

Interreg



EUROPEAN UNION

Grande Région | Großregion

PtH4GR²ID

Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

Aktion 8

Entwicklung und Bewertung einer technischen Lösung zum
verbesserten Netzmanagement in der Großregion

Kurzbericht

Content

1. Partner der Aktion 8.....	1
2. Ziele der Aktion	1
3. Vorgehensweise	2
4. Ergebnisse.....	4
5. Literaturverzeichnis.....	9

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stromtarife für die verschiedenen Länder der Großregion 7

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Deutschland - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb 4

Tabelle 2: Frankreich - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb 5

Tabelle 3: Belgien - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb..... 5

Tabelle 4: Luxemburg - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb 6

1. Partner der Aktion 8

Zuständiger Partner: TU/GST

Teilnehmende Partner:

- TUK/ARCH
- Uni-Lu
- ULiège/BEMS

2. Ziele der Aktion

1. Entwicklung eines Optimierungsalgorithmus zum kostenoptimierten Einsatz der Wärmepumpe
2. Erstellen einer Schnittstelle zur Integration aller Simulationsmodelle (Wärmepumpe, Einsatzoptimierer, Gebäude, Speichersystem)
3. Simulationsstudien für verschiedene Szenarien

3. Vorgehensweise

Aktion 8 befasst sich einerseits mit der Entwicklung eines modellprädiktiven Optimierungsalgorithmus zur Steuerung der Wärmepumpe sowie andererseits mit der Erstellung einer Simulationsumgebung, die eine Integration aller im Projekt entwickelten Modelle ermöglicht und sich somit zur Durchführung von Systemsimulationen eignet.

Die Einsatzplanung der Wärmepumpe basiert auf einer modellprädiktiven Regelung, welche für einen Zeithorizont von bis zu 48 Std. einen optimierten Einsatz der Wärmepumpe bestimmt. Ziel ist die Minimierung der Betriebskosten, welche sich zu jedem Zeitschritt auf der Basis einer variablen Strompreisstruktur sowie des COP ergeben. Der Preisstruktur liegt ein EPEX day-ahead Preissignal zugrunde.

Der Ablauf der Optimierung kann für jeden Zeitschritt in fünf Stufen unterteilt werden:

- Datenerfassung der aktuellen Zustandswerte (Speichertemperatur, Raumtemperatur, etc.), um einen Ist-Sollwert Abgleich durchführen zu können.
- Berechnung des aktuellen Speicherstandes mithilfe des Speichermodells.
- Ermittlung des Heizenergiebedarfes basierend auf dem Gebäudemodell und den Wetterprognosen.
- Berechnung der Leistungszahl der Wärmepumpe und Ermittlung der benötigten elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und der somit anfallenden Stromkosten für jeden Zeitschritt.
- Einsatzplanung basierend auf den Betriebskosten unter Berücksichtigung der Restriktionen der Wärmepumpe und des Heizsystems sowie der Ausgabe des Schaltsignals.

Im Arbeitspaket 8.2 steht die Entwicklung einer Schnittstelle zur Integration der verschiedenen Simulationsmodelle im Vordergrund. Innerhalb des Projektes werden hierbei Modelle von Referenzgebäuden (Aktion 4), der Wärmepumpe (Aktion 5), des Speichersystems (Aktion 6) und des Einsatzoptimierers (Aktion 8.1) erstellt. Zu Beginn des Projekts wurde festgelegt, die größtenteils auf thermodynamischen und mathematischen Grundlagen beruhenden Modelle der Wärmepumpe und des Einsatzoptimierers in MATLAB (MathWorks) abzubilden, während die thermischen Simulationen von Gebäude und Speichersystem sehr gut in TRNSYS (TRANSOLAR) abgebildet werden können. Die Herausforderung des Arbeitspakets bestand also in der Erzeugung einer Schnittstelle zwischen den beiden Simulationsumgebungen, die den Austausch von Variablen während der Simulation ermöglicht.

Hierfür wurde die Plattform „Building Controls Virtual Test Bed“ (kurz: BCVTB, (Urheber: Michael Wetter, Thierry Stephane Nouidui, Philip Haves)) gewählt, die sich grundsätzlich zur Verknüpfung vieler verschiedener Simulationsprogramme eignet und deren Funktionsweise darauf beruht, zu festgelegten Zeitschritten Variablen zwischen verschiedenen Programmen auszutauschen. Im Anwendungsfall des Projekts laufen MATLAB und TRNSYS also eigenständig, tauschen aber in 15-minütigen Intervallen Variablen miteinander aus. Auf dieser Grundlage werden über 50 Variablen pro Zeitschritt zwischen den Modellen in TRNSYS und MATLAB ausgetauscht. Die gewählte Plattform (BCVTB) hat sich für den Aufgabenbereich innerhalb des Projektes als gut geeignet erwiesen.

Nach der Kopplung der Modelle steht in Aktion 8.3 die Durchführung von Systemsimulationen für verschiedene Szenarien im Fokus. Die verschiedenen Szenarien ergeben sich hierbei aus den bereits

angesprochenen Simulationsmodellen. Es existieren Referenzgebäude in unterschiedlichen Baualtersklassen für jedes Land der Großregion (insgesamt 45 verschiedene Gebäudemodelle), verschiedene Speichersysteme (PCM und Wasser) in unterschiedlich großen Volumina (300l bis 2000l), sowie zwei Wärmepumpen, eine in klassischer Fahrweise und eine, die von dem in Aktion 8.1 entwickelten Einsatzoptimierer gesteuert wird. Alleine daraus ergeben sich schon über 1000 mögliche Simulationskombinationen, ergänzt man noch die zwei möglichen Heizsysteme (Radiator und Flächenheizung) erhält man eine enorm große Anzahl an potentiellen Simulationen. Der Fokus wurde im ersten Schritt auf die Bestandsgebäude und mögliche Sanierungskonzepte gelegt, erste Simulationsergebnisse zudem immer mit Wasserspeichern und Radiatoren durchgeführt. Einige Ergebnisse der Aktion 8.3 sind im Unterpunkt 4 dargestellt. Da das Arbeitspaket bis zum Ende des Projekts weiterläuft, werden die aufgeführten Ergebnisse nach und nach auf den aktuellsten Stand gebracht.

4. Ergebnisse

Wie im vorherigen Abschnitt angesprochen, beruht das primäre Ziel der prädiktiven Regelung aktuell auf einer Minimierung der Betriebskosten. Um die Umsetzung dieser Zielstellung überprüfen zu können, werden nachfolgend erste Simulationsergebnisse vorgestellt.

Die Tabelle zeigt Ergebnisse des deutschen Referenzgebäudes in Kombination mit einer gesteuerten Wärmepumpe. Da es sich bei dem Referenzgebäude um einen Altbau aus den 60er-Jahren handelt, wurde vom Projektpartner TUK ARCH ein Sanierungskonzept entworfen, nach dem das Gebäude den Standards von KfW55 (KfW – Kreditanstalt für Wiederaufbau) entspricht. Nach der Modernisierung hat das Gebäude eine Heizlast von 6.74 kW (inklusive Trinkwarmwasser (TWW)), dementsprechend wurde eine 6 kW Wärmepumpe installiert, die zur Spitzenlastabdeckung einen 3 kW-Heizstab enthält. Als Wärmespeichersystem wurde ein Wassertank in verschiedenen Volumen gewählt, als Heizsystem wurden die ursprünglichen Radiatoren des Referenzgebäudes belassen. Entsprechende Simulationen mit Flächenheizsystemen und PCM-Speichern werden im Laufe des Projekts ebenfalls durchgeführt.

Tabelle 1: Deutschland - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb

	Drehzahlvariable-WP in gesteuertem Betrieb					
Baualtersklassen	E [1958-1968]					
Modernisierung	KfW55					
Heizlast (kW)	4.43 (ohne TWW); 6.74 (mit TWW)					
WP Luft/Wasser (kW)	6					
Volumen Wassertank (l)	300	500	800	1000	1500	2000
Stromverbrauch WP (kWh/HP)	3440	3446	3453	3459	3435	3444
erzeugte thermische Energie WP (kWh/HP)	11232	11208	11297	11352	11308	11358
JAZ (ohne Heizstab)	3.24	3.25	3.27	3.28	3.29	3.30
Stromverbrauch Heizstab (kWh/HP)	162	140	95	78	54	53
JAZ (mit Heizstab)	3.14	3.16	3.21	3.23	3.26	3.26
Stromkosten aus Simulation (€)	833	829	819	815	801	801
durchschnittlicher Preis (Cent/kWh)	23.13	23.12	23.08	23.04	22.96	22.91

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Heizperiode (HP), in den Sommermonaten ist der Wärmebedarf eines Wohngebäudes in der Regel zu gering, um die angestrebte Minimierung der Kosten und v.a. die übergeordnete Entlastung des Stromnetzes zu betrachten.

Zur Einordnung des Regelungssystems ist v.a. die letzte Zeile, also der durchschnittlich genutzte Preis interessant. Der Simulation lagen reale Stromdaten vom Projektpartner IZES zu Grunde. Der mittlere Strompreis während der Heizperiode lag bei ca. 23.5 Cent/kWh. Dies entspricht etwa dem Preis, den eine klassische Wärmepumpe, die also rein bedarfsgesteuert und unabhängig vom Preis läuft, im Schnitt nutzen würde. Die kostenoptimierte Regelung der Wärmepumpe führt nun dazu, dass der genutzte Strompreis geringer ist. Durch die prädiktive Arbeitsweise der Regelung ist es möglich, den Betrieb der Wärmepumpe in Zeiten mit möglichst kostengünstigem Strom zu verlegen. Innerhalb der angestrebten Stromnetzlastung besteht also durchaus auch das Potential, die Lasten der Wärmepumpe in Zeiten mit möglichst hohem EE-Anteil zu verschieben.

Weiterhin zeigt sich, dass das Speichervolumen durchaus einen Einfluss auf den genutzten Strompreis besitzt. Umso größer das Volumen, umso höher die Wärmekapazität des Systems und umso flexibler ist die Regelung beim Anpassen der Laufzeiten der Wärmepumpe. Allerdings sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass größere Speichervolumen auch mit höheren Kosten verbunden sind. Dementsprechend stellen die hier dargestellten Ergebnisse einen Input für die Wirtschaftlichkeitsanalyse innerhalb des Projekts dar (Aktion 9). Anschließend kann eine Aussage darüber getroffen werden, welches Gesamtsystem für den Nutzer die größten Kosteneinsparungen ermöglichen kann.

Diese Simulationen und Auswertungen wurden analog auch für die Referenzgebäude in Frankreich, Belgien und Luxemburg durchgeführt. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 2: Frankreich - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb

	Drehzahlvariable-WP in gesteuertem Betrieb					
Bauklassen	1982-1989					
Modernisierung	nach TUK ARCH (Min. Requirements)					
Heizlast (kW)	6.08 (ohne TWW); 8.39 (mit TWW)					
WP Luft/Wasser (kW)	7					
Volumen Wasserspeicher (l)	300	500	800	1000	1500	2000
Stromverbrauch WP (kWh/HP)	4736	4762	4813	4851	4890	4929
erzeugte thermische Energie WP (kWh/HP)	15424	15487	15561	15609	15552	15601
JAZ (ohne Heizstab)	3.26	3.25	3.23	3.22	3.18	3.17
Stromverbrauch Heizstab (kWh/HP)	349	358	406	379	354	331
JAZ (mit Heizstab)	3.10	3.09	3.06	3.06	3.03	3.03
Stromkosten aus Simulation (€)	765	759	762	756	748	748
durchschnittlicher Preis (Cent/kWh)	15.04	14.82	14.60	14.46	14.26	14.22

Tabelle 3: Belgien - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb

	Drehzahlvariable-WP in gesteuertem Betrieb					
Bauklassen	Vor 1945					
Modernisierung	nach TUK ARCH (Min. Requirements)					
Heizlast (kW)	2.01 (ohne TWW); 4.41 (mit TWW)					
WP Luft/Wasser (kW)	4					
Volumen Wasserspeicher (l)	300	500	800	1000	1500	2000
Stromverbrauch WP (kWh/HP)	2051	2093	2098	2120	2167	2201
erzeugte thermische Energie WP (kWh/HP)	6768	6805	6840	6874	6889	6958
JAZ (ohne Heizstab)	3.30	3.25	3.26	3.24	3.18	3.16
Stromverbrauch Heizstab (kWh/HP)	137	102	66	55	28	19
JAZ (mit Heizstab)	3.16	3.15	3.19	3.19	3.15	3.14
Stromkosten aus Simulation (€)	405	394	381	381	379	382
durchschnittlicher Preis (Cent/kWh)	18.51	17.95	17.61	17.52	17.27	17.21

Tabelle 4: Luxemburg - Simulationsergebnisse für WP in gesteuertem Betrieb

	Drehzahlvariable-WP in gesteuertem Betrieb					
Baualterklassen	Neubau - L					
Modernisierung	Keine					
Heizlast (kW)	2.18 (ohne TWW); 4.49 (mit TWW)					
WP Luft/Wasser (kW)	4					
Volumen Wasserspeicher (l)	300	500	800	1000	1500	2000
Stromverbrauch WP (kWh/HP)	1773	1784	1823	1845	1846	1869
erzeugte thermische Energie WP (kWh/HP)	5422	5486	5567	5625	5593	5663
JAZ (ohne Heizstab)	3.06	3.08	3.05	3.05	3.03	3.03
Stromverbrauch Heizstab (kWh/HP)	126	73	36	26	12	7
JAZ (mit Heizstab)	2.92	2.99	3.01	3.02	3.02	3.02
Stromkosten aus Simulation (€)	255	245	241	241	237	239
durchschnittlicher Preis (Cent/kWh)	13.43	13.19	12.96	12.88	12.76	12.74

Die Ergebnisse bestätigen die grundsätzliche Funktionsweise des Regelungssystems, einerseits liegt der durchschnittliche genutzte Preis jeweils unter dem mittleren Strompreis (Frankreich: 15,7 Cent/kWh; Belgien: 20.7 Cent/kWh; Luxemburg: 14 Cent/kWh) und andererseits sinken die genutzten Preise mit steigender Speicherkapazität. Weiterhin verdeutlichen die Ergebnisse aber auch die unterschiedlichen Potentiale des Regelungssystems, die direkt mit der Struktur der Strompreise der jeweiligen Länder zusammenhängen. In Deutschland ist die Einsparung im Vergleich zum mittleren Strompreis relativ gering (maximal 0,6 Cent/kWh) während in Belgien bis zu 3,5 Cent/kWh gespart werden können. Um den Grund dieser Differenzen einschätzen zu können, eignet sich ein detaillierter Blick auf die Struktur der verschiedenen Strompreise.

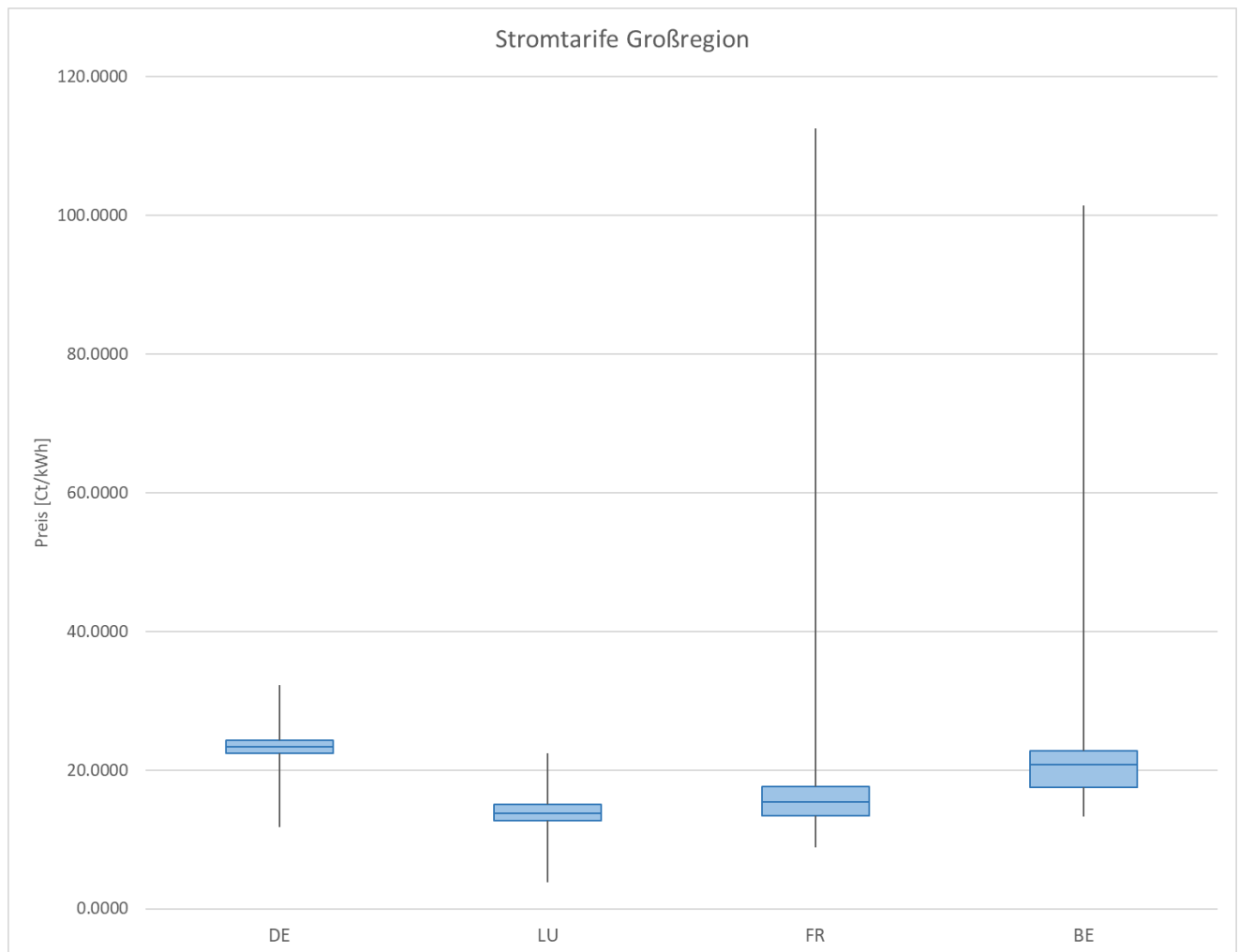


Abbildung 1: Stromtarife für die verschiedenen Länder der Großregion

Die Abbildung zeigt die Verteilung der zugrundeliegenden Strompreise für die vier verschiedenen Länder der Großregion. Dargestellt ist ein Boxplot-Diagramm, also die Minimal- und die Maximalwerte sowie die Häufigkeitsverteilung. Die untere Abgrenzung des abgebildeten Vierecks ist das 1.Quartil, der mittlere Strich der Median und die obere Abgrenzung das 3.Quartil. Die Box beinhaltet also 50% der vorhandenen Werte. Dementsprechend zeigt sich vor allem für Deutschland, aber auch für Luxemburg, dass die Schwankungen innerhalb des Strompreises sehr gering sind, da allein 50% der Werte innerhalb eines sehr kleinen Bereichs liegen. Für den Controller bedeutet dies, dass letztlich kaum eine Differenz in den Preisen vorhanden ist, auf deren Grundlage er für eine wirkliche Preiseinsparung sorgen könnte. Die Ergebnisse der Simulation verdeutlichen dies ebenfalls. Die Abbildung zeigt allerdings auch, dass bei dem belgischen Tarif eine deutlich größere Spreizung vorhanden ist, weswegen die Kosteneinsparungen innerhalb der Simulation deutlich besser ausgenutzt werden können.

Als vorläufiges Fazit aus den ersten Simulationsergebnissen und den Preisstrukturen der verschiedenen Länder der Großregion lässt sich also schlussfolgern, dass als Grundlage für den Controller erstmal ein flexibler Tarif vorliegen muss, der eine ausreichende Preisschwankung aufweist. Wenn dies der Fall ist, ist der entwickelte Controller allerdings auch durchaus in der Lage für Kosteneinsparungen zu sorgen. In welche Maße die flexiblen Preistarife hierfür variieren müssen, soll im weiteren Verlauf des Projekts noch genauer definiert werden.

Die Ergebnisse werden im Laufe des Projekts noch für unterschiedliche Heiz- und Speichersysteme ausgewertet, eine wirtschaftliche Einordnung der Ergebnisse erfolgt im Arbeitspaket 9.

5. Literaturverzeichnis

MathWorks: MATLAB. Version R2016b. Online verfügbar unter <https://de.mathworks.com/products/matlab.html>.

Michael Wetter, Thierry Stephane Nouidui, Philip Haves: BCVTB. Building Controls Virtual Test Bed. Version 11. Online verfügbar unter <http://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb>, zuletzt geprüft am 17.01.2019.

TRANSOLAR: TRNSYS. Version 17. Online verfügbar unter <http://www.trnsys.com/>.