



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

MONITORING SUURSTOFFI

MONITORING EINER THERMISCHEN ARE- ALVERNETZUNG IN KOMBINATION MIT EI- NEM ERDSONDENFELD

Jahresbericht 2012

Autor und Koautoren	Dieter Lüthi, Urs-Peter Menti
beauftragte Institution	Hochschule Luzern, Technik & Architektur, Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (HSLU – T&A, ZIG)
Adresse	Technikumstrasse 21, 6048 Horw
Telefon, E-mail, Internetadresse	041 349 33 42, dieter.luethi@hslu.ch , www.hslu.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	810000354 / SI/500836-01
BFE-Projektleiter	Rolf Moser
Dauer des Projekts (von – bis)	2012 - 2016
Datum	09.01.2013

ZUSAMMENFASSUNG

Die ersten Wohnungen des Baufeldes 2 der Überbauung Suurstoffi konnten Ende 2011 und Anfang 2012 bezogen werden. Das Gebäudetechniksystem wurde in diesem Zeitraum erfolgreich in Betrieb genommen werden. Seit Juli 2012 liefern die installierten Messsonden in automatisierter Form einen kontinuierlichen und umfassenden Einblick in die Funktionsweise der Gebäudetechnik. Aufgrund der durch die Wärme- und Elektrosonden des Baufeldes 2 registrierten Messwerte konnten verschiedene technische Mängel festgestellt und entsprechende Massnahmen ergriffen werden (z.B. Ersatz einer Wärmepumpe).

Der Vergleich der Messergebnisse des Sommerhalbjahres 2012 mit den vorgängig durchgeföhrten Simulationen lässt einerseits auf einen höher als erwarteten Energiebedarf der installierten Warmwasser-Begleitheizbänder schliessen. Andererseits konnte festgestellt werden, dass die Stromproduktion der Photovoltaikanlage ziemlich genau den Erwartungen entspricht. Eine dritte nennenswerte Erkenntnis ist der Wärmemindereintrag ins Erdreich. Dessen Ursache konnte basierend auf der erst kurzen Messdauer noch nicht exakt bestimmt werden. Die Unsicherheiten bzgl. der Nutzung der Kühlmöglichkeit der Räumlichkeiten sind dabei zu gross. Der Wärmeeintrag wird aufgrund dessen im Jahr 2013, in welchem auch das Baufeld 5 mit den Kälteintensiveren Nutzungen wie Dienstleistung und Gewerbe an das Anergienetz angeschlossen wird, verstärkt beobachtet, um ein langfristiges Auskühlen des Erdreiches frühzeitig zu erkennen.

Projektziele

Die Zug Estates AG plant und realisiert nördlich des Bahnhofs Rotkreuz eine Überbauung mit bis zu 2'500 Arbeitsplätzen und Wohnraum für bis zu 1'500 Bewohnern. Die Erstellung erfolgt in drei Etappen (Fig. 1):



FIG. 1: ETAPPIERUNG DER BAUPHASEN DER ÜBERBAUUNG SUURSTOFFI IN ROTKREUZ.

In Baufeld 5 sind zusätzlich zu den Nutzungen Büro und Wohnen, Gewerbegebäuden vorgesehen. Kindergarten, Schulen und ein Ärztezentrum runden den Nutzungsmix ab. Das Projekt zeichnet sich dadurch aus, als dass sowohl in ökologischen, sozialen als auch wirtschaftlichen Belangen massgebende Bestrebungen in Richtung eines nachhaltigen Bauprojektes angestellt wurden.

Mit dem Ziel des CO₂-freien Betriebes wurde für die Wärme- und Kälteversorgung (Wohnen, Büro und Gewerbe) eine thermische Arealvernetzung („Anergienetz“) in Kombination mit Erdwärmesonden errichtet. Der benötigte Strom wird mittels Photovoltaik auf dem Areal selbst erzeugt und bei Spitzenbedarf in Form von Labelstrom zugekauft.

Das Anergienetz basiert auf zwei alle Gebäude untereinander verbindenden „Wasserleitungen“. Eine Leitung mit höherer, eine mit tieferer Temperatur. Die „Warm“-Leitung dient als Wärmequelle mit vergleichsweise hoher Quelltemperatur für die in den einzelnen Gebäuden installierten Wärmepumpen, die „Kalt“-Leitung als „Kälte“-Quelle zum Kühlung der Gebäude mittels Freecooling (ohne Wärmepumpe). Das System erlaubt es, gleichzeitig ein Gebäude zu kühlen, während ein anderes beheizt wird.

Die in einem Zeitpunkt Null (z.B. Herbst) zu beheizenden Gebäude werden mittels der Leitung mit höheren Temperaturen über Wärmepumpen mit Wärme versorgt. Die Wärme produzierenden Gebäude (Büro-Nutzung, Gewerbe etc.) werden mit der Kälte der Kaltleitung gekühlt. Die dabei ans Netz abgegebene Wärme wird in die Warm-Leitung übergeführt und steht somit den zu beheizenden Gebäuden zur Verfügung.

Im Winter übersteigt der Heizenergiebedarf den Kühlenergiebedarf. Dann wird zusätzlich Wärme aus dem Erdreich bezogen und mit Wärmepumpen auf das gewünschte Temperaturniveau gebracht (Fig. 2 links). Im Sommer dominiert der Kühlenergiebedarf. Dann wird der Kreislauf umgedreht und Wärme ans Erdreich abgegeben (Fig. 2 rechts).

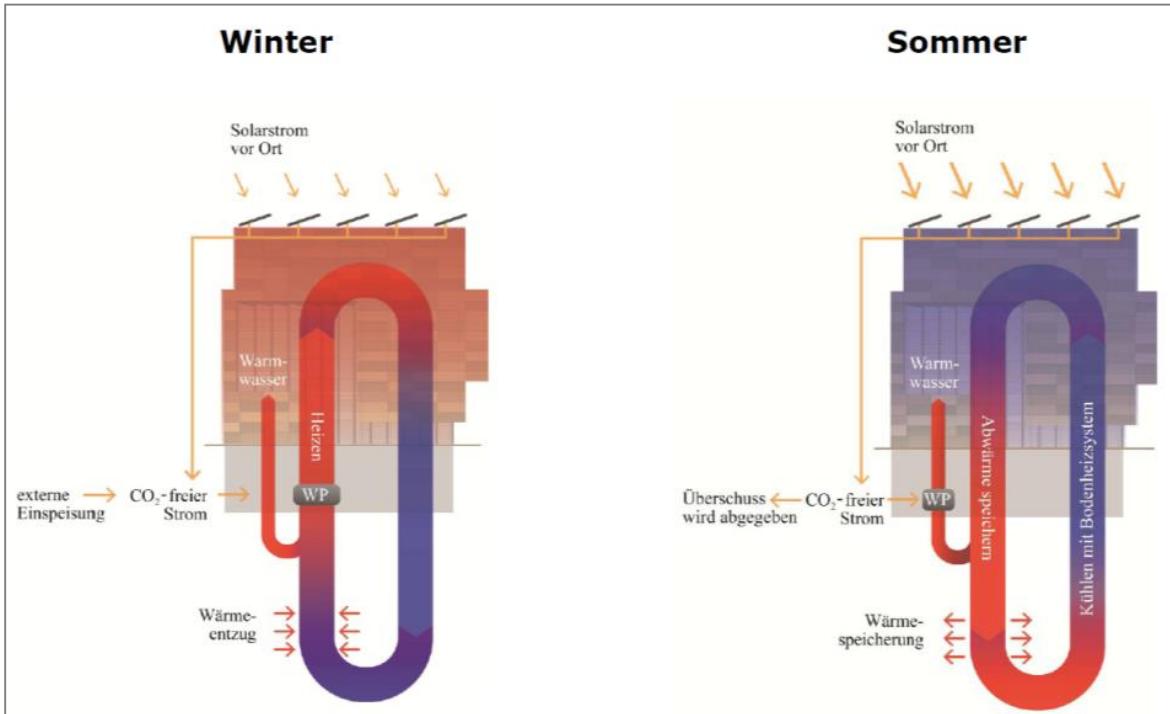


FIG. 2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES WÄRMEENTZUGES AUS DEM ERDREICH UND DER WÄRMEZUFUHR INS ERDREICH WÄHREND DES WINTERS BZW. WÄHREND DES SOMMERS.

Das Erdsondenfeld mit seinen 220 Sonden und das thermische Netz sind in ihrer Grösse und Komplexität neuartig. Die einzelnen Komponenten der Gebäudetechnik der bisher realisierten oder kurz vor Bauvollendung stehenden Baufelder 2 und 5 wurden durch die zuständige Planungsfirma, die Hans Abicht AG, mit Messsonden ausgerüstet, so dass die Funktionsweise des Heiz-, Kühl- und Warmwasserbereitstellungssystems analysiert werden kann.

Ziel dieses umfassenden Monitorings, also des Gesamtprojektes ist es, ...

- ... das Verhalten und die Funktionsweise des Anergienetzes in Kombination mit dem Erdsondenfeld zu überwachen;
- ... unvorhergesehene Temperaturveränderungen im Erdsondenfeld rechtzeitig zu erkennen;
- ... Optimierungspotential zur Steigerung der Energieeffizienz auszumachen und zu nutzen;
- ... Erfahrungen für die Planung und Dimensionierung von Erdsondenfeldern und Anergienetzen für künftige Projekte zu sammeln.

Im 2012 standen der Wohnungsbezug des Baufeldes 2 und die Inbetriebnahme des Gebäudetechniksystems im Vordergrund. Dies führte zu der Auslesung der ersten Messergebnisse, anhand welcher die Funktionsweise der Gebäudetechnikkomponenten überprüft werden sollten.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das Gebäudetechniksystem konnte mit Erfolg in Betrieb genommen werden. Die kontinuierlichen Messungen sind seit dem 1. Juli 2012 in Betrieb. Diese bringen zusammengefasst die folgenden Erkenntnisse zu Tage:

ENERGIEVERBRAUCH/-PRODUKTION

Der totale Stromverbrauch für den Betrieb des Baufeldes 2 (Heizen, Kühlen, Warmwasser) beläuft sich für die Messperiode vom 1. Juli 2012 bis zum 26. September 2012 auf 30'250 kWh. Dieser ergibt sich aus:

Umwälzpumpen: 2'400 kWh

Begleitheizbänder: 10'950 kWh

Wärmepumpen: 16'900 kWh.

80 % des durch die Wärmepumpen verbrauchten Stromes flossen in die Erwärmung des Brauchwarmwassers. Die restlichen 20 % dienten der Gewährleistung der Raumwärme. Letztere wird in Kapitel 5.3.3 im Detail diskutiert. Die Verteilung des Brauchwarmwasser- und Raumwärmeverbrauches auf die einzelnen Häuser des Baufeldes 2 ist in Fig. 3 ersichtlich.

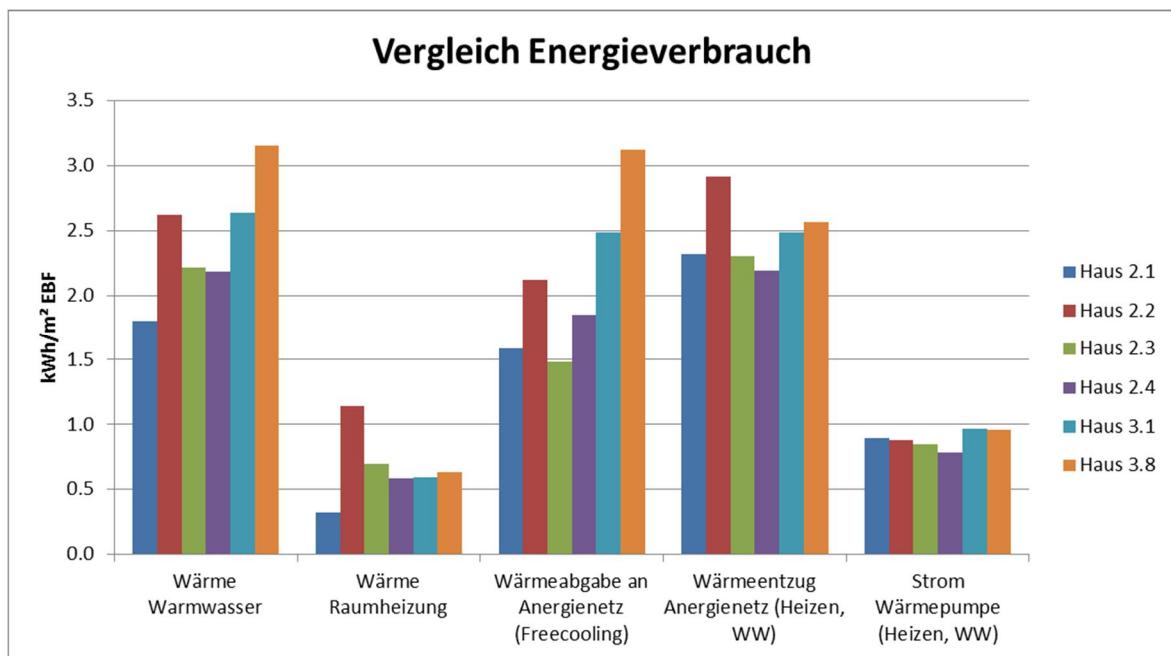


FIG. 3: VERTEILUNG DES WÄRMEVERBRAUCHES, DER KÄLTEPRODUKTION UND DES STROMVERBRAUCHES DURCH DIE WÄRMEPUMPE DER EINZELNEN GEBÄUDE DES BAUFELDES 2.

Dem Wärmeentzug aus dem Anergiennetz steht der Wärmeeintrag durch das Freecooling entgegen. Ersterer beläuft sich für die Messperiode auf 46'000 kWh, letzterer auf knapp 40'000 kWh. Dies lässt den folgenden ersten Schluss zu:

Während der Sommermonate (Juli bis September) wurde für die Erwärmung des Brauchwarmwassers und die Raumheizung mehr Wärme aus dem Erdsondenfeld entzogen als mittels Free-cooling abgegeben.

Die ungleichen Anteile der einzelnen Häuser am Wärmeverbrauch pro m² Energiebezugsfläche für Heizen und Warmwasser, sowie am Wärmeentzug aus bzw. Wärmeabgabe ans Anergiennetz ergeben sich unter anderem aufgrund...

- ... der unterschiedlichen Wohnungsgrößen der einzelnen Häuser;
- ... des unterschiedlichen Vermietungsstandes;
- ... der unterschiedlichen Quellentemperaturen aus dem Anergiennetz;
- ... der unterschiedlichen Anzahl Bewohner pro Wohnung.

Aus dem Verhältnis zwischen der Wärme für das Warmwasser und die Heizung und dem durch die Wärmepumpe verbrauchten Strom lässt sich für die Messperiode die Effizienz der Wärmepumpe bestimmen. Die eruierten COPs der Wärmepumpen der einzelnen Häuser sind in Fig. 4 aufgeführt.

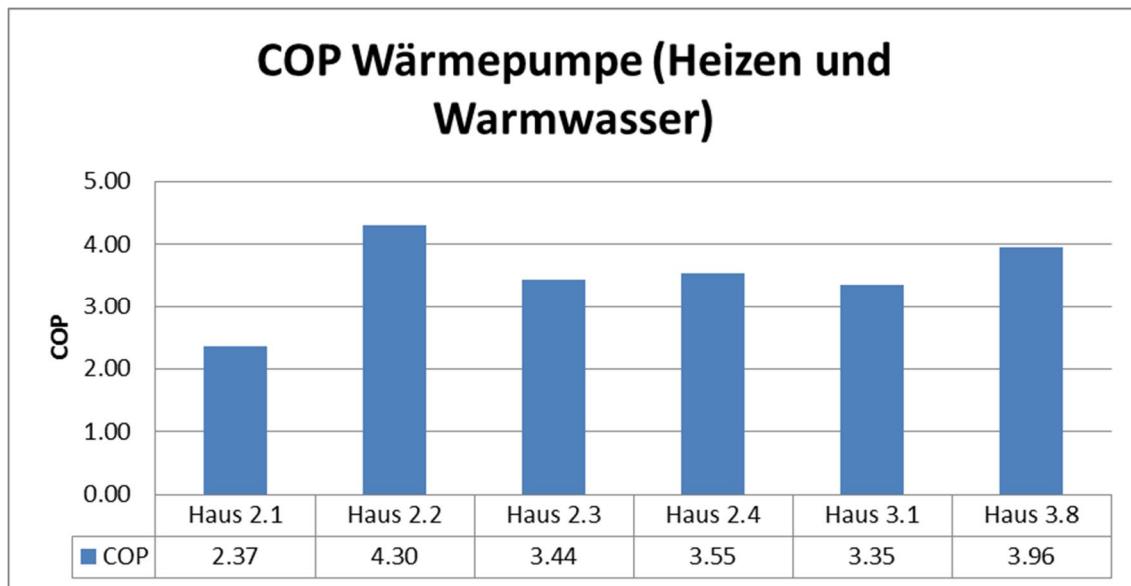


FIG. 4: COP DER WÄRMEPUMPEN FÜR HEIZEN UND WARMWASSER (OHNE KÜHLEN) WÄHREND DER MESSPERIODE ZWISCHEN 1. JULI UND 26. SEPTEMBER 2012.

Eine Beurteilung über die Güte der Anlage ist aufgrund der kurzen Messperiode noch nicht möglich. Der Vergleich der einzelnen Wärmepumpen untereinander erlaubt jedoch den Schluss:

Die Wärmepumpe des Hauses 2.1 verbraucht für die Bereitstellung des Warmwassers und der Raumwärme deutlich mehr Strom als die Wärmepumpen der anderen Gebäude.

Der Ursache des tiefen COP's des Hauses 2.1 wird während der nächsten Messperiode nachgegangen.

Dem Stromverbrauch von 30'250 kWh steht während der Messperiode vom 1. Juli 2012 bis zum 26. September 2012 eine Stromproduktion der Photovoltaikanlagen von 100'000 kWh gegenüber (160'000 kWh seit Inbetriebnahme am 17.4.12 bzw. 8.5.12).

VERGLEICH MESSUNGEN – SIMULATIONEN (ERWARTUNGEN)

Die vorgängig erarbeiteten Projektionen (2009) des voraussichtlichen Stromverbrauches des Baufeldes 2 beläuft sich für die Heizungs- und Warmwasserpumpen, Begleitheizbänder, Wärmepumpen und die Pumpen des Anergienetzes auf rund 170'000 kWh.

Der in dem untersuchten Quartal aufgelaufene Stromverbrauch von rund 30'000 kWh lässt somit eine Marge für einen höheren Strombedarf während der Wintermonate offen.

Stromproduktion

Bei der Auslegung der Photovoltaikanlage ging man von einer Stromproduktion von 120 kWh/m² Photovoltaikfläche aus, um den gesamten Betriebsenergiebedarf über die Jahresbilanz gerechnet zu decken.

Von der Inbetriebnahme der Anlagen am 17.4.12 bzw. 8.5.12 bis zum Ende der in diesem Bericht diskutierten Messperiode (26.9.12) konnten mit 74 kWh/m² 62 % der prognostizierten jährlichen Stromproduktion gewonnen werden.

Insofern die für die Projektionen getroffene Annahme, dass 2/3 der jährlichen Stromproduktion im Sommer und 1/3 im Winter anfallen, korrekt ist, entspricht das Ergebnis den Erwartungen.

Warmwasser

Für die Bereitstellung des Warmwassers ergibt die Auswertung des entsprechenden Wärmezählers für die Monate Juli, August und September einen Wärmeverbrauch von rund 45'000 kWh. Geht man davon aus, dass sich der Warmwasserverbrauch übers Jahr gesehen konstant verhält, so ergibt dies einen extrapolierten jährlichen Wärmeverbrauch von 180'000 kWh für das Baufeld 2.

Die vorgängig getroffenen Annahmen gingen von einem Wärmebedarf von 250'000 kWh aus. Der Unterschied von rund 70'000 kWh ist möglicherweise den während der Messperiode noch nicht vermieteten Wohnungen zuzuschreiben. Es ist davon auszugehen, dass sich der effektive Verbrauch dem prognostizierten Wärmebedarf bei 100% Auslastung der Mietwohnungen annähern wird.

Begleitheizbänder und Umwälzpumpen

Die Begleitheizbänder verursachen mit rund 11'000 kWh einen Drittel des gesamten, während der 3-monatigen Messperiode registrierten Stromverbrauches.

Zusammen mit den 2'400 kWh, welche durch die Heizungs-, Warmwasser- und Anergiepumpen verursacht werden, ergibt dies einen jährlichen Stromverbrauch von 42'600 kWh (Begleitheizbänder, Heizungs-, Warmwasser- und Anergiepumpen des Baufeldes 2). Es ist davon auszugehen, dass der Stromverbrauch während der Wintermonate noch deutlich höher ausfallen wird, als dies während der Messperiode der Fall war.

Der gemessene und extrapolierte Stromverbrauch von 42'600 kWh für die Begleitheizbänder und die Umwälzpumpen des Baufeldes 2 liegt folglich deutlich über den getroffenen Annahmen von 32'500 kWh pro Jahr.

Freecooling

Die Möglichkeit des Freecoolings wurde in den Wohnungen des Baufeldes 2 genutzt. Dies ist am Beispiel des Hauses 2.1 in der Fig. 5 ersichtlich.

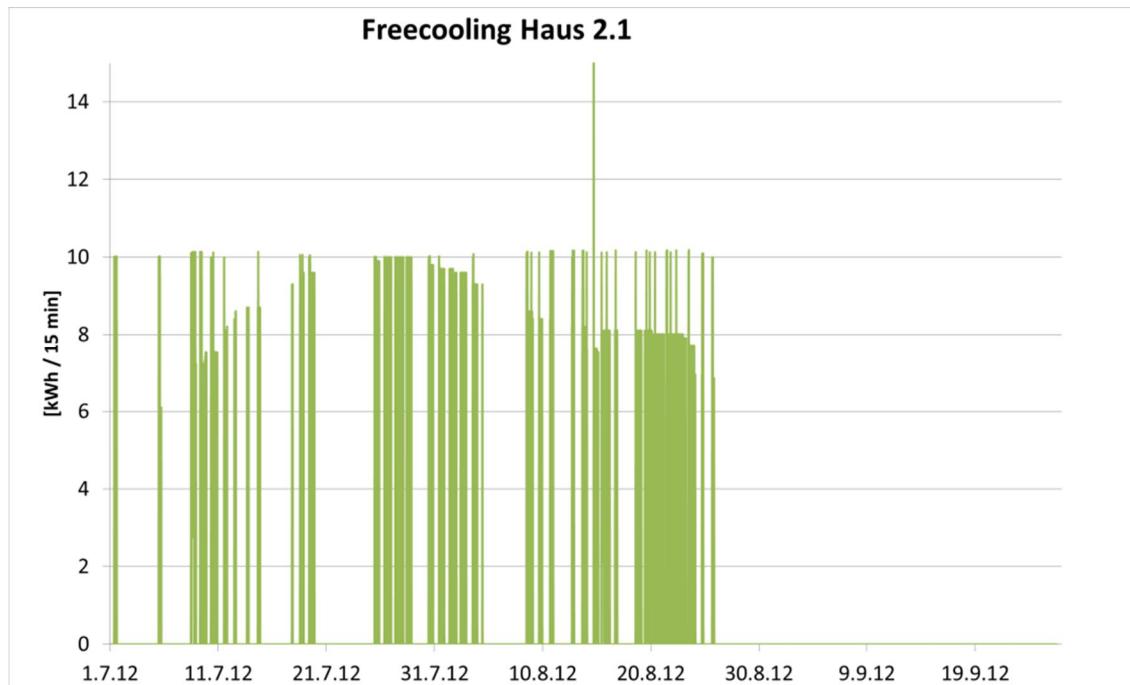


FIG. 5: NUTZUNG DES FREECOOLINGS IM HAUS 2.1 WÄHREND DER MONATE JULI, AUGUST UND SEPTEMBER. (DER AUSREISSER IST EINE FOLGE DER 15-MIN-MESSINTERVALLE UND ENTHÄLT KEINE TIEFERE BEDEUTUNG).

Die während Juli, August und September 2012 an das Anergiennetz abgegebene Wärme beläuft sich gemäss der Messungen auf 40'000 kWh. Geht man davon aus, dass bereits im Mai oder Juni gekühlt worden sein könnte (ausserhalb der Messperiode), so wird sich die jährliche Wärmeproduktion ca. um einen Faktor 1.5 erhöhen.

Die aufgrund der Messungen zu erwartende jährliche Wärmeabgabe ans Anergiennetz liegt mit 60'000 kWh deutlich unter den Ergebnissen der vorgängig durchgeföhrten Simulationen, welche eine Wärmeabgabe des Baufeldes 2 von 139'500 kWh vorausgesagt haben.

Ein Teil der deutlichen Unterschreitung der Erwartungen ist auf die noch nicht 100 prozentige Auslastung der Wohnungen zurückzuföhren. Ein anderer Teil lässt sich durch regelungstechnische Startschwierigkeiten erklären. Ein weiterer Teil kann durch die Baufeuchte verursacht sein. Das Austrocknen der noch neuen Bauteile bringt einen Kühleffekt mit sich, welcher einen Teil des Kühlenergiebedarfs aus dem Erdsondenfeld kompensiert. Ob diese möglichen Ursachen für die gesamte Wärmeabgabe verantwortlich sind, wird sich im Verlaufe des Sommers 2013 zeigen.

Es ist in der Folge nicht auszuschliessen, dass die Wärmeabgabe des Baufeldes 2 ans Anergiennetz in den Simulationen zu optimistisch angenommen wurde. Eine geringere Wärmeproduktion bei gleich bleibender Wärmeentnahme aus dem Anergiennetz führt über die Dauer zum Auskühlen des Erdsondenfeldes.

TECHNISCHE MASSNAHMEN

Bereits aufgrund der ersten kurzen Messphase konnten einige Erkenntnisse gewonnen und entsprechende technische Optimierungsmassnahmen mit der Hans Abicht AG, der Regelfirma und den Installationsfirmen diskutiert und eingeleitet werden.

Begleitheizbänder

Die Fig. 6 zeigt einen typischen Tagesverlauf der Begleitheizbänder des Hauses 2.1. Dabei ist ersichtlich, dass die Warmwassertemperatur in den Leitungen 2 und 3 auch während der Nacht hochgehalten werden. Inwiefern dies notwendig ist, wird abgeklärt und die Begleitheizbänder werden nach Möglichkeit während der Nacht ausgeschaltet.

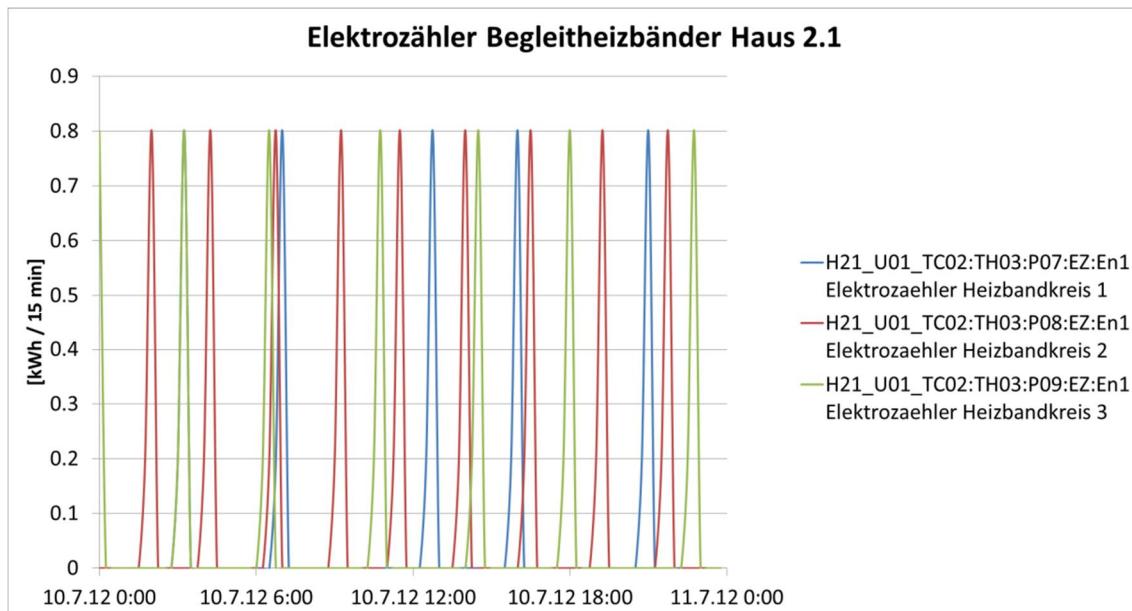


FIG. 6: TAGESVERLAUF DER BEGLEITHEIZBÄNDER DES HAUSES 2.1.

Wärmepumpe

Der Wochenverlauf der Einschaltzyklen der Wärmepumpen der Häuser 2.1, 2.3 und 2.4 ist in Fig. 7 dargestellt (erste Septemberwoche). Die Wärmepumpen der Häuser 2.2, 3.1 und 3.8 verhalten sich ähnlich wie diejenigen von Haus 2.3 und 2.4 und wurden übersichtshalber nicht in die Graphik mit einbezogen. Der Vergleich der drei Wärmepumpen zeigt, dass diejenige des Hauses 2.1 doppelt so oft eingeschaltet wird wie diejenigen der anderen Häuser. Die Anzahl Einschaltzyklen gilt es zur Optimierung der Lebensdauer einer Wärmepumpe möglichst zu reduzieren. Entsprechende Schritte werden bei der Wärmepumpe des Hauses 2.1 vorgenommen.

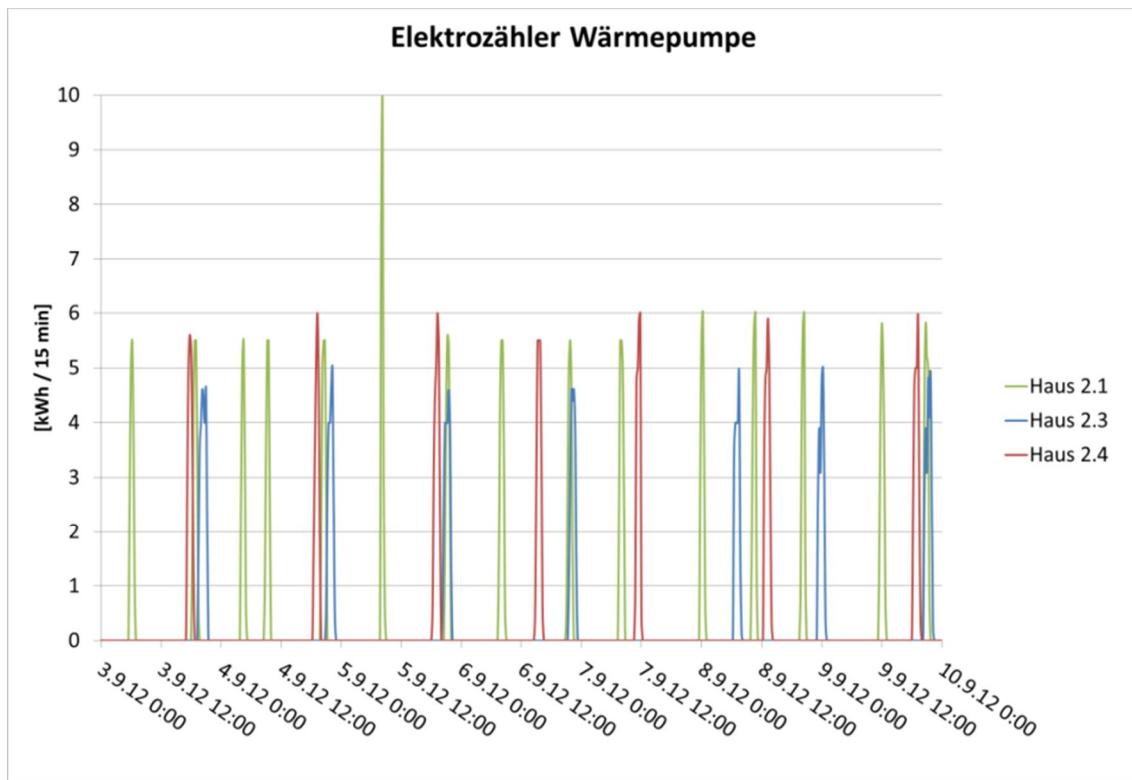


FIG. 7: WOCHENVERLAUF DER WÄRMEPUMPEN DER HÄUSER 2.1, 2.3 UND 2.4. DER DIE ANDEREN PEAKS ÜBERSCHREITENDE AUSREISSER AM 5.9. IST AUF DIE 15-MINUTEN MESSWERTE ZURÜCKZUFÜHREN UND HAT KEINE SPEZIELLE BEDEUTUNG.

Raumheizung

Die Wärmemessung auf der Seite des Kondensators, welcher für die Raumwärme verantwortlich ist, zeigt, dass während der gesamten Messperiode (Juli bis September) Energie verbraucht wird (Fig. 8). Dies ist in Anbetracht der Tatsache, dass es sich beim ausgewerteten Zeitraum um Sommermonate handelt, ungewöhnlich.

Mögliche Erklärungen sind...

- ... Auswirkungen der Warmwassererwärmung auf den Wärmezähler der Heizungswärme;
- ... Ladung des technischen Speichers.

Ersteres müsste durch eine Umorganisation der Wärmezähler behoben werden. Eine Erwärmung des technischen Speichers könnte während der Sommermonate ausgelassen werden. Entsprechende Vorkehrungen stehen in Vorbereitung.

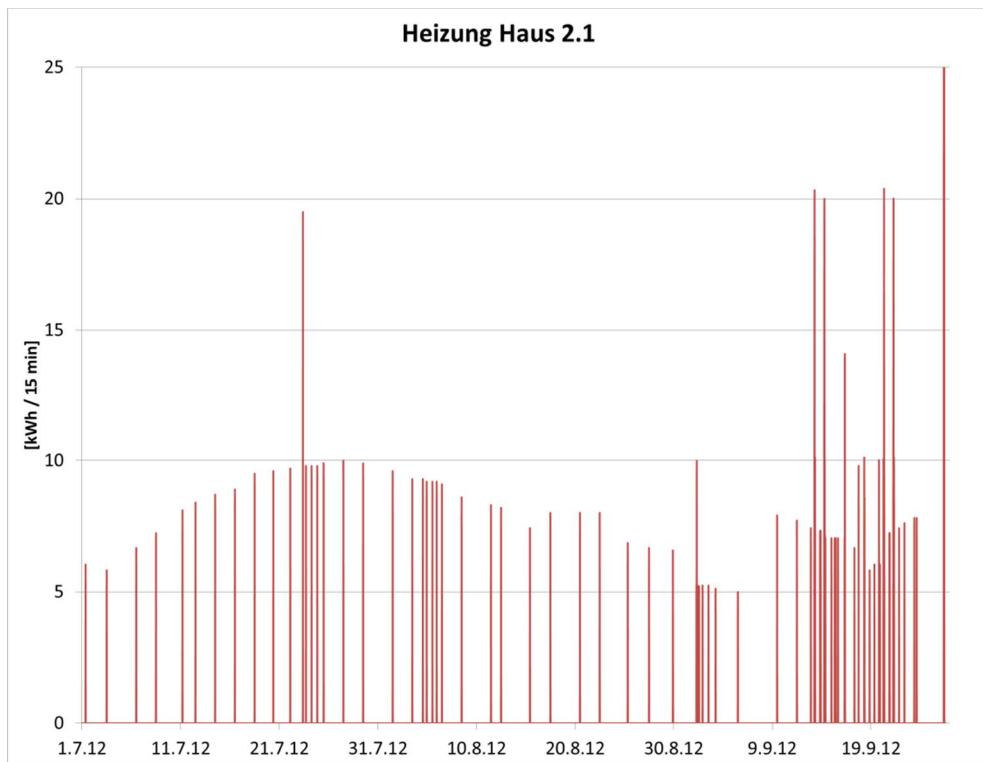


FIG. 8: ZEITLICHER VERLAUF DES WÄRMEVERBRAUCHES AUF DER RAUMWÄRME-KONDENSATORSEITE DER WÄRMEPUMPE. (DIE AUSREISSER SIND EINE FOLGE DER 15-MIN-MESSINTERVALLE UND ENTHALTEN KEINE TIEFERE BEDEUTUNG).

Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit zwischen der Zug Estates AG als Immobilienbewirtschafterin und Besitzerin, der Hans Abicht AG als Gebäudetechnikverantwortliche, der WWZ AG als Verantwortlicher im Bereich des Smartmeterings, der Bretscher Söhne AG als Verantwortlicher für die Datenauslesung und der HSLU als Forschungsinstitut für die Auswertung und Interpretation der Daten hat in der Startphase einwandfrei funktioniert. Es finden in Abständen von rund 3 Monaten Zwischenbesprechungen statt, an welchen die Messungen diskutiert, die Ergebnisse analysiert und entsprechende Massnahmen festgelegt werden.

Bewertung 2012 und Ausblick 2013

Das Erdsondenfeld und das Anergiennetz konnten gemeinsam mit dem Bezug des Baufeldes 2 in Betrieb genommen werden. Alle Messsonden rund ums Baufeld 2 konnten in Betrieb genommen und deren Datenauslesung automatisiert werden. Die ersten Ergebnisse zeigten, dass ein Wärmeentzug aus und eine Wärmeabgabe ans Erdreich stattfinden. Das Monitoring brachte einige Schwachstellen zum Vorschein (z.B. COP des Hauses 2.1), woraus erste Massnahmen abgeleitet werden konnten (z.B. Ersatz der Wärmepumpe). Der Vergleich der Messergebnisse mit den im Voraus durchgeföhrten Simulationen deutet auf einen geringeren Wärmeeintrag ins Erdreich hin, als dies erwartet wurde. Diese Situation wird im Jahr 2013 genauestens untersucht, um ein langfristiges Auskühlen des Erdreiches rechtzeitig zu erkennen.

Des Weiteren wird im Verlaufe dieses Jahres (2013) die Gebäude des Baufeldes 5 bezogen. Im Rahmen des Monitorings wird der Fokus auf der Analyse der Wärmeverteilung des Anergiennetzes liegen, dessen Rolle durch die neuen Nutzungen (Dienstleistung und Gewerbe) erst richtig zum Tragen kommt.