetzung des Anlagenaufbaus in einen normbezogenen, alphanumerischen AKS-Code darstellt. Durch die technisch richtige und vor allem rückverfolgbare, hierarchisch aufgebaute Struktur ist eine aussagekräftige Basis für ein effizientes Störfallmanagement, Instandhaltungsmanagement und Energiemanagement - als die wichtigsten Säulen des technischen Gebäudemanagements - gegeben.

Es ist zwingend erforderlich die AKS-Nummern von zentraler Stelle aus zu vergeben, um eine einheitliche, datenbankfähige Stammdatenaufbereitung zu gewährleisten. Man muss sich klar bewusst sein, dass das erstellte AKS-System die absolute Grundlage für sämtliche Prozesse der Technischen Betriebsführung darstellt. Dies bedeutet, je realer die Übersetzung der Funktionsweise einer Anlage in einem alphanumerischen AKS-Code gelingt, umso effizienter - über die gesamte Nutzungsdauer einer technischen Anlage - können die Prozesse der technischen Betriebsführung durchgeführt werden. Das AKS-System entscheidet somit wesentlich über die Möglichkeit zur Ergebnisorientierung im Technischen Facility Management.

## 4.2 Datenpunktbezeichnung im Energetikum (Beispiel)

Der Ansatz einer einheitlichen Sensorbeschriftung ist in Tabelle 2 zu finden.

*Tabelle 2: Methodik der Sensorbeschriftung des Living Lab Energetikum*

property	building	level	room number	discipline	equipment	assembly 1	assembly 2	sensor	code/ID	description
max. 20 characters	max. 20 characters	max. 3 characters	max. 4 characters	max. 5 characters	max. 5 characters	max. 5 characters	max. 5 characters	max. 5 characters	max. 10 characters	max. 50 characters

Dementsprechend ergibt sich folgende maximale Länge für das einheitliche Sensorkennzeichnungssystem. (ohne Beschreibung)

**abcabcabcabcabcabcab\_abcabcabcabcabcabcab\_123\_1234\_abcab\_12345\_12345\_12345\_12345\_1234567890**

Um eine bidirektionale Kommunikation zwischen dem digitalen Zwilling und einem anderen System zu gewährleisten, besteht der Code/ID aus 10 Zeichen/Zahlen und wird einmal im Gebäude verwendet. Die Beschreibung ist nicht in der Bezeichnung des einheitlichen Sensorkennzeichnungssystems enthalten und wird nur zur Vervollständigung und Ergänzung des Systems für eine bessere Rückverfolgbarkeit hinzugefügt.

Beispielhaft werden zwei Temperatursensoren (Zuluft und Heizung) und ein CO2-Sensor aus dem Living Lab Energetikum aufgeführt:

- Temperaturfühler der Zuluft im Raum 003 im Erdgeschoß des Living Lab Energetikum.  
FH Campus Pinkafeld\_ Energetikum \_00\_003\_vent\_001\_001\_001\_008\_1268047921
- Temperaturfühler in 1. Kreis der Fußbodenheizung im Raum 002 im Erdgeschoß des Living Lab Energetikum.  
FH Campus Pinkafeld\_ Energetikum \_00\_001\_heat\_001\_001\_002\_015\_5460231054
- CO2-Sensor zur Messung der CO2 Konzentration im Raum 003 im ersten Obergeschoß des Living Lab Energetikum.  
FH Campus Pinkafeld\_ Energetikum \_01\_003\_vent\_002\_002\_001\_012\_8547932054

Liste mit Datenpunkten der Wärmepumpe im Living Lab Energetikum (in Englisch):

- Status of HP 1: Compressor 1 (1...ON; 0...OFF)
- Status of HP 2: Compressor 2 (1...ON; 0...OFF)
- HP Mode (1...HEATING; 2...COOLING)
- Electric energy consumption HP, heating/cooling in kWh
- Thermal energy HP, on secondary side: heating/cooling in kWh
- Thermal power HP, on secondary side; heating/cooling in kW
- Volume flow, on secondary side in m<sup>3</sup>/h
- Inlet temperature HP, on secondary side in °C
- Outlet temperature HP, on secondary side in °C
- On/Off signal of the pump, on secondary side
- Valve Mode supply flow, on secondary side (1... COOLING; 0...HEATING)
- Valve Mode return flow, on secondary side (1... COOLING; 0...HEATING)
- Electric energy consumption of the recoler of HP in kWh
- Electric energy consumption of an additional pump for the recoler in kWh
- Electric energy consumption of the pump on the primary side of the HP in kWh
- Electric energy consumption of the pump on the secondary side of the HP in kWh
- Mean Temperature of Condenser and Evaporator
- Operation hours

## 5 Feldstudie - intelligente Wärmepumpenintegration am Living Lab Energetikum

Das Energetikum ist ein hoch technologisches Forschungsgebäude, welches eine Vielzahl an Sensormesswerten sowie Datenpunkten liefert. Hinsichtlich der Wärmebereitstellung wird primär auf die Nutzung einer reversiblen Wärmepumpe zurückgegriffen. Diese wurde sowohl hardware-seitig als auch software-seitig (siehe Abbildung 3) in die Infrastruktur des Gebäudes eingebunden. Die Gebäudeautomation im Living Lab Energetikum wurde mittels Integration einer DPC-Strategie und der Anbindung an verschiedene Systeme über API-Schnittstellen (z.B. Wettervorhersagen) erweitert und optimiert. Der DPC- Ansatz soll die Betriebskosten der Wärmepumpe minimieren und gleichzeitig den thermischen Komfort in jeder Wärmezone gewährleisten. Die Regelstrategie berücksichtigt unter anderem die Systeme der Verschattung, die reversible Wärmepumpe zum Heizen bzw. Kühlen, den Warmwasser- bzw. Kaltwasserspeicher sowie die Fußbodenheizungen bzw. flächennahe Kühlsysteme.

Die Cloud-basierte Datenerfassung vereint die Messdaten der gebäudetechnischen Anlagen. Zur Reduktion des Datenaufkommens werden nur Änderungen der Mess- oder Statusmeldungen mit Zeitstempeln (polling) aufgezeichnet. Nach Aufbereitung der Messdaten wurden über verschiedene Modelle Betriebskostenminimierungen durchgeführt. Die angewandten Modelle gliederten sich in Grey-Box-Modelle mit unterschiedlichen Dimensionen: von thermischen Zonen, der PV-Anlage und des Warm- und Kaltwasserspeichers. Für die Bildung der Modelle wurden verschiedene Daten und Informationen, wie beispielsweise den Historischen Messwerten des Living Lab Energetikums für die Parameteridentifikation und die Lastverteilungen oder auch Strompreisprofile (Bezug und Einspeisung) für den Einsatz von Objektfunktionen für die Kostenreduktion, verwendet.

## Wärmepumpe in der Gebäudeautomation

Nebenbedingungen, z.B. zur Gewährleistung des thermischen Komforts und von Temperaturbereichen der Wasserspeicher, wurden über lineare Ansätze definiert.

Die entworfene DPC-Strategie, visualisiert in Abbildung 3, wurde über MATLAB® im offenen Gebäudeautomationssystem des Living Lab Energetikums implementiert. Die Parameteridentifikation des angewandten Grey-Box-Modells erfolgt täglich um Mitternacht, die Optimierung wird jedoch stündlich für die folgenden 24 h berechnet, um Prognosefehler zu berücksichtigen. Aktuelle Messdaten des Gebäudes fließen in das Modell ein und für den gesamtheitlichen Ansatz werden beispielsweise Wettervorhersagedaten für die Vorhersage der Stromerzeugung der PV-Anlage über ein selbst entwickeltes fünf-Parameter-Modell der photovoltaischen Zelle genutzt.

Die Koeffizienten der Matrizen und Vektoren für die solverbasierte Optimierung werden mittels der definierten Parameter für die Grey-Box-Modelle, Zielfunktion und Nebenbedingungen und den prognostizierten Daten berechnet. Mit dem gewählten Solver (mixed-integer linear programming solver) wird die kostengünstigste Betriebsart der Wärmepumpe für die nächsten 24 h berechnet, dies erfolgt im Ansatz einer zentralen Optimierung. Die entsprechenden Regelgrößen werden an die Gebäudeautomation des Living Lab Energetikums zurückgespielt.

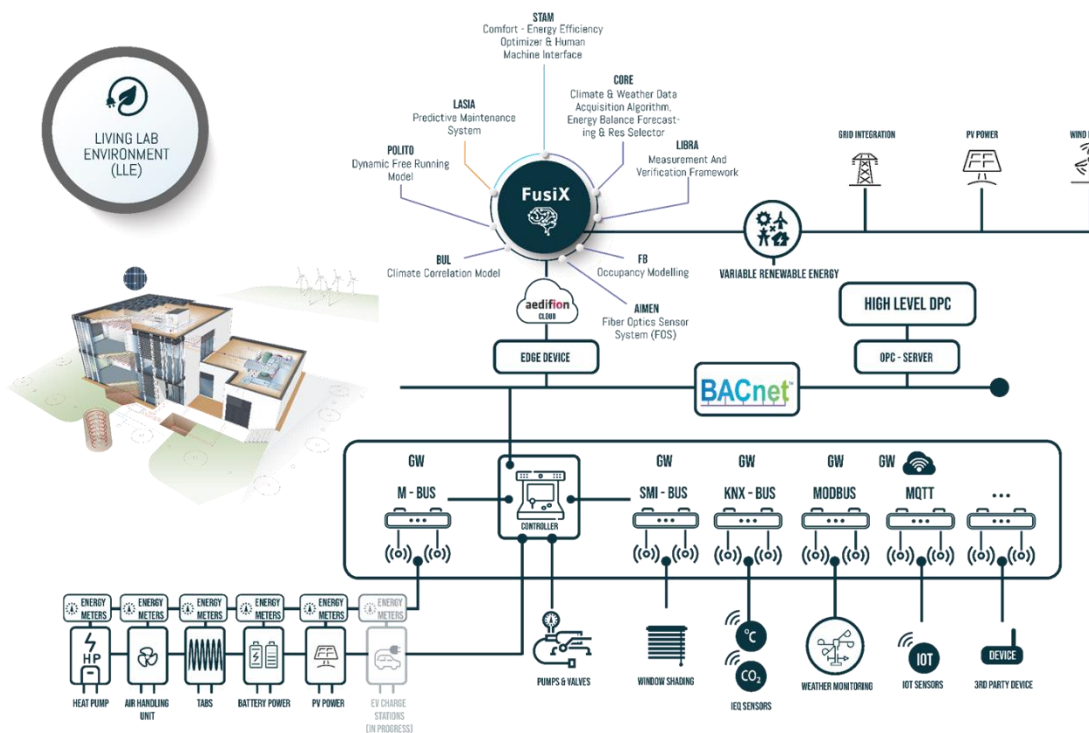


Abbildung 3: Datenmanagement-Architektur des intelligenten Energiemanagementsystems im Living Lab Energetikum (vgl. PRELUDE, Grant Agreement No. 958345)

Die Implementierung der gesamtheitlichen Regelstrategie mittels DPC zeigt Möglichkeiten auf solare Einträge jeder thermischen Zone über Beschattungseinstellungen an der Außenseite im Sommer zu reduzieren und im Winter zu erhöhen.

Die eingesetzte Strategie zeigt eine Reduzierung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs der thermischen Zonen und somit eine kostengünstige Betriebsweise der Wärmepumpe. Zukünftige Schwerpunkte werden auf die Reduzierung des numerischen Aufwandes des zentralen Optimierungsaufwandes mittels dezentraler Ansätze, unter der Prämisse von vergleichbaren Ergebnissen, gelegt werden.

## Literatur

AMEV (2017): „Hinweise zur Planung, Ausführung und Betrieb von Kälteanlagen und Kühlgeräten für öffentliche Gebäude“, aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Berlin, Deutschland, 2017

AMEV (2020): „Technisches Monitoring 2020 - Technisches Monitoring als Instrument zur Qualitätssicherung“, aufgestellt und herausgegeben vom Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), Berlin, Deutschland, 2020

DIN 6779-12 (2011): „Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation - Teil 12: Bauwerke und Technische Gebäudeausrüstung“, Norm des Deutschen Instituts für Normung e.V., Berlin, Deutschland, 2011

Pistohl W. (2009): „Handbuch der Gebäudetechnik – Heizung, Lüftung, Beleuchtung, Energiesparen“, Band 2, 7. Auflage, Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Köln, Deutschland, 2009