

# Optimierung eines Wärme-/ Kühlsystems mit saisonaler Speicherung am Beispiel des größten Erdwärme- feldes Mitteleuropas

COP5+

G. Aigner,  
T. Bednar,  
J. Geyer,  
M. Neusser

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 5/2015

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Optimierung eines Wärme-/Kühlsystems mit saisonaler Speicherung am Beispiel des größten Erdwärmefeldes Mitteleuropas

COP5+

DI (FH) Gerald Aigner Msc MBA  
Fronius International GmbH

Univ.Prof. DI Dr. Thomas Bednar, DI Maximilian NEUSSER  
Technische Universität Wien / Institut für Hochbau und Technologie

Dr. Johann Geyer  
ENERTEC Naftz & Partner OG

Schöberl & Pöll OEG

Thalheim bei Wels, Dezember 2013

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.HAUSderZukunft.at](http://www.HAUSderZukunft.at) Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

---



# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Kurzfassung .....  | 7  |
| Abstract .....   | 8  |
| Einleitung .....   | 9  |
| 1.1 Ausgangssituation/Motivation .....   | 9  |
| 1.2 Inhalte und Zielsetzungen .....  | 9  |
| 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....   | 10 |
| 2.1 Beschreibung des Standes der Technik .....   | 10 |
| 2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema .....   | 11 |
| Ziele der Vorarbeiten .....  | 11 |
| 2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand<br>(Innovationsgehalt des Projekts) .....   | 11 |
| 2.4 Verwendete Methoden .....  | 11 |
| 2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit<br>Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung (nur überblicksartig, Details in den<br>Anhang!) ..... | 12 |
| 3 Ergebnisse des Projektes .....   | 13 |
| 3.1 Ausführung der zusätzlichen Gebäudeleittechnik inklusive Setzen der<br>Messeinheiten .....   | 13 |
| 3.1.1 Erdsondenfeld: .....   | 13 |
| 3.1.2 Energiezentrale: .....   | 15 |
| 3.1.3 Raumzustände, Klimadaten: .....  | 16 |
| 3.2 Messdatenermittlung, laufendes Monitoring, Anlagenoptimierung .....  | 16 |
| 3.2.1 Datenerfassung, Datenspeicherung: .....  | 16 |
| 3.2.2 Zustände nach Inbetriebnahme und Probetrieb .....  | 17 |
| 3.2.3 Optimierungsmaßnahmen .....  | 24 |
| 3.3 Auswertung der Messergebnisse und Analyse der Kosten .....   | 29 |
| 3.3.1 Tiefenbohrfeld .....   | 29 |
| 3.3.2 Simulation der Stufenantwort .....   | 30 |
| 3.3.3 Validierung des Modells zur Simulation der Stufenantwort .....   | 34 |
| 3.3.4 Last Aggregation .....   | 37 |
| 3.3.5 Validierung des Gesamtmodells des Erdsondenfeldes .....  | 40 |
| 3.3.6 Qualitätssicherung durch simultane Simulation und Monitoring des<br>Erdsondenfeldes .....  | 41 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.3.7 | Analyse der Messdaten .....  | 43 |
| 3.3.8 | Vergleich von Auslegung und Messung.....   | 44 |
| 3.4   | Beitrag zum Gesamtziel des Programms .....   | 46 |
| 3.5   | Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt ..... | 47 |
| 3.6   | Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....                  | 47 |
| 4     | Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen, Ausblick und Empfehlungen.....   | 47 |
| 5     | Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis .....  | 48 |
| 6     | Anhang.....  | 49 |

## Kurzfassung

Im Rahmen dieses Projektes soll ein System entwickelt und optimiert werden, mit dem der Primärenergiebedarf für die Heizung- und Kühlung eines Gebäudes minimiert werden kann. Erreicht werden soll dies durch die intelligente Nutzung eines großen saisonalen Energiespeichers. Dieser wird in Form eines Tiefensondenfeldes ausgeführt. Dadurch wird es möglich Energie die im Sommer in Form von Kühlbedarf (Kühlung von Büroräumen, Prozesskühlung) verfügbar ist in den Boden einzuspeichern. In der kalten Jahreszeit dient dieses Energiereservoir als Wärmequelle für ein Wärmepumpensystem. Wesentlich für die optimale Funktion eines derartigen Systems ist einerseits die richtige Dimensionierung und Ausführung des Sondenfeldes, andererseits eine optimale Speicherbewirtschaftung. Diese hat so zu erfolgen, dass sich sowohl hinsichtlich der Nutzung als Wärmesenke im Sommer, als auch als Wärmequelle im Winter langfristig stabile Zustände einstellen. Aus diesem Grund ist eine gesamtheitliche Betrachtung des Energiebereitstellungssystems (Sondenfeld, Wärmepumpensystem, Kühlsystem) mit dem zu versorgenden Gebäude notwendig. Ziel des Projektes ist es eine optimale Anlagenkonfiguration sowie optimale Regelstrategien zu entwickeln und zu überprüfen, um dadurch grundlegende Erkenntnisse für die breite Anwendung dieser Technik zu gewinnen.

Das innerhalb der Projektlaufzeit entwickelte Rechenmodell für Tiefenbohrfelder konnte durch die gewonnenen Messdatenreihen erfolgreich validiert werden. Durch die innerhalb der Projektlaufzeit gewonnenen Daten konnte an mehreren Punkten der Parameter der Regelungsstrategie und der Anlagenkonfigurationen viel versprechende Optimierungsmaßnahmen entwickelt werden. Nach der erfolgten Optimierung der Anlagenkonfiguration konnte eine deutliche Steigerung der Anlageneffizienz erreicht werden. Die Leistungszahl von ca. 4,5 auf im Mittel ca. 6,5. Dies stellt eine Verbesserung von über 40% dar. Umgekehrt bedeutet dies, dass der Antriebsenergiebedarf für die Wärmepumpen gegenüber der ursprünglichen Betriebsweise um ca. 40% reduziert ist. Auf Grund dieser Ergebnisse ist zu erwarten, dass mit dem installierten Wärmepumpensystem eine **Jahresarbeitszahl im Bereich von ca. 6,0** erreichbar ist.

## Abstract

The aim is to increase the overall energy efficiency of Plus-Energy-Houses by making the heat excess of summer available for use in winter.

This is carried out by improvements of the technology seasonal heat storage to an intelligent overall system.

With the construction of a research and development center of Fronius International GesmbH in Thalheim near Wels, the biggest geothermal depth drilling field in Central Europe will be established. From this a series of measurements is taken over 36 months, which will then be evaluated and analyzed. The findings of this project provide a basis for further developments of such systems.

Because of the storage of the summertime heat, the temperature of the soil surrounding the depths drillings increases. By optimizing the charging and discharging processes the losses are minimized. By raising the temperature of the heat source in combination with optimized building service management system, the COP of the heat pump during the heating period can be increased. A possible COP over 5 is expected. Furthermore, such a system offers the energetic ideal possibility of cooling in summer. This causes a remarkable decrease of power requirement which in return means a reduction of primary energy requirement.

The conclusions help to successfully realize more of such storage systems. By using such equipment's the energy requirement of heating and cooling systems can be lowered and the overall energy efficiency of Plus-Energy-Buildings can be increased.

The within the project period developed calculation model for ground source heat exchangers was successfully validated by the obtained measurement data series. Few optimization measures could be developed at several points of the parameters of the control strategy and the system configurations. Following the optimization of the system configuration, a significant increase in energy efficiency could be achieved. The coefficient of performance could be raised of 4.5 to an average of about 6.5. This represents an improvement of over 40%. Based on these results, it is expected that an annual COP in the range of about 6.0 is reached with the installed heat pump system.

# Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation/Motivation

Ziel ist es die Effizienz von Plus-Energie-Häusern zu steigern, indem der Energieüberschuss des Sommers für die Nutzung im Winter bereitgestellt wird.

Dies erfolgt durch die Weiterentwicklung der Technologie der saisonalen Speicherung hin zu einem intelligenten Gesamtsystem.

Im Zuge des Neubaus eines Forschungs- und Entwicklungsgebäudes der Fronius International GmbH in Thalheim bei Wels, entsteht das größte Erdwärmefeld in Mitteleuropas.

An diesem werden umfangreiche Messreihen durchgeführt, die ausgewertet und analysiert werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung solcher Systeme.

Durch die Speicherung des sommerlichen Überschusses an Wärmeenergie wird die Temperatur des Erdreichs im Umfeld der Sonden erhöht. Durch die Optimierung der Lade- und Entladevorgänge werden Verlustminimierungen realisiert. Dieser Energiespeicher dient im Winter als Wärmequelle für ein Wärmepumpensystem. Durch die Erhöhung der Quelltemperatur in Kombination mit der Optimierung des Gebäudeleitsystems kann der COP der Wärmepumpe im Heizfall erheblich gesteigert werden. Es wird erwartet, dass ein COP über 5 möglich ist. Weiters bietet ein derartiges System die energetisch optimale Lösung für den Kühlfall. Dies hat eine beachtliche Senkung des Strombedarfs zur Folge, was wiederum eine Senkung des Primärenergiebedarfs bedeutet.

Die gewonnenen Erkenntnisse verhelfen zu einer erfolgreichen Umsetzung weiterer derartiger Speichersysteme. Durch die Anwendung derartiger Anlagen kann der Energiebedarf der Heiz- und Kühlsysteme verringert und die Gesamtenergieeffizienz von Plus-Energie-Häusern gesteigert werden.

## 1.2 Inhalte und Zielsetzungen

Im Rahmen dieses Projektes soll ein System entwickelt und optimiert werden, mit dem der Primärenergiebedarf für die Heizung- und Kühlung eines Gebäudes minimiert werden kann. Erreicht werden soll dies durch die intelligente Nutzung eines großen saisonalen Energiespeichers. Dieser wird in Form eines Tiefensondenfeldes ausgeführt. Dadurch wird es möglich Energie die im Sommer in Form von Kühlbedarf (Kühlung von Büroräumen, Prozesskühlung) verfügbar ist in den Boden einzuspeichern. In der kalten Jahreszeit dient dieses Energiereservoir als Wärmequelle für ein Wärmepumpensystem. Wesentlich für die optimale Funktion eines derartigen Systems ist einerseits die richtige Dimensionierung und

Ausführung des Sondenfeldes, andererseits eine optimale Speicherbewirtschaftung. Diese hat so zu erfolgen, dass sich sowohl hinsichtlich der Nutzung als Wärmesenke im Sommer, als auch als Wärmequelle im Winter langfristig stabile Zustände einstellen. Aus diesem Grund ist eine gesamtheitliche Betrachtung des Energiebereitstellungssystems (Sondenfeld, Wärmepumpensystem, Kühlsystem) mit dem zu versorgenden Gebäude notwendig.

Ziel des Projektes ist es eine optimale Anlagenkonfiguration sowie optimale Regelstrategien zu entwickeln und zu überprüfen, um dadurch grundlegende Erkenntnisse für die breite Anwendung dieser Technik zu gewinnen.

Das innerhalb der Projektlaufzeit entwickelte Rechenmodell für Tiefenbohrfelder konnte durch die gewonnenen Messdatenreihen erfolgreich validiert werden.

Durch die innerhalb der Projektlaufzeit gewonnenen Daten konnte an mehreren Punkten der Parameter der Regelungsstrategie und der Anlagenkonfigurationen viel versprechende Optimierungsmaßnahmen entwickelt werden. Nach der erfolgten Optimierung der Anlagenkonfiguration konnte eine deutliche Steigerung der Anlageneffizienz erreicht werden. Die Leistungszahl von ca. 4,5 auf im Mittel ca. 6,5. Dies stellt eine Verbesserung von über 40% dar. Umgekehrt bedeutet dies, dass der Antriebsenergiebedarf für die Wärmepumpen gegenüber der ursprünglichen Betriebsweise um ca. 40% reduziert ist. Auf Grund dieser Ergebnisse ist zu erwarten, dass mit dem installierten Wärmepumpensystem eine **Jahresarbeitszahl im Bereich von ca. 6,0** erreichbar ist.

## **2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt**

### **2.1 Beschreibung des Standes der Technik**

Das Problem ist schon lange bekannt. Im Sommer steht ein unerwünschter Überschuss an Wärme zur Verfügung, der in den Wintermonaten während der Heizperiode benötigt wird. Bisher war die effiziente saisonale Speicherung dieser großen Wärmemenge nur schwierig darzustellen.

Die konventionelle Lösung für dieses Problem birgt einen großen Energieverbrauch. Bisher wird die Bewältigung der Gebäudekonditionierung im Heiz- und Kühlfall getrennt voneinander betrachtet. Im Sommer wird unter beachtlichem Stromaufwand gekühlt und im Winter wird meist durch Verbrennung geheizt. Das im Sommer vorhandene „Abfallprodukt“ Wärme wird im Winter benötigt. Es entsteht kein geschlossener Kreislauf.

## **2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema**

Vor der Realisierung des Vorhabens wurde ein erstes geologisches Gutachten erstellt, das unter anderem einen Geothermal Response Test sowie eine numerische Simulation der thermischen Auswirkungen des Dauerbetriebes im Untergrund beinhaltet. Diese Voruntersuchungen haben die prinzipielle Tauglichkeit des Standortes für eine derartige Anlage bestätigt und es wurde damit die Größe des Sondenfeldes (204 Sonden zu je 200m) festgelegt.

### **Ziele der Vorarbeiten**

- Festlegung des Verdichtungsmittels
- Kenntnis des Untergrunds im Bereich des Sondenfelds
- Kenntnis des Grundwasserverhaltens
- Kenntnis der thermischen Auswirkungen des Dauerbetriebs im Untergrund

Die Ergebnisse der Probebohrungen sind im Anhang beigefügt.

## **2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)**

Durch den Ausgleich der Wärme–Kälte-Bilanz über das Jahr entsteht ein intelligentes Gesamtsystem, das sich durch eine signifikante Steigerung der Gesamtenergieeffizienz bei Plus-Energie-Häusern auszeichnet. Durch die Steigerung des COP der Wärmepumpe wird der Strombedarf den man für den Betrieb benötigt verringert. Er wird in dem Fall des Beispielobjektes, wie auch bei Plus-Energie-Häusern durch Photovoltaikmodule bereitgestellt. Somit ist die Konditionierung eines derartigen Gebäudes komplett CO<sub>2</sub>-neutral.

## **2.4 Verwendete Methoden**

Die verwendeten Methoden umfassen folgende Punkte:

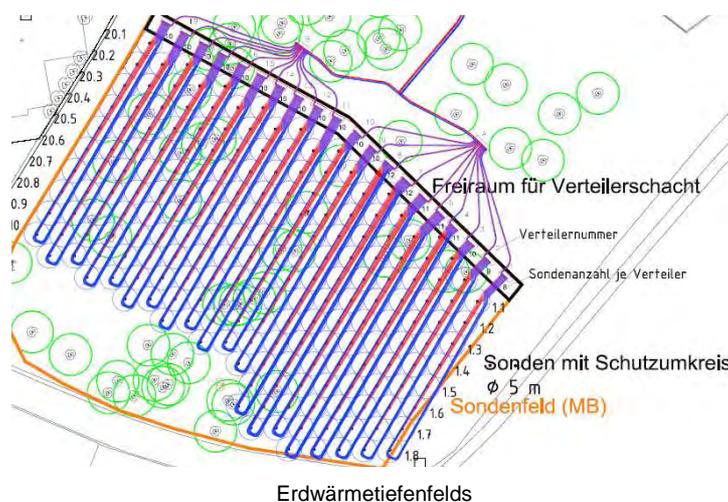
- Aufbau eines Datenerfassungssystems der Messpunkte
- Datenmonitoring der Wärme- bzw. Kältebereitstellung
- Datenmonitoring des Erdsondenfeldes
- Messdatenanalyse
- Numerische Simulation

- Vergleich von Simulation und Messung nach erfolgter Validierung

## 2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung (nur überblicksartig, Details in den Anhang!)

Fronius International GmbH errichtet ihr Forschungs- und Entwicklungsgebäude am Standort Thalheim bei Wels mit Baubeginn im Sommer 2009. Im Zuge dieses Baus wird ein Erdwärmiefensondenfeld (EWTS-Feld) angelegt. Dieses Sondenfeld stellt die derzeit größte Anlage dieser Art in Mitteleuropa dar. Dieses EWTS-Feld dient der saisonalen Wärmespeicherung für die wärmepumpengestützte Beheizung und Kühlung des Neubaus. Im Sommer wird die Abwärme aus Prozesskühlung und Gebäudeklimatisierung eingespeichert, die während der Heizperiode entnommen wird.

Für die Realisierung des Vorhabens wurde ein erstes geologisches Gutachten erstellt, das unter anderem einen Geothermal Response Test sowie eine numerische Simulation der thermischen Auswirkungen des Dauerbetriebes im Untergrund beinhaltet. Diese Voruntersuchungen haben die prinzipielle Tauglichkeit des Standortes für eine derartige Anlage bestätigt und es wurde damit die Größe des Sondenfeldes (204 Sonden zu je 200m) festgelegt. Anschließend wurden zwei Probebohrungen im Bereich des EWTS-Feldes durchgeführt. Der nächste Schritt war die Bohrung des EWTS-Feldes. Für die Messung der Anlagedaten wurde ein umfangreiches Gebäudeleitsystem installiert. Mit der installierten Messtechnik werden relevante Temperaturen, Volumenströme, Energieverbrauch, Energieproduktion usw. erfasst. Damit können alle relevanten Energieströme von und zum Sondenfeld sowie im Bereich des Gebäudes aufgezeichnet und überwacht werden. Weiters werden drei der Tiefensonden mit Messtechnik ausgerüstet, die einen repräsentativen Überblick über den Zustand des Sondenfeldes erlauben.



Es wird erwartet, dass sich extreme Temperaturschwankungen nach der zweiten Periode stabilisiert haben und ab diesem Zeitpunkt aussagekräftige Daten gewonnen werden können. Hiernach werden Optimierungsmaßnahmen erarbeitet. Die während dieses

Zeitraums gewonnen Messdaten, werden anschließend ausgewertet, analysiert und durch eine Simulation verifiziert.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zu einer erfolgreichen Umsetzung weiterer derartiger Speichersysteme verhelfen. Durch die Anwendung derartiger Anlagen kann der Energiebedarf der Heiz- und Kühlsysteme verringert und die Gesamtenergieeffizienz von Plus-Energie-Häusern gesteigert werden.

## **3 Ergebnisse des Projektes**

### **3.1 Ausführung der zusätzlichen Gebäudeleittechnik inklusive Setzen der Messeinheiten**

#### **3.1.1 Erdsondenfeld:**

Der Gesamtwärmeentzug bzw. der Gesamtwärmeeintrag für das Erdsondenfeld erfolgt durch eine Gesamtwärmemessung (Gesamtvolumenstrom, Temperaturdifferenz). Zusätzlich erfolgt eine Messung des el. Energiebedarfs der Pumpenanlage für das Wärmeträgermedium.

Zur allgemeinen Beurteilung des thermischen Zustandes des Sondenfeldes erfolgt zusätzlich eine Messung der Vor- und Rücklauftemperatur des Wärmeträgermediums je Verteiler (die einzelnen Sonden sind in Gruppen an einzelne Verteiler hydraulische verschaltet). Damit lassen sich auch Rückschlüsse über etwaige örtliche Unterschiede (z.B. Grundwasserströmung, Randbereich, Zentralbereich) ziehen.

Um die kurzfristigen (saisonalen) und langfristigen Einflüsse des Erdsondenfeldes auf den Untergrund in unterschiedlichen Höhenlagen beurteilen zu können wurden drei Sonden mit einer besonderen Messtechnik ausgerüstet (Messsonden). Eine dieser Messsonden ist im Sondenfeldzentrum, die beiden restlichen Messsonden im Randbereich des Sondenfeldes situiert. Jede dieser Messsonden wurde mit 13 Temperatursensoren ausgerüstet, die eine Messung der Temperatur unmittelbar an der Sondenoberfläche in einem vertikalen Abstand von jeweils 15m erlauben. Als Temperatursensoren wurden speziell für diese Anwendung gefertigte Mantelthermoelemente eingebaut. Die Thermoelemente wurden entsprechend der geplanten Messpunkttiefe (in 15m Abstufung) mit unterschiedlichen Längen gefertigt. Damit konnte erreicht werden, dass die jeweiligen Anschlussverbindungen (Anschluss zum Messumformer) am Sondenkopf erfolgen können (Schacht an der Oberfläche) und entlang der Sonde selbst keine Kabelverbindungen vorliegen. Fehlerquellen durch etwaige Anschlussfehler im Zuge der Einbringung bzw. thermischer und mechanischer Belastungen im Laufe des Anlagenbetriebes können dadurch wirksam verhindert werden.



Abbildung 1: Mantelthermoelemente unterschiedlicher Länge



Abbildung 2: Fixierung Mantelthermoelemente



Abbildung 3: Einbringung Sonde

### 3.1.2 Energiezentrale:

Im Bereich der Energiezentrale werden alle relevanten Messdaten aus den Bereichen Energiebereitstellung (Wärmepumpen, freie Kühlung über Flusswasser) und der Versorgung der jeweiligen Kälte/Wärmeverbraucher erfasst.

Die Wärmebereitstellung erfolgt durch drei (baugleiche) Wärmepumpen. Je Wärmepumpe erfolgt die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme, der Vor- und Rücklauftemperaturen im Warmwasserkreis und der Vor- und Rücklauftemperaturen im Wärmequellenkreis. Die Temperaturmessdaten der einzelnen Wärmepumpen stehen zusammen mit zusätzlichen Betriebsfunktionsdaten im autonomen MSR-System der WP-Anlage zur Verfügung (Modbus). Diese Daten werden über eine Busschnittstelle an das übergeordnete GLT-System zur Datenaufzeichnung übergeben.

Zusätzlich werden mittels Wärmezähler die durch die Wärmepumpenanlage gelieferte Wärmemenge sowie die aus dem Sondenfeld entzogenen Wärmeenergie gemessen.

Weitere Wärmemengenzähler sind eingebaut um bei den zusätzlich für den Sommerbetrieb vorgesehenen Betriebsfällen (freie Kühlung über Sondenfeld, freie Kühlung über Flusswasser bzw. Uferfiltrat, Kühlung durch Kältemaschinenbetrieb mittels revers betriebener Wärmepumpe und Rückspeisung der Abwärme in das Sondenfeld) die jeweiligen Wärmemengen aus bzw. in die unterschiedlichen Quellen und Senken zu ermitteln.

Um die korrekten Gesamtenergiebilanzen bzw. die Gesamteffizienz der jeweiligen Betriebsmodi ermitteln zu können werden weiters die elektrische Leistungsaufnahme bzw. der Energiebedarf der Umwälzpumpen in den verschiedenen Heiz-, Kühl- und Wärmequellenkreisläufen mittels Elektroenergiezähler gemessen.

Die einzelnen Wärme- und Kälteverbraucher sind über Verteiler in einzelne Gruppen zusammengefasst. Diese einzelnen Verbrauchsgruppen erfordern jeweils unterschiedliche Temperaturniveaus. Die verbrauchsseitige Bedarfsmessung erfolgt durch Messung der Wärme- und Kälteleistung (Wärmemengenzähler, Vor- Rücklauftemperatur) an den einzelnen Verteilerabgängen.

### **3.1.3 Raumzustände, Klimadaten:**

Zur Überprüfung der Funktionalität des Gesamtsystems werden in den diversen versorgten Räumen (insbesondere im Bürobereich) die jeweiligen erreichten Raumlufttemperaturen gemessen. Weiters erfolgt eine Aufzeichnung von Außenklimadaten (Temperatur, Feuchte, Strahlung). Zusätzlich zu den Raumdaten werden die Betriebsdaten der zugehörigen raumluftechnischen Anlagen aufgezeichnet.

Datenerfassung und Aufzeichnung:

Die Aufzeichnung bzw. Speicherung der verschiedenen Daten erfolgt über das zentrale Leittechniksystem. Die Daten werden in regelmäßigen Zeitintervallen (Minutenintervall) gemessen und in einer Datenbank abgelegt. Es werden dabei zusätzlich zu den vorstehend genannten Messdaten umfangreiche zusätzliche Betriebsdaten (Sollwerte, Schaltzustände, Ventilstellungen usw.) aufgezeichnet. Aus dieser Datenbank können die Daten in ein Standarddatenformat (z.B. ASCII – csv) exportiert werden und stehen damit für die weiterführenden Analysen zur Verfügung.

## **3.2 Messdatenermittlung, laufendes Monitoring, Anlagenoptimierung**

### **3.2.1 Datenerfassung, Datenspeicherung:**

Für die Datenerfassung bzw. Speicherung war vorgesehen, dass für relevante Daten (z.B. Vor- Rücklauftemperaturen) eine Messung und Speicherung in fixen Zeitintervallen erfolgt. Im Zuge der Planung- und Umsetzung des vorgeschlagenen Messkonzeptes wurde von den ausführenden Firmen (Mess-, Steuer-, Regeltechnik) kommuniziert, dass dies auch problemlos möglich sei.

Im Zuge des Probetriebes und der Auswertung erster Daten wurde festgestellt, dass dies offensichtlich nicht möglich ist. Nach genauerer Analyse der vorliegenden Daten bzw. der Systemkonfiguration konnten die Gründe dafür ermittelt werden.

Bei den in der Gebäudeautomation üblicherweise verwendeten Systemen erfolgt auf der Feld- bzw. Geräteebene zwar eine (autonome) praktisch permanente Messung der

verschiedenen physikalischen Größen (z.B. Temperatur, Druck usw.), die Übergabe eines Messwertes an die zentrale Leittechnik erfolgt aber nur dann, wenn sich der jeweilige Wert um einen bestimmten (programmierbaren) Wert ändert. Dies erfolgt deshalb, da bei einer gleichzeitigen Messung einer großen Anzahl von Messpunkten die dann gleichzeitig zu übermittelnde sehr großen Datenmenge über das Datenbussystem nicht möglich ist (Störungen am Datenbus). Daraus ergibt sich, dass auf der Ebene der zentralen Leittechnik zwar in regelmäßigen (fixen) Zeitintervallen Messdaten gespeichert werden können, diese Messdaten aber nicht zum gleichen Zeitpunkt gemessen wurden wie gespeichert. Es ist aus den gespeicherten Daten auch nachträglich nicht nachvollziehbar, wann der jeweilige Messwert tatsächlich gemessen wurde.

Dieses besondere Verhalten des eingesetzten Messsystems erschwerte die Analyse der Messdaten außerordentlich, da eine automatische Messdatenaufbereitung (Sortierung, automatisierte Verknüpfungen und Berechnungen) nahezu unmöglich war.

Für die Darstellung und visuelle Analyse des Verlaufs einzelner Messgrößen stellt diese Beschränkung des Messsystems im Prinzip kein Problem dar. Auf Grund dieses Systemverhaltens ist es jedoch nicht möglich mit diesen Daten (Einzeldaten) exakte physikalische Berechnungen durchzuführen, bei denen mehrere Einzeldaten verwendet werden (z.B. Temperaturdifferenzbildung).

Berechnungen auf Basis dieser Messdaten konnten daher nur durch eine vorherige Mittelwertbildung über einen ausreichend langen Zeitraum und anschließender Berechnung mit diesen Mittelwerten erfolgen. Damit wird (bei Wahl eines geeignet großen Zeitintervalls für die Mittelwertbildung) das Problem der nicht gleichzeitigen Messung der Einzelwerte umgangen.

Neben dem vorstehend beschriebenen Problem der nicht zeitgleichen Messung einzelner Messgrößen traten im System für die Datenspeicherung auch immer wieder Ausfälle (teilweise kurzzeitige, teilweise über längere Zeiträume) auf, wodurch ebenfalls eine automatisierte Datenauswertung nicht möglich war.

### **3.2.2 Zustände nach Inbetriebnahme und Probebetrieb**

#### **3.2.2.1 Anlagenverhalten:**

Die Wärmepumpenanlage besteht insgesamt aus drei Einzelwärmepumpen. Jede der Wärmepumpen besitzt zwei drehzahlgetriggerte Turboverdichter, die eine stufenlose Leistungsregelung erlauben.

Auf Grund der vorliegenden Anlagenkonzeption war zu erwarten, dass eine exzellente Regelbarkeit (stufenlose Anpassung der WP-Leistung an den jeweils aktuellen Heizleistungsbedarf) vorliegt. Aus den Messdaten der ersten durchgehend aufgezeichneten Messreihen konnte jedoch geschlossen werden, dass eine stufenlose Leistungsanpassung praktisch nicht gegeben war, es wurde vielmehr ein ausgeprägtes Takten der Anlagen festgestellt.

In Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 ist für die drei installierten Wärmepumpen (WP1, WP2, WP3) der zeitliche Verlauf der Antriebsleistungsaufnahme über zwei Tage (16.12. und 17.12.2012) dargestellt. Die Außenlufttemperatur lag in diesem Zeitraum im Bereich von 0°C bis ca. 8°C. Aus dem Antriebsleistungsverlauf ist deutlich zu erkennen, dass über weite Weiträume ein ausgeprägtes Takten (Ein/Aus) aller drei Wärmepumpen vorliegt. Ein ähnliches Bild zeigt sich, wenn man den zeitlichen Verlauf der von den Wärmepumpenanlagen gelieferten Heizleistung betrachtet. Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Anlagenheizleistung (Summe der drei Wärmepumpen) über einen Zeitraum von 16 Tagen. Deutlich sind die großen (kurzzeitigen) Schwankungen der gelieferten Heizleistung (violette Linie) zu erkennen. In Abbildung 8 ist für die gleichen Daten ein Ausschnitt von zwei Tagen dargestellt. Man erkennt deutlich die starken kurzzeitigen Leistungsschwankungen. Zusätzlich zum Leistungsverlauf ist in Abbildung 7 und Abbildung 8 auch der Mittelwert der Leistung (schwarze Linie) eingezeichnet. Daraus ist abzulesen, dass z.B. der mittlere Heizleistungsbedarf am 16.12.2012 im Bereich von ca. 100 kW und ca. 300 kW lag. Dieser Leistungsbedarf wäre durch den Betrieb einer Wärmepumpe abzudecken (Nennheizleistung einer Wärmepumpe = 739 kW), der gleichzeitige Betrieb mehrerer Wärmepumpen ist dazu definitiv nicht notwendig.

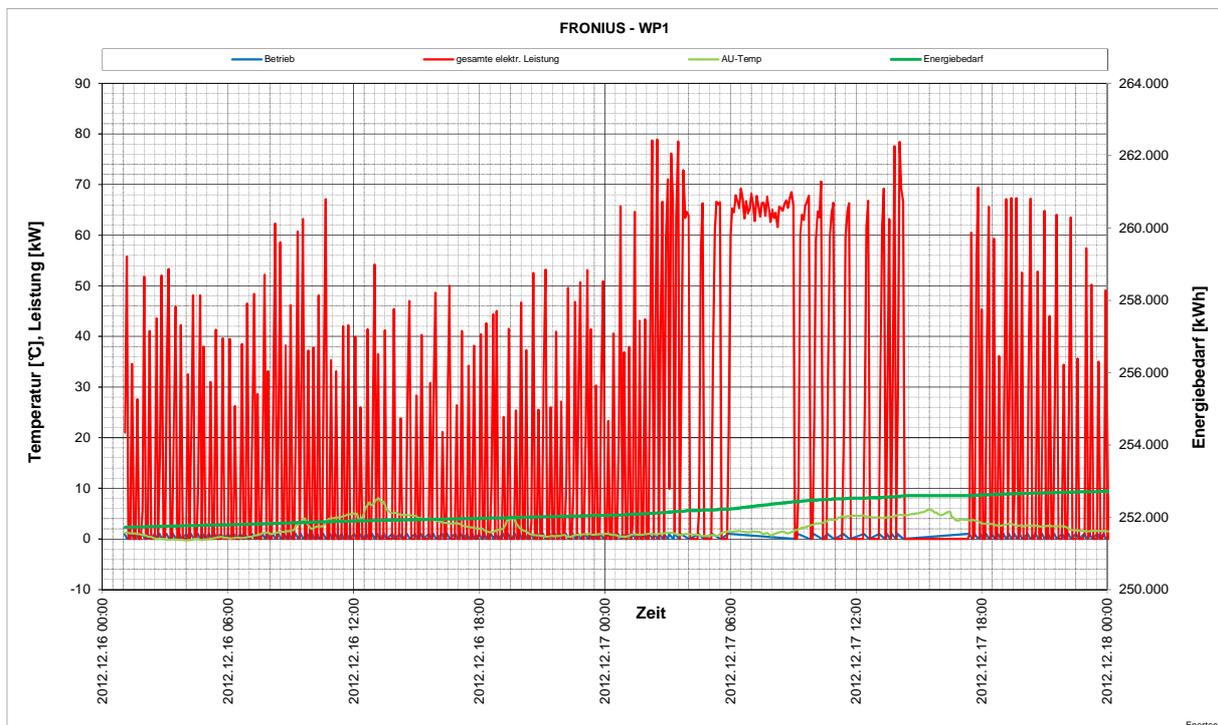


Abbildung 4: Verlauf der Antriebsleistung WP1

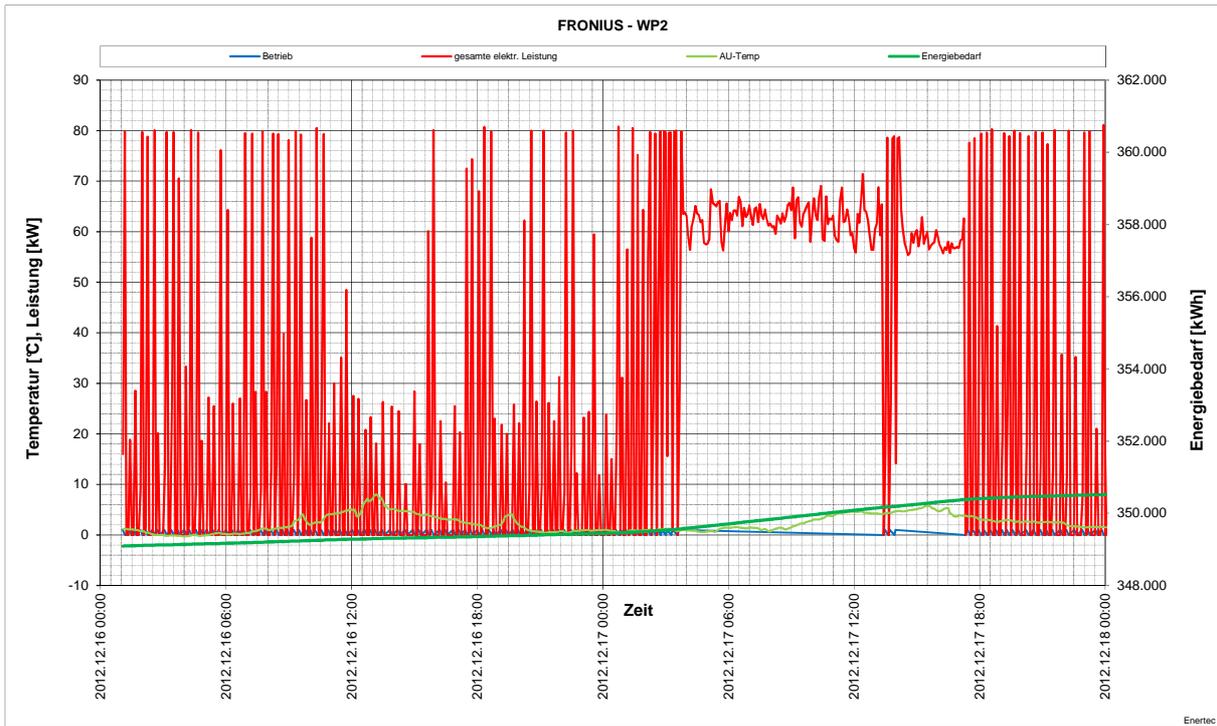


Abbildung 5: Verlauf der Antriebsleistung WP2

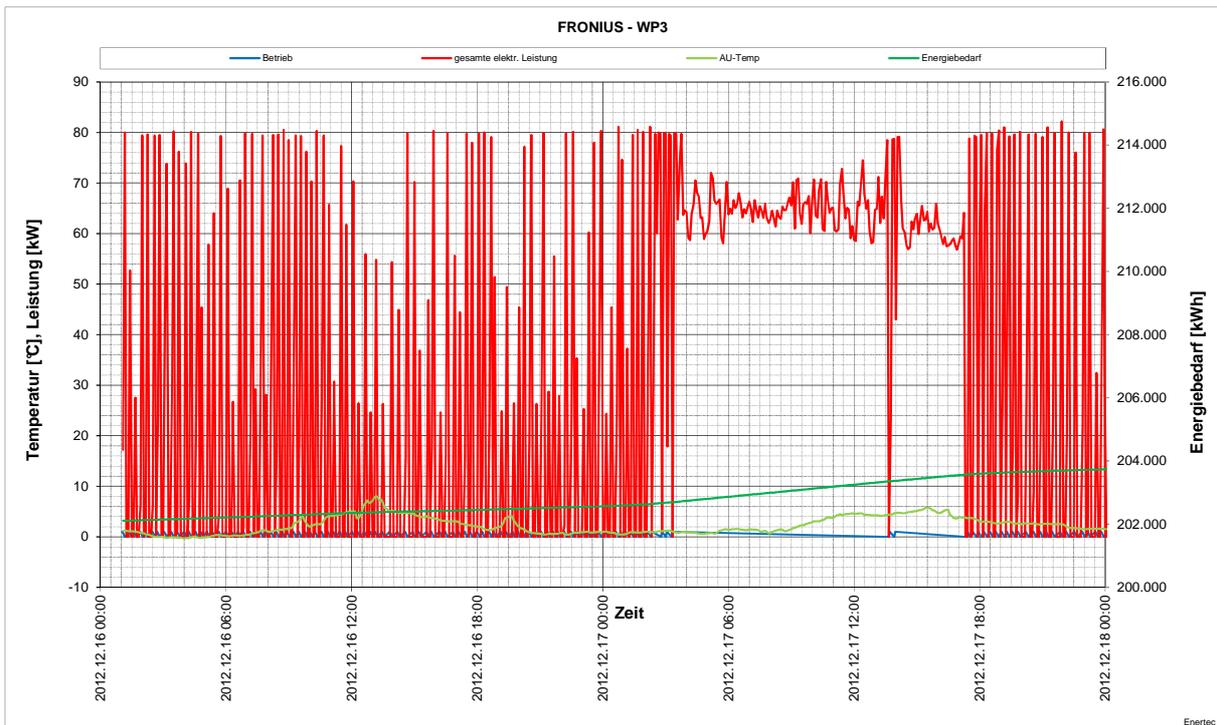


Abbildung 6: Verlauf der Antriebsleistung WP3

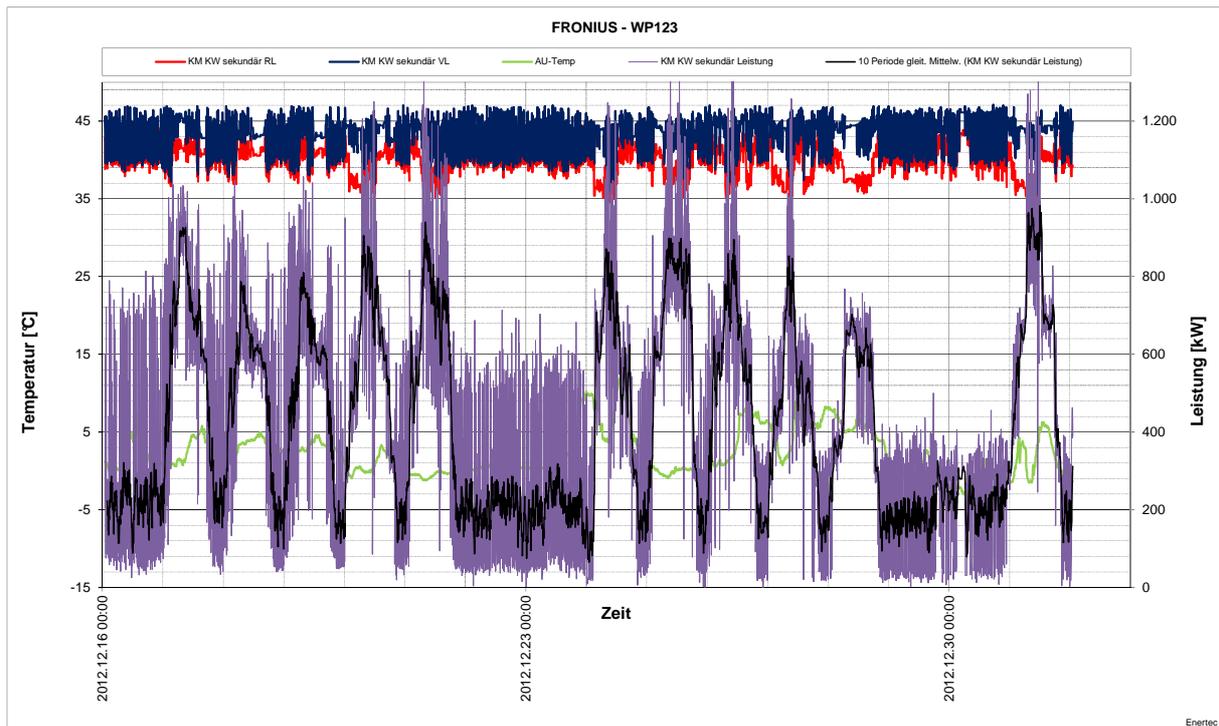


Abbildung 7: Verlauf der WP-Anlagenheizleistung (gesamt)

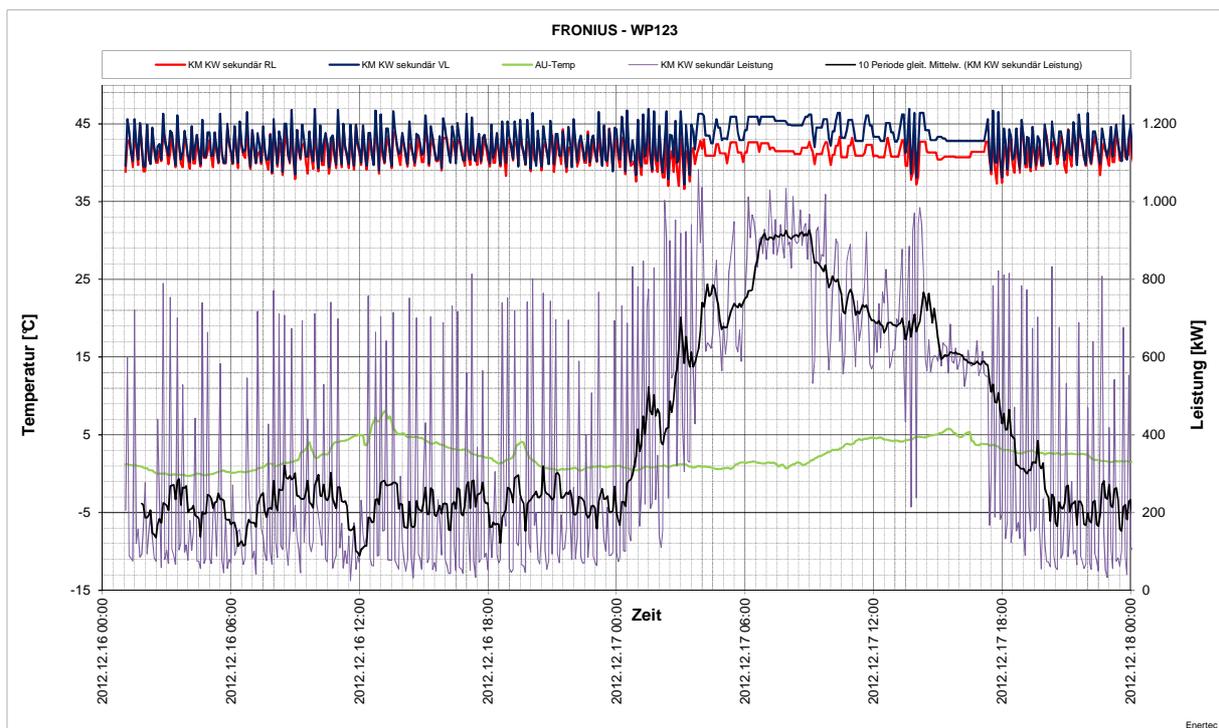


Abbildung 8: Verlauf der WP-Anlagenheizleistung (gesamt)