

Monitoring Passivhäuser China

Bürogebäude und Arbeiterwohnheim in ZhuoZhou, Hebei, China

H. Schöberl, D. Michulec,
B. Kaufmann, J. Schnieders,
H. Jiang

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

51/2019

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

Impressum

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

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

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Monitoring Passivhäuser China

Bürogebäude und Arbeiterwohnheim in ZhuoZhou, Hebei, China

DI Helmut Schöberl, Dawid Michulec
Schöberl & Pöll GmbH Bauphysik, Wien

Dr. Berthold Kaufmann, Dr. Jürgen Schnieders, Dipl. Ing. Huijun Jiang
Passivhaus Institut, Darmstadt und Innsbruck

Wien und Darmstadt, August 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Kurzfassung Projektbeschreibung | 9 |
| Extended English Abstract and Summary..... | 12 |
| 1 Einleitung..... | 16 |
| 1.1 Aufgabenstellung, Motivation, Inhalte und Zielsetzungen..... | 16 |
| 1.2 Beschreibung der eingesetzten Messtechnik | 18 |
| 1.3 Methodische Vorgehensweise | 22 |
| 2 Ergebnisse: Bürogebäude | 23 |
| 2.1 Messdaten der Wetterstation | 23 |
| 2.2 Innenraumklima Bürogebäude – erste Inbetriebnahme 2015..... | 27 |
| 2.3 Innenraumklima Bürogebäude 2016 | 28 |
| 2.4 Kühlung und Entfeuchtung..... | 30 |
| 2.5 Luftzustände Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. | 35 |
| 2.6 Randbedingungen und Parameter für Nutzung und Betrieb..... | 37 |
| 2.7 Vergleich: Energieverbrauch und Energiebedarf nach PHPP..... | 39 |
| 2.8 Energieverbrauch Heizung, Kühlung & Entfeuchtung | 40 |
| 2.9 Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen | 41 |
| 2.10 Zusammenfassung: Heizwärmeverbrauch | 42 |
| 2.11 Zusammenfassung: Kühlenergieverbrauch..... | 42 |
| 3 Ergebnisse: Arbeiterwohnheim | 46 |
| 3.1 Innenraumklima | 46 |
| 3.2 Energieverbrauch: Heizung, Kühlung, Entfeuchtung..... | 47 |
| 3.3 Webcam: Auswertung der Fensteröffnung und Verschattung | 48 |
| 4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick | 50 |
| 5 Verzeichnisse | 52 |
| 5.1 Abbildungsverzeichnis | 52 |
| 5.2 Tabellenverzeichnis | 54 |
| 5.3 Literaturverzeichnis..... | 55 |
| 6 Anhang..... | 57 |
| 6.1 Wetterdaten – Strahlungsdaten nach Bereinigung im Detail..... | 57 |
| 6.2 Bürogebäude: Innenraum-Luftkonditionen | 59 |
| 6.3 Bürogebäude: Lüftungsanlage (zentral) Dach..... | 64 |
| 6.4 Bürogebäude: Verbrauch elektrische Energie zonenweise | 70 |

| | |
|---|----|
| 6.5 Bürogebäude: Energiebilanzberechnung (PHPP) | 75 |
| 6.6 Wohngebäude: Innenraum | 77 |
| 6.7 Wohngebäude: Lüftungsanlage, Dach, zentral | 81 |
| 6.8 Wohngebäude: Lüftungsanlage Wohnungen (dezentral) | 83 |
| 6.9 Wohngebäude: Stromverbrauch Licht und Haushaltsstrom | 84 |
| 6.10 Wohngebäude: Energieverbrauch WP Heizung und Kühlung | 87 |
| 6.11 Wohngebäude: Webcam zur Auswertung der Verschattung | 89 |

Kurzfassung Projektbeschreibung

In ZhuoZhou, Provinz Hebei (70 km südlich von Peking) wurde im Mai 2015 der Neubau eines Bürogebäudes (3.000 m²) und eines Arbeiterwohnheimes (2.300 m²) fertig gestellt. Beide Gebäude wurden in Passivhausstandard hergestellt. Bauherr und Auftraggeber ist die Firma Hebei Xinhua Curtain Wall Co. Ltd. in ZhuoZhou 70 km südlich von Peking. Baufertigstellung war im Juli 2015. Das Gebäude wurde von Chinesischen Firmen erstellt.

Die Entscheidung, das Gebäude als Passivhaus zu bauen, wurde erst nach Baubeginn und nach der offiziellen Erteilung der Baugenehmigung getroffen. Daher konnten einige Details, insbesondere Wärmebrücken im Gründungsbereich und die Kanalführung der Lüftungsanlage im Dachbereich nicht vollständig optimiert werden. Trotzdem konnte dank der Unterstützung des Planungsteams durch Schöberl & Pöll und Passivhaus Institut das Gebäude zu einem gut funktionierenden Passivhaus gemacht werden. Die Nutzer des Gebäudes sind seit der Inbetriebnahme sehr zufrieden und die Daten des Monitorings während der Messzeit konnten wertvolle Hinweise für die Betriebsoptimierung der haustechnischen Einrichtungen – Lüftung, Heizung und Kühlung – geben. Die Messungen der Energieverbräuche für Heizung und Kühlenergie stimmen bis auf eine erklärbare und akzeptable Differenz mit den vorher berechneten Energiebedarfswerten (PHPP) überein.

Ausgangssituation, Motivation, Inhalte und Zielsetzungen

Seit der Baufertigstellung im Spätsommer 2015 wurde in den beiden Gebäuden ein Monitoring durchgeführt. Der Energieverbrauch und die Komfortparameter der Gebäude wurden über zwei Jahre bis Mitte März 2017 im Detail vermessen: Temperaturen und relative Luftfeuchte in den Innenräumen, Luftzustände vor und nach den Lüftungs- und Heiz-Kühl-Geräten, Außenluftzustände, das Wettergeschehen am Standort, und nicht zuletzt die Energieverbräuche der beiden Gebäude.

Ziel dieses Monitorings war es erstens, nachzuweisen, dass das Gebäude funktioniert wie intendiert und geplant, d.h. dass in den Innenräumen sommers wie winters ein komfortables Raumklima herrscht. Zweitens sollte gezeigt und nachgeprüft werden, dass der Energieverbrauch der Gebäude ebenfalls wie geplant und bei Passivhäusern üblich sehr niedrig liegt. Drittens war das Nachprüfen der korrekten Funktion und die Messung dieser Daten ein Teil der umfassenden Qualitätssicherung an den Gebäuden. Überprüfung der Planungsdetails und eine sorgfältige Bauüberwachung wurden während der Realisierung durchgeführt. Die korrekte Funktion, insbesondere der haustechnischen Einrichtungen, konnte mit Hilfe der genannten Messungen eingehend überprüft und zum Teil optimiert werden.

Methodische Vorgehensweise, Ergebnisse

Die ersten Messergebnisse standen ab August 2015 zur Verfügung. Die Auswertung der laufend erhobenen Messergebnisse wurde seither bis Mitte März 2017 durchgeführt. Verschiedene während dieser Zeit erhobene Zwischenergebnisse und Auswertungen konnten für Betriebsoptimierungen verwendet werden: so war direkt nach der Inbetriebnahme der Air-Conditioning-Anlagen (AC) im Sommer 2015 ursprünglich ein Sollwert für die Innenraumtemperatur von 22 °C eingestellt. Dies ist eine deutlich zu niedrige Innentemperatur für die Kühlperiode und erhöhte nicht nur den Energieverbrauch in der ersten Zeit, sondern die resultierende relative Luftfeuchte in den Innenräumen wurde aus diesem Grund sehr hoch und erreichte kritische Werte von über 75 % rF über einen längeren Zeitraum.

Die Messergebnisse wurden für die verschiedenen Räume und Bereiche ausgewertet und in Tabellen und Grafiken dargestellt. Die Messwerte des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung (Heizwärme und Nutzkälte plus jeweils Wärmeverteilverluste) in den beiden Gebäuden wurden verglichen mit den Berechnungsergebnissen aus dem PHPP. Dabei zeigt sich, dass die Energieverbräuche etwas höher liegen als geplant. Die Abweichungen können jedoch aus dem Nutzerverhalten – gewählte Innenraumtemperaturen, Luftmengen – und dem Wettergeschehen während der Messzeit erklärt werden.

Zusammenfassung, Schlussfolgerung und Ausblick

Die oben genannten Betriebsoptimierungen konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Entweder wurden entsprechende Hinweise aus der Ferne gegeben, oder die Umsetzung wurde nach und nach bei Besuchen vor Ort am Gebäude veranlasst und durchgeführt.

Seit Mitte März 2017, d.h. nach mehr als einem vollen Sommer und zwei Wintern Messzeit, sind das Gebäude und die haustechnischen Einrichtungen in einem weitgehend optimierten Zustand, der mit der Planung und vom Passivhaus-Konzept her beabsichtigt war. Es konnten außerdem noch ergänzende Messungen zur Absicherung durchgeführt werden.

Die Luftführung der Lüftungsanlage im obersten Geschoss musste außerhalb der Gebäudehülle geführt werden, weil die schon bestehende Baugenehmigung eine Umplanung – größere Deckenhöhen im obersten Geschoss – nicht mehr zuließ. Dies führt unter anderem zu einer Reduktion der Wärmerückgewinnung der Lüftungsgeräte, obwohl die Lüftungsleitungen gut wärmegeämmt sind. Das ist ein weiterer Grund, warum die gemessenen Wärmeverbräuche höher liegen als geplant. Dieses Problem kann zwar für das Gebäude ZhuoZhou nicht mehr geändert werden, aber die Messungen zeigen sehr klar, dass die Forderung nach einer guten Lüftungsanlage für das Passivhaus sehr wohl begründet ist. Daher ist diese Erfahrung für zukünftige Projekte sehr wichtig.

Eine über die Monitoring-Zeit hinaus fortlaufende Überwachung der Betriebsparameter zur Sicherung eines optimalen Betriebs ist angeraten: die messtechnischen Einrichtungen laufen derzeit über die zwei Jahre hinaus weiter, so dass ggf. Fehlfunktionen und Ausfälle schnell

erkannt und wieder behoben werden können. Eine derartige Betriebsüberwachung ist für moderne Wohn- und Nichtwohngebäude generell angeraten, schon um die Energieeinsparziele dauerhaft sicherzustellen [Peper 2001], [Kaufmann 2001], [Peper 2009], [Peper/Feist 2009], [AkkP 52]. Die Messtechnik verbleibt im Gebäude und kann im Prinzip auch über die geplante Zeit von zwei Jahren Daten liefern.

Das Know-How über das Passivhaus-Konzept im allgemeinen und die Optimierung der Inbetriebnahme wurden weitgehend an den Betreiber und die Ingenieure des Planungsteams weitergegeben, so dass mit Hilfe der Daten der laufende Betrieb ständig überwacht werden kann. So können auch später noch womöglich auftretende Fehlfunktionen sicher erkannt und schnell wieder behoben werden. Die Erfahrung aus entsprechenden Langzeit-Beobachtungen in europäischen Projekten zeigt, dass dies auf jeden Fall angeraten ist.

Extended English Abstract and Summary

Contents and Objectives: Passive House ZhuoZhou Monitoring

To describe the contents of this report shortly but thoroughly enough this text about the project, which was presented at the 21. Passive House Conference in Vienna in April 2017, is reproduced here almost completely [Kaufmann 2017]. For figures see the main text.

The Passive House office building and guest house in ZhuoZhou was completed in July 2015. The building was planned and realized by Chinese companies with consulting provided by the Austrian Passive House expert team, Schöberl and Pöll and Passive House Institute (PHI). As the construction had already started when the decision to make the building a Passive House was taken, some details in design could not be fully optimized.

Monitoring of the building started in July 2015. From the available monitoring data after two years of operation, mid of March 2017, the results can be summarized as follows: The building service equipment for cooling and dehumidification in summer and for heating in winter is performing as designed. The users are happy with indoor comfort and the consumption of energy for heating and cooling is a little higher than calculated, but deviations are within reasonable limits and can be explained by user behavior, weather conditions and some planning issues described later in this report.

Just after the beginning of measurements in August 2015 the early data helped to adjust the building services devices and setup parameters: The default settings for cooling and heating power and requirements from the user were discussed in detail and then partly readjusted. Thus the indoor temperatures during the 2nd winter 2016/17 were reduced compared to first winter 2015/16. Average temperatures in the building then were almost everywhere about 22°C. The temperatures in summer 2016 were similarly slightly higher than 2015 but again average temperature was about 25°C and never higher than 26°C.

A very important feature of the building behavior can be seen from the monitoring data, see the graphs in section 2.11 on page 42 and following: The electricity consumption of the heat pumps for heating season and cooling season are well separated from each other by a 'neutral' period in spring and autumn with no heating and cooling at all. This validates the findings about thermal behavior of Passive House buildings: as these are very well insulated, air-tight, and ventilation is done with heat recovery, Passive House buildings will only slowly heat up or cool down, so there will never be heating and cooling during the same day. Therefore in spring and autumn, when daily average outside temperatures are within a comfortable range of 20...25°C, a Passive House building will never need any heating or cooling.

The results can be summarized as follows: The overall energy consumption in the office building was about 22 kWh/(m²a) for heating during both winters and about 26 kWh/(m²a) for cooling during summer 2016. In the PHPP calculation the respective limit values for Passive House buildings are 15 kWh/(m²a) for heating and 17 kWh/(m²a) for cooling energy demand. The extra consumption is not at all dramatic, compared to conventional buildings the con-

sumption is very low – and what is more, the consumption of the real building can be explained by changing the respective parameters and boundary conditions in PHPP calculation so that the extra consumption can be modelled in PHPP and thus explained reasonably.

The **heating energy consumption** of the building can be explained by several reasons:

- Electricity use for office appliances was significantly lower than for typical office use: only 11 kWh/(m²a) instead of typically 30 kWh/m²a, because many office rooms in the building have not yet been occupied up to now. In consequence the overall average internal heat gains including heat from people and electricity were only about 1.8 W/m². Accounting for that in PHPP raises heating energy demand by more than 4 kWh/(m²a).
- Indoor temperatures in most rooms in winter were higher than 20°C. The average indoor temperature in the office building was about 22°C. This raises heating energy demand by about +4 kWh/(m²a)
- The main influence for heating energy consumption comes from longer daily and weekly operation of the ventilation system: so the average air flow in/out was significantly higher than planned as the operation time of the ventilation system (6 a.m. to 21 p.m. thus 15 hours on 7 days a week) was longer than assumed previously. The higher average air flow results in an extra heating energy demand of about 5 kWh/(m²a)
- As the rough concrete construction was designed before the decision about Passive House was taken, the room heights in level 4 were too low to cover the supply air ducts and waste air ducts to connect the ventilation unit to the rooms in building. Therefore these warm air ducts on roof running through outside air are quite long (> 45 m). For this and other reasons the performance parameters of ventilation systems must be assumed to be significantly lower than originally assumed. This raises the heating energy by about 3 kWh/(m²a).
- The monthly average outside temperatures at ZhuoZhou during the time of September 2015 to September 2016 were in all months about 1 to 2 K higher than the previously assumed temperatures coming from reference data set. On the other hand the solar radiation available in winter months (October to March) is significantly lower (winter smog) than those in reference data set. This raises in total the heating energy demand in winter by about 4 kWh/(m²a).
- The numbers of extra energy demand mentioned above do not sum up linearly. Combining all the mentioned effects it can be explained that heating energy consumption of building in real operation is about 12 kWh/(m²a) higher than the value of the certified Passive House configuration.

Some of the effects, like the performance of the ventilation system are due to planning issues, which could not be changed as mentioned before. But as a general hint for planning such basic details and features should be considered carefully in further projects.

On the other hand, most of the mentioned effects result from operational conditions such as weather during these two years. Some of the indoor conditions could be changed by

the use of the building. Anyway, the difference between designed values of heating energy demand and actual heating energy consumption is within reasonable limits and not dramatically high and can be accepted and explained within as typical 'user behavior'.

The difference in **cooling energy consumption** can be explained as follows:

- Shading: If users in building forget to close the shading lamella, this would cause higher solar loads and thus higher cooling energy demand in summer. An additional solar throughput (z-value 60% instead of 20% as assumed in PHPP) would raise cooling energy demand by about 1 kWh/(m²a). The shading is operated in both buildings automatically, so no extra cooling energy because of misalignment of shading.
- The average indoor room temperatures which were chosen by users, were about 24 °C instead of the recommended 25 °C. This results in extra 1,5 kWh/m²a cooling energy demand.
- The higher outside temperatures measured during the two summers raised the cooling energy demand by about 4 kWh/(m²a).
- Solar radiation data from measurements show no higher values than standard weather data set. So this makes no difference.
- Users to open windows manually during daytime in summer can raise the cooling energy consumption as heat and mainly more humidity is entering the building not controlled. Assuming only a small extra air change of 0.3 per hour in PHPP during summer the cooling energy demand raises about 6 kWh/m²a. This assumption is not fully verified, but this behavior is reported from the ZhuoZhou office building and other projects. To avoid this effect, users should be instructed, that the building is equipped with ventilation and Air Conditioning (AC) system, which will only work properly if windows are closed.

The mentioned effects accounted for in PHPP can roughly explain an energy demand for cooling & dehumidification which is compatible to the measured energy consumption: The measured energy consumption for cooling and dehumidification in summer 2016 was 26 kWh/(m²a) instead of the limit value from PHPP, which is 17 kWh/(m²a). So the overall cooling energy consumption of 26 kWh/(m²a) is reasonable anyway, as it is much lower than for typical conventional buildings.

Apart from heating and cooling energy the consumption of electricity for the central ventilation systems shows a specific electric efficiency of 0.76 Wh/m³ for an average air flow of 5000 m³/h (assuming an operation seven days a week from 6 a.m. to 9 p.m.). This might be better for a ventilation design with shorter and wider air ducts and wider air outlets and thus with lower overall pressure losses. But some optimizations as reduction of air flow in normal operation was already done, so that the specific number could be reduced during first year.

Summary and conclusion: Monitoring is necessary to achieve good building performance

Monitoring as done in the ZhuoZhou building was very helpful to identify some problems which frequently come up with new buildings – not only in Passive Houses. So doing monitoring together with an extended commissioning and quality control helped to setup the building correctly to get the performance as designed and intended. With that respect a monitoring and a detailed control of any buildings setup should be regarded mandatory.

The monitoring research project was financed by Austrian government [BMVIT 2015]. It was reasonable to understand this first Passive House building in the Hebei region in more detail and what is more to validate the so far theoretical assumptions about Passive House conceptions in a Chinese climate region. Those governmentally financed monitoring studies are therefore really necessary from a scientific point of view, too.

So monitoring is necessary and helpful anyway, but the question is, if data collection needs to be so sophisticated as in research projects like that in ZhuoZhou Passive House building, or if less data would be sufficient as well. Normally an economically reasonable 'building-setup-procedure-monitoring' for the owner and user should just provide sufficient data to figure out possible tasks and actions for optimization. This could be data from the most important energy meters, such as electricity for heat pumps, which should be recorded separately from electricity of all other office appliances and lighting in the building. Furthermore temperatures should be recorded in some rooms and in ventilation system. Last not least indoor air quality in general should be monitored to realize and repair possible malfunctions.

In the end, the monitoring project could prove, that the ZhuoZhou Passive House building does perform as intended and that it can serve as a good example and show case for further development of sustainable buildings in China. The Authors want to thank the owner and wish him and the users many years of good work and life in there.

1 Einleitung

In ZhuoZhou, Provinz Hebei (70 km südlich von Peking) wurde im Mai 2015 der Neubau eines Bürogebäudes (3.000 m²) und eines Arbeiterwohnheimes (2.300 m²) fertig gestellt. Beide Gebäude wurden in Passivhausstandard hergestellt. Bauherr und Auftraggeber ist die Firma Hebei Xinhua Curtain Wall Co. Ltd. in ZhuoZhou 70 km südlich von Peking. Baufertigstellung war im Juli 2015, Abbildung 1 und Abbildung 2. Das Gebäude wurde von Chinesischen Firmen erstellt.

Mit der Unterstützung des Planungsteams durch von Schöberl & Pöll und Passivhaus Institut konnte das Gebäude zu einem gut funktionierenden Passivhaus gemacht werden. Die Nutzer des Gebäudes sind seit der Inbetriebnahme sehr zufrieden und die Daten des Monitorings während der Messzeit konnten wertvolle Hinweise für die Betriebsoptimierung der haustechnischen Einrichtungen – Lüftung, Heizung und Kühlung – geben.

1.1 Aufgabenstellung, Motivation, Inhalte und Zielsetzungen

Seit der Baufertigstellung im Spätsommer 2015 wurde in den beiden Gebäuden ein Monitoring durchgeführt. D.h. der Energieverbrauch und die Komfortparameter der Gebäude wurden über fast zwei Jahre bis Mitte März 2017 im Detail vermessen:

Temperaturen und relative Luftfeuchte in den Innenräumen, Luftzustände vor und nach den Lüftungs- und Heiz-Kühl-Geräten, Außenluftzustände, das Wettergeschehen am Standort, und nicht zuletzt die Energieverbräuche der beiden Gebäude wurden gemessen.

Ziel dieses Monitorings war es erstens, nachzuweisen, dass das Gebäude funktioniert wie intendiert und geplant, d.h. dass in den Innenräumen sommers wie winters ein komfortables Raumklima herrscht. Zweitens sollte gezeigt und nachgeprüft werden, dass der Energieverbrauch der Gebäude ebenfalls wie geplant und bei Passivhäusern üblich sehr niedrig liegt. Drittens war das Nachprüfen der korrekten Funktion und die Messung dieser Daten ein Teil der umfassenden Qualitätssicherung an den Gebäuden. Überprüfung der Planungsdetails und eine sorgfältige Bauüberwachung wurden Bau- und Planungsbegleitend während der Realisierung gemacht.

Die korrekte Funktion, insbesondere der Haustechnischen Einrichtungen, konnte mit Hilfe der genannten Messungen eingehend überprüft und zum Teil optimiert werden. In diesem Sinne war das Monitoring ausdrücklich Teil der umfassenden Qualitätssicherung, die für derartige Gebäude generell angeraten ist.

Insbesondere müssen die Haustechnischen Einrichtungen von Gebäuden (Lüftung und Wärmepumpen) in der Regel bei und auch noch nach der Inbetriebnahme, in ihren Betriebsparametern richtig eingestellt werden, um eine optimale Funktion zu gewährleisten. Diese Betriebsoptimierung konnte mit dem Monitoring nach zwei Jahren abgeschlossen werden.

Neben der Betriebsoptimierung gab es noch Diskussionen im Planungsteam, ob eine optionale Entfeuchtungseinrichtung für die Luftkonditionierung notwendig ist oder nicht. Auch dies konnte anhand der erhobenen Daten beantwortet werden.

Die ersten Messergebnisse standen ab August 2015 zur Verfügung. Die Auswertung der laufend erhobenen Messergebnisse wurde seither bis Mitte März 2017 durchgeführt. Verschiedene während dieser Zeit erhobene Zwischenergebnisse und Auswertungen konnten für Betriebsoptimierungen verwendet werden: so war direkt nach der Inbetriebnahme der Air-Conditioning-Anlagen im Sommer 2015 ursprünglich ein Sollwert für die Innenraumtemperatur von 22 °C eingestellt. Dies ist eine deutlich zu niedrige Innentemperatur für die Kühlperiode und erhöhte nicht nur den Energieverbrauch in der ersten Zeit, sondern die resultierende relative Luftfeuchte in den Innenräumen wurde aus diesem Grund sehr hoch und erreichte kritische Werte von über 75 % r.F über einen längeren Zeitraum.

Die Messergebnisse wurden für die verschiedenen Räume und Bereiche ausgewertet und werden in diesem Bericht in Tabellen und Grafiken dargestellt. Die Messwerte des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung (Heizwärme und Nutzkälte plus jeweils Wärmeverluste) in den beiden Gebäuden wurden dann verglichen mit den Berechnungsergebnissen aus dem PHPP. Dabei zeigt sich, dass die Energieverbräuche etwas höher liegen als geplant. Die Abweichungen können jedoch aus dem Nutzerverhalten – gewählte Innenraumtemperaturen, Luftmengen – und dem Wettergeschehen während der Messzeit erklärt werden.



Abbildung 1: Bürogebäude



Abbildung 2: Arbeiterwohnheim

1.2 Beschreibung der eingesetzten Messtechnik

Die in diesem Projekt verwendeten Sensoren und das Messkonzept entsprechen dem Stand der Technik, der schon an anderer Stelle beschrieben wurde. [Kaufmann 2001] und [Peper / Feist 2009]. Die Messungen sollten einerseits eine möglichst vollständige Information über das Gebäude und die verschiedenen Zonen liefern, andererseits aber zu vernünftigen Kosten realisiert werden. Daher wurde in vielen Räumen jeweils nur ein Temperatur-Feuchte-Sensor installiert. Die reicht aus, um den Luftzustand in der jeweiligen Zone ausreichend gut beurteilen zu können. Auf genauere Messungen wurde aus Kostengründen verzichtet.

Zur Messung der Betriebs- und Komfort-Parameter eines Gebäudes wurden zum einen Sensoren für Temperatur und Luftfeuchte in möglichst vielen Räumen eingebaut. Außerdem wurden alle Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG) in jeweils allen vier Kanälen mit Temperatur- und Feuchte-Sensoren ausgestattet, so dass eine überschlägige Bestimmung der Effizienz und der Funktion der WRG möglich wurde. Alle Temperatur und Feuchte-Sensoren sind über ein M-Bus-Netz verknüpft. Die Daten konnten so in kurzen Zeitintervallen von 10 Minuten ausgelesen werden.

Zur Bestimmung der Energieverbräuche wurden in diesem Projekt nur Stromzähler benötigt, weil zur Heizung und Kühlung nur elektrische Energie (mit Wärmepumpen, WP) verwendet wird. Für alle Wärmepumpen in den verschiedenen Zonen wurden separate Elektrozähler gesetzt. Alle diese Zähler hängen am Mess-Netz und wurden alle 10 Minuten ausgelesen.

Darüber hinaus wurden für die Lüftungsgeräte separate Zähler gesetzt, um die Stromeffizienz bezüglich der Luftleistung bestimmen zu können.

Um die Elektro-Effizienz der Wärmepumpen zu bestimmen wurden für jede WP im Primärkreis und im Sekundärkreis Wärmemengenzähler (WMZ) gesetzt. Damit konnten die mit den Wärmepumpen umgesetzten Wärmemengen, d.h. die Wärmemengen aus dem Erdreich und die an die Räume abgegebene (Heizung) bzw. entzogene Wärme (Kühlung) bestimmt werden. Mit den Wärmemengen im Vergleich zur eingesetzten elektrischen Energie konnte dann die Effizienz der Wärmepumpen in verschiedenen Betriebszuständen bestimmt werden. Mit einer Mittelwertbildung über eine Heiz- oder Kühlperiode konnten dann Jahresarbeitszahlen bzw. SPF (seasonal-performance-factor) für die jeweiligen Perioden bestimmt werden. Diese SPF sind eine wichtige Größe zur Beurteilung von Wärmepumpen. Derartige Daten liegen bisher nur sehr unzureichend vor. Das Monitoring konnte also neben der Information über die Gebäude auch wichtige neue Erkenntnisse für den Einsatz und die Fortentwicklung der Wärmepumpentechnologie bringen.

Leider konnten trotz mehrfachen Versuchen die WMZ nicht an das M-Bus-Netz angeschlossen werden. D.h. eine kontinuierliche durchgehende Auslesung in kurzen Zeitintervallen von 10 Minuten wie bei den Stromzählern konnte nicht realisiert werden. Die WMZ wurden daher bei Besuchen vor Ort über die Displays ausgelesen. Daher liegen jeweils nur Ablesewerte von den Wärmepumpen im Frühjahr und Herbst nach den jeweiligen Heiz- und Kühl-Perioden vor: nach dem ersten und zweiten Winter und nach dem ersten Sommer. Mit diesen zeitlich gut getakteten Ablesungen konnten jedoch die Jahresarbeitszahlen ausreichend genau bestimmt werden, vgl. Abschnitt 2.9.

Folgende Sensoren wurden in den Gebäuden im Einzelnen eingebaut, siehe auch Abbildung 3 und Abbildung 4:

Sensoren und Messdatenerfassung allgemein

- Wettermess-Station (Temperatur, Feuchte, Strahlung, Niederschlag)

Sensoren und Messdatenerfassung Bürogebäude

- Datenlogger für Temperatur und relative Feuchte der Raumluft in den Büro und Aufenthaltszonen.
- Datenlogger Temperatur- und Feuchte Erdreich.
- Datenlogger Temperatur- und Feuchte Lüftungsanlagen: jeweils für Zuluft, Abluft und Außenluft und Fortluft.
- Elektrozähler für die Lüftungsanlagen.
- Wärmemengenzähler für Wärmepumpen (WP) Primär- und Sekundärseitig.
- Elektrozähler für die verschiedenen Wärmepumpen.
- Elektrozähler für die verschiedenen Zonen im Bürogebäude
- Elektrozähler für sonstige Verbraucher.

OFFICE BUILDING

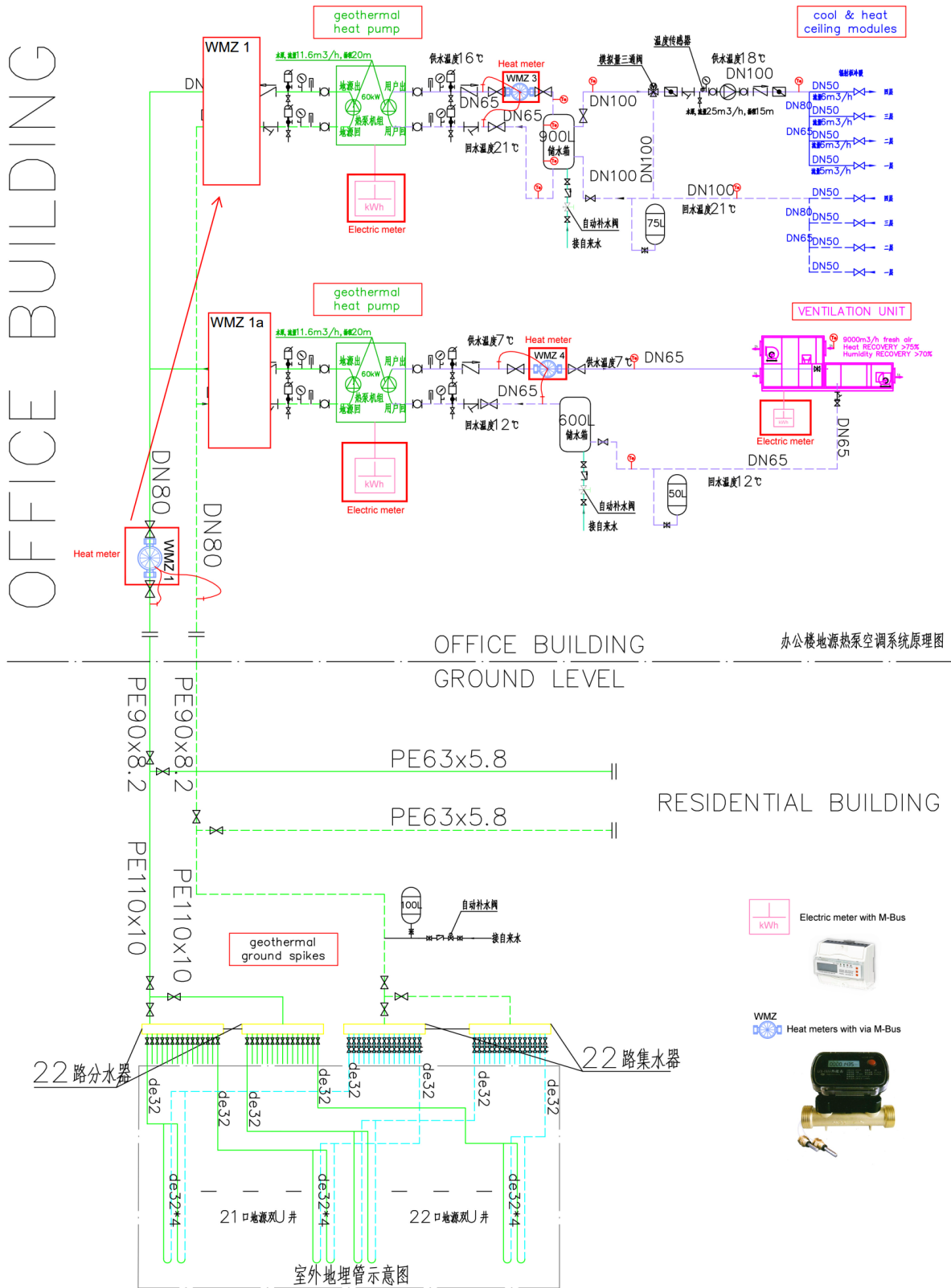


Abbildung 3: Hydraulikschemata Bürogebäude mit den wichtigsten Komponenten der Messtechnik

Sensoren und Messdatenerfassung Arbeiterwohnheim

- Datenlogger für Temperatur und relative Feuchte der Raumluft in den Wohnungen und Aufenthaltszonen.
- Datenlogger Temperatur- und Feuchte Erdreich.
- Datenlogger Temperatur- und Feuchte Lüftungsanlagen: jeweils für Zuluft, Abluft und Außenluft und Fortluft.
- Elektrozähler für die Lüftungsanlagen.
- Wärmemengenzähler für die Wärmepumpen (WP) Primär- und Sekundärseitig.
- Elektrozähler für die verschiedenen Wärmepumpen.
- Elektrozähler für Haushaltsstrom für alle Wohnungen eines Stockwerks.
- Elektrozähler für alle Gemeinschaftsräume eines Stockwerks

Messdatenerfassung

- Betrieb der Messdatenerfassung über 2 Jahre (24 Monate)
- Zentraleinheit für Datenerfassung.

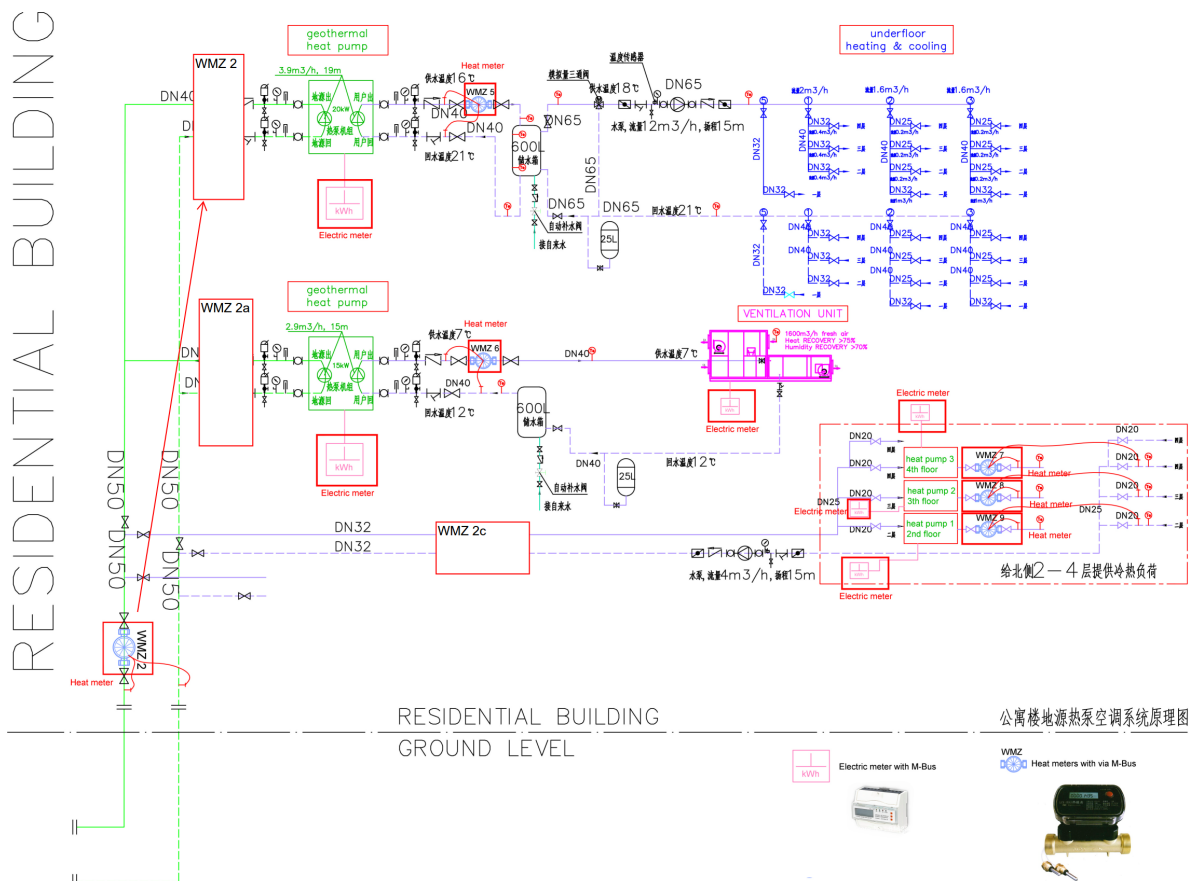


Abbildung 4: Hydraulikschema Wohnhaus mit den wichtigsten Komponenten der Messtechnik

1.3 Methodische Vorgehensweise

Neben der Auslesung der Daten, deren Dokumentation in Schaubildern und der qualitativen Interpretation wurden bei der Auswertung auch die Energiebedarfsberechnungen mit dem [PHPP] zum Vergleich herangezogen. Dies erlaubt es, die Verbrauchsdaten mit den Werten aus der Planung zu vergleichen.

Der Vergleich mit dem PHPP wurde auch schon in anderen Monitoring-Projekten in Deutschland und Europa [Peper 2001], [Peper/Feist 2009], [Peper 2009] erfolgreich durchgeführt. Dazu müssen u.a. die Klimadaten im PHPP durch die tatsächlich während der Messzeit herrschenden Wetterdaten ersetzt werden. Daher wurden aus den Wetterdaten Monatsmittelergebnisse berechnet, so dass sowohl für die Heizperiode als auch für die sommerliche Kühlperiode ein detaillierter Vergleich zwischen den Messwerten und den Planungswerten möglich wurde. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung, bzw. die gefundenen Abweichungen können plausibel erklärt werden.

2 Ergebnisse: Bürogebäude

2.1 Messdaten der Wetterstation

Um die Energiebilanz des Gebäudes bilden zu können, und um besondere Situationen richtig einschätzen zu können ist es wichtig das Wettergeschehen am jeweiligen Standort möglichst genau zu kennen.

Die Außentemperatur hat einen entscheidenden Einfluss auf die Wärmeverluste des Gebäudes im Winter bzw. die Wärmegewinne im Sommer, weil man im Inneren eine Raumtemperatur zwischen 20 °C und 25 °C aufrechterhalten will. Die solaren Gewinne leisten im Passivhaus einerseits im Winter einen entscheidenden zusätzlichen Beitrag zur Heizenergiebilanz des Gebäudes. Andererseits erhöhen übermäßige solare Lasten im Sommer die Kühllast. Es ist daher wichtig, die solare Einstrahlung am Standort des Gebäudes möglichst genau zu kennen, um die Energiebilanz im Winter und im Sommer korrekt berechnen zu können. Bei der Planung wurde dazu der für den Standort ZhuoZhou ausreichend genaue Wetterdatensatz Beijing verwendet [PHPP].

Die während eines konkreten Messzeitraums herrschenden Wetterverhältnisse weichen jedoch prinzipiell von den schematisierten langjährigen Mittelwerten der Wetterdatensätze ab.

Mit einer Wetterstation auf dem Dach wurden daher die folgenden Daten protokolliert:

- Windgeschwindigkeit [m/s]
- Lufttemperatur [°C]
- Windrichtung [°]
- relative Feuchte [% rel. hum.]
- absoluter Luftdruck [hPa]
- Niederschlagsstatus
- Absolute Feuchte [g/m³]
- Taupunkt [°C]
- Globalstrahlung (horizontal) [W/m²]
- Helligkeit Nord [lx]
- Helligkeit Ost [lx]
- Helligkeit Süd [lx]
- Helligkeit West [lx]
- Sonnenstand Elevation [°]
- Sonnenstand Azimut [°]

Der Sensor für die Außenlufttemperatur zeigte häufig fehlerhafte Werte und wurde daher im September 2015 ausgetauscht. Die Außenlufttemperatur liegt aber gleichzeitig, d.h. redundant, noch aus den Messungen der beiden Lüftungsgeräte vor (Abbildung 5 bis Abbildung 7 und im Anhang Abbildung 35 folgende.). Die wichtigsten Größen, Lufttemperatur und Feuchte und die Globalstrahlung (horizontal), sind im Folgenden dokumentiert.

Generell lässt sich sagen, dass am Standort ZhuoZhou das Wetter demjenigen vom Großraum Beijing weitgehend entspricht: kalte und sehr trockene Winter und feuchtwarme Sommer. Im Sommer herrschen über zweieinhalb Monate hohe Luftfeuchten. Die absolute Luftfeuchte liegt zwischen Mitte Mai und Mitte August deutlich über 12 g/kg (12 g Wasser pro kg trockene Luft). Im Hochsommer Ende Juli liegt die absolute Feuchte sogar zeitweise über 25 g/kg.

Aus diesen Daten lässt sich schon vermuten, dass bei der Luftkonditionierung besonders auf die Entfeuchtung zu achten sein wird. Während der Planung wurde deshalb die Frage intensiv diskutiert, ob die entsprechende Entfeuchtung von der Kühlung 'nebenbei' bereitgestellt werden kann oder ob extra entfeuchtet werden muss. Da im Passivhaus die sensiblen Kühllasten gegenüber konventionellen Gebäuden stark reduziert sind, ist der Anteil der sensiblen Kühllast an der gesamten Kühllast (sensible heat ratio = sensible / total cooling load) im Passivhaus kleiner und damit die Feuchtelast größer als in konventionellen Gebäuden. Es muss also im Verhältnis mehr entfeuchtet werden. Dies wird in Abschnitt 2.4 noch näher diskutiert werden.

Die Temperaturen und die Feuchte der angesaugten Außenluft scheint in den Lüftungsgeräten im Sommer gegenüber den Werten der Wetterstation niedriger. Dies dürfte jedoch an einer Ungenauigkeit der Messfühler liegen.

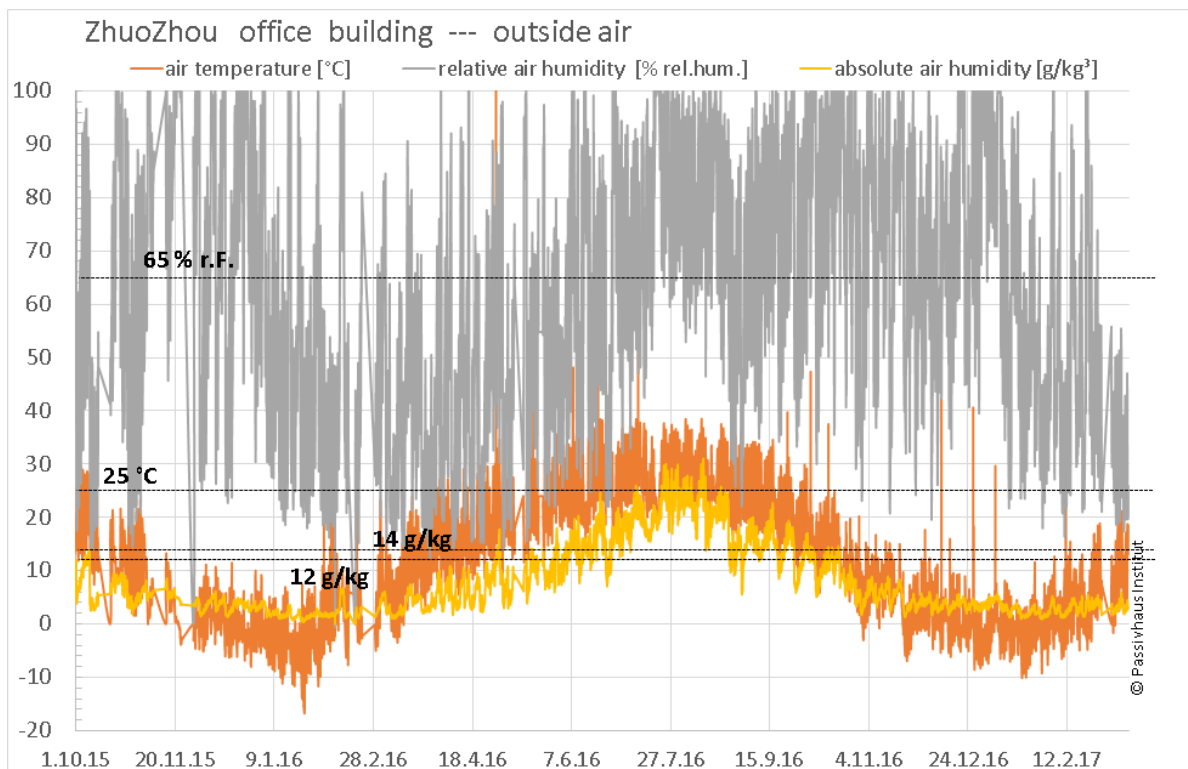


Abbildung 5: Außenluft – Messung Wetterstation Daten vorhanden bis Mitte März 2017. Temperatur und relative Feuchte der Außenluft. Vergleiche auch die Messung der Luftkonditionen der angesaugten Außenluft. Die absolute Feuchte der Außenluft ist im Sommer über einen längeren Zeitraum sehr hoch. Der kritische Wert von 12 g/kg wird ab Anfang Mai bis Mitte August überschritten.

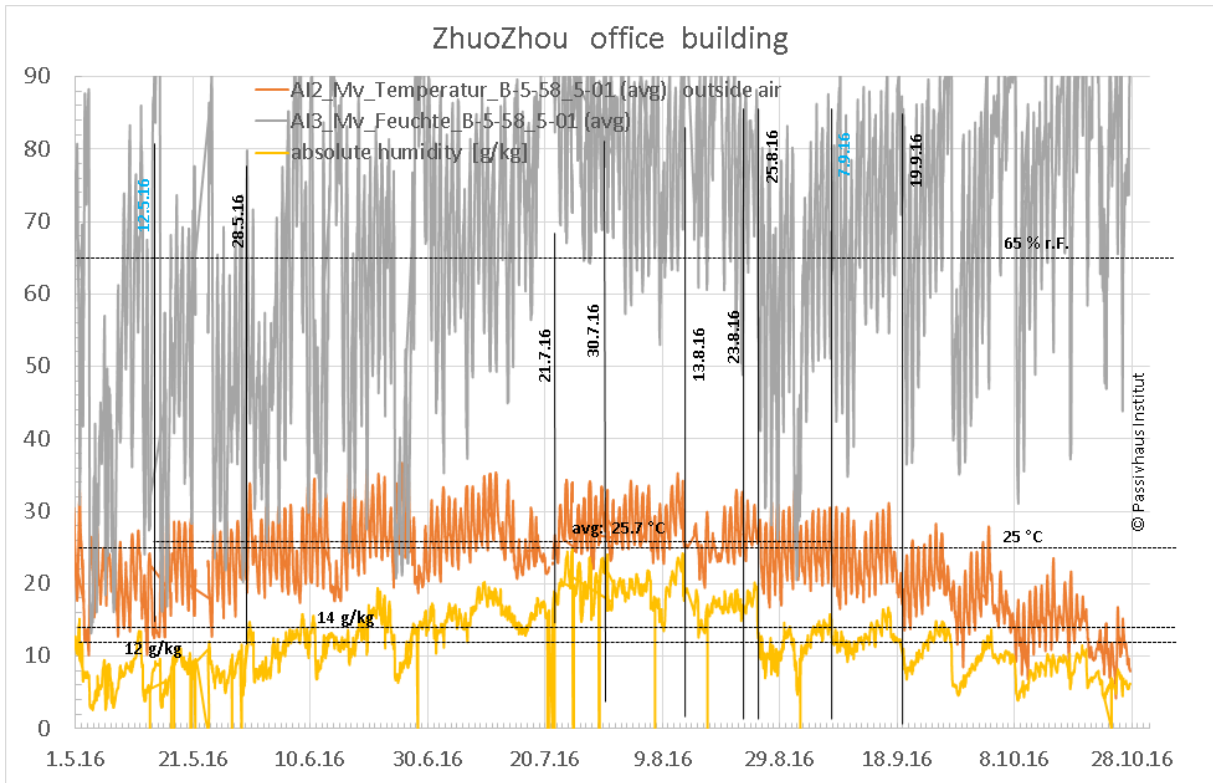


Abbildung 6: Temperatur & relative Luftfeuchte angesaugte Außenluft Lüftung Bürogebäude im Sommer 2016. Man erkennt an der absoluten Feuchte, dass der Hochsommer ab Ende Juli bis 25. August 2016 nicht nur heiß ist, sondern auch sehr feuchte Luft bringt.

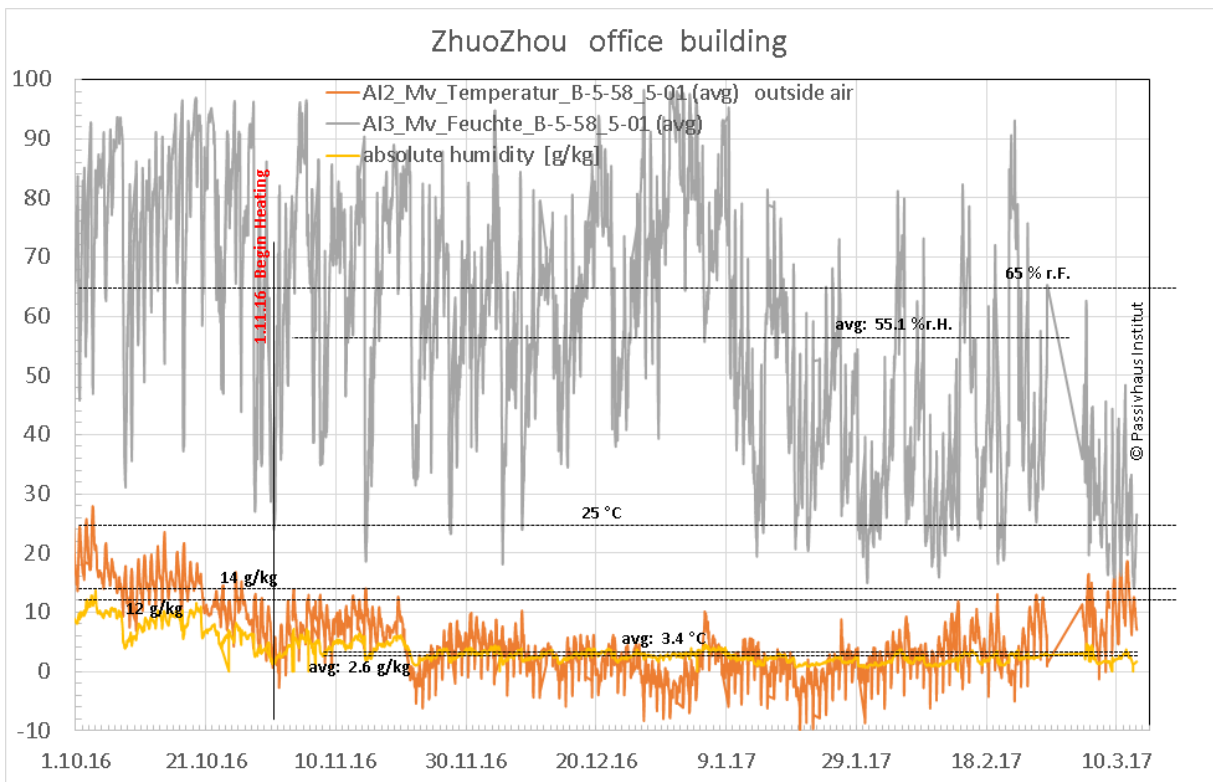


Abbildung 7: Temperatur & relative Luftfeuchte angesaugte Außenluft Lüftung Bürogebäude im Winter 2016 / 2017. Die Winter sind kalt und die Luft sehr trocken.

Die solare Einstrahlung (global horizontal) am Standort ZhuoZhou wurde mit einem Pyranometer gemessen. Bis auf wenige Ausfallzeiten lieferte das Instrument durchgehend Daten über den gesamten Messzeitraum.

Leider reagieren diese Instrumente auch auf Störstrahlung aus der Umgebung, die dann häufige Peaks in der Messreihe erzeugen und so das gesamte Ergebnis stören. Die Rohdaten mussten also bereinigt werden. Nach der Bereinigung standen die Daten wie in Abbildung 8 zur Verfügung, bis auf wenige Ausnahmen konnten alle Peaks entfernt werden.

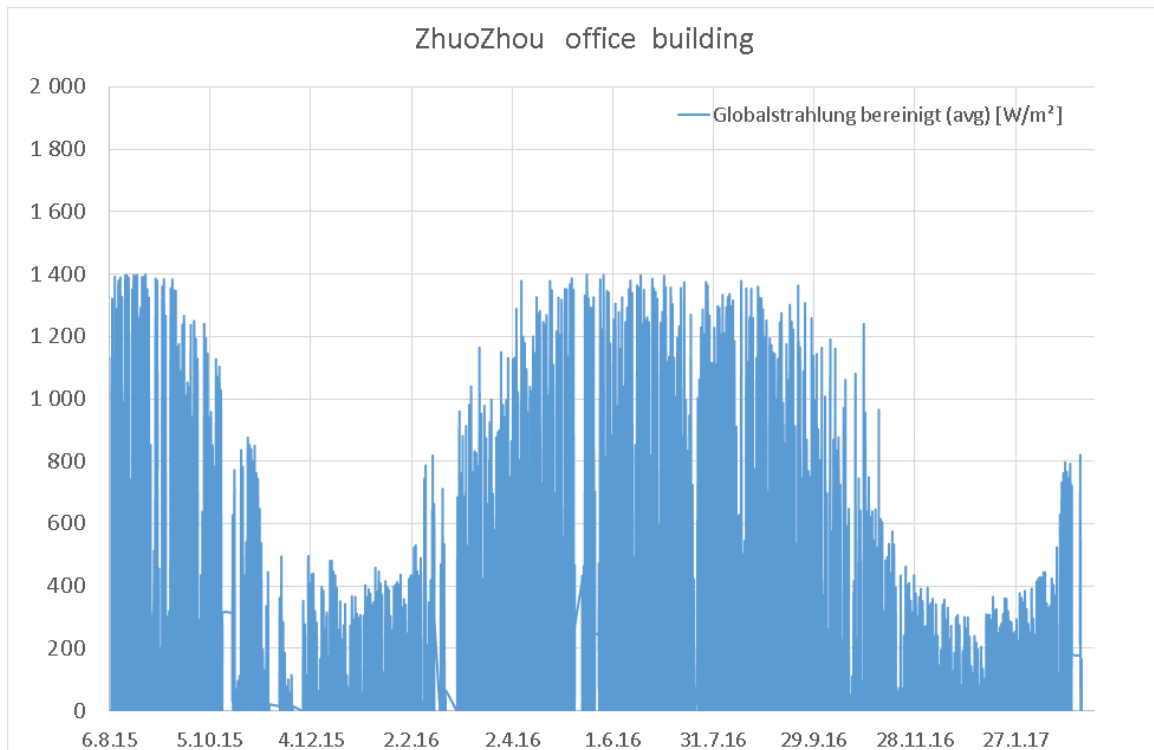


Abbildung 8: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal), gemessen am Standort ZhuoZhou. Die dargestellten Daten sind noch nicht kalibriert, siehe Text.

Die so gewonnene Datenreihe in Abbildung 8 zeigt maximale Werte für die solare Einstrahlung von knapp 1400 W/m^2 . Die terrestrische Solarkonstante, d.h. der mittlere maximale auf der Erde messbare Wert beträgt jedoch nur 1025 W/m^2 . Daher musste die gesamte Datenreihe noch entsprechend kalibriert (*) werden. Zum Schluss wurden die Werte der Strahlung monatsweise aufsummiert. Dies liefert die für die Energiebilanz im PHPP benötigten Monatssummen der Solarstrahlung, die in Tabelle 1 im Vergleich zu den Monatswerten aus dem Wetterdatensatz Beijing aufgelistet sind.

(*) Diese Kalibrierung im Nachhinein ist zwar nicht sehr genau, eine Kalibrierung im Vorhinein war aber nicht möglich. Die Genauigkeit ist begrenzt von der Bestimmung des maximal aufgetretenen Strahlungswertes ($\pm 5\%$). Außerdem kann im Nachhinein nicht mehr sicher bestimmt werden, ob der maximal mögliche Strahlungswert auch tatsächlich einmal aufgetreten ist im Laufe der Messzeit. Das Ergebnis liefert jedoch plausible Werte (vgl. Tabelle 1) und wird daher in dieser Form verwendet.

In Tabelle 1 sind neben den Monatsmittelwerten für die Strahlung global horizontal auch noch die Monatsmittelwerte der Außentemperatur angegeben. Folgende wichtige Ergebnisse und Schlussfolgerungen zeigen sich daran:

- Die Außentemperatur war bis auf die zwei im Vergleich sehr warmen Monate März und April um etwa 1.5 bis 2 K wärmer als im langjährigen Mittel. Werden diese Werte in der Energiebilanz (PHPP) verwendet, dann reduziert sich der Heizwärmebedarf und erhöht sich der Kühlenergiebedarf.
- Die solare Einstrahlung entsprach in den Sommermonaten bzw. von April bis September im Rahmen der Messgenauigkeit dem langjährigen Mittel.
- In den Wintermonaten 2016 von Januar bis März und Oktober bis Dezember waren die Werte der solaren Einstrahlung deutlich niedriger als im langjährigen Mittel der Vergleichsmonate.
- Lediglich der Oktober 2015 war mit 120 kWh/m²/Monat strahlungsreicher als im langjährigen Mittel. Zu dieser Zeit war allerdings in Beijing ein internationaler Staatsbesuch. Daher wurden schon Wochen vorher alle emissionsreichen Arbeiten an der Ostküste Chinas eingestellt und es herrschte strahlender Himmel für mehrere Wochen im Oktober 2015.
- Der Januar 2017 war mit 30 kWh/m²/Monat noch strahlungsärmer als der Januar 2016. Der Februar 2017 hatte ebenfalls relativ niedrige 50 kWh/m²/Monat.
- Die Vermutung liegt daher nahe, dass die starke Reduktion der solaren Gewinne in den Wintermonaten durch den in China verbreiteten winterlichen Smog bedingt ist.

Tabelle 1: Monatsmittelwerte für Strahlung (global horizontal) und Außentemperatur im Jahr 2016. Oben: Messwerte Wetterstation ZhuoZhou, unten Standard-Wetterdatensatz [PHPP]
Ganz oben sind die entsprechenden Abweichungen zwischen den Datensätzen aufgelistet

| Monat | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ta(mess) – Ta(PHPP) [K] | 0.5 | 2.3 | 5.0 | 2.8 | 1.5 | 1.3 | 1.6 | 2.6 | 2.3 | 1.4 | 0.0 | 1.7 |
| Strahlg(mess) / Strahlg(PHPP) | 0.54 | 0.34 | 0.82 | 1.06 | 1.02 | 0.99 | 0.99 | 1.10 | 1.01 | 0.73 | 0.64 | 0.48 |
| ZhuoZhou (mess) Außentemperatur [° C] | -3.6 | 2.2 | 9.9 | 17.5 | 22.0 | 26.4 | 27.9 | 27.6 | 22.7 | 13.7 | 4.9 | 0.7 |
| ZhuoZhou mess Strahlung Hor. [kWh/(m²Monat)] | 40 | 30 | 108 | 163 | 188 | 172 | 153 | 161 | 133 | 76 | 46 | 31 |
| Beijing (PHPP) Außentemperatur [° C] | -4.1 | -0.1 | 4.9 | 14.6 | 20.5 | 25.2 | 26.4 | 25.0 | 20.4 | 12.3 | 4.9 | -1.0 |
| Beijing (PHPP) Strahlung Hor. [kWh/(m²Monat)] | 74 | 91 | 132 | 154 | 184 | 174 | 155 | 146 | 132 | 105 | 73 | 64 |

2.2 Innenraumklima Bürogebäude – erste Inbetriebnahme 2015

Im Bürogebäude wurden jeweils die Raumtemperaturen und die relative Luftfeuchte in den in Tabelle 2 aufgelisteten Räumen gemessen. Die Temperaturgänge und die relative Feuchte sind in allen Räumen etwa gleichartig. Im Sommer 2015 wurde die Kühlung zu Testzwecken mit hoher Leistung gefahren, so dass die Räume zum Teil auf weniger als 22 °C abgekühlt wurden. Dass diese Einstellung nicht optimal war und auch nicht den planerischen Vorgaben entsprach, war damals schon diskutiert worden. Der Bauherr wollte jedoch, dass die Kühlung auf ihre Leistungsfähigkeit hin überprüft werde.

In den Grafiken Abbildung 9 ff und im Anhang Abbildung 25 ff sieht man sehr gut, dass deshalb die relative Luftfeuchte in den Räumen über eine längere Zeit auf kritische Werte von z.T. mehr als 80% rF angestiegen war, weil bis dahin auf eine dezidierte Entfeuchtung der Luft – Abkühlung unter den Taupunkt und anschließende Nacherwärmung – verzichtet worden war. Auch dies war als kritisch diskutiert worden. Der Hersteller vertrat jedoch die Meinung, dass eine Entfeuchtung verzichtbar sei, d.h. dass mit der sowieso durchgeführten sensiblen Kühlung automatisch genügend entfeuchtet werden könne. Dass dies häufig nicht der Fall ist, kann an den Feuchteverläufen im August 2015 abgelesen werden.

Im Winter 2015 auf 2016 wurde auf relativ hohe Temperaturen von z.T. über 23 °C geheizt, Abbildung 9, um wiederum die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpen – diesmal für Heizung – zu testen. Dies führt zum einen zu einer stark reduzierten Luftfeuchtigkeit (zeitweise ist rF < 30 %) zum anderen ist das ein wichtiger Grund für den gegenüber der Planung (PHPP) höheren Heizwärmebedarf (vgl. Tabelle 11 und die Ausführungen in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

An dieser Stelle kann der Sinn und Zweck eines umfassenden Monitorings noch einmal direkt deutlich gemacht werden: Schon aus den Verläufen von Temperatur und Feuchte in den Innenräumen kann auf die Funktion der haustechnischen Komponenten zurückgeschlossen werden, und Fehlfunktionen können ggf. erkannt und behoben werden. Mit diesem Wissen können die Betreiber des Gebäudes später evtl. Fehlfunktionen erkennen(*) und Einstellungen der Regelparameter wieder optimieren. Allerdings ist es dazu notwendig, dass es eine zuständige Person gibt (Hausmeister oder Facility Manager), die über diese Sachverhalte Bescheid weiß.

(*) Fehlfunktionen können im Prinzip auch schon aus momentan kritischen Luftzuständen erkannt werden, wenn die momentanen Messwerte richtig gedeutet werden, wie z.B. die Situation Ende August 2015 und noch einmal im August 2016: zu kalt und (deshalb) zu feucht. Um dies zu verstehen, ist es jedoch hilfreich, die Temperaturverläufe gesehen zu haben.

2.3 Innenraumklima Bürogebäude 2016

Im Sommer 2016 wurde die Kühlung weitgehend gemäß den Planungswerten gefahren. D.h. die Leistung der Kühlgeräte (Kühlung, Entfeuchtung, Lüftung) wurde nach Bedarf reduziert. Die relative Luftfeuchte Anfang Mai 2016 war nun stark reduziert (rF ≤ 50%), außerdem liegt die Innenraumtemperatur höher und steigt langsam an (≥ 24 °C). Erst am 10. Mai 2016 wurde die aktive Kühlung in Betrieb genommen. Aber auch danach bleiben die Innenraumtemperaturen bei etwa 24 °C, weil die Grundeinstellungen der Luftkonditionierung für den Sommer 2016 geändert worden waren.

Die relative und absolute Feuchte in den Innenräumen konnte daher weitgehend auf dem optimalen Niveau gehalten werden: Temperaturen ≤ 25 °C, relative Luftfeuchte ≤ 65 %, absolute Luftfeuchte zwischen 12 und 14 g/kg trockene Luft. Die Kühlung und Entfeuchtung hat somit weitgehend planmäßig funktioniert.

Auch im August 2016 waren jedoch noch einmal Optimierungen im Detail und eine Reparatur bei Fehlfunktion notwendig. Die Maßnahmen bewegten sich jedoch im Rahmen des typischerweise für derartige Gebäude Notwendigen. Zu den in Abbildung 9 markierten Zeitpunkten Ende Juli und Mitte August 2016 war der primäre Kühlkreis der Erdsonden ausgefallen, und daher hatte wieder die Entfeuchtung der Luft nur unzureichend funktioniert. Dies war jedoch auf wenige Tage beschränkt, und die Werte konnten bald wieder auf $rF \leq 65\%$ bzw. absolute Feuchte ≤ 12 g/kg gesenkt werden. Alle Räume im Bürogebäude zeigen fast dasselbe Verhalten. Das ist insofern bemerkenswert, als sie über eine zentrale Lüftung und Kühlung konditioniert werden. Eine raum- oder zonenweise Regelung war im Gebäude nicht erforderlich. Die Mittelwerte der Temperatur und Luftfeuchte in den einzelnen Räumen im Bürogebäude sind für Winter und Sommer getrennt in Tabelle 2 aufgelistet. Der Mittelwert für das gesamte Gebäude liegt im Winter 2016/17 bei knapp 23 °C, im Sommer 2016 bei knapp 25 °C.

Tabelle 2: Auflistung der Sensoren 'Temperatur und Feuchte' in den Innenräumen im Bürogebäude

| Temp & humidity rooms in office building | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|
| Sensor # | description | winter (heating) | 1.11.15 – 23.3.16 | | summer (cooling) | 10.5.16 – 7.9.16 | | winter (heating) | 1.11.16 – 20.2.17 | |
| | | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] |
| B-1-37 | exhibition room at wall | 21.4 | 33.5 | 5.5 | 25.2 | 55.2 | 11.2 | 22.5 | 31.7 | 5.5 |
| B-1-38 | office XXX | 21.5 | 35.7 | 5.8 | 23.2 | 58.3 | 10.5 | 22.4 | 33.9 | 5.8 |
| B-1-39 | office with living/sleeping room | 21.9 | 42.1 | 7.0 | 24.1 | 57.6 | 11.0 | 23.2 | 37.4 | 6.7 |
| B-1-40 | office XXX | 21.1 | 39.8 | 6.3 | 24.0 | 60.8 | 11.5 | 21.9 | 38.9 | 6.4 |
| B-2-41 | office XXX | 22.2 | 36.9 | 6.2 | 24.0 | 59.8 | 11.4 | 23.0 | 35.2 | 6.2 |
| B-2-42 | office XXX | 23.0 | 35.4 | 6.3 | 24.4 | 56.0 | 10.7 | 23.5 | 32.0 | 5.5 |
| B-2-43 | sensor at corridor 2nd floor | 21.9 | 37.8 | 6.3 | 24.2 | 57.1 | 10.8 | 22.6 | 34.1 | 5.5 |
| B-2-44 | office manager | 22.2 | 35.2 | 6.0 | 24.6 | 59.6 | 11.5 | 22.4 | 32.2 | 5.2 |
| B-2-45 | office XXX | 23.9 | 40.0 | 7.5 | 25.0 | 55.8 | 11.0 | 24.4 | 34.7 | 6.3 |
| B-3-46 | office Director | 22.7 | 36.6 | 6.4 | 24.4 | 57.9 | 11.3 | 23.3 | 34.7 | 6.2 |
| B-3-48 | small conference hall | 22.4 | 39.0 | 6.7 | 24.0 | 58.0 | 11.0 | 22.9 | 36.8 | 6.5 |
| B-3-50 | office manager (no AC at all) | 17.7 | 45.5 | 5.9 | 27.8 | 48.3 | 11.9 | 17.5 | 46.4 | 5.9 |
| B-3-51 | office manager | 23.1 | 38.7 | 6.9 | 25.2 | 55.4 | 11.3 | 23.8 | 37.1 | 6.9 |
| B-4-52 | office manager | 22.8 | 34.8 | 6.1 | 24.0 | 57.1 | 10.8 | 23.2 | 36.0 | 6.4 |
| B-4-53 | large conference hall | 23.0 | 34.3 | 6.1 | 23.9 | 58.1 | 10.9 | 22.9 | 35.5 | 6.2 |
| B-4-54 | conference hall 2 | 21.2 | 36.8 | 6.0 | 24.0 | 58.3 | 11.1 | 22.1 | 40.0 | 6.7 |
| B-4-55 | office manager | 22.6 | 37.3 | 6.5 | 24.2 | 58.6 | 11.3 | 23.2 | 37.2 | 6.6 |
| B-4-56 | office manager | 22.6 | 50.4 | 8.8 | 25.0 | 59.9 | 12.1 | 23.5 | 38.2 | 7.0 |
| B-4-57 | office manager | 21.9 | 41.3 | 6.9 | 25.4 | 55.8 | 11.5 | 22.9 | 37.5 | 6.6 |
| average values | | 22.1 | 38.5 | 6.5 | 24.6 | 57.2 | 11.2 | 22.7 | 36.3 | 6.2 |

2.4 Kühlung und Entfeuchtung

Die oben beschriebenen Temperatur- und Feuchteverläufe müssen noch prinzipiell diskutiert werden: Die relative ($> 70\%$ rF) und absolute Luftfeuchte (> 12 g/kg) zeigte im Spätsommer 2015 über längere Zeiträume und noch einmal im August 2016 kritisch hohe Werte. Ursprünglich war vermutet worden, dies könnte daran liegen, dass die Baufeuchte der Materialien nach der Fertigstellung des Gebäudes im Sommer 2015 noch sehr hoch war.

Die Analyse der Wetterdaten legt jedoch eine andere Interpretation nahe: Dieser Feuchteverlauf entspricht etwa dem Verlauf der absoluten Feuchte der Außenluft, vgl. Abbildung 5 und Abbildung 6, die im Sommer (Juni, Juli, August) auch in dieser Gegend sehr hoch ist. Wenn aber bei derartig hohen Außenluftfeuchten auf eine dezidierte Entfeuchtung der Zuluft bzw. Raumluft verzichtet wird, dann wird die Feuchte in den Innenräumen zwangsläufig entsprechend hoch bleiben. Schlimmer noch: wenn in den Innenräumen 'nur' die Temperatur reduziert wird (sensible Kühlung) dann wird ggf. die relative Feuchte der Luft im Innenraum noch stärker ansteigen. Genau dies ist im Spätsommer 2015 passiert.

In konventionellen Gebäuden wird davon ausgegangen, dass mit der sowieso notwendigen sensiblen Kühlung die Entfeuchtung der Luft im Innenraum mit 'erledigt' werden kann. Das ist dort in der Regel richtig, denn die sensiblen Kühllasten sind in konventionellen Gebäuden vergleichsweise hoch, weil dort die Wärmeeinträge im Sommer über die Außenwände (keine Wärmedämmung) und über die Fenster (keine Verschattung) und die internen Wärmelasten höher sind als im Passivhaus. Daher ist das Verhältnis von sensibler Kühllast (etwa 70%) zu der Kühllast für Entfeuchtung (Feuchtelast, etwa 30%) recht hoch. Bei einem derartigen typischen 'sensible heat ratio', d.h. $SHR = (\text{sensible Kühllast}) / (\text{sensible} + \text{latente Kühllast})$, um 0,7 kann die Entfeuchtung mit einem konventionellen Kühlsystem gut bewerkstelligt werden, denn typische konventionelle Umluft-Kühlsysteme haben eine technisch bedingte Kühl- und Entfeuchtungsleistung, die einem SHR von 0,7 entspricht.

Im Passivhaus werden jedoch die sensiblen Kühllasten absichtlich und ausdrücklich deutlich reduziert: passiver sommerlicher Wärmeschutz durch Verschattung und Wärmedämmung der Außenwände und nicht zuletzt Reduzierung der internen Wärmelasten durch Optimierung der Bürogeräte und Beleuchtungssysteme. Alle diese Dinge wurden auch im Passivhaus ZhuoZhou erfolgreich realisiert, wie man an den Verbräuchen an elektrischer Energie sehen kann. Die internen Wärmelasten waren in den ersten beiden Jahren während der Messung außerdem zusätzlich reduziert, weil das Gebäude noch nicht vollständig belegt war und daher die Stromverbräuche unterdurchschnittlich niedrig waren (Tabelle 5). Die latenten Lasten werden zwar durch die luftdichte Bauweise und die Feuchterückgewinnung in der Lüftung ebenfalls reduziert, dennoch reduziert sich im Passivhaus der sensible Anteil an der Kühllast.

Im Passivhaus ist somit in der Regel die sensible Kühllast im Vergleich zur Entfeuchtungslast deutlich niedriger und damit sinkt SHR auf 0,5 und weniger. Aus diesem Grund kann es insbesondere in den feuchten Sommermonaten vorkommen, dass die Zu- und Raumluft mit einem konventionellen Kühlsystemen nicht genügend entfeuchtet wird.

Technisch kann die Entfeuchtung realisiert werden, indem die Luft unter den Taupunkt abgekühlt wird, um eine Kondensation der überschüssigen Feuchte zu erzwingen. Anschließend muss die Luft jedoch mit einem entsprechend geregelten Nachheiz-Register wieder 'nach'-erwärmt werden, damit es im Raum nicht zu kalt wird. Optimierte Kühlgeräte realisieren diese Nacherwärmung mit der Abwärme aus dem Kältekreis und daher ohne zusätzlichen Energieaufwand. Bisher sind derartige Geräte als Umluft Kühler aber auf dem Markt noch kaum erhältlich.

In der Diskussion mit dem Planungsteam und dem Hersteller der haustechnischen Komponenten konnten diese Fragen schlussendlich geklärt werden. Die Parameter der Regel- und Steuerungstechnik wurden inzwischen so angepasst, dass die Luft im Innenraum nacherwärmt werden kann, wenn dies zeitweise nötig sein sollte. Da das Bürogebäude ZhuoZhou neben der Luftkonditionierung auch über Decken-Heiz- und Kühlelemente verfügt, kann die Nacherwärmung prinzipiell darüber erfolgen.

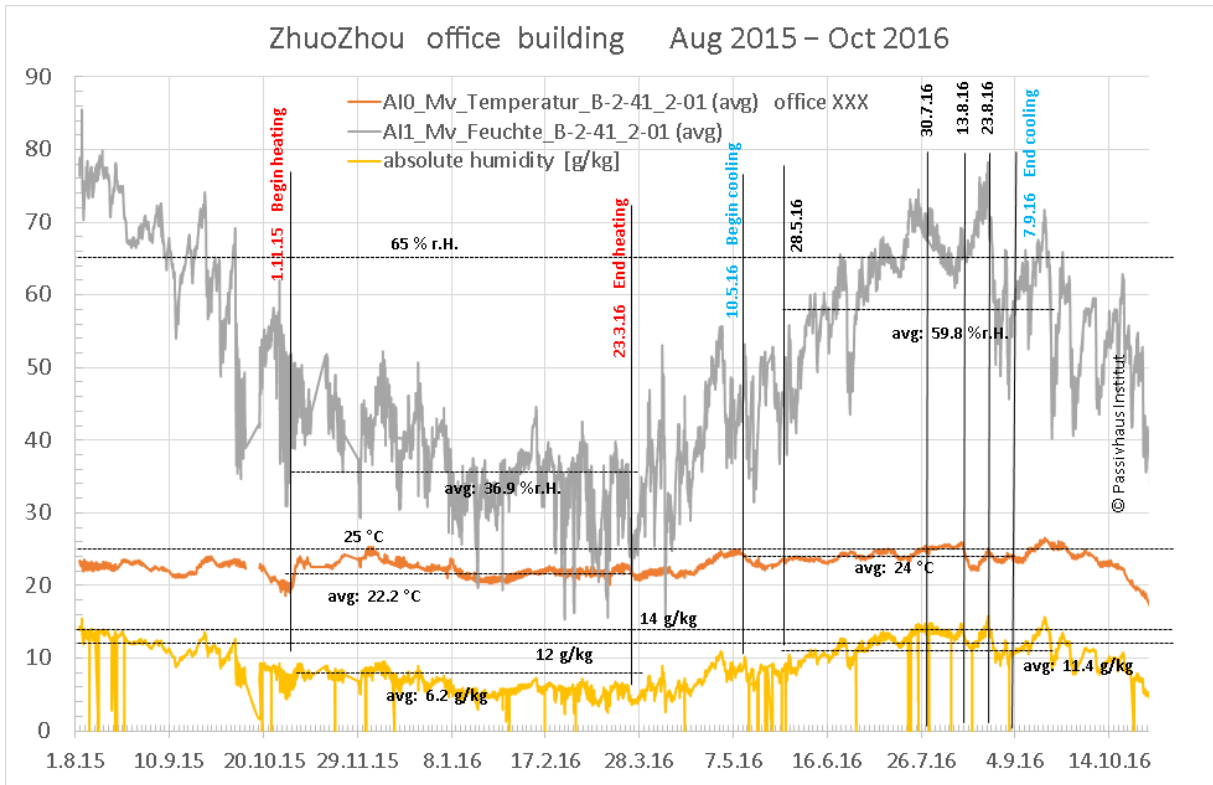


Abbildung 9: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2015 bis Herbst 2016. Die Luftzustände waren im Sommer 2016 im Rahmen der empfohlenen Werte, etwa 65 % rF und etwa 25 °C. Zu Beginn des Sommers waren die Sollwerte für die Innenraumkonditionen noch etwas zu kühl angesetzt.

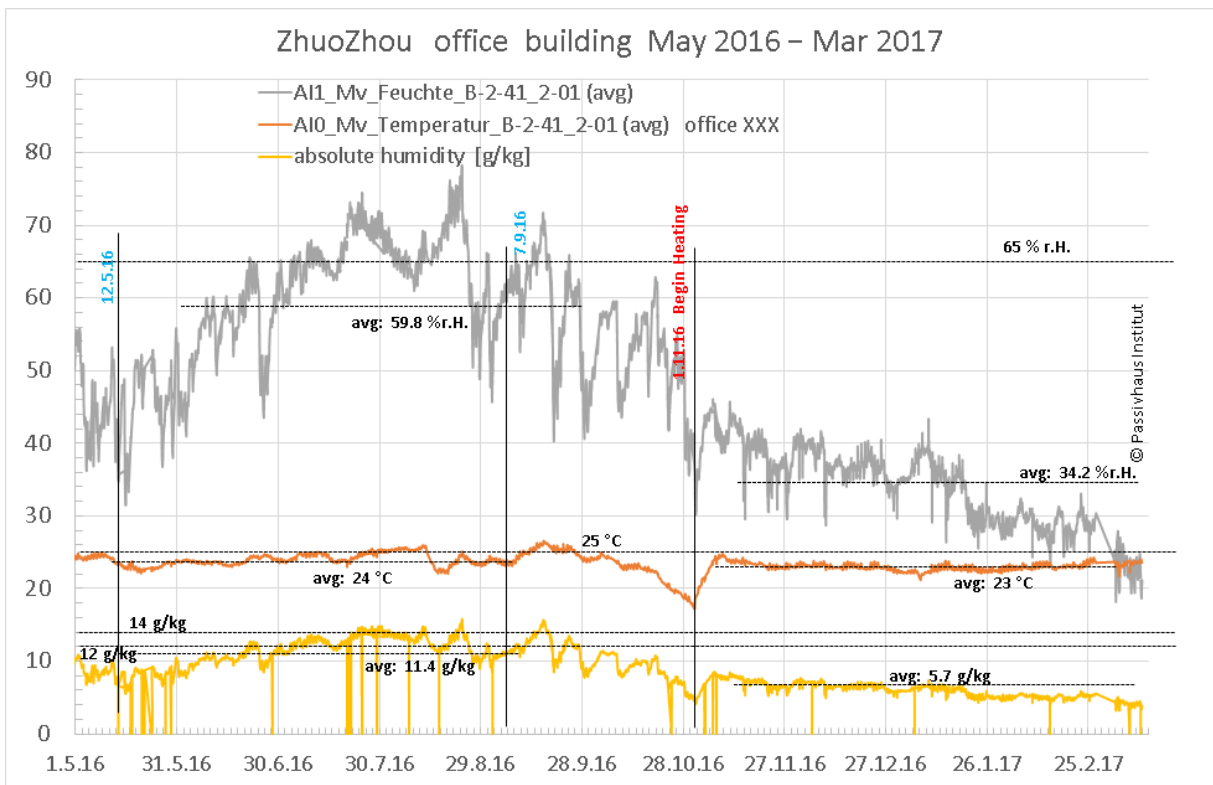


Abbildung 10: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2016 bis Frühjahr 2017

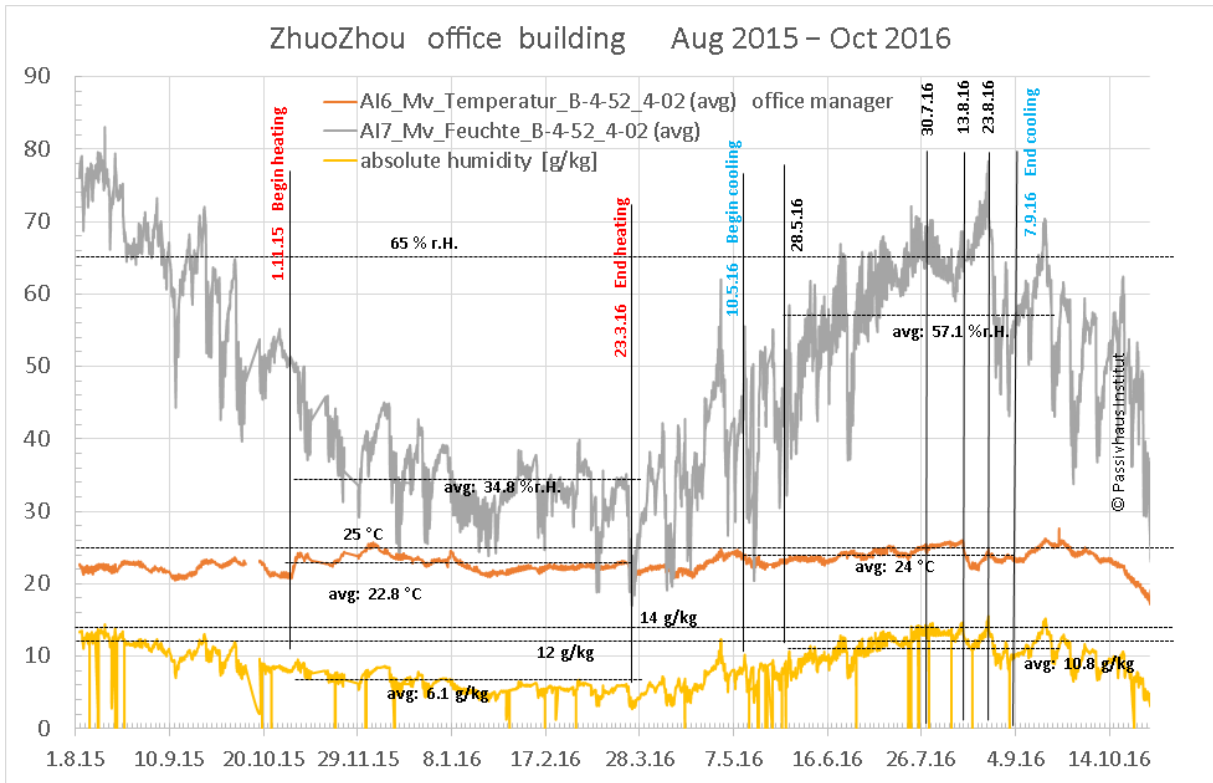


Abbildung 11: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2015 bis Herbst 2016.

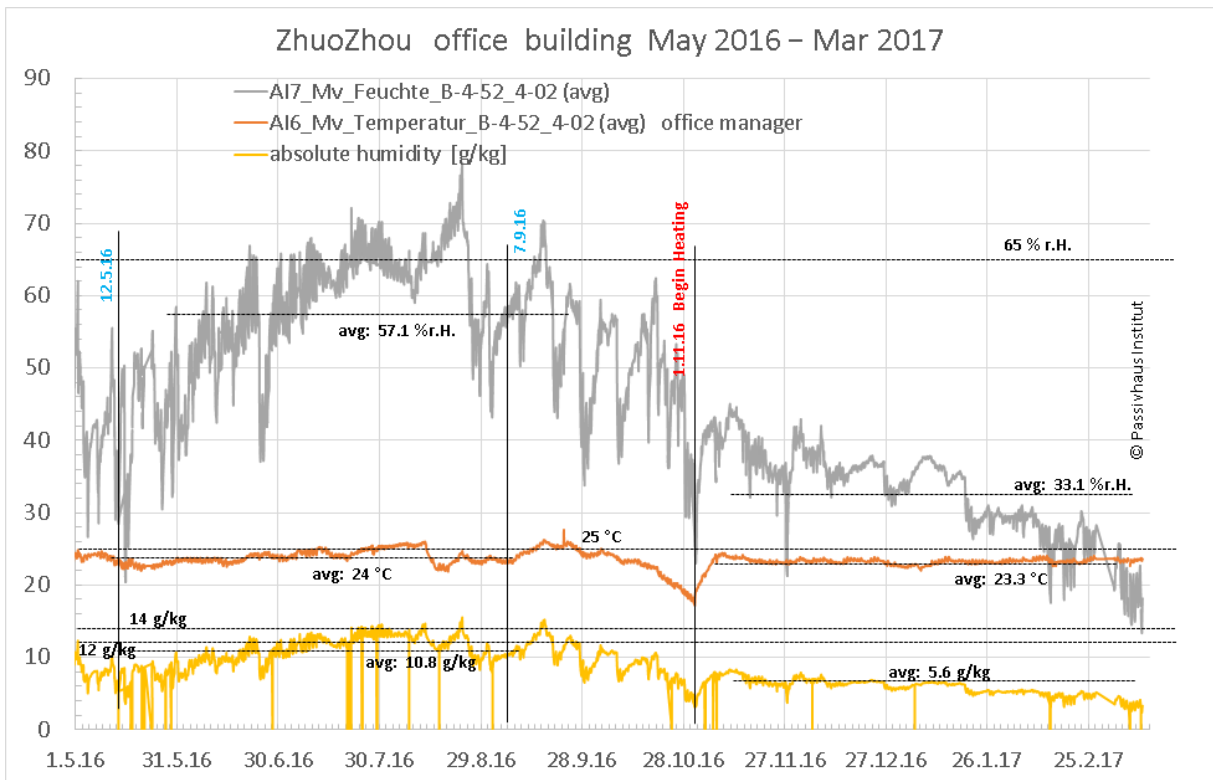


Abbildung 12: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2016 bis Frühjahr 2017

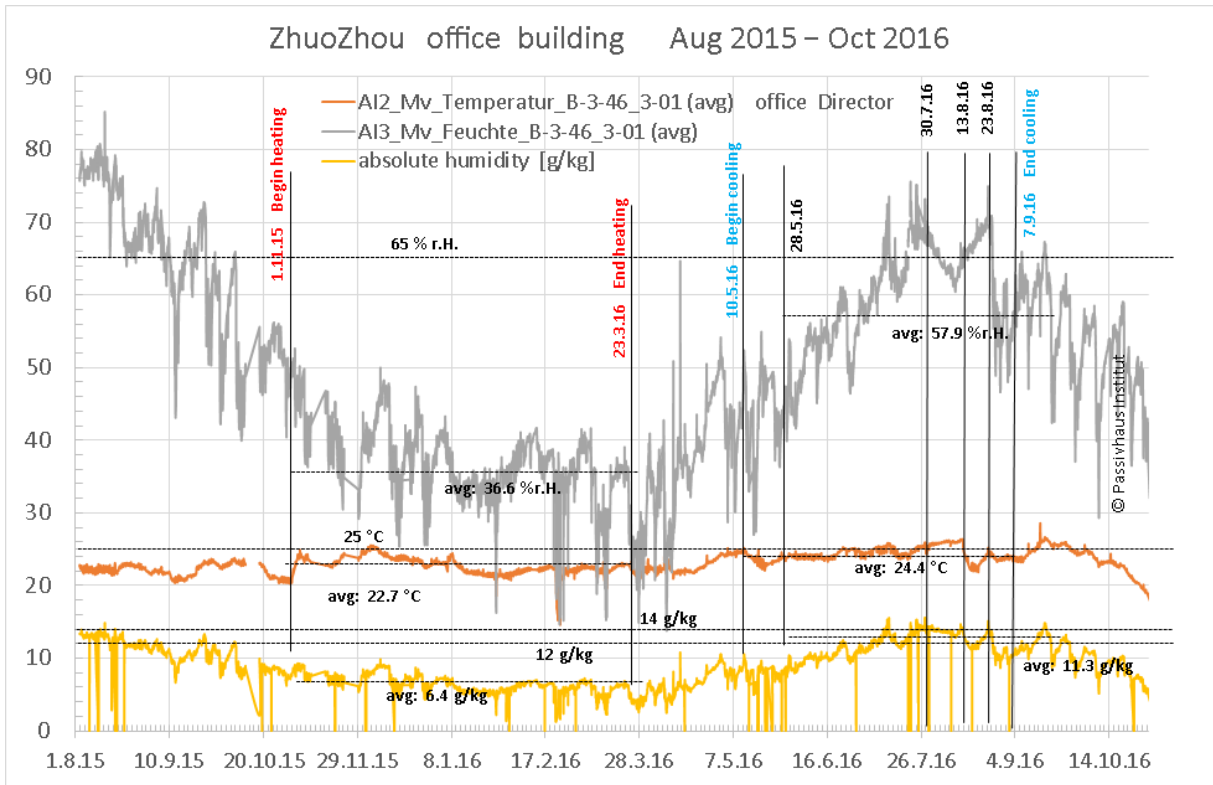


Abbildung 13: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte im Büro der Geschäftsleitung.

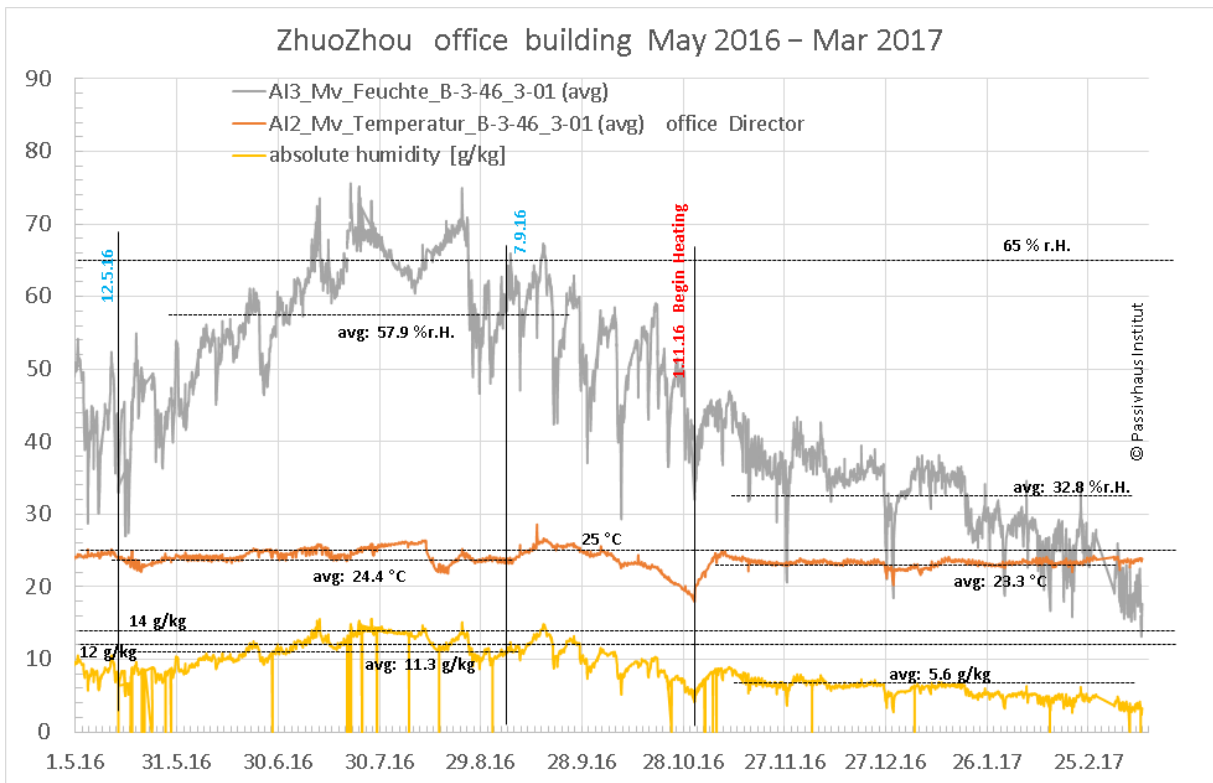


Abbildung 14: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte im Büro der Geschäftsleitung.

2.5 Luftzustände Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) und Feuchterückgewinnung (FRG) ist zur Unterstützung der Luftkonditionierung (Air Conditioning, AC) zu allen Jahreszeiten unerlässlich. Im Winter ist der energetische Gewinn der WRG größer, doch auch im zum Teil feuchtwarmen Sommer ermöglichen WRG und FRG eine signifikante Energieeinsparung bei der AC. Daher ist die Überprüfung der Funktion der Lüftung und dabei insbesondere die Messung des Temperatur- (WRG) und des Feuchteverhältnisses (FRG) besonders wichtig. Qualitativ: Die Zulufttemperatur sollte gegenüber der Außenlufttemperatur im Winter deutlich angehoben (vorgewärmt), im Sommer abgesenkt (vorgekühlt) sein.

Im Folgenden werden die Temperaturen in den Kanälen der Lüftungsanlagen dokumentiert. Mit geeigneten Mittelwerten aus einer Winterperiode und einer Sommerperiode können dann das Temperaturverhältnis (WRG) und das Feuchteverhältnis (FRG) abgeschätzt werden.

Die Luftkonditionen der angesaugten Außenluft, Zuluft, Abluft und Fortluft sind in Abbildung 35 ff im Einzelnen dokumentiert. Die Sensoren sitzen in den jeweiligen Kanälen direkt im Luftstrom. Die über die beiden Winter und den Sommer gemittelten Temperaturen sind in Tabelle 3 aufgelistet. Aus diesen Mittelwerten kann in der Regel nicht auf das Temperatur- und Feuchteverhältnis geschlossen werden, weil der Verlauf zu unregelmäßig ist.

Es gibt aber einen kurzen Zeitraum Ende Dezember 2016 (Abbildung 43), in dem die drei relevanten Temperaturen für die Fortluftseitige WRG (Außenluft, Fortluft, Abluft) recht gut verwendet werden können. Unter der Annahme, dass die Temperatur der Abluft zu diesem Zeitpunkt nur 17 °C betrug, lässt sich das Temperaturverhältnis der zentralen Wärmerückgewinnung im Bürogebäude einschließlich der Abwärme der Ventilatoren mit 0.5 Wh/m³ grob abschätzen zu 72 %, siehe Tabelle 3 in der letzten Spalte. Das würde etwa den Vorgaben für die WRG während der Planung entsprechen.

Einen durchschnittlichen fortluftseitigen Wirkungsgrad im Winter kann man grob abschätzen, weil es in den Luftströmen aufgrund der Feuchterückgewinnung (FRG) nie Kondensat gibt. Die relative Feuchte der Fortluft bleibt im Winter immer deutlich unter 80 % rF, das lässt sich aus den Temperatur- und Feuchteverläufen in Abbildung 38 und Abbildung 39 ablesen. Andererseits ist die Feuchtedifferenz (Delta x) zwischen Abluft / Fortluft einerseits und Außenluft / Zuluft im Winter stark unterschiedlich. Delta x ist auf der der Außen-/Zuluft Seite viel größer. Das bedeutet jedoch, dass in der Lüftung zeitweise einen Abluftüberschuss von ca. 30% gegenüber der Zuluft gibt.

Dies deckt sich mit der Erfahrung während verschiedener Besuche von Dawid Michulec (Schöberl & Pöll) vor Ort: die Luftvolumenströme der Anlage waren öfters stark in Disbalance. Auf Nachfrage wurde die Balance dann jeweils von den Ingenieuren des Herstellers dann wieder berichtigt. Die Anlage läuft in dieser Hinsicht jedoch nicht zufriedenstellend stabil. Wenn man die Durchschnittstemperaturen von Fortluft, Außenluft und Abluft im Winter 2015/16 und 2016/17 für die Berechnung des fortluftseitigen WRG heranzieht, dann ergeben sich sehr schlechte Werte (Tabelle 3). Da das schlechte Temperaturverhältnis höchst wahr-

scheinlich aufgrund der Disbalance im Lüftungsbetrieb zustande kam, lässt sich diese Fehlfunktion jedoch durch regelmäßige Wartung (kurzfristig) und besser noch (mittelfristig) mit einer besseren Stabilisierung des Betriebs der Lüftungsanlage beheben.

Tabelle 3: Auflistung der Sensoren 'Temperatur und Feuchte' in den vier Kanälen des zentralen Lüftungssystems des Bürogebäudes.

| Temp & humidity central ventilation system in office building | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|
| Sensor # | description | winter (heating) | 1.11.15 – 23.3.16 | | summer (cooling) | 10.5.16 – 7.9.16 | | winter (heating) | 1.11.16 – 20.2.17 | | assumption 1 31.12.2016 |
| | | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | Ref. Temp [°C] |
| B-5-58 | outside air (duct) – Außenluft | 2.4 | 52.0 | 2.4 | 25.7 | 67.2 | 14.2 | 2.8 | 62.0 | 3.0 | -3.0 |
| B-5-59 | exhaust air (duct) – Fortluft | 10.0 | 46.3 | 3.6 | 27.1 | 57.6 | 13.2 | 11.7 | 52.7 | 4.7 | 4.0 |
| B-5-60 | supply air (duct) – Zuluft | 25.7 | 28.4 | 5.9 | 17.2 | 78.0 | 9.6 | 18.8 | 47.5 | 6.4 | 17.0 |
| B-5-61 | extract air (duct) – Abluft | 17.4 | 49.8 | 6.2 | 24.0 | 60.3 | 11.4 | 17.8 | 49.2 | 6.3 | 17.0 |
| ratios of | temp (heat R) or hum (hum R) | 58% | | 68% | | | 64% | 50% | | 48% | 72% |
| | delta x (AU - ZU) [g/kg] | | | -3.5 | | | 4.6 | | | -3.4 | |
| | delta x (AB - FO) [g/kg] | | | 2.6 | | | -1.8 | | | 1.6 | |

Die Leitungsführung von Abluft und Zuluft im Außenbereich über Dach ist jedoch eine planerische Vorgabe, die nicht behoben werden kann: das Lüftungsgerät steht auf dem Dach außerhalb der thermischen Hülle. Leider mussten die Leitungen für Zuluft und Abluft von den Büroräumen über eine große Distanz auf dem Dach außerhalb der thermischen Hülle geführt werden. Eine Führung der warmen Leitungen innerhalb der thermischen Gebäudehülle im Obergeschoss war nicht mehr möglich, weil die Deckenhöhen dies nicht zulassen. Die Planung war diesbezüglich schon vor dem Beschluss, das Gebäude als Passivhaus zu realisieren, genehmigt worden und konnte nicht mehr geändert werden.

Daher wird die warme Abluft im Winter auf dem Leitungsweg zum Gerät deutlich abgekühlt, 17°C. Dies entspricht dem Mittelwert der Ablufttemperatur über den Winter, Abbildung 44. Dasselbe muss für die (geheizte) Zuluft angenommen werden, die auf dem Weg vom Lüftungsgerät bis in die Büroräume wieder abkühlt. Dieser Effekt wird im PHPP über die Wärmeverluste der langen (warmen) Leitungen schon abgebildet und führt dazu, dass die effektive WRG gegenüber der nominellen stark reduziert ist, siehe Tabelle 4.

Zusätzlich geht an dieser Stelle auch noch eine merkbare Menge Heiz- und Kühlenergie vom Nachheiz- bzw. Kühlregister verloren. Dies ist im PHPP und in der Auswertung, Tabelle 4 und Tabelle 5 noch nicht abgebildet ist. Eine grobe Schätzung ergibt hierfür 25% Wärmeverteilverluste, um so viel nähert sich im Winter die Ablufttemperatur der Außenlufttemperatur an. Im Sommer dürfte dies die weiter unten diskutierte und geforderte sommerliche Wiedererwärmung nach der Entfeuchtung bereitstellen. Die Auswertung der Energieverbräuche ist in dieser Hinsicht unscharf.

2.6 Randbedingungen und Parameter für Nutzung und Betrieb

Neben den Komfort-Kriterien in den Innenräumen und den äußeren Randbedingungen am Standort des Gebäudes sind die Energieverbräuche für Heizung und Kühlung der zweite wichtige Ergebnisblock.

Tabelle 4: PHPP- Varianten für Bürogebäude ZhuoZhou. Um die Wirkung der wichtigsten Nutzungs-Parameter übersichtlich darstellen zu können wurden im PHPP verschiedene Varianten für das Bürogebäude ZhuoZhou gerechnet. Oben sind die Ergebnisse aufgelistet für den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Entfeuchtung, unten die gewählten Annahmen. Variante 3 entspricht der gebauten und als solche zertifizierte Konfiguration, in Variante 4 wurde der gemessene Wetterdatensatz eingerechnet. Variante 5 und 6 berücksichtigen das Nutzerverhalten.

| | | 3-wie gebaut +zertifiziert – Beijing Wetter +Standard- Nutzung) | optimiertes PH tatsächliches Wetter (wärmer) +tatsächliche Nutzung | wie gebaut +zertifiziert – Beijing Wetter +Standard- Nutzung) | wie gebaut – Wetter ZhuoZhou +Standard- Nutzung) | wie gebaut +gemessen: tatsächliche Nutzung | wie gebaut +gemessen: tatsächliche Nutzung +Fensterlüftung Sommer |
|--|-----------|---|---|---|---|---|--|
| Ergebnisse | Einheit | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Heizwärmebedarf | kWh/(m²a) | 11.0 | 17.8 | 11.0 | 14.1 | 23.5 | 23.5 |
| Heizlast | W/m² | 9.7 | 11.2 | 9.7 | 9.7 | 13.2 | 13.2 |
| Kühl- + Entfeuchtungsbedarf | kWh/(m²a) | 16.7 | 24.0 | 16.7 | 21.5 | 21.5 | 27.0 |
| Kühllast | W/m² | 6.0 | 7.0 | 6.0 | 6.1 | 6.5 | 8.0 |
| Lüftung WRG effektiv | – | 67% | 74% | 67% | 66% | 67% | 67% |
| Solare Gewinne Sommer | kWh/m²a | 9.5 | 11.8 | 9.5 | 11.8 | 11.8 | 11.8 |
| Kältebedarf sensibel | kWh/m²a | 11.5 | 18.8 | 11.5 | 16.3 | 16.4 | 17.9 |
| Kältebedarf latent (Entfeuchtung) | kWh/m²a | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 9.1 |
| Eingangsgroßen | Einheit | Wert | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 Lüftung kalte Leitungen Zu-/Außenluft | m | 44.0 | 10 | 44 | 44 | 44 | 44 |
| 2 Lüftung kalte Leitungen Ab-/Fortluft | m | 45.0 | 10 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| Lüftung Dämmdicke kalte Leitungen | mm | 150.0 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| 3 Lüftung Temp Aufstellraum | °C | -11.00 | -11 | -11 | -11 | -11 | -11 |
| Lüftung Frostschutz Grenztemp | °C | -1.0 | -3 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| 4 Lüftung WRG nominell | – | 70% | 75% | 70% | 70% | 70% | 70% |
| Lüftung El.Effizienz | Wh/m² | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 1 | 1 |
| 5 Nutzer Raumtemp. Winter | °C | 20.0 | 22 | 20 | 20 | 22 | 22 |
| 6 Nutzer Raumtemp. Sommer | °C | 25.0 | 24 | 25 | 25 | 24 | 24 |
| 7 Nutzer Lüftung Betrieb h/d | h | 15.0 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 8 Nutzer Lüftung Betrieb d/Woche | d | 5.0 | 7 | 5 | 5 | 7 | 7 |
| 9 IWQ NiWo Vorgabe aus Nutzung / Verbrauch | W/m² | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 1.8 | 1.8 |
| 10 Verschattung Sommer (wo vorhanden) | – | 0.20 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 0.6 |
| 11 Wetter – Strahlung variabel – Faktor | – | 1.0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 Wetter – Datensatz-Auswahl | – | ud-03-Beijing original zum Vergleich | ud-01- ZhuoZhou, Wetterdaten gemessen 2015 und 2016 | ud-03-Beijing original zum Vergleich | ud-01- ZhuoZhou, Wetterdaten gemessen 2015 und 2016 | ud-01- ZhuoZhou, Wetterdaten gemessen 2015 und 2016 | ud-01- ZhuoZhou, Wetterdaten gemessen 2015 und 2016 |
| 13 Anzahl der Personen im Gebäude | – | 40.0 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 8 Luftwechsel manuelle Fensteröffnung Sommer | – | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 |

Um das Verhalten des Gebäudes im Detail nachzuvollziehen und mit dem theoretischen Modell der Energiebilanz [PHPP] vergleichen zu können, müssen neben dem Wettergeschehen zur Zeit der Messung, den Innenraum-Luftzuständen und den Energieverbräuchen auch verschiedene Parameter der Nutzung möglichst gut bekannt sein. Folgende Effekte wirken mittelbar über das Nutzerverhalten auf die Energiebilanz des Gebäudes:

- Das vom Nutzer eingestellte Temperaturniveau im Winter und Sommer
- Die Nutzungszeiten bzw. Nutzungsdauern sind bei Bürogebäuden reduziert, das reduziert die Lüftungswärmeverluste. Die tatsächliche Laufzeit der Lüftungsanlage kann

von den Ansätzen in der Planungsphase abweichen und wirkt sich später merklich auf den Verbrauch aus.

- Interne Wärmequellen:
Anzahl bzw. relative Anwesenheitszeit der Bewohner im Haus
Anzahl und Nutzung von Haushalts- und Bürogeräten.
- Aktivitäten der Bewohner, Nutzung von Elektrogeräten, die zu den internen Wärmequellen beitragen, Beleuchtung und EDV-Geräte im Bürogebäude
- Wettergeschehen am Standort des Gebäudes über die gesamte Messzeit
- Solare Wärmequellen:
solare Wärmegewinne im Winter,
solare Lasten im Sommer, Nutzung der Verschattungsvorrichtung.
- Fensteröffnung:
zu kalte (unerwünschte) Luft im Winter
zu heiße und zu feuchte (unerwünschte) Luft im Sommer
evtl. akzeptable Zusatzlüftung in den Übergangszeiten

Die relative Personenbelegung und Nutzung von Arbeitsplätzen und damit die Anwesenheitszeiten von Nutzern im Gebäude war in den ersten beiden Jahren 2015 und 2016 unterdurchschnittlich für ein Bürogebäude. Ende 2015 war das Gebäude nur schwach belegt und frequentiert. Auch im Jahr 2016 wurden noch nicht alle Räume vollständig genutzt. Für den Zeitraum der Messung wurden daher nur 40 anwesende Personen angenommen. Das sind bei 2868 m² Energiebezugsfläche des Bürogebäudes über 70 m² pro Person. Dementsprechend niedrig waren die Verbräuche an elektrischer Energie in den einzelnen Zonen des Gebäudes, wie sie sich aus den Ablesedaten der Stromzähler ergeben.

Die Innenraumtemperaturen im Sommer 2015 lagen mit etwa 22 °C deutlich unter dem geplanten Sollwert für den Kühlbetrieb von 25 °C. Im ersten Winter 2015/16 waren sie mit etwa 23 °C deutlich über dem geplanten Sollwert für den Heizbetrieb von 20 °C. Beide Einstellungen wurden mit dem Bauherrn und Nutzer diskutiert. Denn das gewählte Temperaturniveau hat einen merklichen Einfluss auf den Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf. Der behagliche Bereich für die Temperatur liegt zwischen 20 und 25 °C und für die relative Feuchte zwischen 30 % und 65 % r.F.

Gegen Ende des ersten Winters und im Sommer 2016 waren die Temperaturen dann in der Nähe der empfohlenen Vorgaben, mit einer Tendenz zu wärmeren winterlichen Innentemperaturen, wie sie auch aus früheren Messprojekten in Deutschland bekannt sind [Peper 2001], [Pepr 2009], [Peper/Feist 2009], vgl. Tabelle 2.

Diese Werte wurden dann auch für die Vergleichsrechnung im PHPP verwendet. In Tabelle 4 sind die wichtigsten Parameter der Gebäudenutzung und ihr Einfluss auf das Ergebnis des Energiebedarfs aufgelistet. Im Folgenden sollen nun die gemessenen Energieverbräuche mit dem Energiebedarf verglichen werden.

2.7 Vergleich: Energieverbrauch und Energiebedarf nach PHPP

Die internen Wärmequellen aus der Nutzung von Bürogeräten und Beleuchtung in den einzelnen Zonen des Bürogebäudes kann im Wesentlichen aus den Stromverbräuchen abgelesen werden: Die Berechnung der momentanen elektrischen Leistung wurde als zeitliche Ableitung aus den Messreihen der Energieverbräuche bestimmt. Die Daten für die einzelnen Zähler sind in Abbildung 15 für das gesamte Gebäude und in den darauf folgenden Abbildungen für einzelne Zonen dokumentiert. In Tabelle 5 sind die entsprechenden Energieverbräuche für Bürokommunikation und Beleuchtung als Summe für jede Zone getrennt nach Winter- und Sommerperioden aufgelistet.

Interessanterweise, aber nicht unerwartet wegen der geringen Personenbelegung, sind die Stromverbräuche im Vergleich sehr niedrig: für eine typische Büronutzung wird ein Wert von etwa 3,5 W/m² oder entsprechend 30 kWh/(m²a) erwartet. Dieser Ansatz wird im PHPP zur Bestimmung von internen Wärmequellen zugrunde gelegt. Die Messungen zeigen aber für alle Zonen überall weniger als 16 kWh/m²a. Für das gesamte Gebäude ergibt sich daher während der gesamten Messzeit ein Wert von weniger als 1,5 W/m².

In Tabelle 5 unten sind die Stromverbräuche der Lüftungsanlagen aufgelistet. Diese betragen bezogen auf einen mittleren Volumenstrom von 5000 m³/h im Jahr 2016 etwa 0,7 Wh/m³ und sind damit eher hoch. Im Frühjahr 2017 konnte das reduziert werden auf etwa 0,55 Wh/m³. Der Betrieb der Lüftung sollte in dieser Hinsicht noch optimiert werden.

Tabelle 5: Auflistung der gemessenen Energieverbräuche. Verbrauch an elektrischer Energie für Bürokommunikation und Beleuchtung in einzelnen Zonen geordnet nach Winter und Sommerperioden
Letzte Zeile: Stromverbrauch der Lüftung. Dieser wurde später reduziert auf etwa 0.55 Wh/m³.

| el. meter office building | | | year 2016 |
|--|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Sensor # | description | EBF [m ²] | [kWh/m ² a] |
| B-5-18 | elevator | 2 868 | 0.40 |
| B-4-31-A | office level 4 left | 359 | 2.95 |
| B-4-31-B | office level 4 right | 359 | 15.87 |
| B-3-32-A | office level 3 left | 359 | 0.39 |
| B-3-32-B | office level 3 right | 359 | 15.71 |
| B-2-33-A | office level 2 left | 359 | 12.67 |
| B-2-33-B | office level 2 right | 359 | 3.28 |
| B-1-34-A | office level 1 left | 359 | 18.03 |
| B-1-34-B | office level 1 right | 359 | 14.01 |
| average consumption office appliances and lighting [kWh/m²/period] | | | 10.76 |
| equivalent average power [W/m²] | | | 1.2 |
| B-5-14 | ventilation system central | 2 868 | 11.66 |
| vent. specific consumption [Wh/m³] with avg. 5000 m³/h | | | 0.76 |

Aus dem Monitoring liegen leider keine direkten Messungen der Volumenströme vor, weil diese sehr aufwendig geworden wäre. Die Displays an den Lüftungsgeräten wurden jedoch stichprobenhaft ausgelesen. Die 5000 m³/h entsprechen einem 0,6-fachen mittleren Luftwechsel, wie er sich aus den gemessenen Nutzungsdaten ergibt: Tägliche Nutzung während

15 Stunden an 7 Tagen in der Woche, vgl. Abbildung 16. Im PHPP zur Planung und Zertifizierung war demgegenüber von einer längeren Nutzungsunterbrechung am Wochenende ausgegangen worden. Dies ist daher ein Grund für den erhöhten Heizwärmeverbrauch, denn wenn sich der mittlere Luftwechsel erhöht, dann steigen auch die Lüftungswärmeverluste und damit der Heizwärmeverbrauch im Winter und auch der Kühlenergiebedarf im Sommer. In Tabelle 4 wurde daher für die Varianten 2, 4 und 5 die Nutzungsdauern 15 h/d und 7 d/Woche angesetzt.

2.8 Energieverbrauch Heizung, Kühlung & Entfeuchtung

Für die Bestimmung des Energieverbrauchs für Heizung im Winter und Kühlung und Entfeuchtung im Sommer wurden folgende Daten erhoben:

- Verbrauch an elektrischer Energie der einzelnen Wärmepumpen (Stromzähler, SZ)
- An das Gebäude abgegebene Heizenergie im Winter (Wärmemengenzähler, WMZ)
- An das Gebäude abgegebene Kühlenergie für Kühlung und Entfeuchtung, bzw. dem Gebäude entzogene Wärme (WMZ)

Der Stromverbrauch (elektrische Energie) der Wärmepumpen für Heizung und Kühlung wurde wie die Temperaturen und Feuchte in den Räumen in kurzen Zeitintervallen aufgezeichnet.

Im Anhang sind ab Abbildung 47 die Grafiken für die Verbräuche an elektrischer Energie für Bürokommunikation und Beleuchtung in den einzelnen Bürobereichen und die resultierenden elektrischen Leistungen dargestellt. In Tabelle 5 sind die kumulierten Werte für die einzelnen Perioden zusammenfassend aufgelistet.

Dieselbe zeitlich hochaufgelöste Datenerhebung war ursprünglich auch für die Wärmemengenzähler (WMZ) vorgesehen gewesen. Die WMZ sind alle bidirektionale Zähler, welche je nach Temperatur des Vor- und des Rücklaufs entweder Wärmeenergie oder 'Kälteenergie', d.h. die dem Gebäude entzogene Wärme, bestimmen können.

Leider war es auch nach mehreren Versuchen nicht möglich, die Protokolle der Signalverarbeitung der WMZ und des Datenbusses des Messrechners miteinander in Einklang zu bringen. Daher standen keine zeitlich hochaufgelösten Daten aus den WMZ zur Verfügung. Stattdessen konnten aus den WMZ jedoch die kumulierten Werte in jedem Jahr mehrmals vor Ort vom Display ausgelesen werden. Da Heizenergie und Kühlenergie von den WMZ getrennt erfasst werden, standen jeweils zum Ende einer Heiz- und Kühlsaison die kumulierten Werte für Heizenergie und Kühlenergie zur Verfügung: Ablesungen wurden durchgeführt im Aug. 2015, Apr. 2016, Sep. 2016 und Apr. 2017. Diese Ablesewerte wurden für die Auswertung in Tabelle 6 herangezogen. Entsprechende zeitgleiche Ablesewerte wurden aus dem Datensatz der Stromzähler für die WP gewonnen. Damit stehen in Tabelle 6 sowohl die saisonalen Heiz- und Kühlenergien als auch die jeweiligen Verbräuche an elektrischer Energie zur Verfügung.

Tabelle 6: Auflistung der gemessenen Energieverbräuche. Verbrauch an elektrischer Energie für die Wärmepumpen für Heizung, Kühlung und Entfeuchtung geordnet nach Winter und Sommerperioden. Unten Jahresarbeitszahlen bzw. 'seasonal performance factor' (SPF) der Wärmepumpen. Bemerkenswert, dass die Flächenkühlung im Sommer eine recht niedrige Arbeitszahl hat. Ähnliches gilt für die Luftheizung im Winter. Aus diesem Grund wurde im zweiten Winter 2016/17 die Luftheizung ganz abgeschaltet. Die Flächenkühlung wird im Sommer 2017 ebenfalls abgeschaltet werden. Ein Grund dafür ist, dass bei dem jeweils kleinen Beitrag zur Heizung und Kühlung die Hilfsstromverbräuche für Zirkulationspumpen und Regelungstechnik bei dem kleinen Nutzenergiebetrag stark auswirken und die Arbeitszahlen reduzieren.

| heat meter HP office building | | | | year 2016 | Winter 15/16 | Summer 16 | Winter 16/17 |
|--|------------|-------------------------------------|----------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Sensor # | | | EBF [m²] | | [kWh/m²a] | [kWh/m²a] | [kWh/m²a] |
| B-5-04 - (57) | heat meter | after HP air heating/cooling+dehum. | 2 868 | | 7.18 | 21.37 | 3.49 |
| B-5-03 - (58) | heat meter | after HP heating / cooling ceilings | 2 868 | | 14.85 | 4.60 | 22.45 |
| | Sum | heating(winter) / cooling(summer) | | | 22.04 | 25.98 | 25.94 |
| el. meter HP office building | | | | year 2016 | Winter 15/16 | Summer 16 | Winter 16/17 |
| Sensor # | | | EBF [m²] | [kWh/m²a] | [kWh/m²a] | [kWh/m²a] | [kWh/m²a] |
| B-5-16 | el meter | HP air heating / cooling | 2 868 | 14.37 | 3.80 | 7.15 | 0.23 |
| B-5-15 | el meter | HP panel heating/cooling ceilings | 2 868 | 8.48 | 5.09 | 2.51 | 6.65 |
| | Sum | heating(winter) / cooling(summer) | | 22.85 | 8.89 | 9.67 | 6.88 |
| SPF heating & cooling office building | | | | | Winter15/16 | Summer 16 | Winter 16/17 |
| | | SPF air heating / cooling&dehum. | | | 2.89 | 2.99 | off |
| | | SPF panel heating / cooling | | | 3.92 | 1.83 | 4.37 |
| | | SPF total heating / cooling | | | 3.48 | 2.69 | 4.37 |

In Abbildung 15, besonders aber in Abbildung 17 und Abbildung 18 mit den elektrischen Leistungen der beiden Wärmepumpen für Luftheizung / -kühlung und Flächenheizung / -kühlung sieht man sehr schön, dass das Bürogebäude ZhuoZhou wie erwartet als Passivhaus funktioniert: Die jeweiligen Heiz- und Kühlperioden sind klar voneinander getrennt. Im Frühjahr und Herbst, wenn die Wetterbedingungen im Tagesmittel angenehm temperiert sind muss nur die Lüftung mit WRG laufen und ggf. die Luft geringfügig entfeuchtet werden. Darüber hinaus ist dann keine Energie für Heizung oder Kühlung notwendig. Aus diesem Grunde reichte die Auslesung der WMZ jeweils nach der jeweiligen Saison aus: bis auf eine kleine Grundlast gibt es jeweils nur Heiz- oder nur Kühlenergieverbrauch.

2.9 Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen

Im Winter 2016/17 war die Luftheizung komplett abgeschaltet. Der in Tabelle 6 gemessene kleine Wärmeverbrauch könnte daher rühren, dass vergessen wurde, die zugehörige Umwälzpumpe ebenfalls auszuschalten. Insofern besteht auch hier noch Optimierungspotential für den laufenden Betrieb. Die Luftheizung wurde im zweiten Winter 2016/17 ganz abgeschaltet, weil sich im vorhergehenden Winter gezeigt hatte, dass ihr Beitrag sowieso nur gering war und weil außerdem die Jahresarbeitszahl (JAZ bzw. engl. seasonal performance factor SPF) der Luftheizung mit 2,9 deutlich geringer war als die JAZ der Flächenheizung.

Umgekehrt ist die JAZ der Flächenkühlung (JAZ = 1,8) im Sommer deutlich geringer als die der Luft-Konditionierung. Die Flächenkühlung wird aus diesem Grund im Sommer 2017 ebenfalls abgeschaltet werden. Denn ein Grund für die niedrigen Arbeitszahlen ist, dass bei dem jeweils kleinen Beitrag zur Heizung bzw. Kühlung die Hilfsstromverbräuche für Zirkulationspumpen und Steuerungstechnik bei dem kleinen Nutzenergiebetrag stark auswirken und die Arbeitszahlen reduzieren. Insgesamt sind jedoch die JAZ der beiden WP mit 3 bis 4 recht gut.

2.10 Zusammenfassung: Heizwärmeverbrauch

Der **leicht erhöhte Heizwärmeverbrauch** im Gebäude kann durch folgende Effekte im Wesentlichen erklärt werden:

- Der Verbrauch an elektrischer Energie für Beleuchtung und Bürokommunikation im Gebäude war während des Messzeitraums sehr gering. Daher sind die internen Wärmequellen kleiner. Das erhöht den Heizwärmebedarf um etwa 4 kWh/(m²a).
- Die Raumtemperaturen im Gebäude lagen im Winter bei 22 °C und damit über der Standard-Annahme im PHPP von 20 °C, das macht ebenfalls etwa +4 kWh/(m²a).
- Die längere tägliche Nutzung des Gebäudes und damit der längere Betrieb der Lüftungsanlage erhöht die Lüftungswärmeverluste und damit den HWB um weitere 5 kWh/(m²a).
- Weil die Genehmigungsplanung nicht mehr geändert werden konnte, mussten die Zu- und Abluftleitungen der Lüftungsanlage über eine lange Distanz über Dach geführt werden. Aus diesem und einigen anderen Gründen muss angenommen werden, dass die effektive WRG der Lüftungsanlage kleiner als projiziert war, Tabelle 4. Das erhöht den HWB um etwa 3 kWh/(m²a).
- Die monatlichen Außentemperaturen waren in ZhuoZhou im Winter während der Messzeit geringfügig höher als im Standard-Wetterdatensatz. Die Werte der solaren Einstrahlung sind jedoch in den Wintermonaten (Oktober bis März) deutlich reduziert, was vermutlich an dem starken winterlichen Smog liegt, der im Standard-Wetterdatensatz bisher nicht berücksichtigt wurde. Beide Effekte zusammen erhöhen den HWB um etwa 4 kWh/(m²a).
- Die genannten Zahlen summieren sich nicht genau linear. Aus Tabelle 4 erkennt man jedoch, dass der Unterschied zwischen der Variante 3 (zertifizierte Konfiguration mit Standard-Wetter und Standard-Nutzung) und Variante 5 etwa 12 kWh/(m²a) beträgt.

Die Abweichungen zum theoretisch berechneten Heizwärmebedarf lassen sich also gut erklären. Sie sind hauptsächlich auf betriebliche Parameter und das reale Wetter zur Messzeit zurückzuführen und sind daher – bis auf die reduzierten Daten der Lüftungsanlage – im Wesentlichen vom Nutzerverhalten bestimmt. Die gemessenen Werte sind moderat erhöht und können als normales Nutzerverhalten akzeptiert werden. Das Gebäude funktioniert also gut.

2.11 Zusammenfassung: Kühlenergieverbrauch

Die **Differenz bei der Kühlenergie** kann folgendermaßen erklärt werden:

- Verschattung: unzureichende Reduzierung der solaren Einstrahlung (z-Wert 60 % statt 20 %, vgl. Tabelle 4, würde den Kühlenergiebedarf um etwa 1 kWh/(m²a) erhöhen. Die Verschattung wurde in beiden Gebäuden jedoch automatisiert betrieben, was beim Wohnhaus bisher gut funktioniert. Daraus ergibt sich also keine höhere Kühlenergie.

- Die Innentemperaturen liegen im Sommer im Mittel bei etwa 24 °C statt den empfohlenen 25 °C. Das macht etwa 1,5 kWh/m²a zusätzlichen Kühlenergiebedarf.
- Die höheren Außentemperaturen aus den gemessenen Wetterdaten der beiden Sommer erhöhen den Kühlenergiebedarf um 4 kWh/(m²a).
- Die solare Einstrahlung in den Sommermonaten entspricht derjenigen des Standard-Wetterdatensatzes, hier gibt es also keinen Unterschied.
- Den hauptsächlichen zusätzlichen Beitrag zum Kühlenergieverbrauch dürfte ein unkontrollierter zusätzlicher Fensterluftwechsel in den Sommermonaten ausmachen. Subjektive Beobachtungen des Nutzerverhaltens im Gebäude ZhuoZhou aber auch anderswo legen die Vermutung nahe, dass die Fenster in den Sommermonaten nicht selten geöffnet wurden, obwohl es draußen viel heißer und feuchter war als in den Innenräumen. Nimmt man nur einen moderaten zusätzlichen Fensterluftwechsel von 0,3 pro Stunde an (Variante 5 in Tabelle 4), so erhöht sich der Kühlenergiebedarf um fast 6 kWh/(m²a) erheblich.

Alle Effekte sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Auch der Kühlenergieverbrauch liegt also in einem akzeptablen Rahmen und ließe sich durch adäquates Nutzerverhalten noch reduzieren.

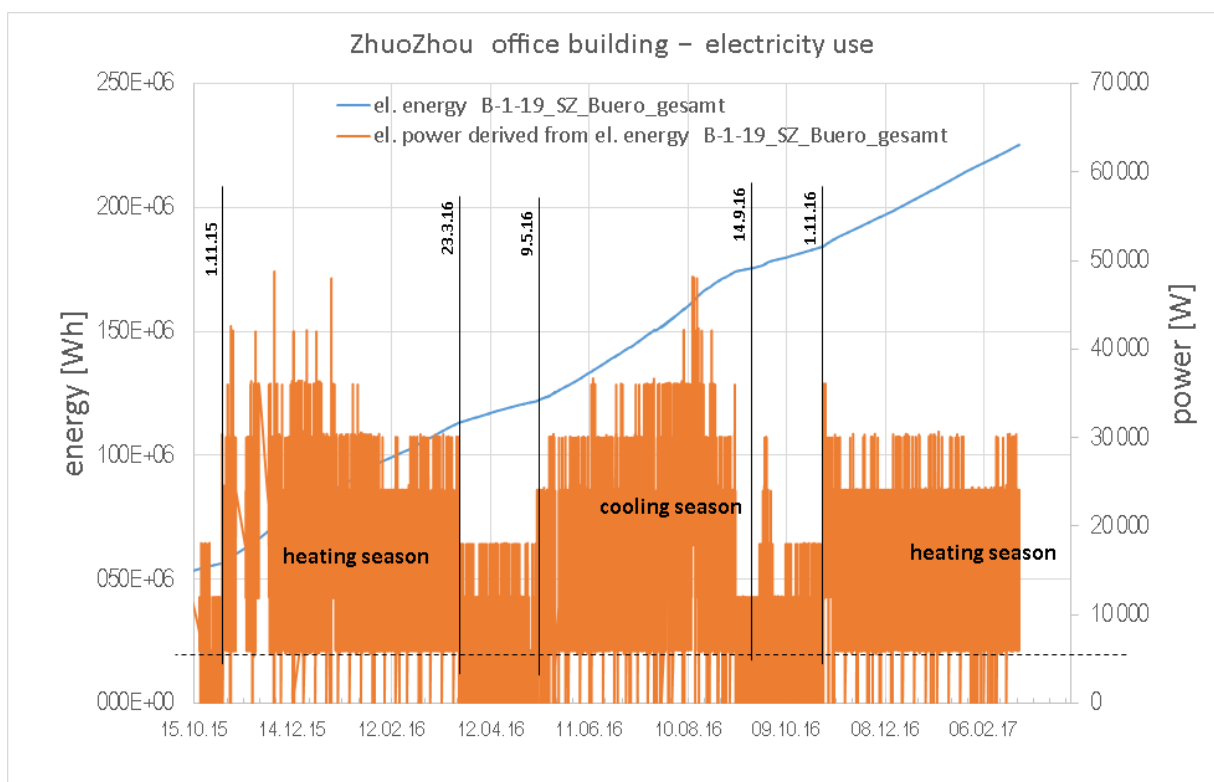


Abbildung 15: Stromzähler Bürogebäude gesamt.

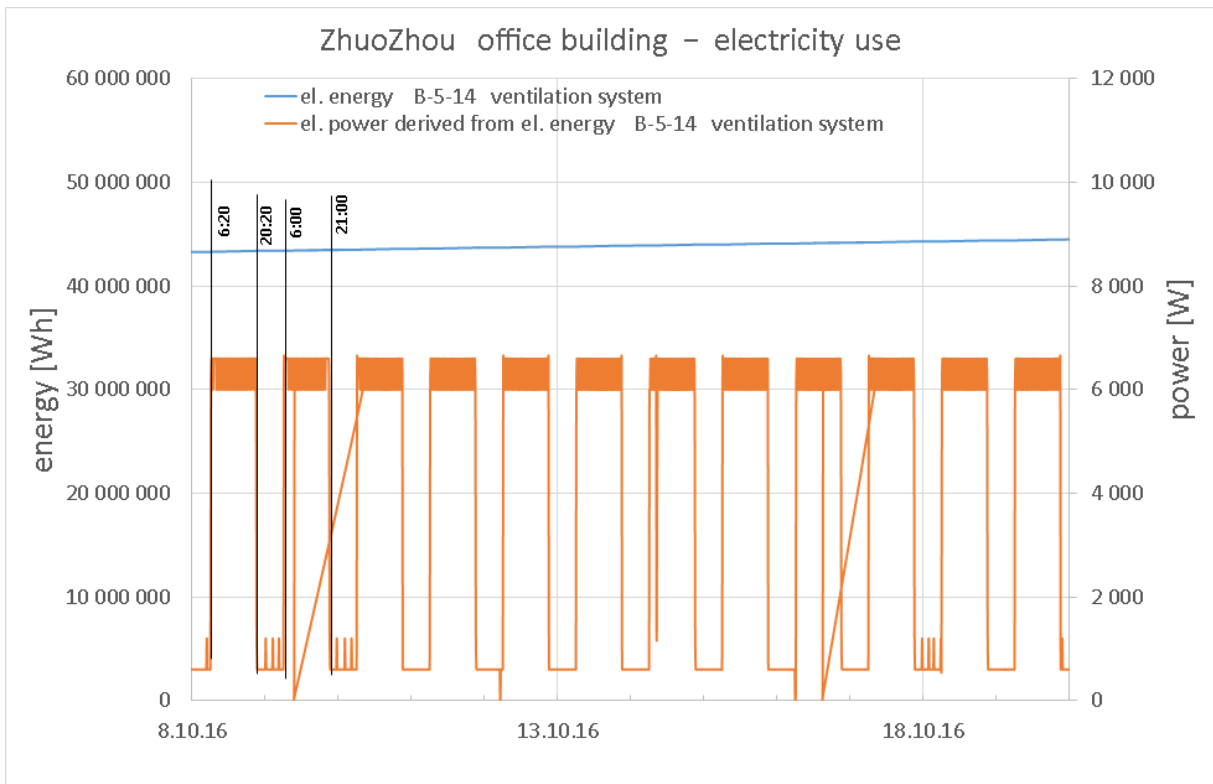
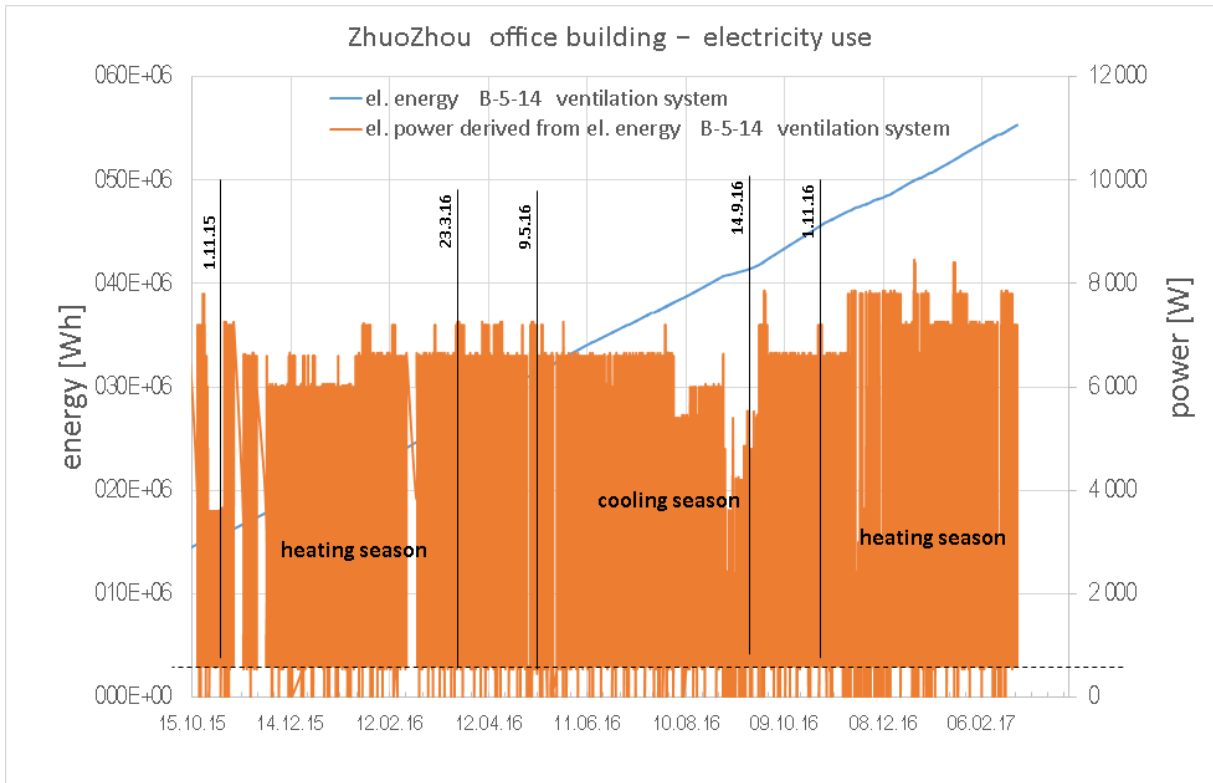


Abbildung 16: Stromzähler Lüftungsanlage Bürogebäude. Verbrauch elektrischer Energie und daraus abgeleitet die jeweilige momentane elektrische Leistung aller am Zähler hängenden Verbraucher. Jahresmittlere elektrische Leistung: $1,32 \text{ W/m}^2$ oder $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, das sind etwa $0,7 \text{ Wh}/\text{m}^3$ bei $5000 \text{ m}^3/\text{h}$. Oben: gesamte Messzeit. Unten: Ausschnitt über zwei Wochen. Man erkennt, dass die Lüftung und das Gebäude durchgehend 7 Tage die Woche von 6 Uhr bis 21 Uhr betrieben wird.

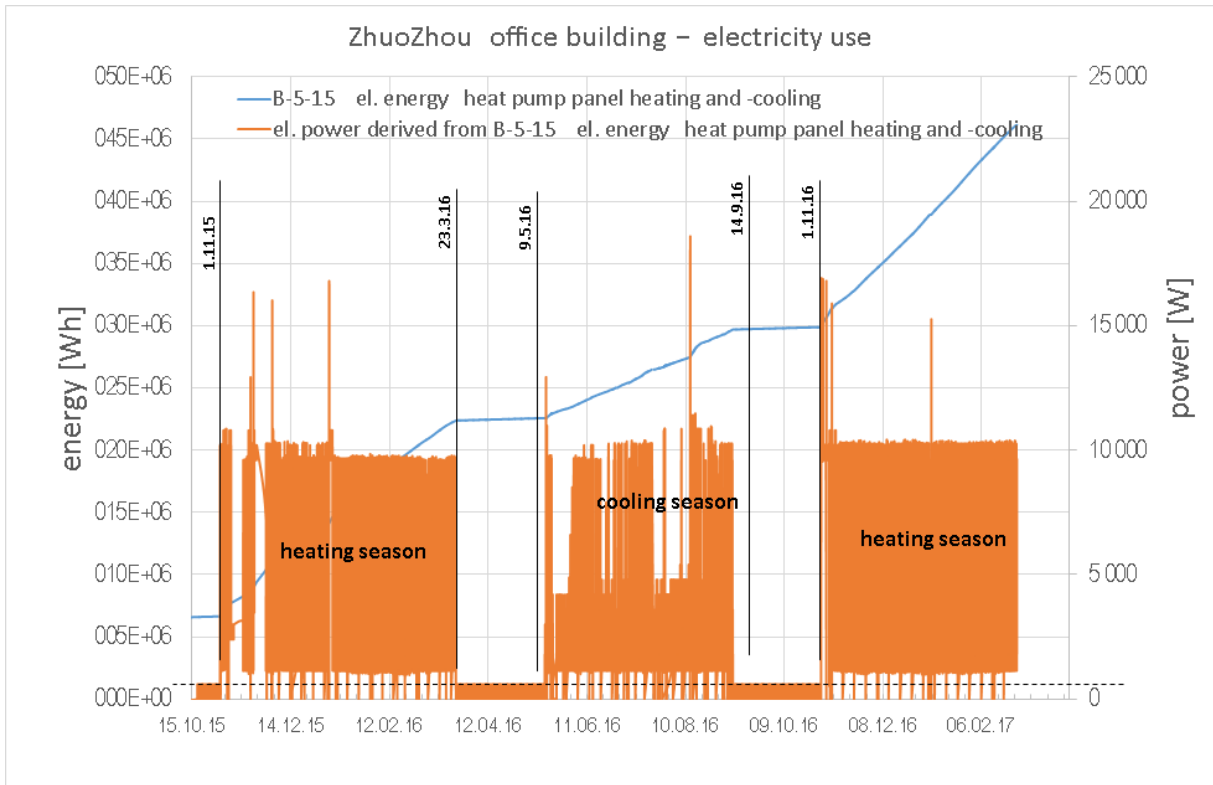


Abbildung 17: Stromzähler für WP Bürogebäude zur Heizung (Winter) und Kühlung (Sommer) der Deckenstrahlungspaneelle in den einzelnen Büroräumen. Kühlbetrieb im Sommer und Heizbetrieb im Winter sind eindeutig voneinander getrennt, d.h. im Frühjahr und Herbst wird weder geheizt noch gekühlt.

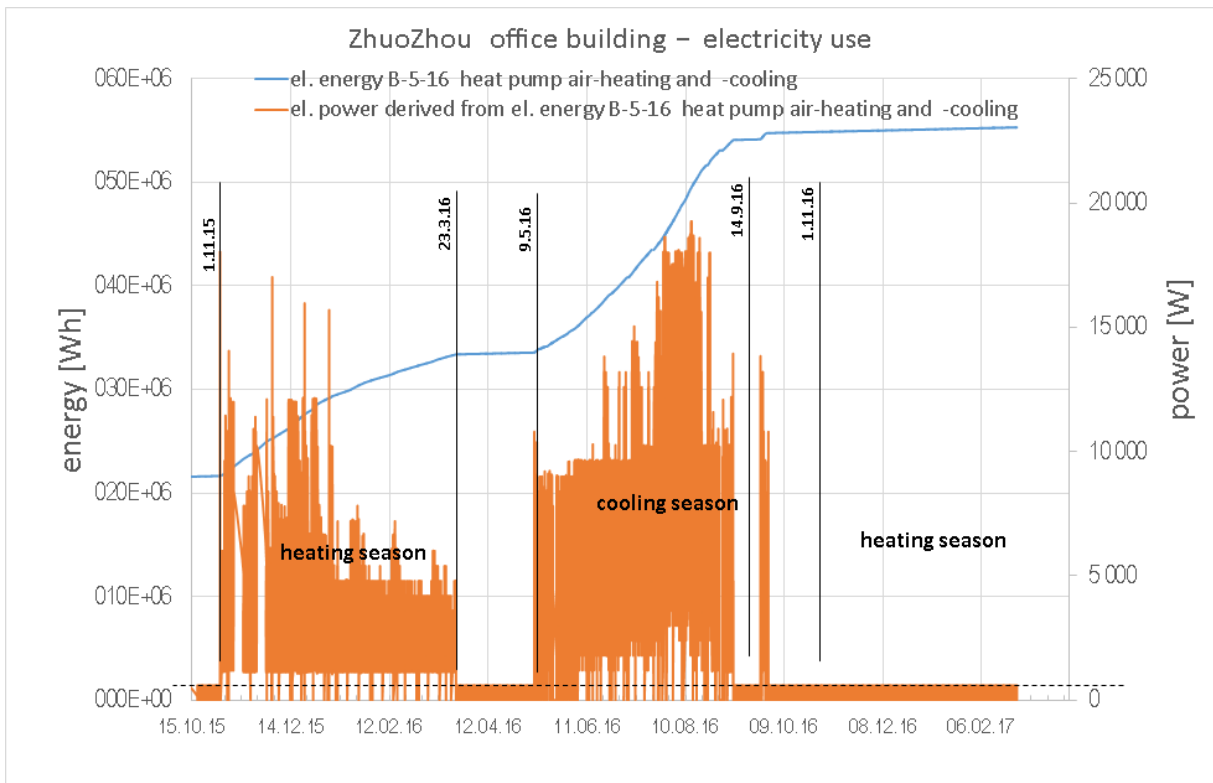


Abbildung 18: Stromzähler für WP Luftheizung bzw. Luftkühlung Bürogebäude, Oktober 2015 bis März 2017. Kühlbetrieb im Sommer und Heizbetrieb im Winter sind eindeutig voneinander getrennt, d.h. im Frühjahr und Herbst wird weder geheizt noch gekühlt. Im zweiten Winter 2016/17 war die Luftheizung absichtlich abgeschaltet worden.

3 Ergebnisse: Arbeiterwohnheim

3.1 Innenraumklima

Die Luftzustände in den Räumen im Wohnhaus sind wie im Bürogebäude bis auf wenige Ausnahmen komfortabel, Tabelle 7. Manche Wohnungen waren vermutlich noch unbewohnt.

Tabelle 7: mittlere Temperaturen und Luftfeuchte im Wohnhaus.

| Temp & humidity rooms in residential building | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| Sensor # | description | winter (heating) | 1.11.15 – 23.3.16 | | summer (cooling) | 10.5.16 – 7.9.16 | | winter (heating) | 1.11.16 – 20.2.17 | |
| | | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] |
| W-1-62 | Hall | 22.5 | 33.7 | 5.7 | 23.5 | 64.0 | 11.8 | 20.7 | 33.9 | 5.2 |
| W-1-63 | Reception | 22.0 | 39.0 | 6.4 | 23.9 | 64.7 | 12.2 | 20.7 | 39.1 | 6.0 |
| W-1-64 | private rooms | 21.1 | 39.1 | 6.2 | 24.1 | 62.9 | 12.0 | 18.7 | 39.0 | 5.3 |
| W-2-65 | guest room | 15.9 | 47.3 | 5.5 | 32.2 | 47.1 | 15.3 | 12.4 | 43.6 | 4.0 |
| W-2-66 | kitchen large appartr | 20.8 | 41.8 | 6.5 | 24.5 | 62.2 | 12.2 | 19.8 | 32.3 | 4.4 |
| W-2-67 | living room | 20.5 | 41.9 | 6.4 | 24.3 | 62.6 | 12.1 | 19.4 | 32.8 | 4.7 |
| W-2-68 | guest room | 23.0 | 36.4 | 6.4 | 24.7 | 63.6 | 12.7 | 21.4 | 34.4 | 5.5 |
| W-3-69 | guest room | 23.6 | 38.8 | 7.1 | 23.9 | 65.7 | 12.4 | 21.8 | 35.2 | 5.8 |
| W-3-70 | living room | 21.4 | 48.0 | 7.7 | 24.3 | 55.5 | 10.8 | 23.4 | 45.9 | 8.3 |
| W-3-71 | living room | 19.3 | 43.7 | 6.9 | 6.5 | 15.9 | 5.3 | 22.0 | 45.0 | 7.0 |
| W-3-72 | guest room | 23.3 | 36.3 | 6.5 | 24.8 | 64.2 | 12.8 | 22.1 | 38.8 | 6.5 |
| W-4-73 | guest room | 24.1 | 39.3 | 7.4 | 25.2 | 65.6 | 13.4 | 21.6 | 44.7 | 7.3 |
| W-4-74 | living room | 21.6 | 52.1 | 8.5 | 25.0 | 58.6 | 12.0 | 22.5 | 49.3 | 8.4 |
| W-4-75 | living room | 20.6 | 50.3 | 7.7 | 25.2 | 55.4 | 11.3 | 22.6 | 45.8 | 7.8 |
| W-4-76 | guest room | 23.6 | 40.4 | 7.4 | 26.2 | 58.6 | 12.7 | 22.1 | 37.4 | 6.3 |
| average values | | 21.6 | 41.9 | 6.8 | 23.9 | 57.8 | 11.9 | 20.7 | 39.8 | 6.2 |

Tabelle 8: mittlere Temperaturen und Luftfeuchte in den verschiedenen Lüftungsgeräten. Für die zentrale Lüftungsanlage lässt sich aus den Temperaturen die WRG abschätzen. Die Lüftungsgeräte in den Wohnungen sind Kombi-Geräte, die mit ggf. mit Umluft im Winter heizen und im Sommer kühlen und entfeuchten.

| Temp & humidity ventilation systems in residential building | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| Sensor # | description | winter (heating) | 1.11.15 – 23.3.16 | | summer (cooling) | 10.5.16 – 7.9.16 | | winter (heating) | 1.11.16 – 20.2.17 | | 31.12.16 |
| | | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | avg Temp [°C] | avg. r.H. [%] | avg. abs H. [g/kg] | Ref. Temp [°C] |
| W-5-77 | outside air ventilator | 4.6 | 56.8 | 3.3 | 25.0 | 65.7 | 13.1 | 3.0 | 60.9 | 2.9 | 0.0 |
| W-5-78 | exhaust air ventilator | 9.4 | 50.0 | 3.8 | 26.5 | 57.9 | 12.7 | 9.4 | 52.0 | 3.8 | 5.0 |
| W-5-79 | supply air ventilator | 2.6 | 55.2 | 3.1 | 46.4 | 51.6 | 42.3 | 10.1 | 50.5 | 4.2 | 10.0 |
| W-5-80 | extract air ventilator | 20.3 | 44.1 | 6.6 | 23.6 | 67.2 | 12.5 | 19.6 | 40.7 | 5.8 | 17.0 |
| WRG | Mittelwert WRG..... | 69% | | | | | | 61% | | | 71% |
| W-4-77 | exhaust air ventilator | 23.4 | 38.8 | 7.0 | 23.5 | 67.5 | 12.3 | 21.6 | 37.3 | 6.2 | 17.0 |
| W-4-78 | supply air ventilator | 34.7 | 26.5 | 8.2 | 14.5 | 85.0 | 9.2 | 32.6 | 31.7 | 9.2 | 20.0 |
| W-3-81 | extract air ventilator | 21.1 | 47.3 | 7.5 | 23.3 | 61.2 | 11.1 | 22.7 | 49.1 | 8.5 | 21.0 |
| W-3-82 | exhaust air ventilator | 24.1 | 35.3 | 6.6 | 24.0 | 68.0 | 12.8 | 17.8 | 25.3 | 3.3 | 13.0 |
| W-2-83 | supply air ventilator | 32.9 | 25.7 | 7.0 | 22.7 | 70.4 | 12.3 | 35.2 | 18.5 | 6.4 | 20.0 |
| W-2-84 | extract air ventilator | 20.7 | 41.6 | 6.4 | 23.5 | 66.5 | 12.2 | 20.8 | 34.6 | 5.5 | 18.0 |

Wenn man die Temperaturgänge in einzelnen Wohnungen genauer ansieht, Abbildung 56 ff, stellt man fest, dass zeitweise auf sehr hohe Temperaturen geheizt wird, andererseits sind manche Räume zeitweise nicht geheizt oder im Sommer nicht gekühlt. Teilweise konnten die Fehlfunktionen schon behoben werden. Die Temperaturgänge in den Kombi-Lüftungsanlagen mit Heizung und Kühlung in den Wohnungen des 2. und dritten Stockwerks, Abbildung 66 ff, lassen jedoch darauf schließen, dass dort die Betriebsführung noch optimiert werden muss.

3.2 Energieverbrauch: Heizung, Kühlung, Entfeuchtung

Bei den Energieverbräuchen für Heizung und Kühlung kann man wieder wie im Bürogebäude feststellen, dass die Betriebsoptimierung im ersten Jahr erfolgreich war. So lag der Heizwärmeverbrauch im zweiten Winter 2016/17 deutlich unter dem Wert von 2015/16. Die Luft-Heizung in der zentralen WP wurde im Winter 2016/17 deaktiviert, wie im Bürogebäude. Die Messdaten sollten jedoch auch für das Wohnhaus weiter beobachtet werden, um Fehlfunktionen ggf. erkennen und beheben zu können.

Tabelle 9: Energieverbrauch elektrisch und thermisch für die zentrale WP im Wohnhaus. Die Jahresarbeitszahlen für den Winter sind sehr gut, die Werte im Sommer haben noch Optimierungspotential, sind aber akzeptabel. Für die WP in den Wohnungen im 2. und 3. Stock liegen nur elektrische Energieverbräuche vor.

| heat meter Heat Pumps residential building | | | | year 2016 | Winter 15/16 | Summer 16 | Winter 16/17 |
|---|---|-----------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| | | [m ²] | | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] | |
| W-5-10 - (51) | heat meter central HP air heating / cooling&dehum | 1 537 | | 10.40 | 9.27 | 0.01 | |
| W-5-09 - (52) | heat meter central HP heating / cooling floor | 1 537 | | 24.02 | 10.77 | 22.07 | |
| W-2-12 - (49) | heat meter dwellings HP level 2 | 384 | | no results | no results | no results | |
| W-3-11 - (50) | heat meter dwellings HP level 3 | 384 | | no results | no results | no results | |
| Sum heating(winter) / cooling(summer) | | | | 34.42 | 20.03 | 22.08 | |
| el. meter residential – Heat Pumps | | | | year 2016 | Winter 15/16 | Summer 16 | Winter 16/17 |
| Sensor # | description | EBF [m ²] | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² Winter] | [kWh/m ² Summer] | [kWh/m ² Winter] | |
| W-5-21 | el meter central HP air heating / cooling&dehum | 1 537 | 9.30 | 4.15 | 3.67 | 0.10 | |
| W-5-22 | el meter central HP floor heating / cooling | 1 537 | 10.73 | 6.41 | 3.62 | 6.31 | |
| W-3-25 | el meter HP small apartment level 2 | 384 | 7.29 | 4.18 | 1.70 | 4.81 | |
| W-4-24 | el meter HP large apartment level 3 | 384 | 9.10 | 2.89 | 4.77 | 3.53 | |
| average consumption HP [kWh/m²a] | | | | 9.7 | 4.9 | 3.6 | 3.4 |
| SPF heating & cooling residential building (central) | | | | | Winter 15/16 | Summer 16 | Winter 16/17 |
| SPF (only for central HP) air heating / cooling&dehum. | | | | | 3.51 | 2.53 | off |
| SPF (only for central HP) floor heating / cooling | | | | | 4.75 | 2.97 | 4.50 |
| total SPF (only for central HP) for heating / cooling | | | | | 4.26 | 2.75 | 4.44 |

Die Stromverbräuche in den einzelnen Wohnungen waren aufgrund von Leerstand in den beiden ersten Jahren ebenfalls wie im Bürogebäude unterdurchschnittlich niedrig, Tabelle 10. Die Stromverbräuche der zentralen Lüftung waren anfangs sehr hoch (0.9 Wh/m³). Dies konnte jedoch im Laufe des Jahres 2016 deutlich reduziert werden auf ≤ 0.5 Wh/m³. Außerdem wurden die Luftmengen reduziert. Messwerte zu den Luftmengen liegen jedoch auch im Wohnhaus nicht vor.

Tabelle 10: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Beleuchtung. Wie beim Bürogebäude sind auch im Wohngebäude die internen Wärmegewinne aus den Stromverbräuchen geringer als üblicherweise (2.1 W/m^2) weil das Gebäude anfangs nur teilweise belegt war.
 Unten: die Stromverbräuche der zentralen Lüftung sind anfangs sehr hoch (0.9 Wh/m^3). Dies konnte jedoch im Laufe des Jahres 2016 deutlich reduziert werden auf $\leq 0.5 \text{ Wh/m}^3$.

| el. meter residential household appl. & ventilation | | | year 2016 |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| Sensor # | description | EBF [m ²] | [kWh/m ² a] |
| W-1-30 | el meter residential level 1 | 384 | 7.97 |
| W-2-29 | el meter residential level 2 | 384 | 13.17 |
| W-3-28 | el meter residential level 3 | 384 | 17.78 |
| W-4-27-A_19 | el meter residential level 4 right | 192 | 3.59 |
| W-4-27-B_20 | el meter residential level 4 left | 192 | 14.56 |
| average consumption household & lighting [kWh/m ² a] bzw. [W/m ²] | | | 12.0 |
| equivalent average power [W/m ²] | | | 1.4 |
| W-5-20 | el meter central ventilation system total | 1 537 | 7.44 |
| vent. specific consumption [Wh/m ³] with avg. 1500 m ³ /h | | | 0.87 |

3.3 Webcam: Auswertung der Fensteröffnung und Verschattung

Im Wohngebäude und im Bürogebäude wurden die Rollläden als Verschattungseinrichtungen vor den Fenstern an allen Fenstern automatisch gesteuert. Dies war notwendig, um sicherzustellen, dass die Verschattung möglichst immer geschlossen wird, wann immer im Sommer die Sonne auf der Fassade steht. Die Nutzer können allerdings bei Anwesenheit und Bedarf das Signal übersteuern und ggf. trotz Sonne auf Wunsch die Verschattung öffnen.



Abbildung 19: Foto von einer Fassade des Arbeiterwohnheims.

Um die evtl. auftretenden Fensteröffnungen und die Stellung der Verschattungseinrichtungen zu registrieren wurde eine Webcam installiert, die in regelmäßigen Zeitschritten Fotos zur Auswertung der Stellung der Fensterflügel und Rollläden macht. Diese Methode zur Registrierung ist deutlich billiger und weniger fehleranfällig als Fensterkontakte.

Um die Solaren Wärmegewinne im Winter und vor allem die solaren Lasten in den heißen Sommermonaten abschätzen zu können, war es daher nötig, das Nutzungsverhalten zu erfassen. Dazu wurde für eine Fassade des Wohnhauses eine Webcam installiert, die in regelmäßigen Zeitschritten Fotos von der ganzen Fassade macht. Aus diesen Fotos lassen sich dann die Stellung der Verschattungen leicht ablesen, vgl. Abbildung 19 ff. Diese Methode ist deutlich billiger und weniger fehleranfällig als Fensterkontakte [Peper/Feist 2009]. Im Anhang sind einige Bilderfolgen der Webcam noch im Einzelnen dokumentiert, Abbildung 78.



Abbildung 20: Foto von der Fassade bei Sonnenschein: alle Rollladen geschlossen.



Abbildung 21: Foto von der Fassade zwei Stunden später: ohne direkte Sonneneinstrahlung können die Rollladen wieder geöffnet werden.

4 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Monitoring am Gebäude ZhuoZhou konnte nach fast zwei Jahren Messzeit seit August 2015 im Frühjahr 2017 erfolgreich abgeschlossen werden. Die eingangs genannten Betriebsoptimierungen konnten erfolgreich durchgeführt werden, so dass das Gebäude nunmehr als erfolgreich in Betrieb genommen bezeichnet werden kann: Entweder wurden entsprechende Hinweise zur Betriebsoptimierung aus der Ferne gegeben, oder die Umsetzung wurde nach und nach bei Besuchen vor Ort am Gebäude veranlasst und durchgeführt.

Seit Mitte März 2017, d.h. nach mehr als einem vollen Sommer und zwei Wintern Messzeit, sind das Gebäude und die haustechnischen Einrichtungen in einem weitgehend optimierten Zustand, der mit der Planung und vom Passivhaus-Konzept her beabsichtigt war. Es konnten außerdem noch ergänzende Messungen zur Absicherung gemacht werden.

Für das Gebäude lässt sich also sagen: Die Heizung funktioniert in Bezug auf Komfort und Verbrauch. Die Kühlung funktioniert ebenfalls, was die Temperierung angeht, d.h. bezüglich sensibler Kühlung. Die latente Kühlung, d.h. Entfeuchtung funktioniert in den besonders feuchten Monaten im Hochsommer nur eingeschränkt. Für eine ausreichende Entfeuchtung muss bei der im Passivhaus reduzierten sensiblen Kühllast die Kühlung die Luft trotzdem unter den Taupunkt abkühlen, die Luft muss aber anschließend ggf. wieder nacherwärmt werden können. Die Diskussionen mit dem Hersteller sind hierfür auf einem guten Weg. Um die Funktion zu kontrollieren sollten aber unbedingt noch weiterhin Daten erhoben werden. Das Schließen der Verschattungseinrichtungen (Rolläden) wurde im Wohnhaus mit einer extern montierten Kamera beobachtet. Dies funktioniert gut. Es besteht jedoch die Vermutung, dass im Bürogebäude während der Sommermonate zu häufig die Fenster geöffnet werden.

Der Betrieb der Lüftungsanlage muss unbedingt weiter beobachtet werden. Die Luftvolumenströme zeigten häufig Disbalance, obwohl die Einstellungen öfters berichtigt wurden. Disbalance reduziert jedoch die Wirksamkeit der Wärmerückgewinnung.

Die Planung der Lüftung war bei diesem Projekt nicht optimal, weil die (langen) Zuluft und Abluftleitungen im kalten Bereich außerhalb des Gebäudes geführt werden mussten. Die Messungen zeigen ganz klar, dass dies in zukünftigen Projekten verbessert werden muss. Dies ist ein zweiter wichtiger Grund für die Reduktion der Wirksamkeit der Wärmerückgewinnung der Lüftungsgeräte, obwohl die Lüftungsleitungen gut wärmegeämmt sind. Das ist ein Grund, warum die gemessenen Wärmeverbräuche höher liegen als geplant. Dieses Problem kann zwar für das Gebäude ZhuoZhou nicht mehr geändert werden, aber die Messungen zeigen sehr klar, dass die Forderung einer guten Lüftungsanlage für das Passivhaus sehr wohl begründet ist. Daher ist diese Erfahrung für zukünftige Projekte sehr wichtig.

Die Ergebnisse dieses Berichts sind daher für Passivhaus Projektmanager und -planer in China eine wichtige Entscheidungsgrundlage, die bereits im Planungsprozess berücksichtigt werden sollte. Architekten und Firmen kann erstmals mit der Auswertung der Monitoringdaten belegt werden welche Auswirkungen technische Maßnahmen aber auch Fehler in der Planung und Ausführung im lokalen Klima haben.

Die Messtechnik verbleibt im Gebäude und kann im Prinzip auch über den geplanten Zeitraum von zwei Jahren hinaus Daten liefern. Leider ist jedoch seit Ende Februar 2017 die automatische Datenübertragung zu Schöberl & Pöll und zum Passivhaus Institut abgebrochen, weil vor Ort eine wichtige Verbindung abgebaut wurde.

Das Know-How über das PH-Konzept im Allgemeinen und die Optimierung der Inbetriebnahme wurde weitgehend an den Betreiber und die Ingenieure des Planungsteams weitergegeben, so dass mit Hilfe der Daten ständig der laufende Betrieb überwacht werden kann. So können auch später noch womöglich auftretende Fehlfunktionen sicher erkannt und schnell wieder behoben werden. Die Erfahrung aus entsprechenden Langzeit-Beobachtungen in europäischen Projekten zeigt, dass dies auf jeden Fall angeraten ist.

Das Monitoring zusammen mit der Betriebsoptimierung wurde bei diesem Passivhaus-Projekt sehr intensiv und mit relativ hohem personellem und apparativem Aufwand durchgeführt. Obwohl es abschließend als erfolgreich bezeichnet werden kann, stellt sich die Frage, ob dieser Aufwand für zukünftige Passivhaus-Gebäude im Rahmen der Qualitätssicherung und Betriebsoptimierung notwendig ist.

Die Antwort ist einerseits ganz klar: Ja. Eine konsequente Betriebsoptimierung ist für die erfolgreiche Umsetzung von zukünftigen energieeffizienten Gebäuden unabdingbar, weil sonst bei Fehlfunktionen, die auch bei entsprechenden Monitoring-Projekten in Europa regelmäßig entdeckt wurden, wichtige Einsparpotentiale womöglich nicht vollständig ausgeschöpft werden könnten.

Andererseits wird kein Bauherr die hohen Kosten eines derartigen detaillierten Monitorings mit so vielen Messstellen finanzieren können. Die Antwort auf dieses Dilemma kann zweigeteilt formuliert werden:

Mittelfristig sollten weiterhin staatliche Mittel bereitgestellt werden, um bei weiteren Passivhaus-Projekten in China eine detaillierte Messung und Auswertung und Betriebsoptimierung realisieren zu können. Dieses mit österreichischen Geldern finanzierte Monitoring-Projekt kann dafür als Vorbild dienen und könnte Motivation sein für die chinesischen staatlichen Stellen, damit in mittelfristiger Zukunft derartige Monitoring-Projekte mit chinesischen Geldern finanziert werden können. Das Passivhaus Institut würde dabei gerne wieder mitwirken.

Langfristig sollte jedoch ein reduziertes 'minimales' Monitoring als verpflichtender, integraler Bestandteil einer Inbetriebnahme aller neuen – oder entsprechend sanierten – Gebäude gesehen werden. Denn nur wenn die wichtigsten Betriebsdaten eines Gebäudes dauerhaft erhoben und beobachtet werden, können der bestimmungsgemäße Betrieb und die geplanten Energieeinsparungen langfristig gesichert werden.

Vorschläge für einen möglichen reduzierten Umfang eines 'minimalen Monitorings' liegen im Prinzip vor. Dies könnte jedoch in einem Folgeprojekt noch im Detail ausgearbeitet werden.

5 Verzeichnisse

5.1 Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Bürogebäude | 17 |
| Abbildung 2: Arbeiterwohnheim | 18 |
| Abbildung 3: Hydraulikschema Bürogebäude mit den wichtigsten Komponenten der Messtechnik | 20 |
| Abbildung 4: Hydraulikschema Wohnhaus mit den wichtigsten Komponenten der Messtechnik..... | 21 |
| Abbildung 5: Außenluft – Messung Wetterstation Daten vorhanden bis Mitte März 2017. Temperatur und relative Feuchte der Außenluft. Vergleiche auch die Messung der Luftkonditionen der angesaugten Außenluft. Die absolute Feuchte der Außenluft ist im Sommer über einen längeren Zeitraum sehr hoch. Der kritische Wert von 12 g/kg wird ab Anfang Mai bis Mitte August überschritten. | 24 |
| Abbildung 6: Temperatur & relative Luftfeuchte angesaugte Außenluft Lüftung Bürogebäude im Sommer 2016. Man erkennt an der absoluten Feuchte, dass der Hochsommer ab Ende Juli bis 25. August 2016 nicht nur heiß ist, sondern auch sehr feuchte Luft bringt..... | 25 |
| Abbildung 7: Temperatur & relative Luftfeuchte angesaugte Außenluft Lüftung Bürogebäude im Winter 2016 / 2017. Die Winter sind kalt und die Luft sehr trocken. | 25 |
| Abbildung 8: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal), gemessen am Standort ZhuoZhou. Die dargestellten Daten sind noch nicht kalibriert, siehe Text..... | 26 |
| Abbildung 9: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2015 bis Herbst 2016. Die Luftzustände waren im Sommer 2016 im Rahmen der empfohlenen Werte, etwa 65 % rF und etwa 25 °C. Zu Beginn des Sommers waren die Sollwerte für die Innenraumkonditionen noch etwas zu kühl angesetzt. | 32 |
| Abbildung 10: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2016 bis Frühjahr 2017 | 32 |
| Abbildung 11: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2015 bis Herbst 2016..... | 33 |
| Abbildung 12: Temperatur und Luftfeuchte in einem typischen Büroraum, Sommer 2016 bis Frühjahr 2017 | 33 |
| Abbildung 13: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte im Büro der Geschäftsleitung. | 34 |
| Abbildung 14: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte im Büro der Geschäftsleitung. | 34 |
| Abbildung 15: Stromzähler Bürogebäude gesamt. | 43 |
| Abbildung 16: Stromzähler Lüftungsanlage Bürogebäude. Verbrauch elektrischer Energie und daraus abgeleitet die jeweilige momentane elektrische Leistung aller am Zähler hängenden Verbraucher. Jahresmittlere elektrische Leistung: 1,32 W/m ² oder 12 kWh/(m ² a), das sind etwa 0,7 Wh/m ³ bei 5000 m ³ /h. Oben: gesamte Messzeit. Unten: Ausschnitt über zwei Wochen. Man erkennt, dass die Lüftung und das Gebäude durchgehend 7 Tage die Woche von 6 Uhr bis 21 Uhr betrieben wird. | 44 |
| Abbildung 17: Stromzähler für WP Bürogebäude zur Heizung (Winter) und Kühlung (Sommer) der Deckenstrahlungspaneel in den einzelnen Büroräumen. Kühlbetrieb im Sommer und Heizbetrieb im Winter sind eindeutig voneinander getrennt, d.h. im Frühjahr und Herbst wird weder geheizt noch gekühlt..... | 45 |
| Abbildung 18: Stromzähler für WP Luftheizung bzw. Luftkühlung Bürogebäude, Oktober 2015 bis März 2017. Kühlbetrieb im Sommer und Heizbetrieb im Winter sind eindeutig voneinander getrennt, d.h. im Frühjahr und Herbst wird weder geheizt noch gekühlt. Im zweiten Winter 2016/17 war die Luftheizung absichtlich abgeschaltet worden..... | 45 |
| Abbildung 19: Foto von einer Fassade des Arbeiterwohnheims..... | 48 |
| Abbildung 20: Foto von der Fassade bei Sonnenschein: alle Rollläden geschlossen. | 49 |
| Abbildung 21: Foto von der Fassade zwei Stunden später: ohne direkte Sonneneinstrahlung können die Rollläden wieder geöffnet werden. | 49 |
| Abbildung 22: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal). Detailausschnitte aus der Messreihe. | 57 |
| Abbildung 23: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal). Detailausschnitte aus der Messreihe. | 58 |
| Abbildung 24: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal). Detailausschnitte aus der Messreihe. | 58 |
| Abbildung 25: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte Büro eines Managers. | 59 |
| Abbildung 26: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte Büro eines Managers. | 59 |
| Abbildung 27: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur & relative Luftfeuchte kleiner Konferenzraum. | 60 |
| Abbildung 28: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur & relative Luftfeuchte kleiner Konferenzraum. | 60 |
| Abbildung 29: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur & relative Luftfeuchte großer Konferenzraum. | 61 |
| Abbildung 30: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur & relative Luftfeuchte großer Konferenzraum. | 61 |
| Abbildung 31: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte in einem weiteren typischen Büroraum..... | 62 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 32: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte in einem weiteren typischen Büroraum..... | 62 |
| Abbildung 33: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte in einem zweiten Konferenzraum. | 63 |
| Abbildung 34: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte in einem zweiten Konferenzraum. ... | 63 |
| Abbildung 35: Temperatur & relative Luftfeuchte Außenluft Messung Ansaugung Außenluft Lüftungsanlage Aug 2015 bis Oktober 2016 im Überblick..... | 64 |
| Abbildung 36: Temperatur & relative Luftfeuchte Außenluft Messung Ansaugung Außenluft Lüftungsanlage im Sommer 2016 bis Frühjahr 2017 im Überblick..... | 64 |
| Abbildung 37: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Fortluft. Aug 2015 bis Okt. 2016. Fortluft aus dem zentralen Lüftungsgerät Bürogebäude. | 65 |
| Abbildung 38: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Fortluft. Mai 2016 bis März 2017 | 65 |
| Abbildung 39: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft. Aug 2015 bis Okt. 2016. Zuluft aus Lüftung bzw. Luftheizung Bürogebäude (zentral) Man erkennt deutlich, dass im November anfangs des Winters mit der Zuluft stark geheizt wurde. Dies könnte ein Grund für die hohen Stromverbräuche für Heizung sein (ungünstige COP-Werte wegen hoher Lufttemperatur). Ab Januar 2016 ist die Zulufttemperatur reduziert. Im Sommer sind die Zulufttemperatur und deren Feuchte auf Entfeuchtungs-Betrieb optimiert. | 66 |
| Abbildung 40: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. | 66 |
| Abbildung 41: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft Winter 15/16 | 67 |
| Abbildung 42: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft Winter 16/17. | 67 |
| Abbildung 43: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft. Aug 2015 bis Okt. 2016. Abluft zum zentralen Lüftungsgerät aus dem Bürogebäude. Man erkennt deutlich, dass die Ablufttemperatur im Laufe des Winters mit 17.4°C stark reduziert ist gegenüber den Raumtemperaturen (22°C im Mittel in allen Zonen). Das bedeutet, dass die WRG nicht richtig funktionieren kann, weil nicht die volle Raum-Luft-Temperatur an der WRG ankommt. Grund: die Abluft wird im Laufe der Kanalführung (über Dach) schon vor der WRG abgekühlt. Im Sommer entspricht die Ablufttemperatur und deren Feuchte etwa der Raum-Luft-Temperaturen. | 68 |
| Abbildung 44: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. | 68 |
| Abbildung 45: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft Winter 15/16 | 69 |
| Abbildung 46: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft Winter 16/17. | 69 |
| Abbildung 47: Stromzähler Bürogebäude 1. Stock links. Typische Büro-Nutzung, mittlere Last, Jahresmittelwert etwa 2.1 W/m ² oder 18 kWh/m ² a | 70 |
| Abbildung 48 Stromzähler Bürogebäude 1. Stock rechts. Typische Büro-Nutzung, reduzierte Last, Jahresmittelwert etwa 1.6 W/m ² oder 14 kWh/m ² a | 70 |
| Abbildung 49: Stromzähler Bürogebäude 2. Stock links. Man erkennt deutlich die Betriebsunterbrechung in den Winterferien (Chin. Neujahrsfest). Typische Büro-Nutzung, mittlere Last Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 1.5 W/m ² bzw. 12.6 kWh/m ² a | 71 |
| Abbildung 50: Stromzähler Bürogebäude 2. Stock rechts. Offensichtlich hier nur Grundlast Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 0.35 W/m ² bzw. 3.3 kWh/m ² a | 71 |
| Abbildung 51: Stromzähler Bürogebäude 3. Stock links. Offensichtlich hier nur Grundlast: Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 0.045 W/m ² bzw. 0.39 kWh/m ² a | 72 |
| Abbildung 52: Stromzähler Bürogebäude 3. Stock rechts. Weitgehend nur Grundlast, zeitweise Büro-Nutzung, Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 1.8 W/m ² bzw. 16 kWh/m ² a | 72 |
| Abbildung 53: Stromzähler Bürogebäude 4. Stock rechts. nur Grundlast Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 0.34 W/m ² bzw. 2.9 kWh/m ² a | 73 |
| Abbildung 54: Stromzähler Bürogebäude 4. Stock rechts. Typische Büro-Nutzung, geringe Last, Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 1.8 W/m ² bzw. 16 kWh/m ² a | 73 |
| Abbildung 55: Stromzähler Bürogebäude Aufzug. Jahresmittlere Leistung 0.05 W/m ² oder 0.4 kWh/m ² | 74 |
| Abbildung 56: Temperatur & relative Luftfeuchte in einem Wohnzimmer im 3. Stock: August 2015 bis Oktober 2016. Im Winter 2016 wurde in einigen Zimmern auf recht hohe Temperaturen geheizt. | 77 |
| Abbildung 57: Temperatur & relative Luftfeuchte in einem Wohnzimmer im 3. Stock: Mai 2106 bis März 2017 ... | 77 |
| Abbildung 58: Temperatur & relative Luftfeuchte: Gastzimmer 2. Stock. Der Raum wurde weder im Sommer, noch im Winter konditioniert, weil er vermutlich bis April 2016 die ganze Zeit unbewohnt war. Die relative Luftfeuchte ist mit 50% immer gut. Die Temperatur ist im Sommer sehr hoch. Aus theoretischer Sicht ist aber sehr interessant: Die Temperatur bleibt im Winter immer weit über 0°C und damit immer frostfrei. | 78 |
| Abbildung 59: Temperatur & relative Luftfeuchte: Küche große Wohnung. Relative Luftfeuchte im Sommer gerade noch akzeptabel. Raumtemperatur im Sommer akzeptabel, teilweise mit ≤ 22 ° C deutlich zu niedrig, Sollwert Planung: 25° C. Raumtemperatur im Winter teilweise zu hoch (Sollwert zum Ende des Winters bei 20°C) Relative Luftfeuchte im Winter zwischen 30...40 %, selten weniger als 30 %..... | 78 |
| Abbildung 60: Temperatur & relative Luftfeuchte in einem weiteren Wohnzimmer im 2. Stock..... | 79 |
| Abbildung 61: : Temperatur & relative Luftfeuchte in einem weiteren Gastzimmer 4. Stock. | 80 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 62: Die Lüftungsanlagen im Wohnhaus fördert teilweise sehr kalte (Winter) oder zu warme (Sommer) Zuluft. Die Ursache konnte noch nicht endgültig geklärt werden. | 81 |
| Abbildung 63: Lüftungsanlage Wohnhaus Außenluft..... | 81 |
| Abbildung 64: Lüftungsanlage Wohnhaus: Abluft..... | 82 |
| Abbildung 65: Lüftungsanlage Wohnhaus: Fortluft..... | 82 |
| Abbildung 66: Zuluft Wohnung – nach der WP also Winter geheizt und Sommer gekühlt. | 83 |
| Abbildung 67: Wohngebäude Abluft wie Raumluf. Zeitweise unbeheizt, weil unbewohnt | 83 |
| Abbildung 68: Stromverbrauch Wohngebäude gesamt | 84 |
| Abbildung 69: Stromzähler Wohngebäude 1. Stock..... | 84 |
| Abbildung 70: Stromzähler Wohngebäude 2. Stock..... | 85 |
| Abbildung 71: Stromzähler Wohngebäude 3. Stock..... | 85 |
| Abbildung 72: Stromzähler Wohngebäude 4. Stock rechts..... | 86 |
| Abbildung 73: Stromzähler Wohngebäude 4. Stock links..... | 86 |
| Abbildung 74: Stromzähler zentrale WP Luftkonditionierung Wohngebäude | 87 |
| Abbildung 75: Stromzähler zentrale WP Flächenheizung und Kühlung Wohngebäude | 87 |
| Abbildung 76: Stromzähler für WP in der großen Wohnung..... | 88 |
| Abbildung 77: Stromzähler für WP der kleinen Wohnung im 2. Stock. Die Zeiten, in denen gekühlt und geheizt wurde lassen sich gut erkennen. Genauere Auswertung mit geeigneten Mittelwerten..... | 88 |
| Abbildung 78: Webcam, Fotos Verschattung Wohngebäude | 89 |
| Abbildung 79: Webcam, Fotos Verschattung Wohngebäude | 90 |

5.2 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Monatsmittelwerte für Strahlung (global horizontal) und Außentemperatur im Jahr 2016. Oben: Messwerte Wetterstation ZhuoZhou, unten Standard-Wetterdatensatz [PHPP] Ganz oben sind die entsprechenden Abweichungen zwischen den Datensätzen aufgelistet | 27 |
| Tabelle 2: Auflistung der Sensoren 'Temperatur und Feuchte' in den Innenräumen im Bürogebäude | 29 |
| Tabelle 3: Auflistung der Sensoren 'Temperatur und Feuchte' in den vier Kanälen des zentralen Lüftungssystems des Bürogebäudes. | 36 |
| Tabelle 4: PHPP- Varianten für Bürogebäude ZhuoZhou. Um die Wirkung der wichtigsten Nutzungs-Parameter übersichtlich darstellen zu können wurden im PHPP verschiedene Varianten für das Bürogebäude ZhuoZhou gerechnet. Oben sind die Ergebnisse aufgelistet für den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Entfeuchtung, unten die gewählten Annahmen. Variante 3 entspricht der gebauten und als solche zertifizierte Konfiguration, in Variante 4 wurde der gemessene Wetterdatensatz eingerechnet. Variante 5 und 6 berücksichtigen das Nutzerverhalten. | 37 |
| Tabelle 5: Auflistung der gemessenen Energieverbräuche. Verbrauch an elektrischer Energie für Bürokommunikation und Beleuchtung in einzelnen Zonen geordnet nach Winter und Sommerperioden..... Letzte Zeile: Stromverbrauch der Lüftung. Dieser wurde später reduziert auf etwa 0.55 Wh/m ³ | 39 |
| Tabelle 6: Auflistung der gemessenen Energieverbräuche. Verbrauch an elektrischer Energie für die Wärmepumpen für Heizung, Kühlung und Entfeuchtung geordnet nach Winter und Sommerperioden. Unten Jahresarbeitszahlen bzw. 'seasonal performance factor' (SPF) der Wärmepumpen. Bemerkenswert, dass die Flächenkühlung im Sommer eine recht niedrige Arbeitszahl hat. Ähnliches gilt für die Luftheizung im Winter. Aus diesem Grund wurde im zweiten Winter 2016/17 die Luftheizung ganz abgeschaltet. Die Flächenkühlung wird im Sommer 2017 ebenfalls abgeschaltet werden. Ein Grund dafür ist, dass bei dem jeweils kleinen Beitrag zur Heizung und Kühlung die Hilfsstromverbräuche für Zirkulationspumpen und Regelungstechnik bei dem kleinen Nutzenergiebetrag stark auswirken und die Arbeitszahlen reduzieren. | 41 |
| Tabelle 7: mittlere Temperaturen und Luftfeuchte im Wohnhaus..... | 46 |
| Tabelle 8: mittlere Temperaturen und Luftfeuchte in den verschiedenen Lüftungsgeräten. Für die zentrale Lüftungsanlage lässt sich aus den Temperaturen die WRG abschätzen. Die Lüftungsgeräte in den Wohnungen sind Kombi-Geräte, die mit ggf. mit Umluft im Winter heizen und im Sommer kühlen und entfeuchten. | 46 |
| Tabelle 9: Energieverbrauch elektrisch und thermisch für die zentrale WP im Wohnhaus. Die Jahresarbeitszahlen für den Winter sind sehr gut, die Werte im Sommer haben noch Optimierungspotential, sind aber akzeptabel. Für die WP in den Wohnungen im 2. und 3. Stock liegen nur elektrische Energieverbräuche vor..... | 47 |
| Tabelle 10: Stromverbrauch Haushaltsgeräte und Beleuchtung. Wie beim Bürogebäude sind auch im Wohngebäude die internen Wärmegewinne aus den Stromverbräuchen geringer als üblicherweise (2.1 W/m ²) weil das Gebäude anfangs nur teilweise belegt war. Unten: die Stromverbräuche der zentralen Lüftung sind | |

| | |
|--|----|
| anfangs sehr hoch (0.9 Wh/m ³). Dies konnte jedoch im Laufe des Jahres 2016 deutlich reduziert werden auf ≤ 0.5 Wh/m ³ | 48 |
| Tabelle 11: PHPP Nachweisblatt für das Bürogebäude wie es ursprünglich geplant, gebaut und als Passivhaus zertifiziert wurde. Standard-Wetterdatensatz Beijing und Standard-Innenraumkonditionen Die formalen Anforderungen (Passivhauskriterien) werden damit erfüllt. Zu den gewählten Werten der wichtigsten Parameter siehe auch Tabelle 4. | 75 |
| Tabelle 12: PHPP Nachweisblatt für das Bürogebäude mit dem Wetterdatensatz aus der Messung und den Mittelwerten der gemessenen Innenraumtemperaturen. Heizenergie- und Kühlenergieverbrauch sind erhöht, die Abweichungen lassen sich jedoch plausibel erklären. Zu den gewählten Werten der wichtigsten Parameter siehe auch Tabelle 4. | 76 |

5.3 Literaturverzeichnis

- [AKKP 52] Feist, W. (Hrsg.) Betriebsführung und Optimierung von Lüftungsanlagen, Protokollband Nr. 52 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2017
- [BMVIT 2015] The monitoring research project was financial supported by the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology (BMVIT). Some earlier publications about the project were given on several conferences, see for example [Kaufmann 2017]
- [ChinaKlima] Feist, W. (Hrsg.), Passive Houses in Chinese Climates, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2016
- [Kaufmann 2001] Kaufmann, B., Feist, W., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 21, Vergleich von Messung und Simulation am Beispiel eines Passivhauses in Hannover-Kronsberg, gefördert von der Europäischen Kommission, Directorate-General XVII, Energy, Thermie, Projekt-Nummer: BU/0127/97, Hannover 2001, weitere Informationen siehe auch unter www.cepheus.de
- [Kaufmann 2012] Kaufmann, B., Lepp, L., Schnieders, J., Schulz, T., Feist, W., A Passive House Building for hot and humid Southern China – Herausforderung Kühlung und Entfeuchtung – ein Passivhaus für feuchtwarme Regionen: Südchina Tagungsband zur 16. Europäischen Passivhaustagung, Hannover 2012.
- [Kaufmann 2012] Kaufmann, B., Feldmessungen an Lüftungsanlagen. In Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Protokollband 45: Richtig messen in Energiesparhäusern, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012
- [Kaufmann 2017] Kaufmann, B. Schöberl, H., Michulec, D.; Monitoring Office Passive House building in ZhuoZhou, China. In: Proceedings of the 21st Passive House Conference, Passive House Institute, Darmstadt, 2017
- [Peper 2001] Peper, S., Feist, W., Kah, O., CEPHEUS-Projektinformation Nr. 19, Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg, Meßtechnische Untersuchung und Auswertung, Hannover 2001
- [Peper 2008] Peper, S., Passivhaus-Heizsysteme in der Praxis, in Protokollband Nr. 38, Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser, Darmstadt, 2008.
- [Peper 2009] Peper, S., Grove-Smith, J., Feist, W., Sanierung mit Passivhauskomponenten, Messtechnische Untersuchungen und Auswertung Tevesstraße Frankfurt a.M., Darmstadt, 2009, download als pdf-Dokument unter www.passiv.de
- [Peper/Feist 2009] Peper, Dipl.-Ing. Søren; Feist, Wolfgang: Gebäudesanierung "Passivhaus im Bestand" in Ludwigshafen / Mundenheim, Messung und Beurteilung der energetischen Sanierungserfolge, Darmstadt, 2009. Im Auftrag der GAG Ludwigshafen, Download unter: www.passiv.de
- [PHPP] Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) mit Handbuch, Darmstadt, Ausgabe 2016

- [Schöberl 2015] Schöberl, H., Michulec, D.; Certified Passive House in China with planning and implementation done by Chinese firms. In: Proceedings of the 19th Passive House Conference, Passive House Institute, Darmstadt, 2015
- [Schnieders 2016] Schnieders, J.: Passive House design in different Chinese climates – it works everywhere. In: Proceedings of the 20th Passive House Conference, Passive House Institute, Darmstadt, 2016.

6 Anhang

Im folgenden werden einige Abbildungen zur Information im Detail dokumentiert.

Kommentare zu Besonderheiten finden sich jeweils bei den Abbildungen.

6.1 Wetterdaten – Strahlungsdaten nach Bereinigung im Detail

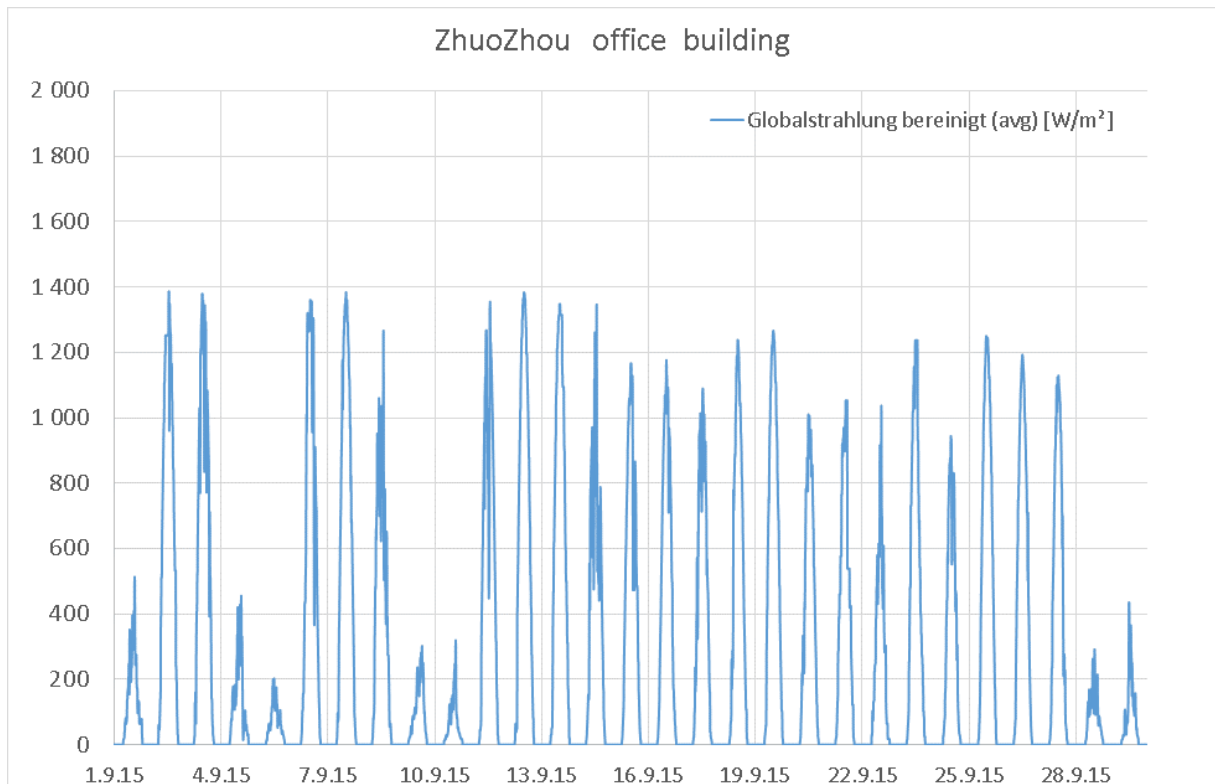


Abbildung 22: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal). Detailausschnitte aus der Messreihe.

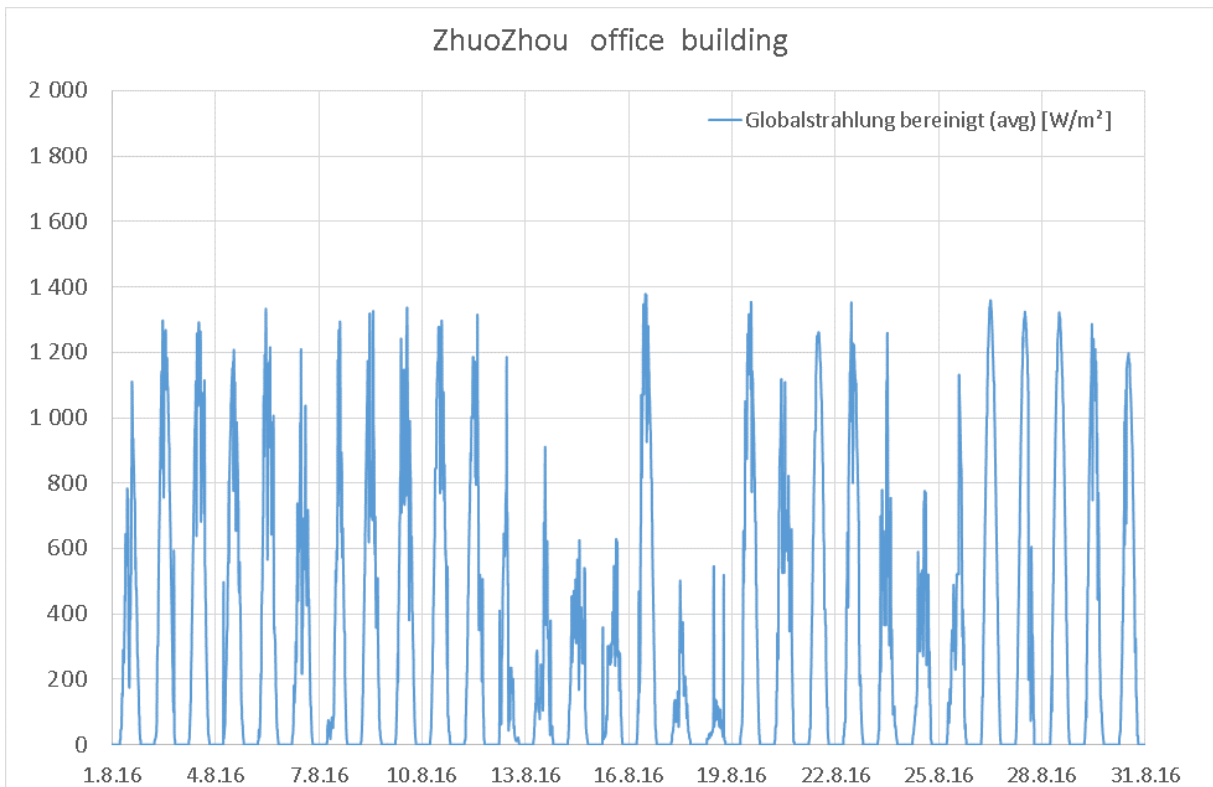


Abbildung 23: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal). Detailausschnitte aus der Messreihe.

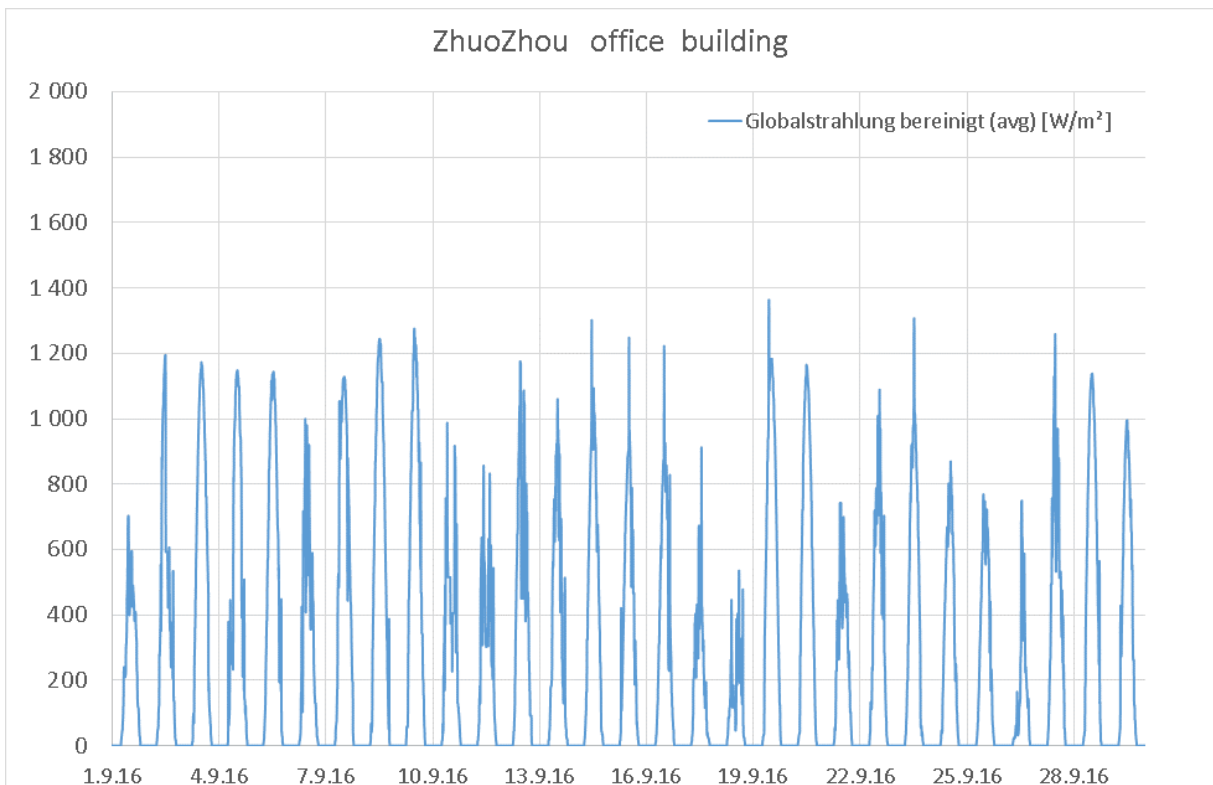


Abbildung 24: Wetterstation: Globalstrahlung (horizontal). Detailausschnitte aus der Messreihe.

6.2 Bürogebäude: Innenraum-Luftkonditionen

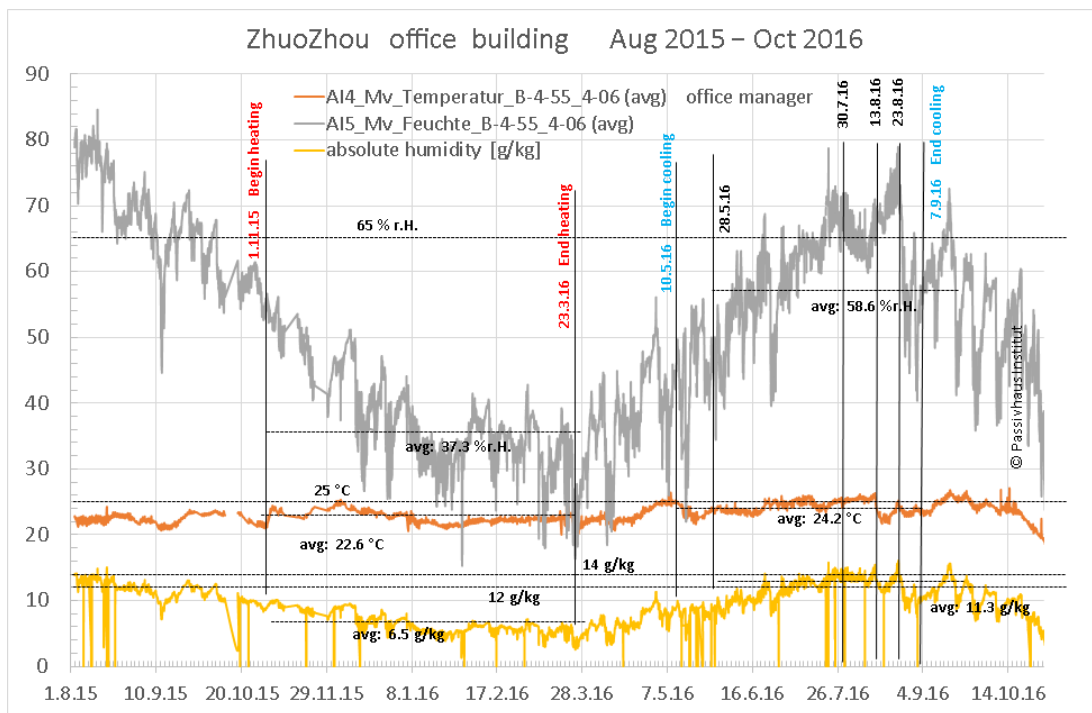


Abbildung 25: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte Büro eines Managers.

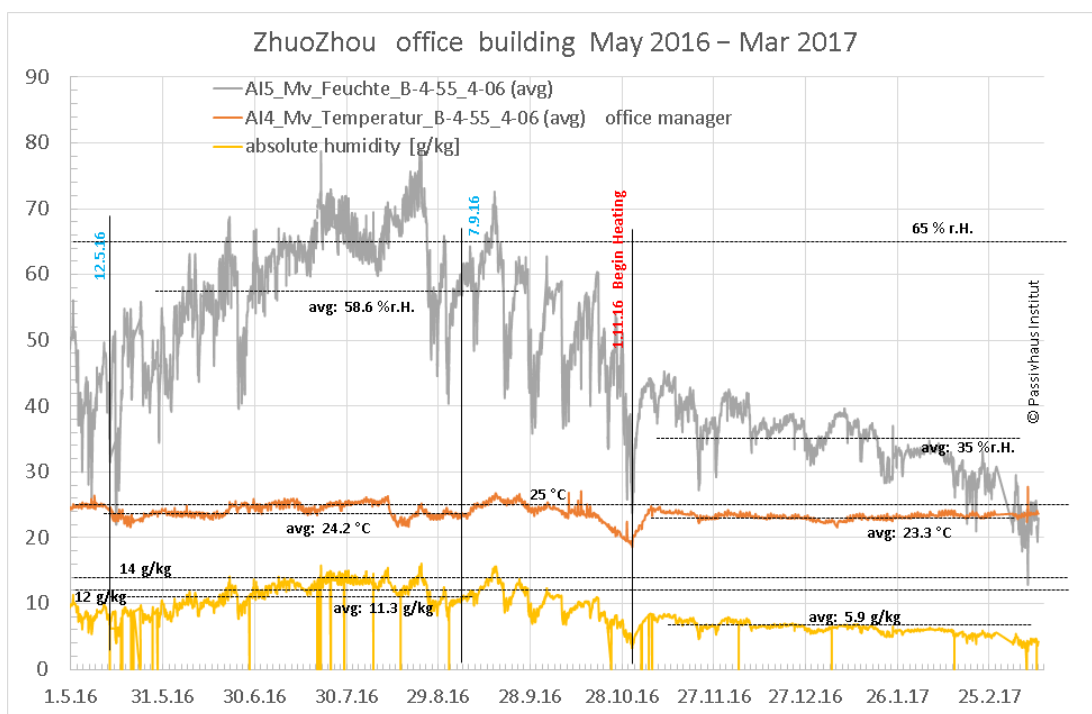


Abbildung 26: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte Büro eines Managers.

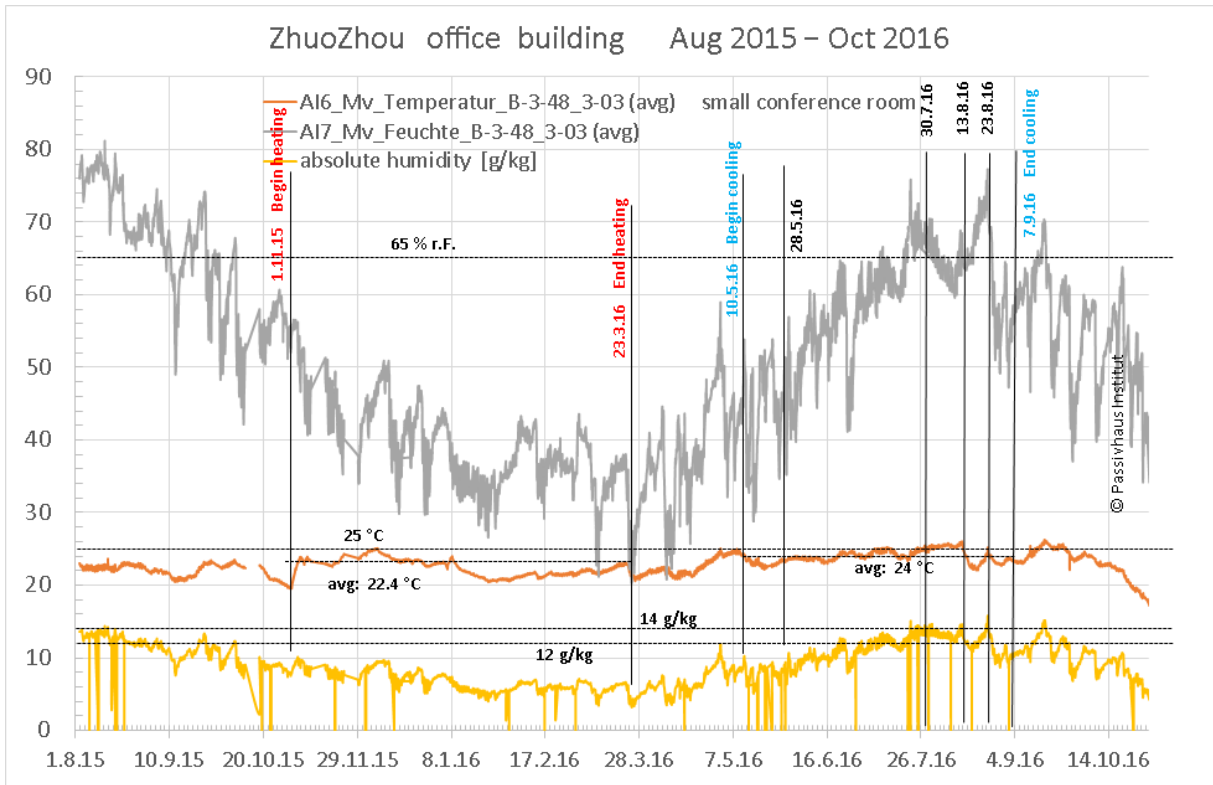


Abbildung 27: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur & relative Luftfeuchte kleiner Konferenzraum.

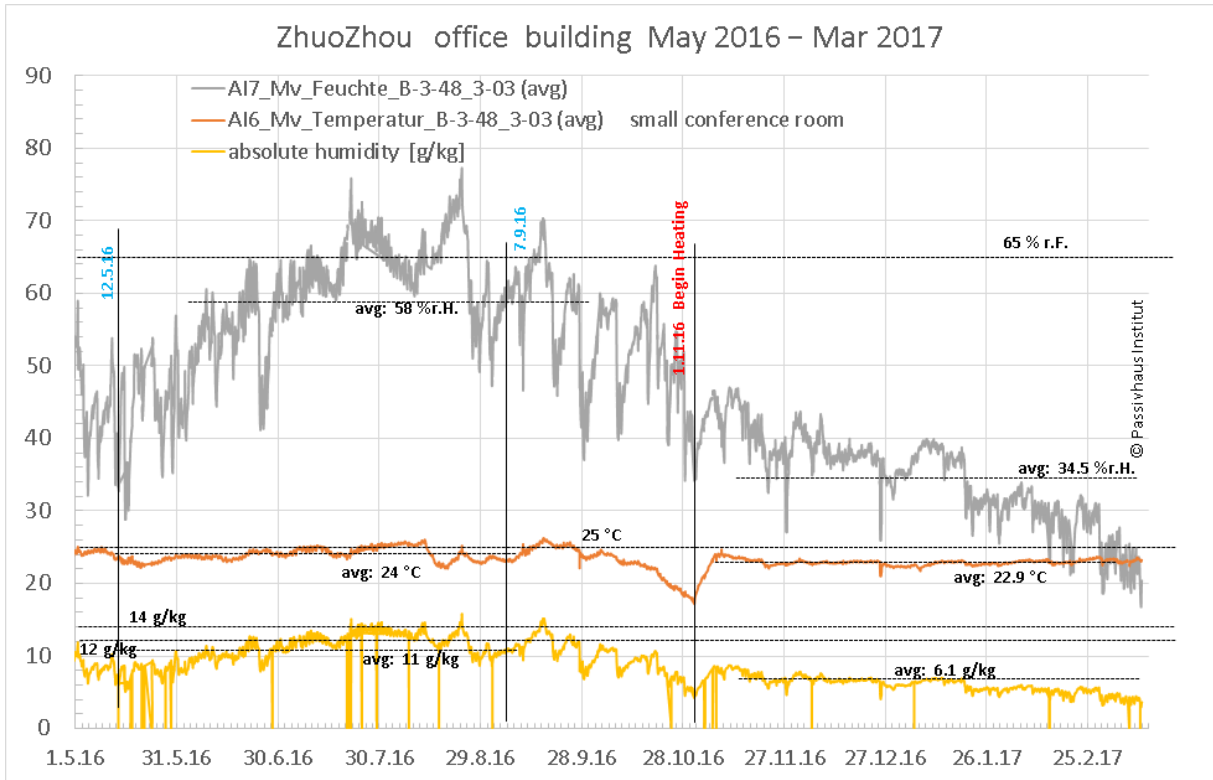


Abbildung 28: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur & relative Luftfeuchte kleiner Konferenzraum.

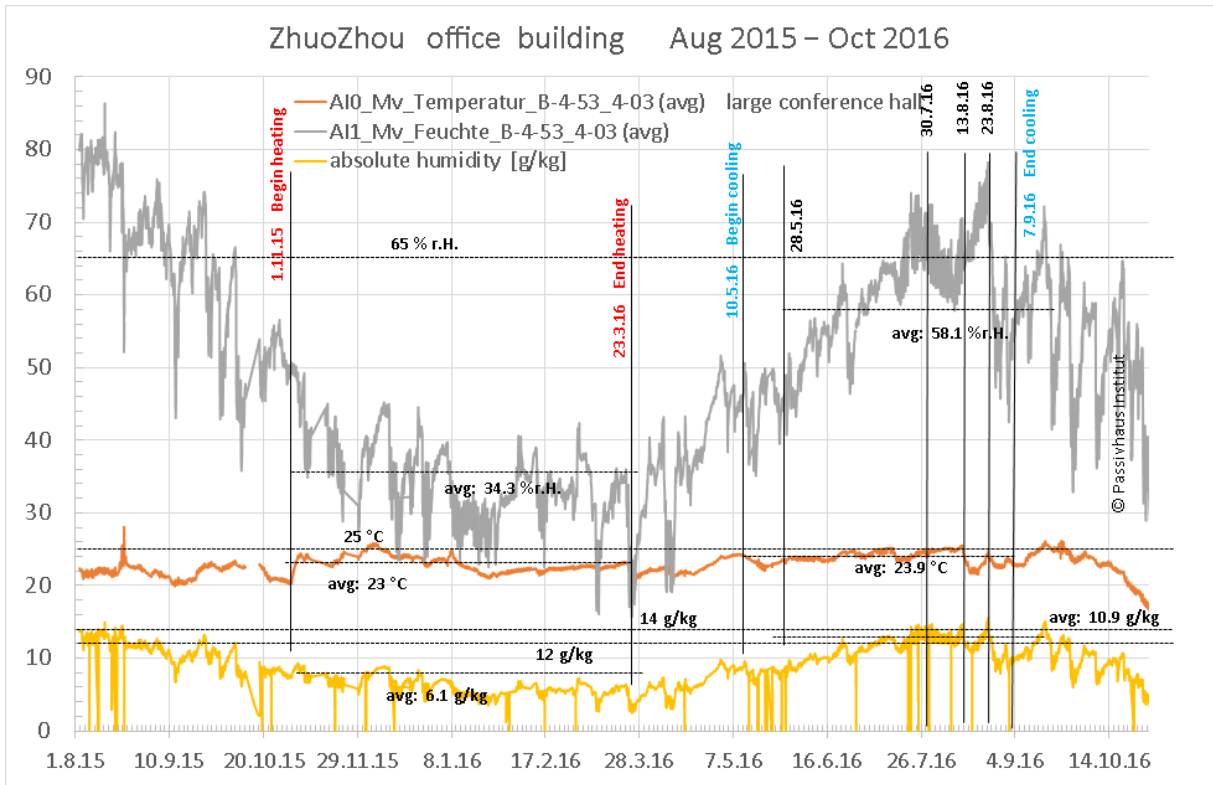


Abbildung 29: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur & relative Luftfeuchte großer Konferenzraum.

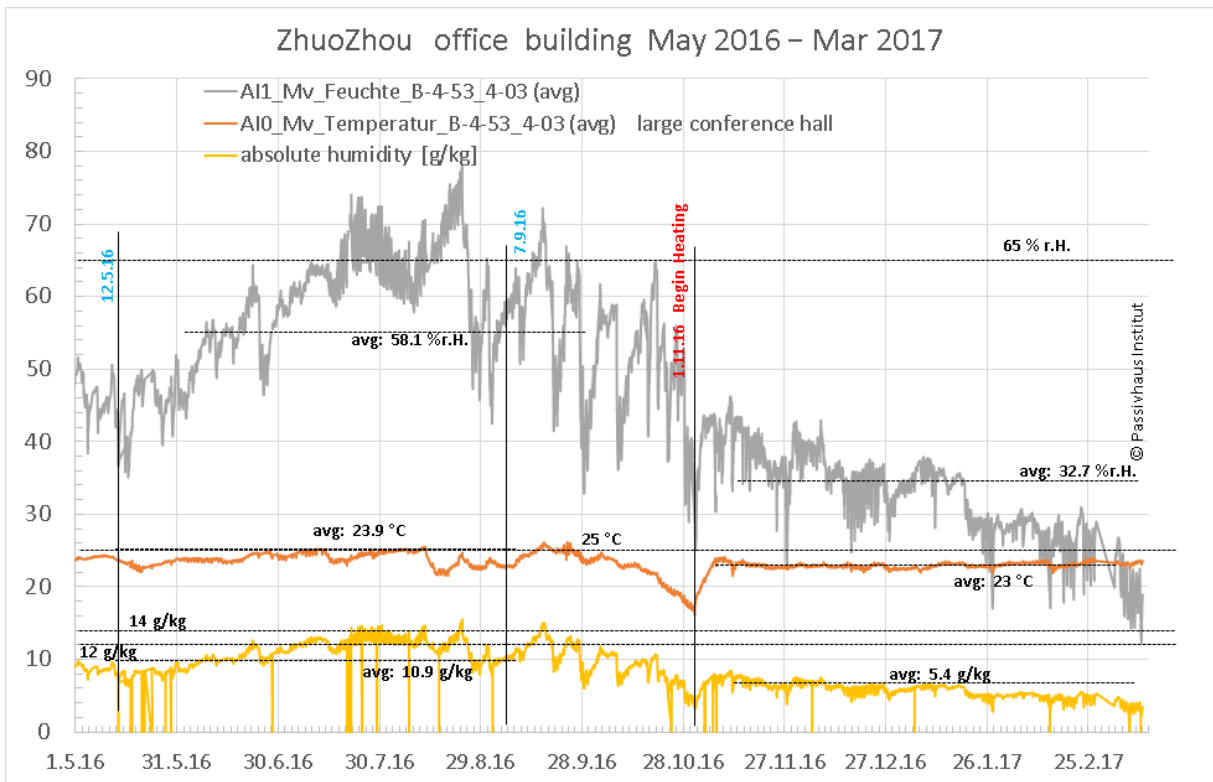


Abbildung 30: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur & relative Luftfeuchte großer Konferenzraum.

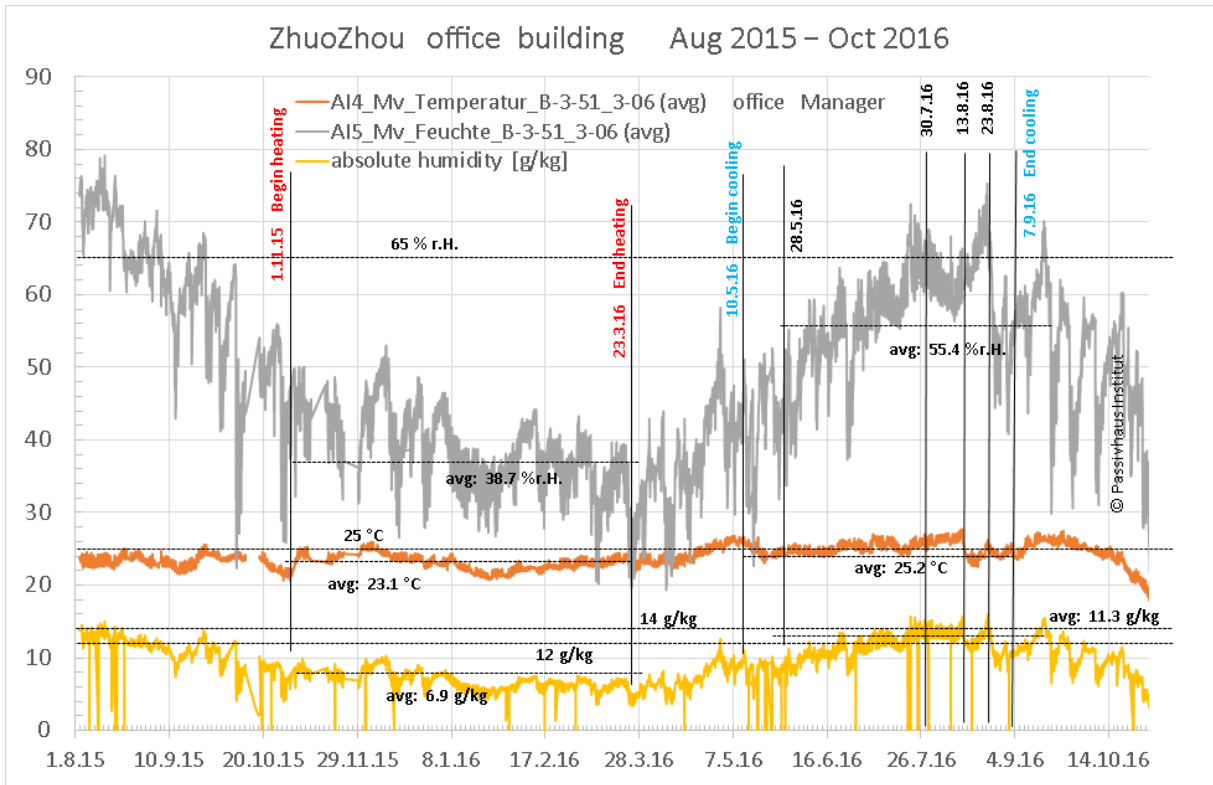


Abbildung 31: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeuchte in einem weiteren typischen Büro-
raum.

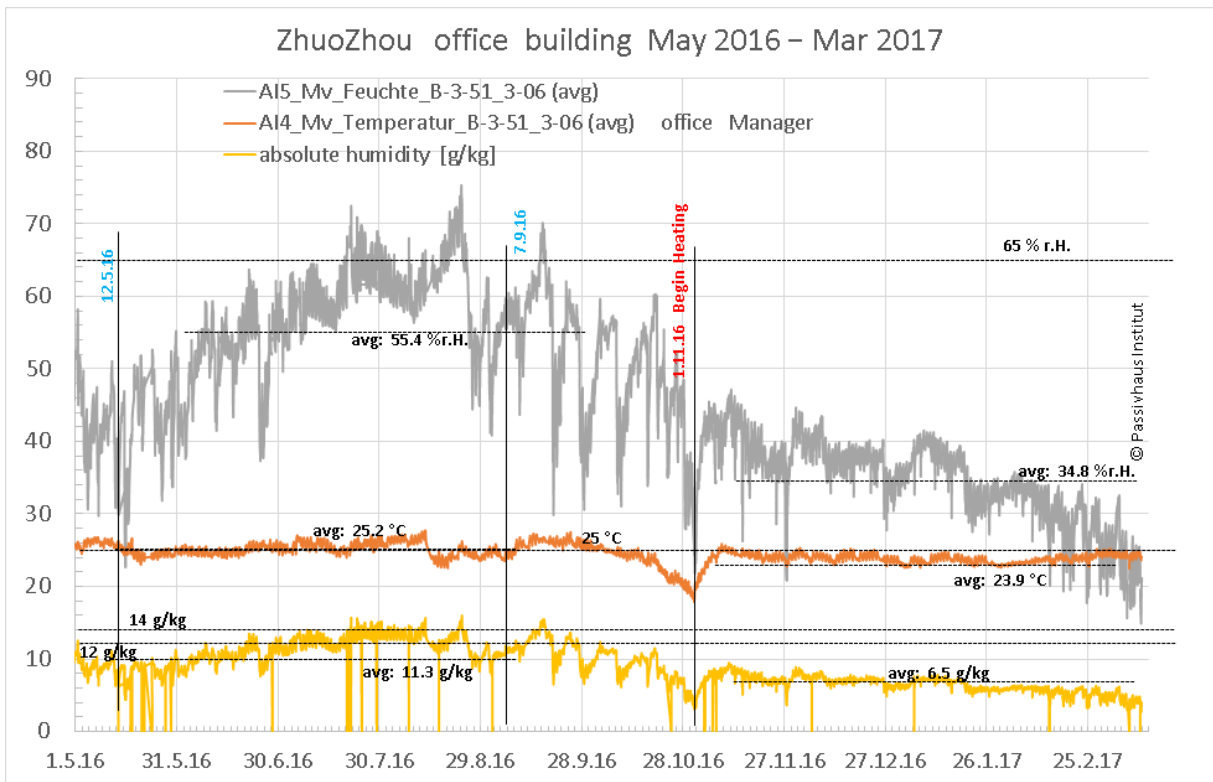


Abbildung 32: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeuchte in einem weiteren typischen Büro-
raum.

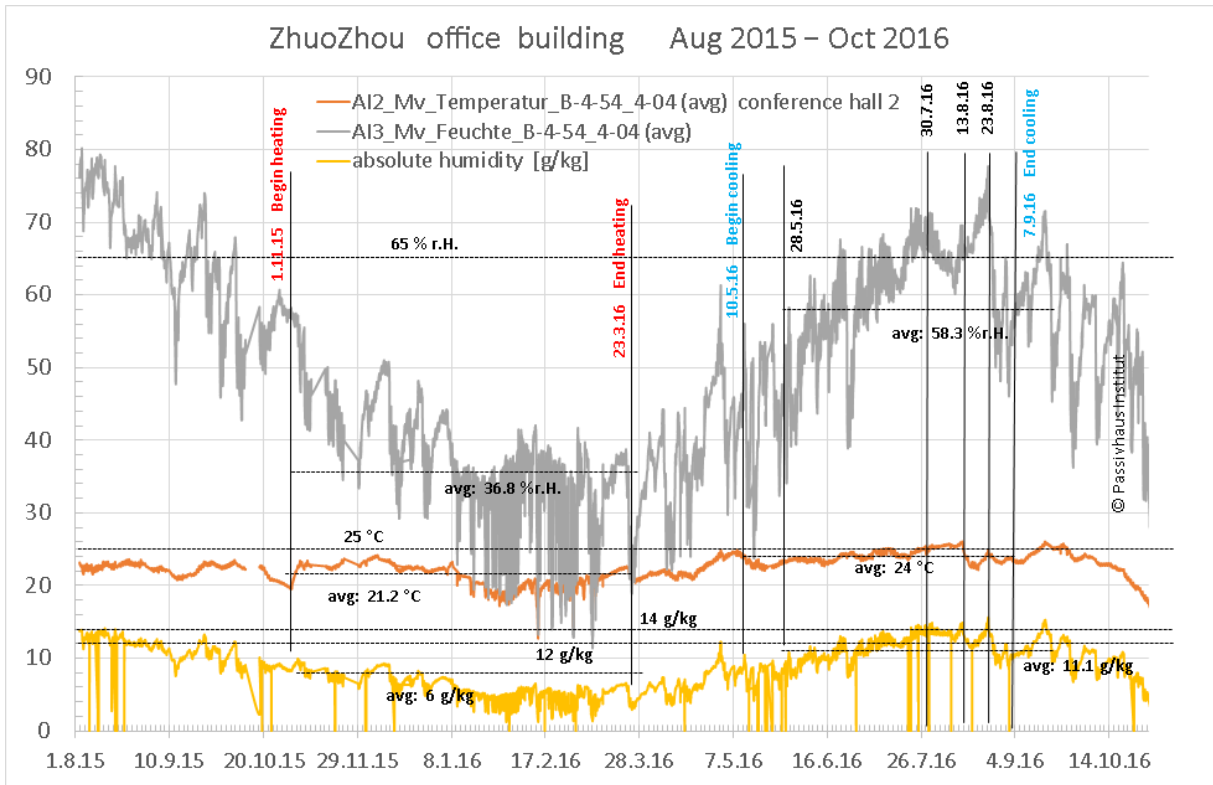


Abbildung 33: Sommer 2015 bis Herbst 2016. Temperatur und Luftfeucht in einem zweiten Konferenzraum.

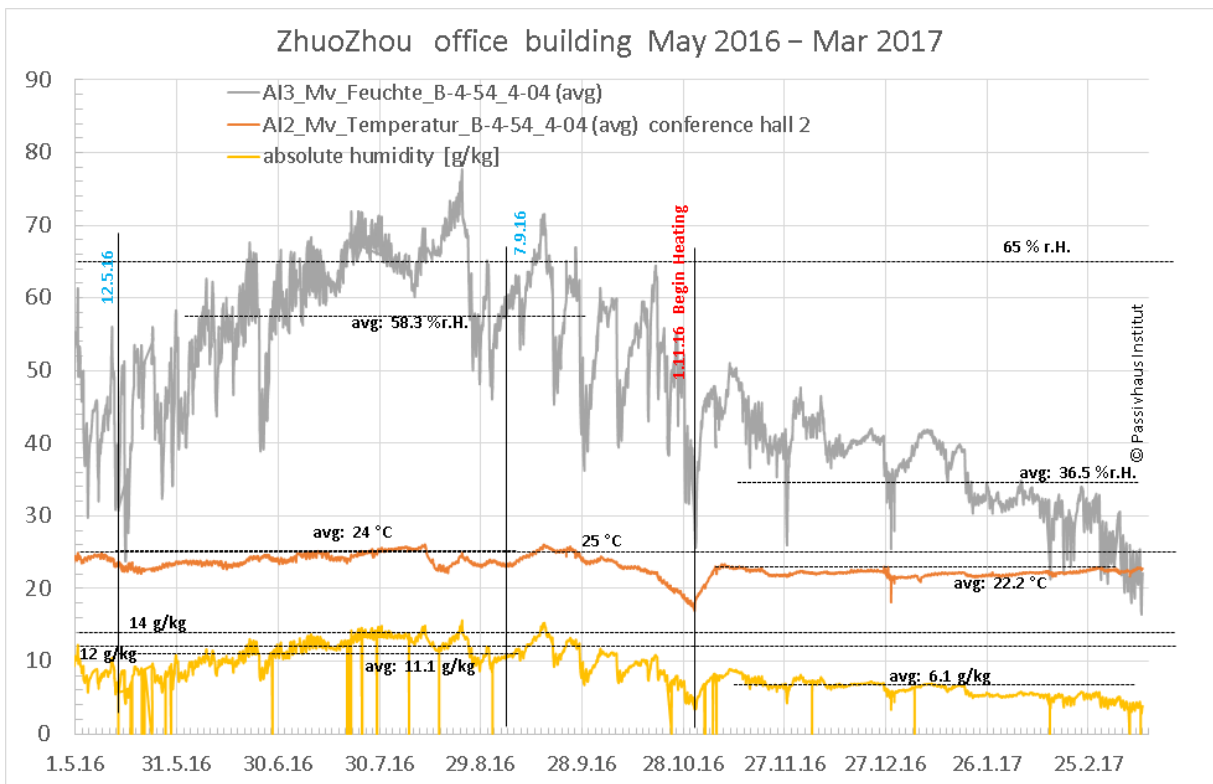


Abbildung 34: Sommer 2016 bis Frühjahr 2017. Temperatur und Luftfeucht in einem zweiten Konferenzraum.

6.3 Bürogebäude: Lüftungsanlage (zentral) Dach

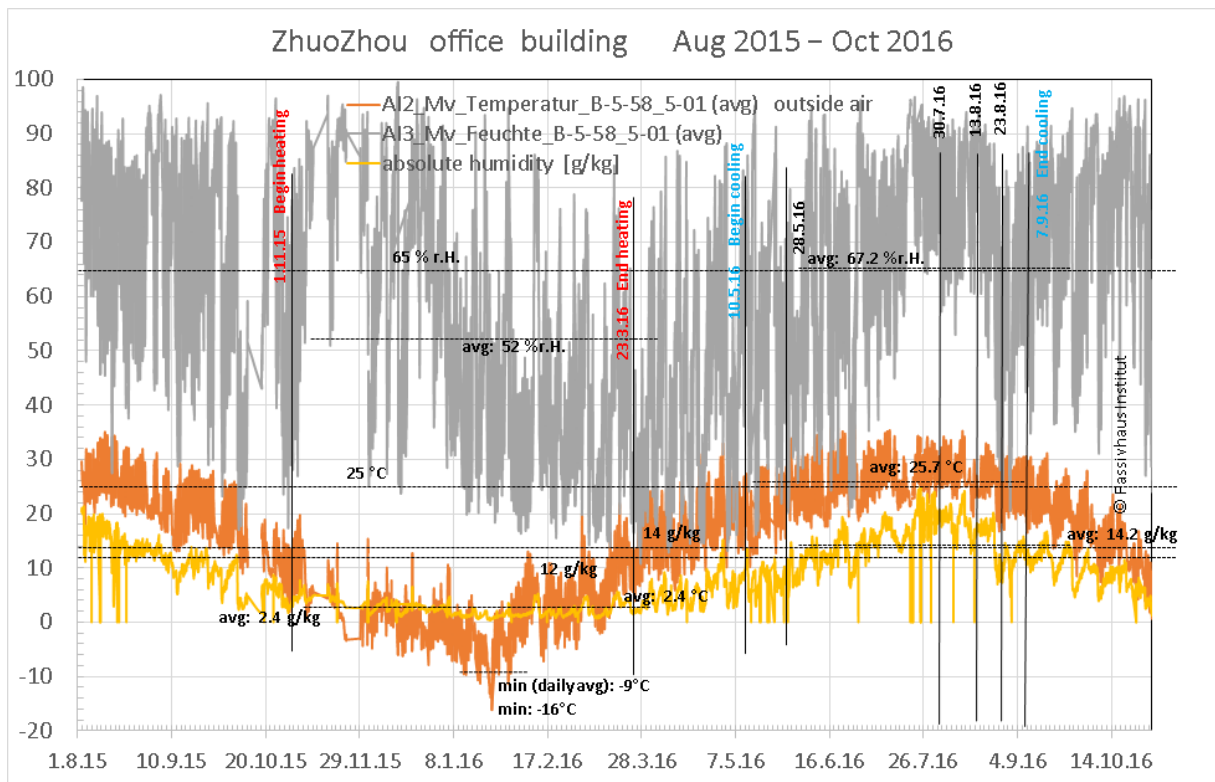


Abbildung 35: Temperatur & relative Luftfeuchte Außenluft Messung Ansaugung Außenluft Lüftungsanlage Aug 2015 bis Oktober 2016 im Überblick.

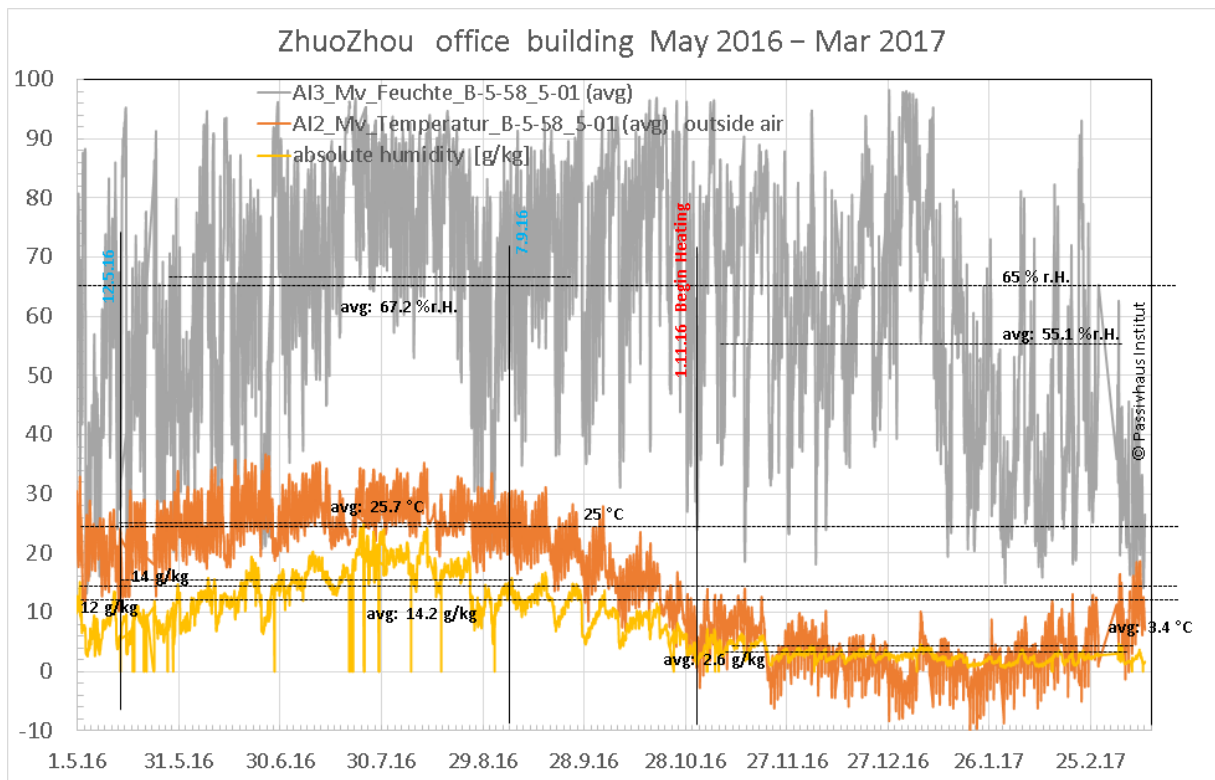


Abbildung 36: Temperatur & relative Luftfeuchte Außenluft Messung Ansaugung Außenluft Lüftungsanlage im Sommer 2016 bis Frühjahr 2017 im Überblick.

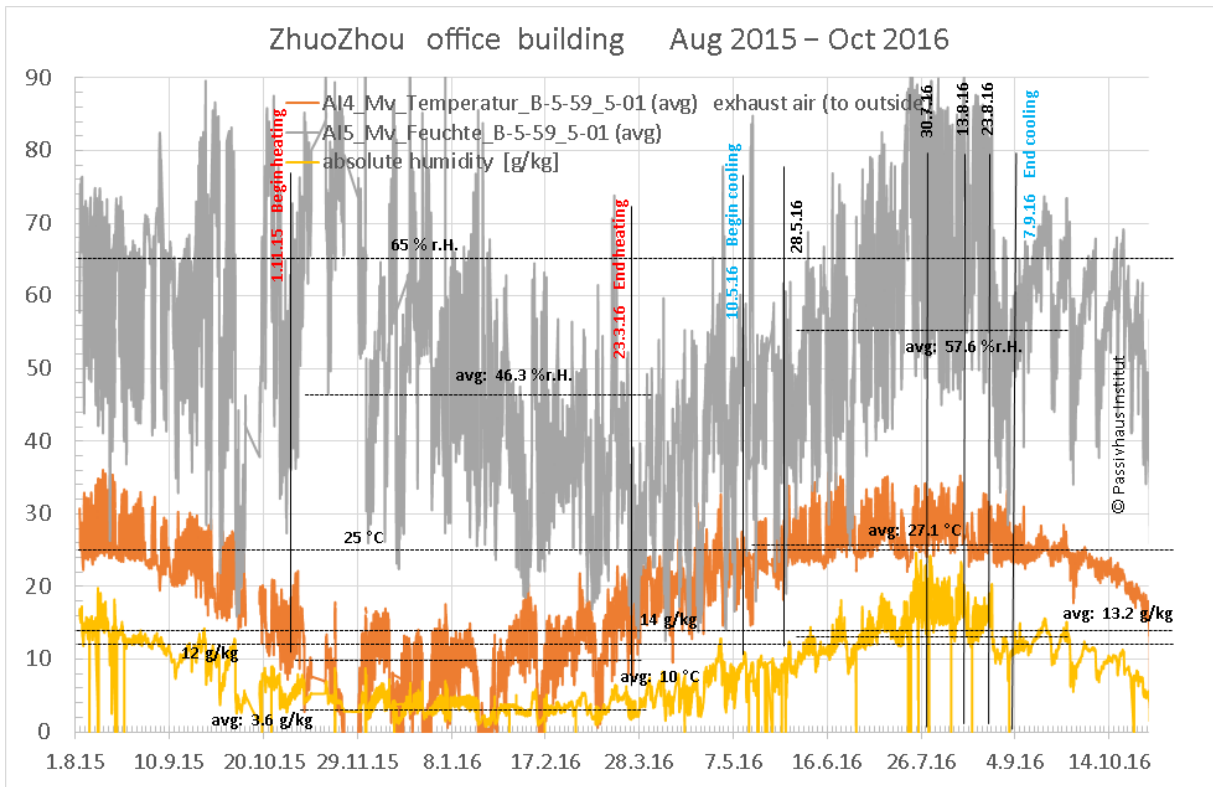


Abbildung 37: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Fortluft. Aug 2015 bis Okt. 2016. Fortluft aus dem zentralen Lüftungsgerät Bürogebäude.

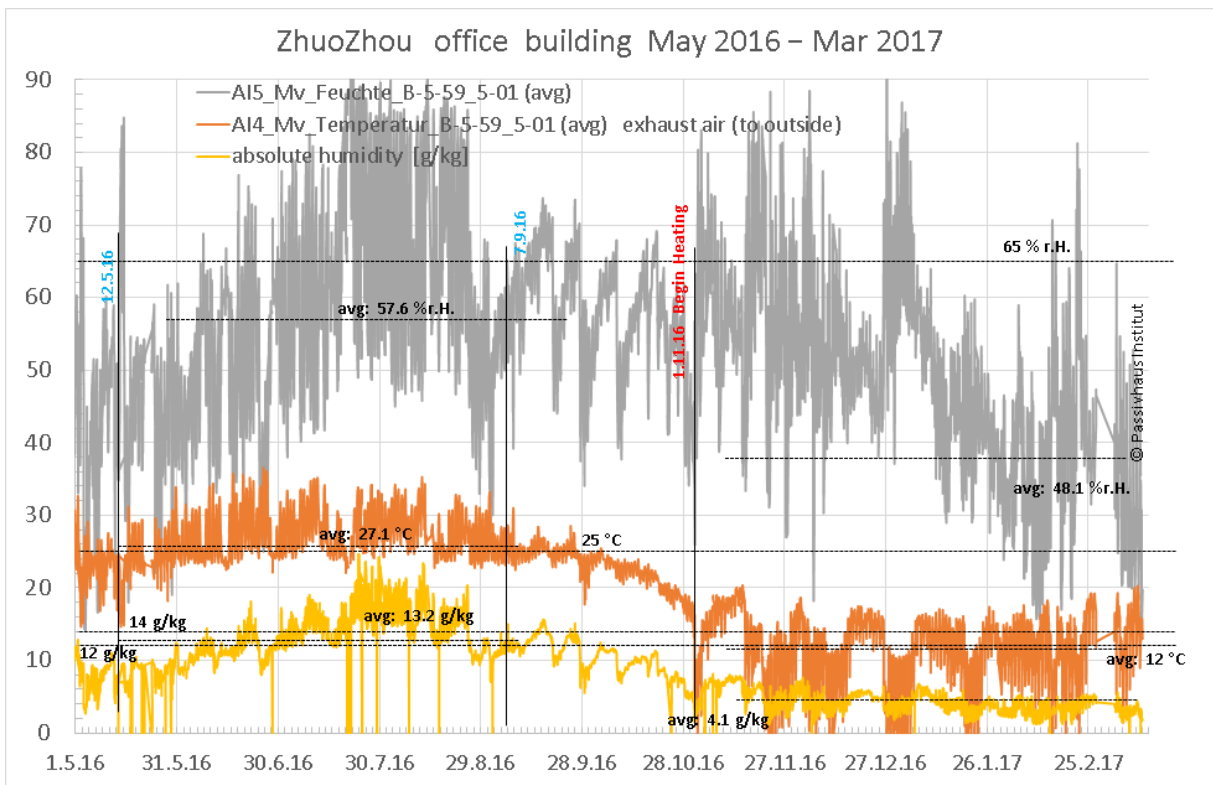


Abbildung 38: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Fortluft. Mai 2016 bis März 2017

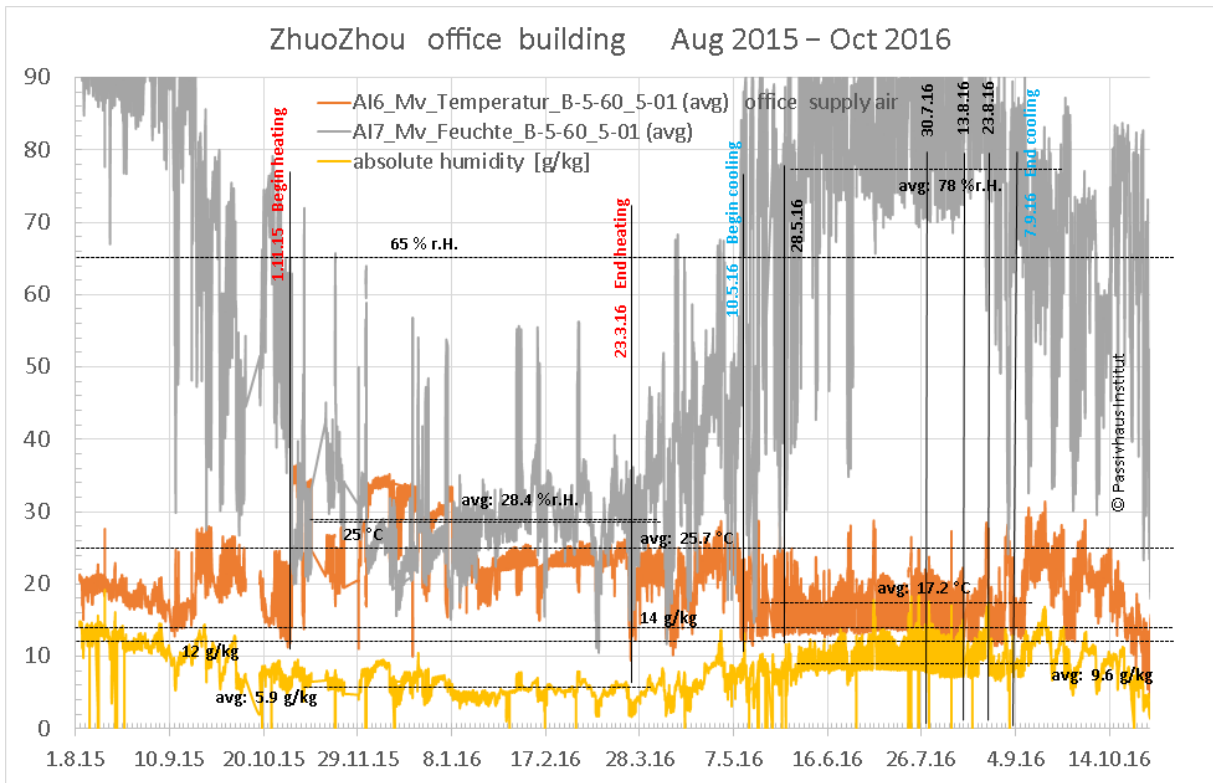


Abbildung 39: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft. Aug 2015 bis Okt. 2016. Zuluft aus Lüftung bzw. Luftheizung Bürogebäude (zentral) Man erkennt deutlich, dass im November anfangs des Winters mit der Zuluft stark geheizt wurde. Dies könnte ein Grund für die hohen Stromverbräuche für Heizung sein (ungünstige COP-Werte wegen hoher Lufttemperatur). Ab Januar 2016 ist die Zulufttemperatur reduziert. Im Sommer sind die Zulufttemperatur und deren Feuchte auf Entfeuchtungs-Betrieb optimiert.

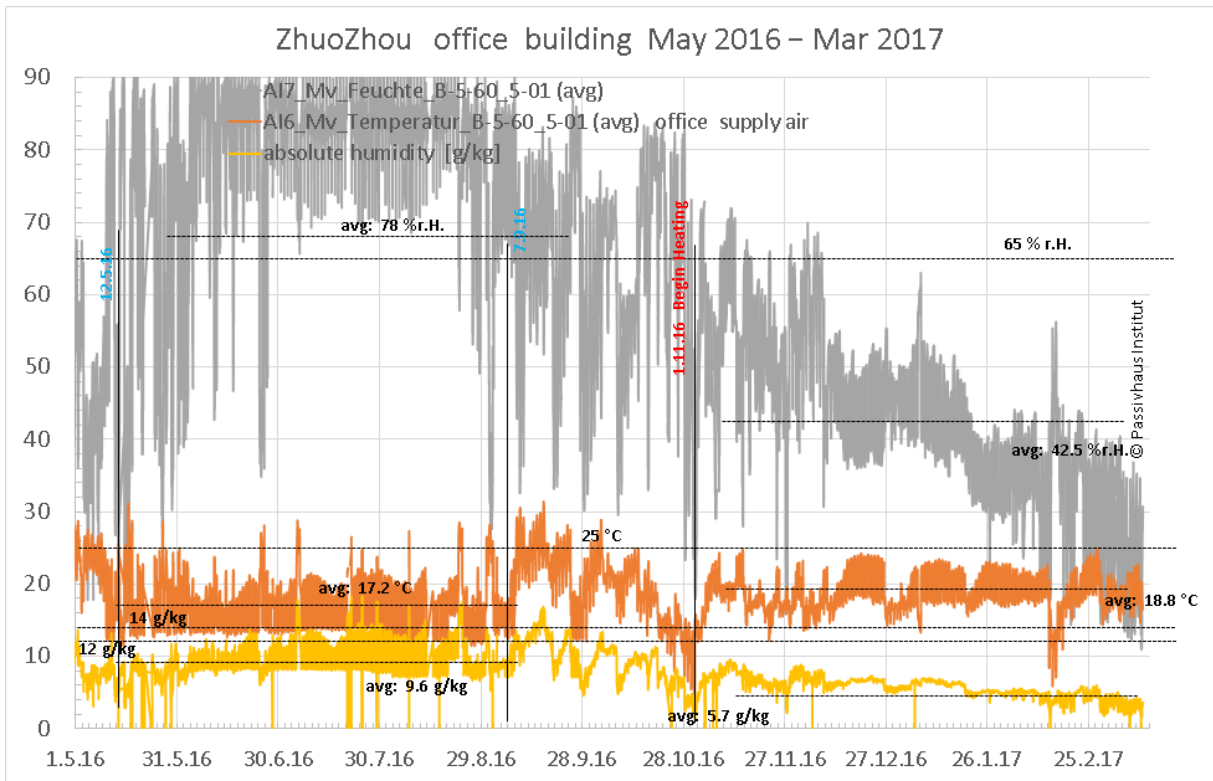


Abbildung 40: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft Sommer 2016 bis Frühjahr 2017.

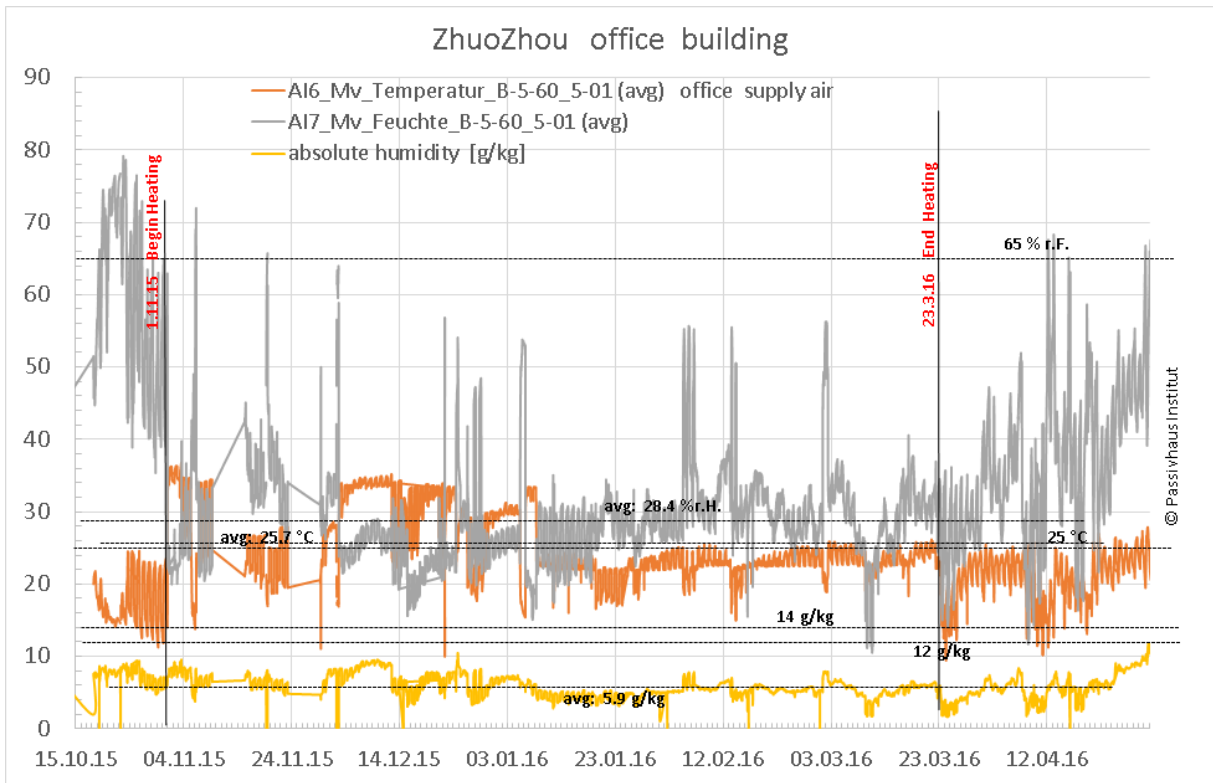


Abbildung 41: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft Winter 15/16

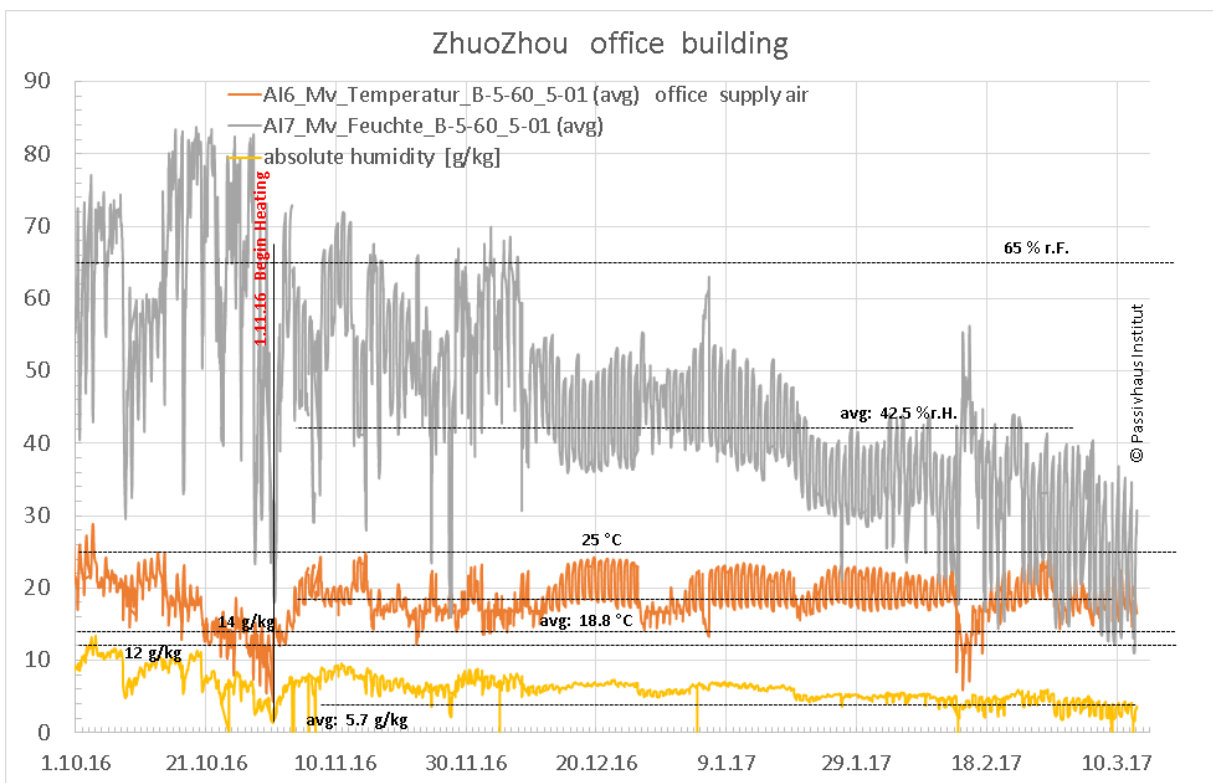


Abbildung 42: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Zuluft Winter 16/17.

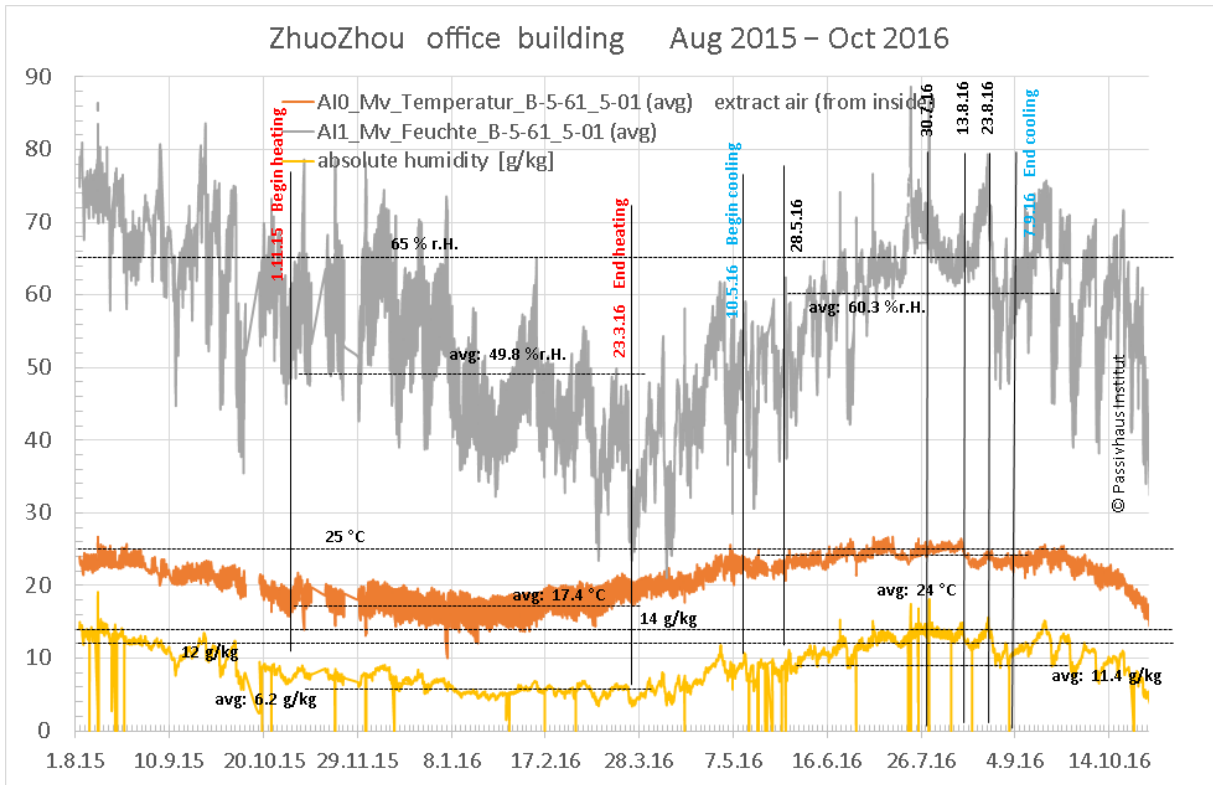


Abbildung 43: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft. Aug 2015 bis Okt. 2016. Abluft zum zentralen Lüftungsgerät aus dem Bürogebäude. Man erkennt deutlich, dass die Ablufttemperatur im Laufe des Winters mit 17,4°C stark reduziert ist gegenüber den Raumtemperaturen (22°C im Mittel in allen Zonen). Das bedeutet, dass die WRG nicht richtig funktionieren kann, weil nicht die volle Raum-Luft-Temperatur an der WRG ankommt. Grund: die Abluft wird im Laufe der Kanalführung (über Dach) schon vor der WRG abgekühlt. Im Sommer entspricht die Ablufttemperatur und deren Feuchte etwa der Raum-Luft-Temperaturen.

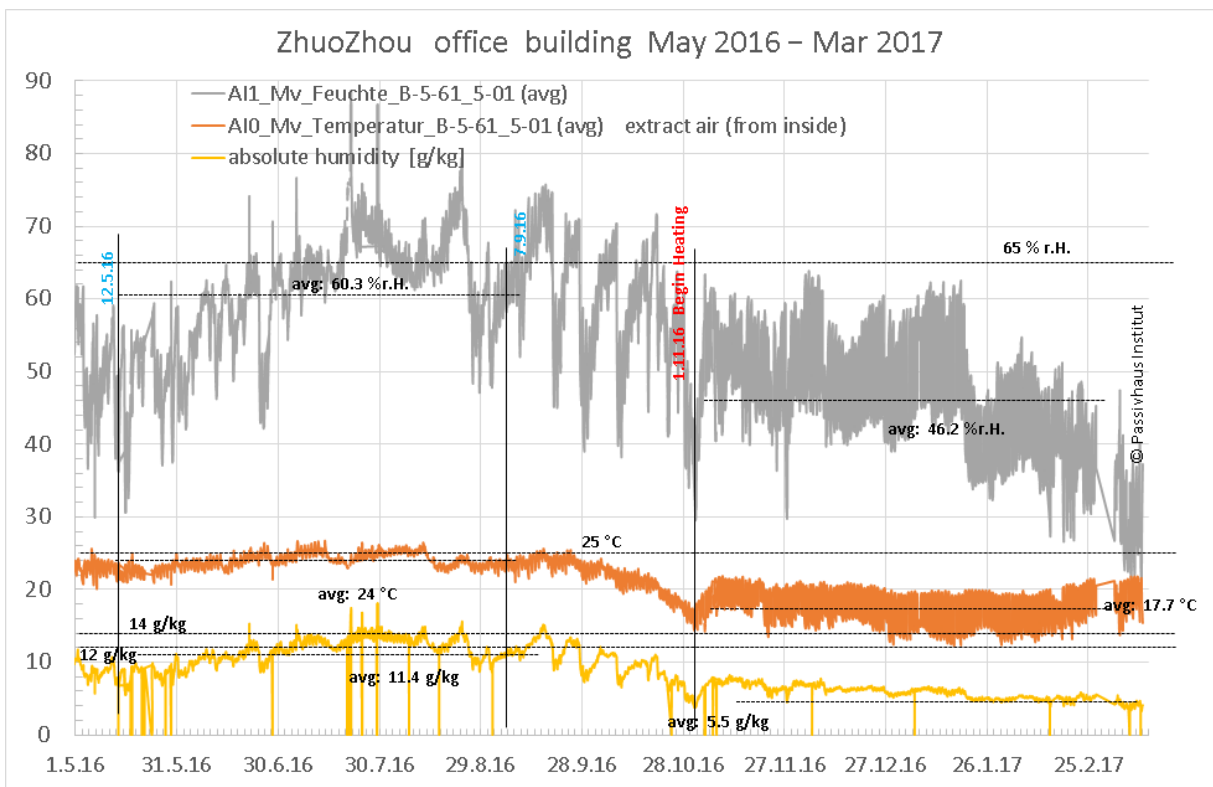


Abbildung 44: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft Sommer 2016 bis Frühjahr 2017.

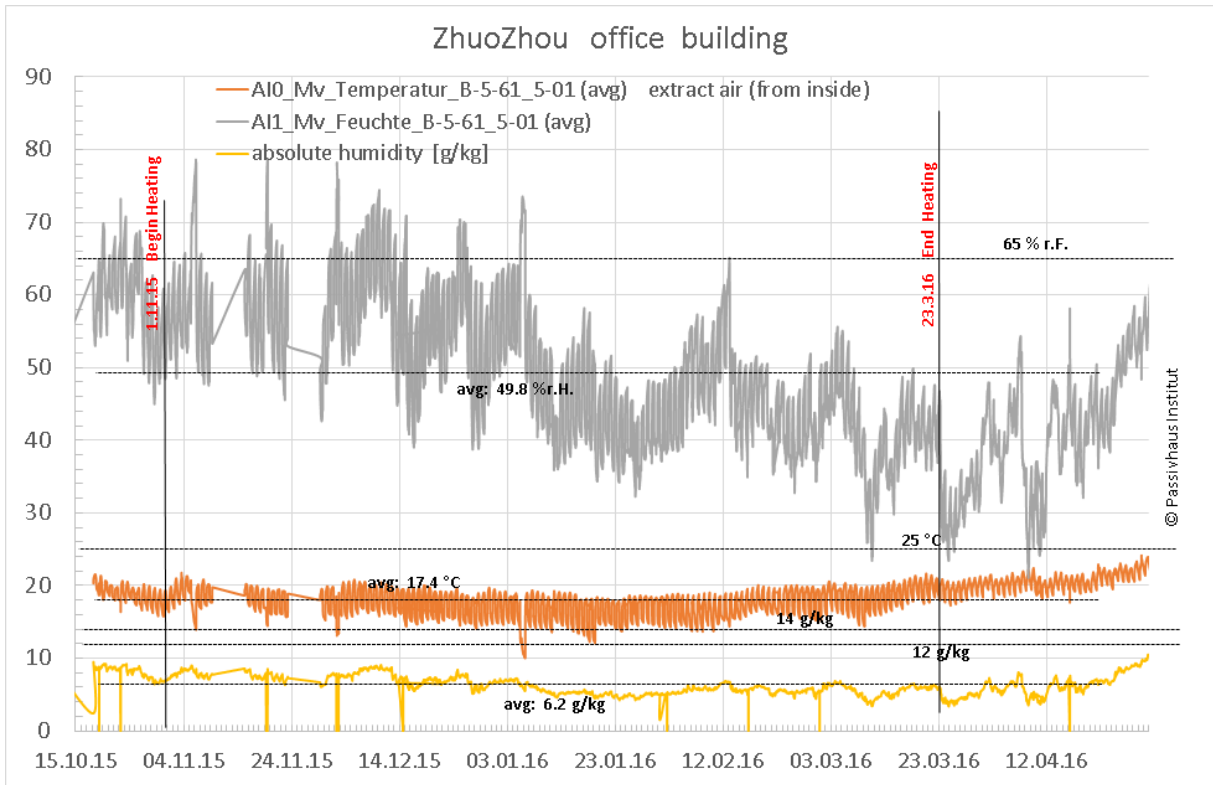


Abbildung 45: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft Winter 15/16

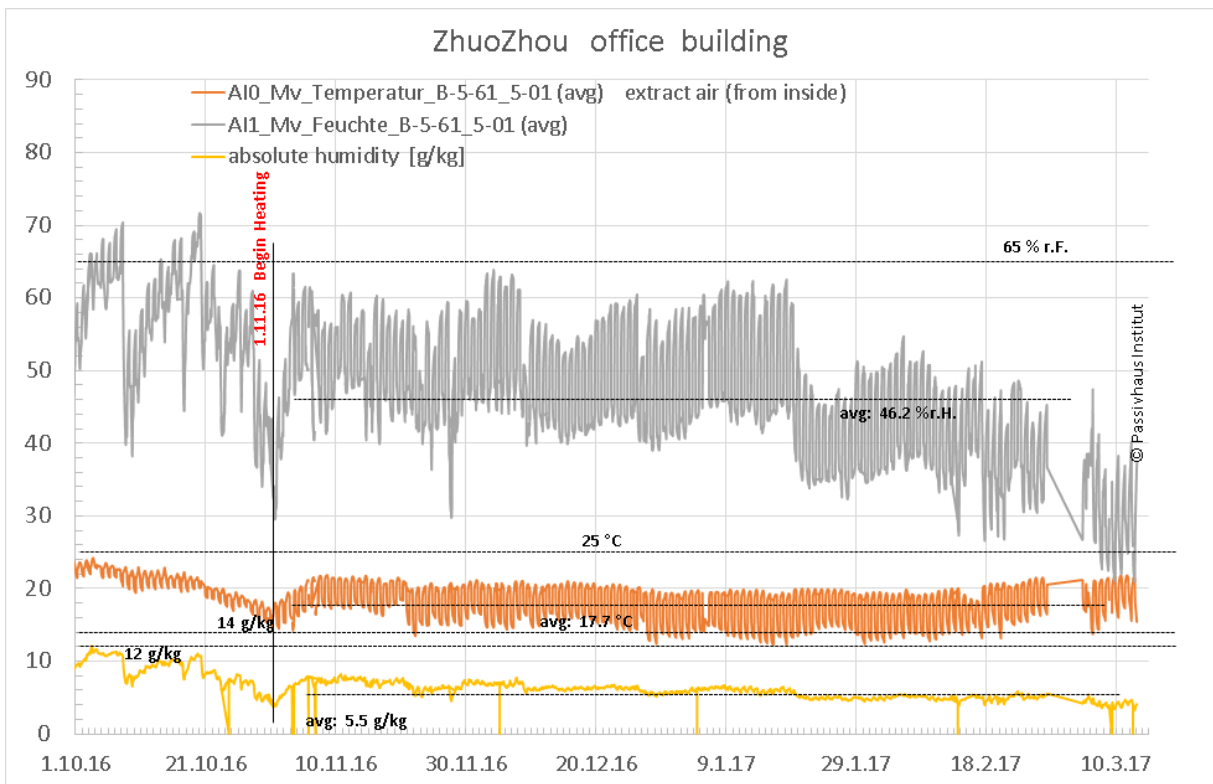


Abbildung 46: Lüftung Bürogebäude Dach. Lüftungsanlage Abluft Winter 16/17.

6.4 Bürogebäude: Verbrauch elektrische Energie zonenweise

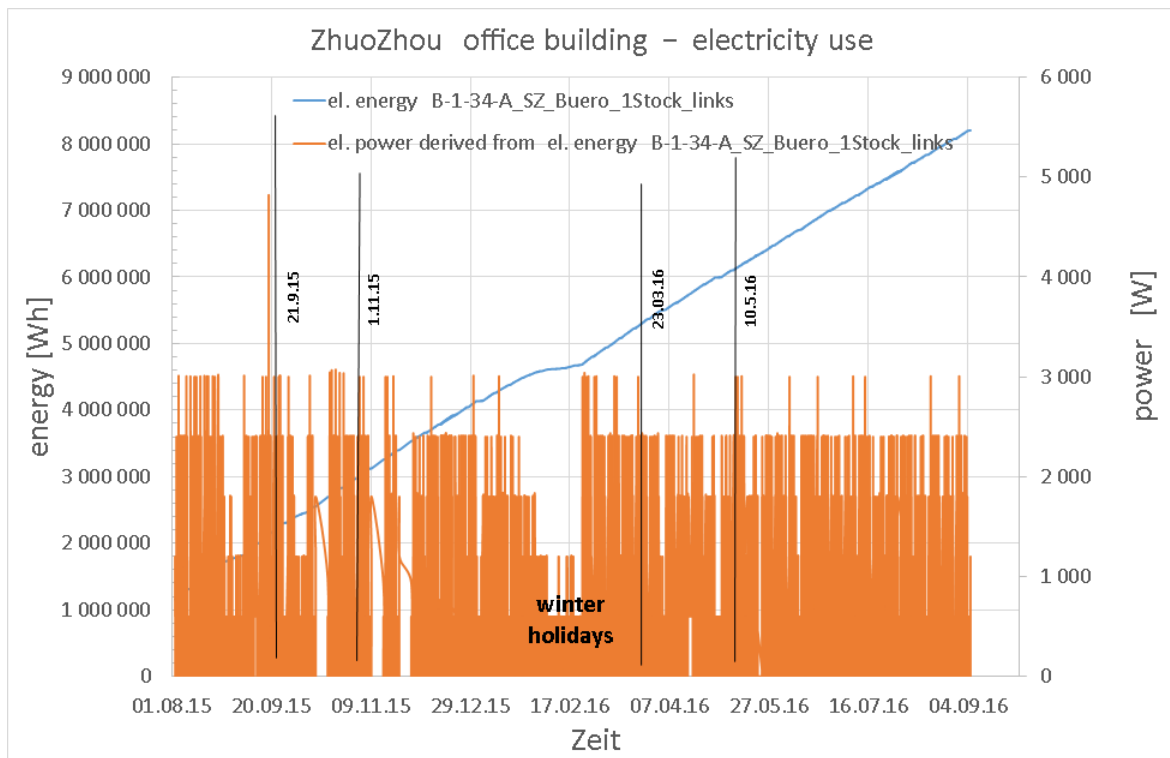


Abbildung 47: Stromzähler Bürogebäude 1. Stock links.
Typische Büro-Nutzung, mittlere Last, Jahresmittelwert etwa 2.1 W/m² oder 18 kWh/m²a

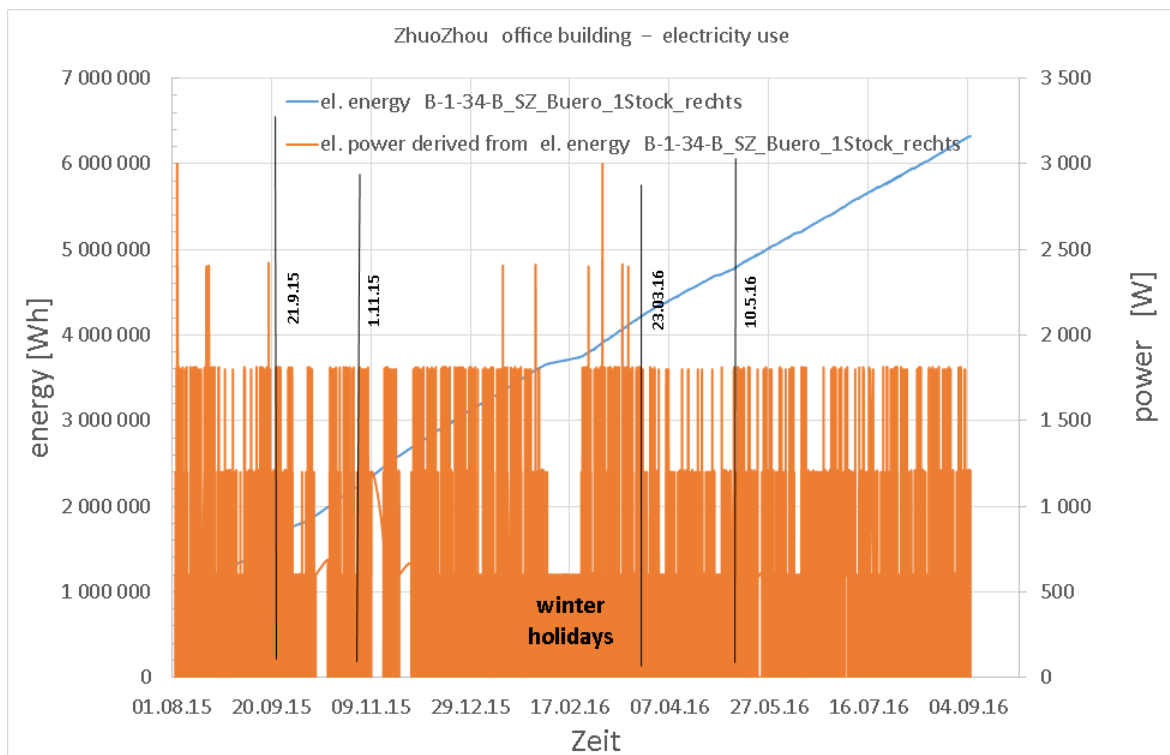


Abbildung 48 Stromzähler Bürogebäude 1. Stock rechts.
Typische Büro-Nutzung, reduzierte Last, Jahresmittelwert etwa 1.6 W/m² oder 14 kWh/m²a

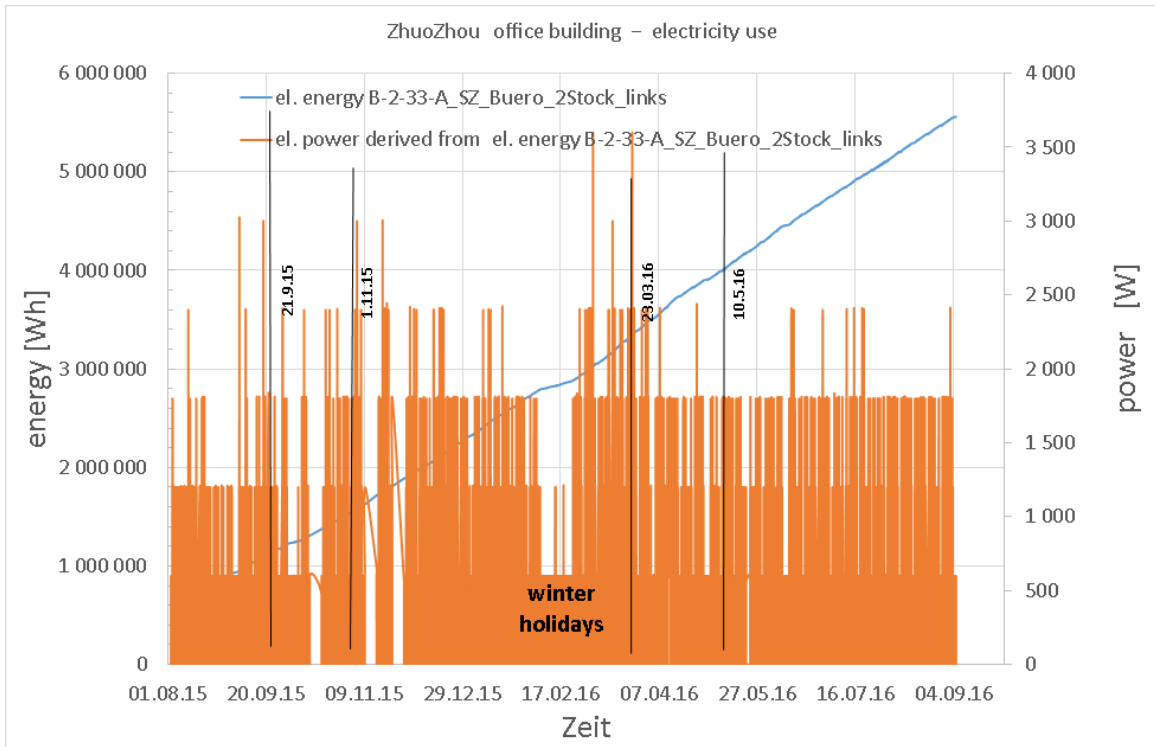


Abbildung 49: Stromzähler Bürogebäude 2. Stock links. Man erkennt deutlich die Betriebsunterbrechung in den Winterferien (Chin. Neujahrsfest). Typische Büro-Nutzung, mittlere Last
 Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 1.5 W/m² bzw. 12.6 kWh/m²a

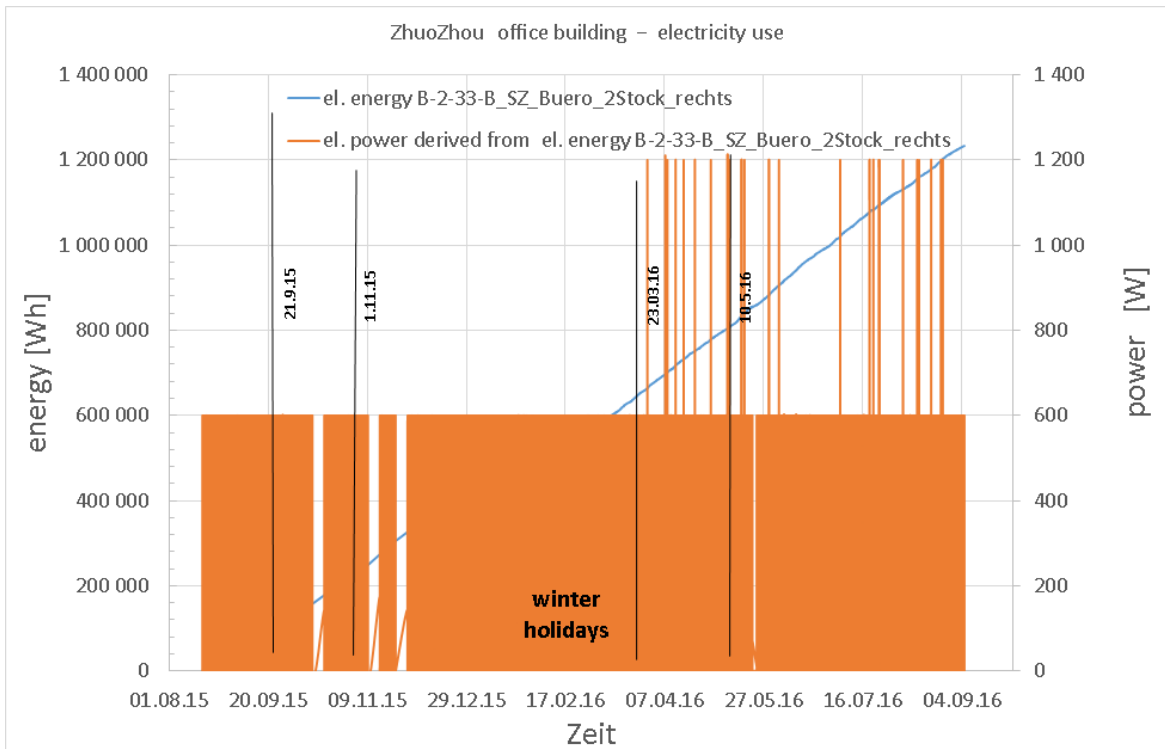


Abbildung 50: Stromzähler Bürogebäude 2. Stock rechts. Offensichtlich hier nur Grundlast
 Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 0.35 W/m² bzw. 3.3 kWh/m²a

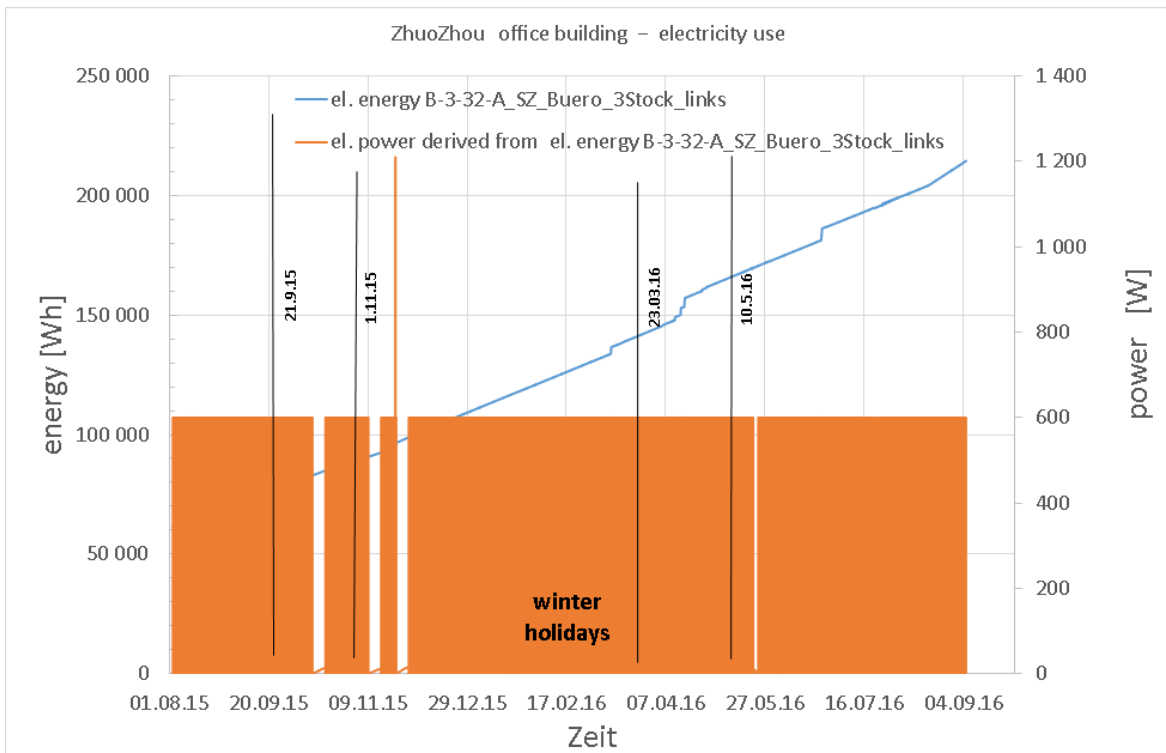


Abbildung 51: Stromzähler Bürogebäude 3. Stock links. Offensichtlich hier nur Grundlast:
 Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 0.045 W/m^2 bzw. $0.39 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

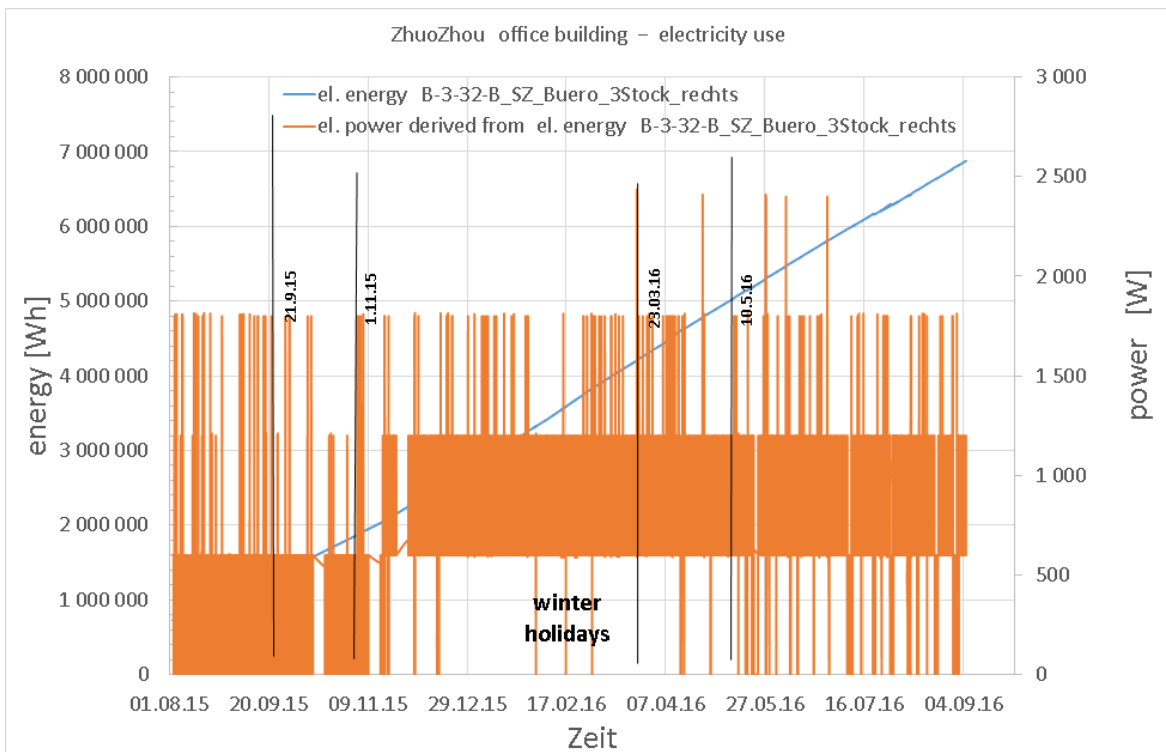


Abbildung 52: Stromzähler Bürogebäude 3. Stock rechts. Weitgehend nur Grundlast, zeitweise Büro-Nutzung,
 Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 1.8 W/m^2 bzw. $16 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

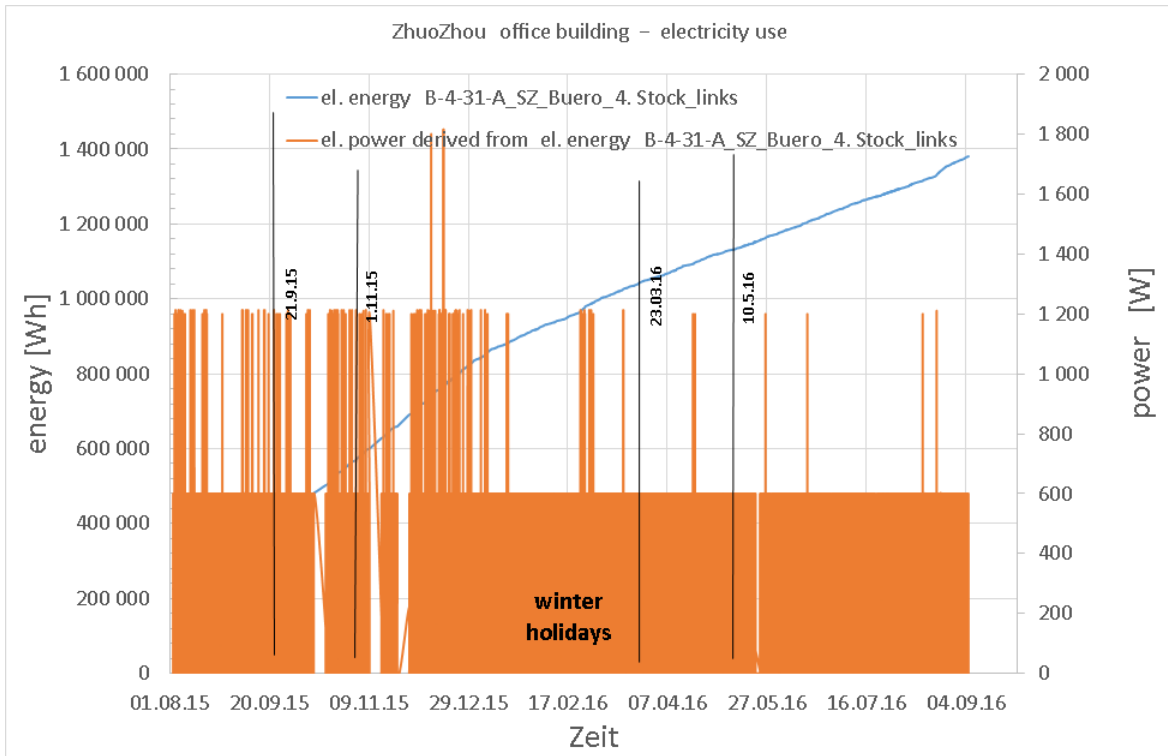


Abbildung 53: Stromzähler Bürogebäude 4. Stock rechts, nur Grundlast
 Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 0.34 W/m² bzw. 2.9 kWh/m²a

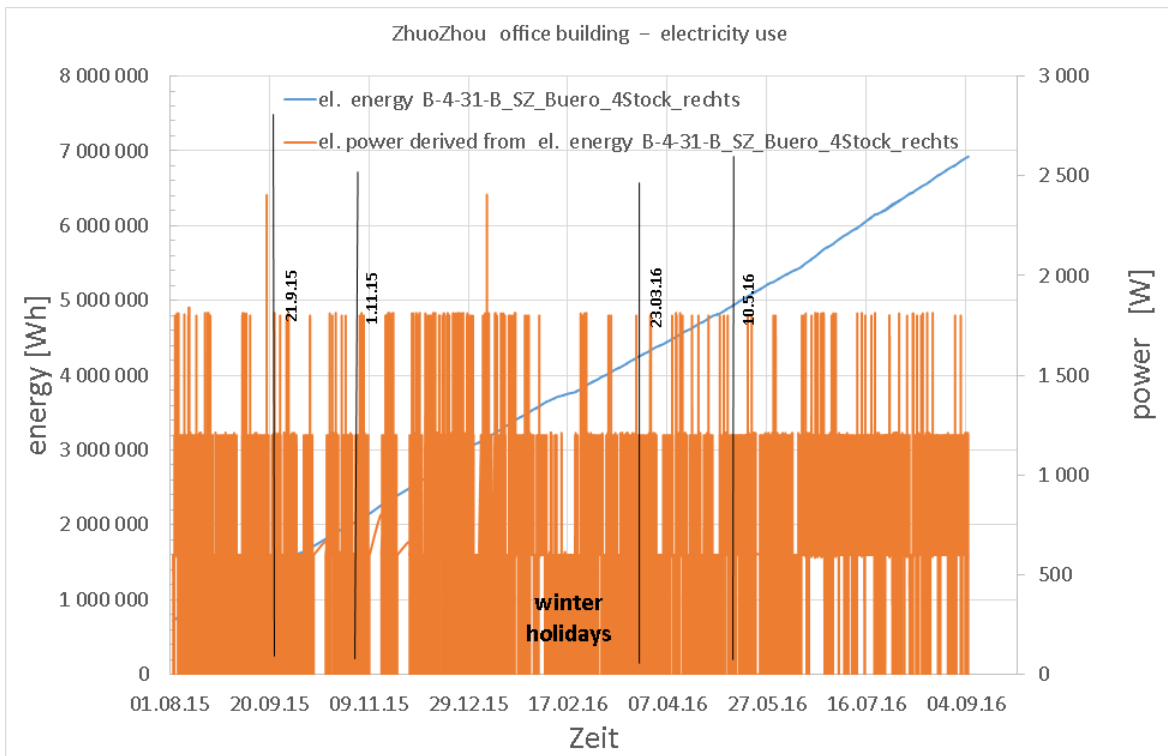


Abbildung 54: Stromzähler Bürogebäude 4. Stock rechts, Typische Büro-Nutzung, geringe Last,
 Jahresmittlere spezifische elektrische Leistung in diesem Bereich: etwa 1.8 W/m² bzw. 16 kWh/m²a

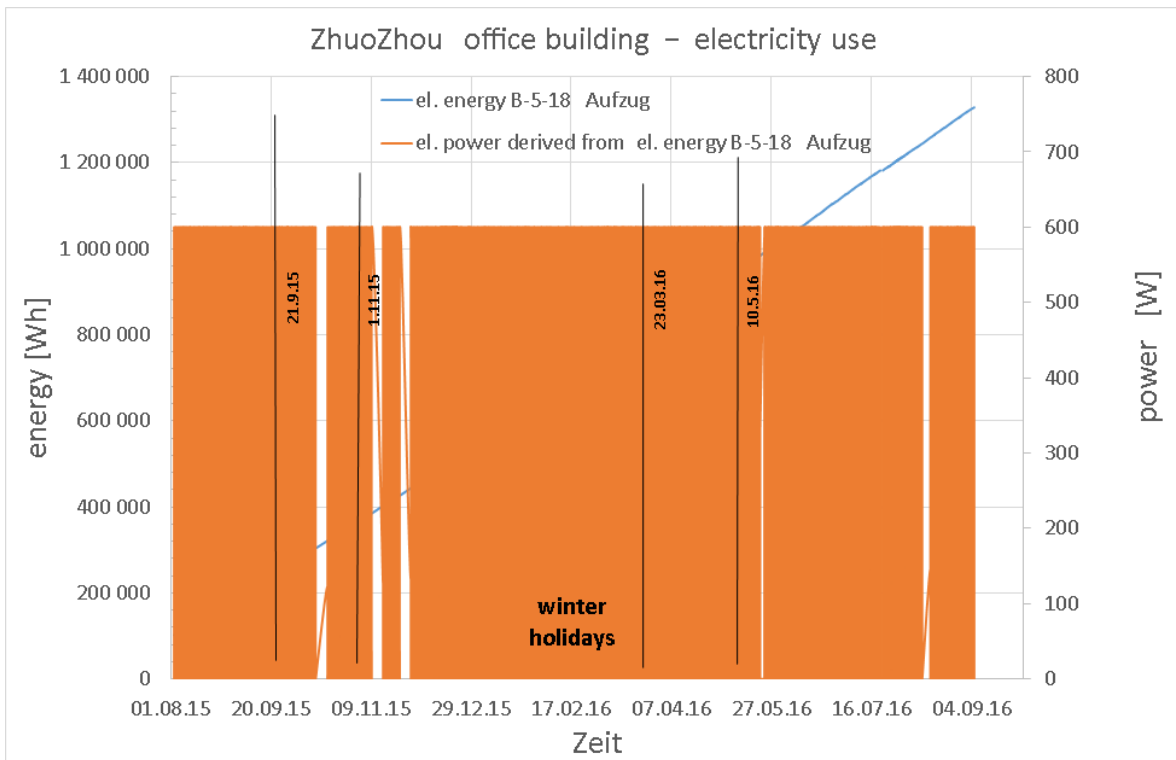


Abbildung 55: Stromzähler Bürogebäude Aufzug.
 Jahresmittlere Leistung 0.05 W/m² oder 0.4 kWh/m²

6.5 Bürogebäude: Energiebilanzberechnung (PHPP)

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der PHPP Berechnungen zusammengefasst, die das Gebäude in der geplanten Nutzung beschreiben wie es zertifiziert wurde. Für das Ergebnis in Tabelle 12 wurden die Parameter mit dem wichtigsten Einfluss auf den Energiebedarf so geändert, dass der dann berechnete Bedarf im wesentlichen dem gemessenen Verbrauch in während der Messzeit entspricht. Zu den gewählten Parametern siehe auch die Erläuterungen im Text zu Tabelle 4

Tabelle 11: PHPP Nachweisblatt für das Bürogebäude wie es ursprünglich geplant, gebaut und als Passivhaus zertifiziert wurde. Standard-Wetterdatensatz Beijing und Standard-Innenraumkonditionen Die formalen Anforderungen (Passivhauskriterien) werden damit erfüllt. Zu den gewählten Werten der wichtigsten Parameter siehe auch Tabelle 4.



| Passivhaus-Nachweis | | | | | | | |
|--|--|--|-----|------------------------|-----|----|----|
|  | | Objekt: Bürogebäude Hebei Xinhua Curtain Wall Co Ltd. 河北新华幕墙有限公司办公楼 | | | | | |
| Architektur: Jianxue Architecture and Engineering Design Institute Co., Ltd. 建学建筑和工程设计咨询有限公司 | | Bauherrschaft: HE Shurui (Geschäftsführer Fa. Hebei Xinhua Curtain Wall Co Ltd.) 何书瑞 (河北新华幕墙有限公司总经理) | | | | | |
| Straße: 2/F Building, No.5, San Li Tun Yi Wu Jin Rd 三里屯西五街5号B座2楼? | | Straße: Lingyun Rd 凌云路? | | | | | |
| PLZ/Ort: 101149 Chaoyi | | PLZ/Ort: Zhuozhou, China 涿州, 中国 | | | | | |
| Energieberatung: | | Haustechnik: Zehnder (China) Indoor Climate Co., Ltd. | | | | | |
| Straße: | | Straße: | | | | | |
| PLZ/Ort: | | PLZ/Ort: Tongzhou District | | | | | |
| Provinz/Land: | | Provinz/Land: | | | | | |
| Zertifizierung: | | Zertifizierung: | | | | | |
| Straße: | | Straße: | | | | | |
| PLZ/Ort: | | PLZ/Ort: | | | | | |
| Provinz/Land: | | Provinz/Land: | | | | | |
| Baujahr: | 2015 | Innentemperatur Winter [°C] | 20 | Innentemp. Sommer [°C] | 25 | | |
| Zahl WE: | 1 | Interne Wärmequellen (IWQ) Heizfall [W/m²] | 2.5 | IWQ Kühlfall [W/m²] | 2.5 | | |
| Personenzahl: | 40.0 | spez. Kapazität [Wh/K pro m² EBF] | 204 | Mechanische Kühlung: | x | | |
| Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr | | | | | | | |
| Energiebezugsfläche m² | | 2868.3 | | | | | |
| Heizen | Heizwärmebedarf kWh/(m²a) | 11 | ≤ | 15 | - | ja | |
| | Heizlast W/m² | 10 | ≤ | - | 10 | | |
| Kühlen | Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m²a) | 17 | ≤ | 17 | 17 | ja | |
| | Kühllast W/m² | 6 | ≤ | - | 10 | | |
| | Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) % | - | ≤ | - | - | | - |
| | Häufigkeit überhörter Feuchte (> 12 g/kg) % | 6 | ≤ | 10 | - | | ja |
| Luftdichtheit | Drucktest-Luftwechsel n ₅₀ 1/h | 0.6 | ≤ | 0.6 | - | ja | |
| Nicht erneuerbare Primärenergie (PE) | PE-Bedarf kWh/(m²a) | 74 | ≤ | 120 | - | ja | |
| Erneuerbare Primärenergie (PER) | PER-Bedarf kWh/(m²a) | 39 | ≤ | - | - | - | |
| | Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m²a) | 0 | ≥ | - | - | | |
| <small>² leeres Feld: Daten fehlen; !: keine Anforderung</small> | | | | | | | |

Tabelle 12: PHPP Nachweisblatt für das Bürogebäude mit dem Wetterdatensatz aus der Messung und den Mittelwerten der gemessenen Innenraumtemperaturen. Heizenergie- und Kühlenergieverbrauch sind erhöht, die Abweichungen lassen sich jedoch plausibel erklären. Zu den gewählten Werten der wichtigsten Parameter siehe auch Tabelle 4.

| Passivhaus-Nachweis | | | | | | | |
|---|--|---|-----|--|-----------------------|-----------------------|--|
|  | | | | Objekt: Bürogebäude Hebei Xinhua Curtain Wall Co Ltd. 河北新华幕墙有限公司办公楼 | | | |
| Architektur: Jianxue Architecture and Engineering Design Institute Co., Ltd. 建学建筑和工程设计所有限公司 | | | | Bauherrschaft: HE Shurui (Geschäftsführer Fa. Hebei Xinhua Curtain Wall Co Ltd.) 何书瑞 (河北新华幕墙有限公司总经理) | | | |
| Straße: 2/F Building, No.5, San Li Tun Yi Wu Jin Rd 三里屯西五街5号B座2楼? | | | | Straße: Lingyun Rd 凌云路? | | | |
| PLZ/Ort: 101149 Chaoyi | | | | PLZ/Ort: Zhuozhou, China 涿州, 中国 | | | |
| Provinz/Land: | | | | Provinz/Land: | | | |
| Energieberatung: | | | | Zertifizierung: | | | |
| Straße: | | | | Straße: | | | |
| PLZ/Ort: | | | | PLZ/Ort: | | | |
| Provinz/Land: | | | | Provinz/Land: | | | |
| Baujahr: 2015 | | Innentemperatur Winter [°C]: 22 | | Innentemp. Sommer [°C]: 24 | | | |
| Zahl WE: 1 | | Interne Wärmequellen (IWQ) Heizfall [W/m²]: 1.8 | | IWQ Kühlfall [W/m²]: 1.8 | | | |
| Personenzahl: 40.0 | | spez. Kapazität [Wh/K pro m² EBF]: 204 | | Mechanische Kühlung: x | | | |
| Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr | | | | | | | |
| | | Energiebezugsfläche m² | | Kriterien | alternative Kriterien | Erfüllt? ² | |
| Heizen | Heizwärmebedarf kWh/(m²a) | 2868.3 | 24 | ≤ 15 | - | nein | |
| | Heizlast W/m² | | 13 | ≤ - | 10 | | |
| Kühlen | Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m²a) | | 27 | ≤ 18 | 18 | nein | |
| | Kühllast W/m² | | 8 | ≤ - | 10 | | |
| | Übertemperaturhäufigkeit (> 24 °C) % | | - | ≤ - | - | - | |
| | Häufigkeit überhörter Feuchte (> 12 g/kg) % | | 17 | ≤ 10 | - | nein | |
| Luftdichtheit | Drucktest-Luftwechsel n ₅₀ 1/h | | 0.6 | ≤ 0.6 | - | ja | |
| Nicht erneuerbare Primärenergie (PE) | PE-Bedarf kWh/(m²a) | | 116 | ≤ 120 | - | ja | |
| Erneuerbare Primärenergie (PER) | PER-Bedarf kWh/(m²a) | | 68 | ≤ - | - | - | |
| | Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m²a) | | 0 | ≥ - | - | | |
| ² leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung | | | | | | | |

6.6 Wohngebäude: Innenraum

Hier werden die Temperaturgänge in einigen Räumen des Wohnhauses im Detail dokumentiert. Besonderheiten sind bei den einzelnen Abbildungen kommentiert.

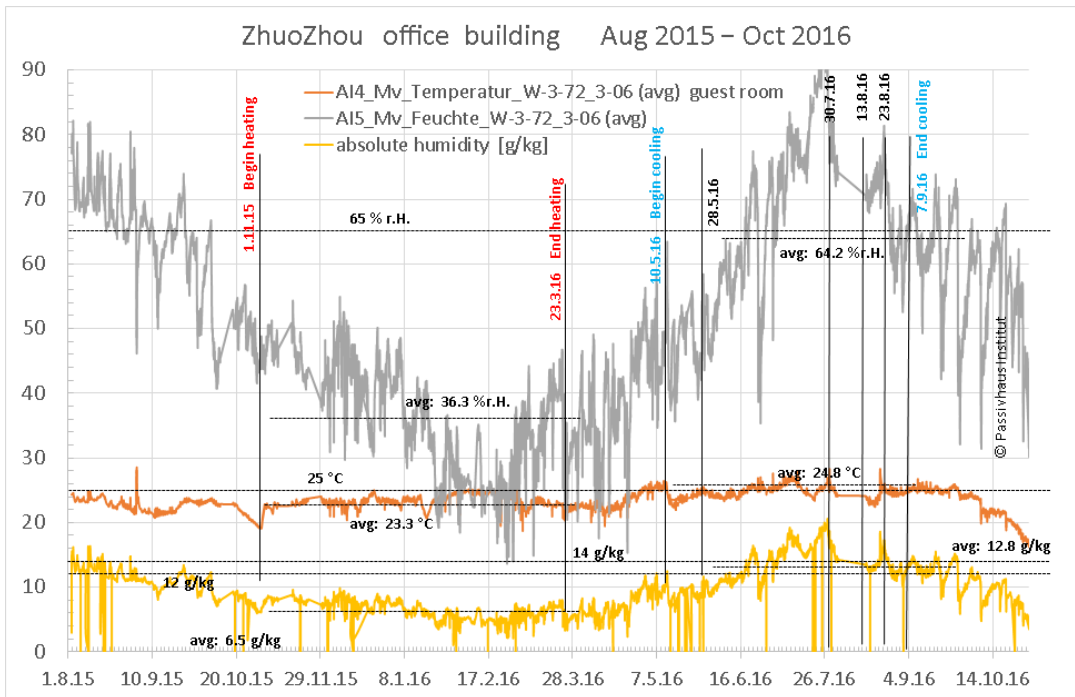


Abbildung 56: Temperatur & relative Luftfeuchte in einem Wohnzimmer im 3. Stock: August 2015 bis Oktober 2016. Im Winter 2016 wurde in einigen Zimmern auf recht hohe Temperaturen geheizt.

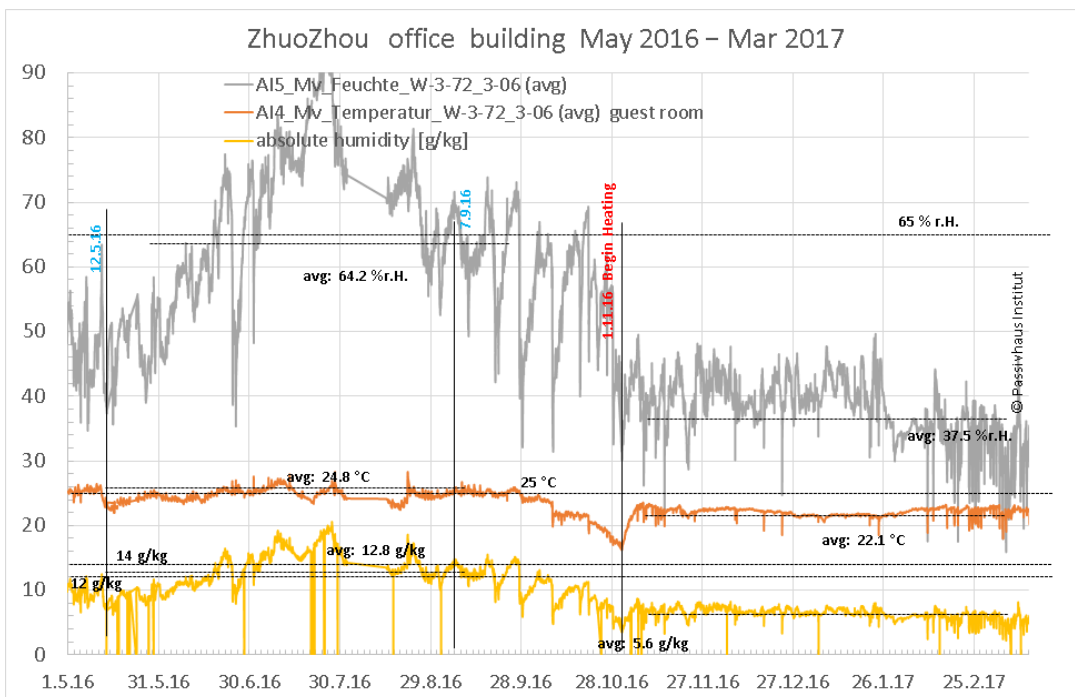


Abbildung 57: Temperatur & relative Luftfeuchte in einem Wohnzimmer im 3. Stock: Mai 2016 bis März 2017

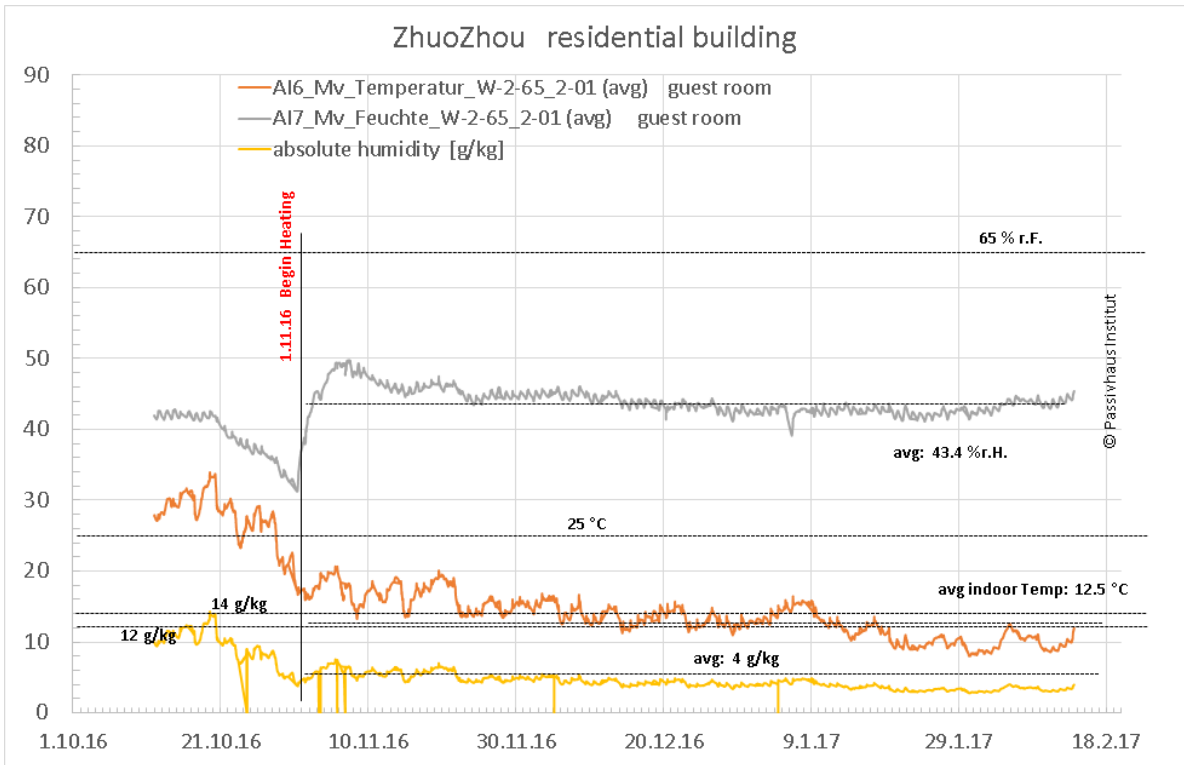


Abbildung 58: Temperatur & relative Luftfeuchte: Gastzimmer 2. Stock. Der Raum wurde weder im Sommer, noch im Winter konditioniert, weil er vermutlich bis April 2016 die ganze Zeit unbewohnt war. Die relative Luftfeuchte ist mit 50% immer gut. Die Temperatur ist im Sommer sehr hoch. Aus theoretischer Sicht ist aber sehr interessant: Die Temperatur bleibt im Winter immer weit über 0°C und damit immer frostfrei.

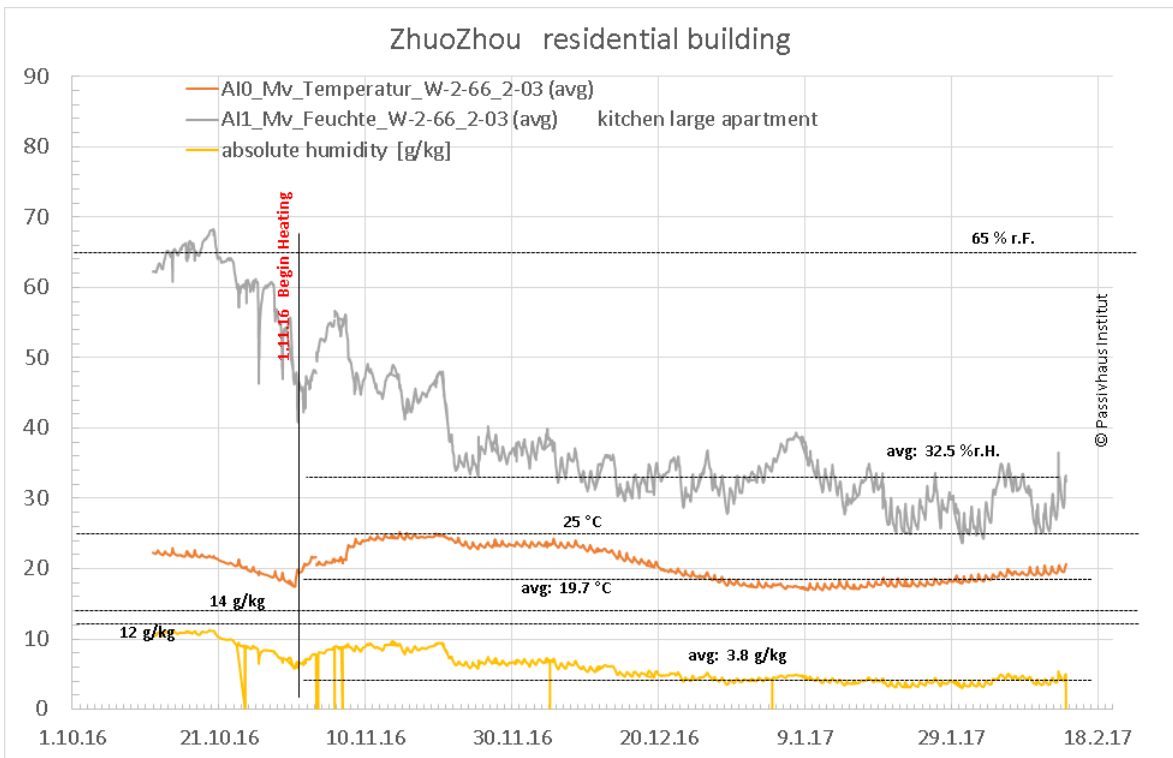


Abbildung 59: Temperatur & relative Luftfeuchte: Küche große Wohnung. Relative Luftfeuchte im Sommer gerade noch akzeptabel. Raumtemperatur im Sommer akzeptabel, teilweise mit ≤ 22 °C deutlich zu niedrig, Sollwert Planung: 25°C. Raumtemperatur im Winter teilweise zu hoch (Sollwert zum Ende des Winters bei 20°C) Relative Luftfeuchte im Winter zwischen 30...40 %, selten weniger als 30 %

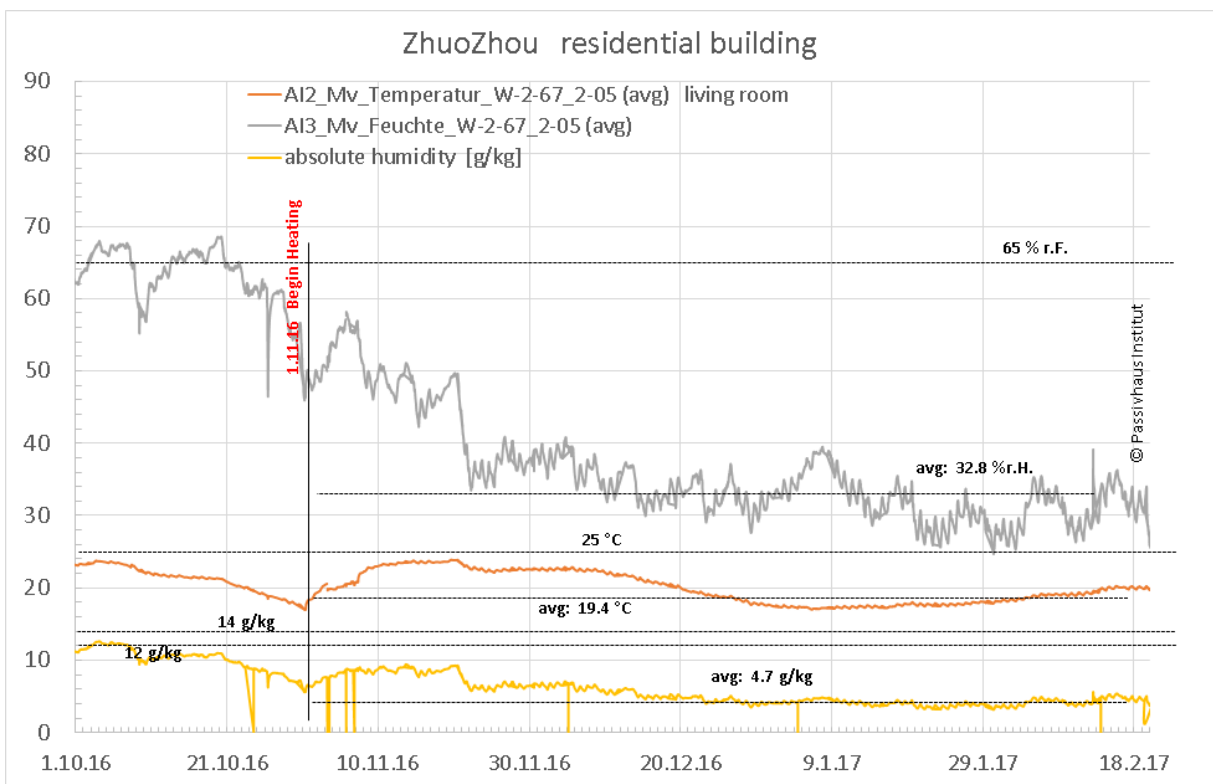
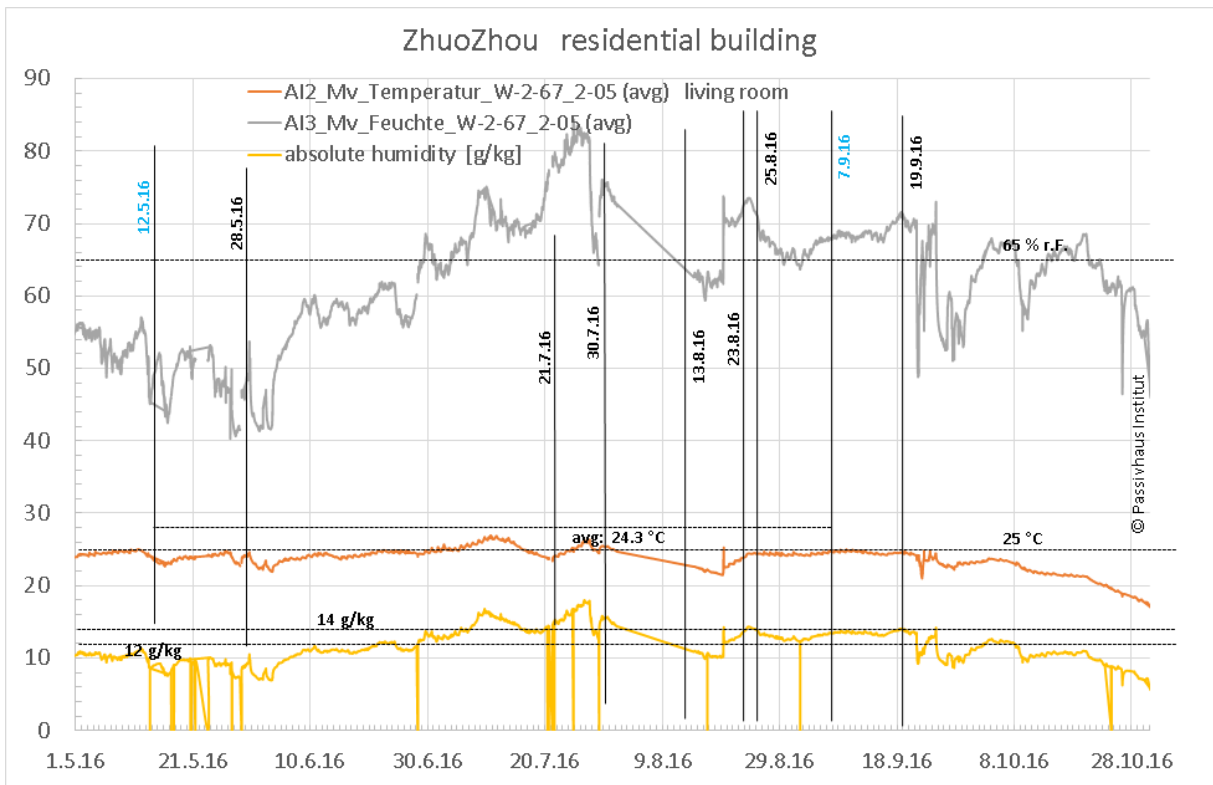


Abbildung 60: Temperatur & relative Luftfeuchte in einem weiteren Wohnzimmer im 2. Stock.

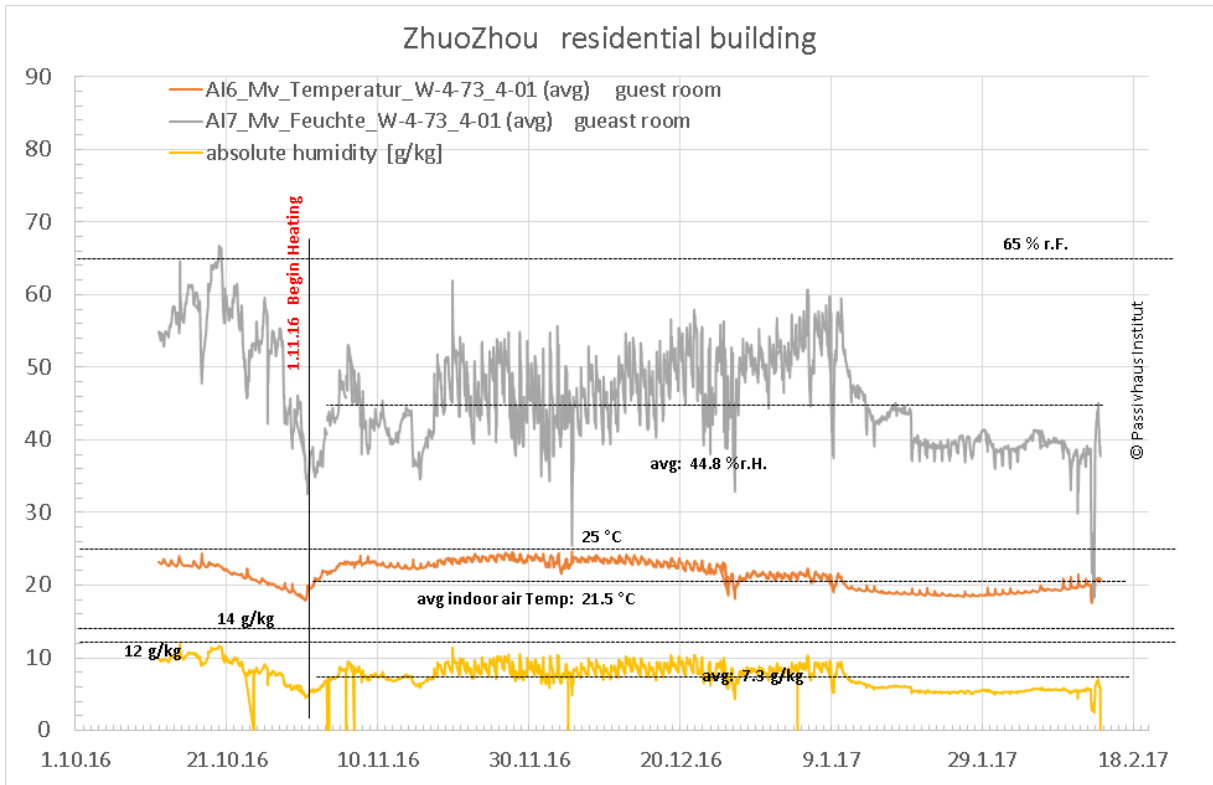


Abbildung 61: : Temperatur & relative Luftfeuchte in einem weiteren Gastzimmer 4. Stock.

Beheizung im Winter mit recht hoher Innenraumtemperatur. Dies dürfte ein Grund für den unerwartet hohen Heizwärmeverbrauch und die niedrige Luftfeuchte im Winter gewesen sein. Am 25. Februar wurde vermutlich ein geöffnetes Fenster über längere Zeit vergessen: Wegen hohem Außenluftwechsel sank nicht nur die Temperatur, sondern vor allem die relative Luftfeuchte sehr stark ab. Derartige Ereignisse können in einem Gebäude mit hoher Fluktuation häufiger auftreten. Diese können jedoch mit einer Datenerfassung leicht identifiziert und ggf. behoben werden.

6.7 Wohngebäude: Lüftungsanlage, Dach, zentral

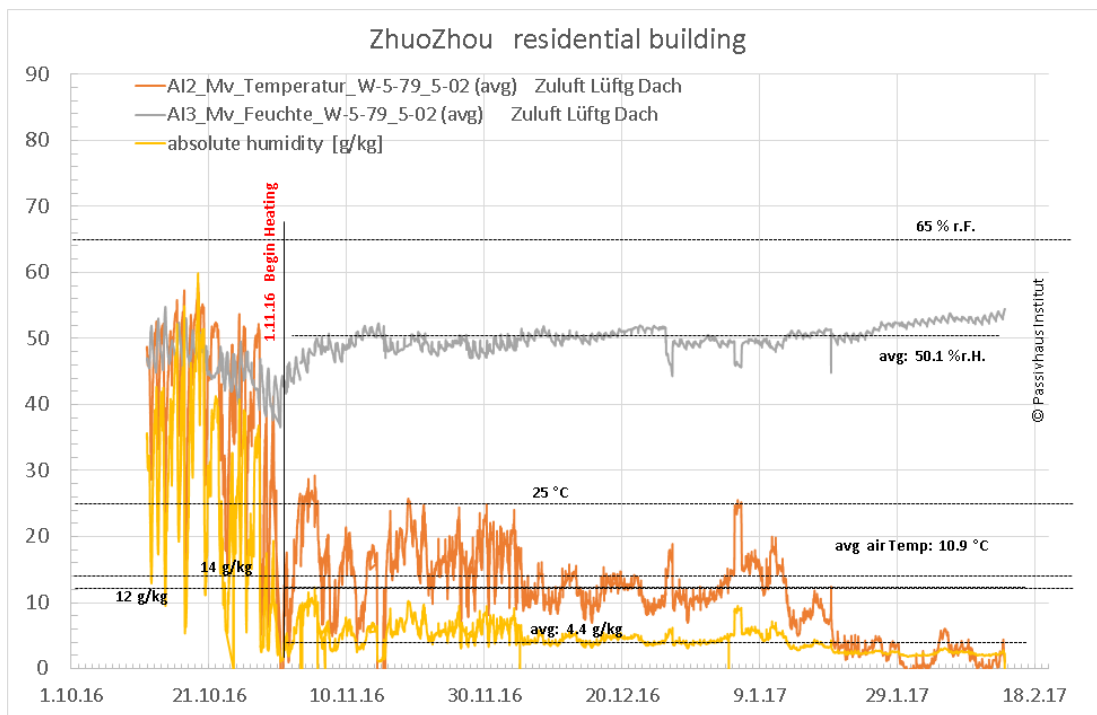


Abbildung 62: Die Lüftungsanlagen im Wohnhaus fördert teilweise sehr kalte (Winter) oder zu warme (Sommer) Zuluft. Die Ursache konnte noch nicht endgültig geklärt werden.

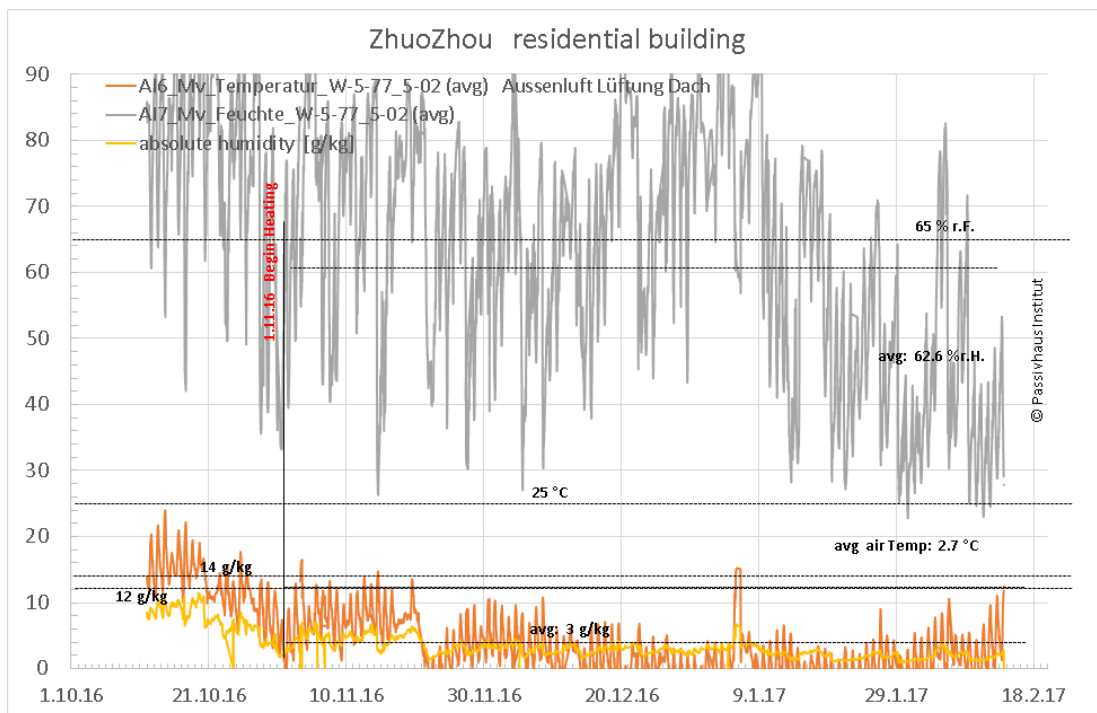


Abbildung 63: Lüftungsanlage Wohnhaus Außenluft

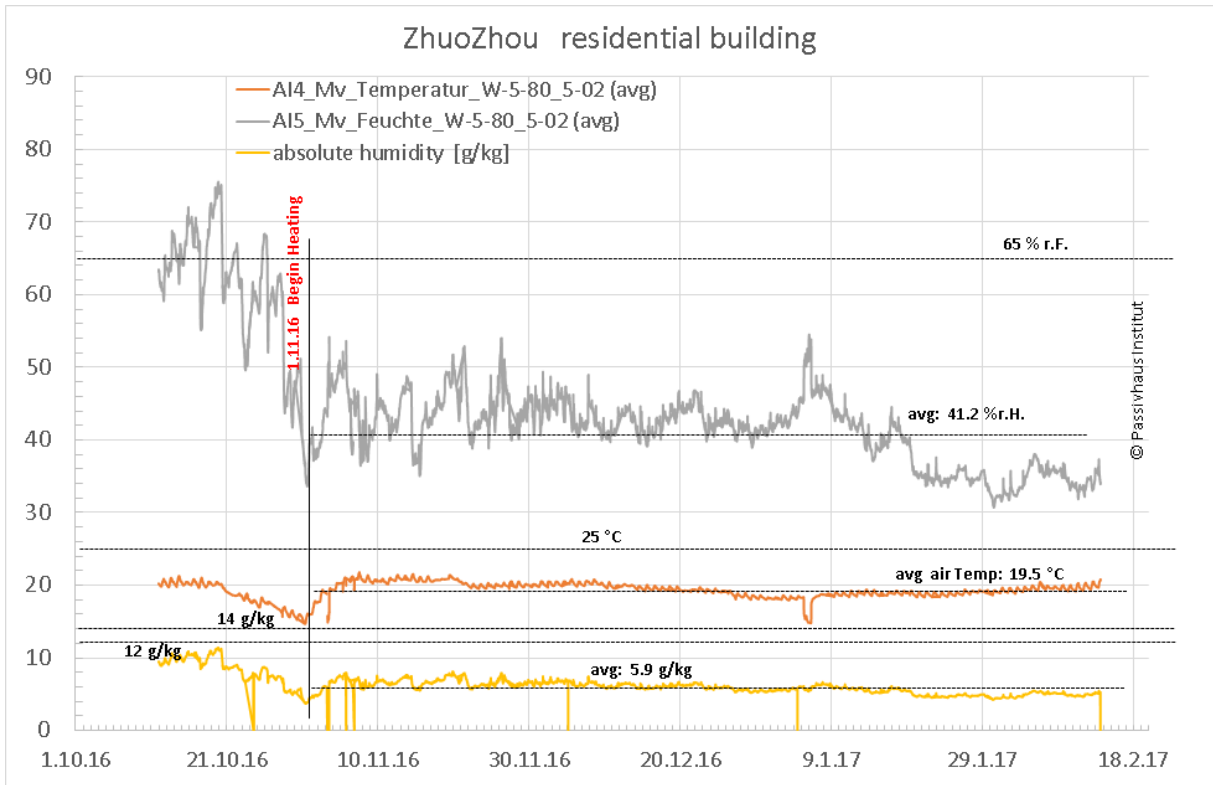


Abbildung 64: Lüftungsanlage Wohnhaus: Abluft.

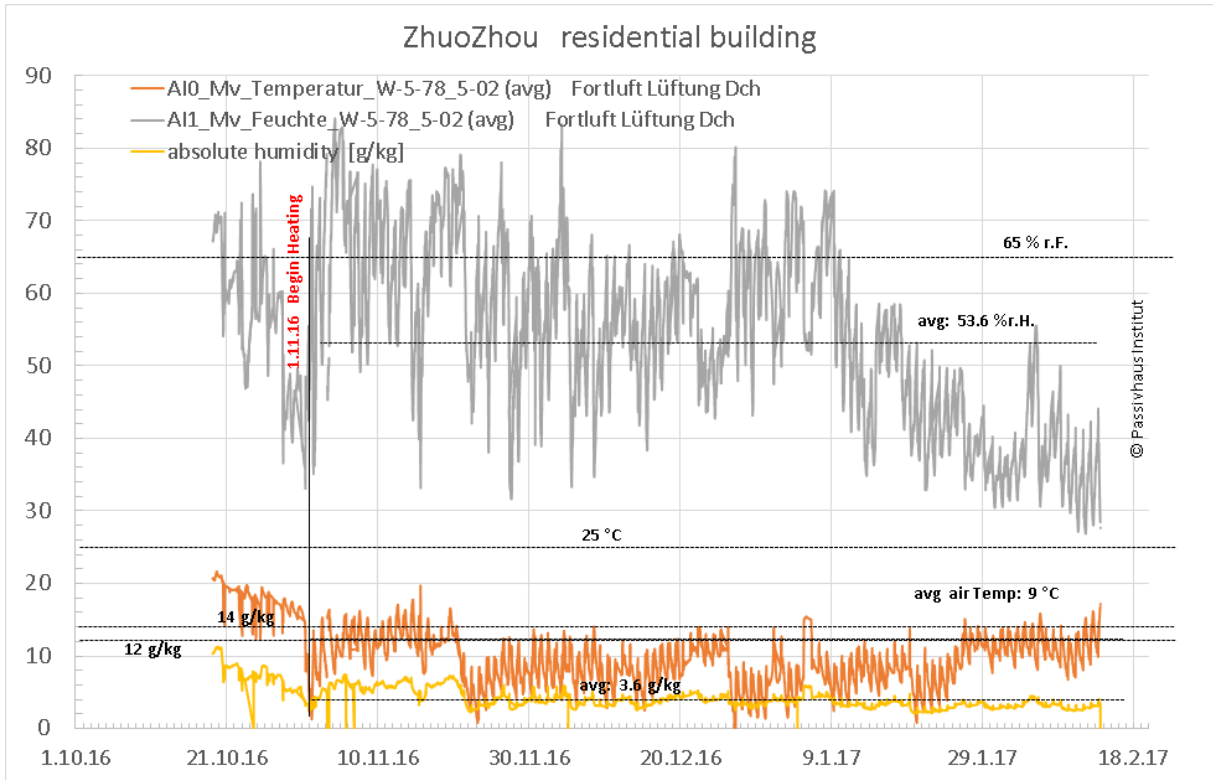


Abbildung 65: Lüftungsanlage Wohnhaus: Fortluft

6.8 Wohngebäude: Lüftungsanlage Wohnungen (dezentral)

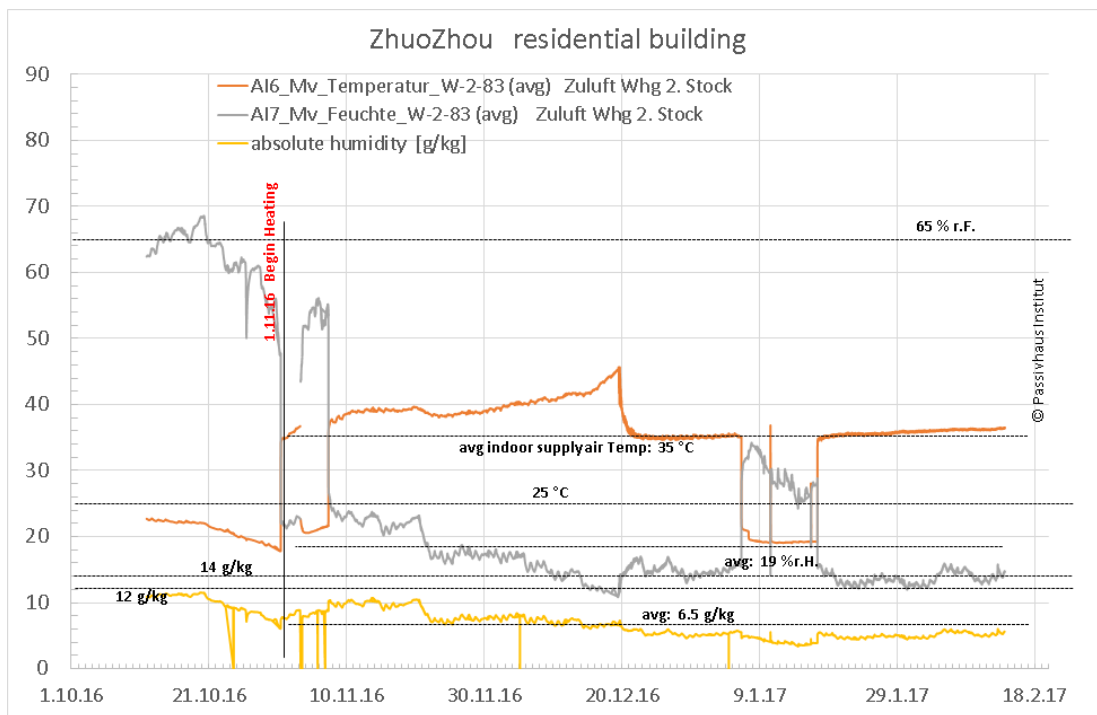


Abbildung 66: Zuluft Wohnung – nach der WP also Winter geheizt und Sommer gekühlt.

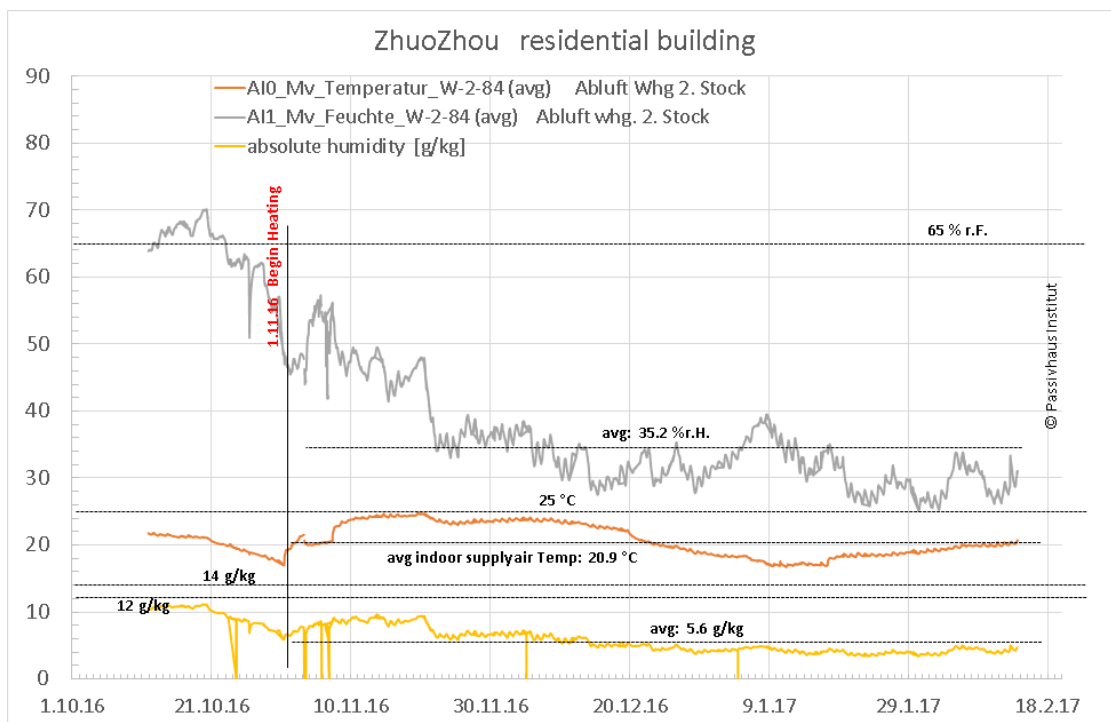


Abbildung 67: Wohngebäude Abluft wie Raumluft. Zeitweise unbeheizt, weil unbewohnt

6.9 Wohngebäude: Stromverbrauch Licht und Haushaltsstrom

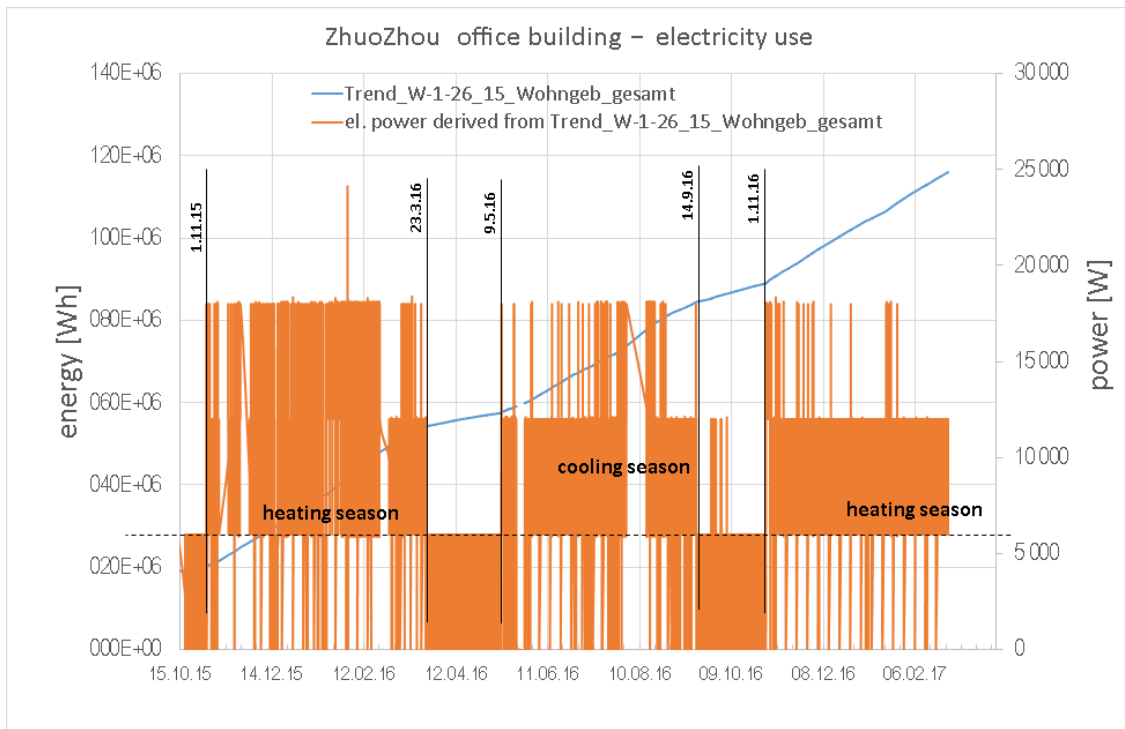


Abbildung 68: Stromverbrauch Wohngebäude gesamt

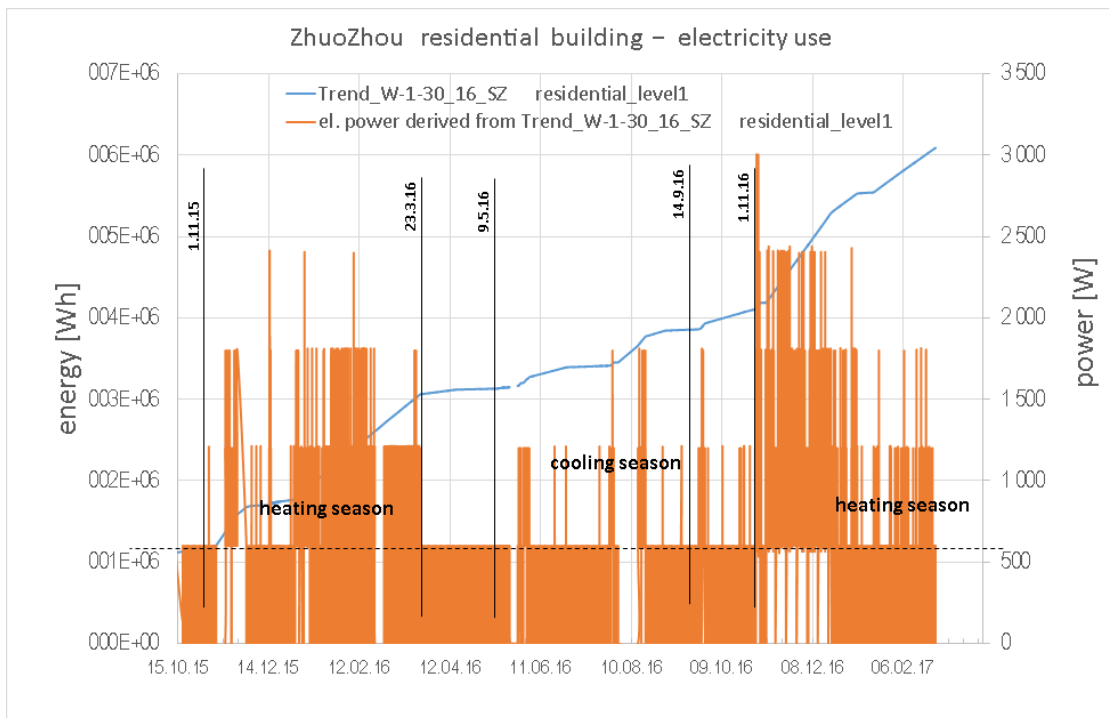


Abbildung 69: Stromzähler Wohngebäude 1. Stock.

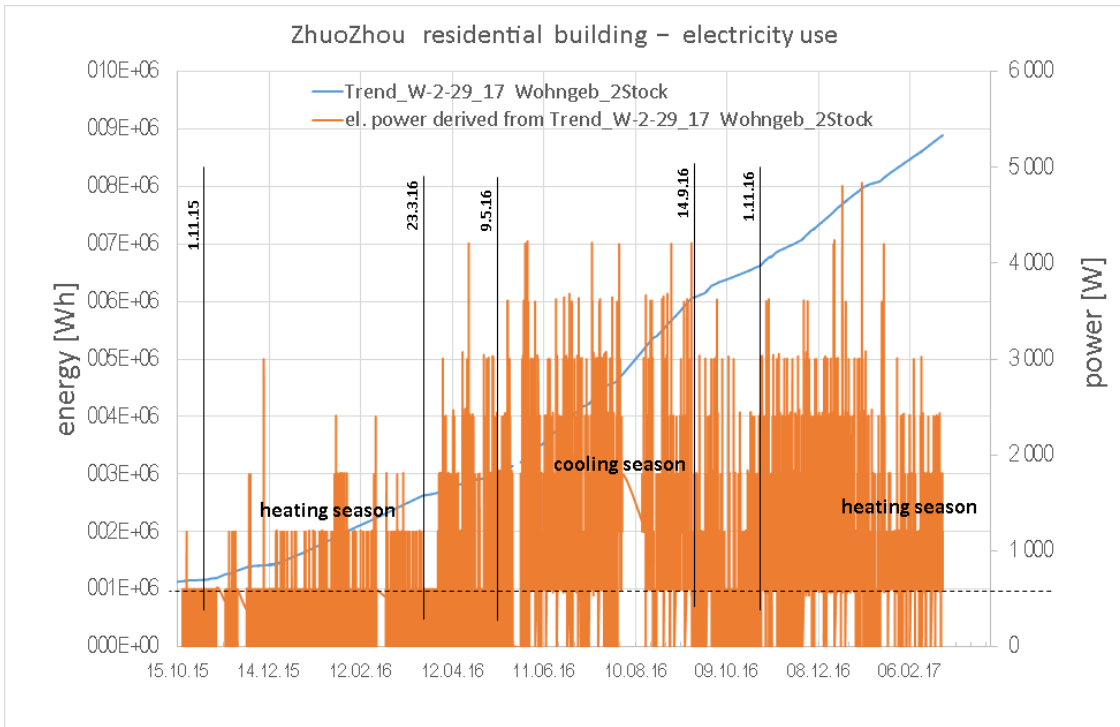


Abbildung 70: Stromzähler Wohngebäude 2. Stock.

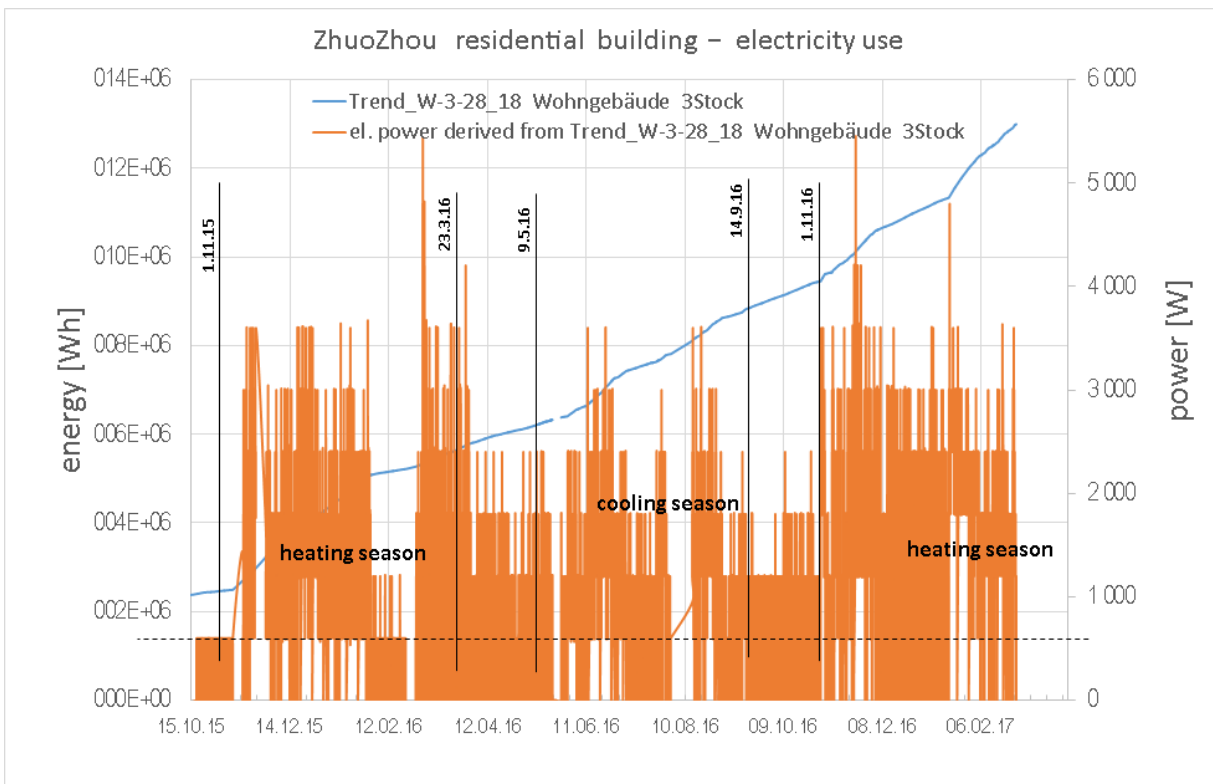


Abbildung 71: Stromzähler Wohngebäude 3. Stock.

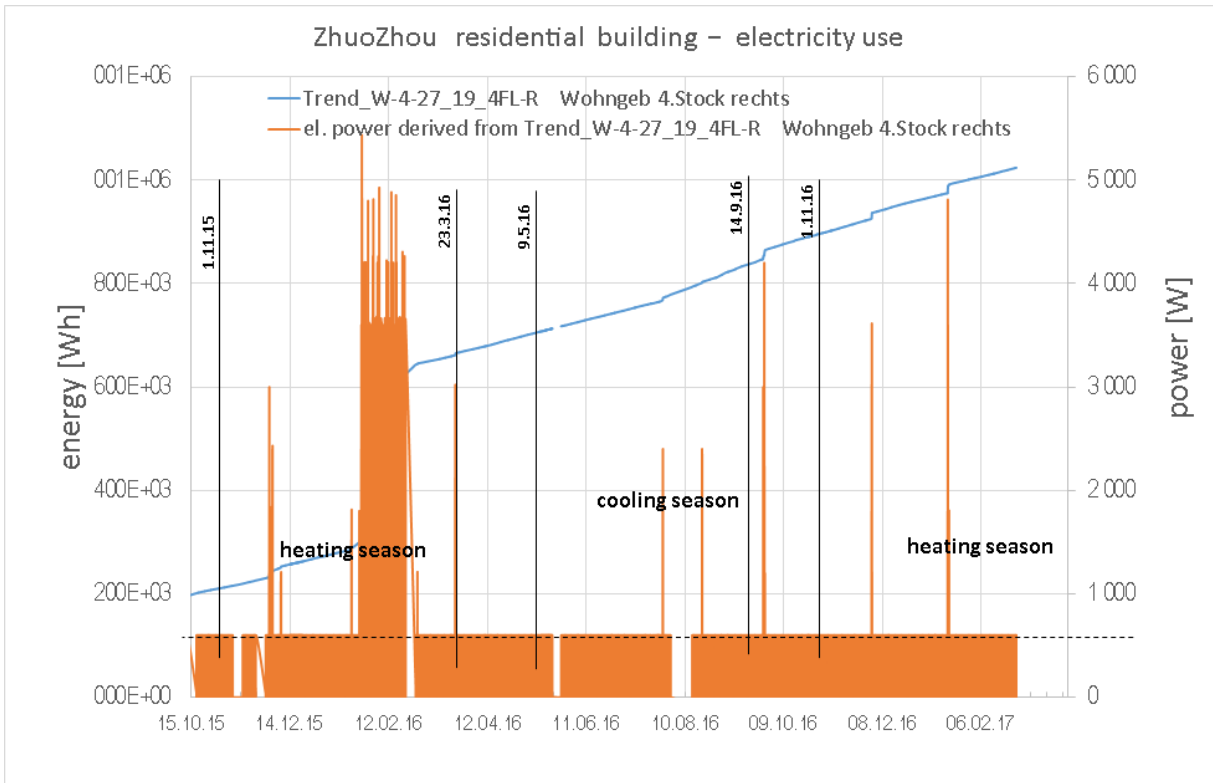


Abbildung 72: Stromzähler Wohngebäude 4. Stock rechts.

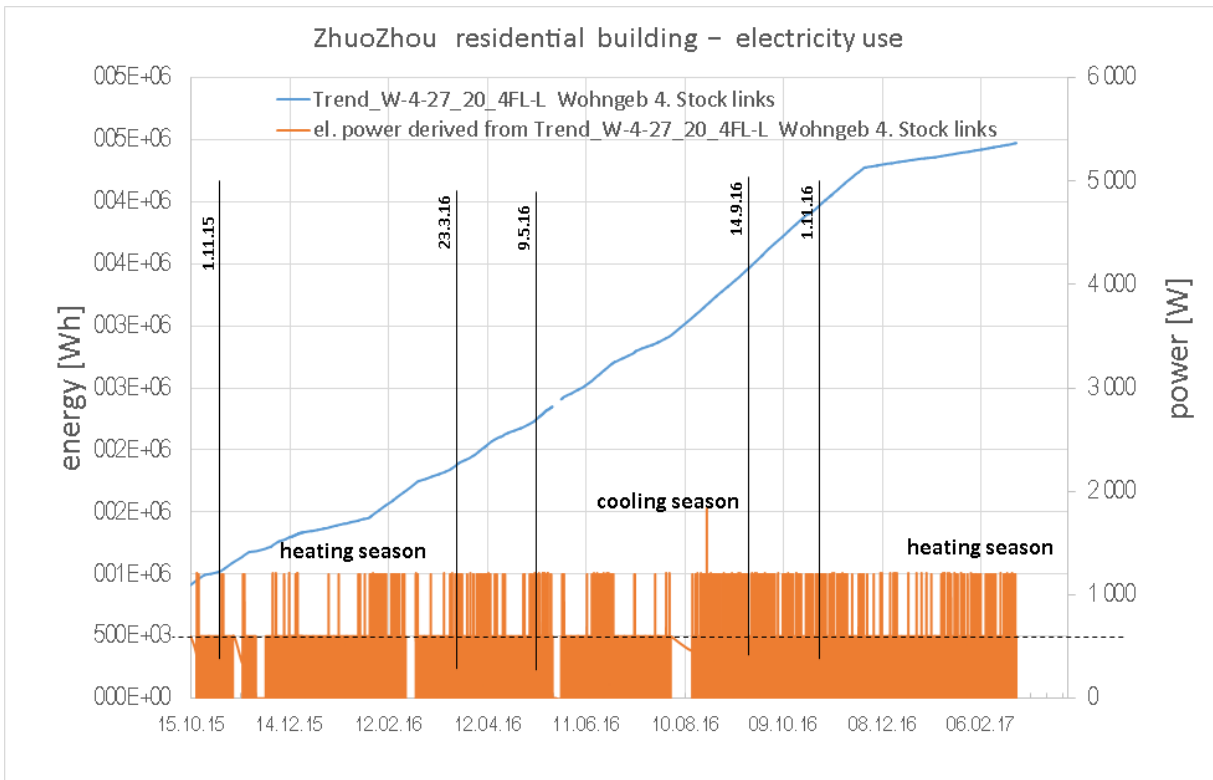


Abbildung 73: Stromzähler Wohngebäude 4. Stock links.

6.10 Wohngebäude: Energieverbrauch WP Heizung und Kühlung

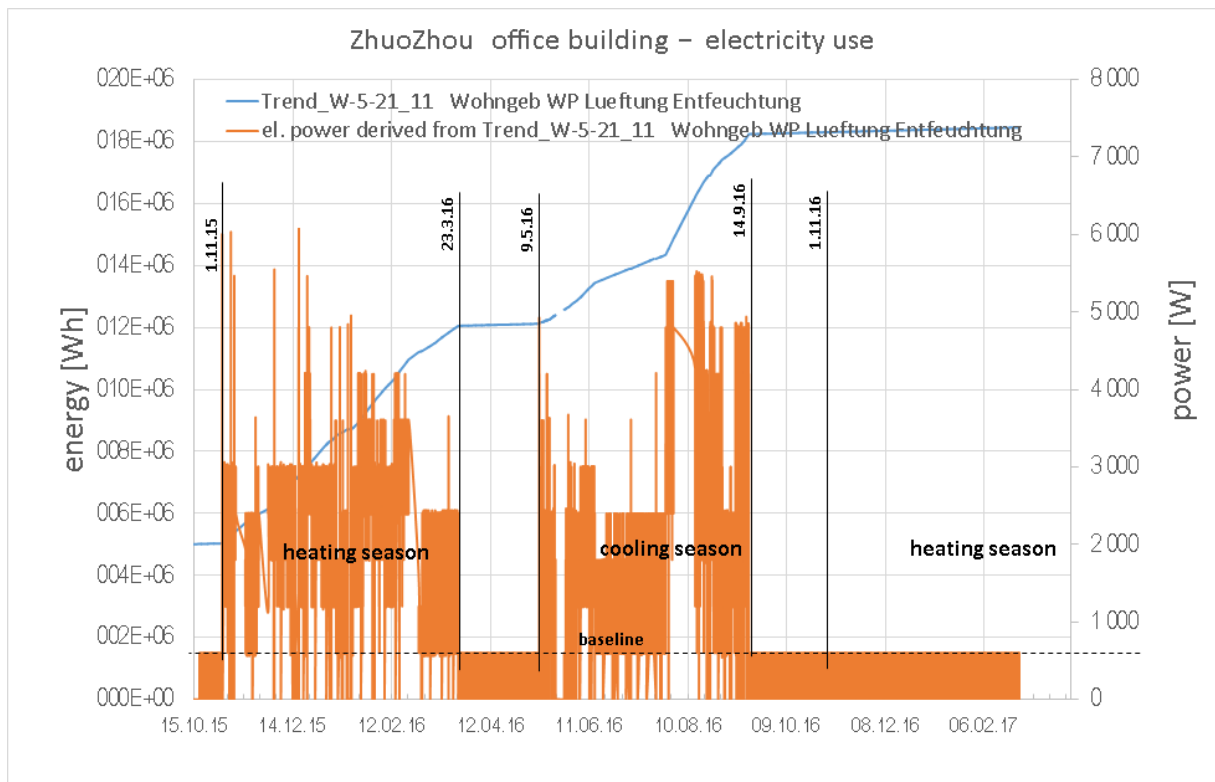


Abbildung 74: Stromzähler zentrale WP Luftkonditionierung Wohngebäude

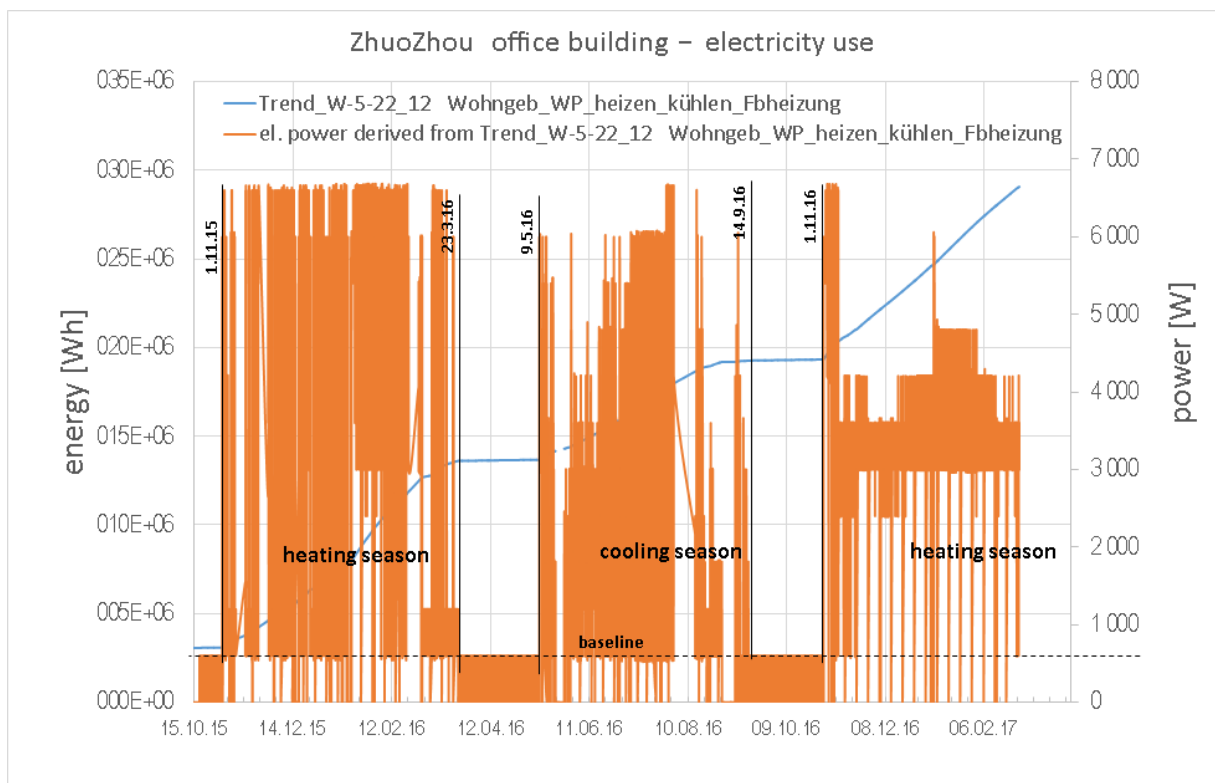


Abbildung 75: Stromzähler zentrale WP Flächenheizung und Kühlung Wohngebäude

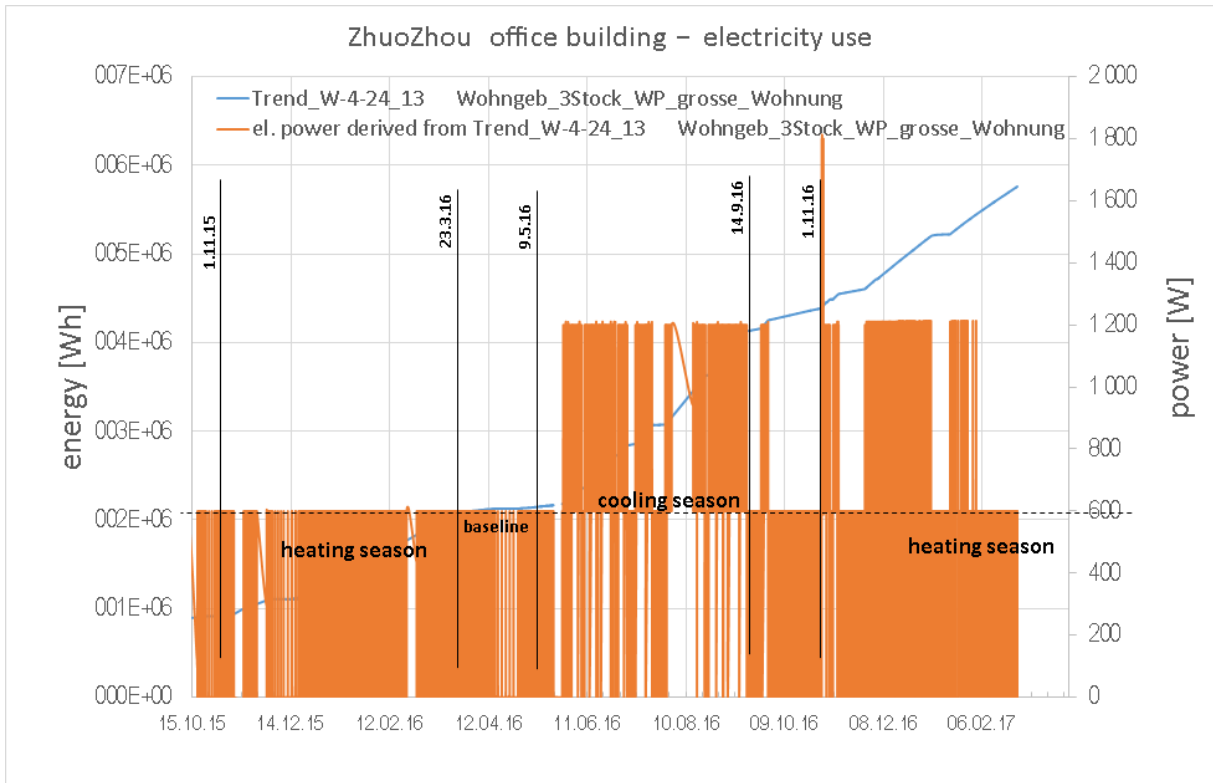


Abbildung 76: Stromzähler für WP in der großen Wohnung

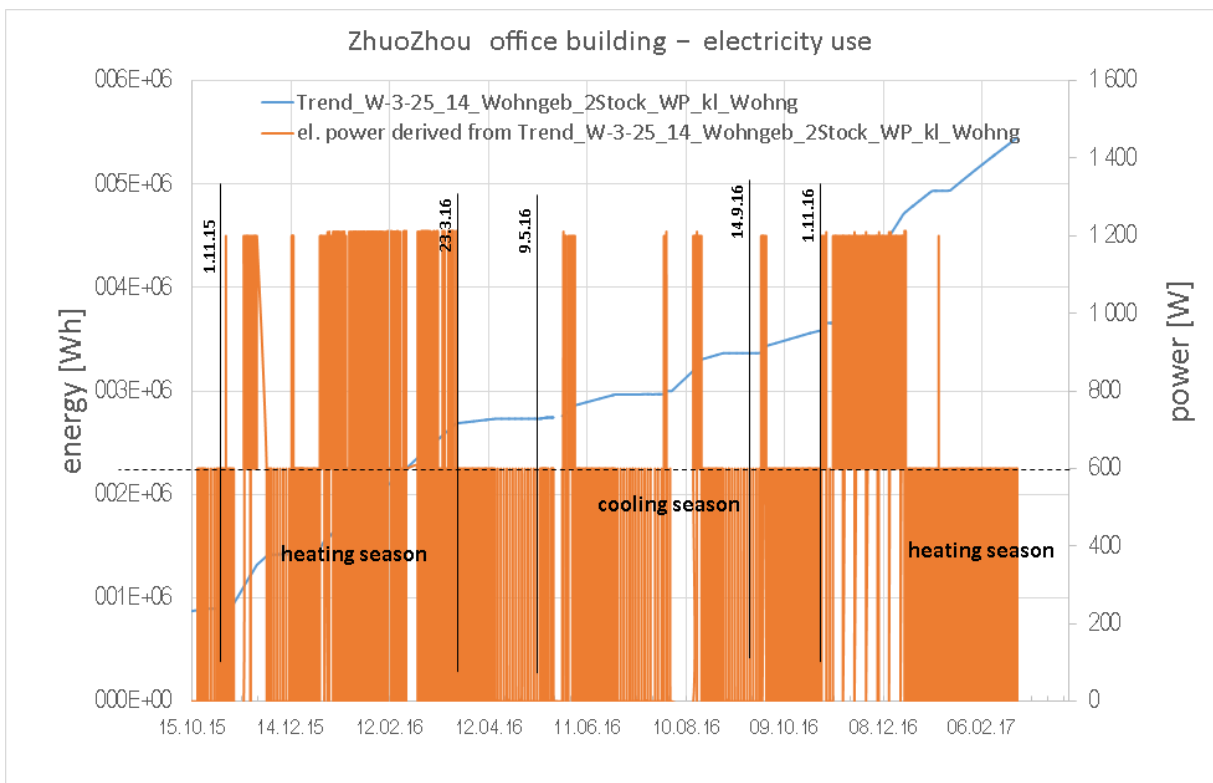


Abbildung 77: Stromzähler für WP der kleinen Wohnung im 2. Stock. Die Zeiten, in denen gekühlt und geheizt wurde lassen sich gut erkennen. Genauere Auswertung mit geeigneten Mittelwerten.

6.11 Wohngebäude: Webcam zur Auswertung der Verschattung

Die Fotos von der einen Fassade des Wohngebäudes zeigen sehr schön die Funktion des automatisierten Betriebs der Verschattungen (Rollläden). Da die Arbeiter häufig tagsüber nicht anwesend sind besteht die Gefahr, dass die Verschattungen häufig nicht geschlossen wären

18.04.2016

11:56 Uhr



20.04.2016

10:12 Uhr



12:56 Uhr



14:14 Uhr



13:57 Uhr



16:15 Uhr



18:17 Uhr



Abbildung 78: Webcam, Fotos Verschattung Wohngebäude

28.05.2016
6:13 Uhr



11:16 Uhr



12:16 Uhr



18:20 Uhr



25.06.2016
08:38 Uhr



11:40 Uhr



13:41 Uhr



18:44



20.09.2016
08:52 Uhr



11:54 Uhr




15:56 Uhr



17:57 Uhr



Abbildung 79: Webcam, Fotos Verschattung Wohngebäude



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
bmvit.gv.at