

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer

Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

28/08/2020

Projekttitlel:

**Hybrid-FLEX – Flexible Wärmeversorgung von
Wohneinheiten unter Nutzung eines hybriden
Energieansatzes**

Projektnummer: 858915

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

Ausschreibung	3. Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01/05/2017
Projektende	30/04/2020
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	36 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Pink GmbH
AnsprechpartnerIn	Werner Pink
Postadresse	Bahnhofstrasse 22, A-8665 Langenwang
Telefon	+43 (0) 3854-3666-30
Fax	+43 (0) 3854-3666-40
E-mail	w.pink@pink.co.at
Website	https://www.pink.co.at/

Hybrid-FLEX

Flexible Wärmeversorgung von Wohneinheiten unter Nutzung eines hybriden Energieansatzes

AutorInnen:

Werner Pink, Christian Halmdienst (Pink GmbH)

Thomas Nacht, Robert Pratter, Evelyn Hummer (4ward Energy Research GmbH)

Sebastian Lassacher (LEVION Technologies GmbH)

Heinrich Ondra, Martina Niernsee (Wien Energie GmbH)

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	6
2.1	Projektansatz	6
2.2	Das enerboxx-System	9
2.3	SEMS	10
3	Inhaltliche Darstellung	12
3.1	D 2.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes für geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System zur Anwendung in Kombination mit einer großstädtischen Wärmeversorgung 12	
3.2	D3.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid- FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die PV-Eigenverbrauchsoptimierung	14
3.3	D4.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die Gewinnoptimierung im Stromsystem.....	15
3.4	D5.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für Maximierung des Eigenverbrauchs der Mieter*innen	16
3.5	D6.2 Disseminationsmaterial	17
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	18
4.1	Grundlegende Optimierungsstrategie	18
4.2	Methode zur Bewertung der Ladestände der einzelnen enerboxxen	19
4.3	Datenaustausch enerboxx und SEMS	22
4.4	Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes für die großstädtische Wärmeversorgung	24
4.5	Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes für die Eigenbedarfsoptimierung mittels zentraler Wärmepumpe.....	26
4.6	Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes für den optimierten Stromeinkauf	30
4.7	Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes in Kombination mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage	32
4.8	Simulationsmodelle	35
4.9	Gegenüberstellung der energietechnischen Ergebnisse.....	37
4.10	Gegenüberstellung der wirtschaftlichen Ergebnisse.....	45
4.11	Labora Aufbau zur Überprüfung der Funktionalität	48
5	Ausblick und Empfehlungen	50
5.1	Technische Empfehlungen	51
5.2	Rechtliche Empfehlungen.....	52
6	Literaturverzeichnis	52
7	Anhang	53

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

8	Kontaktdaten.....	53
---	-------------------	----

2 Einleitung

Etwa 52 % des österreichischen Energieverbrauchs entspringt der Deckung des Wärmebedarfs, wobei davon mehr als die Hälfte für die Beheizung von Räumen, die Erzeugung von Warmwasser und die Klimatisierung anfallen. (Plan, et al.) Verluste bei der Umwandlung und dem Transport der Wärme spielen hier eine wichtige Rolle. Hier sind vor allem Verluste in den Rohrsystemen von Mehrparteienwohngebäude zu nennen. Je nach Ausführung des Wärmeversorgungssystems können die Verluste ein Ausmaß von beinahe 50 % des Gesamtenergiebedarfs betragen. Hier besteht ein hohes Potenzial für die Effizienzsteigerungen durch neue Ansätze zur Speicherung von Heizungswärme und Warmwasser.

Neben der Steigerung der Energieeffizienz besteht der Wunsch, das Energieversorgungssystem auf Basis erneuerbarer Energieträger zu betreiben. Bis 2050 soll Österreich gemäß den Zielen der österreichischen Klima- und Energiestrategie die Klimaneutralität erreichen. (BMNT & BMVIT, 2018) Die dafür notwendige erneuerbare Erzeugung soll zu großen Teilen aus volatilen Erzeugungstechnologien wie Windkraft und PV stammen. Die damit verbundene zunehmende Dezentralisierung sowie die steigende Volatilität der dargebotsabhängigen Energieträger führt zu einem Bedarf an flexiblen Lasten. Darunter sind jene Lasten und Verbraucher zu verstehen, die sich zeitlich flexibel einsetzen lassen.

Aufgrund des hohen Anteils der Wärme am Endenergiebedarf und der verhältnismäßig einfachen Speicherbarkeit von thermischer im Vergleich zu elektrischer Energie, ist im Wärmebereich ein hohes Flexibilitätspotenzial zu verorten. Dieses muss durch Anwendung von Sektorkopplungsansätzen, bspw. Strom zu Wärme erst aktiviert werden.

2.1 Projektansatz

Das Projekt Hybrid-FLEX hatte zum Ziel das Thema der Flexibilisierung der Wärmeerzeugung und der Steigerung der Energieeffizienz der Wärmebereitstellung in Mehrparteienwohnhäusern zu adressieren und einen Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderung zu entwickeln. Dafür wurden die Kombination von dezentralen Warmwasserspeicher in der Ausführung als Wandspeicher (enerboxx-System), siehe Kapitel 2.2, mit dem Energiemanagementsystem, SEMS, siehe Kapitel 2.3, als Hybrid-FLEX-System untersucht. Das enerboxx-System baut darauf auf, die Ladung der enerboxxen zu takten und dadurch das fortlaufende Aufheizen des Rohrleitungssystems in Mehrparteienwohngebäuden zu vermindern. Durch die Verbindung der enerboxxen mit dem Energiemanagementsystem SEMS wird dem Hybrid-FLEX-System ein zusätzlicher Flexibilitätsgrad gegeben. Dieser äußert sich in einer variablen Festlegung der Zeitpunkte für die Ladung der enerboxxen. Das so gewonnen Flexibilitätspotenzial wird anhand von 4 Anwendungsfällen untersucht:

(i) Der Hybrid-FLEX Ansatz im Umfeld einer großstädtischen Wärmeversorgung

Bei diesem Ansatz wurde das Ziel verfolgt, die Flexibilität des Hybrid-FLEX-System dahingehend zu nutzen, sich den Anforderungen einer großstädtischen Wärmeversorgung anzupassen, siehe Abbildung 1. Dabei war vor allem die Vermeidung von Lastspitzen im Fernwärmesystem als Hauptanwendungsfall von Interesse. Durch die Vermeidung von Lastspitzen im Fernwärmenetz ließen sich die Betriebs- aber auch die Ausbaurkosten reduzieren.

Für die Nutzer*innen des Hybrid-FLEX-Systems sollte ein netzdienlicher Betrieb sich wirtschaftliche positiv Auswirkung. Dies sollte durch dynamische Wärmepreise aber auch durch die Reduktion von Lastspitzen an der Wärmeübergabestation erreicht werden.

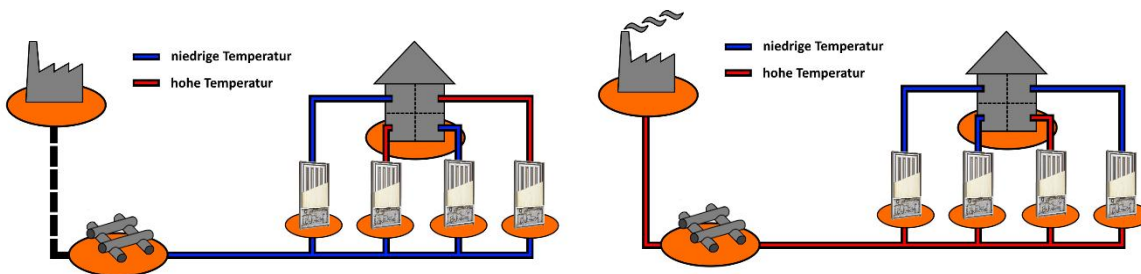


Abbildung 1: Hybrid-FLEX Ansatz für die Anbindung an die großstädtische Wärmeversorgung

(ii) Der Hybrid-FLEX Ansatz zur Optimierung des PV-Eigenbedarfs

Für den zweiten untersuchten Ansatz wurde die Wärmeerzeugung mittels zentraler Hauswärmepumpe angenommen. Weiters wurde die Verwendung einer am Gebäude installierten PV-Anlage zur Deckung des Allgemeinstromes (inkl. Strom für den Betrieb der Wärmepumpe) zugrunde gelegt. Das Ziel des Ansatzes war es, die Laufzeiten der Wärmepumpe und damit die Beladezeiten der enerboxen so zu gestalten, dass eine Steigerung der Eigenverbrauchsquote resultierte, siehe Abbildung 2.

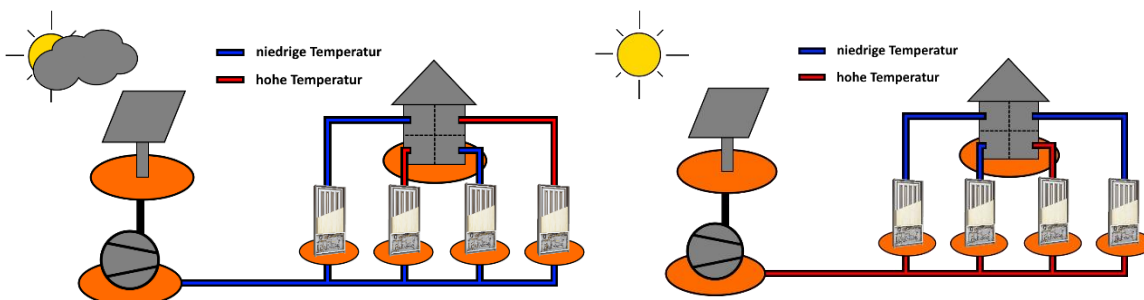


Abbildung 2: Hybrid-FLEX Ansatz zur Erhöhung des Eigennutzungsanteils der PV-Erzeugung

Dadurch würde der Netzbezug für den Betrieb der Wärmepumpen reduziert und in weiterer Folge Heizkosten für die Bewohner*innen gespart werden.

(iii) Der Hybrid-FLEX Ansatz zur Flexibilitätsnutzung im Stromsystem

Analog zum zweiten Ansatz sah auch der dritte Ansatz eine zentrale Hauswärmepumpe für die Erzeugung der notwendigen Wärmeenergie für die Beladung der enerboxxen vor. Im Gegensatz zum zweiten Ansatz wurde in diesem Ansatz jedoch das Ziel verfolgt, den Einsatz der Wärmepumpe so zu gestalten, dass Preisschwankungen ausgenutzt werden sollten um die Wärmegestehungskosten zu minimieren, siehe Abbildung 3.

Der Einsatz der Wärmepumpen zu Zeiten niedriger Strompreise hatte das Ziel, die Kosten für den Betrieb der Wärmepumpe und damit die Heizkosten der Nutzer*innen zu minimieren.

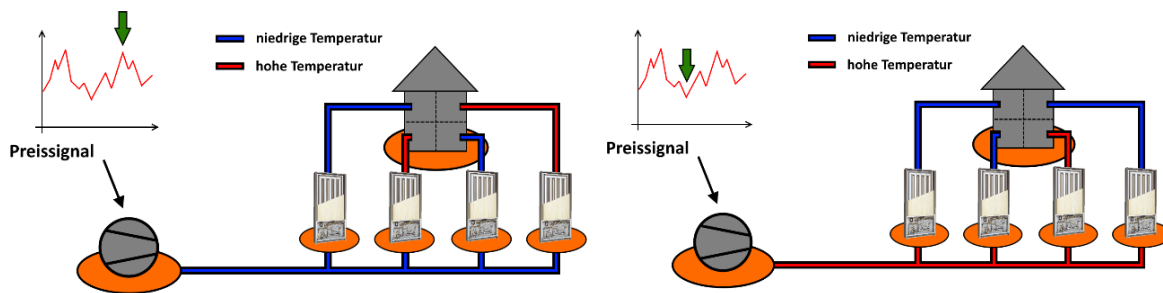


Abbildung 3: Hybrid-FLEX Ansatz für die Flexibilitätsnutzung im Stromsystem

(iv) Der Hybrid-FLEX Ansatz zur Flexibilitätsnutzung im Stromsystem durch Heizstäbe in den enerboxxen

Der vierte und letzte Ansatz baute darauf auf, den Nutzer*innen einen direkten wirtschaftlichen Vorteil durch die Nutzung von Heizstäben zu ermöglichen. Bei der Einreichung des Projektes war für diesen Ansatz die Nutzung einer Booster-Wärmepumpe geplant. Diese sollten ähnlich wie im dritten Ansatz anhand eines Strompreissignals gesteuert werden, siehe Abbildung 4. Dieser Ansatz wurde im Laufe des Projektes aus den folgenden Gründen verworfen:

- Die praktische Anwendung der Booster-Wärmepumpen hat gezeigt, dass diese keinen positiven Beitrag zur Wirtschaftlichkeit des Systems leisten. Die Booster-Wärmepumpe wurde zu Gunsten von Heizstäben ausgetauscht.
- Durch die Novellierung des EIWOG im Jahr 2017 wurde der Betrieb gemeinschaftlicher Erzeugungsanlagen ermöglicht. Dieser Ansatz wurde als Geschäftsmodell für diesen Ansatz verwendet.
- Die zentrale Gebäude-Wärmepumpe wurde, wie im zweiten Ansatz zur Optimierung des Eigenbedarfs der PV-Erzeugung eingesetzt.

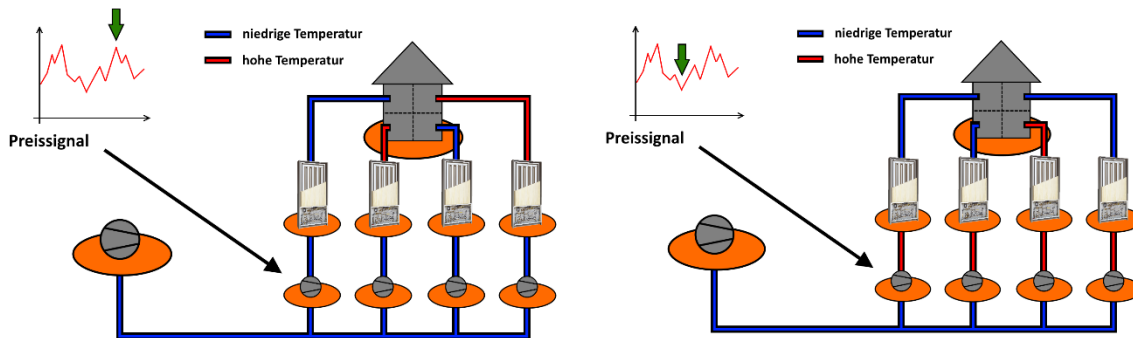


Abbildung 4: Hybrid-FLEX Ansatz für die Flexibilitätsnutzung im Stromsystem in Kombination mit Booster-Wärmepumpen

Mit diesem Ansatz wurde das Ziel verfolgt, einen direkten sowie einen indirekten wirtschaftlichen Vorteil für die Nutzer*innen des Hybrid-FLEX-Systems zu generieren. Der direkte Vorteil basiert auf der Anwendung des „Mietstrommodells“ das es den Nutzer*innen ermöglicht, PV-Strom direkt aus der PV-Anlage für die Beheizung der enerboxxen zu beziehen. Der indirekte Vorteil resultiert aus Senkung der restlichen Heizkosten durch die Nutzung der PV-Erzeugung für die Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe.

2.2 Das enerboxx-System

Die enerboxx besteht aus einem Warmwasserspeicher mit Wärmetauscher, der in einem kompakten Einbaurahmen eingebaut ist. Der Wärmetauscher übernimmt die Aufgabe den Speicher mittels Heizungswasser zu erwärmen, die dafür notwendige Wärme wird zentral erzeugt und über die Heizungsverteilung an die Wohneinheiten geliefert. Durch die Abmessung von 1,8/0,8/0,2 m (H/B/T) kann der Einbau der enerboxx in Zwischenwänden erfolgen. Aufputzlösungen (Hängespeicher) bzw. Technikräume können entfallen, zudem kann durch die Verbaubarkeit die Wohnfläche voll genutzt werden, siehe Abbildung 5.

Die enerboxx wird üblicherweise mit einem in der Installation günstigen 2-Leiter-Netz kombiniert. Im Heizbetrieb wird das Rohrsystem auf einem niedrigen Temperaturniveau betrieben, die Vorlauftemperatur wird nur während der Beladung der Speicher kurzzeitig auf ein höheres Niveau angehoben. Die Anzahl dieser Warmwasser-Ladefenster ist programmierbar, in der Regel werden die Anlagen mit 2 bis 3 täglichen Warmwasserladungen ausgeführt. Diese Betriebsweise schafft ideale Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb von Niedertemperatur-Wärmequellen wie Wärmepumpen oder thermische Solarsysteme im Geschosswohnungsbau. Eventuelle Sperrzeiten können problemlos überbrückt und Laufzeiten optimiert werden. Das System ermöglicht eine Reduktion der Wärmeverluste im Rohrsystem, wie sie mit bisherigen Systemen nicht möglich war :

- Weder Heizungs- noch Trinkwasser wird unnötig zirkuliert. Dadurch entfallen die Verteilverluste und es wird wertvoller Pumpstrom eingespart.
- Ein Kühl- bzw. Temperierbetrieb ist selbst im 2-Leiter-Netz möglich.

Die Kombination mit dem Regelungssystem ecs500 erlaubt eine durchgängige Regelung und Betriebsführung – von den Wärmeerzeugern bis zur Einzelraumregelung.



Abbildung 5: Schematische Darstellung des Aufbaus des enerboxx-Systems

2.3 SEMS

Das Smart Energy Management System (kurz „SEMS“) ist ein Energiemanagementsystem, das von LEVION seit 2013 entwickelt wird und unter der Marke „SEMS“ vertrieben wird, siehe Abbildung 6. Der primäre Einsatzbereich ist die Eigenverbrauchssteigerung bei Photovoltaikanlagen. Besonderer Fokus liegt in der Einfachheit bei der Installation und Bedienung.

Für eine Standardinstallation sind zumindest eine Steuereinheit und ein Leistungsmesser zur Ermittlung des echten Überschusses bzw. des Energiebezugs notwendig. Mit den Produktionsdaten des Wechselrichters kann der Verbrauch des gesamten Haushalts ermittelt werden. Je nach verfügbaren Flexibilitäten, wie beispielsweise Warmwasserspeicher, Poolpumpe oder E-Ladestation samt Fahrzeug kommt es zu einer variierenden Konfiguration der angesteuerten Verbraucher. Diese können auch nur passiv erfasst werden.

Die Kommunikation erfolgt entweder über Netzwerk (sowohl Ethernet als auch WLAN) oder über Z-Wave. Letzteres ist ein Funkstandard in der Heimautomatisierung, bei dem es eine Vielzahl von Schaltern und Messgeräten gibt. Je nach räumlicher Ausdehnung, Anforderungen an die Kommunikation oder maximaler Stromstärke werden Leistungsmesser auf Z-Wave- oder Netzwerk-Basis verwendet. Die Verbindung zu Wechselrichtern erfolgt in der Regel über Netzwerk.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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



Abbildung 6: Smart Energy Management System (SEMS) der Firma LEVION Technologies GmbH

Für die Steuerzentrale gibt es zwei Möglichkeiten: SEM oder SEMcompact. Beide verfügen über nahezu denselben Funktionsumfang, unterscheiden sich aber wesentlich im Bedienkonzept und Montage. Der SEM mit seinem Touch-Display, siehe Abbildung 6, ist für den Wohnraum konzipiert, der SEMcompact hingegen zur Montage auf der Hutschiene und Bedienung über die App. Für Updates und eine Fernwartemöglichkeit benötigt die Steuerzentrale Internet.

Alle Komponenten werden direkt oder indirekt über mitgelieferte Netzteile mit 230V versorgt und bedürfen keiner besonderen Verkabelung.

3 Inhaltliche Darstellung

Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projekts *Hybrid-FLEX* wurden in Form von Deliverables dokumentiert. Das gegenständliche Dokument stellt ein Rahmendokument des wissenschaftlichen Berichts dar, das die Ausgangssituation umreißt, die erarbeiteten Deliverables beschreibt, eine Zusammenfassung enthält sowie Empfehlungen aufzeigt. Die einzelnen Deliverables sind als Kapitel des Endberichts zu verstehen.

- D 1.1 Projektdokumentation und aufbereitete Projektergebnisse:
Dieses Deliverable wurde in Form des Endberichts (bzw. Tätigkeitsbericht) aufbereitet. Es handelt sich dabei um ein eigenständiges Dokument, das nicht Teil des wissenschaftlichen Berichts ist.
- D 2.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes für geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System zur Anwendung in Kombination mit einer großstädtischen Wärmeversorgung
- D3.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid- FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die PV-Eigenverbrauchsoptimierung
- D4.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die Gewinnoptimierung im Stromsystem.
- D5.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die Gewinnoptimierung im Stromsystem.
- D6.1 Endbericht über Ergebnisse, Handlungsempfehlungen und Schlussfolgerungen
Dieses Deliverable wird durch das gegenständliche Dokument ersetzt.
- D6.2 Disseminationsmaterial

3.1 D 2.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes für geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System zur Anwendung in Kombination mit einer großstädtischen Wärmeversorgung

Das Deliverable 2.1 befasst sich mit dem Einsatz des Hybrid-FLEX Systems für den Einsatz in einer großstädtischen Wärmeversorgung. Dabei wurden im Rahmen des Projektes die folgenden Themenschwerpunkte behandelt:

1) Erhebung der Rahmenbedingungen:

Die Arbeiten an diesem Themenschwerpunkt widmeten sich den zentralen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen, die sich im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung durch das Hybrid-FLEX-System ergeben. Ein wesentlicher Fokus lag dabei auf den technischen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Vor- und Rücklauftemperaturen und der Anschlussleistungen bei den Wärmestationen der Wohngebäude. Eine wesentliche Erkenntnis war,

dass das Thema der Gleichzeitigkeit bei der Nutzung multipler Hybrid-FLEX-Systeme von hoher Relevanz ist. Es muss sichergestellt werden, dass eine etwaige Steuerung mehrerer Hybrid-FLEX-Systeme über ein Preissignal nicht eine überschwingende Reaktion auslöst.

2) Technischer Lösungsansatz:

Der zweite behandelte Themenschwerpunkt widmete sich dem technischen Lösungsansatz zur Realisierung des Hybrid-FLEX-Ansatzes. Dabei wurden die technischen Spezifika der Heizsysteme in den Wohngebäuden mit Fernwärmeanschluss genauer definiert. Es wurden unterschiedliche technische Heizungsvarianten und das Thema der Anschlussleistung sowie der Verrechnungsleistung behandelt.

Zur Bewertung der Rücklauftemperaturen, die durch das Hybrid-FLEX System entstehen, wurden umfassende Messungen bei enerboxx-Speichersystemen durchgeführt und ausgewertet. Der wesentliche Unterschied zwischen einem enerboxx-System und einem Durchlaufsystem ist, dass bei dem enerboxx-System die Rücklauftemperatur mit der Ladedauer kontinuierlich ansteigt, während sie bei Durchlaufsystemen während des Zapfvorganges und der Warmhaltung jeweils konstant bleibt.

Die letzte Komponente des technischen Lösungsansatzes stellt die Regelstrategie des Hybrid-FLEX-Systems dar. Es wurde festgelegt, dass dieses auf einem Preissignal aufbaut, welches auf Basis der Auslastung des Wärmenetzes erstellt wird und darauf ausgelegt ist, Lastspitzen im System zu unterbinden.

3) Simulationsmodell:

In diesem Themenschwerpunkt wurde der Fokus auf das techno-ökonomische Simulations- bzw. Optimierungsmodell zur Bewertung des Hybrid-FLEX Ansatzes gerichtet. Das Modell wurde unter Verwendung eines Co-Simulation-Ansatzes (simplex und MATLAB) entwickelt. Neben der Beschreibung der Modellbestandteile und der notwendigen Daten für die Simulation sind vor allem die Ergebnisse von hohem Interesse. Es wurde die entwickelte Methode zur Abschätzung des Ladestands der enerboxxen über einen selbstlernenden Algorithmus bewertet. Das Ergebnis zeigt, dass unter der Annahme eines sich regelmäßig wiederholenden Zapfverhaltens sehr gute Ergebnisse erzielt werden konnten. Änderte sich das Zapfprofil von Tag zu Tag sehr stark, war das Modell nicht in der Lage den Ladestand der enerboxxen mit einem geringen Fehler zu bestimmen. Bei diesem Themenschwerpunkt wurden auch die Ergebnisse der techno-ökonomischen Simulation bewertet. Die Simulationen ergaben, dass für diesen Anwendungsfall ein technischer und in weiterer Folge ein wirtschaftlicher Vorteil durch den Betrieb des Hybrid-FLEX-Systems resultiert.

4) Wirtschaftliche Bewertung:

Im letzten Themenschwerpunkt wurden die Investitions- und Betriebskosten unterschiedlicher Systemkonstellationen gegenübergestellt, um zu zeigen, ob sich eine Investition in das Hybrid-FLEX-System im Vergleich zu anderen Systemen auszahlt. In Abhängigkeit vom gewählten Preissignal ergaben die Simulationen Amortisationszeiten von 10 bis 16 Jahren.

3.2 D3.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die PV-Eigenverbrauchsoptimierung

Im Deliverable 3.1 wird die Steigerung des PV-Eigenverbrauchs durch die Nutzung des Hybrid-FLEX Systems behandelt. Das Deliverable beinhaltet dabei die folgenden Themenschwerpunkte:

1) Erhebung der Rahmenbedingungen:

In diesem Themenschwerpunkt wurden die wesentlichen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen behandelt.

2) Technischer Lösungsansatz:

Für den zweiten Themenschwerpunkt wurde der Fokus auf den technischen Lösungsansatz zur Umsetzung des Hybrid-FLEX Ansatzes gerichtet. Im Deliverable wird der aktuelle Aufbau des enerboxx-Systems und notwendigen Komponenten zur Realisierung des Ansatzes dargestellt. Weiters wurde die datentechnische Interaktion zwischen den einzelnen Komponenten analysiert. Weiterführend wurde die Regelstrategie, diese unterscheidet sich aufgrund der geänderten Ausgangslage (Preissignal beim Wärmenetz als Unterschied zur PV-Erzeugung), beleuchtet und im Detail beschrieben. Da die PV-Nutzung im Vordergrund stand, war auch ein anderer Optimierungsansatz notwendig, welcher in diesem Deliverable beschrieben wird.

3) Simulationsmodell:

In Analogie zum Deliverable 2.1 wurde auch in diesem Deliverable dem Simulationsmodell ein eigener Themenschwerpunkt gewidmet. Das Deliverable beinhaltet eine Beschreibung der Simulationsumgebung und eine Darstellung der notwendigen Daten. Abschließend widmete sich das Projekt in diesem Themenschwerpunkt der Analyse der Ergebnisse der Simulationen, die ergeben haben, dass die Nutzung des Hybrid-FLEX Systems erhebliche energietechnische und wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt. Es wurde eine potenzielle Verlustreduktion von bis zu 49 % ermittelt. Die Steigerung des Eigenverbrauchs (+10 %) in Kombination mit den reduzierten Verlusten führt zu reduzierten Kosten von etwa 30 %.

4) Wirtschaftliche Bewertung:

Im letzten Themenschwerpunkt wurden die Investitions- und Betriebskosten unterschiedlicher Systemkonstellationen behandelt und die Ergebnisse gegenübergestellt, um zu zeigen, ob sich eine Investition in das Hybrid-FLEX System im Vergleich zu anderen Systemen auszahlt. Die Simulationen ergaben, dass mit dem System können Amortisationszeiten von etwa 4 Jahren erreicht werden.

3.3 D4.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die Gewinnoptimierung im Stromsystem

Für das Deliverable 4.1 wurde untersucht, inwieweit sich das Hybrid-FLEX-System als Flexibilität im Stromsystem anwenden lässt. Das Deliverable beinhaltet dabei die folgenden Themenschwerpunkte

1) Erhebung der Rahmenbedingungen:

Wie bereits bei den vorangegangenen Deliverables werden in Deliverable 4.1 zuerst die wesentlichen technischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen dargestellt. Hierbei sind die Verpflichtungen gemäß REMIT und die geltenden Kommunikationsstandards für Smart Meter von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus bedarf dieses Einsatzgebiet der Nutzbarkeit flexibler Stromtarife, ein Modell das aktuell nur wenige Stromlieferanten anbieten. Es wurde der Ansatz der flexiblen Stromtarife repräsentativ für die Nutzung im Stromsystem gewählt. Sollte sich kein entsprechender Lieferant finden lassen, wäre es für die Umsetzung dieses Anwendungsfalles notwendig eine Lizenz für den Stromhandel zu erhalten. Für diesen Prozess wird in Deliverable 4.1 ein Überblick geboten.

2) Technischer Lösungsansatz:

Analog zu den bisherigen Deliverables wird in diesem Themenschwerpunkt auf den technischen Lösungsansatz, der dem Hybrid-FLEX System zugrunde liegt, eingegangen. Es wird aufgezeigt, welche Änderungen des bestehenden Systems notwendig sind, um den Hybrid-FLEX Ansatz zu realisieren. Außerdem wird auch wieder die Regelstrategie beschrieben, die sich im Wesentlichen nicht maßgeblich von jener in Deliverable 2.1 unterscheidet, da sie wieder auf Basis eines Preissignals funktioniert. Einzig die in der Regelung berücksichtigten Komponenten sind unterschiedlich, sie werden aber auch entsprechend berücksichtigt.

3) Simulationsmodell:

In Analogie zu den vorangegangenen Deliverables wird bei diesem Themenschwerpunkt das Simulationsmodell und dessen Bestandteile beschrieben. Zudem wird ein Überblick über die notwendigen Daten für die Simulation bzw. die verwendeten Daten geboten. Aufbauend auf den Daten und der Modellbeschreibung wurde eine detaillierte Analyse der Simulationsergebnisse durchgeführt. Dabei wurden die Ergebnisse der energietechnischen und ökonomischen Analyse untersucht und in diesem Deliverable dargestellt. Auch bei diesem Anwendungsfall konnten durch die Anwendung des Hybrid-FLEX-Systems wirtschaftliche und technische Vorteile erreicht werden. So sanken in den Simulationen die Rohrverluste um bis zu 54 % und die Optimierung der Einsatzzeiten in Kombination mit den variablen Strompreisen führt zu Ersparnissen von bis zu 57 %.

4) Wirtschaftliche Bewertung:

Im letzten Themenschwerpunkt wurden die Investitions- und Betriebskosten unterschiedlicher Systemkonstellationen gegenübergestellt, um zu zeigen, ob sich eine Investition in das Hybrid-FLEX System im Vergleich zu anderen Systemen auszahlt. Mit dem System können Amortisationszeiten zwischen 2,8 und 3,5 Jahren erreicht werden.

3.4 D5.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für Maximierung des Eigenverbrauchs der Mieter*innen

Die Arbeiten für das Deliverable 5.1 beschäftigten sich mit der Anwendung des Hybrid-FLEX-Systems zum Nutzen der Mieter*innen eines Mehrparteienwohnhauses. Ursprünglich war geplant, das Hybrid-Flex System mit Booster-Wärmepumpen auszustatten und somit einen höheren PV-Anteil zu nutzen. Dieser Ansatz wurde jedoch zugunsten von elektrischer Heizpatronen in den enerboxen verworfen. Weiters wurde im Verlauf des Projektes die Möglichkeit zur gemeinschaftlichen Nutzung erneuerbarer Energie geschaffen, was als Geschäftsmodell für dieses Einsatzgebiet verfolgt wurde. Das Deliverable beinhaltet die folgenden Themenschwerpunkte

1) Erhebung der Rahmenbedingungen:

Die Arbeiten am ersten Themenschwerpunkt widmeten sich wieder den relevanten technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Es wurden im Laufe des Projektes viele Punkte adressiert, die bereits in den anderen Deliverables zu finden waren. Darüber hinaus wurden die Rahmenbedingungen, für die gemeinschaftliche Nutzung von erneuerbaren Erzeugungsanlagen laut EIWOG §16a im Detail beleuchtet und die Relevanz für den Hybrid-FLEX Ansatz dargestellt.

2) Technischer Lösungsansatz:

Wie bereits in den anderen Deliverables dargestellt, wurde auch in diesem Deliverable der Fokus der Arbeiten auf den technischen Lösungsansatz gerichtet. Dabei wurden wieder die notwendigen Komponenten zur Realisierung des Ansatzes erarbeitet und in weiterer Folge im Deliverable beschrieben.

Der Komponentenbeschreibung folgt die Beschreibung der Regelstrategie, die im Prinzip jener aus Deliverable 2.1 entspricht, aber durch die Berücksichtigung der Heizstäbe einen weiteren Komplexitäts- und Flexibilitätsgrad erhielt. Aufgrund der notwendigen Änderungen der enerboxen konnte der in D2.1 bis D4.1 beschriebene selbstlernende Ansatz zur Abschätzung des Speicherinhalts nicht verwendet werden, da entsprechende Erfahrungswerte fehlten. Der Ansatz wurde daher so formuliert, dass er ausschließlich mit verfügbaren Messwerten arbeitet.

3) Simulationsmodell:

In diesem Teil des Deliverables werden die Bestandteile des Simulationsmodells beschrieben. Dieses unterscheidet sich aufgrund der Verwendung der Heizstäbe und aufgrund des anderen Abschätzungsmechanismus für den Füllstand der enerboxen von den Modellen in den anderen Deliverables.

Analog zu den anderen Deliverables wurden nach der Erarbeitung des Modells und der darauffolgenden Beschreibung der verwendeten Daten die Simulationsergebnisse analysiert. Der Einsatz des Hybrid-Flex-Systems führte zu einer Reduktion der Rohrverluste von bis zu 63,5 % und einer Steigerung der Eigenverbrauchsquote von bis zu 6,6 %.

4) Laboraufbau:

Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt war der Laboraufbau zur Erprobung der grundlegenden Funktionen und der Kommunikations- und Datenschnittstellen zwischen den enerboxen und SEMS. Der Beschreibung der verbauten Komponenten und der notwendigen Anpassung der

Software folgt eine Beschreibung der durchgeführten Versuche und der Ergebnisse des Laborversuchs. Der Laborversuch hat gezeigt, dass die Zusammenarbeit von enerboxxen und SEMS gut umsetzbar ist und die in MATLAB entwickelten Codes sich gut einbinden ließen. Probleme sind nur hinsichtlich der Einbindung multipler enerboxxen zu erwarten, da die zentrale Kommunikationseinheit (CMI) hinsichtlich der Menge an Daten, die empfangen werden können, beschränkt ist.

1) Wirtschaftliche Bewertung:

Im letzten Teil des Deliverables werden die Investitions- und Betriebskosten unterschiedlicher Systemkonstellationen gegenübergestellt, um zu zeigen, ob sich eine Investition in das Hybrid-FLEX System im Vergleich zu anderen Systemen auszahlt. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit zeigte, dass das Hybrid-FLEX-System für diesen Anwendungsfall eine Amortisationsdauer bis zu 18 Jahren aufweisen kann.

3.5 D6.2 Disseminationsmaterial

Dieses Deliverable enthält zum einen den Disseminationsplan mit allen zu Projektbeginn geplanten Disseminationsmaßnahmen, zum anderen werden die während der Projektlaufzeit durchgeführten Disseminationsmaßnahmen dokumentiert.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das wesentliche Ergebnis des Projektes ist die entwickelte Hybrid-FLEX-Lösung. Dieses Kapitel beschreibt die Eckpunkte der Optimierungsstrategie und des entwickelten Simulationsmodells, sowie die wichtigsten energietechnischen und wirtschaftlichen Ergebnisse. Weitere Details können in den jeweiligen Deliverables (siehe Kapitel 3) nachgelesen werden.

4.1 Grundlegende Optimierungsstrategie

In der gegenwärtig verwendeten Regelung werden die enerboxxen zwei Mal am Tag zu fix vorgegebenen Uhrzeiten beladen, einmal in der Früh und einmal am späten Nachmittag/Abend. Das sind jene Zeiten, an denen in einem durchschnittlichen Haushalt die sogenannten Morgen- bzw. Abendspitzen des Warmwasserverbrauchs auftreten, also der höchste Warmwasserbedarf besteht. (Neunteufel, et al., 2010) Dementsprechend macht es Sinn, dass die enerboxxen zu diesen Zeiten einen hohen Energieinhalt aufweisen, um den NutzerInnenkomfort sicherzustellen. Allerdings trägt diese starre Regelung nicht zur Flexibilisierung des Energieverbrauchs für die Wärmeerzeugung bei. Um eine Flexibilisierung zu ermöglichen, wurde ein Optimierungsalgorithmus entwickelt, der eine intelligente Verschiebung der Ladefenster unter Berücksichtigung von zwischenzeitlich auftretenden Lastspitzen ermöglicht. Als zentrale Größe wurde hierbei die Verschiebezeit festgelegt, welche angibt, um wie viele Zeitschritte die Beladezeitpunkte verschoben werden können. Darüber hinaus wurde als zweiter Optimierungsparameter die Belademenge der enerboxxen adressiert. Die derzeitige Standardregelung sieht vor, dass alle enerboxxen in jedem Beladefenster komplett beladen werden. Durch die zusätzlichen Möglichkeiten des Hybrid-FLEX-Systems wurde es den Nutzern*innen ermöglicht, zwischen dem EGO-Modus und dem ECO-Modus zu wählen. Für den EGO-Modus wurde festgelegt, dass die Beladung weiterhin so durchgeführt werden sollte wie bisher, es kommt lediglich zu einer Verschiebung der Ladezeitpunkte. Dabei wird nach wie vor sichergestellt, dass die jeweilige enerboxx zweimal am Tag komplett beladen wird. Wird der ECO-Modus gewählt, wird nicht automatisch eine volle Beladung der enerboxxen durchgeführt. Stattdessen wird ein Teilbereich des Speichers erst beladen, sobald „bevorzugte“ Bedingungen vorliegen. Das kann z.B. der Fall sein, wenn eine hohe PV-Erzeugung vorliegt.

Je nach Anwendungsfall (siehe Kapitel 3) wurde im Projekt eine andere Bezugsgröße für die Ermittlung des optimalen Zeitpunkts für die Beladung der enerboxxen herangezogen. Dabei handelte es sich beispielsweise um eine Prognose des PV-Ertrags wie in AP 3, oder um ein Preissignal wie in AP 2 und AP 4. Die grundsätzliche Herangehensweise blieb jedoch ähnlich. Die Verschiebezeit war immer auf einen bestimmten Zeitbereich limitiert, welcher individuell je nach den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Systems festgelegt werden musste. Die aktuell bestehende Standardregelung sieht voreingestellten Ladezeiten (= Defaultwerte) vor, diese wurden für die Hybrid-FLEX-Steuerung als jene Zeitpunkte herangezogen, zu dem der Beladeprozess spätestens gestartet werden muss, um den Komfortansprüchen der NutzerInnen gerecht zu werden. Daraus ergab sich für die optimierende Steuerung die Anforderung, dass eine Verschiebung nur zu einem früheren Zeitpunkt als dem

Defaultwert möglich sei. Der Optimierung standen also prinzipiell zwei Ladefenster (jene der aktuellen Standardregelung) pro Tag zur Verfügung, die innerhalb eines gewissen Zeitfensters verschoben werden konnten, um die Beladung zu optimieren. Dazu wurde im ersten Schritt der Beladestatus und damit die freien Kapazitäten der enerboxxen ermittelt (siehe Kapitel 4.2) um daraus auf die benötigte Beladedauer bzw. Beladeleistung schließen zu können. Die Beladeleistung war je nach verfolgtem Ansatz von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Es wurde festgelegt, dass durch die optimierende Regelung bei jedem der untersuchten Ansätze der Zeitpunkt der Beladung der enerboxxen optimiert wird.

Neben der Beladezeit stand auch die Belademenge als zweiter Parameter für die Optimierung zur Verfügung. Über die zwei definierten Lademodi (ECO & EGO) konnte eingestellt werden, ob die enerboxx bei jeder Beladung vollständig beladen wird, oder ob ein Teilbereich (Bereich unter T2) der enerboxxen zur Optimierung zur Verfügung steht. Für den ECO-Modus erfolgte eine Beladung nur dann, wenn der Optimierungsparameter (z.B. PV-Deckung, Maximalpreis, etc.) einen gewissen Schwellenwert über- bzw. unterschritten hat. Dadurch erhielt das System einen weiteren Flexibilitätsgrad bei der Optimierung. Um ungewünschte Komforteinbußen durch nur halb geladene enerboxxen zu vermeiden, soll bei einer Umsetzung des Systems, die Auswahl des Betriebsmodus den NutzerInnen überlassen werden. Eine enerboxx hat ein Speichervolumen von ca. 140 l, was bedeutet, dass aufgrund der sehr klaren Schichtung für die Morgen- und Abendspitzen zumindest 70 l an Warmwasser zur Verfügung stehen.

Weitere Details zu den Optimierungsstrategien befinden sich in den Kapiteln 4.4 bis 4.7 sowie in den jeweiligen Deliverables.

4.2 Methode zur Bewertung der Ladestände der einzelnen enerboxxen

Um die Optimierung der Ladefenster durchführen zu können, war es wichtig die erwartenden Beladedauern zu kennen. Diese war vor allem vom Beladestatus der enerboxxen abhängig, weshalb es notwendig war, diesen möglichst genau bestimmen zu können. Die enerboxxen sind standardmäßig mit drei Temperatursensoren im Speicher ausgestattet (bei ca. 75 %, 50 % und 0 % des Volumens). Außerdem verfügen die enerboxxen über eine sehr gute Schichtung. Aus thermischer Sicht ist das sehr erstrebenswert, allerdings wird dadurch auch die Schwierigkeit der Ladezustandsabschätzung erhöht. Die Unsicherheitsbereiche bei einer quasi optimalen Schichtung, abhängig von den Messwerten (warm / kalt), sind in Tabelle 1 angegeben. Dabei stellt ein roter Pfeil den warmen und ein blauer Pfeil den kalten Bereich dar.

Tabelle 1: Unsicherheitsbereiche des Beladestatus abhängig von den Temperatursensoren

T ₃	T ₂	T ₁	Bereich der Beladung
↑	↑	↑	100 %
↓	↑	↑	50 – 99%
↓	↓	↑	25 – 49 %
↓	↓	↓	< 25 %

Eine Installation zusätzlicher Sensoren ist aufgrund wirtschaftlicher Gründe, sowie aufgrund dessen, dass das Limit der übertragbaren Sensordaten bereits erreicht wurde, nicht möglich. Aus diesem Grund wurde ein Ansatz entwickelt, um die Ladezustandsabschätzung zwischen den Temperatursensoren zu verfeinern. Die Basis dafür bildete die nach Formel (1) berechnete tatsächliche Beladeenergiemenge je Beladezyklus. Dieser Wert wurde für jede enerboxx, je nach Wochentag (Arbeitstag, Samstag, Sonntag), Ladefenster (Morgen, Abend) und gewähltem Belademodus (ECO, EGO), separat gespeichert. Es erfolgte die Mittelwertbildung je möglicher Kombination, wobei zusätzlich noch die tatsächlich gemessene Temperaturniveaus berücksichtigt wurden.

Aufbauend auf den so ermittelten Werten wurde die zu erwartende Belademenge je Situation (Wochentag etc.) bestimmt. Dieses Verfahren wurde fortlaufend angewandt und die Ergebnisse mittels tatsächlicher Messwerte validiert. Es folgte eine Kalibration des Verfahrens auf Basis der Abweichungen zwischen errechnetem und tatsächlichem Energieinhalt. Somit wurde eine immer genauer werdende Abschätzung der Belademenge ermöglicht. Lag die abgeschätzte Belademenge außerhalb des von den Temperatursensoren abhängigen Unsicherheitsbereichs (siehe Tabelle 1), wurde auf den jeweiligen noch in diesem Bereich liegenden Grenzwert zurückgegriffen. Die Temperatursensoren stellen daher die harten Grenzen der verfeinerten Ladezustandsabschätzung dar.

$$Q_{EB} = \dot{m} \cdot c_w \cdot (T_{VL} - T_{RL}) \cdot t \tag{1}$$

Q_{EB}	Lademenge einer enerboxx in kWh	T_{VL}	Vorlauftemperatur in K
\dot{m}	Massenstrom in kg/s	T_{RL}	Rücklauftemperatur in K
c_w	spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg*K)	t	Beladezeit in h

Für die Bewertung dieses Ansatzes wurde ein Gebäude mit drei Wohneinheiten, die jeweils mit einer enerboxx ausgestattet sind, angenommen. Weiters wurde ein Zapfprofil hinterlegt, welches jeden Tag ein sehr ähnliches Zapfverhalten aufweist. Abbildung 7 zeigt, den Vergleich zwischen dem tatsächlichem Speicherinhalt (nur in der Simulation ermittelbar) und dem Schätzwert gemäß dem hier präsentierten Ansatz bezogen auf den maximalen Energiegehalt der enerboxxen laut Formel (2). Es ist ersichtlich, dass nach einer anfänglichen Einschwingdauer die Abweichungen deutlich reduziert wurden und ein guter Schätzwert für den Energieinhalt des Speichers erreicht wurde.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{SW} - Q_{tat}}{n * Q_{max}} \tag{2}$$

Q_{SW} Schätzwert des Speicherinhalts einer enerboxx mit gewähltem Ansatz in kWh
 Q_{tat} tatsächlicher Speicherinhalt einer enerboxx in kWh
 n Anzahl enerboxxen
 Q_{max} maximaler Speicherinhalt einer enerboxx in kWh

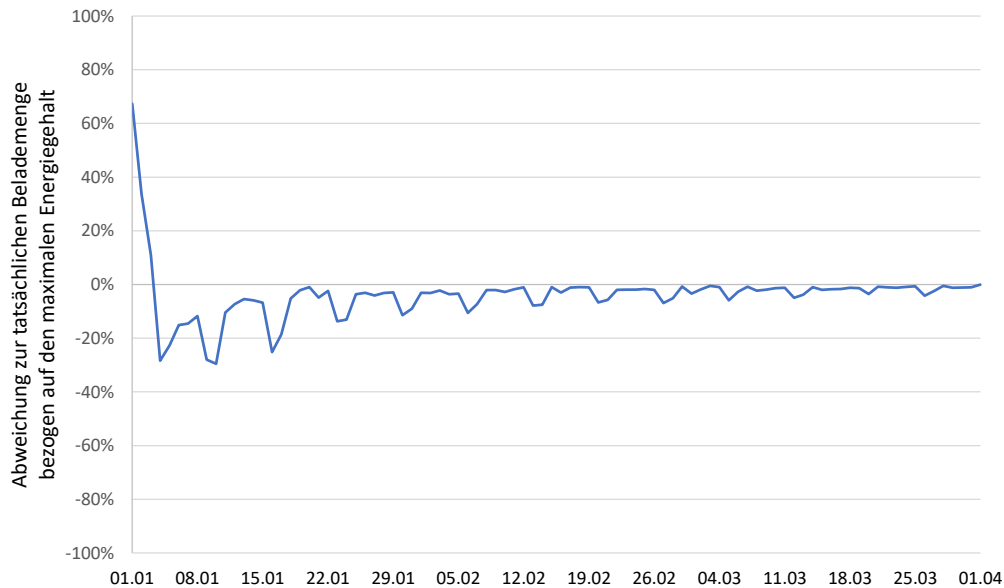


Abbildung 7: Abweichung zwischen der berechneten Lademenge und der tatsächlichen Lademenge zum Zeitpunkt des Beladestarts bei einem Zapfprofil mit einem wiederkehrenden Muster

Wurde dagegen ein zufälliges Zapfprofil angenommen, stieß der entwickelte Ansatz an seine Grenzen. Es konnten keine belastbaren Schätzungen für den Energieinhalt des Speichers gemacht werden. Ein solches Beispiel ist in Abbildung 8 dargestellt. In diesem Fall würde die Annahme einer durchmischten enerboxx und die Anwendung einer Kapazitätsabschätzung basierend rein auf den drei Sensorwerten der Temperatursensoren im Speicher eine ähnliche Genauigkeit aufweisen.

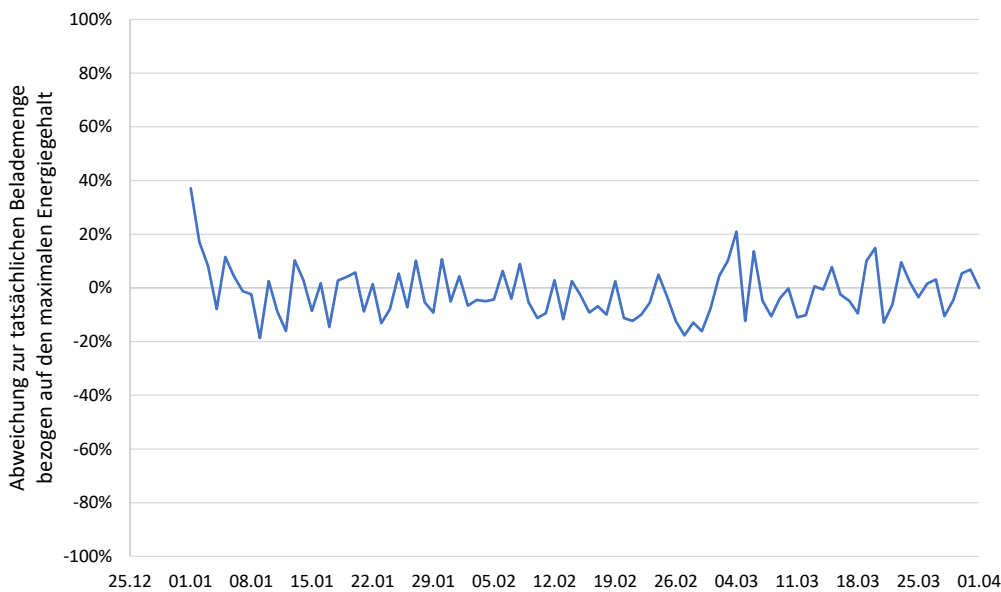


Abbildung 8: Abweichung zwischen der berechneten Lademenge und der tatsächlichen Lademenge zum Zeitpunkt des Beladestarts bei einem zufälligen Zapfprofil

Die Grenzen dieses Ansatzes mussten für den weiteren Projektverlauf im Hinterkopf behalten werden. Da für die Optimierung jedoch eine Abschätzung ausreichend war und mit den zur Verfügung stehenden Zapfprofilen in vielen Fällen gute Resultate erzielt wurden, wurde dieser Ansatz für alle Szenarien mit Ausnahme der entwickelten Lösung unter den Rahmenbedingungen von AP 5 angewendet. Da der Aufbau der enerboxx für das in AP 5 beschriebenen Szenario (Wärmepumpe + Heizstab) angepasst werden musste und keine Erfahrungswerte oder Messwerte vorhanden waren, die aufzeigen konnten, wie sich dieser Eingriff auf die Temperaturschichtung auswirken würde, erfolgte in diesem Szenario die Kapazitätsabschätzung rein durch die aktuellen Temperaturmesswerte (siehe Deliverable 5.1).

4.3 Datenaustausch enerboxx und SEMS

Das Energiemanagementsystem SEMS bzw. SEMcompact wurde als zentrale Intelligenz, welche für die Ausführung des entwickelten Optimierungsansatzes verantwortlich ist, vorgesehen. Dafür war ein Datenaustausch zwischen dem System von Pink und dem neu integrierten SEMS notwendig. Konkret erfolgte die Kommunikation zwischen SEMS und dem CMI, dabei handelt es sich um die zentrale Datenschnittstelle des enerboxx-Systems. Diese Schnittstelle diente auch als Trennstelle zwischen den beiden Simulationsumgebungen simplex und MATLAB. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Umsetzung des in MATLAB programmierten Optimierungssystem auf das Energiemanagementsystem SEMS problemlos erfolgen konnte.

Für die Kombination von SEMS und dem enerboxx-System sind die folgenden Daten von Relevanz:

- Einstellungen der Systemregelung (von CMI)
- (Mess)datenabfrage (von CMI)
- Empfehlungsausgabe (nach CMI)
- (Konfigurationsdaten)

Unter der Einstellung der Systemregelung sind jene technischen Daten/Parameter zu verstehen, die bei der Installation des enerboxxsystems fix eingestellt wurden, und sich während der Betriebszeit nicht mehr änderten, sofern keine grundsätzliche Änderung im System erfolgte. Diese Daten sind:

- die Defaultladezeitpunkte (Standardbeladezeitpunkte)
- die maximal möglichen Verschiebezeiten

welche bspw. bei einem Systemupdate vom CMI einmalig eingelesen wurden.

Während des Betriebs wurden regelmäßig Daten vom CMI eingelesen und an das SEMS übergeben:

- die Werte der drei Temperatursensoren in der enerboxx
- den Sensorwert der Vorlauftemperatur (nicht bei AP5)
- den Sensorwert der Rücklauftemperatur (nicht bei AP5)
- die tatsächliche Beladezeit (nicht bei AP5)
- den gewählten Modus (ECO/EGO)

Die Sensorwerte der Vor- und Rücklauftemperatur sowie die Beladezeit wurden zur Ermittlung der tatsächlichen Belademenge benötigt. Diese Daten mussten daher nur während des Beladevorgangs aufgezeichnet werden. Der Betriebsmodus ist vom Benutzer individuell einstellbar. Nimmt dieser eine Änderung vor, wird ein Update an SEMS gesendet.

Auf Basis dieser Daten wurde auf dem SEMS die Regelstrategie aufgerufen und damit die Optimierung der Beladezeitpunkte durchgeführt und die Ergebnisse bzw. die Empfehlungsausgabe wieder an das CMI übermittelt:

- Beladezeit
- Belademenge

Die Beladezeit ist ein Minutenwert, der angibt wie viel früher als der Default-Zeitpunkt die Ladung gestartet werden soll. Die Belademenge gibt für die enerboxxen im ECO-Modus an, ob diese voll oder nur bis zur Hälfte beladen werden sollen.

Darüber hinaus waren die sogenannten Konfigurationsdaten zu definieren, welche allerdings nicht Bestandteil der Kommunikation zwischen SEMS und dem CMI sind, sondern direkt am SEMS eingestellt werden. Diese Daten entsprechen den Inputdaten aus der Simulation, also jenen Daten, die sich während der Simulation nicht ändern.

4.4 Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes für die großstädtische Wärmeversorgung

Der Systemaufbau für die Umsetzung des Hybrid-FLEX-Ansatzes für großstädtische Wärmeversorgung ist in Abbildung 9 dargestellt.

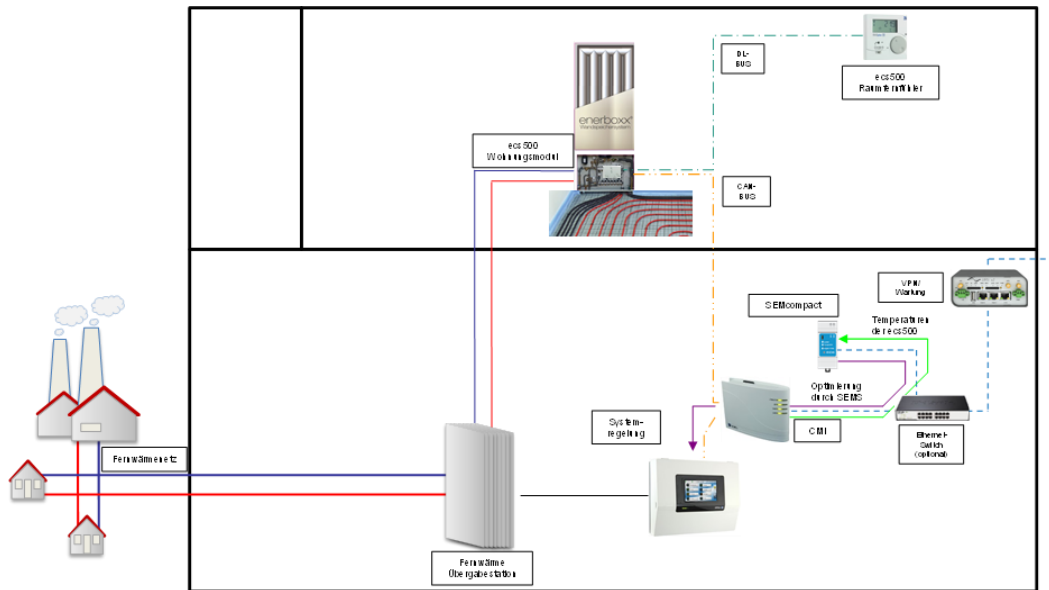


Abbildung 9: Schematische Darstellung des geplanten Systems und dessen Komponenten für AP2

Für die Realisierung des Systems sind die folgenden Komponenten notwendig:

- **Optionaler Ethernet Switch:**
Das verwendete Fernwartungsmodem weist zwei Netzwerkschnittstellen für lokale Geräte auf. In der Regel sind das CMI sowie der SEMcompact mit dem Modem verbunden. In machen Installationen ist es notwendig mehr als ein CMI an den CAN-Bus anzuschließen. Deswegen ist unter Umständen ein Switch erforderlich, der nichts anderes macht, als die Netzwerkkomponenten miteinander zu verbinden.
- **SEMcompact:**
Das bestehende Steuersystem wird um die Komponente „SEMcompact“ erweitert. Im Gegensatz zur regulären Steuerung der enerboxen über die Systemregelung ermöglicht der Einsatz von SEMcompact komplexere Regelalgorithmen und eine Verarbeitung von größeren Datenmengen.

SEMcompact dient dabei als zentrale Intelligenz welche die für die Ausführung der Regelstrategie, siehe nachfolgende Kapitel, verantwortlich ist. Über das Fernwartungsmodem kann der SEMcompact mit dem Internet kommunizieren, was Datenabfragen über das Internet ermöglicht.

Beim Hybrid-FLEX-Ansatz für die großstädtische Wärmeversorgung wurde das Ziel verfolgt, die Startzeit des Beladeprozesses (= Zeitpunkt der Wärmeabnahme von der Übergabestation für die Brauchwassererzeugung) so zu verschieben, dass die Wärmebezugskosten minimiert werden. Basis dafür stellte ein variabler Arbeitspreis dar, der jeweils im Voraus für die nächsten 24 Stunden übermittelt wird. Die Verschiebezeit wurde auf einen bestimmten Zeitbereich limitiert, welcher individuell je nach den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Systems festgelegt werden muss. Die voreingestellten Ladezeiten (= Defaultwerte) stellten dabei den letztmöglichen Zeitpunkt dar, zu dem der Beladeprozess gestartet werden konnte, um den Komfortansprüchen der NutzerInnen gerecht zu werden. Wurde der ECO-Modus gewählt, erfolgte die vollständige Beladung der enerboxxen nur dann, wenn der Arbeitspreis der Wärmeversorgung einen variabel einstellbaren Grenzwert unterschritt. Dadurch konnten neben den Einsparungen durch die Reduktion der Rohrverluste auch noch eine Reduktion des mittleren Arbeitspreises aufgrund der zeitlichen Verschiebung der Ladefenster erreicht werden.

Zur Bestimmung des optimalen Beladezeitpunktes wurde anhand der ermittelten Belademenge der enerboxxen und der Leistung der Wärmeübergabestation ein Profil des Beladeprozesses berechnet. Dieses Profil beinhaltete die Laufzeiten der Beladung sowie die übertragene Wärmeleistung je Zeitpunkt und stellte die Basis für die Optimierung dar.

Die maximale Verschiebezeit wurde durch die Sperrzeit der vorhergehenden Ladung begrenzt, was bedeutet, dass eine erneute Ladung der enerboxxen erst nach einem gewissen zeitlichen Abstand zur vorherigen Ladung erfolgen konnte. Für die Optimierung wurden das bereits definierte Profil an jenen Zeitbereich verschoben, an dem der niedrigste mittlere Arbeitspreis vorlag. Abhängig davon, ob der mittlere Arbeitspreis größer oder kleiner als der Grenzwert für den ECO-Modus war, wurde als Profil entweder jenes für die vollständige Ladung aller enerboxxen oder jenes für die vollständige Ladung der enerboxxen im EGO-Modus und die teilweise Ladung der enerboxxen im ECO-Modus herangezogen. Der dafür zugrundeliegende Optimierungsalgorithmus ist in Formel (2) angegeben:

$$K_{opt} = \min \left(\sum_{t=i}^{t=i+t_{Ladung}} AP_t * P_{ÜGS} \right) \quad \text{mit } i \text{ von } t_{start} - t_{max} \text{ to } t_{start} \quad (3)$$

K_{opt}	Kosten des Beladezyklus in €	t	Zeitschritt
$P_{ÜGS}$	Leistung der Übergabestation in kW	t_{Ladung}	Dauer des Beladezyklus in min
AP_t	Arbeitspreis im aktuellen Zeitschritt in €	t_{start}	Defaultwert Startzeit Beladung
t_{max}	maximale Verschiebezeit in min		

Die Variable t_{start} entspricht dem Defaultwert der Startzeit bei dem der Beladeprozess spätestens gestartet werden muss und t_{Ladung} der erwarteten Dauer des Beladeprozesses (Abnahme an der Übergabestation). In Abbildung 10 ist ein Beispiel für eine solche Optimierung dargestellt. Auf der linken y-Achse sind die Arbeitspreises als Prozentwert des Maximalpreises dargestellt (schwarze Kurve). Auf der rechten y-Achse ist die Wärmeleistung, welche vom Fernwärmenetz bezogen wird, aufgetragen (rote Beladefenster). Die ursprünglichen Ladefenster waren für 5 Uhr in der Früh bzw. für 17 Uhr am Nachmittag festgelegt, um rechtzeitig das benötigte Warmwasser für die erwarteten Morgen bzw. Abendspitzen bereitstellen zu können. In diesem Beispiel würden sowohl die Abend-(2) als auch die Morgenladung(1) verschoben werden. Die Abendladung würde auf ca. 13 Uhr verschoben werden, um

die besonders niedrigen Preise während der Mittagszeit auszunutzen. Nimmt man einen mittleren Preis von 85 % des maximalen Arbeitspreises als Grenze für den ECO-Modus an, würden die enerboxxen im ECO-Modus bei der Abendladung ebenfalls vollständig beladen werden. Auch die Morgenladung würde zu einem früheren Zeitpunkt verschoben werden, in diesem Fall würde die Nachladung der enerboxxen im ECO-Modus aber entfallen, da der mittlere Arbeitspreis für die Beladung über 85 % des maximalen Arbeitspreises liegt.

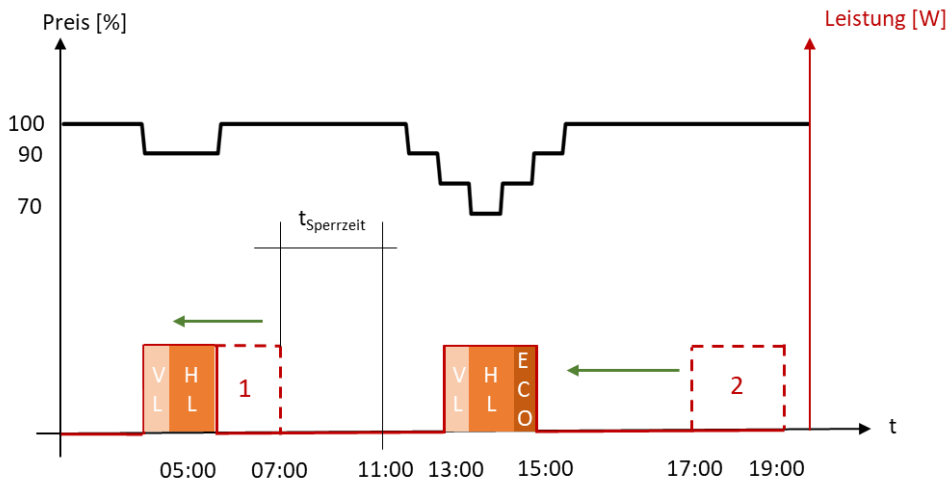


Abbildung 10: Beispiel für die Optimierung der Beladefenster für AP2

4.5 Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes für die Eigenbedarfsoptimierung mittels zentraler Wärmepumpe

Dieser Ansatz wurde anhand von Simulationen untersucht, die dargestellten Systemänderungen zeigen auf, welche Maßnahmen notwendig wären, um das System umzusetzen. Der Systemaufbau für die Umsetzung des Hybrid-FLEX-Ansatz für die Eigenbedarfsoptimierung mittels zentraler Wärmepumpe ist in Abbildung 11 dargestellt.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

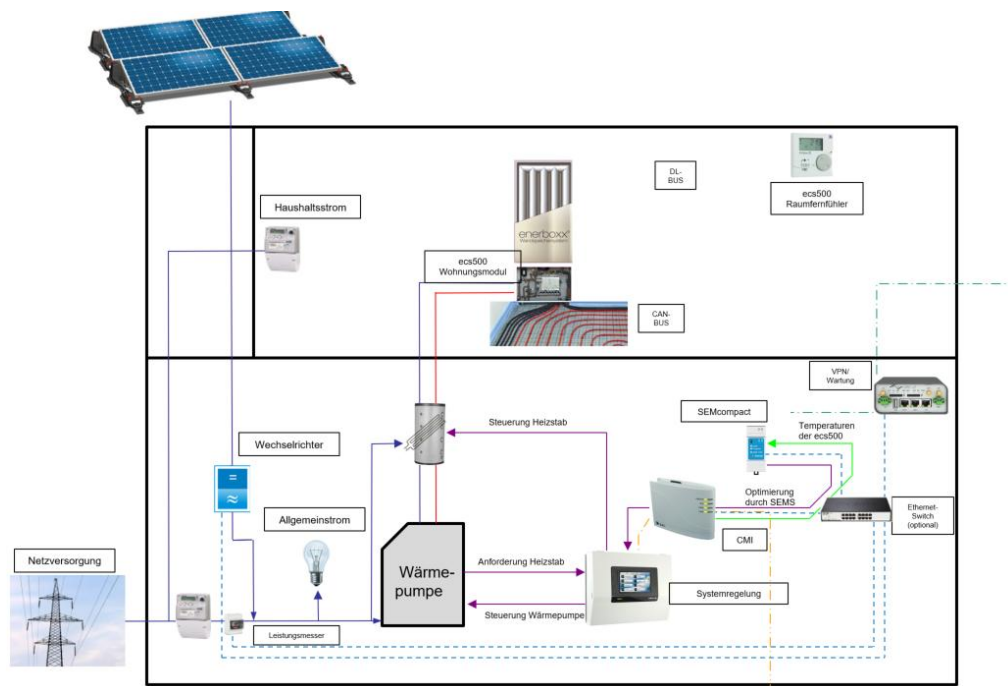


Abbildung 11: Schematische Darstellung des geplanten Systems und dessen Komponenten für AP3

Für die Realisierung des Systems wären die folgenden Komponenten notwendig:

- **PV-Anlage + Wechselrichter:** Erzeugung von erneuerbarem Strom
- **Optional Allgemeinstrom:** Damit kann Allgemeinstrom, wie z.B. für die Beleuchtung der allgemein zugänglichen Bereiche (Stiegenhaus, etc.) berücksichtigt werden.
- **Wärmepumpe:** Erzeugung der von den Wohnungen benötigten thermischen Energie auf Basis der erneuerbaren PV-Erzeugung sowie des Netzbezuges.
- **Hydraulische Weiche bzw. kleiner Pufferspeicher:** Um das System vor der Beladung der enerboxxen auf Temperatur zu bringen und das Takten der Wärmepumpe zu vermeiden/verringern.
- **enerboxx:** Speicherung des Warmwassers für den Bedarf in der Wohnung
- **ecs 500 Wohnungsmodul:** Dieses Modul ist zuständig für die Steuerung der enerboxx selbst. Es wird damit die Steuerung der Warmwasserzufuhr in den Speicher sowie die Durchleitung des Heizwärmebedarfs in das Heizsystem der Wohnung realisiert. Das Wohnungsmodul ist ebenso verantwortlich für die Erfassung der Temperaturmesswerte im Wandspeicher.
- **Systemregelung + Nebenkompnenten:** Dieses Modul ist zuständig für die Steuerung der Wärmepumpe auf Basis der verfügbaren elektrischen Energie sowie des aktuellen Warmwasser- und Wärmebedarfs in den Wohneinheiten.
- **Steuerbarer Heizstab für den optionalen Pufferspeicher:** Ist die Wärmepumpe nicht in der Lage den gesamten PV-Strom zu nutzen, bzw. ist es notwendig kurzfristig Spitzenlasten im Wärmeverbrauch zu decken, besteht die Möglichkeit den Haus-Pufferspeicher mit einem zusätzlichen regelbaren Heizstab auszurüsten. Dieser ist in der Lage stufenlos PV-Erzeugung zu verbrauchen.
- **Optionaler Ethernet Switch: (siehe Kapitel 4.4)**

- **Strommessgeräte:** Damit das übergeordnete Steuerungssystem die aktuelle Erzeugungs- und Verbrauchssituation ermitteln kann, ist es notwendig zusätzliche Strommessgeräte zu installieren. Diese messen den Allgemeinstrom sowie die aktuelle PV-Erzeugung und ermöglichen damit eine Ermittlung des aktuellen Überschusses (so einer vorhanden ist).
- **SEMcompact: (siehe Kapitel 2.3)**

Die neu einzubauenden Komponenten würden bei der Realisierung des Hybrid-FLEX-Ansatzes über das CMI an das bestehende System angebunden. Dabei würde das CMI die Rolle als zentrale Schnittstelle für sowohl die Übermittlung der Messdaten an SEMcompact und ebenfalls zur Übermittlung der Schaltepfelungen von SEMcompact an die Systemregelung übernehmen. Der Datenaustausch zwischen SEMcompact und den enerboxx-Komponenten entspricht jenem in Kapitel 4.3 beschriebenen Schema.

Für diesen Ansatz wurde ebenso eine Regelstrategie zur Flexibilisierung der Beladepunkte der enerboxxen entwickelt. Diese verfolgt das Ziel, den Eigenverbrauch der PV-Erzeugung mittels Verwendung einer Wärmepumpe zu maximieren. Die Regelstrategie sieht erneut eine Verschiebung der beiden Beladefenster, in diesem Fall entsprechen diese den Betriebszeitpunkten der Wärmepumpe, vor. Zur Maximierung der Eigendeckung wird bei der Regelstrategie der Betriebszeitpunkt der Wärmepumpe für die Brauchwassererzeugung auf den „optimalen“ Zeitpunkt verschoben. Dazu wird anhand der ermittelten Belademenge der enerboxxen und der Prognose der Außenlufttemperatur sowie der Prognose der PV-Erzeugung unter Verwendung eines Kennlinienmodells für die Wärmepumpe ein Erzeugungsprofil erstellt. Dieses Profil entspricht jenem in Kapitel 4.4 beschriebenem Profil, weist aber aufgrund der Wärmepumpencharakteristik einen anderen Verlauf auf. Anders als beim Ansatz in Kapitel 4.4 steht für diesen Ansatz lediglich das Beladefenster am Nachmittag für eine Verschiebung zur Verfügung. Die maximale Verschiebezeit wird durch die Sperrzeit nach der Morgenladung definiert. Der in der Regelung hinterlegte Optimierer verschiebt das Profil (und damit die Betriebszeit) der Wärmepumpe auf jenen Zeitbereich, bei dem die größte Menge an PV-Überschuss für den Betrieb der Wärmepumpe zur Verfügung steht ($Q_{cov} = \max$). Dieser Vorgang wird zweimal durchgeführt. Einmal unter Annahme, dass alle enerboxxen im EGO-Modus betrieben werden und ein zweites Mal unter der Annahme, dass die enerboxxen gemäß ihrer Einstellung hinsichtlich EGO- und ECO-Modus geladen werden. Wenn ein definierter Mindestwert für die Eigendeckung erreicht wird, kommt das Profil mit allen enerboxxen im EGO-Modus zum Einsatz, wird dieser Mindestwert nicht erreicht, wird für die Optimierung das Profil mit enerboxxen im EGO- und ECO-Modus angewandt. Der verwendete Optimierungsalgorithmus ist in Formel (2) angegeben:

$$\max Q_{PV_i} = \sum_{t=i}^{t=i+t_{WP}} \min(\dot{Q}_{t_{PV}}, \dot{Q}_{t_{WP}}) \quad \text{mit } i \text{ von } t_{start_WP} - t_{max_shifting} \text{ to } t_{start_WP} \quad (4)$$

Q_{PV}	Anteil der Energie aus PV in kWh	t	Zeitschritt
$\dot{Q}_{t_{PV}}$	elektrische Leistung der PV-Anlage kW	t_{WP}	Laufzeit der Wärmepumpe in min
$\dot{Q}_{t_{WP}}$	elektrische Leistung der Wärmepumpe in kW	t_{start_WP}	Defaultwert Startzeit Wärmepumpe
$t_{max_shifting}$	maximale Verschiebezeit in min		

Als zweite Nebenbedingung der Optimierung wurde neben der Maximierung des Eigenverbrauchs auch die Reduktion der resultierenden Spitzenlast festgelegt. In Abbildung 12a ist ein Beispiel für eine solche Optimierung dargestellt. Die ursprünglichen Ladefenster waren in diesem Beispiel um 5 Uhr in der Früh bzw. um 17 Uhr am Nachmittag, um rechtzeitig das benötigte Warmwasser für die erwarteten Morgen- bzw. Abendspitzen bereitstellen zu können. Eine Verschiebung zu einem späteren Zeitpunkt ist nicht erlaubt, und eine Verschiebung der Morgenspitze zu einem früheren Zeitpunkt macht hinsichtlich des prognostizierten PV-Überschusses keinen Sinn. Daher ist die einzige Flexibilität, die vom Optimierer adressiert werden kann, die Abendladung, welche in diesem Beispiel auf 13 Uhr zu Mittag verschoben werden würde, was einer Verschiebezeit von 240 min entspräche. Die maximale Verschiebezeit wurde durch die gewählte Sperrzeit nach dem ersten Beladezyklus mit 360 min festgelegt. Der Algorithmus optimiert als erste Priorität die Eigendeckung der Antriebsenergie der Wärmepumpe mit PV-Strom. In diesem Fall würde es mehrere mögliche Startpunkte mit der gleichen Eigendeckung (= 100 %) geben. Daher wurde also zweite Priorität die Spitzenlastreduktion angewandt, welche die Verschiebung auf 13 Uhr zur erwarteten Mittagsspitze und nicht beispielsweise auf 15 Uhr bestimmt. Die Abbildung 12b zeigt ein Beispiel für eine Szenario mit geringeren PV-Überschüssen. Während in Abbildung 12a jede enerboxx komplett beladen werden würde (zusätzlich notwendige Energie dafür ist mit „ECO“ markiert), würden im Szenario in Abbildung 12b die enerboxxen, welche sich im ECO-Modus befinden, nur teilweise beladen, was in eine geringere notwendige Energiemenge bzw. in eine kürzere Beladezeit resultiert. Wenn über den gesamten Verschiebezeitraum kein PV-Überschuss erwartet wird, würden die enerboxxen zu den eingestellten Defaultzeit beladen werden.

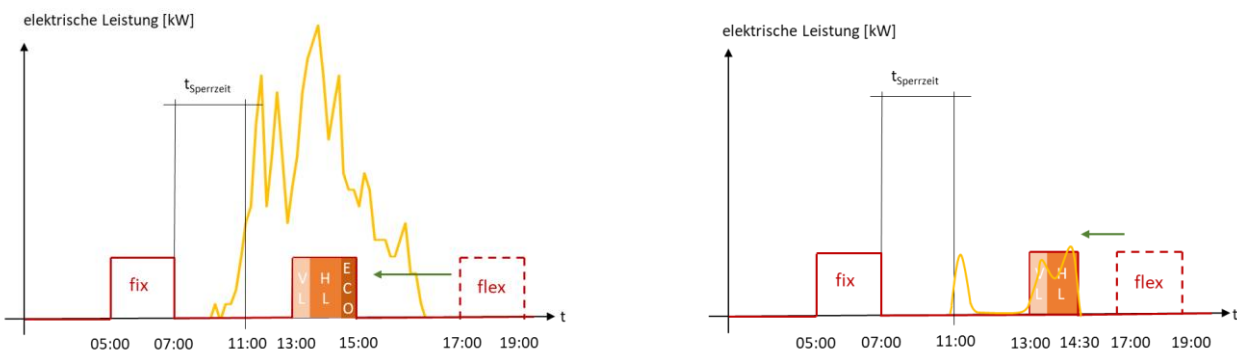


Abbildung 12: Beispiel für die Optimierung an einem Tag mit hohem PV-Überschuss (a) und einem Tag mit geringem PV-Überschuss (b) für AP3

4.6 Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes für den optimierten Stromeinkauf

Der Systemaufbau für die Umsetzung des Hybrid-FLEX-Ansatz für den optimierten Stromeinkauf ist in Abbildung 13 dargestellt.

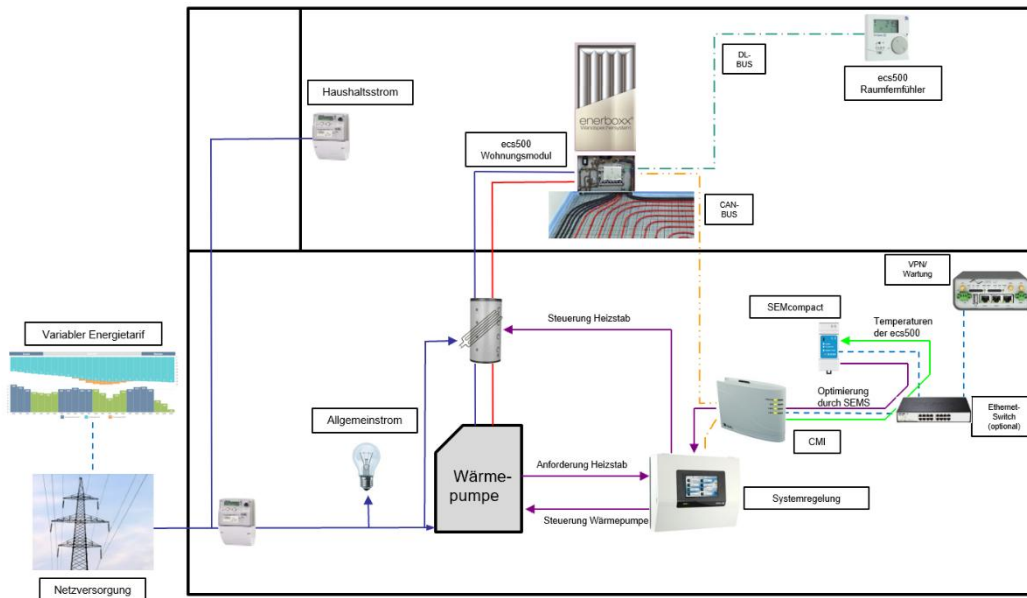


Abbildung 13: Schematische Darstellung des geplanten Systems und dessen Komponenten für AP4

Für die Realisierung des Systems sind die folgenden Komponenten notwendig (alle bereits in den vorhergehenden Ansätzen beschriebenen Komponenten werden an dieser Stelle nur aufgelistet):

- **Wärmepumpe**
- **Hydraulische Weiche bzw. kleiner Pufferspeicher**
- **enerboxx**
- **ecs 500 Wohnungsmodul**
- **Systemregelung + Nebenkompnenten**
- **Steuerbarer Heizstab für den optionalen Pufferspeicher**
- **Optionaler Ethernet Switch**
- **SEMcompact**
- **Schnittstelle zum Energielieferanten:** Über das bestehende Fernwartungsmodem mit Internetzugang kann die Schnittstelle vom Energielieferanten automatisiert abgefragt werden. Dabei reicht es eine Abfrage pro Tag durchzuführen, da die Preise für den Tag bereits am Vortag bereitstehen. Daher ist mit keinem zusätzlichen Kostenaufwand bei der Internetverbindung zu rechnen.

Für diesen Ansatz wurde ebenso eine Regelstrategie zur Flexibilisierung der Beladezeitpunkte der enerboxxen entwickelt. Diese verfolgt das Ziel, den Einsatz der Wärmepumpe zur Beladung der enerboxxen auf Basis eines variablen Preissignals so zu steuern, dass die Betriebskosten minimiert werden. Zur Minimierung der Stromkosten wird der Einsatzzeitpunkt der Wärmepumpe für die

Brauchwassererzeugung auf den aus Sicht der Strompreise „optimalen“ Zeitpunkt verschoben. Dies erfolgt weitestgehend analog zu dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Ansatz, mit dem Unterschied, dass die Dauer der Beladung von der Laufzeit der Wärmepumpe und damit auch von der Außenlufttemperatur abhängt. In Analogie zu dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Ansatz, werden während der Simulation für jeden Beladevorgang zwei Beladeprofile in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur und des Kennlinienmodells der Wärmepumpe erzeugt, nämlich ein reines EGO-Beladungsprofil und ein EGO-/ECO-Beladungsprofil. Diese werden in weiterer Folge vom Optimierer der Regelung unter Berücksichtigung des Strompreisprofils verschoben. Als Schwelle für den Wechsel hin zum reinen EGO-Modus wurde der mittlere Strompreis während des Ladevorganges festgelegt.

In Abbildung 14 ist ein Beispiel für eine solche Optimierung dargestellt. Die ursprünglichen Ladefenster (Defaultwerte) sind in diesem Beispiel um 5 Uhr in der Früh bzw. um 17 Uhr am Nachmittag, um rechtzeitig das benötigte Warmwasser für die erwarteten Morgen- bzw. Abendspitzen bereitstellen zu können. Eine Verschiebung zu einem späteren Zeitpunkt ist nicht erlaubt, die Verschiebung zu einem früheren Zeitpunkt ist jedoch bei beiden Beladefenster möglich. In diesem Beispiel würde das zweite Ladefenster von 17 Uhr auf 13 Uhr verschoben werden, was einer Verschiebezeit von 240 Minuten entspricht. Eine Verschiebung zu einem früheren Zeitpunkt würde noch bessere Ergebnisse liefern, ist aber durch die Sperrzeit unterbunden, um zu verhindern, dass die beiden Ladefenster unmittelbar nacheinander folgen. Das erste Ladefenster (Morgenladung) würde an diesem Tag nicht verschoben werden, da es bereits zum optimalen Zeitpunkt stattfindet. Eine Verschiebung zu einem früheren Zeitpunkt wäre in jedem Fall mit höheren Kosten verbunden. Da die mittleren Kosten bei der Morgenladung unterhalb der eingestellten Grenze liegen, würden in diesem Beladezyklus auch die enerboxxen im ECO-Modus komplett beladen werden. Bei der Abendladung ist das nicht der Fall, daher würde die Nachladung der enerboxxen im ECO-Modus entfallen.

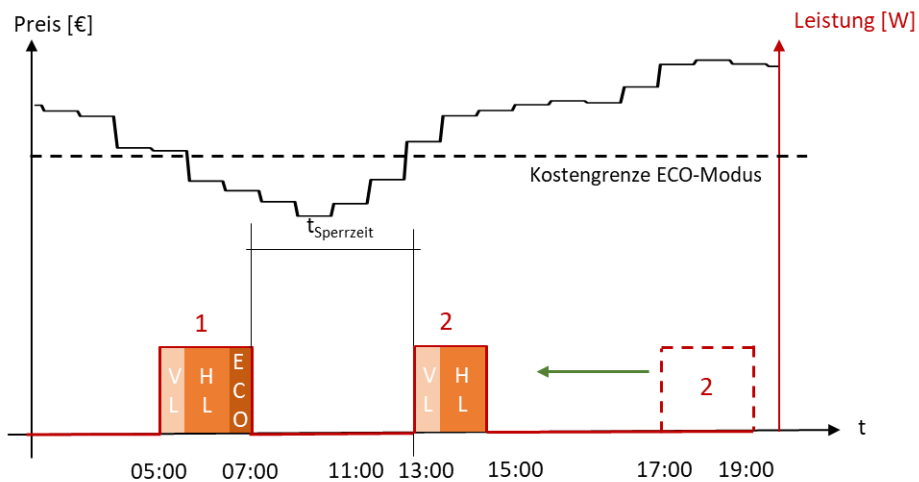


Abbildung 14: Beispiel einer Optimierung für AP4

4.7 Spezifika des Hybrid-FLEX-Ansatzes in Kombination mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage

Der Systemaufbau für die Umsetzung des Hybrid-FLEX-Ansatz in Kombination mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage ist in Abbildung 15 dargestellt.

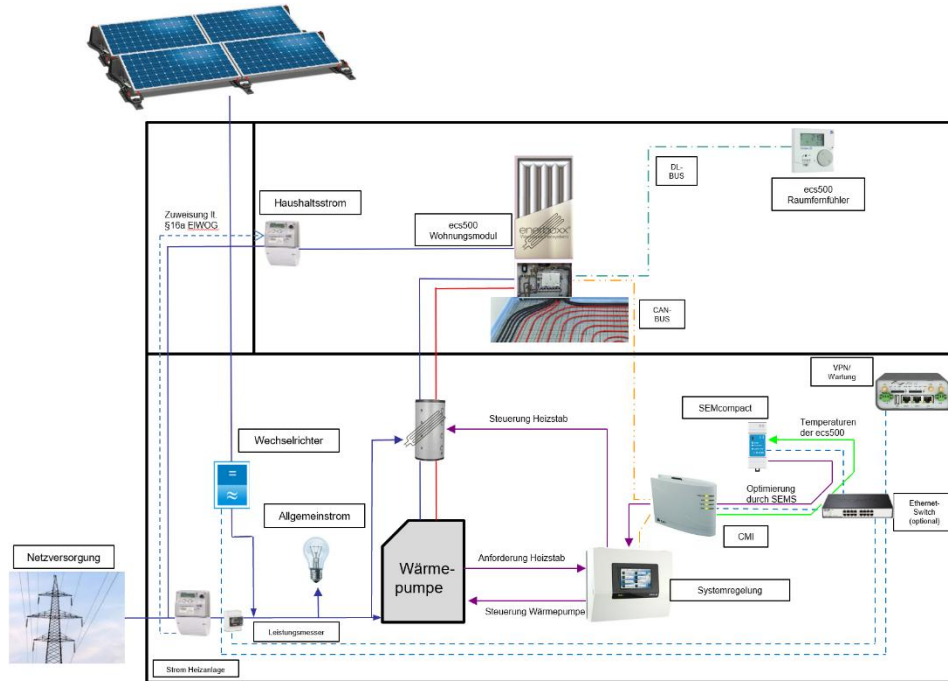


Abbildung 15: Schematische Darstellung des geplanten Systems und dessen Komponenten für AP5

Für die Realisierung des Systems wurden die Komponenten aus Arbeitspaket 3 (Kapitel 4.5) mit einem Heizstab in der enerboxx ergänzt. Außerdem musste eine Zuweisung des Haushaltsstroms laut EIWOG zur Umsetzung des Mieterstrommodells vorgenommen werden.

Es wurde festgelegt, dass die Regelung analog zu Kapitel 4.5 ebenfalls das Ziel zu verfolgen hat, den Eigenverbrauch der PV-Anlage zu maximieren, dafür stehen neben der Flexibilität der zentralen Wärmepumpe auch noch die Flexibilitäten der dezentralen Heizstäbe zur Verfügung. In diesem Ansatz wurde das Ziel verfolgt, die Startzeit des Beladeprozesses (= Zeitpunkt der Aktivierung der Wärmepumpe für die Brauchwassererzeugung) so zu verschieben, dass die Menge an PV-Überschuss der für die Brauchwassererzeugung verwendet wird, maximiert wird. Im Gegensatz zu dem in AP3 beschriebenen Szenario, wurde die Wärmepumpe mit einer niedrigeren Temperatur (kondensatorseitig) betrieben und der verbleibende Temperaturhub mit den dezentralen Heizstäben bewerkstelligt. Der Betrieb der Heizstäbe sollte dabei direkt im Anschluss an die Beladung mit der Wärmepumpe erfolgen, so dass weiterhin von zwei Beladezyklen gesprochen werden kann, die sich aus der Laufzeit der Wärmepumpe (elektrische Antriebsleistung) und der Laufzeit der dezentralen Heizstäbe (gesamte elektrische Leistung) zusammensetzen.

Da der Aufbau der enerboxx für den in diesem Szenario gewählten Beladevorgang (Wärmepumpe + Heizstab) angepasst werden musste, lagen keine Erfahrungswerte hinsichtlich des Beladeverhaltens der enerboxxen vor. Weiters fehlten dadurch die Kenntnisse über die Temperaturschichtung in der enerboxx, die durch die Einbringung des Heizstabes beeinflusst werden wird. Daher wurde für diesen

Ansatz die Kapazitätsabschätzung rein durch die drei (Mess-)werte der Temperatursensoren durchgeführt. Für die Regelung werden anhand der ermittelten Belademenge der enerboxen und der Prognose der Außenlufttemperatur unter Verwendung des hinterlegten Kennlinienmodells, wie auch bei den anderen Ansätzen, zwei Profile der elektrischen Antriebsleistung der Wärmepumpe und der elektrischen Heizstäbe berechnet. Diese geben Auskunft über die Laufzeit sowie die benötigte elektrische Leistung von sowohl Wärmepumpe als auch Heizstäben und dienen als Ausgangsbasis für die Optimierung. Die maximale Verschiebezeit wird durch die Sperrzeit nach der Morgenladung definiert, da die Optimierung auf eine Maximierung des PV-Eigenverbrauchs abzielt, kommt lediglich die Nachmittagsladung für eine Verschiebung in Frage. Die Regelung sieht eine Verschiebung der Profile (und damit der Betriebszeit) der Wärmepumpe inklusive Heizstäbe auf jenen Zeitbereich vor, bei dem die größte Menge an PV-Überschuss für den Betrieb der Wärmepumpe zur Verfügung steht ($Q_{cov} = \max$). Die beiden betrachteten Profile berücksichtigen, wie auch in den anderen Anwendungsfällen, den Betrieb der enerboxen im reinen EGO-Modus und den Betrieb in einem gemischten EGO- und ECO-Modus je nach Einstellung der Nutzer*innen. Die Besonderheit des ECO-Modus bei diesem Ansatz ist, dass für die Beladung keine Heizstäbe zum Einsatz kommen. Als Schwellwert für die Verwendung des reinen EGO-Modus zum gemischten EGO-/ECO-Modus wurde in den Simulationen ein variabel einstellbarer Minimalwert des Eigenverbrauchs festgelegt. Der verwendete Optimierungsalgorithmus ist in Formel (2) angegeben:

$$\max Q_{PV_i} = \sum_{t=i}^{t=i+t_{WP}} \min(\dot{Q}_{tPV}, \dot{Q}_{tWP+HZ}) \quad \text{mit } i \text{ von } t_{start} - t_{max_shifting} \text{ to } t_{start_WP} \quad (5)$$

Q_{PV}	Anteil der Energie aus PV in kWh	t	Zeitschritt
\dot{Q}_{tPV}	elektrische Leistung der PV-Anlage kW	t_{start}	Defaultwert Startzeit Beladezyklus
\dot{Q}_{tWP}	elektrische Leistung der Wärmepumpe und der Heizstäbe in kW	t_{LZ}	Laufzeit der Wärmepumpe und der Heizstäbe in min
$t_{max_shifting}$	maximale Verschiebezeit in min		

Die Variable t_{start} entspricht dem Defaultwert der Startzeit des Beladezyklus (der Wärmepumpe) bei dem der Beladeprozess spätestens gestartet werden muss und t_{LZ} der erwarteten Laufzeit der Wärmepumpe inklusive Heizstäbe um die benötigte Warmwassermenge aufzubereiten. Für die Simulation wurde festgelegt, dass zuerst die Ladung durch die Wärmepumpe und anschließend durch die elektrischen Heizstäbe erfolgen sollte. Als zweites Entscheidungskriterium der Optimierung wurde in Analogie zum im Kapitel 4.5 beschriebenen Optimierungsmodell ebenfalls die resultierende Lastspitze herangezogen. D.h. bei hohen Überschüssen wird daher in der Regelung für die Verschiebung jener Zeitpunkt gewählt, an dem auch die resultierende Spitzenlast minimiert würde. In Abbildung 16a ist ein Beispiel für eine solche Optimierung dargestellt. Die ursprünglichen Ladefenster sind in diesem Beispiel um 5 Uhr in der Früh bzw. um 17 Uhr am Nachmittag, um rechtzeitig das benötigte Warmwasser für die erwarteten Morgen- bzw. Abendspitzen bereitstellen zu können. Eine Verschiebung zu einem späteren Zeitpunkt ist nicht erlaubt, und eine Verschiebung der Morgenspitze zu einem früheren Zeitpunkt würde hinsichtlich des prognostizierten PV-Überschusses keinen Sinn machen. Für die Optimierung des PV-Eigenbedarfs wurde daher festgelegt, dass nur die Abendladung als Flexibilität adressiert werden kann. In dem hier dargestellten Beispiel erfolgt eine Verschiebung auf 13 Uhr zu Mittag, was einer Verschiebezeit von

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

240 min entspricht. Die maximale Verschiebezeit wurde für die Simulationen durch die gewählte Sperrzeit nach dem ersten Beladezyklus mit 360 min begrenzt. Der Algorithmus optimiert als erste Priorität die Eigendeckung der benötigten elektrischen Leistung mit PV-Strom. In diesem Fall gäbe es mehrere mögliche Startpunkte mit der gleichen Eigendeckung. Daher würde als zweite Priorität die Spitzenlastreduktion angewendet werden, welche die Verschiebung auf 13 Uhr zur erwarteten Mittagsspitze und nicht beispielsweise auf 15 Uhr bestimmt. Die Abbildung 16b zeigt ein Beispiel für eine Szenario mit geringeren PV-Überschüssen. Während in Abbildung 16a jede enerboxx komplett beladen wird, würden im Fall eines nicht ausreichenden PV-Überschusses in Abbildung 16b die enerboxxen, welche sich im ECO-Modus befinden, nur teilweise beladen werden. Daraus würden eine geringere notwendige Energiemenge bzw. eine kürzere Beladezeit resultieren. In diesem Beispiel wurde angenommen, dass alle enerboxxen im ECO-Modus betrieben werden. Dadurch entfällt die Ladung mit den elektrischen Heizstäben komplett. Würde nur ein Teil der enerboxxen im ECO-Modus betrieben werden, würden die elektrischen Heizstäbe der enerboxxen im EGO-Modus aktiviert werden. Die symbolisch dargestellte Stufe in der elektrischen Leistung für die Heizstäbe ergibt sich durch die verschiedenen Ausgangslagen (Beladestatus) der enerboxxen, weshalb diese unterschiedlich lange beladen werden (Heizstäbe mit konstanter Leistung angenommen). Wenn über den gesamten Verschiebezeitraum kein PV-Überschuss erwartet wird, würden die enerboxxen zu den eingestellten Defaultzeit beladen werden.

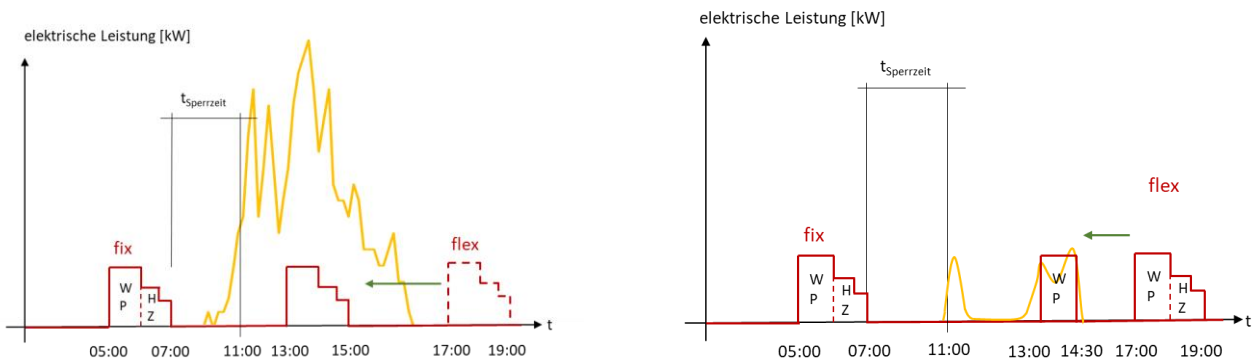


Abbildung 16: Beispiel für die Optimierung an einem Tag mit hohem PV-Überschuss (a) und einem Tag mit geringem PV-Überschuss (b) für AP5

4.8 Simulationsmodelle

Für die Validierung der entwickelten Regelungs- bzw. Optimierungsansätze wurden für die unterschiedlichen Ansätze des Einsatzes der enerboxxen Simulationsmodelle entwickelt. Dafür wurde der Ansatz der Co-Simulation gewählt, bei dem die beiden Simulationsumgebungen simplex (Eigenentwicklung Pink) und MATLAB (MathWorks, 2019) zum Einsatz kamen. Wie bereits in Kapitel 4.4 beschrieben, stellt das CMI die Trennstelle zwischen neuem und altem System und somit auch zwischen den beiden Simulationsumgebungen dar. Während in MATLAB der Optimierer entwickelt wurde, wurde simplex zur Abbildung der Hardwarekomponenten wie der Wärmepumpe, den Rohrleitungen oder der hydraulische Weiche verwendet. Weiters wurde die aktuell für die enerboxxen verwendete Regelstrategie in simplex abgebildet. Außerdem stand in simplex bereits ein detailliertes und validiertes Modell einer enerboxx aus einem früheren Projekt zur Verfügung. Damit konnte sichergestellt werden, dass für eine spätere Umsetzung der Ansätze eine einfache Integrierbarkeit der Bestandteile gewährleistet ist.

Die Simulation der gegenwärtigen Betriebsweise, wie sie bereits in mehreren Haushalten in Anwendung ist, konnte also allein mit simplex durchgeführt werden. Weiters erlaubte diese Trennung, dass die Untersuchung der Auswirkungen in mehreren Schritten erfolgen konnte. Der erste Schritt stellte die Untersuchung des Status-Quo dar, im zweiten Schritt wurden enerboxxen mit der aktuellen Steuerung mit zwei Ladefenstern zu den fix eingestellten Zeitpunkten abgebildet und im dritten Schritt wurde das enerboxx-System zum Hybrid-FLEX-System erweitert, indem die Optimierung zur Steigerung der Flexibilität hinzugefügt wurde. Damit konnte Einfluss der dezentralen Speicher auf die Rohrleitungsverluste, sowie darüber hinaus die weiteren Verbesserungen, die durch die Optimierung erzielt werden konnten, unabhängig voneinander beurteilt werden.

Der grundsätzliche Aufbau des in MATLAB realisierten Simulationsteils ist in Abbildung 17 dargestellt. Dieser lässt sich in zwei Teile gliedern:

- In den Init-Teil, der nur einmal am Beginn der Simulation zur Initialisierung aufgerufen wurde
- und in den Teil der Simulation, der in jedem Zeitschritt ausgeführt wurde.

Die Init-Funktionen werden von simplex aufgerufen und speichern die übergebenen Variablen, die über die gesamte Simulationsdauer konstant bleiben, in MATLAB, so dass diese nicht zu jedem Zeitschritt erneut übergeben werden müssen. Zur besseren Übersichtlichkeit und um das Programm leichter auf die weiteren Szenarien umlegen zu können, wurden die Init-Funktion in mehrere Funktionen unterteilt. So konnte zum Beispiel im Szenario der Fernwärmeversorgung (statt PV) die Init-Funktion für die Wärmepumpendaten einfach durch eine entsprechende Funktion der Fernwärmedaten ersetzt werden. Der Aufbau des Modells sieht nach der Abarbeitung der Init-Funktionen die eigentliche Simulation vor. Der erste Funktionsblock beinhaltet die get-Funktionen, diese dienen dazu, die Variablen zu übergeben, die sich im Verlauf der Simulation laufend ändern. Das sind einerseits die Ergebnisse der enerboxx- und Rohrsystemsimulation in simplex (Vor- und Rücklauftemperaturen der enerboxxen, Temperaturen in den enerboxxen, Ladedauer, gewählter Modus) sowie Information über den aktuellen Zeitschritt. Diese Daten werden im weiteren Simulationsverlauf gespeichert, und in jedem Zeitschritt bzw. wenn Änderungen in simplex auftreten überschrieben. Daten wie die PV-Prognose, der tatsächliche PV-Ertrag oder die

Außenlufttemperatur werden intern in MATLAB als Jahresdatensatz aus einem Excel File eingelesen, um die Anzahl der Übergabeparameter zwischen simplex und MATLAB zu minimieren, da sich die Schnittstelle als Bottleneck der Simulationsdauer erwiesen hat.

Im nächsten Schritt wird die eigentliche Optimierungsfunktion aufgerufen, die intern alle weiteren zur Berechnung notwendigen Funktionen aufruft. Diese Funktionen unterscheiden sich je nach verfolgtem Ansatz, diese wurden bereits in den Kapiteln 4.4 bis 4.7 beschrieben. Ist die Optimierung abgeschlossen, werden die Ergebnisse (Verschiebezeit, Lademenge, etc.) über die sogenannten set-Funktionen an simplex übergeben.

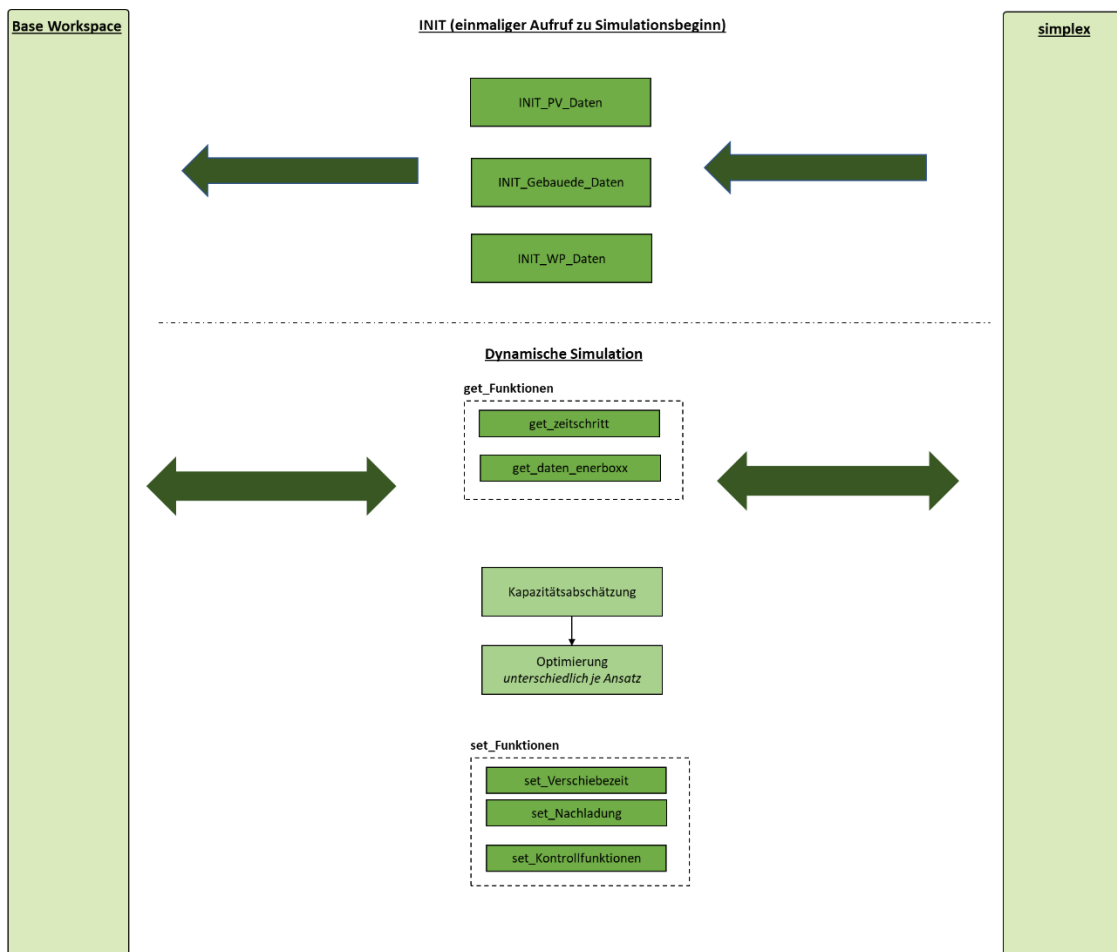


Abbildung 17: Simulationsaufbau

Für den Hybrid-FLEX-Ansatz zu Eigenbedarfsoptimierung mittels zentraler Wärmepumpe sowie für den Ansatz in Kombination mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage wird für die Optimierung eine Wettervorhersage (Globalstrahlung, Außenlufttemperatur), der Ladestand der enerboxxen, sowie eine Abschätzung der benötigten Antriebsleistung der Wärmepumpe benötigt. Basierend auf der Wetterprognose wird der zu erwartende PV-Ertrag entsprechend den Inputparameter der PV-Anlage (z.B. Kollektorfläche, Ausrichtung, Neigung, Kollektortyp, etc.) berechnet. Dieser Aufbau ermöglicht die Analyse und Bewertung unterschiedlicher PV-Anlagengrößen. Die benötigte Antriebsleistung der Wärmepumpe wird vom Optimierungsmodell über ein hinterlegtes Kennlinienmodell unter Einbezug der prognostizierten Außenlufttemperatur abgeschätzt.

Für die Berechnungen wurde eine nicht modulierende Luft-/Wasserwärmepumpe hinterlegt. Im Fall der gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage wurden zusätzlich zur Wärmepumpe die elektrischen Heizstäbe in den enerboxen berücksichtigt. Außerdem wurde unter Anwendung eines Mieterstrommodells auch der individuelle Verbrauch der einzelnen Nutzer mit dem PV-Strom gedeckt. Das bedeutet, dass in diesem Fall ein geringerer Anteil an PV-Überschuss für die Optimierung zur Verfügung steht.

Für die Optimierung des Hybrid-FLEX-Ansatzes für den optimierten Stromeinkauf wird ein Strompreissignal, eine Wettervorhersage (Außenlufttemperatur), der Ladestand der enerboxen, sowie eine Abschätzung der benötigten Antriebsleistung der Wärmepumpe benötigt. Die benötigte Antriebsleistung der Wärmepumpe wird vom Optimierer über ein hinterlegtes Kennlinienmodell unter Einbezug der prognostizierten Außenlufttemperatur abgeschätzt. Es wurde ebenfalls eine nicht modulierende Luft-/Wasserwärmepumpe für die Berechnungen gewählt.

Für den Ansatz der großstädtischen Wärmeversorgung entfiel die Simulation der Wärmepumpe und muss durch die Simulation der Fernwärmeübergabestation ersetzt werden.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Funktionen und deren Aufbau findet sich in den jeweiligen Deliverables.

4.9 Gegenüberstellung der energietechnischen Ergebnisse

In diesem Kapitel sind die wichtigsten energietechnischen Ergebnisse der verschiedenen Ansätze (Arbeitspakete) zusammengefasst. Aufgrund der teilweise starken Unterschiede der einzelnen Ansätze zueinander beziehen sich die Angaben stets auf den Status-Quo (Referenzsystem) des jeweiligen Ansatzes.

Das bedeutet, dass anstatt der enerboxen eine dezentrale Wohnungsübergabestation (WÜSt) angenommen wurde, die restlichen technischen Komponenten sowie die Energiequelle wurden beibehalten. Eine direkte Gegenüberstellung der unterschiedlichen Ansätze erfolgt auf Basis der wirtschaftlichen Ergebnisse in Kapitel 0.

Hybrid-FLEX-Ansatz für die großstädtische Wärmeversorgung

Die wichtigsten Simulationsergebnisse der großstädtischen Wärmeversorgung (AP2) sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt. Die Auswertung der Simulationen zeigte, dass die Verwendung der enerboxen (auch ohne Optimierung) als dezentrale Wärmespeicher zu einer Reduktion der Rohrverluste um 54 % (48 %, wenn die Gesamtverluste betrachtet wurden) führen würde. Weiters ergab die Analyse der Ergebnisse, dass der Einsatz der Optimierung nur im Falle der generellen Verwendung des ECO-Modus eine weitere nennenswerte Reduktion der Rohrleitungsverluste zur Folge hätte. Mit der Implementierung des Systems ließen sich demnach die Rohrleitungsverluste im Vergleich mit dem Referenzsystem (dezentrale Wohnungsübergabestationen) um 61 % und die Gesamtverluste um 56 % verringern. Durch die Nutzung des Optimierers konnte die Flexibilität der Ladung der enerboxen genutzt werden, um einem Fernwärmepreissignal zu folgen. Je nachdem welches Preissignal angenommen wurde (Details siehe Deliverable 2.1), konnte damit eine Senkung des Arbeitspreises auf 94,8 % (Preissignal 1) bzw. 87,9 % (Preissignal 2) bezogen auf einen über das gesamte Jahr konstanten Arbeitspreis erreicht werden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP2

	Referenzsystem	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
Fernwärmebezug [MWh/a]	47,00 ¹	41,79	41,54	40,48
Rohrverluste [MWh/a]	8,31	3,83	3,81	3,26
Gesamtverluste [MWh/a]	10,10	5,24	5,15	4,41
Arbeitspreis Signal 1 [%]	100	100	94,9	94,8
Arbeitspreis Signal 2 [%]	100	100	88,2	87,9

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse als prozentuelle Abweichung bezogen auf das Referenzsystem

	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
Fernwärmebezug [MWh/a]	-11 %	-12 %	-14 %
Rohrverluste [MWh/a]	-54 %	-54%	-61 %
Gesamtverluste [MWh/a]	-48 %	-49 %	-56 %
Arbeitspreis Signal 1 [%P*]	0 %P	-5,1 %P	-5,2 %P
Arbeitspreis Signal 2 [%P*]	0 %P	-11,8%P	-12,1 %P

*%P = Prozentpunkte

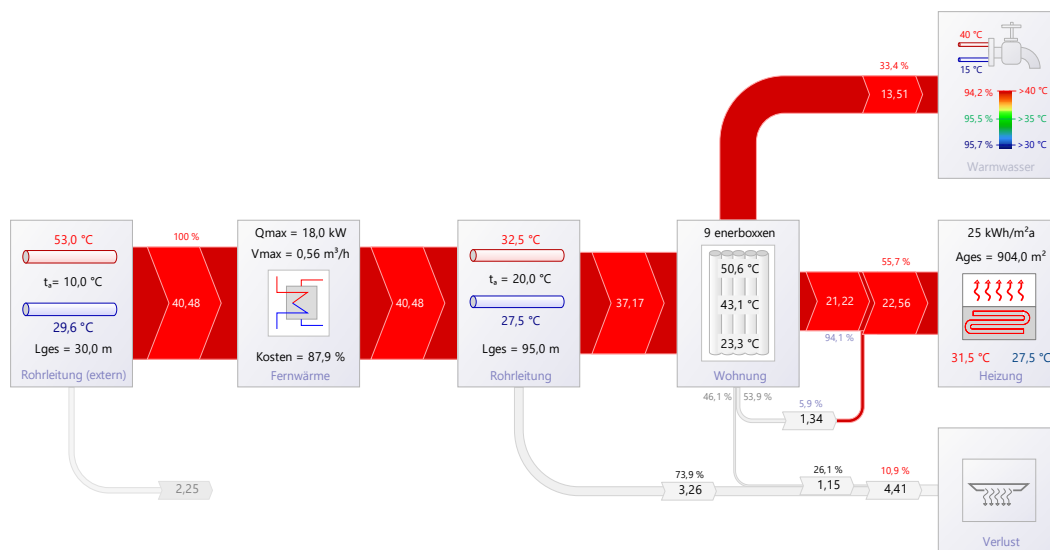


Abbildung 18: Ergebnisse für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus (Preissignal 2) – AP2

In Abbildung 18 ist beispielhaft das Sankey-Diagramm für den Anwendungsfall der großstädtischen Wärmeversorgung für das Hybrid-FLEX System im ECO-Modus dargestellt.

¹ Der Gesamtenergiebezug unterscheidet sich von den anderen Arbeitspaketen, da das Fernwärmesystem einen anderen Systemaufbau benötigt, wodurch ein höherer Wärmeverbrauch durch Verluste entsteht.

Hybrid-FLEX-Ansatz für die Eigenbedarfsoptimierung mittels zentraler Wärmepumpe

Analog zu AP2 wurde für das AP3 ebenfalls ein Simulationsmodell entwickelt und eine technische und ökonomische Bewertung durchgeführt. Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen die energietechnischen Ergebnisse der Simulationen, aus denen klar hervor geht, dass die Verwendung der enerboxxen (auch ohne Optimierung) als dezentrale Wärmespeicher eine Reduktion der Rohrverluste um 49 % (43 % wenn die Gesamtverluste betrachtet wurden) mit sich bringen würde. Der Einsatz der Optimierung hat nur im Falle der generellen Verwendung des ECO-Modus eine weitere nennenswerte Reduktion der Rohrleitungsverluste zur Folge. Die Auswertung der Simulationsergebnisse ergab, dass sich die Rohrverluste im Vergleich zum Referenzsystem (dezentrale Wohnungsübergabestation) um 54 % und die Gesamtverluste um 49 % verringern ließen. Die Umstellung vom Referenzsystem auf ein enerboxx-System ohne Optimierung der Beladezeitpunkte hätte eine negative Auswirkung auf den Eigenverbrauch, dieser würde laut Simulationen um 14 Prozentpunkte abfallen, was sich mit den für die PV-Einspeisung nicht ideal getakteten Einsatzzeiten erklären lässt. Die Simulationen des Hybrid-FLEX-Ansatzes (optimierte enerboxxen) zeigte, dass durch den Einsatz der Regelstrategie (Optimierung) eine Erhöhung der Eigenverbrauchsquote um 9 - 10 Prozentpunkte im Vergleich zum System ohne enerboxxen erreicht werden könnte. Damit liegt diese zwar noch immer um ca. 4 Prozentpunkte unter der Eigenverbrauchsquote des Referenzsystems, was allerdings hauptsächlich auf den generell höheren Strombedarf des Referenzsystems zurückzuführen ist. Ein Blick auf den PV-Anteil in der Antriebsenergie zeigt, dass dieser beim Hybrid-FLEX System deutlich höher ausfällt als beim Referenzsystem.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP3

	Referenzsystem	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
Netzbezug [MWh _{el} /a]	19,18	14,30	13,51	13,00
elektrische Antriebsenergie [MWh _{el} /a]	21,53	15,25	15,49	14,96
Anteil PV-Energie an der Antriebsenergie [%]	9,9	6,2	12,8	13,1
Eigenverbrauchsquote [%]	23,3	9,5	19,8	19,6
Jahresarbeitszahl	2,16	2,76	2,74	2,77
Wärmemenge der Wärmepumpe (Sekundärseite) [MWh _{th} /a]	46,55	42,03	42,41	41,44
Rohrverluste [MWh _{th} /a]	7,68	3,93	3,98	3,52
Gesamtverluste [MWh _{th} /a]	9,66	5,54	5,63	4,89

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP3 als prozentuelle Abweichung bezogen auf das Referenzsystem

	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX- System EGO	Hybrid-FLEX- System ECO
Netzbezug [MWh _{el} /a]	-25 %	-30 %	-32 %
elektrische Antriebsenergie [MWh _{el} /a]	-29 %	-28%	-31 %
Anteil PV-Energie an der Antriebsenergie [%P*]	-3,7 %P	+2,9 %P	+3,2 %P
Eigenverbrauchsquote [%P*]	-13,8 %P	-3,6 %P	-3,8 %P
Jahresarbeitszahl	+28 %	+27 %	+28 %
Wärmemenge der Wärmepumpe (Sekundärseite) [MWh _{th} /a]	-10 %	-9%	-11 %
Rohrverluste [MWh _{th} /a]	-49 %	-48%	-54 %
Gesamtverluste [MWh _{th} /a]	-43 %	-42 %	-49 %

* %P = Prozentpunkte

In Abbildung 19 ist beispielhaft das Sankey-Diagramm für den Anwendungsfall der zentralen WP-Versorgung mit PV-Eigenverbrauchsoptimierung für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus dargestellt.

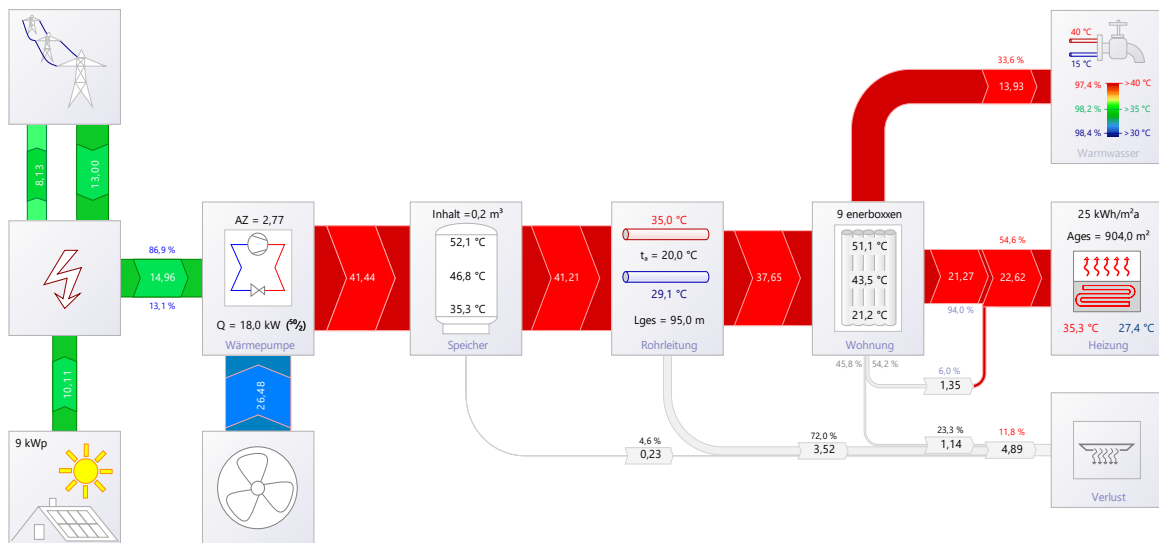


Abbildung 19: Ergebnisse für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus für AP3

Hybrid-FLEX-Ansatzes für den optimierten Stromeinkauf

Die Simulationen für den in AP4 angewendeten Ansatz lieferten die gleichen Ergebnisse für Rohr- und Gesamtverluste wie der Ansatz des AP3. Das liegt am identen Aufbau des technischen Systems, der einzige Unterschied liegt in den Einsatzzeiten der Wärmepumpe. In AP3 wurde die PV-Erzeugung als relevante Größe für die Optimierung festgelegt, im AP4 wurde ein flexibles Strompreissignal zugrunde gelegt.

Die durchgeführten Simulationen zeigten, dass eine Verwendung der variablen Stromtarife für die Optimierung zu einer deutlichen Senkung der jährlichen Betriebskosten führen würde. In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die Ergebnisse für ein Mehrparteienwohnhaus mit 9 enerboxx-Einheiten dargestellt. Die

Simulationen ergaben, dass die Kosten für den Betrieb der Wärmepumpe durch die Implementierung des Hybrid-FLEX-Ansatzes um 877 € von 1.520 € auf 643 € pro Jahr reduziert werden könnten.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP4

	Referenzsystem	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
elektrische Antriebsenergie [MWh/a]	21,53	15,25	15,41	14,89
Stromkosten (nur Energiekosten) [€/a]	1.520	1.077	674	643
Jahresarbeitszahl	2,16	2,76	2,75	2,78
Wärmemenge der Wärmepumpe (Sekundärseite) [MWh/a]	46,55	42,03	42,34	41,38
Rohrverluste [MWh/a]	7,68	3,93	3,97	3,53
Gesamtverluste [MWh/a]	9,66	5,54	5,62	4,90

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP4 als prozentuelle Abweichung bezogen auf das Referenzsystem

	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
elektrische Antriebsenergie [MWh/a]	-29 %	-28 %	-31 %
Stromkosten (nur Energiekosten) [€/a]	-29 %	-56 %	-58 %
Jahresarbeitszahl	+28 %	+27 %	+29 %
Wärmemenge der Wärmepumpe (Sekundärseite) [MWh/a]	-10 %	-9 %	-11 %
Rohrverluste [MWh/a]	-49 %	-48 %	-54 %
Gesamtverluste [MWh/a]	-43 %	-42 %	-49 %

In Abbildung 20 ist beispielhaft das Sankey-Diagramm für den Anwendungsfall der zentralen WP-Wärmeversorgung mit gewinnorientierter Flexibilitätsnutzung im Stromsystem für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus dargestellt.

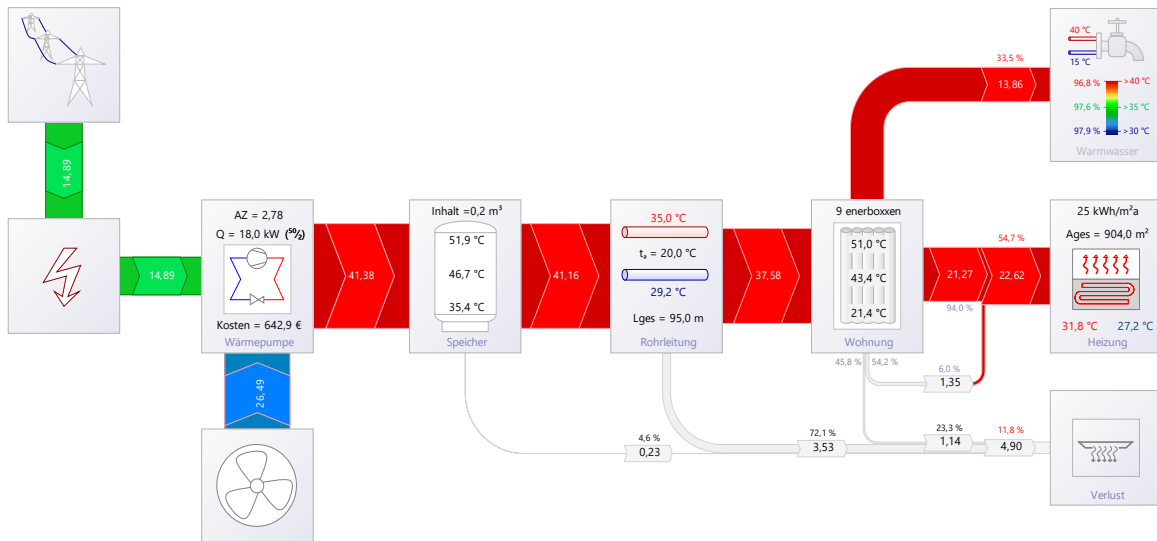


Abbildung 20: Ergebnisse für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus für AP4

Hybrid-FLEX-Ansatz in Kombination mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage

Die wichtigsten energietechnischen Resultate für den in AP5 verfolgten Ansatz sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 zusammengefasst. Die Simulationen ergaben, dass durch die Installation der enerboxen in Kombination mit Heizstäben eine wesentliche Verbesserung der Systemverluste erzielt werden könnten. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass die Rohrverluste noch weiter als in den anderen Arbeitspaketen um bis zu 64 % gesenkt werden könnten. Ebenfalls ergaben die Simulationen, dass der Strombedarf im Vergleich mit dem Referenzsystem ebenfalls um 3 % bis 5 % gesenkt werden könnte. Im Fall des optimierten ECO-Modus ergaben die Simulationen einen deutlich geringeren Netzbezug, der gesamte Strombedarf stieg im Vergleich zum unoptimierten enerboxen-System jedoch an, da die Heizstäbe aufgrund des geringeren Wirkungsgrades mehr Strom für die Wärmeerzeugung benötigten. Dieser Effekt kam zustande, da durch die Optimierung, die primär auf eine Steigerung des PV-Eigenverbrauchs abzielt, die Nachmittagsbeladung oft auf einen früheren Zeitpunkt verschoben wurde, an dem die enerboxen tendenziell einen höheren Energiegehalt aufweisen als zum (späteren) Defaultzeitpunkt. Daher kam es immer wieder vor, dass das Temperaturniveau in den enerboxen zum Startzeitpunkt der Nachmittagsbeladung über der Grenztemperatur der Wärmepumpe lag und somit die gesamte Beladung mit den Heizstäben durchgeführt wurde. Dadurch nahm der Strombedarf der Heizstäbe für die Beladungen im optimierten Fall zu. Der Eigenverbrauchsanteil der PV-Energie ließ sich dagegen durch den Einsatz des Optimierers im Vergleich zum herkömmlichen (unoptimierten) enerboxen-System um über 6,6 Prozentpunkte (inklusive Wohnungsverbrauch) steigern.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP5

	Referenzsystem	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
Netzbezug [MWh _{el} /a]	38,76	36,82	36,82	36,64
Strombedarf Wärmepumpe [MWh _{el} /a]	21,36	10,56	10,52	10,18
Strombedarf Heizstäbe [MWh _{el} /a]	-	8,52	9,06	9,74
Anteil PV-Energie Wärmepumpe [%]	8,53	7,0	9,5	8,6
Anteil PV-Energie Heizstäbe [%]	-	1,9	11,5	21,6
Anteil PV-Energie Wohnungen [%]	23,33	25,6	23,3	21,3
PV-Eigenverbrauchsquote [%]	75,9	72,4	78,0	82,5
Netzeinspeisung [MWh _{el} /a]	2,44	2,79	2,22	1,77
Jahresarbeitszahl	2,18	3,05	3,04	3,02
Wärmemenge der Wärmepumpe (Sekundärseite) [MWh _{th} /a]	46,56	32,20	32,01	30,78
Wärmemenge Heizstäbe [MWh _{th} /a]	-	8,52	9,06	9,74
Rohrverluste [MWh _{th} /a]	7,70	3,10	3,11	2,81
Gesamtverluste [MWh _{th} /a]	9,67	4,62	4,66	4,23

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für AP5 als prozentuelle Abweichung bezogen auf das Referenzsystem

	enerboxxen ohne Optimierung	Hybrid-FLEX-System EGO	Hybrid-FLEX-System ECO
Netzbezug [MWh _{el} /a]	-5,0%	-5,0 %	-5,5 %
Netzbezug ohne Wohnungsbedarf [MWh _{el} /a]	-6,8 %	-10,1%	-13,2 %
Eigenverbrauchsquote [%P*]	-3,5 %P	+2,1 %P	+6,6 %P
Gesamtstrombedarf [MWh _{el} /a]	-4,9 %	-3,8 %	-3,0 %
Jahresarbeitszahl	+40 %	+39,4 %	+38,5 %
Rohrverluste [MWh _{th} /a]	-59,7 %	-59,6 %	-63,5 %
Gesamtverluste [MWh _{th} /a]	-52,2 %	-51,8 %	-56,2 %

* %P = Prozentpunkte

In Abbildung 21 ist beispielhaft das Sankey-Diagramm für den Anwendungsfall der zentralen WP-Wärmeversorgung in Kombination mit einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus dargestellt.

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

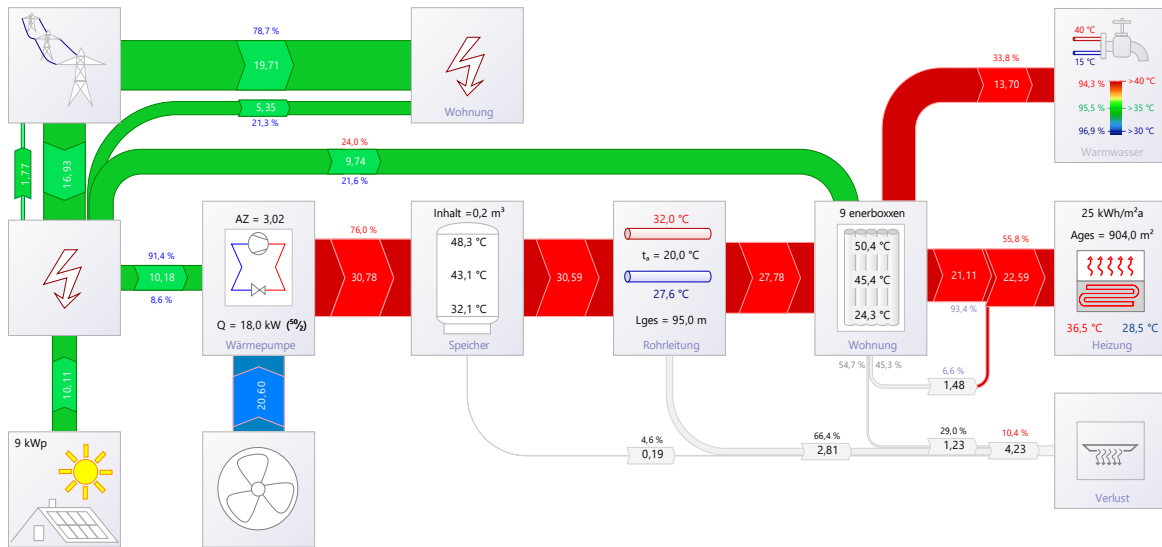


Abbildung 21: Ergebnisse für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus für AP5

Die Auswertung der durchgeführten Simulationen zeigte eindeutig, dass in jedem der vier betrachteten Anwendungsfälle die Verwendung des enerboxx-Speichers allein bereits zu einer hohen Reduktion der Rohrleitungs- aber auch der Gesamtverluste führen würde. Durch die Erweiterung der enerboxx auf das Hybrid-FLEX-System konnten jedoch keine weiteren nennenswerten Verlustreduktionen erreicht werden. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass die Optimierung der Beladung der enerboxxen, die erst durch die Realisierung des Hybrid-FLEX-Ansatzes möglich wurde, andere positive Effekte mit sich brachte.

Die Implementierung des ECO-Modus würde weitere Reduktionen des Gesamtenergiebedarfs mit sich bringen, da sich die geringeren Anforderungen an den Wärmeinhalt der enerboxxen positiv auf Energieverbrauch und Verluste auswirken würden.

Die größte Reduktion der Verluste (Rohrverluste -63,5 %; Gesamtverluste -56 %) ließen sich im AP5 erzielen, da durch den zusätzlichen Einsatz der Heizstäbe die Rohrtemperaturen sowie die Energiemenge, die über die Rohre fließt, zusätzlich reduziert wurden. Aber auch in den anderen untersuchten Anwendungsfällen konnten die Verluste signifikant durch die Verwendung des ECO-Modus reduziert werden. Dadurch hat sich auch die benötigte Energiemenge für die Warmwasser- bzw. Raumheizungsbereitstellung reduziert. In den Anwendungsfällen des AP3 sowie des AP5 konnte außerdem der PV-Anteil an der Antriebsenergie (Optimierungsziel) deutlich gesteigert werden. In AP2 und AP4 ergaben sich durch die Bereitstellung der Flexibilitäten bzw. des dadurch nutzbaren flexiblen Energietarifs eine zusätzliche deutliche Reduktion der Betriebskosten.

In den Anwendungsfällen der Arbeitspakete 2, 3 und 4 haben die Simulationsergebnisse eindeutig ergeben, dass das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus aus energetischer Sicht das zu bevorzugende System ist. In dieser Betriebsweise konnten die höchsten Reduktionen der Energieverluste erreicht und darüber hinaus noch die besten Ergebnisse bei den Optimierungen erzielt werden. Diese Ergebnisse zu erreichen, würde jedoch voraussetzen, dass die Nutzer*innen des Systems auch alle den ECO-Modus einstellen würden. Die Analysen des Anwendungsfalles für das Arbeitspaket 5 resultierten jedoch in einer anderen Erkenntnis. Zwar ergab die Verwendung des ECO-Modus ebenfalls die geringsten

Systemverluste und die höchste Eigenverbrauchsquote, dies ging aber mit einer Steigerung des Gesamtenergiebedarfs einher. Diese Steigerung ergab sich dadurch, dass durch den vermehrten Einsatz der Heizstäbe der Energiebedarf für die Warmwasser- und Raumwärmebereitstellung höher ausfiel als für das enerboxx-System ohne Optimierung, bei dem die Wärmepumpe häufiger zum Einsatz kam. Die Ergebnisse für das unoptimierte enerboxx-System wiesen dagegen eine sehr niedrige PV-Eigenverbrauchsquote auf, die sogar unter dem des Referenzsystems liegt. Diese Tatsache führte auch dazu, dass der in AP5 untersuchte Ansatz der einzige ist, für den auch in der wirtschaftlichen Analyse (Kapitel 0) keine eindeutig positive Beurteilung erfolgt.

4.10 Gegenüberstellung der wirtschaftlichen Ergebnisse

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des enerboxx-Systems und in weiterer Folge des Hybrid-FLEX-Ansatzes als Erweiterung des enerboxx-Systems wurden für alle untersuchten Varianten die jährlichen Betriebskosten ermittelt. Durch die Reduktion der (Rohr-)Verluste sowie durch die Steigerung des PV-Anteils für die Warmwassererzeugung (AP3 und AP5) bzw. durch die Nutzung des flexiblen Preissignals (AP2 und AP4) ergaben die Simulationen, dass die Verwendung der enerboxx und des Hybrid-FLEX-Ansatzes zu Einsparungen führen würde. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde die Amortisationsdauer jeder untersuchten Variante berechnet. Dafür wurden die Einsparungen der Betriebskosten den zusätzlichen Investitionskosten für den Umbau von den jeweiligen Referenzsystemen auf das enerboxx-System einerseits und auf die Hybrid-FLEX-Lösung andererseits gegenübergestellt. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen haben ergeben, dass zusätzliche Investitionskosten durch die geringen Betriebskosten kompensiert werden können, so dass sich alle Varianten gegenüber dem Referenzsystem innerhalb der angenommenen Lebensdauer amortisieren würden. Die Amortisationszeiten und die voraussichtlichen Einsparungen in 20 Jahren variieren jedoch zwischen den einzelnen Varianten. Diese sind in Tabelle 10 für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus gegenübergestellt, da dieses Modell mit Ausnahme der Variante aus AP5 mit Mieterstrom die besten Resultate liefert. Bei der in AP5 untersuchten Variante mit Mieterstrommodell kommt es zwar auch zu einer Amortisation des Hybrid-FLEX-Systems im ECO-Modus gegenüber dem Referenzsystem, jedoch konnten für diese Variante mit dem unoptimierten enerboxx-System geringfügig bessere Ergebnisse erzielt werden (siehe Deliverable 5.1)

Tabelle 10: Wirtschaftliche Auswertung des Hybrid-FLEX-Systems im ECO-Modus im Vergleich mit dem jeweiligen Referenzsystem

	AP2 ohne Simulation	AP2 mit Simulation	AP3	AP4	AP5 ohne Mieterstrom	AP5 mit Mieterstrom*
Amortisationszeit in Jahren	10	12	4	3	12	18
Einsparung in 20 Jahren in €	5.000	3000	20.300	29.800	4.900	750

*für das AP5 mit Mieterstrom wurden mit dem unoptimierten enerboxx-System eine Amortisationszeit von 17 Jahren und eine Einsparung in 20 Jahren von ca. 1250 € erreicht.

Für den in AP2 verfolgten Ansatz sind zwei unterschiedliche Ergebnisse dargestellt, da zwischen dem Fall, bei dem detaillierte Informationen für die Bestimmung der Anschlussleistung aus Simulationen zur Verfügung stehen und dem Fall, bei dem ein Abschätzungsverfahren für die Bestimmung dieser Leistung herangezogen wurde, unterschieden wird. Mit einer Simulation, für die Kosten in der Höhe von ca. 2000 € angenommen wurden, kann beim Einsatz der enerboxx auf 20 Jahre gerechnet mit rund 6.000 € an Einsparungen im Vergleich zum Auslegungsfall ohne Simulation gerechnet werden. Die Berechnungen ergaben allerdings auch, dass das Einsparungspotenzial durch die Verwendung der Simulation im Falle des Referenzsystems höher sind als bei Verwendung des Hybrid-FLEX-Systems. Das ist damit zu begründen, dass der VAW ohne Simulation beim Referenzsystem höher eingestuft wird als bei Verwendung des enerboxx-Systems oder Hybrid-FLEX-Systems, und sich dadurch mit der Simulation eine höhere Reduktion des VAW ergibt.

In den in AP3 und AP4 verfolgten Ansätzen lieferte das Hybrid-FLEX-System im ECO Modus im Vergleich zum Referenzsystem die besten Ergebnisse. Das System würde sich unter den getroffenen Annahmen bereits nach 4 bzw. 3 Jahren amortisieren und würde zu einer Einsparung zwischen 20.000 € und 30.000 € bei einer Laufzeit von 20 Jahren führen. Damit war das Hybrid-FLEX-System aus wirtschaftlicher Sicht deutlich besser als das Referenzsystem.

Für den in AP5 verfolgten Ansatz ergaben die Simulationen, dass die Verwendung des Hybrid-FLEX-Systems gegenüber dem regulären enerboxx-System nicht zu bevorzugen ist. Zwar konnten Einsparungen im Vergleich zum Referenzsystem erzielt werden, jedoch fielen diese geringer aus als beim reinen enerboxx-System. Dieser Umstand ist mit dem höheren Energieverbrauch durch die Verwendung der Heizstäbe zu erklären. Auf energietechnischer Ebene konnten durch den zusätzlichen Einsatz der Heizstäbe in Kombination mit einer Wärmepumpe die niedrigsten Rohr- bzw. Gesamtverluste erreicht werden, dafür wurde in den Simulationen allerdings ein deutlich höherer Strombedarf als bei dem monovalenten Wärmepumpenbetrieb (AP3) beobachtet. Unter Annahme eines Mieterstrommodells (EIWOG §16a) konnte eine Steigerung der PV-Eigenverbrauchsquote bei der Warmwasseraufbereitung beobachtet werden. Jedoch ergab sich auch ein reduzierter PV-Anteil im restlichen „Wohnungsstrom“, darüber hinaus stieg der Gesamtstrombedarf aufgrund der Verwendung der Heizstäbe anstelle der Wärmepumpe.

Dadurch ergaben sich sogar geringfügig höhere jährliche Betriebskosten durch die PV-Eigenbedarfsoptimierung unter Berücksichtigung eines Mieterstrommodells im Vergleich mit dem reinen enerboxx-System ohne Optimierung. So lag die Amortisationszeit bei Berücksichtigung des Mieterstrommodells bei 18 Jahren. Aber auch ohne Berücksichtigung des Mieterstrommodells hat sich gezeigt, dass die Amortisationszeit für den kombinierten Betrieb der Wärmepumpe mit Heizstäben deutlich höher lagen als in dem in AP3 betrachteten Szenario, in dem die Beladung allein durch den Einsatz einer Wärmepumpe erfolgt ist.

Um einen besseren Vergleich der unterschiedlichen Ansätze zueinander zu ermöglichen, sind die notwendigen Investitionen sowie die laufenden Kosten in Tabelle 11 sowie in Abbildung 22 und Abbildung 23 gegenübergestellt. Eine detaillierte Aufschlüsselung aller berücksichtigten Positionen zur Berechnung der notwendigen Investitionen ist in den jeweiligen Deliverables angeführt.

Es zeigt sich, dass unter der Annahme, dass bereits ein Fernwärmeanschluss verfügbar ist (es wurden keine Anschlusskosten, sehr wohl aber die Kosten für die entsprechende Fernwärmeübergabestation berücksichtigt), der in AP2 verfolgte Ansatz die niedrigsten Investitionen notwendig macht. Muss erst ein

Energieforschungsprogramm - 3. Ausschreibung

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

Fernwärmeanschluss bereitgestellt werden, können sich die angegebenen Kosten je nach Ausgangslage jedoch deutlich erhöhen. Die niedrigsten Betriebskosten weist dagegen der in AP3 verfolgte Ansatz auf. Steht bereits eine PV-Anlage zur Verfügung, ist dieser Ansatz dem in AP4 verfolgten Ansatz aus wirtschaftlicher Sicht vorzuziehen. Muss die PV-Anlage erst gebaut werden, ist dagegen der in AP4 verfolgte Ansatz die wirtschaftlich attraktivere Variante. Der zusätzliche Einsatz der Heizstäbe (AP5) weist, zumindest in der im Projekt untersuchten Form, sowohl die höchsten Betriebs- als auch Investitionskosten auf und resultiert somit im Vergleich zu den anderen Varianten in den schlechtesten Ergebnissen.

Tabelle 11: Betriebskosten und notwendige Investitionen der verschiedenen Ansätze jeweils für das Hybrid-FLEX-System im ECO-Modus

	Betriebskosten [€/a]	notwendige Investitionen ohne PV-Anlage [€]	notwendige Investitionen mit PV-Anlage [€]
AP2 Preis 1	2.448	44.387*	44.387*
AP2 Preis 2	2.556	44.387*	44.387*
AP3	2.371	55.292	68.387
AP4	2.680	55.292	55.292
AP5 ohne MS**	3.044	57.603	70.698

*Ohne Berücksichtigung der Anschlusskosten da diese je nach Ausgangssituation stark variieren können

** MS = Mieterstrommodell

Die Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die Verläufe der Kapitalwerte der unterschiedlichen Varianten mit und ohne die Notwendigkeit einer zusätzlichen PV-Installation. Es zeigt sich, dass sich auch unter Verwendung der Kapitalwertmethode an der ursprünglichen Reihung der Varianten nichts ändert.

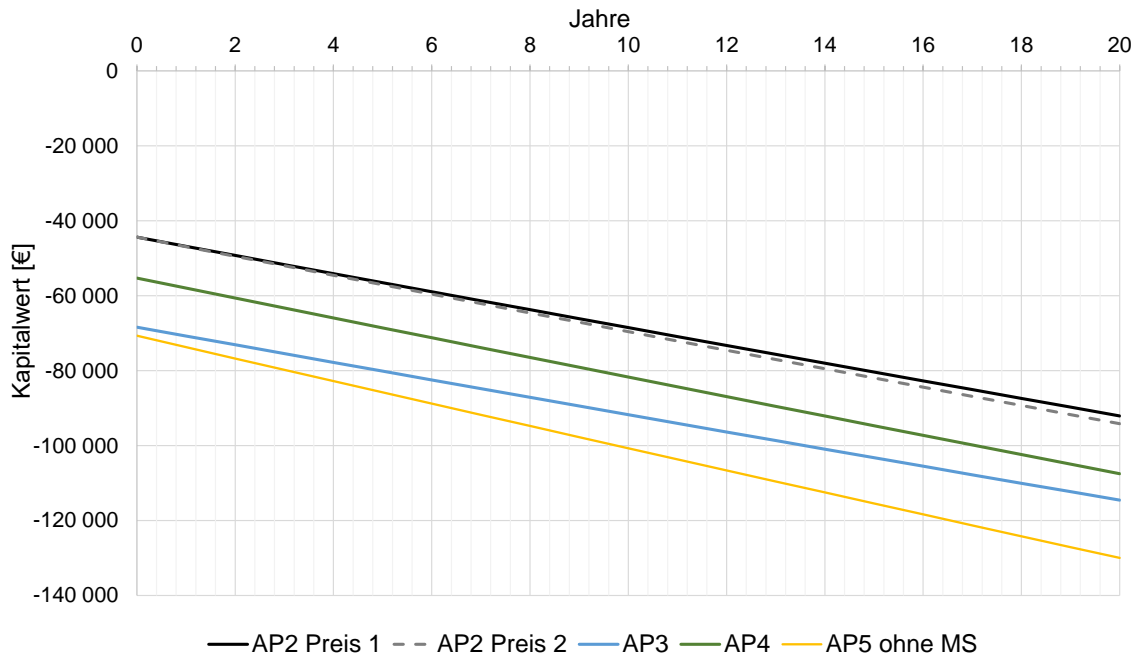


Abbildung 22: Gegenüberstellung der Kapitalwertverläufe der unterschiedlichen Hybrid-FLEX Ansätze bei einer zusätzlichen Investition in eine PV-Anlage (AP3 und AP5)

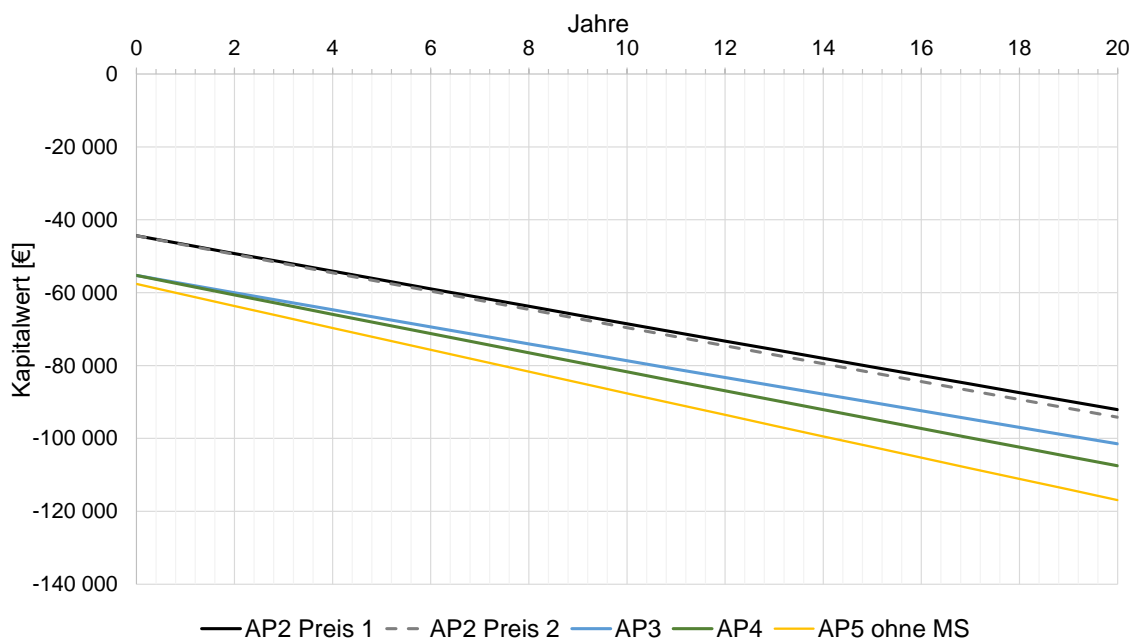


Abbildung 23: Gegenüberstellung der Kapitalwertverläufe der unterschiedlichen Hybrid-FLEX Ansätze bei einer bestehenden PV-Anlage (AP3 und AP5)

4.11 Laboraufbau zur Überprüfung der Funktionalität

Zur Überprüfung der Funktionalität des Hybrid-FLEX-Ansatzes und der Schnittstelle zwischen dem bestehenden enerboxx-System und dem Energiemanagementsystem SEMS wurde ein Laborversuch gestartet, siehe Abbildung 24.

Für den Versuch wurden die folgenden Schritte durchlaufen:

1. Einlesen aktueller enerboxx-Daten (Wohnungsmodul)
2. Einlesen der Anwenderkonfiguration für die Warmwasserladefenster
3. Signalisierung zwischen CMI und SEMcompact für Vorgaben bzw. aktueller Status
4. Übergabe der Werte an MATLAB
5. Rücklesen der Werte der vereinfachten MATLAB-Optimierung und Ausgabe ans CMI

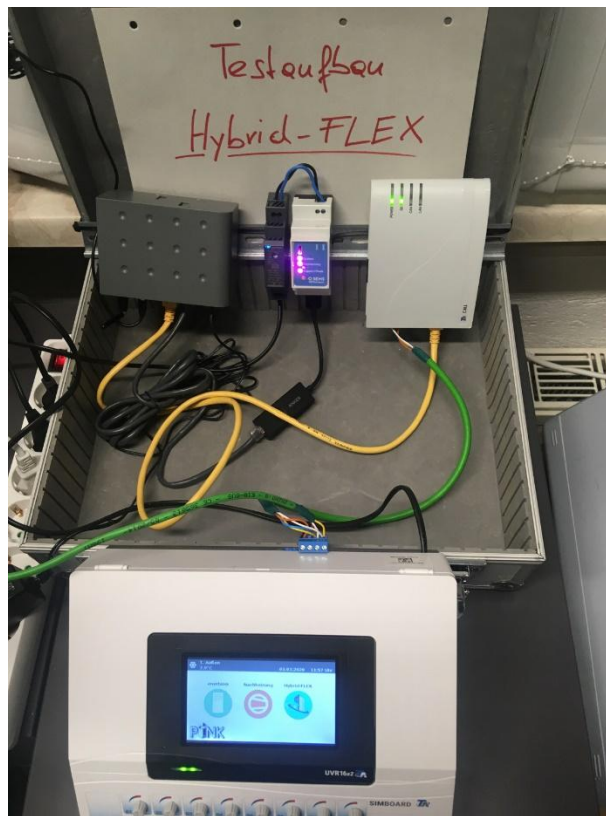


Abbildung 24: Laboraufbau des Hybrid-FLEX-Systems

Der Integrationstest als Ganzes wurde erfolgreich durchgeführt, wobei sich im Wesentlichen nur drei Beschränkungen bzw. Limitierungen aufgetan haben:

- **Beschränkte Anzahl an zur Verfügung stehenden MATLAB-Befehlen:**
Die Umwandlung des MATLAB-Codes in eine vom SEMS verarbeitbare Programmiersprache erfolgte über den „MATLAB-Coder“, was sehr positiv hinsichtlich der Umsetzbarkeit auf unterschiedliche Hardware Systeme ist. Es stellte sich jedoch heraus, dass nicht alle in MATLAB verwendeten bzw. verwendbaren Befehle sich mittels Coder übersetzen lassen. Davon waren in erster Linie Funktionen betroffen, die mit dem MATLAB-Workspace und Datumsfunktionen zu tun hatten. Es mussten daher einige Passagen in den MATLAB-Funktionen abgeändert werden. Die nicht verwendbaren Datumsfunktionen konnten auf das bestehende C++-Framework, das die SEMS-Software verwendet, ausgelagert werden.
- **Kein automatisches Auffinden von Geräten:**
SEMS verfügt über eine automatische Netzwerksuche, um Geräte wie Leistungsmesser oder Wechselrichter automatisch im Netzwerk zu finden. Diese Funktionalität hatte jedoch erhebliche Störeinflüsse auf das CMI des enerboxx-Systems. Durch die Deaktivierung der automatischen Netzwerksuche wurden die Störeinflüsse behoben.
- **Limitierte Anzahl an Abfragen pro Zeiteinheit:**
Das im enerboxx-System verwendete CMI weist laut Dokumentation ein Abfrageintervall von einer enerboxx pro Minute auf. Die Tests haben jedoch gezeigt, dass das Abfrageintervall bis auf 30s herabgesetzt werden kann. Das entspricht zwei enerboxxen pro Minute. Sollte eine höhere Abfragerate erwünscht sein, müssten mehrere CMI installiert werden.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die Kombination der enerboxx-Wandspeicher mit dem Energiemanagementsystem SEMS zum Hybrid-FLEX-System sollte neben der Reduktion der Verluste in den Rohrleitungssystemen von Mehrparteienwohnhäusern auch ein Potenzial zur Flexibilisierung des Lastverhaltens bieten. Zu diesem Zweck wurde ein Simulationsmodell zur Überprüfung dieser Annahme in vier verschiedenen Anwendungsfällen untersucht. Die vier Anwendungsfälle waren die großstädtische Wärmeversorgung, PV-Eigenverbrauchsoptimierung, Strompreisoptimierung und die PV-Eigenverbrauchsoptimierung in Kombination mit Heizstäben.

Das Simulationsmodell, welches im Co-Simulation-Ansatz umgesetzt wurde, zeigte, dass die Implementierung des enerboxx-Systems als Vorstufe zum Hybrid-FLEX-System bereits umfassende Reduktionen der Wärmeverluste im Rohrleitungssystem zur Folge hätte. Je nach Anwendungsfall beliefen sich die Reduktionen der Rohrleitungsverluste auf Werte zwischen 49 % und 60 %. Weiters konnten durch die Verwendung des enerboxx-Systems die gesamtsystemischen Verluste zwischen 43 % und 53 % reduziert werden.

Mit der Realisierung des Hybrid-FLEX-Systems durch die Zusammenführung des enerboxx-Systems mit SEMS wurden zwei neue Betriebsmodi für die Nutzer*innen definiert, der EGO und ECO Modus, die sich hinsichtlich der Zielmenge an Warmwasser in den enerboxxen unterschieden. Bei der ausschließlichen Verwendung des EGO-Modus führte die Erweiterung auf das Hybrid-FLEX-System zu keinen signifikanten weiteren Reduktionen von Rohr- oder Gesamtverlusten. Erst der generelle Einsatz des ECO-Modus hatte einen Einfluss auf die Verluste. Die Rohrleitungsverluste konnten somit um 54 % bis 64 % reduziert werden, die Gesamtsystemverluste um 49 % bis 56 %. Diese weitere Reduktion war auf den generell reduzierten Energiebedarf durch die Verwendung des ECO-Modus zurückzuführen.

Die Simulationen zeigten damit eindeutig, dass aus Sicht der Verluste des Systems und der Rohrleitungen die Verwendung von enerboxxen gegenüber dezentralen Wohnungsübergabestationen zu empfehlen ist. Die Erweiterung des enerboxx-Systems auf das Hybrid-FLEX System macht aus Sicht der Verluste nur dann Sinn, wenn ein Großteil der Nutzer*innen den ECO-Modus dem EGO-Modus vorziehen.

Die Analysen ergaben, dass der wesentliche Vorteil des Hybrid-FLEX-Systems im Vergleich zu einem reinen enerboxx-System in der zusätzlichen Flexibilität des Systems liegt. In dem in AP5 untersuchten Anwendungsfall mit Mieterstrommodell zeigten die Simulationen, dass durch die Erweiterung auf das Hybrid-FLEX-System eine moderate Steigerung der PV-Eigenverbrauchsquote erreicht wird. In dem in AP3 untersuchten Anwendungsfall ergibt sich zwar keine Steigerung der Eigenverbrauchsquote, sehr wohl aber eine Steigerung des PV-Anteils in der Antriebsenergie der Wärmepumpe. Die geringfügig niedrigere Eigenverbrauchsquote ist dabei maßgeblich auf den geringeren Strombedarf des Hybrid-FLEX-Systems zurückzuführen.

Im Anwendungsfall für die Nutzung des Hybrid-FLEX-Systems für eine großstädtische Wärmeversorgung bei Vorhandensein eines speziellen zeitabhängigen Tarifs ergaben die Simulationen, dass sich der mittlere Arbeitspreis in Abhängigkeit der Parameter auf bis zu 87,9 % im Vergleich zum Referenzszenario (ohne zeitabhängigen Tarif) reduzierte.

Eine ähnliche Erkenntnis konnte für den Anwendungsfall der Flexibilitätsoptimierung zur Minimierung der

Strompreise erlangt werden. Hier ergaben die Simulationen des Hybrid-FLEX-Systems um bis zu 58 % reduzierte Stromkosten für den Betrieb des Heizsystems im Vergleich zum Referenzsystem.

Die Kosteneinsparungen bzw. die gesteigerten Eigenverbrauchswerte mussten den zusätzlichen Investitionskosten für das enerboxx-System und der Erweiterung des Hybrid-FLEX-Systems gegenübergestellt werden. Die zusätzlichen Investitionskosten für das Hybrid-FLEX-System wurden je nach Anwendungsfall mit € 4.721 bis 7.297 festgelegt. Die Auswertung der Simulationen ergab eine Reduktion der Betriebskosten zwischen € 413 und € 1.786. Im Detail ergaben sich die folgenden Amortisationszeiten:

- Großstädtische Wärmeversorgung: rund 10 Jahre
- PV-Eigenverbrauchsoptimierung: rund 4 Jahre
- Strompreisoptimierung: rund 5 Jahre
- PV-Eigenverbrauchsoptimierung in Kombination mit Heizstäben: rund 12 Jahre

Damit haben die Simulationen gezeigt, dass die Anwendung des Hybrid-FLEX-Systems neben den energietechnischen Vorteilen durch die reduzierten Verluste auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen würden.

Da es sich bei den Simulationen lediglich um theoretische Betrachtungen handelte, war es notwendig, die technische Umsetzbarkeit des Ansatzes zu untersuchen. Dafür wurde ein Laborversuch durchgeführt, bei dem die Kommunikation zwischen dem enerboxx-System und dem Energiemanagementsystem SEMS geprüft wurde. Weiters wurde die Umsetzbarkeit der in MATLAB entwickelten Regelstrategie auf SEMS getestet. Die Laborversuche verliefen erfolgreich, womit eine Umsetzung des Hybrid-FLEX-Systems möglich ist.

Damit konnte das Projekt Hybrid-FLEX zeigen, dass die Verwendung dezentraler Wandspeicher, die zu zwei Zeitpunkten pro Tag geladen werden, auch ohne die zusätzliche Flexibilisierung bereits einen erheblichen positiven Einfluss auf die Rohrleitungs- und Gesamtverluste haben. Die Erkenntnis zeigt ein deutliches Energieeffizienzpotential im Wohnbau auf.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Flexibilisierung der Ladezeitpunkte in erster Linie einem wirtschaftlichen Ziel dienen, da keine zusätzliche Reduktion der Verluste erreicht werden konnte.

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor auf die System- und Rohrleitungsverluste stellte die Flexibilisierung des Nutzer*innenverhaltens dar. Das Hybrid-FLEX-System würde es den Nutzer*innen ermöglichen, durch die Wahl des EGO- oder ECO-Modus die Warmwassererzeugung an die eigenen Bedürfnisse anzupassen und damit ein zusätzliches Potenzial zur Reduktion der Verluste zu aktivieren.

5.1 Technische Empfehlungen

Die Ergebnisse aus dem Projekt Hybrid-FLEX zeigen deutlich die Potenziale einer dezentralen Speicher-Warmwasserbereitung. Die verwendeten Speicher schaffen Kapazitäten im System, welche essenziell für die Erschließung von Flexibilitätsangeboten sind. Es wird jedoch auch deutlich, wie wichtig die Betrachtung des Gesamtsystems ist und welcher hohen Einfluss eine umfassende Systemregelung auf die Resultate hat. Effizienz-Kenngrößen einzelner Komponenten (z.B. Arbeitszahlen der Wärmepumpe) geben einen groben Hinweis auf die zu erzielende Gesamteffizienz, die tatsächlich erreichbare Systemarbeitszahl ist jedoch maßgeblich vom Systemaufbau und der Betriebsweise abhängig. Diesem

Umstand sollte in Zukunft mehr Gewicht gegeben werden, d.h. eine Beurteilung sollte auf Systemebene unter Verwendung einer Systemsimulation und nicht nur anhand einzelner Datenblätter vorgenommen werden. Dies ist auch in Kombination mit Fernwärmenetzen wichtig und notwendig, um die Auswirkungen auf den Netzbetrieb umfassend abzubilden und Spezifika bestimmter Netzstrukturen gut berücksichtigen zu können.

5.2 Rechtliche Empfehlungen

„Leistbares Wohnen“ ist ein übergeordneter Begriff, welcher aktuell vielfach Verwendung findet und auch die Systemdefinitionen haustechnischer Anlagen maßgeblich beeinflusst. Vielfach wird dieser Begriff jedoch in der Praxis in „billiges bauen“ übersetzt und möglichst günstige Haustechnik verbaut. Dadurch können zwar die Errichtungskosten reduziert werden, führt in der Regel aber zu höheren Energie- und somit Betriebskosten. Da diese Betriebskosten von den Nutzern zu tragen sind, wird diese Dimension gerne „ausgeblendet“ und in der Entscheidungsfindung nicht berücksichtigt. An dieser Stelle sollte regulativ angesetzt werden, d.h. eine Betrachtung inklusive der Betriebskosten sollte als Entscheidungsgrundlage dienen.

6 Literaturverzeichnis

BMNT & BMVIT. 2018. *#mission2030*. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus & Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2018.

MathWorks. 2019. *Matlab*. Boston: <https://de.mathworks.com>, 2019.

Neunteufel, Roman, Laurent, Richard und Perfler, Reinhard. 2010. *Studie Wasserverbrauch und Wasserbedarf*. Wien : Lebensministerium, 2010.

Plan, Josef und Karner, Alexander. Energiewende beim Heizen Kosten senken mit erneuerbarer Wärme Fokus Haushalte. [Online] [Zitat vom: 12. 08 2020.] [Link](#)

7 Anhang

- D 2.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes für geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System zur Anwendung in Kombination mit einer großstädtischen Wärmeversorgung
- D3.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid- FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die PV-Eigenverbrauchsoptimierung
- D4.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die Gewinnoptimierung im Stromsystem
- D5.1 Beschreibung des technischen Lösungsansatzes sowie geeigneter Geschäftsmodelle für das Hybrid-FLEX System als Flexibilitätsbereitsteller für die Gewinnoptimierung im Stromsystem.

8 Kontaktdaten

Projektleiter:

Werner Pink

Pink GmbH

Bahnhofstrasse 22, A-8665 Langenwang

Tel: +43 (0) 3854-3666-30

Fax: +43 (0) 3854-3666-40

Mail: w.pink@pink.co.at

Web: <https://www.pink.co.at/>

ProjektpartnerInnen:

4ward Energy Research GmbH

LEVION Technologies GmbH

Wien Energie GmbH