

# **Cooling LEC – Energieflexible Gebäude durch Steuerung von Kühlanlagen über unidirektionale Kommunikation in Local Energy Communities**

T. Nacht, R. Pratter,  
N. Bisko, M. Kröpfl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**16/2025**

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

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

Autorinnen und Autoren:

DI Dr Thomas Nacht, DI Robert Pratter, Nina Bisko MSc.  
4ward Energy Research GmbH

DI Martin Kröpfl, BSc.

Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH

Wien, 2025

# Cooling LEC – Energieflexible Gebäude durch Steuerung von Kühlanlagen über unidirektionale Kommunikation in Local Energy Communities

DI Dr Thomas Nacht, DI Robert Pratter, Nina Bisko MSc.  
4ward Energy Research GmbH

DI Martin Kröpfl, BSc.  
Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH

Graz, März 2023

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von





## **Vorbemerkung**

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at) zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>12</b>
	3.1. Stand der Technik .....	12
	3.2. Motivation für das Projekt.....	13
	3.3. Zielsetzung im Projekt.....	16
<b>4</b>	<b>Projekthalt</b> .....	<b>17</b>
	4.1. Das Cooling LEC System .....	17
	4.1.1. Cooling LEC System Analyser .....	17
	4.1.2. Cooling LEC Control Optimiser .....	20
	4.1.3. Cooling LEC Communicaton Suite.....	21
	4.2. Local Energy Community .....	22
	4.3. Nutzer- und Nutzerinnen-Einbindung.....	23
	4.4. Demonstration .....	24
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>27</b>
	5.1. Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung .....	27
	5.2. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung .....	29
	5.3. Ergebnisse aus dem Training und dem Systemtest des <i>Cooling LEC Systems</i> .....	32
	5.3.1. Cooling LEC System Analyser .....	32
	5.3.2. Cooling LEC Control Optimiser .....	33
	5.4. Ergebnisse aus dem Demonstrationsbetrieb.....	35
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>39</b>
	6.1. Erkenntnisse.....	39
	6.2. Weiterer Forschungsbedarf .....	41
	6.3. Verwertungsplan.....	42
<b>7</b>	<b>Ausblick und Empfehlungen</b> .....	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Verzeichnisse</b> .....	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>49</b>
	9.1. Data Management Plan (DMP) .....	49

# 1 Kurzfassung

Der fortschreitende Klimawandel führt zu höheren Sommertemperaturen und damit zu einem erhöhten Kühlbedarf, der vor allem in Bestandsbauten nicht gänzlich durch passive Kühlmaßnahmen gedeckt werden kann und somit mit einem zusätzlichen Strombedarf einhergeht. Während der zusätzliche Strombedarf durch diese Kühlgeräte eine Herausforderung darstellt, bieten die Geräte auch ein Flexibilitätspotenzial. Eine gezielte Nutzung könnte eine Entlastung der Stromnetze durch Aufnahme überschüssiger erneuerbarer Erzeugung mit sich bringen. Eine Steuerung durch den Netzbetreiber würde aus Systemsicht Sinn machen, birgt aber die Herausforderung des Datenaustausches zwischen Netzbetreiber und den Kühlgeräten. Die Praxis zeigt, dass sich diese Herausforderung derzeit kaum bewältigen lässt.

Im Rahmen von *Cooling LEC* wurden daher die folgenden Forschungsfragen behandelt:

- Ist die Umsetzung einer Steuerung auf Basis einer unidirektionalen Kommunikation über Rundsteueranlagen unter Zuhilfenahme eines selbstlernenden Systems für die Analyse und Steuerung der Kühllasten möglich?
- Bietet das neue Modell der Energiegemeinschaften ein ausreichend wirtschaftlich attraktives Umfeld, um das System auch wirtschaftlich betreiben zu können?
- Wie reagieren die Nutzer und Nutzerinnen auf ein solches System?

Aufbauend auf diesen Fragestellungen wurde ein selbstlernendes System entwickelt, das unter Verwendung einer unidirektionalen Signalrichtung die zentrale Steuerung dezentraler Kühlgeräte durchführt. Ziel der Steuerung war die Optimierung des Einsatzzeitpunktes der Kühlgeräte, um möglichst viel PV-Überschuss-Strom zu verwenden und gleichzeitig Komforteinbußen bei den Nutzern und Nutzerinnen zu vermeiden. Das *Cooling LEC System* besteht aus dem *Cooling LE - System\_Analyser*, zur Identifikation der Einschaltvorgänge von Kühlgeräten, dem *Cooling LEC Control Optimiser* zur Prognose von Lasten, Erzeugung und Einsatzzeitpunkt der Kühlgeräte und der anschließenden Optimierung der Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte und der *Cooling LEC Communication Suite*, zur Ansteuerung der Kühlgeräte mittels Rundsteuersignal.

Für den *Cooling LEC System Analyser* wurde die Methode der Flankenerkennung eingesetzt. Dank einer Überarbeitung der Messdaten der Kühlgeräte für das Training des selbstlernenden Systems wurden beim Systemtest 80 % der Einschaltflanken richtig erkannt. Im Demonstrationsbetrieb sank die Performance der Flankenerkennung deutlich ab und nur rund 40 % der Flanken wurden richtig erkannt.

Für den *Cooling LEC Control Optimiser* kam eine Zeitreihenprognose auf Basis eines Neuronalen Netzes zum Einsatz, welche den Einsatz der Kühlgeräte, die Gebäudelast und die PV-Erzeugung prognostiziert. Der Ansatz stellte sich als gute Lösung für diesen Aufgabenbereich heraus, obwohl die Datengrundlage für das Training der Modelle corona-bedingt schlecht war. Für die Optimierung des Einsatzzeitpunktes kam der im Forschungsprojekt Hybrid-Flex entwickelte Ansatz zur Optimierung der Warmwasseraufbereitung zum Einsatz, der den Einsatz von Flexibilitäten innerhalb eines Komfortfensters optimiert. Während des Systemtests wurde für die Kühllastprognose ein Root Mean Square Error (RMSE) von rund 0,2 als Mittel in beiden Gebäuden erzielt. Für die Gesamtlastprognose wurde ein RMSE von 0,05 erreicht. Im Demonstrationsbetrieb wurde die Gesamtlastprognose mit

dem Mean Average Percentile Error (MAPE) bewertet, dabei wurden Werte von 60 % für das Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ und rund 23 % für das Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“ erreicht. Letzteres stellt ein gutes Ergebnis dar.

Für die Bewertung der Kühllastprognose wurde die Treffergenauigkeit der Prognose errechnet, diese erreichte im ersten Monat der Demonstrationsphase einen Wert von rund 30 %, was aber auch damit zusammenhing, dass die Prognosewerte vor einer Optimierung der Einschaltzeitpunkte erstellt wurden. In den beiden Folgemonaten wurde die Prognose deutlich schlechter.

Die Nutzer und Nutzerinnen reagierten in einem der beiden Demonstrationsgebäude gut auf die Einschalttempfehlungen, jedoch ließ die Reaktionsfreudigkeit im Verlauf der Demonstrationsphase nach.

Für die Übermittlung der Steuersignale war geplant, die bestehende Rundsteueranlage dahingehend zu adaptieren, dass die Signale des *Cooling LEC Control Optimisers* direkt eingepflegt und versandt werden. Dieser Ansatz wurde aus Sicherheitsgründen verworfen und auf eine manuelle Programmierung der Rundsteueranlage umgestellt. Die Kühlgeräte wurden nicht direkt geschaltet, da es sich um manuell gesteuerte Geräte handelte, sondern das Rundsteuersignal aktivierte eine Signaleinheit bei den Nutzern und Nutzerinnen, die dann die Steuerung übernahmen. Durch die Maßnahmen der Nutzer und Nutzerinnen konnten in Summe um 40 kWh mehr an PV-Strom direkt genutzt werden.

Für die wirtschaftliche Bewertung des Ansatzes wurde die Einbindung der Demonstrationsgebäude in eine erneuerbare Energiegemeinschaft untersucht und alternative Geschäftsmodelle definiert. Der Ansatz stellte sich grundsätzlich als gut heraus, konnte aber aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen nicht umgesetzt werden. Der Einsatz des *Cooling LEC Ansatzes* im Rahmen einer Energiegemeinschaft stellte sich als sinnvoller Ansatz heraus, zumindest zeigten das die Simulationen. Der wirtschaftliche Vorteil war aufgrund der sehr geringen Leistungsstärke der Kühlgeräte mit €15 p.a. ebenfalls sehr gering, zeigte aber das grundsätzliche Potenzial des Ansatzes.

Die Einbindung der Nutzer und Nutzerinnen schaffte Vertrauen und baute Hürden für die Umsetzung ab, dennoch stellte sich heraus, dass reine Empfehlungen an die Nutzer und Nutzerinnen keine ausreichend verlässliche Methode zur Steuerung der Kühlgeräte waren. Der Proof of Concept bestätigte die Annahme, dass die unidirektionale Kommunikation ein Potenzial für energieflexible Gebäude aufweist, aber für eine Steuerung sollten in erster Linie größere Kühlaggregate berücksichtigt werden. Weiters hat sich gezeigt, dass das Potential des Cooling-LEC Ansatzes stark von der Ausgangslage abhängt. Die Leistung der Kühlgeräte muss in einem vernünftigen Verhältnis zur gemessenen Gesamtlast liegen, sodass der Betrieb dieser mittels Flankenerkennung identifizierbar ist und nicht vollständig in der Gesamtlast untergeht. Außerdem muss ein ausreichender PV-Überschuss vorhanden sein, um einen positiven wirtschaftlichen Effekt erzielen zu können. Ist die PV-Anlage jedoch um ein Vielfaches größer als der Verbrauch kann sich das wiederum negativ auf das Optimierungspotential auswirken, da der Kühlenergiebedarf ohnehin bereits zu großen Teilen mit PV-Strom gedeckt wird. Außerdem sind die Prognosemodelle stark von der Verfügbarkeit und der Qualität der Messdaten abhängig. Nur wenn ausreichend geeignete Daten zur Verfügung stehen können gute Prognoseergebnisse erzielt werden. Das ist umso wichtiger zu berücksichtigen, da die Fehlerfortpflanzung in verketteten Systemen ist ein bedeutendes Thema ist.

Obwohl das Potenzial von Rundsteuergeräten theoretisch gegeben ist, gestaltet sich die Umsetzbarkeit als schwierig. Energiegemeinschaften haben theoretisch ein Potenzial für Low-Cost-Flexibilisierungsmaßnahmen.

## 2 Abstract

Progressive climate change is leading to higher summer temperatures and therefore an increased need for cooling. While the additional electricity demand from these cooling appliances is a challenge, the appliances also offer flexibility potential. Targeted utilisation could reduce the load on the electricity grids by absorbing surplus renewable generation. Control by the grid operator would make sense from a system perspective but poses the challenge of data exchange between the grid operator and the cooling appliances. Practical experience shows that this challenge is currently almost impossible to overcome.

The following research questions were therefore addressed as part of Cooling LEC:

- Is it possible to implement a control system based on unidirectional communication via ripple control systems with the aid of a self-learning system for analysing and controlling the cooling loads?
- Does the new model of energy communities offer a sufficiently economically attractive environment to be able to operate the system economically?
- How do users react to such a system?

Based on these questions, a self-learning system that uses unidirectional signalling to centrally control decentralised cooling units was developed. The aim of the control system was to optimise the time of use of the cooling units in order to use as much excess PV power as possible without compromising the comfort of the users. The Cooling LEC system consists of the Cooling LEC System Analyser, for identifying the switch-on processes of cooling units, the Cooling LEC Control Optimiser, for forecasting loads, generation, and the time of use of the cooling units and the subsequent optimisation of the switch-on times of the cooling units, and the Cooling LEC Communication Suite, for controlling the cooling units by means of a ripple control signal.

The edge detection method was used for the Cooling LEC System Analyser. Thanks to a revision of the measurement data from the cooling units to train the self-learning system, 80 % of the switch-on edges were recognised correctly during the system test. In demonstration mode, the performance of the edge detection decreased significantly and only around 40 % of the edges were recognised correctly.

For the Cooling LEC Control Optimiser, a multi-density layer model was used that predicts the use of the cooling units, the building load and the PV generation. The approach proved to be a good solution for this task, although the database for training the models was poor due to the coronavirus. To optimise the time-of-use, the approach developed in the Hybrid-Flex research project was used to optimise water heating, which optimises the use of flexibilities within a comfort window. During the system test, a root mean square error (RMSE) of around 0.2 was reached as the mean value for the cooling load forecast in both buildings. An RMSE of 0.05 was achieved for the total load forecast. In demonstration operation, the total load forecast was evaluated with the Mean Average Percentile Error (MAPE), whereby values of 60 % were achieved for the "Planning Office" demonstration building and values of approx. 23 % for the "Future House" demonstration building. The latter represents a good result.

For the evaluation of the cooling load forecast, the accuracy of the forecast was calculated, which reached a value of around 30% in the first month of the demonstration phase, but this was also due to the fact that the forecast values were created before the switch-on times were optimised. In the two following months, the forecast became significantly worse, as no training values were available for the months of September and October.

The users responded well to the switch-on recommendations in one of the two demonstration buildings, but their responsiveness declined over the course of the demonstration phase.

For the transmission of the control signals, the plan was to adapt the existing ripple control system so that the signals from the Cooling LEC Control Optimiser could be entered and sent directly. This approach was rejected for safety reasons and the ripple control system was switched to manual programming. The cooling units were not switched on directly, as they were manually controlled units; instead, the ripple control signal activated a signalling unit at the users, who then took over control. The measures taken by the users meant that a total of 40 kWh more PV electricity could be used directly.

For the economic evaluation of the approach, the integration of the demonstration buildings into a renewable energy community was analysed and alternative business models were defined. The approach turned out to be good in principle but could not be implemented due to the legal framework conditions. The use of the Cooling LEC approach as part of an energy community proved to be a sensible approach, at least that is what the simulations showed. The economic advantage was also very low at €15 p.a. due to the very low performance of the cooling units, but it showed the fundamental potential of the approach.

The involvement of the users created trust and removed barriers to implementation, but it became clear that simply making recommendations to the users was not a sufficiently reliable method for controlling the cooling units. The proof of concept confirmed the assumption that unidirectional communication has potential for energy-flexible buildings, but larger cooling units should be considered first and foremost for control.

From the methods used, it could be concluded that there is a need for good data quality and that the use of multi-dense layer models is primarily suitable for the prediction of regular signals. This is all the more important to consider as error propagation in interlinked systems is a significant issue.

Although the potential of ripple control devices is theoretically given, the realisation is difficult. Energy communities theoretically have a potential for low-cost flexibilisation measures.

# 3 Ausgangslage

Das Projekt *Cooling LEC* adressiert die Flexibilisierung von Kühlgeräten und basiert auf der Überlegung, dass durch den zunehmenden Klimawandel ein Anstieg an aktiven Kühlgeräten zu erwarten ist. Demgegenüber steht eine zunehmende Anzahl dezentraler volatiler Erzeugungsanlagen, die das Energiesystem vor neue Herausforderungen stellt.

## 3.1. Stand der Technik

Der Klimawandel wurde als eine der größten Herausforderung der heutigen Gesellschaft identifiziert[1], was zu einer steigenden Anzahl an Tagen mit Extremtemperaturen im Sommer führt, was wiederum zu einer Steigerung des Kühlbedarfs führt. Ein Maximalszenario bezifferte den Anstieg der Kühlenergie in Österreich bis 2030 mit 500 GWh, was zu einem Gesamtkühlenergiebedarf von 9.700 GWh führt[2], [3].

### **Kühlung:**

Passive Kühlung nutzt die niedrigen Temperaturen von Erdreich, Grundwasser oder bestimmten Gebäudeteilen (Betonkernkühlung) zur Klimatisierung. Eine Wirtschaftlichkeit ist im Wesentlichen nur im Neubau gegeben, da die Nachrüstung in den meisten Fällen sehr aufwendig ist. Der Vorteil passiver Kühlung ist die hohe energetische Effizienz und dass keine Verdichter benötigt werden. Passive Kühlsysteme ermöglichen eine Kühlung von rund 5 Grad, was für unsere Breiten grundsätzlich ausreichend ist[4].

Eine Alternative für die passive Kühlung stellen aktive Kühlgeräte dar, bei denen es sich im Wesentlichen um umgekehrte Wärmepumpen handelt. Aktive Kühlgeräte können einfach dezentral in Bestandsobjekten nachgerüstet werden und haben eine höhere und individuell regelbare Kühlleistung als passive Systeme. Obwohl passive Kühlung ökologisch sinnvoller ist, wird erwartet, dass aufgrund des Klimawandels vermehrt aktive Kühlanlagen nachgerüstet werden.

Aktive Kühlsysteme stellen neue Herausforderungen an das Stromnetz, insbesondere auf Niederspannungsebene, durch hohe Leistung und unkoordinierten Betrieb.

### **Steuerung von Klimageräten:**

Die Regelung von Klimageräten zielt darauf ab, den Temperaturanstieg durch äußere Wärmezufuhr und interne Wärmequellen auszugleichen. Verschiedene Ansätze wie Zulufttemperatur-, Raumtemperatur-, Raum-Zulufttemperatur-Kaskadenregelung oder Außentemperatursteuerung werden genutzt. Die Steuerung von Klimageräten kann maschinell oder direkt durch die Nutzer und Nutzerinnen erfolgen. Jedoch könnten die Einsatzzeiten von ständig verbundenen aktiven Klimageräten für das Stromnetz oder erneuerbare Energieträger nicht ideal sein.

Für die Flexibilisierung sind Gebäudeautomation oder Energy Managementsysteme notwendig. Die Kommunikation mit Klimageräten erfolgt über verschiedene Schnittstellen wie Modbus, KNX, BACnet Interface, LonWorks Interface, unterstützt von Initiativen wie Sunspec und EEBus zur Standardisierung.

Wird die Flexibilisierung auf systemische Ebene gehoben, spricht man von intelligenten Netzen oder Smart Grids, die von großem wissenschaftlichem Interesse sind. Dabei spielt eine zentrale Intelligenz und bidirektionale Kommunikation zwischen den dezentralen Flexibilitäten von Systemteilnehmer und -teilnehmerinnen eine wesentliche Rolle. Eine Herausforderung in Smart Grids ist der Umgang mit großen Datenmengen, insbesondere bei der Verwendung von Smart Metern. Diese generieren täglich 96 Datensätze und 35.040 Datensätze pro Jahr. Hier sind Big-Data-Ansätze und spezielle Architekturen erforderlich. Probleme können bei der Interoperabilität von Daten- und Kommunikationsstandards auftreten, da nicht alle Geräte über dieselben Kommunikationskanäle verfügen. Die Kosten für Speicherung und Verarbeitung der Daten sowie ungenutzte Daten stellen weitere Herausforderungen dar [5], [6].

Als Alternative für die bidirektionale Kommunikation stehen Rundsteueranlagen (RSA) zur Verfügung. Diese verwenden unidirektionale Power Line Communication (PLC) mit einer Frequenz zwischen 175 Hz und 2000 Hz. RSA werden zur Steuerung von Boilern und Nachtspeicheröfen verwendet. Moderne RSA-Signale verwenden das DecaBit-Verfahren[7]. Weitere moderne Systeme, wie bspw. das System von Swistra[8], [9] arbeiten mit variabler Impulsbreite und ermöglichen eine präzisere Übertragung von Tariffinformationen und Schaltbefehlen. Die Entwicklung geht in Richtung intelligenterer Datenübertragung für Smart Grid-Anwendungen. Das Unternehmen Landis+Gyr verfolgt eine Systemlösung, die dynamische Lastregelung mit dem Smart Metering System kombiniert, um den Übergang vom traditionellen Rundsteuersystem zum Smart Grid zu unterstützen.

#### **Energiegemeinschaften:**

Zum Zeitpunkt der Projekteinreichung wurde mit der Umsetzung von Energiegemeinschaften in das Österreichische Recht begonnen. Damals standen die im EU-Winterpaket beschlossenen Rahmenbedingungen für Local Energy Communities im Fokus für Maßnahmen zur gemeinschaftlichen Nutzung von erneuerbarer Energie. Zum Zeitpunkt der Einreichung waren lediglich grundlegende Informationen verfügbar, etwa, dass die Mitglieder von Local Energy Communities die Möglichkeit haben, die vorhandene Netzinfrastruktur zu nutzen, Strom miteinander zu tauschen und den lokalen Verbrauch für eine Eigenverbrauchsoptimierung zu steuern[10].

## **3.2. Motivation für das Projekt**

Die Motivation für die Umsetzung des Projektes *Cooling LEC* ergab sich aufgrund der nachfolgenden Punkte:

- Steigende Anzahl aktiver Kühlgeräte aufgrund des Klimawandels:  
Obgleich eine passive Kühlung aus energietechnischer Sicht die attraktivere Variante darstellt, ergibt sich die Problemstellung, dass aktive Kühlsysteme in Zukunft vor allem bei Bestandsgebäuden umfassend nachgerüstet werden. Mit diesem Problem ist auch die Region Hartberg (sowie das Demonstrationsgebiet) verstärkt konfrontiert. Aus diesem Umstand ergeben sich im Speziellen für die Stadtwerke Hartberg, aber auch für andere Netzbetreiber Herausforderungen hinsichtlich der Belastung der Netze, die durch den zusätzlichen, oft in Spitzen und unkoordiniert auftretenden Verbrauch belastet werden.
- Fehlende Anreize zur Optimierung der Einsatzzeiten aktiver Klimageräte:  
Aktive Kühlgeräte hätten den Vorteil, dass sie über geeignete Schnittstellen aktiv gesteuert werden könnten, um den zusätzlichen Verbrauch durch die zunehmende Anzahl volatiler

erneuerbarer Erzeugungsanlagen decken zu können. Die Möglichkeit, den Verbrauch an eine externe erneuerbare Quelle anzupassen, bot zum Zeitpunkt der Projekteinreichung aufgrund der Netztarife und der nicht direkten Handelbarkeit von erneuerbarer Erzeugung keinen Anreiz für eine Steuerung. Durch das Projekt Cooling LEC sollten hier Anreize geschaffen werden.

- Datenmengen bei Realisierung energieflexibler Gebäude über intelligente Netze:  
Die Realisierung flexibler Energiesysteme resultiert in großen Datenmengen, die bei Verwendung einer zentralen Steuerung ausgetauscht werden müssen. Das Problem bei solchen Ansätzen ist, dass sie auf der Erfassung und Verarbeitung umfassender Mengen an Daten basieren. Diese großen Datenmengen stellen Betreiber und Betreiberinnen zentraler Steuerungen vor die Herausforderung des Umgangs mit diesen Daten. Dies betrifft die Datenübertragung, die Datenspeicherung, das Datenmanagement sowie den Datenschutz. Diese Herausforderungen stehen dem Wunsch einer Steigerung der Intelligenz im System in Kombination mit einer zentralen und netzstützenden Steuerung der Systemkomponenten gegenüber. Für Netzbetreiber überwiegen aktuell noch die Hemmnisse und es besteht ein entsprechender Bedarf nach einfacheren Lösungen mit erheblich geringerem technischem und rechtlichem Aufwand.
- Systeminhärente Erfassung dezentraler Steuerungsmaßnahmen:  
Der Smart Grid Ansatz verfolgt das Ziel, dass die zentrale Steuerung und Optimierung von dezentralen Einheiten stets über eine ständige Kommunikation von zentralen und dezentralen Einheiten erfolgt. Diese Kommunikation erfolgt bidirektional, um zu überprüfen, ob die gewünschten Schalthandlungen auch durchgeführt wurden. Für das Projekt *Cooling LEC* bestand das Bestreben, einen anderen Ansatz zu wählen. Geplant war die Verwendung einer unidirektionalen Steuerung mit systeminhärenter Überprüfung der Durchführung der Schaltung und anschließender Nachregelung bei Bedarf.

Diese Problemstellungen betrafen in erster Linie Netzbetreiber, so auch den Projektpartner Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH.

Für die Erprobung des Projektansatzes wurden seitens der Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH unterschiedliche Demonstrationsobjekte identifiziert, siehe Abbildung 1, die für die Umsetzung des *Cooling LEC Ansatzes* in Frage gekommen sind.

Abbildung 1: Ökopark Hartberg, mit den Demonstrationsobjekten



- Objekt 1: Zukunftshaus am Ökopark Hartberg  
Das Objekt wurde in den 1990er Jahren als Forschungsgebäude (Labor, Büroflächen, Sanitär- und Technikräume, Lager, Allgemeinbereiche, etc.) mit nachhaltigen Baustoffen (Ziegel, Holzdecken, Holzdachziegel, Lehmputz, etc.) und einer Fassade-integrierten Photovoltaikanlage errichtet.
- Objekt 2: Zentralgebäude der Stadtwerke Hartberg:  
Das Objekt wurde in den 2000er Jahren als Headquarter für die Stadtwerke Hartberg (Verwaltung, Energieversorgung, Seminarräume, etc.) in Massivbauweise mit Flachdach und einer Photovoltaikanlage errichtet.
- Objekt 3: Büroturm 1 am Ökopark Hartberg:  
Das Objekt wurde in den 2000er Jahren als Bürogebäude für die Vermietung in Massivbauweise und einem Flachdach errichtet.
- Objekt 4: Büroturm 2 am Ökopark Hartberg:  
Das Objekt wurde zwischen 2008 und 2010 als Büro-, Geschäfts- und Schulgebäude in Passivhausstandard errichtet.
- Objekt 5: „Rasenwürfel-Gebäude“ am Ökopark Hartberg:  
Zum Zeitpunkt der Einreichung wurde das Gebäude ausschließlich für Ausstellungen genutzt, wobei ein Ausbau auf eine Büronutzung geplant war. Zum Zeitpunkt der Einreichung bestand keine Wärmeversorgung.

### 3.3. Zielsetzung im Projekt

Das Forschungsprojekt *Cooling LEC* hatte die Entwicklung und Demonstration einer zentralen Steuerung / Intelligenz von dezentralen aktiven Kühlanlagen über eine Weiterentwicklung der unidirektionalen Kommunikation von Rundsteueranlagen zur Schaffung energieflexibler Gebäude im Sinne des neuen Ansatzes der "Local Energy Communities" durch Schaffung eines „Sondertarifs“ zum Ziel. Dieses übergeordnete Ziel sollte die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Keine bidirektionale Kommunikation zur Steuerung der aktiven Kühlgeräte
- Verzicht auf Investitionen in dezentrale Steuerung und Intelligenz
- Verbesserung der Rundsteueranlage zur Steuerung der aktiven Kühlgeräte
- Optimierung der Steuerbefehle durch ein selbstlernendes System
- Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit des Systems über die Anwendung des Local Energy Community Ansatzes
- Sicherstellung des Komforts der Netznutzer:innen

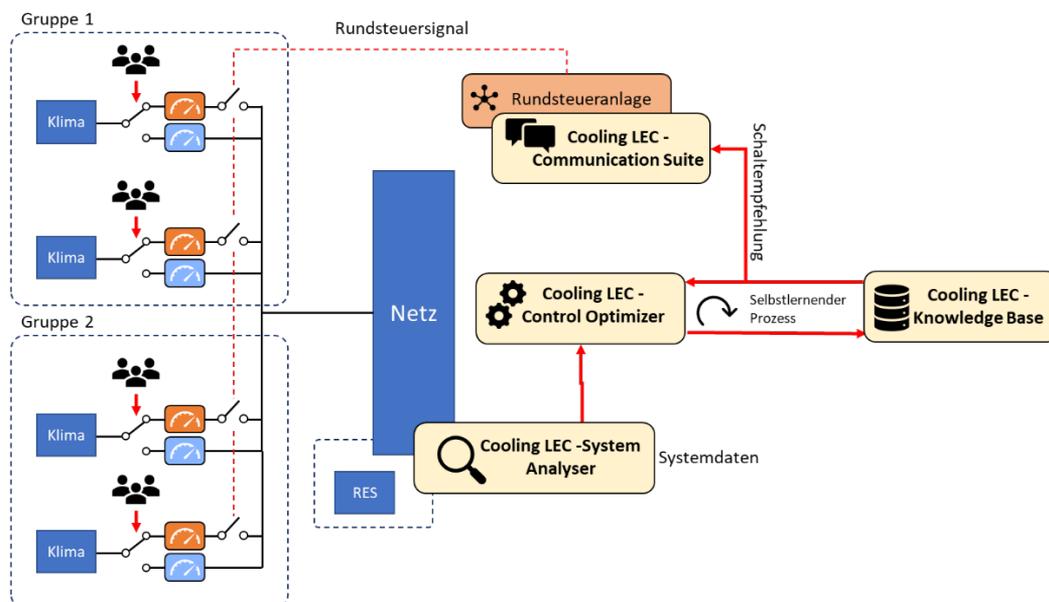
# 4 Projektinhalt

Das Projekt *Cooling LEC* zielte auf die Entwicklung einer Steuerung für aktive Kühlgeräte basierend auf einem selbstlernenden System ab. Für den wirtschaftlichen Betrieb des Systems wurde der Einsatz der Technologie im Rahmen einer Energiegemeinschaft untersucht. Parallel zu den technischen und wirtschaftlichen Maßnahmen wurden die Nutzer und Nutzerinnen des Systems aktiv in den Projektverlauf eingebunden.

## 4.1. Das Cooling LEC System

Die grundlegend geplanten Komponenten des *Cooling LEC Systems* sind in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: Aufbau der Cooling LEC Komponenten



Es war geplant, für das *Cooling LEC System* mehrere Komponenten zu entwickeln und zu erproben. Nachfolgend werden die geplanten Methoden für die Entwicklung der einzelnen Komponenten beschrieben und Rückschlüsse über die verwendete Methode gezogen.

### 4.1.1. Cooling LEC System Analyser

Der *Cooling LEC System Analyser* sollte über **eine Messung** von Leistungswerten an zentraler Stelle im Netz (bspw. an einem Transformator im Verteilernetz der Stadtwerke Hartberg) den Einsatz von Kühlsystemen bei den Demonstrationsobjekten zu ermitteln. Für die Ermittlung des Kühleinsatzes war der Einsatz einer **Flankenerkennung** geplant.

Für die Erfassung der Messdaten vor Ort wurde im Demonstrationsgebiet ein Messsystem der Firma GMC-Instruments Austria GesmbH verwendet, siehe Abbildung 3.

Abbildung 3: Messgeräte in den Trafostationen der Stadtwerke Hartberg



Bewertung des Ansatzes:

Der gewählte Ansatz stellte sich als nicht zielführend heraus. Aufgrund von baulichen Maßnahmen zwischen der Einreichung und dem Projektstart und einer strategischen Umstrukturierung bei dem Betreiberunternehmen der Demonstrationsobjekte konnte der Ansatz der Verwendung eines zentralen Messpunktes nicht gehalten werden. Die Messungen zeigten ein zu starkes Rauschen der Leistungswerte, was den Einsatz einer Flankenerkennung und in weiterer Folge die Erfassung der Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte unmöglich machte.

Es wurde daher eine alternative Methode gewählt und auf die Verwendung von Strommessungen an der Hauswurzel der Gebäude gesetzt. Hierfür kamen Messgeräte der Firma efergy zum Einsatz, die den Stromverbrauch der Gebäude gemessen haben, siehe Abbildung 4 bis Abbildung 6.

Abbildung 4: Efergy Engage Hub



Abbildung 5: Messaufbau für die Erfassung der Verbräuche beim Demonstrationsgebäude Zukunftshaus

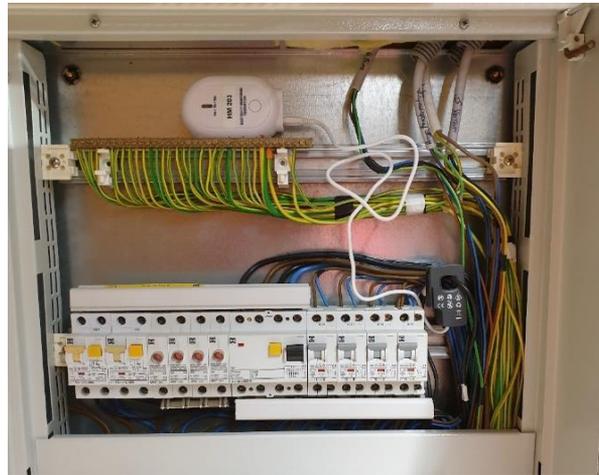


Abbildung 6: Messaufbau für die Erfassung der Verbräuche beim Demonstrationsgebäude Planungsbüro – (A): Hinweis Messung Schaltschrank 1, (B): Hinweis auf die Messung Schaltschrank 2, (C) Detailaufnahme Messgeräte, (D) Messwandler, (E) Detailaufnahme Messklemmen



Des Weiteren wurden auch die Stromverbräuche der Kühlgeräte selbst mit efergy-Messgeräten erfasst. Diese Daten dienten jedoch nur zur Validierung der Ergebnisse und zum Trainieren der selbstlernenden Systeme.

Der Ansatz für den *Cooling LEC System Analyser* wurde während der Entwicklungsphase fortlaufend verbessert. Das System wurde im Zeitraum von 01.10.2022 bis zum 31.01.2023 umfassend getestet und optimiert. Dabei wurde die Laufzeit von anfangs einer Stunde für die Testdaten auf schlussendlich wenige Sekunden reduziert.

#### **4.1.2. Cooling LEC Control Optimiser**

Für den *Cooling LEC Control Optimiser*, der einerseits für die Prognose von Lasten und Einsatz der Kühlgeräte und andererseits für die Optimierung des Einsatzzeitpunktes der Kühlgeräte verantwortlich war, kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz.

Für die Erstellung der Zeitreihenprognosen für einerseits die Gebäudelasten und andererseits die PV-Erzeugung wurde ein Neuronales Netz (Multi-Dense-Layer Modell) [11] unter Verwendung zusätzlicher Inputdaten wie Uhrzeit, Wochentag, Monat und Wetterdaten [12] verwendet. Die Prognose der Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte verwendete die vom *Cooling LEC System Analyser* erstellten Daten auf Basis der Flankenerkennung. Die Prognose der Gesamtlast an den Anschlüssen der Gebäude verwendete die gemessenen Lastdaten der efergy-Geräte.

Für die Optimierung des Einschaltzeitpunktes der Kühlgeräte wurde der in Forschungsprojekt *Hybrid Flex* entwickelte [13] Ansatz für die Optimierung des Eigenverbrauchs durch die Warmwassererzeugung in Wohneinheiten verwendet. Der Ansatz beruht darauf, dass zu Tagesbeginn die erwarteten Einschaltzeitpunkte von Geräten für die Warmwassererzeugung, im Fall von *Cooling LEC* für die Kühlung der Gebäude, ermittelt werden. Im Projekt *Cooling LEC* erfolgt die Ermittlung über die Prognosewerkzeuge. Für die Verschiebung müssen im Vorfeld noch Komfortfenster erhoben werden, diese beschreiben die maximale Verschiebedauer des Geräteeinsatzes ohne einen Komfortverlust der Nutzer und Nutzerinnen. Im Fall von *Cooling LEC* wurden die Zeiten anhand der technischen Parameter und der Bedürfnisse der Nutzer und Nutzerinnen in den Demonstrationsgebäuden ermittelt. Anschließend wird ein Optimierungsziel festgelegt, für *Cooling LEC* handelt es sich dabei um die Minimierung des PV-Überschusses. Die Optimierung verschiebt anschließend den prognostizierten Einsatz der Kühlgeräte innerhalb des Komfortfenster so, dass sich der geringstmögliche PV-Überschuss ergibt, also möglichst viel PV-Strom für den Betrieb der Kühlgeräte genutzt werden kann. Dieses Ergebnis wird dann als Empfehlung für den Einschaltzeitpunkt des Kühlsystems kommuniziert.

##### Bewertung der Methode:

Die Verwendung eines Neuronalen Netzes ( Multi-Dense-Layer Modell; 2 Hidden Layer mit jeweils 2048 Neuronen) für die Zeitreihenprognose der Verbräuche an den Anschlusspunkten der Demonstrationsanlagen stellte sich grundsätzlich als gute Entscheidung heraus. Der Einsatz der Methode generierte zum Teil gute Ergebnisse, wies aber besonders bei Gebäuden mit wenig Regelmäßigkeit in der Nutzung Defizite auf. Dieser Umstand war zu erwarten und spiegelte sich auch in ähnlicher Weise bei den weiteren getesteten Methoden zur Zeitreihenprognose wider.

Die Notwendigkeit der Datenanpassung vor der Verwendung der Flankenerkennung führte jedoch zu einer Abweichungskaskade. Die bei den einzelnen Schritten entstehenden Fehler pflanzten sich

entlang der Kette an Werkzeugen immer weiter fort, was grundsätzlich als problematisch einzustufen ist.

Ein weiterer genereller Schwachpunkt der gewählten Ansätze für die selbstlernenden System war, dass diese sehr stark von den vorhandenen Eingangsdaten abhingen. Da die Eingangsdaten teilweise große Lücken aufwiesen und die Datenerfassung in die nicht repräsentative Zeit der Corona-Pandemie fiel, waren die Trainingsdaten für sowohl die Flankenerkennung als auch die Prognosen nicht ideal.

Die gewählte Methode für die Optimierung der Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte erwies sich als sehr gut. Durch die Erhebung der Komfortfenster der Nutzer und Nutzerinnen standen die notwendigen Informationen zur Verfügung, die Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte zu optimieren.

#### 4.1.3. Cooling LEC Communicaton Suite

Für die Umsetzung der *Cooling LEC Communication Suite* wurde die Methode gewählt, die Kühlgeräte über die Rundsteueranlage der Stadtwerke Hartberg zu steuern. Dafür war vorgesehen, dass der *Cooling LEC Control Optimiser* die Empfehlungen über die Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte direkt an die Steuereinheit des RSA sendet. Die RSA wiederum würde die Signale weiter an die Rundsteuerempfänger der Demonstrationsanlagen senden.

##### Bewertung der Methode:

Die gewählte Methode konnte aufgrund mehrerer Komplikationen nicht umgesetzt werden. Einerseits bestand das Problem, dass die Kühlgeräte keine externen Steuersignale annehmen konnten. Dadurch war es nicht möglich die Geräte direkt über die Rundsteuerempfänger anzusteuern. Des Weiteren musste der Ansatz dahingehend adaptiert werden, dass die Nutzer und Nutzerinnen der Demonstrationsgebäude Informationen über die Schaltempfehlungen für die Kühlgeräte erhalten sollten. Dafür wurde ein Signalgeber, der über die Rundsteueranlage angesteuert wurde, bei den Demonstrationsgebäuden installiert, siehe Abbildung 7.

Abbildung 7: Rundsteueranlage und Signallampe für den Demonstrationsbetrieb



Schließlich war noch eine weitere Anpassung der Methode notwendig, da eine direkte Kommunikation zwischen der RSA und dem *Cooling LEC Control Optimiser* nicht möglich war. Der Grund hierfür war, dass der Servicevertrag der Stadtwerke Hartberg mit Hersteller der RSA ausgelaufen war und nicht mehr verlängert werden konnte. Demnach wurde ein direkter Eingriff in die RSA als zu risikobehaftet bewertet. Die Methode wurde dahingehend adaptiert, dass die

Empfehlungen des *Cooling LEC Control Optimisers* per E-Mail an die Leitwarte der Stadtwerke Hartberg gesendet wurden und dort manuell in die RSA eingetragen und ausgeschildet wurden, siehe Abbildung 8. Parallel dazu wurden noch E-Mails an die Nutzer und Nutzerinnen mit der Information über die optimalen Einschaltzeitpunkte der Kühlgeräte geschickt.

Abbildung 8: Eingabemaske der Rundsteueranlage

## 4.2. Local Energy Community

Neben den technischen Komponenten wurde im Rahmen von *Cooling LEC* auch nach einem wirtschaftlichen Geschäfts- und Betriebsmodell geforscht. Dabei wurde der Ansatz verfolgt, die Komponenten im Rahmen einer „Local Energy Community“ zu realisieren. Der Einsatz der Kühlgeräte sollte dabei so optimiert werden, dass die Kühlgeräte dann betrieben werden, wenn in der Energiegemeinschaft ein Stromüberschuss vorhanden ist. Der wirtschaftliche Mehrwert aus dem Betrieb der Kühlgeräte ergäbe sich dann durch die reduzierten Netzentgelte (bei Wahl einer EEG) und dem günstigeren Energiegemeinschaftsstrom.

### Bewertung der Methode:

Die Methode sah sich mit zwei Problemen konfrontiert. Einerseits war es lange nicht möglich, die Rahmenbedingungen für Energiegemeinschaften genau zu definieren. Das Erneuerbaren Ausbaugesetz und die Novellierung des EIWOG, das die Grundlage für die Gründung von

Energiegemeinschaften bilden, traten erst Mitte 2021 in Kraft. Danach waren für die Stadtwerke Hartberg noch einige technische und organisatorische Hürden zu überwinden, um Energiegemeinschaften umsetzen zu können.

Andererseits bestand das Problem, dass die Rahmenbedingungen für Energiegemeinschaften es Energielieferanten und Firmen, die von Energielieferanten kontrolliert werden, untersagen, an Erneuerbaren Energiegemeinschaften teilzunehmen. Dieser Umstand traf aber auf alle Unternehmen im Demonstrationsgebiet zu. Aus diesen Gründen wurde von einer Umsetzung der Energiegemeinschaft Abstand genommen und die Wirtschaftlichkeit des Betriebs des *Cooling LEC Systems* anhand einer Simulation durchgeführt.

### 4.3. Nutzer- und Nutzerinnen-Einbindung

Neben den technischen Entwicklungen des Projektes war auch eine umfassende Einbindung der Nutzer und Nutzerinnen der Demonstrationsgebäude notwendig. Die Einbindung der Nutzer und Nutzerinnen erfolgte in zwei Phasen. In der ersten Phase wurden die Nutzer und Nutzerinnen regelmäßig zu den Entwicklungen im Projekt befragt. Dafür wurde der Ansatz gewählt, im Rahmen von bilateralen Gesprächen die neuesten Erkenntnisse aus dem Projekt vorzustellen und anschließend die Meinungen und das Feedback zu erheben. Die Befragungen der Nutzer und Nutzerinnen wurde aufgrund der örtlichen Nähe und des kollegialen Zugangs durch den Projektpartner Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH durchgeführt. Darüber hinaus wurde auch ein Webseiten-Formular erstellt, welches den Nutzer und Nutzerinnen die Möglichkeit bot, Fragen an das Projektteam zu stellen oder Feedback zu den Entwicklungen im Projekt zu liefern, siehe Abbildung 9.

Abbildung 9: Webseiten-Formular für die Nutzer und Nutzerinneneinbindung

---

**Kontakt**

Ökoplan Energiedienstleistungen GmbH  
DI Dietmar Nöhner  
T: 03332 6660616  
E: [oekoplan@stadtwerke-hartberg.at](mailto:oekoplan@stadtwerke-hartberg.at)  
[▶ ÖKOPLAN ENERGIEDIENSTLEISTUNGEN](#)

**Geben Sie uns Ihr Feedback**

<input type="text" value="Vorname*"/>	<input type="text" value="Nachname*"/>
<input type="text" value="Unternehmen"/>	<input type="text" value="Straße/Nr."/>
<input type="text" value="PLZ"/>	<input type="text" value="Ort"/>
<input type="text" value="Telefonnummer"/>	<input type="text" value="E-Mail*"/>
<input type="text" value="Meine Nachricht..."/>	

Ihre Kontaktdaten werden zum Zweck der Kontaktaufnahme im Rahmen dieser Anfrage gespeichert. Mit dem Absenden dieses Formulars stimmen Sie dieser Verwendung zu. Weitere Informationen finden Sie in unserer [Datenschutzerklärung](#).

In der zweiten Phase während des Demonstrationsbetriebs wurden die Nutzer und Nutzerinnen der Gebäude über die bestmöglichen Einsatzzeiten der Kühlgeräte informiert. Die Information wurde ihnen visuell und über eine tägliche E-Mail zur Verfügung gestellt. Außerdem wurden bilaterale Gespräche mit den einzelnen Nutzern und Nutzerinnen geführt, bei denen die Erfahrungen zum Betrieb des *Cooling LEC Systems* erhoben wurden.

#### Bewertung der Methode:

Der Ansatz, die Nutzer und Nutzerinneneinbindung über bilaterale Gespräche zu gestalten, stellte sich als sehr gut heraus. Die Nutzer und Nutzerinnen der Gebäude waren über den gesamten Projektverlauf an den Entwicklungen im Projekt interessiert und lieferten Input und Feedback zu den Entwicklungen. Auch in der Demonstrationsphase konnten durch das aufgebaute Vertrauen auf sehr kurzem Wege Informationen an und Feedback von den Nutzern und Nutzerinnen erhoben werden. Der Ansatz machte sich auch dahingehend bezahlt, dass die Nutzer und Nutzerinnen so sehr schnell auf die technischen Anpassungen des Systems vorbereitet werden konnten.

Weniger gut wurde die Feedbackplattform des Projektes angenommen. Obwohl die Nutzer und Nutzerinnen die Möglichkeit hatten, jederzeit Feedback zum Projekt oder zu Projektinhalten zu liefern, wurde diese Möglichkeit faktisch nicht in Anspruch genommen. Auf die Frage, warum diese nicht genutzt wurde, wurde seitens der Nutzer und Nutzerinnen das Feedback gegeben, dass die bilateralen Abstimmungen ausreichend gewesen sein und kein zusätzlicher Bedarf gegeben war.

Durch die technischen Anpassungen wurden die Nutzer und Nutzerinnen über die Einschaltzeiten der Kühlgeräte informiert und sollten auf Basis der Empfehlungen handeln. Dieser Ansatz stellte sich nur zum Teil als erfolgreich heraus. Außerdem war zu beobachten, dass mit zunehmender Dauer des Demonstrationsbetriebes die Reaktionen auf die Schaltempfehlungen abnahmen.

## **4.4. Demonstration**

Es war vorgesehen, den Demonstrationsbetrieb im Sommer 2022 durchzuführen. Dabei sollten die Kühlgeräte in den fünf Demonstrationsobjekten durch das *Cooling LEC System* angesprochen werden. Um den Demonstrationsbetrieb zu ermöglichen, war es geplant, Daten der Jahre 2020 und 2021 zu nutzen, um das System für die unterschiedlichen Standorte zu trainieren.

#### Bewertung der Methode:

Der gewählte Ansatz musste aufgrund verschiedener Umstände mehrfach im Projekt angepasst werden. Einerseits gab es strategische Änderungen beim Projektpartner Stadtwerke Hartberg, die dazu führten, dass geplante Maßnahmen bei den Demonstrationsgebäude ausblieben. Darunter fiel auch die Sanierung und der Ausbau der Kühlleistung der ursprünglich geplanten fünf Demonstrationsgebäude. Aus diesem Grund wurde der Ansatz angepasst und ein neues Demonstrationsgebäude definiert. Von den ursprünglichen fünf Demonstrationsgebäuden blieb lediglich das Objekt 1 „Zukunftshaus“ für die Demonstrationsphase übrig. Neu hinzu kam das Objekt 2-Neu „Planungsbüro“.

Die Wahl der Zeitfenster für die Trainingsdaten stellte sich aufgrund nicht vorhersehbarer Ereignisse als schlecht heraus. Durch die Corona-Pandemie und deren Nachwirkungen, sowie die in der Pandemie verhängten Lockdowns, wiesen die Trainingsdaten nicht die gewünschte Qualität auf. Die Kombination aus nicht besetzten Büros in Kombination mit hohen Wartezeiten für den Tausch von

Batterien bei den eingebauten Efergy-Messgeräten führte dazu, dass teilweise große Lücken in den Daten vorhanden waren und die Trainingsdaten zum Teil nicht repräsentativ waren.

Aufgrund der Verzögerungen in der Datenerfassung und den fehlenden Dateneinträgen wurde das Projekt um ein weiteres Jahr verlängert und auch die „Kühlperiode“ des Jahres 2022 für das Trainingsdatenset herangezogen.

Die Demonstrationsphase wurde damit auf den Sommer 2023 verschoben. Jedoch fiel der Sommer 2023 in der Hartberger Region kühl und regnerisch aus, weswegen der tatsächliche Demonstrationbetrieb auf August 2023 bis Oktober 2023 beschränkt war, wobei anzumerken ist, dass der Oktober in der ursprünglichen Planung nicht als Teil des Kühlzeitraumes betrachtet wurde.

Für die Bewertung der Qualität der Ergebnisse des *Cooling LEC Systems* wurden Leistungsindikatoren eingeführt, anhand derer das System bewertet wurde:

- Verfügbarkeit Messdaten Hauswurzel:  
Anzahl der Zeitschritte, für die Messdaten zur Verfügung stehen. Ein Messwert gilt dann als verfügbar, wenn für den entsprechenden Zeitschritt ein plausibler Messwert übertragen und in der Datenbank gespeichert wurde.
- Verfügbarkeit Lastprognose:  
Anzahl der Zeitschritte, in denen sowohl Lastprognosedaten als auch tatsächliche Messdaten verfügbar sind. Ein gültiger Wert liegt dann vor, wenn sowohl ein Leistungswert der Prognose als auch ein Leistungswert der Messung an der Hauswurzel vorhanden ist.
- Qualität der Lastprognose:  
Als Indikator für die Qualität der Prognose wird der Mean Average Percentile Error (MAPE) zwischen der Prognose und den tatsächlich gemessenen Lastwerten verwendet. Für die Bewertung werden die Messdaten der Gesamtlast an der Hauswurzel mit den Prognosedaten desselben Zeitraums gegenübergestellt. Der MAPE wird anhand der folgenden Formel berechnet:  $MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{P_{tat} - P_{prog}}{P_{tat}} \right|$ , wobei  $P_{prog}$  die prognostizierte Leistung und  $P_{tat}$  die tatsächliche Leistung und  $n$  die Anzahl der erfassten bzw. prognostizierten Werte repräsentiert.
- Verfügbarkeit Messdaten Kühlgeräte:  
Anzahl der Zeitschritte für die Messdaten zur Verfügung stehen. Ein Messwert gilt dann als verfügbar, wenn für den entsprechenden Zeitschritt ein plausibler Messwert übertragen und in der Datenbank gespeichert wurde.
- Qualität der Flankenerkennung:  
Als Indikator wird die Erkennungsqualität herangezogen. Für die Ermittlung des Indikators werden die Flanken in den Messdaten ermittelt und die Anzahl der erkannten Flanken des *Cooling-LEC Systems* gegenübergestellt. Ein Treffer der Flankenerkennung liegt vor, wenn sowohl in den Messdaten als auch in der Flankenerkennung eine Flanke bemerkbar ist. Die Erkennungsqualität berücksichtigt sowohl die Treffer als auch die fälschlicherweise erkannten Flanken und berechnet sich nach der folgenden Formel  $Q = \frac{F_T}{F_G} \cdot \frac{F_T}{F_E}$ , wobei  $F_T$  die Anzahl der richtig ermittelten Flanken beschreibt,  $F_G$  die Anzahl der gemessenen Flanken und  $F_E$  die Anzahl der ermittelten Flanken beschreibt.
- Verfügbarkeit Kühllastprognose:  
Anzahl der Zeitschritte, in denen sowohl Kühllastprognosedaten als auch tatsächliche Messdaten verfügbar sind. Ein gültiger Wert liegt dann vor, wenn sowohl ein Leistungswert der Prognose als auch ein Leistungswert der Messung an der Hauswurzel vorhanden ist.

- Qualität der Prognose der Einschaltzeitpunkte:  
 Als Indikator für die Qualität wird in diesem Fall nicht der RMSE herangezogen, da dieser sich für Zeitreihen mit kleinen Werten („0/1“) mit vielen „0-Stellen“ nicht eignet. Stattdessen wird dargestellt, mit welcher Häufigkeit die Kühlprognose richtig gelegen hat. Es wird die gleiche Methode wie bei der Bewertung der Flanken verwendet. Zur Anwendung kommt die Formel  $Q = \frac{F_T}{F_G} \cdot \frac{F_T}{F_E}$ , wobei  $F_T$  die Anzahl der richtig ermittelten Flanken beschreibt,  $F_G$  die Anzahl der gemessenen Flanken und  $F_E$  die Anzahl der ermittelten Flanken beschreibt.
- Reaktion der Nutzer und Nutzerinnen – Indikator 1:  
 Als Indikator wird das Verhältnis zwischen ausgesprochenen Empfehlungen und von den Nutzern und Nutzerinnen angenommenen Empfehlungen verwendet.
- Reaktion der Nutzer und Nutzerinnen – Indikator 2:  
 Der zweite Indikator ist das Verhältnis von Nutzer und Nutzerinnen-Handlungen ohne das Vorhandensein einer Empfehlung zu der gesamten Anzahl der Kühlungen.

# 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse des Forschungsprojektes *Cooling LEC* dargestellt. Darunter fallen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung des Energiegemeinschaftsansatzes, sowie die Ergebnisse des Betriebs des Demonstrationssystems.

## 5.1. Ergebnisse der Geschäftsmodellentwicklung

Da sich im Projektverlauf bereits herausstellte, dass die Einbindung der Demonstrationsgebäude in einer erneuerbaren Energiegemeinschaft aus rechtlichen Gründen nicht möglich war, wurden alternative Geschäftsmodelle für den Einsatz der Flexibilitäten, die durch das *Cooling LEC System* generiert werden, erarbeitet.

Nachfolgend werden die Steckbriefe der definierten Geschäftsmodelle dargestellt.

Flexibilitätsmanagement „Kostenminimierung-Dienstleistung“	
<b>Inhalt</b>	Der Betreiber des <i>Cooling LEC Systems</i> ist für die Hard- und Software zur Ansteuerung der Kühllasten zur Minimierung der Stromkosten bei den Flexibilitätseigentümern verantwortlich.
<b>Nutzen für den Flexibilitätseigentümer</b>	Kein Eigenaufwand Reduzierte Stromkosten durch PV-optimierte Steuerung von Kühllasten
<b>Betreiber</b>	Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH
<b>Kunde(n) bzw. Zielgruppe</b>	Verbraucher/innen mit großen Kühlanlagen
<b>Kosten für Kunden</b>	5 – 10 % der durch den Betrieb des <i>Cooling LEC Systems</i> eingesparten Kosten.
<b>Finanzierung</b>	Nicht relevant
<b>Anforderungen</b>	Ausreichend große Kühlgeräte müssen vorhanden sein Eigene Sicherung für die Kühlgeräte Rundsteuerempfangsgerät
<b>Ansprechpartner</b>	Zu definieren

Flexibilitätsmanagement „Kostenminimierung-Kundenbindung“	
<b>Inhalt</b>	Der Betreiber des <i>Cooling LEC Systems</i> ist für die Hard- und Software zur Ansteuerung der Kühllasten zur Minimierung der Stromkosten bei den Flexibilitätseigentümern verantwortlich. Dabei wird die Maßnahme als Kunden- und Kundinnenbindungsmaßnahme eingestuft und lediglich Energie-Kunden und Kundinnen der Stadtwerke Hartberg angeboten.

<b>Nutzen für den Flexibilitätseigentümer</b>	Kein Eigenaufwand Reduzierte Stromkosten durch PV-optimierte Steuerung von Kühllasten
<b>Betreiber</b>	Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH
<b>Kunde(n) bzw. Zielgruppe</b>	Verbraucher und Verbraucherinnen mit großen Kühlanlagen
<b>Kosten für Kunden</b>	Keine direkten Kosten Kunden und Kundinnen müssen Energiekunden bzw. Energiekundinnen der Stadtwerke werden (Steuerung erfolgt nur, solange Kunde bzw. Kundinnen von den Stadtwerken Strom beziehen)
<b>Finanzierung</b>	Nicht relevant
<b>Anforderungen</b>	Kühlgeräte müssen vorhanden sein Eigene Sicherung für die Kühlgeräte Rundsteuerempfangsgerät Strombezug von den Stadtwerken Hartberg
<b>Ansprechpartner</b>	Zu definieren

<b>Flexibilitätsmanagement „Netzentlastung“</b>	
<b>Inhalt</b>	Der Betreiber des <i>Cooling LEC Systems</i> betreibt die Hard- und Software zur Ansteuerung der Kühllasten zur Reduktion von PV-Spitzen und Entlastung des Stromnetzes
<b>Nutzen</b>	Kein Eigenaufwand Einmalzahlung durch die Stadtwerke <b>oder</b> Laufende Zahlungen bei Aktivierung der Flexibilität <b>oder</b> Reduzierter Energietarif
<b>Betreiber</b>	Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH
<b>Kunde(n) bzw. Zielgruppe</b>	Verbraucher bzw. Verbraucherinnen mit großen Kühlanlagen
<b>Kosten für Kunden</b>	Keine Kosten
<b>Finanzierung</b>	Nicht relevant
<b>Anforderungen</b>	Kühlgeräte müssen vorhanden sein Eigene Sicherung für die Kühlgeräte Rundsteuerempfangsgerät (optional) Strombezug von den Stadtwerken Hartberg
<b>Ansprechpartner</b>	Zu definieren

<b>Flexibilitätsmanagement „Einkaufsoptimierung“</b>	
<b>Inhalt</b>	Betrieb der Hard- und Software zur Ansteuerung der Kühllasten zur Minimierung des Peak-Anteils im Strommix der Stadtwerke
<b>Nutzen</b>	Kein Eigenaufwand Einmalzahlung durch die Stadtwerke <b>oder</b> Laufende Zahlungen bei Aktivierung der Flexibilität <b>oder</b> Reduzierter Energietarif

<b>Betreiber</b>	Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH
<b>Kunde(n) bzw. Zielgruppe</b>	Verbraucher bzw. Verbraucherinnen mit großen Kühlanlagen
<b>Kosten für Kunden</b>	Keine Kosten
<b>Finanzierung</b>	Nicht relevant
<b>Anforderungen</b>	Kühlgeräte müssen vorhanden sein Eigene Sicherung für die Kühlgeräte Rundsteuerempfangsgerät (optional) Strombezug von den Stadtwerken Hartberg
<b>Ansprechpartner</b>	Zu definieren

## 5.2. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung

Um aus der Optimierung des Einsatzes der Kühlgeräte einen wirtschaftlichen Vorteil zu generieren, wurde die Möglichkeit der Gründung einer Energiegemeinschaft in Betracht gezogen. Aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen war die Umsetzung der Energiegemeinschaft leider nicht möglich. Aus diesem Grund wurde eine theoretische Betrachtung der Energiegemeinschaft durchgeführt. Die Bewertung wurde anhand einer für das Demonstrationsgebiet repräsentativen Beispiel-Energiegemeinschaft durchgeführt. Für die Simulationen wurde ein Python-Modell für die Energieverteilung und ein Excel-Modell für die Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen.

Die Bewertung wurde anhand der folgenden Daten durchgeführt. Die Daten wurden vom Projektpartner Stadtwerke Hartberg zur Verfügung gestellt.

- Erzeugungsanlage: 90 kW<sub>p</sub>
- Planungsbüro: 17.850 kWh Jahresstromverbrauch
- Zukunftshaus: 8.539 kWh Jahresstromverbrauch
- Gewerbe: 30.000 kWh Jahresstromverbrauch (G0-Lastprofil)
- 15 Haushalte á 3.500 kWh Jahresstromverbrauch (H0-Lastprofil)

Die Bewertung der Energiegemeinschaft wurde im Q4 2021 durchgeführt, d.h. die Ergebnisse der Bewertung sind unter dem Gesichtspunkt der damaligen Tarifsituation zu betrachten. Es wurde ein Preisszenario aufgesetzt, bei dem das Preisniveau für Haushaltskunden und -kundinnen bei 25 Cent/kWh festgelegt wurde. Für die Einspeisung wurde mit einem Tarif von 15 Cent/kWh gerechnet. Sämtliche Tarife wurden gemäß den Daten der E-Control an die einzelnen Verbrauchsgruppen angepasst. Aus den Daten geht hervor, dass die Energiegemeinschaft einen Gesamtstromverbrauch von ca. **108.700 kWh** aufweist. In der Energiegemeinschaft liegt eine Erzeugungskapazität von **90 kW<sub>p</sub>** vor.

Abbildung 10: Aufteilung der Energie in der Energiegemeinschaft für die Bewertung des Betriebsmodells

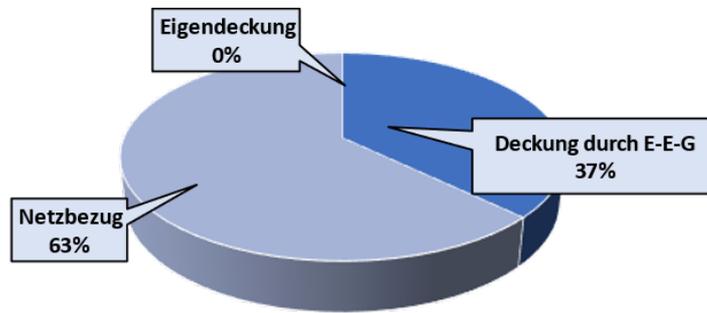
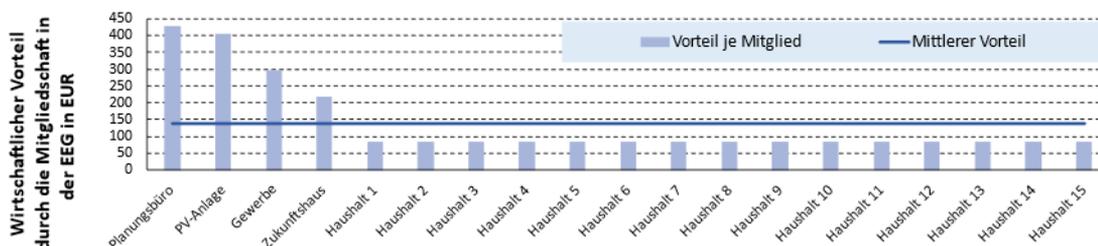


Abbildung 10 zeigt, wie die Deckung des Strombedarfs in der EEG erfolgt. Daraus geht hervor, dass ein Anteil von **37 % (ca. 40.400 kWh)** durch Bezug aus der EEG und ein Anteil von **63 % (ca. 68.300 kWh)** durch Netzbezug gedeckt wird.

Für die Vergütung der Energie innerhalb der Energiegemeinschaft wurde ein Fix-Tarif-Modell ausgewählt und bewertet. Für den Bezug der Energie wurde ein Tarif in der Höhe von **23,0 Cent/kWh** festgelegt. Für die Einspeisung in die Energiegemeinschaft wurde eine arbeitsabhängige Einspeisevergütung in der Höhe von **16,0 Cent/kWh** festgelegt.

Durch die Teilnahme an der Energiegemeinschaft und die innergemeinschaftliche Einspeisung bzw. den innergemeinschaftlichen Verbrauch resultierten wirtschaftliche Vorteile für die Mitglieder, die sich durch den günstigen Strombezug und relativ hohen Einspeisetarifen ergeben. Die Bewertung der wirtschaftlichen Vorteile für die Mitglieder zeigte, dass sich durch die hypothetische Gründung der Energiegemeinschaft ein durchschnittlicher wirtschaftlicher Vorteil in der Höhe von ca. **€ 140** ergäbe, die Bandbreite der Ergebnisse beträgt **€ 80 bis € 430**, je nach Zählpunkt. Eine Verteilung der wirtschaftlichen Vorteile auf die einzelnen Mitglieder der EEG ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

Abbildung 11: Darstellung der wirtschaftlichen Vorteile der einzelnen Mitglieder der Energiegemeinschaft



Unter der Annahme, dass die Energiegemeinschaft nicht vorsteuerabzugsberechtigt ist, ergab die Bewertung, dass die Energiegemeinschaft mit einem jährlichen Plus von rund **€ 1.540** unter Vernachlässigung etwaiger Nebenkosten (Dienstleister für Abrechnung, Kontoführung etc.) bilanziert.

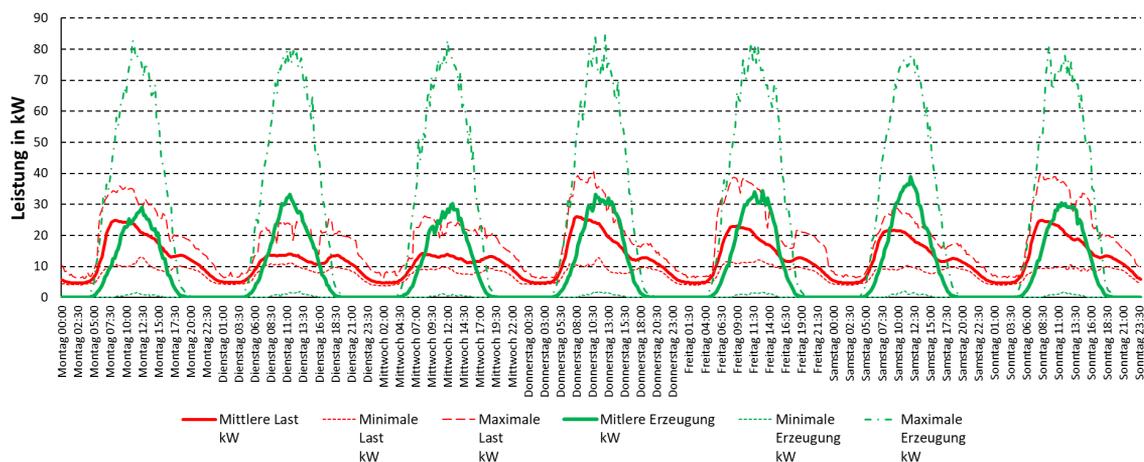
Die Bewertung der Energiegemeinschaft war der erste Schritt der Bewertung der Wirtschaftlichkeit und bildet die Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsbewertung des Einsatzes des *Cooling LEC Systems*. Für die Bewertung wurde angenommen, dass die flexiblen Kühllasten für die Maximierung

des innergemeinschaftlichen Verbrauchs herangezogen werden kann. Jede kWh Verbrauch, die in zu einem Zeitpunkt, an dem eine PV-Erzeugung in der Energiegemeinschaft verfügbar ist, verschoben wird, bringt eine weitere Einsparung von 6,39 Cent.

Abbildung 12 zeigt den mittleren Last- und Erzeugungsverlauf für die Energiegemeinschaft, für jeden Wochentag und jede Viertelstunde. Daraus geht hervor, dass eine Verlagerung der Einsatzzeiten in den Zeitpunkt mit hohen PV-Überschüssen dann Sinn macht, wenn diese an den Randzeiten der PV-Erzeugung auftreten. An sehr sonnigen Tagen wird eine Verlagerung aus Perspektive der Eigenbedarfsoptimierung kaum positive Auswirkungen haben.

Die Analyse der Residualerzeugung in der EEG und der Verbrauchsprofile der Kühlgeräte zeigte, dass es Zeitpunkte gibt, an denen ein Kühlgeräteinsatz erfolgt und noch keine Überschüsse vorhanden sind.

Abbildung 12: Beispielhafter Lastverlauf der Summenerzeugung und des Summenverbrauchs in der Energiegemeinschaft



Die Ergebnisse der Auswertung der Optimierung der Einsatzzeitpunkte der unterschiedlichen Kühlgeräte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Für die Kühllast im ersten Demonstrationsobjekt ergab die Simulation, dass in 565 kWh für eine Verschiebung zur Verfügung stünden. Das entspricht 29 % des gesamten Strombedarfs des Kühlgeräts.

Tabelle 1: Ergebnisse der Lastverschiebung der Kühlgeräte in den beiden Demonstrationsgebäuden

	Gesamt	Qualifikation	Bandbreite 30 Minuten Vorwärts	Bandbreite 30 Minuten Rückwärts	Bandbreite 60 Minuten Vorwärts	Bandbreite 60 Minuten Rückwärts
<b>Kühllast Demogebäude 1</b>	1955 kWh	565 kWh	649 kWh	641 kWh	684 kWh	665 kWh
<b>Delta_Kühllast</b>			84 kWh	75 kWh	119 kWh	100 kWh
<b>Delta_Kühllast_rel</b>		29%	4%	4%	6%	5%
<b>Kühllast Demogebäude 2</b>	1194 kWh	320 kWh	362 kWh	362 kWh	377 kWh	376 kWh
<b>Delta_Kühllast</b>			41 kWh	42 kWh	56 kWh	56 kWh
<b>Delta_Kühllast_rel</b>		27%	3%	3%	5%	5%

Für die Kühllast im zweiten Demonstrationsobjekt ergab die Simulation, dass eine Verschiebung für einen Verbrauch von 320 kWh möglich wäre, das entspricht 27 % des gesamten Strombedarfs des Kühlgeräts (1194 kWh).

In Summe ließen sich bei einer maximalen Verschiebedauer von 1 Stunde im Mittel aus „Vorwärts“ und „Rückwärts“-Verschiebung 234 kWh, was etwa 7,4 % des gesamten durch die Kühlung verursachten Energieverbrauchs bedeutet, decken. Das käme einem finanziellen Mehrwert von rund **15 Euro** gleich. Während dieser wirtschaftliche Mehrwert sehr limitiert ist, ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den betrachteten Kühlgeräten um sehr leistungsschwache Geräte handelt, die aufgrund der Rahmenbedingungen im Demonstrationsbetrieb gewählt werden mussten. Bei leistungsintensiveren Geräten würde der Einsparungseffekt entsprechend höher ausfallen. Darüber hinaus entstehen den Betreiber und Betreiberinnen der Kühlgeräte keine Kosten für den Betrieb des *Cooling LEC Systems*.

### 5.3. Ergebnisse aus dem Training und dem Systemtest des *Cooling LEC Systems*

Die einzelnen Komponenten des *Cooling LEC Systems* wurden nach dem Training des selbstlernenden Systems einem umfangreichen Test unterzogen.

#### 5.3.1. Cooling LEC System Analyser

Der Ansatz der Flankenerkennung wurde ebenfalls einem umfassenden Systemtest unterzogen. Es wurden Simulationen über den Zeitraum vom 01.04.2021 – 30.09.2021 und 01.04.2022 – 30.09.2022 durchgeführt. Dabei wurden für die beiden Demonstrationsgebäude die folgenden Ergebnisse erreicht:

- Ergebnis Zukunftshaus:
  - 80 % der (wesentlichen) Kühlzyklen wurden erkannt.
  - 10 % der Kühlzyklen wurden fälschlicherweise als solche erkannt
- Ergebnis Planungsbüro:
  - 85 % der (wesentlichen) Kühlzyklen wurden erkannt.
  - 13 % der Kühlzyklen wurden fälschlicherweise als solche erkannt

Die gewählte Methode der Flankenerkennung produzierte während des Systemtests gute Ergebnisse.

### 5.3.2. Cooling LEC Control Optimiser

Gesamtlast der Gebäude:

Während des Trainings und der Validierung des Systems wurden für die Prognose der Gesamtlast des Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ die folgenden Qualitätswerte der Prognose erreicht:

- normierter mittlerer absoluter Fehler (MAE): 0,035
- normierter mittlerer quadratischer Fehler (RMSE): 0,068

Die Methode stellte sich für das Planungsbüro als brauchbar heraus, da grundsätzliche Lastverläufe erkannt wurden. Bei der Detektion von Spitzen erzeugte die Methode nur bedingt gute Ergebnisse.

Für das Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“ wurden die folgenden Werte erreicht:

- normierter mittlerer absoluter Fehler (MAE): 0,028
- normierter mittlerer quadratischer Fehler (RMSE): 0,046

Für das Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“ wurden gute Ergebnisse erreicht, da hier der Verbrauch eine ausgeprägtere Periodizität aufwies.

Abbildung 13: Beispielergebnis für ein gutes Ergebnis des Prognosemodells für die Gesamtlast im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“

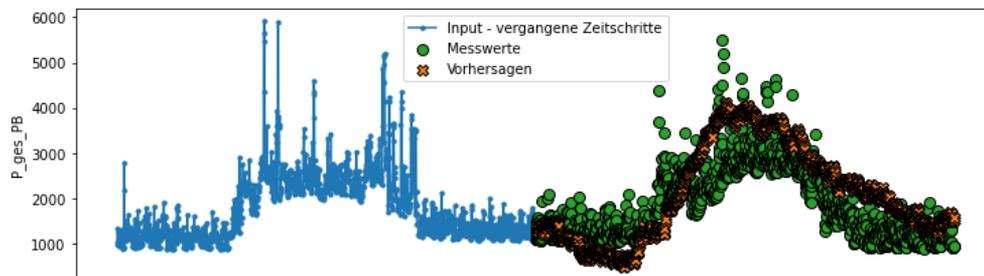


Abbildung 14: Beispielergebnis für einen nicht richtig prognostizierten Kühlzyklus anhand der Gesamtlast im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“

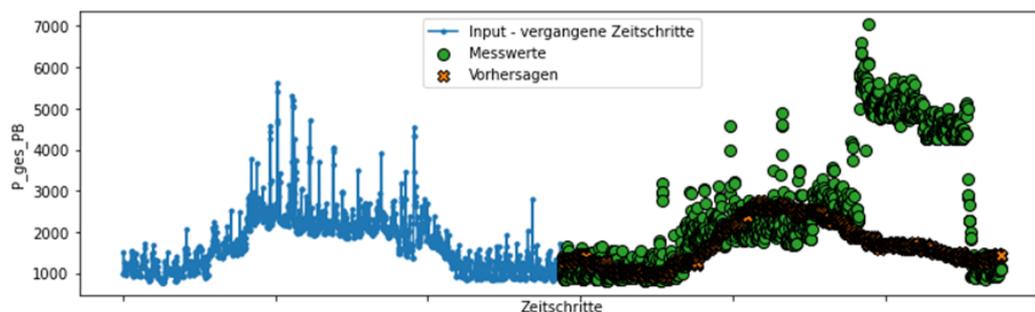


Abbildung 15: Beispielergebnis für ein gutes Ergebnis des Prognosemodells für die Gesamtlast im Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“

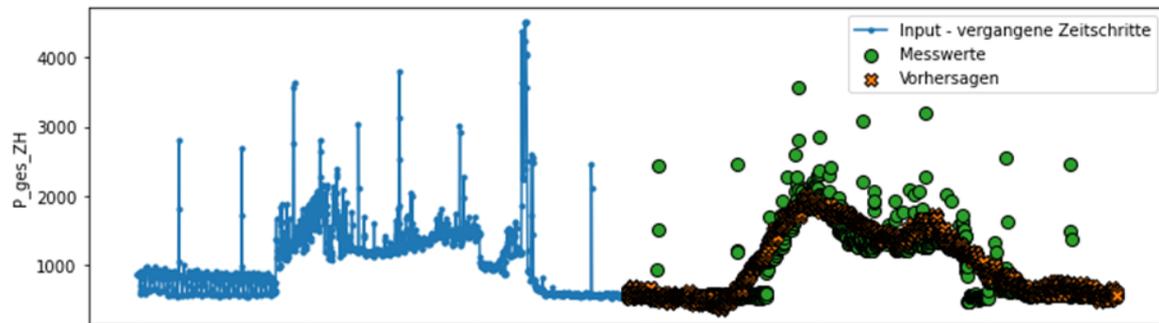
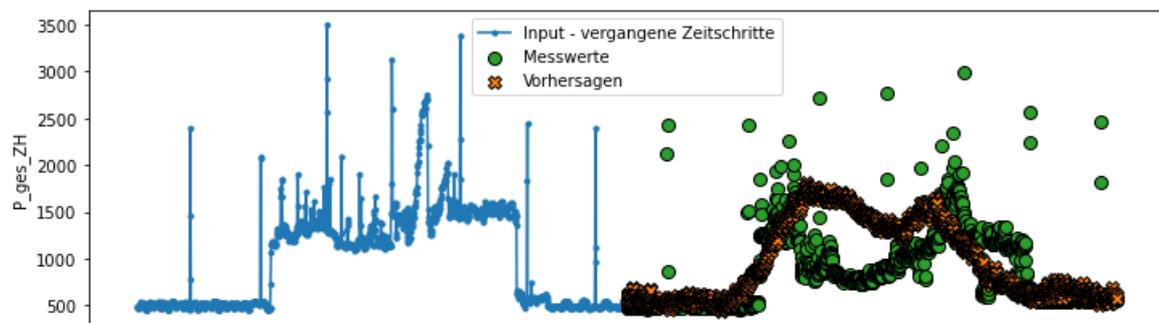


Abbildung 16: Beispielergebnis für eine Abweichung zwischen Prognose und tatsächlicher Gesamtlast



### Prognose der Kühllasten

Der Ansatz der Flankenerkennung bedurfte einer umfassenden Adaption, damit gute Ergebnisse erreicht werden konnten. Die Kühlgeräte in den Demonstrationsgebäuden waren nicht wie ursprünglich geplant maschinell gesteuerte Anlagen, siehe Kapitel 4.4, sondern manuell gesteuerte Geräte. Dadurch folgte der Einsatz der Kühlgeräte keiner strikten Logik, sondern den Empfindungen der Nutzer und Nutzerinnen. Darüber hinaus wurde bei der Auswahl der Methode davon ausgegangen, dass die Kühlgeräte bei Aktivierung eine eindeutige Sprungantwort im Verbrauch aufweisen würden. Das war nicht der Fall, der Verbrauch stieg teilweise langsam an und wies im Betrieb Sprünge auf. Für das Training der Modelle mussten die Messdaten der Kühlgeräte auf ein „0/1“-Signal adaptiert werden. Was schließlich dazu führte, dass die Flankenerkennung Ergebnisse lieferte, die für den weiteren Projektverlauf ausreichend gut waren.

Für das Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ wurden die folgenden Werte zur Bewertung der Prognosequalität erreicht:

- normierter mittlerer absoluter Fehler (MAE): 0,090
- normierter mittlerer quadratischer Fehler (RMSE): 0,192

Die Parameter wurden mit den noch nicht adaptierten Daten (kontinuierlicher Verlauf; die Anpassung bzw. Rundung auf das binäre Profil erfolgte im Nachgang) ermittelt und ergaben eine ausreichend hohe Qualität. Trotz der grundsätzlich guten Ergebnisse muss jedoch damit gerechnet werden, dass auch Situationen auftreten, bei denen die Prognoseergebnisse von der Realität abweichen.

Für das Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“ ergeben sich für das Prognosemodell folgende Abweichungen:

- normierter mittlerer absoluter Fehler (MAE): 0,109
- normierter mittlerer quadratischer Fehler (RMSE): 0,209

Sowohl für das Planungsbüro als auch für das Zukunftshaus konnten Prognosemodelle erstellt werden, die in der Lage sind, den Betrieb der Kühlgeräte mit einer hohen Treffsicherheit zu prognostizieren. Dennoch ist es unvermeidbar, dass einzelne Prognosen von der Realität abweichen. Daher ist es wichtig, dass das Gesamtsystem in der Lage ist mit diesem Umstand umzugehen bzw. den Nutzer und Nutzerinnen die Möglichkeit gegeben wird, in diesen Fällen von der Empfehlung des Cooling-LEC Systems abzuweichen.

#### Prognose der PV-Erzeugung:

Ebenfalls wurde die Methode für die Prognose der PV-Erzeugung herangezogen. Mit dem Prognosemodell für die Globalstrahlung konnten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden. Das Prognosemodell war also, in Kombination mit der nachfolgenden Berechnung des PV-Ertrags anhand der Anlagenparameter, für die Anwendung im Rahmen des *Cooling LEC Optimisers* geeignet, ausreichend gute Prognosen zu erstellen.

## 5.4. Ergebnisse aus dem Demonstrationsbetrieb

Der Demonstrationsbetrieb im Projekt *Cooling LEC* fiel kürzer als ursprünglich geplant aus. Grund dafür waren die verhältnismäßig kühlen Temperaturen in der Oststeiermark. Während österreichweit die Temperaturen im Juni 2023 sehr hoch ausfielen, war die Oststeiermark im Einflussbereich einer nördlichen Strömung, was für kühlere Temperaturen sorgte<sup>1</sup>. Der Juli war bereits deutlich wärmer, jedoch in der Steiermark von sehr hohem Regenaufkommen begleitet, was für eine ausreichende Kühlung sorgte<sup>2</sup>, wodurch kein zusätzlicher Einsatz von Kühlgeräten notwendig war. Zusätzlich fiel die Zeit in die Haupturlaubsperiode, weswegen es hier ebenfalls kaum zu einem Einsatz von Kühlgeräten kam. Schlussendlich wurde das System vom 15.08.2023 bis 16.10.2023<sup>3</sup> betrieben.

Abbildung 17 zeigt den Temperaturverlauf in Hartberg in den Monaten August bis Oktober. Daraus ist ersichtlich, dass die Temperaturen während der Demonstrationsphase oft unter 20° Celsius lagen, was aktiv zur Kühlung der Gebäude beitrug und damit den Bedarf an der Nutzung der aktiven Kühlgeräte beitrug.

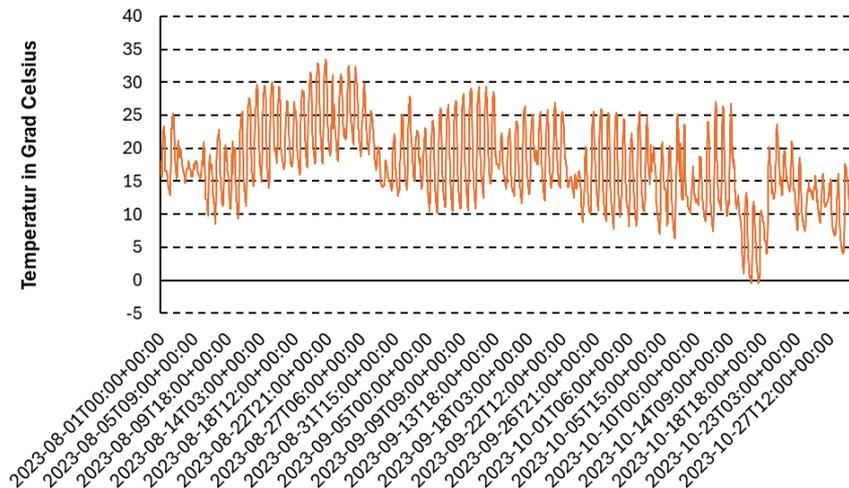
---

<sup>1</sup> <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/juni-2023-sehr-warm-und-groesstenteils-zu-trocken>

<sup>2</sup> <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/sehr-warmer-juli-2023>

<sup>3</sup> In der ursprünglichen Planung der Kühlzeiträume war ein Betrieb der Kühlgeräte im Oktober nicht vorgesehen, weswegen keine Trainingsdaten dafür zur Verfügung standen.

Abbildung 17: Temperaturverlauf während des Demonstrationsbetriebs



Der Betrieb des *Cooling LEC Systems* wurde umfassend überwacht, um einerseits den ordnungsgemäßen Betrieb des Systems sicherzustellen und andererseits anhand der Leistungsindikatoren Anpassungen am System durchzuführen. Die Demonstrationsphase wurde in drei Monitoring-Perioden unterteilt, die Ergebnisse werden in den nachfolgenden drei Tabellen dargestellt.

Tabelle 2: Leistungsindikatoren in der ersten Monitoringphase von 15.08.2023 bis 31.08.2023

	Planungsbüro		Zukunftshaus	
	Indikatorwert	Bewertung	Indikatorwert	Bewertung
Verfügbarkeit Messdaten Hauswurzel	100%	Sehr gut	90%	Sehr gut
Verfügbarkeit Lastprognose	75%	Brauchbar	69%	Schlecht
Qualität der Lastprognose	64%	Schlecht	22%	Brauchbar
Verfügbarkeit Messdaten Kühlgeräte	100%	Sehr gut	100%	Sehr gut
Qualität der Flankenerkennung	42%	Brauchbar	41%	Brauchbar
Verfügbarkeit Kühllastprognose	77%	Brauchbar	76%	Brauchbar
Qualität der Prognose der Einschaltzeitpunkte	28%	Brauchbar	33%	Brauchbar
Reaktionshäufigkeit	100%	Sehr gut	80%	Sehr gut
Reaktionsanteil	15%	Schlecht	57%	Sehr gut

Tabelle 3: Leistungsindikatoren in der zweiten Monitoringphase von 01.09.2023 bis 30.09.2023

	Planungsbüro		Zukunftshaus	
	Indikatorwert	Bewertung	Indikatorwert	Bewertung
Verfügbarkeit Messdaten Hauswurzel	100%	Sehr gut	89%	Brauchbar
Verfügbarkeit Lastprognose	41%	Schlecht	74%	Brauchbar
Qualität der Lastprognose	63%	Schlecht	24%	Brauchbar
Verfügbarkeit Messdaten Kühlgeräte	100%	Sehr gut	100%	Sehr gut
Qualität der Flankenerkennung	18%	Schlecht	10%	Schlecht
Verfügbarkeit Kühllastprognose	42%	Schlecht	82%	Brauchbar
Qualität der Prognose der Einschaltzeitpunkte	0%	Schlecht	0%	Schlecht
Reaktionshäufigkeit	0%	Schlecht	67%	Brauchbar
Reaktionsanteil	0%	Schlecht	50%	Sehr gut

Die schlechten Ergebnisse der Prognose der Einschaltzeitpunkte lassen sich darauf zurückführen, dass einerseits die Kühlgeräte nur noch selten eingeschaltet wurden und mit geringerer Leistung betrieben wurden. Das stellte die Flankenerkennung und in weiterer Folge der Prognose vor große Herausforderungen.

Tabelle 4: Leistungsindikatoren in der dritten Monitoringphase von 01.10.2023 bis 15.10.2023<sup>4</sup>

	Planungsbüro		Zukunftshaus	
	Indikatorwert	Bewertung	Indikatorwert	Bewertung
Verfügbarkeit Messdaten Hauswurzel	99%	Sehr gut	86%	Brauchbar
Verfügbarkeit Lastprognose	89%	Brauchbar	80%	Brauchbar
Qualität der Gesamtlastprognose	63%	Schlecht	26%	Brauchbar
Verfügbarkeit Messdaten Kühlgeräte	100%	Sehr gut	100%	Sehr gut
Erkennungsqualität	18%	Schlecht	7%	Schlecht
Verfügbarkeit Kühllastprognose	94%	Sehr gut	73%	Brauchbar
Qualität der Prognose der Einschaltzeitpunkte	0%	Schlecht	23%	Brauchbar
Reaktionshäufigkeit	0%	Schlecht	43%	Schlecht
Reaktionsanteil	0%	Schlecht	60%	Sehr gut

<sup>4</sup> In der ursprünglichen Planung der Kühlzeiträume war ein Betrieb der Kühlgeräte im Oktober nicht vorgesehen, weswegen keine Trainingsdaten dafür zur Verfügung standen.

Die sehr schlechten Werte der Kühllastprognose für das Planungsbüro ergaben sich dadurch, dass das Kühlgerät nur einmal aktiviert wurde und diese Aktivierung nicht richtig prognostiziert wurde.

Neben der Erfassung der Indikatoren wurde ebenso die Menge an PV-Strom, die durch die Verschiebung des Einsatzzeitpunktes der Kühlgeräte erreicht wurde erfasst. In Summe wurden **40 kWh** mehr an PV-Strom verbraucht. Da nur rund 2 Monate für die Demonstrationsphase zur Verfügung standen, reiht sich dieses Ergebnis sehr gut in die erwarteten Werte der Simulation ein.

In dem Projekt gelang ein **Proof of Concept** für eine unidirektionale Steuerung von Kühlgeräten. Dadurch konnte die Grundlage für die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energieträgern geleistet werden. Das Projekt wurde für den Ausschreibungsschwerpunkt 2 – Technologie- und Systemintegration: Pfade zu Plus-Energie-Quartieren und unter den Subthema 2.1 Energieflexible Gebäude eingereicht. Das Projekt hat gezeigt, dass eine unidirektionale Steuerung dazu beitragen kann, die Energieflexibilität von Gebäuden zu steigern und damit einen Beitrag zur Entlastung der Netze durch eine Reduktion von Überschüssen zu leisten.

# 6 Schlussfolgerungen

Obwohl das Projekt *Cooling LEC* mit mehreren nicht vorhersehbaren Herausforderungen im Projektverlauf konfrontiert wurde, führten die durchgeführten Anpassungsmaßnahmen im Projekt schlussendlich dazu, dass der **Proof of Concept** für die unidirektionale Steuerung auf Basis eines selbstlernenden Systems gelang. Die Entwicklung der Geschäftsmodelle und das erstellte und im Demonstrationsbetrieb erprobte *Cooling LEC System* generierten einige Erkenntnisse. Darüber hinaus wurden Weiterentwicklungspotenziale aber auch Hürden identifiziert.

## 6.1. Erkenntnisse

Aus dem Projekt *Cooling LEC* konnten einige wesentliche Erkenntnisse aus der Erarbeitung der Geschäftsmodelle, der Entwicklung und Erprobung des *Cooling LEC Systems* und aus dem Umgang mit den Nutzern und Nutzerinnen generiert werden:

- Nutzer- und Nutzerinneneinbindung schafft Vertrauen und baut Hürden ab:  
Die aktive Einbindung der Nutzer und Nutzerinnen in dem Projekt und die regelmäßige bilaterale Ansprache der einzelnen Nutzer und Nutzerinnen hat dazu geführt, dass eine Vertrauensbasis für die Umsetzung der technologischen Komponenten geschaffen wurde. Von dieser Vertrauensbasis profitierte das Projektkonsortium über die gesamte Projektdauer hinweg. Durch diese Vertrauensbasis gelang es schlussendlich auch das System umzusetzen und die notwendigen Adaptionen durchzuführen.
- Empfehlungen an Nutzer und Nutzerinnen sind keine verlässliche Steuermethode:  
Die Ergebnisse der Auswertung der Reaktionen der Nutzer und Nutzerinnen haben gezeigt, dass eine Steuerung von Kühlgeräten über Empfehlungen an Nutzer und Nutzerinnen nicht die ideale Form der Steuerung ist. Während im Demonstrationsgebäude Zukunftshaus die Reaktionen anfangs noch sehr häufig waren und wenig Einschalthandlungen ohne Empfehlungen durchgeführt wurden, nahmen die Indikatoren im weiteren Verlauf deutlich ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Demonstrationsphase verhältnismäßig kurz war und damit eine langfristige Beobachtung der Motivation der Nutzer und Nutzerinnen nicht möglich war. Im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ waren die Partizipationswerte der Nutzer und Nutzerinnen deutlich schlechter als im „Zukunftshaus“.
- Unidirektionale Kommunikation als potenzielle Maßnahme zur Realisierung flexibler Gebäude:  
Der Proof of Concept des *Cooling LEC Systems* hat gezeigt, dass die Flexibilisierung von Gebäuden über eine unidirektionale Kommunikation anhand der im System verfügbaren Messwerte grundsätzlich möglich ist. Die Ausrollung der Smart Meter und die damit einhergehenden Herausforderungen mit den resultierenden Datenmengen habe gezeigt, dass es durchaus einen Bedarf an solchen Lösungen gibt. Eine Umsetzung von Smart Grids auf Basis von bidirektionaler Kommunikation auf Basis von Echtzeitdaten scheint aus aktueller Sicht wenig realistisch umsetzbar zu sein.
- Das Cooling LEC System als Lösung für große Kühlgeräte:  
Die Trainings- und Demonstrationsphase haben eindeutig gezeigt, dass die Optimierung der Einsatzzeitpunkte der Kühlgeräte auf Basis der verfügbaren Daten und unter Verwendung

eines selbstlernenden Systems technisch funktioniert. Dabei wurde jedoch die Erkenntnisse generiert, dass sich die Methode deutlich besser für größere Kühlgeräte eignen würde, die automatisiert gesteuert werden. Das Problem bei kleinen dezentralen Kühlgeräten ist, dass die finanziellen Auswirkungen des Betriebs limitiert sind und die Erfassung der notwendigen Daten sich als schwierig herausgestellt hat. Darüber hinaus hat die Charakteristik des Betriebs der Kühlgeräte eine Herausforderung dargestellt, da diese nicht wie ursprünglich angenommen mit einer konstanten Leistung, sondern modulierend mit variablen Leistungen betrieben wurde.

- Die Qualität selbstlernender Systeme ist abhängig von der Datengrundlage:  
Das Projekt *Cooling LEC* war bei der Generierung der notwendigen Daten für das Training des selbstlernenden Systems mit einigen Herausforderungen konfrontiert. Einerseits fiel die Datenerfassungszeit in die Lockdown-Zeiten der Corona Pandemie, wodurch die Daten wenig repräsentativ für einen echten Betrieb waren. Andererseits war das verwendete Messsystem aufgrund der Energieversorgung über Batterie und die Kommunikation über WLAN sehr anfällig für Ausfälle. Dadurch war die Datengrundlage für das Training des selbstlernenden Systems nicht von der gewünschten Qualität, was sich auch in den Leistungsindikatoren der Demonstrationsphase widerspiegelte.
- Prognosequalität maßgeblich abhängig von der Datenlage sowie von der Regelmäßigkeit der zu prognostizierenden Größe:  
Anhand der Ergebnisse der Lastprognose der beiden Demonstrationsgebäude zeigt sich sehr anschaulich, dass Neuronale Netze maßgeblich von den verfügbaren Daten abhängig sind. Während die Prognosen, bspw. für die Lastprofile der Gebäude, im Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“ durchwegs brauchbare Ergebnisse lieferte, waren die Ergebnisse im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ von geringerer Qualität. Dem gegenüber steht die Datenqualität; während die Datenverfügbarkeit im Zukunftshaus sehr gut war, kam es bei der Aufzeichnung der Messdaten im Planungsbüro immer wieder zu Ausfällen, wodurch signifikante Datenlücken in der Messdatenaufzeichnung entstanden sind. Außerdem unterscheiden sich die beiden Gebäude maßgeblich hinsichtlich der vor-Ort-Zeiten der Nutzer und Nutzerinnen und hinsichtlich der Betriebsstunden. Während im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen oft Auswärtstermine wahrnahmen und sich dadurch Unregelmäßigkeiten im Lastverlauf des Gebäudes ergaben, war das beim Planungsbüro nicht der Fall. Neuronale Netze eignen sich sehr gut um vorhandene Zusammenhänge, in diesem Fall ein wiederkehrendes zeitliches Muster in Abhängigkeit weiterer Einflussfaktoren, zu lernen. Die Grundvoraussetzung dafür ist aber, dass ein solches Muster vorhanden ist, und die vorhandenen Messdaten dafür repräsentativ sind. Beides war beim Planungsbüro nur eingeschränkt der Fall.
- Potenzial von Rundsteuergeräten theoretisch gegeben, die Umsetzbarkeit gestaltet sich jedoch als schwierig:  
Der Demonstrationsbetrieb, bei dem ein optisches Signal für die Nutzer und Nutzerinnen über einen Rundsteuerempfänger ausgelöst wurde, hat gezeigt, dass eine Steuerung des Systems grundsätzlich über die verfügbare Rundsteuerungsanlage möglich wäre. Jedoch zeigte das Projekt ebenfalls, dass die Realisierung eines solchen Systems gewisse Grundvoraussetzungen hat. Es bedarf einerseits einer gewissen Risikobereitschaft des Netzbetreibers, das bestehende Rundsteuersystem adaptieren zu wollen. Außerdem bedarf es eines Systems, das modern genug ist, dass es noch entsprechende Wartungsverträge gibt, bzw. die Möglichkeit beim Netzbetreiber das System selbst zu warten.

- Fehlerfortpflanzung in verketteten Systemen:  
Wie bereits erwähnt, war die Datenlage im Projekt *Cooling LEC* durchaus schwierig. Einerseits wiesen die Daten teilweise Lücken auf bzw. waren nur bedingt repräsentativ, andererseits gab es auch bei der Interpretation der Verbräuche der Kühlgeräte Probleme. Während ursprünglich davon ausgegangen wurde, dass das Verbrauchsverhalten der Kühlgeräte einer Sprungantwort folgen würde, stellte sich in der Praxis heraus, dass das nicht der Fall war. Dieser Umstand erschwerte das Erkennen des Kühlbetriebs des Vortages anhand der Gesamtlast (Flankenerkennung). Ein Umstand, der sich in weiterer Folge negativ auf die Prognosemodelle auswirkt, die diese Daten als Ausgangsbasis nutzen. Dadurch baute sich eine Kette potenzieller Fehler bzw. Ungenauigkeiten auf. Die einzelnen Ungenauigkeiten wurden von einem Schritt innerhalb des *Cooling LEC Systems* zum nächsten übernommen und pflanzten sich somit fort.
- Energiegemeinschaften haben ein Potenzial für Low-Cost Flexibilisierungsmaßnahmen:  
Die wirtschaftliche Bewertung des Flexibilitätsansatzes zeigte, dass durch den Prognoseansatz eine Optimierung von Flexibilitäten innerhalb eines Gebäudes im Setting einer Energiegemeinschaft einen wirtschaftlichen Vorteil generieren kann. Dieser hängt von der durch den Flexibilitätseinsatz generierten Energiemenge ab.

## 6.2. Weiterer Forschungsbedarf

Das Projekt *Cooling LEC* hat anhand des Proof of Concept den Mehrwert der unidirektionalen Steuerung auf Basis eines selbstlernenden Systems gezeigt. Dennoch lässt sich aus den Erkenntnissen und Ergebnissen des Projektes ein Forschungsbedarf für zukünftige Projekte ableiten:

- 1.) Einbringung von Flexibilitäten in Energiegemeinschaften:  
Das Projekt hat die grundlegenden Möglichkeiten zur Nutzung flexibler Lasten in einer Energiegemeinschaft anhand eines theoretischen Beispiels gezeigt. Aufgrund der geringen Leistung der Kühlgeräte war der wirtschaftliche Vorteil dieser aber gering. Das Potenzial ist aber nicht nur auf Kühlgeräte beschränkt. Es besteht allgemein das Potenzial flexible Lasten in Energiegemeinschaften so zu steuern, dass der Verbrauch von Strom aus der Energiegemeinschaft maximiert wird. Hier könnten die in *Cooling LEC* entwickelten Methoden zum Einsatz kommen bzw. auf andere Geräte angewandt und weiterentwickelt werden.  
Darüber hinaus bietet sich der Ansatz für Energiegemeinschaften generell an, da es in diesen aufgrund der Fülle der Mitglieder nicht möglich sein wird, „Real-Time“-Messungen zu verwenden, um eine Steuerung zu realisieren.
- 2.) Methoden zu Füllung von Datenlücken in langen Zeitreihen:  
Bei der Datenerfassung in *Cooling LEC* war ein zentrales Problem, dass die ermittelten Datenreihen teilweise Lücken aufwiesen. Während kurze Lücken sich durch Interpolationsansätze sehr gut füllen lassen, stellen längere Lücken eine erhebliche Herausforderung dar. Hier besteht ein Bedarf nach der Entwicklung neuer Methoden, die dieser Aufgabe gerecht werden. Das trifft insbesondere dann zu, wenn Zeitreihen für das Training von Machine-Learning-Modellen oder -Werkzeugen herangezogen werden.
- 3.) Verbesserung der Prognosemethoden:  
Die Ergebnisse aus dem Demonstrationsbetrieb und aus dem Systemtest haben grundsätzlich die Möglichkeiten zur Verwendung von Machine-Learning-Ansätzen zu Prognose von Lasten

oder dem Einsatz von Kühlgeräten gezeigt. Dennoch sind gerade Lastverläufe, die keine Regelmäßigkeit aufweisen, eine Herausforderung für diese Ansätze. Aus den Ergebnissen und Erkenntnissen des Projektes lässt sich somit ein Bedarf zur Weiterentwicklung dieser Methoden ableiten.

4.) Entwicklung von Modellen zur Flexibilitätsnutzung durch den Netzbetreiber:

Bei der Untersuchung der Geschäftsmodelle für die Nutzung der durch das *Cooling LEC System* generierten Flexibilitäten kamen Modelle auf, bei denen der Netzbetreiber die Flexibilitäten zur Entlastung der Netze nutzen könnte. Aufgrund der Ausrichtung des Forschungsprojektes *Cooling LEC* konnten diese Ansätze nicht weiterverfolgt werden. Hier würde sich das Potenziale für ein weiteres Forschungsprojekt ableiten lassen.

### 6.3. Verwertungsplan

Das Projekt *Cooling LEC* hat unterschiedliche Ergebnisse hervorgebracht, die alle hinsichtlich einer Verwertung näher betrachtet wurden. Die nachfolgenden Tabellen behandeln die Verwertungspläne für die einzelnen im Projekt entwickelten Lösungen.

Tabelle 5: Cooling LEC Control Optimiser: Flankenerkennung für Kühlsysteme

<b>In das Projekt eingebracht durch</b>	<b>4ward Energy Research GmbH</b>
<b>Art des Ergebnisses</b>	Code (Python)
<b>Entwicklung im Rahmen des Projektes</b>	Die Funktionalität des Moduls „Flankenerkennung“, welches die Einschaltzeiten der Kühlgeräte ermitteln kann, wurde von der 4ward Energy Research GmbH als komplette Neuentwicklung im Rahmen des Projektes Cooling LEC entwickelt.
<b>Eigentümer des Projektergebnisses</b>	4ward Energy Research GmbH
<b>Verwertungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Dem Konsortialpartner steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung, auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Die Nutzung des Codes steht allen Projektpartnern frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Verwertungsmöglichkeiten für Externe</b>	Externen steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten für Externe</b>	Die Nutzung des Codes steht allen interessierten Externen frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Schutzrechte</b>	Open source (GitHub)

Tabelle 6: Cooling LEC Control Optimiser: KI-Prognose Kühleinsatz

<b>In das Projekt eingebracht durch</b>	<b>4ward Energy Research GmbH</b>
<b>Art des Ergebnisses</b>	Code (Python)
<b>Entwicklung im Rahmen des Projektes</b>	Das Prognosemodell wurde von der 4ward Energy Research GmbH als komplette Neuentwicklung im Rahmen des Projektes Cooling LEC entwickelt.
<b>Eigentümer des Projektergebnisses</b>	4ward Energy Research GmbH
<b>Verwertungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Dem Konsortialpartner steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung, auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Die Nutzung des Codes steht allen Projektpartnern frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Verwertungsmöglichkeiten für Externe</b>	Externen steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten für Externe</b>	Die Nutzung des Codes steht allen interessierten Externen frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Schutzrechte</b>	Open source (GitHub)

Tabelle 7: Cooling LEC Control Optimiser – KI-Prognose Last- und Erzeugungsprofil

<b>In das Projekt eingebracht durch</b>	<b>4ward Energy Research GmbH</b>
<b>Art des Ergebnisses</b>	Code (Python)
<b>Entwicklung im Rahmen des Projektes</b>	Das Prognosemodell wurde von der 4ward Energy Research GmbH als komplette Neuentwicklung im Rahmen des Projektes Cooling LEC entwickelt.
<b>Eigentümer des Projektergebnisses</b>	4ward Energy Research GmbH
<b>Verwertungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Dem Konsortialpartner steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung, auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Die Nutzung des Codes steht allen Projektpartnern frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Verwertungsmöglichkeiten für Externe</b>	Externen steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten für Externe</b>	Die Nutzung des Codes steht allen interessierten Externen frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Schutzrechte</b>	Open source (GitHub)

Tabelle 8: Cooling LEC Control Optimiser - Einsatzoptimierer

<b>In das Projekt eingebracht durch</b>	<b>4ward Energy Research GmbH</b>
<b>Art des Ergebnisses</b>	Code (Python)
<b>Entwicklung im Rahmen des Projektes</b>	Der Code zur Einsatzoptimierung der Kühlgeräte wurde von der 4ward Energy Research GmbH als komplette Neuentwicklung im Rahmen des Projektes Cooling LEC entwickelt.
<b>Eigentümer des Projektergebnisses</b>	4ward Energy Research GmbH
<b>Verwertungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Dem Konsortialpartner steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung, auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Die Nutzung des Codes steht allen Projektpartnern frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Verwertungsmöglichkeiten für Externe</b>	Externen steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten für Externe</b>	Die Nutzung des Codes steht allen interessierten Externen frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Schutzrechte</b>	Open source (GitHub)

Tabelle 9: Cooling LEC Communication Suite (Steuerung)

<b>In das Projekt eingebracht durch</b>	<b>4ward Energy Research GmbH</b>
<b>Art des Ergebnisses</b>	Code (Python)
<b>Entwicklung im Rahmen des Projektes</b>	Das Simulationstool wurde von der 4ward Energy Research GmbH als komplette Neuentwicklung im Rahmen des Projektes CoolingLEC entwickelt.
<b>Eigentümer des Projektergebnisses</b>	4ward Energy Research GmbH
<b>Verwertungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Dem Konsortialpartner steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung, auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten durch den anderen Projektpartner</b>	Die Nutzung des Codes steht allen Projektpartnern frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Verwertungsmöglichkeiten für Externe</b>	Externen steht die Nutzung des entwickelten Codes frei. Es gibt keine Einschränkungen der Nutzung auch eine Abänderung des Codes ist erlaubt. Eine Verwertung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Nutzungsmöglichkeiten für Externe</b>	Die Nutzung des Codes steht allen interessierten Externen frei. Eine Nutzung des Codes bedarf einer Erwähnung der Urheber des Codes.
<b>Schutzrechte</b>	Open source (GitHub)

## 7 Ausblick und Empfehlungen

Das Forschungsprojekt *Cooling LEC* hat gezeigt, dass die Implementierung einer Steuerung auf Basis eines selbstlernenden Systems, welches auf eine unidirektionale Kommunikation baut, technisch umsetzbar ist und bei einer ausreichenden Größe der zu steuernden Kühllasten auch einen wirtschaftlichen Vorteil generieren kann. Darüber hinaus hat das Projekt gezeigt, dass die Flexibilisierung von Kühllasten einen Beitrag zur direkten Nutzung von erneuerbarer Energie durch die flexibilisierten Kühlgeräte leisten kann.

Für die Zukunft ist anzunehmen, dass der Bedarf an Kühlgeräten ansteigen wird. Der fortschreitende Klimawandel führt zunehmend zu Hitzerekorden. Parallel dazu schreitet der Ausbau dezentraler Erzeugungsanlagen stetig voran, was zu einer starken Belastung der Netze führt. Die Einschränkung des PV-Ausbaus in den Verteilernetzen ist bereits heute ein Thema und wird zukünftig von Relevanz sein. Ebenso sehen sich die Betreiber bzw. Betreiberinnen von PV-Anlagen mit Beschränkungen der Einspeiseleistungen zu aus Netzperspektive kritischen Zeiten konfrontiert. Das Stromsystem bedarf daher Flexibilisierungsmöglichkeiten, um mit diesen Herausforderungen umzugehen.

Des Weiteren ergeben sich noch andere Änderungen im Energiesystem. Der Smart Meter Rollout hat an Fahrt aufgenommen und ist bei vielen Netzbetreibern bereits sehr weit fortgeschritten. Nach anfänglichen Problemen mit der Kommunikation der Geräte und der Datenübertragung, funktionieren sowohl Kommunikation als auch Datenübertragung zunehmend gut. D.h. die Grundlage für die Generierung von Daten zum Training von Systemen auf Basis von Machine Learning ist gegeben. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass für die tatsächliche Verfügbarkeit der Daten die Kunden und Kundinnen einem Opt-In zustimmen müssen.

Während der Laufzeit des Forschungsprojektes *Cooling LEC* haben Energiegemeinschaften massiv an Popularität gewonnen. Nach den anfänglich zögerlichen ersten Gründungen gibt es mittlerweile mehrere hundert Energiegemeinschaften. Die Gründung und der Betrieb der Energiegemeinschaften trägt einerseits dazu bei, dass eine bessere Datengrundlage für das Training der Komponenten des *Cooling LEC Systems* zur Verfügung stehen und andererseits, dass die es auch eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten für die entwickelte Lösung gibt.

Letztlich ist noch zu erwähnen, dass die entwickelten Methoden in *Cooling LEC* sich mit lediglich geringem Anpassungsbedarf auf andere Anwendungsfälle erweitern ließe und nicht auf Kühlgeräte beschränkt ist. Die zunehmende Elektrifizierung in Kombination mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Daten, ermöglichen die Einbindung unterschiedlicher Arten von Flexibilitäten, wie bspw. Wärmepumpen, Boiler, Elektrofahrzeuge oder Batteriespeicher.

# 8 Verzeichnisse

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ökopark Hartberg, mit den Demonstrationsobjekten.....	15
Abbildung 2: Aufbau der Cooling LEC Komponenten.....	17
Abbildung 3: Messgeräte in den Trafostationen der Stadtwerke Hartberg.....	18
Abbildung 4: Efergy Engage Hub .....	18
Abbildung 5: Messaufbau für die Erfassung der Verbräuche beim Demonstrationsgebäude Zukunftshaus .....	19
Abbildung 6: Messaufbau für die Erfassung der Verbräuche beim Demonstrationsgebäude Planungsbüro – (A): Hinweis Messung Schaltschrank 1, (B): Hinweis auf die Messung Schaltschrank 2, (C) Detailaufnahme Messgeräte, (D) Messwandler, (E) Detailaufnahme Messklemmen .....	19
Abbildung 7: Rundsteueranlage und Signallampe für den Demonstrationsbetrieb.....	21
Abbildung 8: Eingabemaske der Rundsteueranlage .....	22
Abbildung 9: Webseiten-Formular für die Nutzer und Nutzerinneneinbindung .....	23
Abbildung 10: Aufteilung der Energie in der Energiegemeinschaft für die Bewertung des Betriebsmodells.....	30
Abbildung 11: Darstellung der wirtschaftlichen Vorteile der einzelnen Mitglieder der Energiegemeinschaft.....	30
Abbildung 12: Beispielhafter Lastverlauf der Summenerzeugung und des Summenverbrauchs in der Energiegemeinschaft.....	31
Abbildung 13: Beispielergebnis für ein gutes Ergebnis des Prognosemodells für die Gesamtlast im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ .....	33
Abbildung 14: Beispielergebnis für einen nicht richtig prognostizierten Kühlzyklus anhand der Gesamtlast im Demonstrationsgebäude „Planungsbüro“ .....	33
Abbildung 15: Beispielergebnis für ein gutes Ergebnis des Prognosemodells für die Gesamtlast im Demonstrationsgebäude „Zukunftshaus“ .....	34
Abbildung 16: Beispielergebnis für eine Abweichung zwischen Prognose und tatsächlicher Gesamtlast .....	34
Abbildung 17: Temperaturverlauf während des Demonstrationsbetriebs.....	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Lastverschiebung der Kühlgeräte in den beiden Demonstrationsgebäuden .....	32
Tabelle 2: Leistungsindikatoren in der ersten Monitoringphase von 15.08.2023 bis 31.08.2023.....	36
Tabelle 3: Leistungsindikatoren in der zweiten Monitoringphase von 01.09.2023 bis 30.09.2023 .....	37
Tabelle 4: Leistungsindikatoren in der dritten Monitoringphase von 01.10.2023 bis 15.10.2023 .....	37
Tabelle 5: Cooling LEC Control Optimiser: Flankenerkennung für Kühlsysteme .....	42
Tabelle 6: Cooling LEC Control Optimiser: KI-Prognose Kühleinsatz.....	43
Tabelle 7: Cooling LEC Control Optimiser – KI-Prognose Last- und Erzeugungsprofil.....	43
Tabelle 8: Cooling LEC Control Optimiser - Einsatzoptimierer .....	44
Tabelle 9: Cooling LEC Communication Suite (Steuerung).....	44
Tabelle 10: Beschreibung der Daten, die im Projekt generiert wurden.....	49
Tabelle 11: Beispiel für die Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert werden .....	50
Tabelle 12: Beispiel für die Beschreibung der Metadaten im Projekt.....	51

## Literaturverzeichnis

- [1] United Nations, „Paris Agreement“. 12. Dezember 2015. [Online]. Verfügbar unter: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- [2] L. Kranzl, A. Müller, M. Hummel, und R. Haas, „Energieszenarien bis 2030: Wärmebedarf der Kleinverbraucher“, Endbericht, März 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/EndberichtB061464B160293MonMech-2011-Endbericht-11-05-04.pdf>
- [3] F. Pretenthaler und A. Gobiet, Hrsg., *Studien zum Klimawandel in Österreich - Band II: Heizen und Kühlen im Klimawandel - Teil 1*, 1. Aufl. in Studien zum Klimawandel in Österreich, no. Bd. 2. Wien: Verlag der österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2008.
- [4] BauNetz Media GmbH, „Aktive und passive Kühlung mit Wärmepumpen“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/kuehlen-klimatisieren/aktive-und-passive-kuehlung-mit-waermepumpen-5449990>
- [5] IBM, „White Paper: Managing big data for smart grids and smart meters“, 2012. [Online]. Verfügbar unter: <https://public.dhe.ibm.com/software/pdf/industry/IMW14628USEN.pdf>
- [6] H. Daki, A. El Hannani, A. Aqqal, A. Haidine, und A. Dahbi, „Big Data management in smart grid: concepts, requirements and implementation“, *Journal of Big Data*, Bd. 4, Nr. 1, S. 13, Apr. 2017, doi: 10.1186/s40537-017-0070-y.
- [7] A. Toller, „Planen Sie schon oder regeln Sie noch?“, 2012.
- [8] Swistec GmbH, „Swistra“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.swistec.de/swistra/>
- [9] Swistec GmbH, „Rundsteuerung - Der smart-energy Broadcast-Dienst zur Erfüllung der Kommunikationsaufgaben des §40(3) EnWG“, Bornheim, 2010.
- [10] L. Hancher und M. Winters, „The EU Winter Package, Briefing Paper“, Allen & Overy LLP, Amsterdam, 2017.

- [11] TensorFlow Developers, „TensorFlow“. Zenodo, 14. November 2023. doi: 10.5281/ZENODO.4724125.
- [12] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), „ZAMG Data Hub“. [Online]. Verfügbar unter: <https://data.hub.zamg.ac.at/>
- [13] W. Pink *u. a.*, „Hybrid-FLEX: Wissenschaftlicher Bericht“, Final project report, Aug. 2020.

## Abkürzungsverzeichnis

LEC	Local Energy Community
RMSE	Root Mean Square Error
MAE	Mean Average Error
MAPE	Mean Average Percentile Error
GWh	Gigawattstunden
RSA	Rundsteueranlage
PLC	Power Line Communication
Hz	Hertz
EEG	Erneuerbare Energie Gemeinschaft
EIWOG	Elektrizitäts- Wirtschafts- und Organisationsgesetz
kWp	Kilowatt Peak
kWh	Kilowattstunden
PV	Photovoltaik

# 9 Anhang

## 9.1. Data Management Plan (DMP)

Ergänzend zu dem internen im Projekt verwendeten DMP wird der publizierbare Endbericht durch einen weiteren DMP ergänzt.

### 1: Datenerstellung und Dokumentation

Für die Erfassung der Lastprofile kamen entweder Efergy-Messgeräte, die die Daten über ein Web-Service zur Verfügung stellten, oder ein Messsystem der Firma GMC Instruments Austria zum Einsatz. Globalstrahlungsdaten wurden über ein Web-API vom Provider Geosphere Austria zur Verfügung gestellt.

Tabelle 10: Beschreibung der Daten, die im Projekt generiert wurden.

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
<b>Lastprofil Demonstrationsobjekt „Zukunftshaus“</b>	Numerisch	Messwerte mit einer Auflösung von 1 Minute	Efergy Messgerät	Nicht öffentlich	-
<b>Lastprofil Demonstrationsobjekt „Planungsbüro“</b>	Numerisch	Messwerte mit einer Auflösung von 1 Minute	Efergy Messgerät	Nicht öffentlich	-
<b>Lastprofil Kühlgeräte „Planungsbüro“</b>	Numerisch	Messwerte mit einer Auflösung von 1 Minute	Efergy Messgerät	Nicht öffentlich	-
<b>Lastprofil Kühlgeräte „Zukunftshaus“</b>	Numerisch	Messwerte mit einer Auflösung von 1 Minute	Efergy Messgerät	Nicht öffentlich	-
<b>Lastprofil Transformatortation „Stadtwerke Hartberg“</b>	Numerisch	Messwerte mit einer Auflösung von 1 Minute	Messsystem GMC-Instruments Austria GesmbH	Nicht öffentlich	-
<b>Globalstrahlungsdaten</b>	Numerisch	Messwerte in einer Auflösung von 15 Minuten	Geosphere Austria	Öffentlich	<a href="https://data.hub.geosphere.at/dataset?tags=Globalstrahlung">https://data.hub.geosphere.at/dataset?tags=Globalstrahlung</a>

Die nachfolgende Tabelle zeigt die im Projekt generierten Daten. Für die Aufbereitung der Messdaten kommt ein Python Skript zum Einsatz, das eine Kontrolle der Messdaten durchführt. Es werden Ausreißer gefiltert und Leerstellen identifiziert und in weiterer Folge aufgefüllt. Die „prognostizierten Daten“ werden anhand des *Cooling LEC Systems* generiert, wobei hier die selbstlernenden Systeme die Daten generieren. Die generierten Daten aus der Optimierung wurden mittels dem im Projekt entwickelten *Cooling LEC System Optimiser* erstellt. Die Daten wurden in einer internen Datenbank gespeichert.

Tabelle 11: Beispiel für die Beschreibung der Daten, welche im Projekt generiert werden

ID	Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
<b>GSX</b>	Aufbereitete Daten für die Globalstrahlung	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	-
<b>PLAN</b>	Lastprofil Demonstrationsgebäude Planungsbüro	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	-
<b>PLAN_K</b>	Lastprofil der Kühlgerätes des Demonstrationsgebäudes Planungsbüro	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	-
<b>ZUK</b>	Lastprofil Demonstrationsgebäude Zukunftshaus	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	-
<b>ZUK_K</b>	Lastprofil der Kühlgerätes des Demonstrationsgebäudes Zukunftshaus	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	-
<b>FLAN_PB</b>	Flankenerkennung Planungsbüro	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	
<b>FLAN_ZUK</b>	Flankenerkennung Zukunftshaus	Numerisch	Aufbereitete Messdaten	4ward Energy Research	
<b>GSX_P</b>	Forecast der Globalstrahlung	Numerisch	Prognostizierte Daten	4ward Energy Research	
<b>ZUK_P</b>	Forecast der Last des Demonstrationsgebäudes Zukunftshaus	Numerisch	Prognostizierte Daten	4ward Energy Research	
<b>PLAN_P</b>	Forecast der Last des Demonstrationsgebäudes Planungsbüro	Numerisch	Prognostizierte Daten	4ward Energy Research	
<b>ZUK_K_P</b>	Forecast der Einschaltzeitpun	Numerisch	Prognostizierte Daten	4ward Energy Research	

	kte der Kühlgeräte Demonstrations gebäudes Zukunftshaus				
<b>PLAN_KP</b>	Forecast der Einschaltzeitpun kte der Kühlgeräte des Demonstrations gebäudes Planungsbüro	Numerisch	Prognostizier te Daten	4ward Energy Research	
<b>EMPF</b>	Empfehlung für die Einschaltzeitpun kte in den beiden Demonstrations objekten	Numerisch	Generierte Daten aus einer Optimierung	4ward Energy Research	

Tabelle 12: Beispiel für die Beschreibung der Metadaten im Projekt

<b>Attribut</b>	<b>Beschreibung</b>
ID	Eindeutige Bezeichnung des Datensatzes
Titel	Name/Titel des Datensatzes
Kurzbezeichnung	Kurzbezeichnung
Einheit	Einheit der Daten
Zeitintervall	Zeitintervall der Daten
Zeitraum und Referenzjahr	Zeitraum, für den die Daten berechnet wurden, und entsprechendes Referenzjahr
Eigentümer	Kontakt (Website) der Institution, welche die Daten kompiliert/generiert
Kontakt	E-Mail-Adresse des Hauptverantwortlichen für die Daten
Erstellungsdatum	Datum der Datenerstellung (JJJJ-MM-TT)
Datentyp	Art der Daten
Versionsstand	Version der Daten und ihr Status für die Verwendung

## 2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Die im Projekt erfassten und in weiterer Folge generierten Daten sind über die Geheimhaltungsvereinbarung im Konsortialvertrag zwischen 4ward Energy Research und der Stadtwerke Hartberg Verwaltungs- GmbH, geschützt und dürfen nicht für eine Veröffentlichung vorgesehen werden.

Bei den Daten handelt es sich um keine personenbezogenen Daten, da es sich dabei aber Betriebsdaten von Unternehmen sind, die im Projektendbericht eindeutig zuweisbar sind, dürfen sie nicht veröffentlicht werden.

## 3: Datenspeicherung und -erhalt

Die Daten werden vom Projektpartner 4ward Energy Research in einer Access-Datenbank auf dem firmeninternen Cloudspeicher gesichert. Ein Backup erfolgt regelmäßig durch den Cloud-Service-

Anbieter und das Unternehmen selbst.

Das Backup erfolgt in unregelmäßigen Abständen, wobei maximal 1 Monat zwischen den Sicherungen liegt.

#### **4: Wiederverwendbarkeit der Daten**

Die im Projekt generierten Daten stehen nicht zur Verfügung. Aufgrund der vertraglichen Vereinbarungen im Projekt (Geheimhaltung), werden die gemessenen, überarbeiteten und prognostizierten Daten nicht zur Verfügung gestellt.

**Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

[servicebuero@bmimi.gv.at](mailto:servicebuero@bmimi.gv.at)

[bmimi.gv.at](http://bmimi.gv.at)