

IEA Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 56: Digitalisierung und Internet of Things für Wärmepumpen

V. Wilk, R. Jentsch, T. Barz,
H. Plank, G. Steindl, G. Music,
W. Kastner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

11/2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Dr. Veronika Wilk, Dipl.-Ing. Reinhard Jentsch, Dr. Tilman Barz (AIT Austrian Institute of
Technology GmbH)

Dipl.-Ing. Helmut Plank (FH Burgenland)

Dr. Gernot Steindl, Goran Music, Prof. Dr. Wolfgang Kastner (TU Wien)

Wien, 2023

IEA Wärmepumpentechnologien (HPT) Annex 56: Digitalisierung und Internet of Things für Wärmepumpen

Dr. Veronika Wilk, Dipl.-Ing. Reinhard Jentsch, Dr. Tilman Barz
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Dipl.-Ing. Helmut Plank
FH Burgenland

Dr. Gernot Steindl, Goran Music, Prof. Dr. Wolfgang Kastner
TU Wien

Wien, September 2023

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract	10
3	Ausgangslage	12
4	Projekthalt	14
	4.1. Internationales Projekt	14
	4.2. Aufgabenstellung und Ziele des österreichischen Konsortiums.....	15
	4.3. Vorgangsweise, Methoden und Daten	16
5	Ergebnisse	19
	5.1. Task 1: Stand der Technik	20
	5.1.1. Stand der Technik	20
	5.1.2. Zotero-Literatursammlung mit >100 Artikeln:	21
	5.1.3. Datensicherheit und Datenschutz	21
	5.1.4. Factsheets zu IoT-Anwendungsfällen und Projekten	22
	5.1.5. Österreichische Beispiele.....	25
	5.1.6. Marktüberblick, Umfrage und Interviews	28
	5.2. Einordnung von Task 2, Task 3 und Task 4.....	36
	5.3. Task 2: Schnittstellen	37
	5.3.1. Digitale Zwillinge.....	38
	5.3.2. Gebäudeautomatisierung.....	38
	5.3.3. Bereitstellen von Flexibilität	39
	5.3.4. Nachrüstung (Retrofit).....	40
	5.4. Task 3: Datenanalyse	40
	5.4.1. Einsatz von Datenmodellen, Metadaten und BIM	41
	5.4.2. Datenanalyse für IoT-Produkte und Services für Wärmepumpen	43
	5.5. Task 4: IoT-Geschäftsmodelle	46
	5.5.1. Überblick über involvierte Interessensgruppen	46
	5.5.2. Beispiele für Geschäftsmodelle	48
	5.5.3. Schlussfolgerungen.....	49
	5.6. Erkenntnisse für Österreich	50
	5.7. Publikationen	50
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	52
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	53

1 Kurzfassung

Ambitionierte Klima-, Energie- und Umweltziele erfordern den Übergang zu einem effizienten, erneuerbaren und CO₂-armen Energiesystem. Die Digitalisierung ist einer der wichtigsten Faktoren für den Umbau der Energiesysteme. Es wird erwartet, dass die Digitalisierung die Abstimmung von Angebot und Nachfrage bei zunehmender Volatilität der Energieerzeugung erleichtert und wesentlich zu Endenergieeinsparungen und CO₂-Reduktionen beiträgt. Laut der IEA-Studie *Net Zero by 2050*, die 2021 veröffentlicht wurde, kann die Digitalisierung und der Einsatz intelligenter Regler die CO₂-Emissionen im Gebäudesektor um 350 Mt bis 2050 senken. Wärmepumpen werden zunehmend zu vernetzten Geräten, die am Internet der Dinge (IoT) teilnehmen können. Solche Wärmepumpen, sowohl im Haushalt als auch in der Industrie, ermöglichen eine Optimierung des Betriebs, um den Energieverbrauch zu senken, die CO₂-Emissionen zu verringern, wirtschaftliche Vorteile zu erzielen und den Komfort zu erhöhen. Sie ermöglichen auch Netzdienstleistungen durch die gezielte Bereitstellung von Flexibilität, z.B. in einem Pool von kleinen Wärmepumpen oder mit Großwärmepumpen für Industrie- oder Fernwärmeanwendungen.

Das IEA HPT Annex 56 Projekt analysiert die Chancen und Herausforderungen von IoT-fähigen Wärmepumpen für den Einsatz in Gebäuden und für industrielle Anwendungen. Ziel des Projektes ist ein strukturierter Überblick zu IoT-fähigen Wärmepumpen und kommerziellen Produkten und Services. Die eingesetzten Methoden reichen von Literatur- und Marktrecherche, Umfragen und Interviews bis zur detaillierten Darstellung konkreter IoT-Anwendungen für Wärmepumpen, wie zum Beispiel ein Softsensor, der nur indirekt zugängliche Größen misst, ein Wärmepumpenmodell, das sich während der Funktionsprüfung am Prüfstand selbst kalibriert oder ein Informationsmodell einer Wärmepumpe, das neben dem physikalischen Modell auch Metadaten bereitstellt. Die präsentierten Daten und Informationen wurden im intensiven Austausch mit Expert:innen aus den teilnehmenden Ländern (Österreich, Dänemark, Frankreich, Deutschland, Norwegen, Schweden, Schweiz) erarbeitet.

Die Ergebnisse des Annex 56 geben einen guten Überblick über vernetzte Wärmepumpen. Es wurden 44 Anwendungsbeispiele in den teilnehmenden Ländern analysiert, die deutlich machen, dass IoT-fähige Wärmepumpen und darauf aufbauende Produkte bereits am Markt verfügbar sind. Die erfassten Anwendungsbeispiele lassen sich fünf Kategorien zuordnen: Betriebsoptimierung, Vorausschauende Wartung, Inbetriebnahme, Bereitstellung von Flexibilität und Wärme als Dienstleistung. Weiters wurden relevante Schnittstellen, Datenanalysemethoden und Geschäftsmodelle für IoT-fähige Wärmepumpen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Nutzung von IoT-Technologie und der damit einhergehenden Vernetzung, der Datenaustausch, die Analyse und die darauf aufbauenden Services ermöglicht bzw. signifikant verbessert werden können. Für die Nutzer:innen bedeutet das üblicherweise Betriebskosten- und Energieeinsparungen und erhöhte Betriebssicherheit. Für das Energiesystem ist vor allem die Bereitstellung von Flexibilität von großer Bedeutung, da so die schwankende Erzeugung erneuerbarer Energie besser genutzt werden kann. Austausch und Nutzung von Daten spielen dabei eine wesentliche Rolle.

Die Bedeutung der Digitalisierung für die Energiewende hat in den letzten Jahren weiter zugenommen. Intelligente, digitale Lösungen sind zunehmend gefragt, um verschiedene Flexibilitätsoptionen wie die strombasierte Wärmeerzeugung, den Einsatz von Speichern oder die Elektromobilität effizient zu nutzen und das Stromnetz sicher zu steuern. Daher werden vernetzte

Wärmepumpen im zukünftigen Energiesystem auch eine wichtige Rolle spielen. Aktuelle Bestrebungen des jüngsten EU-Aktionsplans zur Entwicklung eines nachhaltigen, cyber-sicheren und wettbewerbsfähigen Marktes für digitale Energiedienstleistungen und digitale Energieinfrastrukturen unterstreichen dies. Wichtige Handlungsfelder sind die Festlegung gemeinsamer Standards und die Verbesserung der Interoperabilität der Geräte im Energiesystem. Es soll ein gemeinsamer europäischer Energiedatenraum für den Austausch und die Nutzung von Energiedaten, sowie ein Verhaltenskodex für Interoperabilität geschaffen werden. IoT-fähige Wärmepumpen können zur Erreichung folgender energiepolitischer Ziele der EU beitragen: der verstärkten Teilnahme an Demand-Response-Programmen für energieeffiziente Geräte und der Erhöhung der Cybersicherheit und Resilienz des Energiesystems.

2 Abstract

Ambitious climate, energy and environmental goals require the transition to an efficient, renewable, and low-carbon energy system. Digitalization is one of the most important factors for the transformation of energy systems. Digitalization is expected to facilitate the matching of supply and demand in the face of increasing volatility of energy production and contribute significantly to final energy savings and CO₂ reductions. According to the IEA study *Net Zero by 2050*, which was published in 2021, digitalization and the use of smart controls can reduce CO₂ emissions in the building sector by 350 Mt by 2050. Heat pumps are increasingly becoming networked devices that can participate in the Internet of Things (IoT). Such heat pumps, both domestic and industrial, enable optimization of operation to reduce energy consumption, lower CO₂ emissions, achieve economic benefits and increase comfort. They also enable grid services through the targeted provision of flexibility, e.g., in a pool of small heat pumps or with large heat pumps for industrial or district heating applications.

The IEA HPT Annex 56 project analyses the opportunities and challenges of IoT-enabled heat pumps for use in buildings and industrial applications. The aim of the project is to provide a structured overview of IoT-enabled heat pumps and commercial products and services. The methods used range from literature and market research, surveys and interviews to the detailed presentation of concrete IoT applications for heat pumps, such as a soft sensor that measures only indirectly accessible variables, a heat pump model that calibrates itself during functional testing on the test bench, or an information model of a heat pump that provides metadata in addition to the physical model. The presented data and information were developed in an intensive exchange with experts from the participating countries (Austria, Denmark, France, Germany, Norway, Sweden, Switzerland).

The results of Annex 56 give a good overview of networked heat pumps. 44 application examples were analyzed in the participating countries, which clearly show that IoT-enabled heat pumps and products based on them are already available on the market. Five categories can be assigned to the application examples: Heat pump operation optimization, Predictive Maintenance, Heat pump operation commissioning, Provision of flexibility and Heat as a service. Furthermore, relevant interfaces, data analysis methods and business models for IoT-enabled heat pumps were analyzed. The results show that the use of IoT technology and connectivity can enable or significantly improve data exchange, analysis and the services based on it. For the users, this enables operating cost and energy savings and increased operational reliability. For the energy system, the provision of flexibility is of particular importance, as it allows for better integration of the fluctuating generation of renewable energy. The exchange and use of data play an essential role.

The importance of digitalization for the energy transition has continued to grow in recent years. Intelligent, digital solutions are increasingly in demand to efficiently use various flexibility options such as electricity-based heat generation, the use of storage or electromobility, and to securely control the electricity grid. Therefore, connected heat pumps will also play an important role in the future energy system. Current efforts of the latest EU action plan to develop a sustainable, cyber-secure and competitive market for digital energy services and digital energy infrastructures underline this. Important fields of action are the definition of common standards and the improvement of the interoperability of devices in the energy system. A common European energy data space for the

exchange and use of energy data, as well as a code of conduct for interoperability, are to be created. IoT-enabled heat pumps can contribute to the following EU energy policy objectives: increasing participation in demand response programs for energy-efficient appliances and increasing the cyber security and resilience of the energy system.

3 Ausgangslage

Die Einhaltung ambitionierter Klima-, Energie- & Umweltziele erfordert ein CO₂-armes, effizientes und erneuerbares Energiesystem. Die Digitalisierung wird als bedeutender Faktor in der Energiewende gesehen. Intelligente, digitale Lösungen sind zunehmend gefragt, um die verschiedenen Flexibilitätsoptionen, wie strombasierte Wärmeerzeugung, Einsatz von Speichern und Elektromobilität effizient einzusetzen sowie die Netze sicher zu steuern. Wärmepumpen sind eine vielfältig einsetzbare Technologie zur Raum- und Prozesswärmebereitstellung, zur Warmwasserbereitung sowie Kühlung von Gebäuden und Prozessen. Sie haben großes Potenzial, einen substanziellen Beitrag zur Dekarbonisierung zu leisten. Laut dem IEA-Bericht "Net Zero by 2050" müssen weltweit insgesamt 1800 Millionen Wärmepumpen in Gebäuden installiert werden, um mehr als die Hälfte des Heizbedarfs zu decken. Das ist eine Verzehnfachung gegenüber dem Stand von 2020 (IEA, 2021). Mit der fortschreitenden Digitalisierung werden Wärmepumpen zunehmend für eine intelligente Bedarfsdeckung ausgelegt und ermöglichen damit Betriebsinformationen in Echtzeit, flexible Stromnutzung, optimierte Lastprofile sowie ein optimiertes Zusammenspiel in Bezug auf Komfort und Betriebskosten. Wärmepumpen werden zu vernetzten Geräten, die am Internet der Dinge (IoT) teilnehmen. Sie werden mit Sensoren, Aktuatoren, Netzwerkkonnektivität und Software ausgestattet, um Daten zu sammeln und auszutauschen. Damit wird es möglich, den Wärmepumpen-Nutzer:innen den bestmöglichen Komfort zu bieten, den Energieverbrauch von Gebäuden und Prozessen weiter zu optimieren, um so einen wesentlichen Beitrag zur Dekarbonisierung der Wärme- und Kälteversorgung zu leisten.

IoT in Gebäuden: Laut einem von der IEA Arbeitsgruppe Digitalisierung & Energie veröffentlichten Bericht kann durch die Digitalisierung der Energieverbrauch in Gebäuden bis zum Jahr 2040 um 10% gesenkt werden. Die Effizienz soll insbesondere durch die Nutzung von Echtzeitdaten verbessert werden, wie z.B. durch die Integration von intelligenten Thermostaten, die den Heiz- und Kühlbedarf auf Basis des bisherigen Verhaltens der Nutzer:innen vorhersagen (IEA, 2017).

IoT in der Industrie: Im Gegensatz zum Gebäudebereich setzen Industrieunternehmen schon lange digitale Technologien zur Prozesssteuerung ein. Österreichs Industrieunternehmen investieren bis 2020 jährlich 4 Milliarden Euro in Industrie 4.0-Anwendungen (Busch et al, 2015). Industrial IoT (IIoT) Plattformen und Cloud Computing werden in der produzierenden Industrie zunehmend für die Online-Überwachung von Produktionsanlagen, das standortübergreifende Energiemanagement, die Steuerung und Überwachung von dezentral verteilten Maschinen und Anlagen sowie zur zentralen Erfassung und Auswertung verteilter Messstationen eingesetzt. Für industrielle Anwendungen sind Energieeinsparung und Kostenreduktion häufig an Produktivitätssteigerungen und Optimierung des Ressourceneinsatzes gekoppelt, welche durch fortschrittliche Lösungen (Supply Chain Management, Condition Monitoring, Softsensoren, Vorausschauende Wartung, etc.) erreicht werden. IoT-fähige Wärmepumpen lassen sich damit direkt an die Kommunikationsinfrastruktur der Industrie 4.0 Netzwerke anbinden und sind damit nicht nur für das Heizen und Kühlen in Gebäuden, sondern auch für industrielle Anwendungen und deren Dekarbonisierung relevant.

Gemäß dem JRC Report „Digitalisation: Opportunities for heating and cooling“ wird die Digitalisierung der Wärme- und Kälteversorgung neben Energieeinsparungen und den damit verbundenen Vorteilen (verringerte Energiekosten, saubere Umwelt) zu neuen Anwendungen und

Dienstleistungen und damit zu einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit führen. Damit sich die Technologien und Businessmodelle auch am Markt entsprechend durchsetzen, müssen jedoch noch die mit der Digitalisierung einhergehenden Risiken wie z.B. Datenschutz, Cybersicherheit, etc. durch neue Richtlinien und Gesetze reduziert werden. (Lyons, 2019)

IoT in Forschungs- und Entwicklungsprojekten: Die EU hat die Bedeutung von IoT frühzeitig erkannt und im Jahr 2007 den Europäischen Forschungscluster für das Internet of Things, IERC, mit dem Ziel gegründet, das große Potenzial von IoT in Europa zu nutzen und die Forschungsaktivitäten auf horizontaler Ebene zu koordinieren, um eine kritische Masse an Wissen zu generieren - einen Überblick bietet <http://www.internet-of-things-research.eu/>. So wurden von der EU in FP7 EUR 100 Millionen für IoT-F&E Projekte zur Verfügung gestellt. Einem Bericht der Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI) zufolge, der IoT-Applikationen in 17 EU-finanzierten F&E Projekten im Bereich des IoT zusammenfasst, behandelt ein Drittel dieser Projekte die Anwendungen Smart City, Smart Energy und Smart Buildings, und die damit verbundenen Geräte, wie beispielsweise Wärmepumpen (AIOTI, 2015) In den letzten acht bis zehn Jahren wurden so zahlreiche Hardware und Software-Lösungen, Plattformen, Services und IoT-Lösungen entwickelt. Zudem hat die Industrie eigene Produkte und Lösungen entwickelt und auf den Markt gebracht. Gemäß GrowthEnabler werden am globalen IoT-Markt im Jahr 2020 USD 457 Mrd. umgesetzt. Die für Wärmepumpen relevante Anwendung „Smart Cities“ hat mit 26% den größten Anteil, gefolgt von Industrial IoT mit 24%; der Anteil der intelligenten Gebäude liegt bei 14% (GrowthEnabler, 2017).

Auch Wärmepumpen- und Komponentenhersteller bieten seit einigen Jahren IoT-fähige Produkte an. Dazu zählen beispielsweise intelligente Ventile und Thermostate, Einbindung in eine Cloud zur Datenanalyse und Betriebsoptimierung, Smart Home Systeme mit Wärmepumpen oder Lösungen zur Steuerung und Überwachung von HLK-Systemen.

4 Projektinhalt

4.1. Internationales Projekt

Das IEA HPT Annex 56 Projekt analysiert die Chancen und Herausforderungen von IoT-fähigen Wärmepumpen für den Einsatz in Gebäuden und für industrielle Anwendungen. Ziel des Projektes ist ein strukturierter Überblick zu IoT-fähigen Wärmepumpen, der in den relevanten Zielgruppen, wie zum Beispiel Unternehmen, die Wärmepumpen oder Komponenten herstellen oder Wärmepumpen installieren, Verbände, Berater:innen, und politische Entscheidungsträger:innen, in den teilnehmenden Ländern verbreitet wird. Außerdem trägt das Projekt zu den strategischen Zielen des IEA Heat Pumping Technologies TCP bei, das in der aktuellen Strategie unter anderem einen Schwerpunkt auf Digitalisierung und Internet of Things setzt.

Das internationale IEA HPT Annex 56 wird vom AIT Austrian Institute of Technology GmbH geleitet, der Operating Agent ist Dr. Veronika Wilk. Es haben folgende Institutionen aus sieben europäischen Ländern teilgenommen (Tabelle 1):

Tabelle 1: Teilnehmende Länder und Institutionen

Land	Organisation
Dänemark	Danish Technological Institute (DTI), Technical University of Denmark (DTU), Energy Machines
Deutschland	Fraunhofer ISE, RWTH Aachen
Frankreich	EDF
Norwegen	SINTEF Energy, SINTEF Community
Österreich	AIT Austrian Institute of Technology, TU Wien - Institute of Computer Engineering Forschungsbereich Automation Systems, Fachhochschule Burgenland (FHB), Institut für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW)
Schweden	RISE Research Institute of Sweden, KTH Royal Institute of Technology
Schweiz	Hochschule Luzern

Der IEA HPT Annex 56 besteht aus fünf Tasks, Tabelle 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Tasks und deren Inhalte.

Tabelle 2: Übersicht über die Tasks und deren Inhalte

Task	Inhalte
Task 1 – Stand der Technik (Lead: KTH)	Dieser Task fasst den Stand der Technik zusammen und gibt einen Überblick über das industrielle Internet der Dinge (IIoT), Kommunikationstechnologien und Wissensverarbeitung in der Automatisierung. Außerdem wird ein Überblick über den Status der derzeit verfügbaren IoT-fähigen Wärmepumpen, Wärmepumpenkomponenten und zugehörigen Services in den teilnehmenden Ländern, sowie Informationen über Informationssicherheit und Datenschutz gegeben.
Task 2 – Schnittstellen (Lead: AIT)	Dieser Task identifiziert die Anforderungen für die Datenerfassung von neu gebauten und bereits bestehenden Wärmepumpensystemen und liefert Informationen zu Messgrößen, Protokollen und Plattformen für verschiedene Anwendungsfälle von Wärmepumpen in Gebäuden und industriellen Anwendungen.
Task 3 – Datenanalyse (Lead: Fraunhofer ISE)	Dieser Task gibt einen Überblick über die Datenanalyse anhand von Beispielen von IoT-Produkten und IoT-Dienstleistungen. Es werden verschiedene Ziele für die Datenanalyse abgeleitet und Datenanalysemethoden kategorisiert und bewertet, von der Visualisierung und manuellen Analyse bis hin zu Algorithmen des maschinellen Lernens. Der Bericht bietet Informationen zur Datenaufbereitung, zur Verwendung von Datenmodellen, Metadaten und BIM (Building Information Modeling).
Task 4 – IoT-Geschäftsmodelle (Lead: AIT)	Dieser Task analysiert die Marktchancen, die durch vernetzte Wärmepumpen entstehen, und stellt verschiedene Arten von IoT-Services und Geschäftsmodellen basierend auf Literatur- und Marktrecherche vor, einschließlich umfangreicher SWOT-Analysen (Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken).
Task 5 – Disseminierung (Lead: AIT)	Dieser Task zielt darauf ab, über die Ergebnisse zu berichten und die in diesem Annex aufbereiteten Informationen zu verbreiten, außerdem gibt es Interaktion und Wissensaustausch mit anderen Annexen oder Tasks in den IEA Technology Collaboration Programmes.

4.2. Aufgabenstellung und Ziele des österreichischen Konsortiums

Das österreichische Konsortium arbeitete bei allen Tasks mit, außerdem übernahm AIT neben der Leitung des internationalen Projektes auch die Leitung von drei Tasks (Schnittstellen, IoT-Geschäftsmodelle und Disseminierung). Das österreichische Konsortium nahm an den internationalen Expert:innen-Meetings und Workshops teil, um dort die Erkenntnisse aus Forschungsprojekten sowie die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Arbeiten einzubringen und um sich mit den internationalen Expert:innen über deren Forschungsaktivitäten auszutauschen. Tabelle 3 zeigt die spezifischen Ziele des österreichischen Projektes, sowie die Einbettung der Ergebnisse in das internationale Projekt.

Tabelle 3: Ziele des nationalen Projektes und Einbettung in das internationale Projekt

Ziele des nationalen Projektes	Beitrag zum internationalen Projekt in
Beschreibung des Stands der Technik	Task 1
Erhebung der Aktivitäten im Bereich IoT-fähiger Wärmepumpen in Österreich	Task 1
Überblick über die wichtigsten Sensoren, Messgrößen und Schnittstellen für IoT-fähige Wärmepumpen	Task 2
Anforderungen an Informationssicherheit	Task 1
Überblick über die wesentlichen Methoden zur Datenanalyse anhand von konkreten Beispielen aus der Praxis und aus Forschungsprojekten	Task 3
Beschreibung und Evaluierung von Anwendungen für IoT-fähige Wärmepumpen und darauf beruhenden Geschäftsmodellen	Task 4
Disseminierung: Sichtbarkeit der nationalen Wärmepumpenforschung, Präsentation auf Konferenzen, Knowhow-Transfer zu österreichischen Unternehmen	Task 5

4.3. Vorgangsweise, Methoden und Daten

Der Stand der Technik wurde anhand einer umfangreichen Literaturrecherche erhoben und beschreibt die Konzepte und Ziele des Internet of Things und von Industrie 4.0 (cyber-physical production systems), gibt einen Überblick über bestehende und aktuelle Standards und zukünftige Entwicklungen im Kommunikationsbereich und zur Informationsmodellierung für Automatisierung und beschreibt die dafür eingesetzten Modelle und Daten. Das österreichische Dokument zum Stand der Technik ist ein wesentlicher Teil des internationalen Task 1 Berichts.

Außerdem wurden Beispiel für IoT-Anwendungen im Zusammenhang mit Wärmepumpen erhoben. Dabei wurden sowohl kommerzielle Produkte als auch Forschungsprojekte berücksichtigt. Die Beispiele wurden in layoutierten zweiseitigen Factsheets kompakt zusammengefasst, die anhand eines Templates für Projekte und für Produkte erstellt wurden. Sie enthalten Informationen zu

- Beschreibung der eingesetzten Technologie (Hardware, Plattform, Protokolle)
- Erläuterung der Anwendung (Hintergrund und Nutzen, Erfahrungen)
- Infobox: Benötigte Daten, Analysemethoden, Anforderung an die Modellierung, Reifegrad, etc.

Die Erhebung der Beispiele erfolgte durch Recherche und Expert:innen-Gespräche, sowie auf der Basis von laufenden oder abgeschlossenen Forschungsprojekten. Die Factsheets wurden gemeinsam mit den Unternehmen und den Forschungseinrichtungen erstellt und zur Veröffentlichung

freigegeben. Die Beispielsuche gestaltete sich anfänglich schleppend, im letzten Projektjahr sind noch zahlreiche weitere Beispiele dazugekommen.

Die Beispiele wurden in weiterer Folge dazu verwendet, verallgemeinerte IoT-Kategorien zu beschreiben. Diese fünf Kategorien fassen ähnliche Anwendungen zusammen und werden in Task 2, 3 und 4 näher untersucht. Fragestellungen zu Schnittstellen, Datenanalyse und Geschäftsmodellen wurden anhand der verallgemeinerten IoT-Kategorien strukturierend und mit konkreten Beispielen beschrieben und verglichen. Die Methode, von konkreten Beispielen auszugehen, hat sich bewährt, weil damit die Analyse auf wärmepumpenspezifische Fragestellungen fokussiert wird und angrenzende Themen, wie die übergeordnete Regelung im Energiesystem ausgeklammert werden.

Ein wesentliches Element im internationalen Projekt war es, Ergebnisse aus Forschungsprojekten aufzubereiten und verfügbar zu machen. Neben den Factsheets für Task 1 sind österreichische Forschungsprojekte in Task 2, 3 und 4 beschrieben und diskutiert worden. Üblicherweise sind zu den Forschungsprojekten detailliertere Informationen verfügbar als zu kommerziellen Produkten, was von Vorteil war.

Ein Highlight des Projektes waren inhaltliche Deep Dive Sessions, die im Rahmen der internationalen Expert:innen-Meetings stattfinden. Dabei wurden verschiedene Aspekte zu vernetzten Wärmepumpen anhand von Vorträgen zu aktuellen nationalen Forschungsprojekten behandelt. Es wurden folgende Themen diskutiert, zu denen sowohl Forschungsprojekte der teilnehmenden Organisationen vorgestellt, als auch externe Expert:innen eingeladen wurden:

- Konnektivität und Feldmessungen
- Modellierung von Gebäudedaten (BIM, Building Information Modelling)
- Maschinelles Lernen und datengesteuerte Modellierung
- Hybride Modellierung: datengesteuerte Modelle und/oder physikalische Modelle
- Betriebsmodelle von Wärmepumpenkreisläufen
- Vernetzte Wärmepumpen in industriellen Anwendungen
- Wärme als Dienstleistung und Interaktion mit Nutzer:innen
- Hardware in the Loop (Verknüpfung von Labortests und Simulation)
- Sicherheitsaspekte für vernetzte Wärmepumpen
- Digitale Zwillinge

Forschungsarbeiten aller Teilnehmer:innen im österreichischen Konsortium wurden vorgestellt. Die Deep Dives ermöglichen einen tiefgehenden Austausch zu konkreten Fragenstellungen und trugen damit maßgeblich zur Vernetzung der internationalen Teilnehmer:innen und zum Wissensaustausch bei. Das Konzept der Deep Dives wurde mittlerweile auch von anderen Annexprojekten im Heat Pumping Technologies TCP aufgegriffen.

Zur Erhebung der Aktivitäten im Bereich IoT-fähiger Wärmepumpen in Österreich wurde eine Onlineumfrage durchgeführt. Die Umfrage basierte auf einem umfassenden Fragebogen, der von Expert:innen für Wärmepumpentechnologie und -anwendungen entworfen wurde. Die Unternehmen wurden vom österreichischen Wärmepumpenverband "Wärmepumpe Austria" (WPA) kontaktiert und um ihre Teilnahme an der Umfrage gebeten. Die Umfrage war erfolgreich und repräsentiert 53% der österreichischen Unternehmen, die Wärmepumpen herstellen. Die Unterstützung durch WPA war sehr positiv und hat zu dem hohen Rücklauf beigetragen. Die Umfrage

war mit ca. 50 Fragen sehr umfangreich. Zukünftige Umfragen sollten weniger Fragen beinhalten, um die Auswertung zu fokussieren.

Im österreichischen Projekt wurde außerdem ein Informationsmodell einer Wärmepumpe nach den Methoden des Knowledge Engineerings erstellt und eine Methode zur Verlinkung von Laufzeitdaten von Wärmepumpen mit kontextuellen Anlageninformationen erfolgreich entwickelt.

Des Weiteren wurden Laborversuche mit einer intelligenten Komponente für Wärmepumpen durchgeführt, um den Einsatz von Softsensoren zu erproben. Dazu wurden umfangreiche Messkampagnen durchgeführt, um die Datengrundlage für den Softsensor zu schaffen. Die praktischen Versuche haben die Herausforderung bei der Erstellung der Softsensoren verdeutlicht und damit wesentlich zum Erkenntnisgewinn beigetragen.

5 Ergebnisse

Tabelle 4 listet die Ergebnisse des internationalen Projektes auf und ordnet die Beiträge des österreichischen Konsortiums zu. Das österreichische Konsortium hat die Ergebnisse des Annex 56 maßgeblich mitgestaltet. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des internationalen Projektes in kompakter Form vorgestellt.

Tabelle 4: Übersicht über die Tasks und deren Inhalte

Task	Ergebnisse des internationalen Projektes	Beiträge des österreichischen Konsortiums
Task 1 – Stand der Technik (Lead: KTH)	Internationaler Task 1 Bericht: Stand der Technik, Literatursammlung, Datensicherheit und Datenschutz, Anwendungsbeispiele aus den teilnehmenden Ländern, Interviews, Herstellerumfrage, Marktbetrachtung 44 Factsheets für IoT-Produkte und Services auf der Annex Website	Kapitel 2: Stand der Technik (TU Wien) Kapitel 3: Datensicherheit und Datenschutz (ÖAW) Kapitel 5.1.1: Factsheets zu intelligenten Komponenten (AIT) Kapitel 5.1.2-5.18: Factsheets zu österreichischen IoT-Produkten und Services (AIT) Kapitel 7: Herstellerumfrage (AIT)
Task 2 – Schnittstellen (Lead: AIT)	Internationaler Task 2 Bericht: Diskussion der Architektur und Schnittstellen anhand von konkreten Beispielen	Konzept und Koordination des internationalen Task 2 Berichts (AIT) Kapitel 2.1: DIGIBatch (AIT) Kapitel 3.1: Energetikum (FHB)
Task 3 – Datenanalyse (Lead: Fraunhofer ISE)	Internationaler Task 3 Bericht: Informationen zur Datenaufbereitung, Datenmodellen, Metadaten und BIM, Strukturierung der Methoden zur Datenanalyse anhand von 16 Beispielen	Kapitel 4: Datenmodelle, Metadaten und BIM (TU Wien, AIT) Kapitel 5, 6 und 9: Informationen zur Datenanalyse zu Flex+ und EDCSproof (AIT)
Task 4 – IoT-Geschäftsmodelle (Lead: AIT)	Internationaler Task 4 Bericht: Beschreibung von bereits umgesetzten Geschäftsmodellen für IoT-Wärmepumpen, SWOT-Analyse für ausgewählte Anwendungsfälle	Konzept und Koordination des internationalen Task 4 Berichts (AIT) Recherche, Auswahl der Beispiele (davon 6 österreichische), Schlussfolgerungen (AIT)
Task 5 – Disseminierung und Berichtslegung	<u>Projektwebsite</u> Publikationen LinkedIn Posts	Betreuung der Annex Website (AIT) Publikationen bei Branchenveranstaltungen und wissenschaftlichen Konferenzen (AIT)

Task	Ergebnisse des internationalen Projektes	Beiträge des österreichischen Konsortiums
(Lead: AIT)	Vernetzung mit anderen Annexprojekten Erfolgreiche Durchführung des internationalen Projektes	Einbringen der Ergebnisse in die akademische Lehre (TU Wien, FHB, AIT) Inhaltliche Beiträge zu Deep Dive Sessions in den internationalen Meetings (AIT, FHB, TU Wien) LinkedIn Posts (AIT) Projektmanagement: Leitung des nationalen und internationalen Projektes, sowie Taskleads (AIT)

5.1. Task 1: Stand der Technik

5.1.1. Stand der Technik

Beitrag von Goran Music, Gernot Steindl und Wolfgang Kastner (TU Wien)

Ein wesentlicher österreichischer Beitrag ist eine ausführliche Einführung in das Internet of Things und Industrie 4.0 im internationalen Task 1 Bericht. Er gibt einen Überblick über Kommunikationstechnologien in der Automatisierung, beschreibt die verschiedenen industriellen Kommunikationsprotokolle und diskutiert Fragen zur Interoperabilität. Ein weiterer Schwerpunkt ist Knowledge Engineering, wie zum Beispiel Informationsmodellierung, Building Information Modelling (BIM), oder Automation ML.

In den letzten Jahren hat das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) die Art und Weise, wie Technologie genutzt wird, grundlegend verändert. Das Konzept, Geräte mit dem Internet zu verbinden und sie miteinander kommunizieren zu lassen, hat eine Vielzahl von Möglichkeiten in Bezug auf Effizienz, Komfort und Automatisierung gebracht.

Es gibt eine Reihe von Definitionen des IoT, die sich in ihrem Fokus und Detaillierungsgrad unterscheiden. In allen Fällen geht es jedoch um eindeutig identifizierbare, kontextbewusste Objekte, die in der Lage sind, mit anderen Objekten und Menschen zu kommunizieren und autonome Operationen durchzuführen, um ihren eigenen Zustand und den ihrer Umgebung zu verändern (Baras & Brito, 2018). Diese neuen hybriden Objekte, welche die physische Welt mit Kommunikationstechnik und Informationsverarbeitung kombinieren, werden als Cyber-Physical Systems (CPS) bezeichnet. CPS in Kombination mit präskriptiver und prädiktiver Analytik ermöglichen neben der Prozessoptimierung auch eine vorausschauende Wartung. Dazu muss jedes digitale Gerät in der Lage sein, seinen Echtzeitstatus (den "digitalen Schatten") an andere Geräte zu übermitteln, die dann auf der Grundlage der erhaltenen Informationen optimale Entscheidungen treffen können. Dadurch können Aufgaben priorisiert, synchronisiert und dynamisch rekonfiguriert werden, was den Bedarf an Qualitätskontrollen und Überwachung und damit die Kosten in der industriellen Fertigung erheblich reduziert (Willner, 2018). Ähnliche oder noch größere Fortschritte sind im Bereich der intelligenten Städte und Gebäude zu erwarten, da moderne urbane Gebiete für

etwa siebzig Prozent der weltweiten energiebezogenen Emissionen verantwortlich sind (Willner, 2018).

Das Spektrum des IoT und seiner Anwendung im industriellen Kontext (Industrial IoT) ist sehr breit und umfasst neben (semantischen) Web-Technologien und IP-basierten Protokollen auch Technologien zur semantischen Darstellung und zum Austausch von Daten und Informationen in automatisierungsnahen Bereichen. Entscheidend ist dabei die Fähigkeit, andere Technologien und bereits bestehende „Legacy“-Protokolle in eine nahtlose, kohärente und vernetzte Einheit zu integrieren. Es werden die Konzepte und Ziele des Industrial IoT und seiner Paradigmen und von cyber-physischen Produktionssystemen (Industrie 4.0) beschrieben. Dazu wird ein kompakter Überblick über traditionelle Standards und zukünftige Entwicklungen im Bereich der Kommunikation und Informationsmodellierung im Automatisierungsumfeld gegeben. Der Fokus liegt dabei auf funktionalen Modellen und Daten, da diese den größten Einfluss auf die Qualität der implementierten Systeme haben werden. Sie können daher als gemeinsamer Nenner für alle zugehörigen domänenspezifischen Darstellungen angesehen werden.

5.1.2. Zotero-Literatursammlung mit >100 Artikeln:

Im Rahmen des internationalen Projektes wurde eine Vielzahl von Literaturquellen in einer öffentlichen Zotero-Gruppe gesammelt, die unter diesem Link verfügbar ist:

<https://www.zotero.org/groups/4871439/annex56/library>

Diese Sammlung gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu IoT-Technologien für Wärmepumpensysteme. Die Ressourcen umfassen Literaturmaterial zu den verschiedenen Arten von IoT-Geräten und Sensoren, die in Wärmepumpensystemen eingesetzt werden, sowie zu den Vorteilen und Herausforderungen der IoT-Integration. Darüber hinaus enthält die Zotero-Bibliothek Abhandlungen und Artikel über die neueste Forschung zu IoT-fähigen Regelungsstrategien, Optimierungsalgorithmen und vorausschauender Wartung für Wärmepumpensysteme.

5.1.3. Datensicherheit und Datenschutz

Beitrag von Felix Schaber (ÖAW)

Datensicherheit und Datenschutz spielen bei der Entwicklung von IoT-fähigen Wärmepumpen eine wichtige Rolle. Es entstehen neue Anwendungen und Geschäftsmodelle, die auf IoT-fähigen Wärmepumpen basieren und sich auf die Datenverarbeitung konzentrieren. Die Bedeutung der Datensicherheit ist in diesem Bereich seit langem bekannt. Nutzer:innen sind in der Regel auf ihre Wärmepumpe angewiesen, um ihre Häuser zu heizen oder Produktionsprozesse am Laufen zu halten. Der lange technische Lebenszyklus von Wärmepumpen in Verbindung mit der kürzeren Lebensdauer elektronischer Geräte erfordert jedoch besondere Überlegungen. So kann es beispielsweise sein, dass technische Standards, die heute weit verbreitet sind, im Laufe des Lebenszyklus einer Wärmepumpe nicht mehr verfügbar sind. Die Welt der Unterhaltungselektronik und der Haustechnik hat sich in den letzten 20 Jahren stark gewandelt. Mit der Weiterentwicklung der technischen Standards wird es notwendig sein, sichere Updatemechanismen bereitzustellen, mit denen die Systeme schnell aktualisiert werden können und gleichzeitig für Nutzer:innen einfach zu bedienen bleiben. Dies beinhaltet z.B. auch die geplante Außerbetriebnahme der Serverinfrastruktur, damit die

Nutzer:innen über den gesamten Produktlebenszyklus die Kontrolle über ihre Wärmepumpensysteme behalten.

Die Nutzungsdaten von Wärmepumpen können auch Informationen über die Umgebung liefern, in der sie eingesetzt werden. Beispielsweise kann in Wohngebäuden aus dem Heizverhalten auf die Anwesenheit von Personen geschlossen werden. Der Schutz dieser Informationen ist besonders wichtig, da sie beispielsweise von Einbrecher:innen oder Stalker:innen leicht missbraucht werden können. Selbst wenn die Systeme Identifikatoren verwenden, die nur zur Identifizierung der Wärmepumpe dienen, ist es im privaten Bereich in der Regel möglich, auf die Nutzer:innen zu schließen. Datenschutz ist daher ein wichtiges Thema für diese Systeme. Datenschutz ist eine Eigenschaft des Gesamtsystems und nicht nur einzelner Komponenten. Daher ist eine enge Zusammenarbeit zwischen OEMs und Zulieferern notwendig, um einen effektiven Schutz der Privatsphäre der Nutzer:innen zu gewährleisten. Eine wichtige Strategie, um dieses Ziel zu erreichen, ist der Datenschutz durch Technikgestaltung und durch datenschutzfreundliche Voreinstellungen. Dabei wird der Datenschutz von Anfang an bei der Systemgestaltung berücksichtigt, und es werden die datenschutzfreundlichsten Voreinstellungen gewählt, ohne dass ein Eingreifen der Nutzer:innen erforderlich ist.

Datenschutz und Datensicherheit sollten nicht einmalig, sondern regelmäßig während der Projektlaufzeit evaluiert werden, um sicherzustellen, dass die Analyse auf dem neuesten Stand bleibt. Datenschutz und Datensicherheit sind nicht nur technische Verfahren, sondern eine Eigenschaft des Gesamtsystems. Sie umfassen sowohl organisatorische als auch technische Maßnahmen. Daher müssen auch externe Lieferanten, Software von Drittanbietern sowie interne Verfahren, die zur Datenverarbeitung eingesetzt werden, berücksichtigt werden. Nur wenn der gesamte Lebenszyklus des Systems berücksichtigt wird, kann Datenschutz durch Technikgestaltung erreicht werden.

Im internationalen Task 1 Bericht werden Datenschutz und Datensicherheit ausführlich diskutiert. Außerdem gibt es eine Sammlung von Wärmepumpen-spezifischen Fragen und Antworten für Hersteller von IoT-fähigen Wärmepumpen.

5.1.4. Factsheets zu IoT-Anwendungsfällen und Projekten

Task 1 enthält eine Sammlung spezifischer IoT-Anwendungsfälle, die das Design, Entwicklung und Implementierung von IoT-Lösungen für Wärmepumpensysteme betreffen. Diese Anwendungsfälle wurden im Rahmen der nationalen Projekte gesammelt. Sie umfassen sowohl auf dem Markt verfügbare IoT-Produkte und -Services im Zusammenhang mit Wärmepumpen als auch laufende, geplante oder kürzlich abgeschlossene Forschungsprojekte in diesem Bereich.

Für jeden Anwendungsfall sind alle Informationen in einem Factsheet zusammengefasst, welche auf der [Projektwebsite](#) verfügbar sind. Außerdem wurde eine Systematik erarbeitet, um die Informationen aus den Anwendungsfällen zu strukturieren und zusammenzufassen. Ziel ist eine konsistente Beschreibung aller wichtigen Aspekte, von den Beteiligten über den Zweck des Anwendungsfalls, Anforderungen an Daten und Konnektivität bis zu technologischer Reife. Die Systematik wird in Abbildung 5-1 dargestellt.

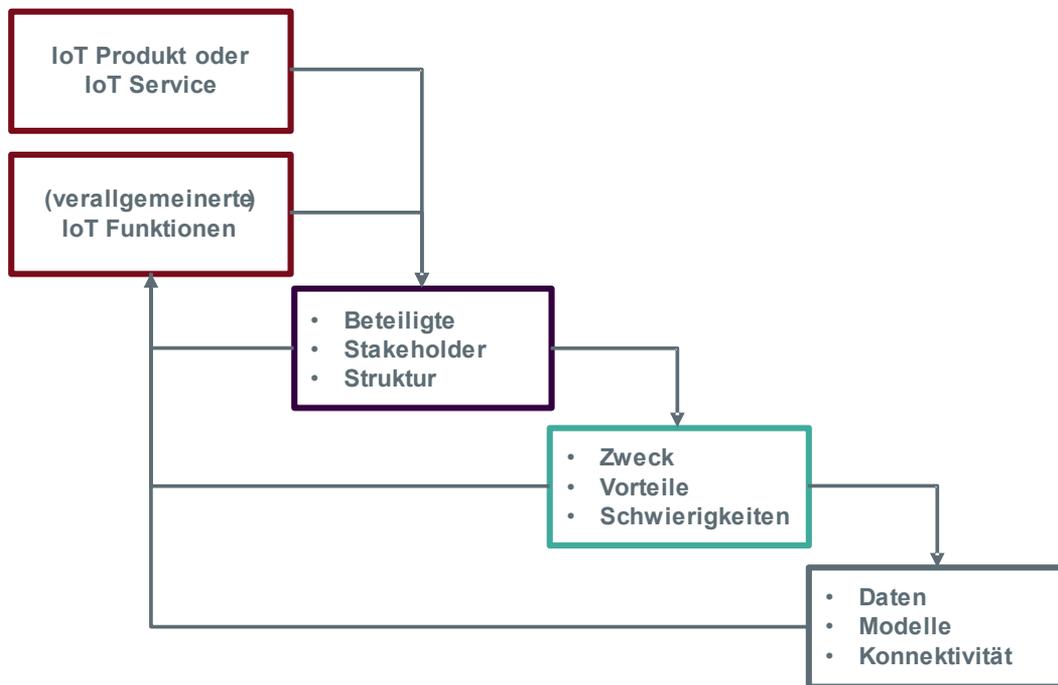


Abbildung 5-1: Systematik zur Strukturierung und Beschreibung von Anwendungsfällen für IoT-fähige Wärmepumpenprodukte und -services

So lassen sich gemeinsame Muster unter den Anwendungsfällen finden, die zur Beschreibung der folgenden IoT-Hauptkategorien führen: Optimierung des Wärmepumpenbetriebs, vorausschauende Wartung, Bereitstellung von Flexibilität, Inbetriebnahme und Wärme als Dienstleistung. Ein Anwendungsfall kann in mehr als eine IoT-Kategorie fallen. Die fünf Kategorien sind nachfolgend beschrieben.

Optimierung des Wärmepumpenbetriebs

Die Optimierung des Wärmepumpenbetriebs ist entscheidend für die Erhöhung der Energieeffizienz und die Senkung der Energiekosten. IoT-Technologien können zur kontinuierlichen Überwachung und Analyse der Wärmepumpenleistung eingesetzt werden und ermöglichen so eine Optimierung und Anpassung der Betriebsparameter in Echtzeit. Durch die Optimierung des Wärmepumpenbetriebs können Gebäudeeigentümer:innen und -betreiber:innen den Energieverbrauch senken und die Systemleistung verbessern, was zu Kosteneinsparungen und Umweltvorteilen führt.

Vorausschauende Wartung

Vorausschauende Wartung ist ein wesentlicher Aspekt, um die Langlebigkeit und Zuverlässigkeit von Wärmepumpensystemen zu gewährleisten. IoT-fähige Sensoren können die Systemleistung kontinuierlich überwachen und Echtzeitdaten zum Systemzustand liefern. Durch die Analyse dieser Daten können Algorithmen für die vorausschauende Wartung potenzielle Probleme erkennen, bevor sie kritisch werden, so dass rechtzeitige und kosteneffiziente Wartungseingriffe möglich sind. Durch die Implementierung von Strategien zur vorausschauenden Wartung können Gebäudeeigentümer:innen und -betreiber:innen Ausfallzeiten reduzieren, die Lebensdauer von Wärmepumpensystemen verlängern und die Wartungskosten optimieren.

Bereitstellung von Flexibilität

Flexibilitätsbereitstellung bezieht sich auf die Fähigkeit von Wärmepumpensystemen, flexible Energiedienstleistungen für das Netz bereitzustellen. Durch die Integration von IoT-Technologien können Wärmepumpensysteme so konfiguriert werden, dass sie dem Netz maximale Flexibilität bieten. Dies kann die Anpassung des Zeitpunkts und der Höhe der Wärmeerzeugung an die Netznachfrage sowie die Bereitstellung von Hilfsdiensten wie der Frequenzregelung umfassen. Durch die Bereitstellung von Flexibilität für das Netz können Wärmepumpensysteme dazu beitragen, das Stromsystem zu stabilisieren, die Energiekosten zu senken und die Integration erneuerbarer Energiequellen zu erleichtern.

Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme ist ein entscheidender Schritt, der den sicheren und effektiven Betrieb von Wärmepumpensystemen beeinflusst. IoT-Technologien können zur Strukturierung des Inbetriebnahmeprozesses eingesetzt werden und ermöglichen eine schnellere und genauere Einrichtung des Systems. Durch den Einsatz von IoT-fähigen Inbetriebnahme-Tools können Gebäudeeigentümer:innen und -betreiber:innen sicherstellen, dass Wärmepumpensysteme von Anfang an für einen optimalen Betrieb konfiguriert sind, wodurch der Energieverbrauch minimiert und die Systemleistung optimiert wird.

Wärme als Dienstleistung

Wärme als Dienstleistung ist ein aufkommendes Geschäftsmodell, das Kund:innen Wärmepumpensysteme als Dienstleistung und nicht als Produkt anbietet. Dieses Modell kann dazu beitragen, einige der Hindernisse zu überwinden, die der Einführung von Wärmepumpen im Wege stehen, wie z.B. hohe initiale Kosten und technische Komplexität. Durch den Einsatz von IoT-Technologien können Dienstleistungsunternehmen die Wärmepumpen aus der Ferne überwachen und optimieren und so sicherstellen, dass Kund:innen hochwertige, zuverlässige und kostengünstige Heizungsdienstleistungen erhalten. Wärme als Dienstleistung kann dazu beitragen, die Verbreitung von Wärmepumpensystemen zu beschleunigen.

Insgesamt wurden 44 Anwendungsfälle gesammelt, davon 19 Produkte und Services und 25 Forschungsprojekte. Die meisten Anwendungsfälle wurden vom dänischen Team geliefert (23 Beispiele), gefolgt von Österreich (10 Beispiele).



Abbildung 5-2: Verteilung der Anwendungsbeispiele auf die teilnehmenden Länder des Annex

Auf der [Projektwebsite](#) können die Anwendungsbeispiele nach IoT-Kategorie, nach Ländern und nach Reifegrad (Forschungsprojekt oder Produkt) sortiert werden. Sie stehen als PDF-Dateien zum Download zur Verfügung.

5.1.5. Österreichische Beispiele

Beitrag von Veronika Wilk, Reinhard Jentsch, Regina Hemm, Philipp Ortmann, Bernd Windholz, Christoph Reichl (AIT)

Intelligente Wärmepumpenkomponenten

Im Rahmen des nationalen österreichischen Forschungsprojekts wurden nicht nur Projekte und Anwendungsfälle zu IoT-Wärmepumpen analysiert, sondern auch intelligente Wärmepumpenkomponenten, die dem Wärmepumpensystem eine weitere Interaktionsebene hinzufügen.

Beispiele für intelligente Wärmepumpenkomponenten sind Kompressoren, Expansionsventile und Schutzvorrichtungen. Zu folgenden Komponenten wurden Factsheets erstellt (es handelt sich dabei nicht um österreichische Produkte):

- Bitzer: Hersteller von Verdichtern, die mit Konnektivität, Cloudanbindung und Datenanalyseoptionen ausgestattet sind und in Wärmepumpen eingesetzt werden
- Bereva: Hersteller von intelligenten Expansionsventilen, mit denen HLK-Systeme nachgerüstet werden können und die zur Regelung der Überhitzung nach dem Verdampfer dienen
- KRIWAN: Hersteller von Schutzvorrichtungen für Wärmepumpen und Kühlaggregate, wie z.B. die Überwachung von Kältemittel- und Ölständen, Überwachung von Ölpumpen, Motoren und Kompressoren

Produkte und Services für IoT-fähige Wärmepumpen:

Energie Burgenland Wärmepumpe Neusiedl am See:

In Neusiedl am See wurde ein Fernwärmenetz mit einem Biomassekessel durch eine direkte Leitung zum nahegelegenen Windpark, einen Batteriespeicher und vier Wärmepumpen erweitert. Zwei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit je 600 kW Heizleistung nutzen die Umgebungsluft als Wärmequelle, zwei Wasser-Wasser-Wärmepumpen gewinnen Wärme aus der Rauchgaskondensation zurück. Dabei wird überschüssiger Strom für Heizzwecke genutzt und ermöglicht eine erhebliche Reduzierung des Biomasse- und Erdgasverbrauchs sowie der CO₂-Emissionen. Die IoT-Komponente dieses Beispiels besteht in der Bereitstellung von Flexibilität mit Wärmepumpen.

myIDM +energy - iDM Energiesysteme

iDM Energiesysteme ist ein innovatives österreichisches Unternehmen mit Sitz in Osttirol, das Wärmepumpen herstellt. Ihr Produkt "myIDM +energy" zielt darauf ab, Strom vorzugsweise dann zu verbrauchen, wenn die Strompreise niedrig sind. Die Anwendung zielt hauptsächlich auf private Nutzer:innen ab. Das Wärmepumpensystem kann den Heizungspuffer, den Warmwasserspeicher sowie thermische Gebäudemassen als Energiespeicher nutzen, um den Stromverbrauch zeitlich zu verschieben. Um den Stromverbrauch für die Raumheizung zu optimieren, werden die Sollwerte für

die Raumtemperatur angepasst. Außerdem kann die Warmwasserbereitung um eine bestimmte Zeitspanne verschoben werden, die manuell gewählt werden kann. In Kombination mit einer Photovoltaikanlage kann die Wärmepumpe die überschüssige Energie für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung nutzen, um den Eigenverbrauch des Haushalts zu erhöhen.

KNV S Serie - KNV / NIBE

KNV ist ein österreichisches Unternehmen, das Wärmepumpen herstellt und 2008 mit der NIBE AB aus Schweden fusionierte. Die Wärmepumpen von KNV/NIBE sind seit 2012 mit dem Internet verbunden. Die neue Generation von Wärmepumpen, die "S-Serie", und myUplink ermöglichen einen schnellen Überblick über den Status der Wärmepumpe über das Internet. Wenn eine Störung auftritt, werden die Nutzer:innen direkt per Push-Notiz und E-Mail benachrichtigt. Die automatische Protokollierung von Wärmepumpenparametern ermöglicht umfassende Kontrolle über die Wärmepumpe, und mit Hilfe der Fernüberwachung und -steuerung kann der Betrieb der Wärmepumpe optimiert und mögliche Störungen erkannt oder verhindert werden. Darüber hinaus sind in Verbindung mit myUplink intelligente Funktionen wie "Intelligente Preisanpassung" und "Wettervorhersage" möglich, was Betriebskosten spart und die Systemeffizienz im Heiz- und Kühlbetrieb erhöht.

Forschungsprojekte zu IoT-fähigen Wärmepumpen

DIGIBatch

Das Forschungsprojekt DIGIBatch optimiert Batch-Prozesse mithilfe digitaler Zwillinge. Ein Schwerpunkt ist das Testen von Wärmepumpen auf einem Prüfstand. Bei Wärmepumpentests müssen bestimmte Betriebspunkte erreicht werden, was unter Umständen aufgrund von Ein- und Ausschaltvorgängen und der Temperaturabhängigkeit der Wärmepumpenleistung nur iterativ erfolgen kann. Während dem Betrieb der Wärmepumpe auf dem Prüfstand wurde ein digitaler Zwilling erstellt, der simulierte Temperaturen liefert, wodurch der Bedarf an iterativen Prozessen reduziert wird. Zunächst wurde ein physikalisches Modell der Wärmepumpe in Modelica entwickelt und auf die geringstmögliche Anzahl von Parametern vereinfacht. Mit einer adaptiven Auswahlmethode wurde für jeden Betriebspunkt eine Teilmenge von Parametern ausgewählt, die in das Vorhersagemodell integriert werden. Der digitale Zwilling ist als Functional Mock-up Unit (FMU) in eine Cloud-Anwendung integriert, was die Integration mit dem SCADA-System des Prüfstands erleichtert. Die Ergebnisse zeigen die Wirksamkeit der adaptiven Parameterauswahlmethode. Die korrekten Temperaturen für virtuelle Betriebspunkte können ausgehend von nur zwei vorgegebenen Betriebspunkten vorhergesagt werden, was das Testverfahren beschleunigt, und Zeit und Energie spart. Darüber hinaus erhält man während der Tests ein parametrisiertes Modell, das die Heizleistung und andere Parameter vorhersagen kann und das im Produktlebenszyklus der Wärmepumpe wiederverwendet werden kann.

Flex+

Das Flex+ Projekt untersucht die Flexibilität von Wärmepumpen für ausgewählte Märkte, wie beispielsweise Spot- und Regelenenergiemärkte sowie Minimierung der Ausgleichsenergie. Es wurden verschiedene Anwendungsfälle getestet, darunter der konventionelle Betrieb, die optimierte Planung auf der Grundlage von Marktpreisen und die Bereitstellung von Ausgleichsenergie. Für die Abbildung der Wärmepumpen wurden Algorithmen der gemischt-ganzzahligen linearen Programmierung verwendet. Die Gebäude wurden als thermische Netzwerkmodelle mit thermischen Widerständen

und Kapazitäten abgebildet, um die Gebäudedynamik zu berücksichtigen. Brauchwasser und Heizungswasser wurden für die Lastverschiebung verwendet. Gemessene Heizkurven wurden vom Wärmepumpenhersteller zur Verfügung gestellt und linearisiert. Die Architektur des Projekts umfasst die Kommunikation zwischen Lieferanten, der Flex+ Plattform und Komponentenpools. Die rechtlichen Rahmenbedingungen in Österreich haben sich als geeignet für die Marktintegration von Komponentenpools erwiesen. Die Vorhersage des Nutzer:innenverhaltens und die Bestimmung der richtigen Modellierungstiefe stellten eine Herausforderung dar. Die Demonstrationen haben die technische Machbarkeit bewiesen, aber für eine nahtlose Umsetzung ist weitere Forschung erforderlich.

EDCSproof

Das Energy Demand Control System - PROcess Optimization For industrial low temperature systems (EDCSproof) ist ein nachhaltiges Konzept zur Dekarbonisierung industrieller Energieversorgungssysteme durch Digitalisierung. Das Konzept umfasst eine prädiktive Online-Steuerung, thermische Energiespeicher, flexible Verbraucher, Systemoptimierung und Abwärmerückgewinnung. Das im Labor optimierte Konzept wurde auf Skalierbarkeit und Anwendbarkeit in verschiedenen Industriesektoren untersucht. Der Schwerpunkt lag dabei auf der optimalen Prozesssteuerung für kleine und mittlere Unternehmen, damit diese als flexible Verbraucher agieren und die Abwärmenutzung optimieren können.

Das Steuerungskonzept besteht hauptsächlich aus (i) einem Betriebsplaner mit einem Prognosehorizont von z.B. 24 Stunden (vergleichbar mit Strommärkten), der regelmäßig optimale Trajektorien für die Akteure des Energieversorgungssystems berechnet, (ii) einem modellprädiktiven Regler mit einem kürzeren Zeitraum (typischerweise einige Stunden), um den Trajektorien des Betriebsplaners so genau wie möglich zu folgen, (iii) einem Beobachter, um den aktuellen Zustand des Systems anhand von Messdaten abzuschätzen, und (iv) einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI, human machine interface) für die Interaktion mit den Bediener:innen (z.B. Eingabe des Produktionsplans, Abwägung der Optimierungsziele). Zu den Herausforderungen zählen die Implementierungskosten, menschliche Interaktionen, Rechenaufwand und Unsicherheiten bei Last- und Wettervorhersagen. Das EDCS-Konzept wurde erfolgreich getestet und wird in verschiedenen Industrieanlagen weiter erprobt.

Softsensor für die Vereisung von Wärmepumpen

Es wurde ein Softsensor entwickelt, um die Vereisung des Verdampfers einer Luftwärmepumpe anhand der am Ventilator gemessenen Vibrationssignale zu erkennen. Die Studie umfasste Experimente, die in einer Klimakammer durchgeführt wurden, die verschiedene klimatische Bedingungen simulierte. Die Vibrationen des Ventilators nehmen in Abhängigkeit von der Verstopfung des Verdampfers und der Symmetriebrechung der Wärmeübertragerfläche zu. Während des Abtauens zeigten die Vibrationssignale einen anfänglichen Anstieg durch das Anlaufen des Ventilators, gefolgt von einer weiteren Beschleunigung während der Freigabe des Luftwegs durch den Wärmeübertrager. Somit kann die Abnahme der Vibration mit dem Beginn des Abtauens in Verbindung gebracht werden, was die Verwendung eines Beschleunigungsmessers als Softsensor für das Abtauen des Wärmeübertragers ermöglicht. Die Entwicklung dieses Softsensoren erfordert geeignete Korrelationsmodelle und umfangreiche experimentelle Arbeiten, und kann damit den

Betrieb der Wärmepumpe verbessern, Erkenntnisse zur Wartung liefern und zur Verbesserung des Produktdesigns beitragen.

5.1.6. Marktüberblick, Umfrage und Interviews

Dänemark: Überblick über den Status der Digitalisierung und des IoT für Wärmepumpen

Beitrag von Jonas Lundsted Poulsen (DTI), Wiebke Brix Markussen (DTI), José Joaquín Aguilera (DTU, Department of Civil and Mechanical Engineering), Henrik Madsen (DTU Compute), Christian Ankerstjerne Thilker (DTU Compute), Tobias Dokkedal Elmøe (Energy Machines™)

Es wurden 23 Anwendungsbeispiele zu IoT-Produkten und Services, sowie Forschungsprojekten erhoben, die auf der [Projektwebsite](#) verfügbar sind. Die gesammelten Informationen zeigen, dass sich mehrere Akteur:innen auf verschiedenen Ebenen in der Wärmepumpenbranche auf die Verbesserung und den Einsatz von digitalen und IoT-fähigen Lösungen für Wärmepumpen in Dänemark konzentrieren. Es gibt Überschneidungen mit Unternehmen, die in mehreren Gruppen vertreten sind, aber im Allgemeinen können Unternehmen in dieser Übersicht wie folgt gruppiert werden:

- Hersteller von Wärmepumpen: Energy Machines, Johnson Controls, DVI, und METRO THERM
- Aggregator: Neogrid Technologies
- Dienstleistungen: Climify, Centrica, ENFOR, EnergyFlexLab, AI-Energy
- Betreiber: HOFOR, Nærvarmeværket
- OEM: LS Control
- Datahub: Center Dänemark

Darüber hinaus sind den Teilnehmer:innen des dänischen Annex-Projekts verschiedene andere Unternehmen in Dänemark bekannt, die an Digitalisierungs- und IoT-Lösungen arbeiten, aber keinen direkten Beitrag geleistet haben. Die Gruppen haben unterschiedliche Rollen und Interaktionen untereinander, was in Abbildung 5-3 visualisiert wird. Die Abbildung zeigt ein allgemeines Setup für ein IoT-basiertes Energiesystem rund um die Wärmepumpe(n) und die beteiligten Gruppen, aber es muss betont werden, dass es je nach spezifischem Anwendungsfall auch andere mögliche Setups gibt.

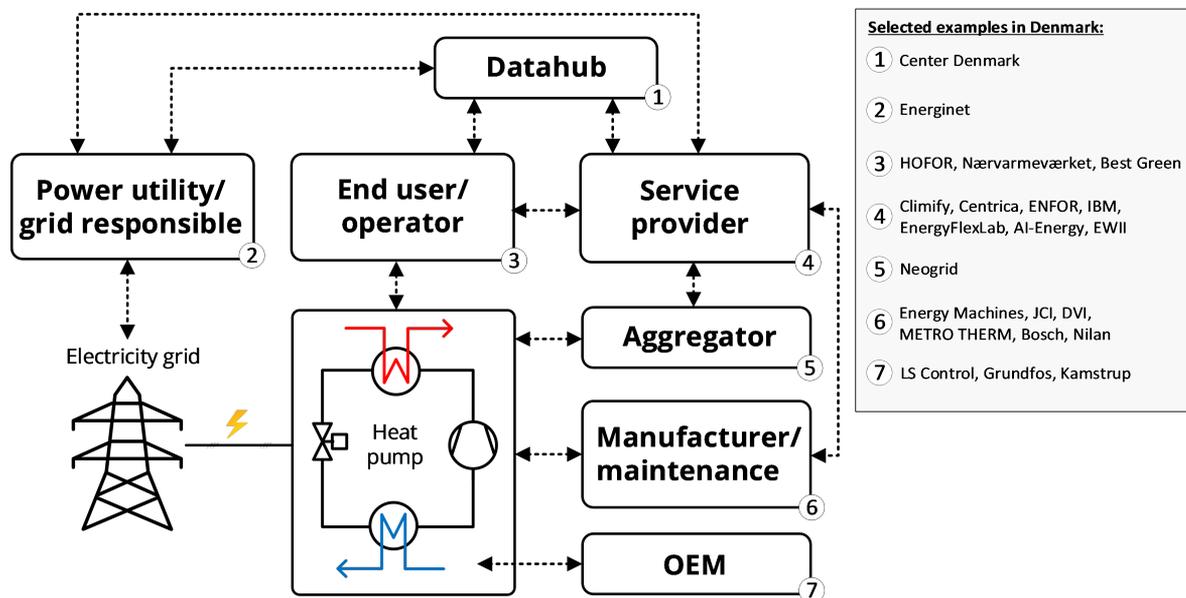


Abbildung 5-3: Visualisierung von Akteur:innen für IoT-basierte Wärmepumpen im Energiesystem (Illustration DTI), Begriffe: 1... Datenbank, 2... Verantwortliche für Stromnetz, 3... Nutzer:innen, Betreiber:innen, 4... Dienstleistungsunternehmen, 5... Aggregator, 6... Unternehmen, das Wärmepumpen herstellt/ wartet, 7... Unternehmen, das Komponenten herstellt

In Dänemark gibt es starke Anreize für die Installation von Wärmepumpen, um die Abhängigkeit des Heizungssektors von fossilen Brennstoffen zu verringern und die zunehmende Menge an erneuerbarem (fluktuierendem) Strom im Stromnetz zu nutzen, dessen durchschnittlicher jährlicher Anteil in Dänemark im Jahr 2021 47 % betrug (Energinet, 2021). Was den Strompreis betrifft, so gelten je nach Tageszeit unterschiedliche Tarife. Darüber hinaus bieten die meisten dänischen Stromanbieter ihren Kund:innen an, stundenweise angepasste Preise zu zahlen, die nach den Tarifen und stündlich markierten Spotpreisen abgerechnet werden. Wenn die primäre Heizungsanlage mit Strom betrieben wird, kann der Verbrauch über 4.000 kWh für einen Haushalt eine Ermäßigung der Stromsteuer erhalten (Norly, 2023). Diese Maßnahmen schaffen Anreize für den Einsatz intelligenter Steuerungen und digitaler Lösungen, die ein hohes Potenzial für die Integration des Wärme- und Stromsektors durch den Einsatz von Wärmepumpen bieten.

In diesem Zusammenhang bieten eine Reihe von Technologieanbietern wie Neogrid, Centrica, AI-energy, ENFOR und METRO THERM Lösungen für den Einsatz von Wärmepumpen zur Sektorkopplung an. Die gängigste Lösung ist dabei die Fern- oder lokale Anpassung des Wärmepumpenbetriebs auf der Grundlage der gemessenen und/oder prognostizierten Strompreise. Dies ermöglicht eine Senkung der Betriebskosten für die Nutzer:innen durch die Nutzung verfügbarer kostengünstiger erneuerbarer Energieressourcen und die Vermeidung von Zeiten mit begrenzter Stromversorgung.

Die Bereitstellung von Flexibilität durch Wärmepumpen ist mit einigen der derzeit auf dem Markt verfügbaren Technologien ebenfalls möglich. Im Falle von Wärmepumpen für Privathaushalte ist jedoch ein Aggregator erforderlich, um eine Reihe von Wärmepumpen zusammenzufassen, was zu Bedenken hinsichtlich der Datensicherheit führen kann. Im Falle von Fernwärme-Wärmepumpen wurde deren flexibler Betrieb z.B. in einem F&E-Projekt analysiert.

Die vorausschauende Wartung von IoT-fähigen Wärmepumpen ist bereits in mehreren in Dänemark angebotenen Produkten verfügbar. Dazu gehören die von Energy Machines, LS-Control, Neogrid, Nærvarmeværket und METRO-THERM angebotenen Lösungen. Die vorausschauende Fernwartung ermöglicht es, die Betriebs- und Wartungskosten zu senken, indem weniger oft die physische Hilfe eines Servicetechnikers benötigt wird, und indem vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden, bevor es nicht mehr möglich ist, die negativen Auswirkungen von Fehlern in den Komponenten der Wärmepumpe zu vermeiden oder abzuschwächen. F&E-Projekte zielen auch auf die Entwicklung von Lösungen für die vorausschauende Wartung mit Hilfe digitaler Tools ab. In diesem Fall umfassen die in der Entwicklung befindlichen Technologien digitale Zwillinge, mit denen die potenziellen Auswirkungen von Verschmutzungen auf der Grundlage adaptiver modellbasierter Rahmenwerke analysiert und vorhergesagt werden können, sowie fortschrittliche datengesteuerte Methoden, die in der Lage sind, die Auswirkungen von Fehlern anhand von Echtzeit-Messdaten zu beschreiben und vorherzusagen.

Zugängliche Daten sind eines der Schlüsselemente, die für die Entwicklung digitaler Lösungen zur Unterstützung der Sektorkopplung zwischen Strom- und Wärmesektor benötigt werden. Die digitale Datenplattform des Unternehmens Center Denmark wird in mehreren Projekten zu diesem Zweck genutzt. Die Datenplattform gibt den Verbraucher:innen in Dänemark die Möglichkeit, Energieverbrauchs- und Betriebsdaten direkt mit Center Denmark zu teilen und dadurch die Entwicklung von energieeffizienten Datenlösungen auf sichere und zuverlässige Weise zu erleichtern. Dienstleistungsanbieter oder andere Interessengruppen können dann anonymisierte Daten erwerben, um ihre Lösungen zu entwickeln. Derzeit nehmen zehntausende dänische Haushalte an diesem System teil, bei dem z.B. Daten über Strom, Wärme, Wasser und Raumklima ausgetauscht werden.

Insbesondere bei den F&E-Projekten wurde eine Reihe von verschiedenen Tools für die numerische Modellierung von Wärmepumpen identifiziert. Dazu gehören Ansätze wie White-Box- oder von der Physik abgeleitete Modelle, Black-Box- oder datengesteuerte Modelle und Grey-Box-Modelle. White-Box Modellierung wird häufig angewandt, wenn ein Modell für das Design eines Systems oder seiner Komponenten benötigt wird oder um die Leistung eines Systems und bestimmte Phänomene zu analysieren, die sich mit physikalischen Methoden einfach beschreiben lassen. Im Gegensatz dazu werden Blackbox- und Greybox-Modelle dann eingesetzt, wenn vereinfachte Darstellungen der Realität ausreichen oder wenn es darum geht, Betriebsbedingungen zu analysieren, die mit physikalischen Darstellungen nur schwer oder gar nicht vorhergesagt werden können, wie z.B. Fehler und Leistungsabfall. Die digitalen Zwillinge, die in mehreren F&E-Projekten entwickelt werden, enthalten verschiedene Arten von Modellierungsansätzen, je nach Datenverfügbarkeit, Art des Services und Kommunikationsbeschränkungen.

Es zeigt sich, dass verschiedene Akteur:innen (schnell) über verschiedene Schnittstellen interagieren müssen, zum Beispiel über API-Schnittstellen, Modbus, MQTT, Apps für Endanwender:innen und Fog-/Edge-basierte Computing-Einrichtungen. Daher könnte die Branche insgesamt von standardisierten Schnittstellen profitieren, um zu vermeiden, dass verschiedene Anbieter jeweils ihre eigenen verwenden und entwickeln. Stärker standardisierte Schnittstellen könnten z.B. Daten der Wärmepumpe und des Wärmebedarfs, aber auch Strom- und Heizungspreise einbeziehen, was weitere Möglichkeiten zur Steuerung und Überwachung eröffnet. Zu den derzeitigen Problemen in diesem Bereich gehört der Mangel an länderübergreifenden Standards, z.B. innerhalb der EU, insbesondere dabei, wie Preissignale an die Wärmepumpe übermittelt werden sollen. Außerdem ist

nach wie vor offen, wo Preisprognosen am besten integriert werden sollten, welches Format sie haben sollten, wie hoch die Kosten für den Zugang sein sollten, welche Gebiete einbezogen werden sollten und wer genau die Wärmepumpe steuern sollte, ohne ihre Lebensdauer zu beeinträchtigen. Das könnte sowohl der Netzbetreiber als auch der Aggregator oder der Wärmepumpenhersteller sein. Standardisierung wird hier zur Verbesserung des Betriebs von Wärmepumpen und Energiesystemen beitragen.

In Dänemark gibt es verschiedene Industrieverbände, die sich mit dem Energiesystem beschäftigen. Ein Beispiel dafür ist "Intelligent Energi" (<https://ienergi.dk/>), eine Interessensvertretung, die sich für ein integriertes und flexibles Energiesystem einsetzt, das Dänemark mit sicherer und grüner Energie zu wettbewerbsfähigen Preisen versorgt. Intelligent Energi unterstützt diese Entwicklung als Plattform für eine Zusammenarbeit innerhalb des Strom-, Gas-, Wasser- und Wärmesektors, die an einheitlichen Rahmenbedingungen arbeitet und so die Integration von Wärmepumpen in das Energiesystem verbessert.

Frankreich: Wärmepumpe der Zukunft

Beitrag von Odile Cauret (EDF)

AFPAC, der französische Wärmepumpenverband veröffentlichte im Jahr 2019 eine Studie zur Wärmepumpe der Zukunft unter dem Titel "La Pompe à Chaleur du futur - Intelligence et connectivité", (AFPAC, 2019). In dieser Studie werden Themen wie die ideale Wärmepumpe, Hybridlösungen, Abwärmenutzung, Flexibilität, intelligente Technologien, Datenmanagement und Netzwerkinteraktionen behandelt.

In diesem Bericht wird zwischen intelligenten und vernetzten Wärmepumpen unterschieden. Die Definition einer intelligenten Wärmepumpe beschreibt ein Gerät zur Bereitstellung von Heizung und/oder Warmwasser und/oder Kühlung in einem Gebäude und legt den Schwerpunkt auf Komfort, Effizienz und Minimierung der Umweltauswirkungen. Sie passt ihren Betrieb an verschiedene Faktoren an, wie z. B. Gebäude- und Nutzer:innenkomfort, thermische Bedingungen in Innenräumen, im Freien und an der Kältequelle, Anforderungen oder Signale aus dem Stromnetz (Energieversorger, Netzbetreiber), den Betrieb anderer Wärmeerzeugungssysteme oder lokale Stromerzeugung, so wie dem Status der Wärmespeicher und des Wärmeverteilungsnetzes. Darüber hinaus stellt sie den Nutzer:innen Echtzeitinformationen zur Verfügung, um Heizung, Kühlung und Warmwasserbereitung zu optimieren und gleichzeitig eine einfache Inbetriebnahme, Benutzer:innenfreundlichkeit, Leistungsoptimierung, Kosteneffizienz und Wartung zu gewährleisten.

Vernetzte Wärmepumpen verfügen über Kommunikationseinrichtungen und sind mit dem Internet verbunden. Sie agieren als Teil einer vernetzten Umgebung. Vernetzte Wärmepumpen können über Apps am Smartphone gesteuert werden und bieten eine Reihe von Services, wie zum Beispiel die Einbindung von Wettervorhersagen, oder die Anpassung des Betriebs der Wärmepumpe an Anwesenheit und Abwesenheit der Nutzer:innen, sowie Services von Dritten. Eine offene Politik für die gemeinsame Nutzung und den Austausch von Daten ist wünschenswert.

Die Wärmepumpe der Zukunft wird zunächst intelligent - das bedeutet, in der Lage, Komfort ohne Unterbrechung zu liefern und mit den Endverbraucher:innen zu kommunizieren - und dann vernetzt sein. Das bedeutet, sie werden in der Lage sein, mit dem Netz oder mit anderen „Dingen“ zu kommunizieren.

Österreich: Herstellerumfrage

Beitrag von Veronika Wilk, Reinhard Jentsch, Tilman Barz (AIT)

Es wurde eine Umfrage zur Bedeutung von IoT unter Unternehmen der österreichischen Wärmepumpenindustrie durchgeführt. Die Umfrage basiert auf einem umfassenden Fragebogen, der von Expert:innen für Wärmepumpen entworfen wurde. Die Fragen decken verschiedene Aspekte ab, wie z.B. Unternehmensgröße, Organisation und Marktaktivitäten, Verfügbarkeit spezifischer digitaler Technologien und Produkte, wie Hard- und Software, Kommunikationsschnittstellen, Datensicherheit, Datenanalyse, Verfügbarkeit spezifischer Anwendungen und Dienstleistungen, und erheben allgemeines Feedback zur Motivation für die Einführung der IoT-Technologie, relevante Markt- und Kund:innenbedürfnisse, Herausforderungen, aktuelle Themen und Trends in diesem Bereich.

Die Unternehmen wurden vom österreichischen Wärmepumpenverband "Wärmepumpe Austria" (WPA) kontaktiert und um ihre Teilnahme an der Umfrage gebeten. Die WPA deckt die gesamte Wertschöpfungskette der Wärmepumpenindustrie in Österreich ab und umfasst neben den Unternehmen in Österreich, die Wärmepumpen herstellen auch alle Stromversorgungsunternehmen, Unternehmen, die Komponenten liefern, Bohrunternehmen sowie Planer:innen und Installationsunternehmen. Die Antworten wurden von Mai bis Juni 2022 gesammelt. Die Umfrage umfasste mehr als 50 Fragen, darunter Single- und Multiple-Choice-Fragen, Bewertungs- und Ranglistenfragen sowie Freitextfragen. Das Ausfüllen der Umfrage dauerte durchschnittlich etwa 20 Minuten.

Die Umfrage war erfolgreich. Die teilnehmenden Unternehmen repräsentieren 53% der österreichischen Unternehmen, die Wärmepumpen herstellen und 27% der Unternehmen, die Wärmepumpen vertreiben, so dass aussagekräftige Ergebnisse möglich sind. In geringerem Ausmaß nahmen Unternehmen, die Komponenten herstellen, sowie Installationsunternehmen teil. Die teilnehmenden Unternehmen sind sowohl kleine als auch mittlere und große Unternehmen. Alle Unternehmen führen Haushaltswärmepumpen, einige Unternehmen bieten auch Produkte für den Industrie- und Fernwärmemarkt an.

Die Unternehmen messen der Entwicklung und Nutzung von IoT-Lösungen im Allgemeinen große Bedeutung bei. Alle Unternehmen bieten sowohl IoT-Produkte (z.B. Wärmepumpen mit Konnektivität oder intelligenten Komponenten wie Kompressoren oder Sensoren) als auch Dienstleistungen an, die auf IoT-Produkten basieren (z.B. PV- oder Preisoptimierung, Produktverbesserung und -entwicklung). Zwei Drittel der bewerteten Produkte sind verfügbar, d.h. entweder in ihrem Produktportfolio (in der Umsetzung) oder bereits in großer Zahl im Einsatz (umfangreiche Umsetzung). Ein weiteres Drittel befindet sich derzeit in der Bewertung, in der Entwicklung oder in einer Pilotphase.

Die Selbsteinschätzung und der Vergleich mit dem internationalen Wettbewerb zeigen, dass sich zwei Unternehmen führend im Angebot von IoT-Produkten sehen. Die übrigen Antworten der Hersteller sind eher konservativ, acht sehen ihre Produkte als Stand der Technik, sechs Unternehmen sehen Entwicklungsbedarf. Bei der Nutzung von IoT-Services und Geschäftsprozessen ist das Feedback sehr ähnlich, ein Unternehmen sieht sich als Vorreiter, sieben sind am Stand der Technik, acht sehen Entwicklungsbedarf.

Auf die Frage nach der Motivation für die Einführung von IoT-Produkten lauteten die drei häufigsten Antworten Kund:innenbindung, Serviceverbesserung und neue Geschäftsmodelle (siehe Abbildung 5-4). Darüber hinaus werden bestimmte IoT-Produkte und abgeleitete Dienstleistungen von den Kund:innen ausdrücklich gewünscht. Kostenreduktion wurde höher eingestuft als der Umweltgedanke. Für die meisten Unternehmen werden IoT-Produkte nicht als besonderes Alleinstellungsmerkmal angesehen.

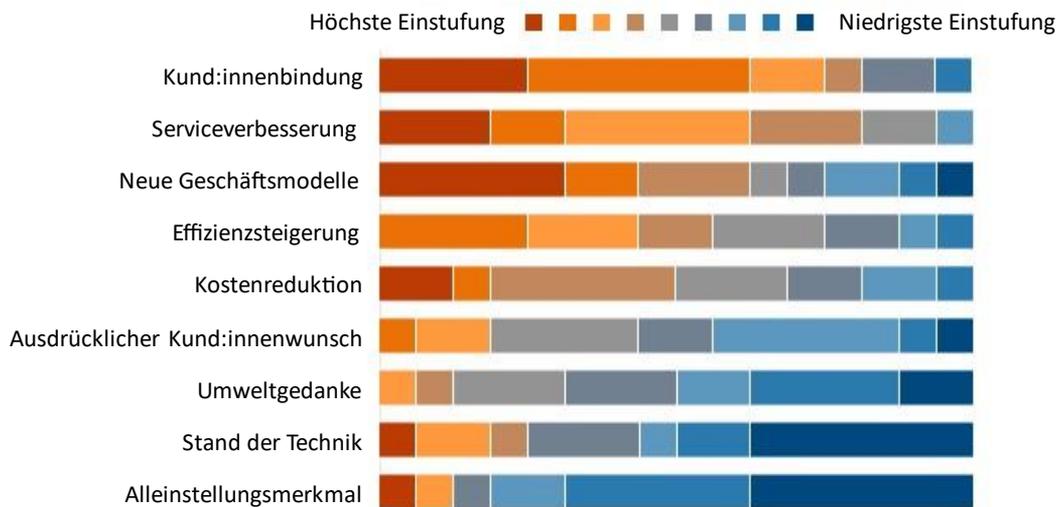


Abbildung 5-4: Motivation zur Einführung von IoT-Produkten und Services.

Die teilnehmenden Unternehmen sehen auch, dass der Einsatz von IoT-Technologie erhebliche Veränderungen mit sich bringen kann. Diese werden vor allem in der Produktentwicklung, den Geschäftsmodellen, der Wartung und teilweise im Vertrieb erwartet. Geringere oder unbedeutende Auswirkungen werden in der Zielgruppe der Produkte, der Produktion, der Installation und der Lieferung erwartet.

Die IoT-Technologie ist nur eine von mehreren Technologien der digitalen Transformation, denen für die Zukunft eine hohe Bedeutung beigemessen wird, siehe Abbildung 5-5. Gleiche oder ähnliche Bedeutung wird dem maschinellen Lernen, der vorausschauenden Wartung und der Modellierung von Gebäudedaten beigemessen. Die Anforderungen an den Datenschutz werden als neutral eingestuft. Im Gegensatz dazu werden Asset Management Shell, semantische Modellierung und digitaler Zwilling als weniger wichtig angesehen.

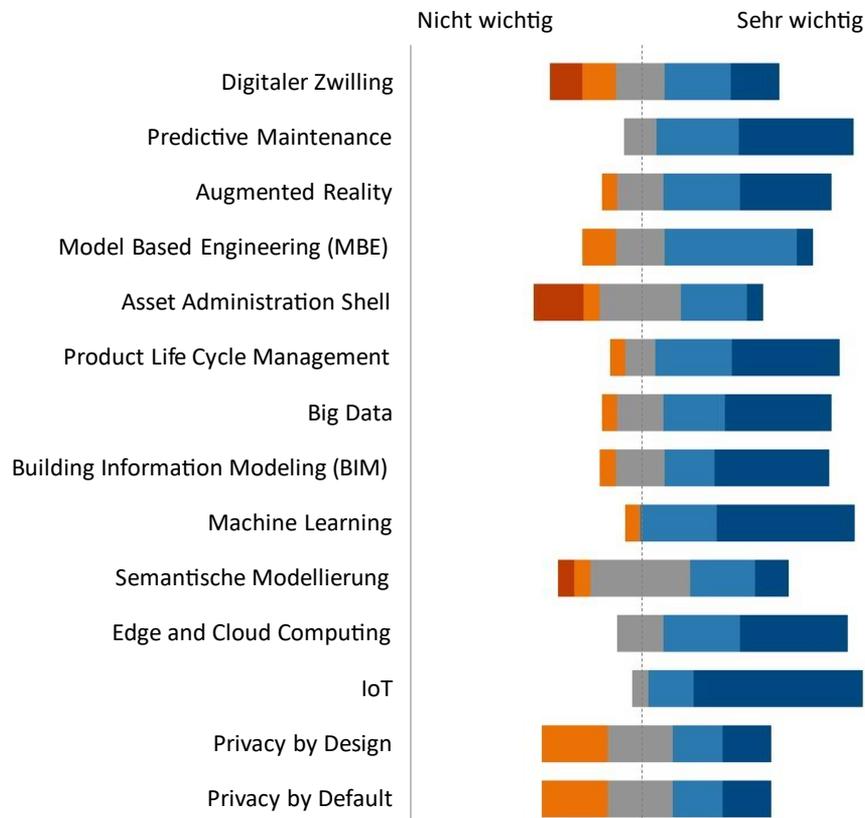


Abbildung 5-5: Bedeutung der Technologien der digitalen Transformation

Die Umfrage zeigt, dass die Unternehmen keine einheitliche Strategie für die Handhabung und Verarbeitung von Daten verfolgen. Während fast alle Unternehmen angeben, dass Betriebsdaten gesammelt werden, gibt es keine eindeutige Präferenz hinsichtlich der Speicherung und der Zugänglichkeit für Nutzer:innen. Lokale und Cloud-Lösungen werden als gleich wichtig eingestuft, die meisten bieten beide Optionen. Für Wärmepumpen in Wohn-, Geschäfts- und Bürogebäuden nutzen beispielsweise 50% der Unternehmen sowohl die lokale Speicherung als auch die Cloud, 31% die Cloud und 13% nur die lokale Speicherung.

Die gesammelten Felddaten umfassen die dem Stand der Technik entsprechenden Wärmepumpenmessungen, d.h. Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, elektrische Leistung, Quelltemperaturen, Heizleistung, Schaltzyklen, Sollwerte und Teillastzustand. Sie wurden von allen Unternehmen fast gleich häufig genannt (mindestens 10, maximal 13 Nennungen). Die Nutzung der Daten geht über die reine Erfassung und lokale und cloudbasierte Speicherung von Daten hinaus. Nur zwei Unternehmen geben an, dass die gesammelten Daten derzeit nicht verarbeitet oder ausgewertet werden. Die befragten Unternehmen wenden fortschrittliches Know-how und Methoden für die industrielle Automatisierung, die Datenverarbeitung und -analyse sowie die Gestaltung von Benutzer:innenoberflächen und die Implementierung auf verschiedenen Plattformen an. Es werden verschiedene Anwendungen für die Überwachung und Steuerung angeboten, die auf die Verbesserung der Effizienz, die Erkennung von Anomalien und die Betriebsüberwachung, die Erkennung von Installationsfehlern und ein verbessertes oder neues Serviceangebot abzielen. Meistens werden eher grundlegende Methoden der Datenauswertung angewandt, wie Visualisierung und Überwachung von Echtzeitdaten und Berechnung von Key Performance Indicators (KPIs), statistische Analyse auf der Grundlage historischer Daten. Fortgeschrittene Methoden zur

Datenauswertung (wie z.B. die automatische Mustererkennung auf der Grundlage von maschinellem Lernen) wurden weniger häufig gemeldet. Während Modbus immer noch das vorherrschende Kommunikationsprotokoll in der Wärmepumpenautomatisierung ist, bieten die Unternehmen auch andere Protokolle an, wie KNX, OPC UA oder BACnet. Die gesammelten Daten werden in der Regel nicht direkt an die Kund:innen weitergegeben. Die Unternehmen sind sich den Anforderungen des Datenschutzes bewusst und befolgen Standards und Vorschriften für Sicherheitsmaßnahmen.

Meistens werden IoT-Produkte und -Services von Projektteams oder von einem Teil der Entwicklungsabteilung entwickelt. Die wichtigsten Barrieren für IoT-Technologien sind die Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal, Datenschutz und rechtliche Anforderungen sowie fehlende Standards. Weniger kritisch werden die Kommunikationsprotokolle und Schnittstellen sowie die Verfügbarkeit geeigneter Hardware gesehen.

Die allgemeine Erwartung, die von allen befragten Unternehmen geteilt wird, ist, dass die IoT-Technologie erhebliche Veränderungen mit sich bringen wird. Es wird erwartet, dass IoT-fähige Wärmepumpen eher ein Teil von vernetzten Systemen sein werden als eine autonome intelligente Komponente. In diesem Zusammenhang wird die IoT-Technologie als eine von mehreren wichtigen digitalen Transformationstechnologien für die Zukunft angesehen.

Schweden: Interviews

Beitrag von Davide Rolando (KTH)

In Schweden wurden Interviews mit führenden Wärmepumpenherstellern, IoT-Unternehmen, Verbänden und Berater:innen geführt. Ziel der Interviews war es, Informationen über die aktuellen Trends und Herausforderungen im Bereich der IoT-fähigen Wärmepumpen sowie über die Möglichkeiten und potenziellen Vorteile der Integration von IoT-Technologien in Wärmepumpensysteme zu sammeln. In allen Antworten wurde die Bedeutung von IoT-Technologien für die Konnektivität von Wärmepumpensystemen hervorgehoben. Durch den Einsatz von IoT-Technologien können Wärmepumpen in eine Reihe von Überwachungs- und Wartungsdiensten integriert werden, was eine Datenanalyse in Echtzeit und eine vorausschauende Wartung ermöglicht. Darüber hinaus können IoT-Technologien die Kommunikation zwischen der Wärmepumpe und anderen Geräten im Gebäude, wie z.B. intelligenten Thermostaten oder Energiemanagementsystemen, ermöglichen, was einen koordinierten und optimierten Betrieb erlaubt.

Vernetzung von Wärmepumpen verschiedener Hersteller: Die Antworten zeigen, dass es Herausforderungen bei der Vernetzung von Wärmepumpen gibt, sowohl zwischen verschiedenen Herstellern als auch innerhalb der Produktpalette eines einzelnen Herstellers. Diese Herausforderungen hängen in erster Linie mit Kompatibilitätsproblemen und einer mangelnden Standardisierung in der Branche zusammen, was die Entwicklung eines wirklich vernetzten und effizienten Wärmepumpensystems erschwert. Da sich die Branche jedoch weiterentwickelt und die Standardisierungsbemühungen an Dynamik gewinnen, ist es wahrscheinlich, dass diese Herausforderungen gelöst werden.

Ziele von IoT-Lösungen für Wärmepumpen: In den Interviews wurden die wichtigsten Ziele von IoT-Lösungen für Wärmepumpensysteme wie folgt priorisiert: Senkung der Betriebskosten, Verbesserung von Service und Reparatur, Emissions- und Umweltziele, höherer Komfort in Innenräumen, Senkung der Kapitalkosten, Engagement der Nutzer:innen. Das am höchsten eingestufte Ziel "Senkung der

Betriebskosten" ist für viele Nutzer:innen und Interessengruppen ein wichtiges Anliegen, da es im Laufe der Zeit zu erheblichen Einsparungen bei den Energierechnungen und Wartungskosten führen kann. IoT-Lösungen können dazu beitragen, dieses Ziel zu erreichen, indem sie die Überwachung und Steuerung von Wärmepumpensystemen in Echtzeit ermöglichen, ihre Leistung optimieren und potenzielle Probleme erkennen, bevor sie zu großen Problemen werden. Das zweitplatzierte Ziel "Verbesserung von Service und Reparaturen" zeigt, wie wichtig es ist, sicherzustellen, dass Wärmepumpensysteme zuverlässig und einfach zu warten sind. IoT-Lösungen helfen dabei, indem sie Ferndiagnosen, vorausschauende Wartung und andere Funktionen bieten, die dazu beitragen, Ausfallzeiten zu reduzieren und sicherzustellen, dass das System immer bestmöglich arbeitet. Das drittplatzierte Ziel, "Emissionen und Umweltziele", unterstreicht die wachsende Bedeutung von Nachhaltigkeit und Umweltverantwortung bei der Entwicklung und dem Betrieb von Wärmepumpensystemen. IoT-Lösungen können dazu beitragen, dieses Ziel zu erreichen, indem sie Daten über Energieverbrauch, Emissionen und andere Umweltauswirkungen liefern und die Integration von erneuerbaren Energiequellen und anderen nachhaltigen Technologien unterstützen.

Zukünftige Herausforderungen: IoT hat das Potenzial, eine Reihe wichtiger Herausforderungen im Zusammenhang mit Wärmepumpensystemen zu lösen, darunter Datensicherheit, Datenschutz und Eigentumsrechte, die oftmals geringe Betriebskostenreduktion aktueller Lösungen und die mangelnde Standardisierung. Durch die Nutzung fortschrittlicher Datenanalysen und Algorithmen des maschinellen Lernens, die Einführung klarer Standards und Protokolle für die Konnektivität und Interoperabilität von Geräten sowie die Implementierung fortschrittlicher Sicherheitsprotokolle und Verschlüsselungstechnologien kann das IoT dazu beitragen, die Energieeinsparungen zu maximieren, die Effizienz von Wärmepumpensystemen zu verbessern und die Entwicklung eines nachhaltigen Energiesystems zu unterstützen.

5.2. Einordnung von Task 2, Task 3 und Task 4

Task 2 (Schnittstellen), Task 3 (Datenanalyse) und Task 4 (IoT-Geschäftsmodelle) sind eng miteinander verknüpft: Eine Anwendung oder Dienstleistung, die mit Hilfe einer IoT-Wärmepumpe oder einer vernetzten Wärmepumpenkomponente einen Mehrwert schafft, kann durch einen vollständigen Zyklus aus *Datenerfassung*, *Datenverarbeitung*, *Schlussfolgerung* und *darauf basierender Aktion* beschrieben werden. Der Zyklus wird in Abbildung 5-6 dargestellt. Ähnliche Konzepte gibt es etwa auch in der Qualitätskontrolle in der Betriebswirtschaft mit dem PDCA-Zyklus (Plan-Do-Check-Act) oder in der militärischen Entscheidungsfindung mit dem OODA-Zyklus (Observe-Orient-Decide-Act).

In vielen Fällen kann die Rückkopplung, die aus Schlussfolgerung und Aktion besteht, jedoch schwach, langfristig und indirekt sein. Beispielsweise kann die Datenanalyse das Design zukünftiger Generationen von Wärmepumpen oder das menschliche Verhalten auf der Grundlage visualisierter Daten beeinflussen und hat daher keinen direkten Einfluss auf den Betrieb von Wärmepumpen. In anderen Fällen, wie bei digitalen Zwillingen für das Betriebsmanagement von Wärmepumpen, kann der Kreislauf klar definiert und vollständig automatisiert sein. Ohne die Schließung des Kreislaufs ist kein Mehrwert, wie beispielsweise Einnahmen, Energieeinsparungen, Komfortgewinn usw., durch eine IoT-Anwendung zu erwarten.



Abbildung 5-6: Zyklus zur Entscheidungsfindung für IoT-Anwendungen

Ein Service oder eine Anwendung kann mehrere Unterkomponenten haben, die wiederum Services oder Anwendungen sind. Ein Beispiel wäre die vorausschauende Wartung mit Hilfe digitaler Zwillinge, die auf periodischen Zyklen zum Soll-Ist-Abgleich aufbaut.

In Task 2 wird die Kommunikationsstruktur beschrieben, die benötigt wird, um die in Task 3 behandelte Datenanalyse durchzuführen, die wiederum durch die in Task 4 beschriebenen Geschäftsmodelle bestimmt wird.

5.3. Task 2: Schnittstellen

Beitrag von Reinhard Jentsch (AIT), Veronika Wilk (AIT), Helmut Plank (FHB), Wiebke Brix Markussen (Danish Technological Institute DTI), Jonas Lundsted Poulsen (Danish Technological Institute DTI), Tobias Dokkedal Elmøe (Energy Machines™), Wiebke Meesenburg (Technical University of Denmark DTU), Tim Rist (Fraunhofer ISE), Stefan Goebel (RWTH Aachen), Tim Klebig (RWTH Aachen), Kristian Stenerud Skeie (SINTEF Community), Tommy Walfridson (RISE), Metkel Yebiyo (RISE), Raphael Agner (HSLU), Beat Wellig (HSLU).

Im internationalen Task 2 Bericht werden folgende Themen anhand von konkreten Anwendungsfällen vorgestellt:

- Digitale Zwillinge von Wärmepumpen
- Vernetzte Wärmepumpen in der Gebäudeautomatisierung
- Wärmepumpen in Netzdienstleistungen
- Nachrüstung

Die vorgestellten Beispiele sind entweder kommerziell verfügbar oder Teil von Forschungsprojekten. Anhand dieser Beispiele werden gemeinsame Herausforderungen und mögliche Lösungen herausgearbeitet.

5.3.1. Digitale Zwillinge

Es werden vier Beispiele für Digitale Zwillinge ausführlich beschrieben:

- DIGIBatch: ein digitaler Zwilling für die Vorhersage von Betriebspunkten für Prüfstandsmessungen von Wärmepumpen (Forschungsprojekt aus Österreich)
- Architektur eines verteilten digitalen Zwillings für Großwärmepumpen und Kälteanlagen (Forschungsprojekt aus Dänemark)
- DZWI: Digitaler Zwilling von Wärmeerzeugersystemen als Wegbereiter für die Entwicklung emissionsarmer Gebäudeenergietechnik (Forschungsprojekt aus Deutschland)
- Digitale Zwillinge von EnergyMachines (IoT-Produkt aus Dänemark)

Die vier Beispiele befassen sich mit verschiedenen Aspekten der Integration digitaler Zwillinge für Wärmepumpen. Es wird der digitale Zwilling einer einzelnen Wärmepumpe erläutert, der einzelnen Service bereitstellt, es werden mehrere Services verteilter Wärmepumpenanlagen und deren digitale Repräsentationen erklärt, sowie allgemeine Rahmenwerke für Energiekomponenten. In den Beispielen wird deutlich, dass die Services rund um digitale Zwillinge von Wärmepumpen sehr unterschiedliche Anforderungen haben können, z.B. Echtzeitsteuerung im Gegensatz zu vorausschauender Wartung. Auch sind viele der in den Beispielen angesprochenen Themen nicht rein spezifisch für Wärmepumpen, sondern allgemeine IoT-Themen - wie z.B. Sicherheit. Digitale Zwillinge sind maßgeschneidert, entweder aufgrund von Einschränkungen, die sich aus einer nachträglich digitalisierten Infrastruktur ergeben oder aufgrund unterschiedlicher Integrationsebenen, in denen sie eingesetzt werden (zum Beispiel für die Regelung, für die Wartung, etc.). Das legt die Verwendung von verallgemeinerten Frameworks nahe, die darauf abzielen, die Erstellung, Nutzung und Verwaltung digitaler Zwillinge zu vereinfachen und skalierbar, reproduzierbar und auf andere Komponenten einer Wärmepumpenumgebung anwendbar zu machen. Darüber hinaus ermöglichen solche Frameworks die gemeinsame Verwaltung von Meta- und Engineering-Daten, was wiederum die Nutzung von digitalen Zwillingen über den gesamten Lebenszyklus und verschiedene Anwendungsfälle hinweg erleichtert.

Unterschiedliche Services und unterschiedliche Integrationsebenen führen zu spezifischen Anforderungen an Daten, Modelle und Simulationen, die wiederum Anforderungen an Datenbanken, Simulationsumgebungen und Rechenleistung mit sich bringen. Die Verwendung von zentralen Message-Brokern wie MQTT ermöglicht die Verteilung von Daten und Aufgaben zwischen Feld- und Cloud-Anwendungen oder -Services, sie sind daher in den gesammelten Anwendungsbeispielen häufig zu finden. Weitere Gemeinsamkeiten sind die Verwendung von High-Level-Programmiersprachen, insbesondere Python, und Modelle, die auf der funktionalen Mock-up-Schnittstelle namens FMU basieren. Die Wiederverwendbarkeit und die einfache Bereitstellung sind die Hauptgründe für die Verwendung von FMU.

5.3.2. Gebäudeautomatisierung

Es werden zwei Beispiele vorgestellt:

- Energetikum: Aufbau einer datengetriebenen Wartungsstrategie für das Büro- und Forschungsgebäude Energetikum (Forschungsprojekt aus Österreich)

- ZEB Labor: Integration von Wärmepumpen und anderen Geräten der Gebäudeautomation mit einer Zeitserienplattform zur Durchführung konsistenter Analysen und zur Entwicklung von Services, die den Betrieb der Wärmepumpen sowie die Nutzung von vor Ort erzeugtem Strom und Wärmespeichern optimieren (Forschungsprojekt aus Norwegen)

Die vernetzte Wärmepumpe als Teil eines Gebäudeautomationssystems ist das Thema der beiden Anwendungsfälle. Obwohl hier die Überlegungen zu digitalen Zwillingen auch anwendbar sind, ergeben sich zusätzliche Herausforderungen aus der Umgebung, in der die Wärmepumpe arbeitet. In der Regel sind Gebäudeautomationssysteme sehr heterogen und umfassen zahlreiche kleine Einzelsensoren und komplexe Systemzusammenhänge, die Menge der erfassten Daten kann sehr groß werden. Bei dieser Vielfalt an Systemkomponenten kann die Interoperabilität eine Herausforderung sein, da jeder Anbieter unterschiedliche Schnittstellen und Protokolle bevorzugt. Dadurch wird die Integration komplex, wobei auch berücksichtigt werden muss, dass es sich bei einem Teil der Daten um sensible persönliche Daten handelt. Die Notwendigkeit, verschiedene Datenquellen auf einheitliche Weise darzustellen und zu verbinden, macht eine semantisch angereicherte Datendarstellung und Protokolle nahezu unumgänglich.

In den beiden vorgestellten Beispielen wird dies durch die Verwendung von BACnet/IP erreicht, obwohl für das Streaming von großen Datenmengen MQTT aufgrund des geringeren Overheads bevorzugt wird. Als Verbindung zwischen den verschiedenen Akteur:innen und den zahlreichen Automatisierungsprotokollen und der übergeordneten Analyse- und Steuerungslogik werden Gateways eingesetzt. Die Einrichtung dieser Gateways kann sehr aufwändig sein.

5.3.3. Bereitstellen von Flexibilität

Es werden zwei Beispiele diskutiert:

- SLAV: Kommunikation von Wärmepumpen mit Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber (Forschungsprojekt aus Schweden)
- tiko: Virtuelles Kraftwerk durch Pooling verschiedener Verbraucher, darunter auch Wärmepumpen (IoT-Produkt aus der Schweiz)

In diesen Beispielen ist der Anbieter, der Flexibilität bereitstellt, eine externe Einheit. Dies bedeutet, dass entweder zusätzliche Anstrengungen für die Interkonnektivität unternommen werden müssen, indem man internationale Standards entwickelt, wie im Beispiel von SLAV beschrieben, oder wie bei tiko alles in einer einzigen Lösung zusammenfasst. Dieser Aufwand ist notwendig, um eine Umgebung zu schaffen, in der Serviceanbieter verlässliche Geschäftsmodelle für mehrere Jahre anbieten können. Da es sich hier um öffentliche Energieinfrastruktur und sensible persönliche Daten handelt, ist die Sicherheit ebenfalls von größter Bedeutung. Die typische Trennung dieser Anwendungsfälle in Kund:innen – die in der Regel nur minimal in die Implementierung und den Betrieb involviert sind – und fachkundige Serviceanbieter erhöht die Herausforderung die Daten- und Metadatenqualität und deren Vollständigkeit sicherzustellen.

Gateway-Geräte, die verschiedene (bereits vorhandene) Hardware vor Ort über das Internet verbinden, sind das Herzstück solcher Anwendungsfälle. Im Haushalt ist WiFi die am weitesten

verbreitete Schnittstelle, um Konnektivität bereitzustellen, Over-the-Air-Updates zu ermöglichen und die Nutzer:innen einzubinden.

5.3.4. Nachrüstung (Retrofit)

Es werden zwei Beispiele vorgestellt:

- SmartGuard: Ferndiagnosetool für Wärmepumpen (IoT-Produkt aus der Schweiz)
- AI4CITIES: Überwachung der Fernwärme (Forschungsprojekt aus Deutschland)

Angesichts der Langlebigkeit von Wärmepumpen ist es eine Herausforderung, dass Rechenplattformen, Schnittstellen und Protokolle auch über ein Jahrzehnt später zuverlässig und sicher laufen müssen. Außerdem ziehen Hersteller mit Blick auf die Zuverlässigkeit und das vorhandene Wissen aktuell oft ältere, etabliertere Schnittstellen und Protokolle den neueren IoT-Protokollen vor. Das zeigt sich darin, dass MODBUS eines der meist verwendeten Protokolle ist.

Hier ist ein mehrschichtiger Ansatz für die Konnektivität von Wärmepumpen am weitesten verbreitet. Bei diesem Ansatz verbinden Gateway-Geräte die Feldebene mit dem Internet und fügen so der Kernfunktionalität der Wärmepumpe nachträglich zusätzliche Elemente hinzu. Analyse und Steuerung können entweder auf dem Gateway-Gerät selbst (Edge-Computing) oder extern (Cloud-Computing) durchgeführt werden. Diese strukturelle Trennung zwischen Feld- und Analyseebene spiegelt sich bei Nachrüstungen in vielen Fällen auch in der darauf aufbauenden Anwendung- bzw. Service wider. Das heißt, dass die Kernfunktion der Wärmepumpe in der Regel nicht automatisiert, sondern nur indirekt durch einen Menschen – der die Erkenntnisse aus den gesammelten Daten nutzt – beeinflusst wird. Das Fehlen einer bereits bestehenden Konnektivität vor Ort macht die Verwendung von drahtlosen Protokollen und Schnittstellen oft zu einer naheliegenden Wahl für Nachrüstungsanwendungen. Weiters ist die Verwendung von proprietären und nicht standardisierten Schnittstellen, Protokollen und Plattformen vor Ort die größte Herausforderung, die es zu bewältigen gilt.

5.4. Task 3: Datenanalyse

Beitrag von Danny Günther (Fraunhofer ISE), Tim Rist (Fraunhofer ISE), Reinhard Jentsch (AIT), Regina Hemm (AIT), Bernd Windholz (AIT), Veronika Wilk (AIT), Gerhard Zucker (AIT), Goran Music (TU Wien), Gernot Steindl (TU Wien), Wolfgang Kastner (TU Wien), Jonas Lundsted Poulsen (Danish Technological Institute DTI), Kristian Stenerud Skeie (SINTEF Community).

Der internationale Task 3 Bericht gibt einen Überblick über die Datenanalyse für IoT-fähige Wärmepumpen. Das Ziel der Datenanalyse ist es, die gesammelten Daten sinnvoll zu nutzen, um gezielte Informationen z.B. für den optimierten Betrieb von Wärmepumpen bereitzustellen. Ausgehend von den Beispielen für IoT-Produkte und Services, die in Task 1 vorgestellt werden, werden verschiedene Ziele für die Datenanalyse abgeleitet. Die Methoden der Datenanalyse werden kategorisiert und bewertet, angefangen bei der Visualisierung und manuellen Analyse bis hin zu maschinellen Lernalgorithmen, die aus dem Verhalten der Nutzer:innen in der Vergangenheit lernen, um die Wärmeversorgung zu optimieren, oder Big-Data-Methoden, die aus einer großen Anzahl von

Wärmepumpen lernen, wie bestimmte Wärmepumpen im Vergleich zu anderen abschneiden und wie sie verbessert werden können. Darüber hinaus bietet der Bericht Einblicke in die Aufbereitung von Daten und in die Verwendung von Datenmodellen, Metadaten und BIM (Building Information Modeling).

5.4.1. Einsatz von Datenmodellen, Metadaten und BIM

Die Analyse von Messdaten einer Wärmepumpe oder einem Gebäude erfordert in der Regel zusätzliche Informationen in Form von statischen oder semantischen Metadaten. So müssen Details zu den verwendeten Sensoren, wie die Maßeinheit, verfügbar sein, damit die Messwerte in den Analysen richtig verarbeiten können. Aber auch Metadaten über das Gebäude (z.B. Größe, Baujahr etc.) und die technischen Geräte müssen maschinenlesbar gemacht werden, um eine Verallgemeinerung und Automatisierung der Analysen zu ermöglichen. In Gebäuden liegen diese Informationen in der Regel in Form von Textdokumenten vor. Building Information Modeling (BIM) ist eine umfassende Digitalisierungsmethode für Gebäude, die darauf abzielt, die große Anzahl unterschiedlicher Informationsquellen während des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu konsolidieren. Der Schlüssel liegt in der Verwendung eines einzigen Modells, das die Geometrie- und Dateninformationen enthält, die zur Unterstützung der verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes wie Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung erforderlich sind. In Zukunft sollten all diese Informationen durch BIM maschinenlesbar gemacht werden. Bisher konzentrieren sich jedoch die meisten Standards im Bereich BIM, wie z.B. der openBIM-Standard Industry Foundation Classes (IFC) (buildingSMART, 2023), hauptsächlich auf den geometrischen Aspekt von Gebäuden und HLK-Komponenten. Es gibt also keinen Standard, der die Digitalisierung aller notwendigen Informationen ermöglicht. Stattdessen werden solche Metadaten in der Regel in einem proprietären Datenmodell gespeichert, das für die jeweilige Aufgabe geeignet ist.

Da der Bedarf an standardisierten Informationen auch auf der Ebene des Datenaustausches eine Rolle spielt, enthalten moderne Kommunikationsstandards wie BACnet und OPC UA auch Datenmodelle, die über die Beschreibung von Sensorattributen hinausgehen.

Abbildung von HLK-Komponenten in BIM

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass HLK-Komponenten wie z.B. Wärmepumpen derzeit kaum standardisiert in IFC dargestellt werden, wurden im österreichischen Forschungsprojekt metaTGA detaillierte Property Sets für 56 Standard HLK-Komponenten (Bereich Heizung und Lüftung) entwickelt, um diese Komponenten in einem BIM-Projekt modellieren und darstellen zu können (Hauer et al. 2020). Die Property Sets sind sehr detailliert, um von verschiedenen Interessengruppen (z.B. Architekt:innen, verschiedenen HLK-Planer:innen und Gebäudemanager:innen) in verschiedenen Entwicklungsstadien (Planung, Bau, Instandhaltung) und Anwendungen genutzt werden zu können. Mehr als 800 verschiedene Eigenschaften werden berücksichtigt, um den gesamten Lebenszyklus vom Entwurf bis zum Betrieb eines Gebäudes abzudecken. Die Sets stehen auf der Projektwebsite zum Download zur Verfügung: <http://www.metatga.org/ergebnisse/>. Darüber hinaus sind auch Prozessmodelle für die Verwendung der Eigenschaftssätze in BIM-Projekten und Prozessmodelle für die Erstellung eigener Datensätze verfügbar.

Der wichtigste Aspekt von BIM ist, dass die Informationen aktuell und für verschiedene Interessengruppen (wieder-)verwendbar sind. Ein umfassendes BIM-Modell kann für den Betrieb und die Instandhaltung des Gebäudes genutzt werden. Genaue Energieinformationen für z.B.

Wärmepumpen sind eine wichtige Voraussetzung für weitere Anwendungen im Gebäudeenergiemanagement.

Nutzung industrieller IoT-Datenmodelle für Gebäudesysteme

Das technologische Spektrum des Industrial Internet of Things (IIoT) ist sehr breit und umfasst sowohl semantische Web- und IP-basierte Protokolle als auch semantische Beschreibungs- und Informationsaustauschtechnologien in automatisierungsnahen Domänen. Eines der erklärten Hauptziele des IIoT ist die Integration dieser verschiedenen (auch älteren) Technologien in eine transparente, nahtlose, kohärente und vernetzte Einheit. Der funktionale und betriebliche ("Laufzeit") Aspekt von Automatisierungssystemen, d.h. von Entitäten oder "Dingen" im Allgemeinen, ist derjenige, der die größten Auswirkungen auf die Qualität der Endsysteme hat, gleichzeitig aber auch das am wenigsten erforschte Thema im Kontext von IIoT und Industrie 4.0. Aufgrund seiner Natur als Ergebnis aller vorangegangenen technischen Disziplinen kann der betriebliche Aspekt als gemeinsamer Nenner für verwandte domänenspezifische Darstellungen verwendet werden.

Als Fallstudie, wie solche IIoT-Datenmodelle für Gebäudesysteme genutzt werden können, wurde ein Informationsmodell erstellt, das die Modellierung des betrieblichen Aspekts von HLK-Kreisläufen unterstützt. Als Modellierungstechnologie wurde OPC UA gewählt, da es am besten für Laufzeitdaten geeignet ist und mit einer großen Anzahl verschiedener Standards und Technologien kompatibel ist, was Vorteile in Bezug auf Integration und Transformationen zwischen verschiedenen Domänenmodellen sowie Wiederverwendbarkeit bietet. Die erstellten Modelle spezifischer HLK-Schaltkreise können direkt zur Instanziierung von OPC UA Servern verwendet werden, die zur Laufzeit Echtzeitdaten zur Verfügung stellen. Weiters ist es durch Transformationen und OPC UA Integrationen möglich, Projektionen (d.h. "Schatten") für ein breites Spektrum unterschiedlicher Technologien zu erzeugen.

Um solche Transformationen und die damit verbundene Integration verschiedener Domänenmodelle zu ermöglichen, müssen unterschiedliche Datenquellen miteinander verknüpft und mit Kontextinformationen versehen werden. Semantische Web-Technologien sind hierfür besonders geeignet. Kontextinformationen, wie z.B. die strukturelle Zusammensetzung des Gebäudes und der HLK-Systeme, können mit Hilfe spezieller Domänenontologien, wie z.B. Building Topology Ontology (BOT), Brick Schema oder Semantic Sensor Network Ontology (SSN) modelliert werden. Es wurde eine Methode entwickelt, die es erlaubt, aus den erstellten OPC UA HLK-Schaltkreismodellen domänenspezifische Ontologien zu generieren und einen Ontologie-basierten Datenzugriff (ODBA) auf kontextualisierte Laufzeitinformationen und Daten zu ermöglichen. Sensordaten und HLK-Systeminformationen werden hierzu mit einem Wissensgraphen verknüpft. Diese verknüpften Gebäudedaten können z.B. für die (semi-)automatische Analyse von Sensordaten zur Laufzeit verwendet werden. Abbildung 5-7 zeigt, wie Echtzeitdaten aus dem Prozessleitsystem (PLC) und Gebäudedaten mit der Wissensbasis verknüpft werden.

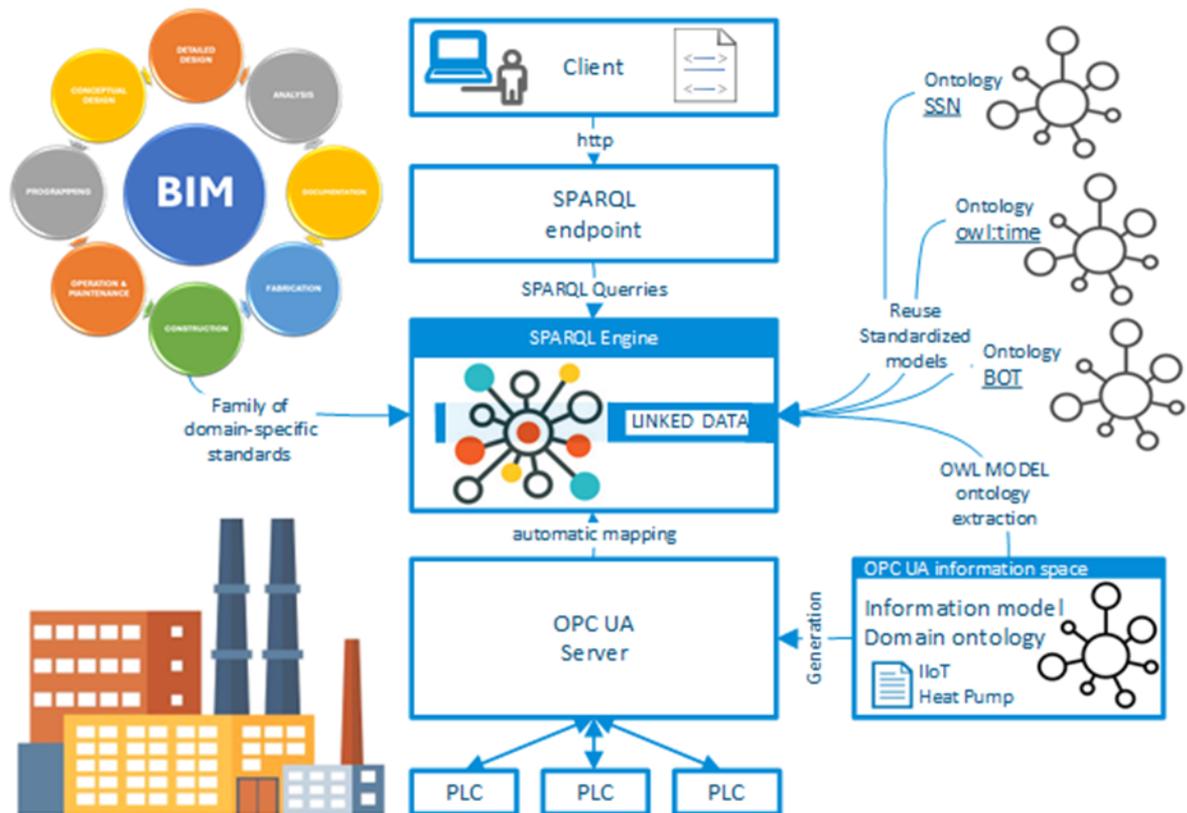


Abbildung 5-7: Nutzung von Laufzeitdaten in einer Wissensbasis (Darstellung: TU Wien)

5.4.2. Datenanalyse für IoT-Produkte und Services für Wärmepumpen

Die Kategorisierung der Analysemethoden beruht auf den Informationen zu den Anwendungsfällen, die in Task 1 gesammelt wurden. Nicht alle Beschreibungen waren ausreichend detailliert, dass sie für die Analyse in Task 3 in Frage kommen, das gilt insbesondere für die Beschreibungen von Produkten. Es werden daher in dieser Bewertung 16 Anwendungsfälle berücksichtigt, darunter drei Produkte (tiko, Smart Guard, Hi Kumo pro), die anderen sind Forschungsprojekte.

Um die Datenanalysemethoden der Anwendungsfälle systematisch zu bewerten, werden sie weiter nach den Aspekten des spezifischen Ziels, das durch die Analysemethode erreicht werden soll, und der Art und Weise, wie diese Ziele erreicht werden, kategorisiert. Dieses Analyseziel stimmt in der Regel mit der allgemeinen IoT-Kategorie des Anwendungsfalls überein. Anschließend wurde jedem Anwendungsfall eine IoT-Kategorie, ein oder mehrere Analyseziele und eine oder mehrere Analysemethoden zugewiesen. Abbildung 5-8 zeigt diese Systematik.

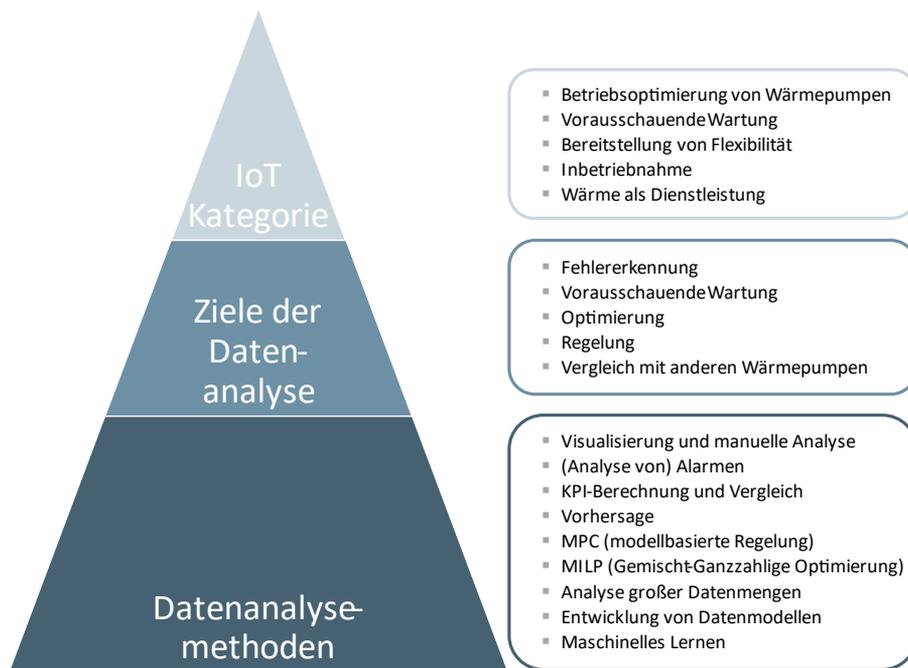


Abbildung 5-8: Systematik der Datenanalyse

Die meisten Anwendungsfälle sind einer einzigen IoT-Kategorie zugeordnet, beziehen sich aber oft auf verschiedene Datenanalyse-Ziele und Datenanalyse-Methoden. Die IoT-Kategorie "Betriebsoptimierung von Wärmepumpen" kann zum Beispiel mit "Regelung" und "Vergleich mit anderen Wärmepumpen" unter Verwendung von "Visualisierung und manueller Analyse" oder "Maschinellem Lernen" als Methoden erfolgen. Während des Kategorisierungsprozesses wurde deutlich, dass eine explizite Unterscheidung zwischen IoT-Kategorie und Zielen sowie Zielen und Methoden nicht möglich ist. Außerdem entspricht in einigen Fällen die Angabe der Ziele und der hier verwendeten Methoden nicht unbedingt den offiziellen Definitionen. Daher werden in den folgenden Abschnitten weitere Erläuterungen zur Unterscheidung gegeben.

Wie in Task 1 beschrieben, gibt es fünf IoT-Kategorien, die die verschiedenen Anwendungsbereiche von IoT-Produkten und Services beschreiben. "Bereitstellung von Flexibilität" und "Wärme als Dienstleistung" betreffen eher kommerzielle Anwendungen. Die verbleibenden drei Kategorien befassen sich mit dem Wärmepumpenbetrieb in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus einer Wärmepumpe, angefangen bei "Inbetriebnahme" über "Betriebsoptimierung" bis hin zu "Vorausschauender Wartung". Insbesondere die Kategorie "Betriebsoptimierung" deckt ein breites Anwendungsfeld ab, das von der Verbesserung des Wärmepumpenbetriebs bis hin zur expliziten Optimierung des Wärmepumpenbetriebs durch geeignete mathematische Algorithmen reicht.

Die Zwischenebene besteht aus fünf Datenanalysezielen, die sich teilweise mit den Kategorien und Methoden überschneiden. Zum Beispiel ist "Vorausschauende Wartung" sowohl als Kategorie als auch als Ziel definiert, da sie sowohl als übergeordnete Kategorie als auch als direktes Ziel einer spezifischen Analyse fungieren kann. Die Kategorie "Betriebsoptimierung" überschneidet sich größtenteils mit dem Ziel "Optimierung", während das Datenanalyse-Ziel "Optimierung" auch mit "Vorausschauende Wartung" und "Inbetriebnahme des Wärmepumpenbetriebs" verbunden ist. Das Datenanalyseziel "Regelung" deckt ein breites Spektrum von Anwendungen ab und ist durch jede Art von Abweichung im Betrieb der Wärmepumpe gegenüber der ursprünglich eingestellten

Standardregelung gekennzeichnet. Somit reicht die "Regelung" von der einfachen Ein-/Aus-Regelung von Wärmepumpen zur Realisierung der "Bereitstellung von Flexibilität" bis hin zur angepassten Wärmepumpenregelung zur "Betrieboptimierung".

Die abgeleiteten neun Datenanalysemethoden zeigen die grundlegendsten Methoden in Bezug auf die Datenanalyse auf und berücksichtigen Methoden auf verschiedenen Ebenen, z.B. "(Analyse von) Alarmen" und "Maschinelles Lernen". Die Methoden "Visualisierung und manuelle Analyse", "KPI-Berechnung und Vergleich" und "(Analyse von) Alarmen" sind Optionen der üblichen Vorverarbeitung von Messdaten. "Vorhersage" bezieht sich auf jede Art von Vorhersage, z.B. Datenvorhersage oder die Anwesenheit von Bewohner:innen in einem Haus. Die Methoden "MPC" (Model Predictive Control, modelbasierte Regelung), "MILP" (Mixed Integer Linear Programming) und "Maschinelles Lernen" sind stehende Begriffe und werden als solche angewendet. Für einen Anwendungsfall wird die "Analyse großer Datenmengen" erwähnt; hier wird eine strikte Übereinstimmung mit den Definitionen hinsichtlich der Menge der analysierten Daten sowie der verwendeten Analysearchitektur nicht weiter untersucht. Die "Entwicklung von Datenmodellen" wird hier als Methode der Datenanalyse in dem Sinne aufgeführt, dass die Entwicklung eines Datenmodells typischerweise an Teilen der Anwendungsdaten vorgenommen werden muss. Das resultierende Modell könnte dann zu allen anderen Datenanalysemethoden beitragen.

Beim weiteren Vergleich der Ziele der Datenanalysemethoden mit den IoT-Kategorien der Anwendungsfälle lassen sich einige Erkenntnisse ableiten. Die beiden Anwendungsfälle mit der Kategorie "Flexibilitätsbereitstellung" verwenden Datenanalysemethoden mit leicht unterschiedlichen Zielen; einer verwendet "MILP", um "Optimierung" zu realisieren, während der andere "Analyse großer Datenmengen" für direkte "Regelung" verwendet. Die angewandten Methoden sind also für unterschiedliche Detailstufen geeignet, was auch für die verwendeten Modelle gilt. Alle sechs Anwendungsfälle, die Datenanalysemethoden verwenden, die auf "vorausschauende Wartung" abzielen, stützen sich auf "Visualisierung und manuelle Analyse" sowie auf "KPI-Berechnung und Vergleich". Vier dieser Anwendungsfälle zielen auch auf "Fehlererkennung" ab. Das macht Sinn, da Fehlererkennung und vorausschauende Wartung eng miteinander verbunden sind. Andererseits geben nur zwei Anwendungsfälle auch "Vorausschauende Wartung" als IoT-Kategorie an, während die anderen die "Optimierung des Wärmepumpenbetriebs" ansprechen. Alle Anwendungsfälle in der Kategorie "Betrieboptimierung" bis auf einen verwenden Datenanalysemethoden, die ebenfalls eine Art von "Optimierung" als Ziel angeben. Diese Datenanalysemethoden werden in der Regel auch für "Regelung" verwendet. Die Verwendung der Datenanalysemethoden "Prognose" und "MPC" ist eine typische Kombination, die auf dieses Ziel hinarbeitet, oft durch Grey-Box-Modelle.

Modellierung und Datenanalyse sind zentrale Aktivitäten für IoT-fähige Wärmepumpenprodukte und -services, da sie eine sinnvolle Nutzung der gesammelten Daten ermöglichen, um gezielte Informationen für die gewünschten Zwecke bereitzustellen. Die meisten Informationen zur Datenanalyse wurden aus Forschungsprojekten abgeleitet, da diese Informationen offen zugänglich sind. Dies sollte jedoch nicht zu dem Schluss führen, dass die Datenanalyse nur in Forschungsprojekten verwendet wird. Es gibt noch viele weitere IoT-fähige Wärmepumpenprodukte und -dienstleistungen, bei denen diese Informationen nicht offengelegt werden.

Im Anhang des Task 3 Berichts sind detaillierte Informationen zu allen analysierten Beispielen verfügbar. Die österreichischen Beispiele sind Flex+ (Forschungsprojekt zur Flexibilität von

Wärmepumpen) und EDCSproof (Forschungsprojekt für ein Optimalregelkonzept für Industriebetriebe).

5.5. Task 4: IoT-Geschäftsmodelle

Beitrag von Regina Hemm (AIT), Philipp Ortmann (AIT), Veronika Wilk (AIT), Jonas Lundsted Poulsen (Danish Technological Institute DTI).

Der internationale Task 4 Bericht gibt einen Überblick über IoT-Geschäftsmodelle und Marktchancen, die durch vernetzte Wärmepumpen entstehen. Basierend auf den Ergebnissen von Task 1, 2 und 3 werden die wichtigsten Anwendungsfälle für IoT-fähige Wärmepumpen identifiziert. Literatur und Marktrecherche sind die Grundlage für den Überblick über Geschäftsmodelle für vernetzte Wärmepumpen. Für drei Geschäftsmodelle wurde zusammen mit der Annex 56 Gruppe eine detaillierte SWOT-Analyse durchgeführt, um Stärken, Schwächen, Chancen und Bedrohungen herauszuarbeiten.

5.5.1. Überblick über involvierte Interessensgruppen

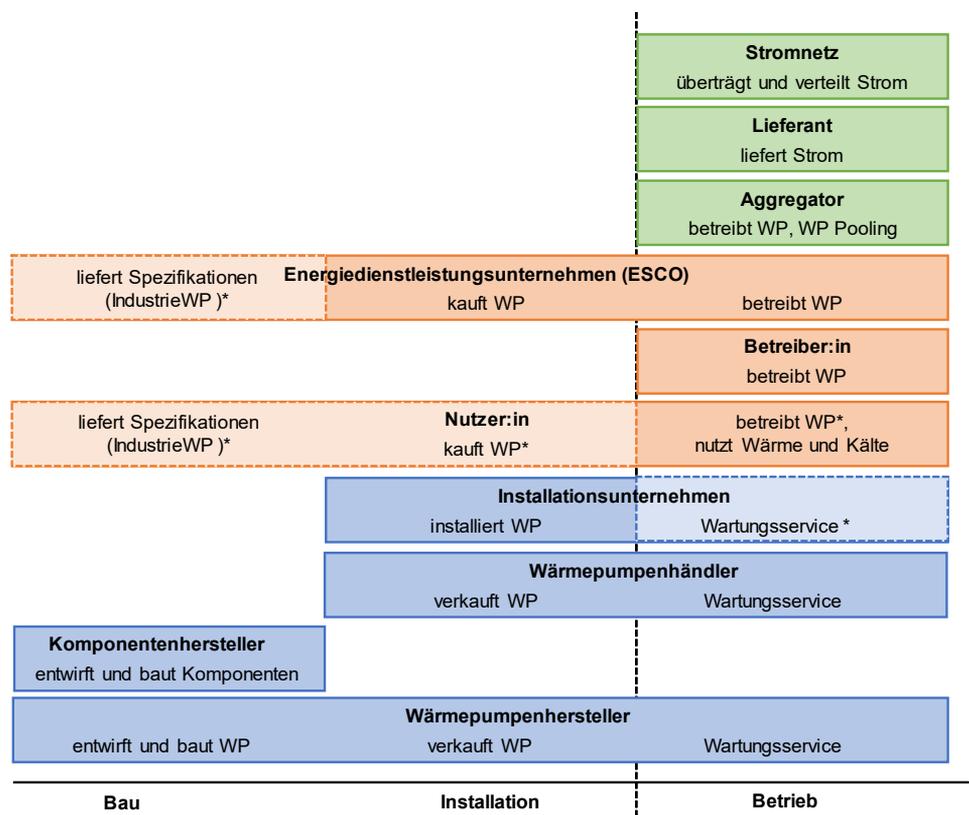


Abbildung 5-9: Überblick über die Interessensgruppen im Lebenszyklus von IoT-fähigen Wärmepumpen (* kennzeichnet optionale Aufgaben)

Die Analyse der Geschäftsmodelle hat gezeigt, dass mehrere Interessensgruppen beteiligt sind. Insgesamt wurden zehn verschiedene Stakeholder identifiziert: Unternehmen, die Wärmepumpen

herstellen (Hersteller), Unternehmen, die Komponenten herstellen (Komponentenhersteller), Unternehmen, die mit Wärmepumpen handeln (Händler), Installationsunternehmen, Nutzer:innen, Betreiber:innen, Energiedienstleistungsunternehmen, Aggregatoren, Lieferanten und das Stromnetz. Abbildung 5-9 zeigt die Aufgaben der Interessengruppen im Lebenszyklus einer IoT-fähigen Wärmepumpe, Tabelle 5 veranschaulicht, welche Interessensgruppen in welche der IoT-Anwendungen involviert sind.

Tabelle 5: Interessengruppen- und IoT-Anwendungsmatrix (x = beteiligt, k = kann beteiligt sein)

Stakeholder:innen	Betriebs- optimierung	Voraus- schauende Wartung	Inbetrieb- nahme	Bereitstellung von Flexibilität	Wärme als Dienstleistung
Nutzer:in	X	X	X	X	X
Betreiber:in	X	X	X	X	X
WP-Hersteller	X	X	k	X	X
WP-Händler	X	X	k	X	X
Installationsunternehmen	X	X	k	X	X
Aggregator			X	X	
Stromnetz				X	
Lieferant	k			X	
Energiedienstleistungs- unternehmen	X	X	X	X	X

Die Betriebsoptimierung umfasst auch die Interaktion mit anderen Energielieferanten (z.B. PV oder andere Wärmeversorger) und den Verbrauchern (z.B. industrielle Nutzung oder Nutzung im Haushalt) am Standort, an dem die Wärmepumpe betrieben wird, sowie die Integration in übergeordnete Systeme (Gebäudeenergiemanagement oder industrielles Prozessleitsystem). Diese Interaktionen liegen in der Verantwortung derjenigen, die die Wärmepumpe betreiben (Nutzer:innen oder Betreiber:innen oder Energiedienstleistungsunternehmen).

An der Optimierung des Wärmepumpenbetriebs, der Inbetriebnahme und der vorausschauenden Wartung sind die traditionellen Akteur:innen im Wärmepumpensektor beteiligt: Nutzer:innen, sowie Unternehmen, die Wärmepumpen herstellen, damit handeln und sie installieren. Es gibt hier keinen Unterschied zwischen privaten und industriellen Anwendungen von Wärmepumpen. Im Gegensatz dazu sind an der Bereitstellung von Flexibilität wesentlich mehr Unternehmen beteiligt, die Teil des Energiesystems sind. Aggregatoren werden vor allem für kleine Wärmepumpen in Privathaushalten benötigt, Wärmepumpen mit größeren Kapazitäten können auch ohne Aggregatoren Netzdienstleistungen erbringen. Wärme als Dienstleistung (Contracting, Heat as a service) wird von ESCO angeboten und basiert auf einem alternativen Eigentumsmodell für die Wärmepumpen.

5.5.2. Beispiele für Geschäftsmodelle

Im internationalen Task 4 Bericht werden Beispiele zu folgenden IoT-Kategorien beschrieben:

Betriebsoptimierung

IoT-Services zur Betriebsoptimierung von Wärmepumpen zielen darauf ab, Energie, Emissionen und Kosten zu sparen, ohne die Komfortanforderungen der Nutzer:innen zu beeinträchtigen. Eine Basisversion der Optimierung ist die Überwachung und Fernsteuerung über eine App, die einen Überblick über aktuelle und historische Daten bietet und die Anpassung des Sollwerts durch Nutzer:innen ermöglicht. Fortgeschrittene Systeme ermöglichen eine Anpassung an die Gewohnheiten der Nutzer:innen und eine optimale Interaktion mit anderen Komponenten, z.B. zur Maximierung des Eigenverbrauchs der PV-Produktion oder der Solarthermie oder zur optimalen Verwaltung eines thermischen oder elektrischen Speichers. Daher wird die Datenanalyse in der Regel in der Cloud des Diensteanbieters durchgeführt. Meistens wird die Betriebsoptimierung zusammen mit anderen IoT-Anwendungen angeboten, z. B. mit Bereitstellung von Flexibilität oder vorausschauender Wartung.

- PreHEAT von Neogrid (IoT-Produkt aus Dänemark)
- myiDM+energy von iDM (IoT-Produkt aus Österreich)
- KNV (IoT-Produkt aus Österreich)
- METRO THERM (IoT-Produkt aus Dänemark)
- Centrica Energy (IoT-Produkt aus Dänemark)
- Wärmepumpe Neusiedl der Energie Burgenland (österreichischer Energieversorger)

Vorausschauende Wartung

Die vorausschauende Wartung zielt darauf ab, die Wartung so genau wie möglich im Voraus zu planen und unerwartete Ausfälle zu vermeiden. Auf diese Weise werden Ausfallzeiten von Anlagen reduziert und ungeplante Stillstände, die in der Regel Kosten, Verzögerungen und Unannehmlichkeiten verursachen, verringert. Auch die Ressourcen für Wartungsarbeiten wie Ersatzteile und Arbeitszeit können genauer geplant werden. Vorausschauende Wartung erfordert eine Zustandsüberwachung der Geräte und eine Datenanalyse, um Anomalien und Ausfälle zu erkennen. Sie kann sich entweder auf kritische Komponenten einer Wärmepumpe, z.B. den Kompressor, konzentrieren oder das gesamte Wärmepumpensystem analysieren.

- SITRANS SCM IQ von Siemens
- IoT-Ventilatoren und ZAbuegalaxy Cloud von Ziehl-Abegg
- IQ Verdichter von Bitzer
- Energy Machines Verification Tool von EnergyMachines™ (IoT-Produkt aus Dänemark)
- Nærvarmeværket (Dänisches Energiedienstleistungsunternehmen)

Bereitstellung von Flexibilität

Wärmepumpen sind gut geeignet, um Flexibilität für das Stromnetz bereitzustellen, die mit zunehmendem Anteil an intermittierender erneuerbarer Energieerzeugung immer mehr gefragt ist. Im Stromsystem gibt es verschiedene Arten von Flexibilität, die mit unterschiedlichen Zeitskalen (von 1 Woche bis 1 Sekunde) angeboten werden. Die Art der Flexibilität, die mit Wärmepumpen

bereitgestellt werden kann, hängt von den Eigenschaften des Wärmepumpensystems sowie von den geltenden nationalen Vorschriften ab.

- tiko (IoT-Produkt aus der Schweiz)
- Flex+ (Forschungsprojekt aus Österreich)
- Green the Flex (Forschungsprojekt aus Österreich)
- Flex Heat Project (Forschungsprojekt aus Dänemark)

Wärme als Dienstleistung

Industrie: Wärme-Contracting-Geschäftsmodelle gibt es bereits im gewerblichen und industriellen Bereich, wo Energiedienstleistungsunternehmen (ESCO) Heizung, Warmwasser oder Prozesswärme für Industrieunternehmen bereitstellen. In der Regel sind Wärmepumpen mit größeren Leistung Gegenstand von Contracting, da es für ESCO einen erheblichen Aufwand bedeutet, die Wärmepumpe zu integrieren und zu betreiben.

- Kelag Energie und Wärme (österreichisches Contractingunternehmen)
- Aneo Industry (norwegisches Contractingunternehmen)

Haushalt: Wärme als Dienstleistung reicht von Anlagenleasing bis hin zu einem Zahlungsplan für Wärme. Dabei übernimmt das Dienstleistungsunternehmen Aufgaben, die normalerweise von den Nutzer:innen selbst getragen werden (Ankauf und Installation der Wärmepumpe, Wartungen, effizienter Betrieb, etc.). Die Nutzer:innen zahlen für Bereitstellung von Wärme oder Komfort und müssen sich dabei nicht um die Anlage kümmern.

- Nærvarmeværket (dänisches Energiedienstleistungsunternehmen)
- Viessmann (deutsches Unternehmen, das Wärmepumpen herstellt und Leasing anbietet)
- Thermondo (deutscher Leasinganbieter)
- Energie Burgenland (österreichischer Energieversorger, der Leasing anbietet)
- Energy Systems Catapult (UK Forschungsprojekt zu Geschäftsmodellen)

5.5.3. Schlussfolgerungen

Es sind bereits Geschäftsmodelle für IoT-fähige Wärmepumpen verfügbar, die anhand zahlreicher Beispiele analysiert wurden. Dabei sind folgende Aspekte wesentlich:

Die wesentlichen Vorteile für Nutzer:innen von IoT-fähigen Wärmepumpen sind niedrigere Kosten, effizientere Heizsysteme und eine höhere Zuverlässigkeit.

Für die Wärmepumpen-Wertschöpfungskette (Unternehmen, die Komponenten für Wärmepumpen herstellen, die Wärmepumpen herstellen, mit ihnen handeln und sie installieren) führt die Digitalisierung zu neuen Produkten und Dienstleistungen, die Wärmepumpen attraktiver und zukunftssicherer machen. Im Vergleich zu traditionellen Geschäftsmodellen haben sie mehr Verantwortung für die Effizienz der IoT-fähigen Wärmepumpensysteme.

Das Energiesystem (Aggregatoren, Lieferanten, Stromnetz usw.) hat einen hohen Bedarf an Flexibilität, um schwankende erneuerbare Erzeugung auszugleichen. Wärmepumpen

ermöglichen Sektorkopplung, indem sie den Wärme- und den Stromsektor miteinander verbinden und Flexibilität auf verschiedenen Ebenen bieten, was für die Zukunft besonders relevant sein wird.

Energiedienstleistungsunternehmen (ESCO) sind ein neuer Akteur im Gebäudesektor, haben sich aber bereits im industriellen Contracting etabliert. Sie helfen bei der Verbreitung von Wärmepumpen, da ihre Dienstleistung die Beteiligung der Nutzer:innen reduziert.

5.6. Erkenntnisse für Österreich

Die Arbeiten im Annex 56 machen deutlich, dass die österreichische Wärmepumpenbranche bei der Einführung und Nutzung von IoT-Technologie bereits sehr weit ist. Alle Unternehmen der Herstellerumfrage bieten sowohl IoT-Produkte (z.B. Wärmepumpen mit Konnektivität oder intelligenten Komponenten wie Kompressoren oder Sensoren) als auch damit verbundene Dienstleistungen (z.B. Vermarktung von Flexibilität, Fernservice, Überwachung usw.) an. Während zwei Drittel dieser Produkte bereits entweder im Produktportfolio der Unternehmen vorhanden oder in großer Zahl im Einsatz sind, befindet sich ein weiteres Drittel derzeit in der Evaluierungs-, Entwicklungs- oder Pilotphase. Es ist davon auszugehen, dass diese Produkte und Services in den nächsten Jahren noch mehr an Bedeutung gewinnen werden.

5.7. Publikationen

Bereits veröffentlichte Beiträge:

T. Flechl, The Internet of Things for Heat Pumps, Vortrag, IEA CERT Thematic discussion on Energy Efficiency and Digitalisation, Februar 2020, Paris.

V. Wilk, IoT and heat pumps: opportunities and challenges, Vortrag, European Heat Pump Summit, Nürnberg, 2021.

V. Wilk, R. Jentsch, T. Barz, C. Reichl, S. Hauer, B. Windholz, S. Knöttner, R. Hemm, J. Spreitzhofer, G. Music, G. Steindl, W. Kastner, H. Plank, C. Heschl, R. Partl, D. Ziermann, R. Stelzer, Digitalization and IoT (Internet of Things) for Heat Pumps (IEA HPT Annex 56), Vortrag und Paper, 28. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kältetechnik des Bundesamts für Energie BFE, 2022.

V. Wilk, IEA Annex 56: Digitalisation for the energy transition – connected heat pumps, Vortrag, IEA Vernetzungstreffen, Wien, 2022.

https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/events/20220927_iea-vernetzungstreffen/3_Wilk_Vernetzte_Waermepumpen_Annex_56.pdf?m=1664210313&

V. Wilk, Digitalisation and IoT for heat pumps, Keynote Vortrag (eingeladen), Køle- og Varmepumpeforum 2023, 8th International Symposium on Advances in Refrigeration and Heat Pump Technology, März 2023, Kopenhagen.

https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/324141531/kole_varmepumpeforum_2023.pdf

V. Wilk, R. Jentsch, T. Barz, Interconnected heat pumps in Austria: A technology implementation survey, Session Keynote und Paper mit Peer Review, 13rd IEA Heat Pump Conference, Chicago, 2023.

<https://iifiir.org/en/fridoc/interconnected-heat-pumps-in-austria-a-technology-implementation-survey-147113>

V. Wilk, IoT and digitalisation for heat pumps - opportunities and challenges, Vortrag, Workshop: Digitalization and Artificial Intelligence for Heat Pumps and Refrigeration systems, 26th International Congress of Refrigeration, Paris, 2023.

Zur Veröffentlichung eingereichte und akzeptierte Beiträge:

V. Wilk, IoT enabled heat pumps - Case studies and market opportunities, Vortrag, European Heat Pump Summit, Nürnberg, Oktober 2023.

V. Wilk, Business models heat pumps and the possibility to integrate them in district heating grids, in: Digitalisation of district heating - A guidebook from the IEA technology collaboration programme concerning district heating and cooling, 2023.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Zielgruppen, Einbindung und Ergebniskommunikation, Relevanz und Nutzen

Wärmepumpen- und Komponentenhersteller: Die nationale Wärmepumpenbranche war in das Projekt maßgeblich durch die Herstellerumfrage und die Factsheets eingebunden. Die Veröffentlichungen auf Wärmepumpenfachveranstaltungen tragen dazu bei, österreichische Lösungen sichtbar zu machen und informieren über die Ergebnisse des Projektes. Es wurden Präsentationen auf Branchenveranstaltungen in der DACH-Region gehalten, wie dem Heat Pump Summit 2021 und 2023 und der BFE-Tagung 2022 und auf internationalen Konferenzen, wie der IEA Heat Pump Conference 2023 und dem International Congress of Refrigeration 2023. Als weitere Kommunikationskanäle werden Posts auf LinkedIn, sowie die Projektwebsite genutzt, wo alle Ergebnisse verfügbar sind. Die Ergebnisse des Annex-Projekts sind für die österreichische Wärmepumpenbranche von Relevanz, da sie einen Vergleich und eine Einordnung der österreichischen Produkte in die europäische Innovationslandschaft erlauben. Die im Projekt vorgestellten Forschungsprojekte geben Aufschluss darüber, welche Möglichkeiten für Digitalisierung und Wärmepumpen zukünftig verfügbar sein werden.

Wissenschaft: Die Erkenntnisse aus dem Projekt werden in die akademische Lehre an der TU Wien und der FH Burgenland eingebracht. Außerdem wurden Ergebnisse österreichischer Forschungsprojekte in das internationale Projekt eingebracht, um so die Sichtbarkeit der österreichischen Forschung zu erhöhen.

Regulierungsbehörden und Policy Maker: Derzeit werden neue Standards auf europäischer und nationaler Ebene diskutiert (z.B. European Cyber Resilience Act, Servicestelle für künstliche Intelligenz in Österreich). Die Ergebnisse des Annex-Projekts lassen auf Grund des aktuellen Entwicklungsstandes keine eindeutigen Empfehlungen zu, die Diskussion der Gesetzesvorschläge erfolgt über die Herstellerverbände (z.B. EHPA, EPEE).

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des Annex 56 geben einen guten Überblick über die Risiken und Chancen für vernetzte Wärmepumpen. Es wurden 44 Anwendungsbeispiele in den teilnehmenden Ländern erhoben, die deutlich machen, dass IoT-fähige Wärmepumpen und darauf aufbauende Produkte bereits am Markt verfügbar sind.

Die Beispiele wurden fünf IoT-Kategorien zugeordnet, die die Anwendungen charakterisieren: Betriebsoptimierung, Vorausschauende Wartung, Inbetriebnahme, Bereitstellung von Flexibilität und Wärme als Dienstleistung. Die Anwendungen werden durch die Nutzung von IoT-Technologie und die damit einhergehende Vernetzung, Datenaustausch, Analyse und anderen Services ermöglicht oder signifikant verbessert. Für die Nutzer:innen bedeutet das üblicherweise Betriebskosten- und Energieeinsparungen und erhöhte Betriebssicherheit. Für das Energiesystem ist vor allem die Bereitstellung von Flexibilität von großer Bedeutung, da so die schwankende Erzeugung erneuerbarer Energie besser genutzt werden kann. Austausch und Nutzung von Daten spielt dabei eine wesentliche Rolle.

Für vernetzte Wärmepumpen stehen verschiedene Schnittstellen und Protokolle für die Kommunikation zur Verfügung. Oftmals erfolgt die Verbindung zum Internet drahtlos über WiFi und Gateways, die eine Verbindung zur Cloud herstellen, wo beispielsweise auf Datenanalyseservices zugegriffen werden kann. Für Wärmepumpen, die in die Gebäudeautomation eingebunden sind, ist BACnet und Modbus weit verbreitet. In der österreichischen Umfrage wurden Modbus und KNX Fieldbus, UPC UA und BACnet häufig genannt. Die Analyse der dänischen Anwendungsbeispiele verdeutlicht, dass verschiedene Stakeholder (schnell) auf verschiedenen Ebenen und über verschiedene Schnittstellen interagieren müssen, zum Beispiel über API-Schnittstellen, Modbus, MQTT, Apps für Endbenutzer:innen und Fog-/Edge-basierte Computing-Einrichtungen. Die schwedischen Arbeiten zeigen, dass Interoperabilität zwischen Wärmepumpen verschiedener Hersteller und auch innerhalb der Produktpalette eines einzelnen Herstellers schwierig ist. Diese Herausforderung gelten allerdings nicht ausschließlich für Wärmepumpen, sondern generell für vernetzte Erzeuger und Verbraucher im Energiesystem. Interoperabilität und Datenverfügbarkeit werden eine wesentliche Rolle bei der Balancierung von Erzeugung und Verbrauch spielen.

Modellierung und Datenanalyse sind zentrale Aktivitäten für IoT-fähige Wärmepumpenprodukte und Services, da sie eine sinnvolle Nutzung der gesammelten Daten ermöglichen, um gezielte Informationen für die gewünschten Zwecke bereitzustellen. In der Analyse wurden fünf Ziele der Datenanalyse erhoben, denen verschiedene Methoden zugeordnet werden können: Fehlererkennung, Vorausschauende Wartung, Optimierung, Regelung und Vergleich mit anderen Wärmepumpen. Die in den Anwendungsbeispielen eingesetzten Datenanalysemethoden sind Visualisierung und manuelle Analyse, Analyse von Alarmen, KPI-Berechnung und Vergleich, Vorhersage, MPC (modellbasierte Regelung), MILP (Gemischt-Ganzzahlige Optimierung), Analyse großer Datenmengen, Entwicklung von Datenmodellen und Maschinelles Lernen. Die Analyse macht deutlich, dass die Anwendung maßgeblich die Datenanalysemethode bestimmt.

IoT-fähige Wärmepumpen sind bereits Teil von Geschäftsmodellen und neuen Services. Die wesentlichen Vorteile für Nutzer:innen von IoT-fähigen Wärmepumpen sind niedrigere Kosten, effizientere Heizsysteme und eine höhere Zuverlässigkeit. Für die Wärmepumpen-Wertschöpfungskette, das heißt für Unternehmen, die Komponenten für Wärmepumpen herstellen, die Wärmepumpen herstellen, die mit ihnen handeln und sie installieren, führt die Digitalisierung zu neuen Produkten und Dienstleistungen, die Wärmepumpen attraktiver und zukunftssicherer machen. Im Vergleich zu traditionellen Geschäftsmodellen haben sie so auch mehr Verantwortung für die Effizienz der IoT-fähigen Wärmepumpen. Das Energiesystem (Aggregatoren, Lieferanten, Stromnetz usw.) verlangt Flexibilität, um die schwankende erneuerbare Erzeugung auszugleichen. Wärmepumpen können Flexibilität bereitstellen und ermöglichen Sektorkopplung, indem sie den Wärme- und den Stromsektor miteinander verbinden, was für die Zukunft besonders relevant sein wird. Energiedienstleistungsunternehmen (ESCO) sind ein neuer Akteur im Gebäudesektor (Heat as a service, Leasing von Wärmepumpen, Wärme als Dienstleistung), sie haben sich bereits im industriellen Bereich mit Wärmepumpencontracting etabliert. ESCO können bei der weiteren Verbreitung von Wärmepumpen unterstützen, da sich Nutzer:innen in Contractingmodellen nicht mit der Wärmepumpe auseinandersetzen müssen, sondern nur die Wärme beziehen.

Die Bedeutung der Digitalisierung für die Energiewende hat in den letzten Jahren weiter zugenommen. Intelligente, digitale Lösungen sind zunehmend gefragt, um verschiedene Flexibilitätsoptionen wie die strombasierte Wärmeerzeugung, den Einsatz von Speichern oder die E-Mobilität effizient zu nutzen und das Stromnetz sicher zu steuern. Die EU setzt hohe Erwartungen in digitale Technologien für die Energiewende, da sie das volle Potenzial der flexiblen Energieerzeugung und des Energieverbrauchs erschließen sollen. Digitale Technologien ermöglichen Systemoptimierung, betriebliche Einsparungen und Einsparungen bei der Netzinfrastruktur, da sie die notwendigen Daten liefern sollten, um Angebot und Nachfrage sowohl lokal als auch systemweit aufeinander abzustimmen. Daher hat die EU-Kommission im Oktober 2022 einen Aktionsplan beschlossen, der durch die Entwicklung eines nachhaltigen, cyber-sicheren und wettbewerbsfähigen Marktes für digitale Energiedienstleistungen und digitale Energieinfrastrukturen zu den energiepolitischen Zielen der EU beitragen soll. Hauptpfeiler sind die Schaffung eines gemeinsamen europäischen Energiedatenraums für den Austausch und die Nutzung von Energiedaten, ein Verhaltenskodex für Interoperabilität, die verstärkte Teilnahme an Demand-Response-Programmen für energieeffiziente Geräte und die Stärkung der Cybersicherheit und Widerstandsfähigkeit des Energiesystems.

Weiterführende nationale und internationale Forschungsprojekte

Im Themenkreis des Annex 56 hat AIT bisher zwei neue Projekte entwickelt, die national und international gefördert werden: das NEFI Projekt Industry4Redispatch ist das Fortsetzungsprojekt von EDCSproof, hier wird das Energy Demand Control System bei verschiedenen Industriepartnern implementiert und getestet. Weitere Informationen sind auf der Homepage <https://www.nefi.at/de/projekt/industry4redispatch> verfügbar.

Das Horizon Europe Projekt PARMENIDES zielt darauf ab, innovative, interoperable und sichere Konzepte und Lösungen für die Bereitstellung von Flexibilitätsdiensten in Energiegemeinschaften durch den Einsatz von hybriden Energiespeichersystemen zu entwickeln, einzusetzen und zu validieren. Dabei werden verschiedene Speichertechnologien wie Batteriespeichersysteme, Wasserstoffspeicher, Wärmepumpen, Gebäude, Fernwärmenetze und Elektrofahrzeuge berücksichtigt. Dank der Entwicklung einer neuartigen Ontologie, einer Systemarchitektur und einer

neuen Generation innovativer Energiemanagementsysteme (EMS), die auf Energiegemeinschaften ausgerichtet sind, werden verschiedene Flexibilitätsstrategien entwickelt, getestet und demonstriert. Das Projekt wird von AIT koordiniert, die KTH, die auch am Annex 56 teilgenommen hat, nimmt auch an diesem Projekt teil. Weitere Informationen sind auf der Homepage <https://parmenides-project.eu/> verfügbar.

Neuer Annex im Heat Pumping Technologies TCP

Annex 56 hat gezeigt, dass Digitalisierung auch für Wärmepumpen eine wesentliche Rolle spielt. Daher soll ein weiteres Annex Projekt im Heat Pumping Technologies TCP entwickelt werden, das sich auf die Nutzung digitaler Methoden für Wärmepumpen konzentriert. Mögliche Themenfelder sind Produktdesign und Zertifizierung (z.B. Digitaler Zwilling für den Produktlebenszyklus, Semantische Modellierung zur generischen Beschreibung von Wärmepumpen für die Modellierung, Modulare Wärmepumpe für den Austausch von Komponenten und Anpassung des Designs durch Simulation, Hardware-in-the-Loop-Tests für dynamische Bedingungen und Wechselwirkungen), Integration (AR-unterstützte Aufstellung, Datenbasierte Fehlererkennung bei der Installation) und datenbasierte Betriebsoptimierung (Prädiktive Wartung, AR-gestützte Wartung, Modellbasierte Wärmepumpensteuerung). Der Inhalt des Legal Text für den neuen Annex wird gerade mit den Interessent:innen abgestimmt. Der Legal Text wird voraussichtlich im November 2023 dem ExCo zur Entscheidung vorgelegt.

Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik

Die Wärmepumpe wird weltweit die Schlüsseltechnologie zum Heizen und Kühlen sein, weltweit sollen 1,8 Milliarden Wärmepumpen bis 2050 installiert werden (IEA, 2021). In Österreich gibt es etablierte Hersteller mit hochwertigen Produkten, sowie zahlreiche Fachbetriebe zu Planung und Installation, die für die (heimische) Transformation des Energiesystems eine wesentliche Rolle spielen werden und damit zur Sicherung der Wertschöpfung und von Arbeitsplätzen in Österreich beitragen. Aus dem großen Bedarf an Wärmepumpen ergeben sich einige Herausforderungen, denen auch durch verstärkte Digitalisierung und die Nutzung digitaler Methoden begegnet werden kann:

- Die Nutzung digitaler Methoden wird für den Hochlauf der Technologie und der erfolgreichen Einbindung in das Energiesystem wesentlich sein. Dazu zählen Methoden der digitalen Planung und Produktentwicklung, um schneller Produkte zu entwickeln und an veränderte Randbedingungen anpassen zu können. Außerdem muss die Fertigung an die hohen Stückzahlen angepasst werden, wofür Automatisierungslösungen und Robotik benötigt werden (vgl. Automobilfertig, Industrie 4.0).
- Im Wohnbau braucht es geeignete Lösungen zur Gebäudesanierung, der Adaption von Wärme- und Kälteverteilung, sowie für den Tausch von Heizungssystemen in Bestandgebäuden. Digitale Methoden können die Entscheidungsfindung und Bewertung vereinfachen und so die Sanierung beschleunigen.
- Es werden digitale Methoden zur Betriebsoptimierung benötigt, um die Wärmepumpen so effizient wie möglich zu betreiben und ohne großen Personalaufwand in Betrieb zu setzen und an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen.
- Digitale Methoden werden außerdem benötigt, um Wärmepumpe intelligent und systemdienlich zu steuern. Dazu zählt die Bereitstellung von Flexibilität in allen Skalierungen vom Einzelgebäude über Netzabschnitte bis hin zu Regionen durch Pooling, sowie der abgestimmte Betrieb mit thermischen Speichern.

- Die Eigenbedarfsdeckung soll durch optimierte Integration und Betriebsführung von Wärmepumpen in Kombination mit PV, Ladestationen für E-Autos und elektrischen Speichern maximiert werden.
- Der regionale, gemeinschaftliche Eigenverbrauch soll über einzelne Gebäude, Gewerbebetriebe und produzierende Unternehmen hinweg maximiert werden. Auch dafür müssen Wärmepumpen optimal integriert und betrieben werden, wo der Kontext der regionalen Sektorkopplung und die Kombination mit elektrischen Speichern berücksichtigt werden muss.

Die FTI-Politik soll daher Forschung und Entwicklung zu den oben genannten Punkten in geförderten Forschungsprojekten und Demonstrationsprojekten unterstützen.

Literaturverzeichnis

- AFPAC, La Pompe à Chaleur du futur - Intelligence et connectivité, Dossier AFPAC - N°11, 2019. <https://www.afpac.org/attachment/2269473/>
- Alliance for the Internet of Things Innovation AIOTI, Internet of Things Applications, AIOTI WG01 – IERC, Release 1.0, 15th October 2015, <https://aioti.eu/wp-content/uploads/2017/03/AIOTIWG01Report2015-Applications.pdf> (abgerufen am 2.10.2023, 17:10)
- Baras, K., & Brito, M. L. (2018). Introduction to the Internet of Things. In F. Q. Hassan, A. u. Khan, & S. A. adani, *Internet of Things - Challenges, Advances and Applications* (pp. 3-32). Taylor & Francis Group, LLC.
- buildingSMART, 2023: "Industry Foundation Classes (IFC)," buildingSMART International. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/> (abgerufen am 13. April 2023, 14:15)
- Busch, J., Soukup, A., Dutzler, H., Loinig, M., & Gorholt, A. (2015). Industrie 4.0–Österreichs Industrie im Wandel. Hg. PwC Österreich GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. Wien.
- Energinet, 2021. "Key Figures for the Green Transition". Available online: <https://en.energinet.dk/> (abgerufen am 23. Nov. 2022).
- GrowthEnabler, Market Pulse Report: Internet of Things (IoT). Discover Key Trends & Insights on Disruptive Technologies & IoT Innovations, April 2017
- S. Hauer, J. Murschetz, A. Bres, A. Sporr, M. Schöny, and M. Monsberger, "metaTGA: a chance for BIM in the field of MEP," *Bauphysik*, vol. 42, no. 6, pp. 345–351, 2020, doi: 10.1002/bapi.202000028.
- IEA, Net Zero by 2050, IEA, Paris, 2021. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (abgerufen am 2.10.2023, 17:10)
- IEA, Digitalization & Energy, 2017, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf> (abgerufen am 2.10.2023, 17:10)
- Lyons, L., Digitalisation: Opportunities for heating and cooling, EUR 29702 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-01438-6, doi:10.2760/00116, JRC116074
- metaTGA, 2023: Ergebnisse – metaTGA." <http://www.metatga.org/ergebnisse/> (abgerufen am Apr. 13, 2023)
- Norlys, 2023. "Rules for reduced electricity tax" (in Danish). Available online: <https://norlys.dk/el/bliv-klogere/reduceret-elafgift/> (abgerufen am 18. Jan. 2023).
- Willner, A. (2018). The Industrial Internet of Things. In F. Q. Hassan, *Internet of Things A to Z: Technologies and Applications* (pp. 295-318). Wiley & Sons, Inc.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1: Systematik zur Strukturierung und Beschreibung von Anwendungsfällen für IoT-fähige Wärmepumpenprodukte und -services	23
Abbildung 5-2: Verteilung der Anwendungsbeispiele auf die teilnehmenden Länder des Annex	24
Abbildung 5-3: Visualisierung von Akteur:innen für IoT-basierte Wärmepumpen im Energiesystem (Illustration DTI), Begriffe: 1... Datenbank, 2... Verantwortliche für Stromnetz, 3... Nutzer:innen, Betreiber:innen, 4... Dienstleistungsunternehmen, 5... Aggregator, 6... Unternehmen, das Wärmepumpen herstellt/ wartet, 7... Unternehmen, das Komponenten herstellt	29
Abbildung 5-4: Motivation zur Einführung von IoT-Produkten und Services.	33
Abbildung 5-5: Bedeutung der Technologien der digitalen Transformation	34
Abbildung 5-6: Zyklus zur Entscheidungsfindung für IoT-Anwendungen	37
Abbildung 5-7: Nutzung von Laufzeitdaten in einer Wissensbasis (Darstellung: TU Wien).....	43
Abbildung 5-8: Systematik der Datenanalyse	44
Abbildung 5-9: Überblick über die Interessensgruppen im Lebenszyklus von IoT-fähigen Wärmepumpen (* kennzeichnet optionale Aufgaben).....	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilnehmende Länder und Institutionen	14
Tabelle 2: Übersicht über die Tasks und deren Inhalte.....	15
Tabelle 3: Ziele des nationalen Projektes und Einbettung in das internationale Projekt	16
Tabelle 4: Übersicht über die Tasks und deren Inhalte.....	19
Tabelle 5: Interessengruppen- und IoT-Anwendungsmatrix (x = beteiligt, k = kann beteiligt sein)	47

Abkürzungsverzeichnis

AIOTI	Alliance for Internet of Things Innovation
BIM	Building Information Modelling (digitale Gebäudeplanung)
BOT	Building Topology Ontology
CPS	Cyber-Physical Systems (Cyber-physikalische Systeme)
ESCO	Energy Service Company (Energiedienstleistungsunternehmen)
F&E	Forschung und Entwicklung
FHB	FH Burgenland
FMU	Functional Mock-Up Unit
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
HLK	Heizung Lüftung Klimatechnik
IEA	Internationale Energieagentur
IFC	Industry Foundation Classes
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
JRC	Joint Research Center
KPI	Key Performance Indicators
MILP	Mixed Integer Linear Programming (gemischt ganzzahlige Optimierung)
MPC	Model Predictive Control (modellbasierte Regelung)
ÖAW	Österreichische Akademie der Wissenschaften
ODBA	Ontologie-basierten Datenzugriff
OEM	Original Equipment Manufacturer
OODA	OODA
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PLC	Prozessleitsystem
PV	Photovoltaik
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Überwachung, Steuerung und Datenerfassung)
SSN	Semantic Sensor Network Ontology
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken)
TCP	Technology Collaboration Programme

WiFi	Wireless Fidelity, Bezeichnung für ein drahtloses Netzwerk
WP	Wärmepumpe
WPA	Wärmepumpe Austria

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

servicebuero@bmk.gv.at

bmk.gv.at