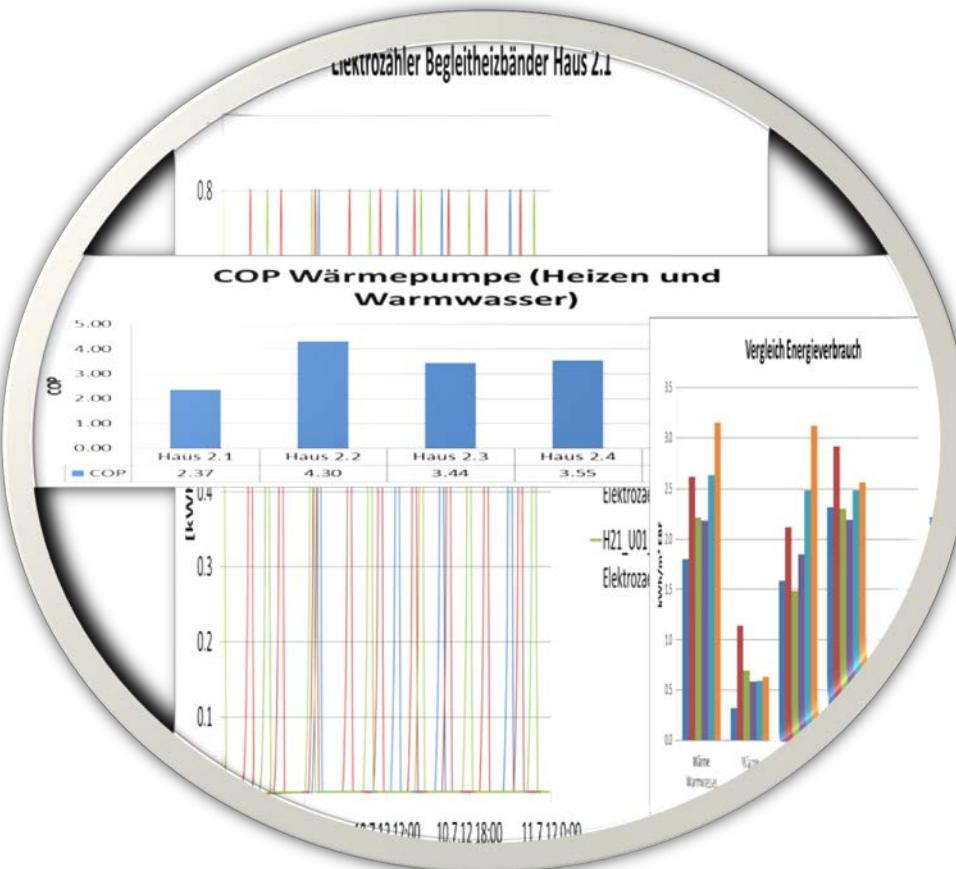




Schlussbericht vom 01.02.2017

Monitoring Suurstoffi

Auswertung Okt. 2013 – Sep. 2016





Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE LUZERN

FH Zentralschweiz

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Zug Estates AG, Industriestrasse 12, 6304 Zug

Auftragnehmer/in:

Hochschule Luzern (HSLU) – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Autor/in:

Nadège Vetterli, HSLU, nadege.vetterli@hslu.ch
Eveline Thaler, HSLU, eveline.thaler@hslu.ch
Matthias Sulzer, HSLU, matthias.sulzer@hslu.ch
Pascal Ryser, HSLU, pascal.ryser@hslu.ch

BFE-Bereichsleitung: Olivier Meile, olivier.meile@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/500836-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Kurzzusammenfassung

Über das Monitoring des Suurstoffi-Areals konnte ein fortschrittliches und innovatives Projekt im Bereich der thermischen Arealvernetzung von der Planung bis zum Betrieb über fünf Jahre begleitet und untersucht werden. Die Zug Estates AG realisiert nördlich des Bahnhofs Rotkreuz eine Überbauung für 1'500 Bewohner, ca. 2'000 Studierende und rund 2'500 Beschäftigte. Das Suurstoffi-Areal zeichnet sich durch einen möglichst CO₂-freien Betrieb mittels thermischer Arealvernetzung für Wärme und Kälte (Anergienetz) und Erdwärmesonden aus. Das Anergienetz wird ergänzt durch Solaranlagen (PV und PVT) und Naturstrom (Ökolabel des Stromanbieters).

Das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) der Hochschule Luzern wurde von der Bauherrschaft beauftragt, das Monitoring für dieses Projekt über fünf Jahre zu analysieren. Die Energieversorgung und die Gebäudetechnik wurden – mit Unterstützung des Bundesamts für Energie – bereits seit 2012 gemessen und ausgewertet. Die kompletten Energieflüsse (Wärme, Kälte) und typische System-Temperaturen sowie der aufgeschlüsselte Strombedarf nach Verbrauchsgruppen wurden an mehr als 300 Datenpunkten alle 15 Minuten gemessen, kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet. Aus diesen Messungen und aus begleitend durchgeföhrten Nutzerbefragungen können verschiedene Erkenntnisse zur betrieblichen und technischen Effizienz, zum Umgang mit der Energie und der Funktionalität der Gebäudetechnik (inklusive Nutzersicht) sowie zum Komfort gewonnen werden.

Basierend auf den Auswertungen werden seit Beginn entsprechende Massnahmen zur Betriebsoptimierung abgeleitet, umgesetzt und deren Wirkung wiederum untersucht. Durch die Auswertungen wurde Optimierungspotential bei der Hydraulik der Anergienetzpumpen und bei den Wärmepumpen erkannt und teilweise bereits realisiert. Die Analyse der thermischen Energiebilanz des Anergienetzes stellte sich als zentraler Aspekt für das langfristige Funktionieren des Gesamtsystems heraus. Aufgrund zu geringer Energieeinträge ins Anergienetz mussten als „Stützlösung“ zeitweise eine Pelletheizung und Elektroheizungen betrieben werden. Dieser Aspekt wurde in den weiteren Bauetappen durch die Einbindung von Hybrid-Solarkollektoren und einer reversiblen Luft-Wasser-Wärmepumpe berücksichtigt. Die Anpassungen wurden bereits realisiert und sollen das System robuster gegenüber Nutzungsänderungen und die thermische Energiebilanz ausgeglichenen machen. Diese Anpassungen konnten jedoch noch nicht überprüft werden. Das Monitoring des Suurstoffi-Areals hat den Projektteilnehmenden gezeigt, dass die professionelle Begleitung der Betriebsphase inkl. Monitoring und Auswertung eine zentrale Rolle für die Verbesserung der Energieeffizienz und die Reduktion des Performance Gap spielt.

Résumé

Grâce à un monitoring s'effectuant de la phase de planification jusqu'à l'exploitation, le quartier « Suurstoffi », et notamment son réseau thermique à basse température ou réseau « anergie », qui constitue une technologie innovante, a pu être analysé et optimisé. Le quartier du groupe immobilier Zug Estates AG, se situant au nord de la gare de Rotkreuz dans le Canton de Zug, devrait accueillir 1500 habitants, 2000 étudiants et 2500 employés pour une surface de près de 100'000 m². Le quartier se distingue par son exploitation quasi exempte de rejets de CO₂, son réseau à basse température, qui relie les bâtiments entre eux à des fins de chauffage et de refroidissement, et son stockage saisonnier fait de sondes géothermiques. Les pompes à chaleur et autres installations annexes fonctionnent majoritairement avec le courant solaire produit sur place, complété par du courant vert (label provenant du fournisseur d'électricité local).



Le Centre de Technologies Intégrées du Bâtiment (ZIG) de l'École d'Ingénieurs de Lucerne a été mandaté, avec l'aide financière de l'Office Fédérale de l'Énergie (OFEN), afin d'analyser les données du monitoring de Suurstoffi durant cinq ans. La consommation de chaleur et d'électricité de chaque installation et bâtiment, ainsi que la température du réseau, ont été mesurées depuis 2012, constituant au total plus de 300 points de mesures enregistrant un signal toutes les 15 minutes. Les mesures ont été vérifiées et analysées en continu, des questionnaires aux occupants ont complété l'analyse de l'efficacité et du bilan énergétique, de la fonctionnalité des technologies mises en œuvre et du confort.

Grâce à l'analyse régulière des données, des mesures d'optimisation énergétique ont pu être mises en œuvre et leurs effets ont pu être à nouveau vérifiés grâce au monitoring. Notamment, des mesures d'optimisation de l'hydraulique du réseau et des pompes à chaleur ont pu être recommandées et partiellement implémentées. L'établissement du bilan thermique du réseau fut essentiel pour s'assurer de son bon fonctionnement à long terme. En effet, le bilan thermique a permis d'identifier très tôt après la mise en service des premiers bâtiments que la régénération du stockage saisonnier ne pouvait pas être garantie en raison de la demande trop élevée en chauffage et les rejets trop faibles provenant du refroidissement (« performance gap »). De ce fait, des mesures provisoires ont dû être mises en œuvre, à savoir, l'installation d'un chauffage à pellets comme source de chaleur supplémentaire et des résistances électriques pour assurer la production d'eau chaude sanitaire. Ces observations ont permis par la suite d'intégrer des collecteurs solaires hybrides et d'une pompe à chaleur réversible durant la phase de planification des nouveaux bâtiments. La mise en service des collecteurs solaires en 2014 a déjà permis d'observer une stabilisation de la température du réseau. Les mesures des nouveaux bâtiments n'étant pas encore disponibles, un bilan thermique sur l'ensemble du quartier n'a pas pu être établi. Les membres du projet ont pu constater le rôle déterminant d'un monitoring pour assurer l'efficacité énergétique et réduire le « performance gap » de tels projets complexes et innovants, lesquels nécessitent un accompagnement par des professionnels, non seulement dans la phase de planification, mais surtout dans la phase d'exploitation.

Abstract

With the monitoring of the district "Suurstoffi", a progressive and innovative project in the field of low temperature heating and cooling network was conducted over five years including all phases from planning to operation. The company Zug Estates is developing a project north of the train station Rotkreuz for 1'500 residents, approximately 2'000 students, and around 2'500 employees. The district "Suurstoffi" is characterised by a nearly CO₂-neutral operation and a low temperature district network (in Switzerland called "Anergienetz") connecting buildings for heating and cooling and combined with a seasonal storage consisting of boreholes. The heat pumps and auxiliary equipment are provided with power by solar panels and "Naturstrom", eco-labelled electricity of the local supplier.

The Centre for Integrated Building Technologies (ZIG) of the Lucerne University for Applied Sciences (HSLU) was commissioned by Zug Estates to analyse the monitoring of this project over five years. The energy supply and the building technologies were measured and evaluated since 2012 with the support of the Swiss Federal Department for Energy (BFE). Each energy flow (heating and cooling) and typical system-temperatures, as well as the itemised power demands were recorded and continuously evaluated with more than 300 measuring points in 15 minute steps. This data and accompanying user surveys allowed numerous conclusions about operational and technical efficiency, handling of energy, functionality of building technologies (including the view of users), as well as thermal comfort.



Since completion, procedures for improvements were deviated from the evaluations of the monitoring data and later reviewed via further data analysis. Through the evaluations, potential in optimising the hydraulics of the network and the heat pumps was located and a part of the recommendations was already realised. Considerations of the thermal energy balance of the low temperature district network proved to play a central role for the long-term performance of the system. At early operation stage, the deficiency of regeneration of the seasonal storage due to the lack of thermal energy injection from freecooling and a bigger heat demand than expected ("performance gap") was identified. As interim solutions, a pellet boiler was taken in operation to inject thermal energy into the network and electric heating replaced heat pumps for the production of domestic hot water. This aspect was taken into consideration in further planning as hybrid solar panels and a reversible heat pump were considered as additional appliances. The adaption has already been realised and the stabilisation of the network temperature observed indicates that the system is now more robust and the thermal energy balance more even. A thermal energy balance over the whole district could not be surveyed because of the lack of monitoring data for the new buildings. The monitoring of the district "Suurstoffi" showed that professional supervision during planning and operation with an included monitoring and evaluation plays a central role for improvements in energy efficiency and the reduction of the "performance gap".



Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	3
Résumé.....	3
Abstract.....	4
1. Glossar	9
2. Abkürzungsverzeichnis.....	11
3. Zusammenfassung	13
4. Einleitung.....	16
4.1. Ausgangslage	16
4.2. Ziel des Projekts.....	16
4.3. Randbedingungen.....	17
4.4. Anlagenbeschrieb	18
4.5. Methode	21
5. Ergebnisse	22
5.1. Messdaten und Qualität der Messungen	22
5.1.1. Bilanz Messausfälle 2015 - 2016	22
5.1.2. Bilanz Messausfälle 2014 - 2015	23
5.1.3. Bilanz Messausfälle 2013 - 2014	23
5.1.4. Bilanz Messausfälle 2012 - 2013	23
5.1.5. Bilanz nach fünf Jahren Monitoring	23
5.2. Vergleich des Areals mit den Richtwerten der 2000-Watt-Gesellschaft	24
5.3. Thermische Energiebilanz und Temperaturmessungen der thermischen Arealvernetzung.....	27
5.3.1. Thermische Energiebilanz für die Baufelder 2 und 5.....	27
5.3.2. Thermische Energiebilanz des Gesamtareals	30
5.4. Energieeffizienz des Areals.....	32
5.4.1. Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen Baufeld 2 und 5	32
5.4.2. Wärmepumpen Baufeld 2	33
5.4.3. Wärmepumpen Baufeld 5	34
5.4.4. Jahresarbeitszahl Anergienetz.....	34
5.4.5. Gesamtenergieeffizienz	35
5.5. Gesamtstromverbrauch.....	37
5.5.1. Baufeld 2	38
5.5.2. Baufeld 5	39
5.5.3. Vergleich Baufeld 2 und 5	40
5.6. Betriebsstrom	41
5.6.1. Baufeld 2	41
5.6.2. Baufeld 5	42
5.6.3. Vergleich Baufeld 2 und 5	43



5.7. Umwälzpumpen	44
5.7.1. Baufeld 2	44
5.7.2. Baufeld 5	45
5.8. Nutzenergie	46
5.8.1. Wärmebedarf Baufeld 2	46
5.8.2. Wärmebedarf Baufeld 5	48
5.8.3. Kältebedarf	50
6. Nutzerbefragungen	53
6.1. Auswertung der Nutzerbefragung	53
6.2. Fazit der Nutzerbefragung	55
7. Schlussfolgerungen	56
7.1. Jahresauswertung 2016	56
7.2. Rückblick 2012-2016	57
8. Diskussion	59
8.1. Innovative Technologie in realem Umfeld eingesetzt	59
8.2. Projektkoordination	60
8.3. Kreislauf der Betrieboptimierung	60
8.4. Kreislauf der Nutzerinformation	61
8.5. Empfehlungen	61
9. Ausblick	63
10. Literaturverzeichnis	65
11. Anhang	66
11.1. Technische Details der Anlage	67
11.2. Messkonzept	68
11.3. Messstellen mit Unterbrüchen und Ausfällen 2015 - 2016	73
11.3.1. Messausfälle 2015 - 2016	73
11.3.2. Messunterbrüche 2015 - 2016	73
11.4. Zusammenfassung der Planungs- und Messdaten	78
11.5. Nutzerbefragung Sommer 2015	79
11.5.1. Situation	79
11.5.2. Benutzerverhalten	80
11.5.3. Gebäudetechnikanlagen	80
11.5.4. Fensterlüftung	82
11.5.5. Raumklima	82
11.5.6. Generelles	83
11.5.7. Fazit	83
11.6. Nutzerbefragung Winter 2015/2016	83
11.6.1. Situation	84
11.6.2. Benutzerverhalten	84



11.6.3. Gebäudetechnikanlagen	85
11.6.4. Fensterlüftung	86
11.6.5. Raumklima	86
11.6.6. Fazit Nutzerbefragung	87



1. Glossar

Begriff	Definition
2000-Watt-Gesellschaft	Jeder Person stehen im Jahr 2050 2000 Watt Dauerleistung auf Stufe nicht erneuerbare Primärenergie für Wohnen, Mobilität und Lebensunterhalt zur Verfügung (2150: 2000 Watt Dauerleistung auf Stufe Primärenergie). Gleichzeitig sollen die gesamten durch eine Person verursachten Treibhausgasemissionen bis 2050 auf 2 Tonnen und bis 2150 auf 1 Tonne CO ₂ reduziert werden.
Allgemeinstrom	Strom für allgemein genutzte Einrichtungen im Gebäude: Lift, öffentliche Beleuchtung, Garagenbeleuchtung, Garagenlüftung etc. (exkl. Betriebsstrom für Heizen und Warmwasser).
Anergienetz	Der Begriff ist nach thermodynamischen Grundsätzen nicht präzis definiert, hat sich aber in der Planungsbranche etabliert, um eine thermische Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau (< 18°C) zu beschreiben. Weitere Begriffe: kaltes Nahwärmenetz, thermische Vernetzung, kalte Fernwärme etc.
Anergiepumpe	Umwälzpumpe im Anergienetz (Wärme und Kälte).
Bedarf	Theoretisch berechnete oder simulierte Menge benötigter Energie oder benötigten Brennstoffes für einen bestimmten Vorgang (z.B. Heizwärmebedarf, Kühlenergiebedarf etc.).
Begleitheizbänder	Sind elektrische Heizbänder, die an Warmwasserleitungen angebracht sind, um das Abkühlen des Warmwassers in den Leitungen zu verhindern. Das Warmwasser steht dem Verbraucher jederzeit auf dem gewünschten Temperaturniveau zur Verfügung. Dies verhindert lange Wartezeiten, bis das Warmwasser an den Zapfstellen ankommt.
Betriebsstrom	Strom für den Betrieb der Gebäudetechnikanlagen. Im Falle des Suurstoffi bedeutet dies der Strom für die Wärmepumpen zum Heizen und für Warmwasser, Umwälzpumpen, Begleitheizbänder, Zirkulationswärmepumpen, Stützheizungen und Lüftungsanlagen, ausgenommen die dezentralen Wohnungslüftungen.
EMU-Zähler	Stromzähler der Firma Emu Electronic AG.
Endenergie	Energie, die dem Verbraucher zur Umwandlung in Nutzenergie zur Verfügung steht. Dazu zählen die auf das Grundstück gelieferte Energie und die am Standort gewonnene und genutzte Energie.
Energiebezugsfläche	Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. Diese Fläche ist in SIA 380 im Detail definiert. [7]



Erdwärmespeicher	Erdreich, das durch Erdwärmesonden als Wärmespeichermedium erschlossen wird.
Erneuerbare Primärenergie	Primärenergie, die aus einer Quelle gewonnen wird, welche durch deren Nutzung nicht erschöpft wird. Beispiele sind Sonnenenergie, Umweltwärme, Windenergie, hydraulische Energie und Biomasse. [5]
Freecooling	Freecooling ist eine Methode der Direktkühlung mit Hilfe eines Wärmeüberträgers, ohne dass eine Kältemaschine benötigt wird, auch als „freie Kühlung“ bezeichnet.
Gesamtstrom	Summe aus Allgemeinstrom, Mieterstrom und Betriebsstrom.
Graue Energie	Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, welche für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet. [5]
Heizgradtage	Heizgradtage (HGT 20/12) sind durch die mittlere Außentemperatur und die mittlere Raumtemperatur von 20°C definiert. Liegt die Tagesmitteltemperatur unter 12 °C, wird die Differenz zu 12°C für jeden Tag im betrachteten Zeitraum aufsummiert.
Hilfsenergie	Elektrische Energie, welche in gebäudetechnischen Systemen benötigt wird, um die Energietransformation zur Deckung des Nutzenergiebedarfs zu unterstützen [5]. Bei Suurstoffi sind dies Umwälzpumpen (inkl. Anergiepumpen), Begleitheizbänder, Zirkulationswärmepumpen und Stützheizungen.
Jahresarbeitszahl (JAZ)	Die Jahresarbeitszahl gibt das Verhältnis der abgegebenen Wärme zur aufgenommenen elektrischen Energie an. Im Unterschied zur Leistungszahl wird die JAZ mit Energien berechnet.
Kondensator	Ist eine von vier Hauptkomponenten einer Wärmepumpe. Im Kondensator wird Wärme an den Heizkreis oder das Warmwasser abgegeben, wobei das Kältemittel kondensiert.
Mieterstrom	Durch den Haushalt verursachter Stromverbrauch (Haushaltgeräte, Beleuchtung, dezentrale Wohnungslüftungen).
Naturstrom WWZ	Stromprodukt der WWZ, welches aus 75% regionaler Kleinwasserkraft und 25% regionalem Solarstrom besteht.
Nicht erneuerbare Primärenergie	Primärenergie, welche aus einer Quelle gewonnen wird, die durch die Nutzung erschöpft wird, z.B. Uran, Rohöl, Erdgas, Kohle. [5]
Nutzenergie	Energie, welche dem Verbraucher unmittelbar zur Verfügung steht, z.B. als Raumwärme, als dem Raum entzogene Wärme (Kühlung) oder als Warmwasser an der Entnahmestelle. [5]
Primärenergie	Form der Rohenergie, welche noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandlung und keinem Transport unterworfen



<p>worden ist, z.B. Rohöl, Erdgas, Uran oder Kohle in der Erde, Holz im Stand, Solarstrahlung, potenzielle Energie des Wassers, kinetische Energie des Windes. Primärenergie setzt sich zusammen aus erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie. [5]</p>	
Programm IDA ICE	IDA ICE ist eine Simulationssoftware der Firma EQUA Solutions AG für die thermische, dynamische Gebäudesimulation.
Reversible Wärmepumpe	Eine reversible Wärmepumpe kann sowohl zur Gewinnung von Heizenergie, als auch zur Gewinnung von Kühlenergie eingesetzt werden.
Stützheizung	Elektrische Heizung für die Erhitzung des Warmwassers.
Thermische Energiebilanz	Beschreibt die Summe aller thermischen Energieeinträge (eingetragene „Wärme“ z.B. aus dem Prozess des Freecooling von Gebäuden) gegenüber der Summe aller thermischen Energieentzüge (entzogene „Wärme“ z.B. aus dem Prozess der Warmwasserproduktion einer Wärmepumpe).
Thermische Vernetzung	Siehe Anergiennetz.
Treibhausgasemissionen (GWP)	Menge der Treibhausgase in kg oder t CO ₂ -Äquivalente (CO ₂ , Methan, Lachgas und weitere klimawirksame Gase), die als Folge des Primärenergieverbrauchs des Gebäudes in die Atmosphäre emittiert werden. [5]
Verbrauch	Mit „Verbrauch“ wird im Allgemeinen ein gemessener Wert bezeichnet.
Verdampfer	Ist eine von vier Hauptkomponenten einer Wärmepumpe. Im Verdampfer wird dem Anergiennetz Wärme entzogen. Das Kältemittel nimmt Wärme auf und verdampft.
Wärmezähler	Messgerät, welches die Temperaturdifferenz und die Durchflussmenge zur Berechnung des Wärmeverbrauchs (z.B. in MWh od. kWh) misst und aufsummiert.
Zirkulationswärmepumpe	Luft-Wasser-Wärmepumpe in der Gebäudezentrale des Baufeldes 5 zur Nachwärmung der Zirkulationsleitungen für das Warmwasser.

2. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Begriff
BF2, BF5	Baufeld 2, Baufeld 5
EBF	Energiebezugsfläche

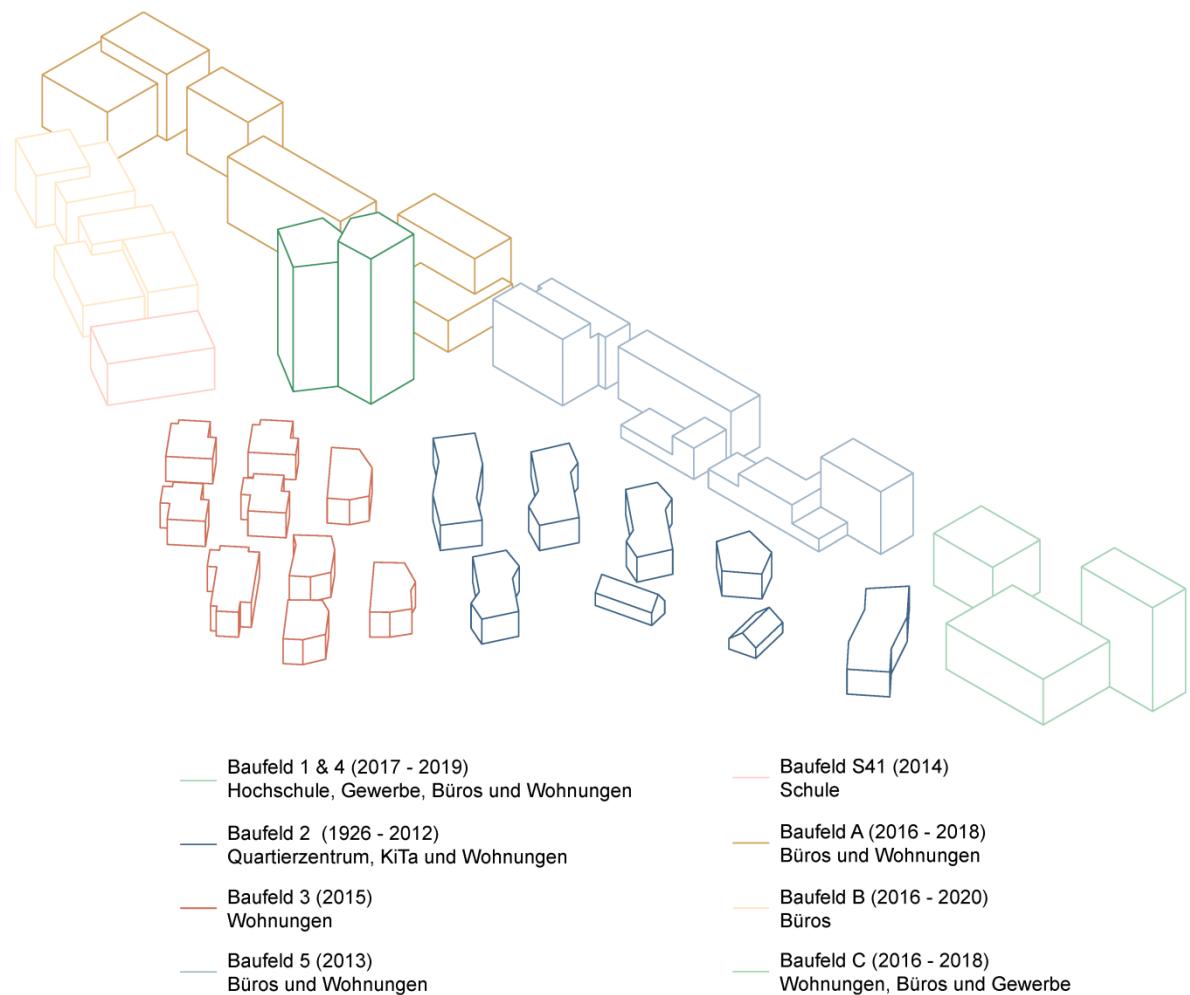


E	Strom
EWS	Erdwärmesonden
EZ	Elektrozähler
FBH	Fussbodenheizung
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotential)
Haus QT	Haus Quartiertreff
JAZ	Jahresarbeitszahl
KWL	Kontrollierte Wohnungslüftung
KZ	Kältezähler
PNE	Primärenergie nicht erneuerbar
PV/PVT	Photovoltaik/Photovoltaik mit thermischen Kollektoren
Q	Wärme
Q_h	Heizwärmebedarf mit Standardluftwechsel
$Q_{h,eff}$	Effektiver Heizwärmebedarf mit kontrollierter Wohnungslüftung
RW	Raumwärme
V'/A_E	Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom
WP	Wärmepumpe
WWZ	Wasserwerke Zug AG
WW	Warmwasser (über Wärmepumpen erzeugt)
WW*	Warmwasser (über Wärmepumpen oder Stützheizung erzeugt)
WZ	Wärmezähler

3. Zusammenfassung

Im Suurstoffi Areal entsteht eine neue Überbauung, die primär aus Wohnnutzung besteht und durch Verwaltung-, Gewerbe- und Schulnutzungen ergänzt wird. Das Suurstoffi-Areal ist seit 2012 im Betrieb und soll bis 2021 vollständig bebaut werden. Die Gebäude werden mit einem Leitungssystem und verschiedenen Erdwärmesondenfeldern verbunden. Die Gebäude sind „Prosumenten“, das heisst, dass sie gleichzeitig Wärme produzieren und konsumieren können. Im Winter wird der Raumheizungs- und Warmwasserbedarf durch dezentrale Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden gedeckt. Im Sommer wird über Wärmetauscher (Freecooling) gekühlt und die Abwärme wird genutzt, um den Erdwärmespeicher zu regenerieren. Die Abwärme von Hybridkollektoren wird ebenfalls in das thermische Netz eingespeist. Die Stromproduktion aus den PV- und PVT-Anlagen wird weitestgehend vor Ort für den Betrieb der haustechnischen und gemeinschaftlichen Anlagen genutzt.

Abbildung 1: Übersicht Überbauung Suurstoffi





Das Verbundsystem besteht aus zwei Leitern und wird wegen dem niedrigen Temperaturniveau auch Anergienetz genannt. Das Netz ist ungerichtet und als Mesh- und Ringsystem ausgeführt.

Suurstoffi Areal - Schema Anergienetz

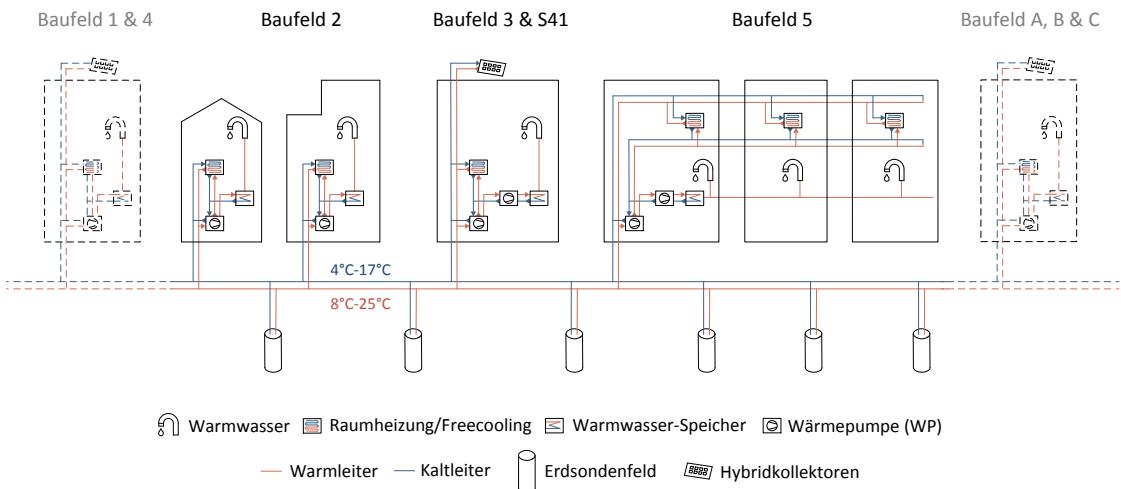


Abbildung 2: Funktionsschema Anergienetz.

An insgesamt 318 Messpunkten wurden seit 2013 über Elektro- und Wärmezähler die Stromverbräuche und Wärmeflüsse erfasst. Zudem wurden die Stromverbrauchsdaten der Wasserwerke Zug AG (WWZ) zur Auswertung hinzugezogen. Zur Übersicht über die unterschiedlichen Gebäude/Nutzungen der Baufelder 2 & 5, Nutz- und Endenergieverbräuche, Solarstromproduktion und Energiebezugsflächen sind in Tabelle 1 die Messdaten der letzten Messperiode vom 1. Oktober 2015 bis zum 30. September 2016 zusammengefasst.

Messdaten 1. Okt 2015 - 30. Sep. 2016	EBF [m ²]	Nutzenergieverbrauch gem. Leitsystem						Endenergieverbrauch gem. WWZ						Solarstrom- produktion [kWh/a]	
		Raumwärme [kWh/a]	Warmwasser [kWh/a]	Warmwasser [kWh/m ² a]	Kälte [kWh/a]	Kälte [kWh/m ² a]	Betriebsstrom [kWh/a]	Allgemeinstrom [kWh/a]	Allgemeinstrom [kWh/m ² a]	Mieterstrom [kWh/a]	Mieterstrom [kWh/m ² a]				
Haus 2.1	4'111	98'820	24.0	68'010	16.5	9'310	2.3	48'404	11.8	44'188	10.7	87'947	21.4	39'422	
Haus 2.2	1'747	78'050	44.7	39'451	22.6	6'813	3.9	32'138	18.4	25'529	14.6	35'285	20.2	22'722	
Haus 2.3	2'852	94'560	33.2	40'492	14.2	370	0.1	45'214	15.9	38'174	13.4	56'583	19.8	43'301	
Haus 2.4	3'212	97'717	30.4	40'255	12.5	13'050	4.1	39'857	12.4	76'963	24.0	59'467	18.5	43'938	
Haus 3.1	4'227	107'890	25.5	74'054	17.5	15'500	3.7	51'353	12.1	71'570	16.9	89'566	21.2	49'841	
Haus 3.8	2'822	89'860	31.8	42'418	15.0	10'880	3.9	37'770	13.4	25'964	9.2	50'494	17.9	51'237	
Haus KITA	367	19'722	53.8	0	0.0	0	0.0	4'436	12.1	0	0.0	7'298	19.9		
Haus QT	201	7'840	38.9	1	0.0	0	0.0	11'977	59.4	0	0.0	22'648	112.4		
BF 2 Total	19'539	594'459	30.4	304'681	15.6	55'923	2.9	271'149	13.9	282'388	14.5	409'288	20.9	250'461	
BF5 A Wohnen	7'562	194'160	25.7			60'940	8.1								
BF5 A Gewerbe+Fitness	2'125	33'930	16.0			30'700	14.4								
BF5 A Restaurant (Leerfläche)	358	18'021	50.3			1'990	5.6								
BF5 A Total	10'045	246'111	24.5			93'630	9.3							45'979	
BF5 B Wohnen	6'055	185'320	30.6			29'280	4.8								
BF5 B Gewerbe	1'470	22'290	15.2			17'002	11.6								
BF5 B Total	7'525	207'610	27.6			46'282	6.2							39'796	
BF5 C (Novartis)	9'679	289'354	29.9			315'966	32.6							5.3	
BF5 Total	27'249	743'075	27.3	367'107	13.5	455'878	16.7	588'237	21.6	247'257	9.1	920'071	33.8	161'482	
BF2 + 5 Total		46'788	1'337'534	28.6	671'788	14.4	511'801	10.9	859'386	18.4	529'645	11.3	1'329'359	28.4	61'354
														311'815	

Tabelle 1: Zusammenfassung der Messdaten zu Nutz- und Endenergieverbrauch, sowie Solarstromproduktion und Energiebezugsflächen der Baufelder 2 & 5 während der Messperiode vom 1. Okt. 2015 – 30. Sep. 2016.

Aus den Monitoring-Auswertungen der HSLU wurde ermittelt, dass knapp ein Drittel des Betriebsstroms mit der Stromproduktion gedeckt werden kann. Der restliche Anteil des Betriebsstroms sowie der Mieter- und der Allgemeinstrom wird aus dem regionalen Stromnetz bezogen. Der Anteil des Gesamtstromverbrauchs, welcher mit der Stromproduktion abgedeckt werden kann, liegt bei 11-13%. Unter der Annahme, dass 100% des aus dem Netz bezogenen Stromes (d.h. inkl. Mieterstrom) durch Naturstrom der WWZ abgedeckt wird, liegen die Treibhausgasemissionen und der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch deutlich unter den Richtwerten "Betrieb" des SIA-Effizienzpfades Energie (SIA 2040).

Da zu Beginn mehr Energieentzüge aus dem Anergienetz, als Energieeinträge in das Netz stattfanden, war die thermische Energiebilanz nicht ausgeglichen. Die Anergienetzentemperatur sank dadurch und es mussten von Dezember 2013 bis April 2015 Stützmassnahmen ergriffen werden (Pelletheizung und Stützheizungen für die Warmwassererzeugung).

Der sogenannte «Performance Gap» stellte eine zusätzliche Problematik dar. Besonders bei den Wohnbauten wichen die Messwerte stark von den Planungswerten ab. Der Nutzenergiebedarf für Warmwasser war zwar niedriger, der Bedarf für Raumwärme lag jedoch massiv höher als geplant. Mithilfe von Raumluftmessungen, thermischen Gebäudesimulationen und Nutzerbefragungen konnte der «Performance Gap» genauer untersucht werden. Es stellte sich heraus, dass die effektiven Raumlufttemperaturen über den geplanten Temperaturen lagen und viele Bewohner die Fenster auch in der Winterzeit trotz mechanischer Lüftung gekippt liessen, was die Wichtigkeit von gezielten Nutzerinformationen zeigt.

Als Optimierungsmassnahmen wurde der Betrieb bzgl. Hydraulik des Anergienetzes und der Wärmepumpen analysiert und verbessert. Zudem stellte sich die stetige Untersuchung der thermischen Energiebilanz und der Temperatur im Anergienetz als wichtiges Instrument heraus, um den langfristigen Betrieb des thermisch vernetzten Areals sicherzustellen. Damit kann garantiert werden, dass der Erdwärmespeicher weder unterkühlt, noch überhitzt.

Die Erkenntnisse aus den Messungen und Auswertungen dienten als Grundlage für die weiteren Bauetappen. Beim Planen der neuen Baufelder 3 und S41 wurde der «Performance Gap» berücksichtigt und ergänzend Hybridkollektoren integriert, welche zusätzliche Wärmeeinträge in das Anergienetz generieren können.

Als weitere Massnahme zur Steuerung der thermischen Energiebilanz des Anergienetzes, befindet sich momentan eine reversible Luft-Wasser-Wärmepumpe in Planung. Diese soll sowohl zur Erhöhung, als auch zur Reduktion der Temperatur im Anergienetz eingesetzt werden und somit eine langfristige Steuerung der thermischen Energiebilanz ermöglichen.



4. Einleitung

4.1. Ausgangslage

Im Suurstoffi-Areal in Rotkreuz wurde eines der ersten Anergienetze mit saisonalem Erdwärmespeicher der Schweiz gebaut. Im Kontext der Energiestrategie 2050 des Bundesrates entstand hier ein partnerschaftliches Projekt aus Wirtschaft und Forschung, an dem Erkenntnisse zur Funktionsweise des Anergienetzes gewonnen werden können. Von der Planung bis zum Betrieb fand eine Zusammenarbeit der Zug Estates AG mit der Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU) statt, welche vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt wurde.

Anergienetze sind dezentral organisierte Energiesysteme, bei denen Wärme zwischen mehreren Energielieferanten und Energiebezügern (i.d.R. Gebäuden) ausgetauscht werden. Im Idealfall gleichen sich so die Energieflüsse über das gesamte Netz aus. Für den erhöhten winterlichen Wärmebedarf können saisonale Speicher (wie z.B. Erdwärmespeicher) genutzt werden, so wie dies beim vorgestellten Projekt Suurstoffi der Fall ist. Ein ähnliches Anergiennetz wurde auf dem Areal Hönggerberg der ETH Zürich realisiert.

Für das Projekt Suurstoffi wurde im Jahr 2012 ein Monitoring von der Firma Bretscher Söhne AG eingerichtet. Die HSLU hat von der Zug Estates AG den Auftrag bekommen, die Auswertung der Monitoringdaten über mindestens fünf Jahren durchzuführen. Der vorliegende Bericht konzentriert sich auf die erste Bauetappe (Baufeld 2 und Baufeld 5) und vergleicht simulierte und berechnete Planungswerte mit gemessenen Werten von 2012 (für Baufeld 2) respektive 2013 (für Baufeld 5) bis 2016.

Neben der Auswertung der Messdaten wurde beim Suurstoffi-Areal auch eine Nutzerbefragung durchgeführt.

4.2. Ziel des Projekts

Das Monitoring des Suurstoffi-Areals stellt die Grundlage zur betrieblichen Optimierung des Areals dar. Durch die Betrachtung des Verhaltens des Anergienetzes und die Untersuchung der Energiebilanz sollen frühzeitig Optimierungspotential erkannt und entsprechende Massnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Energieeffizienz eingeleitet werden.

Zudem dienen die Erkenntnisse als Grundlage für die Planung weiterer Bauetappen. Annahmen für Berechnungen und Simulationen können überprüft und für die weitere Planung entsprechend angepasst werden. Damit soll das Gesamtsystem des thermisch vernetzten Areals verbessert und dessen langfristiges Funktionieren sichergestellt werden.

Als drittes Ziel sollen über Fortschritte in der Forschung an thermisch vernetzten Arealen Erkenntnisse gewonnen werden, welche für zukünftige Planungen ähnlicher Areale nützlich sind. Somit wird ein wichtiger Beitrag geleistet, um die Entwicklung von zentralisierten, unidirektionalen Energiesystemen hin zu dezentralen, bidirektionalen Energiesystemen voranzutreiben (siehe Abbildung 3), was im Rahmen des SCCER FEEB&D (Swiss Competence Center for Energy Research Future Energy Efficient Buildings & Districts) ein zentrales Ziel, um die Energiestrategie 2050 des Bundes zu unterstützen [5].

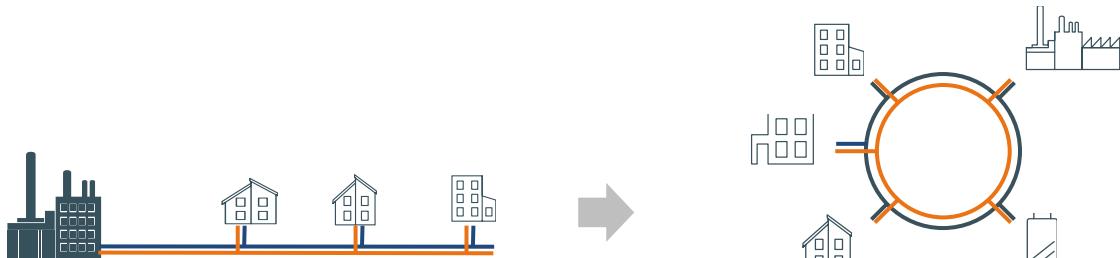


Abbildung 3: Entwicklung der thermischen Energieversorgung von zentralen und unidirektionalen Systemen (links) zu dezentralen und bidirektionalen Systemen (rechts), welche als Multi-Energy-Grids konzipiert werden können.

4.3. Randbedingungen

Für die Realisierung des Suurstoffi Monitorings brauchte es die Zusammenarbeit einer Reihe von Akteuren (siehe Tabelle 1). Die Zug Estates AG bekennt sich explizit zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung ihres Immobilienportfolios und stellt somit einen hervorragenden Partner in der Wirtschaft dar. Sie entwickelte und betreibt das Suurstoffi-Areal. Für die Planung der Gebäudetechnik des Areals wurde die Hans Abicht AG beauftragt. Später wurde der Planungsauftrag auf die Eicher + Pauli AG übergeben. Zur Erfassung der Messdaten wurde die Bretscher Söhne AG beauftragt. Die HSLU befasste sich mit der Erfassung, Überprüfung und Auswertung des Monitorings und leitete daraus Empfehlungen zur Betriebsoptimierung und zur weiteren Planung ab. Zusätzlich wurden Nutzerbefragungen durchgeführt, welche von der HSLU ausgewertet und in die Monitoringberichte eingebunden wurden.

Gebiet	Frühere Verantwortliche (bis 2015)	Neue Verantwortliche (ab 2015)
Hydraulik, HLK-Konzeption	Hans Abicht	Eicher + Pauli
Technische Koordination	Hans Abicht	Alfacel
PQM	N/A	HSLU und Alfacel
Energieauswertung	HSLU	HSLU
Betriebsoptimierung	Zug Estates	Eicher + Pauli und Zug Estates
Gebäudeautomation	Bretscher+Söhne	Leicom
Auftraggeber	N/A	Zug Estates

Tabelle 2: Projektorganisation.



4.4. Anlagenbeschrieb

Das Suurstoffi-Areal ist seit 2012 in Betrieb und soll bis 2020 vollständig bebaut werden. Die bestehenden Gebäude sind durch eine thermische Vernetzung miteinander verbunden und nutzen somit anfallende Abwärme auf dem Areal. Das Erdreich wird als saisonaler Erdwärmespeicher genutzt. Im Winter wird der Raumwärme- und Brauchwarmwasserbedarf durch dezentrale Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden gedeckt. Im Sommer wird über Wärmeüberträger (Free-cooling) gekühlt und die Abwärme genutzt, um den saisonalen Erdspeicher zu regenerieren. Die Stromproduktion aus den PV- und PVT-Anlagen wird möglichst vor Ort für den Betrieb der Anlagen verwendet. Überschüssige Wärme der PVT-Anlagen, die vor allem im Sommer anfällt, kann bei Bedarf ins thermische Netz eingespeist werden und ermöglicht dadurch einen flexiblen Ausgleich der thermischen Energiebilanz des Anergienetzes.

Die Netztopologie ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt. Das Anergienetz ist bidirektional und ungerichtet und besteht aus zwei Leitern. Im Warmleiter variert die Wassertemperatur zwischen 8 und 25 °C, im Kaltleiter zwischen 4 und 17°C. Weitere technische Details sind dem Anlagenbeschrieb im Anhang (siehe Kapitel 11.1) zu entnehmen.

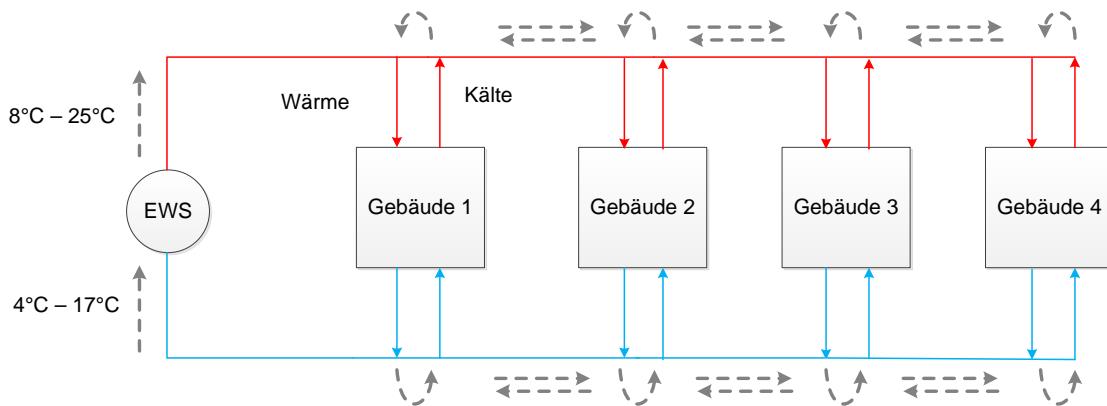


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Netztopologie des Suurstoffi-Areals.

Das Baufeld 2 wurde im Frühling 2012 fertiggestellt und ab Juli 2012 gemessen. Es umfasst sechs Wohnhäuser, einen Kindergarten (KITA) und ein weiteres Gebäude, das als Quartiertreff dient (QT). Im Baufeld 2 ist pro Haus eine dezentrale Wärmepumpe installiert, welche die Anergiwärme je nach Bedürfnis in Raumwärme und Warmwasser umwandelt. Auf den Dächern der sechs Wohnhäuser ist eine Photovoltaik-Anlage montiert (PV), welche den jährlichen Stromverbrauch für die Wärmepumpen und Hilfskomponenten (Pumpen, Begleitheizbänder usw.) möglichst vollständig abdecken soll. Die Gebäudekühlung läuft im Sommer mittels Freecooling über die Fußbodenheizung. Die Abwärme aus Freecooling wird anschliessend ins Anergienetz eingespeist.

Das Baufeld 5 wurde Anfang 2013 in Betrieb genommen. Es besteht aus drei Gebäuden, welche die Nutzungen Wohnen, Büro, Verkauf, Gewerbe und Fitness enthalten. Im Baufeld 5 erfolgt der Wärmeaustausch zwischen Anergienetz und Gebäuden zentral, in Haus B über eine Niedertemperaturwärmepumpe, welche die Anergiwärme auf 35°C für die Raumheizung umwandelt. Zusätzlich wird ein Teil der produzierten Wärme aus der Niedertemperaturwärmepumpe anschliessend durch eine Hochtemperaturwärmepumpe in Warmwasser (60°C) umgewandelt. Von Haus B wird die Wärme über Fernleitungen zu den Häusern A und C geleitet, welche selbst über keine Wärme-

pumpen verfügen. Im Baufeld 5 ist ebenfalls eine Photovoltaik-Anlage montiert, welche einen kleinen Anteil des Betriebsstromverbrauchs für die Wärmepumpen und Hilfskomponenten abdecken soll. Das Freecooling läuft über Fußbodenheizung und Luftkühlung, deren Abwärme werden ebenfalls ins Anergiennetz eingespeist.



Abbildung 5: Situation Suurstoffi Rotkreuz (Quelle Zug Estates Holding AG).

Baufeld 2 (blau), Baufeld 5 (rot), Baufeld 3 (grün).

- 1 Suurstoffi 7/11 bzw. KITA und QT (Baujahr 1926/2012)
- 2 Suurstoffi 3, 5, 9, 13, 15, 17, bzw. 2.1 - 2.4, 3.1 & 3.8 (Baujahr 2011/2012)
- 3 Suurstoffi 8, 10, 12 bzw. BF5 Haus A & BF5 Haus B (Baujahr 2013)
- 4 Suurstoffi 14 (Baujahr 2013), BF5 Haus C
- 5 Suurstoffi 19 - 35 bzw. BF3 (Baujahr 2015)
- 6 Suurstoffi 41 bzw. S41 (Baujahr 2014)
- 7 Suurstoffi 16 - 20 Mischnutzung (Baujahr voraussichtlich 2017)
- 8 Suurstoffi 22 Büronutzung (Baujahr voraussichtlich 2018)
- 9 Suurstoffi 37/39 Wohnturm (Baujahr voraussichtlich 2018)
- 10 Suurstoffi 2 - 6 HSLU Campus (Baujahr voraussichtlich 2019)
- 11 Suurstoffi 43 - 45 Büronutzung (Baujahr voraussichtlich 2020)



Für das Monitoring sind die Wohnhäuser (Gebäude 3 – 17 in Abbildung 5) des Baufeldes 2 mit folgender Nummerierung bezeichnet:

Hausnummer	Monitoring-Nr.	Energiebezugsfläche
Haus 3	Haus 2.1	4'111 m ²
Haus 5	Haus 2.2	1'747 m ²
Haus 9	Haus 2.3	2'852 m ²
Haus 13	Haus 2.4	3'212 m ²
Haus 15	Haus 3.1	4'227 m ²
Haus 17	Haus 3.8	2'822 m ²
Haus 7	Haus KITA	367 m ²
Haus 11	Haus QT	201 m ²
Total BF2		19'539 m²

Tabelle 3: Energiebezugsfläche der Häuser des Baufeldes 2.

Das Baufeld 5 besteht aus 3 Gebäuden (A, B und C), welche folgende Nutzungen enthalten:

Hausbezeichnung	Energiebezugsfläche
BF5 A Wohnen	7'562 m ²
BF5 A Verkauf	404 m ²
BF5 A Restaurant	358 m ²
BF5 A Sport	1'721 m ²
Total BF5 A	10'045 m²
BF5 B Wohnen	6'055 m ²
BF5 B Verkauf	1'470 m ²
Total BF5 B	7'525 m²
BF5 C (Novartis Büros)	9'679 m²
Total BF5	27'249 m²

Tabelle 4: Energiebezugsfläche der Gebäude und deren Nutzungen im Baufeld 5.

4.5. Methode

Die komplette Wärme, Kälte, typische Temperaturen und der differenzierte Stromverbrauch wurden mit 338 Datenpunkten alle 15 Minuten gemessen, kontinuierlich erfasst und ausgewertet. Eine detaillierte Beschreibung des Messkonzepts sowie die Messschemen für die Baufelder 2 und 5 sind im Anhang (siehe Kapitel 11.1) zu finden.

Es wurden Energiezähler der Firma EMU Electronic AG verwendet. Die Daten wurden von der Bretscher Söhne AG erfasst und in Microsoft Excel CSV-Files wöchentlich per E-Mail an die HSLU übermittelt. Anschliessend wurden die Dateien auf dem Server des Zentrums für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) der HSLU abgelegt. Die Messdaten wurden automatisiert im Programm MATLAB (Version R2016b) der Firma MathWorks eingelesen.

Mitarbeiter des ZIG führten wöchentlich eine Plausibilitätsprüfung der Messdaten durch. Bei Unregelmässigkeiten wurden die Projektverantwortlichen von Zug Estates, Hans Abicht / Eicher + Pauli sowie Bretscher Söhne informiert, mit dem Ziel, die vollständige Datenreihen wiederherzustellen.

Eine Auswertung der wichtigsten Zählerstellen (Wärmepumpen, Heizung, Freecooling, thermische Energiebilanz, JAZ, Anergienetztemperatur) wurde monatlich durchgeführt. Eine detaillierte Auswertung sämtlicher Messdaten wurde halbjährlich durchgeführt (jeweils für April – März bzw. Oktober – September).

Neben der Auswertung dieser Messdaten wurden von der HSLU analoge und digitale Nutzerbefragungen durchgeführt, ausgewertet und mit den Erkenntnissen aus der Messdatenanalyse verknüpft.

Durch den langen Betrachtungszeitraum konnten Planungswerte mit gemessenen Betriebswerten verglichen werden, sowie verschiedene Messperioden einander gegenübergestellt werden. Dies wurde genutzt, um Aussagen zur energetischen Entwicklung des Areals zu machen, Möglichkeiten der Betrieboptimierung aufzuzeigen, diese anschliessend zu überprüfen und schlussendlich Korrekturen der Planungswerte für die künftige Arealentwicklung vorzunehmen.



5. Ergebnisse

5.1. Messdaten und Qualität der Messungen

5.1.1. Bilanz Messausfälle 2015 - 2016

Die vorliegende Jahresauswertung basiert auf den Messdaten des arealeigenen Leitsystems und der WWZ AG (EVU) für die Periode vom 1. Oktober 2015 bis zum 30. September 2016. Die Datensätze des Leitsystems waren im Vergleich zur letzten Auswertungsperiode (1. Oktober 2014 – 30. September 2015) häufiger von Messunterbrüchen betroffen.

Die Unterbrüche betrafen fast alle Zählerstellen eines ganzen Hauses. Nach der Instandsetzung der betroffenen Zähler traten teilweise nach ein bis zwei Wochen bereits wieder Zählerausfälle auf. Dies deutet darauf hin, dass die Zählmittel entweder bereits an das Ende ihrer Lebensdauer gelangen oder suboptimale Produkte für die Zähler ausgewählt und installiert wurden.

Seit dem 2. September 2015 liefert nur noch einer von sieben Fühlern Daten zur Temperatur im Anergienetz. Dies könnte bei einem Ausfall des letzten Fühlers für das zukünftige Monitoring problematisch werden – insbesondere hinsichtlich der Wichtigkeit der Betrachtung der Temperatur und der thermischen Energiebilanz des Anergienetzes.

Im Baufeld 2 ist die Messung des Hauses QT seit dem 16. November 2015 komplett ausgefallen und konnte für die Auswertung nicht korrigiert werden. Der Stromverbrauch der Wärmepumpe in Haus QT konnte jedoch aus den WWZ-Daten rekonstruiert werden. Die Messung eines Begleitheizbandes in Haus 2.3 sowie die Messungen von drei Begleitheizbändern in Haus 3.8 sind ebenfalls ausgefallen und konnten nicht korrigiert werden.

Im Baufeld 2 mussten die Betrachtungsperioden von zwei Häusern (2.1 & 2.3) angepasst werden, damit eine Auswertung möglich wurde. Zudem waren die Zählerstellen von 14 Begleitheizbändern und fünf weiteren Zählern fehlerhaft und wurden korrigiert. Im Baufeld 5 waren mit fünf fehlerhaften Zählerstellen hingegen weniger Messunterbrüche und Korrekturen zu verzeichnen. Bei elf Zählerstellen wurde ein Mittelwert aus Vorjahresperioden verwendet. Bei weiteren sieben Zählerstellen wurden Messunterbrüche durch Interpolation korrigiert. Bei fünf Zählerstellen traten Probleme in der softwaretechnischen Verarbeitung der Messdaten auf, welche durch das direkte Ablesen aus den Excel-Dateien gelöst wurden. Bei einer Zählerstelle wurde der Wert aus den WWZ-Daten rekonstruiert. Eine detaillierte Auflistung der Messausfälle sowie der Messunterbrüche und vorgenommenen Korrekturen befindet sich im Anhang in Kapitel 11.3.

Insgesamt gab es zwischen dem 1. Oktober 2015 und dem 30. September 2016 viele Messunterbrüche. Kurz vor der Jahresauswertung lieferten einige problematische Zähler wieder aufsummierte Daten. Dies ermöglicht zwar fundierte Aussagen über den Betrachtungszeitraum des ganzen Jahres, lässt aber keine Aussagen über den dynamischen Verlauf innerhalb des Jahres zu.

Trotz der Häufigkeit der Messunterbrüche ist schliesslich die Datengrundlage für die Jahresauswertung 2016 (bis auf das Haus QT) brauchbar.

5.1.2. Bilanz Messausfälle 2014 - 2015

Die Messungen während der Periode von Oktober 2014 - September 2015 wiesen etwas mehr Stabilität auf, als während der Messperiode von Oktober 2013 - September 2014. Trotzdem waren viele Messstellen von Unterbrüchen betroffen. Insgesamt waren 58 von 338 Messstellen von Unterbrüchen betroffen. Von diesen 59 Messunterbrüchen konnten 45 korrigiert werden, während 14 Messunterbrüche nicht korrigiert werden konnten.

Aufgrund defekter EMU-Zähler waren bei 14 von 338 Messstellen keine Korrekturen möglich. Die Messausfälle betrafen jedoch weniger relevante Komponenten (wie Elektrozähler von Begleitheizbändern und Pumpen) und liessen dadurch trotzdem eine genügend genaue Auswertung zu. Daneben gab es eine Messstelle mit Softwareproblemen und vier Messstellen, bei denen insgesamt kein Verbrauch verzeichnet wurde, da die Räume entweder leer standen, oder über die Lüftung geheizt wurden.

Bei 45 Messstellen konnten die Daten durch Verschiebung der Messperiode oder Extrapolation genügend akkurat aufbereitet werden, um eine Auswertung vorzunehmen.

Eine detaillierte Auflistung der Messausfälle, sowie der Messunterbrüche und vorgenommenen Korrekturen, befindet sich im Jahresbericht 2015 im Anhang V [2].

5.1.3. Bilanz Messausfälle 2013 - 2014

In der Messperiode von Oktober 2013 – September 2014 waren gravierende Messausfälle zu verzeichnen, welche dementsprechend durch die teilweise Verwendung von Daten der WWZ kompensiert wurden.

Die Messung der Kompressorlast aus dem Leitsystem fiel für fünf von sechs Wohnhäuser des Baufeldes 2 teilweise aus. Nur eines (Haus 2.2) von sechs Häusern wurde über ein Jahr vollständig gemessen. Aus diesem Grund wurden die Messdaten der WWZ für die Auswertung der Wärme-pumpen verwendet.

Um den Erdspeicher zu entlasten wurde das Warmwasser im Baufeld 2 ab Dezember 2013 mit Notheizungen erwärmt. Während diesem Wechsel wurde keine Wärmemessung bei den Kondensatoren der Wärmepumpen für das Warmwasser durchgeführt, dafür wurde der Stromverbrauch der Notheizung gemessen. Diese Übergangszeit wurde nicht vollständig gemessen. Bei Haus 2.2 waren die Messdaten vollständig. Bei den Häusern 2.1, 2.3, 2.4, 3.1 und 3.8 waren die Messdaten der Warmwasseraufbereitung jedoch lückenhaft. Zudem waren bei den Häusern 2.3, 2.4, 3.1, 3.8 und Datenausfälle bei Begleitheizbändern und Umwälzpumpen zu verzeichnen. Bei Haus QT fiel die Messung des Stromverbrauchs der Lüftungsanlage zwischenzeitlich aus.

In Baufeld 5 wurde infolge des Wechsels auf die Notheizungen der Stromverbrauch für Verdampfer und Umwälzpumpe der Hochtemperatur-Wärmepumpe im November 2013 nicht gemessen.

Eine detaillierte Auflistung der Messausfälle, sowie der Messunterbrüche und vorgenommenen Korrekturen, befindet sich im Jahresbericht 2014 im Anhang X [3].

5.1.4. Bilanz Messausfälle 2012 - 2013

Mit Bezug auf die vorbereitenden Auswertungsarbeiten zum Jahresbericht 2013 [4] kann festgehalten werden, dass in der Messperiode von Okt. 2012 – Sep. 2013 nur bei einem Begleitheizband im Haus 2.3 ein Messausfall aufgrund eines defekten Zählers zu verzeichnen war.

5.1.5. Bilanz nach fünf Jahren Monitoring

Bei der Betrachtung der Messdaten und deren Qualität über die gesamte Auswertungszeit fällt auf, dass zwar jeweils zuverlässige und aussagekräftige Messdaten aufbereitet werden konnten, dass dies jedoch einen grossen personellen Aufwand, viel Koordinationsarbeit und einen hohen Grad an Softwareengineering brauchte.



Zu Beginn traten Betriebsänderungen und Messtechnikprobleme auf, welche häufig durch fehlende Kommunikation zu Problemen und Verwirrung bei der Auswertung führten. Als die Betriebsabläufe der Gebäudetechnik und der Messtechnik fertig eingestellt waren, traten häufige Störungen der EMU-Zähler auf, welche durch Fachpersonal der Bretscher Söhne AG behoben werden mussten. Schliesslich traten auch Probleme mit der Datenerfassung des Auswertungstools auf. Die daraus entstandenen Fehler mussten jeweils in aufwendiger Korrekturarbeit behoben werden.

Daraus lässt sich schliessen, dass aus der derzeitigen Kombination aus EMU-Zählern und Auswertungstool keine automatisch erfassten, stabilen Messdaten gewonnen werden können. Es müssen deswegen regelmässig Kontrollen durchgeführt werden, um die erkannten Probleme rechtzeitig lösen zu können. Dies ist sehr zeitintensiv und ressourcenaufwändig beim Auswertungspersonal der HSLU sowie dem Unterhaltpersonal der Firma Bretscher Söhne AG.

Neben den Kontrollen ergab auch die Überprüfung und Rekonstruktion der Messdaten für die Jahresauswertung einen grossen personellen Aufwand.

5.2. Vergleich des Areals mit den Richtwerten der 2000-Watt-Gesellschaft

Für den Vergleich des Suurstoffi-Areals mit den Richtwerten der 2000-Watt-Gesellschaft gemäss SIA Effizienzpfad 2040 [5] wurden die Treibhausgasemissionen sowie die nicht erneuerbare Primärenergie berechnet. Die Faktoren für die Treibhausgasemissionen und die nicht erneuerbare Primärenergie sind für die drei Auswertungsperioden von Oktober 2013 – September 2016 in Tabelle 5 dargestellt.

	2012	2013	2014	2015	2016	Periode Okt. 2013 – Sep. 2014	Periode Okt. 2014 – Sep. 2015	Periode Okt. 2015 – Sep. 2016
Stromtyp	Normal	Natur-strom	Natur-strom	Natur-strom	Natur-strom	Berech-net	Berech-net	Berech-net
Wasser-kraft	75.0%	90.1%	75.0%	70.0%	71.4%	86%	74%	70.4%
PV		7.6%	22.0%	26.0%	25.1%	11%	23%	25.8%
Kernkraft	25.0%							
KEV-gefördter Strom		2.4%	3.0%	4.0%	3.5%	3%	3%	3.9%
PNE [kWh/kWh]	1.048	0.067	0.115	0.129	0.126	0.079	0.119	0.128
GWP [kg/kWh]	0.015	0.023	0.036	0.040	0.039	0.026	0.037	0.040

Tabelle 5: Berechnung der Faktoren für die Treibhausgasemissionen (GWP) und die nicht erneuerbare Primärenergie (PNE) für die unterschiedlichen Auswertungsperioden (siehe www.wwz.ch).

Die Baufelder 2 und 5 des Suurstoffi-Areals bestehen hauptsächlich aus den Nutzungen Wohnen, Büro und Gewerbe. Die relativ neuen Grundlagen zur 2000-Watt-Gesellschaft, welche in der SIA 2040 [5] publiziert werden, geben einzig Richtwerte für den Betrieb der Nutzungen Wohnen, Büro und Schule vor. Um einen Vergleich mit diesen Richtwerten zu ermöglichen, wurden die Flächen der Baufelder 2 und 5 auf die Nutzungen Wohnen (32'600 m²) und Büro (restliche Flächen; 14'200 m²) aufgeteilt (Tabelle 6):

Spezifische Richtwerte Betrieb gemäss SIA 2040 [5]	Nutzung Wohnen	Nutzung Büro / Gewerbe	(Wohnen und Büro) für die Baufelder 2 und 5
Fläche [m ²]	32'588	14'200	46'788
Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/m ²]	55.6	83.3	64.0
Treibhausgasemissionen [kg/m ²]	2.5	4.0	3.0

Tabelle 6: Richtwerte für den Betrieb der Baufelder 2 und 5 (flächengewichtet nach den Nutzungen Wohnen und Büro gemäss SIA 2040 [5]) bezogen auf ein Jahr.

Für die vorliegende Bilanz wurde die provisorische Pelletheizung, welche im Dezember 2013 in Betrieb genommen wurde, berücksichtigt. Diese Heizung wurde im April 2015 ausgeschaltet und es fand seitdem kein thermischer Eintrag aus der Pelletheizung in die Arealvernetzung statt (bis Oktober 2016). In der folgenden Tabelle ist der gerechnete Jahresverbrauch der Pelletheizung für die zwei Auswertungsperioden (Oktober 2013 – September 2014 und Oktober 2014 – September 2015) aufgeführt.

Jahresverbrauch Pelletheizung	Total Kessel 1-3 [MWh]	Treibhausgasemissionen (THG)	Nicht erneuerbare Primärenergie (PNE)
16.12.2013 - 29.09.2014	642.3	0.494 kg/m ²	2.883 kWh/m ²
29.09.2014 - 02.04.2015	531.1	0.409 kg/m ²	2.384 kWh/m ²

Tabelle 7: Gerechneter Verbrauch der Pelletheizung für die Auswertungsperioden Oktober 2013 – September 2014 und Oktober 2014 – September 2015.

In Abbildung 6 werden für die drei Auswertungsperioden von Oktober 2013 bis September 2016 die gesamten Treibhausgasemissionen und in Abbildung 7 der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch der Baufelder 2 und 5 den Richtwerten gemäss SIA 2040 [5] gegenübergestellt. Unter der Annahme, dass 100% des aus dem Netz bezogenen Stromes (d.h. inkl. Mieterstrom) durch Naturstrom der WWZ abgedeckt wird, liegen die Treibhausgasemissionen und der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch deutlich unter den Richtwerten “Betrieb” der 2000-Watt-Gesellschaft. In der Tabelle 8 sind die verschiedenen Stromangebote der WWZ und deren Primärenergiefaktoren sowie Treibhausgasemissionen aufgeführt.

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen neben den Berechnungen für 100% Naturstrombezug seitens der Mieter (ausgefüllte Flächen) auch die Berechnungen für einen Strommix aus 50% Naturstrom und 50% GrauStrom (schräffierte Flächen). Es wird ersichtlich, dass die individuelle Wahl des Strommixes seitens der Mieter die Treibhausgasemissionen und den Verbrauch nicht erneuerbarer Primärenergie erheblich beeinflusst. Zwar werden über den höheren Anteil an Kernenergie beim



GrauStrom etwas weniger Treibhausgasemissionen verursacht, der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch steigt aber entscheidend und liegt mit einem Mieterstrommix aus 50% Naturstrom und 50% Graustrom nur noch knapp unter den Richtwerten Betrieb gemäss SIA 2040 [5].

	GrauStrom WWZ (Durchschnitt 2013-2016)	Naturstrom WWZ (Durchschnitt 2013-2016)
Kernkraft	97%	0%
Erneuerbare Energien	3%	100%
Primärenergiefaktor [kWh/kWh]	3.952	0.109
Treibhausgasemissionen [kg/kWh]	0.020	0.034

Tabelle 8: Nicht erneuerbare Primärenergie- und Treibhausgasemissionsfaktoren für GrauStrom und Naturstrom der WWZ.

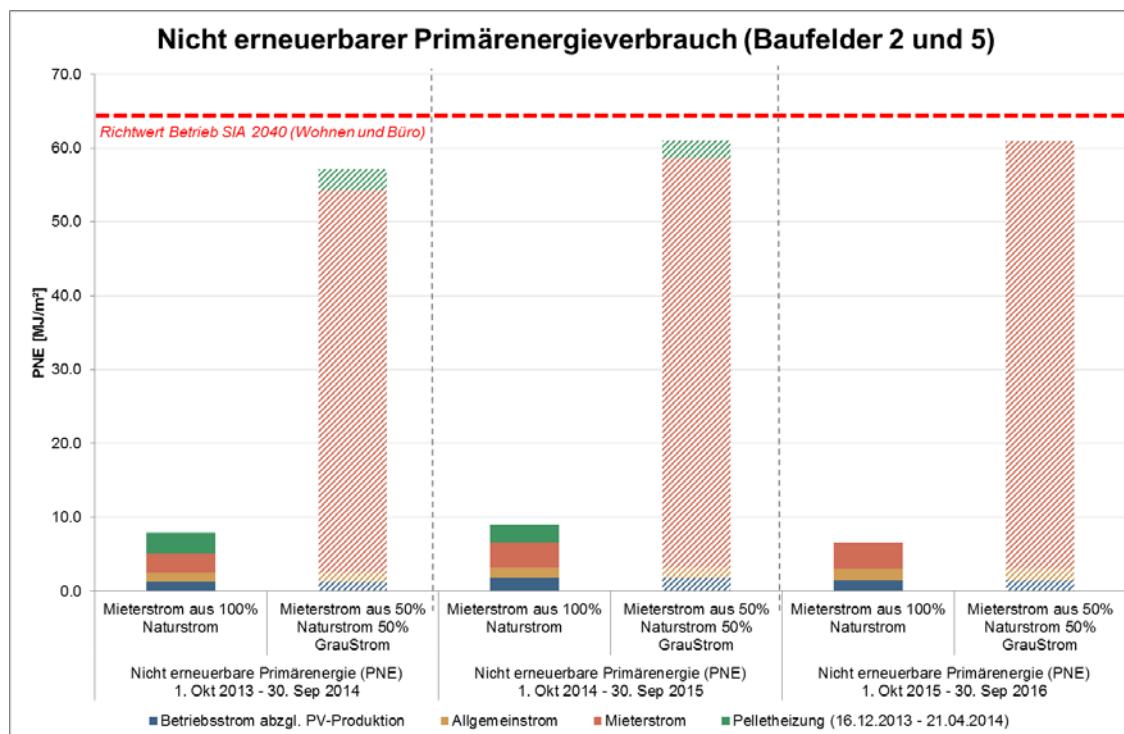


Abbildung 6: Nicht erneuerbare Primärenergie für den Betrieb Okt. 2013 – Sep. 2016 der Baufelder 2 und 5, Vergleich mit den Richtwerten der 2000-Watt-Gesellschaft gem. SIA 2040 [5].

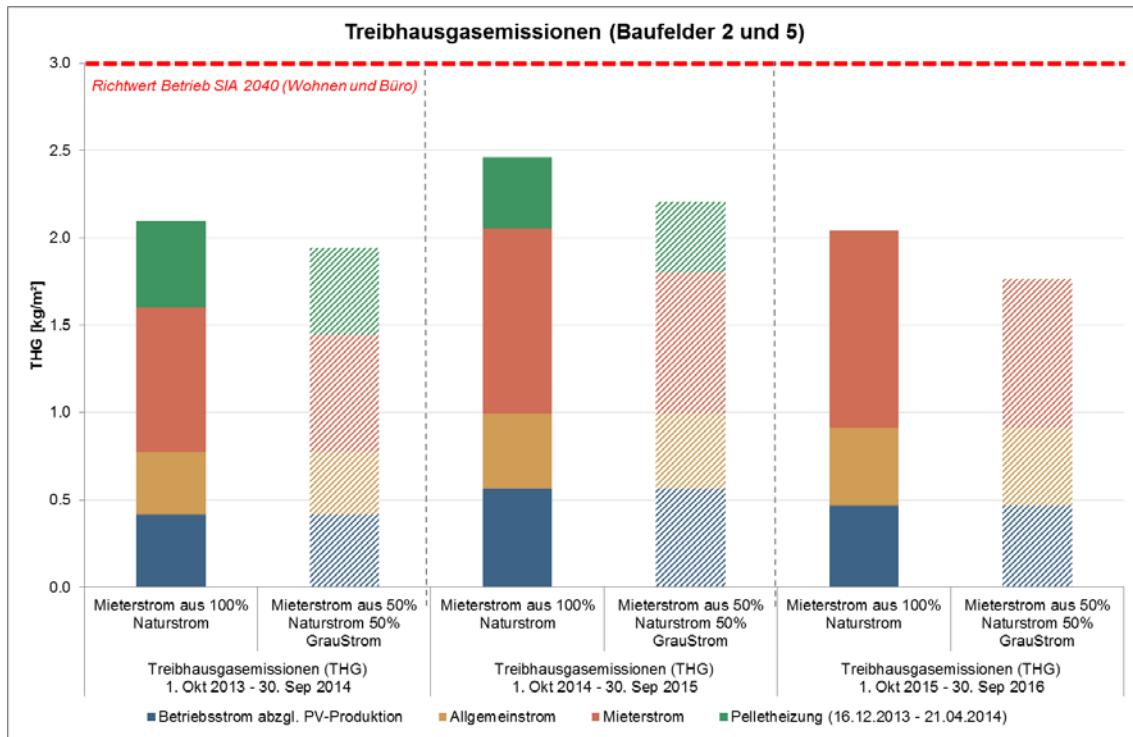


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen für den Betrieb Okt. 2013 – Sep. 2016 der Baufelder 2 und 5, Vergleich mit den Richtwerten der 2000-Watt-Gesellschaft gem. SIA 2040 [5].

5.3. Thermische Energiebilanz und Temperaturmessungen der thermischen Arealvernetzung

5.3.1. Thermische Energiebilanz für die Baufelder 2 und 5

In Abbildung 8 und Tabelle 9 ist die thermische Energiebilanz der thermischen Arealvernetzung für die Baufelder 2 und 5 über die letzten drei Jahre ersichtlich (Oktober 2013 – September 2016). Die Wärmeabgabe an das Anergiennetz durch das Freecooling in den Baufeldern 2 und 5 ist positiv dargestellt, die Wärmeentnahme aus dem Anergiennetz für die Wärmpumpen hingegen negativ. Die Bilanz zwischen der Wärmeabgabe und dem Wärmeentzug ist anhand der roten Kurve ersichtlich. Für die Periode von Oktober 2013 – September 2014 war die thermische Bilanz negativ, das Wärmedefizit betrug ca. 1.05 GWh. In der Periode von Oktober 2014 – September hat das Wärmedefizit abgenommen, betrug jedoch immer noch 0.88 GWh. Für die neueste Messperiode von Oktober 2015 bis September 2016 bewegt sich das Wärmedefizit mit 0.91 GWh auf einem ähnlichen Niveau wie im Vorjahr.

Diese Entwicklung wird nachvollziehbar, wenn der Nutzenergiebedarf über ein Jahr betrachtet wird (siehe Abbildung 12). Die Wärmeentnahmen (Heizung & Warmwasser) müssten ungefähr in der gleichen Größenordnung erfüllen wie die Wärmeabgaben (Kühlen). Solange dies nicht der Fall ist, resultiert ein Wärmedefizit.

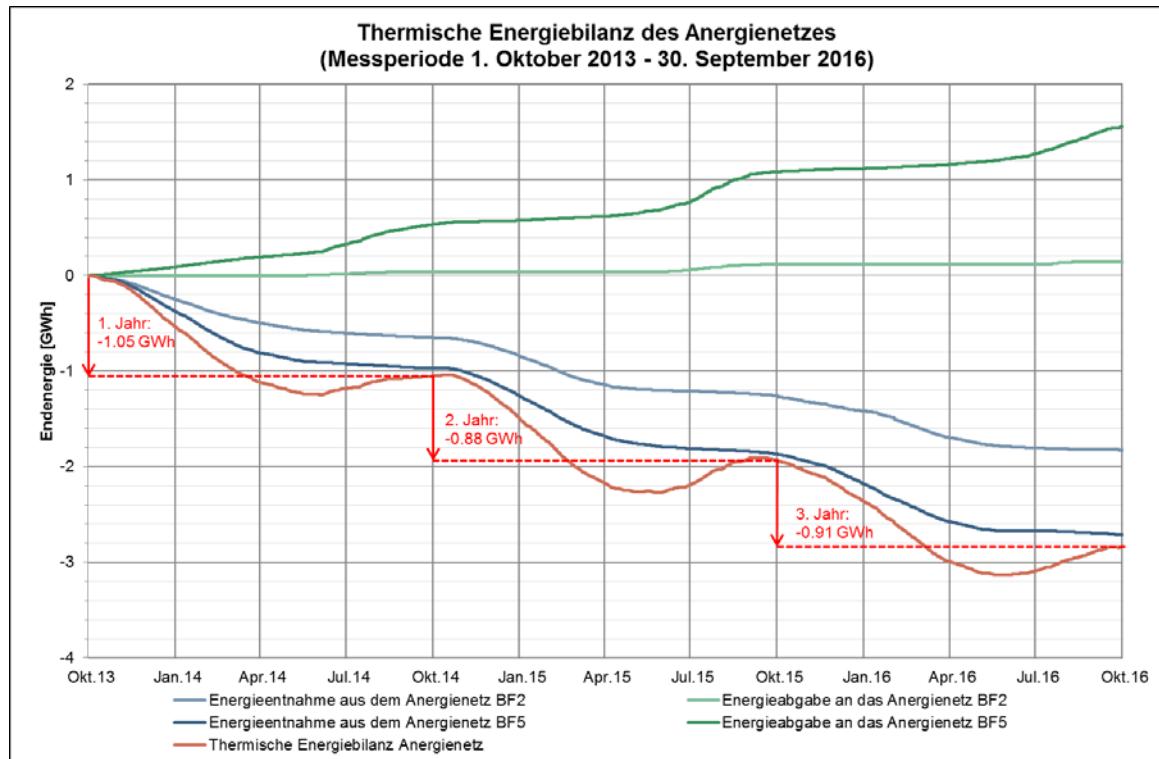


Abbildung 8: Thermische Energiebilanz des Anergienetzes für die Baufelder 2 und 5 über drei Jahre.

Auswertungsperiode	Oktober 2013 – September 2014			Oktober 2014 – September 2015			Oktober 2015 – September 2016		
Baufeld	BF2	BF5	BF2 + BF5	BF2	BF5	BF2 + BF5	BF2	BF5	BF2 + BF5
Wärmeentzug [MWh/a]	-650	-970	-1620	-611	-899	-1510	-564	-846	-1410
Wärmeabgabe [MWh/a]	34	533	567	81	551	631	32	473	505
Thermische Energiebilanz [MWh/a]	-616	-437	-1053	-530	-349	-879	-532	-373	-905

Tabelle 9: Thermische Energiebilanz der thermischen Vernetzung in den Baufeldern 2 und 5 für die Auswertungsperioden Oktober 2013 – September 2016.

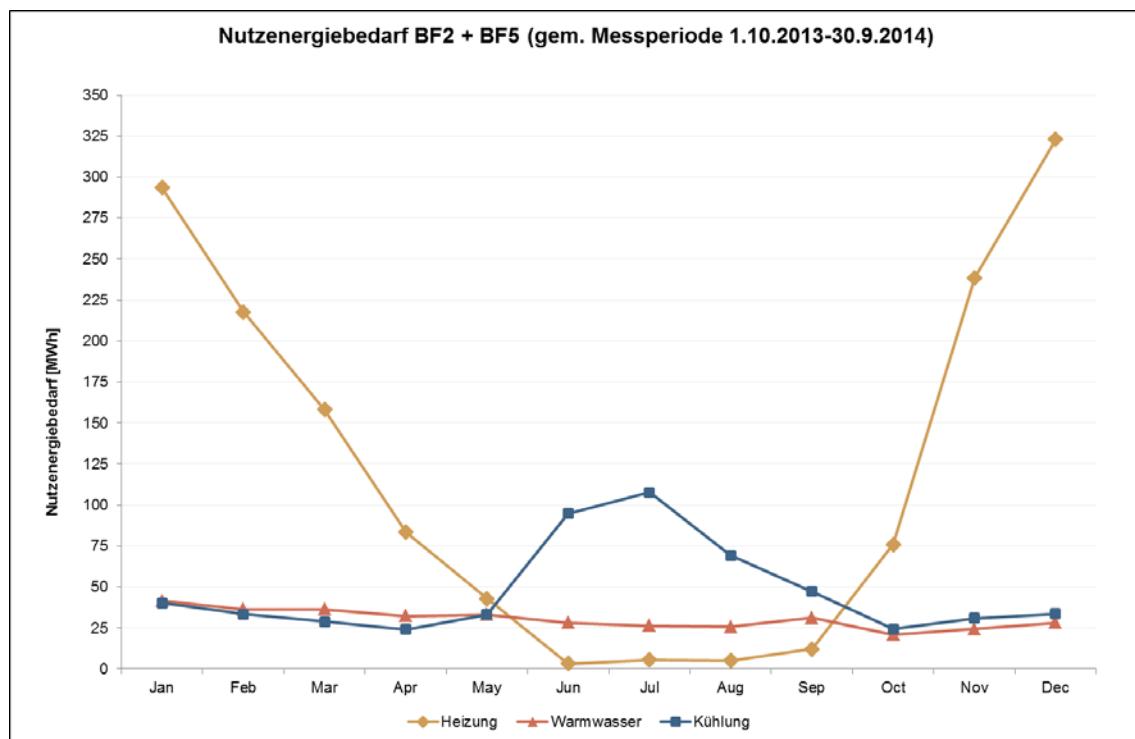


Abbildung 9: Vergleich des Nutzenergiebedarfs für Heizung, Warmwasser und Kühlung pro Monat.



5.3.2. Thermische Energiebilanz des Gesamtareals

Aus der Betrachtung der thermischen Energiebilanz der Baufelder 2 und 5, welche im vorangehenden Kapitel thematisiert wurde, zeigt sich, dass die thermische Energiebilanz im Gesamtsystem nicht ausgeglichen ist. Da die Temperatur des Anergiennetzes langfristig in einem konstanten Bereich gehalten werden sollte, wurden als kurzfristige Lösung eine Pelletheizungen für zusätzliche Wärmeeinträge ins Anergiennetz und elektrische Stützheizungen für die Warmwasserbereitstellung zur Entlastung der Wärmepumpen eingesetzt. Als langfristige Lösung wurden mit den geplanten Baufeldern 3 und S41, insbesondere deren Hybridkollektoren, weitere Anlagen zum System hinzugefügt, welche zusätzliche Wärmeeinträge ins Anergiennetz erlauben. Eine vollständige thermische Energiebilanz über alle bestehenden Anlagen kann momentan nicht gezogen werden, da Messdaten zu den neuen Anlagen fehlen. Somit kann noch keine fundierte Aussage über den Zustand des Erdwärmespeichers erfolgen.

Die Temperaturmessung in den Erdsondenverteilern (siehe Abbildung 10) zeigt bei der Betrachtung der jeweiligen Momentanwerte zu Beginn der Messperioden (jeweils am 1. Oktober), dass die Temperatur über die letzten drei Jahre zugenommen hat (um ca. 3K). Wenn jedoch die Jahresmittelwerte der Messperioden verglichen werden (Tabelle 10), kann eine Abkühlung von 0.8K von der Messperiode 2013/2014 zur Messperiode 2014/2015 festgestellt werden mit anschliessender leichter Erwärmung von 0.1K von der Messperiode 2014/2015 zur Messperiode 2015/2016.

Die Inbetriebnahme der Pelletheizung und der Stützheizungen im Dezember 2013 führte zu einem deutlichen Anstieg der Temperatur des Anergiennetzes. Die Stabilisierung des Jahresmittelwertes vom 1.10.2014 bis zum 1.10.2015 bei rund 11.5 °C deutet darauf hin, dass die PVT-Anlagen die thermische Energiebilanz des Anergiennetzes ausgleichen konnten. Eine abschliessende Aussage hierzu ist jedoch aufgrund fehlender Messdaten noch nicht möglich.

Es sind weitere Massnahmen in Planung bzw. Realisation die eine gezielte Bewirtschaftung des gesamten Netzes ermöglichen. Dazu gehört eine reversible Luft/Wasser Wärmepumpe, die es ermöglicht, gezielt und nachhaltig Wärme und Kälte zu produzieren, die ins Netz eingespeist wird. Dadurch kann die Flexibilität erhöht werden, um auf ungewollte Schwankungen im Netz zu reagieren. Weiter ist ein übergreifendes Leitsystem angedacht, das es ermöglicht die Wärmequellen wie beispielsweise die thermische Solaranlage oder die reversible Luft/Wasser Wärmepumpe gezielt einzusetzen. Dieses Leitsystem soll auch die oben erwähnte Bewirtschaftung des Erdwärmesondenspeichers überwachen und steuern.

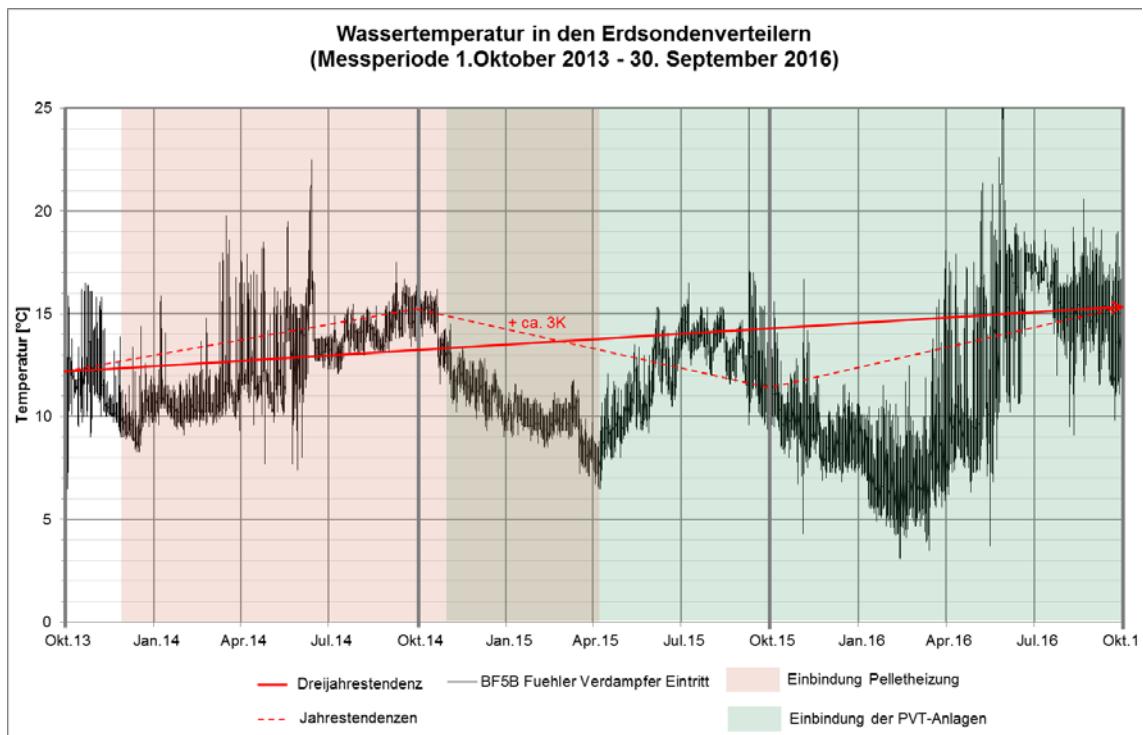


Abbildung 10: Messungen der Wassertemperatur in den Erdsondenverteilern über 3 Jahre.

	1.10.2013- 30.09.2014	1.10.2014- 30.09.2015	1.10.2015- 30.09.2016
Temperaturmaximum	22.5	40.1	26.6
Temperaturmittel	12.4	11.6	11.5
Temperaturminimum	6.5	6.5	3.1

Tabelle 10: Temperaturmaxima, -mittel und -minima für alle drei Auswertungsperioden.



5.4. Energieeffizienz des Areals

5.4.1. Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen Baufeld 2 und 5

Für das vorliegende Gebäudetechniksystem können drei Vergleichsgrößen (JAZ) unterschieden werden. Die **Effizienz der Wärmepumpen** wird wie folgt berechnet:

$$JAZ_{WP} = \frac{Q_{WP} (\text{Raumwärme} + \text{Warmwasser})}{E_{WP}}$$

Die Effizienz der Wärmepumpen in den Baufeldern 2 und 5 ist für die Messperioden von Oktober 2013 – September 2016 in Tabelle 11 dargestellt und wurde mit den Planungswerten verglichen. Der Anteil der Raumwärme gegenüber der Warmwasseraufbereitung war in sämtlichen Auswertungsperioden deutlich höher als erwartet. In der letzten Messperiode von Okt. 2015 bis Sep. 2016 lag der Verbrauch für Raumwärme 127% über dem Planungswert und infolgedessen lag der Stromverbrauch für die Wärmepumpen um 43% über dem Planungswert. Der Grund für diese Abweichung wird mehrheitlich im „Performance Gap“ vermutet, worauf in Kapitel 5.8 näher eingegangen wird. Der Warmwasserverbrauch lag in der letzten Messperiode hingegen 11% unter dem Planungswert, was knapp den zu erwartenden Abweichungen von +/- 10% von den geplanten Bedarfswerten zu den gemessenen Verbrauchswerten entspricht. Die Gründe für den geringeren Warmwasserverbrauch können vermutlich auf niedrigere Belegungszahlen und vorsichtige Annahmen bei der Planung zurückgeführt werden. Durch die geringere Warmwasserproduktion mussten die Wärmepumpen entsprechend weniger im höheren Temperaturbereich (60°C für Warmwasser, statt 35°C für Raumwärme) arbeiten als geplant. Somit liegt die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen (4.4 in der letzten Auswertungsperiode) im Vergleich zur Planungserwartung um 6% höher.

Betrachtet man die Veränderungen über die drei verschiedenen Messperioden, fällt auf, dass in der zweiten Messperiode gegenüber der ersten und dritten Messperiode weniger Warmwasser über die Wärmepumpen bereitgestellt wurde. In dieser Auswertungsperiode wurde viel Warmwasser über die Stützheizungen produziert, wodurch die Wärmepumpen einen weniger grossen Temperaturhub leisten mussten (35°C statt 60°C) und in der Folge die JAZ höher lag. Auf die Betriebsoptimierung hinsichtlich der Warmwasserproduktion wird in Kapitel 5.6 genauer eingegangen.

Baufelder 2 und 5	Planung	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Vergleich Messung 3 zu Planung
Periode	(für das 1. Jahr)	(Okt. 2013 - Sep. 2014)	(Okt. 2014 - Sep. 2015)	(Okt. 2015 - Sep. 2016)	
Stromverbrauch WP [kWh/a]	287'000	454'950	395'754	427'050	+49%
Raumwärme aus WP [kWh/a]	590'300	1'459'032	1'423'670	1'337'534	+127%
Warmwasser aus WP [kWh/a]	599'000	514'685	459'155	530'190	-11%
Wärme Total aus WP [kWh/a]	1'189'300	1'973'717	1'882'826	1'867'724	+57%
JAZ_{WP}	4.1	4.3	4.8	4.4	+6%

Tabelle 11: Berechnung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen für die Baufelder 2 und 5 und Vergleich mit der Planungserwartung.

5.4.2. Wärmepumpen Baufeld 2

Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Temperatur im Anergieernetz (siehe Kapitel 5.3.2), der Heizwärmebedarf (siehe Kapitel 5.8) sowie die Menge an Warmwasser, welche über die Wärmepumpen bereitgestellt wird, haben alle einen Einfluss auf diese Kennzahl.

In der Messperiode von Oktober 2014 bis September 2015 wurden Jahresarbeitszahlen gemessen, welche deutlich über den restlichen Werten und den Planungswerten liegen (im Schnitt 4.8 anstatt des Planungswertes 4.0). Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Messperiode 2014/2015 ein grosser Teil des Warmwassers über die Stützheizungen bereitgestellt wurde. Die Warmwasserbereitstellung über die heizungen führt zu einem „künstlich“ guten Bild für die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen, weil diese nur den kleineren Temperaturhub für die Raumwärme bewerkstelligen müssen (Vorlauftemperatur Bodenheizung: <35°C) anstatt des grossen Temperaturhubes für das Warmwasser (Temperatur Warmwassertank: >60°C). Ganzheitlich betrachtet ist dies jedoch ineffizient, da für die Warmwasserbereitstellung über die Stützheizungen deutlich mehr Strom benötigt wird, als für die Warmwasserbereitstellung über die Wärmepumpen.

Die Reduktion der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen von der Messperiode 2014/2015 zur Messperiode 2015/2016 ist in diesem Kontext zu verstehen. Die Wärmepumpen stellen wieder mehr Warmwasser bereit, weshalb die JAZ des gesamten Baufeldes 2 von 4.8 auf 4.0 gesunken ist und somit nahe beim Planungswert liegt (siehe Abbildung 11). Über den gesamten Messzeitraum betrachtet ist eine tendenzielle Verbesserung der JAZ festzustellen.

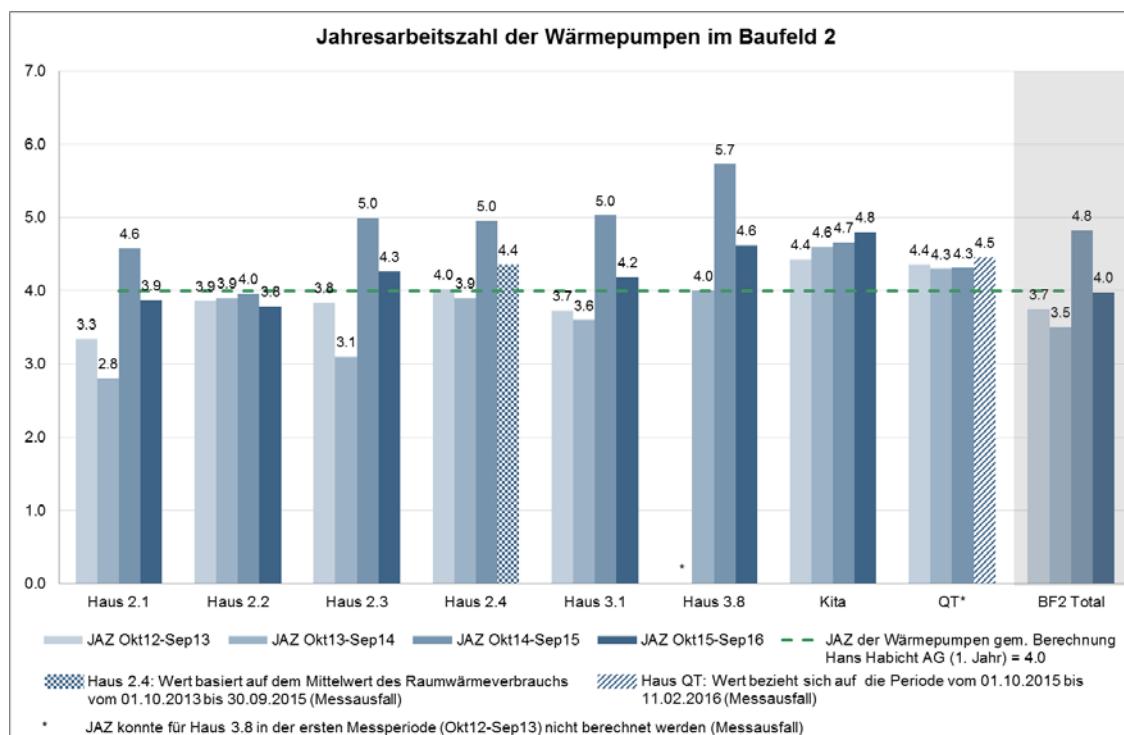


Abbildung 11: Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen im Baufeld 2, Vergleich der Messperioden Okt. 2012 - Sep. 2016 mit der Anforderung gem. Planung.

5.4.3. Wärmepumpen Baufeld 5

Im Baufeld 5 lag in der Messperiode 2015/2016 die Jahresarbeitszahl der Niedertemperaturwärmepumpe (JAZ = 6.3) über der Erwartung gemäss Herstellerdatenblatt (JAZ = 5.6). Die Jahresarbeitszahl der Hochtemperaturwärmepumpe ist gegenüber der Vorjahresperiode gesunken (JAZ = 4.2) und liegt immer noch unter dem Planungswert (JAZ = 4.9). Die stetige Reduktion der JAZ der Hochtemperaturwärmepumpe ist vermutlich nicht auf Zusammenhänge mit der Anergienetztemperatur oder dem Gebrauch der Stützheizungen zurückzuführen, sondern auf gerätespezifische Änderungen oder Abnützungen.

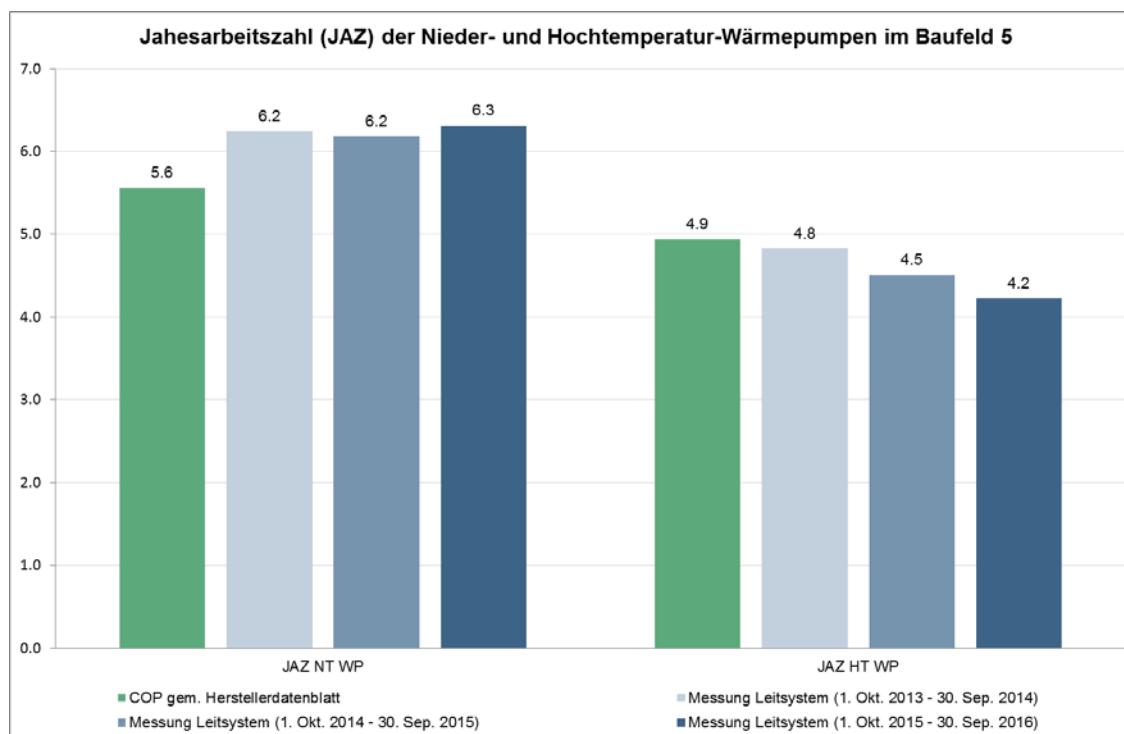


Abbildung 12: Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen im Baufeld 5, Vergleich der Messperioden von Okt. 2013 – Sep. 2016 mit der Anforderung gem. Planung.

5.4.4. Jahresarbeitszahl Anergienetz

Der Wärmetransport aus dem Anergienetz/Erdwärmespeicher benötigt Pumpenstrom. Die Ergänzung der JAZ_{WP} mit dem Stromverbrauch dieser Umwälzpumpen ergibt einen Überblick über die Effizienz des Systems Wärmepumpe und Erdwärmespeicher ($JAZ_{Anergie}$). Diese Kennzahl kann in die **Beurteilung der Wärmeproduktion ($JAZ_{Anergie,Wärme}$)** und in die Effizienz der **Kältebereitstellung zur Gebäudekühlung ($JAZ_{Anergie,Kälte}$)** aufgeteilt werden.

$$JAZ_{Anergie,Wärme} = \frac{Q_{WP \text{ (Raumwärme+Warmwasser)}}}{E_{WP} + E_{Anergiepumpen \text{ Wärme}}}$$

$$JAZ_{Anergie,Kälte} = \frac{Q_{Freecooling \text{ (Wärmeabgabe an Anergienetz)}}}{E_{Anergiepumpen \text{ Kälte}}}$$

Die berechneten Jahresarbeitszahlen des Anergienetzes sind in Tabelle 12 aufgeführt. Die Berechnungen basieren auf den Messdaten, welche im Anhang in Kapitel 11.4 aufgeführt sind.

5.4.5. Gesamtenergieeffizienz

Um den Stromverbrauch zu berücksichtigen, der für Stützheizungen Begleitheizbänder, Zirkulationswärmepumpen und gebäudeseitigen Umwälzpumpen gebraucht wird, wird eine Vergleichsgröße für die **Gesamtenergieeffizienz des Gebäudetechniksystems** aufgeführt:

$$JAZ_{Tot,Wärme} = \frac{Q_{WP} + Q_{Notheizung}}{E_{WP} + E_{Anergiepumpen Wärme} + E_{Begleitheizbänder/Zirk.WP} + E_{Umwälzpumpen}}$$

$$JAZ_{Tot,Kälte} = \frac{Q_{Freecooling}}{E_{Anergiepumpen Kälte} + E_{Umwälzpumpen}}$$

$$JAZ_{Tot} = \frac{Q_{WP} + Q_{Freecooling} + Q_{Notheizung}}{E_{WP} + E_{Anergiepumpen} + E_{Notheizung} + E_{Begleitheizbänder/Zirk.WP} + E_{Umwälzpumpen}}$$

Zuletzt wird der Stromertrag der PV-Anlagen im Gesamtsystem betrachtet und somit der Solardeckungsgrad wie folgt berechnet:

$$\text{Solardeckungsgrad} = \frac{E_{Photovoltaik}}{E_{Total}}$$

Die berechnete Gesamtenergieeffizienz und der Solardeckungsgrad sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Die Betrachtung der Gesamtenergieeffizienz ist unter Berücksichtigung vielschichtiger gegenseitiger Beeinflussung zu sehen. Auf die Entwicklung der JAZ_{WP} wurde bereits eingegangen und deren Abhängigkeit davon, wie viel Warmwasser über die Stützheizungen bereitgestellt wird, wurde bereits erläutert. Während die gesamte JAZ_{WP} 2015/2016 mit 4.4 deutlich über dem Planungswert von 4.1 lag, ändert sich das Bild, wenn die Gesamtenergieeffizienz JAZ_{Tot} betrachtet wird. Dieser Wert lag mit 2.6 – 2.8 in sämtlichen Messperioden deutlich unter dem Planungswert von 3.5. Diese Abweichung zeigt, dass entweder in der Planung aufgrund der Komplexität des thermischen Netzes die Hilfsstromverbräuche nicht genügend genau berechnet werden konnten, oder dass noch großes Optimierungspotential im Bereich des Hilfsstromverbrauches liegt. Der Energieverbrauch und die Hydraulik der Umwälzpumpen wird in Kapitel 5.7.1 und 5.7.2 näher betrachtet.



		JAZ_{WP}	JAZ_{Anergie}	JAZ_{TOT}	Solardeckungsgrad
Baufeld 2 geplant (für das 1. Jahr)	Wärme	3.9	3.9	3.4	146%
	Kälte		187.1	19.6	
	Wärme + Kälte		4.8	4.0	
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2012 - 30. Sept. 2013)	Wärme	4.4	3.7	3.2	78%
	Kälte		182.3	182.3	
	Wärme + Kälte		3.9	3.3	
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2013 - 30. Sept. 2014)	Wärme	3.5	3.1	2.1	64%
	Kälte		635.5	635.5	
	Wärme + Kälte		3.9	2.3	
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2014 - 30. Sept. 2015)	Wärme	4.8	3.8	2.3	63%
	Kälte		652.2	652.2	
	Wärme + Kälte		5.2	2.5	
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2015 - 31. Sept. 2016)	Wärme	4.0	3.4	2.9	81%
	Kälte		302.3	302.3	
	Wärme + Kälte		3.7	3.1	
Baufeld 5 geplant (für das 1. Jahr)	Wärme	4.3	4.3	3.7	34%
	Kälte		388.1	38.7	
	Wärme + Kälte		8.7	7.1	
Baufeld 5 gemessen (1. Okt 2013 - 30. Sept 2014)	Wärme	5.1	4.6	3.7	18%
	Kälte		19.3	8.8	
	Wärme + Kälte		6.2	4.5	
Baufeld 5 gemessen (1. Okt 2014 - 30. Sep 2015)	Wärme	4.7	4.5	3.0	15%
	Kälte		25.7	18.2	
	Wärme + Kälte		6.3	4.1	
Baufeld 5 gemessen (1. Okt 2015 - 31. Sep 2016)	Wärme	4.8	4.4	2.6	13%
	Kälte		13.9	10.9	
	Wärme + Kälte		6.1	3.3	
Baufeld 2+5 geplant (für das 1. Jahr)	Wärme	4.1	4.1	3.5	91%
	Kälte		327.0	52.6	
	Wärme + Kälte		6.6	5.5	
Baufeld 2+5 gemessen (1. Okt 2013 - 30. Sept 2014)	Wärme	4.3	3.9	2.8	42%
	Kälte		20.9	9.6	
	Wärme + Kälte		5.1	3.3	
Baufeld 2+5 gemessen (1. Okt 2014 - 30. Sept 2015)	Wärme	4.8	4.2	2.6	42%
	Kälte		29.6	21.1	
	Wärme + Kälte		5.9	3.3	
Baufeld 2+5 gemessen (1. Okt 2015 - 31. Sep 2016)	Wärme	4.4	3.8	2.7	40%
	Kälte		15.5	12.1	
	Wärme + Kälte		4.8	3.2	

Tabelle 12: Berechnung der Energieeffizienz für die Baufelder 2 und 5 und Vergleich mit den Planungswerten.

5.5. Gesamtstromverbrauch

Der Jahresstromverbrauch der Baufelder 2 und 5 betrug während der Periode von Oktober 2015 – September 2016 2'718 MWh. In Abbildung 13 wurden die Jahresverbräuche von Oktober 2013 – September 2016 miteinander verglichen. Der Mieterstromverbrauch hat jährlich um 6% bzw. 5% zugenommen. Der Allgemeinstrom hat jeweils um 1% bzw. 2% pro Jahr zugenommen. Der Betriebsstromverbrauch war den stärksten Schwankungen ausgesetzt. Von der Messperiode 2013/2014 zur Messperiode 2014/2015 stieg der Betriebsstromverbrauch (Betriebsstrom aus eigener PV-Produktion + Betriebsstrom abzgl. PV-Produktion) um 6% und sank im Folgejahr 2015/2016 um -14%. Der Anteil des Gesamtstromverbrauches aus eigener PV-Produktion lag 2013/2014 bei 13%, sank dann auf 12% und zuletzt auf 11%.

Die Zunahme des Mieter- und Allgemeinstroms ist auf einen steigenden Verbrauch in Baufeld 5 zurückzuführen. Die starken Schwankungen des Betriebsstromes sind hingegen auf Baufeld 2 zurückzuführen. Näheres dazu wird in den Einzelbetrachtungen der Baufelder gezeigt.

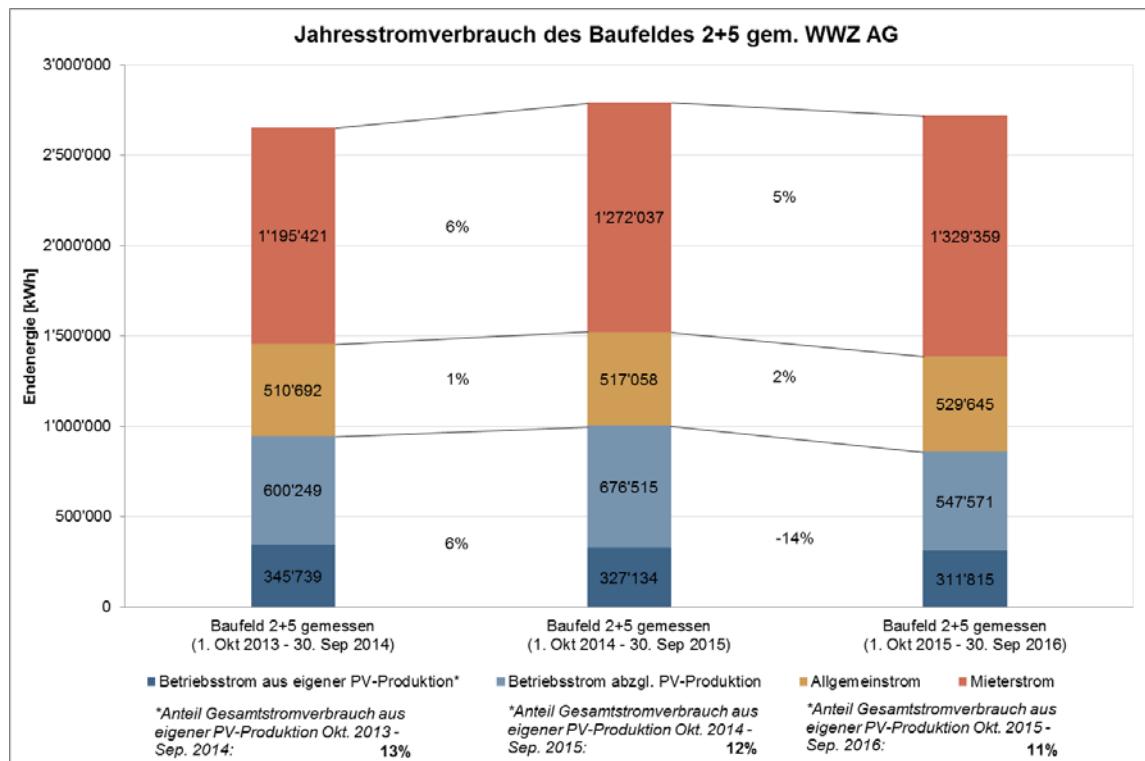


Abbildung 13: Jahresstromverbrauch der Baufelder 2 und 5, Vergleich der Messperioden von Okt. 2013 – Sep. 2016.



5.5.1. Baufeld 2

Der Jahresstromverbrauch des Baufeldes 2 betrug während der Periode von Oktober 2015 – September 2016 963 MWh. In Abbildung 14 wurden die Jahresverbräuche von Oktober 2013 – September 2016 miteinander verglichen. Der Mieterstromverbrauch hat zunächst um 5% zugenommen und im Folgejahr um -6% abgenommen. Der Allgemeinstrom hat jeweils um -5% pro Jahr abgenommen. Der Betriebsstromverbrauch stieg zunächst um 17% und hat anschliessend wieder um -37% abgenommen. Diese starken Schwankungen im Betriebsstromverbrauch resultierten aus der zwischenzeitlichen Verwendung elektrischer Stützheizungen, welche im Baufeld 2 von der Periode 2014/2015 auf die Periode 2015/2016 wieder ausser Betrieb genommen werden konnten. Die Schwankungen werden im Kapitel 5.6.1 basierend auf den Messungen des Leitsystems im Detail analysiert. Da die Messgrösse „Betriebsstrom aus eigener PV-Produktion“ ziemlich konstant ist (es kann jedes Jahr mit einer ähnlichen Solarstromproduktion gerechnet werden), wirken sich die Schwankungen im gesamten Betriebsstrom unmittelbar auf die Messgrösse „Betriebsstrom abzgl. PV-Produktion“ aus (hellblaue Fläche in Abbildung 14) und beeinflussen zudem den „Anteil Gesamtstromverbrauch aus eigener PV-Produktion“ beziehungsweise dessen Entwicklung über die verschiedenen Messperioden. In der letzten Messperiode 2015/2016 stammte 26% des Gesamtstromverbrauches aus der eigenen PV-Produktion.

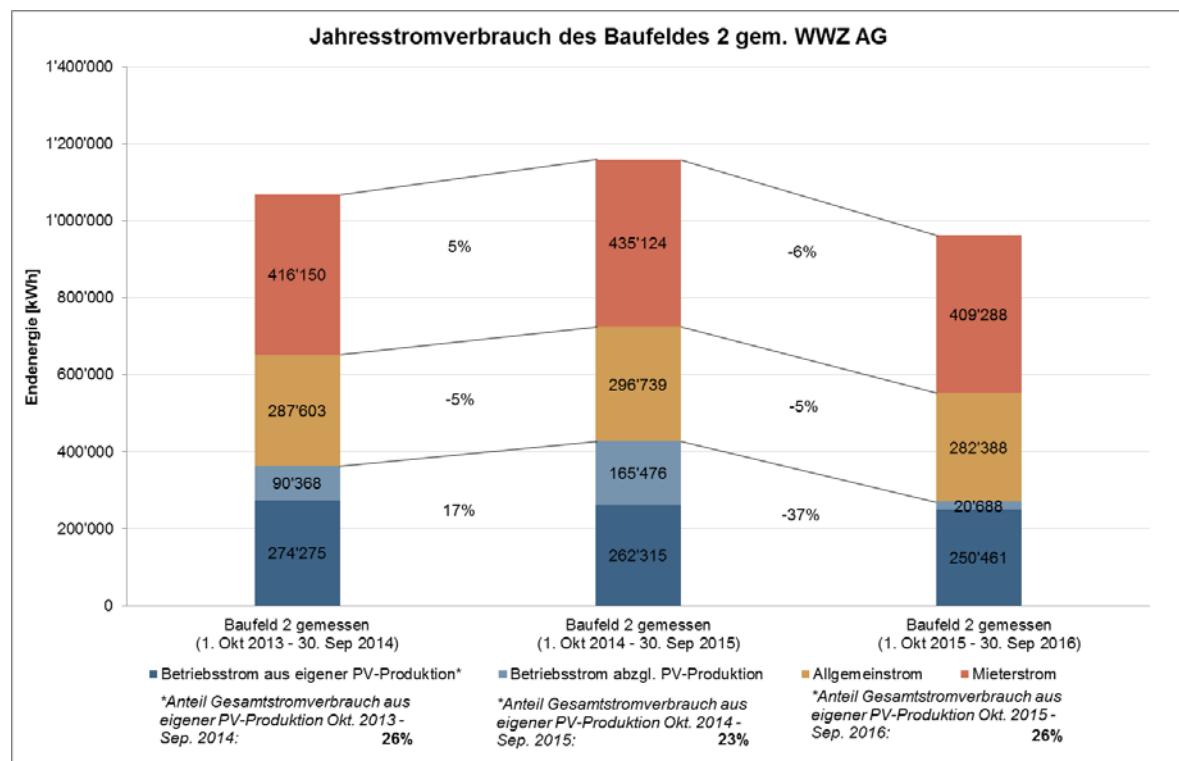


Abbildung 14: Jahresstromverbrauch des Baufeldes 2, Vergleich der Messperiode Okt. 2013 – Sep. 2014 mit der Messperiode Okt. 2014 – Sep. 2015.

5.5.2. Baufeld 5

Der Jahresstromverbrauch des Baufeldes 5 betrug während der Periode von Oktober 2014 – September 2015 1'756 MWh. In Abbildung 15 wurden die Jahresverbräuche von Oktober 2013 – September 2016 miteinander verglichen. Der Mieterstromverbrauch hat zunächst um 7% und im Folgejahr nochmals um 10% zugenommen. Der Allgemeinstrom hat sich zunächst kaum verändert (-1%) und danach von der zweiten zur dritten Messperiode um 12% zugenommen. Der Betriebsstromverbrauch hat sich über alle Messperioden kaum verändert (-1% und 2%). In der letzten Messperiode 2015/2016 stammte 3% des Gesamtstromverbrauches aus der eigenen PV-Produktion.

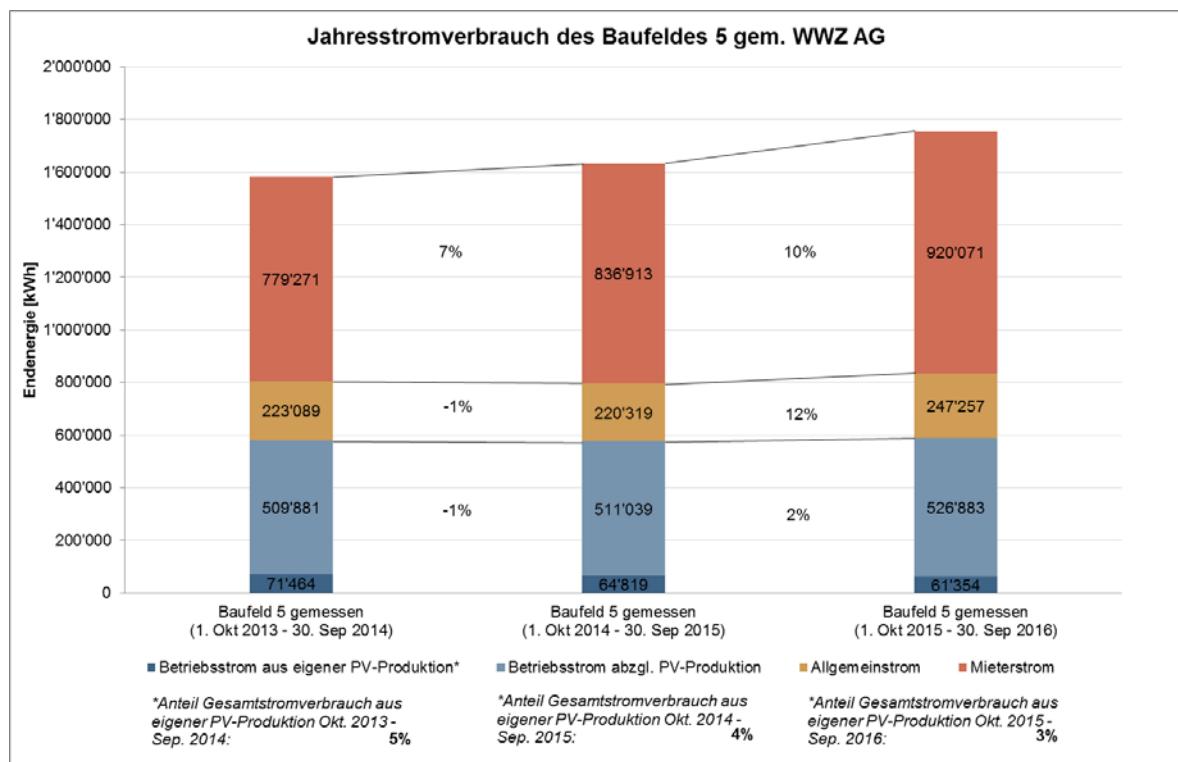


Abbildung 15: Jahresstromverbrauch des Baufeldes 5, Vergleich der Messperiode Okt. 2013 – Sep. 2014 mit der Messperiode Okt. 2014 – Sep. 2015.



5.5.3. Vergleich Baufeld 2 und 5

In Abbildung 16 ist der auf die Energiebezugsfläche bezogene jährliche Gesamtstromverbrauch während der Messperiode von Oktober 2015 – September 2016 der Baufelder 2 und 5 dargestellt. Der Gesamtstromverbrauch ist in Baufeld 5 mit $64.4 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ aufgrund der Büronutzung deutlich höher als in Baufeld 2 mit $50.2 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$.

Der Betriebsstromverbrauch beträgt bei beiden Baufeldern etwa einen Drittel des Gesamtstromverbrauchs. Während in Baufeld 2 der Allgemeinstromverbrauch 29% des Gesamtstromverbrauchs ausmacht, beträgt der Mieterstromverbrauch 43% des Gesamtstromverbrauchs. In Baufeld 5 ist dieses Verhältnis umgekehrt. Der Allgemeinstromverbrauch liegt bei 14% des Gesamtstromverbrauchs, während der Mieterstromverbrauch 52% des Gesamtstromverbrauchs ausmacht. Dieser Unterschied hängt primär mit den unterschiedlichen Nutzungen zusammen. In Wohnbauten muss pro Quadratmeter EBF mehr Allgemeinstrom (für Treppenhausbeleuchtung, Lifte etc.) aufgewendet werden, während bei Büronutzungen mehr Mieterstrom (für Computer, Drucker, Bürobeleuchtung) anfällt.

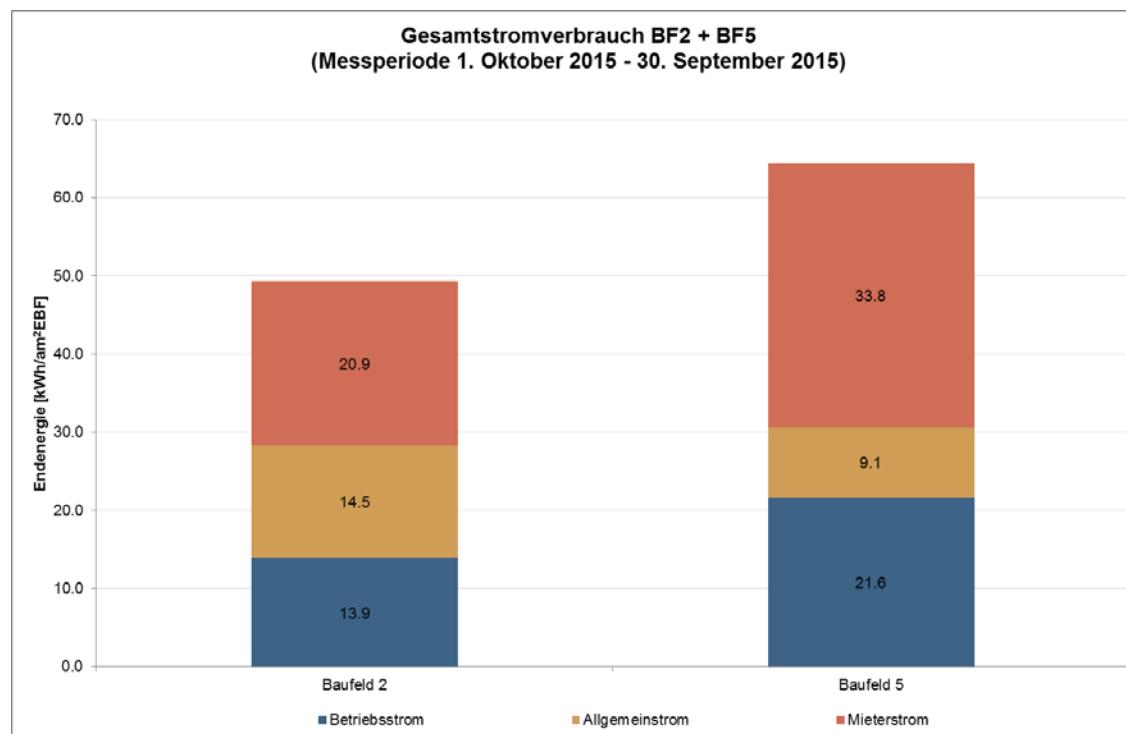


Abbildung 16: Vergleich des jährlichen Gesamtstromverbrauchs bezogen auf die Energiebezugsfläche (EBF) zwischen den Baufeldern 2 und 5 (Messperiode Okt. 2014 – Sep. 2015).

5.6. Betriebsstrom

5.6.1. Baufeld 2

Der Betriebsstromverbrauch für Baufeld 2 liegt deutlich über den Planungswerten (in der letzten Messperiode von 2015/2016 um 101% höher). Dies hängt zum Einen stark mit der Abweichung des effektiven Heizwärmeverbrauches zusammen, der vermutlich auf den „Performance Gap“ zurückzuführen ist und in Kapitel 5.8 Nutzenergie behandelt wird. Zum Anderen wurden in der Planung keine Bedarfswerte für die Stützheizungen eingerechnet, da diese nicht vorgesehen waren und nur als temporäre Massnahme eingesetzt wurden.

Der Stromverbrauch hat zunächst von der Messperiode 2013/2014 zur Messperiode 2014/2015 um 6% zugenommen. Im Vergleich dieser zwei Messperioden ist erkennbar, dass innerhalb des Betriebsstromverbrauches eine Verschiebung vom Wärmepumpenstromverbrauch zum Stützheizungsstromverbrauch stattfand. In der Messperiode von Oktober 2015 bis September 2016 wurde für Baufeld 2 eine Betriebsoptimierung durchgeführt, mit dem Ziel den Stromverbrauch der Stützheizungen zu minimieren. Dies führte dazu, dass der Stromverbrauch der Gebäudetechnikanlagen im Baufeld 2 in der letzten Messperiode 2015/2016 insgesamt 350'426 kWh betrug. Die Verschiebung des Stromverbrauchs von der Stützheizung hin zu den Wärmepumpen ist gut sichtbar. Gleichzeitig wird erkennbar, dass gesamthaft gesehen durch diese Betriebsoptimierung der Stromverbrauch stark reduziert werden konnte (von 2014/2015 zu 2015/2016 um -23%).

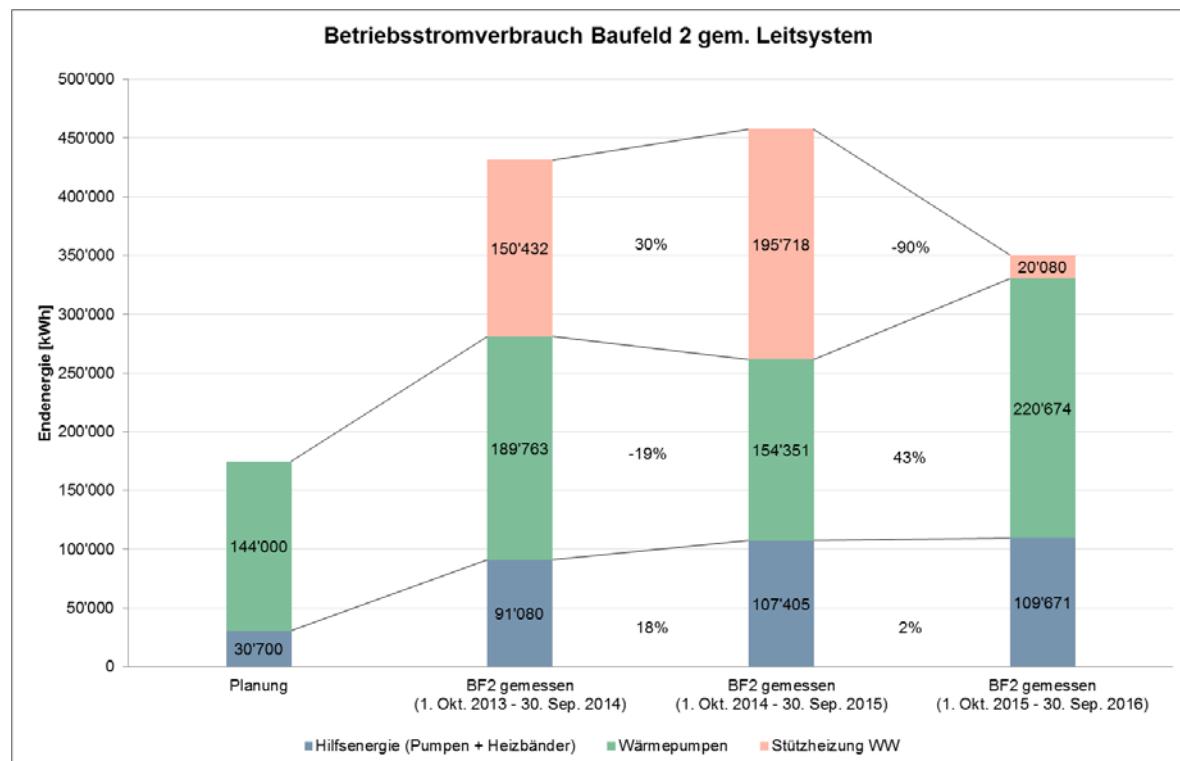


Abbildung 17: Jahresstromverbrauch für den Betrieb der Gebäudetechnikanlagen im Baufeld 2, Vergleich der Planungswerte mit den Messperioden Okt. 2013 – Sep. 2016.

5.6.2. Baufeld 5

Der Betriebsstromverbrauch für Baufeld 5 liegt deutlich über den Planungswerten (in der letzten Messperiode von 2015/2016 um 223% höher). Dies hängt zum Einen stark mit der Abweichung des effektiven Heizwärmeverbrauches zusammen, welcher in Kapitel 5.8 Nutzenergie behandelt wird. Zum Anderen wurden in der Planung für die Lüftungsanlagen und Stützheizungen keine Bedarfswerte eingerechnet. Zudem ist in Baufeld 5 ein deutlich höherer Verbrauch für Hilfsenergie gegenüber des geplanten Bedarfs zu beobachten (in der letzten Messperiode von 2015/2016 lag der Hilfsenergieverbrauch um 266% höher als der Planungswert).

Über alle drei Messperioden betrachtet blieb der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen mit Veränderungen von jeweils -1% bis -2% relativ konstant. In Baufeld 5 ist dieselbe Problematik der Warmwasserproduktion zu beobachten wie in Baufeld 2. Hier wurde jedoch keine Betriebsoptimierung durchgeführt. Der Stromverbrauch der Stützheizungen hat von 2013/2014 auf 2014/2015 um 85% zugenommen, während der Stromverbrauch für die Wärmepumpen um 1% stieg. Anschliessend hat der Stromverbrauch der Stützheizungen zusätzlich um 93% zugenommen, während der Stromverbrauch für die Wärmepumpen um -15% sank. Der gesamte Betriebsstromverbrauch lag in der Messperiode 2015/2016 bei 604'421 kWh.

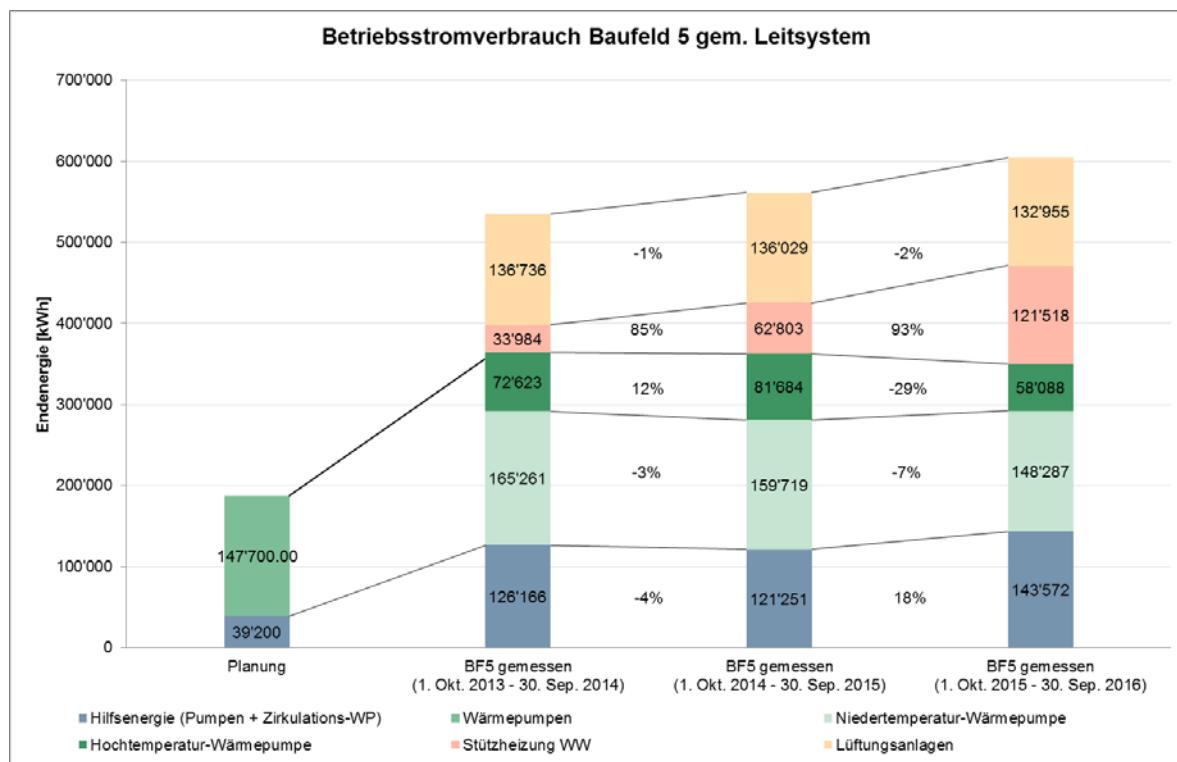


Abbildung 18: Jahresstromverbrauch für den Betrieb der Gebäudetechnikanlagen im Baufeld 5, Vergleich der Planungswerte mit den Messperioden Okt. 2013 – Sep. 2016.

5.6.3. Vergleich Baufeld 2 und 5

In Abbildung 19 wird der auf die Energiebezugsfläche (EBF) bezogene Betriebsstromverbrauch während der Messperiode von Oktober 2015 – September 2016 zwischen den Baufeldern 2 und 5 verglichen. Die Auswirkungen der Betriebsoptimierung in Baufeld 2 sind deutlich sichtbar. Hier wurden $11.3 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ für die Wärmepumpen verbraucht und nur $1.0 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ für die Stützheizungen. Bei Baufeld 5 wurden hingegen nur $7.6 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ für die Wärmepumpen verbraucht, aber $4.5 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ für die Stützheizungen. Der höhere Stromverbrauch pro Quadratmeter EBF für Hilfsenergie entsteht durch die unterschiedlichen Verteilsysteme. Während in Baufeld 2 durch ein dezentrales Wärmeerzeugungssystem (eine Wärmepumpe in jedem Haus) nur $3.5 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ für Hilfsenergie verbraucht wurde, lag der Verbrauch für Hilfsenergie in Baufeld 5 mit dem zentralen Wärmeerzeugungssystem (nur eine Energiezentrale) bei $5.3 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$.

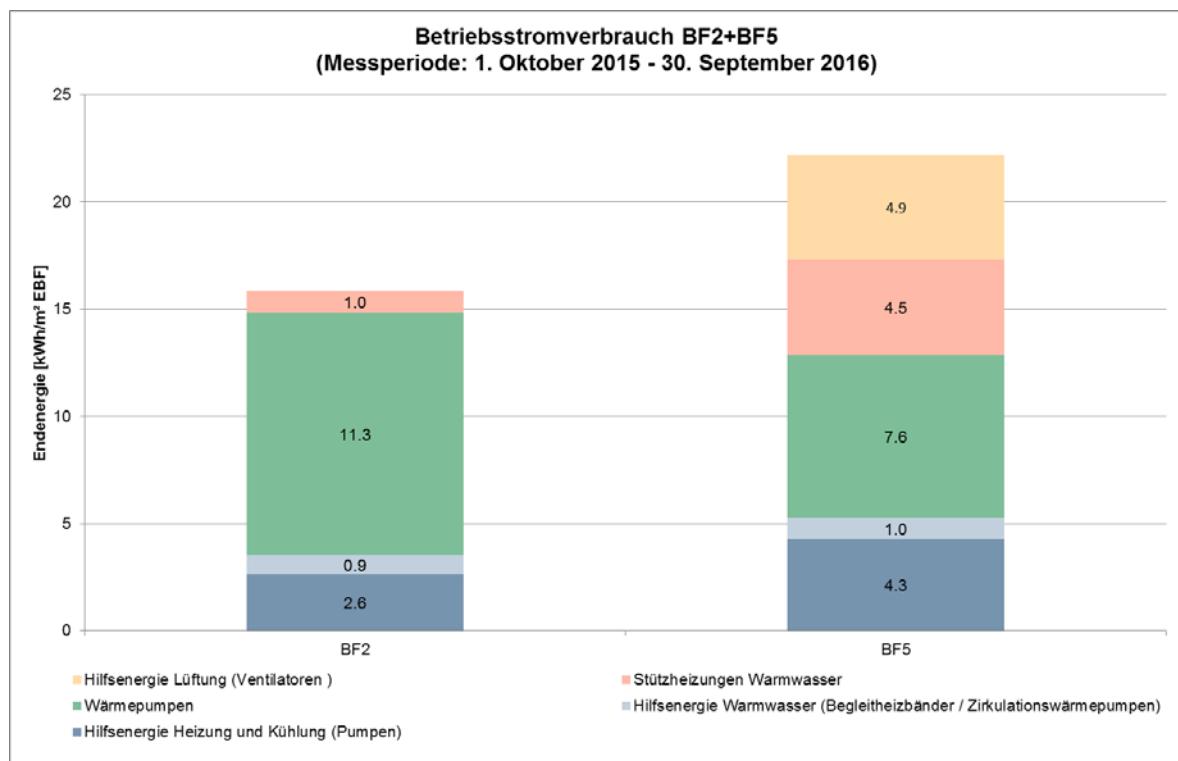


Abbildung 19: Jahresstromverbrauch für den Betrieb der Gebäudetechnikanlagen in Baufeld 2 + 5, Vergleich der beiden Baufelder während der Messperiode Okt. 2015 – Sep. 2016.

5.7. Umwälzpumpen

5.7.1. Baufeld 2

In Abbildung 20 ist der Stromverbrauch der verschiedenen Umwälzpumpen im Baufeld 2 während den Messperioden von Oktober 2013 – September 2016 dargestellt. Der Stromverbrauch der Anergiepumpen (Umwälzpumpen Verdampfer) betrug in der letzten Messperiode 40'795 kWh und machte damit 78.9% des Stromverbrauchs aller Umwälzpumpen aus. Dieser Wert liegt ungefähr zwanzig Mal höher als der Planungswert (2'000 kWh). Die Anpassung der Hydraulik, welche 2016 erfolgte, bewirkte nur eine marginale Änderung des Stromverbrauchs der Umwälzpumpen, welche sich im Bereich von Messungenauigkeiten bewegt (Stromeinsparung von -1.3% von der Messperiode 2014/2015 zur Messperiode 2015/2016).

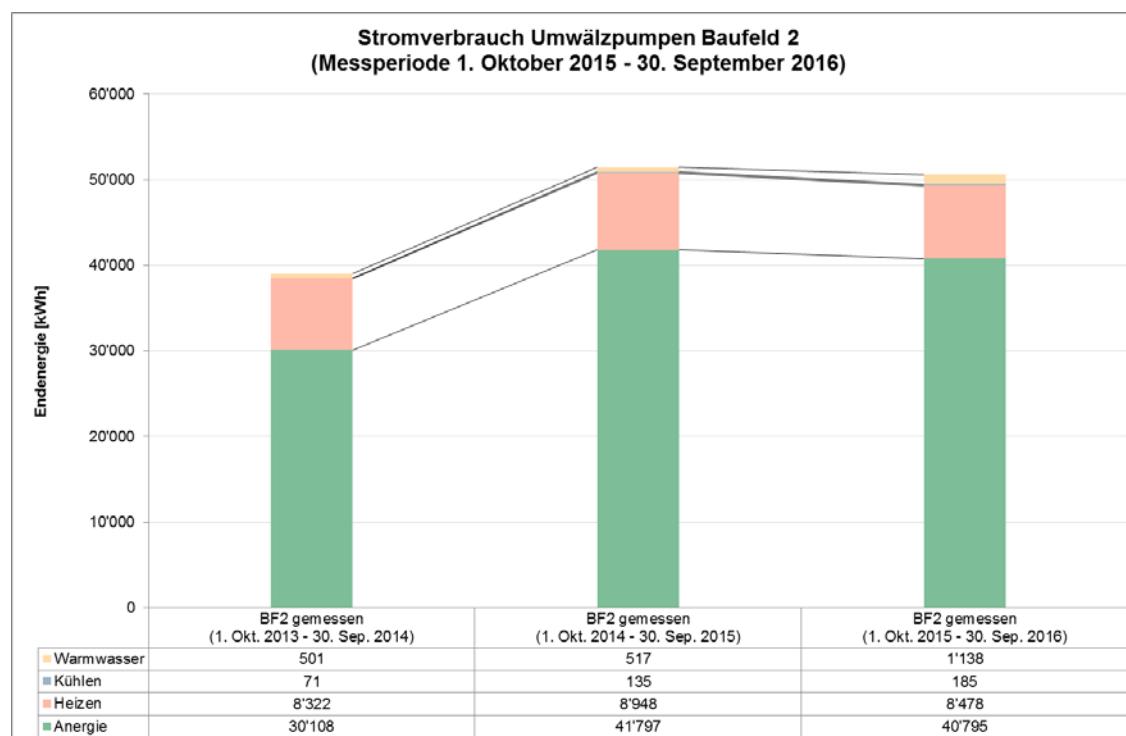


Abbildung 20: Jährlicher Stromverbrauch Umwälzpumpen Baufeld 2 (Messperioden Oktober 2013 – September 2016).

5.7.2. Baufeld 5

In Abbildung 21 ist der Stromverbrauch der verschiedenen Umwälzpumpen im Baufeld 5 während den Messperioden von Oktober 2013 – September 2016 dargestellt. In der Messperiode 2015/2016 betrug der Stromverbrauch der Anergiepumpen 14'803 kWh bzw. 13% des Stromverbrauchs für die Umwälzpumpen (insgesamt 116'161 kWh) und ist damit mehr als drei Mal grösser als der Planungswert (4'600 kWh). Die Anpassung der Hydraulik, welche 2016 erfolgte, bewirkte nur eine marginale Änderung des Stromverbrauchs der Umwälzpumpen, welche sich im Bereich von Messungenuigkeiten bewegt (Stromeinsparung von 0.8% von der Messperiode 2014/2015 zur Messperiode 2015/2016).

Neben den Anergiepumpen wird im Baufeld 5 ein grosser Anteil des Stromverbrauchs durch die Umwälzpumpen der Fernleitungen verursacht (32'763 kWh bzw. 28% des Stromverbrauchs für Umwälzpumpen). Weil die Wärmebereitstellung für die Häuser A, B, und C zentral erfolgt, ergibt sich in Baufeld 5 ein entsprechend grösserer Stromverbrauch für den Wärmetransport.

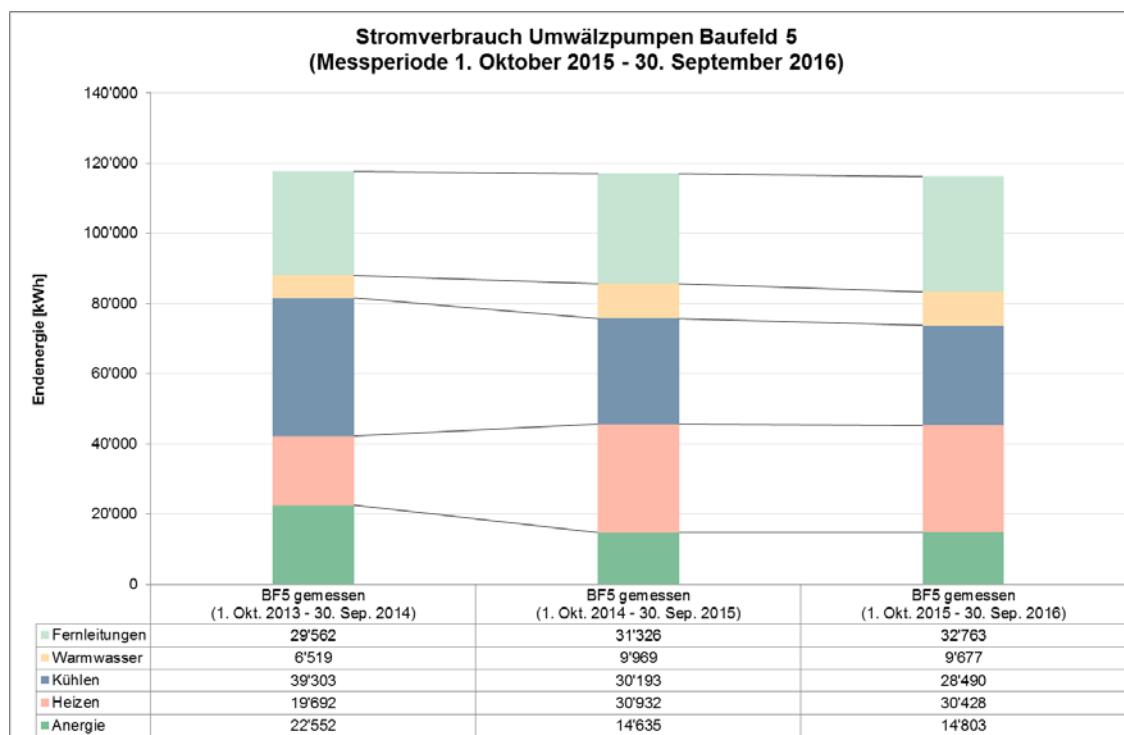


Abbildung 21: Stromverbrauch Umwälzpumpen Baufeld 5 (Messperioden Oktober 2013 – September 2016).

5.8. Nutzenergie

5.8.1. Wärmebedarf Baufeld 2

In Abbildung 20 ist der auf die Energiebezugsfläche bezogene Nutzenergieverbrauch für die Raumwärme und das Warmwasser für jedes Haus des Baufeldes 2 dargestellt. Die Messperioden Oktober 2012 – September 2016 werden mit den Berechnungen nach der Norm SIA 380/1 [6] verglichen. Der Vergleich zeigt, dass für jedes Wohnhaus des Baufeldes 2 die Messwerte des gesamten Nutzenergieverbrauchs die Planungswerte deutlich überschreiten (in der letzten Messperiode von Okt. 2015 bis Sept. 2016 gesamthaft um +49%). Der Nutzenergieverbrauch für das Warmwasser ist in allen Wohnhäusern tiefer als der Planungswert (in der letzten Messperiode von Okt. 2015 bis Sept. 2016 gesamthaft um -25%), während der Verbrauch für die Raumwärme massiv höher als der Planungswert liegt (in der letzten Messperiode von Okt. 2015 bis Sept. 2016 gesamthaft um +180%). Der Raumwärmebedarf war relativ starken Schwankungen (+18%/-12%) ausgesetzt, der Warmwasserverbrauch blieb hingegen ziemlich konstant (+6%/-7%).

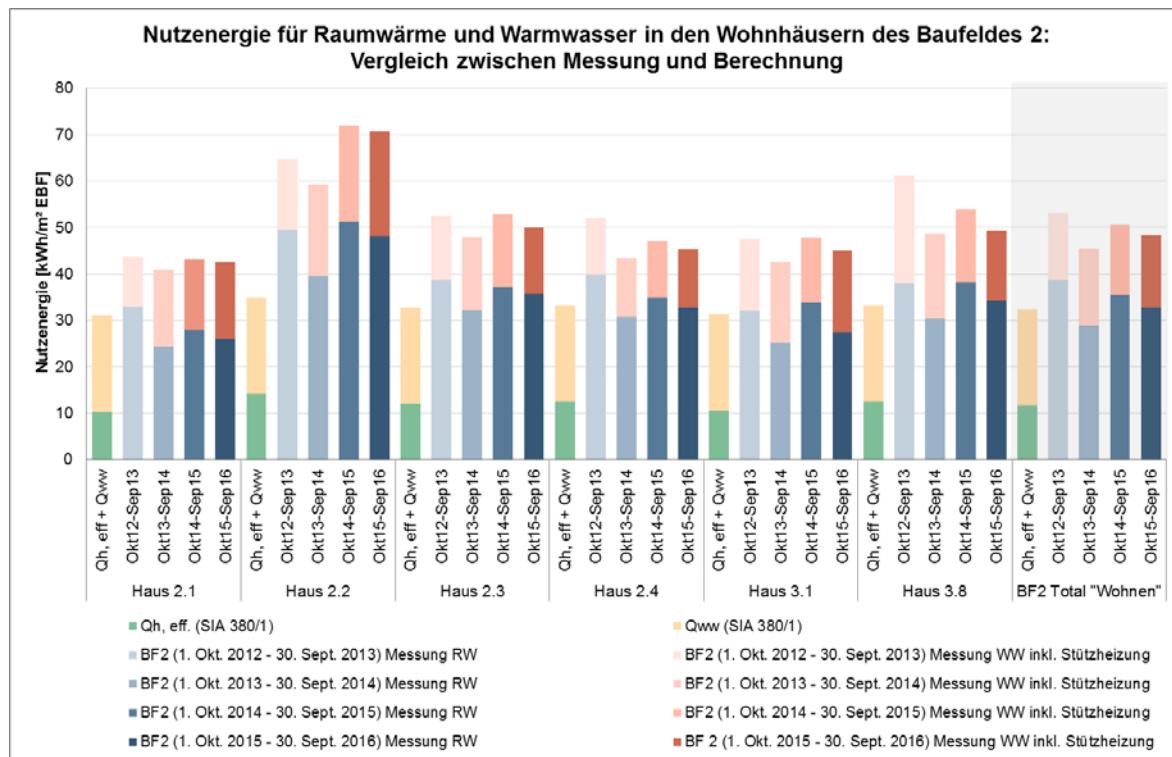


Abbildung 22: Gemessener Nutzenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser pro Quadratmeter EBF verglichen mit den berechneten Werten gemäss SIA 380/1 [6] für Raumwärme unter Berücksichtigung des thermisch effektiv wirksamen Luftwechsels (dunkelgrün) und Warmwassers (hellgrün).

In Abbildung 21 ist der Nutzenergieverbrauch für die Raumwärme mit der Heizgradtagkorrektur bereinigt und mit den Berechnungen nach der Norm SIA 380/1 [6] unter Berücksichtigung des Standardluftwechsels (Q_h Standard) und des thermisch effektiv wirksamen Luftwechsels ($Q_{h,eff}$) verglichen. Der Vergleich zeigt, dass sich die Messwerte trotz der Berücksichtigung der Heizgradtagkorrektur deutlich über den Planungswerten befinden (um den Faktor 2.8 gegenüber dem Planungswert gem. Berechnungen nach Norm SIA 380/1 [6] für das ganze Baufeld 2 während Messperiode 4). Die Veränderungen sind hauptsächlich auf das Nutzerverhalten zurückzuführen. Im

Winter 2012/2013 wurde von der Hans Abicht AG eine Messkampagne durchgeführt, bei der sich herausstellte, dass die Raumlufttemperaturen viel höher liegen, als in der Planung angenommen. Während der Planungswert für die Raumtemperatur gemäss SIA 380/1 Ziff. 3.5.1.2 für Wohnnutzungen bei 20°C liegen sollte, betragen die gemessenen Raumlufttemperaturen bei 85% der Wohnungen über 21°C. Zum einen führen diese markant höheren Raumtemperaturen zu einem erhöhten Nutzenergieverbrauch für Raumwärme. Zum anderen stellte sich in der Nutzerbefragung (siehe Kapitel 6.2) heraus, dass 69% der Bewohner die Fenster auch im Winter trotz mechanischer Lüftung öffnen. Als Gründe wurden schlechte Luftqualität (47%) sowie Gewohnheiten (20%) angegeben.

	Planungswerte (Qh,eff & Qww)	Messwerte Periode 1 (1.10.12 – 30.09.13)	Messwerte Periode 2 (1.10.13 – 30.09.14)	Messwerte Periode 3 (1.10.14 – 30.09.15)	Messwerte Periode 4 (1.10.15 – 30.09.16)
Nutzenergie RW inkl. HGT-Korr. [kWh/m ²]	11.7	38.7	29.0	35.5	32.8
Vergleich Messung RW mit Planung (Qh,eff) [%]	-	332%	249%	304%	281%
Nutzenergie WW [kWh/m ²]	20.8	14.5	16.5	15.1	15.1
Vergleich Messung WW mit Planung (Qww) [%]	-	70%	79%	73%	75%
Tot Nutzenergie RW + WW [kWh/m ²]	32.5	53.2	45.5	50.6	48.4
Vergleich Messung RW + WW mit Planung (Qh, eff + Qww) [%]	-	164%	140%	156%	149%

Tabelle 13: Vergleich der Planungswerte mit dem gemessenen Nutzenergieverbrauch in Baufeld 2 von Okt. 2012 bis Sept. 2016.

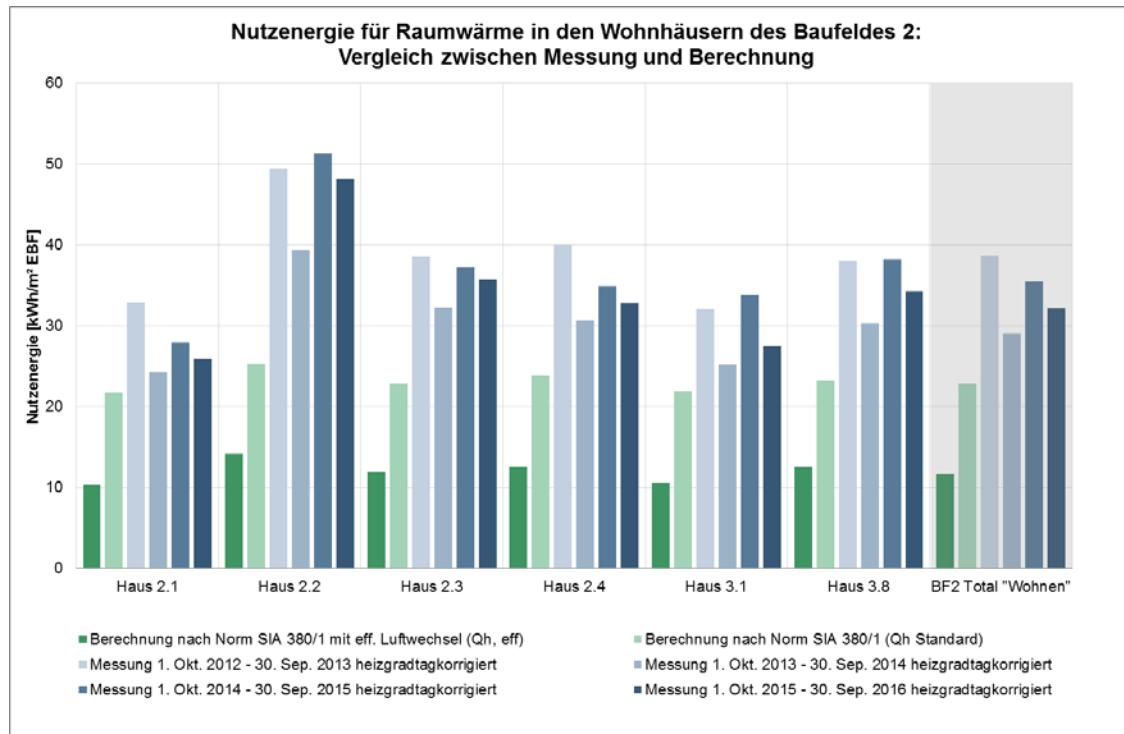


Abbildung 23: Spezifischer Verbrauch für die Raumwärme je Wohnhaus des Baufeldes 2 verglichen mit den berechneten Werten Qh gemäss SIA 380/1 [6] unter Berücksichtigung des Standardluftwechsels (hellgrün) und des thermisch effektiv wirksamen Außenluftwechsels (dunkelgrün).

5.8.2. Wärmebedarf Baufeld 5

In Tabelle 14 und Abbildung 24 ist der auf die Energiebezugsfläche bezogene Nutzenergieverbrauch für die Raumwärme sowie für Warmwasser des Baufeldes 5 dargestellt. Die Messungen sind mit der Heizgradtagkorrektur bereinigt und mit den Berechnungen nach der Norm SIA 380/1 [6] verglichen (mit Berücksichtigung des Standardluftwechsels und des thermisch effektiv wirksamen Luftwechsels). Der Vergleich zeigt, dass der effektive Nutzenergieverbrauch für die Raumwärme im Baufeld 5 weniger stark von den Planungswerten abweicht als im Baufeld 2 (der Messwert beträgt in der Messperiode 3 für das ganze Baufeld 5 153% des geplanten Heizwärmebedarfs Standard bzw. 106% des effektiven Heizwärmebedarfs gem. Berechnungen nach Norm SIA 380/1 [6]). Der Nutzenergieverbrauch für Warmwasser liegt im Baufeld 5 leicht unter dem Planungswert, jedoch relativ nahe bei diesem (in der Messperiode 3 betrug der Nutzenergieverbrauch WW 84% des Planungswertes). Die Veränderungen zwischen den Messperioden sind hauptsächlich auf das Nutzerverhalten zurückzuführen.

	Planungswerte (Qh,eff & Qww)	Messwerte Periode 1 (1.10.13 – 30.09.14)	Messwerte Periode 2 (1.10.14 – 30.09.15)	Messwerte Periode 3 (1.10.15 – 30.09.16)
Nutzenergie RW inkl. HGT- Korr. [kWh/m ²]	20.2	30.6	28.9	31.0
Vergleich Messung RW mit Planung (Qh,eff) [%]	-	151%	143%	153%
Nutzenergie WW [kWh/m ²]	16.0	10.6	15.8	13.5
Vergleich Messung WW mit Planung (Qww) [%]	-	66%	99%	84%
Tot Nutzenergie RW + WW [kWh/m ²]	36.2	41.2	44.7	44.5
Vergleich Messung RW + WW mit Pla- nung (Qh, eff + Qww) [%]	-	114%	123%	123%

Tabelle 14: Vergleich der Planungswerte mit dem gemessenen Nutzenergieverbrauch in Baufeld 5 von Okt. 2012 bis Sept. 2016.

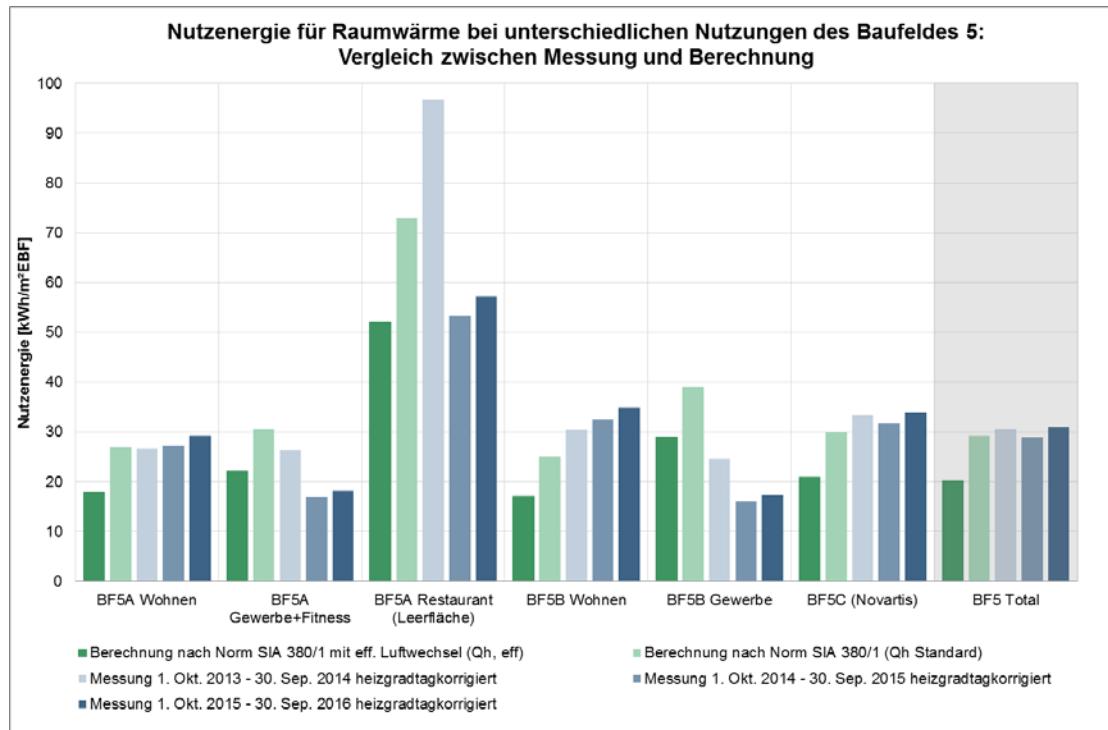


Abbildung 24: Spezifischer Verbrauch für die Raumwärme für die verschiedenen Nutzungen des Baufeldes 5 verglichen mit den berechneten Werten Qh gemäss SIA 380/1 [6] unter Berücksichtigung des Standardluftwechsels (hellgrün) und des thermisch effektiv wirksamen Außenluftwechsels (dunkelgrün).

5.8.3. Kältebedarf

Die Nutzenergie für die Kühlung der Gebäude ist stark von den sommerlichen Temperaturen und internen Lasten abhängig. Insgesamt liegt der gemessene Wert während allen Messperioden unter dem Planungswert (in der letzten Messperiode vom 1. Okt. 2015 bis zum 30. Sept. 2016 betrug der Messwert für beide Baufelder 68% des Planungswertes). Bereits im Sommer 2014 war dieser Wert tiefer als geplant (77% des Planungswertes). Im heissen Sommer 2015 lag die Nutzenergie für Freecooling näher beim Planungswert (85%).

Die Entwicklungstendenz in Baufeld 2 könnte in Zusammenhang mit der Nutzerbefragung stehen. Bei der Befragung im August 2015 hat sich herausgestellt, dass viele Bewohner nicht über die Möglichkeit des Freecooling ihrer Wohnung informiert wurden (siehe Ergebnisse aus der Nutzerbefragung in Kapitel 0). In Baufeld 2 ist während des Sommers 2015 ein markanter Anstieg (+96%) der Nutzenergie für Freecooling zu verzeichnen. Dieser Anstieg hängt zum Einen damit zusammen, dass 2015 der zweitheisste Sommer seit Messbeginn in der Schweiz war [8]. Wenn jedoch der markante Anstieg von 96% in Baufeld 2 mit dem moderaten Anstieg von 3% in Baufeld 5 verglichen wird, fällt auf, dass es weitere Gründe dafür geben muss. In Baufeld 5 wird das Freecooling automatisch gesteuert, hingegen muss das Freecooling in Baufeld 2 manuell aktiviert werden. Der Anstieg könnte somit teilweise auf einen Informationseffekt der Nutzerbefragung zurückzuführen sein.

Der Nutzenergieverbrauch für Freecooling in Baufeld 5 ist aufgrund der Büronutzungen neben der Abhängigkeit der Sommertemperaturen auch stark abhängig von der Anzahl Gebäudebenutzer und Geräte, welche Abwärme produzieren. Über die Anzahl Nutzer und Geräte in den Gebäuden von Baufeld 5 liegen keine Zahlen vor, weshalb keine Aussagen über diese Beeinflussung gemacht werden können.

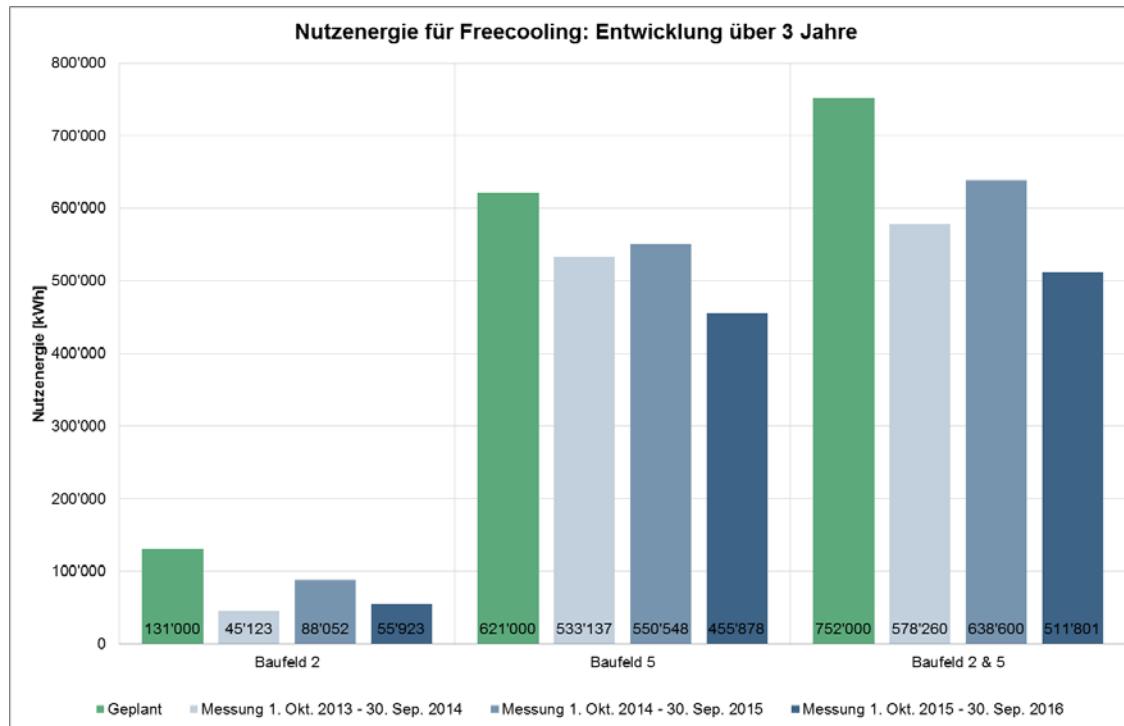


Abbildung 25: Vergleich der jährlichen Nutzenergie, die zum Kühlen aufgewendet wurde mit dem Planungswert (grün).



Freecooling [kWh/m ² EBF]	Planungswerte	Messwerte Periode 1 (1.10.13 – 30.09.14)	Messwerte Periode 2 (1.10.14 – 30.09.15)	Messwerte Periode 3 (1.10.15 – 30.09.16)
Baufeld 2	6.7	2.3	4.5	2.9
Vergleich Messung mit Planung [%]	-	34%	67%	43%
Baufeld 5	22.8	19.6	20.2	16.7
Vergleich Messung mit Planung [%]	-	86%	89%	73%
Baufeld 2 & 5	16.1	12.4	13.6	10.9
Vergleich Messung mit Planung [%]	-	77%	85%	68%

Tabelle 15: Vergleich des geplanten jährlichen Nutzenergiebedarfs pro Quadratmeter EBF für Freecooling mit den effektiven Nutzenergieverbräuchen in den Messperioden vom 1. Okt. 2013 – 30. Sep. 2016.

6. Nutzerbefragungen

Die Hochschule Luzern hat im Auftrag der Zug Estates AG im Sommer 2015 bei den Nutzerinnen und Nutzer der Baufelder 2, 3 und 5 eine erste Befragung gemacht. Im März 2016 wurde eine zweite Nutzerbefragung, angepasst für das Winterhalbjahr, durchgeführt. Ziel dieser Umfrage war es, das Befinden der Nutzerinnen und Nutzer im Zusammenhang mit dem Raumklima zu überprüfen und allenfalls zu verbessern. Zusammen mit den Energiemessungen sollten neue Erkenntnisse zum Nutzerverhalten im Quartier gewonnen und dieser nach Möglichkeit effizienter gestaltet werden.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse der Nutzerbefragungen thematisiert. Die ausführlichen Auswertungen der Nutzerbefragungen befinden sich im Anhang in Kapitel 11.5 und 11.6.

Insgesamt wurden 327 Bewohnerinnen und Bewohner (Sommer) bzw. 408 Nutzerinnen und Nutzer (Winter) angeschrieben. Retourniert wurden bei der Umfrage im Sommer 70 Fragebögen, was 21% entspricht. Erfreulicherweise war der Rücklauf im Winter mit 30% (121 retournierte Fragebögen) höher. Es konnte entweder der zugesendete Fragebogen von Hand oder Online ausgefüllt werden. Der digitale Fragebogen wurde mit EvaSys erstellt. Für das Ausfüllen der Umfrage hatten die angeschriebenen Personen einen Monat Zeit.

Die Befragung wurde in folgende Themen gegliedert:

1. Angaben zu Ihrer Situation
2. Benutzerverhalten
3. Gebäudetechnische Anlagen
4. Beurteilung des Raumklimas
5. Bemerkungen (zum Befinden in der Wohnung und im Quartier, nicht Bestandteil dieses Berichts)

6.1. Auswertung der Nutzerbefragung

Die Wohnungen, welche bei der Befragung erfasst wurden, variieren zwischen 1-Zimmer Studios bis zu 6 ½-Zimmerwohnungen. Die 3 ½-Zimmerwohnungen überwiegen jedoch bei beiden Umfragen. Bei der Umfrage im Winterhalbjahr beteiligten sich auch Nutzerinnen und Nutzer von gewerblich genutzten Einheiten des Baufeldes 5. Diese 3% setzen sich aus Büros, Fitnesscenter und Kindertagesstätte zusammen.

Je nach Tageszeit sind zwischen 9:00 und 16:00 nur 16 – 27% der Bewohnerinnen und Bewohner anwesend. Zwischen 19:00 und 6:00 sind dann 80 – 99% der Wohnungen belegt. Die Mehrheit der Befragten (Sommer: 71%, Winter: 83%) achtet gelegentlich, oft oder sogar immer auf den Energieverbrauch.

Die Antworten der Nutzerbefragung des Sommers 2015 zur Zufriedenheit bezüglich der Gebäudetechnikanlagen im Allgemeinen und bezüglich der Einflussmöglichkeiten auf diese im Speziellen sind in der Tabelle 16 und diejenigen der Nutzerbefragung des Winters 2015/2016 in der Tabelle 17 dargestellt. Generell kann gesagt werden, dass bei der Heizung beziehungsweise bei den Einstellmöglichkeiten der Heizung die Zufriedenheit am grössten ist. Am wenigsten zufrieden sind die Nutzerinnen und Nutzer mit der Lüftung, beziehungsweise mit den



Einstellmöglichkeiten der Lüftungsanlage. Die Umfrage im Sommer 2015 ergab, dass 16% der Befragten nicht wissen, dass die Wohnung über eine Kühlung verfügt.

Zufriedenheit im Sommer mit...	sehr schlecht bis schlecht	neutral	gut bis sehr gut
...Heizung	6%	25%	66%
...Kühlung	18%	29%	53%
...Lüftung	20%	32%	48%
...Einstellung der Heizung	19%	25%	56%
...Bedienung der Kühlung	23%	31%	46%
...Einstellung der Lüftungsanlage	33%	39%	28%

Tabelle 16: Zufriedenheit im Sommer mit den Gebäudetechnikanlagen und mit den Einflussmöglichkeiten auf diese.

Zufriedenheit im Winter mit...	sehr schlecht bis schlecht	neutral	gut bis sehr gut
...Heizung	23%	23%	53%
...Kühlung	18%	33%	48%
...Lüftung	26%	29%	44%
...Einstellung der Heizung	26%	28%	45%
...Bedienung der Kühlung	17%	36%	42%
...Einstellung der Lüftungsanlage	37%	33%	26%

Tabelle 17: Zufriedenheit im Winter mit den Gebäudetechnikanlagen und mit den Einflussmöglichkeiten auf diese.

Die Mehrheit (Sommer: 54%; Winter: 69%) öffnet die Fenster bis zu einer Stunde pro Tag. Nur 9% im Sommer und 14% im Winter gaben an, das Fenster nie zu öffnen, bei den restlichen waren die Fenster länger als eine Stunde offen. Erfreulich ist, dass die Hälfte der Befragten im Sommer (50%) und mehr als die Hälfte der Befragten im Winter (67%) keine Fenster in Kipposition öffnen.

Die Antworten der Nutzerbefragung zum Empfinden bezüglich der Raumtemperaturen sind in Tabelle 18 aufgelistet. Tendenziell werden die Raumtemperaturen sowohl im Sommer als auch im Winter als zu warm empfunden. Es ist zu beachten, dass der Sommer 2015 der zweitwärmste seit Messbeginn in der Schweiz war und der Winter 2015/2016 durchwegs sehr mild und besonders in der zweiten Hälfte sehr sonnenarm war [8], [9].

	kalt/kühl	leicht kühl	neutral	leicht warm	warm/heiss
Raumtemperatur Sommer	6%	30%	20%	21%	23%
Raumtemperatur Winter	9%	19%	25%	19%	26%

Tabelle 18: Empfinden bezüglich Raumtemperatur sowohl im Sommer als auch im Winter.

In der Tabelle 19 sind die Antworten zum Empfinden der Luftfeuchtigkeit aufgeführt. Die Mehrheit der Befragten empfindet die Raumluftfeuchte sowohl im Sommer als auch im Winter als optimal.

	tief	ehrer tief	neutral	ehrer hoch	hoch
Luftfeuchtigkeit Sommer	7%	26%	54%	12%	1%
Luftfeuchtigkeit Winter	17%	26%	59%	7%	0%

Tabelle 19: Empfinden bezüglich Luftfeuchtigkeit sowohl im Sommer als auch im Winter.

6.2. Fazit der Nutzerbefragung

Die Nutzerbefragungen und deren Analysen haben gezeigt, dass die Nutzerinnen und Nutzer mit der Raumluftqualität mehrheitlich zufrieden sind. Jedoch wird die Raumtemperatur sowohl während dem Sommerhalbjahr als auch während dem Winterhalbjahr tendenziell als zu warm empfunden. Bezuglich der gebäudetechnischen Anlagen überwiegt die Zufriedenheit. Die Zufriedenheit in Bezug auf die Einstellmöglichkeiten auf diese fällt nicht ganz so gut aus, wobei auch hier der Anteil an Unzufriedenen klein ist. Insbesondere die Lüftung scheidet bei der Zufriedenheiten (Technik und Einstellmöglichkeiten) am schlechtesten ab. Des Weiteren werden die Fenster sehr oft geöffnet, obwohl alle Räume mit einer mechanischen Lüftung ausgerüstet sind. Als Grund wurde häufig schlechte Luftqualität angegeben.

Der Sommer 2015 war in der Schweiz mehrheitlich um 2 bis 2.5 Grad wärmer als ein durchschnittliches Jahr [8]. Dies hatte sicher auch einen Einfluss auf die Raumtemperaturen in den Gebäuden, welcher primär auf klimatische Veränderungen zurückzuführen ist. Bei den Gebäuden des Baufeldes 2 erfolgt die Kühlung manuell. Jedoch waren sich 11% der Befragten dieses Baufeldes nicht bewusst, dass ihre Wohnung über eine Kühlung verfügt, so dass diese dadurch wahrscheinlich auch nicht genutzt wurde. Die meisten Nutzerinnen und Nutzer haben angegeben, die Fenster zu öffnen. Es muss angenommen werden, dass dies auch bei Außentemperaturen erfolgt, welche höher sind als die Innenraumtemperaturen und somit die Raumlufttemperaturen steigen.

Zusätzlich zur Tatsache, dass viele die Raumtemperaturen im Winter als zu hoch empfinden, gab es einige Rückmeldungen, dass es schwierig ist, die Heizung zu regulieren. Die Unzufriedenheit betreffend Lüftungsanlage bezieht sich im Wesentlichen auf die Geruchsimmissionen. Dies ist unter anderem ein Grund, warum die Nutzerinnen und Nutzer die Fenster auch im Winter oft öffnen.

Einerseits wird empfohlen, eine Nutzerinformation durchzuführen, um die Bewohnerinnen und Bewohner über deren Einflussmöglichkeiten auf die thermische Behaglichkeit und die Energieeffizienz zu sensibilisieren. Bei den Antworten aus der Umfrage handelt es sich um persönlich wahrgenommenes Empfinden. Darum sollten andererseits die Raumluftqualität – im speziellen die Raumlufttemperatur und die Geruchsemmissionen – und die Einstellungen der Gebäudetechnikanlagen – insbesondere diejenige der Lüftungs- und Heizungsanlage – überprüft und allenfalls optimiert werden.



7. Schlussfolgerungen

7.1. Jahresauswertung 2016

Die Betriebsoptimierung im Bereich der Warmwasserproduktion (Verzicht auf Stützheizung) wurde im Baufeld 2 umgesetzt. Aus den Messdaten ist klar ersichtlich, dass nun das Warmwasser mehrheitlich durch die Wärmepumpen produziert wird und nicht mehr über die Stützheizungen. Diese Optimierung hat sich positiv auf den Betriebsstromverbrauch und damit auch auf die Gesamtenergieeffizienz sowie den Deckungsgrad aus den eigenen PV-Anlagen ausgewirkt. In Baufeld 5 wurde die Betriebsoptimierung hingegen noch nicht eingeleitet. Hier liegt Potential zur Reduktion des Betriebsstromverbrauchs und Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz.

Die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen liegen im Baufeld 2 nach der durchgeführten Betriebsoptimierung mit durchschnittlich 4.0 genau beim Planungswert. In Baufeld 5 ist hingegen eine Entwicklung der stetigen Abnahme der JAZ der Hochtemperatur-Wärmepumpe zu beobachten. Zusammen mit der Betriebsoptimierung im Bereich der Warmwasserbereitstellung sollte eine Begehung vor Ort sowie eine allgemeine Betriebsoptimierung der Wärmepumpen in Baufeld 5 durchgeführt werden, um diese Tendenz genauer zu untersuchen und zu stoppen.

Die Deckung des Betriebsstromes aus den eigenen PV-Anlagen hat durch die Reduktion dessen Verbrauchs zugenommen. Weiter ist anzumerken, dass das kurzzeitig notwendige Ausschalten der PVT-Kollektoren wegen Überhitzungsgefahr des Anergienetzes im Sommer nur durch zusätzliche Speicher vermieden werden kann und somit die maximale Ausbeute der Anlagen garantieren würde. Die Abstimmung zwischen Freecooling und Wärmeeintrag aus den PVT-Anlagen muss in den kommenden Jahren weiter optimiert werden.

Der Stromverbrauch der Umwälzpumpen hat leicht abgenommen, jedoch in einem Umfang, der innerhalb der Messungenauigkeiten liegt. Die Optimierung der Hydraulik hatte offensichtlich nicht den gewünschten Effekt beim Stromverbrauch der Umwälzpumpen erzielt.

Der heizgradtagkorrigierte Verbrauch der Nutzenergie für Raumwärme ist in Baufeld 2 tendenziell zurückgegangen, in Baufeld 5 aber tendenziell gestiegen. Es ist unklar, worauf dies zurückzuführen ist. Möglicherweise hatte bereits die Befragung der Nutzer einen Einfluss auf das Nutzerverhalten (weniger geöffnete Fenster im Winter). Dies würde darauf hindeuten, dass über gezielte periodische Nutzerinformationen ein grosser Einfluss auf den Verbrauch der Nutzenergie für Raumwärme ausgeübt und somit den performance Gap weiter reduziert werden kann.

Die Nutzenergie aus dem Freecooling hat nach dem heissen Sommer 2015 wieder abgenommen. Diese Abnahme fiel in Baufeld 2 kleiner aus als in Baufeld 5. Der Zusammenhang der Nutzungsverteilung (grösserer Anteil an Wohnnutzung bzw. individuelle Steuerung in BF2 gegenüber einem Anteil an Büro- und Gewerbenutzung bzw. mieterabhängige Steuerung in BF5) und der Nutzerbefragungen im August 2015 könnte darauf hindeuten, dass bereits die Befragung der Nutzenden dazu führte, dass diese öfters von der Möglichkeit des Freecooling Gebrauch machten, auch wenn keine gezielte Nutzerinformation stattfand.

7.2. Rückblick 2012-2016

Dank des Monitorings und dessen Auswertungen konnten verschiedene Optimierungsmöglichkeiten und Fehlfunktionen aufgezeigt werden und es liegen fundierte Informationen zum effektiven Energieverbrauch der Baufelder vor. Weiter konnten dank des Monitorings die Energieeffizienz, die Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf des Areals berechnet werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Werte für Treibhausgasemissionen und nicht erneuerbare Primärenergie deutlich unter den Richtwerten des SIA Effizienzpfades Energie [5] liegen. Die Betrachtung der Auswirkung unterschiedlicher Arten des Strombezuges der Nutzerinnen und Nutzer zeigt aber auch, wie stark dies den Verbrauch für nicht erneuerbare Primärenergie beeinflusst. Wenn angenommen wird, dass 50% der Mieter Naturstrom und 50% Graustrom beziehen, werden die Richtwerte für den Verbrauch von nicht erneuerbarer Primärenergie nur noch knapp unterschritten.

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass zu Beginn aufgrund grosser Abweichungen des Heizwärmebedarfs und fehlender Wärmeeinträge vom Freecooling und von PVT-Anlagen das Erdwärmefeld ohne Gegenmassnahmen langsam auskühlte. Darauf wurde mit einer temporären Pelletheizung und Stützheizungen reagiert. Durch das Hinzufügen weiterer Anlagen, welche Abwärme ins Anergienetz liefern, konnte diese Entwicklung entschärft werden. Über den Wärmeeintrag der Hybridkollektoren sowie des Freecoolings des Baufeldes 3 und des Schulhauses S41 konnte die thermische Energiebilanz der Gesamtanlage ausgeglichenen werden. Die Pelletheizung und Stützheizungen waren anschliessend nicht mehr nötig. Wie die momentane thermische Energiebilanz über das Gesamtareal jedoch aussieht, ist nicht bekannt, da Messdaten der neuen Anlagen fehlen. Anhand der gemessenen Temperaturen an den Eintrittsfühlern der Verdampfer kann eine tendenzielle Stabilisierung der Jahresmitteltemperatur des Anergiennetzes seit dem Einsatz der PVT-Kollektoren beobachtet werden. Die Datengrundlage für Aussagen über den tatsächlichen Zustand und die langfristige Stabilität der Anergiennetztemperatur bleiben jedoch dürfzig.

Während bei der Betrachtung des Stromverbrauches in Baufeld 2 die bereits diskutierte Betriebsoptimierung der Warmwasserbereitstellung zentral ist, fällt bei der Betrachtung des Baufeldes 5 auf, dass der Mieterstrom- und Allgemeinstromverbrauch während des Monitorings stetig zunahm. Die Erklärungen dafür können vielfältig sein wie z.B. die Zunahme der elektrischen Geräte (Computer, Fernseher usw.) oder die Zunahme der Mieteranwesenheit.

Im Zuge der Jahresauswertungen wurde erkannt, dass der aktuelle Wärmebedarf der bereits realisierten Überbauungen deutlich über den geplanten Werten liegt. Diese Erkenntnis floss in die Planung der neuen Baufelder ein und diente somit als wichtige Planungsgrundlage (Berücksichtigung des Performance Gap). Da thermisch vernetzte Areale relativ neue technische Entwicklungen darstellen, sind solche Erkenntnisse von grosser Bedeutung. Zum Einen scheinen viele Planungswerte die effektiven Verbräuche nicht genügend akkurat vorhersagen zu können. Die Untersuchung dieses sogenannten „Performance Gap“ stellt einen wichtigen Forschungsgegenstand der nächsten Jahre dar. Dies zeigte sich beim Suurstoffi-Areal insbesondere an den stark abweichenden Heizwärmeverbräuchen im Baufeld 2. Zum Anderen sind bei der Grösse und Komplexität einer Anlage wie des Suurstoffi-Areals Vorhersagen sehr anspruchsvoll. Monitoring und Auswertung bieten hier die nötige Unterstützung in der Etappierung eines solchen Bauvorhabens sowie der Optimierung im Betrieb.



Bezüglich des Monitorings und der Auswertungen wurde festgestellt, dass so ein grosses und komplexes Areal umfangreiche Mess- und Auswertungsarbeit nach sich zieht. Die verwendeten Messmittel sowie die Messsoftware wurden noch nicht optimal aufeinander abgestimmt, was zu zeitaufwändiger Kontroll- und Korrekturarbeit bei der Auswertung führte. Häufige Messunterbrüche und teilweise Messausfälle erschwerten die Auswertung der Messdaten erheblich. Zudem wurde ein Kostenpotential in der Koordination zwischen den verschiedenen Akteuren des Monitorings (Betriebspersonal, Wartungspersonal, Planungspersonal und Auswertungspersonal) festgestellt.

8. Diskussion

8.1. Innovative Technologie in realem Umfeld eingesetzt

Die Zusammenarbeit der Zug Estates AG mit der HSLU und der Unterstützung des BFE ist in vielerlei Hinsicht ein Erfolg. Die Zug Estates verfolgt mit ihrer nachhaltigen Immobilienstrategie hochgesteckte und weitsichtige Ziele. Langfristig will sie weitgehend emissionsfrei und nur mit erneuerbaren Ressourcen wirtschaften. Dies ist auch in der Strategie des BFE von zentraler Bedeutung, womit Zug Estates einen wichtigen Partner in der Bauwirtschaft darstellt. Durch die Zusammenarbeit der Immobilienfirma und der HSLU konnten neuartige, innovative Technologien in einem realen Umfeld eingesetzt, erprobt und optimiert werden. Dies stellte für alle Beteiligten einen Gewinn dar. Die Zug Estates konnte von Optimierungsmassnahmen profitieren und darf eine Vorreiterrolle für sich beanspruchen. Die HSLU fand eine Möglichkeit um theoretische Konzepte in der Realität zu überprüfen und das BFE erhielt die Erkenntnis, wie wirkungsvoll solche Projekte tatsächlich sind.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse war, dass die Kombination der unterschiedlichen Anlagekomponenten in Bezug auf die thermische Energiebilanz des Anergienetzes aufeinander abgestimmt sein müssen und das System ein robustes Konzept aufweisen sollte. Wenn im gesamten System zu viele Wärmebezüge gegenüber zu wenigen Wärmeeinträgen stehen, so kühlen das Anergiennetz und der Saisonalspeicher langfristig ab. Beim Suurstoffi-Areal wurde dieses Problem festgestellt, kurzfristig durch Pelletheizungen und elektrischen Stützheizungen entschärft und langfristig über PVT-Kollektoren behoben. Die PVT-Kollektoren fungieren hierbei als Pufferkomponenten: Wenn die thermische Energiebilanz negativ bzw. positiv ausfällt, kann im Folgejahr die thermische Energiebilanz über die Anpassung der eingespielten Wärme aus den PVT-Kollektoren ins Anergiennetz ausgeglichen werden. Um die Robustheit des Systems weiter zu steigern, wird das System mit einer reversiblen Lüft-Wasser-Wärmepumpe ergänzt. Damit kann zukünftig Wärme in das und aus dem Anergiennetz geführt und dadurch auf Nutzungsänderungen reagiert werden. Ähnliche Probleme konnten auch bei vergleichbaren Systemen beobachtet werden. Das Anergiennetz des Areals ETH Hönggerberg war mit dem entgegengesetzten Problem konfrontiert. Dort waren zu Beginn zu wenig Wärmebezüger vorhanden (keine Wohnnutzungen bis 2016) bei zu vielen Wärmeeinträge (Kühlbedarf der Büro- und Unterrichtsräume) [10]. Es scheint, dass insbesondere in der langfristigen Planung solcher komplexen vernetzten Areale auf eine etappenweise Realisierung mit gemischten Nutzungen sowie die frühzeitige Realisierung von "Pufferkomponenten" zum Ausgleichen der thermischen Energiebilanz geachtet werden sollte [11].

Wichtig im Zusammenhang der robusten Lösungen ist auch die optimale Bewirtschaftung der Erdsondenfelder als saisonaler Wärmespeicher. Die Auswertungen der Monitoringdaten aus den bestehenden Baufeldern und die ergänzenden Simulationsmodelle zeigen ein Optimierungspotential bezüglich der Bewirtschaftung des Erdspeichers. Beispielsweise werden die Hybrid-Solarkollektoren während dem Sommer ausser Betrieb genommen, weil die Aufnahme der Wärmelast vom Erdspeicher begrenzt ist. Es muss eine nachhaltige Lösung gefunden werden, welche die vollständige Bewirtschaftung der Solaranlagen und des Erdspeichers erlaubt. Beispielsweise würde der Betrieb des Areals als Energy Hub die Möglichkeit bieten, die Flexibilität des Systems zu erhöhen und somit könnten letztere besser bewirtschaftet werden (siehe dazu Kapitel 9).



8.2. Projektkoordination

Beim Suurstoffi-Areal handelt es sich um ein Projekt, bei dem die integrale und interdisziplinäre Betrachtung eine wichtige Rolle spielt. Deshalb sind die Anforderungen an die Projektkoordination gross. In der Planungsphase funktionierte dies offensichtlich gut, da ein funktionsfähiges Konzept erarbeitet und realisiert werden konnte. In der Betriebsphase gibt es hingegen noch viel Potential zur Verbesserung der Projektkoordination.

Zum Einen muss eine gewisse Kontinuität in der Begleitung des Projektes sichergestellt werden. Die Projektverantwortlichen der verschiedenen Akteuren sollten über möglichst lange Zeiträume ein eingespieltes Team bilden. Bei allfälligen personellen Wechseln ist die Übergabe aller wichtigen Informationen und die Einarbeitung in die Prozesse von besonderer Bedeutung.

Zum Anderen sind die Projektverantwortlichen mit genügend Kompetenz auszustatten, damit Fehlerbehebungen, Betriebsoptimierungen und Entscheide schnell und effektiv abgewickelt werden können.

Die Formulierung einer konkreten und zielführenden Methodologie des Monitorings mit der Definition von Abläufen und Prozessen sollte für solche innovative Projekte systematisch stattfinden. Schliesslich bildet die Projektkoordination die Grundlage für ein wirkungsvolles und aussagekräftiges Monitoring sowie funktionsfähige Kreisläufe der Betriebsoptimierung und der Nutzerinformation.

8.3. Kreislauf der Betriebsoptimierung

Der Zyklus aus Monitoring, Auswertung und Betriebsoptimierung besteht zwingend aus allen drei Teilen. Wenn ein Schritt dieser Abfolge nicht, nur teilweise oder mit grosser Verzögerung durchgeführt wird, führt dies dazu, dass die anderen Schritte mit grösserem Aufwand und weniger Wirkung durchgeführt werden. Beim Suurstoffi-Monitoring hat dieser Prozess grundsätzlich funktioniert, war teilweise aber mit einem hohen Aufwand verbunden oder lückenhaft. Probleme beim Erfassen der Messdaten (häufige Zählerausfälle, unzuverlässige Messmittel und Fehler in der Auswertungssoftware) führten zu einer erschwerten und aufwändigeren Auswertung. Darauf folgend wurde die Betriebsoptimierung nur teilweise umgesetzt. Zum Beispiel wurde das Optimierungspotential in der Warmwasseraufbereitung (über die Wärmepumpen anstatt die Stützheizungen) nur in Baufeld 2, nicht aber in Baufeld 5 realisiert.

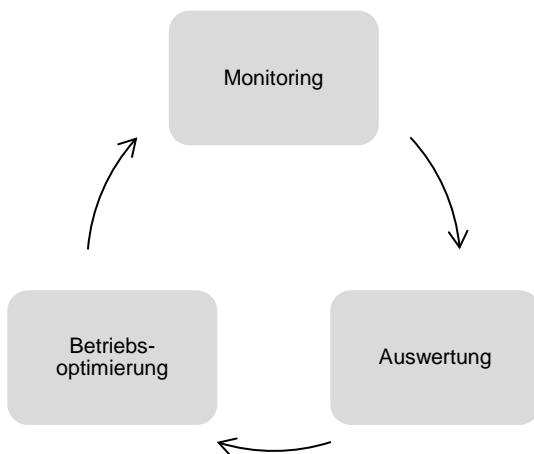


Abbildung 26: Zyklus der Betriebsoptimierung.

8.4. Kreislauf der Nutzerinformation

Ein ähnliches Bild zeichnet sich im Zyklus aus Monitoring, Nutzerbefragung, Auswertung und Nutzerinformation ab. Die einzelnen Teile sind voneinander abhängig. Beim Suurstoffi-Areal wurde zwar ein Aufwand für Monitoring, Nutzerbefragung und Auswertung betrieben, bisher erfolgte darauf basierend jedoch noch keine gezielte Nutzerinformation. Wie die Messdaten vermuten lassen, läge hier ein grosses Potential hinsichtlich des Mieterstromverbrauches, der Nutzung des Freecoolings und der Reduktion des Heizenergieverbrauchs. Ein klar definierter periodischer Ablauf des Nutzerinformations-Kreislaufes würde rückwirkend auch zu einem besseren Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag des Monitorings führen.

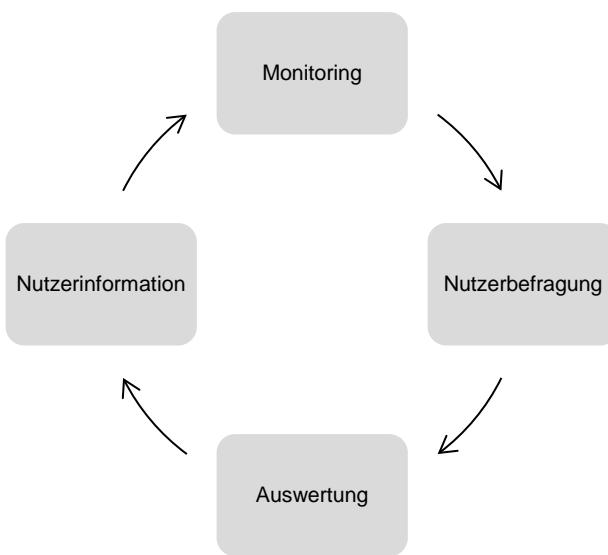


Abbildung 27: Zyklus der Nutzerinformation.

8.5. Empfehlungen

Die Betrachtung der thermischen Energiebilanz und der Temperaturen in den Eintrittsfühlern der Verdampfer sind von zentraler Bedeutung für das langfristige Funktionieren des Erdsondenfeldes als saisonaler Speicher und sollten deshalb weiterhin genau beobachtet werden.

Die Baufelder 3 und S41 wurden an das bestehende Anergiennetz angeschlossen und sind Teil des Gesamtareals. Von Interesse sind insbesondere das Verhalten des Anergiennetzes bzw. des Erdwärmespeichers im Zusammenhang mit den hybriden Solaranlagen (PVT) auf den neuen Gebäuden und die Energiebilanzen der einzelnen Gebäude. Es sollten frühzeitig Fehlfunktionen und Optimierungspotentiale erkannt werden, um entsprechende Massnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit und der Energieeffizienz sowie zur Reduktion der Energiekosten in die Wege leiten zu können.

In den neuen Baufeldern kommen andere Gebäudetechnikkonzepte zum Einsatz als in den bereits realisierten Baufeldern. Darum ist es besonders wichtig, auch diese neuen Konzepte auf deren Effizienz und Funktionalität zu prüfen. Der thermische Ertrag aus den PVT-Kollektoren kann variabel in das Anergiennetz eingespielen werden und beeinflusst somit die gesamte Energiebilanz. Um eine vollständige thermische Bilanz ziehen zu können, müssen alle Wärmelieferanten und Wärmebezüger im Messkonzept erfasst werden.



Die Betriebsoptimierung in Baufeld 5 bezüglich der Warmwasserproduktion ist noch ausstehend und verspricht grosse Wirkung. Auch hier sollte (wie bereits in Baufeld 2) die Warmwasserproduktion nicht mehr über die Stützheizungen betrieben werden, sondern über die Wärmepumpen.

Es sollten konkrete Prozessabläufe für die Kreisläufe der Betriebsoptimierung und der Nutzerinformation eingeführt werden. Hierbei ist die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure von entscheidender Bedeutung. Es sollte Wert auf Konstanz und die wirkungsorientierten Entscheidungs- und Handlungskompetenzen des Teams gelegt werden.

Im Hinblick auf die die Erweiterung der Anlage durch weitere Baufelder und die anstehende Erneuerung des Mess- und Auswertungssystems ist auf eine sorgfältige Auswahl der Messmittel und der Auswertungssoftware zu achten. Hier zahlen sich höhere Erstellungsaufwände schnell durch tiefere Betriebsaufwände aus. Es ist eine Gesamtlösung anzustreben, bei der die Plausibilität der Messdaten automatisiert kontrolliert wird und die Daten trotz Messunterbrüchen noch rekonstruierbar sind. Der Wechsel auf ein neues Energiemanagementsystem wurde angekündigt. Dieser Wechsel verspricht stabilere Messdaten und einfachere Auswertungsabläufe. Es ist aber zu vermuten, dass während des Wechsels mit noch mehr Messunterbrüchen zu rechnen ist.

Eine gezielte Nutzerinformation würde weiteres Optimierungspotential erschliessen. Die gebäudetechnischen Messwerte zusammen mit den Ergebnissen der Nutzerbefragung und der Messkampagne der Hans Abicht AG bieten eine optimale Grundlage dafür. Nach einer Überprüfung der Raumluftqualität könnte eine Nutzerinformation den Energieverbrauch senken und die Nutzerzufriedenheit steigern. Zudem wäre eine anschliessende Überprüfung der Auswirkungen einer solchen Informationskampagne auch für die Hochschule Luzern und das Bundesamt für Energie interessant, um Massnahmen gegen den sogenannten „Performance Gap“ zu untersuchen.

9. Ausblick

Eine Weiterführung der Zusammenarbeit scheint vielversprechend und gewinnbringend für das Projekt. Die Überprüfung der Auswirkungen der zusätzlichen Anlagen auf die thermische Energiebilanz ist für die Zug Estates AG von entscheidender Bedeutung und verspricht für die HSLU einen Erkenntnisgewinn hinsichtlich der etappenweisen Vergrösserung des Anergienetzes. Des Weiteren verspricht eine gezielte Nutzerbefragung und die Betrachtung der Auswirkungen einen Gewinn für die Immobilienbetreiberin und die Forschungsinstitution bezüglich des Performance Gap.

Neben der vielversprechenden Forschung im Bereich des Performance Gap bietet sich mit dem Suurstoffi-Areal auch die Weiterentwicklung in Richtung eines „Energy Hub“ an. Hierbei handelt es sich um die Erweiterung des Konzepts der thermischen Arealvernetzung auf weitere Energieträger wie Strom- und Gasnetze. Ein sogenanntes Multi Energy Grid führt durch Energiekonversions- und Speichertechnologien zu einer möglichst dezentralen und selbstversorgenden Energiebereitstellung. Das Suurstoffi-Areal stellt ein optimales Forschungsobjekt für zentrale Themen des SCCER FEEB&D dar (Swiss Competence Center for Energy Research: Future Energy Efficient Buildings & Districts).

Momentan besteht beim Suurstoffi-Areal keine saisonale Verschiebung der Solarstromproduktion Richtung Stromverbrauch für die Wärmepumpen (siehe Abbildung 26). Wenn nun die Eigenversorgung erhöht wird, können geeignete Energiekonversion- und Speichertechnologien (Batterien, Brennstoffzellen, Elektrolyser, Power-to-gas etc.) die Schwankungen im Saison- und Tagesverlauf der Solarstromproduktion ausgleichen [12]. Das Ziel ist hierbei, die Problematik des grossen Strombedarfes im Winter sowie in der Nacht und damit zu Zeiten geringer Stromproduktion von PV-Anlagen zu überbrücken. Durch das Hinzufügen von weiteren Wärmespeicheranlagen (z.B. Warmwassertanks) sowie Energiekonversionstechnologien (z.B. Brennstoffzellen) könnte sowohl die Eigenversorgung erhöht, als auch Netzkosten reduziert und sichergestellt werden, dass die PVT-Anlagen zu keiner Zeit wegen zu hoher Anergienetzentemperaturen abgeschaltet werden müssen. Wird das Suurstoffi-Areal als Energy Hub weiterentwickelt, muss die Mobilität und vor allem die elektrische berücksichtigt werden.

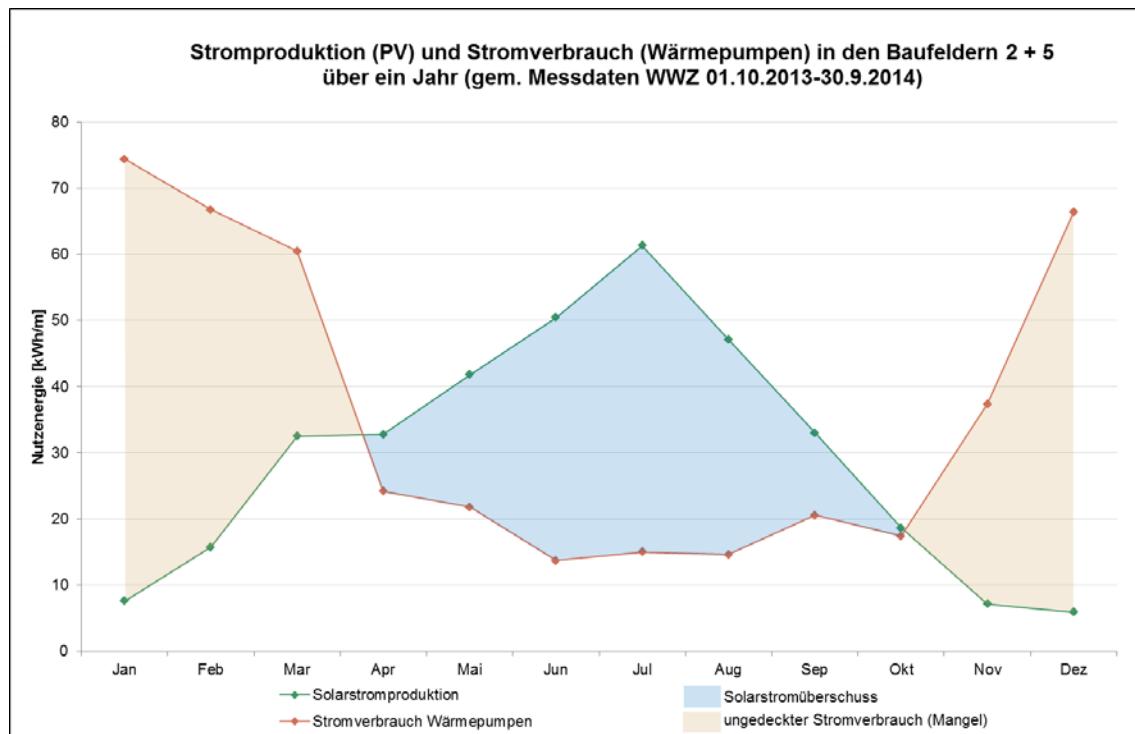


Abbildung 28: Vergleich der gemessenen Solarstromproduktion mit dem gemessenen Stromverbrauch der Wärmepumpen der Baufelder 2 & 5 (gem. Messdaten WWZ 01.10.2013 – 30.9.2014). Die roten bzw. blauen Flächen zeigen den ungedeckten Stromverbrauch bzw. den Solarstromüberschuss.

10. Literaturverzeichnis

- [1] Energiestrategie 2050 nach der Schlussabstimmung im Parlament.
BFE Bundesamt für Energie.
2016.
- [2] Monitoring Suurstoffi - Jahresbericht 2015 (Messperiode Okt. 2014 – Sept. 2015)
Nadège Vetterli, Eveline Thaler, Matthias Sulzer
2016.
- [3] Monitoring Suurstoffi - Jahresbericht 2014 (Messperiode Okt. 2013 – Sept. 2014)
Nadège Vetterli, Stefan Brücker, Matthias Sulzer
2015.
- [4] Monitoring Suurstoffi - Jahresbericht 2013
Nadège Vetterli, Dieter Lüthi, Stefan Brücker
2014.
- [5] SIA Merkblatt 2040, SIA-Effizienzpfad Energie.
SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
2011.
- [6] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau.
SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
2009.
- [7] Norm SIA 380, Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden.
SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
2015.
- [8] MeteoSchweiz 2016: Klimabulletin Jahr 2015. Zürich.
http://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/klimabulletin_jahr_2015.pdf
13.01.2016.
- [9] MeteoSchweiz 2016: Klimabulletin Winter 2015/2016. Zürich.
http://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publikationen/Publikationen/doc/klimabulletin_winter_2015-16.pdf
09.11.2016.
- [10] Anergienetz wird zum Stand der Technik.
Tec21, 34/2015, s. 27.
2015.
- [11] Implementing decentralised renewable energy systems in Switzerland.
SusTec, ETH Zürich.
2016.
- [12] Modelling the Suurstoffi district based on monitored data to analyse future scenarios for energy self-sufficiency.
Ashreeta Prasanna, Nadège Vetterli, Viktor Dorer, Matthias Sulzer.
2016.



11. Anhang

11.1. Technische Details der Anlage

	Gesamtareal	Baufeld 2	Baufeld 5	Baufeld 3	S41
Name	Suurstoffi				
Ort	6364 Rotkreuz (Schweiz)				
Investor	Zug Estates				
Projektpartner	Eicher + Pauli, WWZ, Hans Abicht, Alfacel, Bretscher+Söhne, Leicom, BFE				
Anzahl Gebäude	8	3	9	1	
Hausnummern	3 (2.1), 5 (2.2), 7 (Kita), 9 (2.3), 11 (QT), 13 (2.4), 15 (3.1), 17 (3.8)	8 & 10 (BF5A), 12 (BF5B), 14 (BF5C)	19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35	41	
Gebäudetypen	Neu, äquivalent Minergiestandard				
Nutzungen	Mischnutzung	Wohnen (hauptsächlich)	Wohnen, Büros, Gewerbe	Wohnen	Schule, Büros
Energiebezugsflächen EBF	172'421 m ² (bis 2020)	19'539 m ² (111 Wohnungen, Kindergarten und Gewerbe)	27'249 m ² (85 Wohnungen, 22 Räume für Dienstleistung: Fitness, Kindergarten, etc., Büros: 400 Arbeitsplätze)	14'967 m ² (145 Wohnungen)	7'891 m ² (300 Arbeitsplätze)
Baujahr	2012	2013	2014	2014	
Thermische Vernetzung	Niedertemperatur-Netz oder Anergienetz				
Photovoltaik-Anlagen (PVA) [m²]	2'651	2'129	522		
Hybridkollektoren (PVT) [m²]	9'487			3'487	700
Stromproduktion PV + PVT (Berechnung) [kWh/a]	896'881	284'049	68'832	422'000	122'000
Wärmeproduktion PVT (Berechnung) [kWh/a]	1'401'000			1'080'000	321'000
Saisonaler Speicher	Erdsonden (West: 215 Sonden, 150m tief, Ost: 180 Sonden 300m tief)				
Wärmepumpen		Dezentrale WP (eine pro Gebäude), für Heizung und Warmwasser kombiniert	Zentrale WP (für alle drei Gebäude), Niedertemperatur-WP für Heizung, Hochtemperatur-WP für Warmwasser	Dezentrale WP (eine pro Gebäude), Niedertemperatur-WP für Heizung, Hochtemperatur-WP für Warmwasser	
Anzahl Wärmepumpen		8	2	9	1
Kühlgeräte	N/A				
Netztopologie	Mesch, bidirectional, ungerichtet				
Gesamte Leitungslänge	2.5 km (Erste Etappe)				
Leitungsmaterial	Kunststoff				
Leitungsdurchmesser	60-400 mm				
Flussrichtung	Bidirektional für Hauptleitungen (unidirektional für Leitungen zwischen Gebäuden und Wärmepumpen / Wärmeübertrager Freecooling)				
Anzahl Hauptleitungen	2 (Warm- und Kaltleiter)				
Temperaturbereiche	Warmleiter: max. 25°C, min 8°C Kaltleiter: min. 4°C, max. 17°C				
Heizwärmebedarf [kWh/a] (geplant)	7'653'251	712'418	915'824	609'327	292'157
Warmwasserbedarf [kWh/a] (geplant)	2'966'218	364'324	529'392	313'299	23'673
Kühlbedarf [kWh/a] (geplant)	2'363'548	41'196	513'467	64'131	152'731
Installierte Leistung für Heizen (WP) [kW]	5'431	579	775	461	200
Installierte Leistung für Warmwasser (WP) [kW]	1'301	445	246	72	10
Installierte Leistung für Kühlung (Freecooling) [kW]	2'327	55	571	86	185
Temperatur Warmwasser	60°C				
Temperatur Heizung	35°C				
Temperatur Kühlung	<18°C				

Tabelle 20: Technische Details des gesamten Suurstoffi-Areals.



11.2. Messkonzept

Die Messdaten umfassen folgende Zählerstellen:

Seit Juni 2012 für jedes einzelne Gebäude des Baufeldes 2 (15-Minuten Schritte):

- Elektrozähler der Begleitheizbänder;
- Elektrozähler für div. Umwälzpumpen (Anergienetz, Heizung, Warmwasser & Kühlung);
- Elektrozähler Kompressor Wärmepumpe;
- Wärmezähler Warmwasser;
- Wärmezähler Raumwärme;
- Kältezähler Freecooling (Wärmeabgabe ans Anergienetz);
- Wärmezähler Rampenheizung;
- Wärmezähler Verdampfer Wärmepumpe (Wärmeaufnahme aus dem Anergienetz).

Seit der Inbetriebnahme des Baufeldes 5 (April 2013) für die Häuser A, B und C (15-Minuten Schritte):

- Elektrozähler der Ventilatoren (Lüftungsanlagen Fitness, Gewerbezone, Restaurant, Küche, Büros und Keller);
- Elektrozähler für div. Umwälzpumpen (Anergienetz, Heizung, Warmwasser & Kühlung);
- Elektrozähler Kompressor NT & HT Wärmepumpe;
- Elektrozähler Schaltschrank BF5 B;
- Wärmezähler Verdampfer (Wärmeaufnahme vom Anergienetz);
- Wärmezähler Raumwärme;
- Wärmezähler Luftheizung;
- Wärmezähler Rampenheizung;
- Kältezähler Freecooling (Wärmeabgabe ans Anergienetz);
- Kältezähler Raumkühlung;
- Kältezähler Luftkühlung.

Seit April 2013 von der WWZ für jedes Wohnhaus (2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3.1 und 3.8) des Baufeldes 2 (15-Minuten Schritte):

- Elektrozähler Wärmepumpen;
- Elektrozähler Allgemeinstrom;
- Elektrozähler Mieterstrom in rund 50% der Wohnungen (für die anderen Wohnungen wurde keine Bewilligungen erteilt);
- Stromproduktion der PV-Anlage;
- Zusätzlich seit 2014 die Stromproduktion der PVT-Anlagen in Baufeld 3 und S41.

Die Datengrundlagen erlauben Aussagen über einzelne, technische Komponenten von der Überprüfung der Funktionstüchtigkeit bis hin zu einer energetischen Charakterisierung ganzer Gebäude, Baufelder oder des gesamten Quartiers. Dabei wird in den nachfolgenden Auswertungen zwischen

- Mieterstrom (der durch den Haushalt verursachten Strombezug);
- Allgemeinstrom (Lifte, Entfeuchter, Schmutzwasserpumpe, Steuerungstechnik, Wäschetrockner, Garagentor, Rohrventil Heizzentrale und einige Umwälzpumpen);
- Betriebsstrom (Wärmepumpen für Raumwärme und Warmwasser, Umwälzpumpen für Raumwärme und Warmwasser, Begleitheizbänder, abzüglich Photovoltaik-Stromproduktion)

unterschieden.

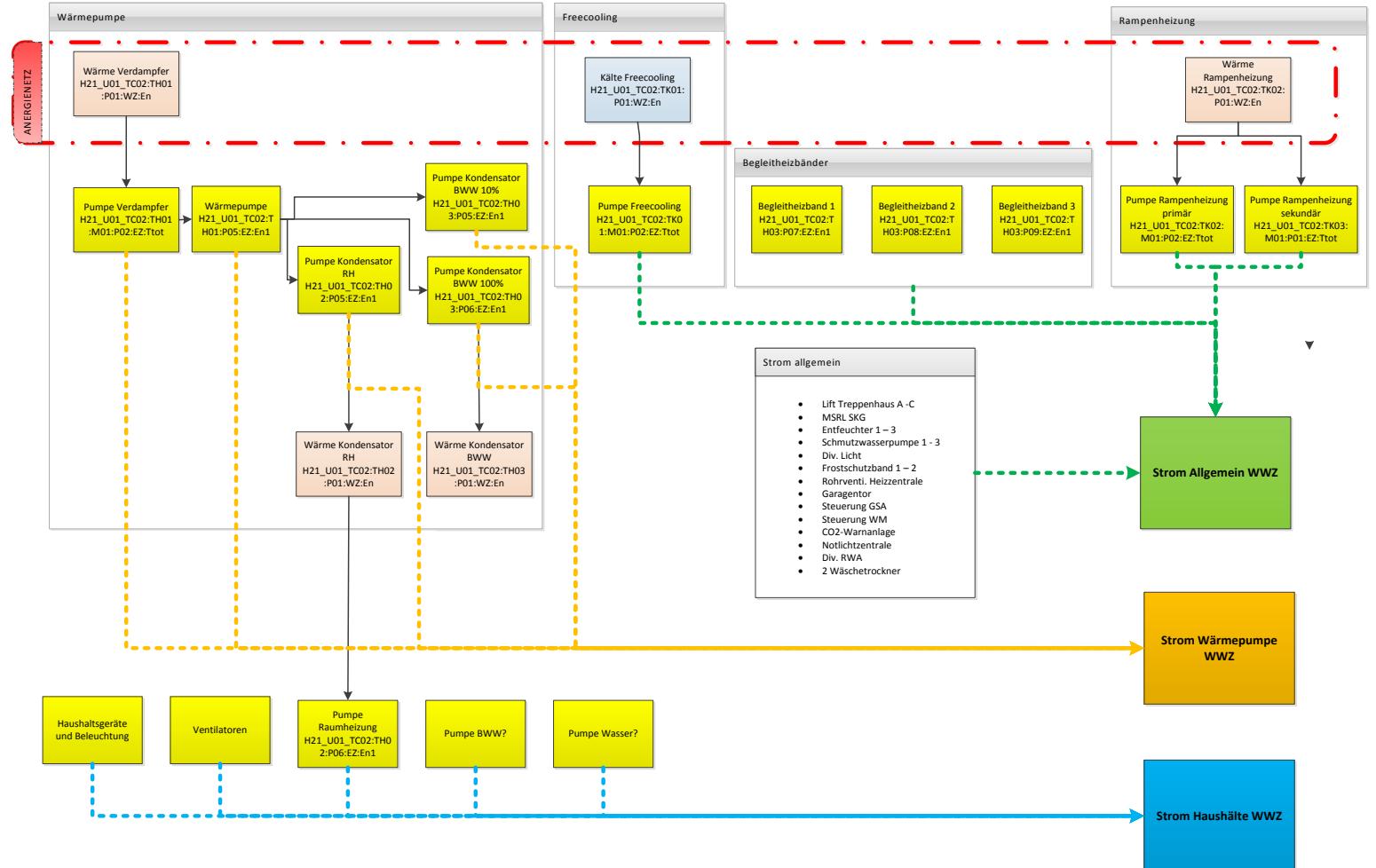


Abbildung 29: Darstellung des Messkonzeptes für Haus 2.1, welches beispielhaft für die Häuser des Baufeldes 2 steht.

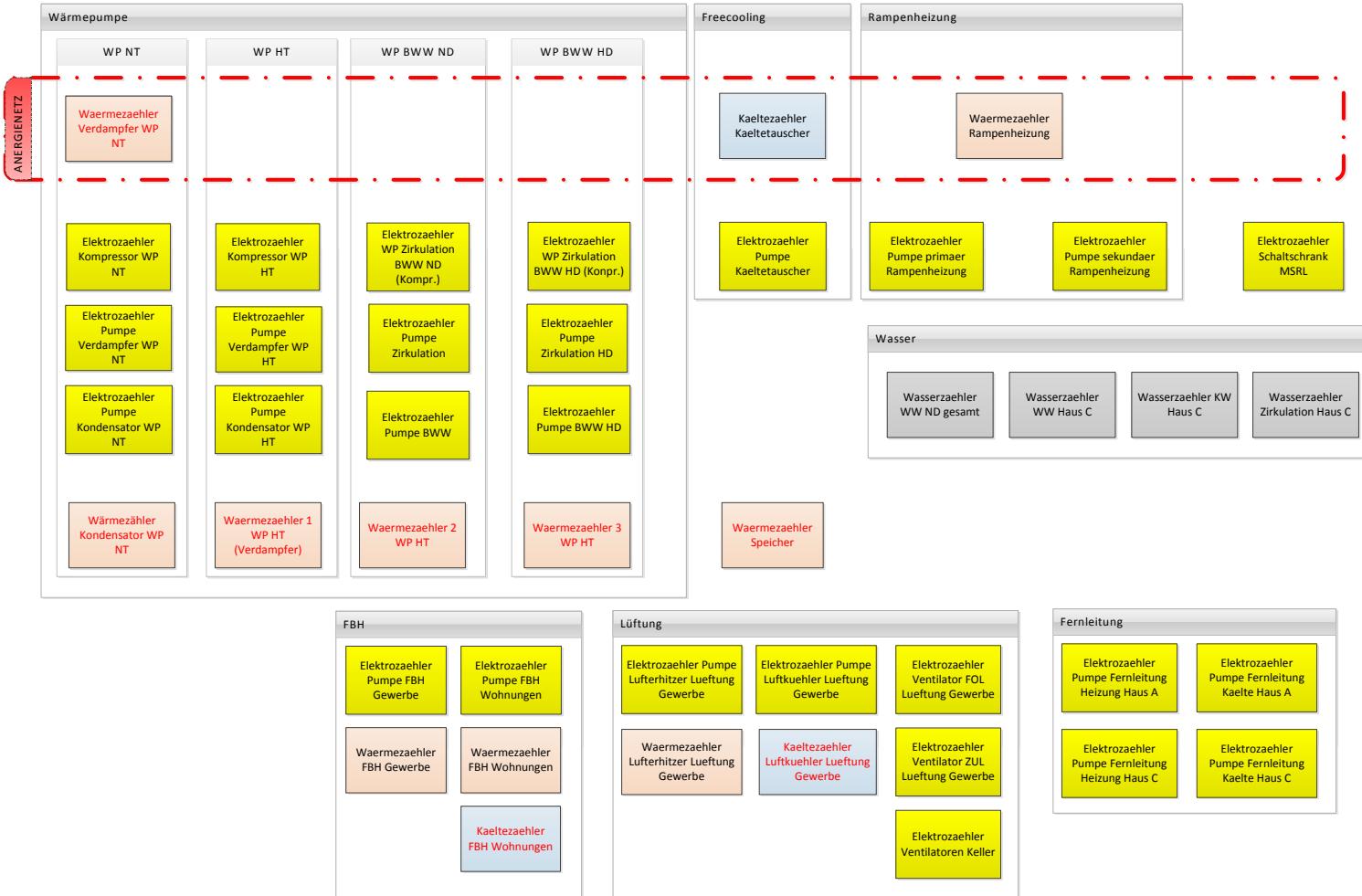


Abbildung 30: Darstellung des Messkonzeptes für Haus B des Baufeldes 5.

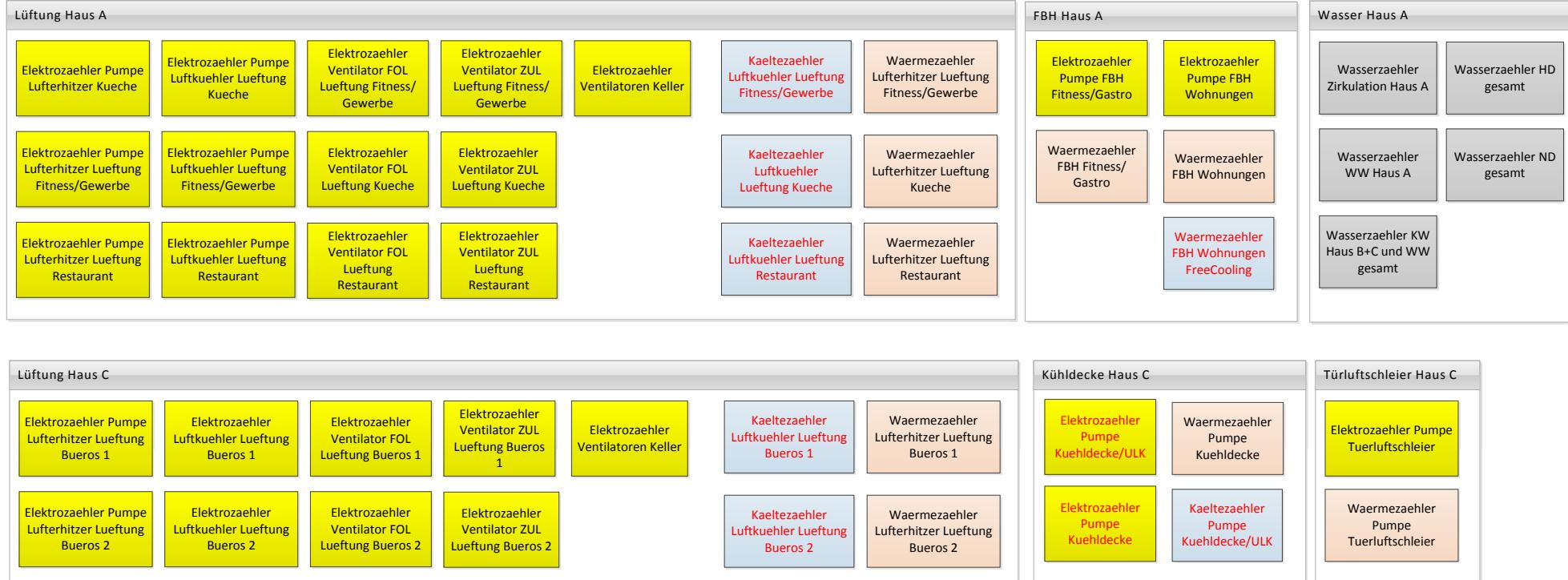


Abbildung 31: Darstellung des Messkonzeptes für die Häuser A und C des Baufeldes 5.

11.3. Messstellen mit Unterbrüchen und Ausfällen 2015 - 2016

Die vorliegende Auswertung basiert auf der Periode 01.10.2015 – 30.09.2016. Die Messstellen, welche am 01.10.2016 unterbrochen waren, wurden nachträglich für diese Auswertung nicht mehr geprüft.

11.3.1. Messausfälle 2015 - 2016

Messausfälle Haus QT

Seit November 2015 sind sämtliche Messungen des Quartierzentrums ausgefallen. Die Messungen wurden bis heute nicht wieder aufgenommen. Da die aufgezeichnete Zeitspanne von weniger als zwei Monaten viel zu kurz ist, können weder Werte interpoliert werden, noch die Zeitspanne der Betrachtung zur Korrektur verschoben werden. Das Haus QT kann deshalb nicht ausgewertet werden.

Messausfall für das Haus 2.3

Die Messungen des Zählers "H23 EZ Begleitheizband 1" in Haus 2.3 ist seit dem 09.09.2013 ausgefallen. Da diese Zählerstelle somit noch nie in einer Auswertung inbegriffen war, ist eine Korrektur weder möglich noch sinnvoll. Aus diesem Grund und der relativ kleinen Auswirkung auf den Gesamtstromverbrauch hat dieser Messausfall keine gravierenden Auswirkungen auf die Auswertung.

Messausfälle für das Haus 3.8

Die Messungen der Begleitheizbänder 2, 3 und 4 in Haus 3.8 sind seit dem 21.04.2014 ausgefallen, weshalb keine Korrektur möglich ist. Die Zählerstelle war bereits in der letzten Auswertungsperiode von Oktober 2014 bis September 2015 ausgefallen. Aus diesem Grund und der relativ kleinen Auswirkung auf den Gesamtstromverbrauch hat dieser Messausfall keine gravierenden Auswirkungen auf die Auswertung.

11.3.2. Messunterbrüche 2015 - 2016

Messunterbrüche und Korrekturen für das Haus 2.1

Seit dem 17. August 2016 war der Grossteil der Messungen unterbrochen. Die Messungen wurden bis zum Zeitpunkt der Jahresauswertung nicht wieder aufgenommen, weshalb der Betrachtungszeitraum für sämtliche Zählerstellen des Hauses auf die Periode vom 17. August 2015 – 16. August 2016 verschoben wurde.

Die Messungen der Begleitheizbänder in Haus 2.1 sind trotz der angepassten Messperiode für einen grossen Teil der Auswertungsperiode 2016 unterbrochen. Begleitheizbänder werden zur Kompensation der Leitungswärmeverluste eingesetzt. Es kann deshalb von relativ konstanten Verbrauchswerten ausgegangen werden, weshalb jeweils interpoliert oder mit dem Mittelwert aus zwei Vorjahren korrigiert wurde.



Zähler mit Mess- unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Korrektur
H21 EZ Begleitheiz- band 1	10.10.2015- 01.10.2016	24'508	97'717	Mittelwert aus 01.10.2013- 30.09.2015
H21 EZ Begleitheiz- band 2	02.07.2016- 01.10.2016	687	912	Interpoliert aus 01.10.2015- 02.07.2016
H21 EZ Begleitheiz- band 3	12.08.2016- 01.10.2016	950	1'097	Interpoliert aus 01.10.2015- 12.08.2016

Tabelle 21: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Haus 2.1.

Messunterbrüche und Korrekturen für das Haus 2.2

Die Messungen der Begleitheizbänder in Haus 2.2 sind für einen grossen Teil der Auswertungsperiode 2016 unterbrochen. Es kann für die Begleitheizbänder von relativ konstanten Verbrauchswerten ausgegangen werden, weshalb jeweils ein Wert aus dem Vorjahr verwendet wurde oder mit dem Mittelwert aus zwei Vorjahren korrigiert wurde.

Zähler mit Mess- unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Korrektur
H22 EZ Begleitheiz- band 1	31.12.2015- 01.10.2016	596	1'504	Mittelwert aus 01.10.2013- 30.09.2015
H22 EZ Begleitheiz- band 2	17.04.2015- 01.10.2016	0	727	Wert aus Vorjahr 01.10.2013- 30.09.2014

Tabelle 22: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Haus 2.2.

Messunterbrüche und Korrekturen für das Haus 2.3

Seit dem 08. September 2016 war der Grossteil der Messungen unterbrochen. Die Messungen wurden bis zum Zeitpunkt der Jahresauswertung nicht wieder aufgenommen, weshalb der Betrachtungszeitraum für sämtliche Zählerstellen des Hauses auf die Periode vom 08. September 2015 – 07. September 2016 verschoben wurde.

Zudem waren die Summierungen von drei der vier Zählerstellen der Begleitheizbänder fehlerhaft und mussten manuell aus Excel berechnet werden:

Zähler mit Messfehler	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Neue Messperiode für Korrektur
H23 EZ Begleitheiz- band 2	08.09.2015- 01.10.2016	0	248	08.09.2015- 07.09.2016
H23 EZ Begleitheiz- band 3	08.09.2015- 01.10.2016	-7'114	2'086	08.09.2015- 07.09.2016
H23 EZ Begleitheiz- band 4	08.09.2015- 01.10.2016	-6'451	1'897	08.09.2015- 07.09.2016

Tabelle 23: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Haus 2.3.

Messunterbrüche und Korrekturen für das Haus 2.4

Seit 25. September 2015 ist die Messung des Wärmezählers des Kondensators für die Raumwärme unterbrochen. Seither wurde der Messunterbruch dieses wichtigen Zählers nicht behoben. Für die Jahresauswertung musste deshalb der (heizgradtagbereinigte) Mittelwert aus den zwei Vorjahren verwendet werden. Dies lässt leider keine Aussagen über Veränderungen des Heizwärmebedarfs für Haus 2.4 zu.

Zusätzlich sind die Messungen der Begleitheizbänder 2, 3 und 4 in Haus 2.4 für einen grossen Teil der Auswertungsperiode 2016 unterbrochen. Es kann für die Begleitheizbänder von relativ konstanten Verbrauchswerten ausgegangen werden, weshalb jeweils mit dem Mittelwert aus Vorjahren korrigiert wurde.

Zähler mit Mess- unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Korrektur
H24 WZ Kond. RH	25.09.2015- 01.10.2016	24'508	97'717	Mittelwert aus 01.10.2013- 30.09.2015
H24 EZ Begleitheiz- band 2	19.04.2015- 01.10.2016	0	1'134	Wert aus Vorjahr 19.04.2014- 18.04.2015
H24 EZ Begleitheiz- band 3	12.08.2016- 01.10.2016	0	415	Wert aus Vorjahr 26.08.2014- 25.08.2015
H24 EZ Begleitheiz- band 4	12.08.2016- 01.10.2016	0	883	Wert aus Vorjahr 26.09.2014- 25.09.2015

Tabelle 24: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Haus 2.4.

Messunterbrüche und Korrekturen für das Haus 3.1

Die Messungen der Begleitheizbänder in Haus 3.1 sind für einen grossen Teil der Auswertungsperiode 2016 unterbrochen. Es kann für die Begleitheizbänder von relativ konstanten Verbrauchswerten ausgegangen werden, weshalb jeweils mit dem Mittelwert aus zwei Vorjahren korrigiert wurde. Für die Zählerstelle „H31 EZ Begleitheizband 4“ wurde bereits in der Vorjahresperiode kein Wert eingerechnet, weshalb eine Korrektur nicht sinnvoll ist. Aus diesem Grund und der relativ kleinen Auswirkung auf den Gesamtstromverbrauch hat dieser Messausfall keine gravierenden Auswirkungen auf die Auswertung.



Zähler mit Mess-unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Korrektur
H31 EZ Begleitheiz-band 1	07.10.2015-01.10.2016	258	1'151	Mittelwert aus 01.10.2013-30.09.2015
H31 EZ Begleitheiz-band 2	02.09.2015-01.10.2016	0	690	Mittelwert aus 01.10.2013-30.09.2015
H31 EZ Begleitheiz-band 3	20.07.2014-01.10.2016	106	424	Mittelwert aus 01.10.2013-30.09.2015

Tabelle 25: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Haus 3.1.

Messunterbrüche und Korrekturen für das Haus 3.8

Fünf Zählerstellen waren fehlerhaft. Sie mussten durch Verschiebung der Zeitperiode oder Interpolation korrigiert werden.

Zähler mit Mess-unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Neue Messperiode für Korrektur
H38 WZ Verdampfer	06.05.2015-20.09.2016 + 27.09.2016-01.10.2016	-190'927	108'210	27.09.2015-26.09.2016
H38 EZ Begleitheiz-band 1	31.12.2015-01.10.2016	256	1'016	01.10.2015-30.09.2016 (Interpoliert)
H38 EZ Pumpe Kond. BWW010	16.05.2016-01.10.2016	86	138	01.10.2015-30.09.2016 (Interpoliert)
H38 EZ Pumpe Kond. RH	28.03.2016-01.10.2016	566	1'161	01.10.2015-30.09.2016 (Interpoliert)
H38 EZ Pumpe Verdampfer	06.05.2016-01.10.2016	3'022	5'083	01.10.2015-30.09.2016 (Interpoliert)

Tabelle 26: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Haus 3.8.

Messunterbruch und Korrektur für das Haus QT

Wie bereits erwähnt, sind für Haus QT seit November 2015 sämtliche Messungen ausgefallen. Aus den WWZ-Daten konnte der Stromverbrauch für die Wärmepumpe jedoch rekonstruiert werden.

Zähler mit Mess-unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Neue Messperiode für Korrektur
QT EZ Kompressor I	02.11.2015-01.10.2016	1'760	11'977	27.09.2015-26.09.2016

Tabelle 27: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messung mit Messunterbruch im Haus QT.

Messunterbruch und Korrektur für Baufeld 5A

Eine Zählerstelle war fehlerhaft und wurde durch einen Zweijahresmittelwert ersetzt. Es handelt sich um den Verbrauch des Elektrozählers der Pumpe für die Fussbodenheizung der Wohnungen, welcher sich (heizgradtagkorrigiert) im Jahr 2016 in einem ähnlichen Rahmen bewegt haben dürfte.

Zähler mit Mess- unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Korrektur
BF5A EZ Pumpe FBH Wohnungen	31.12.2014- 01.01.2016	13'158	7'196	Mittelwert aus 01.10.2014- 30.09.2016

Tabelle 28: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Baufeld 5A.

Messunterbrüche und Korrekturen für Baufeld 5B

Der Wert des Wärmezählers des Hochtemperatur-Kondensators war nicht plausibel und musste aus den WWZ-Daten rekonstruiert werden.

Zudem waren drei Zählerstellen fehlerhaft und mussten manuell aus Excel berechnet werden.

Zähler mit Mess- unterbruch	Zeitspanne des Unterbruchs	Jahresverbrauch (kWh) 01.10.2015 – 30.09.2016	Jahresverbrauch korrigiert (kWh)	Korrektur
BF5B EZ Kompressor NT	01.10.2015- 09.09.2016	-380'804	9'733	01.10.2015- 30.09.2016
BF5B WZ FBH Gewer- be	06.09.2016- 01.10.2016	-440	210	01.10.2015- 30.09.2016
BF5B EZ Elektrohei- zung BWW 1	16.05.2016- 01.10.2016	-16'408	29'012	01.10.2015- 30.09.2016
BF5B WZ Kond. HT 1	26.11.2015- 08.06.2016	99'493	245'589	01.10.2015- 30.09.2016

Tabelle 29: Korrektur des Jahresverbrauchs für die Messungen mit Messunterbrüchen im Baufeld 5B.



11.4. Zusammenfassung der Planungs- und Messdaten

	Endenergie (Energiebereitstellung) [kWh/a]								Nutzenergie (Energieverbrauch) [kWh/a]														
	Pumpen + Heizbänder				Wärmepumpen				Anergiepumpen				Raumwärme WP				Warmwasser WP		Noheizung WW		Wärme		Kälte
Baufeld 2 geplant (für das 1. Jahr)	Pumpen	22'000	Wärmepumpen	144'000	Anergiepumpen	2'000	Wärme	168'000	Raumwärme WP	267'300	Warmwasser WP	301'000	Noheizung WW				Wärme	568'300	Kälte	131'000	Total	699'300	
	Pumpen	6'000			Anergiepumpen	700	Kälte	67'700	Freecooling	131'000													
		28'000		144'000		2'700	Total	174'700															
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2012 - 30. Sept. 2013)	Pumpen + Heizbänder	50'839	Wärmepumpen	236'484	Anergiepumpen	41'253	Wärme	328'576	Heizung	756'010	Warmwasser	282'489	Noheizung WW				Wärme	1'038'499	Kälte	41'196	Total	1'079'695	
		50'839		236'484		226	Kälte	226	Freecooling	41'196													
						41'479	Total	328'802															
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2013 - 30. Sept. 2014)	Pumpen + Heizbänder (inkl. Noheizung WW)	179'357	Wärmepumpen	217'066	Anergiepumpen	31'042	Wärme	427'465	Raumwärme WP	603'082	Warmwasser WP	164'086	Noheizung WW	150'432			Wärme	917'600	Kälte	45'123	Total	962'723	
		179'357		217'066		71	Kälte	71	Freecooling	45'123													
						31'113	Total	427'536															
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2014 - 30. Sept. 2015)	Pumpen + Heizbänder (inkl. Noheizung WW)	219'394	Wärmepumpen	154'351	Anergiepumpen	41'797	Wärme	415'542	Raumwärme WP	652'320	Warmwasser WP	90'966	Noheizung WW	195'718			Wärme	939'004	Kälte	88'052	Total	1'027'056	
		219'394		154'351		135	Kälte	135	Freecooling	88'052													
						41'932	Total	415'677															
Baufeld 2 gemessen (1. Okt. 2015 - 31. Sept. 2016)	Pumpen + Heizbänder (inkl. Noheizung WW)	47'024	Wärmepumpen	220'674	Anergiepumpen	40'795	Wärme	308'494	Raumwärme WP	594'459	Warmwasser WP	284'601	Noheizung WW	20'080			Wärme	899'140	Kälte	55'923	Total	955'063	
		47'024		220'674		185	Kälte	185	Freecooling	55'923													
						40'980	Total	308'679															
Baufeld 5 geplant (für das 1. Jahr)	Pumpen + Zirk.-WP	23'000	Wärmepumpen	143'000	Anergiepumpen	2'600	Wärme	168'600	Raumwärme WP	323'000	Warmwasser WP	298'000	Noheizung WW				Wärme	621'000	Kälte	708'000	Total	1'329'000	
	Pumpen	12'000	Kältemaschine	4'700	Anergiepumpen	1'600	Kälte	18'300	Freecooling	16°C	621'000	Kühlen 10°C	87'000										
		35'000		4'700		4'200	Total	186'900															
Baufeld 5 gemessen (1. Okt 2013 - 30. Sept 2014)	Pumpe + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	77'315	Wärmepumpen	237'884	Anergiepumpen	22'551	Wärme	337'750	Raumwärme WP	855'950	Warmwasser WP	350'599	Noheizung WW	33'984			Wärme	1'240'533	Kälte	533'137	Total	1'773'670	
	Pumpen	32'719				27'565	Kälte	60'284	Freecooling	533'137													
		110'034		237'884		50'116	Total	398'034															
Baufeld 5 gemessen (1. Okt 2014 - 30. Sep 2015)	Pumpen + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	139'226	Wärmepumpen	241'403	Anergiepumpen	14'635	Wärme	395'264	Raumwärme WP	771'350	Warmwasser WP	368'189	Noheizung WW	62'803			Wärme	1'202'342	Kälte	550'548	Total	1'752'890	
	Pumpen	8744	Kältemaschine	0	Anergiepumpen	21'449	Kälte	30'193	Freecooling	550'548													
		147'970		241'403		36'084	Total	425'457															
Baufeld 5 gemessen (1. Okt 2015 - 31. Sep 2016)	Pumpen + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	203'837	Wärmepumpen	206'376	Anergiepumpen	19'288	Wärme	429'501	Raumwärme WP	743'075	Warmwasser WP	245'589	Noheizung WW	121'518			Wärme	1'110'182	Kälte	455'878	Total	1'566'060	
	Pumpen	9'201	Kältemaschine	0	Anergiepumpen	32'763	Kälte	41'964	Freecooling	455'878													
		213'039		206'376		52'051	Total	471'465															
Baufeld 2+5 geplant (für das 1. Jahr)	Pumpen + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	45'000	Wärmepumpen	287'000	Anergiepumpen	4'600	Wärme	336'600	Raumwärme WP	590'300	Warmwasser WP	599'000	Noheizung WW	0			Wärme	1'189'300	Kälte	752'000	Strom	1'941'300	
	Pumpen	12'000	Kältemaschine	0	Anergiepumpen	2'300	Kälte	14'300	Freecooling	16°C	752'000	Kühlen 10°C	0										
		57'000		287'000		6'900	Strom	350'900															
Baufeld 2+5 gemessen (1. Okt 2013 - 30. Sept 2014)	Pumpen + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	256'672	Wärmepumpen	454'950	Anergiepumpen	53'593	Wärme	765'215	Raumwärme WP	1459'032	Warmwasser WP	514'685	Noheizung WW	184'416			Wärme	2'158'133	Kälte	578'260	Strom	2'736'393	
	Pumpen	32'719	Kältemaschine	0	Anergiepumpen	27'636	Kälte	60'355	Freecooling	16°C	578'260	Kühlen 10°C	0										
		289'391		454'950		81'229	Strom	825'570															
Baufeld 2+5 gemessen (1. Okt 2014 - 30. Sept 2015)	Pumpen + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	358'620	Wärmepumpen	395'754	Anergiepumpen	56'432	Wärme	810'806	Raumwärme WP	1'423'670	Warmwasser WP	459'155	Noheizung WW	258'521			Wärme	2'141'346	Kälte	638'600	Strom	2'779'946	
	Pumpen	8744	Kältemaschine	0	Anergiepumpen	21'584	Kälte	30'328	Freecooling	16°C	638'600	Kühlen 10°C	0										
		367'364		395'754		78'016	Strom	841'134															
Baufeld 2+5 gemessen (1. Okt 2015 - 31. Sep 2016)	Pumpen + Zirk.-WP (inkl. Noheizung WW)	250'861	Wärmepumpen	427'050	Anergiepumpen	60'084	Wärme	737'995	Raumwärme WP	1'337'534	Warmwasser WP	530'190	Noheizung WW	141'598			Wärme	2'009'322	Kälte	511'801	Strom	2'521'122	
	Pumpen	9'201	Kältemaschine	0	Anergiepumpen	32'948	Kälte	42'149	Freecooling	16°C	511'801	Kühlen 10°C	0										
		260'062		427'050		93'032	Strom	780'144															

Tabelle 30: Übersicht der Planungs- und Messdaten in den Baufeldern 2 und 5.

11.5. Nutzerbefragung Sommer 2015

Die Hochschule Luzern hat im Auftrag der Zug Estates AG im Sommer 2015 bei den Nutzerinnen und Nutzer der Baufelder 2, 3 (teilweise) und 5 eine erste Befragung gemacht. Ziel dieser Umfrage war es, das Befinden der Bewohnerinnen und Bewohner im Zusammenhang mit dem Raumklima zu überprüfen und allenfalls zu verbessern. Zusammen mit den Energiemessungen sollten neue Erkenntnisse zum Energiehaushalt im Quartier gewonnen und diese nach Möglichkeit effizienter gestaltet werden.

Insgesamt wurden 327 Bewohnerinnen und Bewohner angeschrieben. Retourniert wurden 70 Fragebögen, was 21% entspricht. Eine Person gab an, die Wohnung als Büro zu nutzen. Es konnte entweder der zugesendete Fragebogen von Hand oder Online ausgefüllt werden. Der digitale Fragebogen wurde mit EvaSys erstellt und konnte entweder via zur Verfügung gestelltem Link oder QR-Code abgerufen werden. Für das Ausfüllen der Umfrage hatten die angeschriebenen Personen fünf Wochen Zeit. Bei einigen Fragen waren Mehrfachnennungen möglich.

Die Befragung wurde in folgende Themen gegliedert:

1. Angaben zu Ihrer Situation
2. Benutzerverhalten
3. Gebäudetechnische Anlagen
4. Beurteilung des Raumklimas
5. Beurteilung des Quartiers
6. Allgemeine Fragen
7. Bemerkungen (der BewohnerInnen)

Hier wird jedoch nur auf die ersten vier Themen eingegangen, da diese auch für das Monitoring des Areals Suurstoffi relevant sind. Die anderen drei Themen sind nicht Bestandteil dieses Berichts. Sie wurden auf Wunsch von Zug Estates AG ergänzt und die Antworten wurden an sie weitergeleitet.

11.5.1. Situation

Die Wohnungen, welche bei der Befragung erfasst wurden, sind 1-Zimmer Studios bis 5 1/2-Zimmerwohnungen. Die 3 1/2-Zimmerwohnungen überwiegen jedoch mit 37%. In einem Drittel der Wohnungen wohnt jeweils eine erwachsene Person, in zwei Dritteln der Wohnungen wohnen zwei Erwachsene. Kinder hat es nur in sechs der 70 befragten Wohnungen. Ausschlaggebend für die Wahl der Wohnung in diesem Quartier waren für die Mehrheit die Lage (81%) und die Wohnungsgrundrisse (50%). Dass die Überbauung energieeffizient ist, und somit die Nebenkosten tiefer sind, wurde hingegen nur an vierter Stelle (23%) noch nach dem Mietzins (29%) genannt. Die Aussicht (7%) und andere Gründe (19%) waren weniger entscheidend.



11.5.2. Benutzerverhalten

Je nach Tageszeit sind zwischen 9:00 und 16:00 nur 16 – 21% der Bewohnerinnen und Bewohner anwesend. Zwischen 19:00 und 6:00 sind dann 80 – 99% der Wohnungen belegt. Insgesamt 28% der Personen geben an, selten oder nie bewusst auf den Energieverbrauch zu achten. Die Mehrheit mit 39% achtet gelegentlich auf den Energieverbrauch. Und insgesamt 33% achtet oft oder immer bewusst darauf, Energie zu sparen. Diese Antworten sind insofern erfreulich, als dass die Mehrheit der Befragten angegeben hat, dass ihr Energiebewusstsein vorhanden ist. Erfreulich sind darum auch die Antworten zur Frage, ob sie bei sich im Haushalt noch zusätzliches Energiesparpotential sehen. Hier gaben nur die Wenigsten (11%) an, dass noch viel oder sogar sehr viel Potential vorhanden ist. Die Mehrheit (56%) sieht bei sich noch etwas Einsparpotential und der Rest (33%) sogar gar nicht oder kaum. Dieses Energieeinsparpotential wird mit 51% bei der Elektrizität, mit 7% beim Wasser und mit 6% bei der Lüftung, Heizung und/oder Kühlung gesehen. Die exakten Antworten sind in der Tabelle 31 aufgelistet. 36% gaben auf diese Frage keine Antwort.

Keine Antwort	36%
Elektronische Geräte (Standby oder sparsamer Umgang)	21%
Licht/Beleuchtung	21%
Tumbler & Waschmaschine	14%
Wasserverbrauch	7%
Heizung/Lüftung /Kühlung	6%
Elektrizität Allgemein	3%
Recycling	1%

Tabelle 31: Antworten auf die Frage, wo Energieeinsparpotential gesehen wird.

11.5.3. Gebäudetechnikanlagen

16% der Befragten gab an, dass sie nicht wissen, dass die Wohnung über eine Kühlung verfügt. Aufgrund dieser nicht zu vernachlässigbaren Anzahl empfiehlt es sich, die Informationspolitik diesbezüglich bei Neubezug oder im Rahmen einer Informationsveranstaltung anzupassen. Die Antworten zur Zufriedenheit bezüglich der Gebäudetechnikanlagen im Allgemeinen und bezüglich der Einflussmöglichkeiten auf diese im Speziellen sind in der Tabelle 32 dargestellt. Allgemein kann gesagt werden, dass bei der Heizung, beziehungsweise bei den Einstellmöglichkeiten der Heizung die Zufriedenheit am grössten ist. Am wenigsten zufrieden sind die Bewohnerinnen und Bewohner mit der Lüftung, beziehungsweise mit den Einstellmöglichkeiten der Lüftungsanlage. Die Bemerkungen, welche zu den Fragen zur Zufriedenheit gemacht wurden, sind in Tabelle 33 und Tabelle 34 aufgelistet.

Zufriedenheit mit...	sehr schlecht bis schlecht	neutral	gut bis sehr gut
...Heizung	6%	25%	66%
...Kühlung	18%	29%	53%
...Lüftung	20%	32%	48%
...Einstellung der Heizung	19%	25%	56%
...Bedienung der Kühlung	23%	31%	46%

...Einstellung der Lüftungsanlage	33%	39%	28%
-----------------------------------	-----	-----	-----

Tabelle 32: Zufriedenheit mit den Gebäudetechnikanlagen und mit den Einflussmöglichkeiten auf dies.

Störende Geräusche/Lautstärke (davon Lüftung)	45% (30%)
Zu wenig Heizleistung	18%
Unwissen über Einflussmöglichkeiten (Kühlung/Lüftung/Heizung)	15% (9%/3%/3%)
Zu geringe Kühlleistung	12%
Warmwasserprobleme (ungenügend)	6%
Zu geringe Luftmenge	6%
Probleme mit Regulierung der Heizung	6%
Baumängel	3%

Tabelle 33: Bemerkungen zur Zufriedenheit mit den Gebäudetechnikanlagen (in % von allen 33 gemachten Bemerkungen).

Keinen Einfluss auf Lüftung	44%
Unwissenheit über Einfluss Kühlung	30%
Unwissen über Einfluss allgemein	19%
Probleme mit Einstellung (Heizung/Kühlung)	15%
Erwünschte Automation	4%
Baumängel	3%

Tabelle 34: Bemerkungen zur Zufriedenheit mit den Einstellmöglichkeiten der Gebäudetechnikanlagen (in % von allen 27 gemachten Bemerkungen).

Die Kühlung wird entweder gar nie benutzt (39%) oder dann mehrmals täglich (31%). Alle andern BeNutzerinnen und Nutzer schalten die Kühlung einmal pro Monat (5%), einmal pro Woche (10%) oder einmal pro Tag (15%) ein. Die Bedienmöglichkeiten der Gebäudetechnikanlagen wurde mehrheitlich nie (29%), monatlich (44%) oder wöchentlich (18%) genutzt. Die restlichen 9% gaben an, diese Möglichkeiten täglich oder sogar mehrmals täglich zu nutzen. Die Instruktionen wurden mehrheitlich entweder sehr schlecht und schlecht (40%) oder neutral (41%) beurteilt. Nur 19% der Befragten gaben an, gut über die Gebäudetechnikanlagen instruiert worden zu sein. Hier ist sicher noch Entwicklungspotential vorhanden. Zu welchen Punkten die Bewohnerinnen und Bewohner mehr Informationen wünschen ist in der Tabelle 35 aufgeführt.

Kühlung	70%
Lüftung	39%
Heizung	24%
Kosten der Komponenten	9%

Tabelle 35: Erwünschte Informationen zu Heizung, Lüftung und Kühlung (in % von allen 33 gemachten Bemerkungen).



11.5.4. Fensterlüftung

Die Mehrheit mit 54% öffnet die Fenster bis zu einer Stunde pro Tag. 22% geben an die Fenster zwischen ein und drei Stunden zu öffnen. Bei 15% werden die Fenster sogar mehr als drei Stunden pro Tag geöffnet und die restlichen 9% geben an die Fenster nie zu öffnen. Die Antworten zu den Gründen, warum die Fenster geöffnet werden sind ziemlich ausgeglichen: 37% öffnen die Fenster wegen schlechter Luft, 30% aus Gewohnheit und die restlichen 33% aus anderen Gründen. Erfreulich ist, dass die Hälfte der Befragten keine Fenster in Kippposition öffnen. 29% haben ein Fenster gekippt und 21% sogar mehrere. 31% der gekippten Fenster werden nach einer Stunde wieder geschlossen. Die meisten Fenster sind jedoch durchschnittlich zwischen einer und sechs Stunden gekippt. Länger in gekippter Position befinden sich nur 23% der Fenster. Eine Information an die Bewohnerinnen und Bewohner bezüglich der korrekten Nutzung der natürlichen Fensterlüftung könnte dieses Verhalten positiv beeinflussen.

11.5.5. Raumklima

Die Raumtemperatur im Sommer 2015 wurde von 36% der Bewohnerinnen und Bewohner als kühl oder leicht kühl eingestuft, von 20% als optimal, von 43% und somit von der Mehrheit als leicht warm oder warm und von 1% als zu heiß. Dies wurde von 11% als äußerst oder sehr unangenehm, von 6% als unangenehm, von 30% als leicht unangenehm und von 53% und somit von der Mehrheit als angenehm eingestuft. Die befragten Personen gaben an, dass die Raumtemperatur für 12% kühler und für 43% etwas kühler sein sollte, damit sie sich behaglich fühlen würden. Die knappe Mehrheit der Befragten (45%) beantworteten diese Frage mit neutral, d.h. dass sie zufrieden mit den aktuellen sommerlichen Raumtemperaturen sind. Es ist zu beachten, dass der Sommer 2015 der zweitwärmste seit Messbeginn in der Schweiz war. In den meisten Regionen lag der sommerliche Wärmeüberschuss 2.0 bis 2.5 Grad über der Norm 1981–2010 [8]. In Anbetracht dieses warmen Sommers ist die Zufriedenheit der Bewohnerinnen und Bewohner bezüglich der sommerlichen Raumtemperaturen hoch.

Die Luftfeuchtigkeit wurde von den meisten befragten Personen als neutral (54%) eingestuft. Lediglich 33% beurteilten diese als zu tief oder eher zu tief und 13% als eher zu hoch oder zu hoch. Die Mehrheit mit 37% gab an, keine Zugluft in der Wohnung zu verspüren. Selten Zugluft empfinden 31%, gelegentlich 23% und oft nur 9%. Täglich auftretenden wohnungsinternen Gerüchen (z.B. nach dem Kochen, Gerüche von Haustieren etc.) werden tendenziell stärker empfunden als von ausserhalb in die Wohnung kommenden Gerüchen (von draussen oder von anderen Wohnungen). Wobei auch die erst genannten internen Geruchsemisionen von der knappen Mehrheit als kein oder schwacher Geruch wahrgenommen wird. Bei den externen Gerüchen ist diese Mehrheit grösser. Die Bewertung zum Empfinden bezüglich der Geruchsintensität ist in der Tabelle 36 aufgeführt. In der Tabelle 37 sind die Bemerkungen aufgelistet, welche zur Frage wonach die Gerüche nach Meinung der Bewohnerinnen und Bewohner kommen gemacht wurden. Das Raumklima wird mehrheitlich positiv beurteilt.

Geruch	keiner	schwacher	mässiger	starker und sehr starker
Geruchsintensität intern	16%	39%	32%	13%
Geruchsintensität extern	39%	44%	10%	7%

Tabelle 36: Empfinden bezüglich Geruchsintensität.

Küchen / Grill	36%
Rauchen (Nachbarn)	32%
Lüftung	18%
Anderes	14%

Tabelle 37: Herkunft von Gerüchen (in % von allen 22 gemachten Bemerkungen).

11.5.6. Generelles

In insgesamt drei allgemeinen Bemerkungen wurden der technische Dienst/ die zwei Gebäudetechniker gelobt und als sehr gut, kompetent und freundlich bezeichnet.

11.5.7. Fazit

Die Nutzerbefragung und deren Analyse haben gezeigt, dass die Mehrheit der Nutzer während dem Sommer 2015 die Raumtemperatur als etwas zu warm empfunden haben, obwohl eine nicht zu vernachlässigbare Anzahl der Befragten angab, nicht über die Kühlmöglichkeiten der Wohnungen informiert worden zu sein. Des Weiteren werden die Fenster sehr oft geöffnet, obwohl alle Räume mit einer mechanischen Lüftung ausgerüstet sind. Auf Grund dieser zwei Erkenntnisse empfehlen wir, eine Nutzerinformation durchzuführen, um die Bewohner über deren Einflussmöglichkeiten auf die thermische Behaglichkeit und die Energieeffizienz zu sensibilisieren. Wir sind überzeugt, dass damit das Nutzerverhalten positiv beeinflussen werden kann und somit durch die reduzierte Fensterlüftung und die vermehrte Anwendung des Freecooling die Energieeffizienz verbessern wird.

11.6. Nutzerbefragung Winter 2015/2016

Die Hochschule Luzern hat im Auftrag der Zug Estates AG im Sommer 2015 bei den Nutzerinnen und Nutzer der Baufelder 2, 3 (teilweise) und 5 eine erste Befragung gemacht. Im März 2016 wurde diese Nutzerbefragung angepasst für das Winterhalbjahr durchgeführt. Da in der Zwischenzeit alle Gebäude des Baufeldes 3 fertiggestellt waren, wurde die Befragung um diese Nutzerinnen und Nutzer erweitert. Ziel dieser Umfrage war es, das Befinden der Nutzerinnen und Nutzer im Zusammenhang mit dem Raumklima zu überprüfen und allenfalls zu verbessern. Zusammen mit den Energiemessungen sollten neue Erkenntnisse zum Energiehaushalt im Quartier gewonnen und diese nach Möglichkeit effizienter gestaltet werden.

Insgesamt wurden 408 Bewohnerinnen und Bewohner angeschrieben. Retourniert wurden 121 Fragebögen, was 30% entspricht. Es konnte entweder der zugesendete Fragebogen von Hand oder Online ausgefüllt werden. Der digitale Fragebogen wurde mit EvaSys erstellt und konnte sowohl mit dem zur Verfügung gestelltem Link oder QR-Code abgerufen werden. Für das Ausfüllen der Umfrage hatten die angeschriebenen Personen einen Monat Zeit. Bei einigen Fragen waren Mehrfachnennungen möglich. Teilweise wurden sie von den Nutzerinnen und Nutzer nicht beantwortet.

Die Befragung wurde in folgende Themen gegliedert:

1. Angaben zu Ihrer Situation
2. Benuterverhalten
3. Gebäudetechnische Anlagen
4. Beurteilung des Raumklimas
5. Bemerkungen

Hier wird jedoch nur auf die ersten vier Themen eingegangen, da diese auch für das Monitoring des Areals Suurstoffi relevant sind. Die Bemerkungen zum Befinden in der Wohnung und im Quartier sind nicht Bestandteil dieses Berichts. Sie wurden auf Wunsch von Zug Estates AG im Fragebogen ergänzt und die Antworten wurden an sie weitergeleitet.



11.6.1. Situation

Mehr als die Hälfte der Befragten (53%) sind seit der ersten Umfrage im Sommer 2015 neu in die Überbauung gezogen. Die Gebäude der Baufelder 2 und 3 weisen nur Wohnungen auf. Im Baufeld 5 waren Gewerbefläche und ein Restaurant geplant gewesen. Vier Einheiten aus diesem Baufeld werden gemäss der Befragung gewerblich genutzt. Dies entspricht 3%. Es handelt sich dabei um zwei Büros, ein Fitnesscenter und eine Kindertagesstätte. Zum Wohnen werden 101 Wohnungen (84%) genutzt. Keine Angabe betreffend dem Nutzen machen 13% der Befragten (16 Nennungen).

Die Wohnungen, welche bei der Befragung erfasst wurden, variieren zwischen 1-Zimmer Studios bis zu 6 ½-Zimmerwohnungen. Die 3 ½-Zimmerwohnungen überwiegen jedoch mit 30%. In mehr als einem Drittel der Wohnungen wohnt jeweils eine erwachsene Person, in weniger als zwei Dritteln der Wohnungen wohnen zwei Erwachsene. Kinder hat es nur gerade in 14 der 121 befragten Wohnungen. Ausschlaggebend für die Wahl der Wohnung in diesem Quartier waren für die Mehrheit die Lage (75%), insbesondere die Nähe zur Arbeit aber auch die Nähe zum Bahnhof. An zweiter Stelle wurden die Wohnungsgrundrisse (36%) genannt. Dass die Überbauung energieeffizient (29%) ist, und somit die Nebenkosten tiefer sind, und der Mietzins (28%) waren für die Wahl der Wohnung ähnlich ausschlaggebend. Die Aussicht (5%) und andere Gründe (14%) waren weniger entscheidend.

11.6.2. Benutzerverhalten

Je nach Tageszeit sind zwischen 9:00 und 16:00 nur 21 – 27% der Nutzerinnen und Nutzer anwesend. Zwischen 19:00 und 6:00 sind dann 82 – 93% der Wohnungen, bzw. der gewerblichen Räumlichkeiten belegt. Insgesamt 17% der Personen gaben an, selten oder nie bewusst auf den Energieverbrauch zu achten. Gelegentlich achten 35% auf den Energieverbrauch. Die Mehrheit mit 39% achtet sogar oft darauf, Energie zu sparen und 9% immer. Diese Antworten sind insofern erfreulich, als dass die Mehrheit der Befragten angegeben hat, dass ihr Energiebewusstsein vorhanden ist. Erfreulich sind darum auch die Antworten zur Frage, ob sie bei sich im Haushalt noch zusätzliches Energiesparpotential sehen. Hier gaben nur die Wenigsten (13%) an, dass noch viel oder sogar sehr viel Potential vorhanden ist. Etwas Einsparpotential bei sich sehen 41% und die Mehrheit (46%) sogar kaum oder gar keins. Dieses Energieeinsparpotential wird mit 49% bei der Elektrizität, mit 15% beim Wasser und mit 13% bei der Heizung, Lüftung und/oder Kühlung gesehen. Die exakten Antworten sind in der Tabelle 38 aufgelistet. 46% gaben auf diese Frage keine Antwort.

Keine Antwort	46%
Elektronische Geräte (Standby oder sparsamer Umgang)	24%
Licht/Beleuchtung	18%
Wasserverbrauch	12%
Heizung/Lüftung/Kühlung	11%
Elektrizität Allgemein	7%
Tumbler & Waschmaschine	5%

Tabelle 38: Antworten auf die Frage, wo Energieeinsparpotential gesehen wird.

11.6.3. Gebäudetechnikanlagen

Die Antworten zur Zufriedenheit bezüglich der Gebäudetechnikanlagen im Allgemeinen und bezüglich der Einflussmöglichkeiten auf diese im Speziellen sind in der Tabelle 39 dargestellt. Allgemein kann gesagt werden, dass bei der Heizung, beziehungsweise bei den Einstellmöglichkeiten der Heizung die Zufriedenheit am grössten ist. Am wenigsten zufrieden sind die Nutzerinnen und Nutzer mit der Lüftung, beziehungsweise mit den Einstellmöglichkeiten der Lüftungsanlage. Die Bemerkungen, welche zu den Fragen zur Zufriedenheit gemacht wurden, sind in Tabelle 40 und Tabelle 41 aufgelistet.

Zufriedenheit mit...	sehr schlecht bis schlecht	neutral	gut bis sehr gut
...Heizung	23%	23%	53%
...Kühlung	18%	33%	48%
...Lüftung	26%	29%	44%
...Einstellung der Heizung	26%	28%	45%
...Bedienung der Kühlung	17%	36%	42%
...Einstellung der Lüftungsanlage	37%	33%	26%

Tabelle 39: Zufriedenheit mit den Gebäudetechnikanlagen und mit den Einflussmöglichkeiten auf diese.

Lüftungseffizienz/Gerüche/zu geringe Luftfeuchtigkeit	37%
Zu wenig Heizleistung	25%
Zu geringe Kühlleistung	22%
Zu viel Heizleistung	18%
Störende Geräusche/Lautstärke (davon Lüftung)	15% (12%)
Probleme mit Regulierung der Heizung	12%
Baumängel	12%
Unwissen über Einflussmöglichkeiten	3%
Warmwasserprobleme	3%

Tabelle 40: Bemerkungen zur Zufriedenheit mit den Gebäudetechnikanlagen (in % von allen 60 gemachten Bemerkungen).

Keine Einflussmöglichkeiten	46%
Probleme mit Einstellung	38%
Unwissenheit über Einfluss	20%

Tabelle 41: Bemerkungen zur Zufriedenheit mit den Einstellmöglichkeiten der Gebäudetechnikanlagen (in % von allen 50 gemachten Bemerkungen).

Die Bedienmöglichkeiten der Gebäudetechnikanlagen wurden mehrheitlich monatlich (54%) oder wöchentlich (21%) genutzt. Gar nie benutzt wurde die Bedienung von 12% der NutzerInnen. Die restlichen 12% gaben an, diese Möglichkeiten täglich oder sogar mehrmals täglich zu nutzen. Die Instruktionen wurden mehrheitlich entweder neutral oder gut (je 36%) beurteilt und von 7% als sehr gut eingestuft. 21% der Befragten gaben an, schlecht oder sehr schlecht über die Gebäudetechnikanlagen instruiert worden zu sein. Zu welchen Punkten die Nutzerinnen und Nutzer mehr Informationen wünschen ist in der Tabelle 42 aufgeführt.



Lüftung	69%
Kühlung	53%
Heizung	49%
Anderes	11%

Tabelle 42: Erwünschte Informationen zu Heizung, Lüftung und Kühlung (in % von allen 45 gemachten Bemerkungen).

11.6.4. Fensterlüftung

Die Mehrheit mit 69% öffnet die Fenster bis zu einer Stunde pro Tag. 12% geben an die Fenster zwischen ein und drei Stunden zu öffnen. Bei 4% werden die Fenster sogar mehr als drei Stunden pro Tag geöffnet und 14% geben an die Fenster nie zu öffnen. Die Antworten zu den Gründen, warum die Fenster geöffnet werden, variieren wie folgt: 47% öffnen die Fenster wegen schlechter Luft, 20% aus Gewohnheit und 36% aus anderen Gründen. Erfreulich ist, dass mehr als die Hälfte der Befragten keine Fenster in Kipposition öffnen (67%). 21% haben ein Fenster gekippt und 12% sogar mehrere. Die meisten Fenster werden nach einer Stunde wieder geschlossen (27%). 18% der gekippten Fenster sind durchschnittlich zwischen einer und sechs Stunden gekippt. Länger in gekippter Position befinden sich nur 3% der Fenster.

11.6.5. Raumklima

Die Raumtemperatur im Winter 2015/2016 wurde von 9% der Nutzerinnen und Nutzer als kalt oder kühl eingestuft, von 19% als leicht kühl, von 25% als optimal, von 19% als leicht warm und von der knappen Mehrheit mit 26% als warm oder zu heiß. Dies wurde von 39% als sehr unangenehm oder unangenehm, von 22% als neutral, von 26% und somit von der Mehrheit als angenehm und von 12% als sehr angenehm eingestuft. Die befragten Personen gaben an, dass die Raumtemperatur für 7% kühler und für 12% etwas kühler sein sollte, damit sie sich behaglich fühlen würden. Die Mehrheit der Befragten (45%) beantworteten diese Frage mit neutral, d.h. dass sie zufrieden mit den aktuellen Raumtemperaturen im Winter sind. Für 23% wäre die ideale Raumtemperatur etwas wärmer und für 7% wärmer als die jetzigen. Es ist zu beachten, dass der Winter 2015/2016 durchwegs sehr mild war. Der Dezember war der mildeste seit Messbeginn. Der gemittelte Temperaturüberschuss betrug 2.5 Grad gegenüber der Norm 1981-2010. Der Januar und Februar waren zudem sehr sonnenarm. Regional war der Februar sogar einer der sonnenärmsten in den letzten 60 Jahren [9].

Die Luftfeuchtigkeit wurde von den meisten befragten Personen als neutral (49%) eingestuft. 17% beurteilten diese als zu tief, 26% als eher zu tief und lediglich 7% als eher zu hoch. Die knappe Mehrheit mit 38% gab an, keine Zugluft in der Wohnung zu verspüren. Selten Zugluft empfinden 37%, gelegentlich 17% und oft nur 7%. Täglich auftretenden wohnungsinternen Gerüchen (z.B. nach dem Kochen, Gerüche von Haustieren etc.) werden tendenziell stärker empfunden als von ausserhalb in die Wohnung kommenden Gerüchen (von draussen oder von anderen Wohnungen). Wobei die erst genannten internen Geruchsemissionen von der knappen Mehrheit als mässiger Geruch wahrgenommen werden. Bei den externen Gerüchen nimmt die Mehrheit gar keinen war. Die Bewertung zum Empfinden bezüglich der Geruchsintensität ist in der Tabelle 43 aufgeführt. In der Tabelle 44 sind die Bemerkungen aufgelistet, welche zur Frage wonach die Gerüche nach Meinung der Nutzerinnen und Nutzer kommen gemacht wurden.

Geruch	keiner	schwacher	mässiger	starker und sehr starker
Geruchsintensität intern	17%	29%	31%	23%
Geruchsintensität extern	46%	25%	18%	10%

Tabelle 43: Empfinden bezüglich Geruchsintensität.

Nachbarn via Lüftung oder offene Fenster (Kochen/Grill/Rauchen)	61%
Wohnungsintern (Kochen/Haustiere)	24%
Umgebung via Lüftung oder offene Fenster (z.B. landwirtschaftliche Geruchsemissionen)	15%
Unbestimmt	5%

Tabelle 44: Herkunft von Gerüchen (in % von allen 59 gemachten Bemerkungen).

Die Luftqualität wird von 12% als sehr unangenehm oder leicht unangenehm empfunden. Ein grosser Anteil der Befragten gab an, dass für sie die Luftqualität neutral ist (40%) ist. Für 35% ist die Qualität der Luft leicht angenehm und für 13% sogar sehr angenehm.

11.6.6. Fazit Nutzerbefragung

Die Nutzerbefragung im Winter 2015/2016 und deren Analyse haben gezeigt, dass die Mehrheit der Nutzerinnen und Nutzer wie bereits im Sommer 2015 während dem Winterhalbjahr die Raumtemperatur eher als zu warm empfunden hat. Wie zu erwarten war, wird die Luftfeuchtigkeit im Winterhalbjahr tiefer eingestuft als im Sommer. Die Mehrheit der Befragten gab jedoch an, dass dies optimal ist.

Bezüglich der gebäudetechnischen Anlagen überwiegt die Zufriedenheit. Die Zufriedenheit in Bezug auf die Einstellmöglichkeiten auf diese fällt nicht ganz so gut aus, wobei auch hier der Anteil an Unzufriedenen klein ist. Insbesondere die Lüftung scheidet bei beiden Zufriedenheiten am schlechtesten ab. Des Weiteren werden die Fenster sehr oft geöffnet, obwohl alle Räume mit einer mechanischen Lüftung ausgerüstet sind. Als Grund wurde in der Hälfte der Fälle schlechte Luft angegeben.

Ob es sich sowohl bei den Rückmeldungen betreffend den Raumtemperaturen als auch bei den Rückmeldungen betreffend der Lüftungsanlagen um persönliches Empfinden handelt oder tatsächlich so ist, müsste überprüft werden, bevor Optimierungen vorgenommen werden können.