



Energieoptimiertes Bauen – EnEff:Schule
Neubau der St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale)
als Nullenergiehaus in Holzbauweise

Abschlussbericht

Teil 10: Photovoltaik, Windkraft und Batterie

Prof. Dr.-Ing. K. Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) K. Gebhardt, M. Eng.

Die Verantwortung für den Inhalt
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Magdeburg, September 2018

unter dem Förderkennzeichen
FKZ 03274300
gefördert durch das:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Projektförderung:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
unter dem Förderkennzeichen FKZ 03274300
Im Förderprogramm Energieoptimiertes Bauen (EnOB) – EnEff: Schule

Projektträger:

Projektträger Jülich (PTJ)
Wilhelm-Johnen-Straße
52428 Jülich

Projektlaufzeit:

01.04.2013 - 31.03.2018

Fördermittelnehmer und Forschungskooperationspartner:



Edith-Stein-Schulstiftung des Bistums Magdeburg
Max-Josef-Metzger-Str. 1
39104 Magdeburg

Verantwortliche Berichtverfasser:



Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) Katharina Gebhardt, M. Eng.
Fachbereich Wasser, Bau, Umwelt und Sicherheit
Hochschule Magdeburg/Stendal
Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg

Projektbearbeiter:

Prof. Dr.-Ing. Kati Jagnow
Dipl.-Ing. (FH) Katharina Gebhardt, M. Eng.
Yujin Guo, M. Eng.
Sandra Jäger, M. Eng.
Florian Hallensleben, M. Eng.
Sören Herthum, B. Eng.

Yabo Liu, M. Eng.
Ronny Mank, B. Eng.
Robert Schulze, M. Eng.
Azhar Soboh, M. Eng.
Florian Switala, M. Eng.

Datenstand:

Magdeburg, 30.09.2018

Inhalt

Impressum	3
1 Zusammenfassung	7
2 Funktionsschema und Kurzbeschreibung	19
3 Komponenten und Bauteile	21
3.1 Installationspläne	21
3.2 Hausanschluss	27
3.3 Photovoltaik.....	33
3.4 Windrad	40
3.5 Batterie	43
3.6 Elektrische Netze	47
3.7 Geräteausstattung	49
4 Stromertragsprognose	57
4.1 PV Simulation	57
4.2 Windkraft.....	60
5 Strombedarfsprognose	63
5.1 Vorgehensweise	63
5.2 Schule und Hort	63
5.3 Küche	69
5.4 Hausmeisterwohnung.....	72
5.5 Außenbeleuchtung.....	74
5.6 Gesamtauswertung	74
6 Messergebnisse Gesamtenergie	79
6.1 Messorte und Messtechnik	79
6.2 Gesamtstromverbrauch.....	80
6.3 Photovoltaik.....	85
6.4 Messdatenkorrektur	93
6.5 Erkenntnisse und Fazit.....	93
7 Detailanalyse und Funktion	95
7.1 Messorte und Messtechnik	95
7.2 Detailanalyse von Einzelverbrauchern	96
7.3 Detailanalyse Windkraft.....	158
7.4 Detailanalyse Batterieanlage	163
7.5 Tagesprofile und Lastgänge	166
7.6 Messdatenkorrektur	173
8 Anhang	177
8.1 Literatur.....	177
8.2 Nomenklatur	178
8.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	179
8.4 Pläne.....	184
8.5 Detailanalyse zur Bedarfsermittlung.....	192
8.6 Detailanalyse zur Verbrauchsverteilung.....	208
8.7 Verantwortliche Planer und Ausführende	218
8.8 Überblick über separate Anhänge.....	218

1 Zusammenfassung

Für die Stromversorgung der Schule gibt es drei Anlagen zur Selbsterzeugung sowie einen Hausanschluss von den Stadtwerken. Komplettiert wird das Versorgungssystem durch eine elektrochemische Batterie.

Wichtigstes Element des Konzeptes sind die 422 m² Photovoltaik-Paneele auf dem Schuldach. Sie sind nach Süden ausgerichtet und liegen flach (15° Neigung) auf dem Kiesbett des Flachdaches. Bei maximaler Sonneneinstrahlung produzieren sie eine Leistung von 70,8 kW (Peak), ansonsten je nach Strahlungsangebot. Es handelt sich um 289 Module aus polykristallinem Silizium. Der produzierte Gleichstrom wird in fünf Wechselrichtern in Wechselstrom mit 50 Hertz Frequenz umgeformt.

Das zweite Photovoltaikfeld mit 45 Modulen bzw. 40 m² Fläche und einer Peakleistung von 6,3 kW befindet sich auf dem Carport. Es ist ebenfalls nach Süden ausgerichtet, jedoch mit 20° Neigung aufgestellt. Auch dieses Feld besitzt zwei Wechselrichter und ist mit der Elektrozentrale verbunden.

Der letzte Produzent ist eine Mikro-Windkraft-Anlage. Sie hat bei höchst zulässiger Windgeschwindigkeit (bevor die interne Bremse einsetzt) eine Leistung von 1 kW. Der Generator liefert prinzipiell bereits Wechselstrom, jedoch besitzt auch diese Anlage zusätzlich Gleich- und Wechselrichter. Über ein Erdkabel ist auch das Windrad mit dem restlichen Netz verbunden.

Übersteigt die Produktion den Stromverbrauch, wird eine Batterie geladen. Ist diese voll, wird der Strom über einen Zähler ins Netz des Versorgers eingespeist. Übersteigt der Verbrauch die Produktion, wird zuerst die Batterie geleert und danach aus dem Versorgernetz Strom entnommen und gezahlt (Zwei-Wege-Zähler). Die Batterieanlage steht im Carport und ist mit einer eigenen Erdleitung zur Be- und Entladung mit der Zentrale verbunden. Sie hat 16 Module mit einer Gesamtspeicherkapazität von 25,6 kWh.

Der Hausmeister hat – wie jeder andere Einzelnutzer – einen eigenen Stromanschluss mit Zähler beim Versorger seiner Wahl. Seine Wohnung ist nicht mit der Photovoltaik verbunden.

Photovoltaik

Die Photovoltaikanlage auf dem Dach wurde am 15.04.2014 in Betrieb genommen. Einen Eindruck der Anlage vor Ort gibt Abbildung 1-1.



Abbildung 1-1: Photovoltaikanlage auf Dach

Die Module sind nach Süden gerichtet und haben eine Neigung von 15° sowie einen Wirkungsgrad von 15,1%. Die fünf Wechselrichter der Firma SMA (4 x Typ STP 15000TL-10, 1 x Typ STP 12000TL-10) sind aus Platzgründen auf dem Dach aufgestellt. Es handelt sich um Modelle ohne Transformator.

Die PV-Anlage auf dem Carport hat nicht nur einen funktionalen Zweck. Sie wurde sichtbar gebaut, um von Schülern, Bewohnern der Umgebung sowie Besuchern wahrgenommen zu werden. Dadurch erfüllt sie einen pädagogischen Zweck: Die Nutzung regenerativer Energie zu zeigen und das Umweltbewusstsein zu stärken. Einen Eindruck gibt Abbildung 1-2.

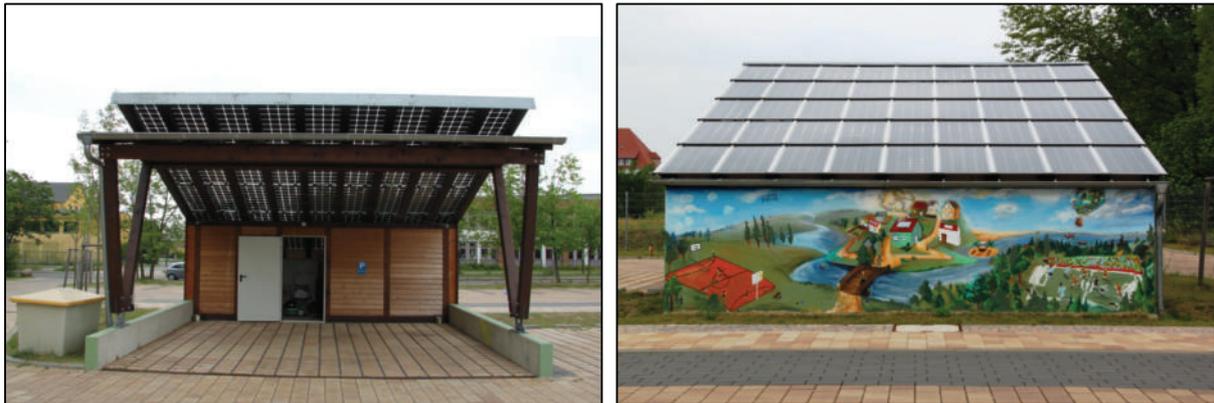


Abbildung 1-2: Nord- und Südansicht des Photovoltaik-Carports

Die Anlage wurde am 01.11.2014 in Betrieb genommen. Auf dem Carport befinden sich 45 Module vom Typ 36MGLass des Herstellers Solarwatt. Ihr Wirkungsgrad beträgt 15,5 %. Die Module sind an zwei Wechselrichtern Typ STP 6000TL-20 von SMA Solar Technology angeschlossen.

Die Anlage erhält nach dem EEG Förderung für den rückgespeisten Strom. Die Vergütung liegt bei 12,0 Cent/kWh.

Im Verlaufe des Monitorings wurde die Anlage mehrfach berechnet, u. a. wurden 3 Simulationen durchgeführt: in der Phase der Vorplanung 2011, kurz nach der Inbetriebnahme 2014 und parallel zum Monitoring 2016. Auch eine Bedarfsermittlung im Zusammenhang mit dem EnEV-Nachweis liegt vor.

Die finale Simulation ergibt einen korrigierten Ertrag von 77,2 MWh/a. Der reale Ertrag der beiden Anlagen als Mittelwert der Jahre 2016 und 2017 liegt bei 79,9 MWh/a. Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Wirkungsgrad von 14,7 % gemessen. In Anbetracht der noch zu erwartenden Alterung der Module (Degradation) sowie der Verschmutzung der kommenden Jahre sind die Prognosen eingetreten und die Anlage erfüllt die Erwartungen.

Es kann festgestellt werden, dass die Simulation sehr genaue Ertragsprognosen liefert, wenn die Anzahl der PV-Module sowie deren Fläche, Ausrichtung und Wirkungsgrad korrekt erfasst wird. Im EnEV-Nachweis mit Bilanzierung nach DIN V 18599 müssen Standardwirkungsgrade verwendet werden. Das führt zu einer deutlichen Unterschätzung des Ertrags mit nur 52 MWh/a.

Als Mittelwert der beiden Jahre 2016/17 ergibt sich eine Einspeisung von produziertem Überschussstrom ins Netz von 38,1 MWh/a. Das sind 48 % der PV-Produktion. Der Rest wird selbst genutzt. Aus dem Netz werden 63,7 MWh/a Strom zugekauft. Das sind 60 % des Gesamtnutzens. Der Rest wird selbst erzeugt.

Die PV-Anlage ist – von den in der St. Franziskus-Grundschule getesteten Effizienztechnologien – eine zur Nachahmung empfohlene.

Windrad

Als Windrad kam eine vertikale Windturbine WW-1 Aerolus 1.3 zur Ausführung, siehe Abbildung 1-3. Das Windrad wurde Mitte 2015 installiert. Geplant waren ursprünglich acht (Vorüberlegungen), dann drei (Projektantrag) dieser Modelle. Einerseits aus Kostengründen, andererseits aufgrund von Problemen bei der Baugenehmigung sowie aufgrund massiver Verzögerungen bei der Lieferung beschränkte sich die Untersuchung schließlich auf ein Gerät. Wie die PV-Anlage auf dem Carport dient es pädagogischen Zwecken.



Abbildung 1-3: Vertikale Windturbine

Der Generator ist ein getriebeloser Permanent-Magnet-Scheiben-Generator mit einem kernlosen (eisenlosen) Stator. Der Rotor ist 3 Meter hoch und hat einen Durchmesser von 1 Meter. Die dem Wind ausgesetzte Turbinenfläche beträgt 3 m^2 . Die Nennleistung liegt bei 1000 Watt bei 180 Umdrehungen in der Minute, der Wirkungsgrad ist mit 85 % angegeben. Die Startgeschwindigkeit beträgt ab $0,5 \text{ m/s}$. Die Einschaltgeschwindigkeit zur Stromproduktion liegt bei $2,0 \text{ m/s}$.

Der produzierte Strom wird zunächst gleichgerichtet. Anschließend folgt eine Stromüberwachung mit zwei Halbleiter-Leistungsschaltern für die beiden Bremswiderstände. Der übrige Gleichstrom wird anschließend wieder über einen Wechselrichter geschickt. Warum der umständlich anmutende Verschaltungsweg gewählt wurde, ist im Rahmen des Monitorings nicht nachvollziehbar. Er führt jedoch zu erheblichen Stillstandsverlusten des Systems.

Während die Überlegungen zur Beseitigung des Problems noch nicht abgeschlossen waren, kam es zur Jahreswende 2017/18 zum Totalschaden. Eine Stromproduktion ist ohne Reparaturen nicht mehr möglich. Aufgrund der technischen Probleme vorab sowie der nicht mehr vorhandenen Gewährleistung wird auf eine Reparatur verzichtet. Das Windrad ist nunmehr ausschließlich Werbeträger ohne technischen Nutzen.

Im Verlaufe des Monitorings wurde die Anlage mehrfach berechnet, u. a. wurden 2 Simulationen durchgeführt: kurz vor der Inbetriebnahme 2014 und parallel zum Monitoring 2016. Auch eine Bedarfsermittlung im Zusammenhang mit dem EnEV-Nachweis liegt vor. Die finale Simulation ergibt einen Ertrag von $0,59 \text{ Wh/a}$. Der EnEV-Nachweis liefert $0,39 \text{ MWh/a}$.

Ein realer Ertrag der Anlage ist messtechnisch nicht feststellbar. Insbesondere der Standby-Verbrauch der Wechselrichter und Sicherheitstechnik führt dazu, dass der Bedarf des Gerätes den Ertrag übersteigt.

Die Peripherie bezieht dauerhaft ca. 135 W Leistung als Eigenverbrauch, auch wenn kein Wind weht. Ab ca. 70 W produzierter Windleistung beginnt der Wechselrichter zu arbeiten, sodass der Verlust dann nur noch 65 W beträgt. Ab 135 W Windleistung ist der Verlust ausgeglichen, erst darüber entsteht ein Ertrag.

Im Verlaufe eines Jahres werden etwa 850 kWh Strom bezogen, aber nur 25 geliefert (Faktor 34!). Damit liegt die Nettobilanz bei einem Verbrauch von 825 kWh. Das Windrad wird in allen Auswertungen daher als Stromverbraucher eingestuft, nicht als Lieferant.

Eine Empfehlung zur Installation eines solchen Windrades aus wirtschaftlichen Erwägungen kann nicht ausgesprochen werden.

Batterie

Die Inbetriebnahme der Batterie im Carport erfolgte erstmalig am 22.04.2015. Bei der Batterieanlage handelt es sich um 16 Einheiten Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LiFePO₄) Typ SP-LFP500AHA vom Hersteller Sinopoly. Die Gesamtspeicherkapazität liegt bei 25,6 kWh. Als Batteriesteuerung kommt das Gerät Sunny Island 6.0H der Firma SMA zum Einsatz. Das Gerät hat eine Fernwartung, so dass Softwareupdates vollautomatisch installiert werden. Ende 2015 zeigte sich nach mehreren Versuchen der Inbetriebnahme seitens des ausführenden Handwerkers, dass die Steuerung und die Batterie nicht kompatibel sind. Die Umprogrammierung der Ladesteuerung wurde jeweils mit dem nächsten Update von SMA überschrieben. Dies führte zum Ansprechen der Überlastsicherung beim nächsten Ladevorgang.

Abbildung 1-4 gibt einen Eindruck der Einbausituation. Der im Carport gegebene weitere Platz sollte genutzt werden, um die Batterie im Zuge des Monitorings zu erweitern.



Abbildung 1-4: Komplettbatterie Lithium (links) und Bleigel (rechts)

Der ausführende Elektrofachbetrieb entfernte die vorhandene Batterie nach mehrmonatigem ungelöstem Streit und mehreren Reparaturversuchen im Sommer 2016. Anschließend erfolgte die Umstellung auf eine Bleibatterie. Im Frühjahr 2017 wurde eine neue Batterie als Ersatz aufgestellt.

Zwischen April und August 2017 lief das Ersatzmodell einwandfrei, seit dem 28.08.2017 ist die Batterieanlage defekt und musste aus noch ungeklärten Gründen erneut stillgelegt werden. Bis zum Ende des Monitorings wurde die Anlage nicht wieder in Betrieb genommen.

Die Batterieanlage kann nur in der Zeit vom 05.04.2017 bis 29.08.2017 untersucht werden. Im Mittel wurde der Batterie eine Energie von 12,6 kWh/d zugeführt, aber nur 8,5 kWh/d entnommen.

Gemessen wird in der Wechselstromebene, so dass alle Verluste der Gleichrichtung vor der Einspeicherung, die Speicherungsverluste selbst sowie die Wechselrichtungsverluste nach der Entnahme enthalten sind. Der tägliche Verlust beläuft sich auf 4,1 kWh/d. Der Nutzungsgrad des Teilsystems liegt bei 67 %, was nicht zufriedenstellend ist.

Der gegebene Betrieb war nicht wirtschaftlich und brachte technische Probleme sowie rechtliche Streitigkeiten mit sich. Das Konzept kann somit nicht weiterempfohlen werden, es sei denn deutlich andere Randdaten gelten. Für die St. Franziskus-Grundschule ist die Batterienutzung kein wirtschaftlicher Verlust, weil die Investitionskosten gefördert wurden.

Strombedarf des Gebäudes

Es erfolgten insgesamt 3 Berechnungen des Strombedarfs für das Gebäude: 2014 kurz nach der Inbetriebnahme, 2016 nach Vorliegen von Messwerten des Grobmonitorings sowie 2018 die finale Bilanz mit Einbezug des Intensivmonitorings. Die Ergebnisse der Schlussbilanz werden nachfolgend kurz zusammengefasst. Wichtige Ergebnisse der einzelnen Nutzungszonen zeigt Tabelle 1-1.

Tabelle 1-1: Ergebnisse der Energiebedarfsbilanz

	Sani-tär	Aula	Hort	Ver-kehr	Büro	Klasse	Woh-nen	Küche	Tech-nik	Ge-bäude
Energiemenge, [kWh/a]	1265	1349	4397	7351	8334	10003	5324	13987	64382	116393
Fläche, [m ²]	76,8	226,7	327,4	1056,0	244,95	870,95	112,53	47,5	123,09	3086
Energiekennwert [kWh/(m ² a)]	16,5	6,0	13,4	7,0	34,0	11,5	47,3	294,5	523,0	37,7

Werden die Ergebnisse weiter zusammengefasst, ergibt sich folgendes:

- Schule ohne Küche und Hausmeisterwohnung
 - Energiebedarf: 97,1 MWh/a
 - davon Beleuchtung: 13,8 MWh/a
 - mechanische Belüftung: 39,6 MWh/a
 - alle anderen elektrischen Anwendungen (incl. TGA): 43,7 MWh/a
- Küche mit 61.000 Essen/Jahr
 - Energiebedarf: 24,6 MWh/a
 - davon Beleuchtung: 0,5 MWh/a
 - mechanische Belüftung: 3,6 MWh/a
 - alle anderen elektrischen Anwendungen (incl. TGA): 20,5 MWh/a
- Hausmeisterwohnung
 - Energiebedarf: 5,3 MWh/a
 - 24 % Heizung, 17 % Lüftung, 9 % Trinkwassererwärmung, 7 % Beleuchtung und der Rest für alle anderen Anwendungen

Abbildung 1-5 zeigt den Strombedarf des Gesamtgebäudes nach Verbrauchsarten und -gruppen. Es entfallen 35 % auf die Lüftung und 12 % auf die Beleuchtung. Weitere insgesamt 22 % entfallen auf Koch-, Kühl- und Reinigungsanwendungen. Die restlichen TGA-Anwendungen belaufen sich auf 10 %. Der Rest (21 %) ergibt sich aus der Gerätenutzung sowie dem Betrieb von Mess- und Sicherheitstechnik.

Insgesamt gilt für das Objekt: 73 % des auftretenden Verbrauchs ist nutzungsbedingt, 20 % sind Dauerverbraucher, die restlichen 7 % sind Standby-Verbraucher. Nur etwa 2 % des Gesamtverbrauchs ist von Nutzern vermeidbar.

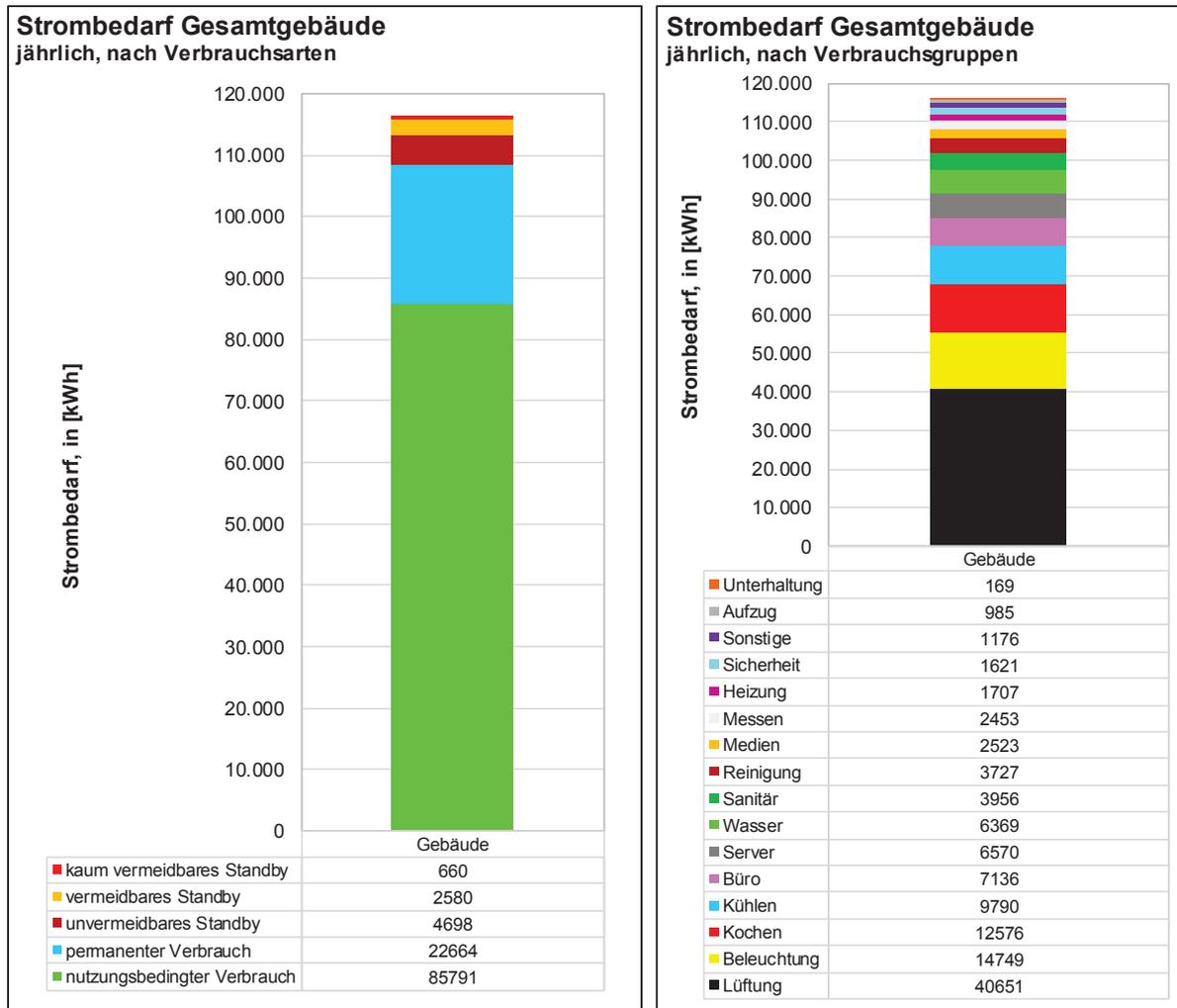


Abbildung 1-5: Strombedarfsbilanz des Gesamtgebäudes – Verbrauchsarten und -gruppen

Die Energiebilanz des Bedarfs für Kleinelektrogeräte und Beleuchtung kann hinreichend genau auf Basis von Leistungsangaben der Hersteller sowie Laufzeiten nach Befragung erfolgen. Ein Abgleich mit grob erfassten Haupt- und Unterzählern reicht hinsichtlich der Genauigkeit aus. Folgende Verbraucher können nicht ohne weiteres korrekt eingeschätzt werden:

- Server
- RLT-Anlagen
- Küchentechnik
- Solarspeichernachheizung
- Druckerhöhungsanlage

Hier sind genauere Messungen erforderlich. Allerdings muss kein Intensivmonitoring in 10-Minuten-Intervallen – wie in der St. Franziskus-Grundschule erfolgt – dazu aufgebaut werden. Entweder es werden handelsübliche (digitale) Stromzähler vorgesehen, die manuell abgelesen werden können. Alternativ erfolgt eine Kurzzeitmessung (Woche, Monat) mit einer mobilen Strommesszange und Datenlogger.

Gemessener Verbrauch des Gesamtgebäudes

Abbildung 1-6 zeigt den Stromverbrauch des Gesamtgebäudes mit seinen 4 Verbrauchern: der Hausmeisterwohnung (5 %), dem Hort (4 %), der Küche (23 %) sowie der eigentlichen Schule mit Verwaltungstrakt und Aula (68 % Verbrauchsanteil). Es ist dazu anzumerken: der Küchenverbrauch enthält zu einem sehr geringen Anteil auch Energiemengen, die eigentlich der Hausmeisterwohnung zuzuschreiben wären (thermische Desinfektion des Speichers). Außerdem ist in der Menge des Hortes kein Energieaufwand für die Belüftung enthalten, da die Horträume an der zentralen RLT angeschlossen sind.

Der Jahresgesamtverbrauch beläuft sich auf 110,2 MWh/a. Das entspricht einem Energiekennwert von im Mittel 35,7 kWh/(m²a). Die Einzelkennwerte liegen bei:

- 48,1 kWh/(m²a) für die Hausmeisterwohnung
- 8,5 kWh/(m²a) für den Hort
- 312,7 kWh/(m²a) für die Küche
- 31,1 kWh/(m²a) für die Schule mit Verwaltung.

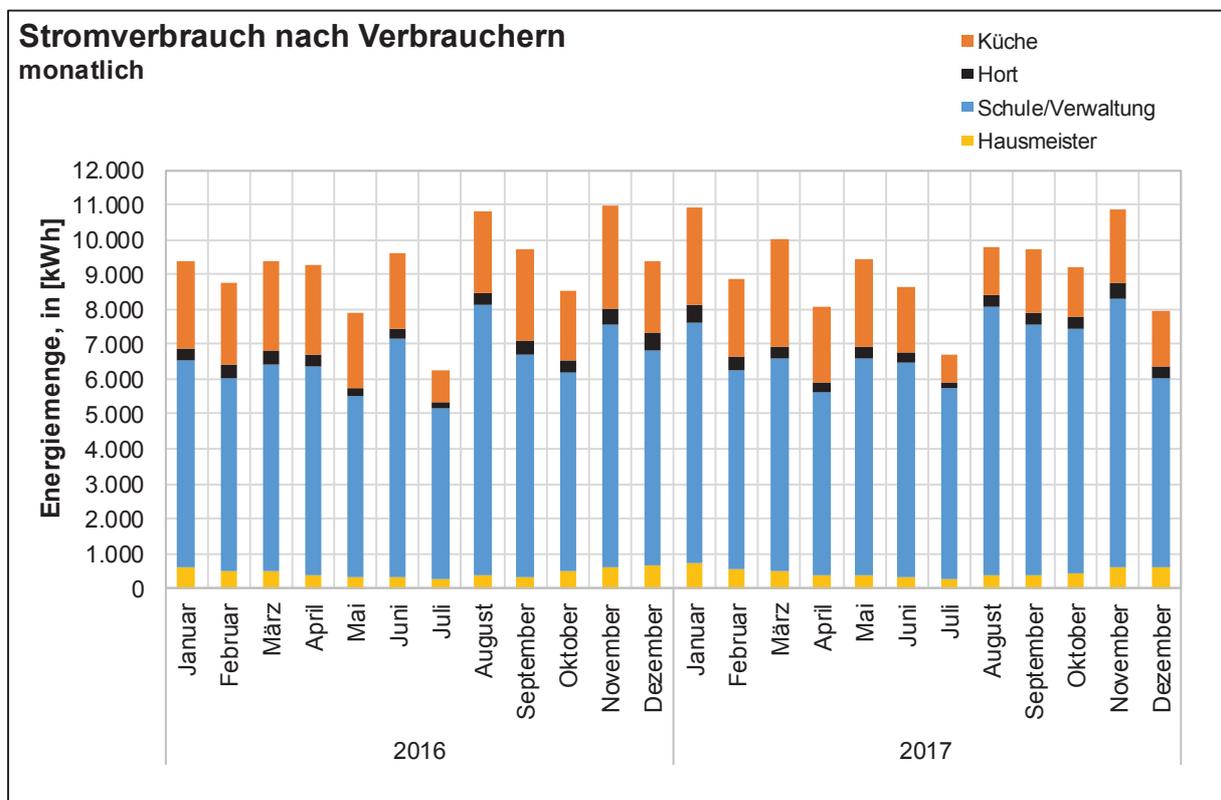


Abbildung 1-6: Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern – 2016 und 2017

Gemessener Verbrauch für Schule, Hort und Verwaltung

Abbildung 1-7 schlüsselt den Verbrauch der Schule mit Hort und Verwaltung nach Anwendungen auf – jeweils sofern diese messtechnisch erfasst sind.

Die größten Verbraucher sind mit 25 % bzw. 21 % des Stromverbrauchs die beiden RLT-Anlagen der Verwaltung/Aula (Gebäudeteil A) und des Klassentraktes/Hortes (Gebäudeteil B). Die zentralen Anlagen (Aufzug, Server und Serverkühlung) machen insgesamt 13 % des Verbrauchs aus. Die Pumpen und zugehörigen Regelungen führen zu knapp 7 % des Verbrauchs. Die nutzungsbedingten Aufwendungen für Elektrogeräte und Beleuchtung ergeben die restlichen 34 % des Verbrauchs. Eine Witterungsabhängigkeit sowie der Einfluss der Ferien ist zu erkennen.

Stromverbrauch der Schule mit Hort und Verwaltung nach Anwendungen monatlich

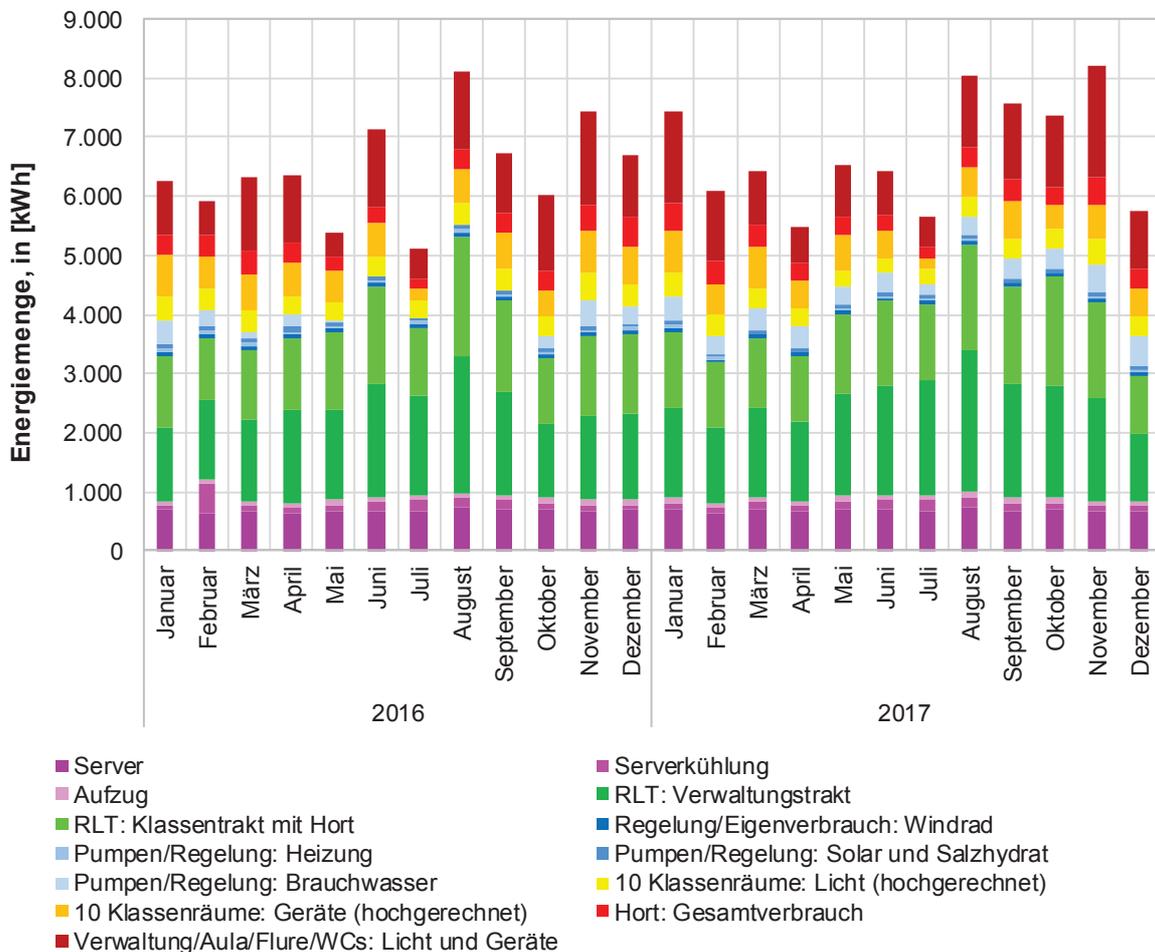


Abbildung 1-7: Gesamtstromverbrauch Schule/Hort/Verwaltung nach Verbrauchern – 2016/17

Abbildung 1-8 zeigt das Tagesprofil der Schule (ohne Hausmeisterwohnung). Dargestellt ist der Gesamtverbrauch für Schule, Hort, Verwaltung und Küche, unabhängig von der Frage, ob er mit Netzstrom oder aus PV gedeckt wird.

Deutlich erkennbar ist der Einfluss der Lüftungsanlage, welche ab 3 Uhr bzw. 5 Uhr den ersten Verbrauchssprung bewirkt. Das Eintreffen der Hort- und Küchenmitarbeiter sowie der ersten Kinder um 6 Uhr führt zum größten Einzelsprung des Tagesverlaufs. Bis 9 Uhr ist das Maximum erreicht. Lüftung, Beleuchtung und die Küche laufen maximal. In der Mittagspause gegen 12 Uhr gibt es einen kleinen Verbrauchsrückgang, da die Küche Essen verteilt und weder kocht, noch spült.

Auch in den Klassenräumen bewirken die Bewegungsmelder ein Abschalten der Beleuchtung und Belüftung. Nach dem Essen kommt noch eine Unterrichtsstunde sowie der Spülbetrieb in der Küche, so dass es erneut zu einem Anstieg gegen 13 ... 14 Uhr kommt.

Bis 17 Uhr verlassen die Kinder, Betreuer sowie das Küchenpersonal nach und nach die Schule. Dann wird die Lüftungsanlage abgeschaltet, was zum größten Rücksprung des Verbrauchs führt. Anschließend ist wieder Grundlastbetrieb gegeben. Es laufen die Grundlüftung der Küche, der Server mit jeglicher Sicherheitstechnik, die Kühltechnik der Küche sowie alle Standbyverbraucher.

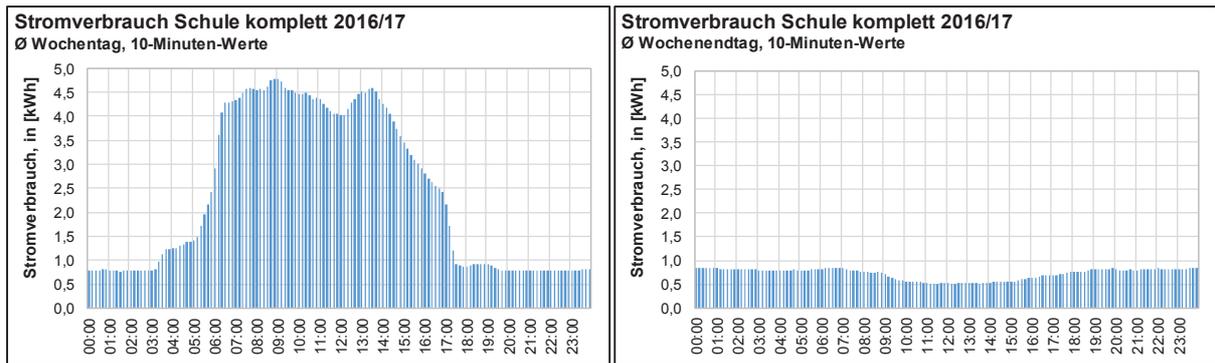


Abbildung 1-8: Tagesprofil Stromverbrauch Schule o. Hausmeisterwohnung

Gemessener Verbrauch der Küche

Abbildung 1-9 zeigt die detaillierte Energiebilanz der Küche. Die Kühlzellen, RLT-Anlagen und Trinkwassererwärmung werden separat beschrieben. Der sonstige Verbrauch ergibt sich aus dem eigentlichen Kochen. In den Zeiten der Sommerferien ist er sehr gering. Zum 01.08.2017 hat ein neuer Pächter die Küche übernommen. Er betreibt keine Kochküche mehr, sondern in weiten Teilen eine Aufwärmküche.

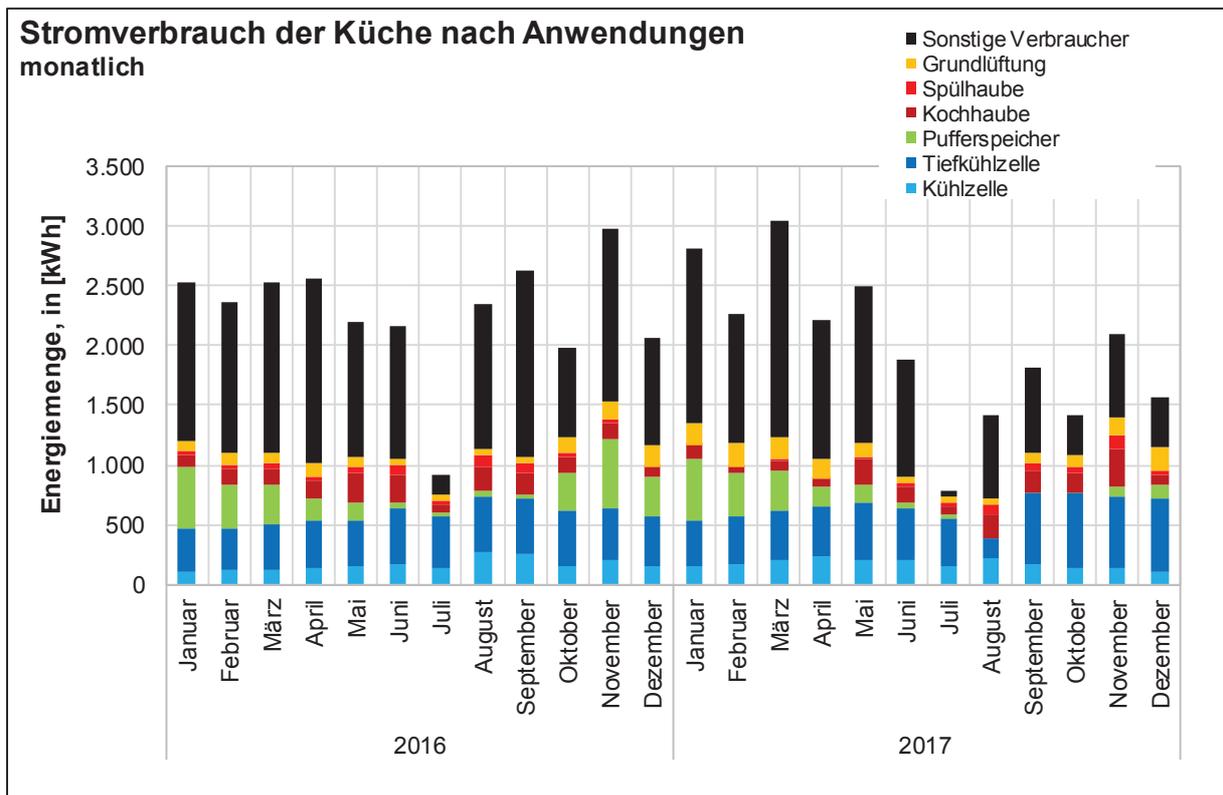


Abbildung 1-9: Monatsbilanz Küchenbetrieb – 2016/17

Die Jahresbilanz für den ersten Pächter ergibt einen Gesamtverbrauch von etwa 27,6 MWh/a für Strom. Davon entfallen ca. 27 % auf die Kühlung, 11 % auf die Trinkwassererwärmung, 12 % auf die RLT und 50 % auf den eigentlichen Kochbetrieb sowie andere Anwendungen (z. B. Beleuchtung).

Die Hochrechnung für den neuen Pächter ergibt einen deutlich geringeren Gesamtverbrauch von nur noch 19,1 MWh/a. Die Verbrauchsanteile verschieben sich. Alle Aufwendungen, die mit dem Kochvorgang verbunden sind, nehmen anteilig ab. Für den neuen Pächter entfallen ca. 40 % auf die Kühlung, 3 % auf die Trinkwassererwärmung, 22 % auf die RLT und 35 % auf den eigentlichen Kochbetrieb sowie andere Anwendungen (z. B. Beleuchtung).

Abbildung 1-10 zeigen den Lastverlauf der Küche. Mit dem Eintreffen des Personals um 6 Uhr werden die Lüftungsanlagen eingeschaltet, so dass es zu einer aktiven Beheizung (Winterhalbjahr) oder Kühlung (passiv im Sommerhalbjahr) kommt. Darüber hinaus wird der Pufferspeicher mit Strom nachgeheizt – je nachdem, welche Solarenergiemenge vom Vortag noch vorhanden ist. Bis etwa 11 Uhr wird gekocht. Kurz vor 12 Uhr bricht der Bedarf sehr leicht ein, weil das Essen nun ausgeschenkt wird. Kurz nach 12 Uhr beginnt parallel der Spülbetrieb. Am Nachmittag werden noch Vorbereitungen für den nächsten Tag getroffen, teilweise vorgekocht, teilweise nur geschält. Gegen 15 Uhr ist der Arbeitstag mit dem Reinigen des Bodens beendet. Die Lüftungsanlagen werden ausgeschaltet. Nachts laufen die Grundlüftung sowie die Kühlzellen.

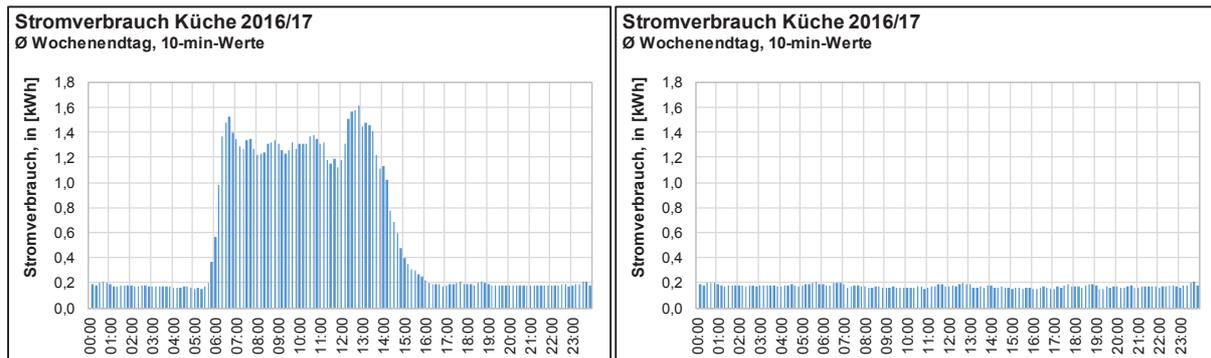


Abbildung 1-10: Tagesprofil – Stromverbrauch Küche

Gemessener Verbrauch der Hausmeisterwohnung

Abbildung 1-11 zeigt den Wochentags- und Wochenendverbrauch der Hausmeisterwohnung. Bereits vor 6 Uhr beginnt in der Woche der Tag. Es fallen Stromverbräuche für Beleuchtung, Küchengeräte, Warmwasserbereitung sowie die Fußbodenheizung des Bades an. Ab 8 Uhr ist die morgendliche Spitze vorbei. Erst mittags nach 12 Uhr, verstärkt nach 18 Uhr ergibt sich ein stetiger Anstieg bis etwa 20 Uhr.

Danach sinkt der Verbrauch und erreicht 22 Uhr das Nachtniveau. Der Nachtverbrauch ergibt sich aus den Kühlgeräten, der Lüftungsanlage sowie allen Standbyverbräuchen. Im Winter wird auch geheizt, wenn auch im Nachtbetrieb.

An den Wochenenden beginnt der Tag erst zwischen 8 und 9 Uhr. Es zeigt sich nun eine ausgeprägtere Mittagsspitze – vermutlich aufgrund des Kochbetriebs. Das nachmittägliche Tief ist gegen 15 Uhr erreicht. Erst von 19 ... 20 Uhr ist aufgrund von Trinkwassererwärmung (Durchlauferhitzer) wieder ein Anstieg zu erkennen. Etwa um Mitternacht wird das Nachtverbrauchsniveau wieder erreicht.

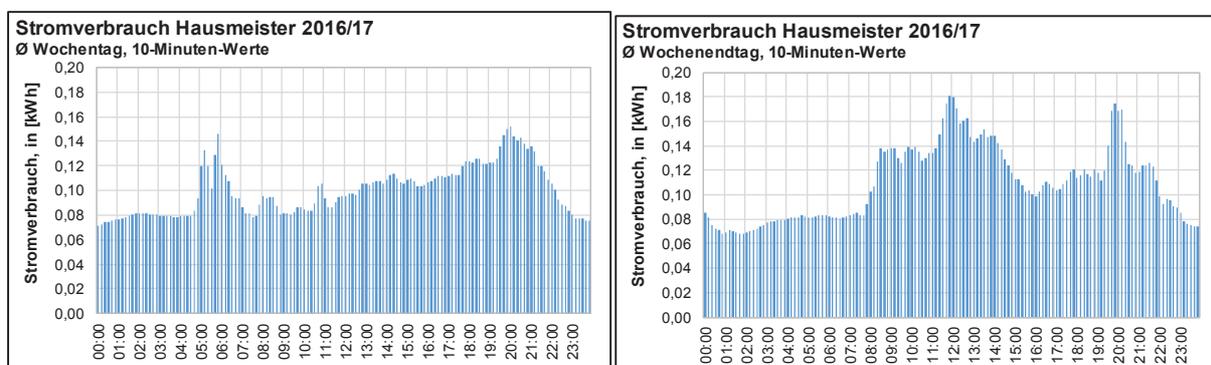


Abbildung 1-11: Tagesprofil – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung

Die Energiebilanz der Hausmeisterwohnung kann Abbildung 1-12 entnommen werden. Der mittlere Jahresenergieverbrauch liegt bei 5,6 MWh/a. Davon entfallen 10 % auf die elektrische Trinkwarmwassernachheizung, 17 % auf die Lüftung, 23 % auf Heizung und 50 % auf den Anwendungsstromverbrauch. Der Heizungsanteil wurde mit der außentemperaturabhängigen Auftragung der Messwerte bestimmt.

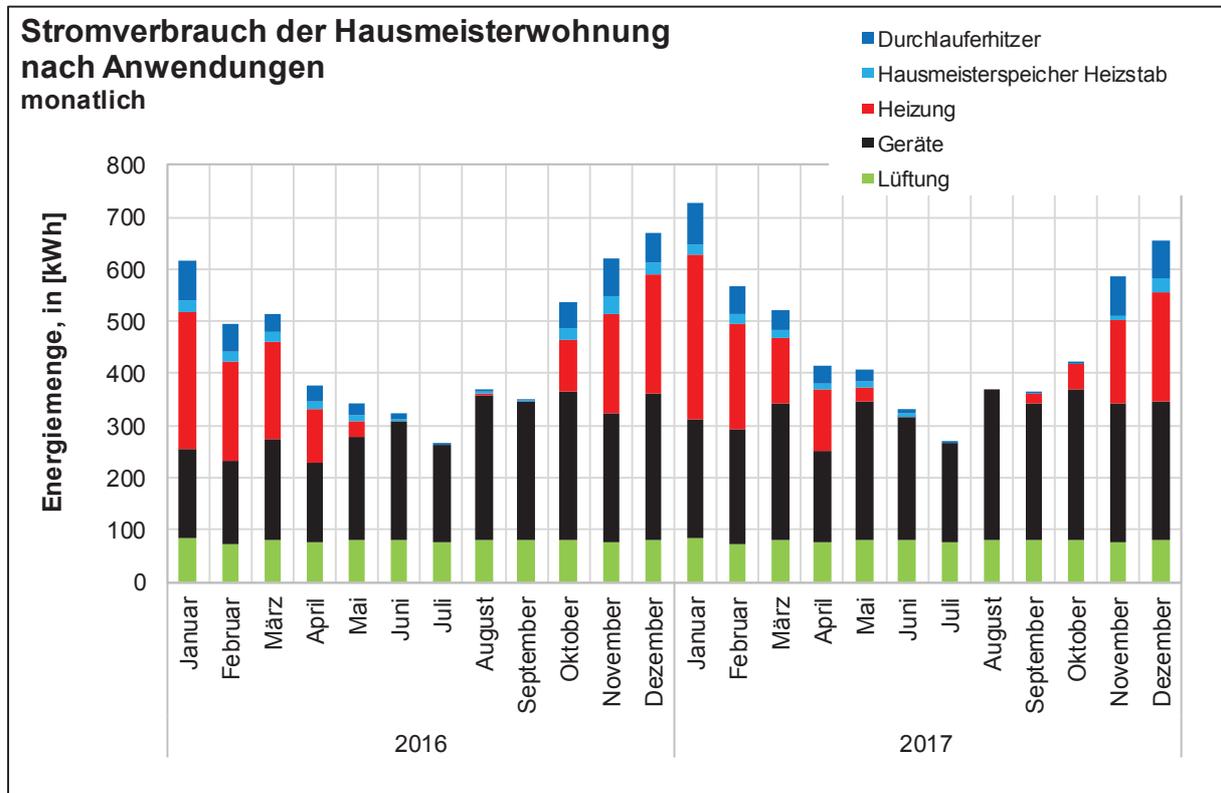


Abbildung 1-12: Monatsbilanz Stromverbrauch der Hausmeisterwohnung – 2016/17

In allen genannten Rubriken sind sehr niedrige Kennwerte erreicht worden. Der Stromverbrauch der nutzungsbedingten Anwendungen (Telefon, Licht usw.) liegt unter dem Bundesdurchschnitt und entspricht eher dem Wert einer 3-köpfigen Familie.

2 Funktionsschema und Kurzbeschreibung

Für die Stromversorgung der Schule gibt es drei Anlagen zur Selbsterzeugung sowie einen Hausanschluss von den Stadtwerken. Komplettiert wird das Versorgungssystem durch eine elektrochemische Batterie.

Wichtigstes Element des Konzeptes sind die 422 m² Photovoltaik-Paneele **1** auf dem Schuldach. Sie sind nach Süden ausgerichtet und liegen flach (15° Neigung) auf dem Kiesbett des Flachdaches. Bei maximaler Sonneneinstrahlung produzieren sie eine Leistung von 70,8 kW (Peak), ansonsten je nach Strahlungsangebot. Es handelt sich um 289 Module aus polykristallinem Silizium.

Der produzierte Gleichstrom wird in fünf Wechselrichtern **2** in Wechselstrom mit 50 Hertz Frequenz umgeformt. So ist er kompatibel zum üblichen Netzstrom in Deutschland. Er wird in einem Kabel **3** vom Dach in den Elektroanschlussraum 0.04 im Erdgeschoss der Schule geleitet. Dort befindet sich die Zentrale mit Steuereinheit **10**.

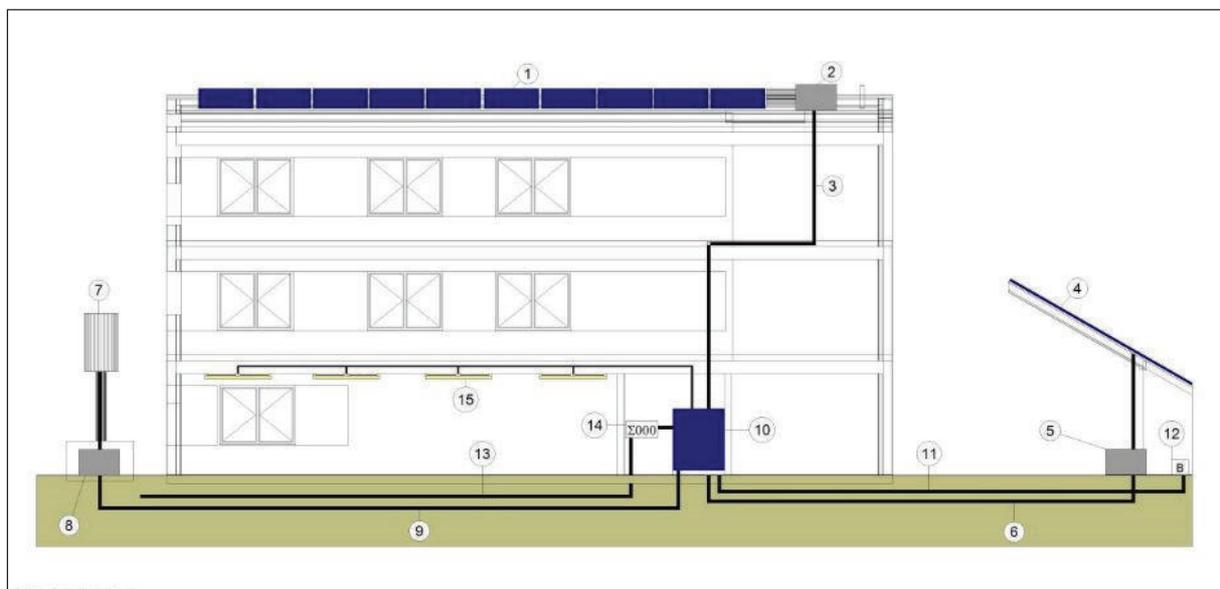


Abbildung 2-1: Konzept der Stromversorgung

Das zweite Photovoltaikfeld **4** mit 45 Modulen bzw. 40 m² Fläche und einer Peakleistung von 6,3 kW befindet sich auf dem Carport. Es ist ebenfalls nach Süden ausgerichtet, jedoch mit 20° Neigung aufgestellt. Auch dieses Feld besitzt zwei Wechselrichter **5** und ist mit der Elektrozentrale verbunden. Es wird ein Erdkabel **6** dazu benutzt.

Der letzte Produzent ist eine Mikro-Windkraft-Anlage **7**. Sie hat bei höchst zulässiger Windgeschwindigkeit (bevor die interne Bremse einsetzt) eine Leistung von 1 kW. Der Generator liefert prinzipiell bereits Wechselstrom, jedoch besitzt auch diese Anlage einen Wechselrichter **8**, der die richtige Frequenz (50 Hz) herstellt. Über ein Erdkabel **9** ist auch das Windrad mit dem restlichen Netz verbunden.

Das Herzstück der Anlage, also die Steuereinheit **10**, registriert den produzierten Strom aus allen 3 Erzeugern sowie die Abnahme der Verbraucher **15**. Übersteigt die Produktion den Stromverbrauch, wird eine Batterie **12** geladen. Ist diese voll, wird der Strom über einen Zähler **14** ins Netz des Versorgers eingespeist. Übersteigt der Verbrauch die Produktion, wird zuerst die Batterie geleert und danach aus dem Versorgungsnetz **13** Strom entnommen und gezählt (Zwei-Wege-Zähler).

Die Batterieanlage steht im Carport und ist mit einer eigenen Erdleitung  zur Be- und Entladung mit der Zentrale verbunden. Sie hat 16 Module mit einer Gesamtspeicherkapazität von 25,6 kWh. Für eine Schule ist die Nutzung einer Batterieanlage selten. Sie wird im Forschungsvorhaben daher untersucht.

Der Hausmeister hat – wie jeder andere Einzelnutzer – einen eigenen Stromanschluss mit Zähler beim Versorger seiner Wahl. Seine Wohnung ist nicht mit der Photovoltaik verbunden.

Wichtige Stromverbraucher in der Schule sind – ausgehend vom Gesamtverbrauch absteigend aufgezählt: die beiden zentralen Lüftungsanlagen, die Küchentechnik mit Kühlzellen, der zentrale Server mit Daten- und Sicherheitstechnik sowie die Druckerhöhung (Pumpe) der Regenwassernutzung. Darüber hinaus sind auch alle anderen typischen Verbraucher einer Neubauschule mit Hort vorhanden: PCs, Beleuchtung, Beamer und Whiteboards, Händetrockner usw.

3 Komponenten und Bauteile

Der nachfolgende Abschnitt erläutert die technischen Bestandteile und Regelungskonzepte der Stromerzeugung und -speicherung, d. h. der beiden Photovoltaikanlagen, der Mikrowindkraftanlage sowie der Batteriespeicher. Darüber hinaus werden die vorhandenen Verbrauchsstrukturen mit wesentlichen Abnehmern und Zählern für den Strom erläutert.

3.1 Installationspläne

Abbildung 3-1 zeigt die Legende zu den Stark- und Schwachstrominstallationsplänen auf den nächsten Seiten. Sie geben eine Orientierung über die Art und Anzahl der Elektroverbraucher in der Schule.

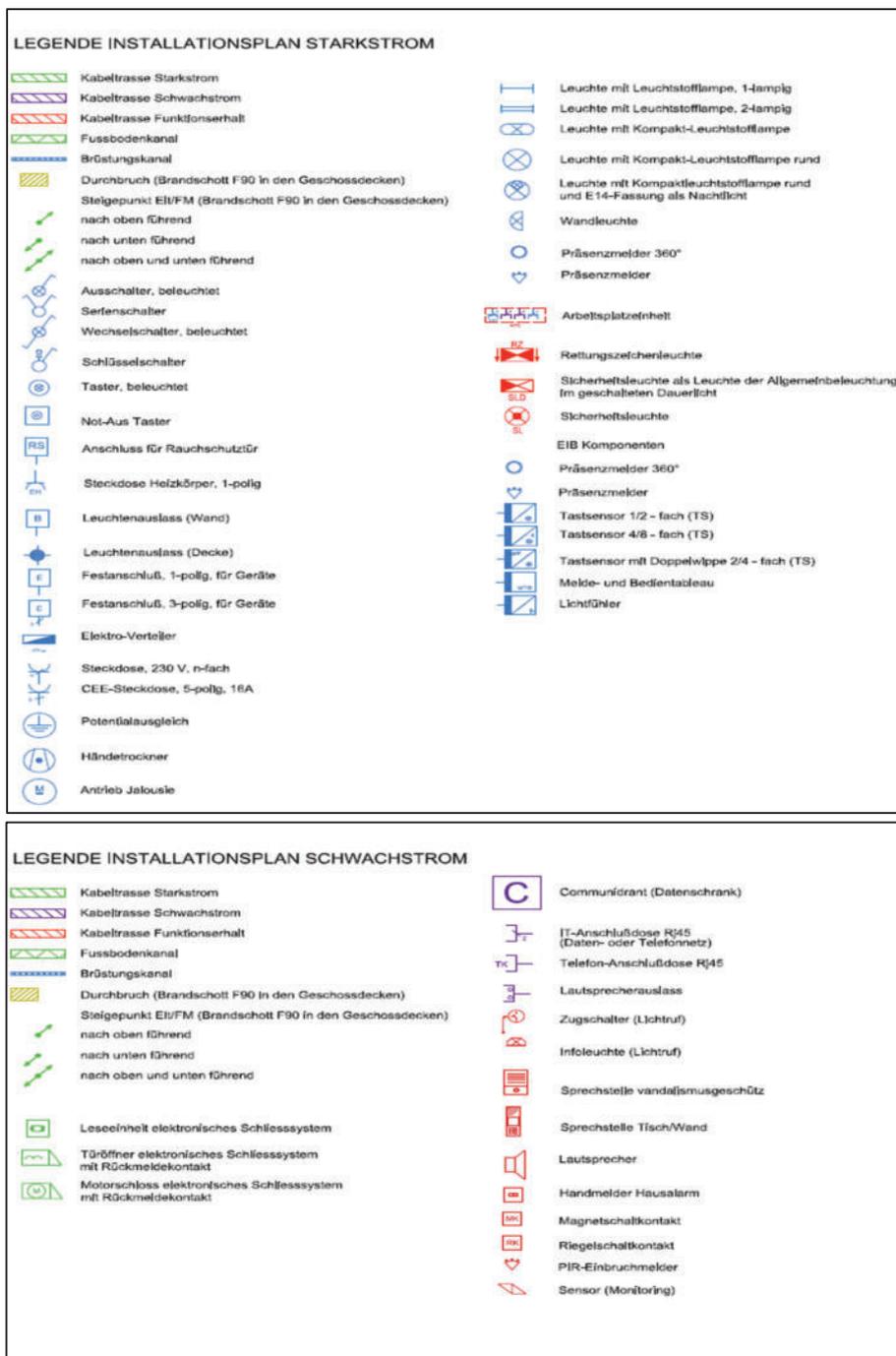


Abbildung 3-1: Legende zur Stark- und Schwachstrominstallation [1]

3.1.1 Starkstrom

Abbildung 3-2 bis Abbildung 3-4 zeigen die Verbrauchsstellen für Starkstrom, d. h. das 220 V-Netz. Im Wesentlichen handelt es sich um die Beleuchtung mit Schaltern oder Bewegungsmeldern, Steckdosen für mobile oder fest installierte Geräte sowie die Jalousieantriebe.

Eine detailliertere Darstellung insbesondere auch der Kabeltrassen befindet sich im Anhang 8.4.1 (Hauptverteilung bis zu den Unterverteilungen), 8.4.2 (Unterverteilung bis zu den Abnehmern), 8.4.3 (Beleuchtung) sowie 8.4.4 (Jalousieantriebe).

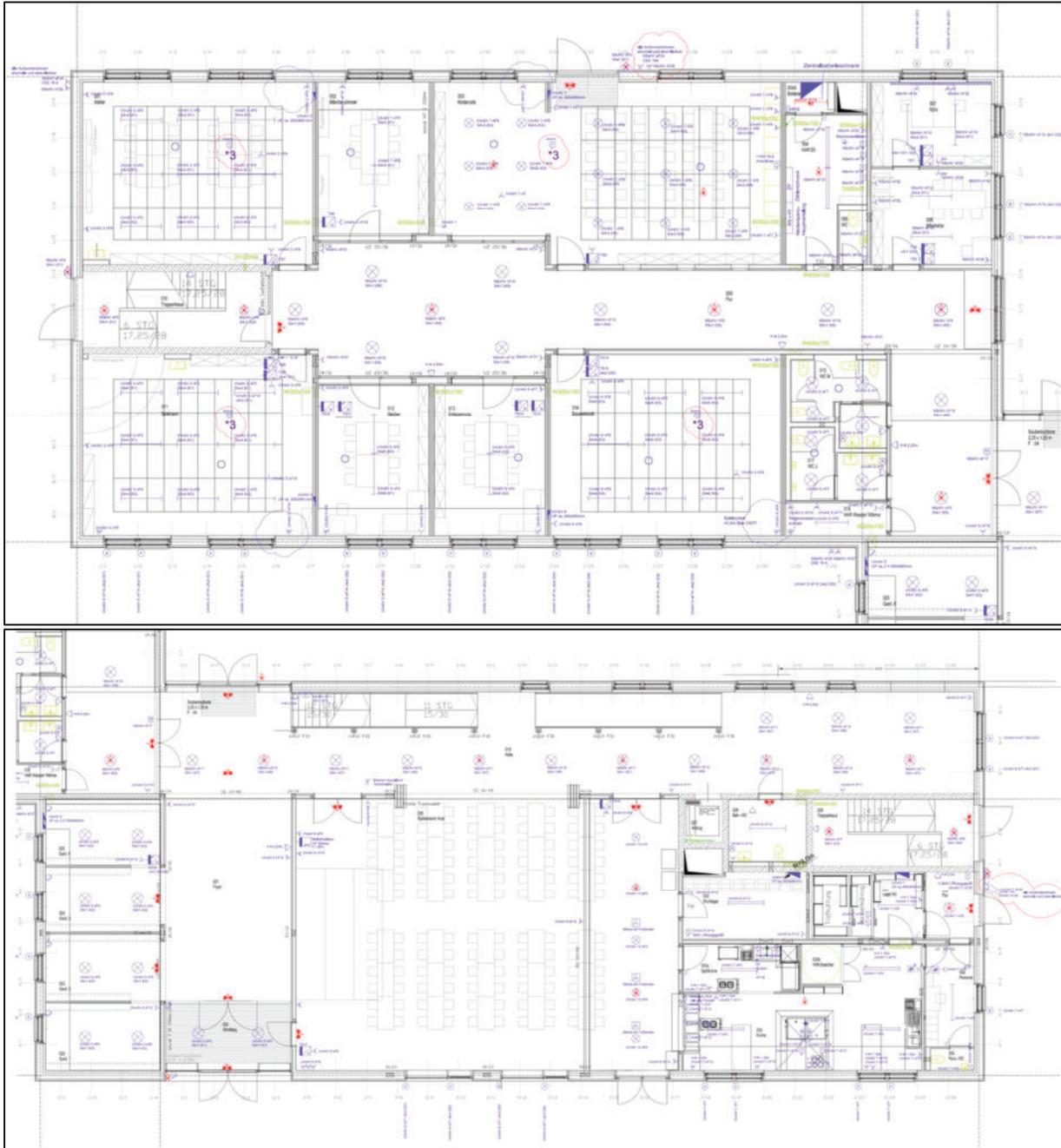


Abbildung 3-2: Starkstrominstallation – Erdgeschoss [1]



Abbildung 3-3: Starkstrominstallation – 1. Obergeschoss [1]

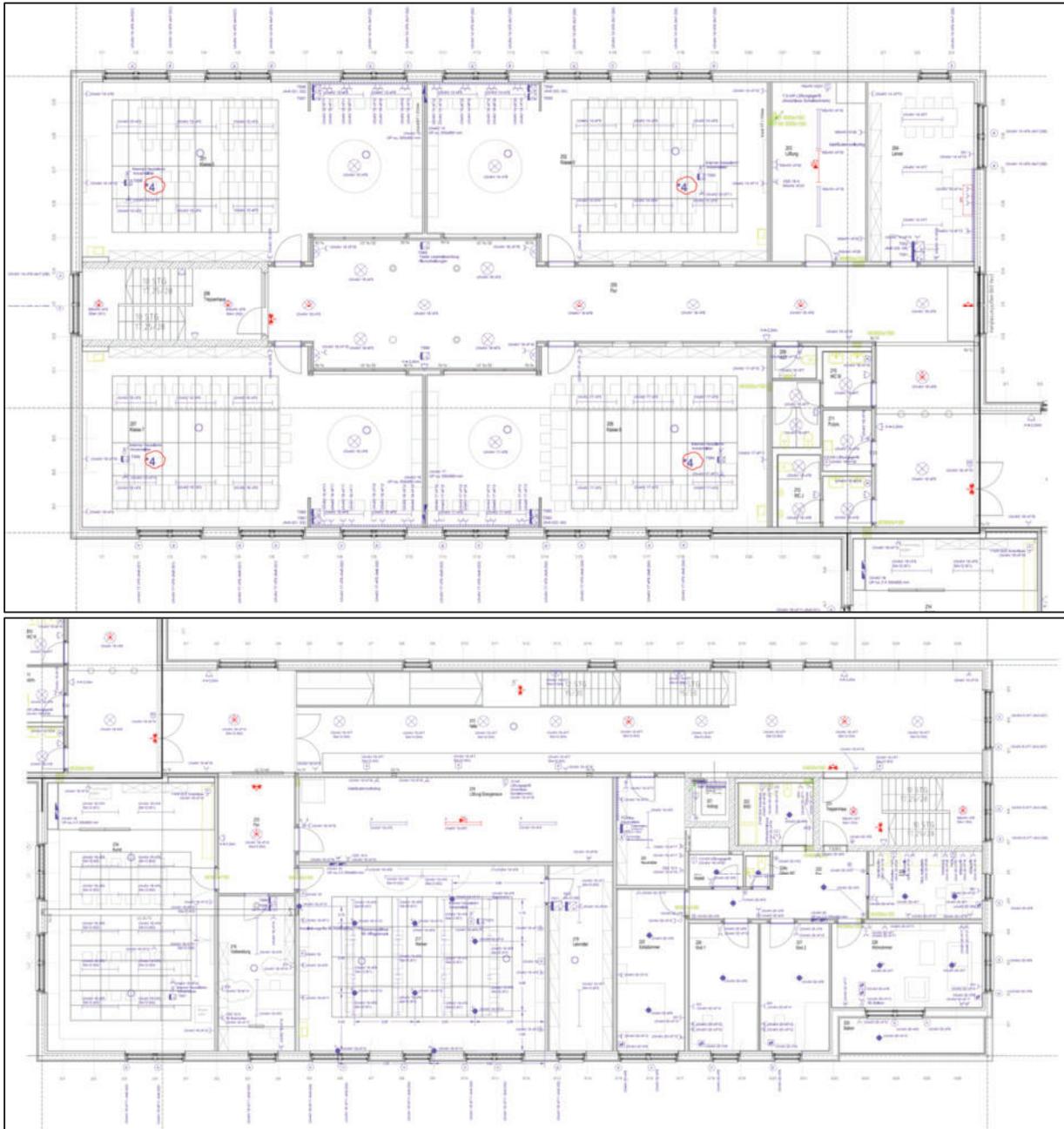


Abbildung 3-4: Starkstrominstallation – 2. Obergeschoss [1]

Pläne in besserer Auflösung sind im separaten **Anhang B** zu finden.

3.1.2 Schwachstrom

Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-7 zeigen die Verbrauchsstellen für Schwachstrom, d. h. 10V-, 24V sowie Datennetze. Im Wesentlichen handelt es sich um die IT-Ausstattung, Telefone, Sprech- und Durchsageanlagen, Sicherheitstechnik mit Panik- und Brandschutz.

Eine detaillierte Darstellung insbesondere auch der Kabeltrassen befindet sich im Anhang 8.4.5 (Brandschutzanlage), 8.4.6 (IT- und Telefonanlage), 8.4.7 (Schulsprechanlage) sowie 8.4.8 (Einbruchschutz- und Schulsprechanlage).



Abbildung 3-5: Schwachstrominstallation – Erdgeschoss [1]

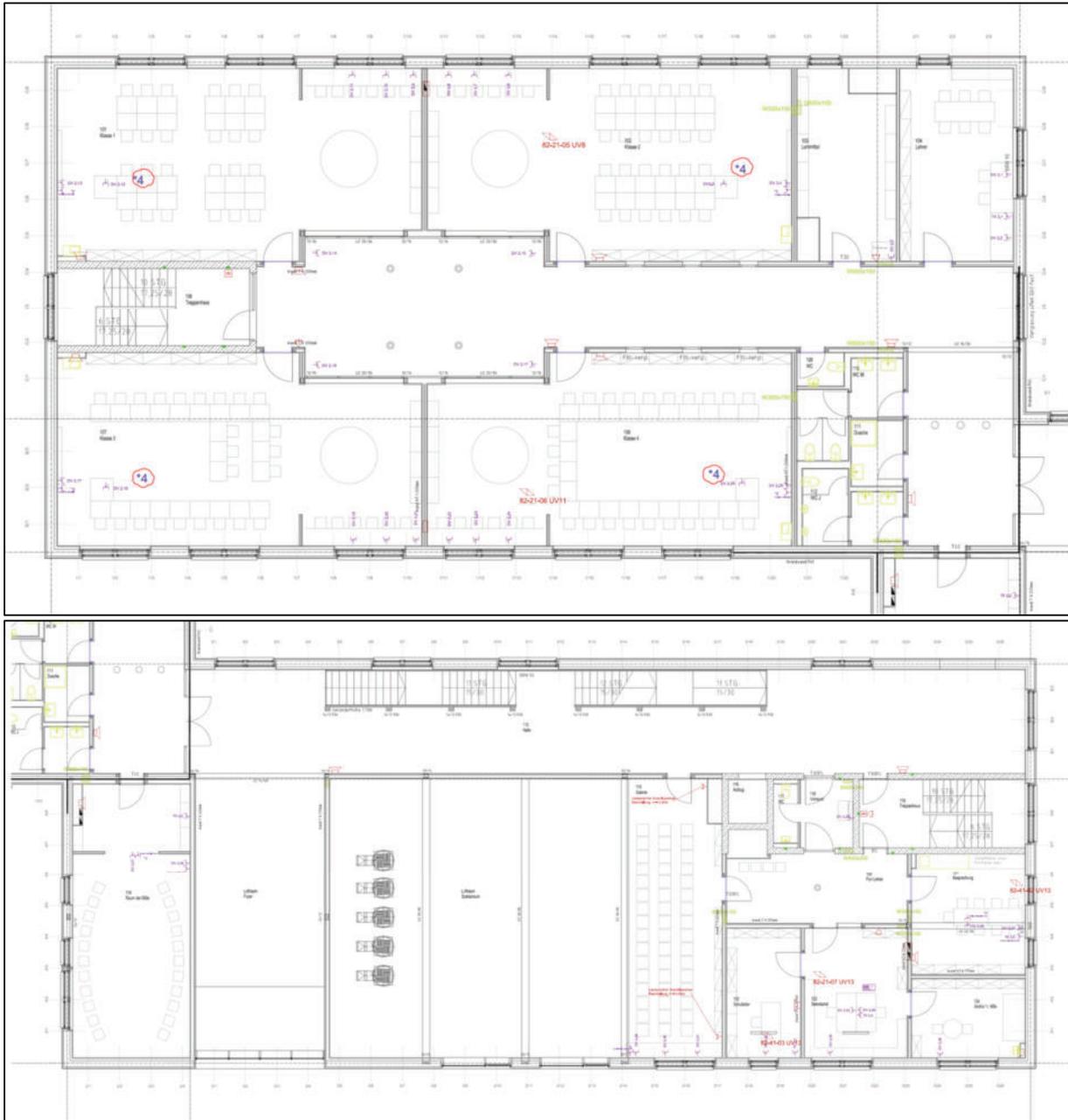


Abbildung 3-6: Schwachstrominstallation – 1. Obergeschoss [1]

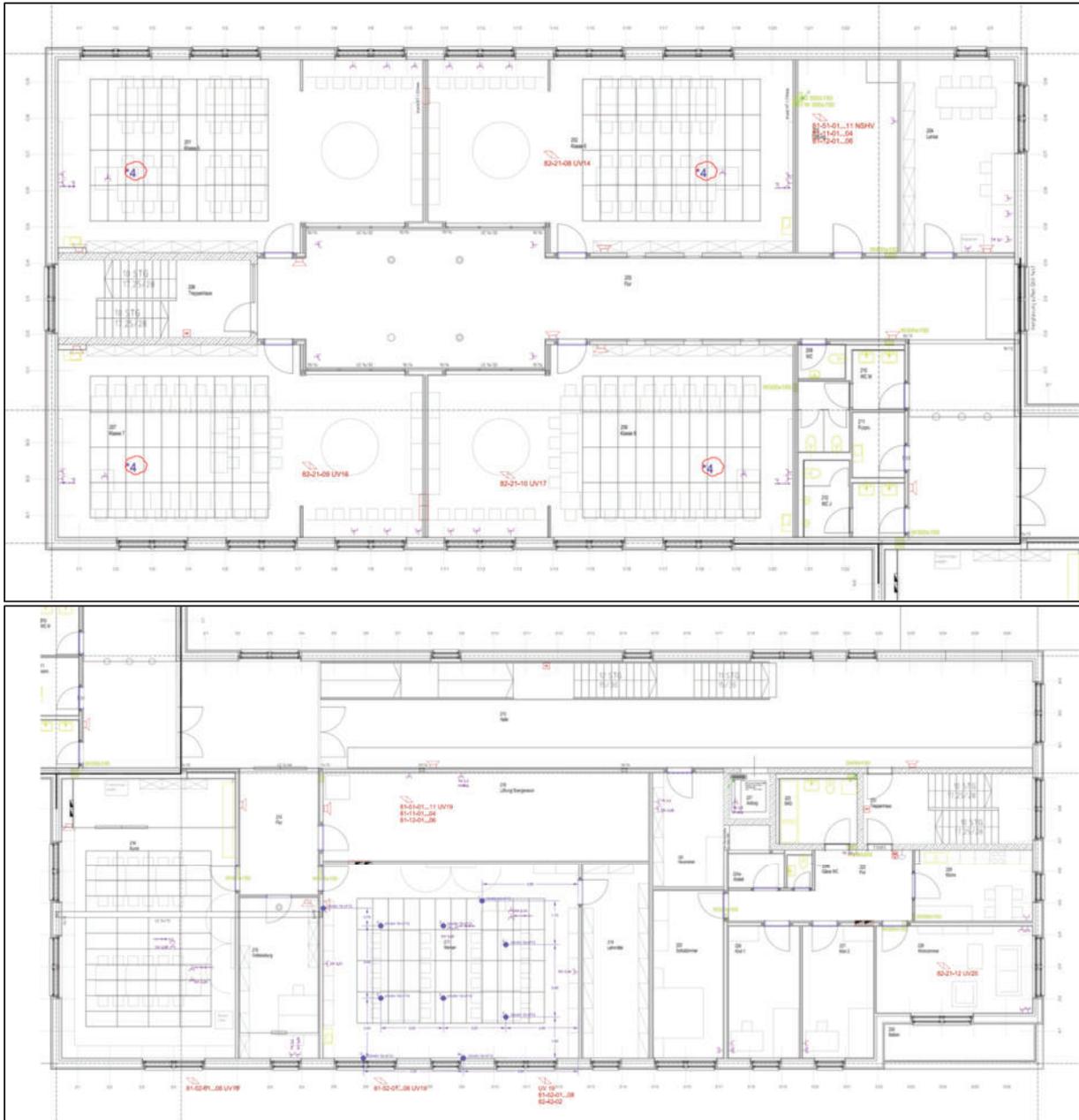


Abbildung 3-7: Schwachstrominstallation – 2. Obergeschoss [1]

Pläne in besserer Auflösung sind im separaten Anhang C zu finden.

3.2 Hausanschluss

Die elektrischen Hausanschlüsse für die Schule (mit allen Verbrauchern) sowie die Hausmeisterwohnung befinden sich im Erdgeschoss in Raum 0.04. Dort ist sind auch die sicherheitsrelevanten Einrichtungen platziert sowie eine USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) in einem abgeteilten und verschlossenen Raum 0.04a – siehe Abbildung 3-9.

Auf der linken Seite des Raumes befinden sich die Schaltkästen für die Starkstromanwendungen, rechts stehen die Server für die Schwachstromanwendungen. An der Stirnseite sind einerseits der Zugang zum Erdwärmeübertrager sowie andererseits der Raum 0.04a mit der USV zu finden. Der Raum wird von einem Kleinklimagerät gekühlt, welches oberhalb der Tür 0.04a angebracht ist.



Abbildung 3-8: Blick in den Elektroanschlussraum 0.04 heute (links) und im Bau (rechts)



Abbildung 3-9: Blick in den Elektroanschlussraum 0.04 sowie USV in Raum 0.04a

Zähler- und Versorgungskonzept

Das grundsätzliche Versorgungskonzept des Objektes zeigt Abbildung 3-10. Es gibt zwei Hausanschlüsse gegenüber dem Energieversorger: einen für den Hausmeister (DSZ EVU) und den zweiten für die Schule. Letzterer ist ein digitaler Zweiwegestromzähler (ZRZW EVU).

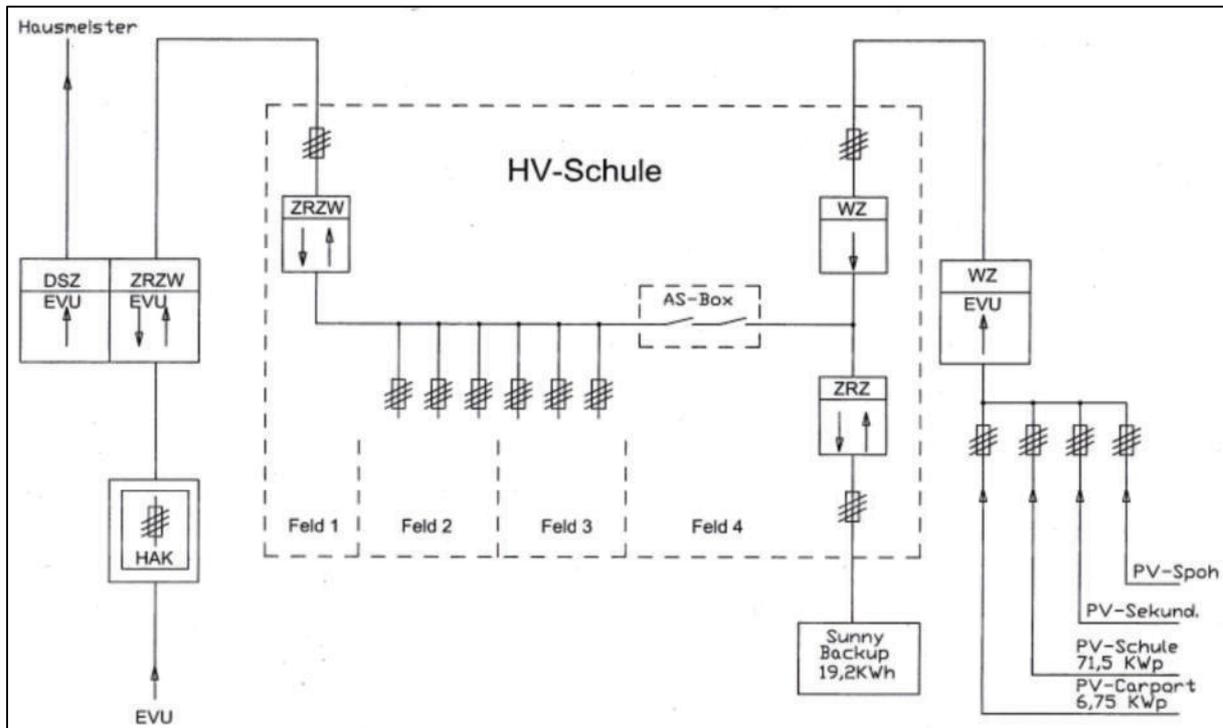


Abbildung 3-10: Grundkonzept des Hausanschlusses mit PV, Wind und Batterie [2]

Innerhalb der Hauptverteilung (HV) der Schule ist ein gebäudeseitiger Zweirichtungszähler verzeichnet (ZRZW), der jedoch nicht vorhanden ist. Es schließen sich die Abzweige für die einzelnen Verbraucher an. Der produzierte Strom wird tatsächlich doppelt gezählt. Einerseits bauseits mit einem Stromzähler (WZ) sowie vom Versorger zwecks Vergütung mit einem eigenen Zähler (WZ EVU). Darüber hinaus gibt es bauseits einen Zweiwegestromzähler (ZRZ) für den Strom, welcher in die Batterie geschickt wird und aus dieser wieder entnommen wird.

Elektroverteilung

An der linken Wand links beginnend dient der erste Schaltkasten der PV-Einspeisung samt Zählung, siehe Abbildung 3-11. Der auf dem Bild gezeigte Ferrariszähler dient der Ermittlung der Einspeisung (abrechnungsrelevant für die Fördermittel). Er wurde 2016 durch einen elektronischen Zähler mit Fernauslesung ersetzt.



Abbildung 3-11: Elektroverteilung – PV Einspeisezähler



Abbildung 3-12: Elektroverteilung – Batteriesteuerung und Zählung Carport

Abbildung 3-12 zeigt den zweiten Schaltschrank, welcher den Anschluss zur Batterie im Carport enthält. Es ist ein Zweiwegezähler zur Batterieeinspeisung und Rückspeisung ins Gebäudenetz vorhanden.

Der dritte Schaltschrank enthält die Sicherungen der Hauptverteilung für die Versorgung der Schule – ohne Hort und Küche. Jeder Klassenraum hat eine eigene Unterverteilung, die an diesem Hauptverteiler beginnt und abgesichert ist. Siehe Abbildung 3-13.



Abbildung 3-13: Elektroverteilung – Sicherungen der Hauptverteilung

Hort und Küche weisen aus Gründen der Abrechnung eigene Stromkreise mit digitalen Unterzählern auf, welche im vierten Schaltkasten zu finden sind, siehe Abbildung 3-14.



Abbildung 3-14: Elektroverteilung – Unterzähler Hort und Küche mit Sicherungen

Abbildung 3-15 zeigt die Schaltkästen vier und fünf. Der kleinere enthält die zentrale Zeitsteuerung für die Schule. Der größere Kasten enthält die beiden Hauptzähler des Versorgers, d.h. einerseits einen Ferrariszähler für die Hausmeisterwohnung, andererseits den digitalen Zähler für die Schule mit ihren Unterverbrauchern Hort und Küche.



Abbildung 3-15: Elektroverteilung – Zentrale Zeitsteuerung sowie Hauptstromanschluss

Thermographie

Parallel zur Gebäudedichtheitsmessung am 6.1.2017 wurden in dem ansonsten nicht frequentierten Gebäude (Feiertag) auch thermographische Aufnahmen von Elektroverbrauchern gemacht. Dies diente dem Aufspüren von Standby-Verbrauchern. Zu diesen müssen auch die Zähler sowie die Messtechnik des Forschungsprojektes gerechnet werden, siehe Abbildung 3-16 und Abbildung 3-17. Die sehr geringe Raumtemperatur ergibt sich aufgrund der Kühlung des Raumes mit dem Klimasplitgerät.

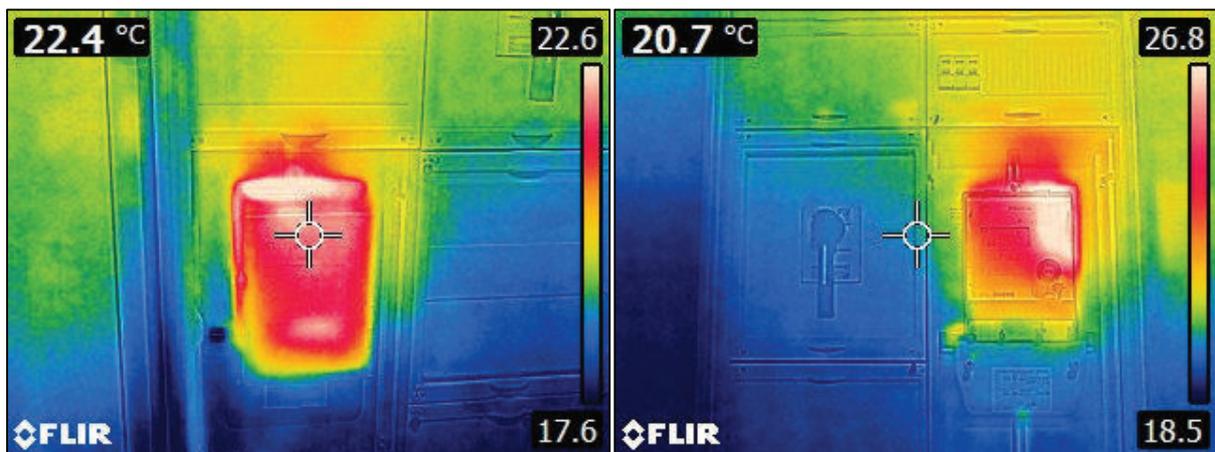


Abbildung 3-16: Thermographie von Stromzählern im Januar 2017

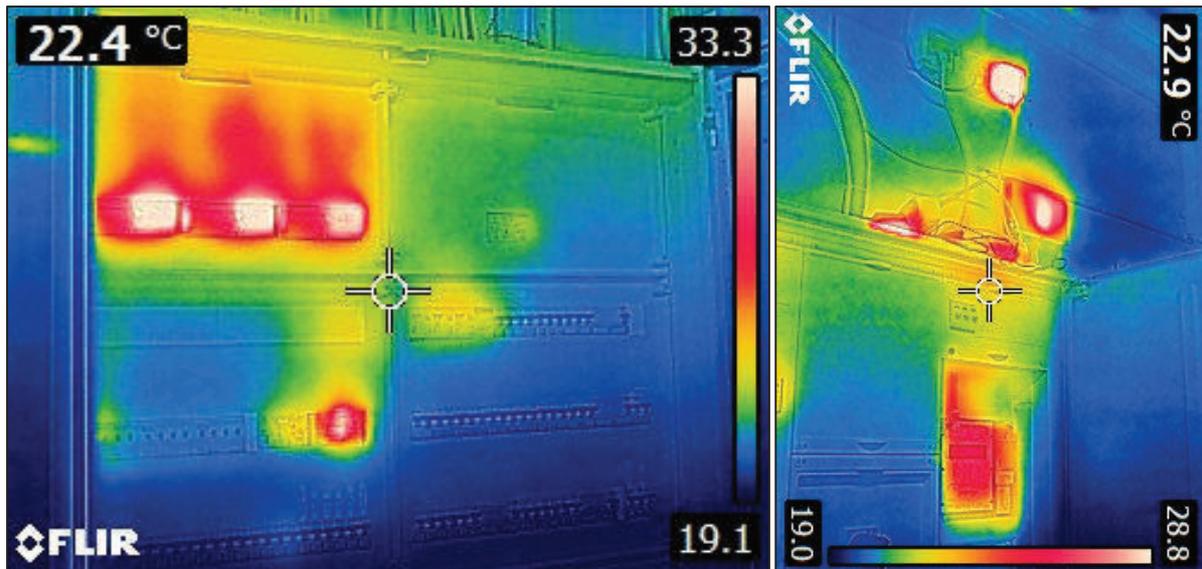


Abbildung 3-17: Thermographie der Unterverteilung sowie der Messtechnik in Raum 0.04

3.3 Photovoltaik

Die Grundschule ist mit zwei Photovoltaikfeldern ausgestattet, einerseits der von der Straße aus nicht sichtbaren Dachanlage, andererseits mit der Anlage auf dem Dach des Carports, siehe Abbildung 3-18.



Abbildung 3-18: Komplettansicht der PV auf dem Dach und Carport [Bildquelle: Google Maps]

Detaillierte Daten und weiterführende Informationen finden sich in den separaten Anlagen F und G zu diesem Bericht.

3.3.1 Dachanlage

Die Photovoltaikanlage auf dem Dach wurde am 15.04.2014 in Betrieb genommen. Einen Eindruck der Anlage vor Ort gibt Abbildung 3-19. Die Anlage auf dem Schulgebäude eine Gesamtleistung von $70,8 \text{ kW}_{\text{peak}}$. Tabelle 3-1 fasst allgemeine Daten der Anlage bzw. der Einbausituation zusammen.



Abbildung 3-19: Photovoltaikanlage auf Dach

Tabelle 3-1: Allgemeine Angaben zur Photovoltaik [3] [2]

Lage	
Geographische Koordinaten:	51,45° Nord, 11,97° Ost
Höhe über NN:	106 m
Länge Ost-West	70 m
Länge Nord-Süd	30 m
Höhe über GOK	11 m
Attikahöhe	11 cm

PV-Module

Bei den Modulen auf dem Schulgebäude handelt es sich um Polykristallin-Module Typ ET-P660245WW vom Hersteller ET Solar mit einer Stromstärke von 8,13 A bei max. Nennleistung. Es wurden insgesamt 289 Module mit einer Fläche von 422 m² installiert. Die Module sind nach Süden gerichtet und haben eine Neigung von 15° sowie einen Wirkungsgrad von 15,1%. Die Module wurden auf Kunststoffwannen quer montiert, siehe Abbildung 3-20. Diese sind, je nach Dachwindzone, mit unterschiedlich viel Sand bzw. Steinen befüllt worden, um ein Abheben der Module bei Starkwind zu vermeiden.



Abbildung 3-20: PV-Modul mit Unterkonstruktion sowie PV-Hauptanschluss in Raum 0.04

Der Neigungswinkel ist mit 15° für eine Photovoltaikanlage im 51. Breitengrad nicht optimal. Mit einem Aufstellungswinkel von ca. 30° wäre zwar eine Effizienzsteigerung zu erreichen, da die Sonnenstrahlen übers Jahr gesehen in einem größeren Zeitfenster rechtwinklig auf die Module fallen, zugleich würde sich mit einer steileren Aufstellung auch der vertikale Modulreihenabstand untereinander vergrößern, was einer deutlichen Verkleinerung der Photovoltaikanlage gleichkäme. Andernfalls wäre die Eigenverschattung der Anlage zu groß [4].

Als innovativer Aspekt sollte durch eine reflektierende Beschichtung der Modulrückseiten mit Glasfasergewebe eine theoretische Oberflächenvergrößerung erreicht werden. Diese Behandlung dient gleichzeitig als Brandschutzbeschichtung. Diese technische Eigenschaft wurde aus Kostengründen nicht realisiert. Tabelle 3-2 fasst die technischen Merkmale des PV-Feldes auf dem Dach zusammen.

Tabelle 3-2: Technische Angaben der Photovoltaikmodule [3] [2]

Module	
Hersteller	ET Solar
Typ	ET Module Polykristallin
Neigungswinkel	15°
Höhe/Breite/Dicke	1652/995/50 mm
Zellentyp	156 x 156 mm
Anzahl der Zellen	60 cells in series
Fläche	0,156 x 0,156 x 60 = 1,46 m ²
Anzahl der Module	289 Stück
Gesamtfläche	421,94 m ²
Leistung je Modul	245 Wp
Gesamtleistung	70,805 kWp
Systemauswahl	AluGrid
Verschattungsabstand S	1,93 m
Reihenabstand	0,9 m
Lastannahmen	
Elementgewicht g	0,15 kN/m ²
Windlast	
Norm	DIN-EN 1991-1-1-4/NA Windlasten
Windzone	2
Geländeformation	flach/eben
Geländekategorie	III: Gebiete mit gleichmäßiger Vegetation oder Bebauung oder mit einzelnen Objekten mit Abständen von weniger als der 20-fachen Hindernishöhe (z. B. Dörfer, vorstädtische Bebauung, Waldgebiete).
Grundw. d. Windlast: q(z)	0,64 kN/m ²
Schneelast	
Norm	DIN-EN 1991-1-3/NA Schneelasten
Schneelastzone	2
Schneelast am Boden s _k	0,9 kN/m ²
Formfaktor μ ₁	0,8
Schneelast s	0,68 kN/m ²

Abbildung 3-21 zeigt den Installationsplan des PV-Feldes auf dem Dach. Die Freiflächen auf dem Flachdach der Grundschule entstanden aufgrund von Zwangsentlüftungsdachdurchbrüchen, einer Aufstiegs Luke im Bereich des Balkons der Hausmeisterwohnung sowie der Außen aufstellung der fünf Wechselrichter. Entgegen der Planung von 302 Modulen konnten nur 289 Stück auf dem Dach untergebracht werden.

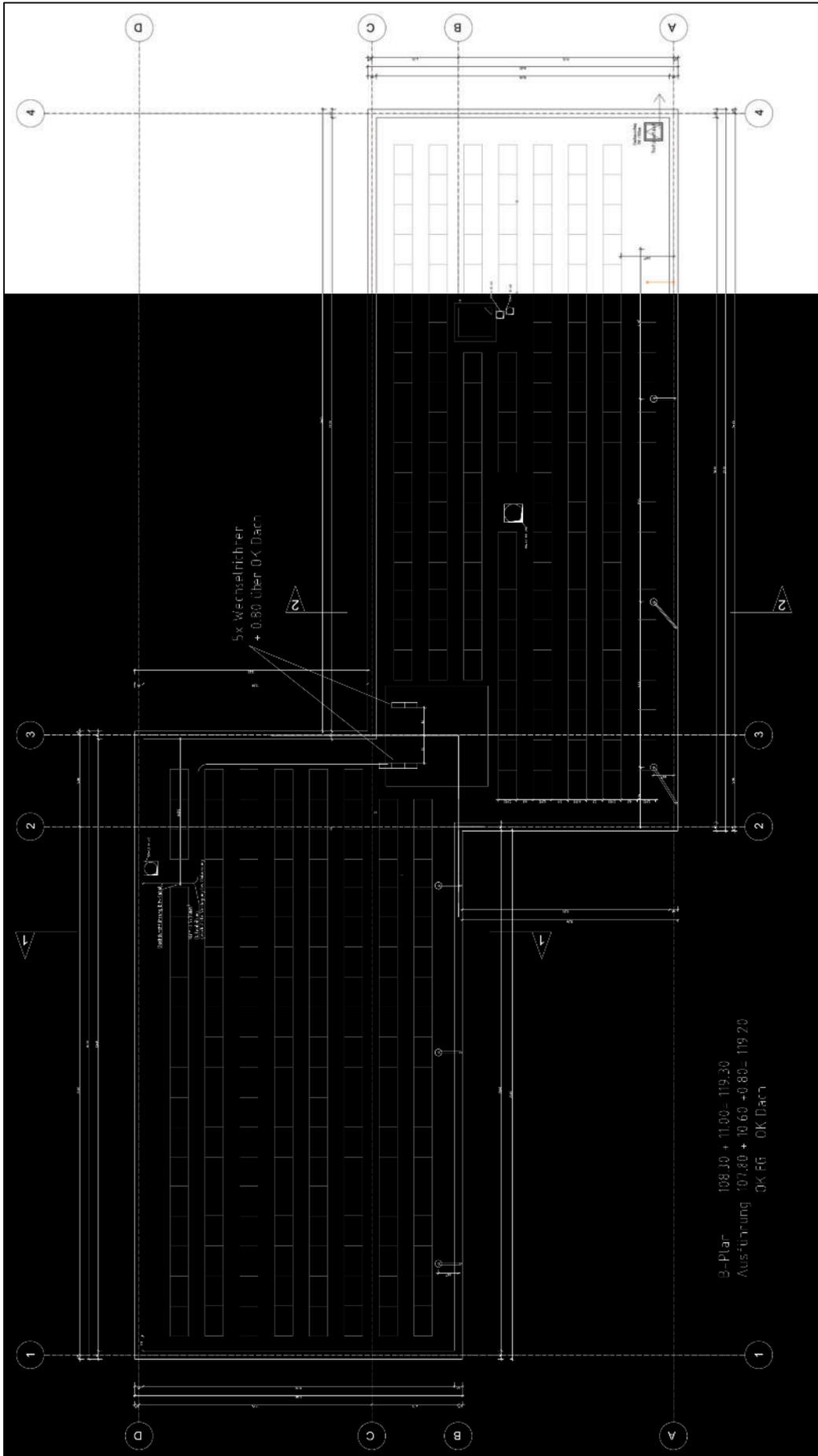


Abbildung 3-21: Dachaufsicht mit PV-Modulen [1]

Wechselrichter

Die fünf Wechselrichter sind aus Platzgründen auf dem Dach aufgestellt, siehe Abbildung 3-22. Es handelt sich um Modelle ohne Transformator. 242 Module sind an vier Wechselrichtern Typ STP 15000TL-10 von SMA Solar Technology angeschlossen. Die restlichen 47 Module sind an einem Wechselrichter Typ STP 12000TL-10 vom selben Hersteller angeschlossen.



Abbildung 3-22: Wechselrichter Sunny Tripower [5]

Tabelle 3-3 fasst die technischen Daten der Wechselrichter zusammen.

Tabelle 3-3: Technische Daten der Wechselrichter [5]

	STP15000TL-10	STP12000TL-10
Anzahl	4 Stück	1 Stück
max. DC-Leistung	15260 W	12250 W
max. Eingangsspannung	1000 V	1000 V
Max. Wirkungsgrad / europ. Wirkungsgrad	98,5 % / 98,3 %	98,1 % / 97,7 %
Geräuschemission, typisch	51 dB(A)	51 dB(A)
Eigenverbrauch (Nacht)	1 W	1 W
Topologie / Kühlkonzept	Transformatorlos / OptiCool	Transformatorlos / OptiCool

3.3.2 Carportanlage

Die PV-Anlage auf dem Carport hat nicht nur einen funktionalen Zweck. Sie wurde sichtbar gebaut, um von Schülern, Bewohnern der Umgebung sowie Besuchern wahrgenommen zu werden. Dadurch erfüllt sie einen pädagogischen Zweck: Die Nutzung regenerativer Energie zu zeigen und das Umweltbewusstsein zu stärken. Einen Eindruck gibt Abbildung 3-23.

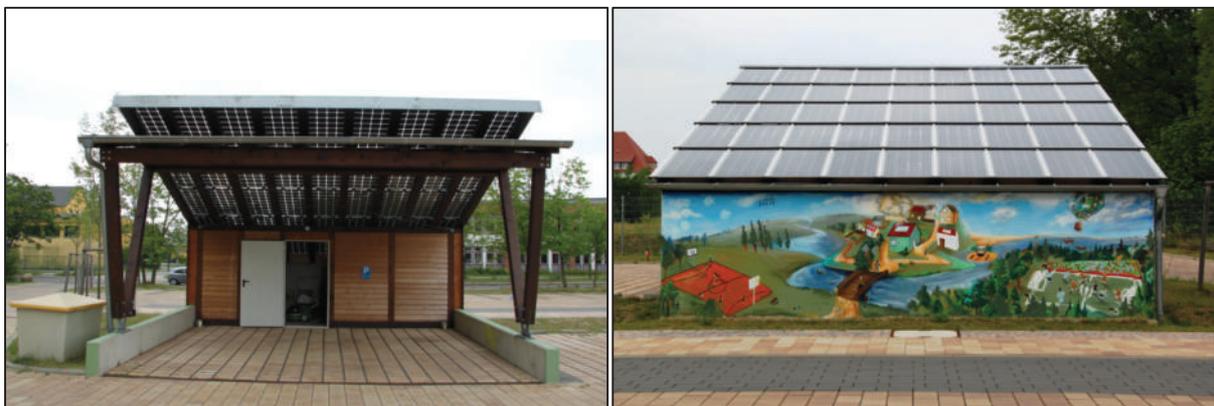


Abbildung 3-23: Nord- und Südansicht des Photovoltaik-Carports

Die Anlage mit einer Peakleistung von 7,0 kW_{peak} wurde am 01.11.2014 in Betrieb genommen.

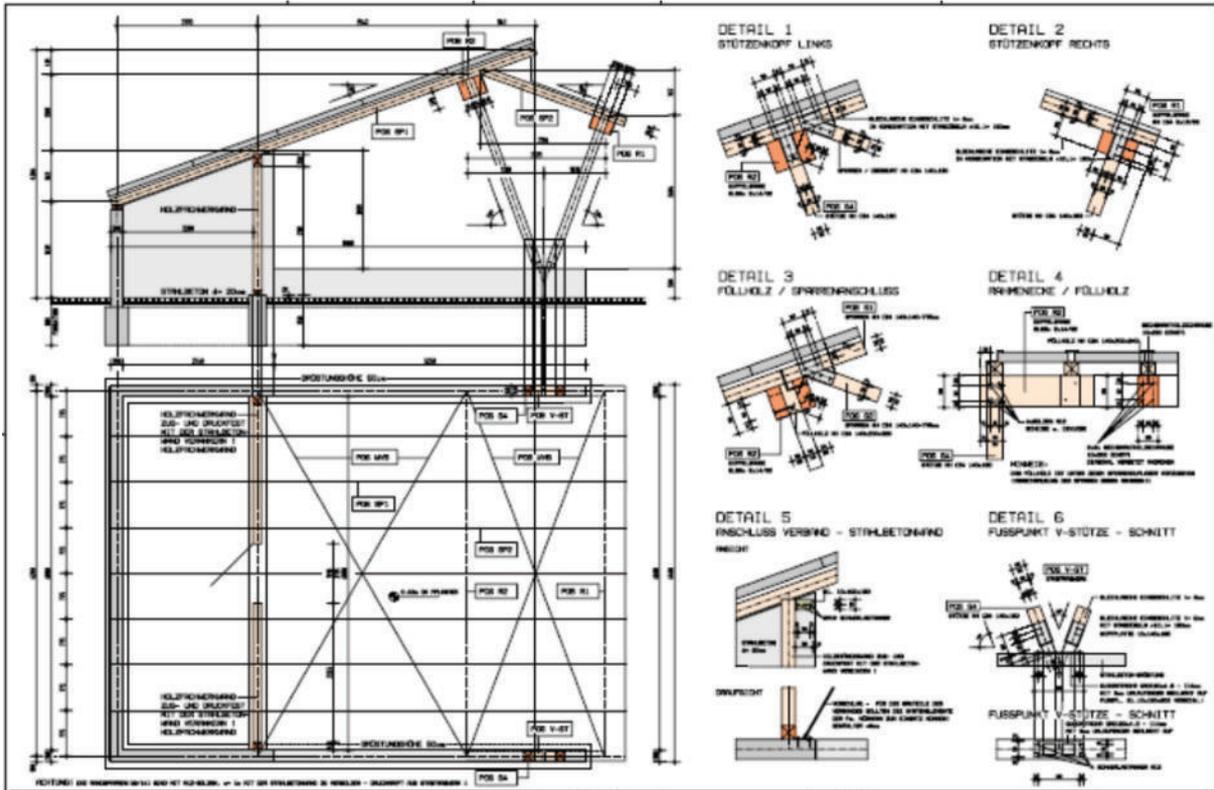


Abbildung 3-24: Positionsplan Carport [1]

PV-Module

Abbildung 3-25 zeigt die Module vor der finalen Verkabelung während der Installationsphase. Das Dach ist lichtdurchlässig, die Module können von unten betrachtet und angefasst werden.



Abbildung 3-25: Photovoltaik-Module als Dacheindeckung – während der Installationsphase

Auf dem Carport befinden sich 45 Module vom Typ 36MGlass des Herstellers Solarwatt. Die Module sind nach Süden ausgerichtet und weisen eine 20° Neigung auf. Ihr Wirkungsgrad beträgt 15,5 %, siehe Abbildung 3-26. Weitere Daten sind Tabelle 3-4 zu entnehmen.



Abbildung 3-26: Typenschild der PV-Module

Tabelle 3-4: Technische Angaben der Photovoltaikmodule [3] [2]

Module	
Hersteller	ET Solar
Typ	ET Module Polykristallin
Neigungswinkel	15°
Zellentyp	156 x 156 mm
Anzahl der Zellen	36 cells in series
Fläche	0,156 x 0,156 x 36 = 0,876 m²
Anzahl der Module	45 Stück
Gesamtfläche	39,42 m²
Leistung je Modul	155 Wp
Gesamtleistung	6,975 kWp

Wechselrichter

Die Module sind an zwei Wechselrichtern Typ STP 6000TL-20 von SMA Solar Technology angeschlossen, siehe Abbildung 3-27



Abbildung 3-27: Wechselrichter Sunny Tripower und Typenschild

3.3.3 Abtaufunktion

Bei sehr flach geneigten Modulen besteht das Problem, dass der Schnee im Winter nicht allein vom Schutzglas des Solarmoduls abrutscht und dadurch die Stromproduktion im Winter einschränkt. Zudem können Rahmenprofile ein Abrutschen des Schnees erschweren, rahmenlose Module sind unter diesem Aspekt deutlich von Vorteil.

Eine während der Planungsphase durchgeführte Untersuchung der Schneeabtauung wurde als nicht wirtschaftlich eingestuft [6]. Sie wurde daher nicht realisiert. Dafür könnte eine jährliche Reinigung der Photovoltaikmodule den Stromertrag verbessern, da auf einer glatten Scheibe die Wassertropfen bzw. Schmutzpartikel schlechteren Halt finden.

3.3.4 Vergütung

Aus der insgesamt vorhandenen Peakleistung von 77,78 kW_{peak} ergibt sich die Vergütung für den rückgespeisten Strom. Aufgrund des Inbetriebnahmedatums staffelt sich die Förderung wie folgt:

- für die Leistungsklasse 0 ... 10 kW: 0,1328 €/kWh · 10,00 kW_{peak}
- für die Leistungsklasse 10 ... 40 kW: 0,1260 €/kWh · 30,00 kW_{peak}
- für die Leistungsklasse 40 ... 1000 kW: 0,1123 €/kWh · 37,78 kW_{peak}

Im Mittel ergibt sich ein Satz von 12,0 Cent/kWh.

Vom 15.04.2014 (Inbetriebnahmedatum der Dachanlage) bis zum 03.03.2015 wurde seitens des Stromversorgers keine Vergütung für den eingespeisten Strom gezahlt. Hintergrund war eine Nichteinhaltung der gesetzlichen Vorgaben des EEG. Erst zum 04.03.2015 erklärte die ausführende Fachfirma SCHMIDT, dass der Einbau der "technischen/betrieblichen Einrichtungen zur ferngesteuerten Reduzierung der Einspeiseleistung bei Netzüberlastung" (EFR-Gerät) durchgeführt wurde. Das Bauteil selbst lag bereits ab 05.06.2014 zur Abholung beim Netzbetreiber bereit, wurde am 18.12.2014 tatsächlich abgeholt.

3.4 Windrad

Als Windrad kam eine vertikale Windturbine WW-1 Aerolus 1.3 der Fa. WOLF aus Wimmelburg zur Ausführung, siehe Abbildung 3-28.

Geplant waren ursprünglich acht (Vorüberlegungen), dann drei (Projektantrag) dieser Modelle. Einerseits aus Kostengründen, andererseits aufgrund von Problemen bei der Baugenehmigung sowie aufgrund massiver Verzögerungen bei der Lieferung beschränkte sich die Untersuchung schließlich auf ein Gerät. Wie die PV-Anlage auf dem Carport dient es pädagogischen Zwecken.

Im Bundesland Sachsen-Anhalt besteht seit dem Herbst 2013 keine Genehmigungspflicht für Kleinwindkraftanlagen bis zu einer Höhe von zehn Metern. Dennoch ist eine nachträgliche Genehmigung für die Kleinwindkraftanlagen im Zuge des Neubaus der St. Franziskus-Grundschule notwendig, da es Differenzen im Zusammenhang zur Nutzung der Windräder, dem straßenorientierten Standort und dem im Bauplanungsrecht festgelegten Baugebiet gibt [4]. Da bis zum heutigen Tage keine Baugenehmigung für das Windrad erteilt wurde, steht es auf einem 8,50 m hohen betonlosen Steel-Root Fundament-Mast-System als "Testanlage".



Abbildung 3-28: Vertikale Windturbine Aerolus

Generator

Der Generator vom Typ AFPMG380-1.0 kW/180 Rpm ist ein getriebeloser Permanent-Magnet-Scheiben-Generator mit einem kernlosen (eisenlosen) Stator. AFPMG steht für Axial Flux Permanent Magnet Generator. Der Rotor ist 3 Meter hoch und hat einen Durchmesser von 1 Meter. Er besteht aus GFK und wiegt 180 kg. Die dem Wind ausgesetzte Turbinenfläche beträgt 3 m². Weitere Daten sind in der separaten [Anlage I](#) zu finden.

Die Nennleistung liegt bei 1000 Watt bei 180 Umdrehungen in der Minute, der Wirkungsgrad ist mit 85 % angegeben. Die Startgeschwindigkeit beträgt ab 0,5 m/s. Die Einschaltgeschwindigkeit zur Stromproduktion liegt bei 2,0 m/s. Es gibt keine Abschaltgeschwindigkeit, die Turbine produziert auch bei über 15 m/s Wind Strom. Die Leistungskurve zeigt [Abbildung 3-29](#). Eine Zuordnung, welche Windgeschwindigkeit zu welcher Umdrehungszahl führt, ist nicht gegeben. Es wird davon ausgegangen, dass bei 15 m/s die Nennleistung erreicht ist.

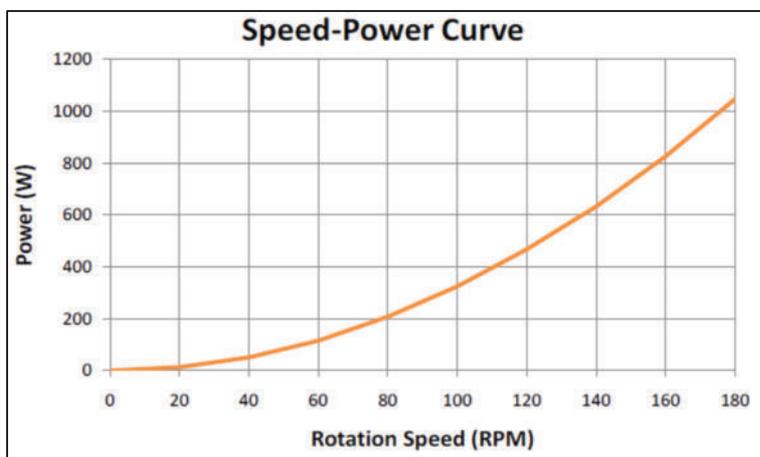


Abbildung 3-29: Leistungskurve des Windrades [7]

Gleich- und Wechselrichter

Zunächst wird der im Generator erzeugte Strom gleichgerichtet. Bei dem Gleichrichter handelt es sich um den Wind Grid Tie Inverter GCB-20K der Firma Ningbo Ginlong Technologies Co., Ltd. Die Eingangswchselspannung beträgt maximal 500 V, die Ausgangsgleichspannung 750 V. Anschließend folgt eine Stromüberwachung mit zwei Halbleiter-Leistungsschaltern für die beiden Bremswiderstände.



Abbildung 3-30: Typenschilder Mikrowindkraft und Gleichrichter

Der übrige Gleichstrom verlässt den Kasten und wird im Wechselrichter, mit GCI-1.5K-W bezeichnet, eingespeist. Bei dem Wechselrichter handelt es sich um den Wind Grid Tie Inverter der Firma Ningbo Ginlong Technologies Co., Ltd. Die Eingangsgleichspannung beträgt 30 bis 400 V, die Ausgangswchselspannung 230 V. Die maximale Leistung liegt bei 1500 W. Der Hersteller deklariert 95 % Wirkungsgrad.

Probleme

Geplant war, die gewonnene elektrische Energie nicht in das öffentliche Netz, sondern in eine Batterie einzuspeisen. Genutzt werden sollte die Energie für den Betrieb der Außenbeleuchtung und des Kleinbusses. Die direkte Einspeisung der Produktion in die Batterie sollte verhindern, dass es zu einer Einspeisung ins Netz kommen kann (wegen der unterschiedlichen Vergütungen für Wind und PV).

Umgesetzt wurde dieses Konzept so nicht, siehe oben. Warum der umständlich anmutende Verschaltungsweg gewählt wurde, ist im Rahmen des Monitorings nicht nachvollziehbar. Er führt jedoch zu erheblichen Stillstandsverlusten des Systems.

Das Windrad wurde Mitte 2015 installiert. Die ersten Messwerte 2016 zeigten einen sehr hohen Eigenstromverbrauch der Wechselrichter und Sicherheitstechnik. Während die Überlegungen zur Beseitigung des Problems noch nicht abgeschlossen waren, kam es zur Jahreswende 2017/18 zum Totalschaden. Eine Stromproduktion ist ohne Reparaturen nicht mehr möglich. Aufgrund der technischen Probleme vorab sowie der nicht mehr vorhandenen Gewährleistung wird auf eine Reparatur verzichtet. Das Windrad ist nunmehr ausschließlich Werbeträger ohne technischen Nutzen.

3.5 Batterie

Lithiumbatterie

Die Inbetriebnahme der Batterie im Carport erfolgte erstmalig am 22.04.2015. Bei der Batterieanlage handelt es sich um 16 Einheiten Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LiFePO_4) Typ SP-LFP500AHA vom Hersteller Sinopoly. Die nominale Kapazität pro Einheit beträgt 500 Ah und 1,6 kWh, d.h. 25,6 kWh Gesamtspeicherkapazität. Weitere Daten siehe Abbildung 3-31 sowie im separaten Anhang H.

Model: SP-LFP500AHA	
Nominal Capacity (Ah)	500
Size	L451mm*W 71mm*H285mm
Nominal Voltage(v)	3.2
Internal Impedance(1kHz AC ,mΩ)	≤0.3
Charging Cut-off Voltage(CCCV Model,V)	3.8
Discharging Cut-off Voltage(v)	2.8
Recommend Charging-Discharging Current(0.3C,A)	0.3C 150A
Maximum constant Charging Discharging Current (<10s period)	3C 1500A
Maximum short-time Charging Current (<10s period)	1500A
Maximum short-time Discharging Current (<10s period)	2500A
Self Discharge rate	3% per month
Life Cycle(0.3C Charging-discharging,80%DDC)	2000
Operating Thermal Ambient	Charging 0°C~45°C
	Discharging -20°C~55°C
Storage Thermal Ambient	-20°C~45°C
Weight(kg)	14.3±0.3kg
Shell Material	Plastic

Abbildung 3-31: Technische Daten der Batterie [8]

Bei diesem SMA Typ beträgt die maximale Eingangsleistung rund 5 kW (deutlich unter der Peakleistung der PV-Anlage) und die Ausgangsleistung maximal (1-phasig) 4,6 kW. Damit lässt sich die Schule nicht vollversorgen. Es wird also in Zeiten ohne nennenswerten Solarstrom nur eine Teilversorgung aus der Batterie möglich sein. Jegliche Spitzenlastverbraucher (vor allem die Küche) weisen Nennleistungen deutlich über 4,6 kW auf.



Abbildung 3-32: Komplettbatterie Lithium

Abbildung 3-32 gibt einen Eindruck der Einbausituation. Der im Carport gegebene weitere Platz sollte genutzt werden, um die Batterie im Zuge des Monitorings zu erweitern. Die technische Peripherie hätte eine Erweiterung bis 45 kWh ermöglicht.

Als Batteriesteuerung kam das Gerät Sunny Island 6.0H der Firma SMA zum Einsatz. Das Gerät hat eine Fernwartung, so dass Softwareupdates vollautomatisch installiert werden. Ende 2015 zeigte sich nach mehreren Versuchen der Inbetriebnahme seitens des ausführenden Handwerkers Fa. SCHMIDT, dass die Steuerung und die Batterie nicht kompatibel sind. Die Umprogrammierung der Ladesteuerung wurde jeweils mit dem nächsten Update von SMA überschrieben. Dies führte zum Ansprechen der Überlastsicherung beim nächsten Ladevorgang.

Die Empfehlung des Regelungsherstellers SMA: man möge eine Batterie aus dem eigenen Sortiment kaufen, anders sei das Problem nicht zu beheben. Der ausführende Elektrofachbetrieb Fa. SCHMIDT entfernte die vorhandene Batterie nach mehrmonatigem ungelöstem Streit und mehreren Reparaturversuchen im Sommer 2016.

Bleibatterie

Aufgrund der technischen Probleme mit der Lithium-Batterie wurde im Rahmen eines Gespräches am 14.10.2016 mit der Fachfirma ein Lösungsvorschlag diskutiert. Daraufhin wurde die Umstellung auf eine Bleibatterie favorisiert. Im Frühjahr 2017 wurde eine neue Batterie als Ersatz aufgestellt, siehe Abbildung 3-33.

Zwischen April und August 2017 lief das Ersatzmodell einwandfrei, seit dem 28.08.2017 ist die Batterieanlage defekt und musste aus noch ungeklärten Gründen erneut stillgelegt werden. Bis zum Ende des Monitorings wurde die Anlage nicht wieder in Betrieb genommen.



Abbildung 3-33: Komplettbatterie Bleigel mit Schadensfall rechts

Regelmodul

Im Solarcarport befinden sich diverse Komponenten bezüglich der Windenergienutzung und der Batterieladesteuerung, siehe Abbildung 3-34.



Abbildung 3-34: Innenaufnahme Solarcarport

Das Innenfoto dient dem Überblick, die einzelnen Komponenten sind von links nach rechts gesehen:

- weiß: Ginlong-Komponenten (Gleich- und Wechselrichter Windrad)
- in der Ecke: Schalt- und Sicherungskasten
- blau: Sunny Tripower (Wechselrichter PV Carport)
- gelb: Sunny Island (Batteriesteuerung)
- auf dem Boden: Batterie (Variante Lithium)

Abbildung 3-36 zeigt das Typenschild der Batterieladesteuerung Sunny Island 6.0H, Abbildung 3-35 die technischen Daten.

Technische Daten	Sunny Island 6.0H
Betrieb am öffentlichen Netz oder Generator	
Bemessungsnetzspannung / AC-Spannungsbereich	230 V / 172,5 V ... 264,5 V
Bemessungsnetzfrequenz / zulässiger Frequenzbereich	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Maximaler AC-Strom bei Eigenverbrauchsoptimierung (Netzbetrieb)	20 A
Maximale AC-Leistung bei Eigenverbrauchsoptimierung (Netzbetrieb)	4,6 kVA
Maximaler AC-Eingangsstrom	50 A
Maximale AC-Eingangsleistung	11500 W
Inselbetrieb oder Ersatzstrombetrieb	
Bemessungsnetzspannung / AC-Spannungsbereich	230 V / 202 V ... 253 V
Bemessungsfrequenz / Frequenzbereich (einstellbar)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Bemessungsleistung (bei U_{nom} , f_{nom} / 25 °C / $\cos \phi = 1$)	4600 W
AC-Leistung bei 25 °C für 30 min / 5 min / 3 sec	6000 W / 6800 W / 11000 W
AC-Leistung bei 45 °C dauerhaft	3700 W
Bemessungsstrom / Maximaler Ausgangsstrom (peak)	20 A / 120 A
Klirrfaktor Ausgangsspannung / Leistungsfaktor bei Bemessungsleistung	< 4 % / -1 ... +1
DC-Eingang Batterie	
Bemessungseingangsspannung / DC-Spannungsbereich	48 V / 41 V ... 63 V
Maximaler Batterieladestrom / DC-Bemessungsladestrom / DC-Bemessungsentladestrom	110 A / 90 A / 103 A
Batterietyp / Batteriekapazität (Bereich)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah ... 10.000 Ah (Blei) 50 Ah ... 10.000 Ah (Li-Ion)
Laderegelung	IUoU-Ladeverfahren mit automatischer Vollladung und Ausgleichladung
Wirkungsgrad / Eigenverbrauch des Gerätes	
Maximaler Wirkungsgrad	96 %
Leerlaufverbrauch / Standby	26 W / 7 W
Schutzeinrichtung (Gerät)	
AC-Kurzschluss / AC-Überlast	● / ●
DC-Verpolungsschutz / DC-Sicherung	- / -
Übertemperatur / Batterietiefentladung	● / ●
Überspannungskategorie nach IEC 60664-1	III
Allgemeine Daten	
Maße (B / H / T)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18,4 inch / 21,1 inch / 9,5 inch)
Gewicht	63 kg (138,9 lb)
Betriebstemperaturbereich	-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
Schutzklasse nach IEC 62103	I
Klimaklasse nach IEC 60721	3K6
Schutzart nach IEC 60529	IP54

Abbildung 3-35: Sunny Island Technische Daten [9]



Abbildung 3-36: Sunny Island Steuerungsmodul

Die Regelung von SMA überwacht den Hausanschluss im Hauptgebäude Raum 0.04. Über Powerline werden die Informationen zum Sunny Island weitergeleitet. Liegt ein Stromüberschuss am Hausanschluss vor und eine Einspeisung ins Versorgernetz wäre das Resultat, wird die Batterie überprüft. Hat sie noch Kapazität, wird sie geladen; bei Bedarf an Strom wird wieder entladen bis auf minimal 30 % Rest. Abbildung 3-37 zeigt die Einbindung der Komponenten.

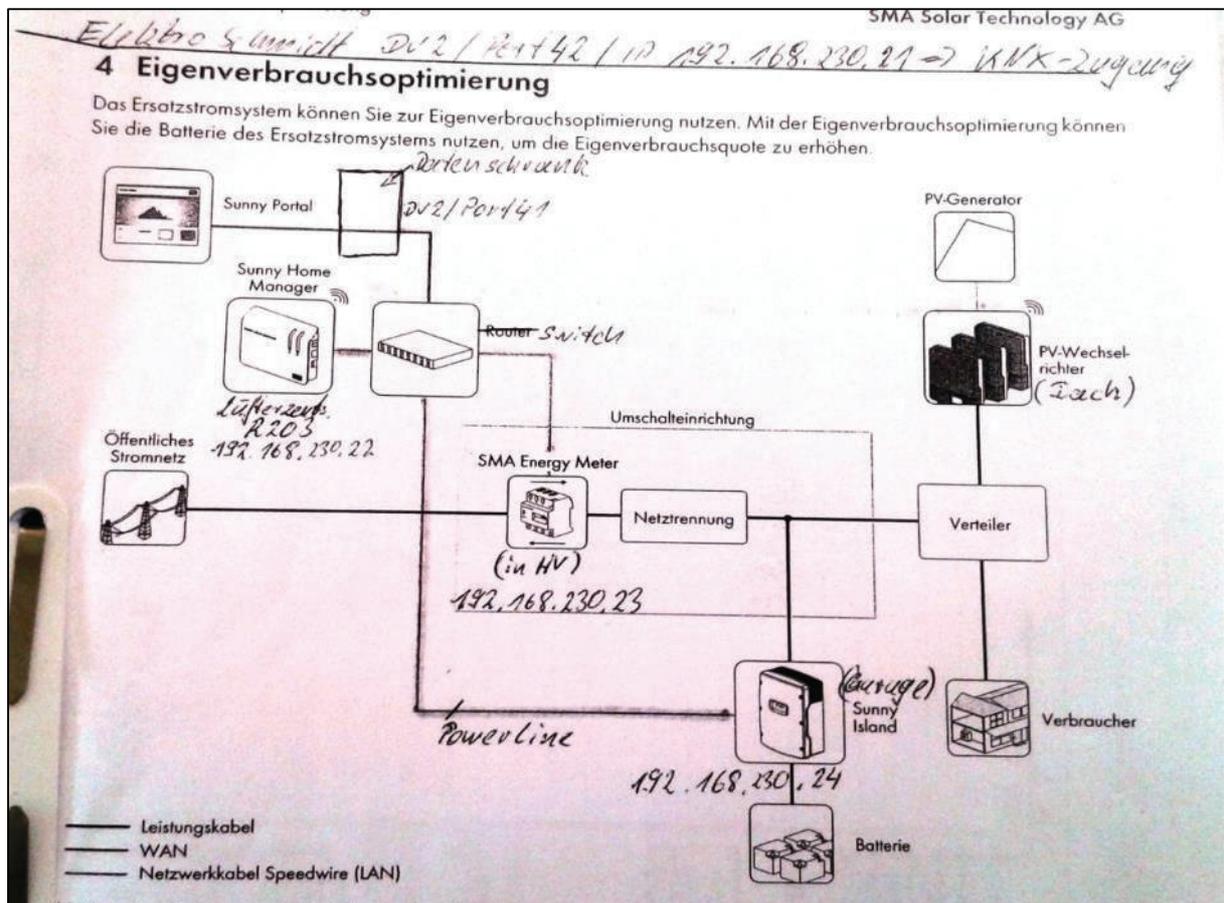


Abbildung 3-37: Regelungssystem SMA [2]

3.6 Elektrische Netze

Da für das Gebäude eine Ökobilanz erstellt wird, wurden neben der Baukonstruktion auch die Massen der Versorgungsanlagen erfasst. Die Stromversorgung mit Kabelnetzen wurde im Rahmen einer Masterarbeit [10] näher untersucht. Auf Basis von Plänen – siehe Anlage 8.4 – erfolgte die Bilanzierung.

Schwachstromnetze

Im Hausanschlussraum 0.04 sind die Server angeordnet. Von hier aus werden die im Gebäude lokal angeordneten Abnehmer versorgt. Fast alle Anschlüsse sind als Einzel- oder Doppelan- schlüsse ausgebildet, d.h. für jedes Telefon oder jeden Brandmelder sind einzelne Kabel ver- legt. Verwendet werden überwiegend folgende Kabel:

- Kabel SFTP 4x2x0,25 für IT und Telefonanlage
- Kabel J-Y(St)Y 04x2x0,8 für die Lautsprecher- und Panikschutzanlage sowie Türsprech- und Türöffnungsanlage
- Kabel J-Y(St)Y 01x2x0,8 als Brandmeldeleitung
- Kabel DVI/VGA für Beameranschluss
- Kabel SKB89 für Satellitenfernsehen in der Hausmeisterwohnung

Das Aufmaß liefert insgesamt gut 0,35 Tonnen Kupfer und 0,4 Tonnen PVC aufgrund der folgenden Längen:

- IT und Telefonanlage: ca. 6500 m
- Lautsprecherkabel: ca. 1900 m
- Panikschutzanlage: ca. 350 m
- Brandmeldeanlage: ca. 580 m
- Türsprech- und -öffnungsanlage: ca. 1250 m
- Beameranschluss: ca. 130 m
- Satellitenfernsehen in der Hausmeisterwohnung: ca. 15 m



Abbildung 3-38: Installationsphase Elektroanschlussraum 0.04, Klassenraum 2.07

Starkstromnetze

Im Hausanschlussraum 0.04 ist die Hauptverteilung angeordnet. Von hier aus werden die im Gebäude lokal angeordneten Unterverteiler gespeist. Es gibt insgesamt 20 Unterverteiler in der Passivhausgrundschule (7 im Erdgeschoss, 6 im 1. Obergeschoss sowie 7 im 2. Obergeschoss). Verwendet werden überwiegend folgende Kabel:

- Kabel NYM-J 3x1,5 und 3x2,5 für Beleuchtung und Endgeräteanschluss
- Kabel NYM-J 5x2,5 zwischen Haupt- und Unterverteilung, als Herdanschluss
- Kabel NYCW- 5x50 für die PV-Anlage auf dem Dach

Das Aufmaß liefert insgesamt gut 1,25 Tonnen Kupfer und 0,6 Tonnen PVC aufgrund der folgenden Längen:

- PV-Anlage Dach: ca. 30 m
- PV-Anlage Carport: ca. 120 m
- Windrad: ca. 70 m
- Gebäude NYM-J 3x1,5 ... 5x2,5: ca. 1150 m
- Gebäude NYM-J 5x6 ... 5x35: ca. 800 m

Die weitere Auswertung in Form der Ökobilanz ist im **Endbericht 3** zu finden.

3.7 Geräteausstattung

Die nachfolgenden Bilder geben einen Eindruck über typische Verbraucher, die in den einzelnen Bereichen des Gebäudes zu finden sind. Neben Fotos werden Aufnahmen der Thermografie vom 6.1.2017 gezeigt. Typische Standby-Verbraucher bzw. Dauerverbraucher sind zu erkennen. Auf die Darstellung von Großverbrauchern (Server, Küche usw.) wird verzichtet, da sie in Kapitel 7.2 näher vorgestellt werden.

Eine komplette Gerätebeschreibung ist im **Endbericht 2** gegeben. Die Details zur Beleuchtung sind **Endbericht 11** zu entnehmen. Die Anhänge 8.5.1 und 8.5.2 liefern zusammengefasste Tabellen zur Geräteausstattung und Beleuchtung.

3.7.1 Klassen und Hort

In den Klassenräumen sind üblicherweise als Stromverbraucher das Whiteboard (Standby), CD-Player und PCs mit Monitoren zu finden. Darüber hinaus sind in den Betreuungsräumen des Hortes auch noch Laminiergeräte, Drucker und Heißklebepistolen zu finden.

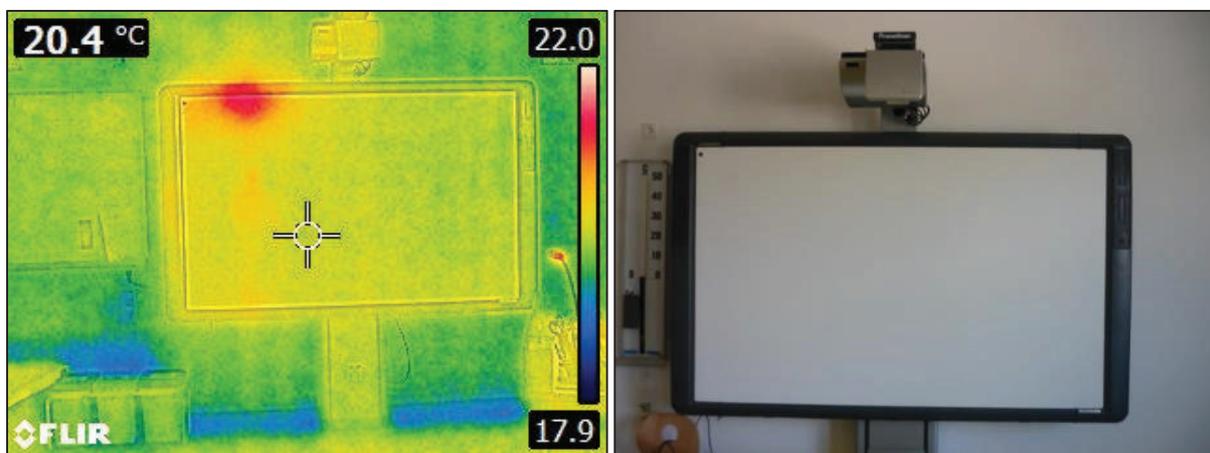


Abbildung 3-39: Whiteboards in den Klassenzimmern



Abbildung 3-40: PC-Arbeitsplätze und CD-Player

Die Auswertung von Messwerten zweier Klassenräume ist in Kapitel 7.2.2 zu finden. Die Detailanalyse des Hortes findet sich in Kapitel 7.2.1.

3.7.2 Büros

In den Büros der Lehrer, Hort- und Küchenmitarbeiter, des Hausmeisters sowie der Schulverwaltung sind PCs mit Drucker und Bildschirm zu finden. Teilweise haben Komponenten wie externe Festplatten und Lautsprecher nennenswerte Standby-Verbräuche. Darüber hinaus sind Großkopierer und Telefone als Verbraucher festzustellen.

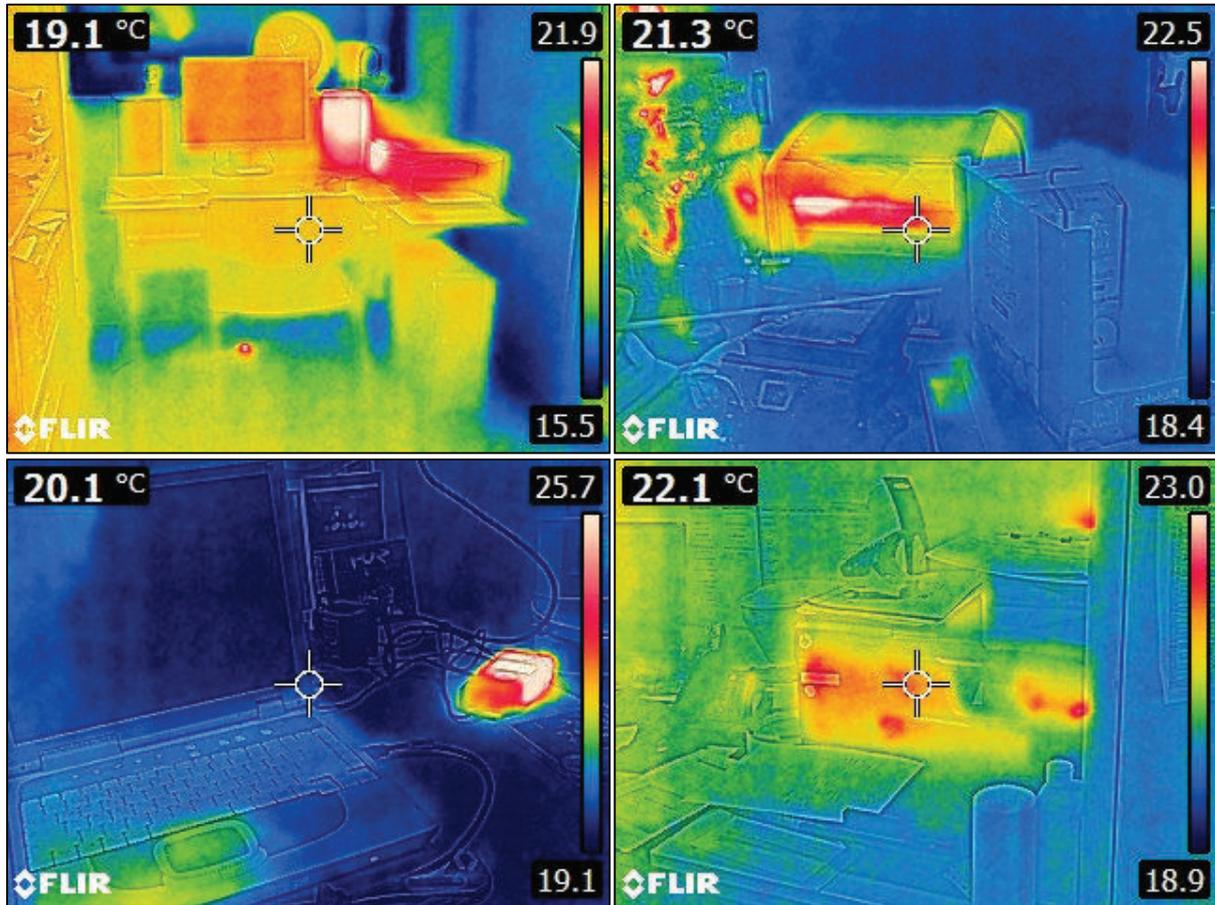


Abbildung 3-41: Thermographie Büroarbeitsplätze am Feiertag 6.1.2017



Abbildung 3-42: Büroarbeitsplätze mit Terminalcomputer, Bildschirm, lokalem Drucker

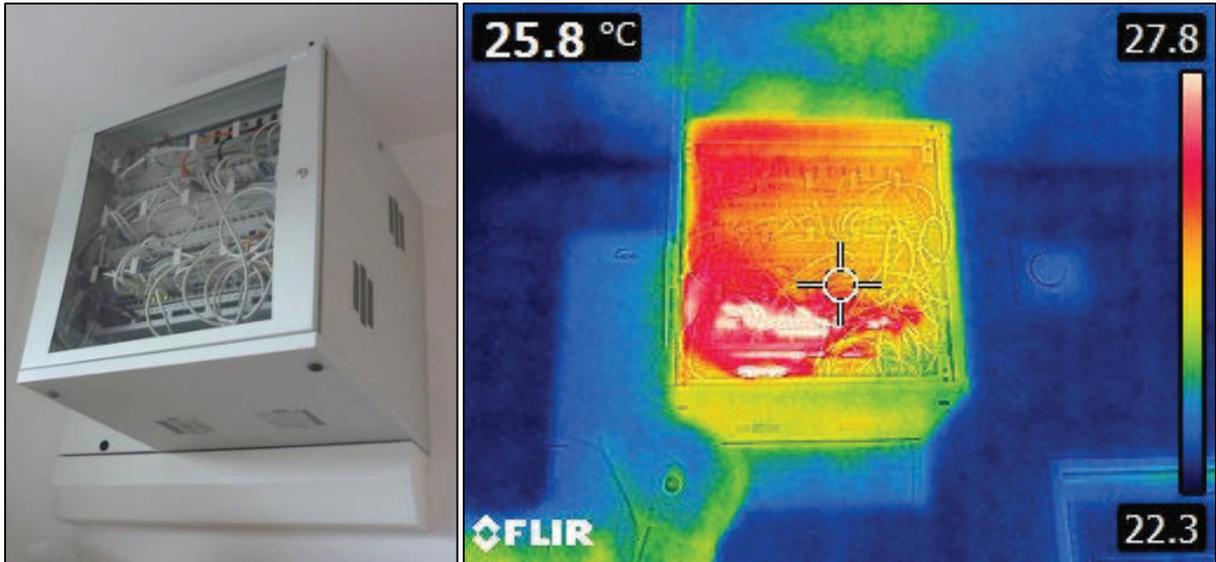


Abbildung 3-43: Lokaler Server in Raum 1.24

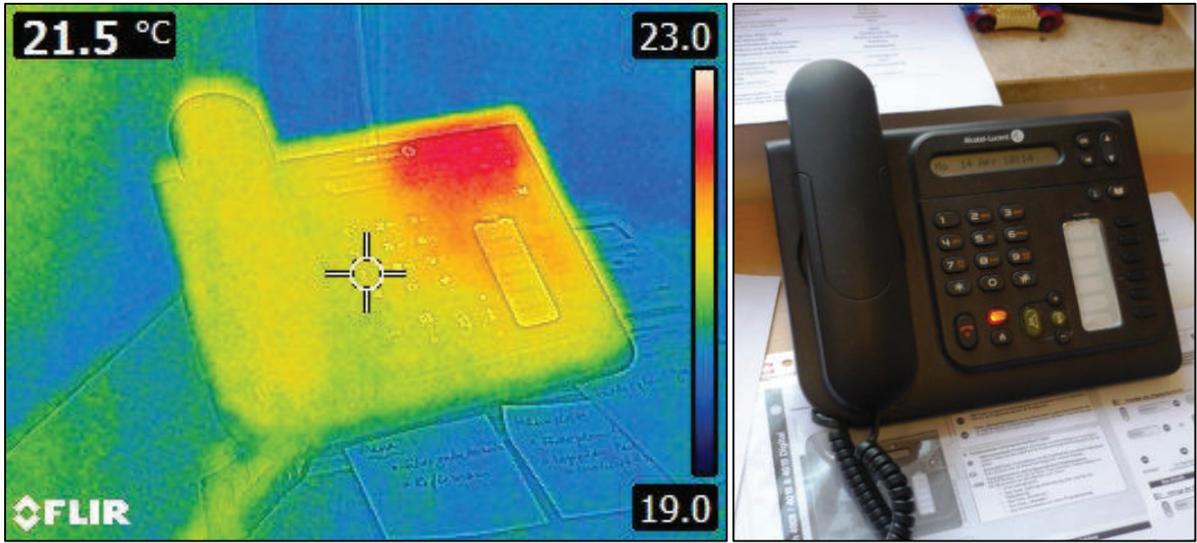


Abbildung 3-44: Telefon am Büroarbeitsplatz

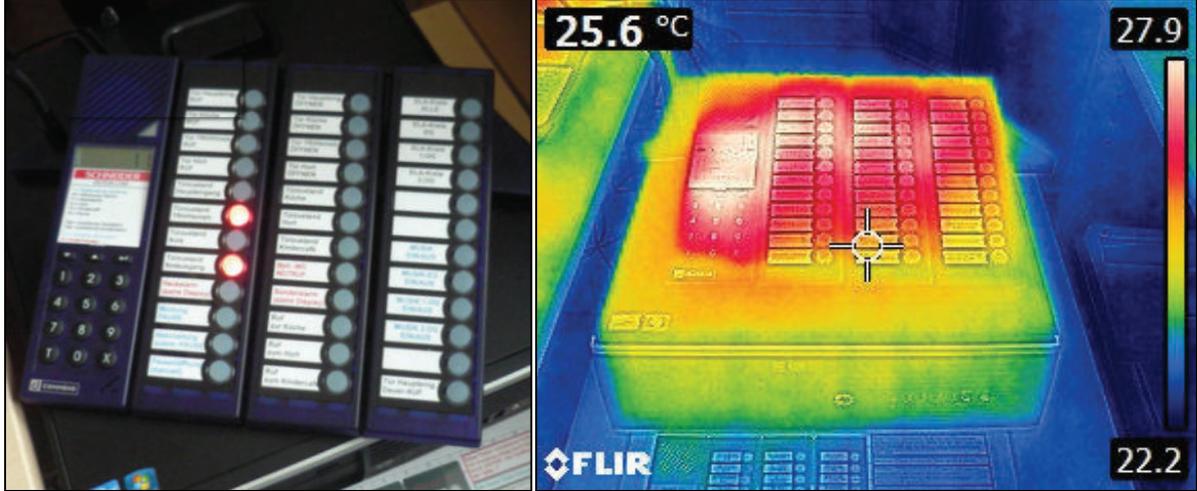


Abbildung 3-45: Terminal der Telefon- und Durchsageanlage in Raum 1.23



Abbildung 3-46: Kopierer

3.7.3 Sanitärbereiche und Küchen

In den Küchen des Horts, der Verwaltung sowie des Hausmeisters finden sich die üblichen Kühlgeräte mit Dauerverbrauch sowie Mikrowellen, Kaffeemaschinen, Herde, Wasch- und Spülmaschinen, welche fast durchgängig im unbenutzten Zustand Standby-Verbräuche aufweisen.

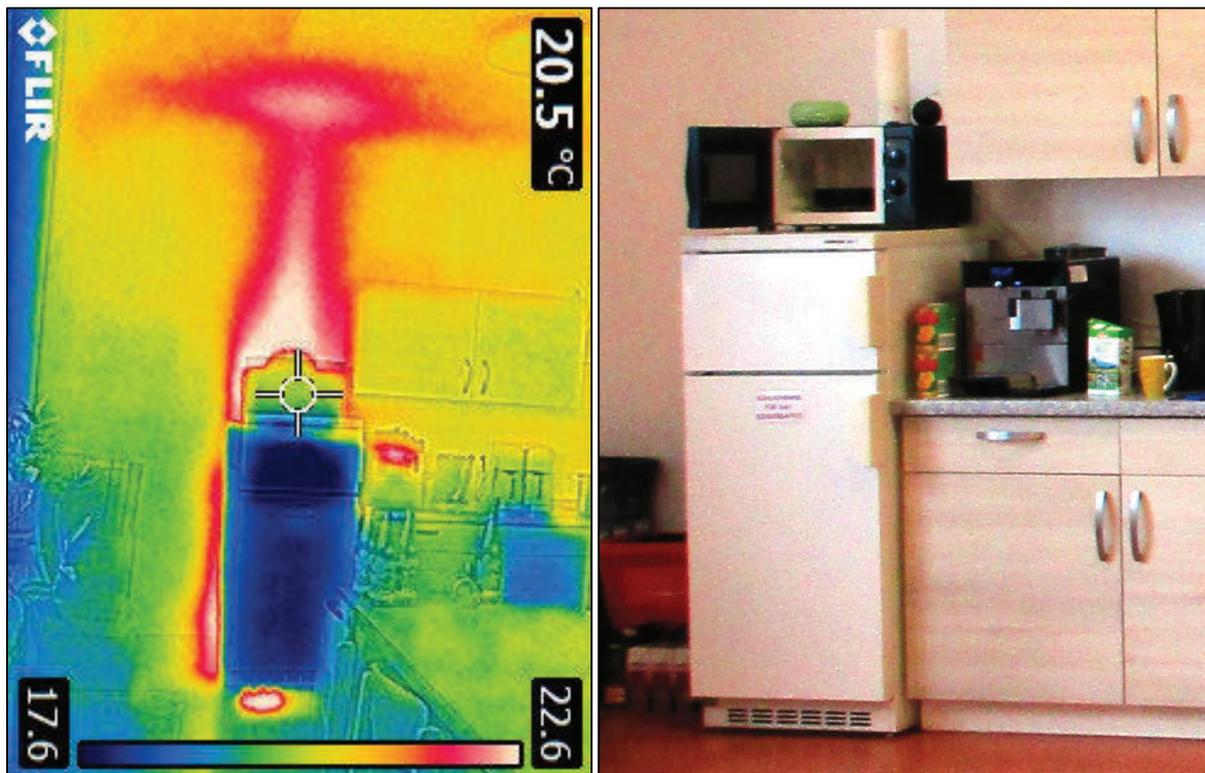


Abbildung 3-47: Küchenausstattung mit Kühlschrank, Mikrowelle, Kaffeeautomat

Die Sanitärräume für die Kinder sind mit Händetrocknern ausgestattet. Diese weisen im Wartezustand einen Standbyverbrauch auf. Gleiches gilt für Kleinspeicher und Durchlauferhitzer für die Trinkwassererwärmung in den Küchen.

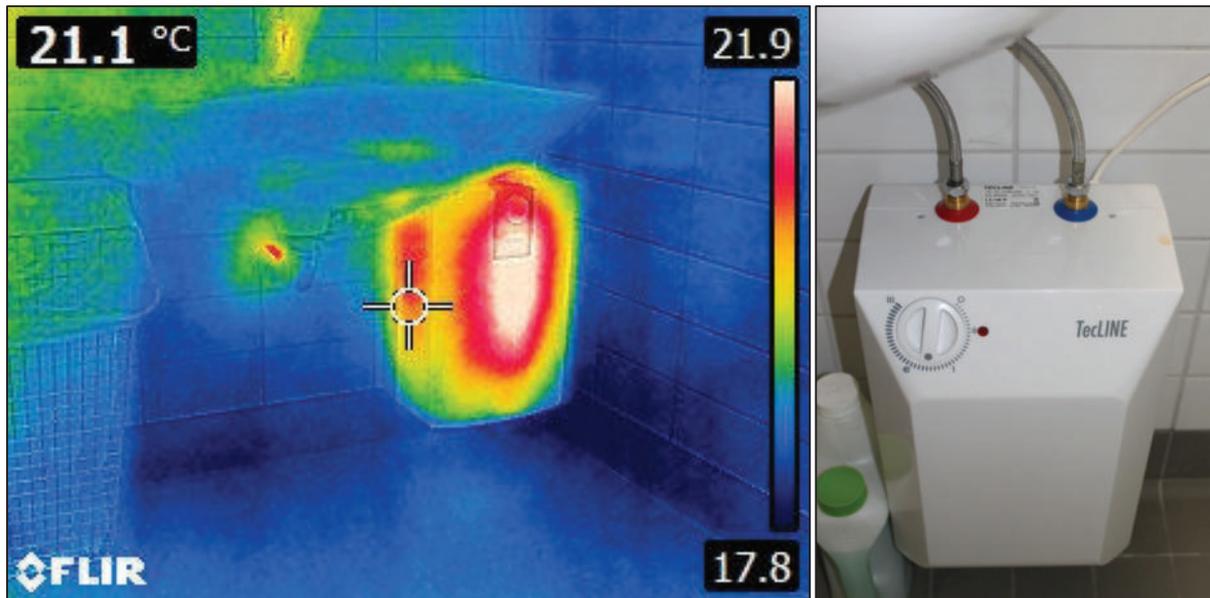


Abbildung 3-48: Durchlauferhitzer und Kleinspeicher

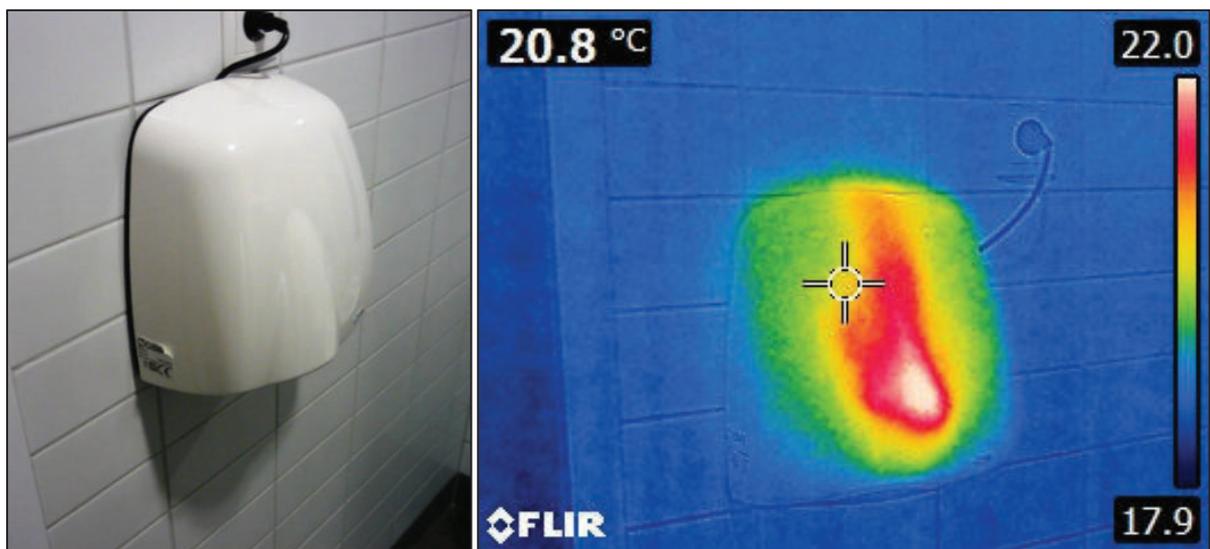


Abbildung 3-49: Händetrockner in den Kinder-WCs

3.7.4 Raumlufttechnik

Die zentralen RLT-Anlagen in den Räumen 2.03 und 2.18 sind die größten Einzelstromverbraucher. Sie weisen aber neben dem Betriebsstrom der Ventilatoren auch Aufwendungen für Schaltschränke auf. Auch die Stromaufnahme der Volumenstromregler erfolgt in der jeweiligen RLT-Zentrale im Schaltschrank.

Eine weitere Auswertung der Verbrauchsdaten der RLT findet sich in Kapitel 7.2.6. Darüber hinaus widmet sich der Abschlussbericht 7 detailliert der Lüftung.

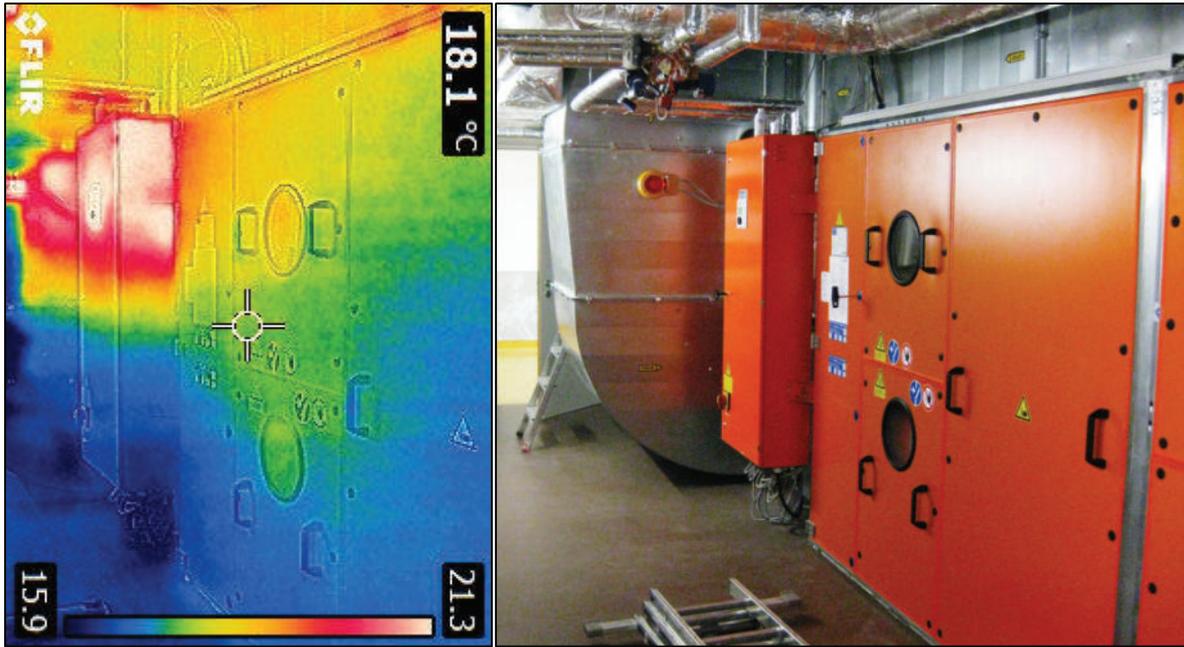


Abbildung 3-50: RLT-Anlage Gebäudeteil A – Zentrale Raum 2.18



Abbildung 3-51: RLT-Anlage Gebäudeteil B – Zentrale Raum 2.03

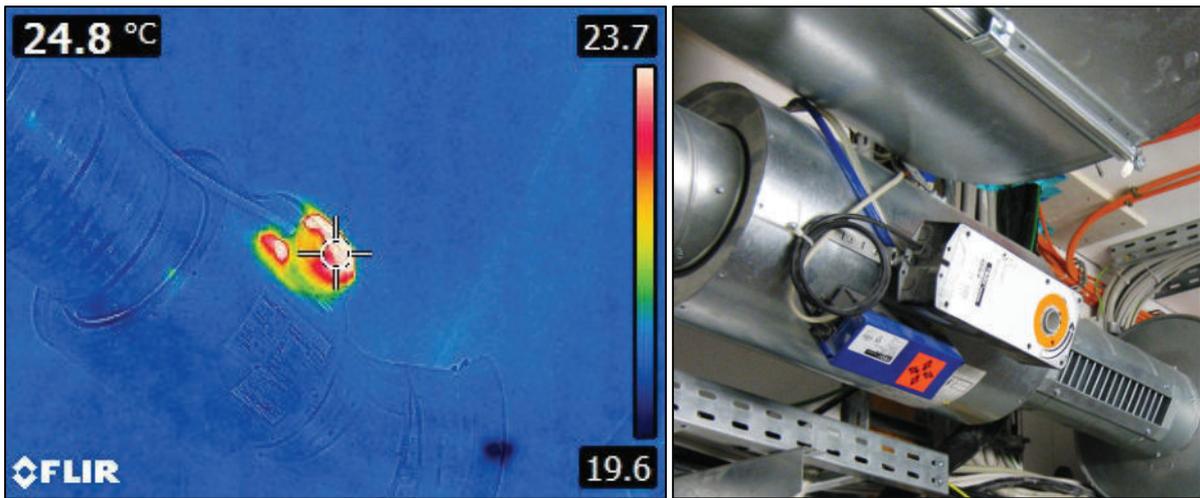


Abbildung 3-52: Volumenstromregler der RLT

3.7.5 Allgemeinverbraucher und Sicherheitstechnik

Zu den im Gebäude vorhandenen allgemeinen Verbrauchseinrichtungen zählen u. a. die Rettungswegleuchten, die Feststellanlagen an den Brandschutztüren, alle Bewegungsmelder, der Aufzug und der Anzeigemonitor im Foyer.

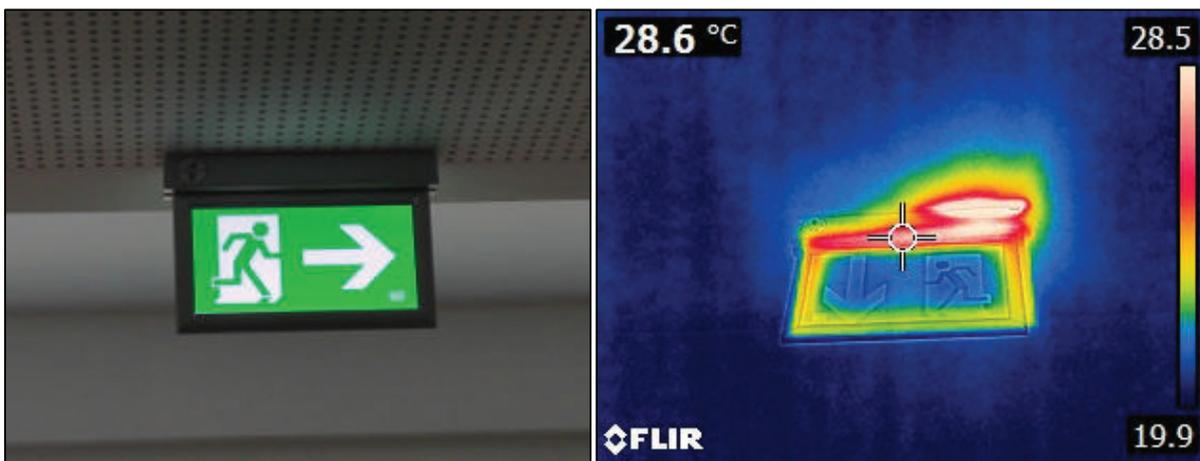


Abbildung 3-53: Rettungswegleuchte

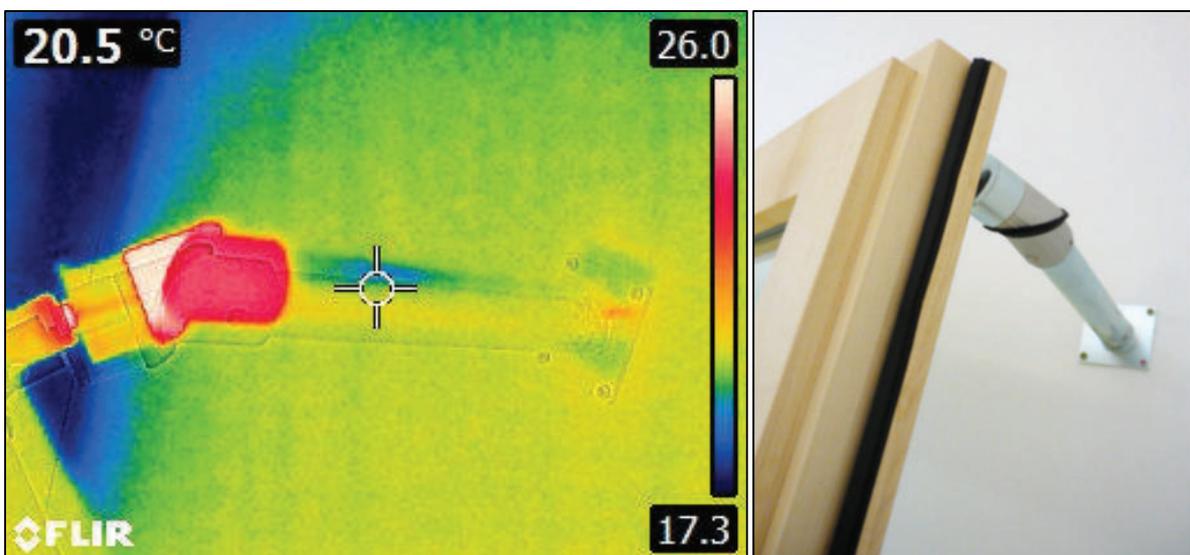


Abbildung 3-54: Magnetische Türfeststellanlage

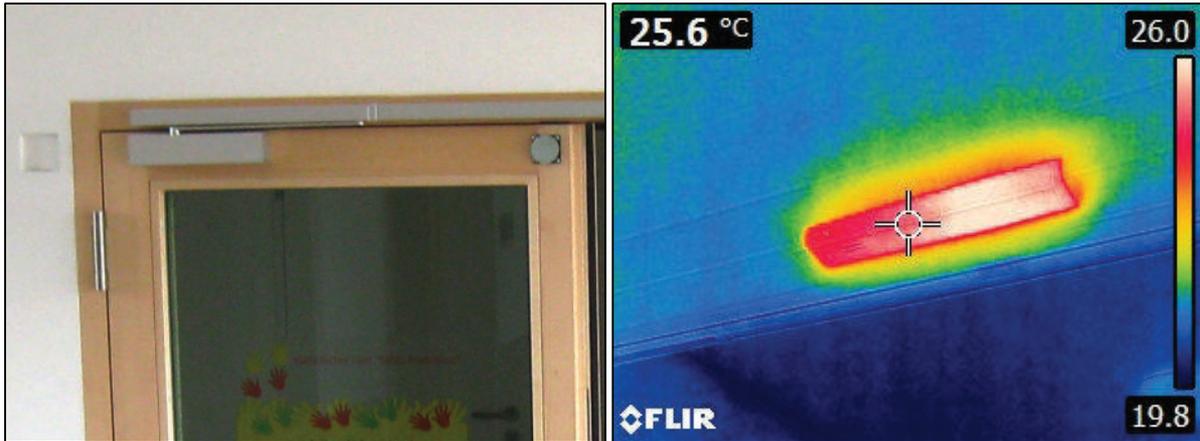


Abbildung 3-55: Hilfsenergieaufwand der Brandschutztüren

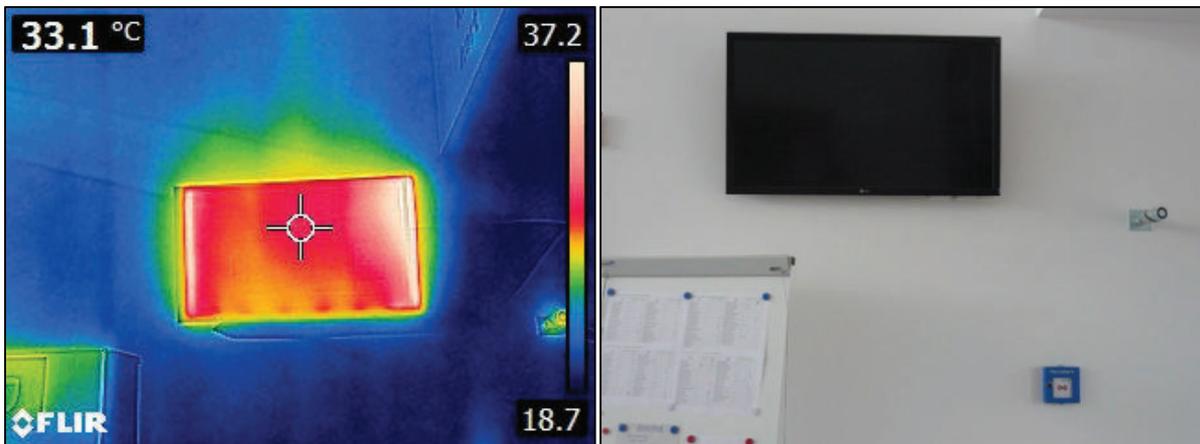


Abbildung 3-56: Zentraler Anzeigemonitor im Eingangsbereich

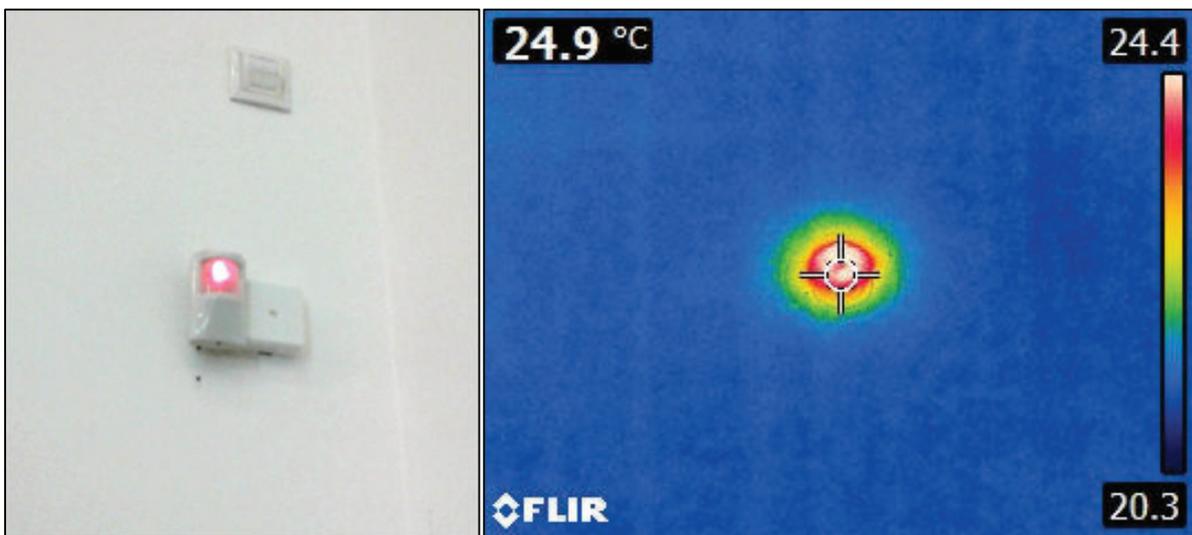


Abbildung 3-57: Bewegungsmelder

Die Auswertung der Verbrauchsdaten, welche über den zentralen Datenserver erfasst werden, ist in Kapitel 7.2.6 zu finden. Der Aufzug wird in Kapitel 7.2.7 näher untersucht.

4 Stromertragsprognose

Der nachfolgende Abschnitt fasst die Ergebnisse der Stromertragsprognosen für die Photovoltaik und das Windrad zusammen, welche im Verlauf der Zeit von der Vorplanung 2011 bis zur Abschlussdokumentation erstellt wurden.

4.1 PV Simulation

4.1.1 Vorplanung 2011

In der Vorplanungsphase ließ der damalige Fachplaner N&S eine Simulation für die Dachanlage erstellen:

- PV-Modulfläche: 425,78 m²
- Peakleistung: 62,72 kW_{peak}
- Ertrag: 55.591 kWh/a

Die tatsächlich vorhandene Dachfläche wurde in etwa korrekt abgeschätzt. Jedoch wegen der schlechteren Wirkungsgrade die Peakleistung und der Ertrag unterschätzt.

4.1.2 Inbetriebnahme 2014

Im Rahmen des Monitorings wurden von der Hochschule Magdeburg-Stendal nach der Insolvenz des Planungsbüros N&S alle Plandaten rekonstruiert, die zum Vergleich mit den Messwerten sinnvoll erschienen. Die PV-Anlagen wurden im Rahmen der Masterarbeit von Florian Hallensleben im Jahr der Inbetriebnahme der Schule (2014) simuliert [4]. Die Ertragssimulation der beiden Photovoltaikanlagen wurde mit der Valentin Photovoltaik-Simulationssoftware "PV-Sol 6.0 advanced" durchgeführt. Zur Plausibilitätsprüfung und um eventuelle Differenzen in den hinterlegten Herstellerkatalogen der Solarmodule und Wechselrichter aufzudecken, wurde die Ertragssimulation darüber hinaus mit der Simulationssoftware "Hottgenroth – PV Simulation" durchgeführt.

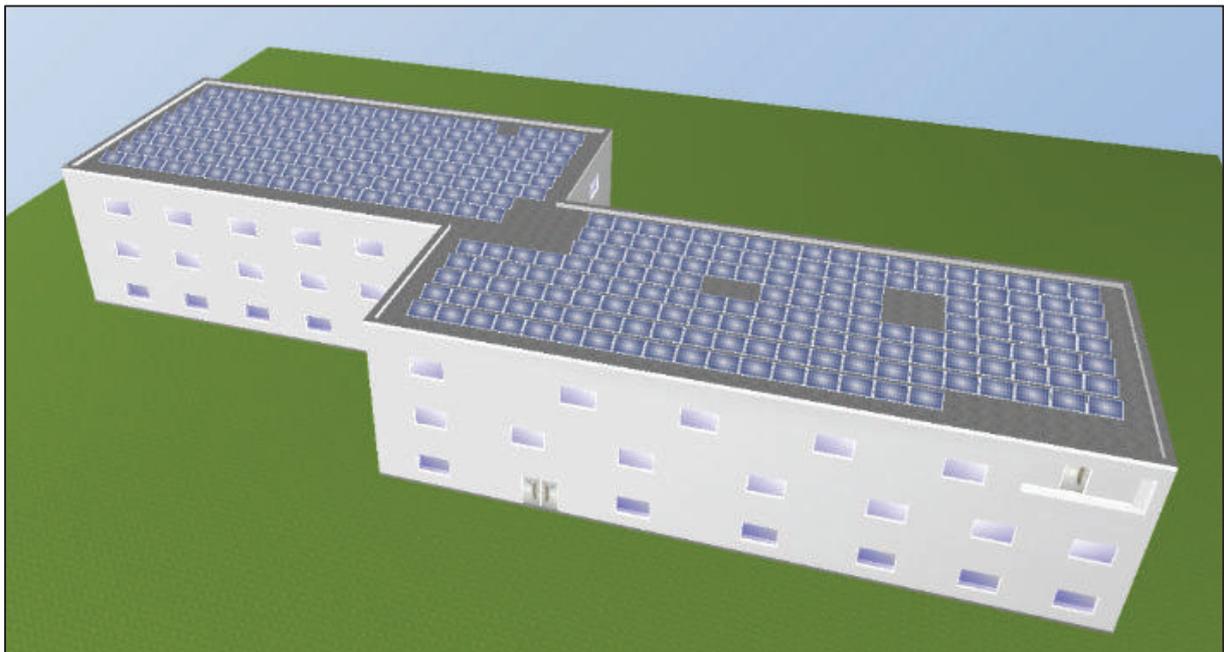


Abbildung 4-1: Simulationsmodell Photovoltaik Dachanlage 2014

Abbildung 4-1 zeigt das Simulationsmodell der Dachanlage. Bezogen auf die Realität wurden alle Randdaten korrekt gewählt. Lediglich die Anzahl der installierten Module liegt real bei nur 289 Stück (statt 302 Stück). Damit sind die Simulationsergebnisse proportional nach unten zu korrigieren.

- PV-Modulfläche: $302 \times 1,63 \text{ m}^2 = 492,26 \text{ m}^2$
- Peakleistung: $73,99 \text{ kW}_{\text{peak}}$
- Wechselrichter: 5
- Ertrag: 72.227 kWh/a (PVsol) bzw. 72.294 kWh/a (Hottgenroth)

Abbildung 4-2 zeigt das Simulationsmodell des Carport. Er war zu dem Zeitpunkt noch in der Phase der Baugenehmigung. Die Annahmen zur Neigung der Module, zu Modulgröße und Typ stimmen nicht. Die Anlage wurde etwas größer modelliert als später tatsächlich errichtet.

- PV-Modulfläche: $45 \times 1,28 \text{ m}^2 = 57,60 \text{ m}^2$
- Peakleistung: $6,30 \text{ kW}_{\text{peak}}$
- Wechselrichter: 2
- Ertrag: 5.259 kWh/a (PVsol) bzw. 5.514 kWh/a (Hottgenroth)

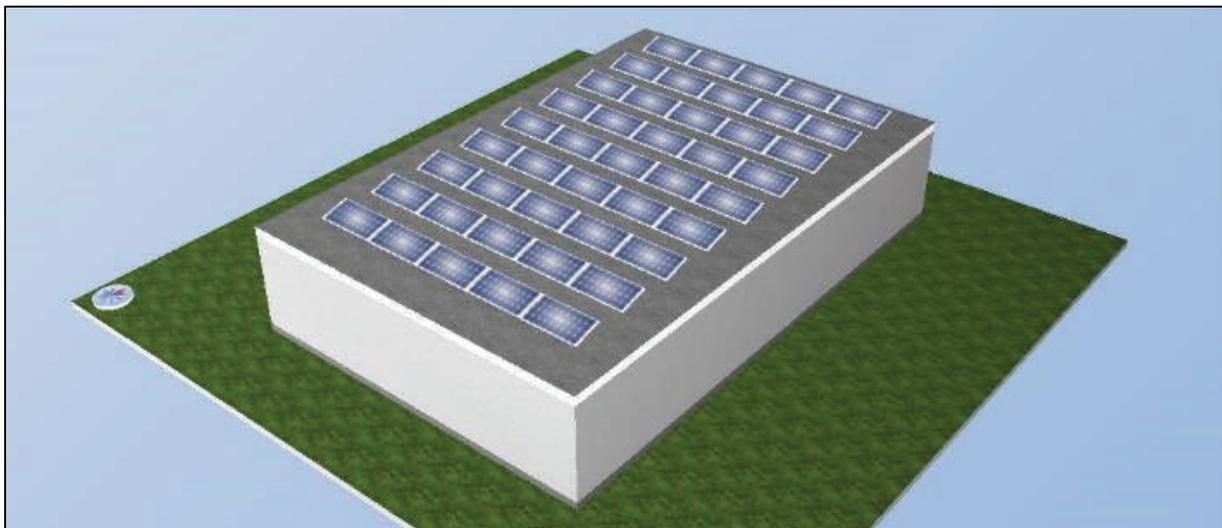


Abbildung 4-2: Simulationsmodell Photovoltaik Dachanlage 2014

4.1.3 Monitoringphase 2016

Die Anlage wurde erneut simuliert, als erste Monitoringdaten vorlagen. Dies erfolgte mit dem Ziel eine Optimierung der Batterieanlage zu untersuchen im Rahmen der Masterarbeit von Azhar Soboh [11]. Für die Simulation wird die Software PV-Simulation 3D Plus von Hottgenroth Software ETU verwendet.

Die Software bietet die Möglichkeit, das Bedarfsprofil stundenweise für das ganze Jahr festzulegen. Ein Nachteil dieser Software ist, dass die zwei unterschiedlichen Anlagen der Schule nicht in einer Simulation abgebildet werden können. In der Software kann pro Simulation nur ein Modultyp eingegeben werden. Deshalb werden die 45 Solarwatt Solarmodule des Carports durch 25 Solarmodule von ET Solar mit insgesamt $6,13 \text{ kW}_{\text{peak}}$ ersetzt. Damit wird eine PV-Anlage mit einer Gesamtleistung von $80,12 \text{ kW}_{\text{peak}}$ modelliert [11].

- PV-Modulfläche: $(302 + 25) \times 1,46 \text{ m}^2 = 477,42 \text{ m}^2$
- Peakleistung: $(73,99 + 6,13) = 80,12 \text{ kW}_{\text{peak}}$
- Wechselrichter: $5 + 2 = 7$
- Ertrag: 79.467 kWh/a

In dieser Simulation wurde die Batterieanlage zusätzlich berücksichtigt. Die Entladetiefe der Batterie sowie der Systemwirkungsgrad wurden dabei mit 90 % angenommen. Der ermittelte Eigenverbrauchsanteil von 65,4 % deckt sich gut mit der Messung.

Bis auf die weiterhin zu hohe Anzahl der Module auf dem Dach (real nur 289 Stück) entspricht die Simulation der Realität. Berücksichtigt man die real kleinere Anlage (70,8 kW_{peak}), ergibt sich ein korrigierter Ertrag von 77.166 kWh/a.

4.1.4 DIN V 18599

Bei der Erstellung des abschließenden EnEV-Nachweises für das Gebäude erfolgte auch die PV-Berechnung unter Standardranddaten. Eingaben sind Abbildung 4-3 zu entnehmen. Für den Standort Potsdam sowie die hinterlegten Annahmen zur Standardeffizienz der Module ergibt sich für den EnEV-Nachweis ein Stromertrag von 47.928 kWh/a für die Dachanlage bei einer Peakleistung von nur 52,75 kW_{peak}.

Kennwerte	
Gesamtfläche der PV-Module ohne Rahmen	[m ²] 421,94
Neigung der Module	30°
Ausrichtung der Module	Süd
<input checked="" type="checkbox"/> Standard Systemleistungsfaktor	[-] 0,80
Modul-Technologie	kristallin, CIS, CdTe
Belüftung der Module	Mäßig belüftete Module
<input checked="" type="checkbox"/> Peakleistung bei Normprüfbedingungen	[kW] 52,75
PV-Typ	Polykristallines Silizium

Abbildung 4-3: Eingaben zur PV-Anlage auf dem Dach in die DIN V 18599-Bianzierung

Analog lieferte die Bilanzierung der Carport-Anlage eine Peakleistung von 4,93 kW_{peak} sowie einen Ertrag von 4478 kWh/a. In beiden Fällen wird die reale Moduleffizienz stark unterschätzt.

Kennwerte	
Gesamtfläche der PV-Module ohne Rahmen	[m ²] 39,42
Neigung der Module	30°
Ausrichtung der Module	Süd
<input checked="" type="checkbox"/> Standard Systemleistungsfaktor	[-] 0,75
Modul-Technologie	kristallin, CIS, CdTe
Belüftung der Module	Mäßig belüftete Module
<input checked="" type="checkbox"/> Peakleistung bei Normprüfbedingungen	[kW] 4,93
PV-Typ	Polykristallines Silizium

Abbildung 4-4: Eingaben zur PV-Anlage auf dem Carport in die DIN V 18599-Bianzierung

4.1.5 Fazit

Der reale Ertrag der beiden Anlagen mit insgesamt 77,8 kW_{peak} liegt bei ca. 81 MWh/a (Mittelwert der Messwerte der Jahre 2015 – 2017). Weitere Details sind Kapitel 6.3 zu entnehmen.

Es kann festgestellt werden, dass die Simulation sehr genaue Ertragsprognosen liefert, wenn die Anzahl der PV-Module sowie deren Fläche, Ausrichtung und Wirkungsgrad korrekt erfasst wird. Der Simulationswert ergibt sich zu etwas mehr als 77 MWh/a.

Im EnEV-Nachweis mit Bilanzierung nach DIN V 18599 müssen Standardwirkungsgrade verwendet werden. Das führt zu einer deutlichen Unterschätzung des Ertrags mit nur 52 MWh/a.

4.2 Windkraft

4.2.1 Vorplanung 2011

Im Rahmen der Planungsphase wurden keine Simulationen oder Schätzungen bzgl. des zu erwartenden Ertrags der Mikrowindkraft erstellt.

4.2.2 Inbetriebnahme 2014

Im Rahmen des Monitorings wurden von der Hochschule Magdeburg-Stendal nach der Insolvenz des Planungsbüros N&S alle Plandaten rekonstruiert, die zum Vergleich mit den Messwerten sinnvoll erschienen. Die Mikrowindkraft wurde im Rahmen der Masterarbeit von Florian Hallensleben im Jahr der Inbetriebnahme der Schule (2014) simuliert [4].

Da zum Zeitpunkt dieser Ausarbeitung die Anlagenaufstellungsgenehmigung noch nicht erteilt werden konnte, wurde eine Kleinwindkraftanlage vom deutschen Hersteller „Gödecke Energie- und Antriebstechnik“ ausgewählt und damit die Berechnung durchgeführt. Die Wahl fiel dabei auf das getriebelos gefertigte Modell AEROCRAFT 752. Diese Kleinwindenergieanlage zeichnet sich bei einem Rotordurchmesser von 2,40 Metern durch einen besonders leisen Lauf aus. Die Anlage läuft außerdem ab einer Windgeschwindigkeit von ca. 3,0 m/s an und erreicht ihre Nennleistung von 750 Watt ab einer Windgeschwindigkeit von 9,0 m/s.

Da noch keine Plandaten vorlagen, erfolgte die Abschätzung mit einer selbst erstellten Exceltabelle. Da für die St. Franziskus Grundschule bisher nur ein vorläufiges Angebot eines Herstellers vorliegt, die Aufstellungsgenehmigung fehlt und somit keine exakte Leistungskurve vorliegt, wurde zwischen den quadratischen und logarithmischen Leistungskurven ein linearer Zusammenhang einprogrammiert. Durch den linearen Zusammenhang ist die entstehende Fehlerdifferenz zur quadratischen bzw. logarithmischen Leistungskurve kleiner, als bei der Wahl einer der beiden Kurven [4].

Simuliert wurde auf Basis der stündlichen Windmessdaten aus dem Jahre 2011 für die Wetterstation Halle-Kröllwitz wie folgt:

- Stückzahl Windräder: 3
- Anlaufgeschwindigkeit: 3 m/s
- Nenngeschwindigkeit: 9 m/s
- Nennleistung: 750 W/Stück
- Ertrag: 811 kWh/a (Summe)

4.2.3 Monitoringphase 2016

In der Monitoringphase wurde die Simulation auf Basis der realen Windkraftkennwerte aktualisiert. Die sich ergebenden Randdaten und Ergebnisse lauten:

- Stückzahl Windräder: 1
- Anlaufgeschwindigkeit: 1,5 m/s
- Nenngeschwindigkeit: 15 m/s
- Nennleistung: 1000 W/Stück
- Ertrag: 585 kWh/a (Summe)

4.2.4 DIN V 18599

Bei der Erstellung des abschließenden EnEV-Nachweises für das Gebäude erfolgte auch die Mikrowindkraft-Berechnung unter Standardranddaten. Eingaben sind Abbildung 4-5 zu entnehmen. Für den Standort Potsdam sowie die hinterlegten Annahmen zur Standardeffizienz der Anlage ergibt sich für den EnEV-Nachweis ein Stromertrag von 392 kWh/a.

Erzeuger		Detailergebnisse	
Allgemein			
Bezeichnung der Windkraftanlage			
EE Wind-Energie			
<input type="checkbox"/> Simulierte Erträge vorhanden			
Kennwerte			
Nabenhöhe	[m]	10,00	
Rotorfläche	[m ²]	3,00	

Abbildung 4-5: Eingaben zur Windkraft in die DIN V 18599-Bianzierung

4.2.5 Fazit

Ein realer Ertrag der Anlage ist nicht feststellbar. Insbesondere der Standby-Verbrauch der Wechselrichter und Sicherheitstechnik führt dazu, dass der Bedarf des Gerätes den Ertrag übersteigt. Daher lassen sich Messwerte mit Bedarfswerten nicht vergleichen. Weitere Details sind Kapitel 7.3 zu entnehmen.

Es kann festgestellt werden, dass die Simulationskennwerte sowie die Berechnung nach DIN V 18599 in einer ähnlichen Größenordnung liegen. Auf eine genauere Analyse von Fehlern bzw. Unterschieden bei Berechnungsranddaten wird an dieser Stelle verzichtet.

5 Strombedarfsprognose

Der nachfolgende Abschnitt stellt die Erkenntnisse und Ergebnisse der Strombedarfsbilanz zusammen. Es wird unterschieden in die Ergebnisse für die Bereiche "Schule/Hort/Verwaltung", "Hausmeisterwohnung" und "Küche", welche im Verlauf des Monitorings mehrfach untersucht wurden.

Die erste Bilanzierung erfolgte bei Inbetriebnahme 2014, als das Gebäude komplett begangen werden konnte, Geräte erfasst sowie Nutzer zu den Laufzeiten befragt werden konnten. Die zweite komplette Auswertung erfolgte nach Inbetriebnahme des Monitorings, als parallel auch Messwerte der manuellen Zählerablesung für mehr als ein Jahr zur Verfügung standen. Die finale Auswertung erfolgte 2018. Sowohl die manuellen Ablesungen der Zähler als auch die Monitoring-Daten konnten berücksichtigt werden, um Annahmen zu Leistungen und Laufzeiten zu plausibilisieren.

Das Kapitel endet mit einer Zusammenfassung für das Gebäude, in der nach Verbrauchsarten (Nutzung, Standby) sowie alternativ nach Gerätearten (Bürogerät, Kühltechnik usw.) unterschieden wird.

5.1 Vorgehensweise

Alle Elektroverbraucher wurden nach Besichtigung vor Ort raumweise in einer Exceltabelle zusammengestellt. Sofern ein Gerät mehr als eine Leistung P [in W] (Nutzung, Standby) aufweist, wurden mehrere Zeilen angelegt. Für Geräte, die bekanntermaßen taktend laufen (Kühltechnik, Küchentechnik o. ä.) wurde anhand der Messwerte oder aus Produktdaten ein mittlerer Teillastfaktor f_{TL} und daraus eine effektive Leistung P_{eff} [in W] bestimmt.

$$P_{eff} = P \cdot f_{TL}$$

Anschließend wurde für jedes Gerät nach Rücksprache mit den Nutzern erfasst, wie viele Nutzungswochen je Jahr, Nutzungstage je Woche sowie Stunden je Tag für jeden Verbraucher gegeben sind. Die effektive Nutzungszeit (für jede Leistung separat) t_{eff} ergibt sich daraus.

Anschließend wurde die Strombilanz der Energiemenge Q_{el} [in kWh] nach dem bekannten Ansatz erstellt:

$$Q_{el} = \sum P_{eff} \cdot t_{eff}$$

Abschließend wurden die Bedarfswerte summiert, so dass sie mit den gemessenen Verbrauchswerten verglichen werden konnten. Insgesamt wurden 30 Vergleiche erstellt, deren Abweichung maximal $\pm 11\%$ beträgt. Sofern erforderlich, wurden insbesondere noch Teillastfaktoren sowie Laufzeiten an die Realität angepasst.

5.2 Schule und Hort

5.2.1 Inbetriebnahme 2014

Beleuchtung

Im Rahmen seiner Masterarbeit untersuchte Florian Hallensleben u. a. den Strombedarf für die Kunstlichtbeleuchtung des Horts und der Klassenräume [4]. Grundlagen waren:

- die Anschlussleistungen der Beleuchtung lt. Elektroplanung
- Sonnenauf- und Untergangszeiten sowie Ferien- und Hortzeiten, um den Tag in 5 Intervalle zu teilen: Betrieb vor Sonnenaufgang, Dämmerung morgens, Tagbetrieb, Dämmerung abends, Betrieb nach Sonnenuntergang

Anhand der Hort- und Schulnutzungstage kann der Jahresstrombedarf der Kunstlichtbeleuchtung, unterteilt in unterschiedliche Nutzungs- und Frequentierungsprofile, monatspezifisch bestimmt werden. 19 Profile wurden dabei so gewählt, dass Räume gleicher Nutzungsart und Nutzungsdauer zusammengefasst worden sind und sich so eine Vereinfachung bei der Strombedarfsermittlung der Raumbelichtung über ein Kalenderjahr ergibt.

Der ermittelte Bedarf liegt bei 38,1 MWh/a. Es entfallen davon 6,7 bzw. 2,9 MWh/a auf die nord- und südorientierten Klassen- und Horträume. Der Restbedarf fällt in den Verkehrsflächen, Sanitäräumen, der Aula und Verwaltung an.

Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 13,3 MWh/a deutlich geringer. Vor allem die angenommene Leistung war deutlich zu hoch, denn die Leuchtmittel fielen kleiner aus als die maximal zulässige Leuchtenleistung. Auch die Teilbetriebszeiten aufgrund der Bewegungsmelder konnten nicht korrekt abgebildet werden.

Mechanische Belüftung

Im Rahmen seiner Masterarbeit untersuchte Florian Hallensleben auch den Strombedarf für die Lüftungsanlagen des Horts und der Klassenräume [4]. Grundlagen waren:

- Leistungen der Ventilatoren für verschiedene Laststufen aus den Ventilator Kennlinien der Hersteller
- Ferien- und Hortzeiten, Stunden- und Belegungsplan, so dass drei Nutzungsprofile erstellt werden konnten: normaler Grundschul- und Hortbetrieb an einem Werktag, Hortnutzung während der Schulferien ohne Beschulung, Wochenende oder Feiertag
- Berücksichtigung der morgendlichen Vorspülphase

Der ermittelte Bedarf liegt bei 26,0 MWh/a. Es entfallen davon 12,6 bzw. 13,4 MWh/a auf die Lüftungsanlagen des Klassentraktes und Verwaltungstraktes. Der Bedarf der WC-Abluftanlage ist so gering, dass er bei dieser Rundung aus der Bilanz herausfällt.

Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 35,2 MWh/a deutlich höher. Insbesondere die Annahmen zur Teillast bestätigen sich so nicht. Die beiden Anlagen haben Bedarfe von 16,1 bzw. 19,1 MWh/a.

Geräte

In der Phase der Inbetriebnahme 2014 wurde keine Energiebilanz der weiteren Elektrogeräte erstellt.

5.2.2 Grobmonitoring 2016

Nach knapp zwei Betriebsjahren lagen vor allem Werte der manuell abgelesenen Zähler vor. Anhand dieser wurde die Bedarfsbilanz aus der Inbetriebnahmephase überarbeitet und ergänzt. Dies erfolgt anhand einer Masterarbeit von Sandra Jäger und Florian Switala [12].

Beleuchtung

Der ermittelte Bedarf für die Schule (ohne Küche und Hausmeisterwohnung) liegt bei 13,1 MWh/a. Insbesondere die korrekten Beleuchtungsleistungen wurden angepasst und die Laufzeiten der Beleuchtung nach erneuter Nutzerbefragung leicht modifiziert.

Der Bedarf in der Abschlussbilanz beträgt 13,3 MWh/a, so dass festzustellen ist, dass die Einschätzung der Beleuchtung sehr gut auf Basis von Nutzerbefragungen und groben Zählerablesungen aufzustellen war.

Mechanische Belüftung

Da zum Zeitpunkt der Bilanzierung keine genaueren Erkenntnisse als 2014 vorlagen, wurden die Ergebnisse unverändert aus dem Jahr 2014 übernommen. Der ermittelte Bedarf der zentralen RLT-Anlagen liegt somit bei 26,0 MWh/a.

Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 35,2 MWh/a deutlich höher. Hier ist anzumerken: es gab keine Stromzähler im groben Monitoring, die ein Indiz gewesen wären, dass der tatsächliche Stromverbrauch höher ist. Allein auf Basis der Hauptzählerwerte wurde die Lüftungsanlage nicht korrekt eingeschätzt.

Geräte

Die Elektrogeräte wurden im Rahmen der Masterarbeit erfasst und dokumentiert. Grundlagen der Bilanz waren:

- Leistungen für verschiedene Betriebszustände aus Typenschildern, Herstellerunterlagen, Internetrecherchen vergleichbarer Geräte
- Gerätenutzungs- und Standbyzeiten nach Rücksprache mit Lehrern und dem Hausmeister

Der ermittelte Bedarf liegt bei 43,7 MWh/a. Wenige Geräte fehlten in der Zusammenstellung.

Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 39,3 MWh/a leicht geringer. Es kann festgestellt werden, dass die Strombilanz aller Kleingeräte auf Basis von Nutzerbefragungen und Produktunterlagen recht treffsicher funktioniert. Allerdings konnten die Strombedarfe der Großverbraucher: Druckerhöhungsanlage für das Brauchwasser, Server, Aufzug nicht genau eingestuft werden. Hier waren detaillierte Messwerte notwendig.

5.2.3 Endauswertung 2018

Für die Endauswertung konnten alle vorher bekannten Daten berücksichtigt werden sowie die Erkenntnisse aus dem Intensivmonitoring. Die finale Energiebilanz ergibt für die Schule ohne Küche und Hausmeisterwohnung einen Energiebedarf von 97,1 MWh/a. Davon entfallen auf die Beleuchtung 13,8 MWh/a, auf die mechanische Belüftung 39,6 MWh/a und auf alle anderen elektrischen Anwendungen (incl. TGA) 43,7 MWh/a.

Eine Aufschlüsselung der Ergebnisse nach Raumnutzung zeigt Tabelle 5-1. Die Technikflächen (Räume 0.04, 0.18, 0.30, 0.33b, 2.03 und 2.18) weisen eine ungleich höhere Dichte an Geräten und damit Energieverbrauch auf. Bei der Bildung der Gebäudekennwerte werden diese Energiemengen später über die gesamte Fläche verteilt, da sie auch Aufwendungen für die Küche und die Hausmeisterwohnung enthalten.

Tabelle 5-1: Energiebedarf für Strom der Schule mit Hort

	Sanitär	Aula	Hort	Verkehr	Büro	Klasse	Technik
Energiemenge, [kWh/a]	1265	1349	4397	7351	8334	10003	64382
Fläche, [m ²]	76,8	226,72	327,43	1056,02	244,95	870,95	123,09
Energiekennwert [kWh/(m ² a)]	16,5	6,0	13,4	7,0	34,0	11,5	523,0

Eine grafische Auswertung folgt. Die Analyse der Technikräume ist jedoch im Kapitel 5.6 zu finden. Aufgrund des Maßstabs ist eine Eintragung in die nachfolgenden Grafiken nicht sinnvoll.

Auswertung nach Verbrauchsgruppen

Abbildung 5-1 zeigt den Strombedarf der Schule, ohne Hausmeisterwohnung, Küche und zentrale Technikflächen.

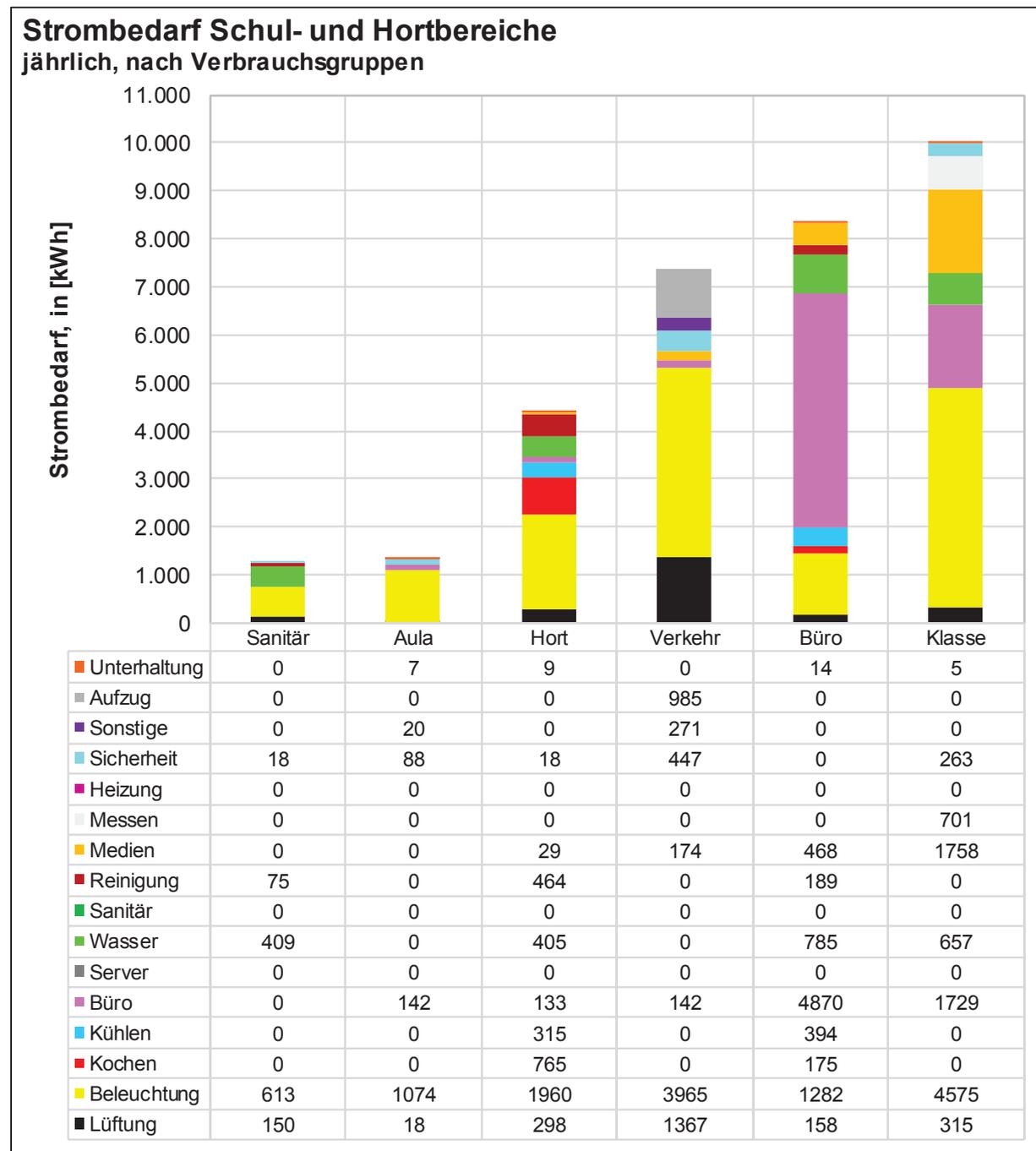


Abbildung 5-1: Strombedarfsbilanz der Schul- und Hortbereiche – Verbrauchsgruppen

Eine Aufgliederung erfolgt nach Verbrauchsgruppen. Die Geräte wurden wie folgt eingeordnet bzw. zusammengefasst:

- Aufzug
- Beleuchtung
- Büro: Drucker, Kopierer, PC, Bildschirm, Aktenvernichter, Laminiergerät, Laptop
- Heizung: Heizungspumpen, Elektroflächenheizung, Elektroluftheizung, Schaltschränke
- Kochen: Herd, Dunstabzugshaube, Mikrowelle, Kaffeeautomat, Toaster, Wasserkocher, Kombidämpfer, Kippbratpfanne, Speiseausgabewagen, Tellerstapler, Küchenmaschine, Mixer
- Kühlen: Kühlschrank, Kühltruhe, Kühlzellen mit allen Nebenaggregaten
- Lüftung: RLT-Anlagen mit Schaltschrank, Volumenstromregler, Kondensathebepumpe, Iso-Defrosterheizung
- Medien: Telefon, Beamer, MP3-Player und CD-Player der Klassenräume, Anzeigemonitor, Activeboard, Ansageanlage
- Messtechnik
- Reinigung: Geschirrspüler, Waschmaschine, Staubsauger, Bügeleisen, Fön
- Sanitär: Brauchwassernutzung mit Schaltschrank und Pumpen
- Server
- Sicherheit: Rettungswegleuchten, Amokschalter, USV, Türfeststellanlage
- Sonstige: Windrad Eigenverbrauch, Trinkbrunnen, hinterleuchtetes Glasbild, Antrieb Küchendurchreiche
- Unterhaltung: Fernseher, CD-Player, E-Piano, Radio, Keyboard, Digitalbox, Nintendo, Stereoanlage
- Wasser: Durchlauferhitzer, Händetrockner, Kleinspeicher, Hilfsenergien Solar und Salzhidratspeicher

Es zeigt sich, dass die Sanitärflächen einen großen Strombedarf für die Trinkwassererwärmung und Händetrockner aufweisen, in der Aula ist ein hoher Beleuchtungsbedarf feststellbar, im Hort fällt der Strombedarf von Koch- und Reinigungsgeräten als Besonderheit auf. In den Büros sind entsprechende Geräte im Einsatz. Die Klassen weisen eine überdurchschnittliche Beleuchtung auf.

Auswertung nach Verbrauchsarten

Die Verbrauchsarten werden wie folgt unterschieden:

- nutzungsbedingter Verbrauch: Geräte, die aktiv für kürzere Zeiträume eingeschaltet werden, Verbrauchsanteil in dieser Zeit (Bügeleisen, PC-Monitor während der Nutzung, Spülmaschine im Spülgang usw.)
- permanenter Verbrauch: Geräte, die ohne Abschaltung durchlaufen müssen (Rettungswegleuchte, Volumenstromregler, Kühlgeräte, Telefone, Server)
- unveränderlicher Standbyverbrauch: Stromverbrauch außerhalb der aktiven Nutzungszeit für Geräte, die festverdrahtet sind, so dass ein Nutzer nicht eingreifen kann (Durchlauferhitzer, Schaltschränke, Pumpenstandby usw.)
- schwer veränderlicher Standbyverbrauch: Stromverbrauch außerhalb der aktiven Nutzungszeit für Geräte, die steckerfähig sind, wobei die Stecker nicht zugänglich sind (Geschirrspüler, Mikrowellen, Wasch- und Spülmaschinen, Händetrockner, Kleinspeicher)
- Standbyverbrauch: Stromverbrauch außerhalb der aktiven Nutzungszeit für Geräte, die der Nutzer einfach abschalten könnte (Activeboard, PC, Drucker, Kopierer, Bildschirm o. ä.)

Abbildung 5-2 fasst die Verbraucher nach Verbrauchsarten zusammen.

Strombedarf Schul- und Hortbereiche jährlich, nach Verbrauchsarten

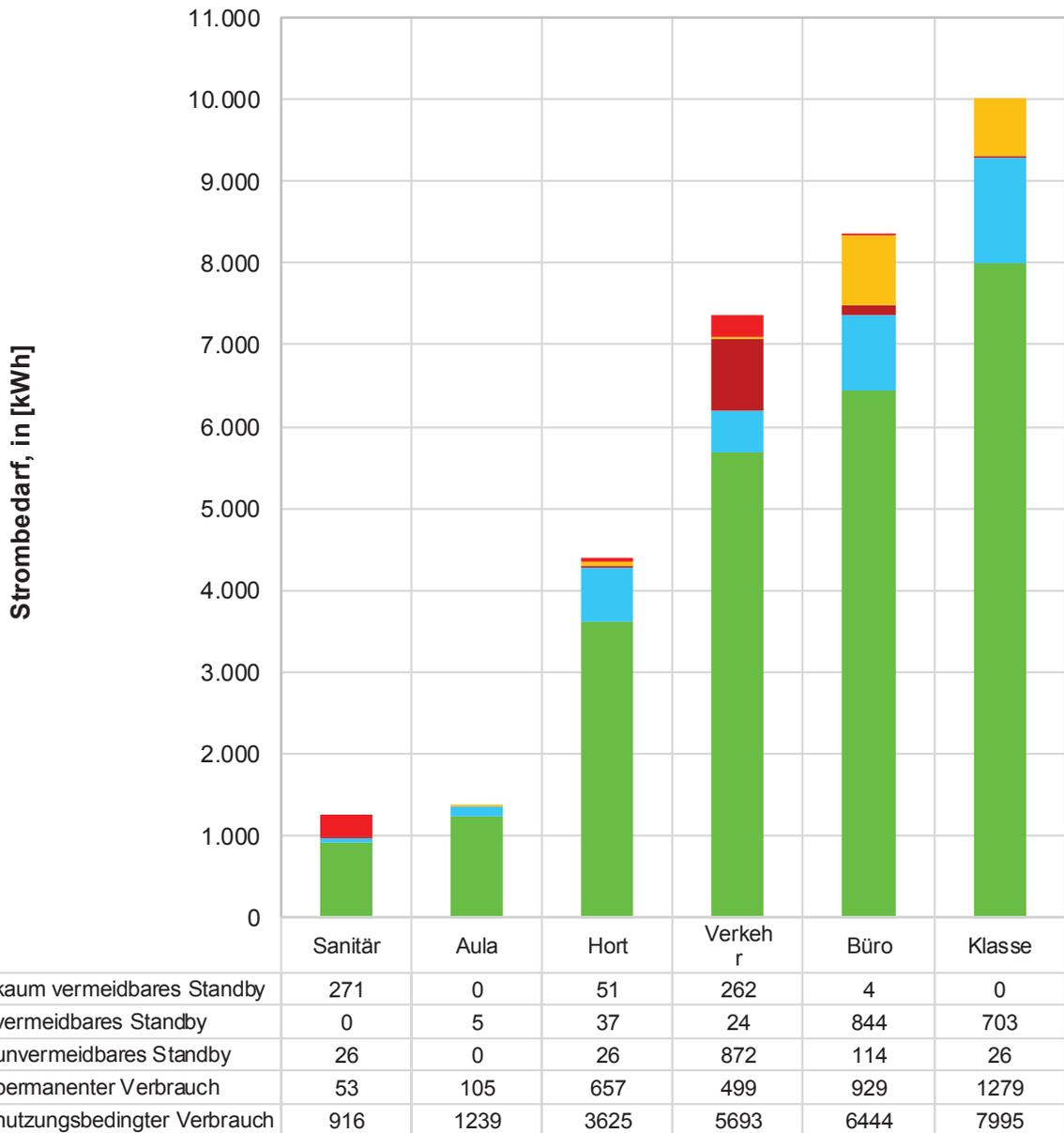


Abbildung 5-2: Strombedarfsbilanz der Schul- und Hortbereiche – Verbrauchsarten

In den Sanitarräumen wird der kaum vermeidbare Standbyverbrauch durch die Trinkwassererwärmung verursacht. Die Verkehrsflächen weisen einen größeren Anteil unvermeidbares Standby (Aufzug) und schwer vermeidbare Standbyverbräuche (Trinkbrunnen) auf. In den Büros und Klassenräumen lassen sich jeweils Standbyverbräuche vermeiden.

Insgesamt gilt für die gezeigten 6 Raumgruppen: 79 % des Verbrauchs ist nutzungsbedingt, 11 % permanent vorhanden. Die restlichen 10 % sind Standby, davon die Hälfte von Nutzern beeinflussbar. Das sind 1600 kWh/a bzw. 430 €/a.

5.3 Küche

5.3.1 Planungsphase 2011

Für die Berechnung der Energiekosten der Küchentechnik wurde durch die Firma *Apetito* ein Strombedarf von 35,3 MWh/a ermittelt [13]. Basis waren 89.300 Essen. Die finale Energiebilanz ergibt für die Küche einen Energiebedarf von 24,6 MWh/a für 61.000 Essen/a. Damit ist die Schätzung als sehr treffsicher einzuschätzen.

5.3.2 Inbetriebnahme 2014

Im Rahmen seiner Masterarbeit untersuchte Florian Hallensleben u. a. den Strombedarf für die Kunstlichtbeleuchtung und Lüftungsanlagen der Küche [4]. Die Grundlagen für die Bilanzierung entsprechen denen, welche im Kapitel 5.2.1 erläutert wurden.

Beleuchtung

Der ermittelte Bedarf liegt bei 1,0 MWh/a. Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 0,5 MWh/a deutlich geringer. Vor allem die angenommene Leistung war deutlich zu hoch, denn die Leuchtmittel fielen kleiner aus als die maximal zulässige Leuchtenleistung.

Mechanische Belüftung

Der während der Inbetriebnahme des Gebäudes ermittelte Bedarf liegt bei 1,6 MWh/a. Es entfallen davon 1,1 MWh/a auf die Kochhaube sowie 0,4 MWh/a auf die Spülhaube. Die Grundlüftungsanlage weist einen vernachlässigbar kleinen geschätzten Bedarf von nur 0,1 MWh/a auf. Das

Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 3,4 MWh/a mehr als doppelt so hoch. Die Spülhaube verbraucht tatsächlich die geschätzten 0,4 MWh/a – Leistungs- und Laufzeitannahmen waren korrekt, da die Anlage auch überwiegend nutzungsbezogen bedient wird. Die Kochhaube weist einen Strombedarf von 1,6 MWh/a auf.

Hier waren vorab die Laufzeitannahmen falsch. Die Anlage wird in der Realität auch zum Heizen benutzt, nicht nur zur Abführung der Gerüche. Die größte Fehleinschätzung ergibt sich für die Grundlüftung, bei der sowohl Leistung als auch Laufzeit unterschätzt wurden.

Geräte

Eine Strombedarfsprognose für die Küchengeräte wurde in der Bachelorarbeit von Ronny Mank erstellt [14]. Folgende Annahmen wurden getroffen bzw. bilden die Datengrundlage:

- 400 Essen an 187 Schultagen, 50 Essen an 53 Ferienhorttagen (77.450 Essen/a)
- Anschlussleistungen der Geräte laut Hersteller- und Planungsdaten bzw. Typenschildern
- mittlere Dauerleistung 70 % der Anschlussleistung nach einem Dokument des Hochbauamtes der Stadt Zürich
- keine Standbyleistung außerhalb des Betriebes
- notwendige Gerätenutzung anhand eines Musterspeiseplans

Die Fragen zur Nutzung der Küchengeräte, vor allem in zeitlicher Hinsicht, konnten bei einem Treffen mit dem Küchenbetreiber in groben Zügen geklärt werden.

Die Bilanz ergibt einen Energiebedarf von 35,3 MWh/a – ohne Beleuchtung und Lüftung. Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz ist mit 22,7 MWh/a ca. ein Drittel geringer. Einerseits werden tatsächlich nur 61.000 Essen hergestellt, also nur 79 % der ursprünglichen Annahme. Andererseits wurde der Strombedarf der Spülmaschine bei der ersten Bilanz deutlich überschätzt – die Solarenergienutzung wurde nicht berücksichtigt. Die Kühlzelle wurde dagegen etwas zu gut bewertet.

5.3.3 Grobmonitoring 2016

Nach knapp zwei Betriebsjahren lagen vor allem Werte der manuell abgelesenen Zähler vor. Anhand dieser wurde die Bedarfsbilanz aus der Inbetriebnahmephase überarbeitet und ergänzt. Dies erfolgte in einer Masterarbeit von Sandra Jäger und Florian Switala [12]. Die Vorgehensweise bei der Grunddatenbeschaffung wird in Kapitel 5.2.2 erläutert.

Beleuchtung

Der ermittelte Bedarf für die Küche liegt bei 0,6 MWh/a. Insbesondere die korrekten Beleuchtungsleistungen wurden angepasst und die Laufzeiten der Beleuchtung nach erneuter Nutzerbefragung leicht modifiziert.

Der Bedarf in der Abschlussbilanz beträgt 0,5 MWh/a, so dass festzustellen ist, dass die Einschätzung der Beleuchtung sehr gut auf Basis von Nutzerbefragungen und groben Zählerablesungen aufzustellen war.

Mechanische Belüftung

Die Laufzeiten der drei Lüftungsanlagen wurden an die realen Erkenntnisse nach 2 Betriebsjahren angepasst. Der ermittelte Bedarf liegt bei 2,6 MWh/a. Es entfallen davon 1,7 MWh/a auf die Kochhaube sowie 0,6 MWh/a auf die Spülhaube. Beide Werte decken sich mit der finalen Bilanz 2018.

Die Grundlüftungsanlage weist weiterhin mit 0,3 MWh/a einen zu gering geschätzten Bedarf auf. Die finale Energiebilanz geht – auch unter Berücksichtigung der Monitoring-Messwerte – von 1,3 MWh/a aus. Hier ist anzumerken: es gab keine Stromzähler im groben Monitoring, die ein Indiz gewesen wären, dass der tatsächliche Stromverbrauch höher ist. Allein auf Basis der Hauptzählerwerte wurde die Grundlüftungsanlage nicht korrekt eingeschätzt.

Geräte

Die Strombilanz der Elektrogeräte aus der Inbetriebnahmephase wurde überarbeitet. Insbesondere die Anzahl der produzierten Essen wurden nach unten korrigiert auf 61.000 Stück pro Jahr. Ansonsten wurden die Leistungsangaben aus der Inbetriebnahmephase übernommen.

Der ermittelte Bedarf liegt bei 22,7 MWh/a. Der Bedarf entspricht auch dem der finalen Energiebilanz von 2018. Allerdings sind dennoch zwei größere Fehler feststellbar, die sich gegenseitig aufheben: der Strombedarf der Spülmaschine wird immer noch deutlich überschätzt – die Solarenergienutzung wurde nicht berücksichtigt. Die Kühlzelle wurde dagegen deutlich zu gut bewertet. Der Fehler für beide Anwendungen ± 7 MWh/a.

Es kann festgestellt werden, dass die Strombilanz von zentralen Küchengeräten (Großverbraucher) nur unterstützt durch Messwerte sicher erfolgen konnte. Ein Gesamtzählerwert reichte nicht aus.

5.3.4 Endauswertung 2018

Für die Endauswertung konnten alle vorher bekannten Daten berücksichtigt werden sowie die Erkenntnisse aus dem Intensivmonitoring. Die finale Energiebilanz ergibt für die Küche einen Energiebedarf von 24,6 MWh/a für 61.000 Essen/a. Davon entfallen auf die Beleuchtung 0,5 MWh/a, auf die mechanische Belüftung 3,6 MWh/a und alle anderen elektrischen Anwendungen (incl. TGA) 20,5 MWh/a.

Eine Aufschlüsselung der Ergebnisse nach Raumnutzung zeigt Tabelle 5-2. Die Technikflächen (Räume 0.04, 0.18, 0.30, 0.33b, 2.03 und 2.18) weisen eine ungleich höhere Dichte an Geräten und damit Energieverbrauch auf. Bei der Bildung der Gebäudekennwerte werden diese Energiemengen später über die gesamte Fläche verteilt, da sie auch Aufwendungen für die Klassen, Verwaltung, den Hort und die Hausmeisterwohnung enthalten.

Tabelle 5-2: Energiebedarf für die Küche und Technikflächen

	Küche	Technik
Energiemenge, [kWh/a]	13.751	64.382
Fläche, [m ²]	47,5	123,09
Energiekennwert [kWh/(m ² a)]	289,5	523,0

Auswertung nach Verbrauchsarten und -gruppen

Abbildung 5-3 zeigt den Strombedarf der Küche nach Verbrauchsarten und -gruppen. Eine Erläuterung zu dieser Klassifizierung kann in Kapitel 5.2.3 nachgelesen werden.

Die Kühlung und RLT wird den Technikflächen zugeordnet und in Kapitel 5.6 ausgewertet. Insgesamt gilt für Küche: 97 % des direkt in der Küche auftretenden Verbrauchs ist nutzungsbedingt, 3 % nicht vermeidbarer Standby-Verlust.

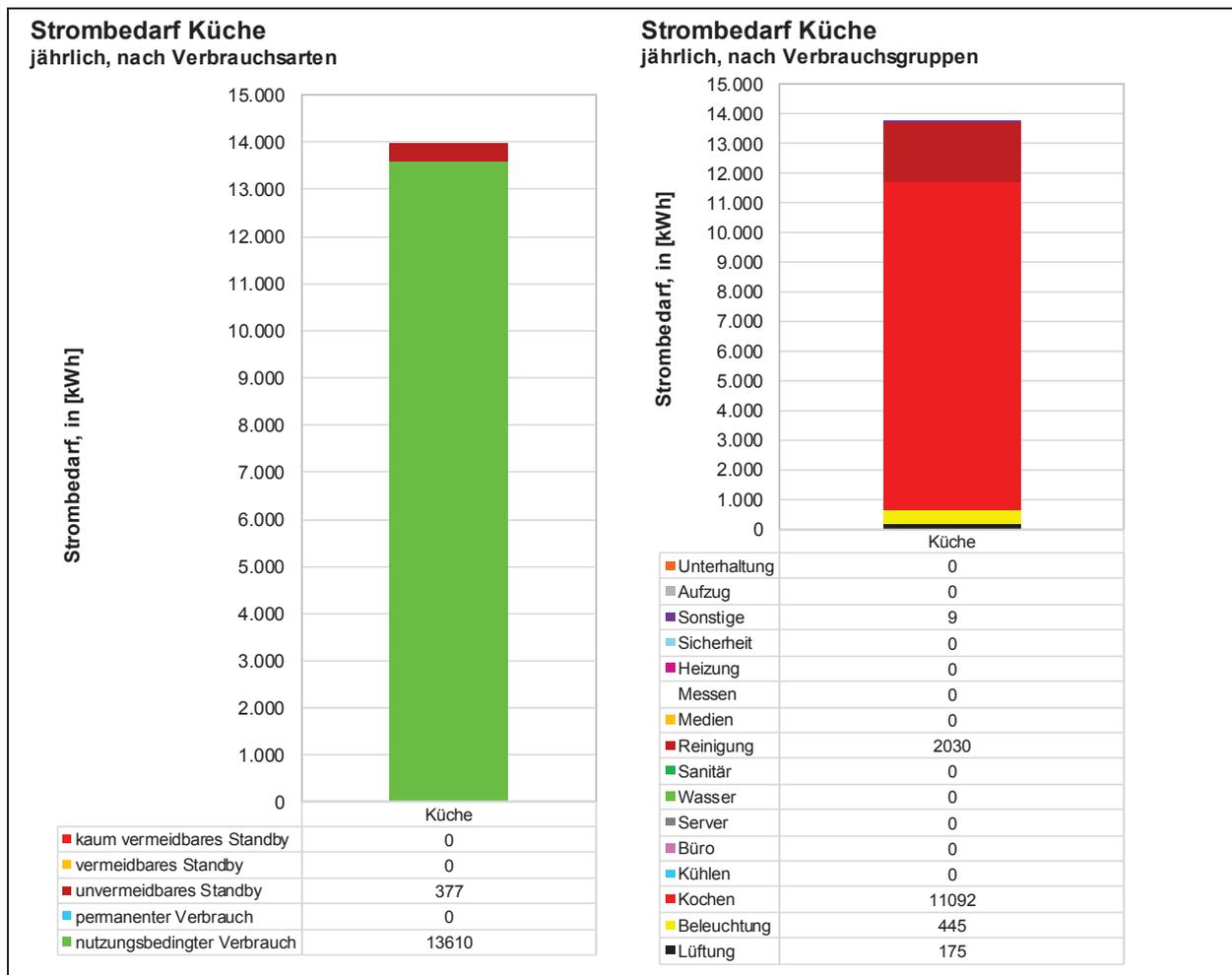


Abbildung 5-3: Strombedarfsbilanz der Küche – Verbrauchsarten und -gruppen

5.4 Hausmeisterwohnung

5.4.1 Inbetriebnahme 2014/15

Im Rahmen seiner Masterarbeit untersuchte Florian Hallensleben u. a. den Strombedarf für die Lüftungsanlagen der Hausmeisterwohnung [4]. Die Grundlagen für die Bilanzierung entsprechen denen, welche im Kapitel 5.2.1 erläutert wurden.

Mechanische Belüftung

Der während der Inbetriebnahme des Gebäudes ermittelte Bedarf liegt bei 0,65 MWh/a. Der finale Bedarf aus der Abschlussbilanz liegt mit 0,9 MWh/a etwa 40 % höher. Die erste Bedarfsbilanz geht von der Nutzung der Schwachlüftungsstufe während der Nutzerabwesenheit aus. Die Messwerte zeigen jedoch eine Normallüftung an.

Beleuchtung und Geräte

Eine Strombedarfsprognose für die Küchengeräte wurde in der Bachelorarbeit von Sören Herthum erstellt [15]. Folgende Annahmen wurden getroffen bzw. bilden die Datengrundlage:

- Leistungen für verschiedene Betriebszustände aus Typenschildern, Herstellerunterlagen, Internetrecherchen vergleichbarer Geräte
- Gerätenutzungs- und Standbyzeiten nach Rücksprache mit dem Hausmeister sowie nach persönlicher Einschätzung typischer Laufzeiten
- Laufzeiten der Beleuchtung nach Sonnenauf- und -untergangszeiten für die Wetterstation Halle-Kröllwitz
- Berücksichtigung von Urlaubszeiten

Die Energiebilanz lieferte einen Gesamtenergiekennwert (ohne Lüftungsanlage) von 5,5 MWh/a. Das liegt leicht über dem final errechneten Bedarf (4,3 MWh/a).

Insbesondere sind einige Fehlannahmen bei der Einschätzung der Warmwasserbereitung (Solarthermie unberücksichtigt) und Heizung vorhanden. An dieser Stelle half zur korrekten Bewertung das Grobmonitoring über die Hauptzähler.

5.4.2 Grobmonitoring 2016

Nach knapp zwei Betriebsjahren lagen vor allem Werte der manuell abgelesenen Zähler vor. Anhand dieser wurde die Bedarfsbilanz aus der Inbetriebnahmephase überarbeitet und ergänzt. Dies erfolgte in einer Masterarbeit von Sandra Jäger und Florian Switala [12]. Die Vorgehensweise bei der Grunddatenbeschaffung wird in Kapitel 5.2.2 erläutert.

Beleuchtung und Lüftung

Die Annahmen zur Beleuchtung und Lüftung wurden aus der Inbetriebnahmephase ohne Korrektur übernommen. Es lagen keine neueren Erkenntnisse vor.

Geräte

Die Strombilanz der Elektrogeräte aus der Inbetriebnahmephase wurde leicht überarbeitet und Laufzeiten nach unten korrigiert, so dass sich ein Energiebedarf von 3,9 MWh/a ergibt, der nah am final errechneten Bedarf (4,3 MWh/a) liegt. Der Ertrag der Solarthermieanlage wurde pauschal mit 50 % Deckungsanteil berücksichtigt.

Es kann festgestellt werden, dass die Strombilanz der Hausmeisterwohnung im Abgleich mit den Gesamtverbrauchszählern ausreichend genau aufgestellt werden kann.

5.4.3 Intensivmonitoring 2017

Nach drei Betriebsjahren lagen auch Werte des Intensivmonitorings in hoher Auflösung für die Trinkwassernutzung, die Lüftungsanlage sowie den Gesamtzähler vor. Die Masterarbeit von Yujin Guo analysierte den Verbrauch und bestimmt Teilenergiekennwerte für Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Geräte/Beleuchtung [16].

Die Ergebnisse decken sich mit der finalen Energiebilanz von 2018.

5.4.4 Endauswertung 2018

Für die Endauswertung konnten alle vorher bekannten Daten berücksichtigt werden sowie die Erkenntnisse aus dem Intensivmonitoring. Die finale Energiebilanz ergibt für die Hausmeisterwohnung einen Energiebedarf von 5,3 MWh/a. Das entspricht 47 kWh/(m²a). Davon entfallen 24 % auf die Heizung, 17 % auf Lüftung, 9 % auf Trinkwassererwärmung, 7 % auf Beleuchtung und der Rest auf alle anderen Anwendungen.

Auswertung nach Verbrauchsarten und -gruppen

Abbildung 5-4 zeigt den Strombedarf der Hausmeisterwohnung nach Verbrauchsarten und -gruppen. Eine Erläuterung zu dieser Klassifizierung kann in Kapitel 5.2.3 nachgelesen werden.

Insgesamt gilt für die Wohnung: 71 % des auftretenden Verbrauchs ist nutzungsbedingt, 25 % sind Dauerverbraucher, die restlichen 4 % sind Standby – davon die Hälfte vermeidbar.

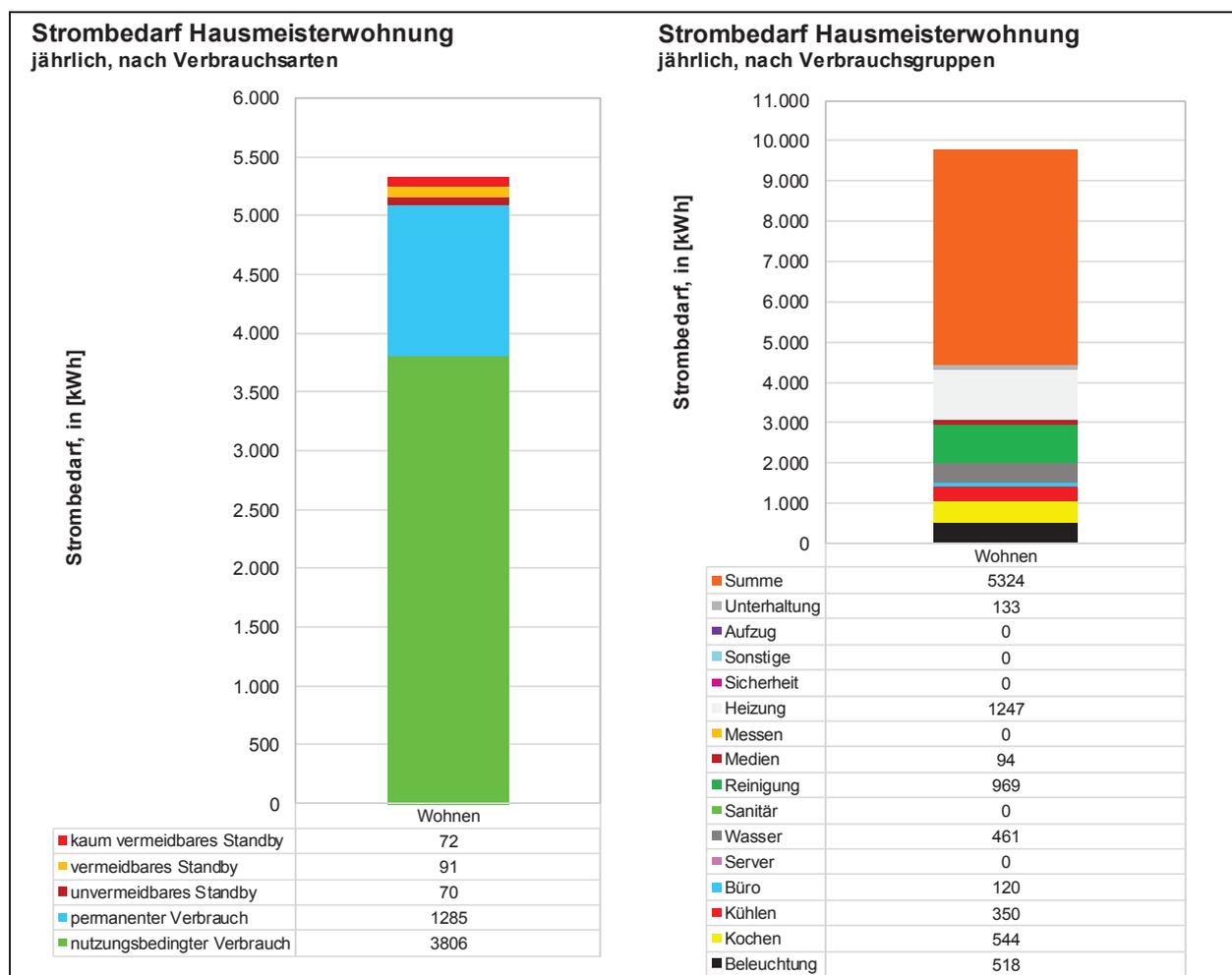


Abbildung 5-4: Strombedarfsbilanz der Hausmeisterwohnung – Verbrauchsarten und -gruppen

5.5 Außenbeleuchtung

5.5.1 Inbetriebnahme 2014

Die Außenbeleuchtung wurde in der Masterarbeit Florian Hallensleben detailliert untersucht. [4].

Grundlage der Außenbeleuchtungssimulation sind die von der Wetterstation Halle-Kröllwitz im Kalenderjahr 2013 aufgezeichneten Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten, die vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt wurden. An diese Zeiten wurden prinzipiell Ein- und Ausschaltzeiten der Außenbeleuchtung geknüpft. Der Einschaltzeitpunkt richtet sich dabei nach dem tagesspezifischen Sonnenuntergangszeitpunkt, dazu der Ausschaltzeitpunkt nach dem Sonnenaufgangszeitpunkt. Ferner ist ein Übergang zu einem Sicherheitsbeleuchtungsniveau am Abend auf 23:00 Uhr festgelegt worden. Um 05:00 Uhr morgens geben die Leuchten wieder die volle Beleuchtungsstärke ab. In der Zeit von 23:00 bis 05:00 Uhr wird die Beleuchtung auf 50 % ihrer Leistung heruntergeregelt.

Auf Grundlage der eingegebenen Daten ergibt sich ein jährlicher Strombedarf der gesamten Außenbeleuchtung von 0,5 MWh/a.

5.5.2 Endauswertung 2018

Im Rahmen der Endauswertung wurde die Laufzeit leicht nach oben korrigiert. Messwerte ergeben einen Verbrauch von 1,3 MWh/a, siehe [Abschlussbericht 11](#).

5.6 Gesamtauswertung

Für die Endauswertung konnten alle vorher bekannten Leistungs- und Laufzeitdaten, die manuell abgelesenen Zähler sowie die Werte des Intensivmonitoring berücksichtigt werden.

5.6.1 Gesamtgebäude

Die finale Energiebilanz ergibt für das Gesamtgebäude mit allen Nutzern einen Energiebedarf von 115,8 MWh/a. Das entspricht 37,5 kWh/(m²a).

Abbildung 5-5 zeigt den Strombedarf des Gesamtgebäudes nach Verbrauchsarten und -gruppen. Eine Erläuterung zu dieser Klassifizierung kann in Kapitel 5.2.3 nachgelesen werden.

Es entfallen 35 % auf die Lüftung und 12 % auf die Beleuchtung. Weitere insgesamt 22 % entfallen auf Koch-, Kühl- und Reinigungsanwendungen. Die restlichen TGA-Anwendungen belaufen sich auf 10 %. Der Rest (21 %) ergibt sich aus der Gerätenutzung sowie dem Betrieb von Mess- und Sicherheitstechnik.

Insgesamt gilt für das Objekt: 73 % des auftretenden Verbrauchs ist nutzungsbedingt, 20 % sind Dauerverbraucher, die restlichen 7 % sind Standby-Verbraucher. Nur etwa 2 % des Gesamtverbrauchs ist von Nutzern vermeidbar.

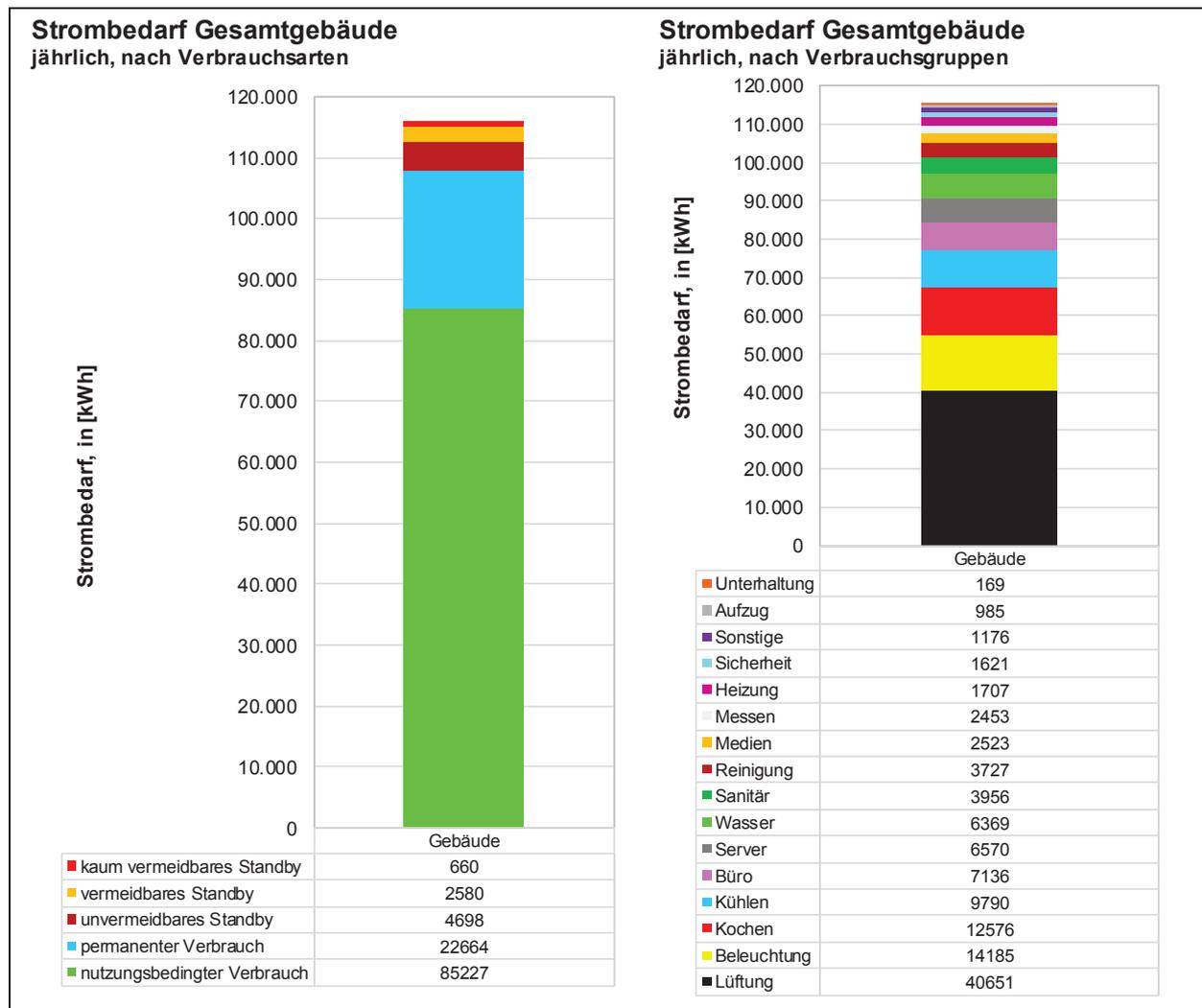


Abbildung 5-5: Strombedarfsbilanz des Gesamtgebäudes – Verbrauchsarten und -gruppen

5.6.2 Technikräume

Die finale Energiebilanz ergibt für die Technikflächen (Räume 0.04, 0.18, 0.30, 0.33b, 2.03 und 2.18) einen Energiebedarf von 64,4 MWh/a. Das sind 56 % des gesamten Energieumsatzes des Gebäudes auf nur 4 % der Fläche. Das entspricht 523 kWh/(m²a).

Abbildung 5-6 zeigt den Strombedarf der Technikräume nach Verbrauchsarten und -gruppen. Eine Erläuterung zu dieser Klassifizierung kann in Kapitel 5.2.3 nachgelesen werden.

Es entfallen 58 % auf die Lüftung und 14 % auf Kühlung. Weitere 11 % versorgen den Server und die Sicherheitstechnik. Je 6 % werden in die Trinkwassererwärmung und Brauchwassernutzung gespeist. Der Rest sind Stromanwendungen für Messtechnik, Heizung und sonstige Anwendungen.

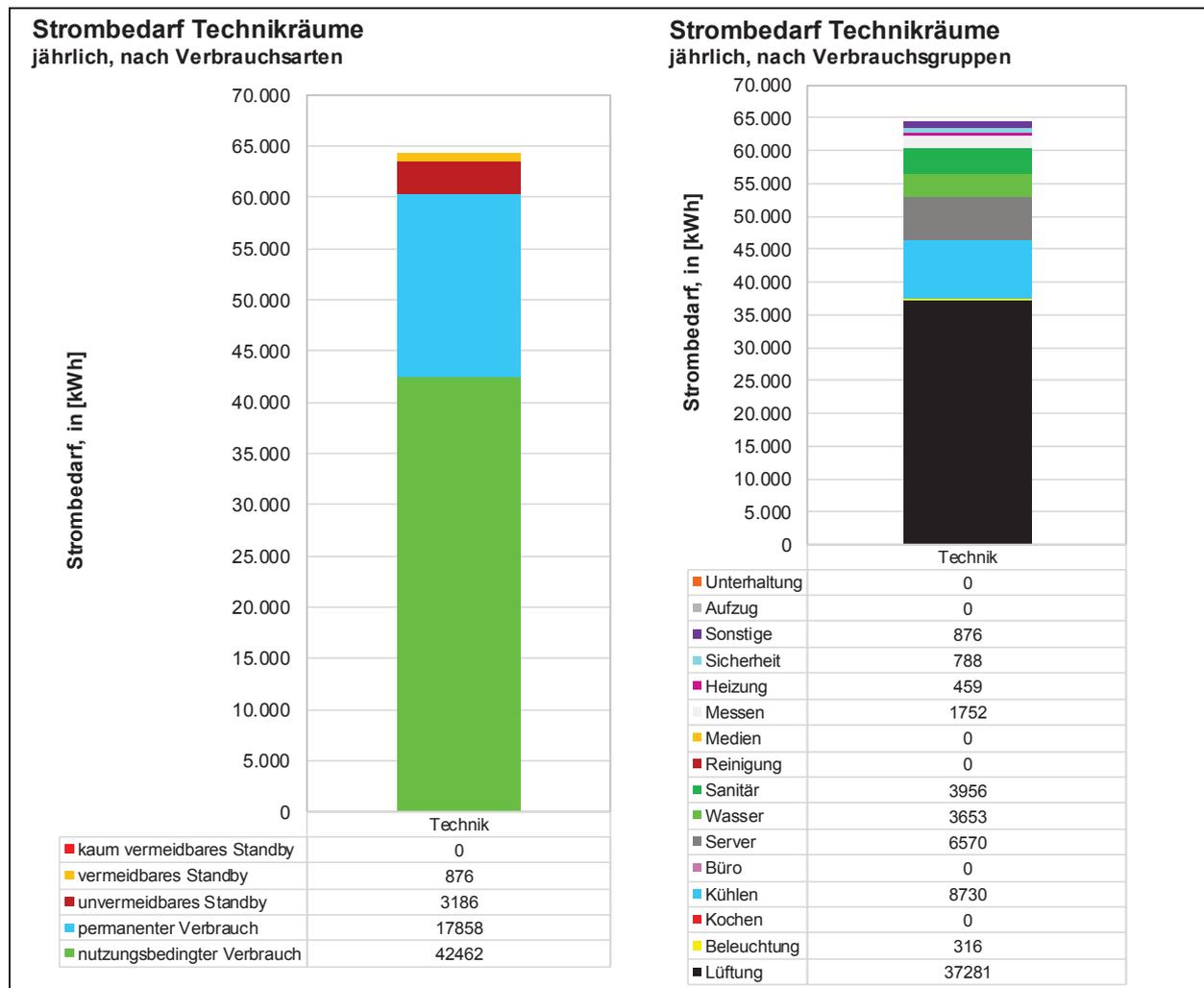


Abbildung 5-6: Strombedarfsbilanz der Technikräume – Verbrauchsarten und -gruppen

Insgesamt gilt für die Technikräume: 66 % des auftretenden Verbrauchs ist nutzungsbedingt, 28 % sind Dauerverbraucher, die restlichen 6 % sind Standby-Verbraucher.

5.6.3 Interne Wärmelasten

Aus der Strombedarfsbilanz lässt sich eine Auswertung der internen Wärmelasten aus Beleuchtung und Geräten erstellen. Es wird davon ausgegangen, dass die Stromaufnahme im jeweiligen Aufstellraum wirksam wird – bis auf folgende Ausnahmen:

- 20 %: zentrale Spülmaschine
- 10 %: Geschirrspüler, Waschmaschinen, Wohnungs- und Grundlüftung
- 5 %: Küchenlüftungsanlagen, Solarspeicher
- 0 %: gezapfter Trinkwasserbedarf, Kälteanlage, Windrad, Ventilatoren der zentralen RLT

Die zu 10 % fehlenden Mengen nehmen den Weg in die Kanalisation (Abwasser) oder werden mit der Luft in die Räume bzw. nach außen transportiert.

Abbildung 5-7 zeigt die Ergebnisse als Leistungen. Es werden zwei Kennwerte angegeben: zum einen die mittlere Dauerleistung, wenn der Energieverbrauch auf alle 8760 h/a des Jahres gleichverteilt wird. Der andere Wert ist eine Wärmelast für die Nutzungszeit der jeweiligen Zonen, z. B. für Klassenräume 5 h/d und die Büros 8 h/d. Nur die ohnehin permanent zu verzeichnenden Verbräuche werden weiterhin über 24 h/d verteilt. Details zu den Zeitannahmen sind Anhang 8.5.3 und 8.5.4 zu entnehmen.

Interne Wärmelasten aus Geräten und Beleuchtung

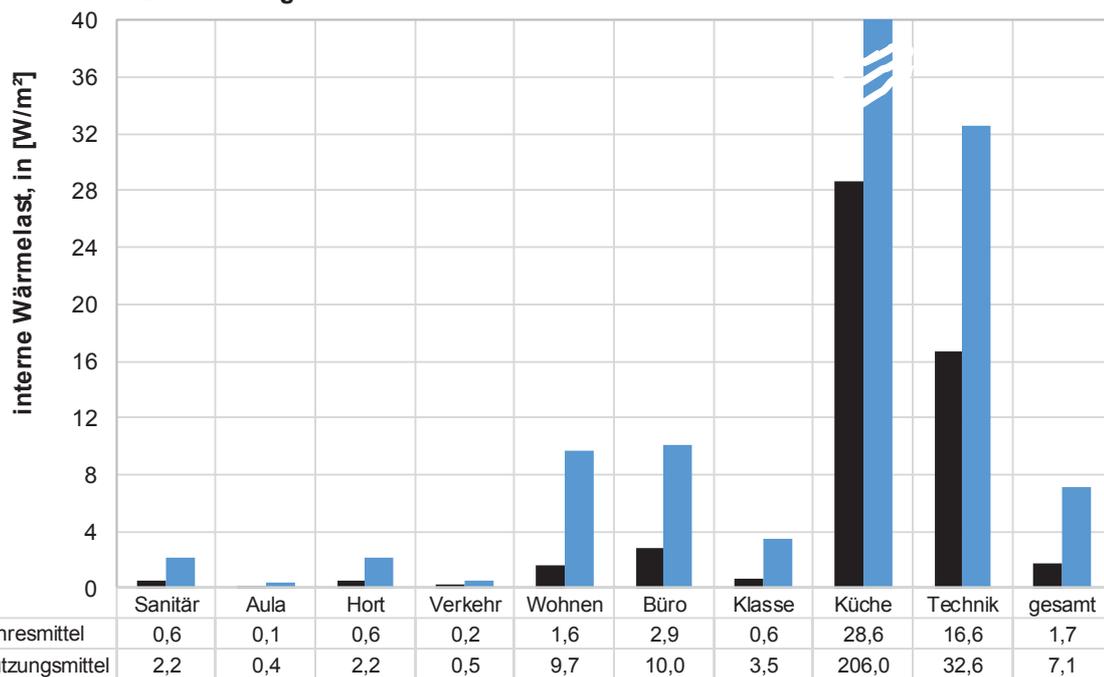


Abbildung 5-7: Interne Lasten aus der Strombedarfsbilanz

In den Klassenräumen sind während der etwa 5 Nutzungsstunden $3,5 \text{ W/m}^2$ als interne Last zu verzeichnen, in der Küche liegt der Wert bei über 200 W/m^2 in den 8 Betriebsstunden. Die Werte können mit der Transmissionsheizlast verglichen werden, siehe [Abschlussbericht 9](#).

5.6.4 Erkenntnisse und Fazit

Die Energiebilanz des Bedarfs für Kleinelektrogeräte und Beleuchtung kann hinreichend genau auf Basis von Leistungsangaben der Hersteller sowie Laufzeiten nach Befragung erfolgen. Ein Abgleich mit grob erfassten Haupt- und Unterzählern reicht hinsichtlich der Genauigkeit aus.

Folgende Verbraucher können nicht ohne weiteres korrekt eingeschätzt werden:

- Server
- RLT-Anlagen
- Küchentechnik
- Solarspeichernachheizung
- Druckerhöhungsanlage

Hier sind genauere Messungen erforderlich. Allerdings muss kein Intensivmonitoring in 10-Minuten-Intervallen – wie in der St. Franziskus-Grundschule erfolgt – dazu aufgebaut werden. Entweder es werden handelsübliche (digitale) Stromzähler vorgesehen, die manuell abgelesen werden können. Alternativ erfolgt eine Kurzzeitmessung (Woche, Monat) mit einer mobilen Strommesszange und Datenlogger.

6 Messergebnisse Gesamtenergie

Der folgende Abschnitt stellt die Messergebnisse des Stromverbrauchs vor. Dabei werden eingangs die Zählerpositionen sowie das Messkonzept erläutert sowie am Schluss notwendige Messdatenkorrekturen beschrieben. Diese ergaben sich aufgrund von Datenlücken bzw. Messungenauigkeit der verwendeten Fühler.

Im Hauptteil wird zunächst die Gesamtstrombilanz des Gebäudes als Jahres- und Monatsbilanz aufgestellt. Die Messwerte der Jahre 2016 und 2017 dienen als Grundlage. Soweit die Datenlage es ergibt, erfolgt eine Aufschlüsselung des Gesamtverbrauchs nach Verbrauchern (Hort, Schule usw.) sowie Anwendungen (Server, RLT usw.). Der zweite inhaltliche Abschnitt widmet sich der Stromproduktion, einschließlich der Erkenntnisse zur Stromrückspeisung in das Netz sowie dem Strombezug aus dem Netz.

6.1 Messorte und Messtechnik

Das Gesamtsystem incl. der wichtigsten Verbraucher wird durch ca. 40 Stromzähler überwacht, von denen etwa 10 ... 20 % ohne das Monitoring vorhanden wären. Der Hauptstromzähler ist ein Abrechnungszähler gegenüber den Stadtwerken. Tabelle 6-1 fasst die Messtechnik zur Erfassung des Gesamtstromverbrauchs und des Netzbezugs zusammen.

Tabelle 6-1: Messpunkte des Gesamtstromverbrauchs und Netzbezugs

Kürzel	Einheit	Gruppe	Untergruppe	Beschreibung
Daten für das Monitoring von GEDES				
DF0118-51E2-0	A	STR	GES	Hauptzaehler_Messwandler_Phase_L1
DF0118-51E2-6	A	STR	GES	Hauptzaehler_Strom_Phase_L1
DF0118-51E4-0	A	STR	GES	Hauptzaehler_Messwandler_Phase_L2
DF0118-51E4-6	A	STR	GES	Hauptzaehler_Strom_Phase_L2
DF0118-51E6-0	A	STR	GES	Hauptzaehler_Messwandler_Phase_L3
DF0118-51E6-6	A	STR	GES	Hauptzaehler_Strom_Phase_L3
Daten der Stadtwerke Halle				
Netzbezug	kWh	STR	GES	Netzbezug_Strom_Hausanschluss_Stadtwerke
Messpunkte aus dem SMA-Modul				
SMA_Gesamtverbrauch	kWh	PVW	PHV	SMA_Gesamtverbrauch
SMA_Netzbezug	kWh	PVW	PHV	SMA_Netzbezug

Aus den Langzeitwerten lassen sich die Energiebilanzen erstellen. Die Kurzzeitwerte liefern Lastgänge der Verbraucher und lassen Rückschlüsse zur Bemessung von Batteriespeichern und der Photovoltaik zu. Die Messung der Firma GEDES ist eine Stromstärkenmessung. Nach der Umrechnung mit der Netzspannung (hier einheitlich 230 V) ergibt sich die Leistung. Die meist 3-phasigen Messungen erfolgen im 10-Minuten-Intervall. Weitere Ausführungen zur Messtechnik sind [Abschlussbericht 4](#) zu entnehmen.

Tabelle 6-2 zeigt die vorhandenen Messpunkte im Bereich der regenerativen Energien.

Für die Windkraft sind vergleichsweise viele Messpunkte vorhanden. Etliche wurden im Januar 2016 zusätzlich eingebaut, um das Standbyproblem sichtbar zu machen. Die gewählte Messtechnik erfasste zunächst nur den Stromfluss – nicht jedoch dessen Richtung. Es konnte somit nicht zwischen Strombezug und Stromlieferung unterschieden werden. Das Phänomen fiel bei den ersten Auswertungen auf, weil auch in Zeiten ohne Wind Messwerte erfasst wurden.

Sensoren zur Messung des Spannungsabfalls wurden zusätzlich installiert. Damit kann zwischen Strombezug und Stromlieferung unterschieden werden. Wenn die Spannung null ist, halten sich Eigenbezug und Stromproduktion die Waage. Bei der Installation der Sensoren durch die Messtechnikfirma GEDES wurde dies bei 135 W festgestellt.

Tabelle 6-2: Messpunkte für Photovoltaik, Windkraft und Batterie

Kürzel	Einheit	Gruppe	Untergruppe	Beschreibung
Daten für das Monitoring von GEDES				
DF001A-51C0-0	kWh	PVW	PHV	Stromproduktion PV und Wind zusammen
DF001A-51C2-0	kWh	PVW	PHV	gelieferter Strom an Batterie
DF001A-51C4-0	kWh	PVW	PHV	gelieferter Strom von Batterie
DF001A-63E0-0	kWh	PVW	WIN	bezogene Energiemenge Wind Import
DF001A-63E2-0	kWh	PVW	WIN	gelieferte Energiemenge Wind Export
DF0118-63A0-0	A	PVW	WIN	gelieferter Strom Wind
DF0118-63A0-5	kW	PVW	WIN	gelieferte Leistung Wind
DF0118-63A6-0	A	PVW	WIN	gelieferter Strom Generator Wind Phase L1
DF0118-63A8-0	A	PVW	WIN	gelieferter Strom Generator Wind Phase L2
DF0118-63AA-0	A	PVW	WIN	gelieferter Strom Generator Wind Phase L3
DF0382-7001-0	km/h	WET	WET	Windgeschwindigkeit
DF0382-7001-1	°	WET	WET	Windrichtung in Grad
DF0384-7001-0	W/m ²	WET	WET	Globalstrahlung der Wetterstation
Messpunkte aus dem SMA-Modul				
SMA Batterieentladung	kWh	PVW	PHV	SMA Batterieentladung
SMA Batterieladung	kWh	PVW	PHV	SMA Batterieladung
SMA Begrenzung der Wirkleistungseinspeisung	kW	PVW	PHV	SMA Begrenzung der Wirkleistungseinspeisung
SMA Direktverbrauch 1	kWh	PVW	PHV	SMA Direktverbrauch 1
SMA Direktverbrauch 2	kWh	PVW	PHV	SMA Direktverbrauch 2
SMA Netzeinspeisung	kWh	PVW	PHV	SMA Netzeinspeisung
SMA PV-Erzeugung	kWh	PVW	PHV	SMA PV-Erzeugung
Daten der Stadtwerke Halle				
Stromproduktion	kWh	PVW	PHV	Stromproduktion PV und Wind zusammen
Netzeinspeisung	kWh	STR	GES	Netzeinspeisung Strom Hausanschluss Stadtwerke

Mit den Sensoren kann nun für PV und Windkraft die Bilanzierung des Gesamtsystems erfolgen. Bei der Windkraft kann in Eigenverbrauch und Stromproduktion unterschieden werden. Bei der Photovoltaik ist dies nicht möglich. Es wird der Nettoertrag nach den Wechselrichtern erfasst. Eine Analyse der Messfehler und notwendiger Datenkorrektur folgt in Kapitel 6.4. Weitere Messstellen, die der Detailanalyse dienen, sind Kapitel 7.1 zu entnehmen.

6.2 Gesamtstromverbrauch

Die Auswertung des tatsächlichen Gesamtstromverbrauchs – unabhängig von der Stromerzeugung – des Gebäudes kann nur erfolgen, wenn Zähler addiert werden.

Die Zähler des Energieversorgers sind nur bedingt für diese Auswertung geeignet, da sie nur den Strombezug aus dem Netz sowie die Rückspeisung in das Netz erfassen. Lediglich für die Hausmeisterwohnung liegt ein tatsächlicher Verbrauchszähler vor. Allerdings ist er analog und nicht im Monitoring erfasst.

Daher wird für die Auswertung wie folgt vorgegangen:

- der Stromverbrauch der Hausmeisterwohnung ergibt sich aus den Monitoring-Messdaten von GEDES; es gibt einen Korrekturfaktor, welcher sich aus dem Vergleich der GEDES-Daten mit den manuellen Zählerständen des Abrechnungszählers (dessen Messwerte als korrekt eingestuft werden) bestimmt,
- der Gesamtstromverbrauch des Restgebäudes sowie die Netzstromeinspeisung, Photovoltaikproduktion und der Netzstrombezug ergeben sich aus den Monitoring-Messdaten von SMA; es gibt Korrekturfaktoren, welche sich aus dem Vergleich der SMA-Daten mit den Daten der Abrechnungszähler (deren Messwerte als korrekt eingestuft werden) bestimmen,
- der Gesamtverbrauch des Gebäudes ergibt sich aus der Addition der Hausmeisterdaten und der Daten des Restgebäudes.

Gesamtverbrauch des Gebäudes

Abbildung 6-1 zeigt den Stromverbrauch des Gesamtgebäudes mit seinen 4 Verbrauchern: der Hausmeisterwohnung (5 %), dem Hort (4 %), der Küche (23 %) sowie der eigentlichen Schule mit Verwaltungstrakt und Aula (68 % Verbrauchsanteil). Es ist dazu anzumerken: der Küchenverbrauch enthält zu einem sehr geringen Anteil auch Energiemengen, die eigentlich der Hausmeisterwohnung zuzuschreiben wären (thermische Desinfektion des Speichers). Außerdem ist in der Menge des Hortes kein Energieaufwand für die Belüftung enthalten, da die Horträume an der zentralen RLT angeschlossen sind.

Der Jahresgesamtverbrauch beläuft sich auf 110,2 MWh/a. Das entspricht einem Energiekennwert von im Mittel 35,7 kWh/(m²a). Die Einzelkennwerte liegen bei:

- 48,1 kWh/(m²a) für die Hausmeisterwohnung
- 8,5 kWh/(m²a) für den Hort
- 312,7 kWh/(m²a) für die Küche
- 31,1 kWh/(m²a) für die Schule mit Verwaltung.

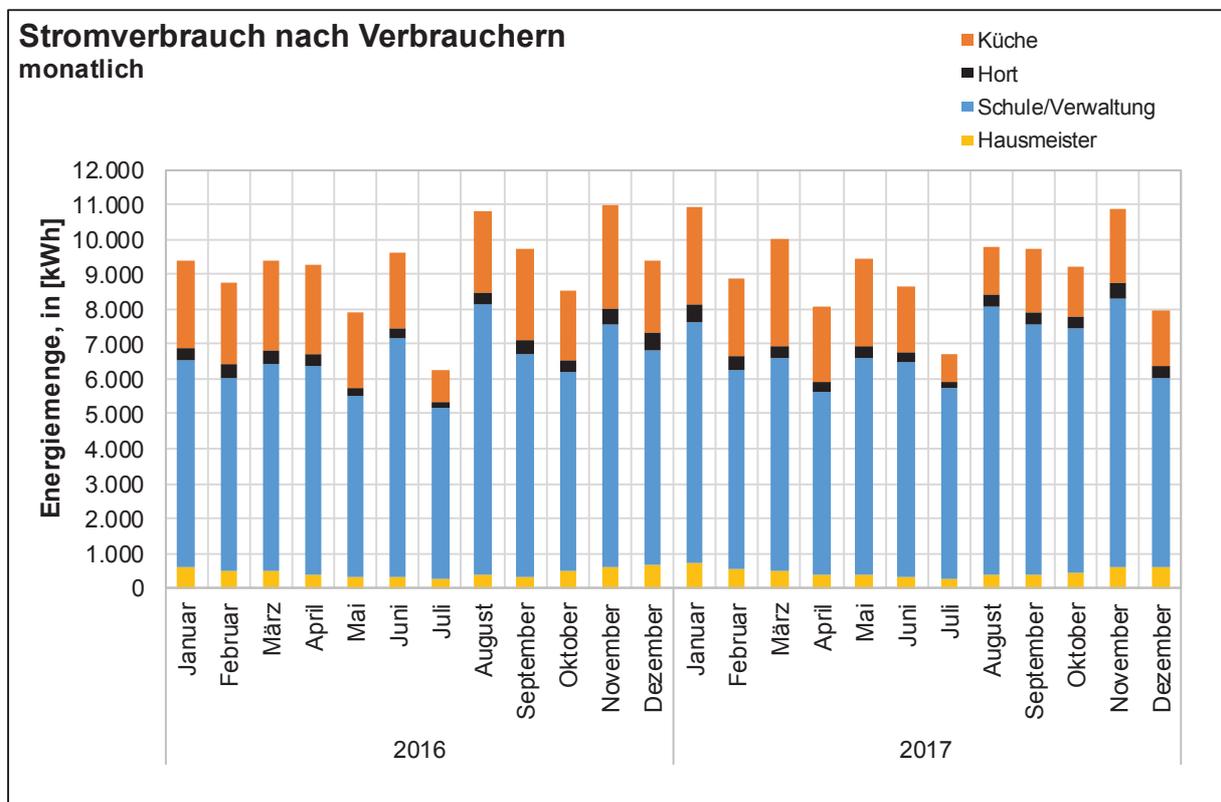


Abbildung 6-1: Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern – 2016 und 2017

Hinsichtlich der Datenunsicherheit ist festzustellen:

- der Verbrauch für die Schule und Verwaltung ist durch Differenzbildung aus dem Gesamtverbrauch und den Zählern für Hort und Küche berechnet
- für die Monate Januar bis Mai 2016 liegen keine Messwerte für die Küche vor; daher kann in diesem Zeitraum nur ein Gesamtverbrauch für Küche+Schule+Verwaltung bestimmt werden; die gezeigten Einzelwerte sind durch prozentuale Aufteilung entstanden; der prozentuale Anteil der Küche ergibt sich aus den bekannten Messwerten ab Juni 2016

Stromverbrauch des Gebäudes ohne Hausmeisterwohnung

Abbildung 6-2 sowie Abbildung 6-3 zeigen die Carpetplots des Gesamtverbrauchs ohne Hausmeisterwohnung. Werte unter 2 kWh/h sind ausgeblendet, damit der Nutzungsbeginn deutlich wird. Die Ferien sind eindeutig erkennbar, ebenfalls die Wochenenden sowie der montägliche frühere Lüftungsbeginn und die sommerliche Nachtlüftung. Jeweils etwa gegen 12 Uhr nimmt der Verbrauch leicht ab, wenn alle Klassen- und Horträume mehr oder weniger leer sind, weil die Kinder in der Aula Mittag essen. Davor ist Kochbetrieb und die Klassen sind belegt; danach ist Spülbetrieb in der Küche und der Hort ist belegt. Ab etwa 15 Uhr nimmt die Nutzung erkennbar ab. Im Winter wird mehr Strom benötigt als im Sommer.

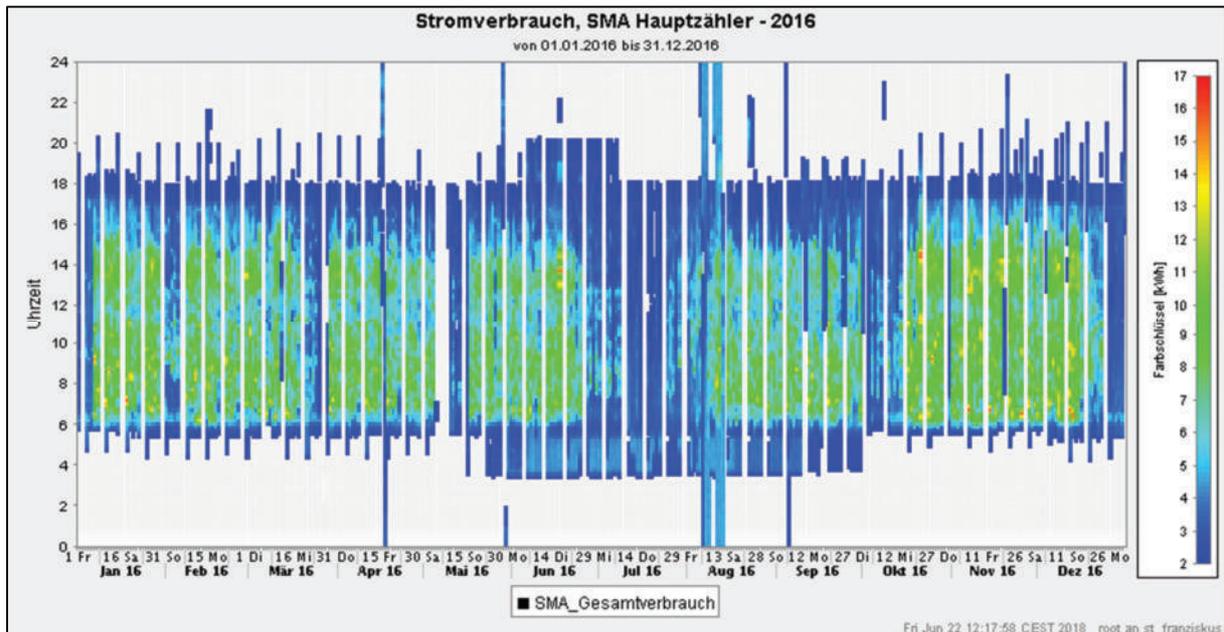


Abbildung 6-2: Carpetplot – Gesamtstromverbrauch ohne Hausmeisterwohnung – 2016

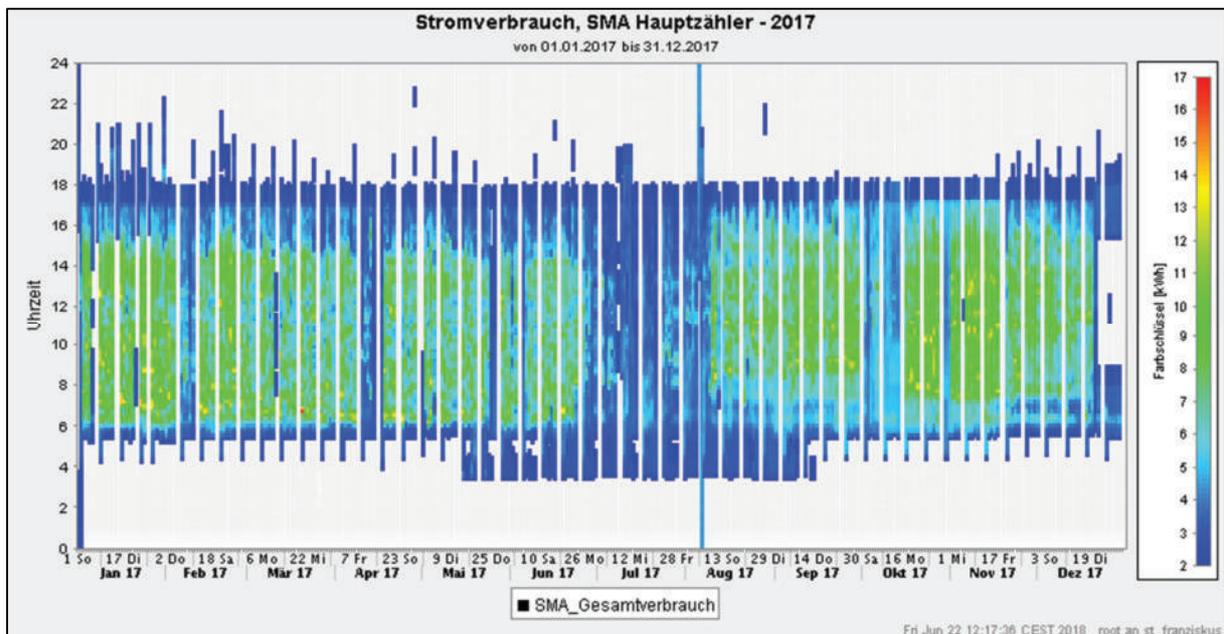


Abbildung 6-3: Carpetplot – Gesamtstromverbrauch ohne Hausmeisterwohnung – 2017

Abbildung 6-4 zeigt den Gesamtstromverbrauch des Gebäudes ohne Hausmeisterwohnung, so wie er sich aus den Messdaten von SMA ergibt. Werden die Monatswerte über der zugehörigen Außentemperatur aufgetragen, ergibt sich Abbildung 6-5.

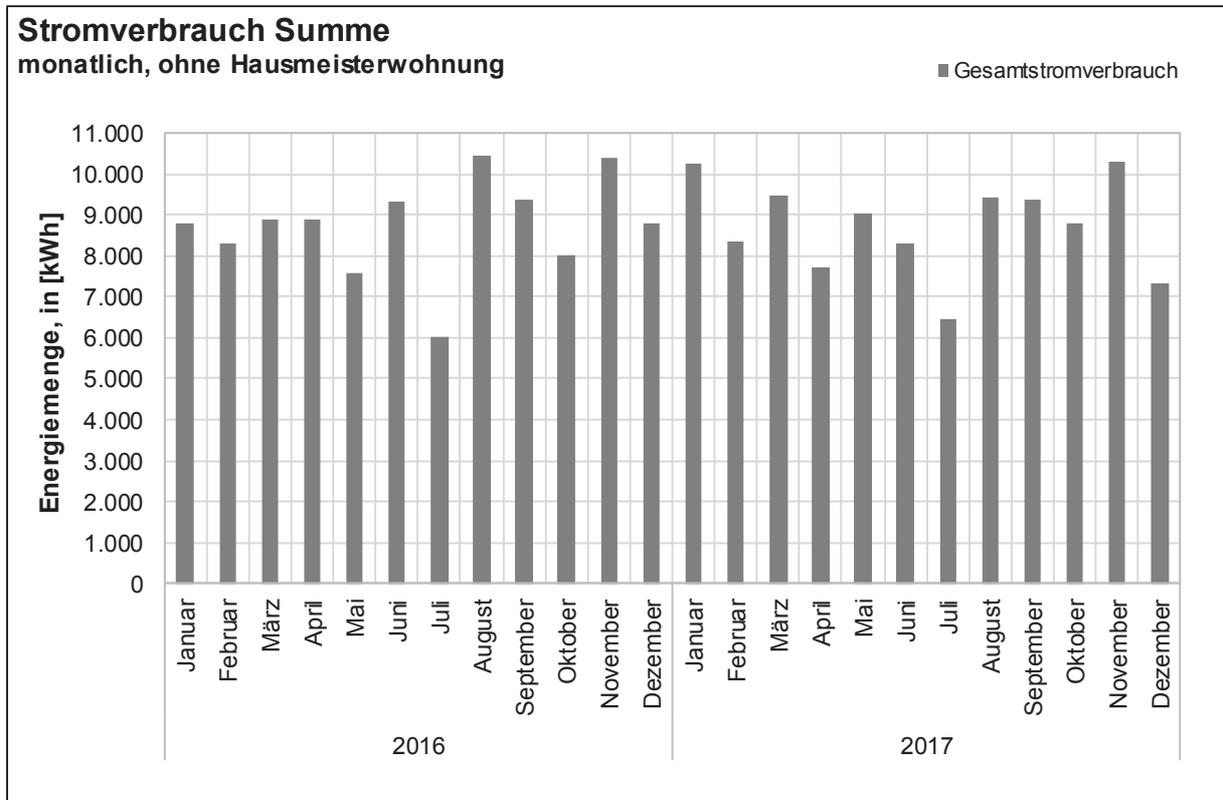


Abbildung 6-4: Gesamtstromverbrauch ohne Hausmeisterwohnung – 2016 und 2017

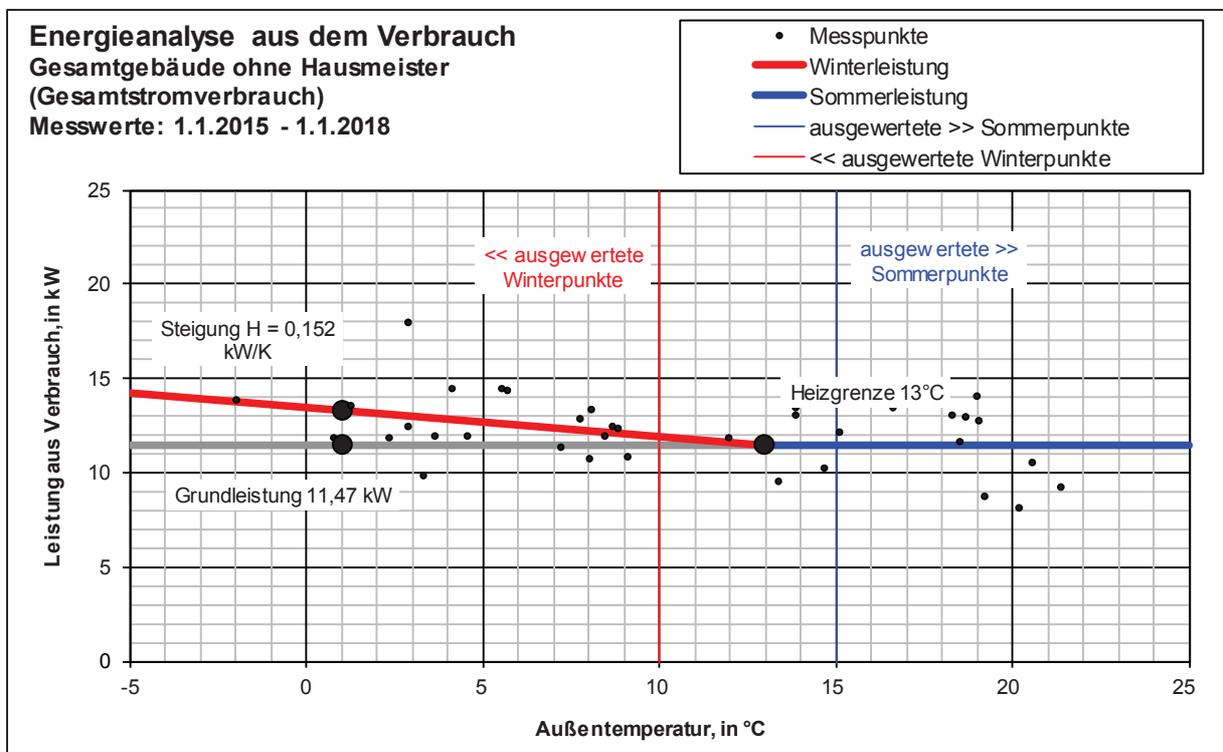


Abbildung 6-5: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Gesamtgebäude – Stromverbrauch

Die Witterungsabhängigkeit ist gegeben. Dies liegt u. a. am Stromverbrauch der Beleuchtung sowie der elektrischen Nachheizung des Küchenpufferspeichers, die im Winter höher ist als im Sommer. Darüber hinaus sind in geringem Maße auch elektrische Direktheizungen in der kalten Jahreszeit gegeben, siehe auch [Abschlussbericht 7](#) zu diesem Thema.

Stromverbrauch des Gebäudes ohne Hausmeisterwohnung und Küche

Abbildung 6-6 schlüsselt den Verbrauch der Schule mit Hort und Verwaltung nach Anwendungen auf – jeweils sofern diese messtechnisch erfasst sind.

Die größten Verbraucher sind mit 25 % bzw. 21 % des Stromverbrauchs die beiden RLT-Anlagen der Verwaltung/Aula (Gebäudeteil A) und des Klassentraktes/Hortes (Gebäudeteil B). Die zentralen Anlagen (Aufzug, Server und Serverkühlung) machen insgesamt 13 % des Verbrauchs aus. Die Pumpen und zugehörigen Regelungen führen zu knapp 7 % des Verbrauchs. Die nutzungsbedingten Aufwendungen für Elektrogeräte und Beleuchtung ergeben die restlichen 34 % des Verbrauchs. Eine Witterungsabhängigkeit sowie der Einfluss der Ferien ist zu erkennen.

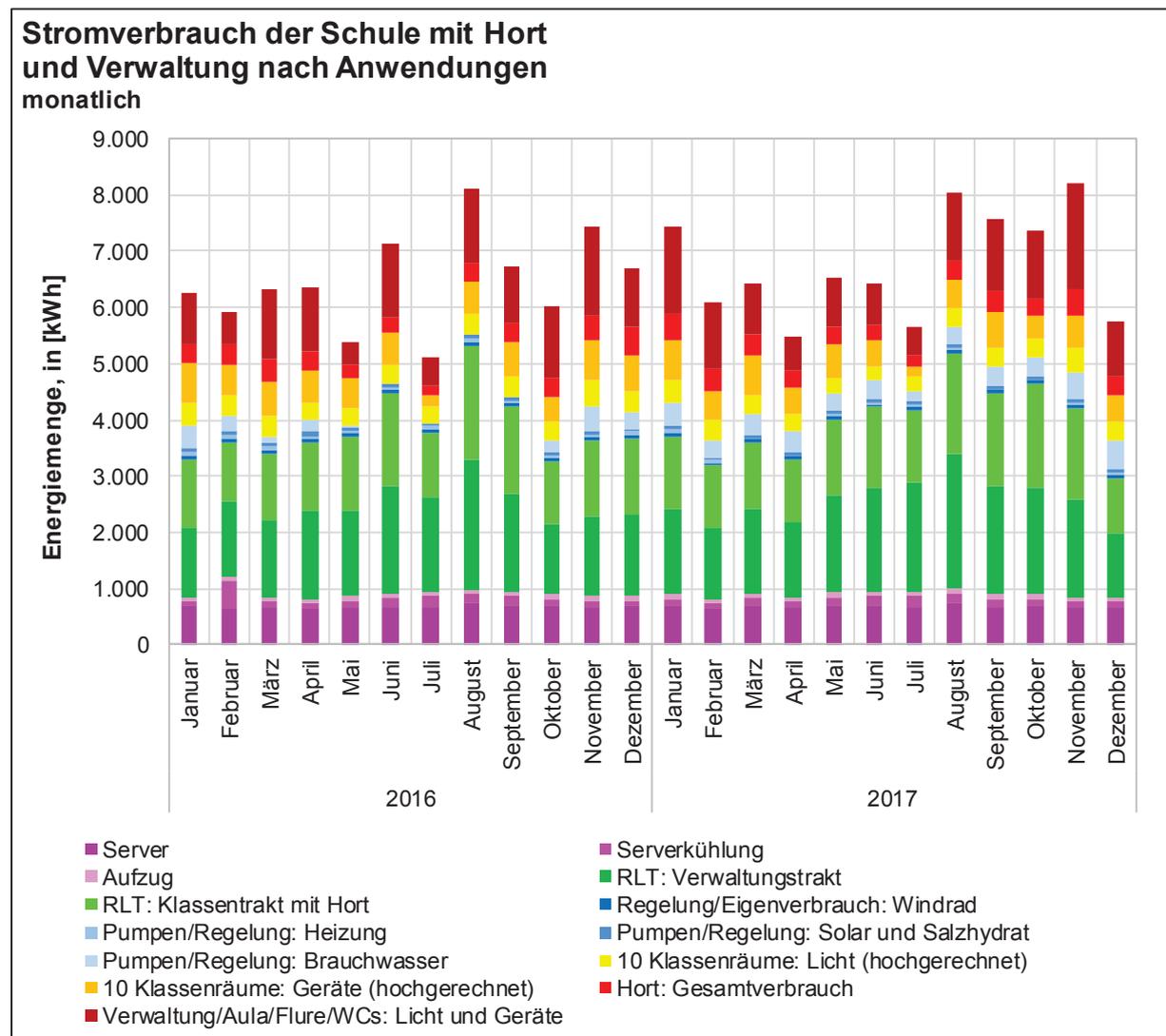


Abbildung 6-6: Gesamtstromverbrauch Schule/Hort/Verwaltung nach Verbrauchern – 2016/17

Hinweise zur Bestimmung der einzelnen Energiemengen incl. Datenunsicherheiten liefern die Auswertungen des Kapitels 7.2.

6.3 Photovoltaik

Der über Photovoltaik erzeugte Strom wird nicht in der Hausmeisterwohnung eingesetzt, sondern nur im Schulgebäude (incl. Hort und Küche). Es liegen mehr Zählerdaten vor als minimal für die Auswertung notwendig wären. Jedoch sind die Daten in verschieden hoher zeitlicher Auflösung, Genauigkeit und für verschiedene Zeiträume verfügbar. Daher wird für die Auswertung wie folgt vorgegangen:

- die Stromerzeugung über PV wird erst seit 05.07.2016 digital vom Energieversorger erfasst; davor waren nur manuelle Ablesungen des Ferrariszählers möglich; daher werden die Monitoring-Messdaten von SMA verwendet, die seit 2014 vorliegen; es gibt einen Korrekturfaktor, welcher sich aus dem Vergleich der SMA-Daten mit den Daten der Abrechnungszähler (deren Messwerte als korrekt eingestuft werden) bestimmt,
- Strombezug und Netzeinspeisung werden einerseits vom Energieversorger als auch von SMA-Monitoring im Viertelstundentakt zur Verfügung gestellt; der verfügbare Messzeitraum von SMA ist größer, allerdings werden die Versorgerdaten als sicherer eingestuft; es gibt daher zwei Korrekturfaktoren, welche sich aus dem Vergleich der SMA-Daten mit den Daten der Abrechnungszähler bestimmen,
- die Daten der Batterieein- und -ausspeisung sind nur aus dem SMA-Monitoring verfügbar; sie werden in die Auswertung übernommen;
- der Gesamtverbrauch des Gebäudes, der Direktverbrauch an PV-Strom sowie der Batterieverlust lassen sich aus den o. g. Daten durch Differenzbildung bestimmen.

6.3.1 Stromerzeugung mit PV

Die in Kapitel 4.1 zusammengestellten Prognosewerte für die PV-Produktion werden erreicht bzw. sogar überschritten. Gemessen werden Jahreserträge von ca. 81 MWh/a (Mittelwert der Messwerte der Jahre 2015 – 2017). Die Simulationsergebnisse liegen bei 77 MWh/a für die vorhandene Modulfläche bzw. Peakleistung von 77,8 kW_{peak}. Das sind 1041 kWh/kW_{peak}. In Anbetracht der noch zu erwartenden Alterung der Module (Degradation) sowie der Verschmutzung der kommenden Jahre sind die Prognosen eingetreten und die Anlage erfüllt die Erwartungen.

Abbildung 6-7 und Abbildung 6-8 zeigen die Photovoltaikerträge der Jahres 2016 und 2017.

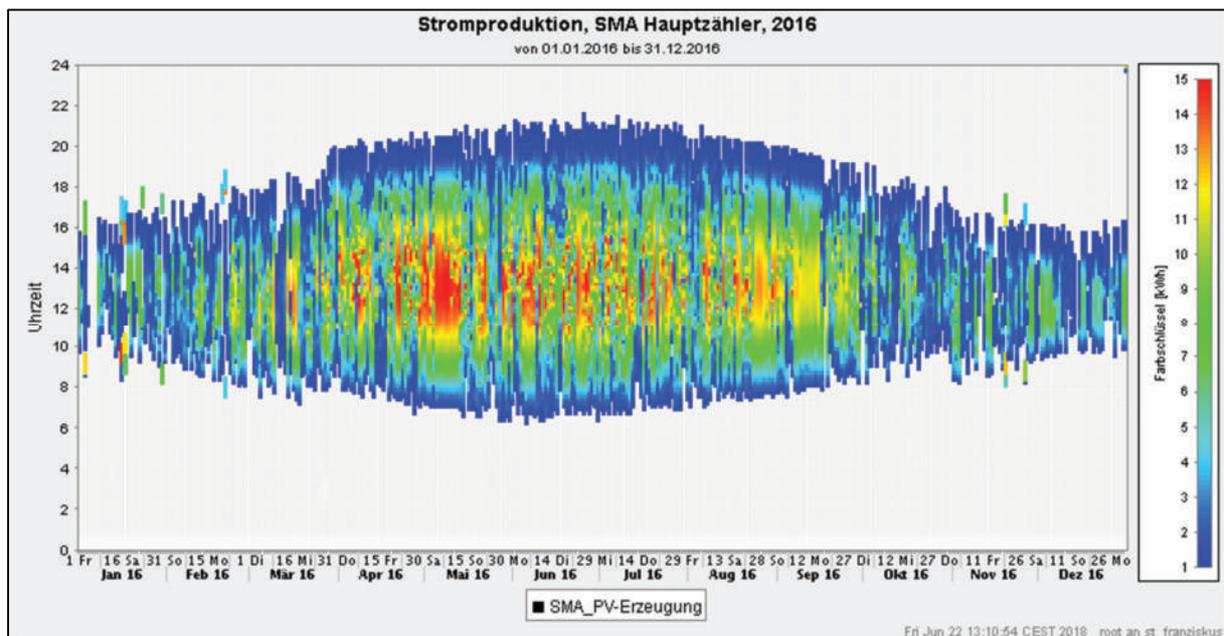


Abbildung 6-7: Carpenterplot – Stromerzeugung – 2016

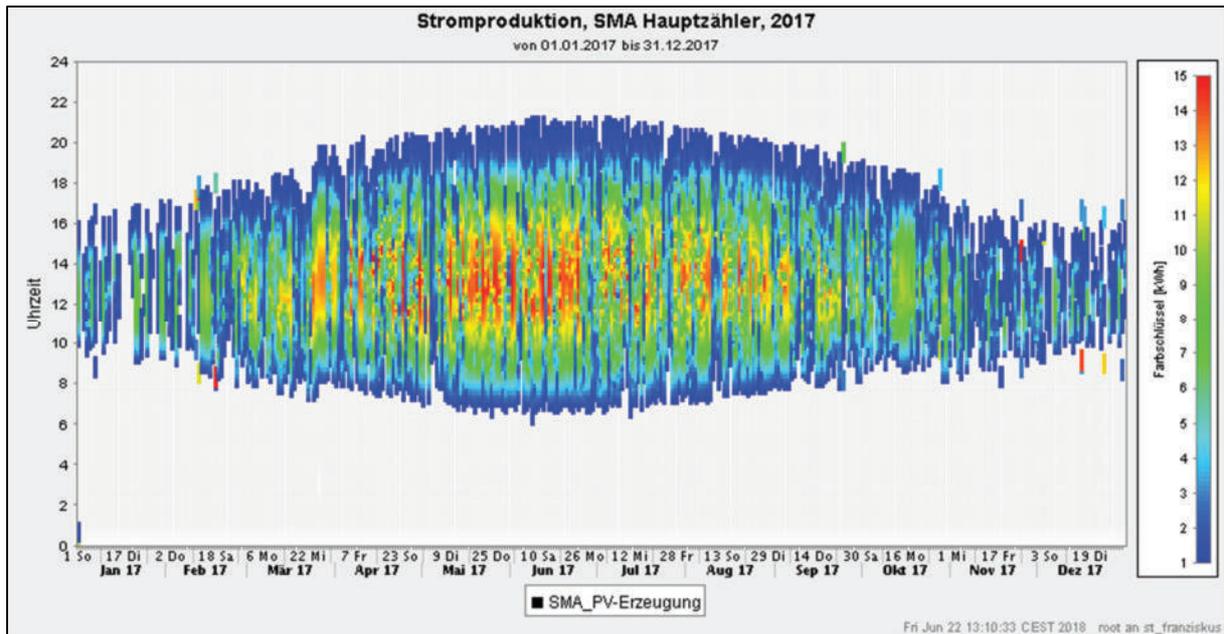


Abbildung 6-8: Carpetplot – Stromerzeugung – 2017

Wirkungsgrad der Photovoltaik

Abbildung 6-9 zeigt die PV-Produktion als flächenbezogene Leistung (461,36 m² für beide PV-Anlagen) über der auf dem Dach gemessenen flächenbezogenen Globalstrahlung aufgetragen. Die Ausgleichsfunktion liefert den Wirkungsgrad der PV-Felder. Er liegt bei 14,7 % als Mittelwert der Jahre 2016 und 2017. Es ist dazu anzumerken, dass etliche Messpunkte unterhalb des typischen Kennfeldes liegen. Würden diese nicht mit in die Bildung der Ausgleichsgeraden einbezogen, ergäbe sich ein höherer Kennwert.

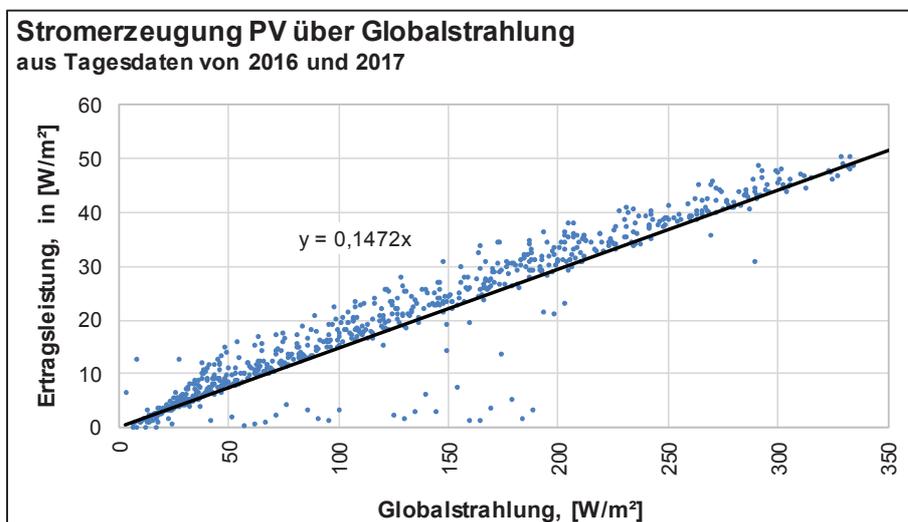


Abbildung 6-9: Stromproduktion abhängig von der Globalstrahlung

Abbildung 6-10 und Abbildung 6-11 zeigen den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Globalstrahlung bzw. der tagesmittleren Außentemperatur. Es wird bestätigt, dass die Effizienz temperaturabhängig ist. Bei einer mittleren Außentemperatur von 25°C – was den Prüfbedingungen entspricht – ergibt sich ein Wert von knapp über 15 %. Die Herstellerangabe liegt bei 15,1 %.

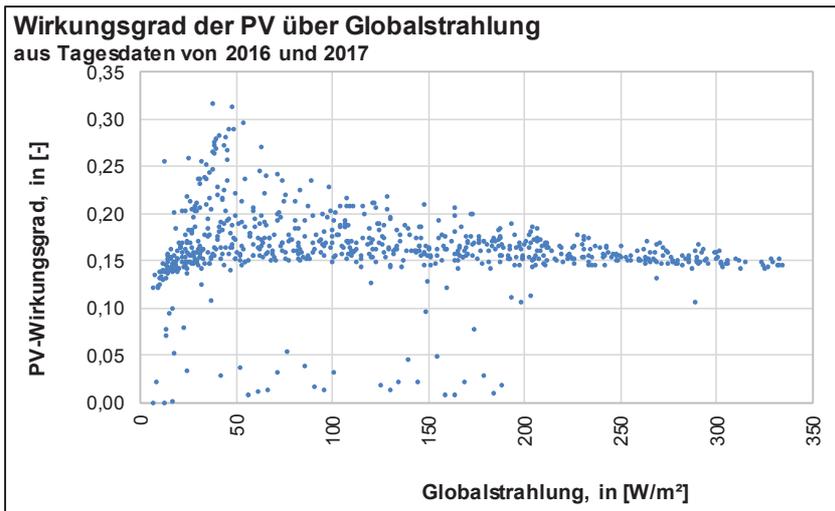


Abbildung 6-10: PV-Wirkungsgrad abhängig von der Globalstrahlung

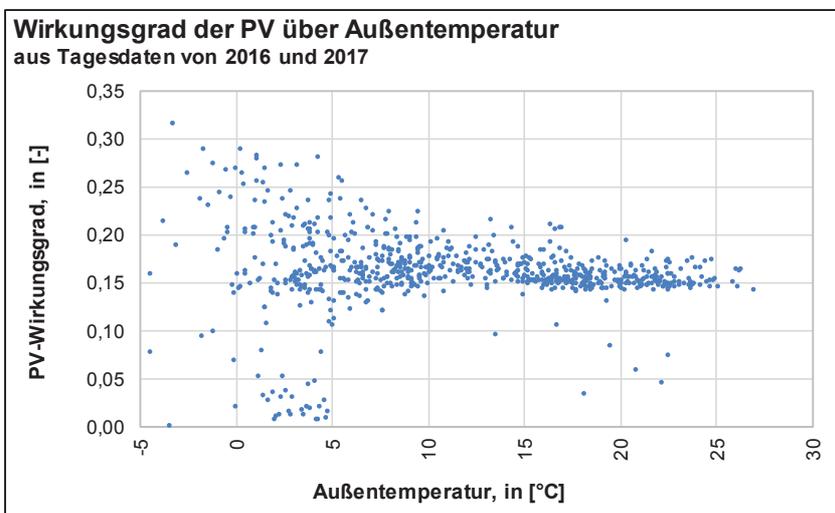


Abbildung 6-11: PV-Wirkungsgrad abhängig von der Außentemperatur

Dauerlinie

Abbildung 6-12 zeigt abschließend die geordnete Dauerlinie für die PV-Produktion. Die maximale Tagesleistung beläuft sich auf gut 21 kW. Sie wurde am 1.6.2017 erreicht.

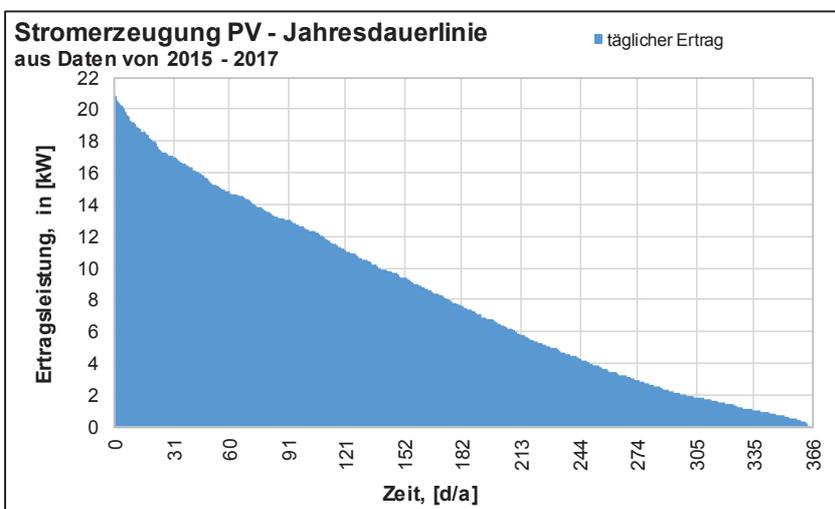


Abbildung 6-12: Stromerzeugung mit PV als Jahresdauerlinie

6.3.2 Einspeisung in das Netz

Abbildung 6-13 und Abbildung 6-14 zeigen die PV-Einspeisung in das Netz des Versorgers zu Zeiten, in denen die produzierte Leistung nicht im Gebäude abgenommen werden kann. Als Mittelwert der beiden Jahre ergibt sich eine Einspeisung von 38,1 MWh/a. Das sind 48 % der PV-Produktion. Der Rest wird selbst genutzt.

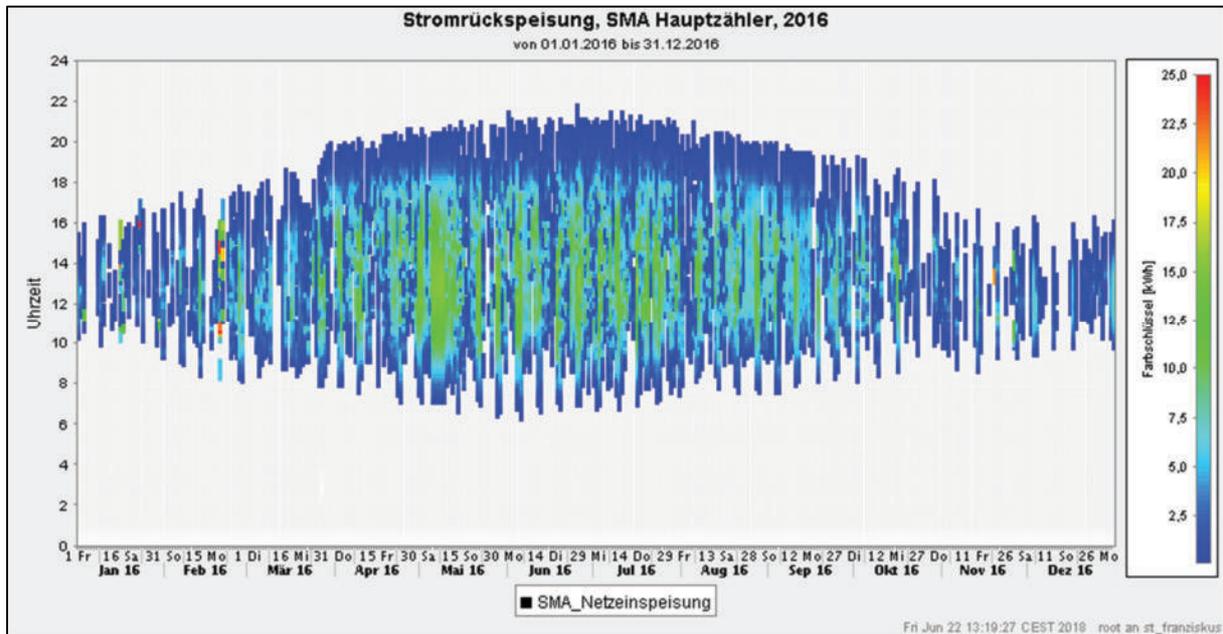


Abbildung 6-13: Carpetplot – Stromrückspeisung ins Netz – 2016

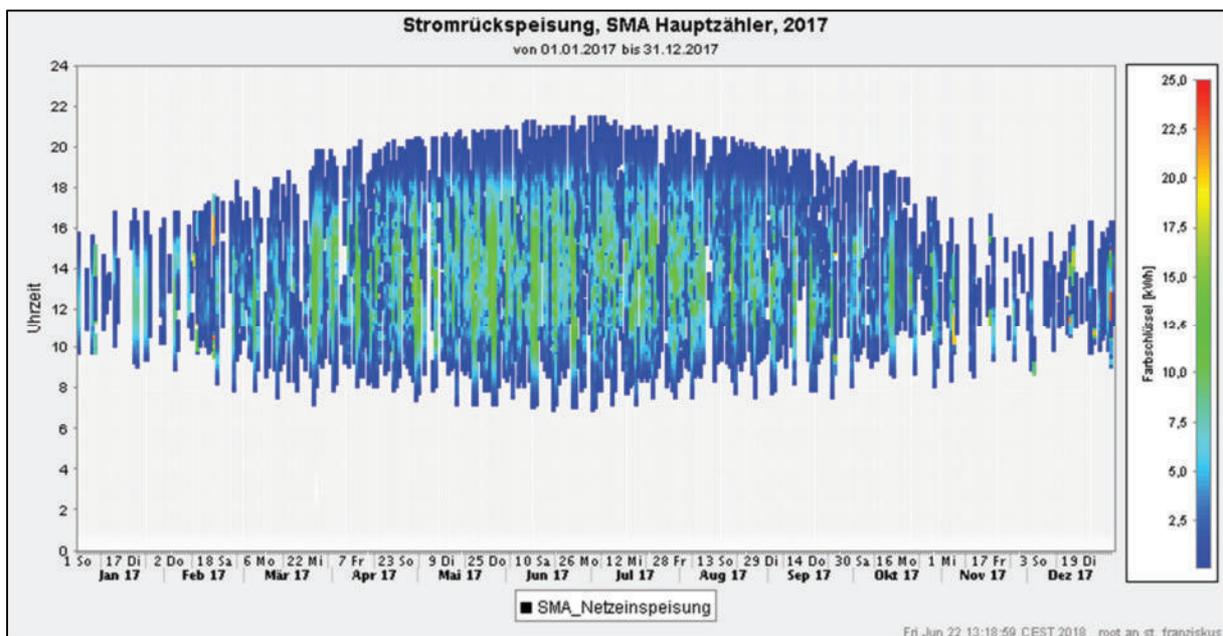


Abbildung 6-14: Carpetplot – Stromrückspeisung ins Netz – 2017

Eine Masterarbeit zur Optimierung der PV-Nutzung, d. h. Verminderung der PV-Rückspeisung, kommt zu der Erkenntnis, dass insbesondere die Zeit von 12 – 18 Uhr betroffen ist. Im Jahr 2016 entfielen 60 % aller rückgespeisten Strommengen auf diesen Zeitraum [11]. Ein Verbesserungsvorschlag zur Verschiebung der Lasten in den Nachmittag ist die Unterkühlung der Kühlzellen der Küche gegen Betriebsschluss. Aus Kostengründen wurde diese Maßnahme nicht innerhalb des Monitoringprojekts umgesetzt.

6.3.3 Strombezug aus dem Netz

Abbildung 6-15 und Abbildung 6-16 zeigen den Strombezug aus dem Netz des Versorgers zu Zeiten, in denen die aus PV produzierte Leistung nicht zur Versorgung ausreicht. Als Mittelwert der beiden Jahre ergibt sich ein Netzbezug von 63,7 MWh/a. Das sind 60 % des Gesamtnutzens. Der Rest wird selbst erzeugt.

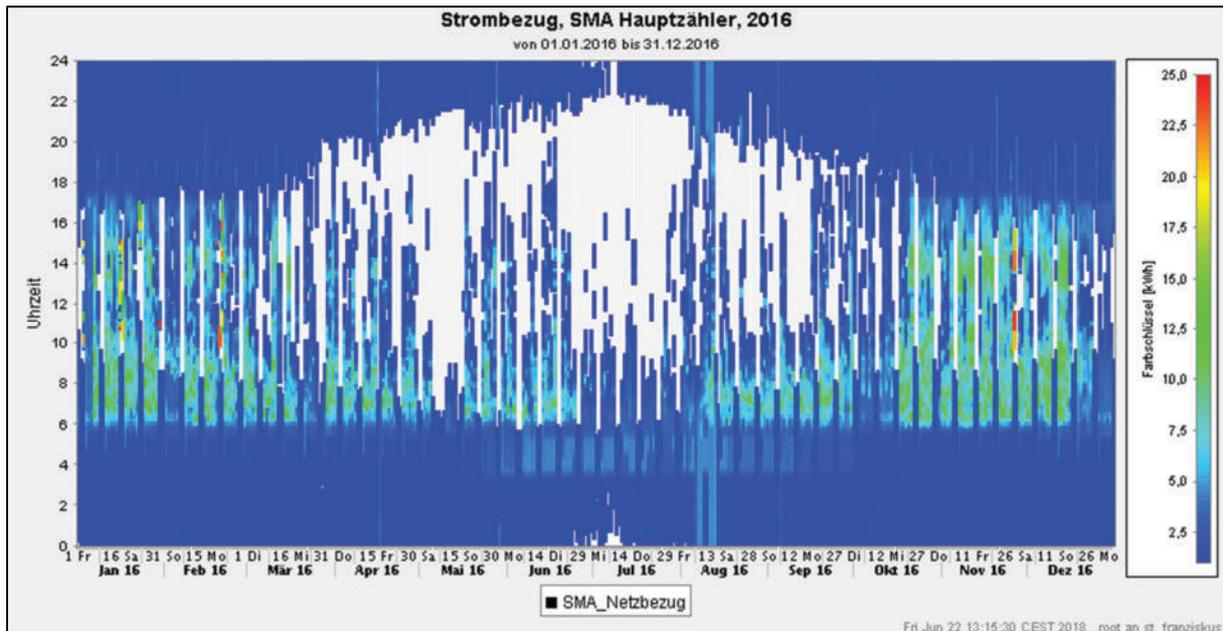


Abbildung 6-15: Carpetplot – Netzstrombezug – 2016

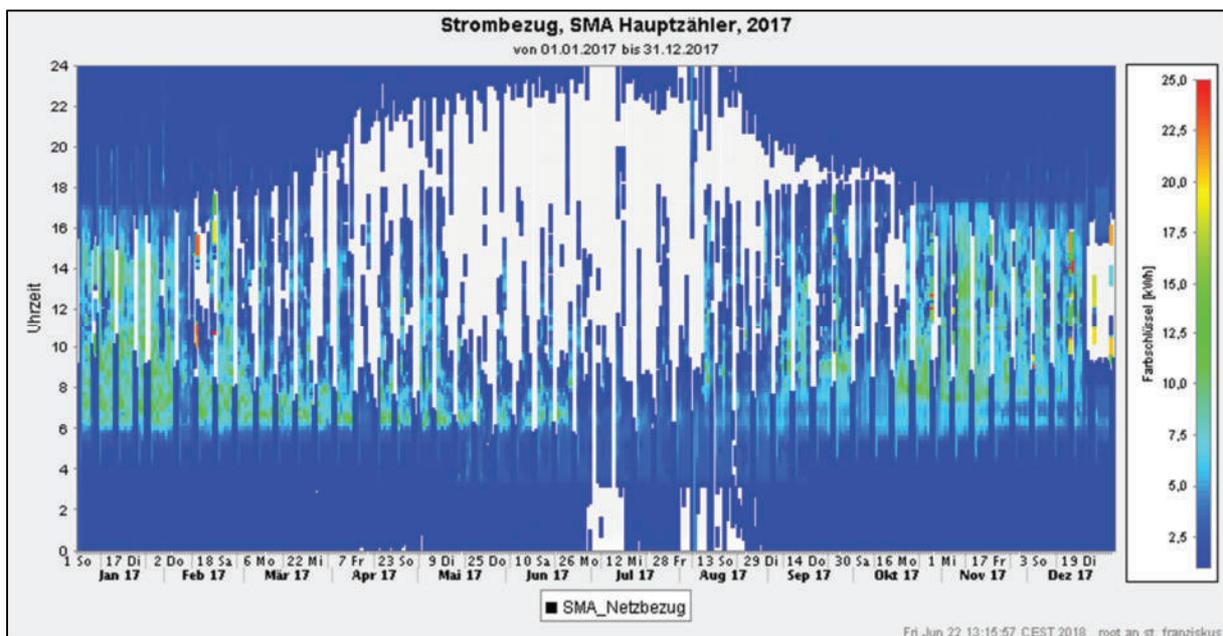


Abbildung 6-16: Carpetplot – Netzstrombezug – 2017

Gut zu erkennen sind die weißen Felder, in denen kein Netzbezug besteht, d. h. eine Selbstversorgung mit PV vorliegt.

6.3.4 Gesamtbilanz

Abbildung 6-17 bis Abbildung 6-20 zeigen die monatlichen Strombilanzen der Jahre 2014 (ab Juni nach Inbetriebnahme ist das System auswertbar) bis 2017. Dargestellt sind jeweils links die Energieherkunft: aus PV oder aus dem Netz sowie rechts die Energieverwendung: Selbstnutzung oder Rückspeisung in das Netz.

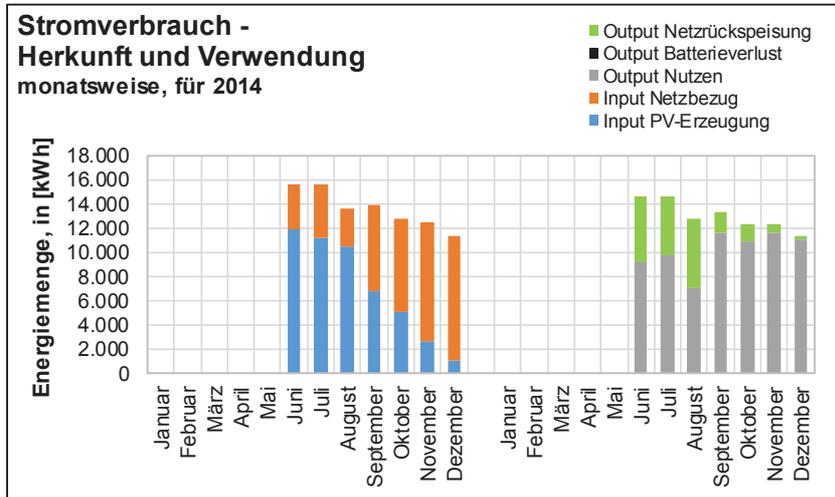


Abbildung 6-17: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2014

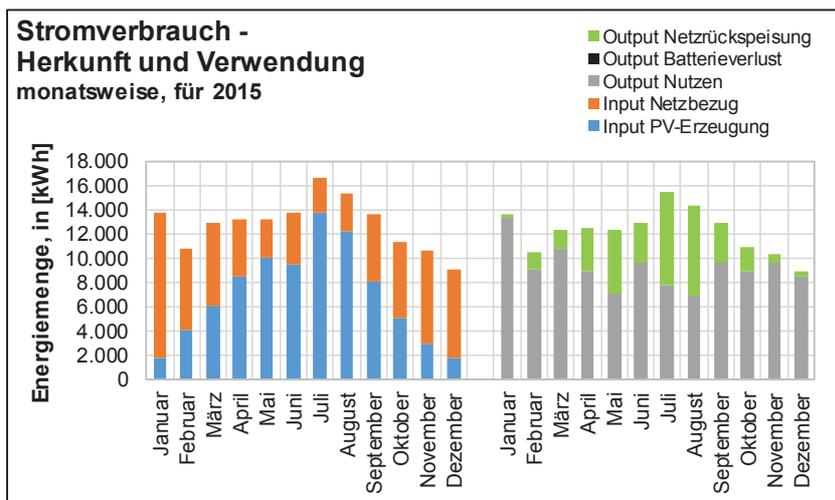


Abbildung 6-18: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2015

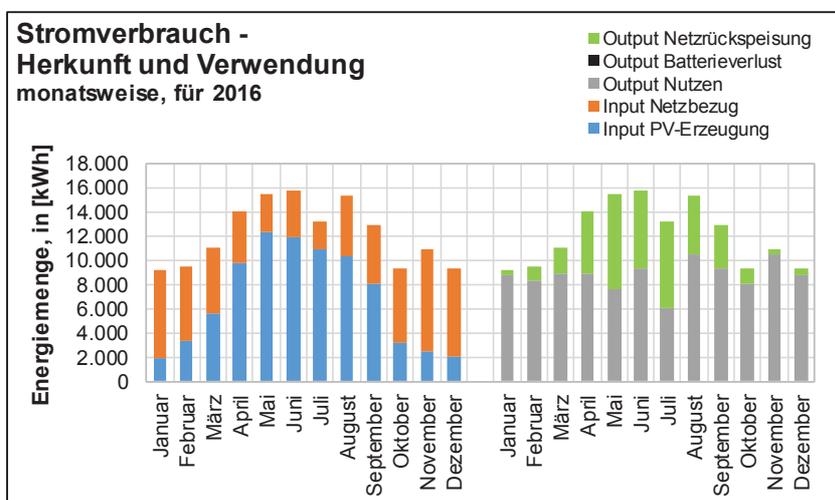


Abbildung 6-19: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2016

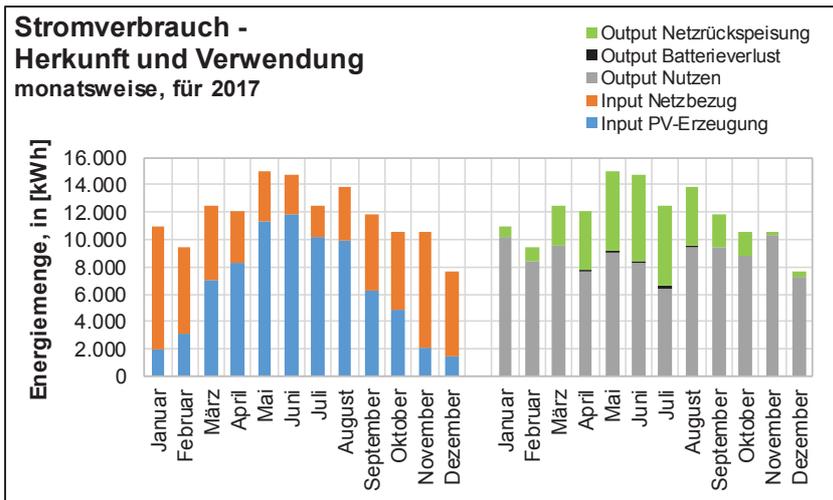


Abbildung 6-20: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2017

Über die Jahre ergeben sich folgende Kennwerte der PV-Stromnutzung.

- Bezogen auf die im Gebäude notwendige Nutzenergie (grau):
 - Netzbezug (orange): 60 ... 64 %
 - Selbstnutzung PV: 40 ... 36 % (Rest)
- Bezogen auf die erzielte PV-Produktion (blau):
 - Rückspeisung (grün): 43 ... 50 %
 - Selbstnutzung PV: 57 ... 50 % (Rest)

Tägliche Kennwerte mit Unterscheidung in Wochentag und Wochenende

Abbildung 6-21 gibt tägliche Kennwerte für die PV-Produktion sowie den Netzstrombezug an. Deutlich erkennbar ist der deutlich geringere notwendige Zukauf von Energie an den Wochenenden. Der PV-Ertrag selbst ist stabil – mit einer leichten Erhöhung 2016.

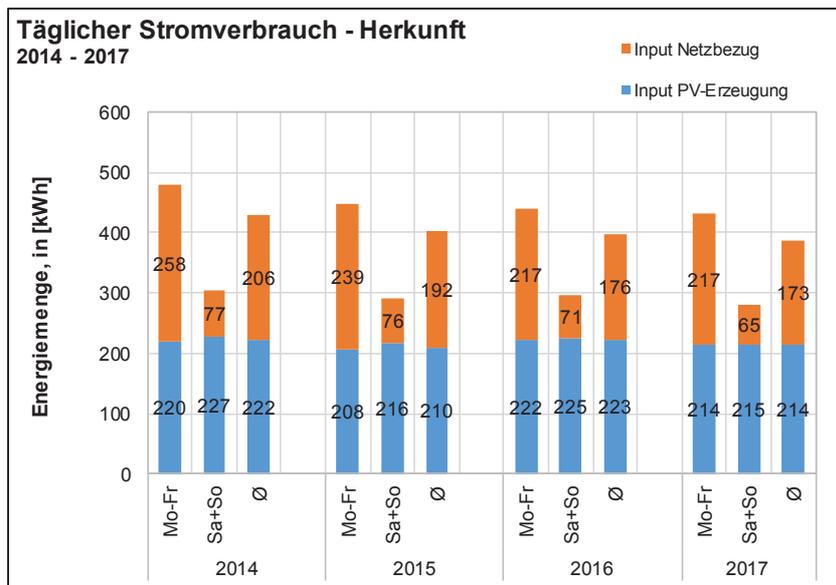


Abbildung 6-21: Täglicher Stromverbrauch – nach Herkunft

Abbildung 6-22 zeigt den täglichen Stromverbrauch sowie die ins Netz rückgespeisten Überschüsse. Der Stromverbrauch an Wochenenden liegt deutlich unter dem Wochentagsdurchschnitt. Es ergibt sich ein Faktor 3. An den Wochenenden muss demzufolge mehr Energie ins Versorgernetz zurückgespeist werden als an Wochentagen – mehr als das Doppelte.

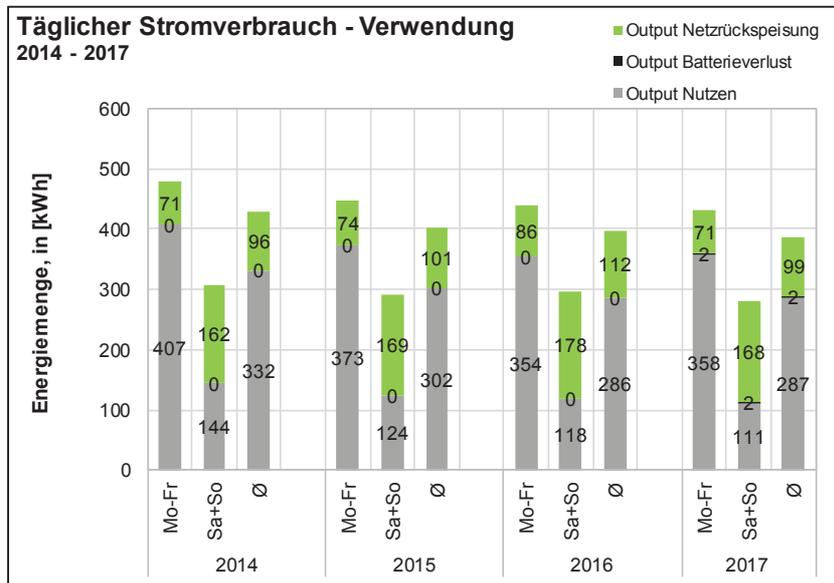


Abbildung 6-22: Täglicher Stromverbrauch – nach Verwendung

Kennwerte für die Wochentage:

- Bezogen auf die im Gebäude notwendige Nutzenergie (grau):
 - Netzbezug (orange): 61 ... 64 %
 - Selbstnutzung PV: 39 ... 36 % (Rest)
- Bezogen auf die erzielte PV-Produktion (blau):
 - Rückspeisung (grün): 33 ... 39 %
 - Selbstnutzung PV: 67 ... 61 %

Kennwerte für die Wochenenden:

- Bezogen auf die im Gebäude notwendige Nutzenergie (grau):
 - Netzbezug (orange): 59 ... 61 %
 - Selbstnutzung PV: 41 ... 39 % (Rest)
- Bezogen auf die erzielte PV-Produktion (blau):
 - Rückspeisung (grün): 78 ... 79 %
 - Selbstnutzung PV: 22 ... 21 % (Rest)

Im Vergleich von Wochentagen und Wochenenden zeigt sich, dass die Selbstnutzung sowie Rückspeisung der erzeugten PV-Energie sehr verschieden ist. Andererseits ist festzustellen, dass es kaum Unterschiede hinsichtlich der Bedarfsdeckung gibt: jeweils fast ein Drittel wird aus dem Netz bezogen – auch an Wochenenden.

6.4 Messdatenkorrektur

Gesamtverbrauch und Hauptzähler

Der Hauptstromzähler gegenüber dem Energieversorger ist ein Zweirichtungszähler, dessen Werte im Viertelstundentakt für den Zeitraum ab Mitte Januar 2014 lückenlos vorliegen. Allerdings lässt sich daraus nicht ableiten, wie groß der Gesamtverbrauch des Gebäudes ist. Auch die PV-Produktion wird erst seit Mitte 2016 digital vom Versorger erfasst (nur tagesgenau). Davor erfolgte lediglich eine manuelle Ablesung des PV-Produktionszählers. Das SMA-Monitoring erfasst dagegen alle gewünschten Messdaten, so dass diese für die weiteren Auswertungen herangezogen werden. Die Korrekturfaktoren lauten:

- $0,985 \cdot \dot{Q}_{\text{Bezug,SMA}} = \dot{Q}_{\text{Bezug,Versorger}} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{\text{Bezug,SMA,korr}} = 0,985 \cdot \dot{Q}_{\text{Bezug,SMA,mess}}$
- $1,009 \cdot \dot{Q}_{\text{Einspeis,SMA}} = \dot{Q}_{\text{Einspeisung,Versorger}} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{\text{Einspeis,SMA,korr}} = 1,009 \cdot \dot{Q}_{\text{Einspeis,SMA,mess}}$
- $1,088 \cdot \dot{Q}_{\text{PVprod,SMA}} = \dot{Q}_{\text{PVprod,Versorger}} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{\text{PVprod,SMA,korr}} = 1,088 \cdot \dot{Q}_{\text{PVprod,SMA,mess}}$

Die Ein- und Ausspeisung von Energie in die Batterie wird ebenfalls von SMA erfasst. Da die für das Monitoring aufgebaute Messtechnik etliche Datenausfälle zu beklagen hat, kann kein Korrekturfaktor ermittelt werden. Es wird in beiden Fällen der SMA-Wert ohne weitere Korrektur verwendet.

Unterzähler der einzelnen Nutzergruppen

Die Messdaten der digitalen Unterzähler für den Hort und die Küche müssen nicht korrigiert werden. Es gab keine Datenausfälle. Unregelmäßigkeiten aufgrund von fälschlicherweise als Wirkleistung erkannter Blindleistung sind bei dieser Zählerart nicht zu erwarten.

Für die Hausmeisterwohnung sind ein manuell abgelesener Ferrariszähler sowie eine Stromflussmessung im Rahmen des Monitorings verfügbar. Anhand der Zwischenablesungen des Abrechnungszählers lässt sich eine Ausgleichsfunktion gegenüber der Monitoring-Messung von GEDES erstellen. Der Fehler ist erheblich. Es ergibt sich folgender Umrechnungsfaktor für die Leistungsbilanz (und damit auch die Energiebilanz):

- $0,759 \cdot \dot{Q}_{\text{GEDES}} = \dot{Q}_{\text{Versorger}} \quad \rightarrow \quad \dot{Q}_{\text{GEDES,korr}} = 0,759 \cdot \dot{Q}_{\text{GEDES}}$

Weitere Details zur Messdatenkorrektur sind Kapitel 7.6 zu entnehmen.

6.5 Erkenntnisse und Fazit

Die Messwerte der Erträge der PV-Anlage decken sich mit den Prognosewerten bzw. übersteigen diese leicht. Voraussetzung für die gute Übereinstimmung ist, dass in der Simulation korrekte Angaben zur Modulfläche, Ausrichtung und Neigung sowie zum Modul- und Wechselrichterwirkungsgrad gemacht werden.

Wirtschaftliche Bewertung

Folgende Randdaten sollen für die Betrachtung gelten – zunächst als vereinfachte statische Amortisationsberechnung:

- Netzstrompreis von 270 €/MWh (auf Basis der Versorgerabrechnung von 2017 gerundet)
- Vergütung für rückgespeisten Strom 120 €/MWh
- Gesamt-PV-Produktion: 81,0 MWh/a
- Rückspeisung ins Netz: 38,1 MWh/a
- im Gebäude genutzter Strom: 42,9 MWh/a

Damit ergibt sich ein jährlicher Kostenüberschuss aus einerseits vermiedenem Netzstrombezug und andererseits der Förderung von:

- $42,9 \text{ MWh/a} \cdot 270 \text{ €/MWh} + 38,1 \text{ MWh/a} \cdot 120 \text{ €/MWh} = 16.155 \text{ €/a}$

Unterstellt man eine Lebensdauer von 20 Jahren ergibt sich ein Gesamtüberschuss von:

- $16.155 \text{ €/a} \cdot 20 \text{ a} = 323.100 \text{ €}$

Diese Summe entspricht der maximalen Investitionssumme, bis zu der die Anlage wirtschaftlich wäre. Die Anlage hat knapp 174.000 € (brutto, ohne Planungskosten) gekostet. Damit ist eine Wirtschaftlichkeit gegeben.

Die Wirtschaftlichkeit verschlechtert sich, wenn das Kapital verzinst wird, Wartungskosten anfallen sowie eine Alterung der Anlage unterstellt wird. Andererseits verbessern steigende Versorgerpreise für Strom die Bilanz. Es darf davon ausgegangen werden, dass eine Wirtschaftlichkeit auch unter dynamischen Randdaten gegeben ist.

Die PV-Anlage ist – von den in der St. Franziskus-Grundschule getesteten Effizienztechnologien – eine zur Nachahmung empfohlene.

7 Detailanalyse und Funktion

Der nachfolgende Abschnitt analysiert den Stromverbrauch einzelner Anwendungen bzw. Verbraucher näher. Darüber hinaus werden auch die Messwerte der Windkraftanlage sowie der Batteriespeicheranlage näher beleuchtet. Aus den Messwerten werden Erkenntnisse für andere Schulen bzw. Projekte abgeleitet.

Der letzte Abschnitt leitet aus den Messwerten typische Tagesprofile ab. Diese können bei der Planung ähnlicher Objekte Anwendung finden, wenn beispielsweise eine Simulation erstellt werden soll, um die Selbstnutzungsquote von erzeugtem PV-Strom zu prognostizieren.

7.1 Messorte und Messtechnik

Neben den in Kapitel 6.1 vorgestellten Messstellen für die Gesamtbilanz sind diverse weitere Stromverbraucher mit Einzelmessstellen ausgestattet. Es handelt sich überwiegend um Stromflussmessungen einzelner Phasen. Diese ist – wie im Nachhinein festgestellt werden kann – sehr fehleranfällig. Eine Analyse der Messfehler und notwendiger Datenkorrektur folgt daher in Kapitel 7.6.

Tabelle 7-1 zeigt die vorhandenen Messpunkte. Mit ihnen lassen sich Lastgänge reproduzieren, Zeitprogramme nachvollziehen, Teilenergiebilanzen erstellen, aber auch Betriebsprobleme (z. B. Standbyverbrauch) erkennen.

Tabelle 7-1: Messpunkte bezüglich Stromdetailanalyse

Kürzel	Einheit	Gruppe	Untergruppe	Beschreibung
Beleuchtung				
DF0118-51B6-0	A	STR	BEL	Stromverbrauch_Aussenbeleuchtung_Phase_L1
DF0118-51B6-5	kW	STR	BEL	Leistung_Aussenbeleuchtung_Phase_L1
DF0118-51B8-0	A	STR	BEL	Stromverbrauch_Aussenbeleuchtung_Phase_L2
DF0118-51B8-5	kW	STR	BEL	Leistung_Aussenbeleuchtung_Phase_L2
DF0118-51DC-0	A	STR	BEL	Stromverbrauch_Aussenbeleuchtung_Phase_L3
DF0118-51DC-5	kW	STR	BEL	Leistung_Aussenbeleuchtung_Phase_L3
DF0118-52A0-0	A	STR	BEL	Beleuchtung_Klasse_108
DF0118-52A0-5	kW	STR	BEL	Leistung_Beleuchtung_Klasse_108
DF0118-55A0-0	A	STR	BEL	Stromverbrauch_Beleuchtung_Klasse_201_Klasse
DF0118-55A0-5	kW	STR	BEL	Leistung_Beleuchtung_Klasse_201_Phase_L1
DF0118-55A2-0	A	STR	BEL	Stromverbrauch_Beleuchtung_Klasse_201_Morgenkranz_Arbeitsplatz
DF0118-55A2-5	kW	STR	BEL	Leistung_Beleuchtung_Klasse_201_Phase_L2
Großgeräte				
DF0118-51A0-0	A	STR	GER	Strom_Server_Stromkreis_1
DF0118-51A0-5	kW	STR	GER	Leistung_Server_Stromkreis_1
DF0118-51A2-0	A	STR	GER	Strom_Aufzug_Phase_L1
DF0118-51A2-5	kW	STR	GER	Leistung_Aufzug_Phase_L1
DF0118-51A4-0	A	STR	GER	Strom_Aufzug_Phase_L2
DF0118-51A4-5	kW	STR	GER	Leistung_Aufzug_Phase_L2
DF0118-51A6-0	A	STR	GER	Strom_Aufzug_Phase_L3
DF0118-51A6-5	kW	STR	GER	Leistung_Aufzug_Phase_L3
DF0118-51A8-0	A	STR	GER	Strom_Server_Stromkreis_2
DF0118-51A8-5	kW	STR	GER	Leistung_Server_Stromkreis_2
DF0118-51AA-0	A	STR	GER	Strom_Server_Stromkreis_3
DF0118-51AA-5	kW	STR	GER	Leistung_Server_Stromkreis_3
DF0118-51B2-0	A	STR	GER	Strom_Server_Stromkreis_4
DF0118-51B2-5	kW	STR	GER	Leistung_Server_Stromkreis_4
DF0118-51B4-0	A	STR	GER	Strom_Server_Kuehlung
DF0118-51B4-5	kW	STR	GER	Leistung_Serverkuehlung

Kürzel	Einheit	Gruppe	Untergruppe	Beschreibung
DF0118-62C0-0	A	STR	GER	Strom_Tiefkuehlzelle_Phase_L1
DF0118-62C0-5	kW	STR	GER	Leistung_Tiefkuehlzelle_Phase_L1
DF0118-62C2-0	A	STR	GER	Strom_Tiefkuehlzelle_Phase_L2
DF0118-62C2-5	kW	STR	GER	Leistung_Tiefkuehlzelle_Phase_L2
DF0118-62C4-0	A	STR	GER	StromTiefkuehlzelle_Phase_L3
DF0118-62C4-5	kW	STR	GER	Leistung_Tiefkuehlzelle_Phase_L3
DF0118-62C6-0	A	STR	GER	Strom_Kuehlzelle_Phase_L1
DF0118-62C6-5	kW	STR	GER	Leistung_Kuehlzelle_Phase_L1
DF0118-62C8-0	A	STR	GER	Strom_Kuehlzelle_Phase_L2
DF0118-62C8-5	kW	STR	GER	Leistung_Kuehlzelle_Phase_L2
DF0118-62CA-0	A	STR	GER	Strom_Kuehlzelle_Phase_L3
DF0118-62CA-5	kW	STR	GER	Leistung_Kuehlzelle_Phase_L3
Hausmeisterwohnung				
DF0118-51CA-0	A	STR	HAM	Stromverbrauch_Hausmeisterwohnung_Phase_L1
DF0118-51CA-5	kW	STR	HAM	Leistung_Hausmeisterwohnung_Phase_L1
DF0118-51CC-0	A	STR	HAM	Stromverbrauch_Hausmeisterwohnung_Phase_L2
DF0118-51CC-5	kW	STR	HAM	Leistung_Hausmeisterwohnung_Phase_L2
DF0118-51CE-0	A	STR	HAM	Stromverbrauch_Hausmeisterwohnung_Phase_L3
DF0118-51CE-5	kW	STR	HAM	Leistung_Hausmeisterwohnung_Phase_L3
Hort				
DF001A-51C6-0	kWh	STR	HOR	Strom_Hort_gesamt
Klassenräume				
DF0118-51D0-0	A	STR	KLA	Stromverbrauch_Klasse_Klasse_108_Phase_L1
DF0118-51D0-5	kW	STR	KLA	Leistung_Klasse_Klasse_108_Phase_L1
DF0118-51D2-0	A	STR	KLA	Stromverbrauch_Klasse_Klasse_108_Phase_L2
DF0118-51D2-5	kW	STR	KLA	Leistung_Klasse_Klasse_108_Phase_L2
DF0118-51D4-0	A	STR	KLA	Stromverbrauch_Klasse_Klasse_108_Phase_L3
DF0118-51D4-5	kW	STR	KLA	Leistung_Klasse_Klasse_108_Phase_L3
DF0118-51D6-0	A	STR	KLA	Stromverbrauch_Klasse_201_Phase_L1
DF0118-51D6-5	kW	STR	KLA	Leistung_Klasse_Klasse_201_Phase_L1
DF0118-51D8-0	A	STR	KLA	Stromverbrauch_Klasse_201_Phase_L2
DF0118-51D8-5	kW	STR	KLA	Leistung_Klasse_Klasse_201_Phase_L2
DF0118-51DA-0	A	STR	KLA	Stromverbrauch_Klasse_201_Phase_L3
DF0118-51DA-5	kW	STR	KLA	Leistung_Klasse_Klasse_201_Phase_L3
Küche				
DF001A-51C8-0	kWh	STR	KUE	Strom_Kueche_gesamt
DF0118-51AC-0	A	STR	KUE	Strom_Kueche_Phase_L1
DF0118-51AC-5	kW	STR	KUE	Leistung_Kueche_Phase_L1
DF0118-51AE-0	A	STR	KUE	Strom_Kueche_Phase_L2
DF0118-51AE-5	kW	STR	KUE	Leistung_Kueche_Phase_L2
DF0118-51B0-0	A	STR	KUE	Strom_Kueche_Phase_L3
DF0118-51B0-5	kW	STR	KUE	Leistung_Kueche_Phase_L3

Die Gesamtleistung eines Verbrauchers ergibt sich, indem alle Phasen (meist 3) addiert werden.

7.2 Detailanalyse von Einzelverbrauchern

7.2.1 Hort

Der Hort öffnet in der Schulzeit von 6:00 bis 17:00 Uhr und in der Ferienzeit von 6:30 bis 16:30 Uhr. Die Schließzeiten sind zu Weihnachten vom 24.12. bis 01.01. und die 3. und 4. Woche in den Sommerferien. Weitere Erläuterungen zum Nutzungskonzept und zur Personenbelegung sind im [Abschlussbericht 2](#) zu finden.

Um eine separate Abrechnung des Hortes zu ermöglichen, hat der Hort seinen eigenen Stromzähler. Der Stromverbrauch des Hortes wird als Gesamtverbrauch gemessen. Der Hort hat mehrere Räume, die – zusätzlich zur elektrischen Beleuchtung – je nach Nutzung mit diversen elektrischen Geräte ausgestattet sind. Einen Eindruck geben Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2. Letztere zeigt die Thermographie eines Dauerverbrauchers: des Kühlschranks im Kindercafé.



Abbildung 7-1: Horträume 0.01, 0.03, 0.11 und 0.14

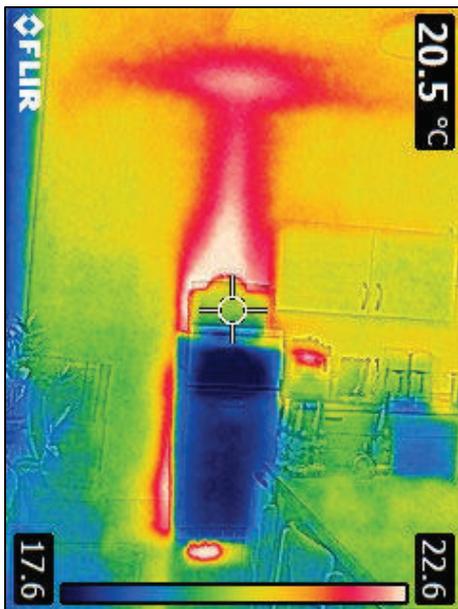


Abbildung 7-2: Thermographie des Kühlschranks im Kindercafé 0.03

Eine Übersicht der einzelnen Elektrogeräte, die in den Horträumen installiert sind, ist in Anhang 8.5 zu finden.

Energiebilanz

Auf eine separate Darstellung der Monatsenergiebilanz wird an dieser Stelle verzichtet und auf Abbildung 6-1 auf S. 81 verwiesen. Der durchschnittliche Jahresverbrauch für Strom der Jahre 2016/17 beläuft sich auf 4,1 MWh/a. Das ergibt einen Energiekennwert von 8,5 kWh/(m²a) für die zugehörige Fläche von 479,45 m². Der Wert ist unterdurchschnittlich, da keine Aufwendungen für die RLT enthalten sind.

Lastverläufe

Abbildung 7-3 und Abbildung 7-4 zeigen den Lastverlauf für zwei Jahre. Es sind bei der gewählten 10-Minuten-Auflösung Lastspitzen bis 1,7 kWh/10 Minuten (also 10 kW) festzustellen. Diese fallen in die kalte Jahreszeit, in der mobile Heizgebläse (2 Stück á 3,3 kW) betrieben werden. Deutlich erkennbar sind die Ferien- und Schließzeiten.

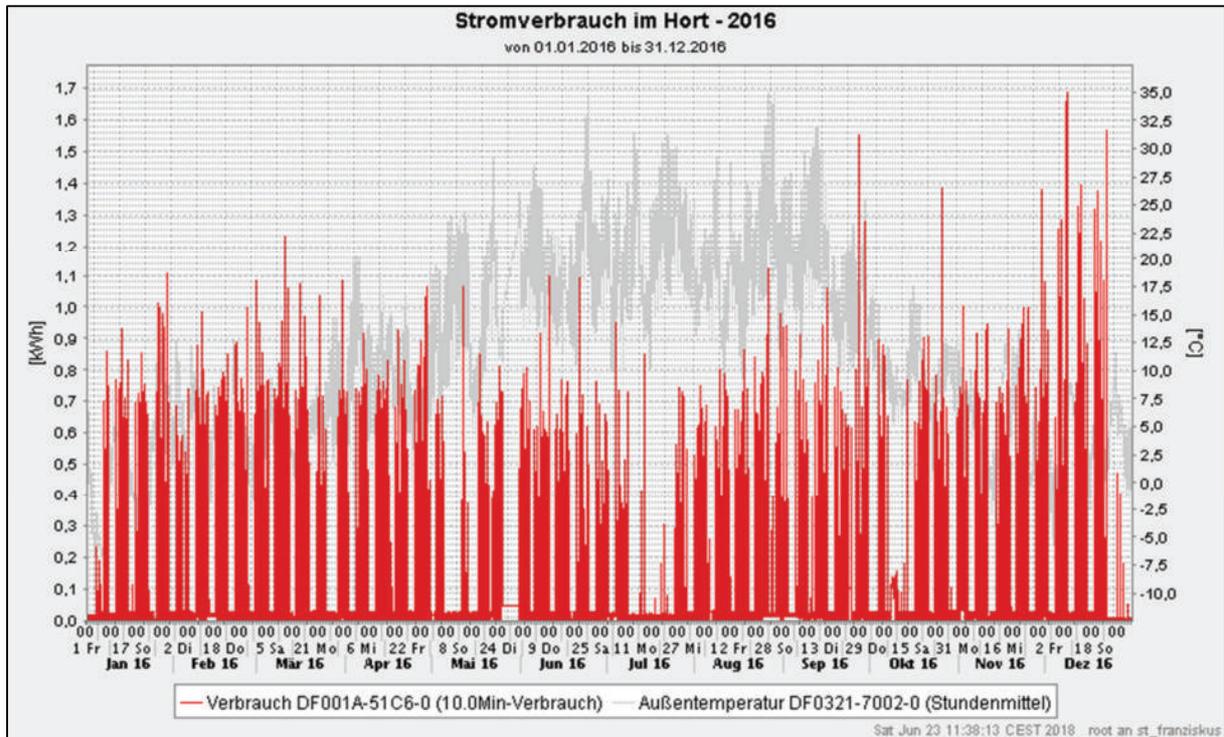


Abbildung 7-3: Verbrauchsverlauf – Hort Unterzähler – 2016

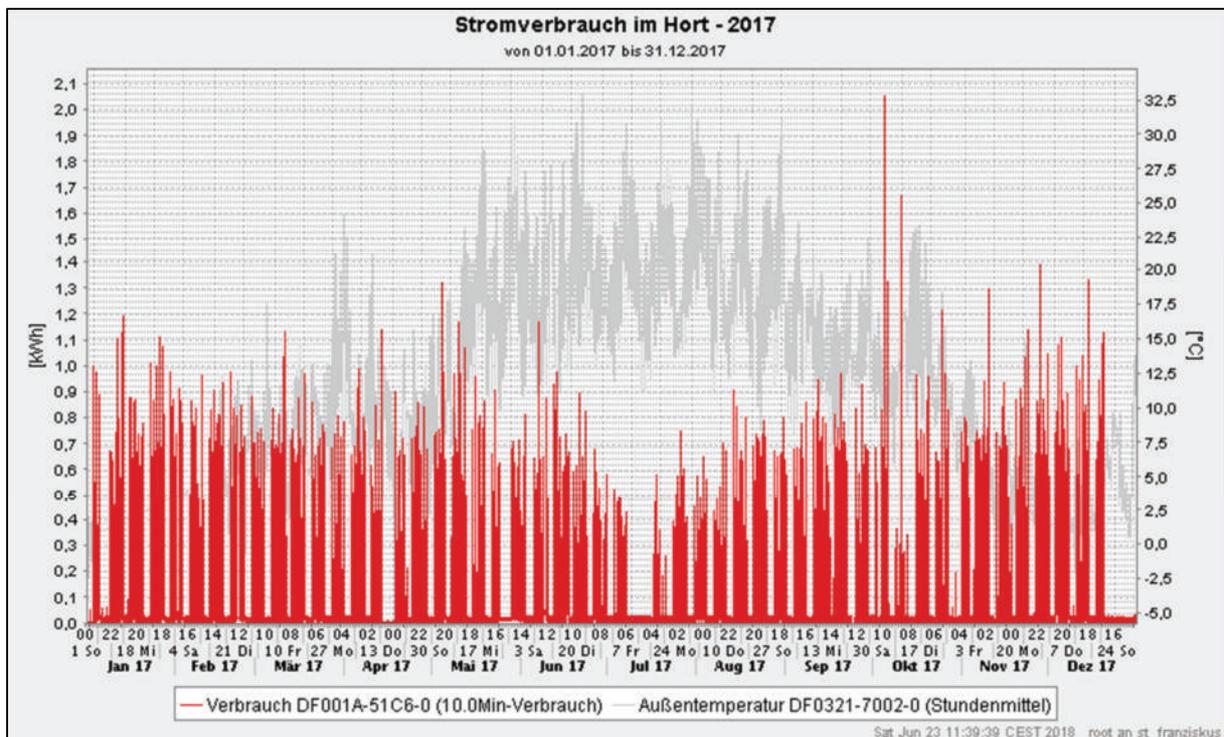


Abbildung 7-4: Verbrauchsverlauf – Hort Unterzähler – 2017

Abbildung 7-5 und Abbildung 7-6 zeigen zu zugehörigen Carpetplots. Dabei sind Leistungen unter 0,1 kWh/10 Minuten (also 600 W) ausgeblendet, um einen deutlichen Nutzungsbeginn erkennen zu können.

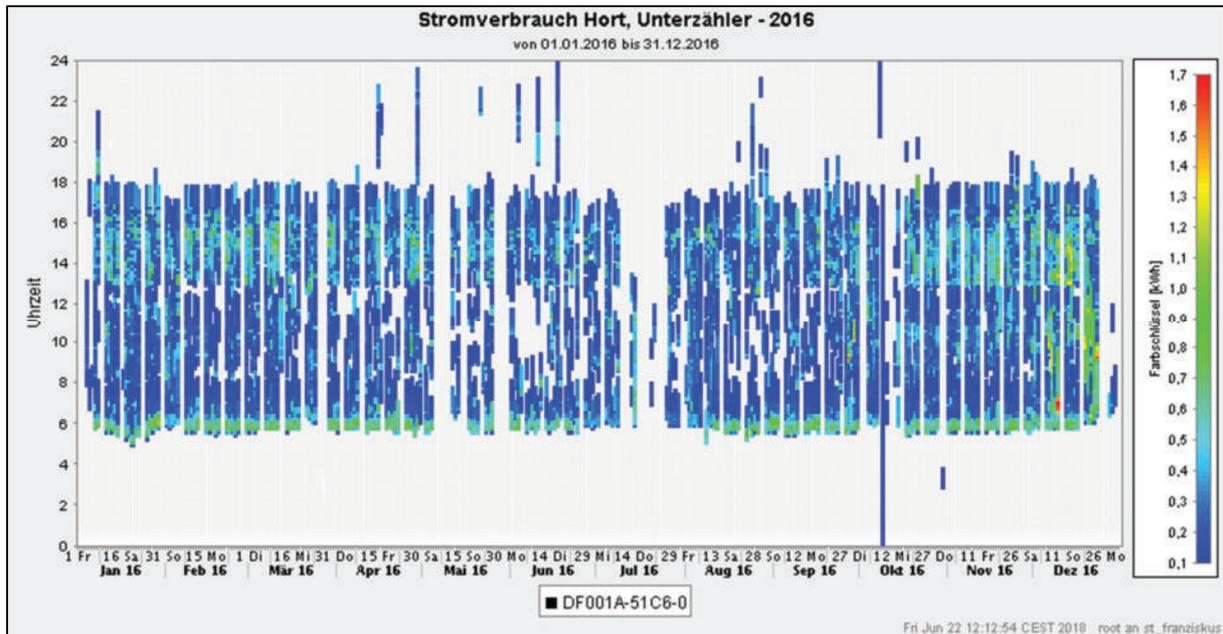


Abbildung 7-5: Carpetplot – Hort Unterzähler – 2016

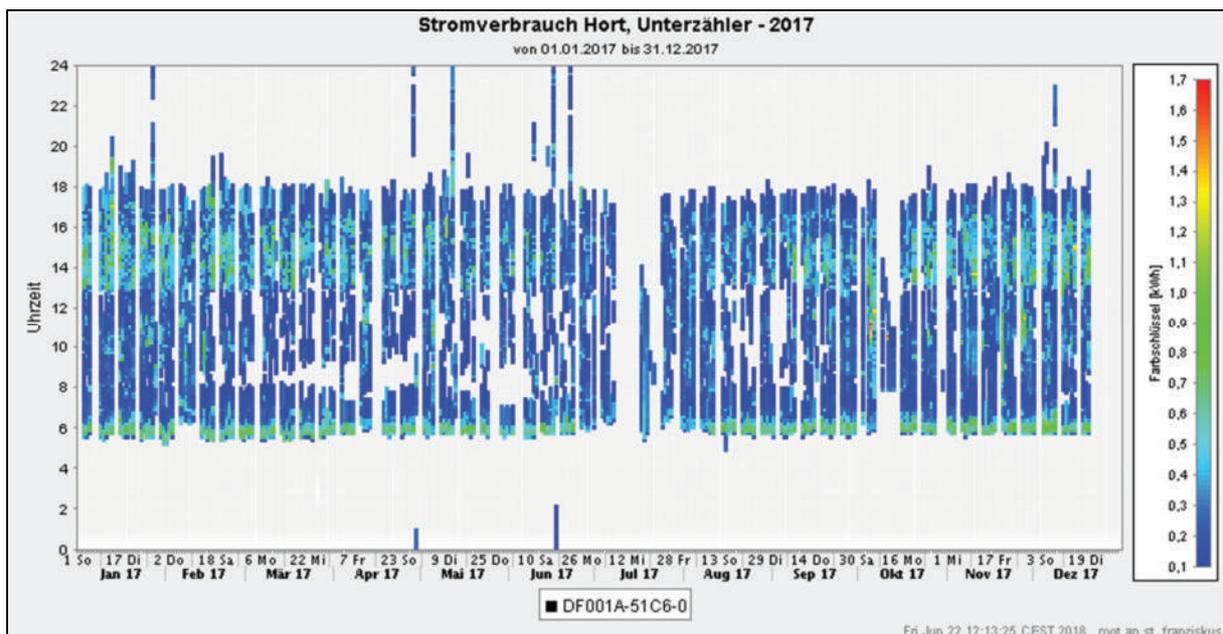


Abbildung 7-6: Carpetplot – Hort Unterzähler – 2017

Zeiten mit geringerem Verbrauch fallen an Nutzungstagen jeweils in die Zeit von 8 ... 9 Uhr. Ansonsten ist der Spitzenverbrauch immer morgens gegen 6 Uhr erkennbar, wenn die Mitarbeiter vor der Aufnahme der Kinder Tee zubereiten. Auch nachmittags gegen 15 Uhr sind größere Stromverbräuche zu erkennen – jedoch vor allem in der kälteren Jahreszeit. Es wird sich hier eher um Beleuchtungsstrom handeln.

Beispielhafte Betriebswochen

Abbildung 7-7 bis Abbildung 7-10 zeigen beispielhaft gewählte Betriebswochen in allen Jahreszeiten. Die Außentemperatur ist mit vermerkt. Die mittlere Leistung ergibt sich durch Multiplikation der 10-Minuten-Energiemenge mit dem Faktor 6.

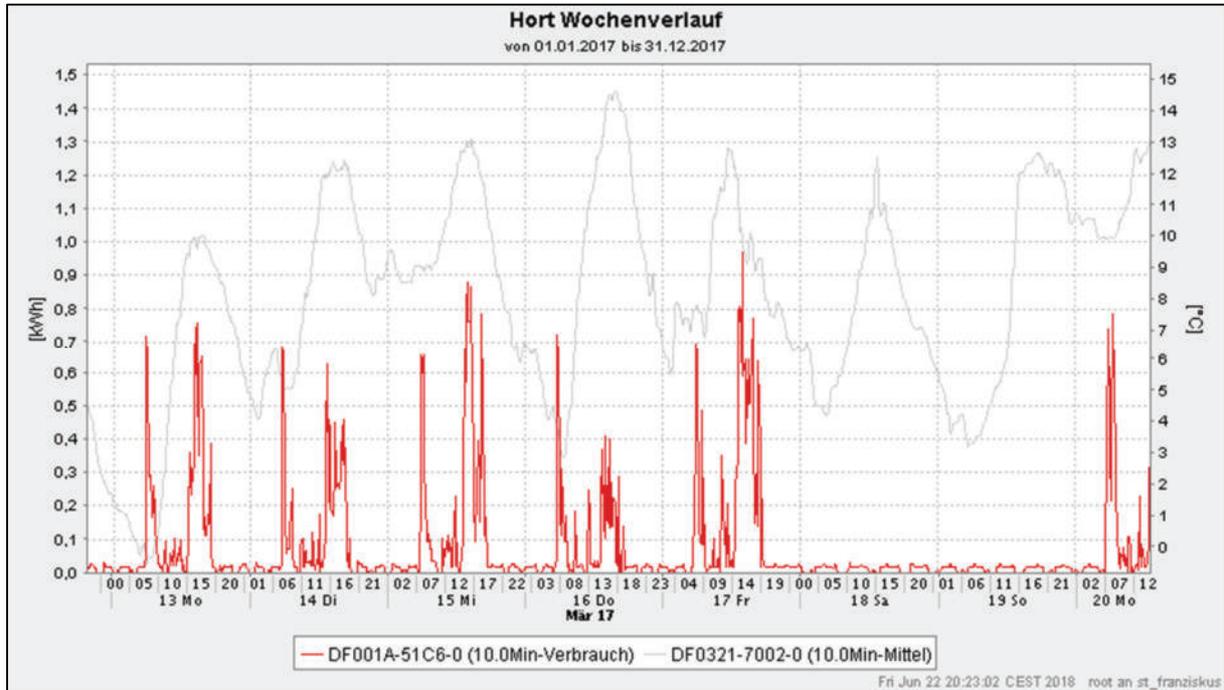


Abbildung 7-7: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling

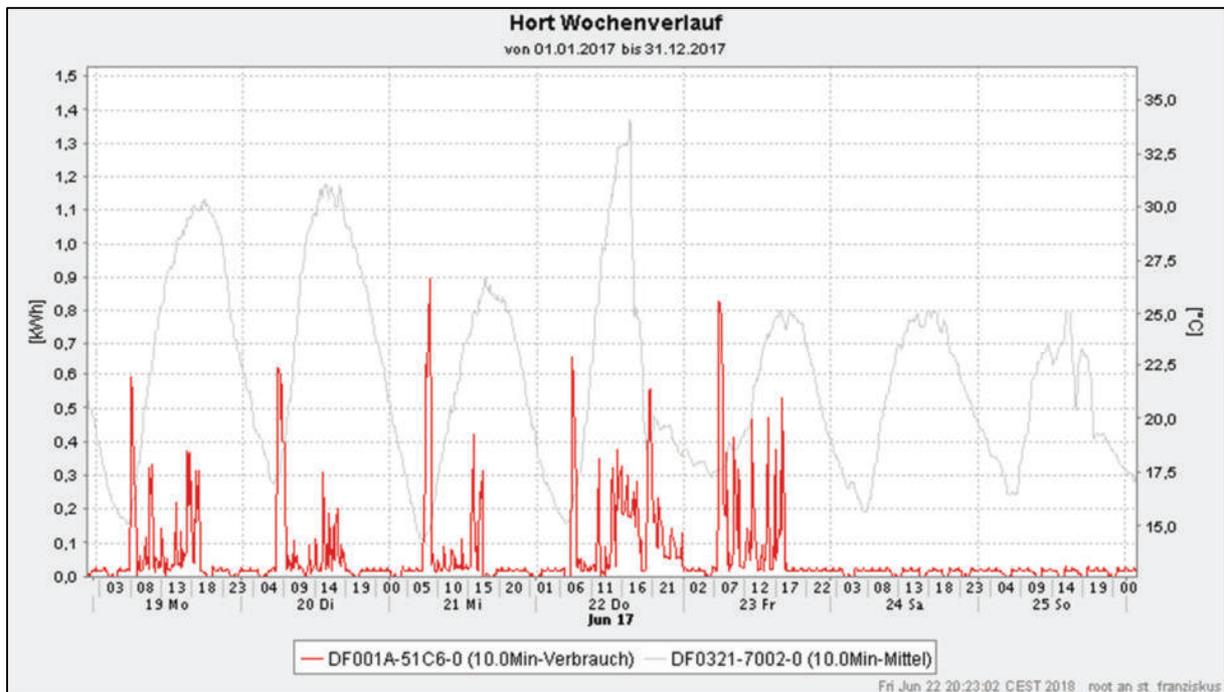


Abbildung 7-8: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer

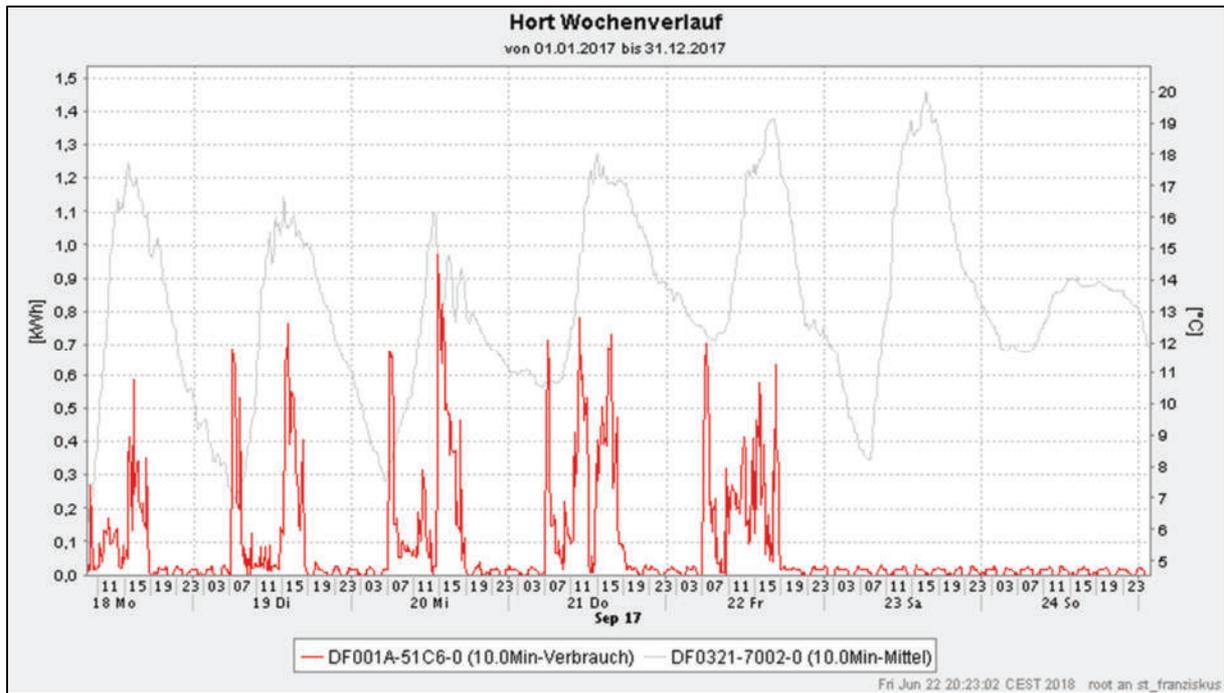


Abbildung 7-9: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst

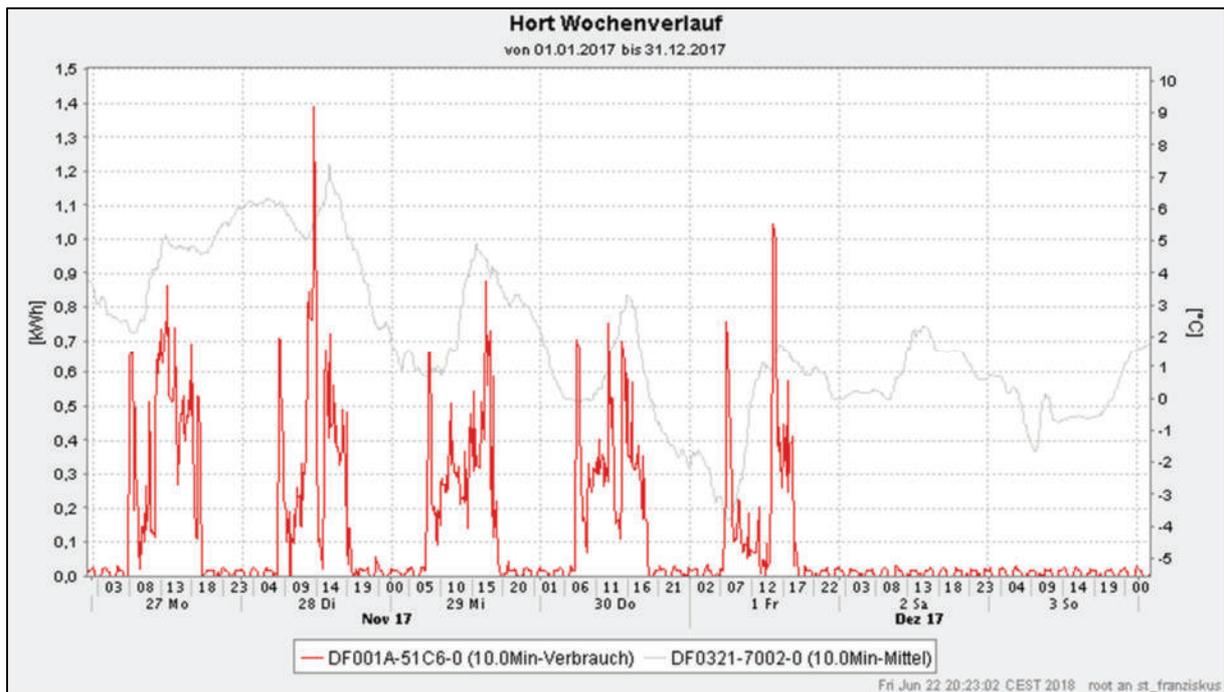


Abbildung 7-10: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Winter

Grundsätzlich sind immer gleiche Abläufe erkennbar. In der Winterwoche sinkt aber während der Schulzeit (8 ... 12 Uhr) der Verbrauch kaum ab. Es ist das Indiz, dass in der sehr kalten Woche die mobilen Heizgeräte laufen.

Energieanalyse aus dem Verbrauch

Da der Zusammenhang von Leistung und Außentemperatur grundsätzlich gegeben ist, erfolgt eine weitere Analyse. Abbildung 7-11 zeigt eine Auftragung aller Tageswerte über der Außentemperatur. Insbesondere die Wochenendwerte am unteren Bildrand korrelieren nicht mit der Tagesaußentemperatur. Der ablesbare Wert von ca. 1,5 kWh je Tag entspricht einer Dauerleistung von ca. 60 W für den Kühlschrank und alle Standbyverbraucher.

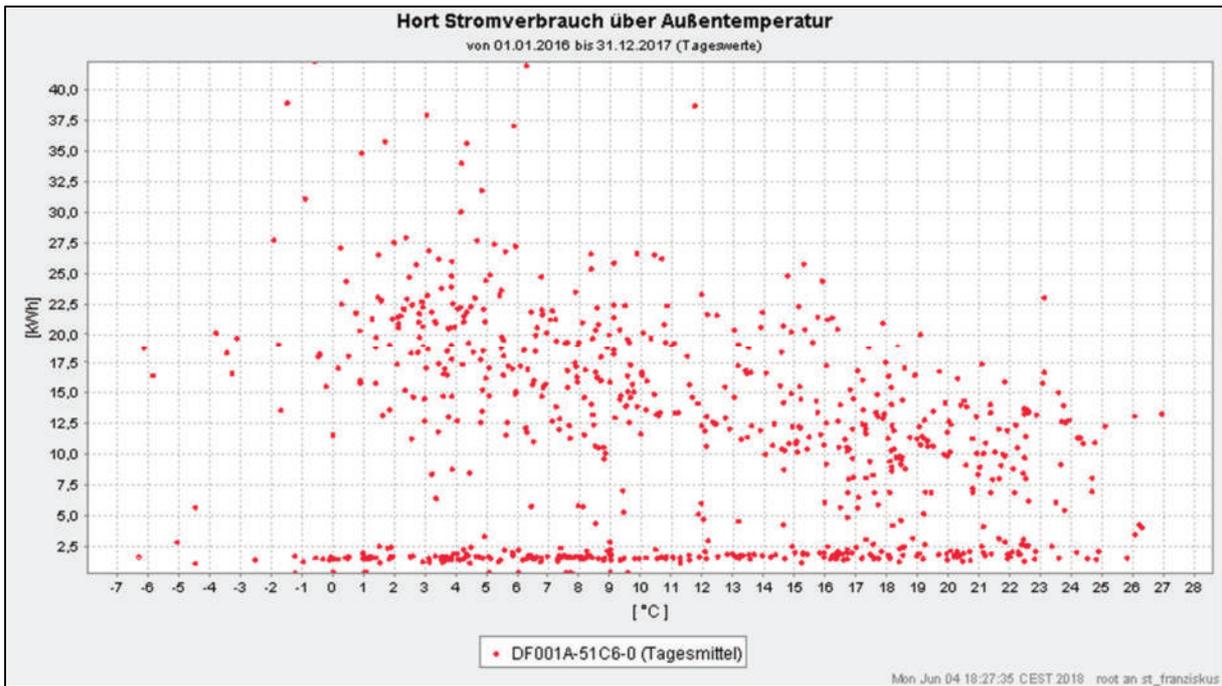


Abbildung 7-11: Hort – Stromverbrauch über der Außentemperatur

Abbildung 7-12 zeigt zusammengefasste Langzeitintervalle (aus der manuellen Zählerable-
 sung). Die Auftragung als mittlere Leistung zeigt einerseits eine witterungsunabhängige
 Grundlast von 380 W. Der Anstieg aufgrund von elektrischer Direktheizung sowie der verstärk-
 ten Nutzung der Beleuchtung ist deutlich erkennbar.

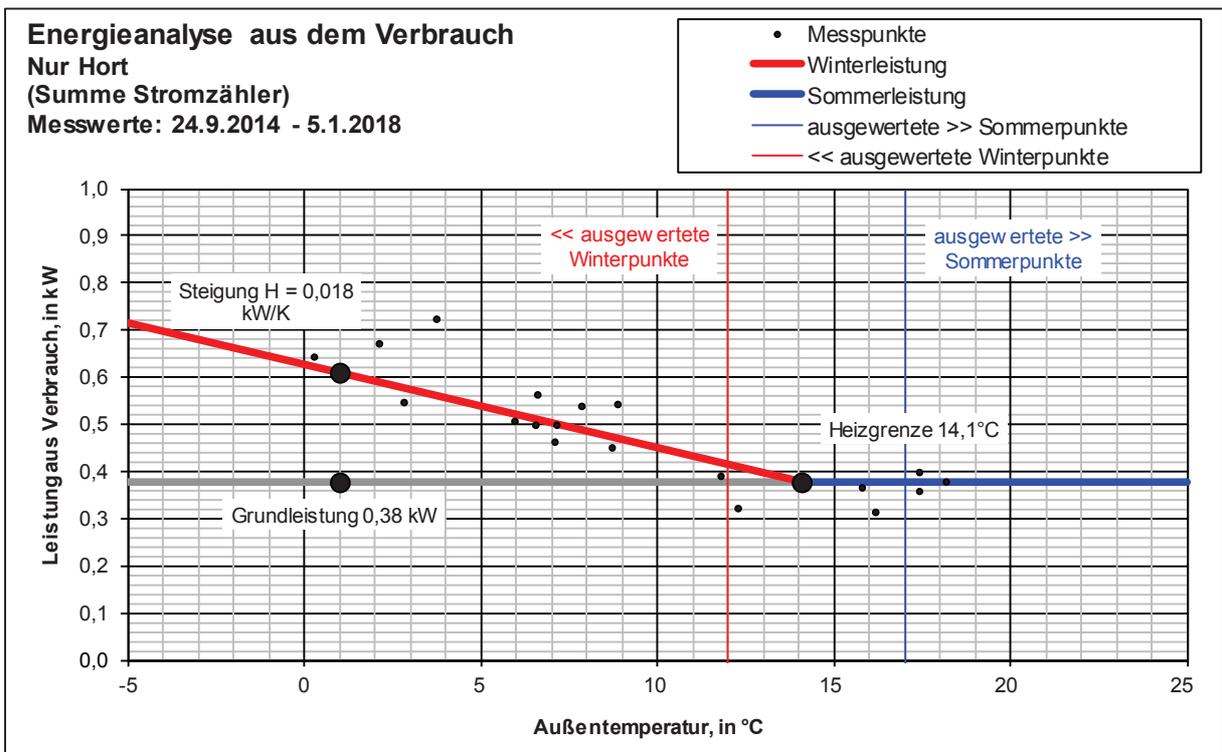


Abbildung 7-12: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Hort – Stromverbrauch

Eine Detailanalyse im Rahmen einer Masterarbeit zeigt auch, dass an sonnigen Tagen weniger
 Strom verbraucht wird als an bedeckten Tagen [11].

7.2.2 Klasse 1.08 und 2.01

Von den acht Unterrichtsräumen wurden zwei Räume mit Sensoren zur Überwachung des Stromverbrauches ausgestattet. In den Räumen 2.01 (Klassenzimmer einer 3. oder 4. Klasse) und 1.08 (Klassenzimmer einer 1. oder 2. Klasse) wird der Stromverbrauch der künstlichen Beleuchtung separat überwacht. Zusätzlich wird der gesamte Stromverbrauch des Raumes erfasst.

Die beiden Klassenräume sind je mit 4 PCs samt Bildschirm, einem CD-Player sowie dem Activeboard ausgestattet, siehe Abbildung 7-13 und Abbildung 7-14. Letztes besteht aus einem Anzeigemonitor, einer Erfassungskamera und einer Arbeitsplatzausstattung am Lehrertisch. Es ist auch im unbenutzten Zustand ein Standbyverbrauch erkennbar, siehe Abbildung 7-15 und Abbildung 7-16. Eine Übersicht der weiteren Leistungseigenschaften der einzelnen Elektrogeräte ist in Anhang 8.5 zu finden.

Die weiteren Geräte der Sicherheitstechnik, d. h. Amokmelder, Volumenstromregler, Lautsprecher usw. werden vom Serverraum aus mit Strom versorgt.



Abbildung 7-13: Klassenraum 1.08



Abbildung 7-14: Klassenraum 2.01

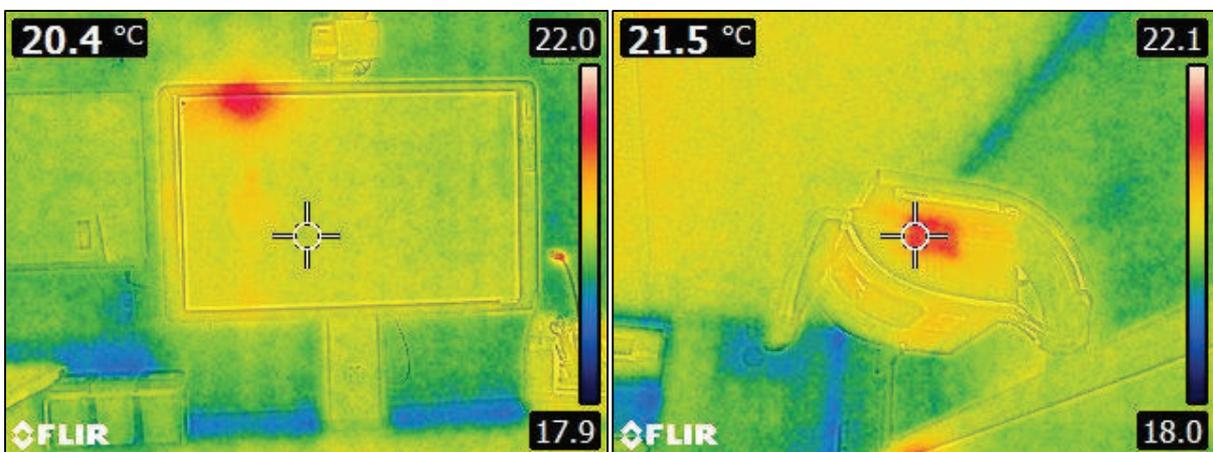


Abbildung 7-15: Thermographie Whiteboard und Beamerkopf

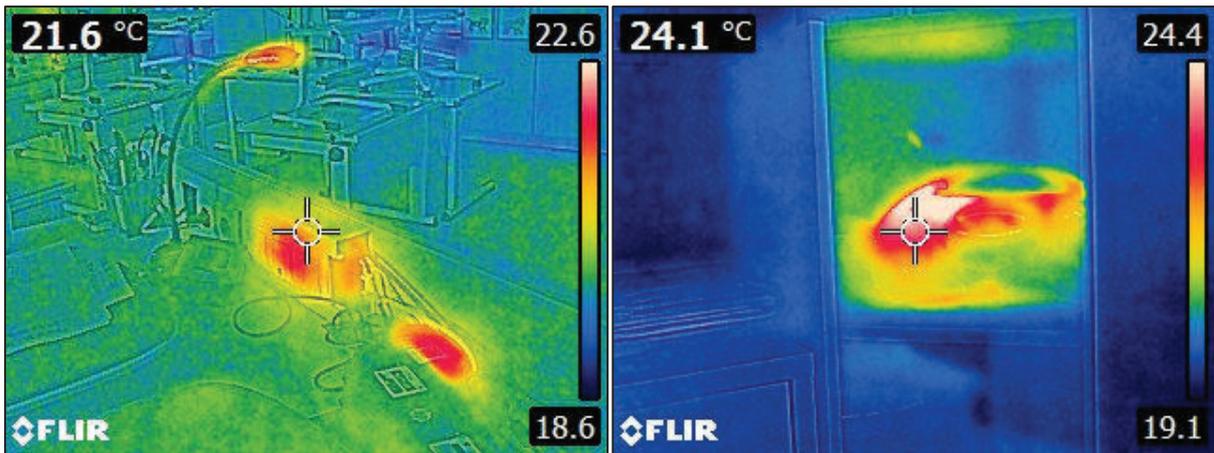


Abbildung 7-16: Thermographie Lehrertisch und CD-Player im Klassenraum

Energiebilanz

Die Energiebilanz der beiden Klassenräume ist Abbildung 7-17 und Abbildung 7-18 zu entnehmen. Die Beleuchtung nimmt 37 % bzw. 40 % des Gesamtverbrauchs ein. Dieser liegt bei 1,2 bzw. 1,3 MWh/a. Der Rest entfällt auf die Gerätenutzung.

Die Beleuchtung ist im Nordraum kaum anders als im Südraum. Nach Rücksprache mit den Nutzern machen alle Lehrer in praktisch allen Klassenräumen immer das Licht an. Auf der Südseite muss verschattet und künstlich beleuchtet werden, weil sonst das Whiteboard nicht erkennbar ist. Weitere Ausführungen hierzu sind dem [Abschlussbericht 11](#) zu entnehmen.

Gut erkennbar sind in beide Räumen hingegen die Ferien.

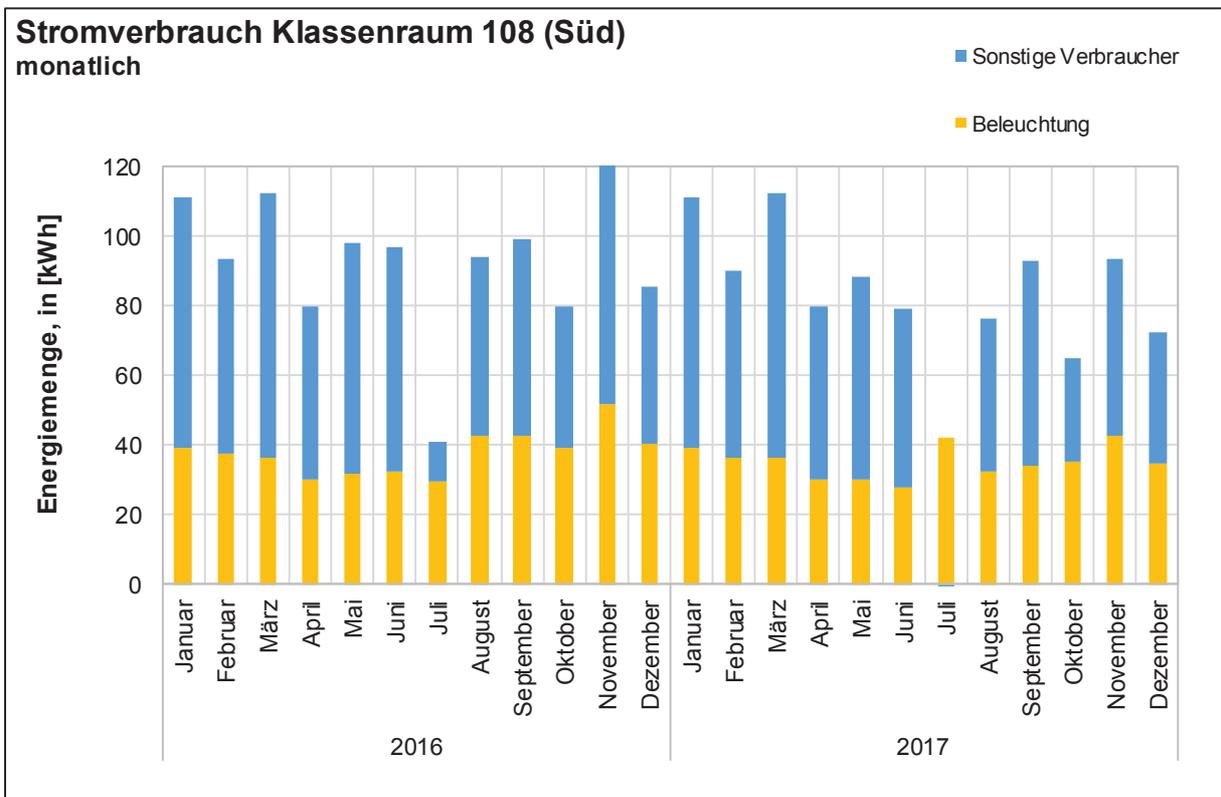


Abbildung 7-17: Monatsbilanz Stromverbrauch Klassenraum 1.08 – 2016/17

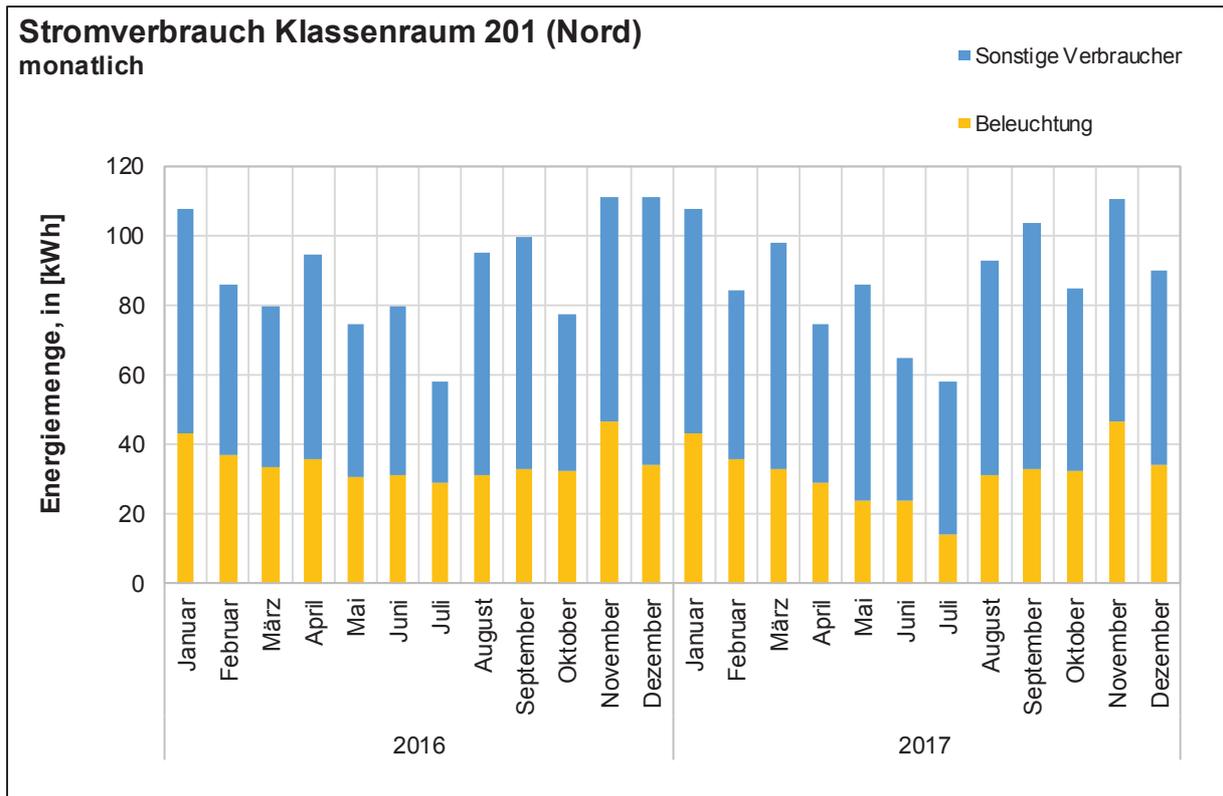


Abbildung 7-18: Monatsbilanz Stromverbrauch Klassenraum 2.01 – 2016/17

Lastverläufe

Abbildung 7-19 und Abbildung 7-20 zeigen die Lastverläufe der Jahre 2016 und 2017. Auffällig ist der relativ hohe Verbrauch, wenn kein Unterricht stattfindet. Im Raum 1.08 wurde die elektrische Leistung des Activeboards gemessen. Im Standby-Modus (Beamer aus) beträgt die Leistung 9,5 W und im laufenden Betrieb (Beamer an) beträgt die Leistung 235,5 W. Ein PC-Bildschirm hat eine Leistung von 0,3 W im Standby-Modus. Die Summe der bekannten Leistungen der Geräte, die sich im Standby-Modus befinden oder dauernd angeschaltet sind, beträgt somit knapp 20 W. Die Auswertung der Messdaten zeigt dagegen eine konstante Leistung von ca. 200 W.

Es muss daher von einem Messfehler ausgegangen werden, welcher bei der weiteren Analyse, z. B. der Erstellung der Monatsbilanz berücksichtigt wird. Eine Erläuterung der Korrektur ist in Kapitel 7.6 zu finden.

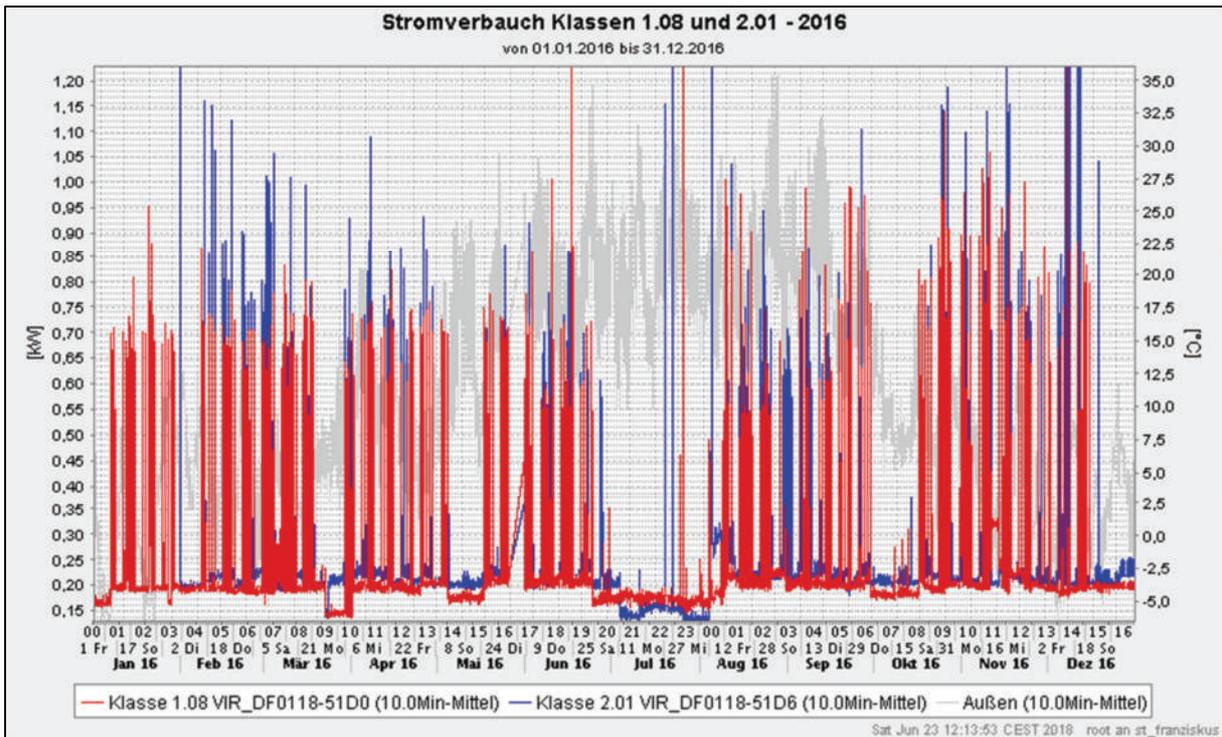


Abbildung 7-19: Verbrauchsverlauf – Klassenräume Unterzähler – 2016

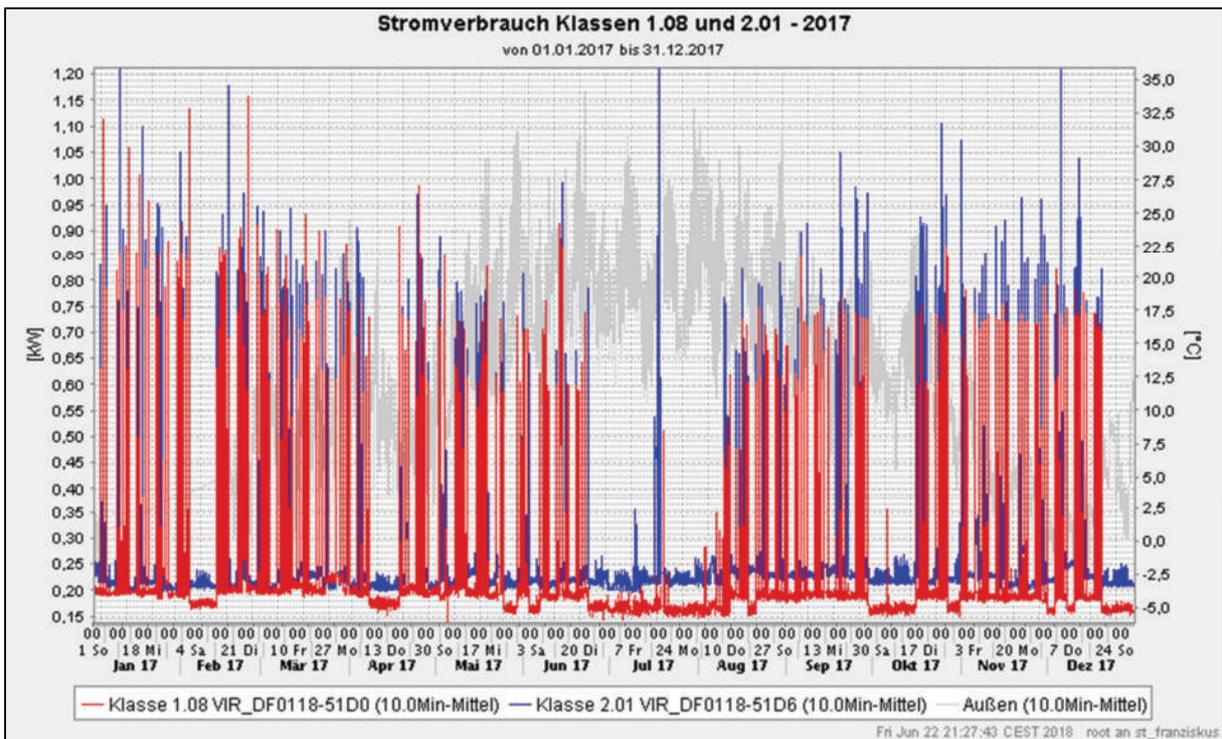


Abbildung 7-20: Verbrauchsverlauf – Klassenräume Unterzähler – 2017

Abbildung 7-21 und Abbildung 7-22 sowie Abbildung 7-23 und Abbildung 7-24 zeigen die Carpetplots für die beiden Räume. Die Anzeigegrenze wurde mit 250 W so hoch gewählt, dass ein deutliches Ergebnis für die Nutzungszeit erkennbar ist.

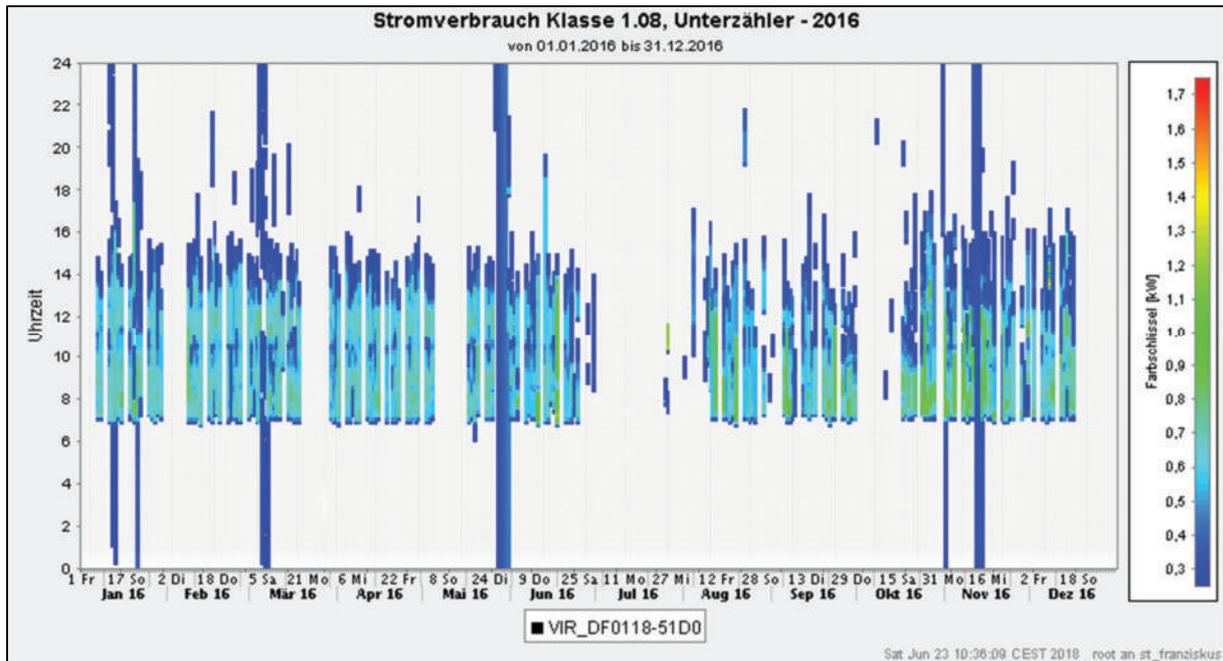


Abbildung 7-21: Carpetplot – Klassenraum 1.08 Unterzähler – 2016

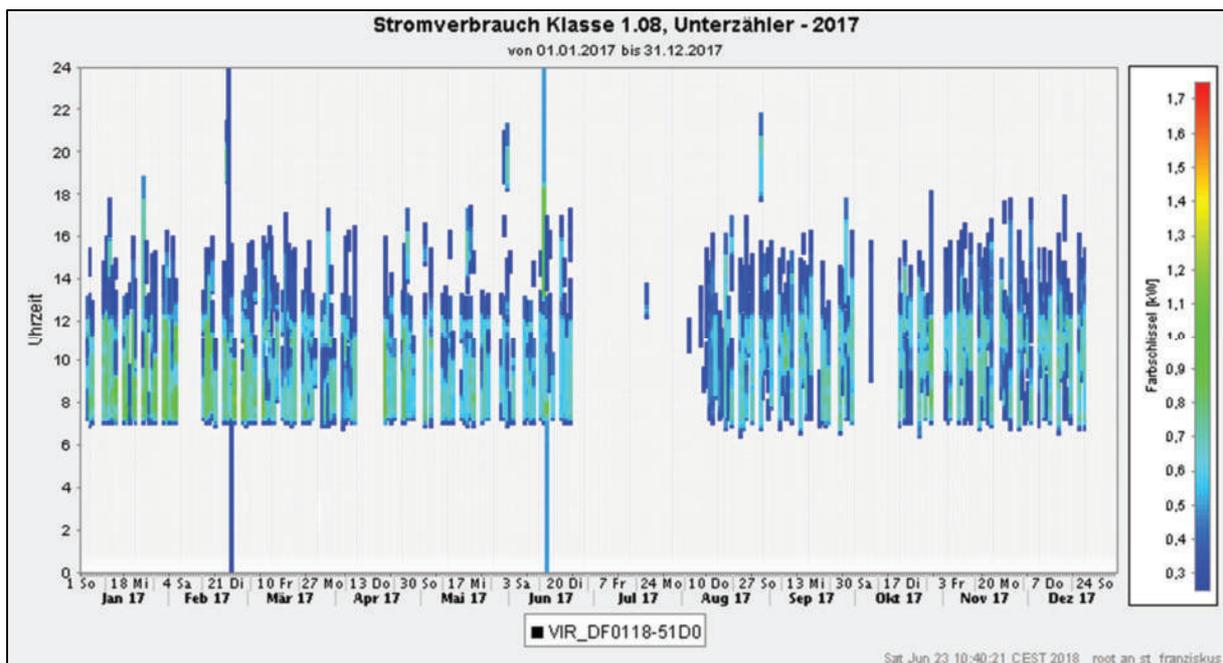


Abbildung 7-22: Carpetplot – Klassenraum 1.08 Unterzähler – 2017

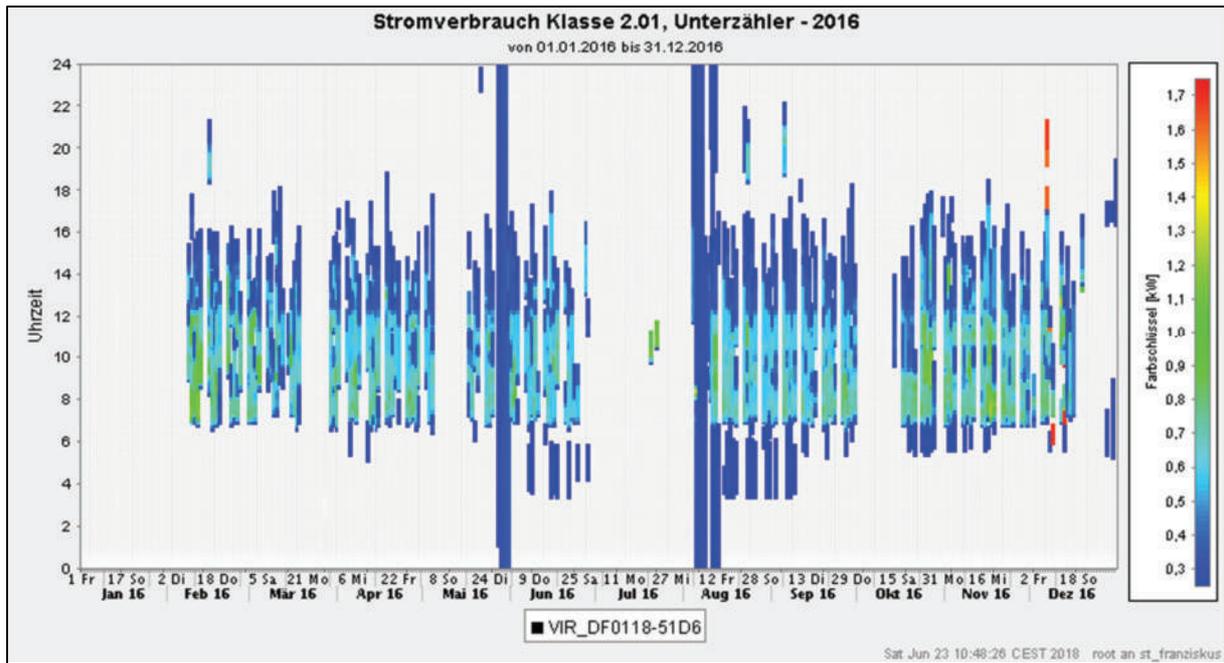


Abbildung 7-23: Carpetplot – Klassenraum 2.01 Unterzähler – 2016

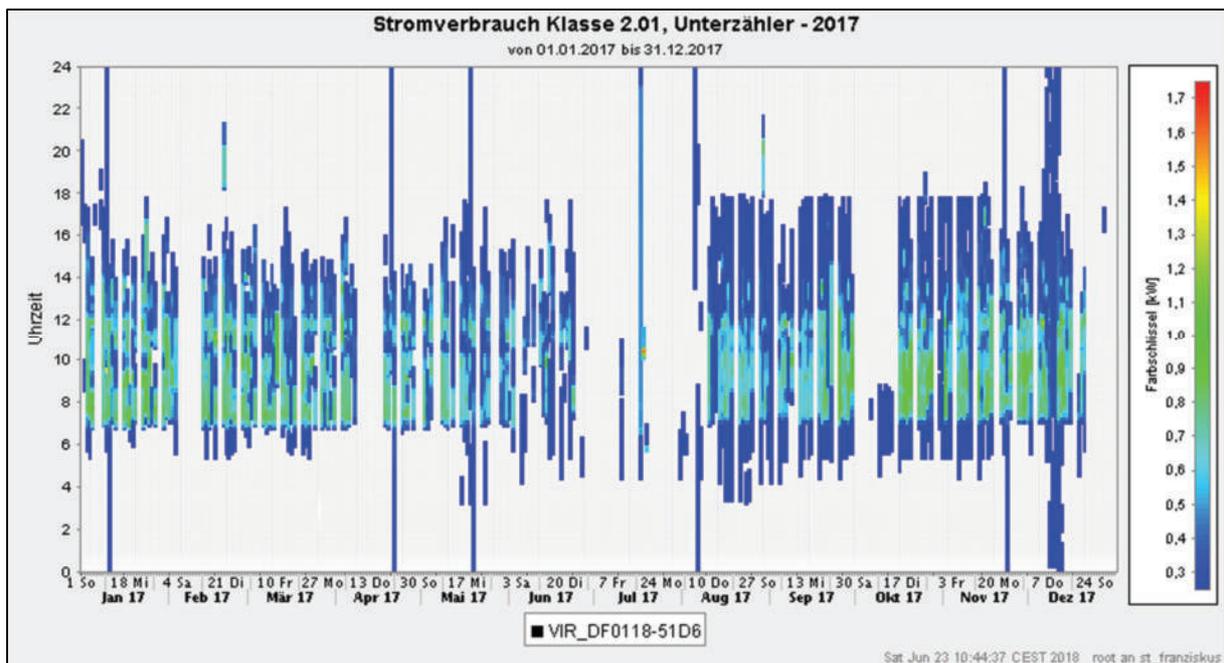


Abbildung 7-24: Carpetplot – Klassenraum 2.01 Unterzähler – 2017

Beispielhafte Betriebswochen

Abbildung 7-25 bis Abbildung 7-28 zeigen für 4 beispielhaft gewählte Betriebswochen den jeweiligen Leistungsverlauf. Die Außentemperatur ist mit eingetragen. Die Abschaltung der Beleuchtung in der großen Pause ist häufiger zu erkennen.

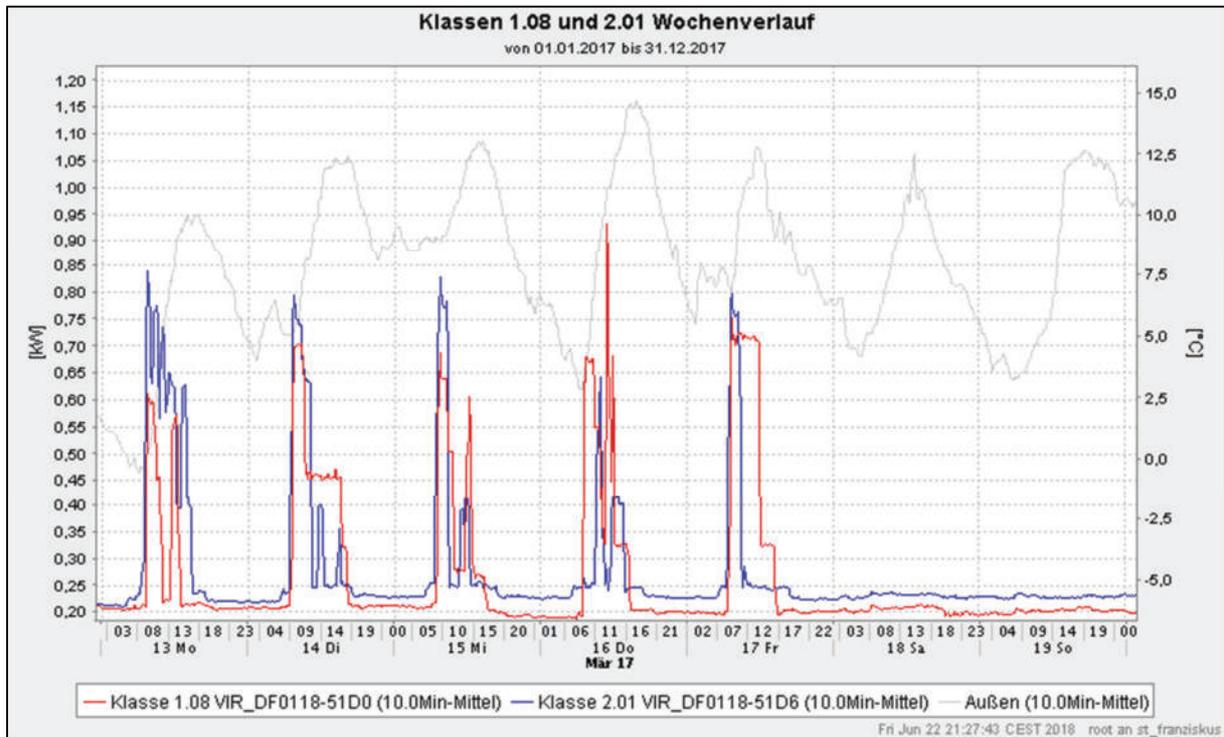


Abbildung 7-25: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Frühjahr

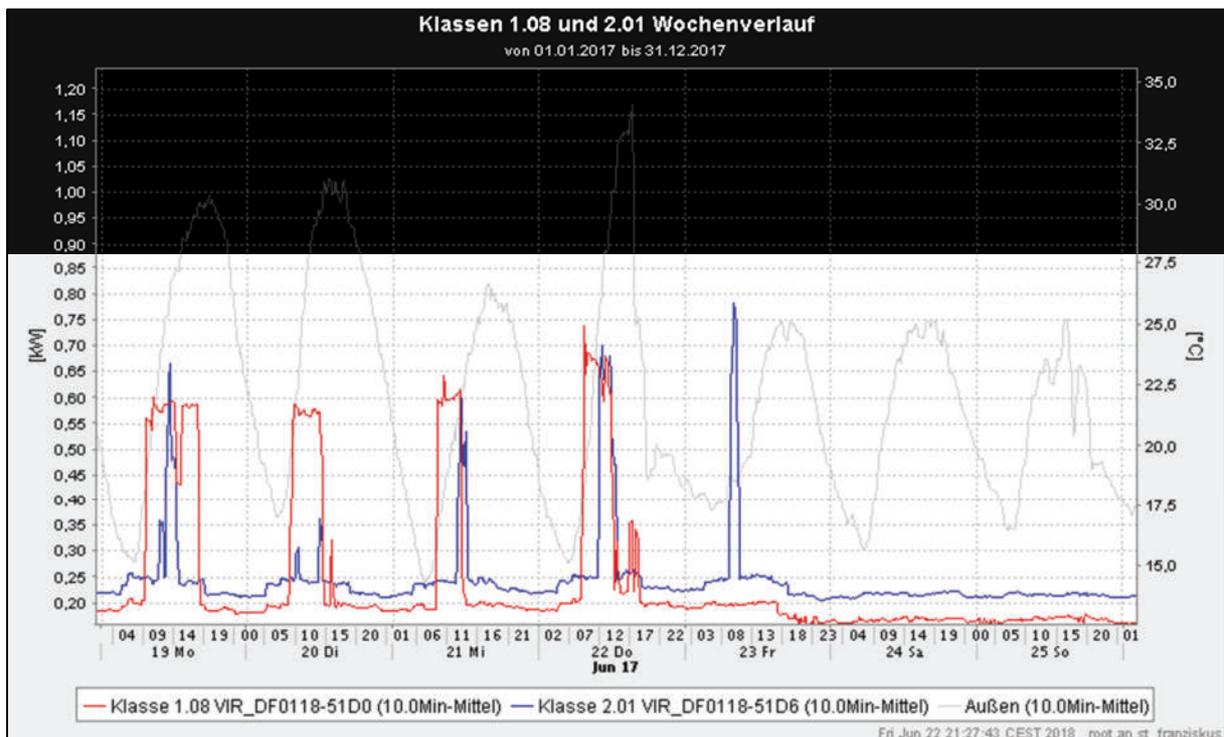


Abbildung 7-26: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer

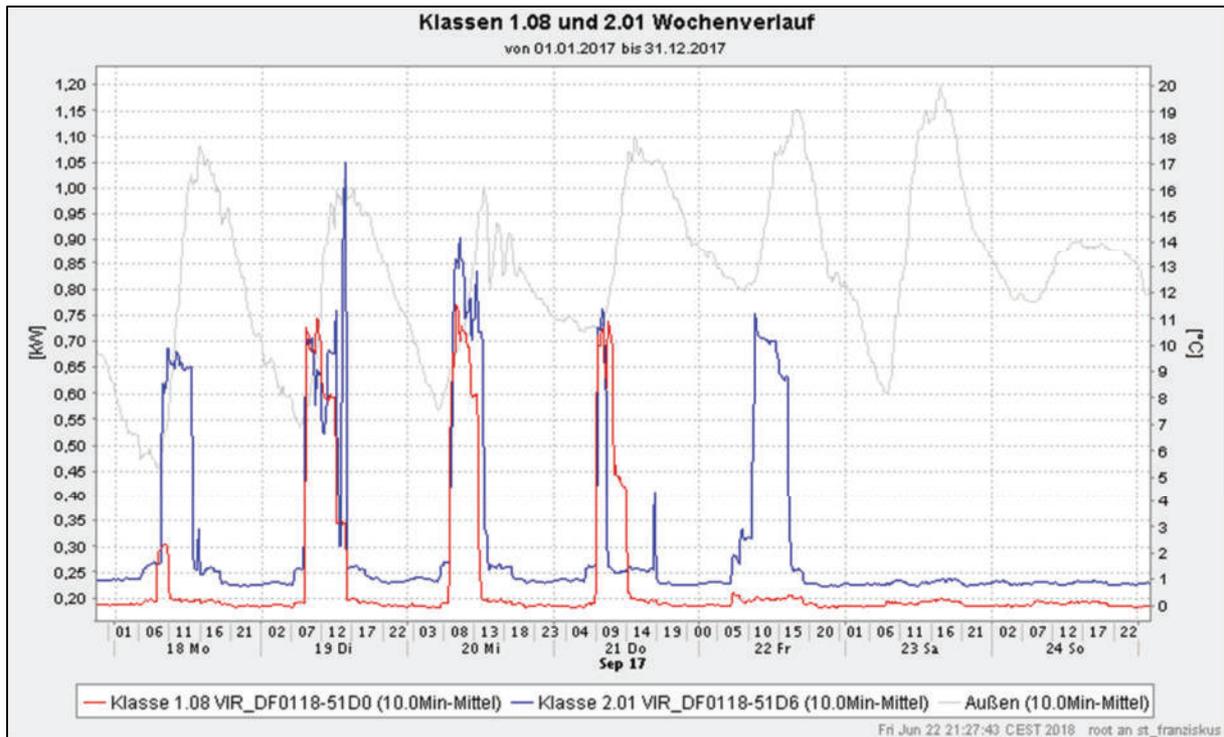


Abbildung 7-27: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst

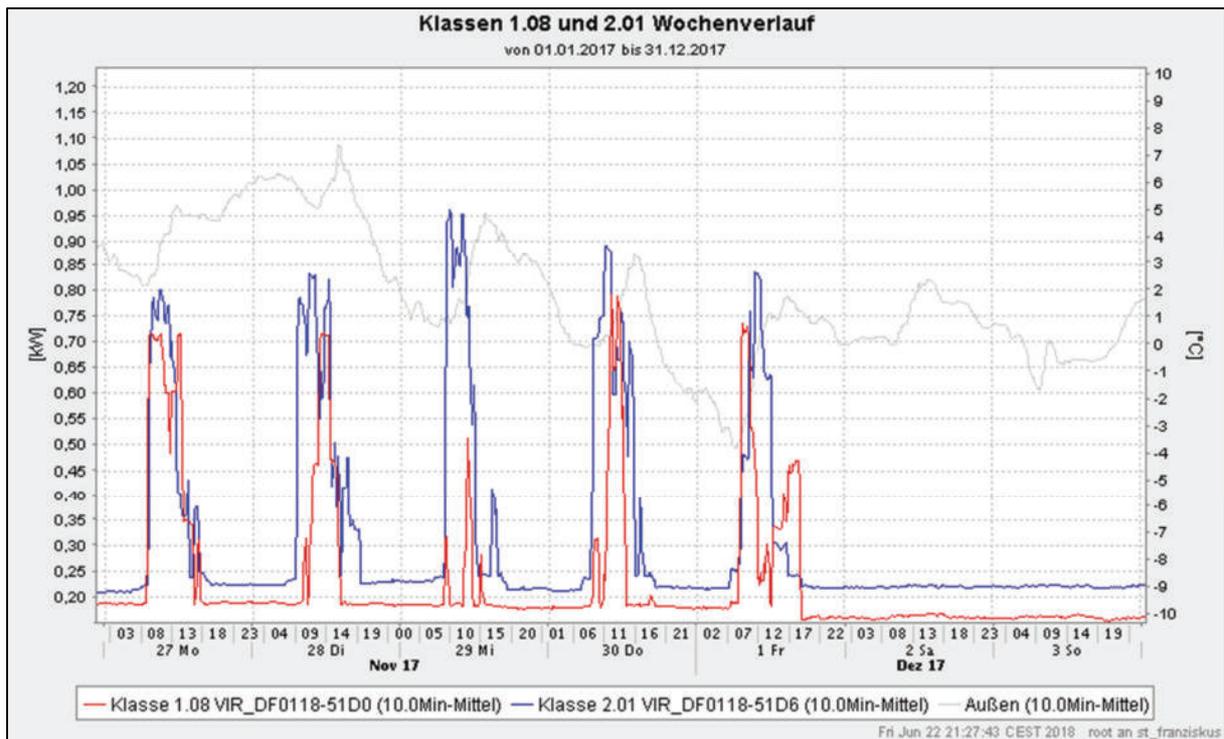


Abbildung 7-28: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Winter

7.2.3 Hausmeisterwohnung

Energiebilanz

Die Energiebilanz der Hausmeisterwohnung kann Abbildung 7-29 entnommen werden. Der mittlere Jahresenergieverbrauch liegt bei 5,6 MWh/a. Davon entfallen 10 % auf die elektrische Trinkwarmwassernachheizung, 17 % auf die Lüftung, 23 % auf Heizung und 50 % auf den Anwendungsstromverbrauch. Der Heizungsanteil wurde mit der Außentemperaturabhängigen Auftragung der Messwerte bestimmt.

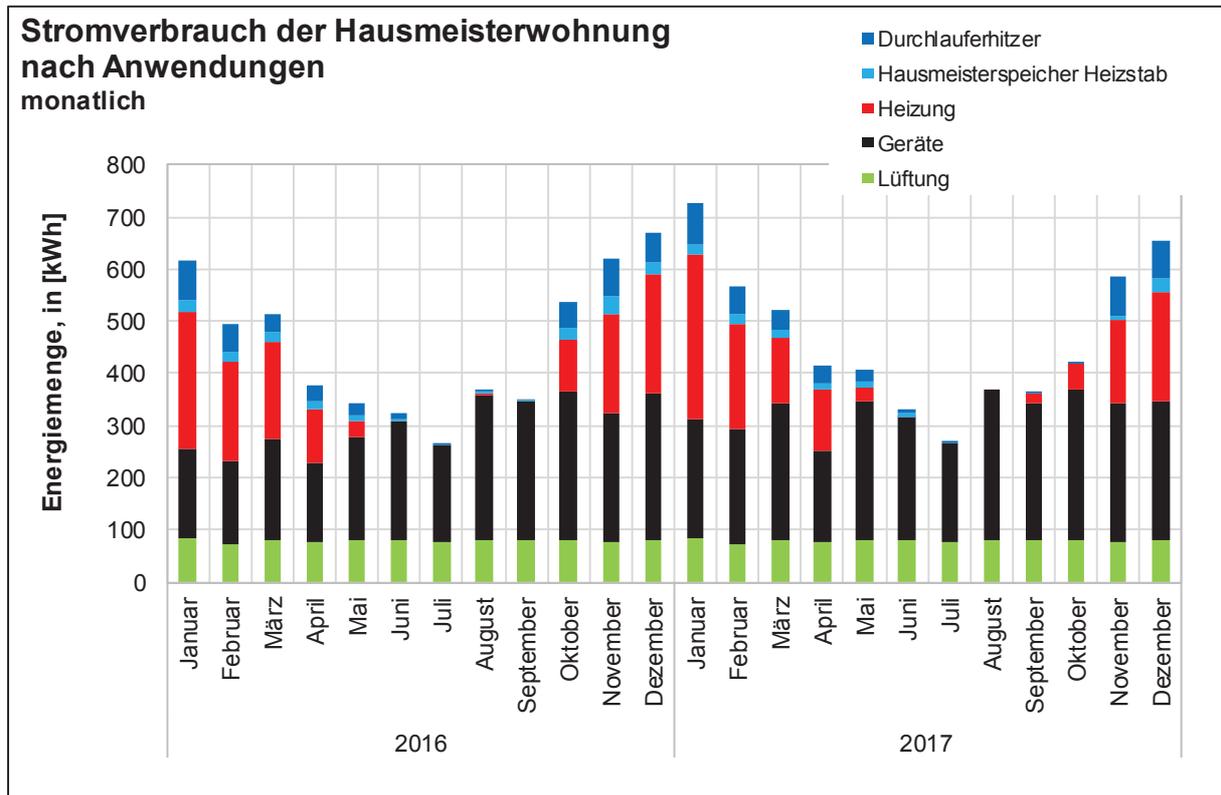


Abbildung 7-29: Monatsbilanz Stromverbrauch der Hausmeisterwohnung – 2016/17

In allen genannten Rubriken sind sehr niedrige Kennwerte erreicht worden. Der Stromverbrauch der nutzungsbedingten Anwendungen (Telefon, Licht usw.) liegt unter dem Bundesdurchschnitt und entspricht eher dem Wert einer 3-köpfigen Familie.

Lastverläufe

Abbildung 7-30 und Abbildung 7-31 zeigen die Lastverläufe. Die Abwesenheitszeiten der Nutzer sind erkennbar. Abbildung 7-32 und Abbildung 7-33 zeigen die zugehörigen Carpetplots. In diesen sind alle Werte unter 1 kW Dauerleistung ausgeblendet, so dass gut die Heizperiode von November bis März erkennbar ist. In dieser Zeit ist auch nachts ein höherer Verbrauch zu erkennen.

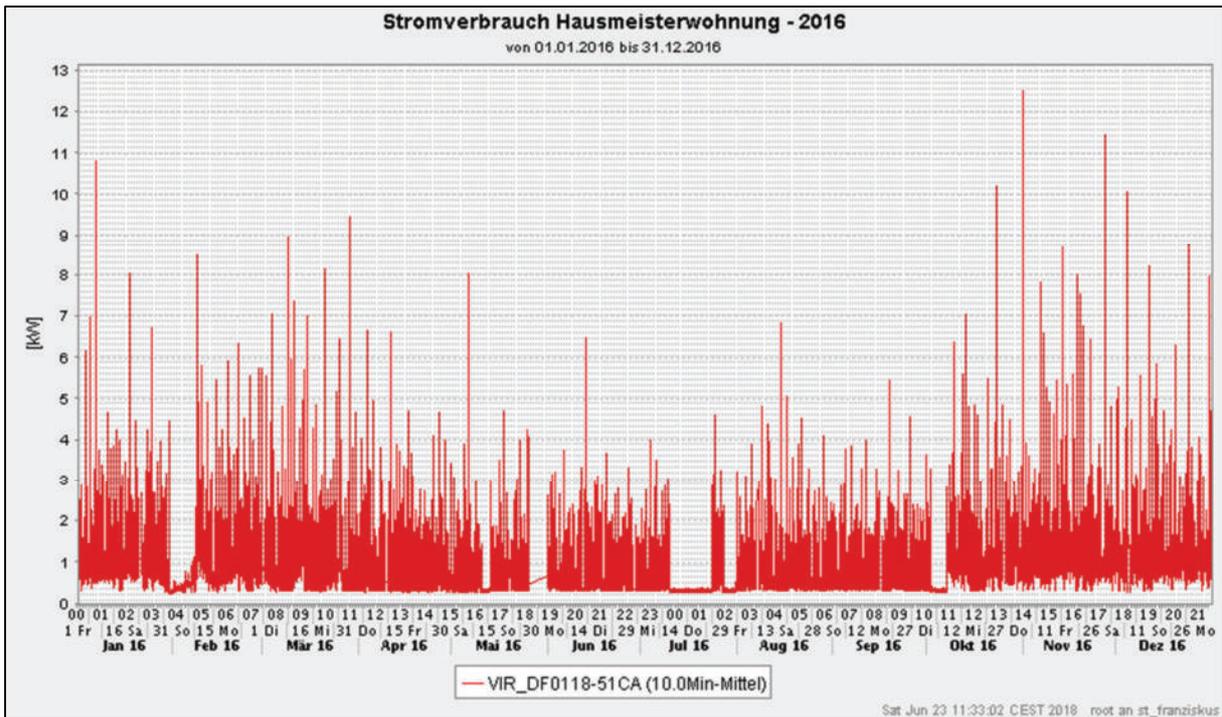


Abbildung 7-30: Verbrauchsverlauf – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2016

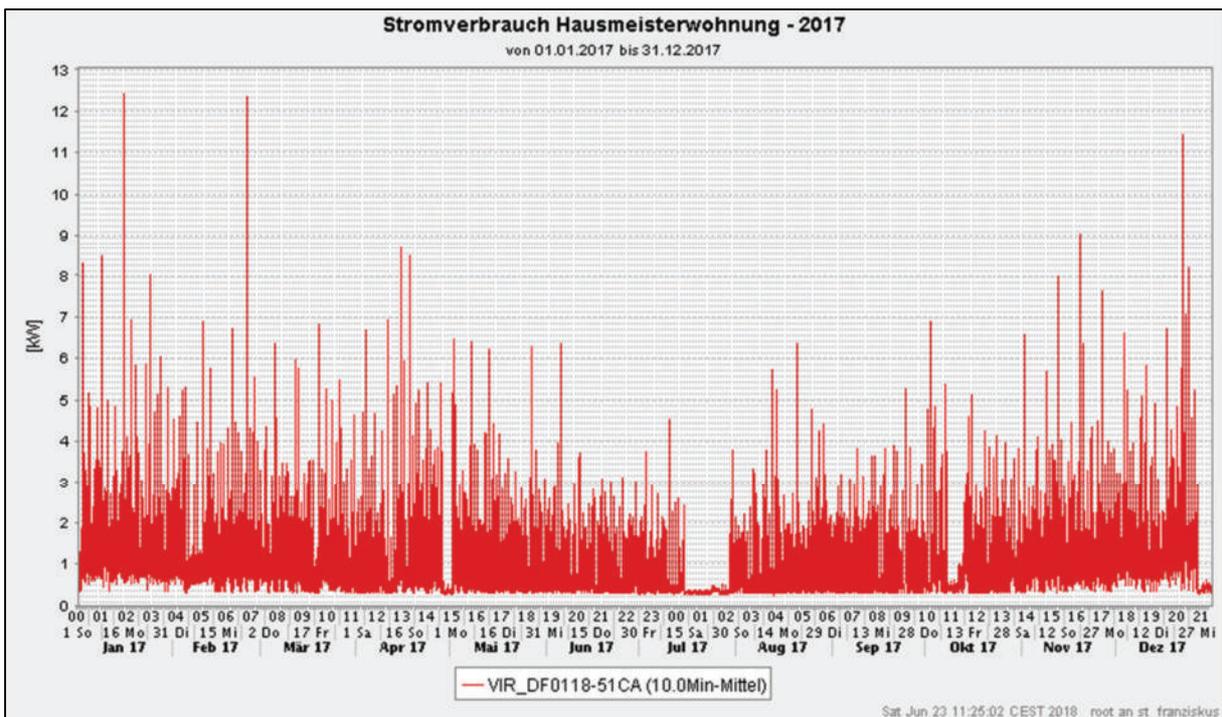


Abbildung 7-31: Verbrauchsverlauf – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2017

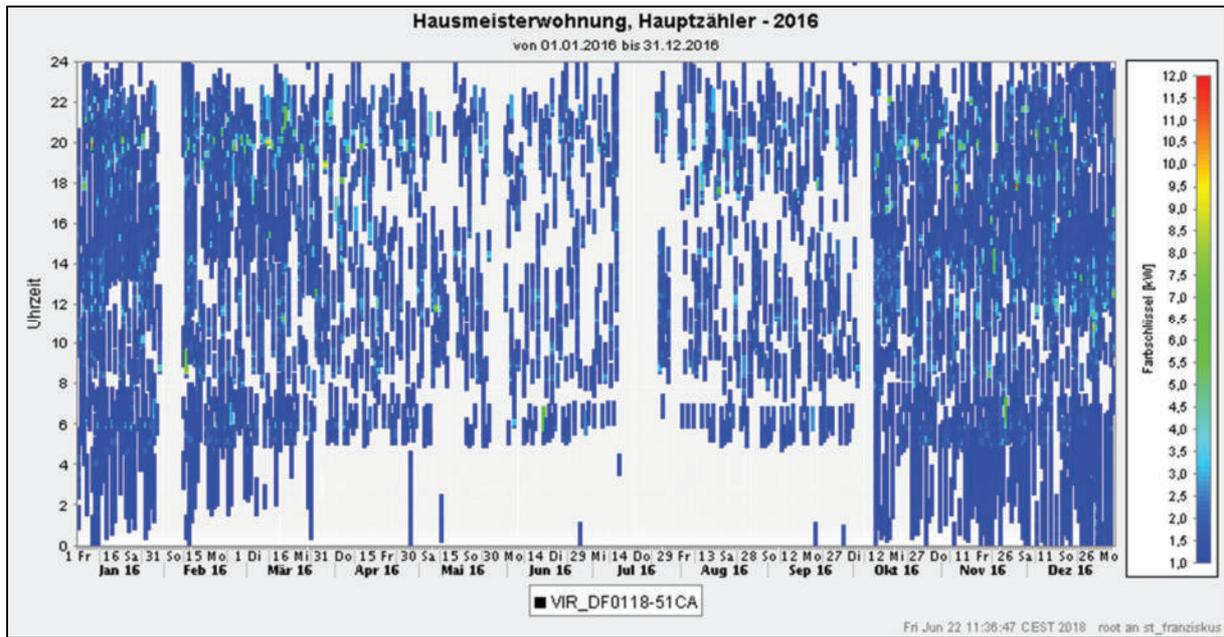


Abbildung 7-32: Carpetplot – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2016

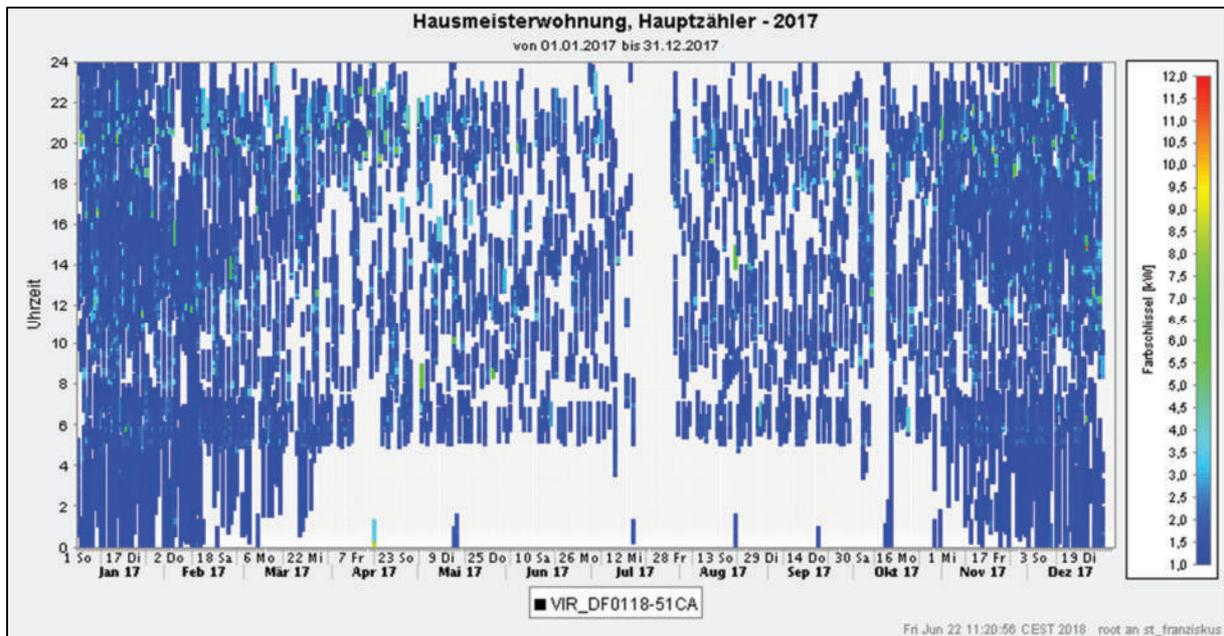


Abbildung 7-33: Carpetplot – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2017

Beispielhafte Betriebswochen

In Abbildung 7-34 bis Abbildung 7-37 sind vier beispielhafte Betriebswochen aller 4 Jahreszeiten aufgetragen. Während im Sommer die Grundlast unter 0,5 kW liegt, ist im Winter etwa 1 kW zu verzeichnen. Ansonsten zeigt sich der übliche Tagesablauf einer vierköpfigen Familie.

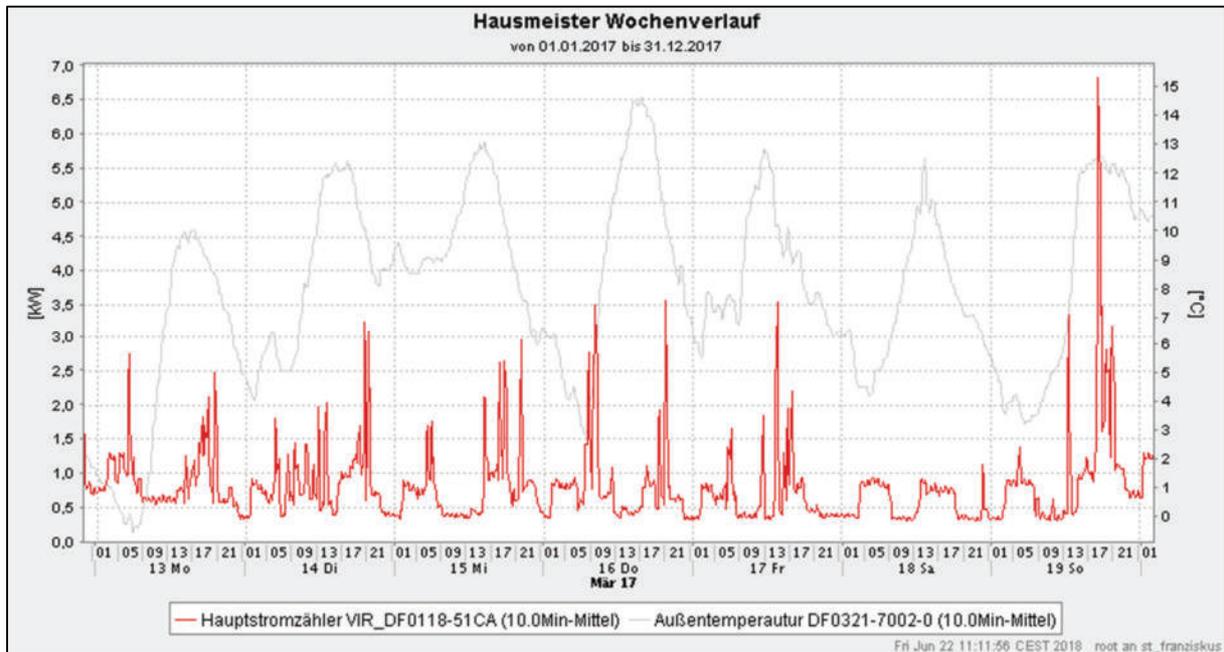


Abbildung 7-34: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling

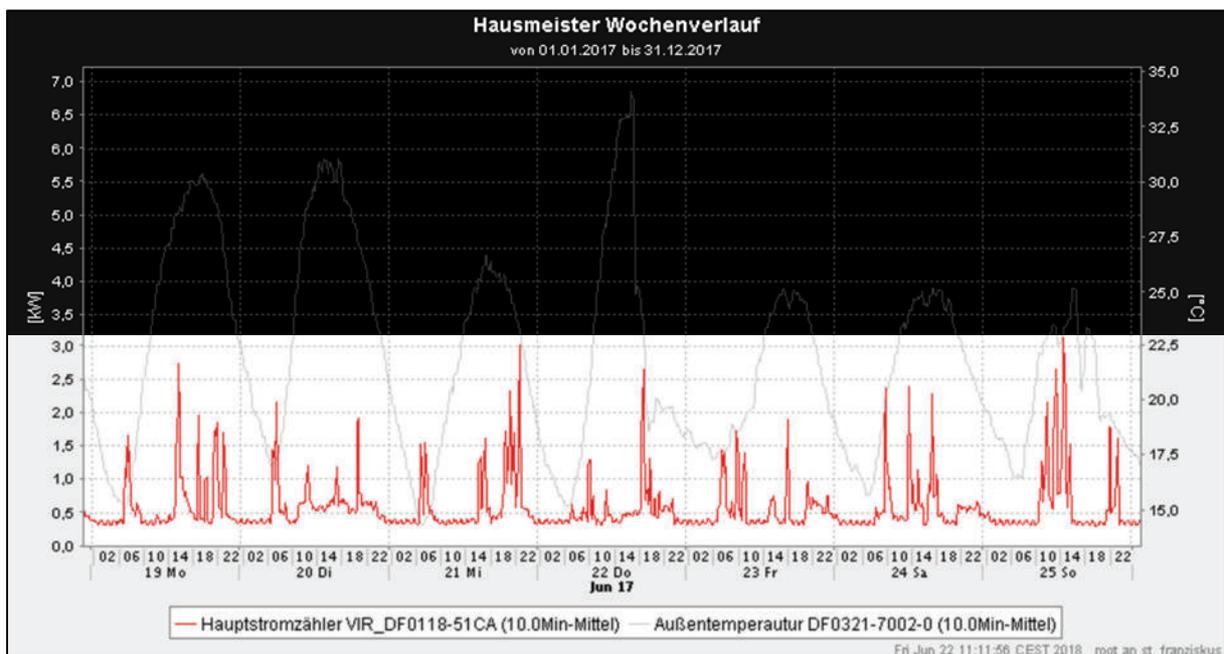


Abbildung 7-35: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer

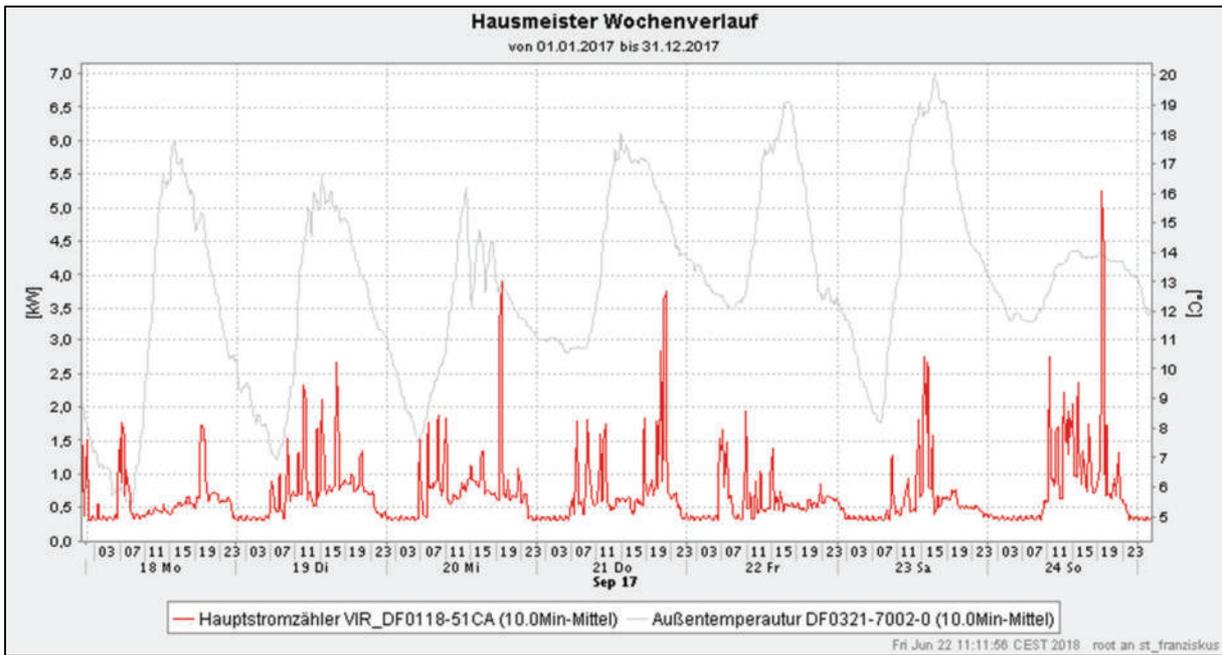


Abbildung 7-36: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst

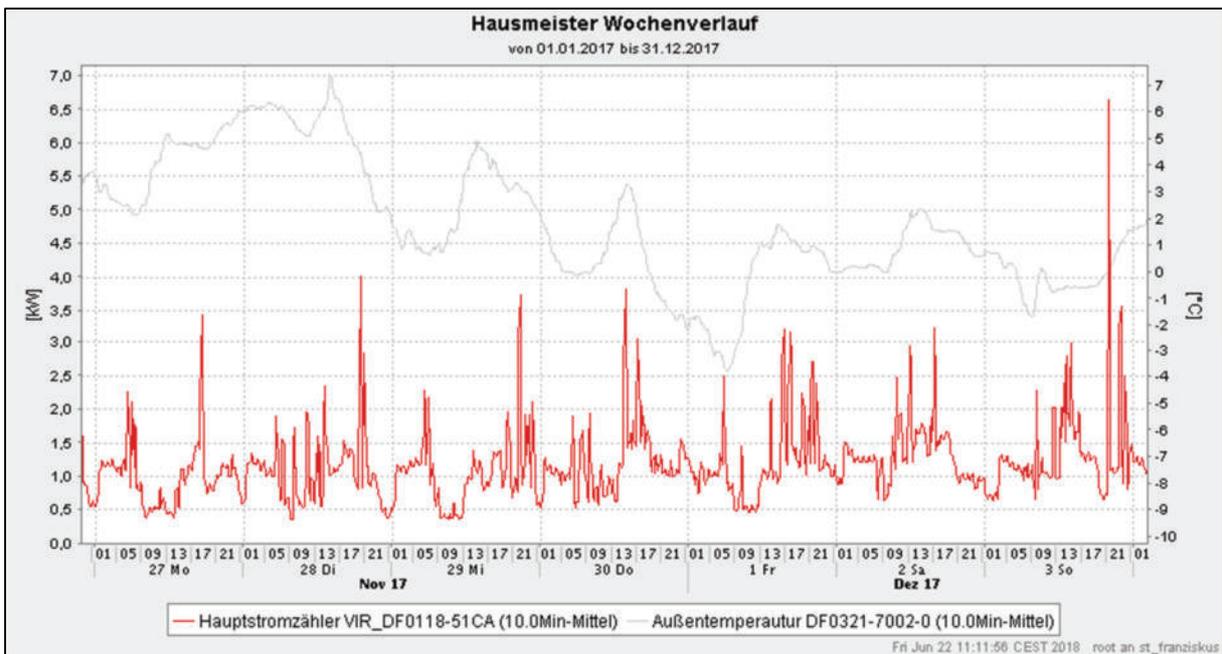


Abbildung 7-37: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Winter

Energieanalyse aus dem Verbrauch

Abbildung 7-38 zeigt die Energieanalyse aus dem Verbrauch, d. h. die Auftragung der Stromverbräuche über der Außentemperatur. Oberhalb von etwa 14°C ist kein witterungsabhängiger Verbrauch mehr feststellbar. Weitere Interpretationen zu diesem Thema sind dem Abschlussbericht 9 zu entnehmen.

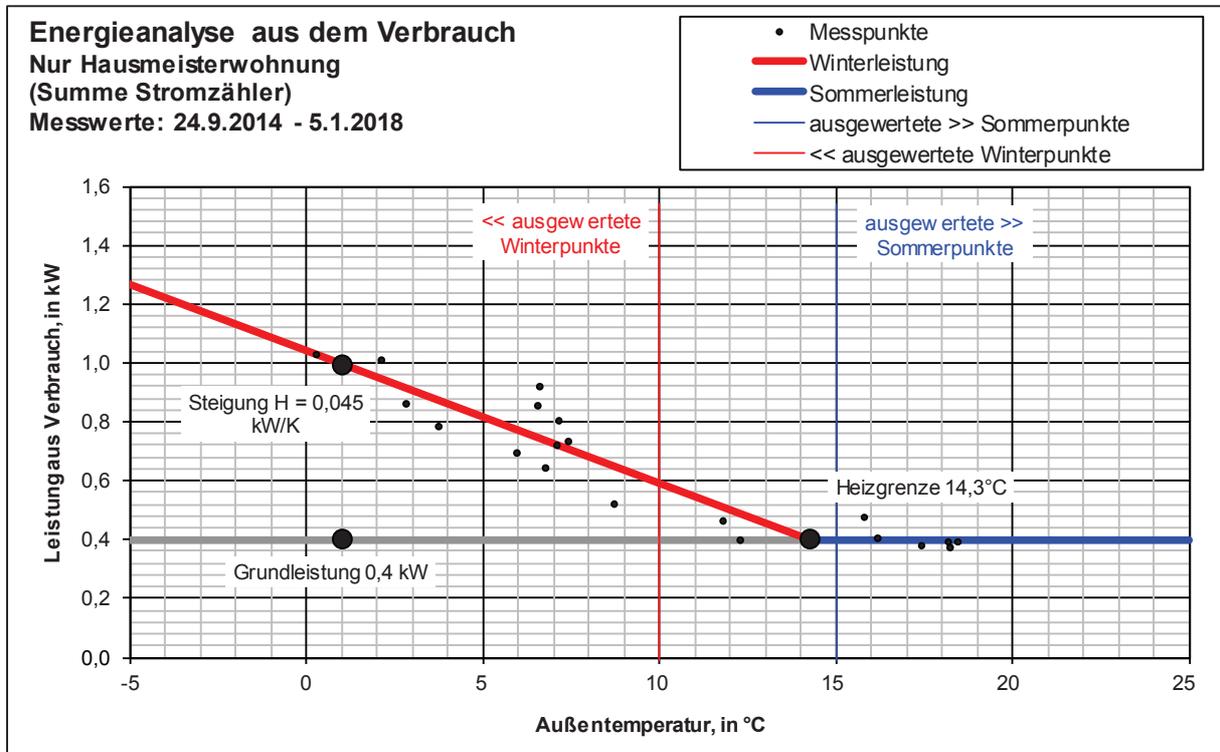


Abbildung 7-38: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Hausmeister – Gesamtstromverbrauch

7.2.4 Küchenbetrieb

Abbildung 7-39 und Abbildung 7-40 zeigen die beiden Großverbrauchereinheiten der Küche: den zentralen Küchenblock mit 2 Kombidämpfern und einer Kippbratpfanne sowie die Spülmaschine. Über beiden Modulen ist jeweils die zugehörige Lüftungsanlage angeordnet.



Abbildung 7-39: Küchengroßgeräte – Kombidämpfer, Kippbratpfanne, Kochhaube



Abbildung 7-40: Küchengroßgeräte – Spülmaschine, Spülhaube

Darüber hinaus gibt es auch kleinere Geräte mit untergeordnetem Stromverbrauch: Warmhaltebecken für das Essen, Tellerwärmer und ein haushaltsüblicher Ceranherd, siehe Abbildung 7-41. Die Küchentechnik weist diverse zentrale Anschlusschränke mit Regelung und Messtechnik auf, u. a. die Fettabscheidertechnik, welche auch außerhalb der Betriebszeit Standbyverbrauch aufweist, siehe Abbildung 7-42.



Abbildung 7-41: Küchengeräte – Warmhaltebecken, Tellerwärmer, Herd mit Backofen

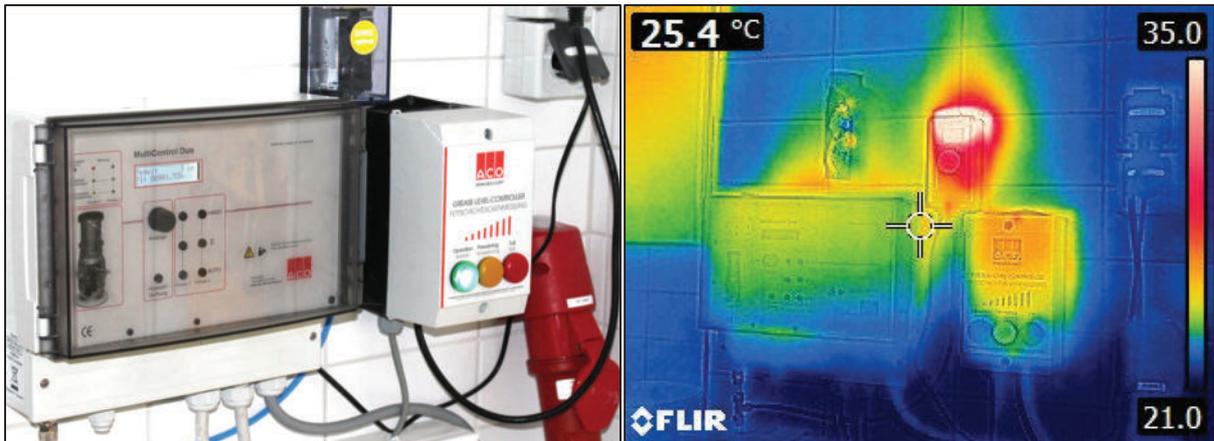


Abbildung 7-42: Regelung des Fettabscheiders mit Thermographie

Die Spülmaschine erhält vorgeheiztes Warmwasser aus dem Pufferspeicher, siehe 7.2.10. Jedoch ergibt sich zusätzlich ein Nachheizbedarf.

Für den eigentlichen Waschvorgang wird eine Temperatur von ca. 55 ... 60°C benötigt, danach wird das Geschirr mit ca. 85°C warmen Wasser nachgespült. Um dies zu erreichen, gibt es in der Maschine einen Boiler, der das 85°C warme Wasser zur Verfügung stellt und einen Tank, in dem das ca. 55 ... 60°C warme Wasser für den Waschvorgang lagert. Beide haben grundsätzlich eine elektrische Heizfunktion, jedoch wird diese nur aktiviert, wenn Nachheizbedarf besteht. Beim Einschalten des Gerätes wird der ca. 20 Liter fassende Tank bis zum Erreichen des Füllstandes gefüllt und dann mittels elektrische Tankheizung in Bereitschaft gehalten. Der Boiler bleibt mit 85°C Wasser gefüllt im Standby. Allerdings kann trotzdem nicht 85°C warmes Wasser direkt aus der Solarthermie getankt werden, denn das Waschergebnis wird bei zu hohen Temperaturen schlechter.

Eine weitere Beschreibung der Funktionsweise und Eigenschaften der Küchengeräte ist dem [Abschlussbericht 2](#) zu entnehmen.

Energiebilanz

Abbildung 7-43 zeigt die detaillierte Energiebilanz der Küche. Die Kühlzellen, RLT-Anlagen und Trinkwassererwärmung werden separat beschrieben. Der sonstige Verbrauch ergibt sich aus dem eigentlichen Kochen. In den Zeiten der Sommerferien ist er sehr gering. Zum 01.08.2017 hat ein neuer Pächter die Küche übernommen. Er betreibt keine Kochküche mehr, sondern in weiten Teilen eine Aufwärmküche.

Die Jahresbilanz für den ersten Pächter ergibt einen Gesamtverbrauch von etwa 27,6 MWh/a für Strom. Davon entfallen ca. 27 % auf die Kühlung, 11 % auf die Trinkwassererwärmung, 12 % auf die RLT und 50 % auf den eigentlichen Kochbetrieb sowie andere Anwendungen (z. B. Beleuchtung).

Die Hochrechnung für den neuen Pächter ergibt einen deutlich geringeren Gesamtverbrauch von nur noch 19,1 MWh/a. Die Verbrauchsanteile verschieben sich. Alle Aufwendungen, die mit dem Kochvorgang verbunden sind, nehmen anteilig ab. Für den neuen Pächter entfallen ca. 40 % auf die Kühlung, 3 % auf die Trinkwassererwärmung, 22 % auf die RLT und 35 % auf den eigentlichen Kochbetrieb sowie andere Anwendungen (z. B. Beleuchtung).

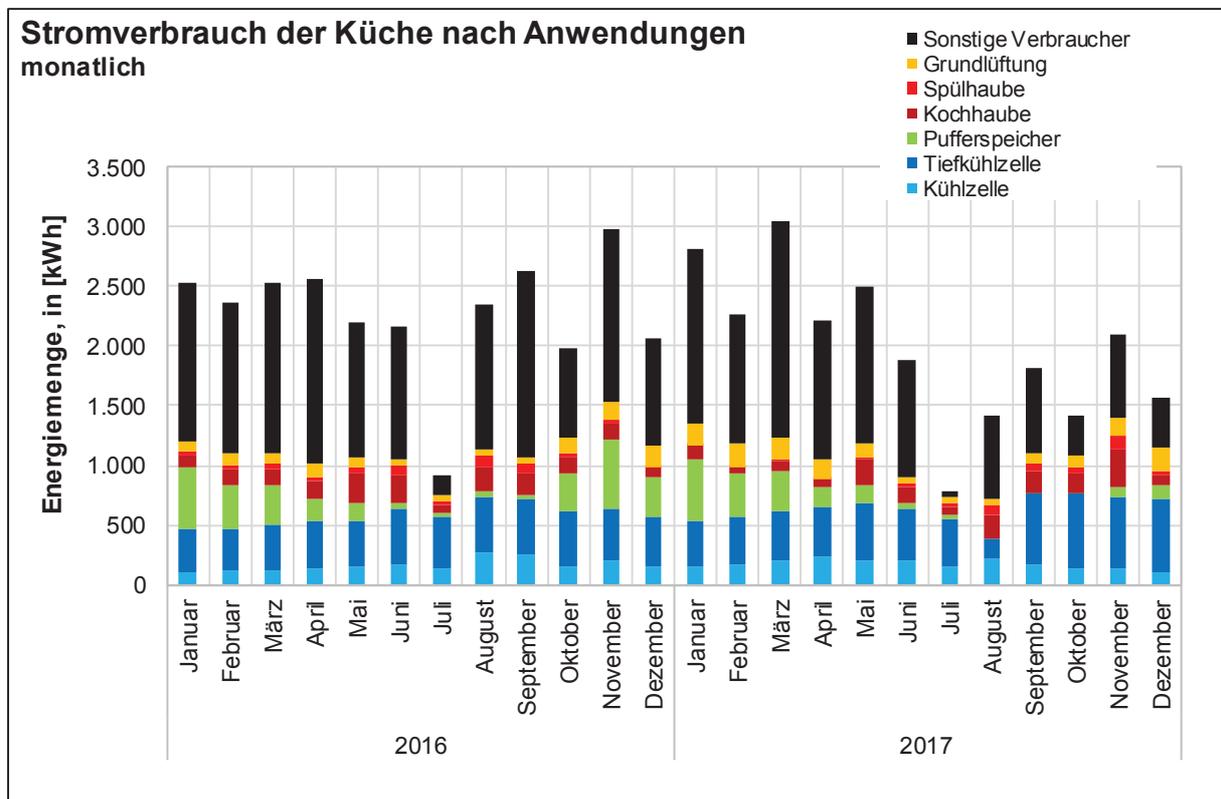


Abbildung 7-43: Monatsbilanz Küchenbetrieb – 2016/17

Lastverläufe

Abbildung 7-44 und Abbildung 7-45 zeigen die Carpetplots des Küchenverbrauchs. Eine Umrechnung in eine mittlere Leistung ergibt sich durch die Multiplikation mit dem Faktor 6. Ausgeblendet wurden alle Werte unter 0,5 kWh in 10 min. So kann der Grundlastbezug von der eigentlichen Nutzung separiert werden. Das entspricht einer Dauerleistung von:

$$\dot{Q} = 0,5 \text{ kWh} / (1/6\text{h}) = 6 \cdot 0,5 \text{ kW} = 3 \text{ kW}.$$

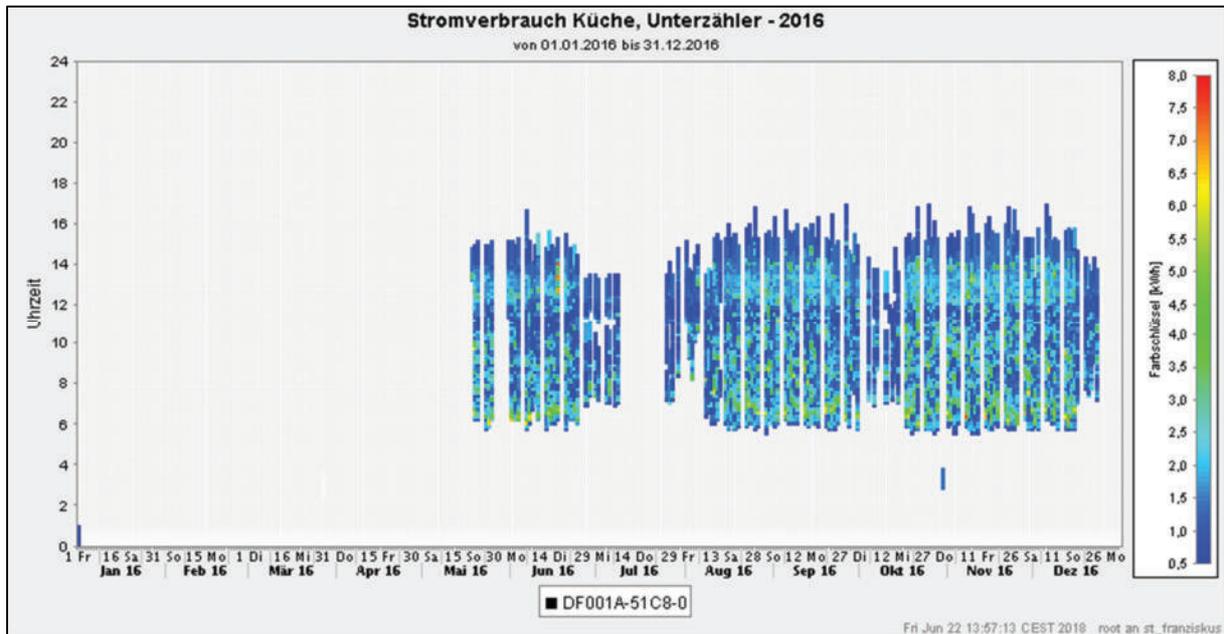


Abbildung 7-44: Carpetplot – Küche Unterzähler Stromverbrauch – 2016

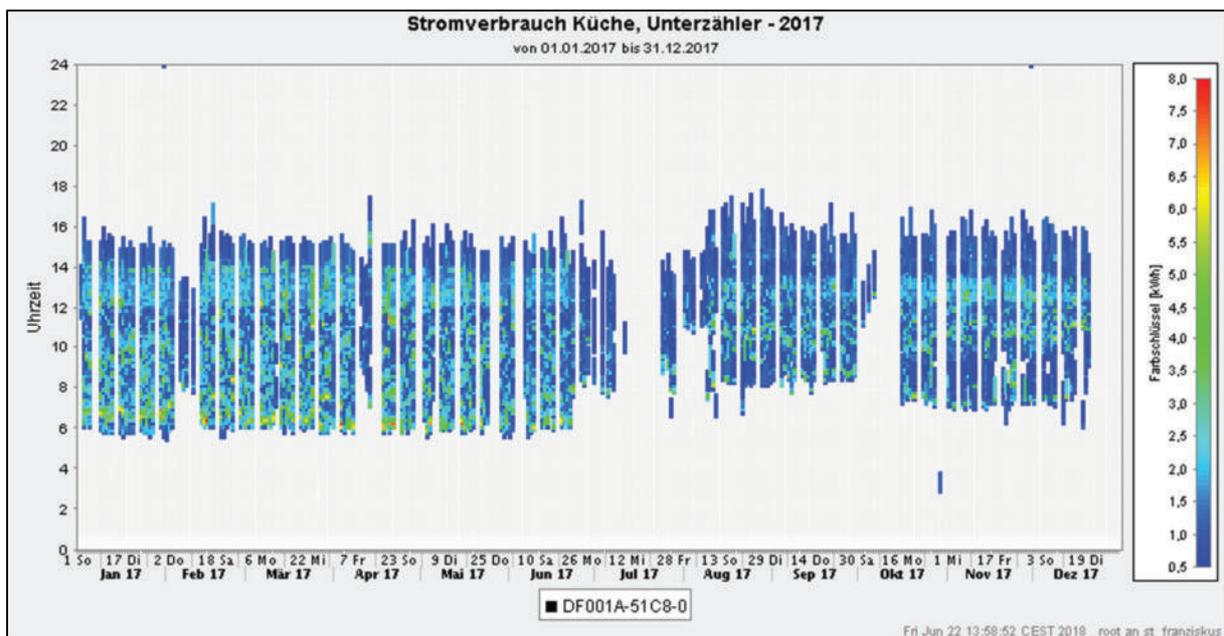


Abbildung 7-45: Carpetplot – Küche Unterzähler Stromverbrauch – 2017

Unter Annahme, dass am Wochenende und an Feiertagen kein Küchenbetrieb aufgenommen wird, ist der Stromverbrauch an diesen Tagen maßgeblich durch einen sogenannten fixen Verbrauch bestimmt, der auch dann auftritt, wenn keine Zubereitung von Essen anfällt. Dies betrifft vor allem die Kühl- und Tiefkühlanlage mit Türrahmenheizung und einen eventuellen Standbybetrieb der Küchengeräte.

Beispielhafte Betriebswochen

Abbildung 7-46 zeigt eine typische Schulwoche unter dem ersten Pächter. Abbildung 7-47 liefert die Zahlen für den zweiten Pächter. Es sind einerseits geringere Lastspitzen zu erkennen, andererseits auch andere Abläufe. Der Verbrauch verschiebt sich insgesamt mehr in den Nachmittag.

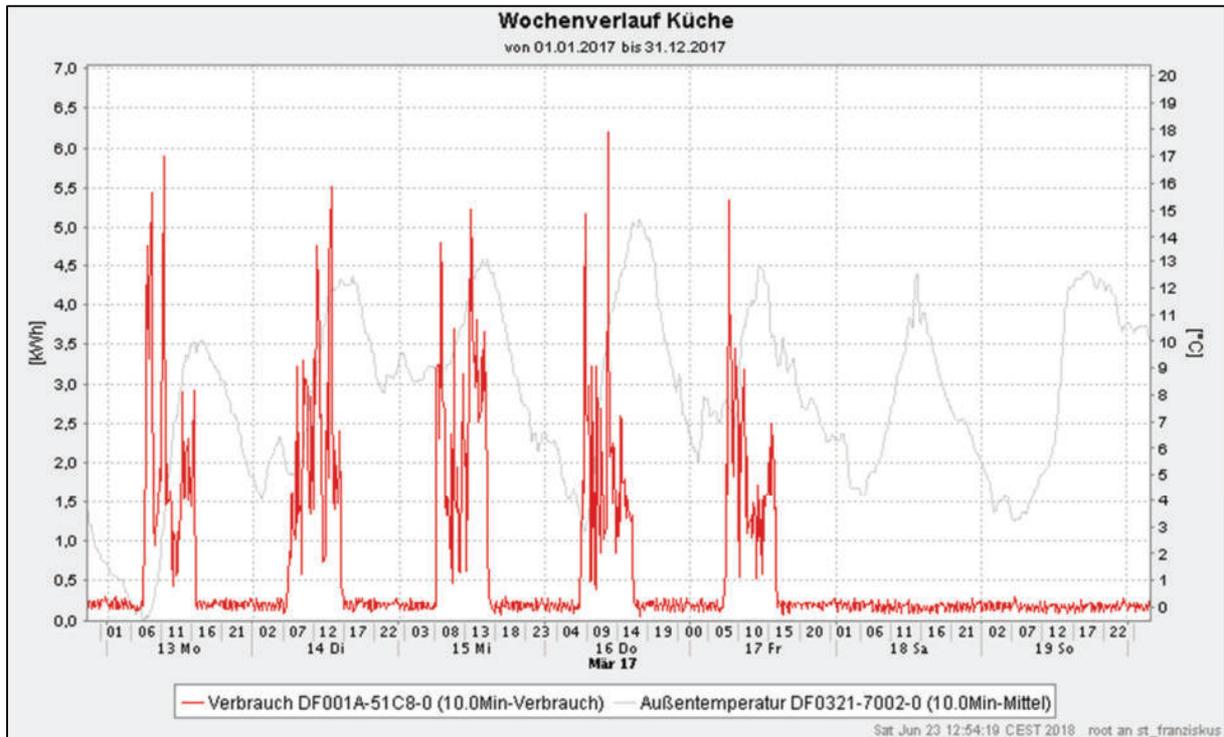


Abbildung 7-46: Küche – beispielhafter Wochenverlauf – Schulwoche erster Pächter

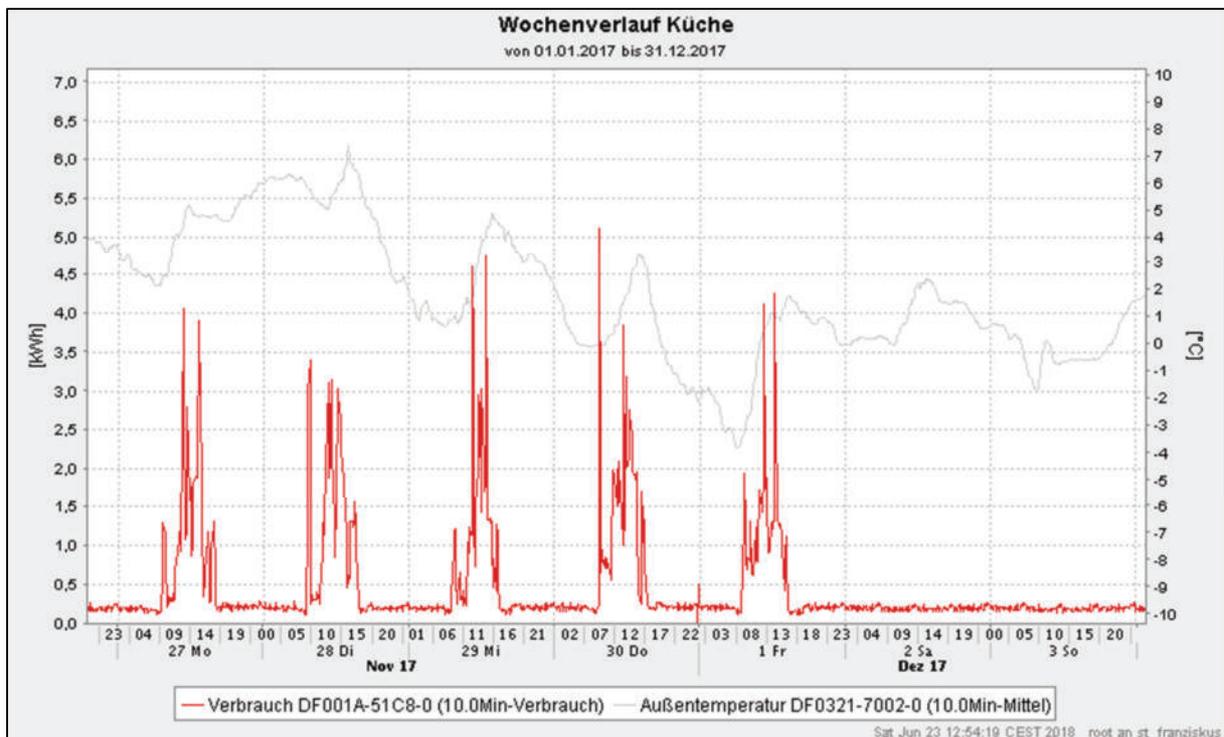


Abbildung 7-47: Küche – beispielhafter Wochenverlauf – Schulwoche zweiter Pächter

Zum Vergleich zeigt Abbildung 7-48 den Wochenverlauf für eine Ferienhortwoche.

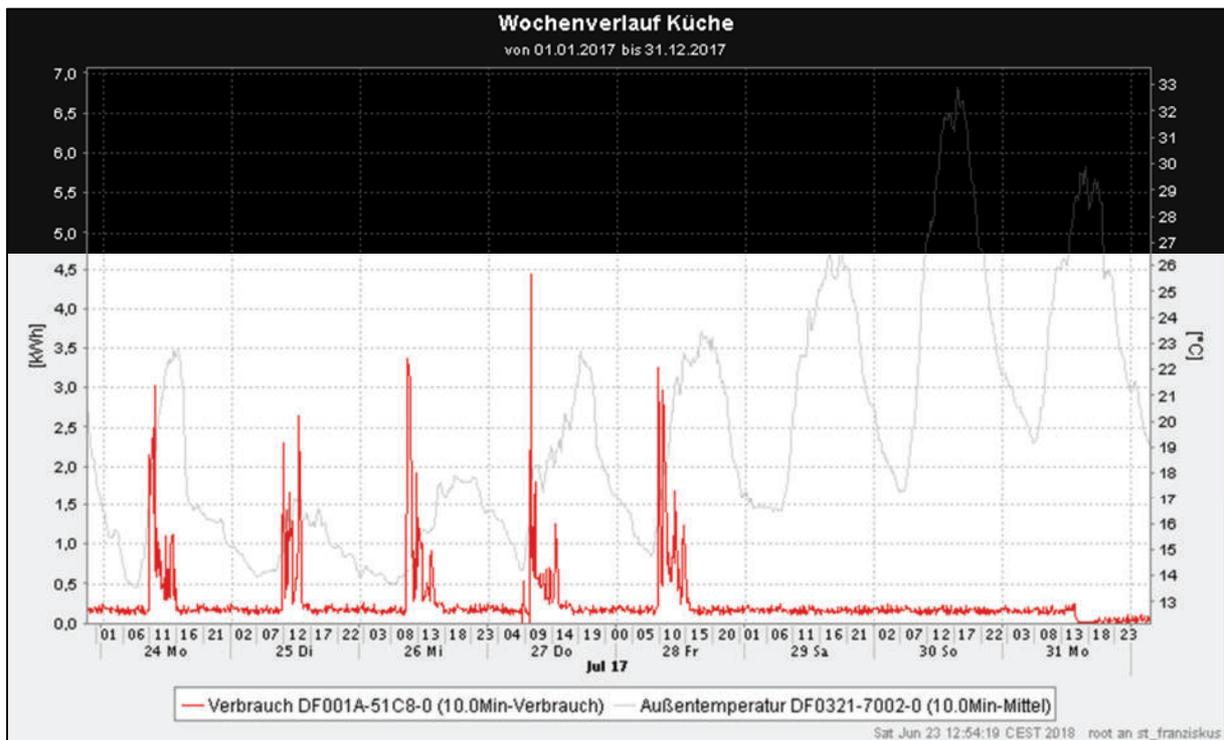


Abbildung 7-48: Küche – beispielhafter Wochenverlauf – Ferienhortwoche erster Pächter

Abbildung 7-49 und Abbildung 7-50 stellen zwei beispielhaft gewählte Schultage für beide Pächter in besserer Auflösung gegenüber. Die Absolutwerte dürfen nicht überinterpretiert werden, denn sie ergeben sich auch aus der Art des Essens. Allerdings ist die andere Küchenart erkennbar.

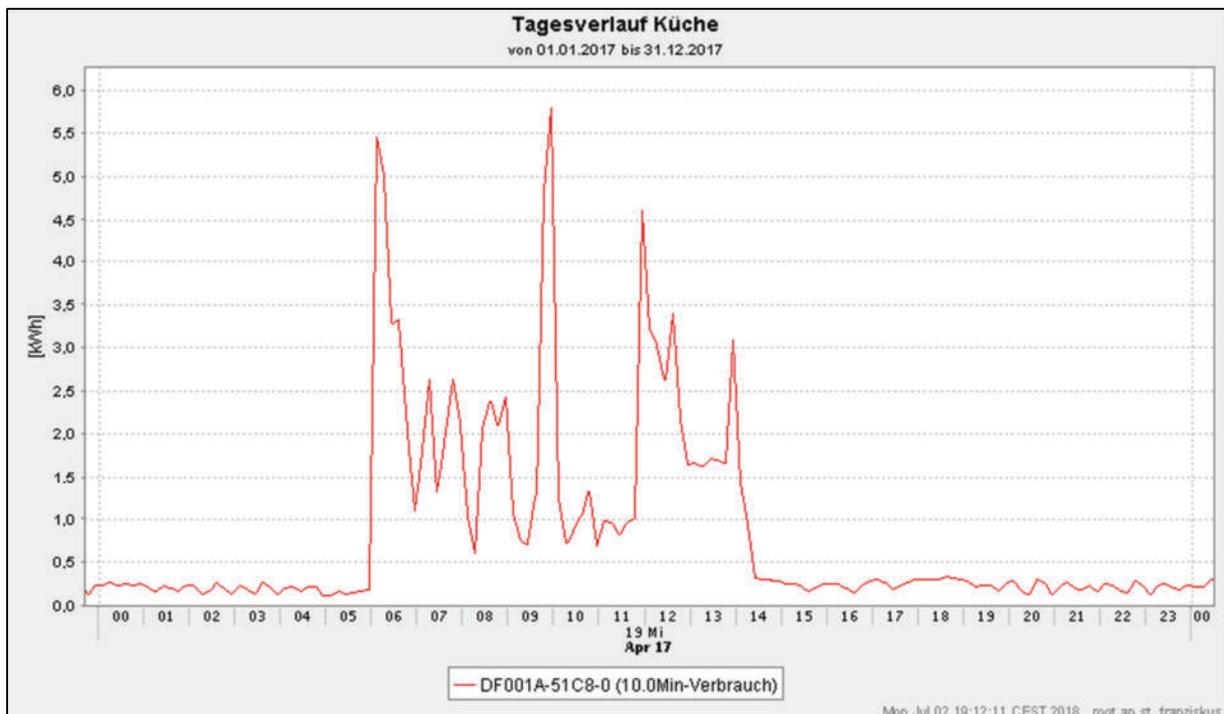


Abbildung 7-49: Küche – beispielhafter Tagesverlauf – Schultag erster Pächter

Erster Pächter: die erste morgendliche Spitze ergibt sich aus dem Anschalten der Lüftungsanlagen, Beleuchtung sowie der Nachheizung des Pufferspeichers (abhängig vom Solarangebot des Vortags und der noch im Speicher vorhandenen Wassermenge). Dann folgt vormittags diverser Kochbetrieb mit Leistungen um 2 kW, der gegen 11 Uhr beendet ist. Ab 12 Uhr beginnt der Spülbetrieb und Reinigung für fast 2 Stunden. Betriebsschluss ist gegen 14 Uhr.

Zweiter Pächter: die erste morgendliche Spitze ergibt sich erst gegen 8 Uhr. An dem gewählten Tag ist die morgendliche Aufheizung des Puffers entfallen – jedoch ist so gut erkennbar, dass kein weiterer Betrieb vorhanden ist. Es folgt das Anschalten der Lüftungsanlagen und Beleuchtung sowie diverser Kochbetrieb mit Leistungen um 1,2 kW, der gegen 11 Uhr beendet ist. Ab 12 Uhr beginnt der Spülbetrieb und Reinigung für gut 1,5 Stunden. Betriebsschluss ist gegen 14 Uhr.

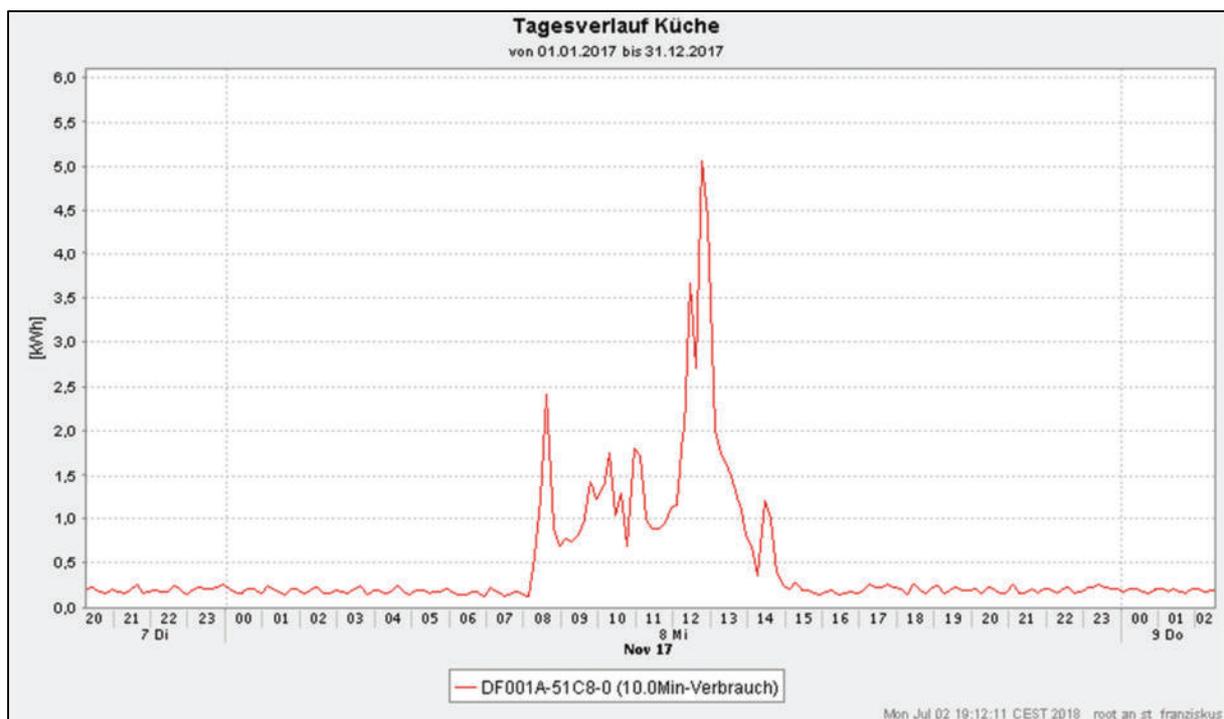


Abbildung 7-50: Küche – beispielhafter Tagesverlauf – Schultag zweiter Pächter

Die Pufferspeichernachheizung entfällt häufiger mit dem zweiten Pächter, weil der Speicher noch vom Vortag geladen ist. Der Betrieb beginnt später und verschiebt sich mehr in den Nachmittag, was für die Bilanz der Photovoltaik (Selbstverbrauch) positiv ist.

Energieverbrauch je Essen

In der Planungsphase der Küche erfolgte eine Grobabschätzung der Stromkostenanteile am Essen. Der Planer LUNGWITZ kam auf einen Wert von knapp 0,12 €/Essen [13] [17]. Die Kalkulation ging von jährlich 89.300 Essen aus.

Der Stromverbrauch je Essen liegt für den Betrieb des 1. Pächters bei 0,45 kWh/Essen. Ausgegeben werden in einem Jahr etwa 61.000 Essen. Damit wird der Planwert tatsächlich genau erreicht: 0,12 €/Essen.

Der Wert ist sehr gering im Vergleich zu anderen Küchen. Die Datenbasis ist eher mäßig, jedoch werden Werte von 0,6 ... 0,9 kWh/Essen veröffentlicht [18].

7.2.5 Kühlzellen der Küche

Die Großküche verfügt über zwei Kühlräume. Der von außen zugängliche ist der Kühlraum mit normaler Temperatur, der innenliegende Raum die Tiefkühlzelle. Abbildung 7-51 und Abbildung 7-52 geben einen Eindruck.



Abbildung 7-51: Tiefkühlzelle – Tür, Einblick, Temperaturanzeige



Abbildung 7-52: Kühlzelle – Tür, Einblick, Temperaturanzeige

Der Kühlraum ist mit zwei GEA Kühlgeräten ausgestattet, deren Inneneinheit Abbildung 7-53 zeigt.



Abbildung 7-53: Inneneinheit der Kältemaschine

Die Geräte laufen ununterbrochen bzw. taktend. Im Kältemittelkreislauf sind zwei Kompressoren vom Hersteller "Frascold" installiert, siehe Abbildung 7-54 und Abbildung 7-55 in der Thermographie. Die Kompressoren sind im Raum 0.30 hinter der Rückwand der innenliegenden Kühlzellen aufgestellt. Die linke Maschine mit der geringeren Oberflächentemperatur ist der Tiefkühlzelle zugeordnet, die rechte Maschine der Normalkühlzelle.



Abbildung 7-54: Kompressoren der beiden Kälteanlagen in Raum 0.30

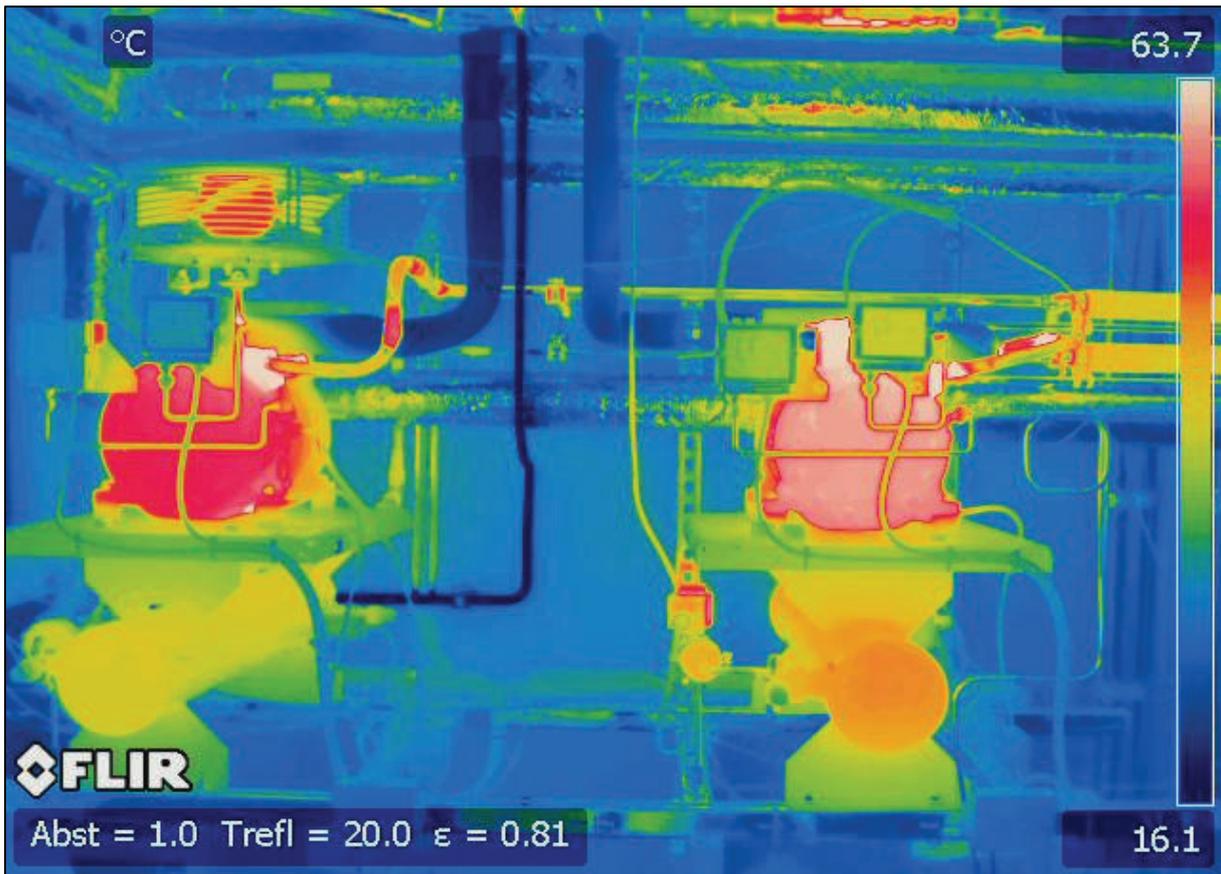


Abbildung 7-55: Thermographie der Kältekpressoren in Raum 0.30

In Abbildung 7-56 und Abbildung 7-57 sind die Typenschilder der Kompressoren zu sehen.

Frascold®

Data sheets

For HFC/HFO/HCFC refrigerants > Standard and ECOinside series

Technical data:		
Cylinders		
Displacement @ 50 Hz	m3/h [50Hz]	5.47
Displacement @ 60 Hz	m3/h [60Hz]	6.564
Motor version[1]		2
Motor power (HP)		0.75
Motor power (kW)		0.5
Motor voltage at 50 Hz[2]	V/ph/Hz	220-240V - 380-420V/3/50Hz DOL
Motor voltage at 60 Hz[2]	V/ph/Hz	265-290V - 440-480V/3/60Hz DOL
DOL bridge bars		Standard
MRA, maximum operating current at 230V/50Hz and 280V/60Hz	A	4.9
MRA, maximum operating current at 400V/50Hz and 460V/60Hz	A	2.8
LRA, maximum starting current at 230V/50Hz and 280V/60Hz, DOL motor	A	18.6
LRA, maximum starting current at 400V/50Hz and 460V/60Hz, DOL motor, PWS motor with DOL connection	A	10.7
Max power consumption	kW [@ 50Hz]	1.6

Abbildung 7-56: Typenschild und Datenblatt des Tiefkühlkompressors

Frascold®		Type A05-4Y No. 0M001186	
Hz	Displ. m ³ /h	RPM	Max. Operating Cond. Pressure bar(2)
50	3.95	1450	bar(2)
60	4.74	1740	Max. Stat. Sub. Pressure bar(2)
Oil type POE32		3-	CE
Δ	Volt	Hz	MRA
Δ	Y	Δ	Y
Δ	Y	Δ	LRA
220-240	380-420	50	4.9
265-290	440-480	60	4.9
			2.8
			18.6
			10.7
A054 0AM001186			

Technical data:		
Cylinders		
Displacement @ 50 Hz	m ³ /h [50Hz]	3.95
Displacement @ 60 Hz	m ³ /h [60Hz]	4.74
Motor version[1]		1
Motor power (HP)		0.5
Motor power (kW)		0.37
Motor voltage at 50 Hz[2]	V/ph/Hz	220-240V - 380-420V/3/50Hz DOL
Motor voltage at 60 Hz[2]	V/ph/Hz	265-290V - 440-480V/3/60Hz DOL
DOL bridge bars		Standard
MRA, maximum operating current at 230V/50Hz and 280V/60Hz	A	4.9
MRA, maximum operating current at 400V/50Hz and 460V/60Hz	A	2.8
LRA, maximum starting current at 230V/50Hz and 280V/60Hz, DOL motor	A	18.6
LRA, maximum starting current at 400V/50Hz and 460V/60Hz, DOL motor, PWS motor with DOL connection	A	10.7
Max power consumption	kW [@ 50Hz]	1.6

Abbildung 7-57: Typenschild und Datenblatt des Kühlkompressors

Der Kompressor Typ "A07-6Y" (max. Leistung 1,6 kW) ist mit einem 0,75-PS-Motor (0,5 kW) ausgestattet. Der zweite Kompressor Typ "A05-4Y" (max. Leistung 1,6 kW) ist dagegen mit einem leistungsschwächeren Motor (0,5 PS bzw. 0,37 kW) ausgestattet. Aufgrund des Stromverbrauchs ergibt sich, dass die Messungen der Tiefkühlzelle dem Kompressor Typ "A07-6Y" zugeordnet ist [11].

Die Tiefkühlzelle sowie die Kühlzelle werden mit Dreiphasenstrom versorgt. Die Last wird gleichmäßig auf die drei Phasen verteilt. Beide Maschinen weisen je einen Schaltkasten mit Regelung auf, siehe Abbildung 7-58.



Abbildung 7-58: Regelung der Kühl- und Tiefkühlzelle in Raum 0.30

Die Abwärme der Kühlzelle wird an die Umgebung abgegeben. Die Rückkühlwerke stehen vor dem Gebäude. Abbildung 7-59 zeigt eine Aufnahme sowie eine Thermographie aus dem Winter 2017. Trotz Umgebungstemperaturen im deutlich negativen Bereich, läuft einer der Rückkühler mit Kühlwasser von ca. 10°C. Es darf vermutet werden, dass sich dies noch optimieren ließe, um die Effizienz zu erhöhen. Praxisbeispiele mit Abwärmenutzung sind vorhanden [18].

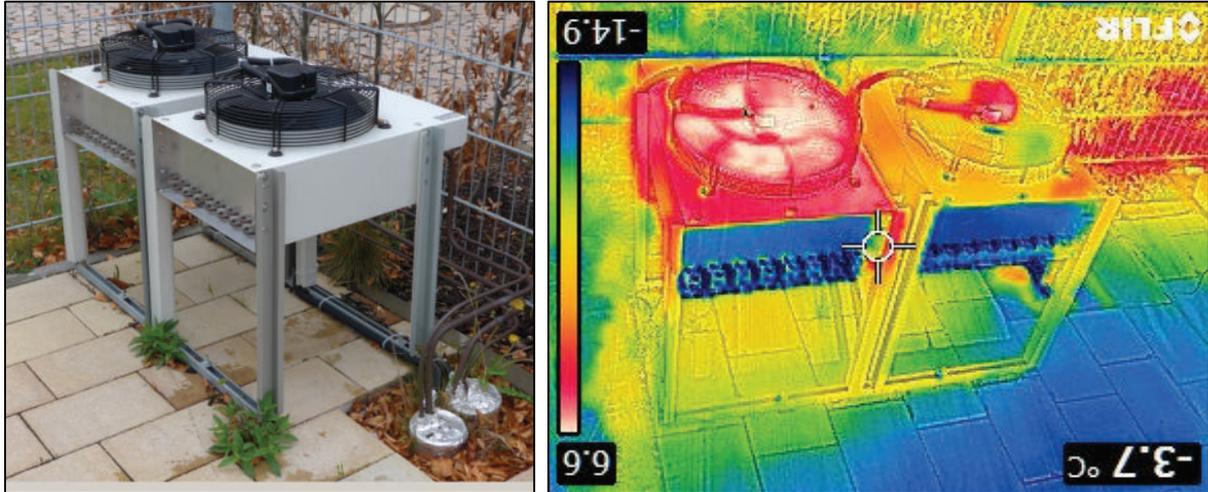


Abbildung 7-59: Rückkühlwerke der beiden Kälteanlagen vor dem Gebäude

Damit sich die Türen der Kühlzellen stets problemlos öffnen lassen, sind beide mit elektrischen Türrahmenheizungen ausgestattet, siehe Abbildung 7-60. Die Thermographie zeigt eine Rahmentemperatur von 24°C.



Abbildung 7-60: Elektrische Türrahmenheizung

Energiebilanz

Die monatliche Energiebilanz ist Abbildung 7-61 zu entnehmen. Der Verbrauchseinbruch im August 2017 ergibt sich im Zusammenhang mit dem Pächterwechsel. Die mittleren Jahresverbräuche ergeben sich zu 5,3 MWh/a für die Tiefkühlzelle sowie 2,0 MWh/a für die normale Kühlzelle. Der starke Anstieg des Verbrauchs der Tiefkühlzelle unter dem neuen Betreiber ist noch ungeklärt.

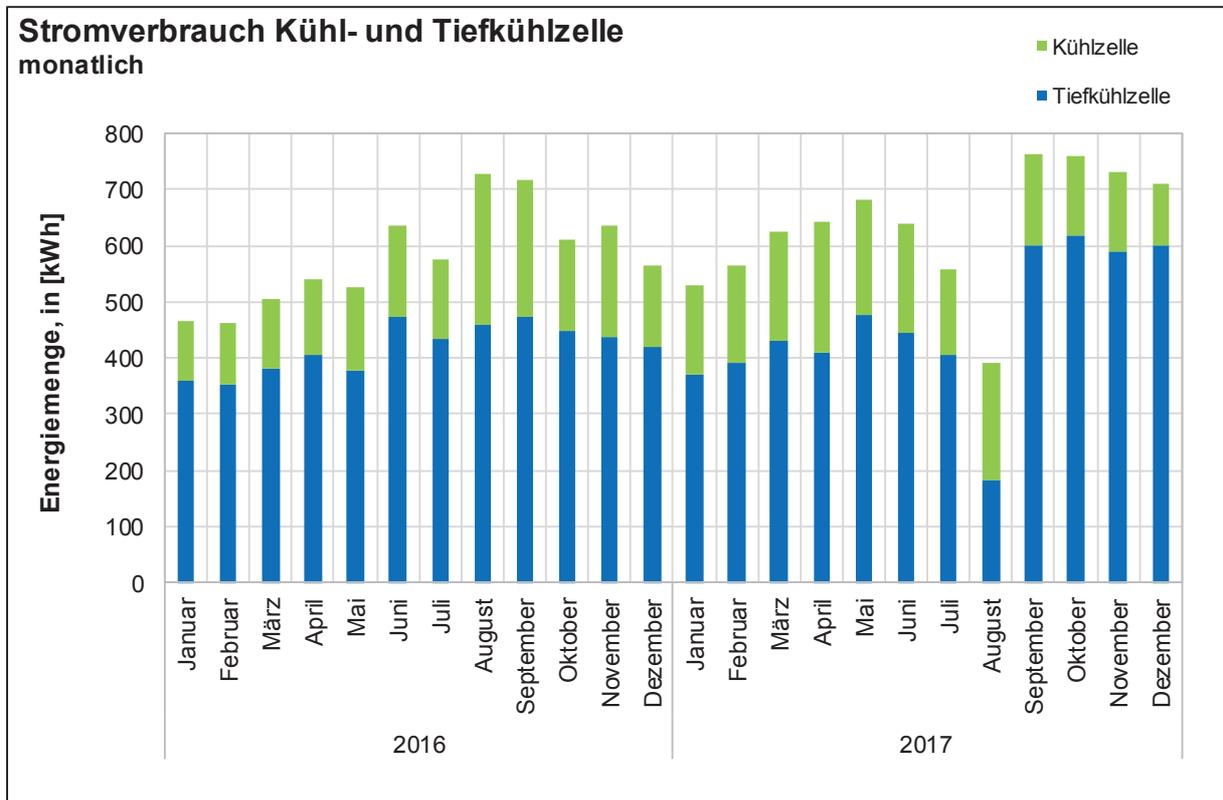


Abbildung 7-61: Monatsbilanz Kühl- und Tiefkühlzelle – 2016/17

Lastverläufe

Abbildung 7-62 bis Abbildung 7-65 zeigen die Lastverläufe der beiden Großverbraucher in den Jahren 2016 und 2017. Messdatenausfälle sind erkennbar. Darüber hinaus ist bei beiden Anlagen ein Muster erkennbar: alle 6 Stunden sinkt der Verbrauch erst ab, um danach deutlich anzusteigen. Die Sommer-Winter-Zeitungstellung ist ebenfalls erkennbar. Es wird vermutet, dass es sich hierbei um eine automatische Abtaufunktion handelt.

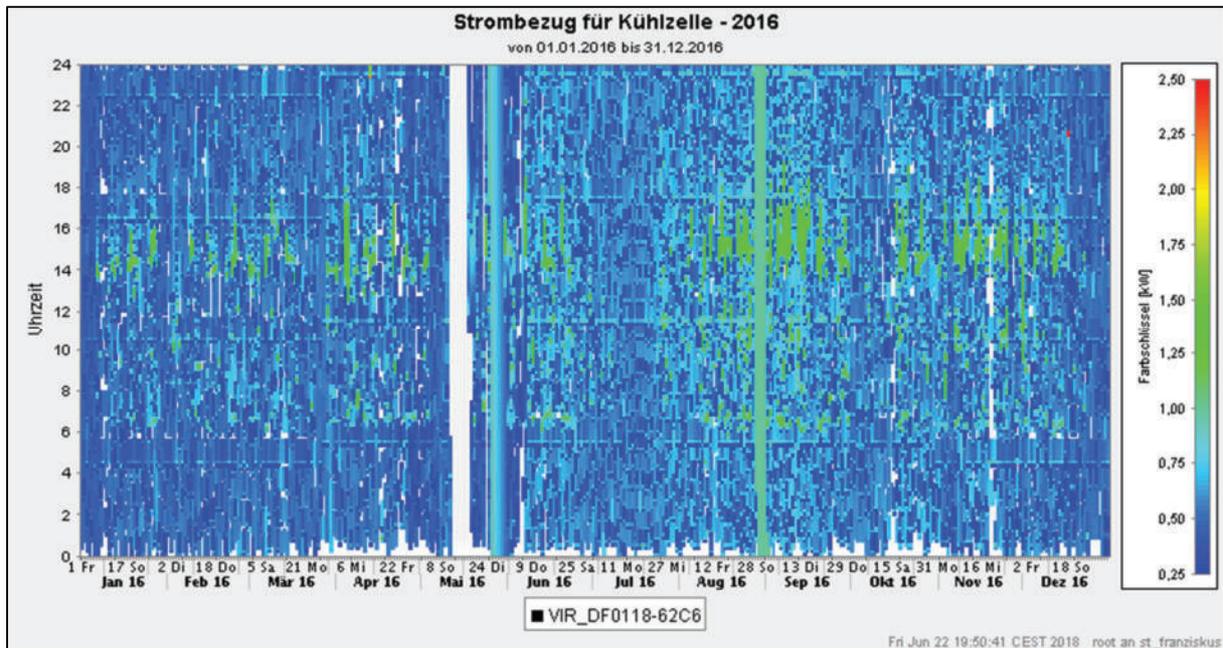


Abbildung 7-62: Carpetplot – Kühlzelle Stromverbrauch – 2016

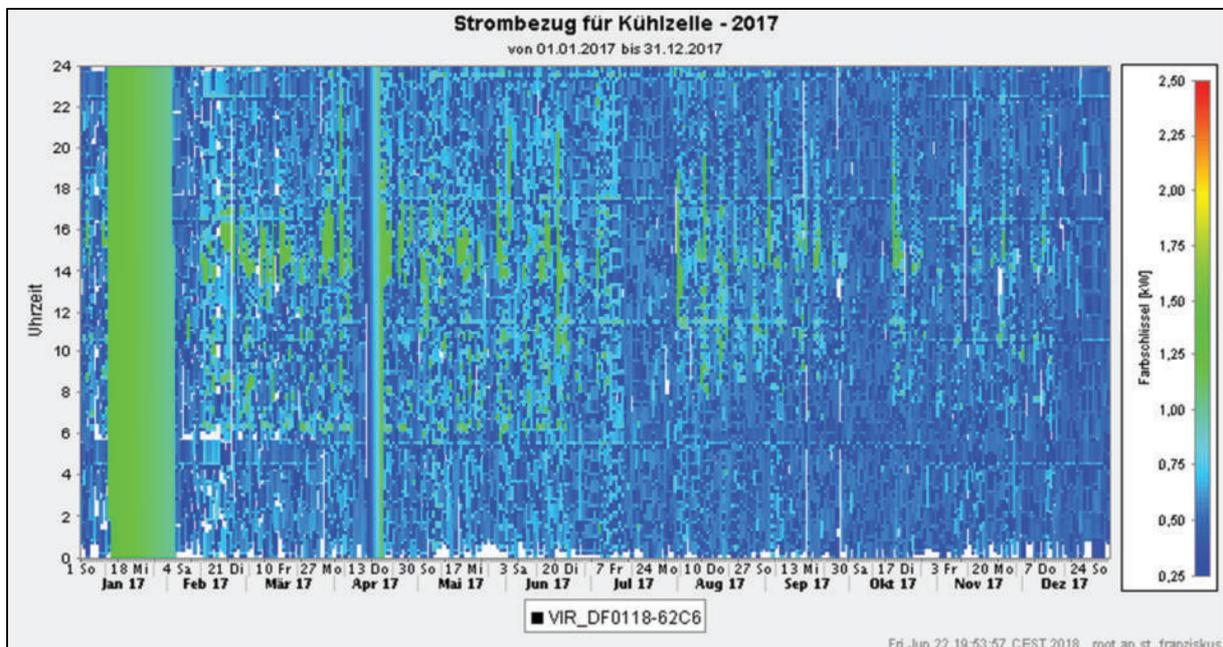


Abbildung 7-63: Carpetplot – Kühlzelle Stromverbrauch – 2017

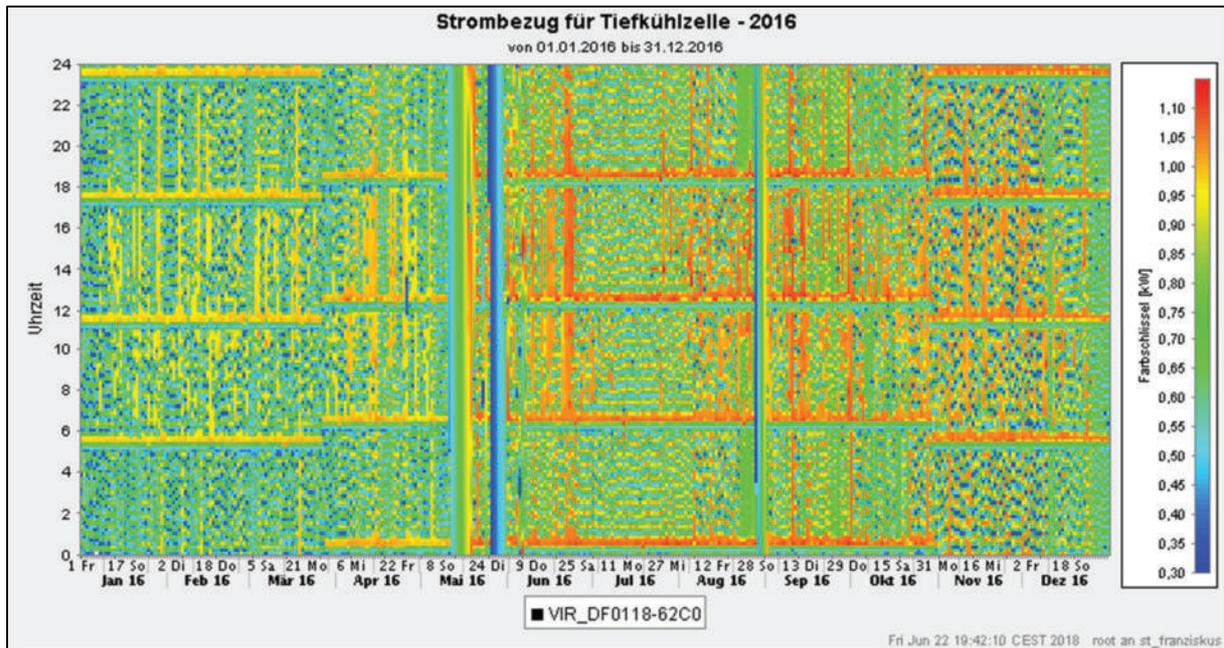


Abbildung 7-64: Carpetplot – Tiefkühlzelle Stromverbrauch – 2016

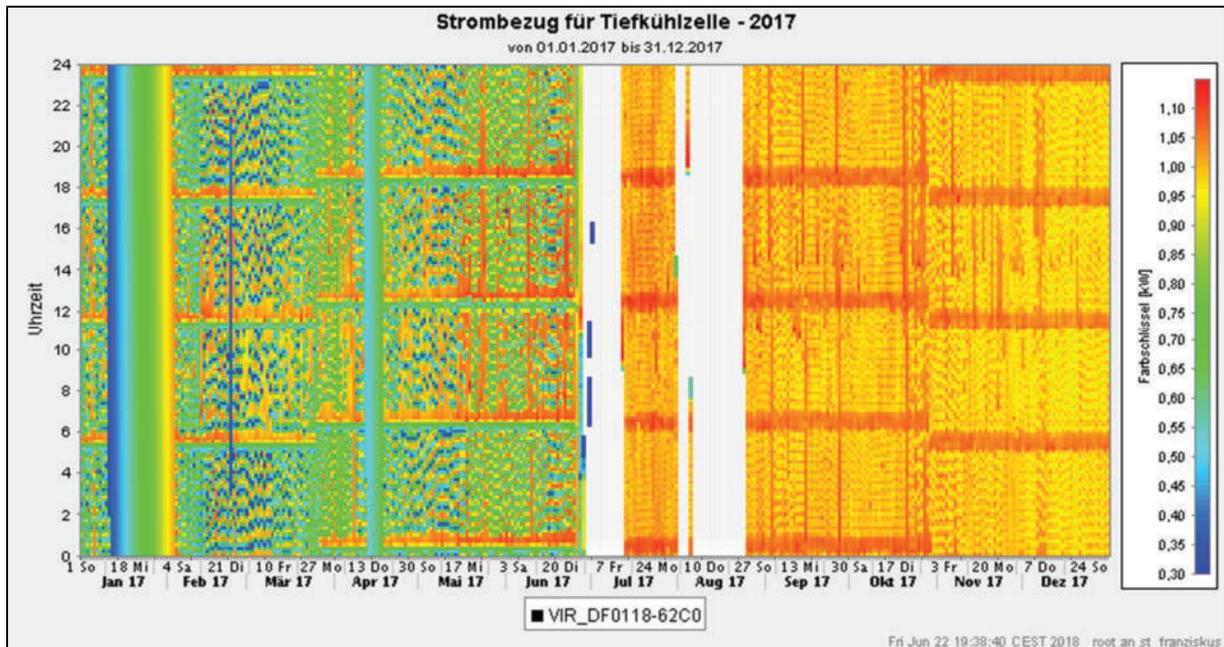


Abbildung 7-65: Carpetplot – Tiefkühlzelle Stromverbrauch – 2017

Beispielhafte Betriebswochen

Abbildung 7-66 bis Abbildung 7-69 zeigen beispielhafte Betriebswochen in den vier Jahreszeiten des Messzeitraums 2017. Die Auswertung der Zeiträume mit hoher Außentemperatur zeigt, dass das Takten der Kompressoren dann abnimmt und ein Dauerbetrieb einsetzt. Darüber hinaus ist ab Sommer 2017 eine deutliche Veränderung des Stromverbrauchs bei der Tiefkühlzelle erfolgt, welche noch geklärt werden muss.

Unter dem ersten Pächter zeigt sich auch im Frühling ein jeweils erhöhter Verbrauch am Nachmittag. Das vorbereitete Essen für den nächsten Tag wurde in die Kühlzelle gestellt – teils noch sehr warm, weil der Arbeitstag beendet werden sollte.

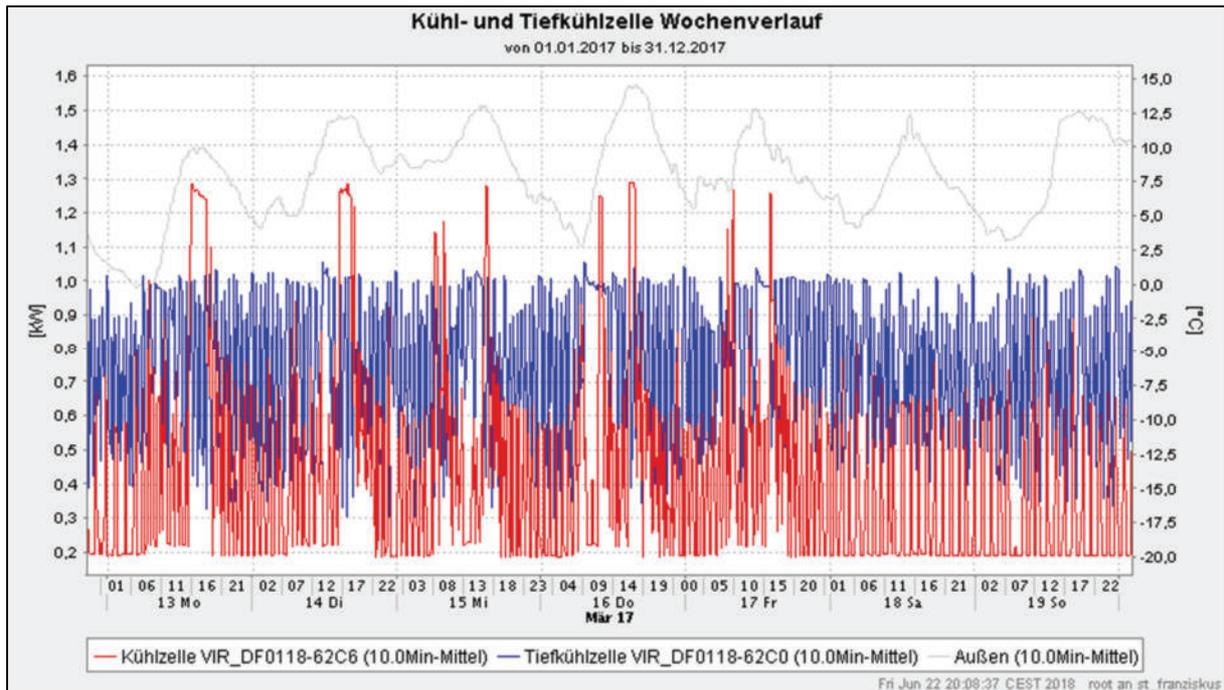


Abbildung 7-66: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling

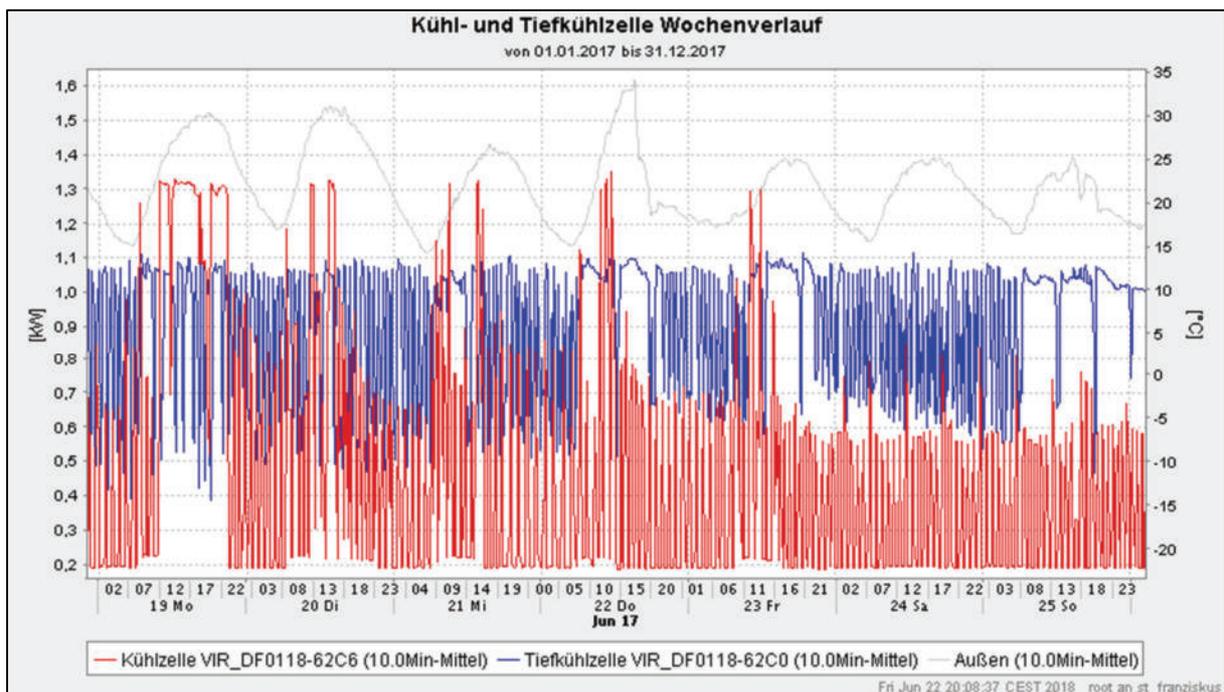


Abbildung 7-67: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer

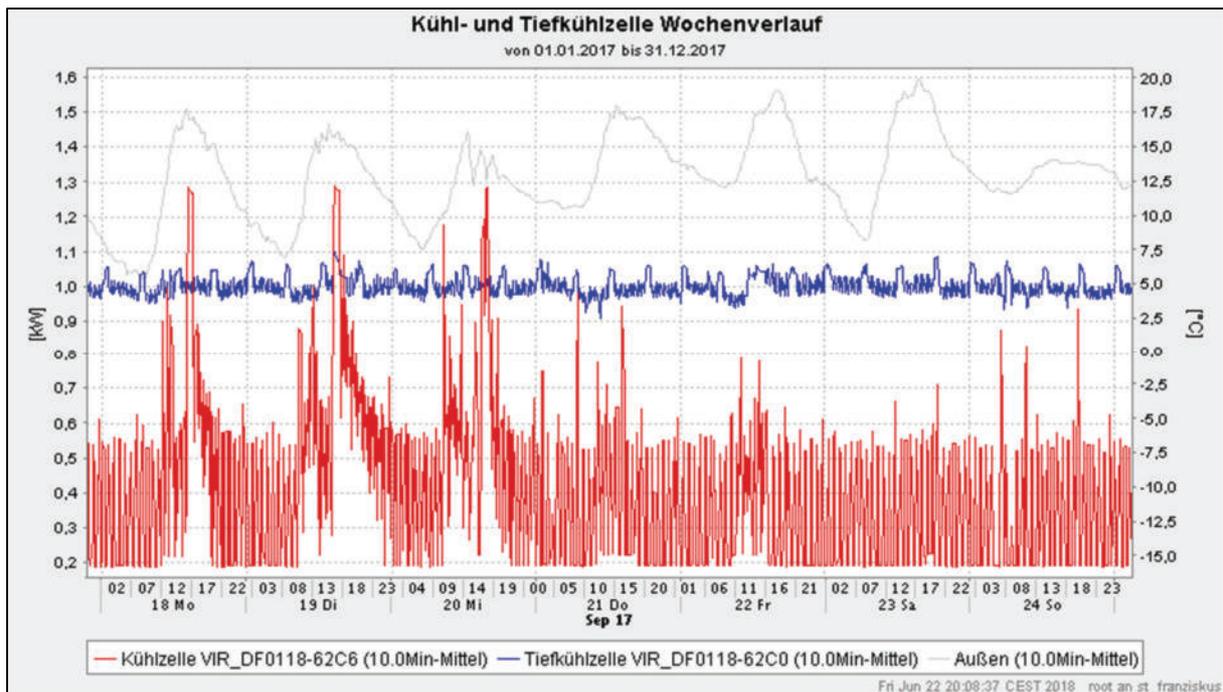


Abbildung 7-68: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst

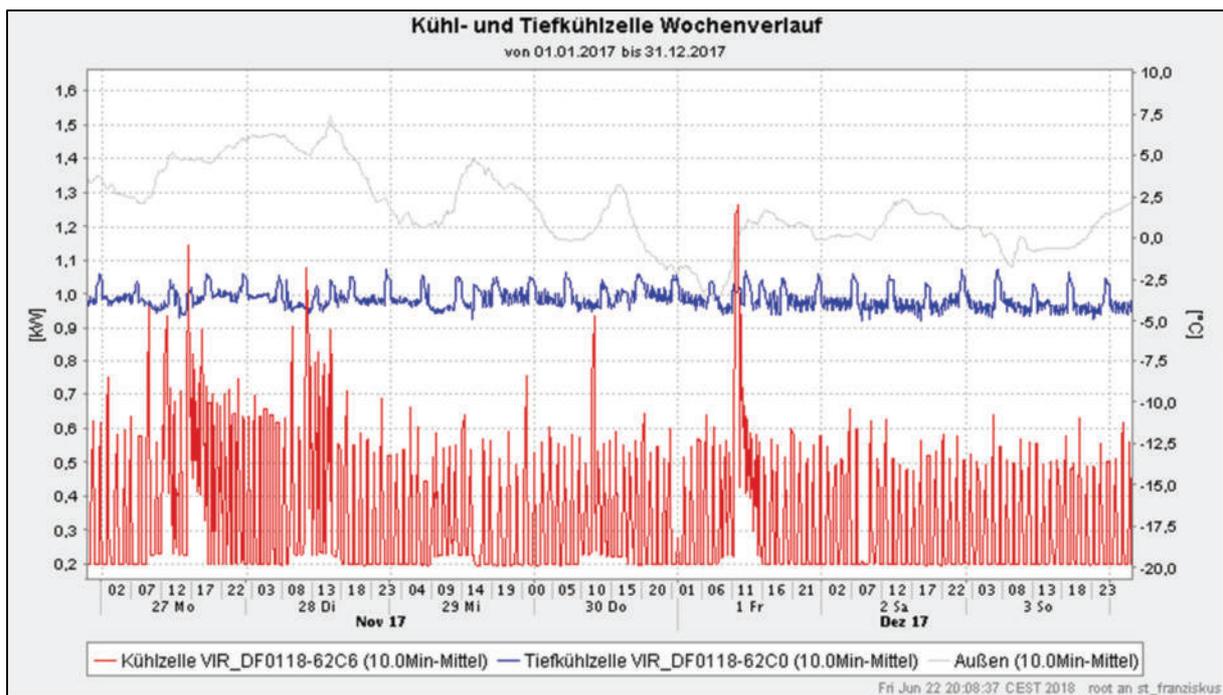


Abbildung 7-69: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Winter

Die Detailuntersuchung in der Masterarbeit von Azhar Soboh zeigt außerdem, dass der Stromverbrauch der Kühlzellen leicht nutzungsabhängig ist. An drei ähnlich kalten Tagen aus dem Februar 2016 zeigt sich ein Verbrauch von 28 kWh/d im Schulbetrieb, 27 kWh/d im Hortbetrieb und 25 kWh/a im Ferienschießbetrieb [11]. Der Unterschied ergibt sich durch unterschiedliches Öffnen der Türen sowie Einlagerung von Gütern.

Beispielhafter Betriebstag

Zur Verdeutlichung der Taktraten der Kompressoren dient Abbildung 7-70. Der Kühlzellenkompressor schaltet 33 Mal, der Tiefkühlkompressor 27 Mal. Es handelt sich um einen Tag mit einer mittleren Außentemperatur von etwa 6 °C.

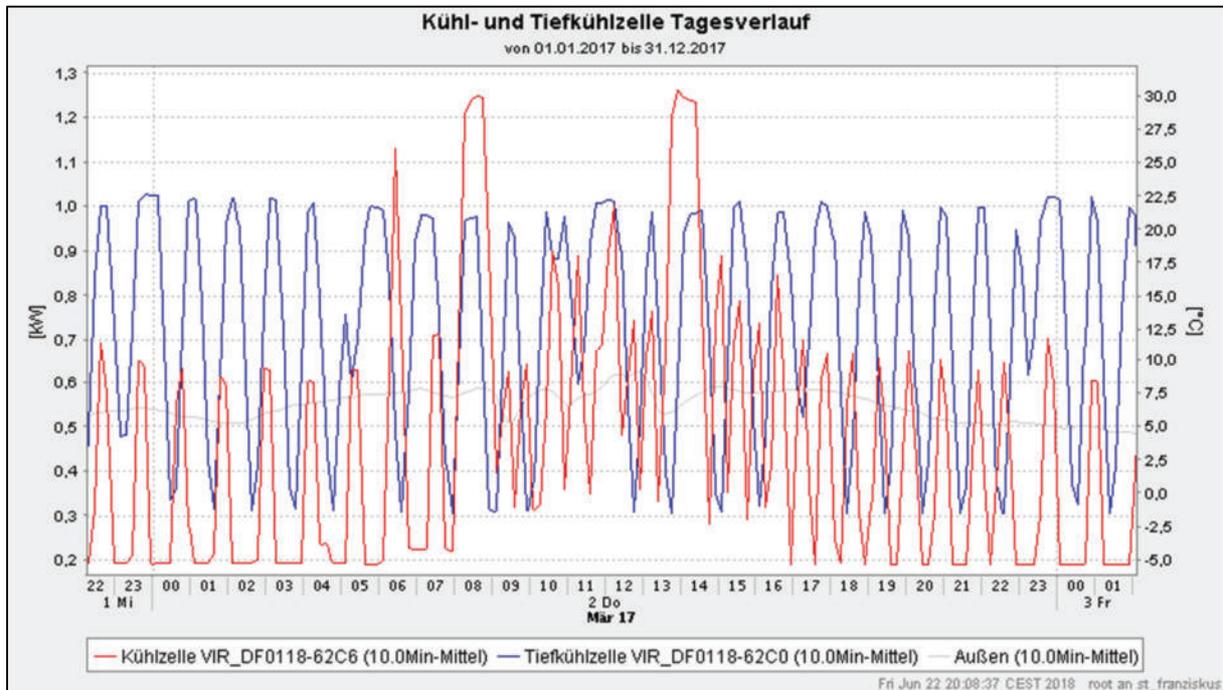


Abbildung 7-70: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Tagesverlauf

Dauerlinie

Abbildung 7-71 und Abbildung 7-72 zeigen die Dauerlinien der Kühlzellen. Die notwendige Messwertkorrektur liegt bei 175 W, siehe Kapitel 7.6. Diese konnte bei der Grafikerstellung mit MONISOFT nicht abgezogen werden. Der betreffende Bereich ist farbig hinterlegt. Es zeigt sich, dass sich die Tiefkühlzelle vermehrt in Starklastbetrieb befindet.

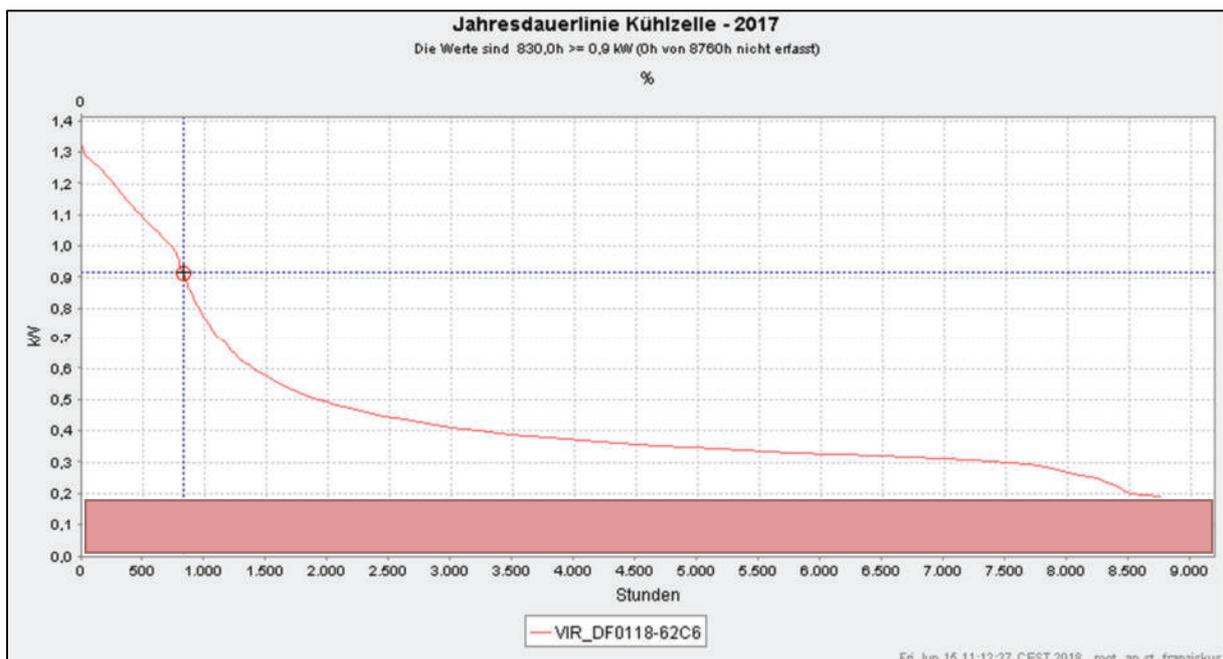


Abbildung 7-71: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch der Kühlzelle – 2017

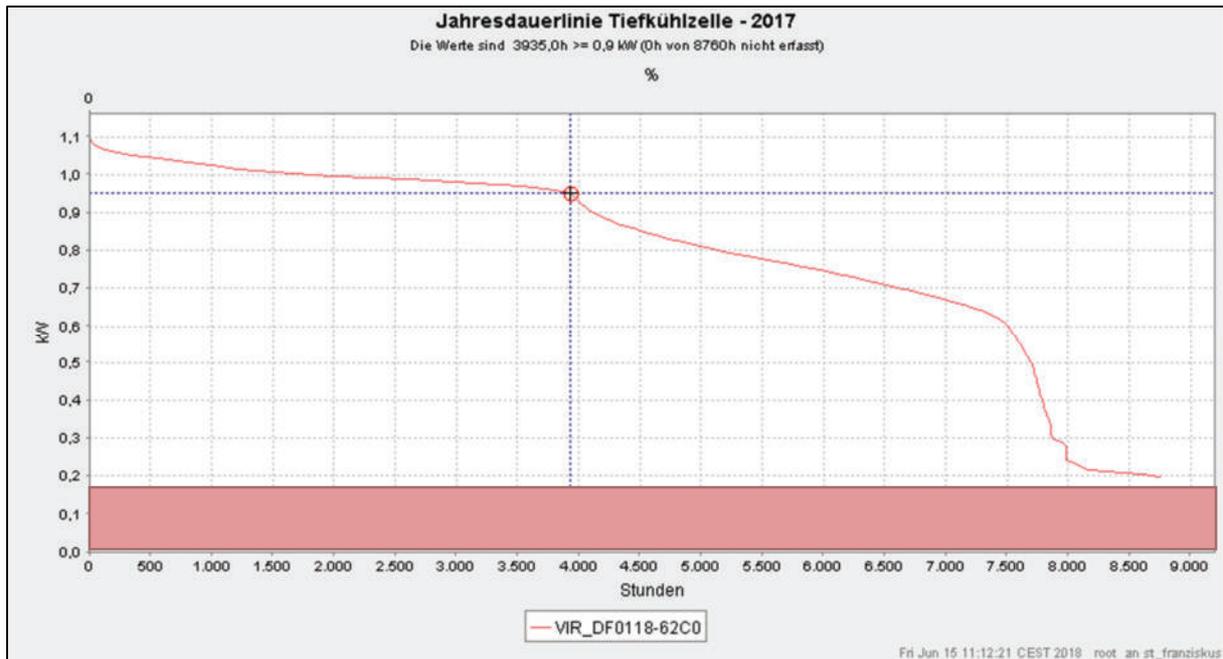


Abbildung 7-72: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch der Tiefkühlzelle – 2017

Abwärmenutzung

Die Messwerte zeigen, dass ganzjährig vergleichsweise konstant etwa 22 ... 29 MWh/a Abwärme anfallen (7,3 MWh/a Stromverbrauch, Arbeitszahl von 3 ... 4 geschätzt). In Anbetracht eines Trinkwarmwasserbedarfs von etwa 8 MWh/a (Solar plus Strom) ist in künftigen Energiekonzepten zu überlegen, ob die Abwärme nicht besser zur Trinkwassererwärmung dienen könnte. Um die Arbeitszahlen der Maschinen nicht unnötig zu verschlechtern, würde sich die Normalkühlzelle anbieten.

Optimierung

Es bestand die Überlegung, die Kühlzelle zu nutzen, um den Tagverbrauch an Strom – und damit die potentielle PV-Nutzung – zu erhöhen. Dies sollte durch überproportionales Abkühlen der Kühlgüter gegen Ende des Arbeitstages erfolgen, so dass eine nächtliche Nachkühlung (Kompressornutzung zwischen 18 und 6 Uhr) weitgehend unterbunden wird. Dies würde positiv dadurch unterstützt, dass es während der Nachtphasen keine Öffnungen der Kühlraumtüren gibt.

Durch diese Maßnahme hätte im Idealfall ein Viertel des Jahresstromverbrauches der beiden Kühlzellen aus der Nachtphase (100 % Netzstrombezug) in die Tagphase (Annahme 60 % PV-Selbstversorgung, d. h. vermiedene Rückspeisung) verlagert werden können. Dies hätte einen Vorteil von 500 €/a bedeutet:

- Wegfall aus der Nachtphase: $- 0,25 \cdot 7 \text{ MWh/a} \cdot 270 \text{ €/MWh}$
- PV-Nutzung in der Nachmittagsphase $+ 0,25 \cdot 0,6 \cdot 7 \text{ MWh/a} \cdot 120 \text{ €/kWh}$
- Netzstromnutzung Nachmittagsphase $- 0,25 \cdot 0,4 \cdot 7 \text{ MWh/a} \cdot 270 \text{ €/kWh}$

Eine Anfrage an den Hersteller ergab, dass ein Regler mit Echtzeituhr installiert ist und dieser über eine Sollwertumschaltung verfügt. Die Temperatur in der Normalkühlzelle könnte bis auf 0°C und in der Tiefkühlzelle auf -24°C abgesenkt werden. Die Kosten für die Programmierung und den Probelauf wurden mit ca. 180 € netto veranschlagt.

Die Optimierung wurde bislang nicht umgesetzt, da eine Optimierung der Lüftung als dringlicher eingestuft wurde.

7.2.6 Server und Serverkühlung

Die Serveranlage ist 24 h am Tag in Betrieb und befindet sich im Hausanschlussraum 0.04 im Erdgeschoss des Klassentraktes, siehe Abbildung 7-73. Sie umfasst die Telefon- und IT-Anlage, den Server mit Datensicherung und der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), sämtliche Sicherheitseinrichtungen. Im Rahmen des Monitorings werden im Serverraum die vier Stromkreise der Serveranlage und das Klimagerät mit Sensoren überwacht.



Abbildung 7-73: Server im Raum 0.04

Um die Funktionalität zu sichern, muss der Server ständig gekühlt werden, um eine Überhitzung und Versagen der Anlage zu verhindern. Daher wird der gesamte Raum 0.04 gekühlt. Das Klimagerät von Daikin ist ein Split-Gerät mit einer minimalen Kühlleistung von 1,4 kW und einer maximalen Kühlleistung von 4 kW. Es besteht aus einem Innengerät Typ "FTXS35K2V1B" und einem Außengerät Typ "RXS35L3V1B" auf dem Dach, siehe Abbildung 7-74.



Abbildung 7-74: Innen- und Außeneinheit der Serverkühlung

Technische Daten sind Abbildung 7-75 bzw. dem separaten **Anhang J** zu entnehmen. Die Jahresarbeitszahl wird mit 7,47 angegeben.

FTXS-K / RXS-L3			
Kühlleistung	Min.		kW
	Nom.		kW
	Max.		kW
Heizleistung	Min.		kW
	Nom.		kW
	Max.		kW
Nominale Effizienz	EER		
	COP		
	Jährlicher Energieverbrauch		kWh
Saisonale Effizienz (gemäß EN14825)	Kühlung	Pdesign	kW
		SEER	
		Jährlicher Energieverbrauch	kWh
	Heizen (durchschnittliches Klima)	Pdesign	kW
		SCOP	
		Jährlicher Energieverbrauch	kWh

FTXS35K3V1B / RXS35L3V1B	
	1.4
	3.5 (2)
	4.0
	1.4
	4.00 (2)
	5.2
	3.89 (1)
	4.76 (1)
	450 (0.000)
	3.50
	7.47
	164
	3.60
	4.85
	1,039

Abbildung 7-75: Monatsbilanz Server und Serverkühlung – 2016/17

Eine Thermographieaufnahme vom 6.1.2017 zeigt Abbildung 7-76.

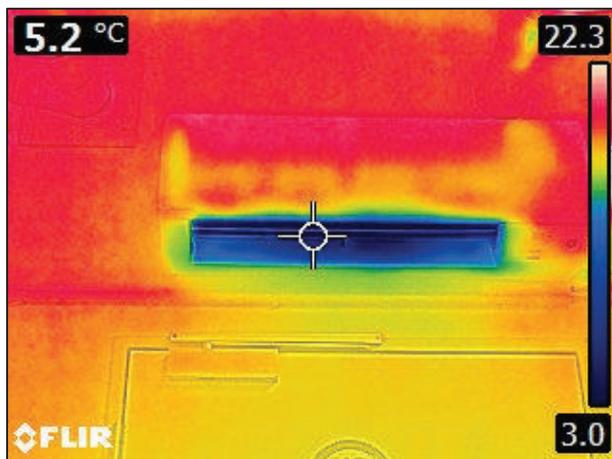


Abbildung 7-76: Thermographie der Serverkühlung im Januar 2017

Energiebilanz

Abbildung 7-77 zeigt die Energiebilanz der Serveranlage und der Kühlung. Im Verlauf eines Jahres werden 8,2 MWh/a für den Betrieb des Servers aufgewendet und weitere knapp 1,7 MWh/a für die Kühlung.

Unterstellt man, dass die gesamte Stromzufuhr des Servers in dem Raum als Abwärme frei wird, darüber hinaus noch weitere Mengen aus den Stromzählern und -verteilern hinzukommen, beläuft sich die Abwärme in Raum 0.04 insgesamt auf etwa 10 MWh/a. Die Jahresarbeitszahl der Kälteanlage liegt dann bei $\epsilon = 6$, was die Daten plausibel erscheinen lässt.

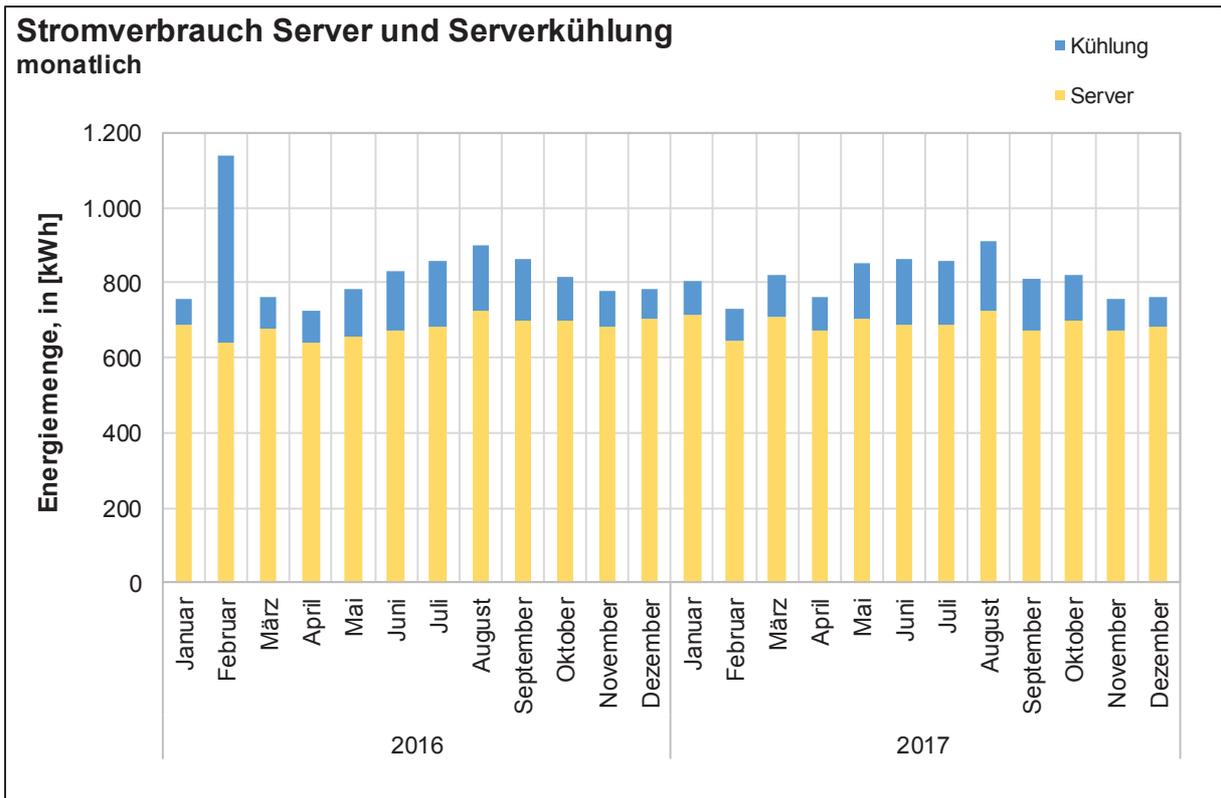


Abbildung 7-77: Monatsbilanz Server und Serverkühlung – 2016/17

Lastverläufe

Da der Lastverlauf des Servers über das Jahr gesehen sehr konstant ist, zeigt Abbildung 7-78 nur den Verlauf für das Jahr 2017. Das Vorjahr sah ähnlich aus. In Abbildung 7-79 und Abbildung 7-80 sind die Carpetplots dargestellt. Sie lassen vermuten, dass auch Daten der Lüftungsanlagen über den Server laufen, denn es sind die Schaltzeiten der Aufheizphasen erkennbar. Analoge Grafiken für die Kühlung zeigen Abbildung 7-81 bis Abbildung 7-83.

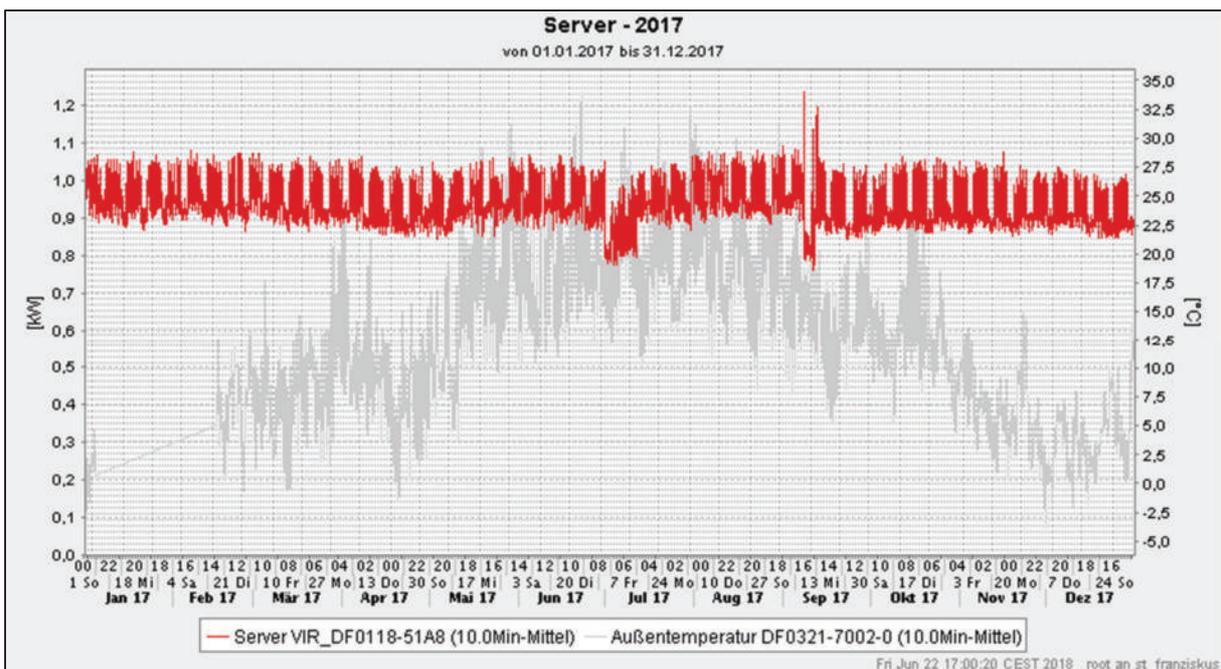


Abbildung 7-78: Verbrauchsverlauf – Server Unterzähler – 2017

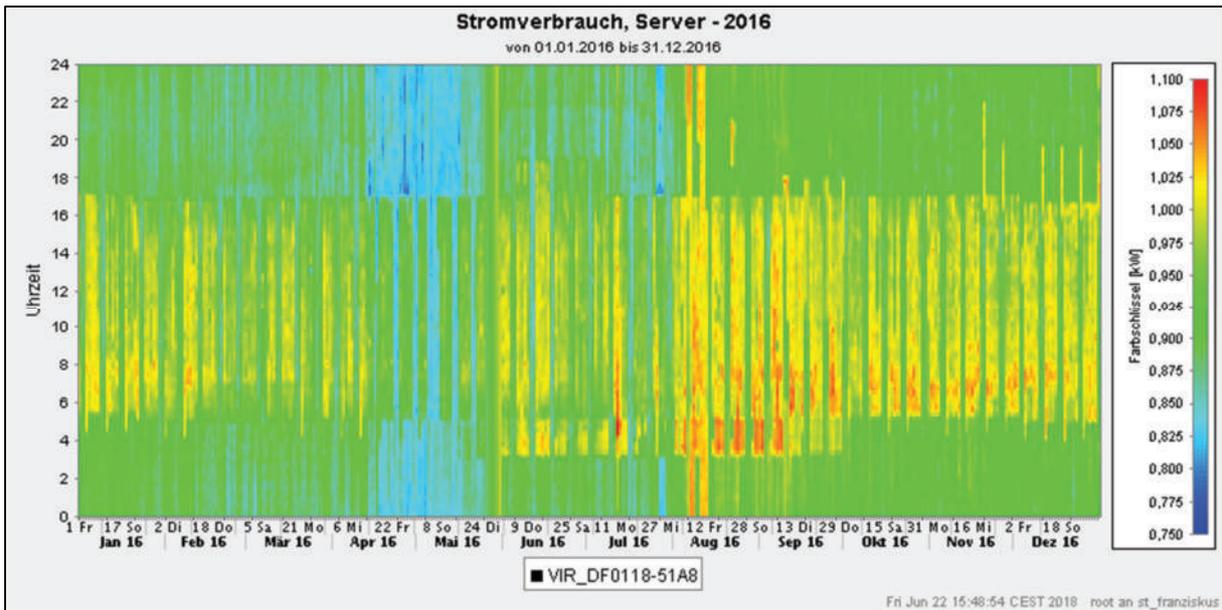


Abbildung 7-79: Carpetplot – Server Stromverbrauch – 2016

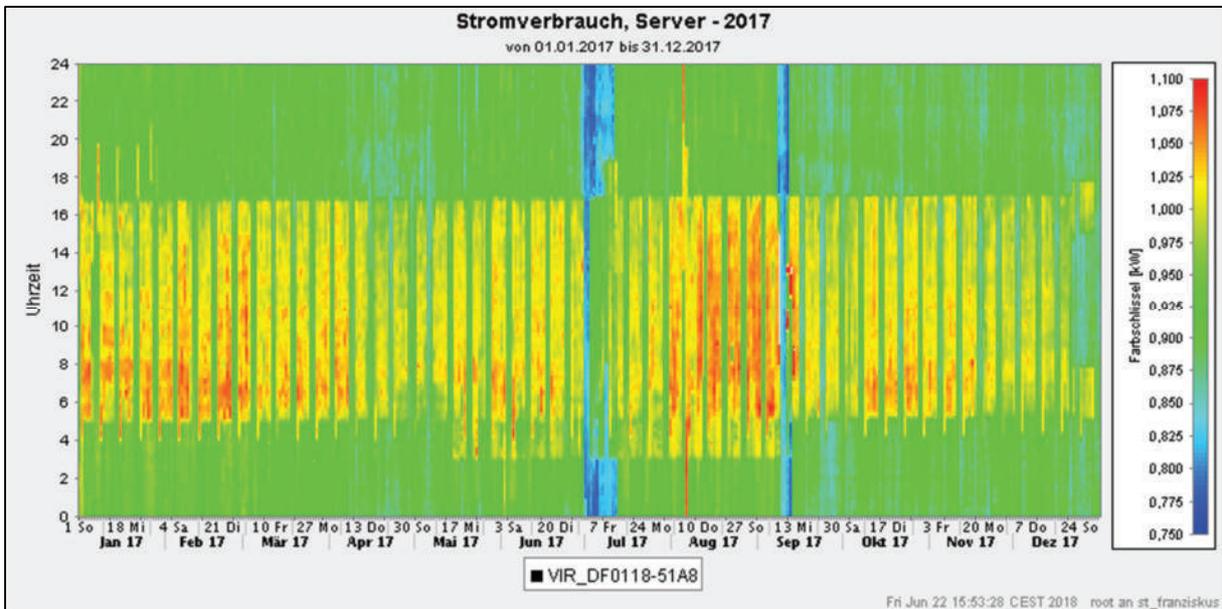


Abbildung 7-80: Carpetplot – Server Stromverbrauch – 2017

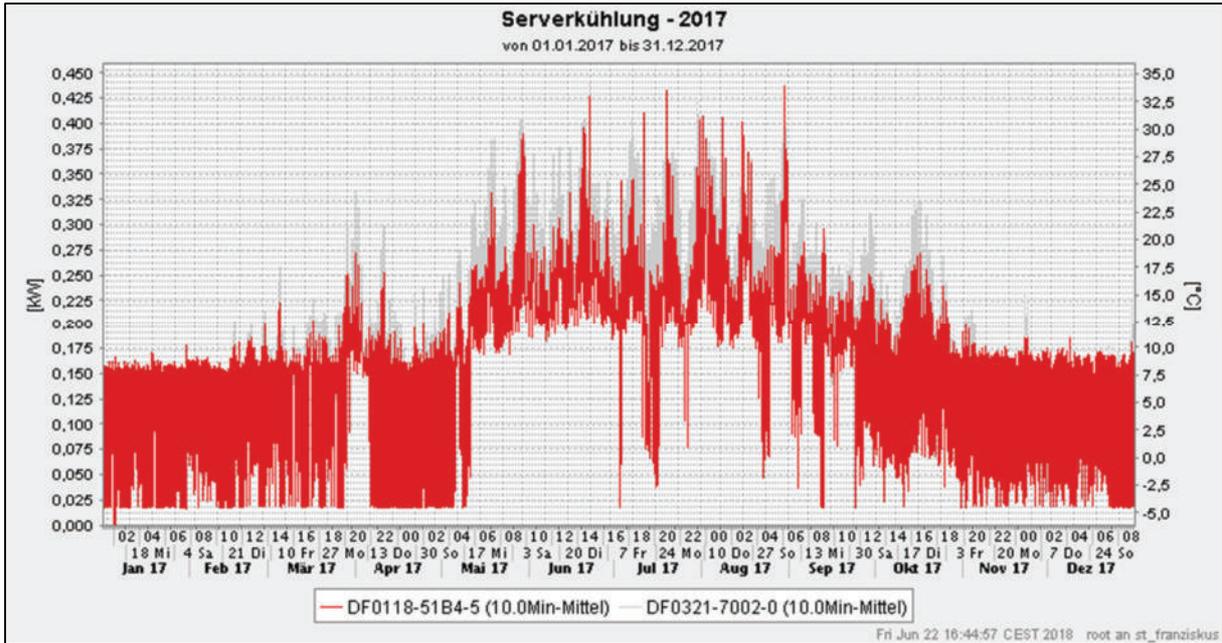


Abbildung 7-81: Verbrauchsverlauf – Serverkühlung Unterzähler – 2017

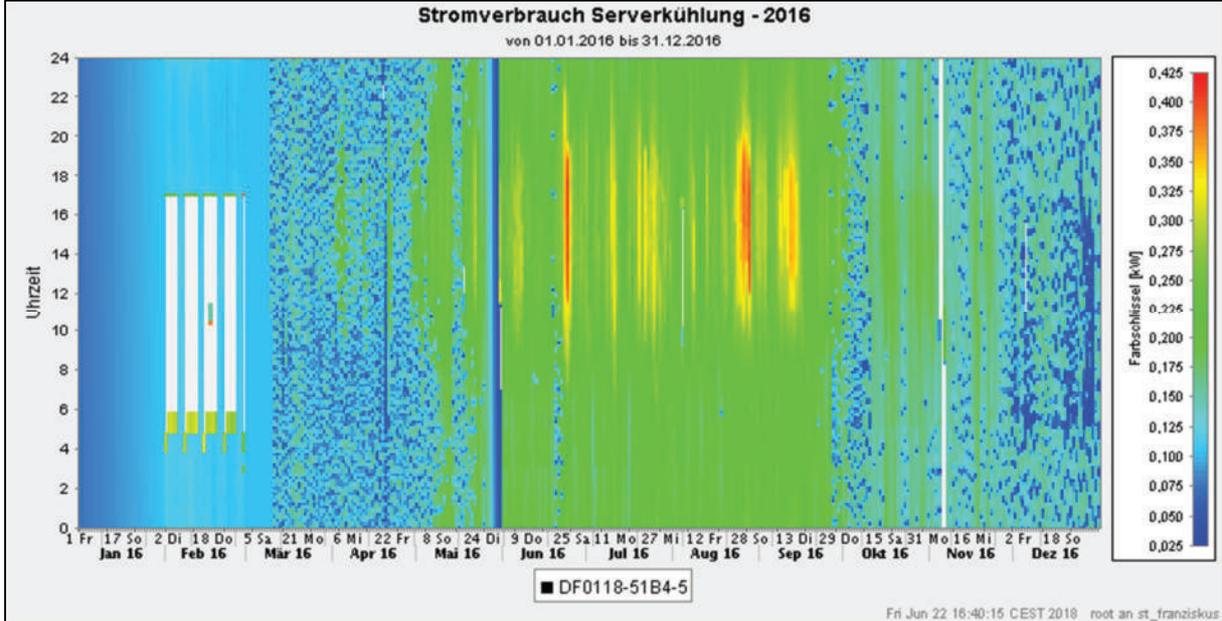


Abbildung 7-82: Carpetplot – Serverkühlung Stromverbrauch – 2016

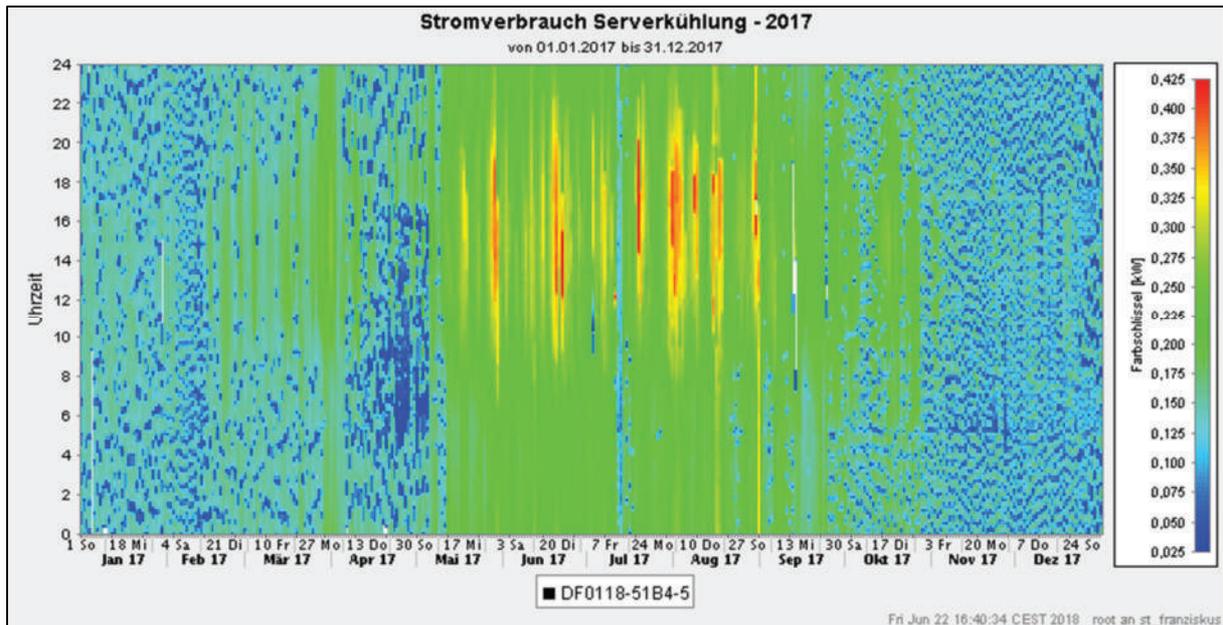


Abbildung 7-83: Carpetplot – Serverkühlung Stromverbrauch – 2017

Beispielhafte Betriebswochen

In Abbildung 7-84 ist eine typische Woche der Serverleistung dargestellt. Auffälligkeiten sind nicht erkennbar. Für die Serverkühlung werden alle vier Jahreszeiten dargestellt – Abbildung 7-85 bis Abbildung 7-88. Abhängig von der Außentemperatur und der Last taktet die Anlage. Bei den Frühlingsaußentemperaturen um 10°C ist tagsüber – bei größerer Kühllast – ein Dauerbetrieb erkennbar, aber nachts ein Takten. Im Sommer ist permanente Kühlung angesagt. Der Stromverbrauch steigt und fällt mit der Außentemperatur. Im Winter taktet die Anlage dagegen permanent.

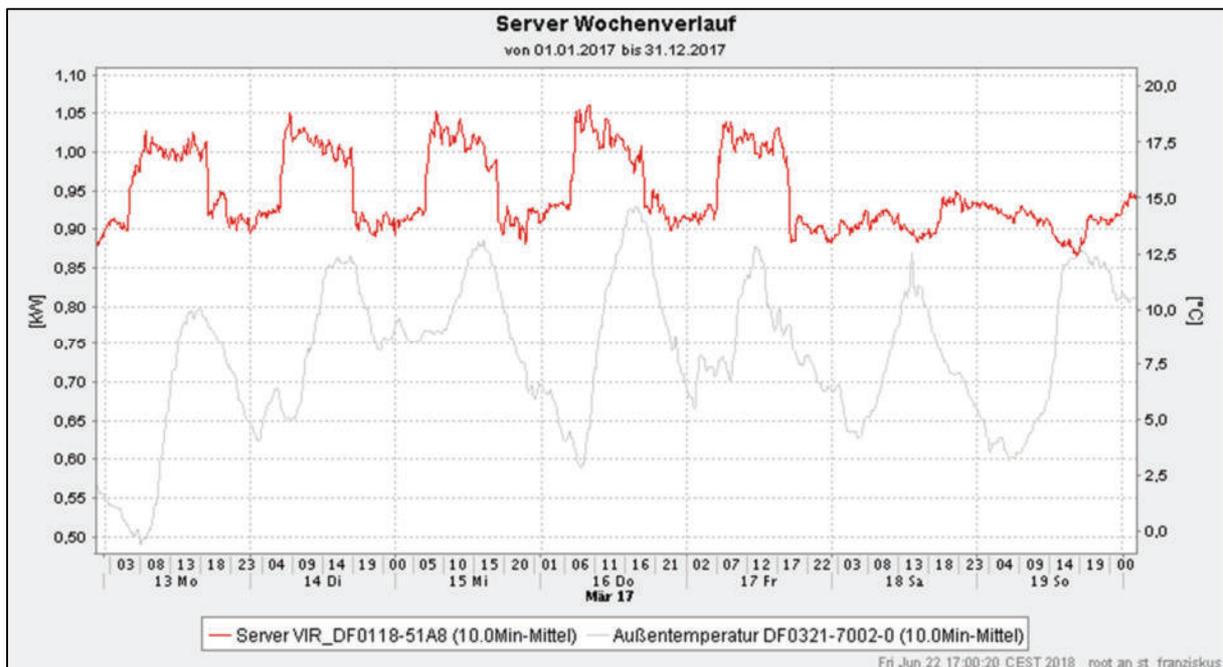


Abbildung 7-84: Server – beispielhafter Wochenverlauf

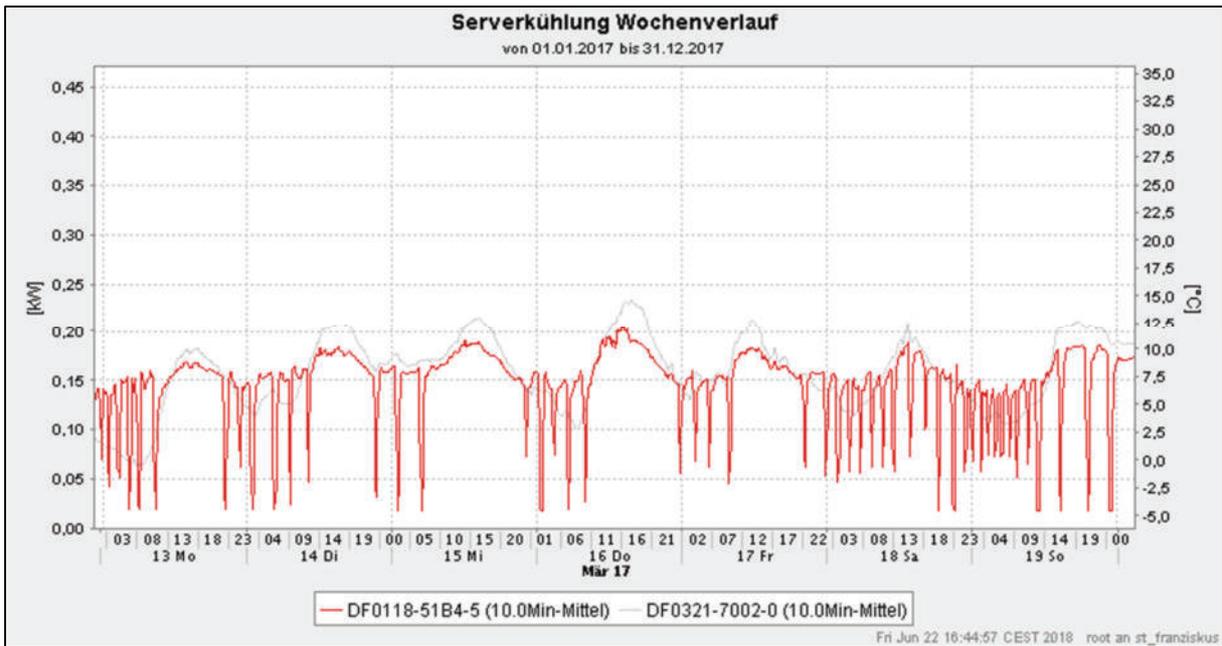


Abbildung 7-85: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling

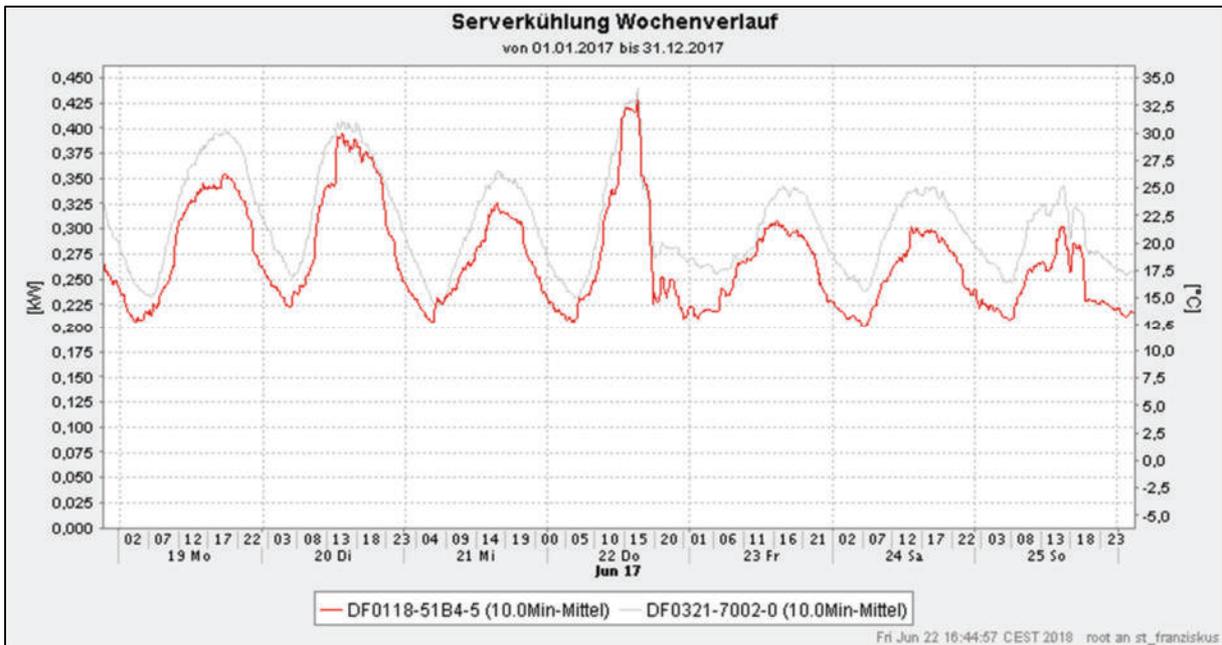


Abbildung 7-86: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer

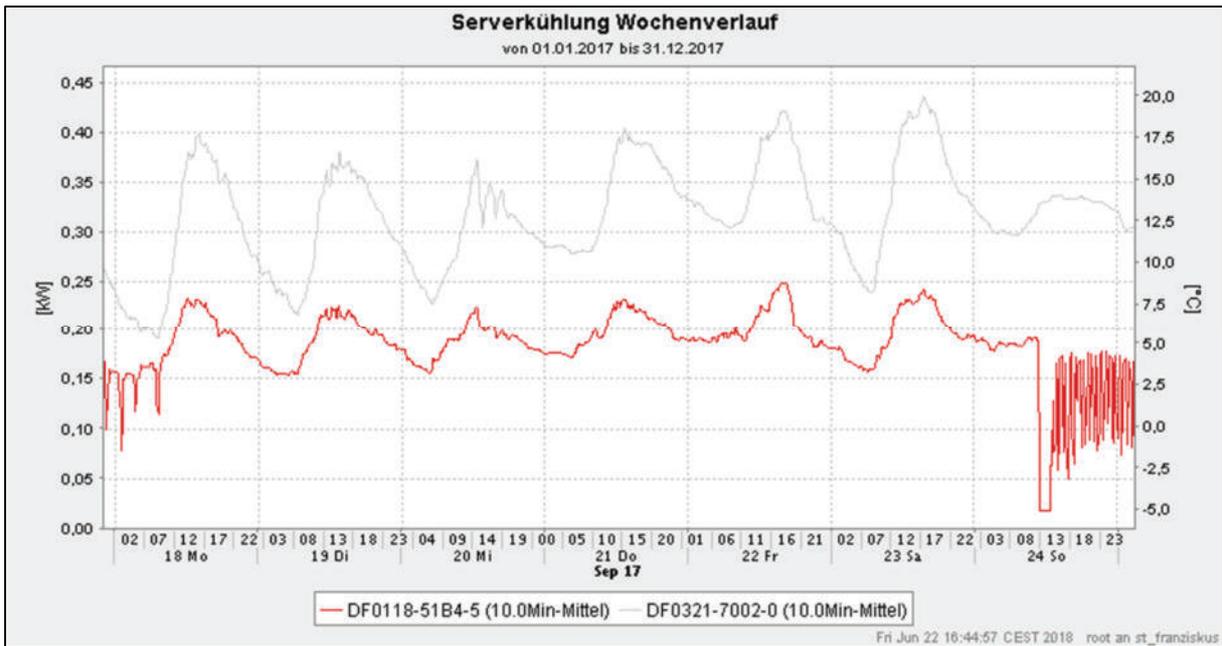


Abbildung 7-87: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst

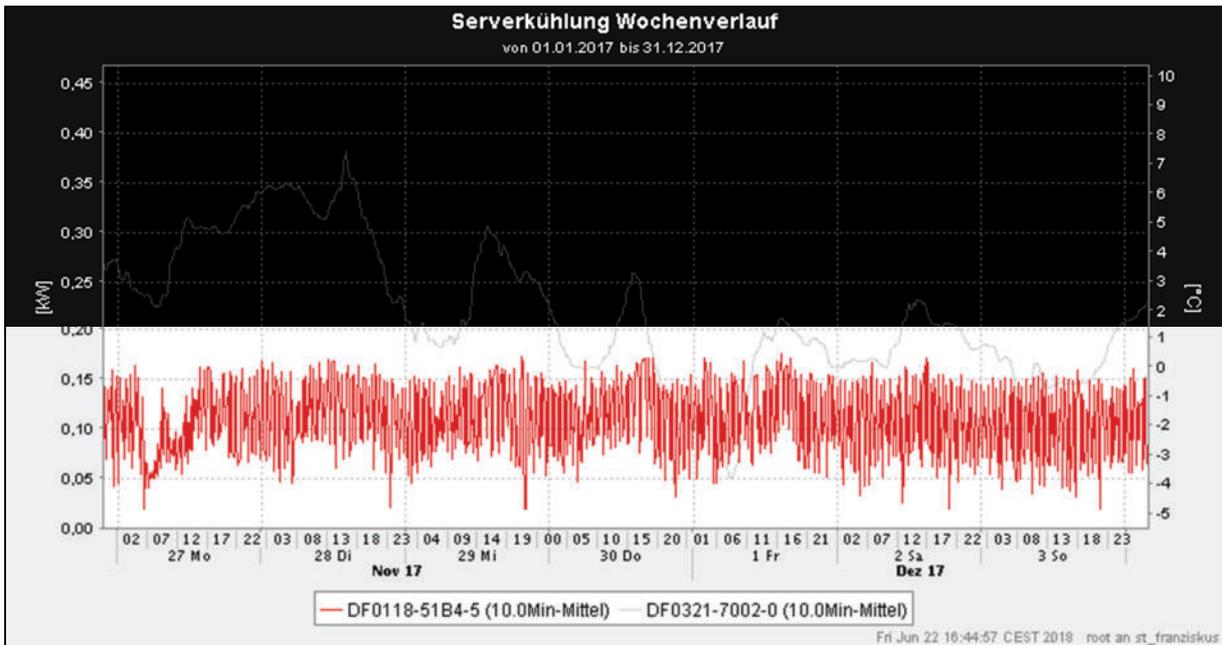


Abbildung 7-88: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Winter

Dauerlinien

Die Jahredauerlinien für Server und Kühlung sind Abbildung 7-89 und Abbildung 7-90 zu entnehmen.

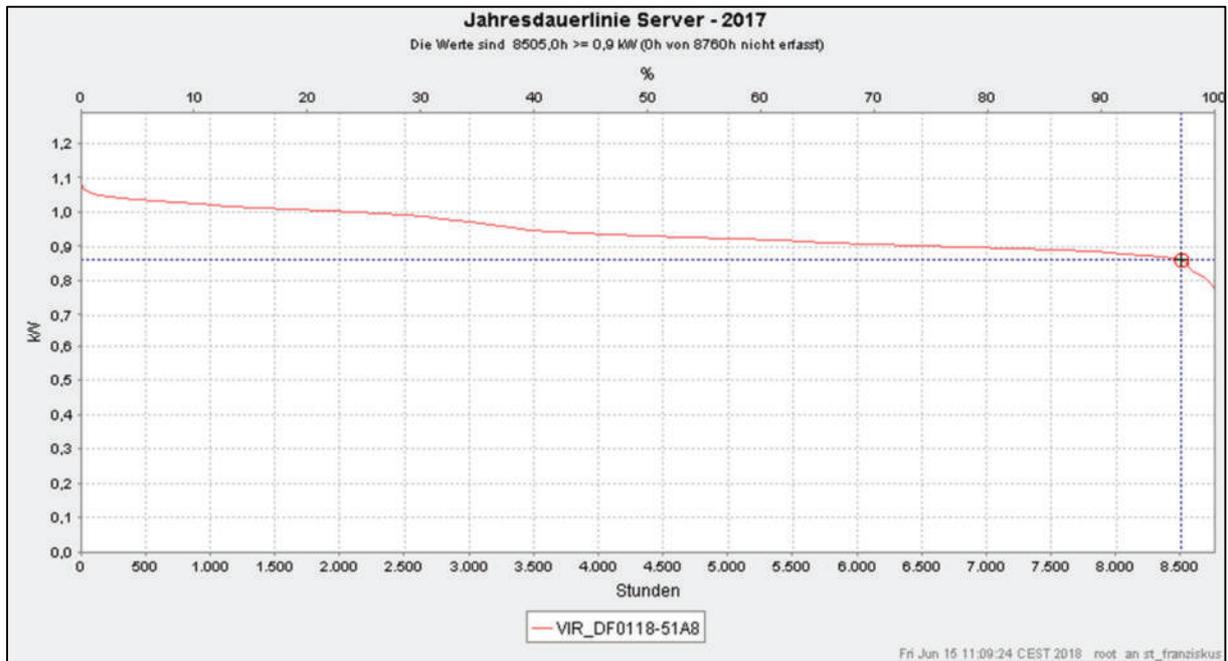


Abbildung 7-89: Jahredauerlinie – Stromverbrauch des Servers– 2017

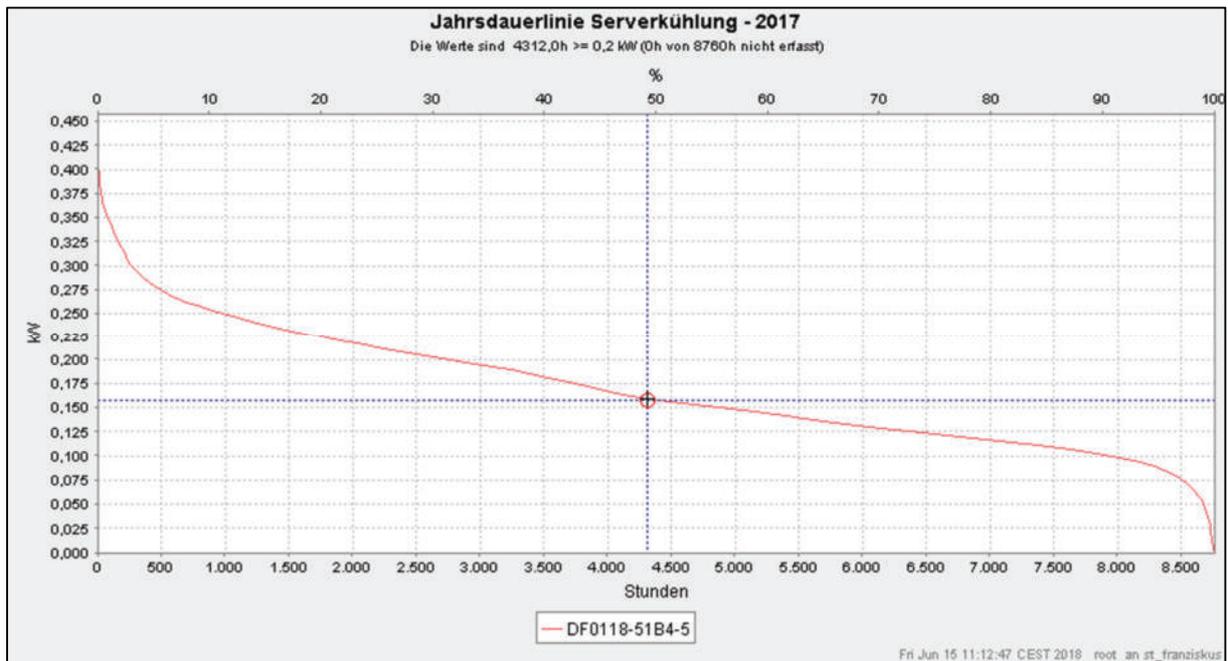


Abbildung 7-90: Jahredauerlinie – Stromverbrauch der Serverkühlung – 2017

Vor-Ort-Versuch: Sollwertänderung

Am 05.07.2017 wurde im Zusammenhang mit einer Begehung des Gebäudes die Raumsolltemperatur im Raum 0.04 um 2 Grad angehoben. Abbildung 7-91 zeigt die Reaktion der Anlage. Die Leistung wird um ca. 10 W nach unten geschoben.

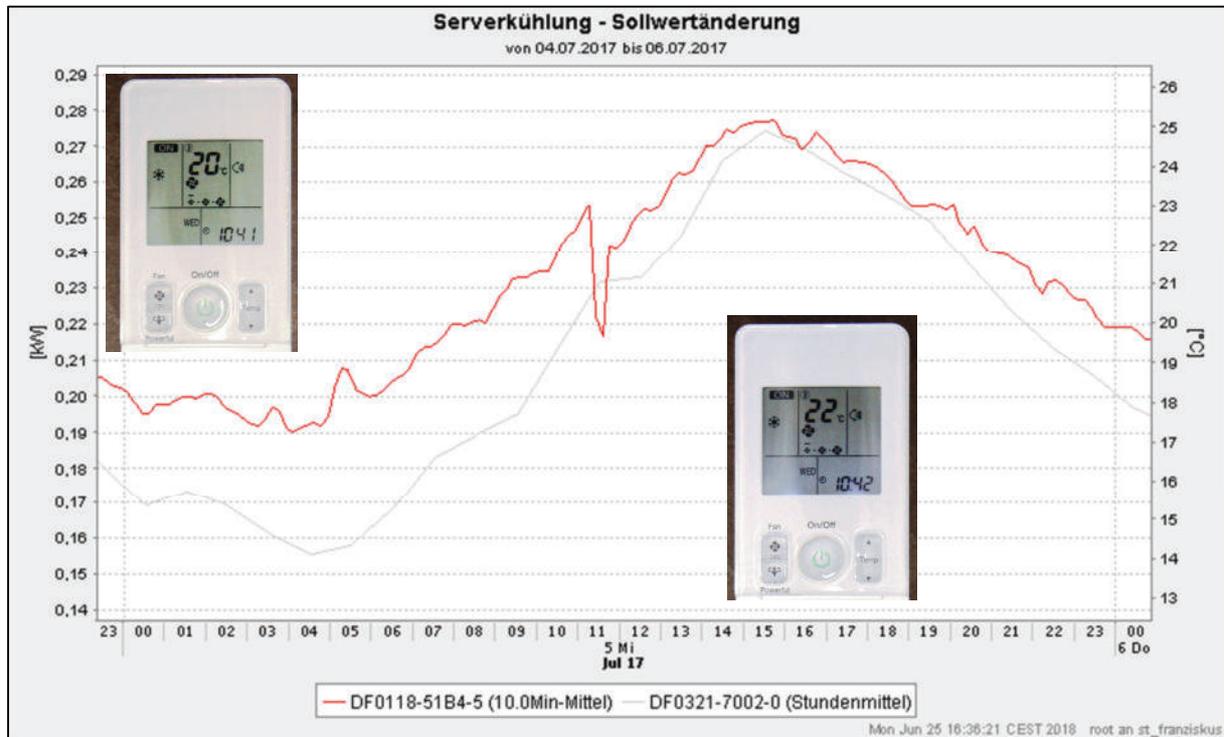


Abbildung 7-91: Reaktion der Kältemaschine auf eine Sollwertänderung am 5.7.2017

Optimierung

Eine Optimierung des Servers und der Kühlung wurde nicht unternommen. Für künftige Projekte wäre es sinnvoll, den Server direkt zu kühlen und nicht den gesamten Aufstellraum. Alternativ ist der Server so separat aufzustellen, dass nicht unnötig weitere Lasten abgeführt werden müssen, die auch problemlos im Gebäude verbleiben könnten.

7.2.7 Aufzug

Die Schule ist barrierefrei erstellt und besitzt daher einen Aufzug. Bei dem Aufzug handelt es sich um das Fabrikat Schindler 3300 mit einer Nutzlast bis 675 kg. Der Aufzug mit einer Korbgröße von 1,20 x 1,40 m kann bis zu neun Personen befördern. Eindrücke geben Abbildung 7-93 und Abbildung 7-92.



Abbildung 7-92: Bedienpaneel und Typenschild



Abbildung 7-93: Aufzug im Rohbau 2013 und im Betrieb 2018

Die Innenbeleuchtung erfolgt durch LED. Laut Datenblatt des Herstellers ist der Aufzug in die Energieeffizienzklasse A nach VDI-Richtlinie 4707-1 einzuordnen. Eine genaue Angabe des Grundverbrauchs ist nicht im Datenblatt verfügbar. Ein Telefonat mit der Fa. SCHINDLER hat einen Grundverbrauch von etwa 400 mA ergeben bei einer Spannung von 230 V. Das entspricht 92 Watt [19].

Energiebilanz

Abbildung 7-94 zeigt die Energiebilanz für den Aufzug. In den Ferien ist ein leichter Verbrauchsrückgang zu erkennen. Da aber der Verbrauch durch den Standby-Betrieb geprägt wird, sind die Werte jedoch insgesamt sehr konstant.

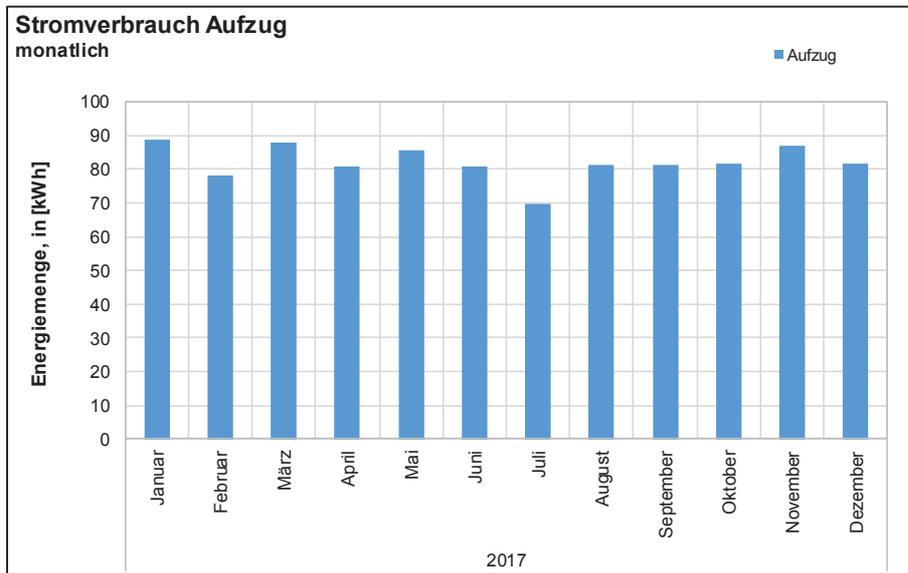


Abbildung 7-94: Monatsbilanz Aufzug – 2016/17

Lastverläufe

Abbildung 7-95 bis Abbildung 7-98 zeigen die Lastverläufe für den Aufzug in den beiden Untersuchungs Jahren. Da die maximale Datenaufösung 10 Minuten beträgt, ist der Fahrbetrieb nur erkennbar, wenn sehr viele Fahrten kurz hintereinander erfolgen.

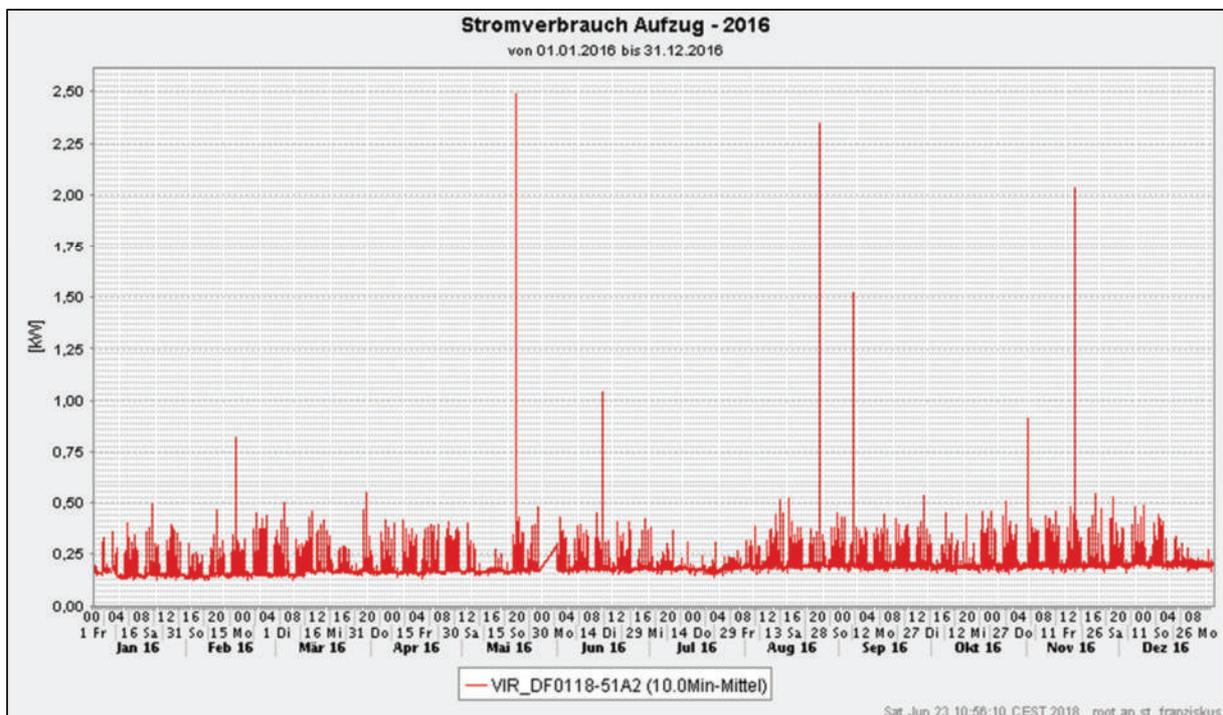


Abbildung 7-95: Verbrauchsverlauf – Aufzug Unterzähler – 2016

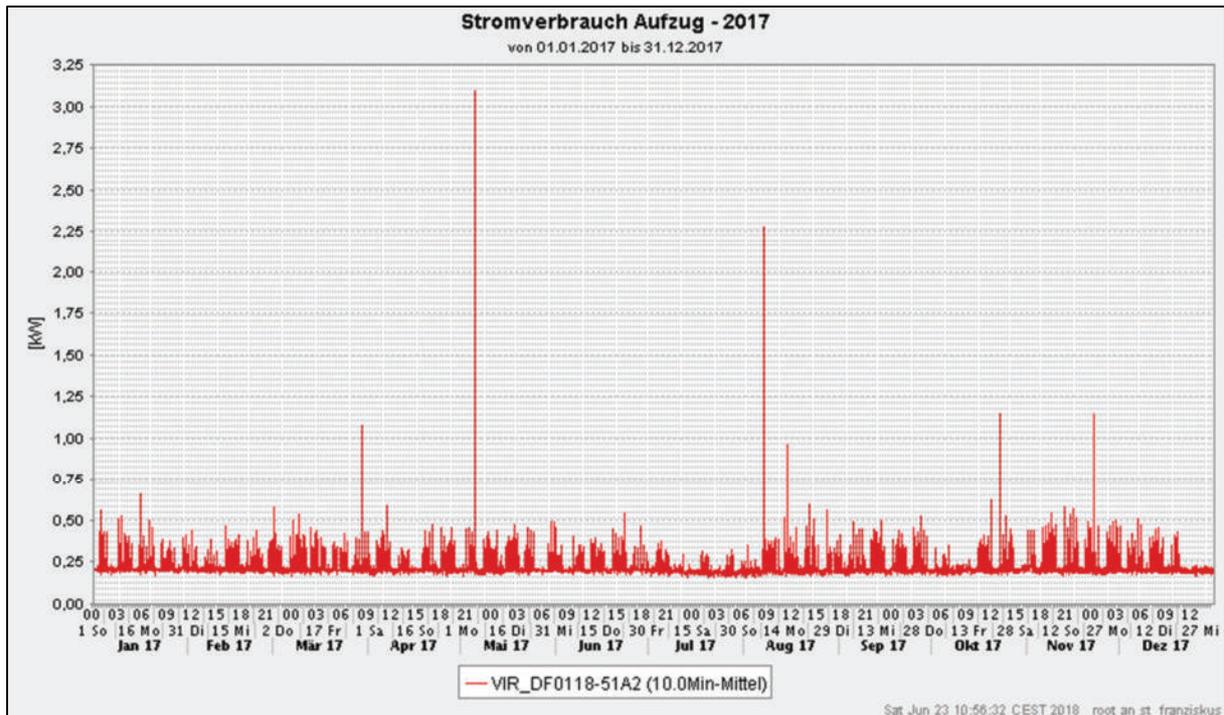


Abbildung 7-96: Verbrauchsverlauf – Aufzug Unterzähler – 2017

Die Carpet-Plots zeigen eine sehr regelmäßige Verteilung der Aufzugsnutzung über den Tag. Allerdings darf vermutet werden, dass zum Schuljahr 2016 ein Kind oder mehrere Kinder eingeschult wurden, die den Aufzug nutzen. Exakt ab August steigt die Häufigkeit der Nutzung an.

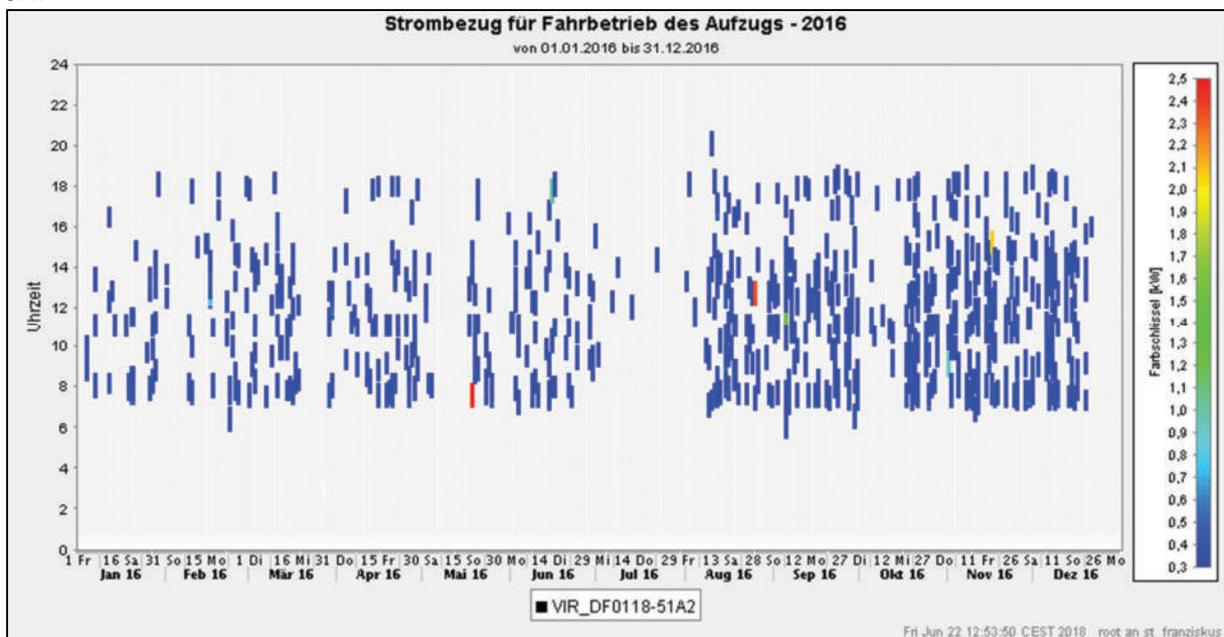


Abbildung 7-97: Carpetplot – Aufzug Stromverbrauch ohne Standby – 2016

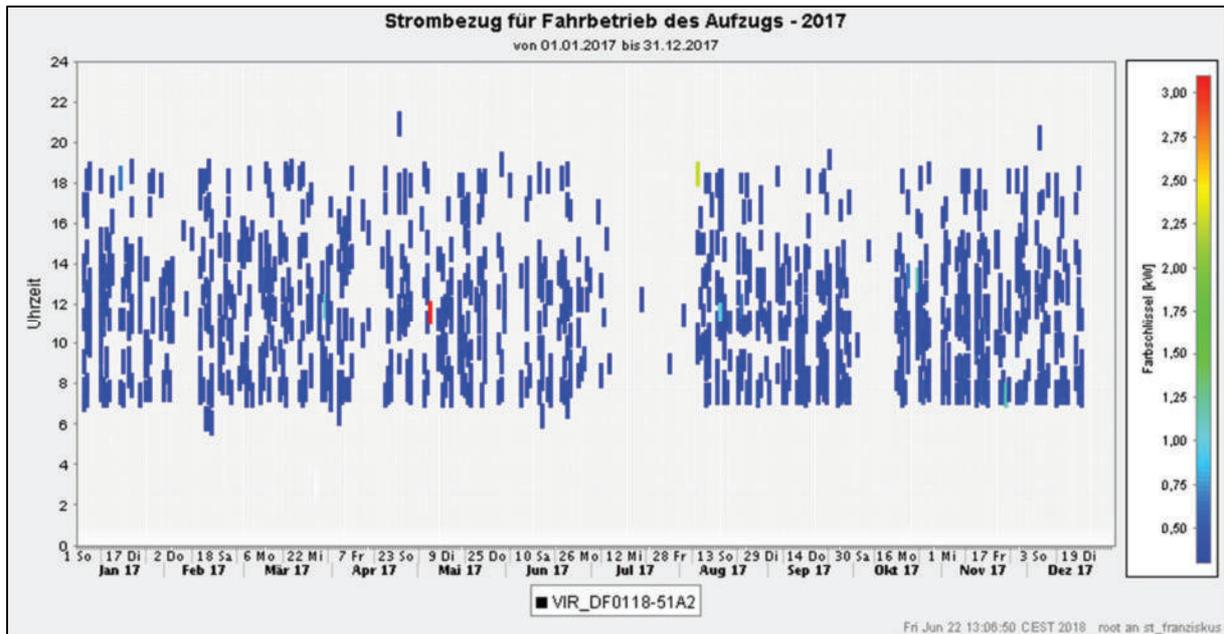


Abbildung 7-98: Carpetplot – Aufzug Stromverbrauch ohne Standby – 2017

Beispielhafte Betriebswochen und -tage

Abbildung 7-99 und Abbildung 7-100 zeigen beispielhafte Betriebswochen in der Schulzeit sowie der Ferienzeit 2017. Der Hausmeister hat den Aufzug am Wochenende nicht benutzt.

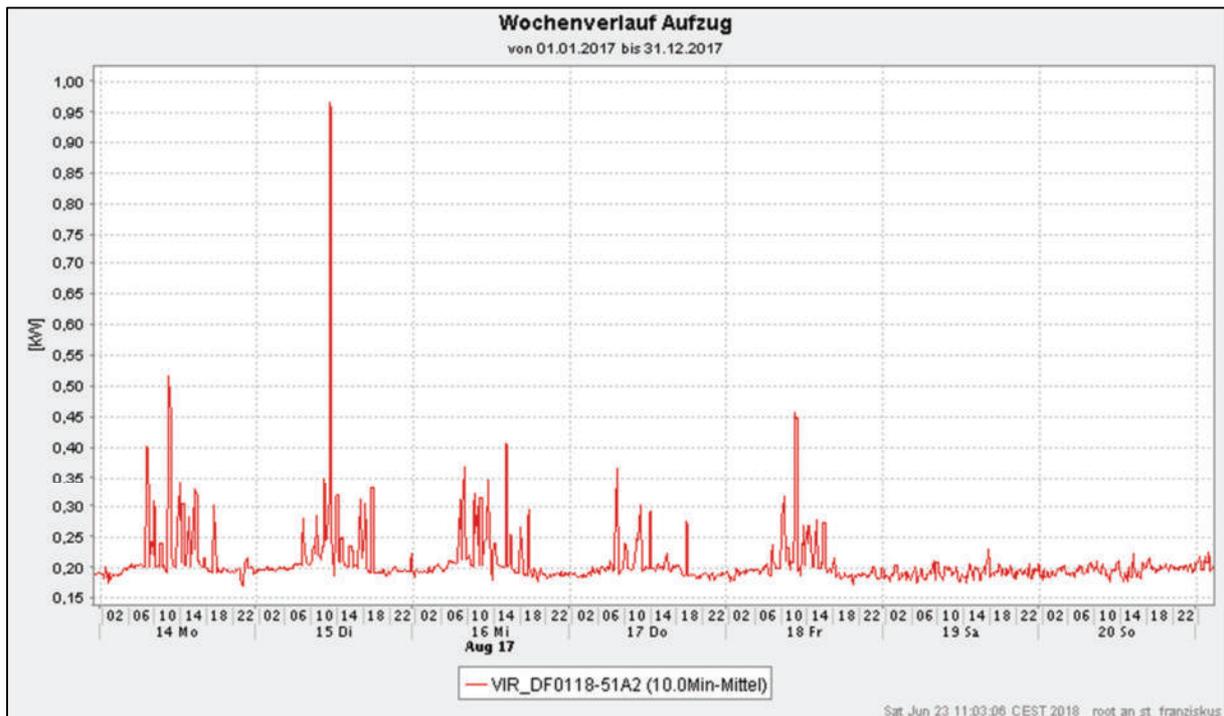


Abbildung 7-99: Aufzug – beispielhafter Wochenverlauf – Schulwoche

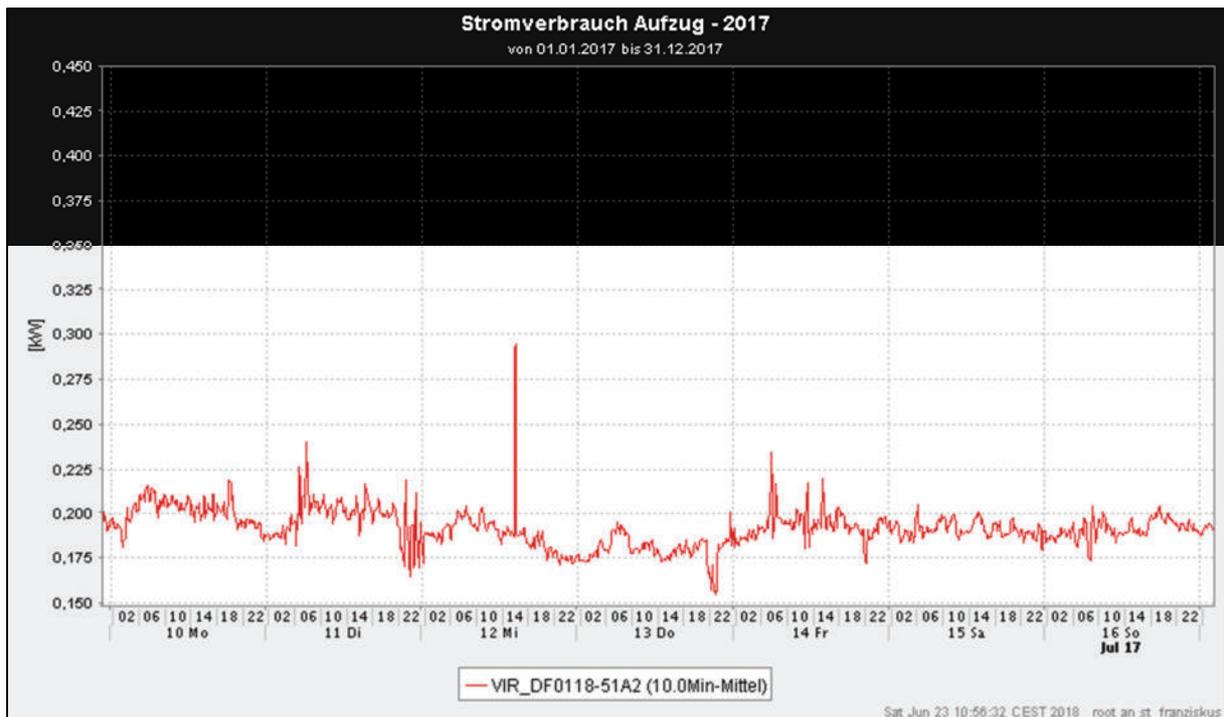


Abbildung 7-100: Aufzug – beispielhafter Wochenverlauf – Ferienhortwoche

Damit der potentielle Fahrbetrieb erkennbar wird, gibt Abbildung 7-101 einen beispielhaften Tagesverlauf eines Schultages an. Die Nutzung des Aufzugs erfolgt 11 Mal. Es kann abschließend festgestellt werden, dass der Fahrbetrieb im Jahr sehr gering ist und die Einstufung des Aufzuges nach VDI 4707 in die Nutzungsklasse 1 gerechtfertigt ist.

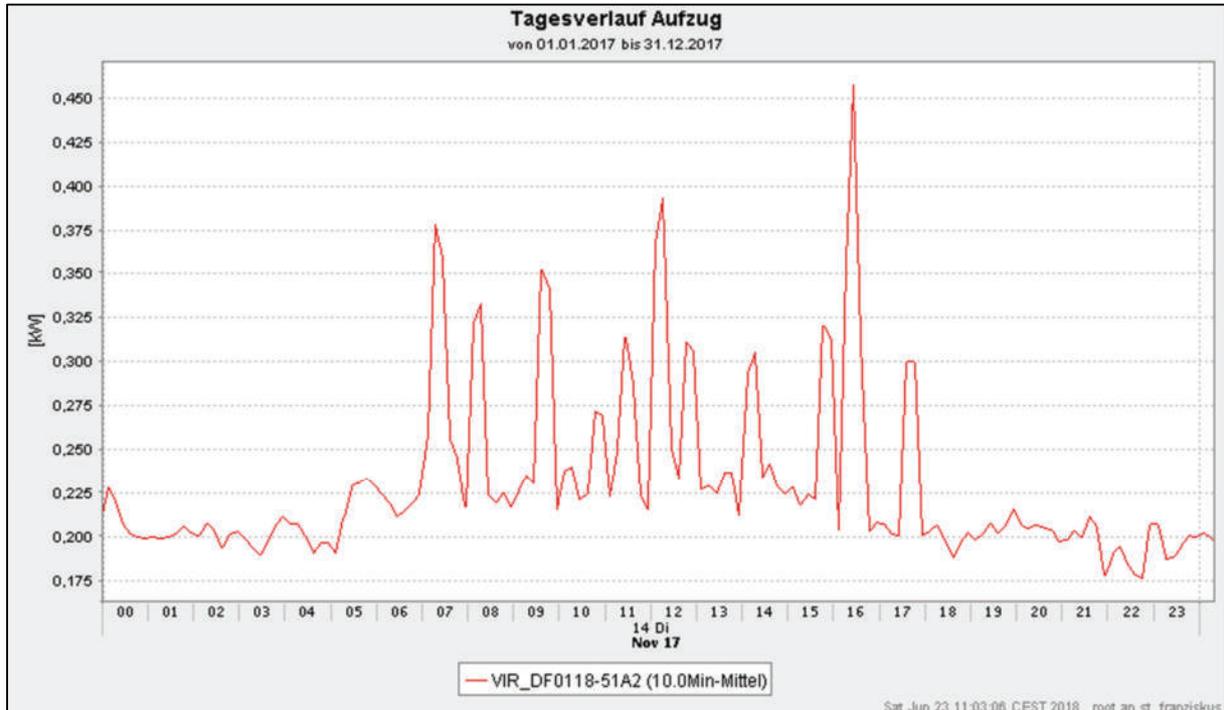


Abbildung 7-101: Aufzug – beispielhafter Tagesverlauf – Schultag

Dauerlinie

Abbildung 7-102 zeigt die Dauerlinie für den Aufzug. Die notwendige Messwertkorrektur liegt bei 100 W, siehe Kapitel 7.6. Diese konnte bei der Grafikerstellung mit MONISOFT nicht abgezogen werden. Der betreffende Bereich ist farbig hinterlegt. Es zeigt sich, dass sich der Aufzug praktisch nur im Standby befindet. Die Lastspitzen bis über 3 kW sind so selten, dass sie im Bild nicht erkennbar sind.

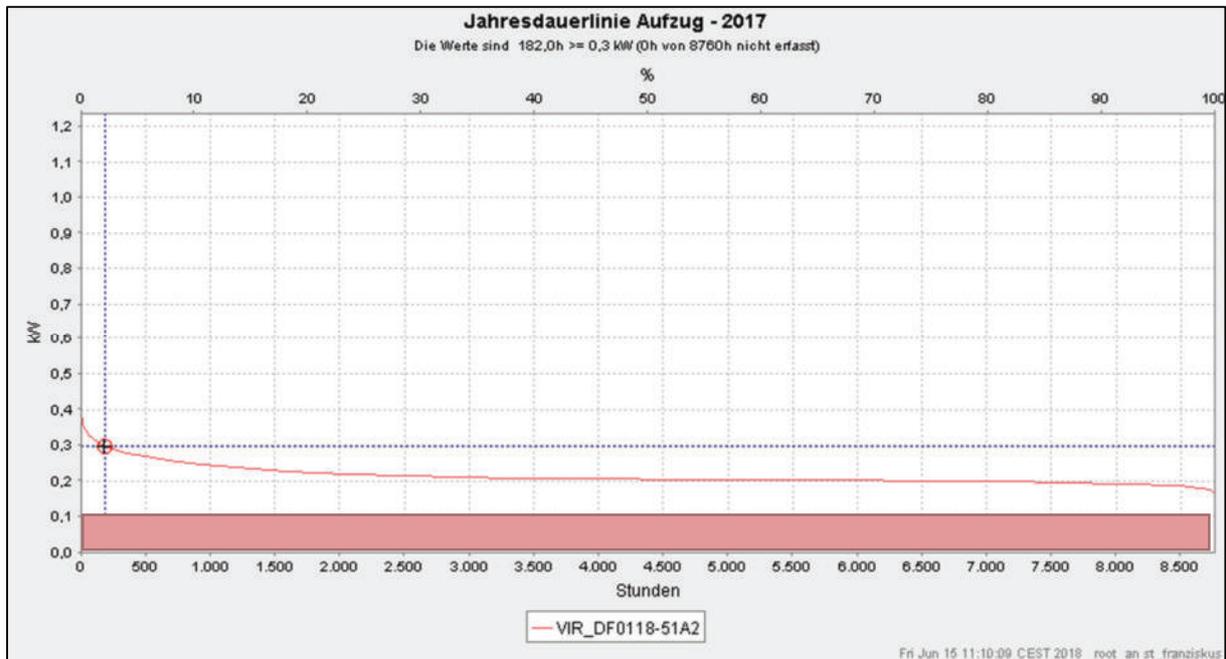


Abbildung 7-102: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch des Aufzugs – 2017

Messfehler

Abbildung 7-103 zeigt den Stromverbrauch des Aufzugs nur an Wochenenden. Bis auf wenige Nutzungen ist Standby-Verbrauch gegeben. Ein unerklärlicher Anstieg ist erkennbar, den auch der Hersteller nicht kommentieren konnte.



Abbildung 7-103: Tagesmittelwerte der Leistungsaufnahme des Aufzuges an Wochenenden

Optimierung

Aufgrund der geringen Nutzungszeit wird in einer Masterarbeit zur Stromoptimierung empfohlen, die Beleuchtungssituation im Aufzug zu untersuchen. Ein automatisches Abschalten der LED-Beleuchtung im Standby-Betrieb kann den Stromverbrauch ggf. weiter senken [11].

Nach einer Anfrage beim Hersteller stellte sich heraus, dass eine Verringerung des Stromverbrauchs im Standby-Modus durch Reduzierung des Kabinenlichtes möglich ist. Der Standby-Modus kann so programmiert werden, dass nach einer bestimmten Zeit des Nichtbenutzens der Anlage, diese in den sog. Sparmodus verfällt. In der Regel ist eine kurze Anlaufzeit gewünscht, deshalb fährt das System nicht auf null herunter.

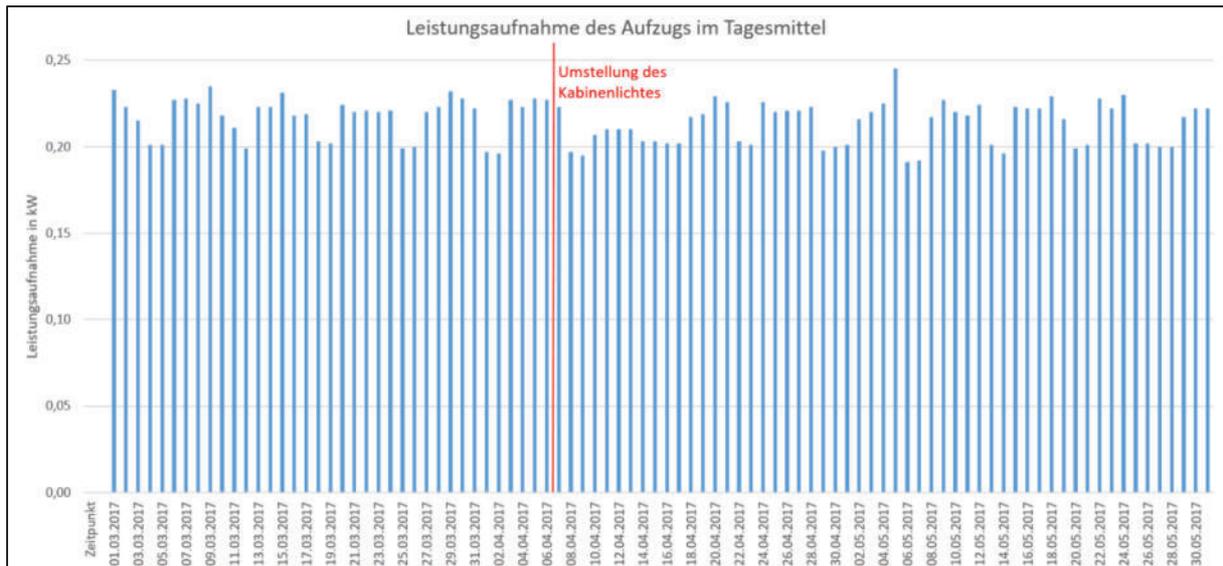


Abbildung 7-104: Leistungsaufnahme des Aufzugs im Tagesmittel – vor und nach Optimierung

Im Zuge der Wartung wurde am 07.04.2017 die Kabinenbeleuchtung so aktiviert, dass das Kabinenlicht bei Nichtbenutzung der Anlage auf das Notlicht reduziert wird. Leider konnten praktisch keine Einsparungen erzielt werden, da es sich bei den Leuchtmitteln bereits um sparsame LED handelt. Abbildung 7-104 zeigt die Leistungsaufnahme des Aufzugs im Tagesmittel in der Zeit vom 01.03.2017 bis 31.05.2017. Eine Auswirkung nach Umstellung des Kabinenlichtes ist nicht sichtbar.

7.2.8 RLT-Anlagen

Der Stromverbrauch der RLT-Anlagen wird im Monitoring erfasst. Eine detaillierte Analyse liefert der **Endbericht 7** zur Lüftung und Erdwärmenutzung. Nachfolgend werden für alle Anlagen die monatlichen Energiebilanzen der Untersuchungsjahre 2016 und 2017 vorgestellt. Die Lüftungsanlagen zählen in der St. Franziskus-Grundschule zu den größten Verbrauchern insgesamt und sind mit 37 % am Gesamtverbrauch des Objektes beteiligt.

RLT Verwaltungstrakt

Die Sensoren messen die Stromstärke für die folgenden Komponenten der Lüftungsanlage im Gebäudeteil A:

- Zuluft-Ventilator (Dreiphasenstromversorgung)
- Abluft-Ventilator (Dreiphasenstromversorgung)
- Nebenaggregate

Darüber hinaus wird der Pumpenstrom der Heizregisterpumpen separat erfasst. Die Auswertung folgt in Kapitel 7.2.9. Aus Abbildung 7-105 ergibt sich die Monatsbilanz. In den Monaten mit erhöhter Nachtlüftung ist ein größerer Verbrauch festzustellen.

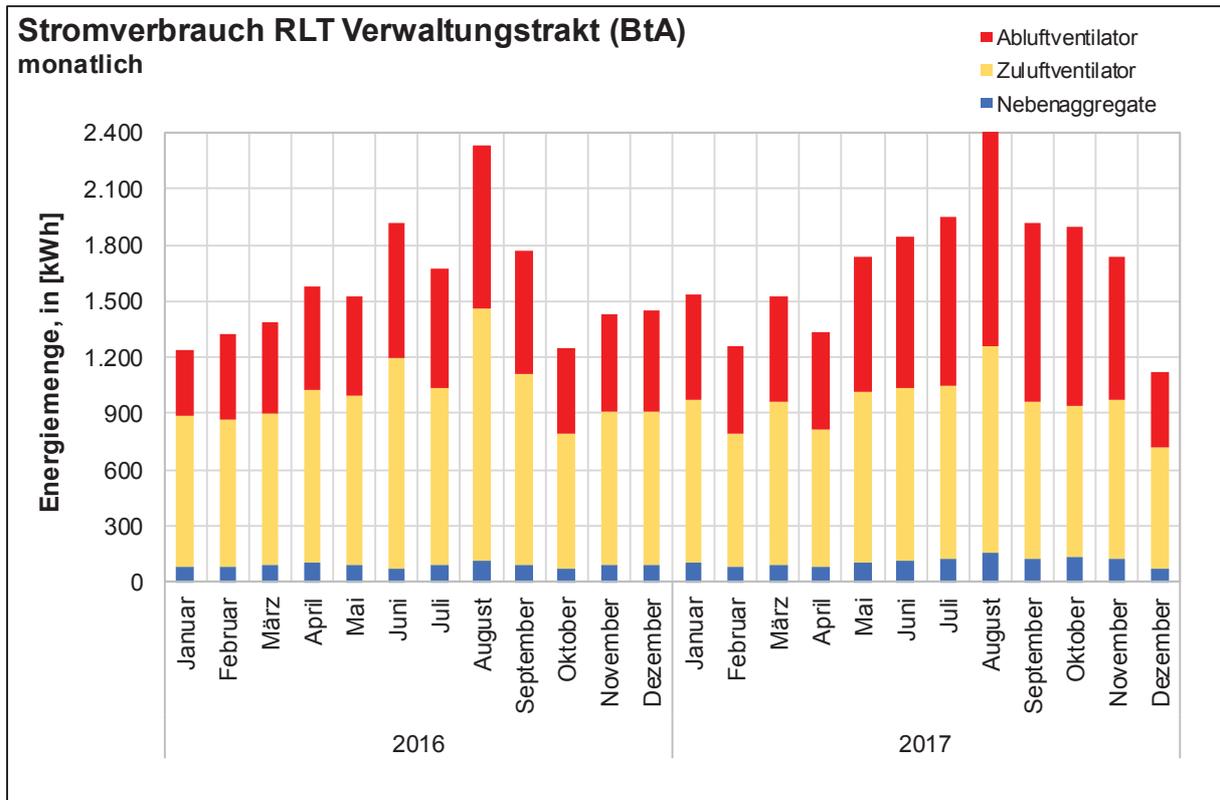


Abbildung 7-105: Monatsbilanz RLT-Anlage Verwaltungstrakt – 2016/17

Der Gesamtverbrauch liegt bei jährlich 10,6 MWh/a für den Zuluftventilator und 7,8 MWh/a für den Abluftventilator. Die Nebenaggregate (Schaltschrank, Volumenstromregler) haben 1,2 MWh/a Verbrauch. Eine Masterarbeit ergibt, dass besonders bei der Anlage in Gebäudeteil A kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Verbrauch und Nutzung festgestellt werden kann. Vor allem gab es kaum Unterschiede zwischen Ferien- und Schulbetrieb [11].

Der minimale Volumenstrom insbesondere der Aula ist deutlich zu hoch und bietet noch Einsparpotential. Im Jahr 2018 wurde eine erste Anlagenoptimierung (überwiegend an der zweiten RLT-Anlage) durchgeführt, welche – nach Überprüfung der Erfolge dort – später noch fortgeführt und ggf. auf den Gebäudeteil A übertragen werden soll.

RLT Verwaltungstrakt

Abbildung 7-106 zeigt die Ergebnisse für die RLT-Anlage im Klassentrakt. Hier werden die Ventilatoren (als Summe) sowie die Nebenaggregate erfasst. Der Jahresverbrauch beläuft sich auf 14,3 MWh/a bzw. 2,0 MWh/a. Der Ausreißer im August 2018 ist auf eine Fehlbedienung der Anlage zurückzuführen.

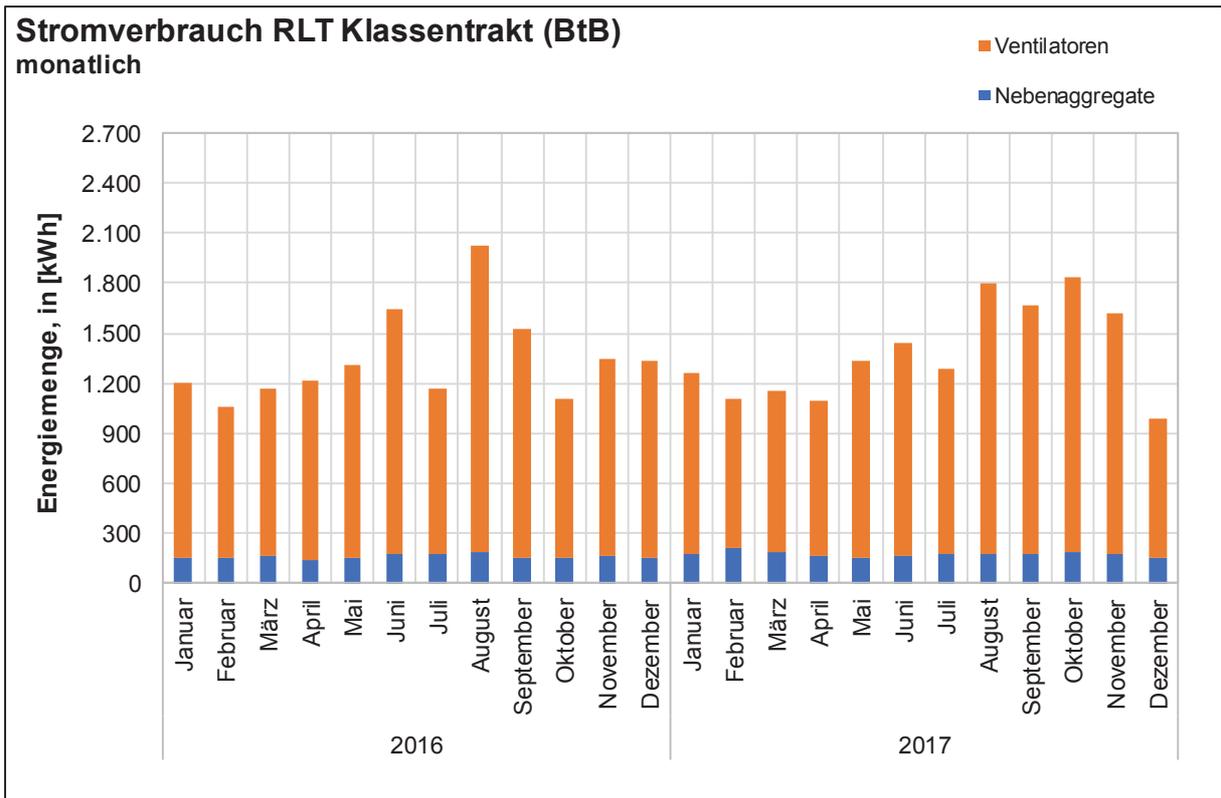


Abbildung 7-106: Monatsbilanz RLT-Anlage Klassentrakt – 2016/17

Die 2018 durchgeführte Anlagenoptimierung wird den Stromverbrauch voraussichtlich nicht vermindern, sondern noch erhöhen. Die bis dato fehlende Nachtlüftung wurde in Betrieb genommen. Da die Anlage kaum außerhalb der tatsächlich notwendigen Zeiten läuft (Komplettabschaltung nach Feierabend und am Wochenende) und auch keine überhöhten Luftwechsel liefert, ist hier kaum Einsparpotential zu vermuten.

Wohnungslüftung Hausmeister

Abbildung 7-107 zeigt die Energiebilanz der Lüftungsanlage für die Hausmeisterwohnung. Es sind keine Auffälligkeiten feststellbar. Das Jahr 2016 konnte aufgrund fehlender oder fehlerhafter Messwerte nicht ausgewertet werden.

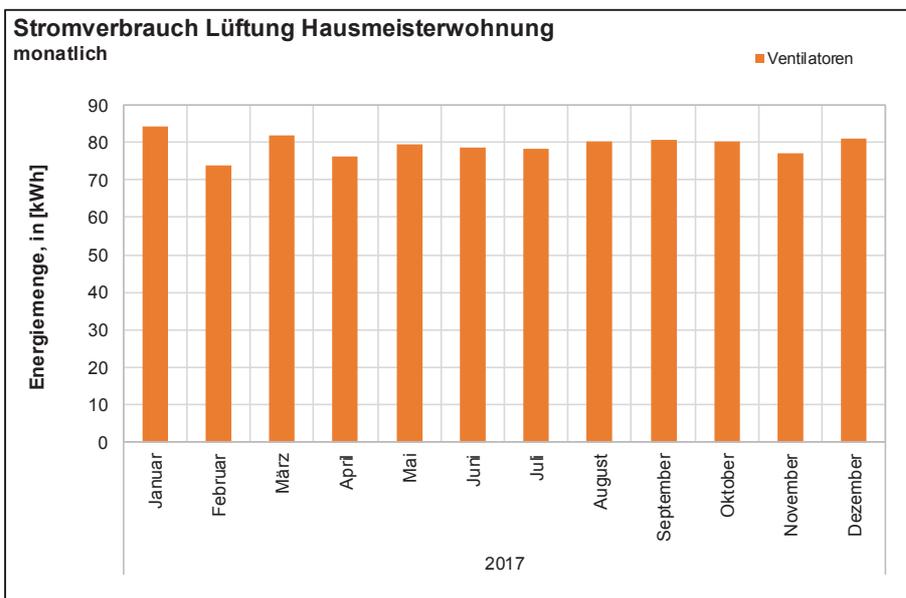


Abbildung 7-107: Monatsbilanz Lüftungsanlage Hausmeisterwohnung – 2017

Küchenlüftung

Die Küche ist mit drei Anlagen ausgestattet. Die Grundlüftungsanlage läuft außerhalb der regulären Nutzungszeit, also nach Betriebsschluss und an Wochenenden. Sie stellt einen Mindestluftwechsel sicher und soll Gerüche beseitigen. Die beiden anderen Anlagen werden bei Bedarf zugeschaltet. Dabei müssen sie auch laufen, wenn geheizt werden soll. Ansonsten dienen sie der Abfuhr von Feuchte und Gerüchen. Alle drei Anlagen weisen eine Wärmerückgewinnung auf.

Abbildung 7-108 zeigt die Monatsenergiebilanz. Der Ausreißer im November 2017 wird auf eine Fehlbedienung zurückgeführt. Der Gesamtverbrauch eines Jahres liegt bei 1,7 MWh/a für die Kochhaube (mit der auch der Aufenthaltsbereich geheizt wird), 0,5 MWh/a für die Spülhaube sowie 1,3 MWh/a für die Grundlüftung.

Hinsichtlich der Betriebsoptimierung ist folgendes festzuhalten: der Verbrauch der Spülhaube lässt sich kaum weiter vermindern, da sie überwiegend zur Bedarfslüftung eingesetzt wird. Bei der Kochhaube wird eine erneute Nutzerschulung stattfinden, in der erläutert wird:

- dass im Winter der Heizerfolg größer bei kleiner Luftmenge ist
- dass im Sommer mit hohen Außentemperaturen die Raumaufheizung zunimmt, wenn die Anlage mit großen Volumenströmen betrieben wird.

Die Grundlüftungsanlage soll künftig nur noch kurz vor dem Eintreffen der Nutzer laufen. Es ist nicht sinnvoll, das ganze Wochenende bzw. die ganze Nacht ohne Nutzeranwesenheit durchzulüften. Im Winter kühlt sich das Gebäude dadurch nur unnötig aus.

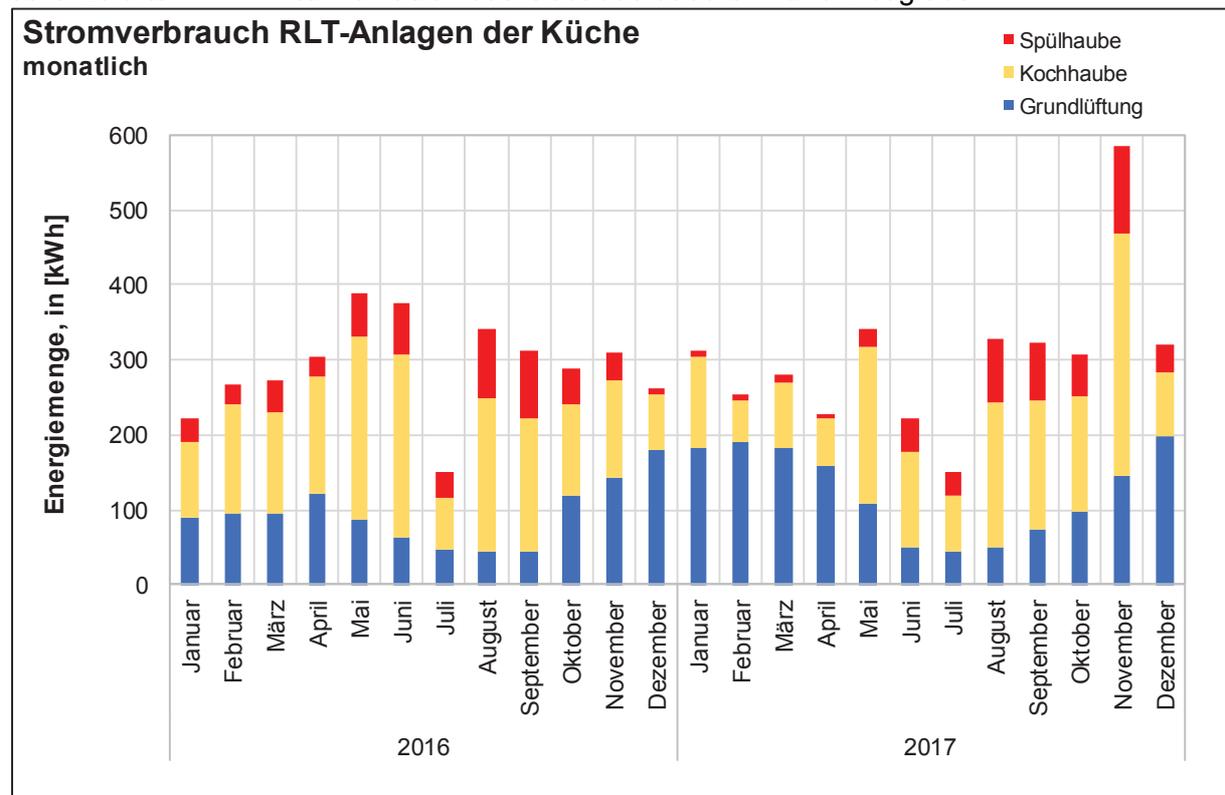


Abbildung 7-108: Monatsbilanz RLT-Anlagen Küche – 2016/17

7.2.9 Pumpen

Abbildung 7-109 zeigt die Gesamtbilanz der Pumpen mit jährlich 5,4 MWh/a. Der Verbrauch ist verglichen mit den Ventilatoren gering. Er liegt bei etwa 5 % des Jahresgesamtverbrauchs.

Den größten Anteil mit 4,1 MWh/a hat die Druckerhöhungsanlage der Brauchwassernutzung. Die Datenlücken Mitte 2016 sind auf einen Defekt der Anlage zurückzuführen. Langfristig ist nicht ausgeschlossen, dass die Anlage stillgelegt wird, da sie ein sehr ungünstiges Verhältnis von (laufenden) Kosten zu Nutzen aufweist. Weitere Details sind dem [Abschlussbericht 12](#) zu entnehmen.

Die Heizungspumpen weisen mit 0,5 MWh/a einen geringen Anteil am Verbrauch auf. Es handelt sich um Hocheffizienzpumpen, so dass das Einsparpotential eher gering ist. Veränderte Schaltzeiten können ggf. nach dem (noch ausstehenden) Bau der Turnhalle erfolgen. Weitere Auswertungen sind im [Abschlussbericht 9](#) zu finden.

Die Hilfsenergie der Solarthermie sowie Salzhydratspeicheranlage liegt bei 0,8 MWh/a, siehe [Abschlussbericht 8](#). Eine Verminderung könnte sich ergeben, wenn die Salzhydratspeicheranlage künftig der noch zu errichtenden Turnhalle zugeordnet wird.

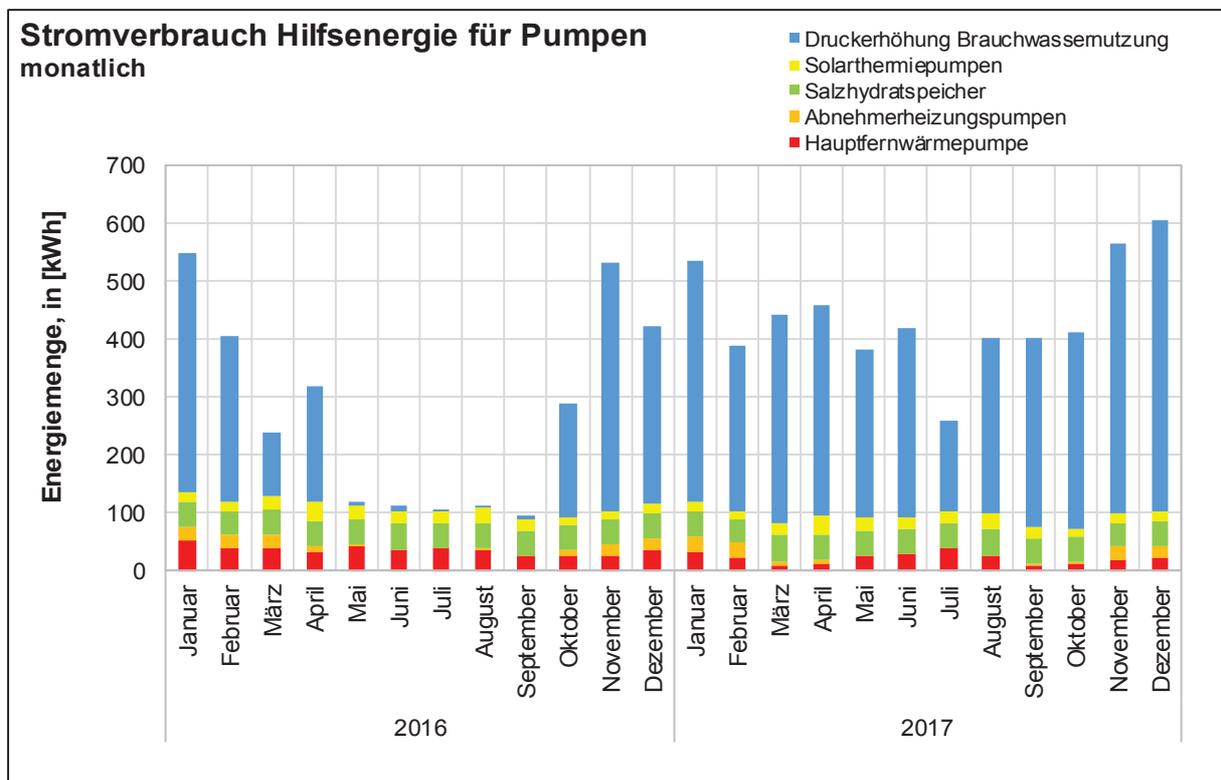


Abbildung 7-109: Monatsbilanz Stromverbrauch Pumpen– 2016/17

7.2.10 Trinkwassererwärmung

Hausmeisterwohnung

Abbildung 7-110 zeigt die Auswertung der Trinkwassererwärmung für die Hausmeisterwohnung.

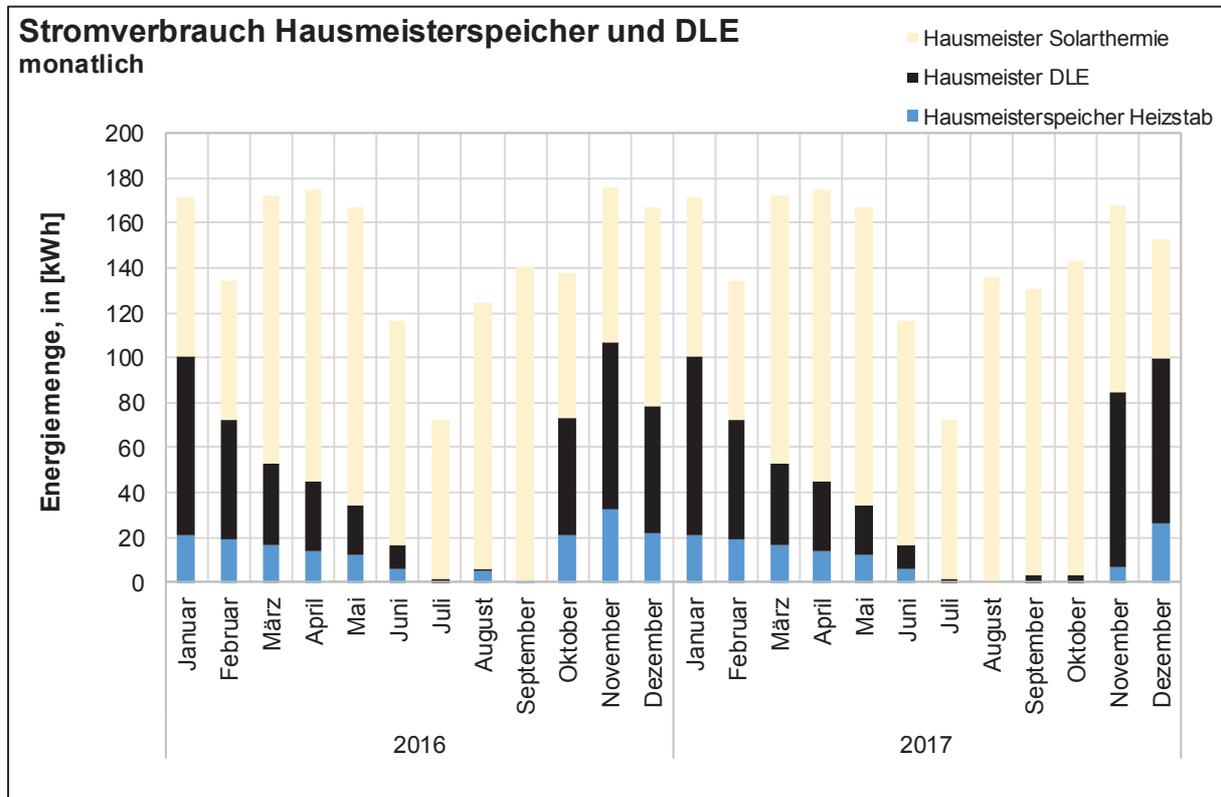


Abbildung 7-110: Monatsbilanz Stromverbrauch Trinkwarmwasserspeicher – 2016/17

Es ist ein Trinkwasserspeicher mit Anschluss an die Solarthermie als Vorwärmstufe installiert sowie in der Wohnung Durchlauferhitzer als Nacherwärmung. Der Speicher wird im Bedarfsfall einmal wöchentlich thermisch desinfiziert. Es kommt eine elektrische Heizpatrone zum Einsatz. Weitere Details zur Funktion sind im [Abschlussbericht 8](#) nachzulesen.

Die jährliche Gesamtenergiemenge für den Vierpersonenhaushalt liegt bei 1745 kWh/a. Der Wert ist als unterdurchschnittlich einzustufen. Er entspricht eher einem Dreipersonenhaushalt. 68 % des Bedarfs werden solar erzeugt, 8 % im Rahmen der thermischen Desinfektion dem Speicher zugeführt sowie 23 % lokal über die DLE geliefert.

Es ist kein Verbesserungspotential erkennbar, welches zu einer Stromeinsparung führen würde.

Küche

In der Küche ist ein Pufferspeicher mit solarer Vorwärmung und elektrischer Nachheizung in Betrieb. Die geplante Fernwärmenutzung findet nicht statt, weil das gegebene Temperaturniveau nicht hoch genug ist. Weitere Ausführungen zu dieser Thematik sind im [Abschlussbericht 8](#) nachzulesen.

Abbildung 7-111 zeigt die Monatsbilanz der Jahre 2016 und 2017. Der Solarertrag ist mit eingetragen. Die Variation des Verbrauchs insgesamt ist geprägt von der Anzahl der Hort- und Ferientage. Der Stromverbrauch hängt zusätzlich von der solaren Vorwärmung bzw. deren Fehlen ab.

Die Werte ab August 2017 nehmen stark ab. Mit dem neuen Betreiber wird die Küche nicht mehr als Kochküche betrieben, sondern als Aufwärmküche. Dies vermindert den Spül- und Reinigungsbedarf deutlich. Ausgehend vom Betriebsjahr 2016 ergibt sich ein Jahresstromverbrauch von 2,9 MWh/a. Der prognostizierte Wert mit dem neuen Betreiber liegt bei nicht einmal 30 % dieses Wertes.

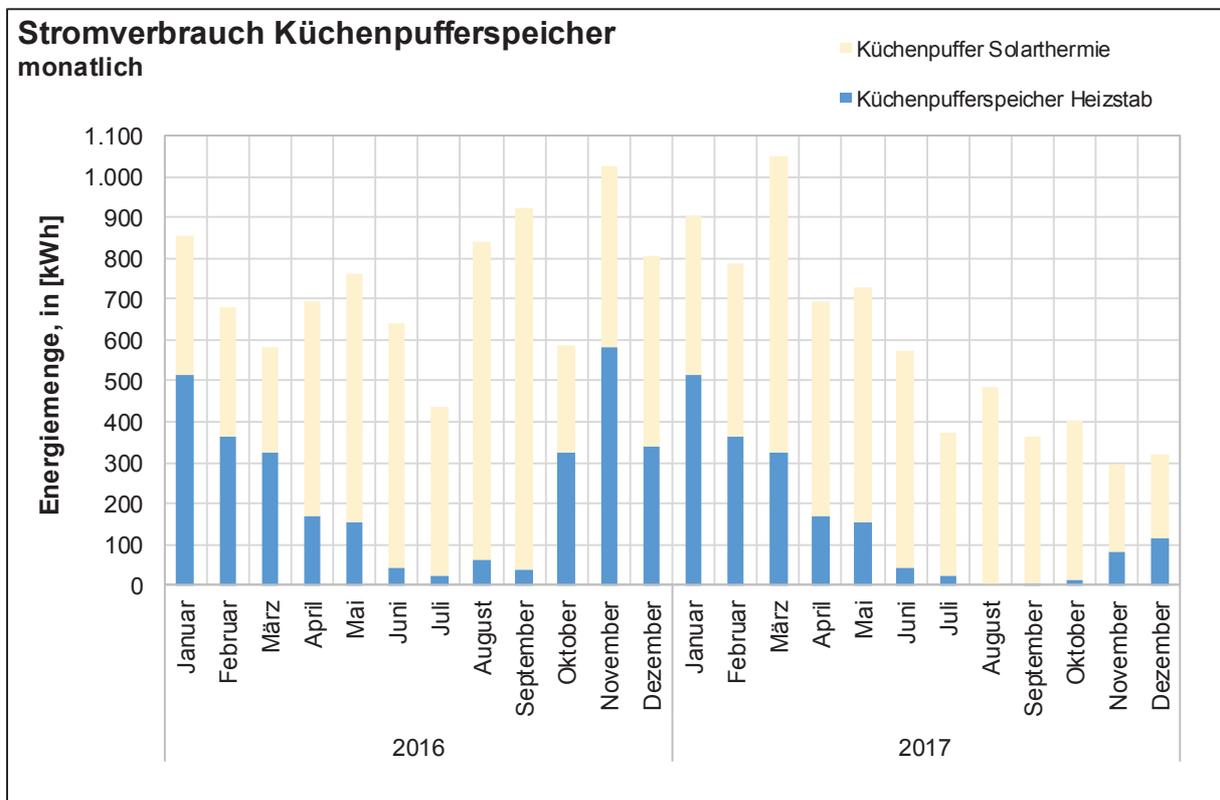


Abbildung 7-111: Monatsbilanz Stromverbrauch Pufferspeicher – 2016/17

Im Jahr wurden vom ersten Betreiber jeweils etwa 61.000 Essen zubereitet; der Wert ergibt sich wie folgt:

- Schultage: 300 Essen/d, ca. 190 d
- Kleine Ferien: 65 Essen/d, ca. 40 d
- Große Ferien: 100 Essen/d, ca. 14 d
- Rest Schließzeit

Damit liegt der Stromeinsatz für die Trinkwassererwärmung bei 0,05 kWh/Essen. Das bedeutet (ausgehend vom Strompreis des Versorgers 0,27 €/kWh) einen Kostenanteil von 1,3 Cent/Essen.

7.3 Detailanalyse Windkraft

Die Detailanalyse der Windkraftanlage begann Ende 2015. Die ersten Messdaten nach der Inbetriebnahme des Monitoring wurden im Rahmen der Masterarbeit von Robert Schulze plausibilisiert [20]. Er fand heraus, dass trotz fehlenden Windangebotes ein Stromfluss verzeichnet wurde. Gemessen wird im Sicherungsschrank an der Sicherung („Windrad“), also direkt an der Netzanbindung (230 V Wechselstrom), wodurch der Eigenverbrauch der Anlage mit gemessen wird.

Der im Januar 2016 folgende Vor-Ort-Termin der ausführenden Messtechnikfirma GEDES bestätigte die Vermutung. Die Stromflusssensoren registrierten keinen Stromertrag, sondern einen Strombezug, welcher von der Peripherie der Anlage (Gleichrichter, Wechselrichter, Sicherheitsüberwachung) ausgelöst wird, siehe Kapitel 3.4. Ein Nulldurchgang des Stromflusses konnte bei 135 W Generatorleistung festgestellt werden. Dies ist die Leistung, bei der der Eigenverbrauch aus der Stromerzeugung gedeckt wird.

Die Datenerfassung des Monitorings wurde anschließend nachgerüstet. Eine Leistungsüberwachung registriert die Spannungsrichtung und unterscheidet nur die Fließrichtung (Stromlieferung und Strombezug). In der Datenerfassung wurden anschließend von GEDES zwei virtuelle Zähler programmiert, die das Nettoergebnis der Leistungsbilanz anzeigen, so wie es aus Sicht des Gebäudes relevant ist: "Nettowindstromproduktion" und "Nettowindstrombezug".

Die Peripherie bezieht dauerhaft ca. 135 W Leistung als Eigenverbrauch, auch wenn kein Wind weht. Ab ca. 70 W produzierter Windleistung beginnt der Wechselrichter zu arbeiten, sodass der Verlust dann nur noch 65 W beträgt. Ab 135 W Windleistung ist der Verlust ausgeglichen, erst darüber entsteht ein Ertrag. Das heißt, die Anlage produziert grundsätzlich etwa 135 W mehr als im virtuellen Zähler "Nettowindstromproduktion" dargestellt wird.

Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit ist vom Standort abhängig. Die Plausibilisierung der Daten erfolgte in einer Masterarbeit [20]. In Abbildung 7-112 ist erkennbar, dass die Windgeschwindigkeit am Standort der Schule im Mittel 2 m/s über dem Referenzwert des DWD liegt. Trotz der höheren Lage der Wetterstation, auf 149 Meter gegenüber der Stadt Halle mit 88 Meter, kann man von einer korrekten Messung ausgehen.

Der Verlauf ist relativ identisch, weshalb nicht von einer generellen Fehlmessung ausgegangen wird. Als Grund für die hohen Geschwindigkeiten kommen die in der Stadt häufig auftretenden Verwirbelungen infrage. Generell nimmt die Windgeschwindigkeit Richtung Stadtkern ab. Durch eine Kanalisierungswirkung kann es jedoch sein, dass einzelne Gebäude größeren Windgeschwindigkeiten ausgesetzt sind [20].

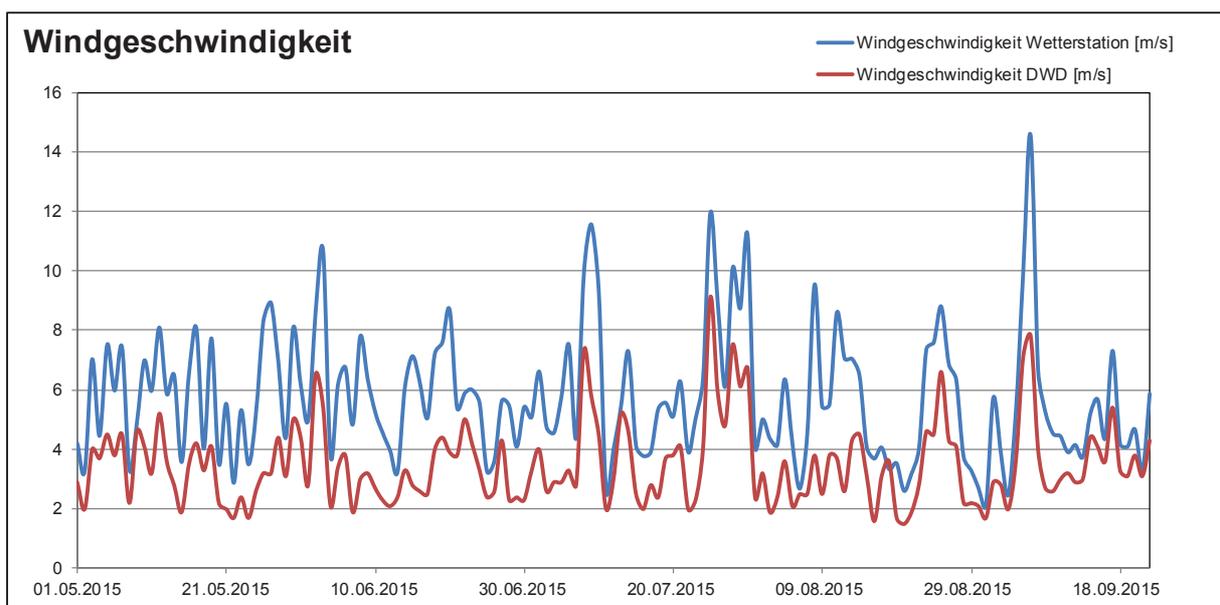


Abbildung 7-112: Windgeschwindigkeiten im Zeitraum vom 01.05.2015 bis 22.09.2015 [20]

Stromproduktion

Abbildung 7-113 zeigt die Nettostromproduktion der Jahre 2016 und 2017. Farblich markiert sind nur Phasen, in denen die Anlage tatsächlich nach Abzug des Eigenverbrauches Energie lieferte.

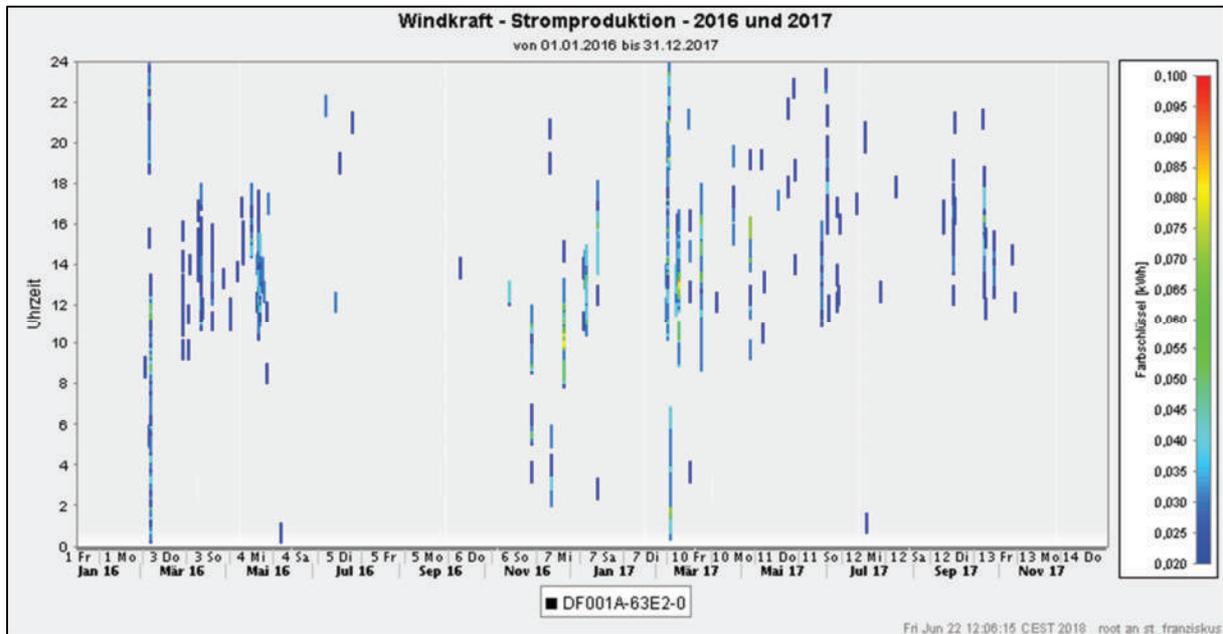


Abbildung 7-113: Carpetplot Stromproduktion der Windkraftanlage – 2016/17

Werden die Daten mit der Windgeschwindigkeit korreliert, ergibt sich die Darstellung nach Abbildung 7-114. Die stündliche Stromproduktion kann einer mittleren Leistung gleichgesetzt werden, da Stundenwerte aufgetragen sind. Ab etwa 12 ... 15 km/h ergibt sich ein nennenswerter Ertrag. Der potentielle Zusammenhang, den auch der Hersteller in seinen Produktdaten angibt (siehe Abbildung 3-29, S. 41) wird grundsätzlich bestätigt.

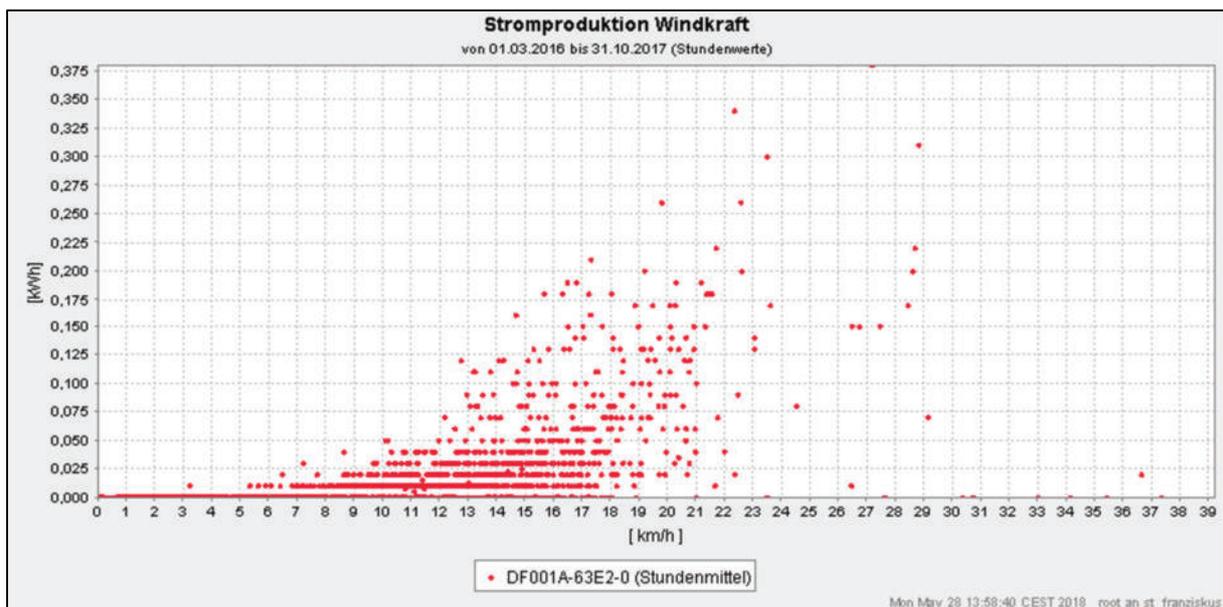


Abbildung 7-114: Stromproduktion der Windkraftanlage je nach Windgeschwindigkeit – 2016/17

Allerdings liegt die mittlere maximal netto erzeugte Stundenleistung bei 380 W (bei 27 km/h Windgeschwindigkeit). Die Nennleistung von 1000 W wurden nicht erreicht.

Strombezug

Abbildung 7-115 zeigt den Strombezug der Anlage. Ab November 2017 brechen die Messwerte ab. Ende des Jahres erlitt die Anlage einen Schaden und ist seitdem vom Netz getrennt.

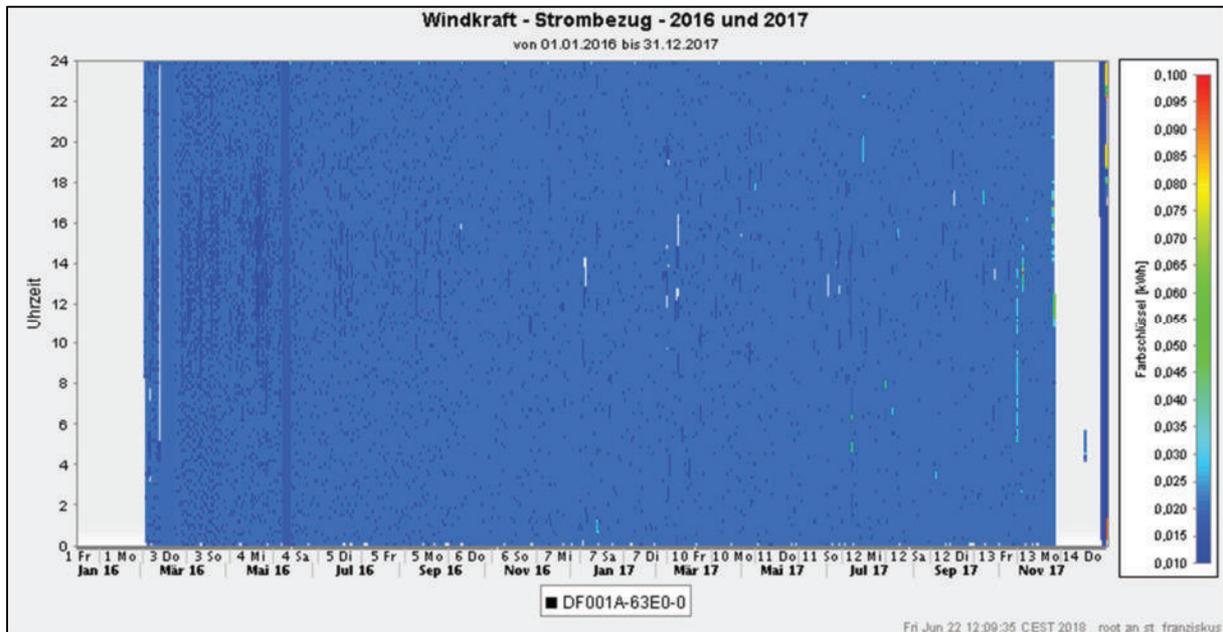


Abbildung 7-115: Carpetplot Standbyverbrauch der Windkraftanlage – 2016/17

Wir der Nettostrombezug über der Windgeschwindigkeit aufgetragen, zeigt sich ein plausibler Verlauf. Mit Annäherung an 17 ... 20 km/h Windgeschwindigkeit sinkt der Strombezug auf nahe null, siehe Abbildung 7-116. Die Stromproduktion übersteigt dann den Eigenverbrauch. Die durch Stichprobenmessung herausgefundenen 135 W bestätigen sich in etwa. Bei Windstille werden etwa 120 W gemessen.

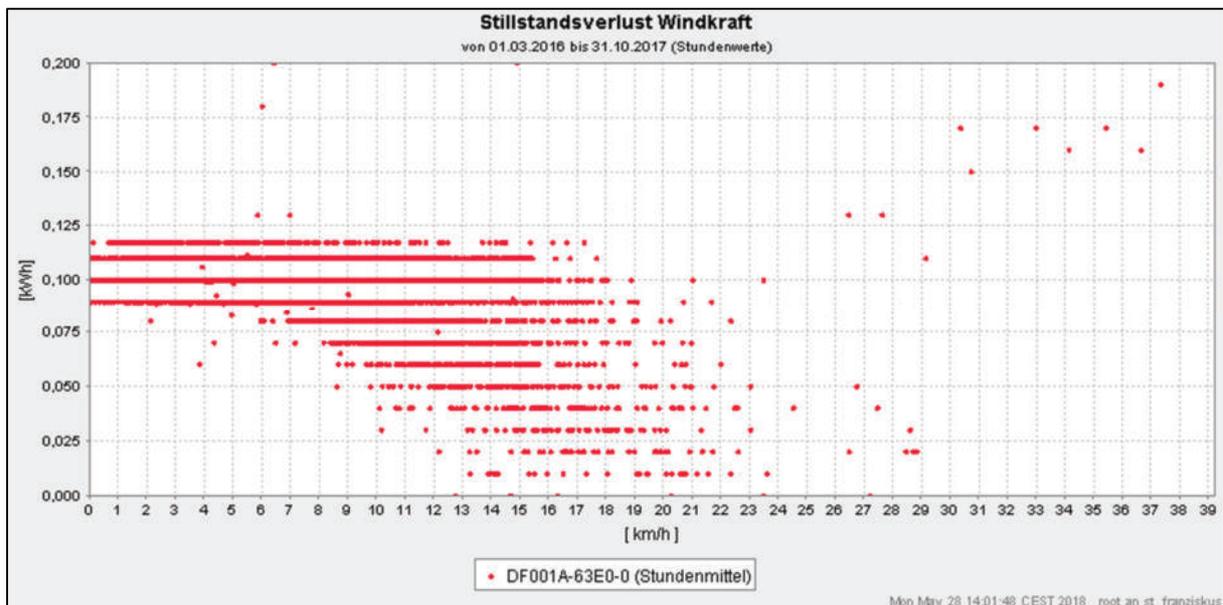


Abbildung 7-116: Standby der Windkraftanlage je nach Windgeschwindigkeit – 2016/17

Energiebilanz

Abbildung 7-117 zeigt die zusammengefasst Energiebilanz der Windkraft in Monatsschritten. Im Verlaufe eines Jahres werden etwa 850 kWh Strom bezogen, aber nur 25 geliefert (Faktor 34!). Damit liegt die Nettobilanz bei einem Verbrauch von 825 kWh. Das Windrad wird in allen Auswertungen daher als Stromverbraucher eingestuft, nicht als Lieferant.

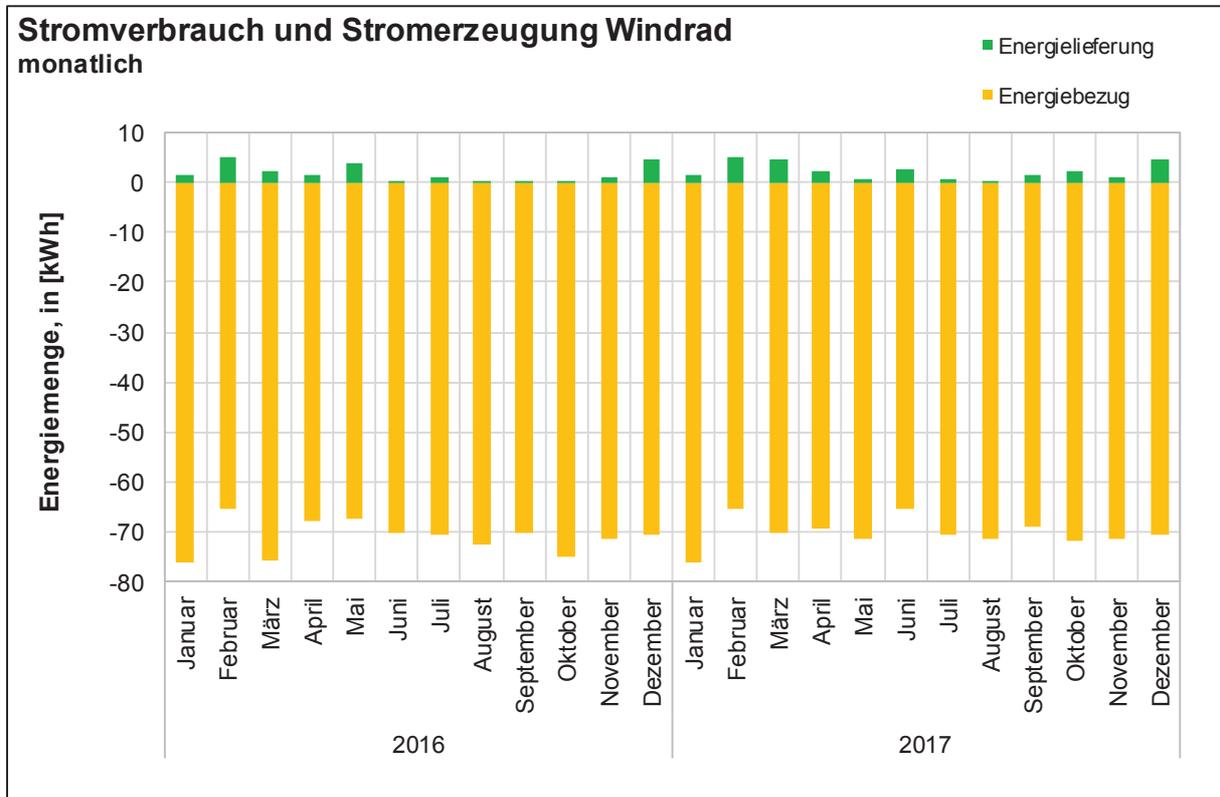


Abbildung 7-117: Monatsenergiebilanz der Windkraftanlage – 2016/17

Fazit

Laut einer Windkarte vom Deutschen Wetterdienst (Auswertung von 1981-2000) liegt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Halle (Saale) bei ca. 2 ... 3 m/s bzw. 7 ... 11 km/h, gemessen in 10 Metern über Grund [21].

Für den effizienten Betrieb einer solchen Kleinwindkraftanlage bedarf es eigentlich eines optimal gewählten Standortes, da die Anlagen mit einer Maximalhöhe von zehn Metern einem schlechten Anströmverhalten unterliegen. Dies ist jedoch beim vorliegenden Projekt nicht zu realisieren. Geplant war, mehrere Windräder im Süden des Schulbaugebietes aufzustellen, da sich durch die bestehende Bebauung das beste Anströmverhalten und damit der höchste Ertrag erzielen ließe. Aus Kostengründen wurde letztlich nur eine Anlage umgesetzt.

Der Ertrag einer Mikrowindenergieanlage (Leistungsklasse 1) hängt jedoch nicht nur von der Windausbeute bzw. der Windgeschwindigkeit ab. Die vom Rotor überstrichene Fläche, der Flügelwirkungsgrad in Verbindung mit dem Anströmverhalten, dem eingesetzten Generator (mit oder ohne Getriebeübersetzung) und nicht zuletzt die Verluste von Generator, eventuellem Gleichrichter, Kabelwiderstand und Stromzähler lassen den Ertrag einer solchen Anlage ebenfalls sinken.

Diese Erkenntnisse aus der Literatur, welche bereits vor Inbetriebnahme der Anlage im Rahmen der Masterarbeit von Florian Hallensleben [4] aus der Literatur extrahiert wurden, haben sich leider bewahrheitet. Selbst ohne das Problem der Betriebsbereitschaftsverluste wird kein wirtschaftlicher Betrieb erreicht. Die Anlage hat zu Kosten von ca. 20.000 € geführt – welche im Falle der St. Franziskus-Grundschule gefördert wurden.

Eine Empfehlung zur Installation eines solchen Windrades aus wirtschaftlichen Erwägungen kann nicht ausgesprochen werden.

Optimierungsansätze

Eine mögliche regelungstechnische Optimierung des Problems hätte gefunden werden können. Eine Bachelorarbeit in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten war bereits geplant. Die Bearbeitung hat sich allerdings mit dem Komplettausfall der Anlage Ende 2017 erübrigt. Aus Sicht des Monitorings wurde dem Betreiber empfohlen, keine weitere Energie in die Nachverfolgung der Problematik zu stecken, weil damit wieder Kosten verbunden wären. Eine Totalabschaltung beseitigt das Problem des Strombezugs – wenn auch technisch nicht zufriedenstellend.

Der hohe Stillstandsverbrauch des Windrades wäre vermutlich ohne das Monitoring nicht aufgefallen, da die verschwendeten Energiemengen insgesamt eher gering sind und in einer Lastanalyse nicht herauszufiltern – verglichen mit sonstigen Großverbrauchern in der Schule (Lüftungsanlage, Küche).

Der Hersteller WOLF schreibt hierzu per E-Mail vom 10.05.2017, die Anlage sei "nicht für eine bestmögliche Stromerzeugung konzipiert, sondern als Werbeträger zur Stromerzeugung für eine Eigenbeleuchtung über ein Laderegler-System mit einer Lichtsteuerung. Für die Stromerzeugung und Eigenverbrauch ist ein Savoniusrotor nicht wirklich geeignet, da die Kraft fehlt um die in der Windfläche zur Verfügung stehende Energie nutzbar in gewünschtem Maße umzusetzen. Wir haben uns für den verbauten Wechselrichter entschieden, da dieser schon bei einer Spannung ab 40 Volt eine Netzeinspeisung ermöglicht. Die meisten Wechselrichter ermöglichen dies erst oberhalb von 60 bis 80 Volt."

Dem Hersteller ist das Problem also grundsätzlich bekannt, wird aber nicht zufriedenstellend gelöst. Sofern ein Betreiber die Anlage dennoch einbauen will, müssen bauseits Vorkehrungen getroffen werden, um die Anlage in Schwachwindphasen vom Netz zu nehmen. Das hätte auch bei der Installation in der St. Franziskus-Grundschule erfolgen sollen. Die notwendige Abstimmung mit dem Elektroplaner AIB hat es jedoch nicht gegeben, da die Installation der allgemeinen Elektroanlagen und des Windrades um mehr als ein Jahr zeitversetzt stattfanden.

7.4 Detailanalyse Batterieanlage

Die Batterieanlage kann nur in der Zeit vom 05.04.2017 bis 29.08.2017 untersucht werden. In dieser Zeit war der Bleigel-Akku in Betrieb und wurde vom Sunny-Island-Regelmodul überwacht und gesteuert. Den schematischen Anlagenaufbau zeigt Abbildung 7-118.

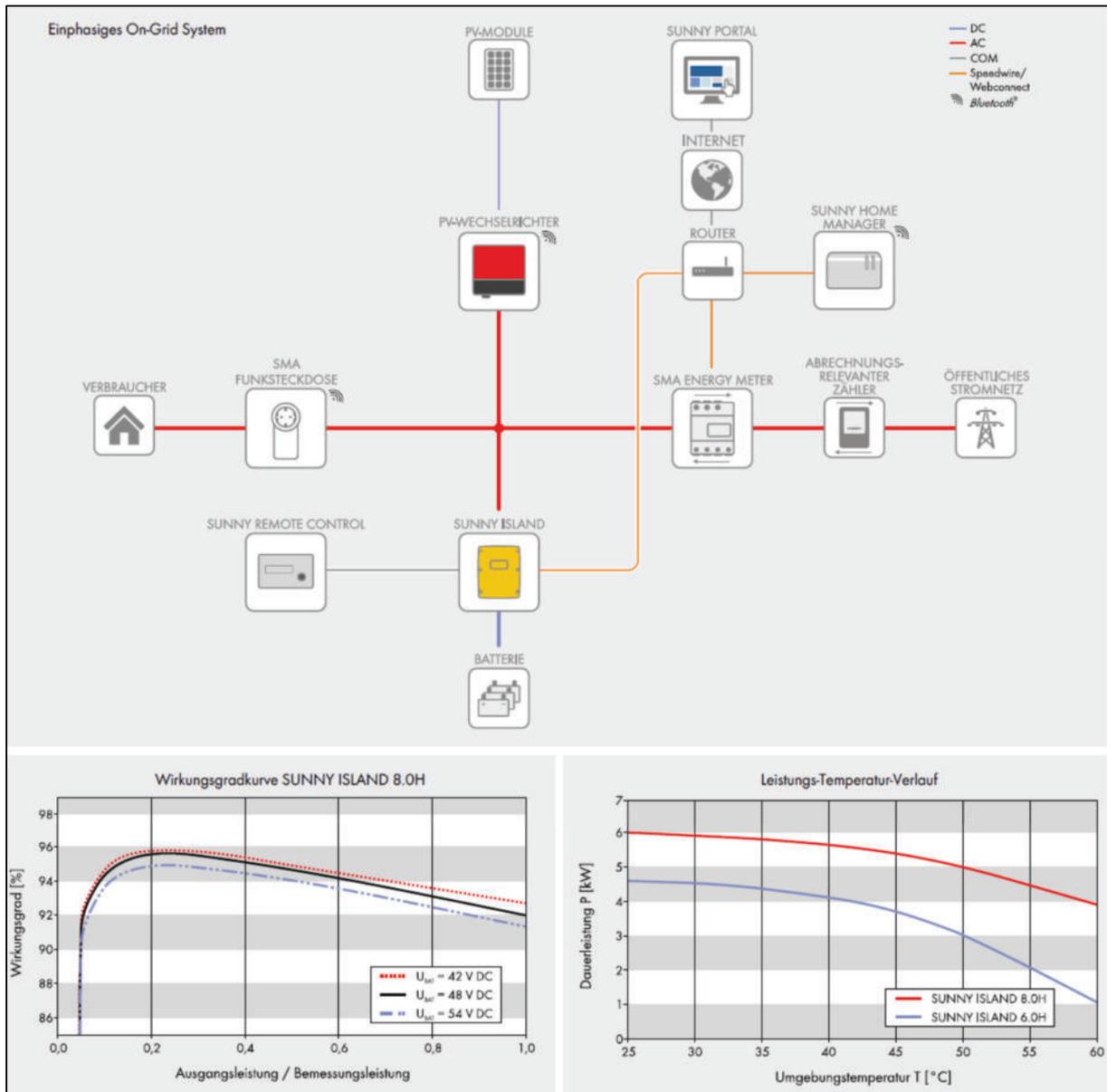


Abbildung 7-118: Produktdaten der Batteriesteuerung [9]

Energiebilanz

Die tägliche Energiebilanz des Untersuchungszeitraums kann Abbildung 7-119 entnommen werden. Im Mittel wurde der Batterie eine Energie von 12,6 kWh/d zugeführt, aber nur 8,5 kWh/d entnommen. Gemessen wird in der Wechselstromebene, so dass alle Verluste der Gleichrichtung vor der Einspeicherung, die Speicherungsverluste selbst sowie die Wechselrichtungsverluste nach der Entnahme enthalten sind. Der tägliche Verlust beläuft sich auf 4,1 kWh/d.

Der Nutzungsgrad des Teilsystems liegt bei 67 %, was nicht zufriedenstellend ist. Ein Nutzungsgrad von 67 % bedeutet, dass sich zwischen der Ein- und Ausspeicherung der Preis für eine Kilowattstunde um den Faktor 1,5 erhöht. Oder 1,5 Mal mehr Energie zunächst erzeugt werden müsste, um den späteren Bedarf zu decken.

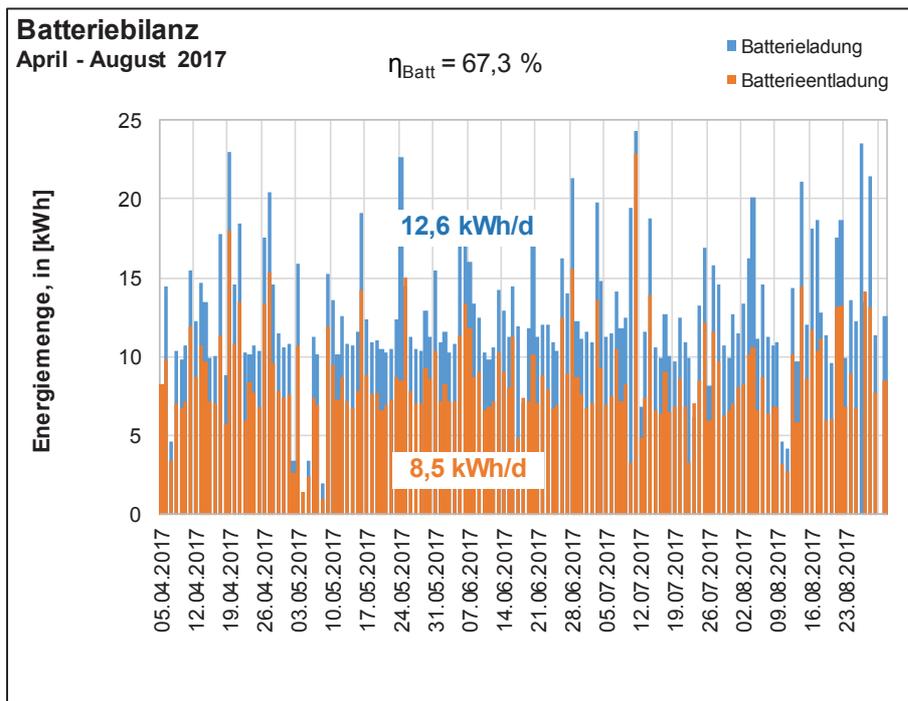


Abbildung 7-119: Energiebilanz der Batteriespeicheranlage

Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der PV-Stromvergütung

Wird eine aus PV erzeugte Kilowattstunde eingespeist, ergibt sich eine Vergütung von 0,12 €/kWh. Wird sie aus dem Netz zwecks Verbrauch zurückgekauft, fallen 0,27 €/kWh an. Jede PV-Kilowattstunde, die das öffentliche Netz als virtuellen Speicher benötigt, führt in der St. Franziskus-Grundschule zu 0,15 €/kWh Mehrkosten gegenüber der Direktnutzung im Gebäude.

Wenn die Batterieanlage konkurrenzfähig sein soll, müssen die Speicherkosten weniger als 0,15 €/kWh (bezogen auf die eingespeicherte Menge) betragen. Da der Systemnutzungsgrad des Speichers bei 67 % liegt, vermindert sich der Preis auf 0,10 €/kWh (je aus dem Speicher entnommene Menge).

In Anbetracht der Kosten der Anlage von 44.000 € erübrigt sich eigentlich die nähere Untersuchung der Wirtschaftlichkeit.

Ausgehend von der Investitionssumme sowie dem o. g. Grenzpreis müssten 440.000 kWh im Verlauf des Batteriealters aus dieser nach dortiger Zwischenspeicherung entnommen werden, damit eine wirtschaftliche Speicherung gegeben ist.

Die Nennspeicherkapazität liegt bei 25 kWh, wobei es keine Tiefenentladung bis zum Nullpunkt gibt. Wenn es sie gäbe, müssten 17.600 Vollzyklen innerhalb der Batterielebensdauer erfolgen. Bei einmalig täglicher Ladung wären dies 48 Jahre. Jegliche Teilentladung verlängert den Zeitraum.

Ein solcher Betrieb ist nicht wirtschaftlich. Das Konzept kann somit nicht weiterempfohlen werden, es sei denn, deutlich andere Randdaten gelten. Für die St. Franziskus-Grundschule ist die Batterienutzung kein wirtschaftlicher Verlust, weil die Investitionskosten gefördert wurden.

Aber auch hier ist festzuhalten, dass von 3 kWh Überschussstrom, den man für 3 x 12 Cent hätte einspeisen können, am nächsten Tag nur noch 2 kWh übrig sind. Diese Energiemenge wäre – aus dem Netz bezogen – 2 x 27 Cent wert gewesen. Das schmälert den wirtschaftlichen Vorteil enorm!

Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der PV-Stromvergütung

Das Gegenbeispiel lautet: es gibt keine Vergütung. Der Strom wird umsonst ins Netz gespeist und muss später zu 0,27 €/kWh zurückgekauft werden. Jede PV-Kilowattstunde, die das öffentliche Netz als virtuellen Speicher benötigt, führt dann zu 0,27 €/kWh Mehrkosten gegenüber der Direktnutzung im Gebäude.

Unter Berücksichtigung des Batterienutzungsgrades von 67 % liegt der Grenzpreis für die Speicherung bei 0,18 €/kWh. Ausgehend von der Investitionssumme müssten dann 243 MWh in der Batterie zwischengespeichert werden. Das entspricht 9700 Speicherzyklen (mit Tiefenentladung, sonst mehr) oder 27 Jahre bei einmal täglicher Ladung.

Auch dies ist nicht machbar unter den Randdaten, die für die St. Franziskus Grundschule gelten. Eine Wirtschaftlichkeit ist nur gegeben, wenn die Speicherkosten sich deutlich vermindern (mindestens dritteln) und/oder der Netzstrompreis sich deutlich erhöht.

Optimierung

Im Rahmen der Masterarbeit von Azhar Soboh [11] wurde die Erweiterung der Batteriespeicheranlage untersucht. Basis waren Simulationsberechnungen. Eine Aufstockung der Speicheranlage auf das doppelte, dreifache oder vierfache ist nicht wirtschaftlich.

7.5 Tagesprofile und Lastgänge

Anhand der Messdaten lässt sich ein Lastgang für verschiedene Nutzungszustände des Gebäudes ableiten. Dazu werden die Messdaten der Jahre 2016 und 2017 gefiltert. Die 10-Minuten-Intervalle aller verfügbaren Tage werden addiert und gemittelt. Es wird unterschieden in:

- alle Wochentage Mo – Fr
 - nur Schultage Mo – Fr
 - nur Horttage mit Kinderbetreuung Mo – Fr
 - nur Ferientage ohne Kinderbetreuung Mo – Fr
- alle Wochenendtage Sa & So

Aus den Daten werden einerseits typische Lastgänge in Stundenauflösung sowie alternativ in 10-Minuten-Auflösung produziert. Die Ergebnisse für die Wochentage und Wochenenden werden in den nachfolgenden Kapitel vorgestellt, die weitere Unterscheidung in Schul-, Hort- und Ferientage ist im Anhang 8.6 zu finden.

7.5.1 Gesamtverbrauch

Abbildung 7-120 und Abbildung 7-121 zeigen den mittleren Wochentags- und Wochenendlastgang für die Schule ohne Hausmeisterwohnung. Dargestellt ist der Gesamtverbrauch für Schule, Hort, Verwaltung und Küche, unabhängig von der Frage, ob er mit Netzstrom oder aus PV gedeckt wird.

Deutlich erkennbar ist der Einfluss der Lüftungsanlage, welche ab 3 Uhr bzw. 5 Uhr den ersten Verbrauchssprung bewirkt. Das Eintreffen der Hort- und Küchenmitarbeiter sowie der ersten Kinder um 6 Uhr führt zum größten Einzelsprung des Tagesverlaufs. Bis 9 Uhr ist das Maximum erreicht. Lüftung, Beleuchtung und die Küche laufen maximal. In der Mittagspause gegen 12 Uhr gibt es einen kleinen Verbrauchsrückgang, da die Küche Essen verteilt und weder kocht, noch spült. Auch in den Klassenräumen bewirken die Bewegungsmelder ein Abschalten der Beleuchtung und Belüftung. Nach dem Essen kommt noch eine Unterrichtsstunde sowie der Spülbetrieb in der Küche, so dass es erneut zu einem Anstieg gegen 13 ... 14 Uhr kommt. Bis 17 Uhr verlassen die Kinder, Betreuer sowie das Küchenpersonal nach und nach die Schule. Dann wird die Lüftungsanlage abgeschaltet, was zum größten Rücksprung des Verbrauchs führt. Anschließend ist wieder Grundlastbetrieb gegeben. Es laufen die Grundlüftung der Küche, der Server mit jeglicher Sicherheitstechnik, die Kühltechnik der Küche sowie alle Standbyverbraucher.

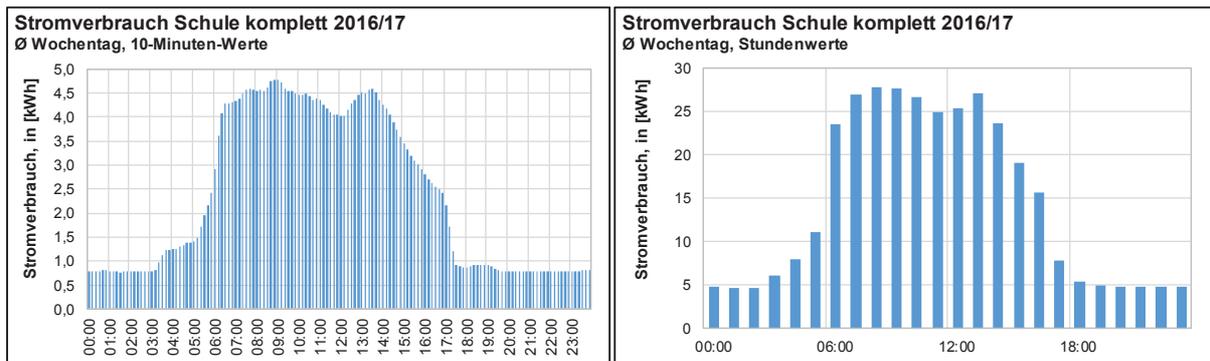


Abbildung 7-120: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Schule o. Hausmeisterwohnung

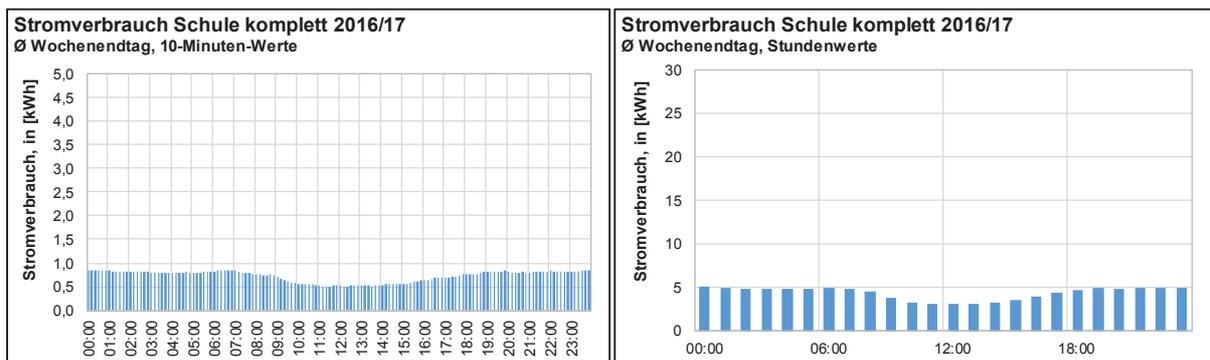


Abbildung 7-121: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Schule o. Hausmeisterwohnung

Eine Aufschlüsselung auf Schultage, Horttage und Ferientag ist Anhang 8.6.1 zu entnehmen.

7.5.2 Hort

Abbildung 7-122 und Abbildung 7-123 zeigen den Lastverlauf des Horts. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Hauptlastzeiten vor und nach dem Schulunterricht liegen. Insbesondere morgens werden mit dem Eintreffen des Personals kurz vor 6 Uhr die Bewegungsmelder der Beleuchtung ausgelöst. Außerdem wird auf Vorrat Tee für den Tag gekocht, was zu der außergewöhnlichen Lastspitze kurz nach 6 Uhr führt.

Wenn die Kinder in den Klassen sind, nimmt der Verbrauch ab und erst ab 13 Uhr wieder sprunghaft zu. Ab 15 Uhr leert sich der Hort und nach 17 Uhr ist praktisch nur noch Grundlast gegeben. Es laufen alle Standby-Verbraucher weiter sowie die Kühlgeräte des Kindercafés.

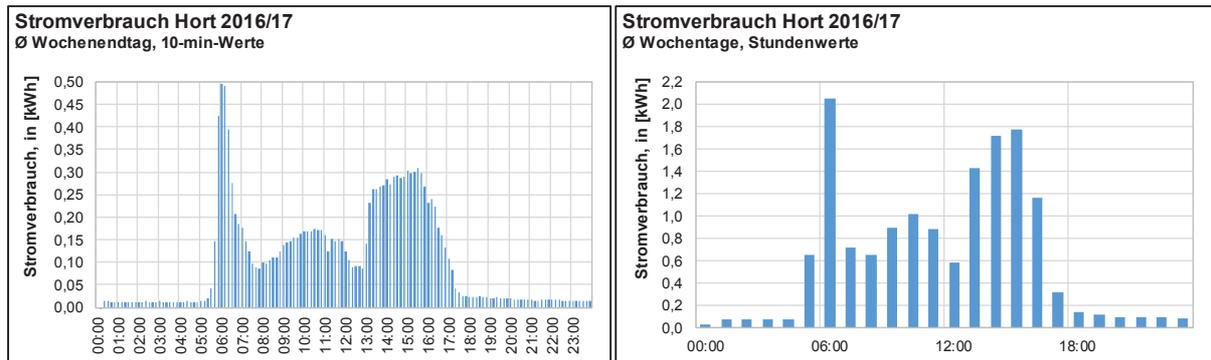


Abbildung 7-122: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Hort

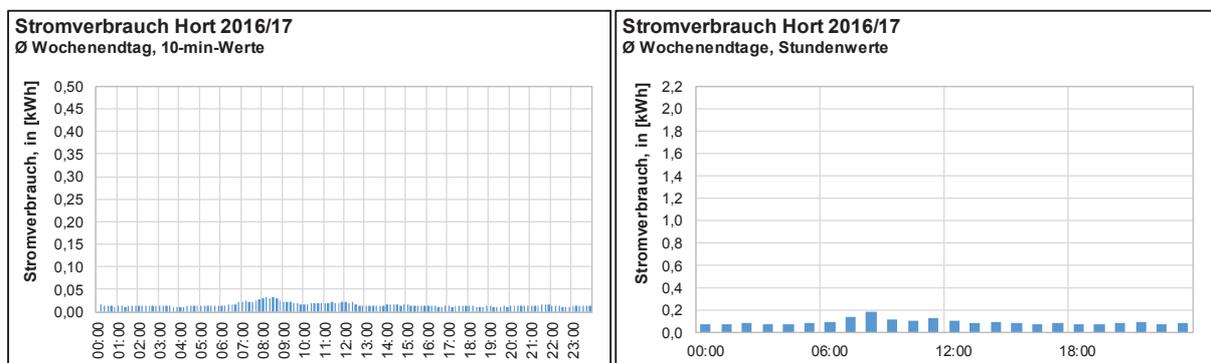


Abbildung 7-123: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Hort

Eine Aufschlüsselung auf Schultage, Horttage und Ferientag ist Anhang 8.6.4 zu entnehmen.

7.5.3 Küche

Abbildung 7-124 und Abbildung 7-125 zeigen den Lastverlauf der Küche. Mit dem Eintreffen des Personals um 6 Uhr werden die Lüftungsanlagen eingeschaltet, so dass es zu einer aktiven Beheizung (Winterhalbjahr) oder Kühlung (passiv im Sommerhalbjahr) kommt. Darüber hinaus wird der Pufferspeicher mit Strom nachgeheizt – je nachdem, welche Solarenergie-menge vom Vortag noch vorhanden ist. Bis etwa 11 Uhr wird gekocht. Kurz vor 12 Uhr bricht der Bedarf sehr leicht ein, weil das Essen nun ausgeschenkt wird. Kurz nach 12 Uhr beginnt parallel der Spülbetrieb. Am Nachmittag werden noch Vorbereitungen für den nächsten Tag getroffen, teilweise vorgekocht, teilweise nur geschält. Gegen 15 Uhr ist der Arbeitstag mit dem Reinigen des Bodens beendet. Die Lüftungsanlagen werden ausgeschaltet. Nachts laufen die Grundlüftung sowie die Kühlzellen.

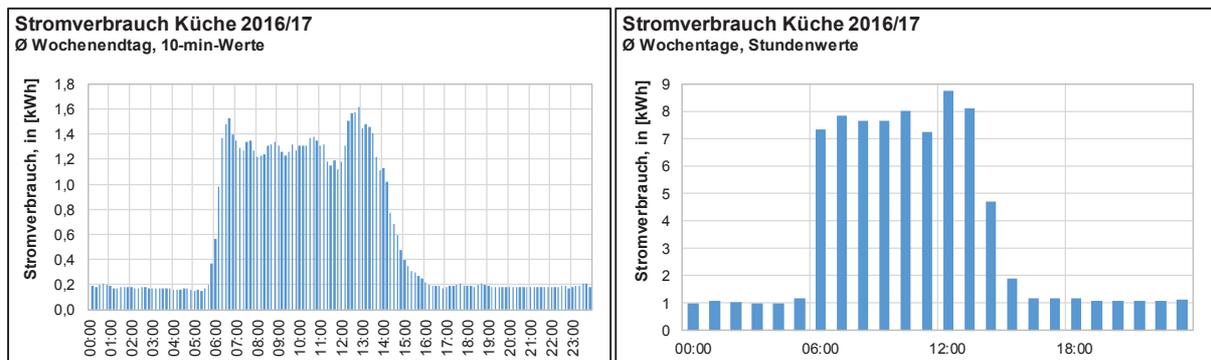


Abbildung 7-124: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Küche

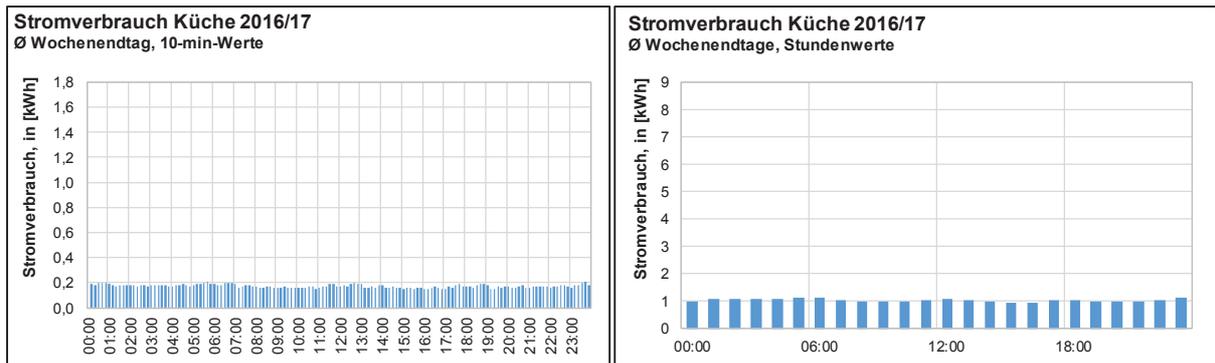


Abbildung 7-125: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Küche

Eine Aufschlüsselung auf Schultage, Horttage und Ferientage ist Anhang 8.6.5 zu entnehmen.

7.5.4 Hausmeisterwohnung

Abbildung 7-126 und Abbildung 7-127 zeigen den Wochentags- und Wochenendverbrauch der Hausmeisterwohnung. Die Familie besteht aus 2 berufstätigen Erwachsenen und 2 schulpflichtigen Kindern.

Bereits vor 6 Uhr beginnt in der Woche der Tag. Es fallen Stromverbräuche für Beleuchtung, Küchengeräte, Warmwasserbereitung sowie die Fußbodenheizung des Bades an. Ab 8 Uhr ist die morgendliche Spitze vorbei. Erst mittags nach 12 Uhr, verstärkt nach 18 Uhr ergibt sich ein stetiger Anstieg bis etwa 20 Uhr. Danach sinkt der Verbrauch und erreicht 22 Uhr das Nachtniveau. Der Nachtverbrauch ergibt sich aus den Kühlgeräten, der Lüftungsanlage sowie allen Standbyverbräuchen. Im Winter wird auch geheizt, wenn auch im Nachtbetrieb.

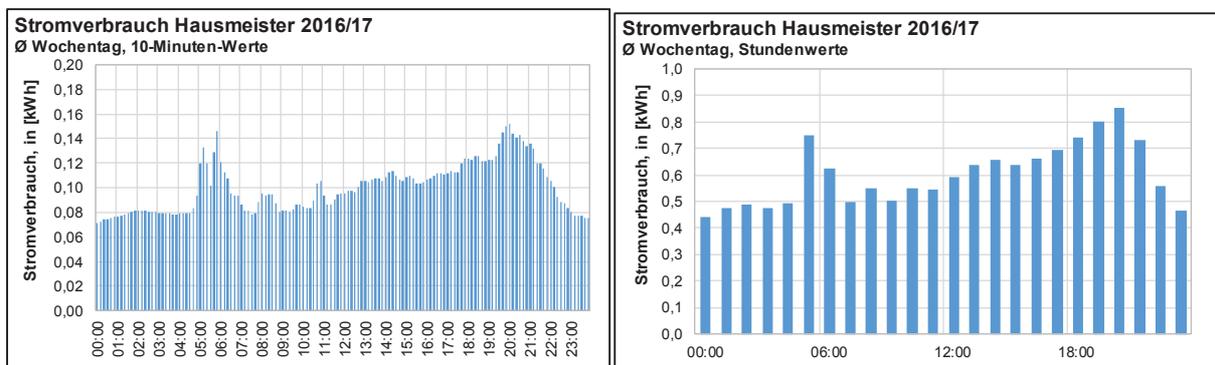


Abbildung 7-126: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung

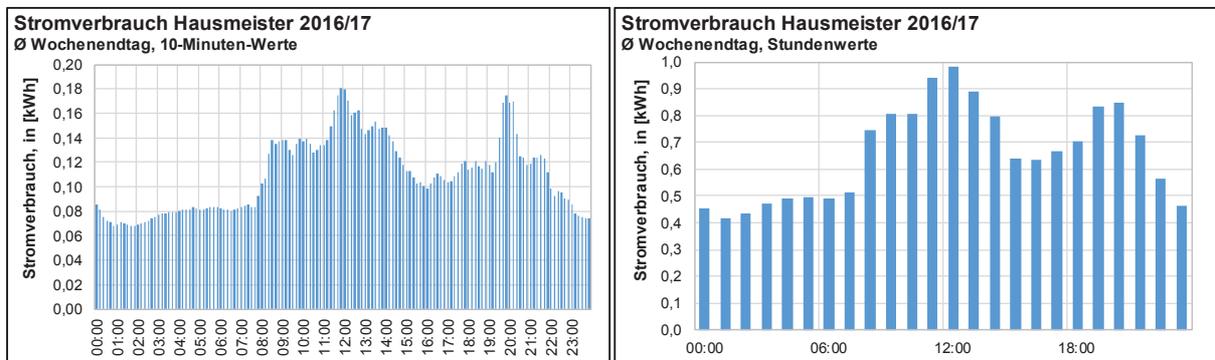


Abbildung 7-127: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung

An den Wochenenden beginnt der Tag erst zwischen 8 und 9 Uhr. Es zeigt sich nun ein ausgeprägtere Mittagsspitze – vermutlich aufgrund des Kochbetriebs. Das nachmittägliche Tief ist gegen 15 Uhr erreicht. Erst von 19 ... 20 Uhr ist aufgrund von Trinkwassererwärmung wieder ein Anstieg zu verzeichnen (Durchlauferhitzer). Etwa um Mitternacht wird das Nachtverbrauchs-niveau wieder erreicht.

7.5.5 Klassenraum 1.08 und 2.01

Abbildung 7-128 und Abbildung 7-129 sowie Abbildung 7-130 und Abbildung 7-131 zeigen die Detailanalysen der beiden intensiv untersuchten Klassenräume. Die Verläufe ähneln sich. Der Betrieb beginnt sehr sprunghaft mit dem Eintreffen der Nutzer gegen 7:30 Uhr. Beleuchtung und das Whiteboard mit Lehrer-PC werden eingeschaltet. Um 8 Uhr ist das Tagesmaximum erreicht. Im Verlauf des Tages gibt es einen Verbrauchseinbruch um ca. 10:30 Uhr im Zusammenhang mit der großen Hofpause.

Im Raum 1.08 ist der Schulbetrieb gegen 12:15 Uhr beendet. Im 1. OG werden die 1. und 2. Klassen beschult. Die Kinder gehen in die Mittagspause, nachmittags werden in dem Raum noch Hausaufgaben erledigt oder Einzelgespräche geführt. Ab 17 Uhr ist die Grundlast erreicht. Im Raum 2.01 ergibt sich – an einzelnen Wochentagen – nach der Mittagspause noch eine Schulstunde, so dass der Verbrauch erst nach 14 Uhr abfällt. Im 2. OG werden die 3. und 4. Klassen beschult. Dann schließt sich die Phase der Hausaufgaben und Einzelgespräche bis 17 Uhr an.

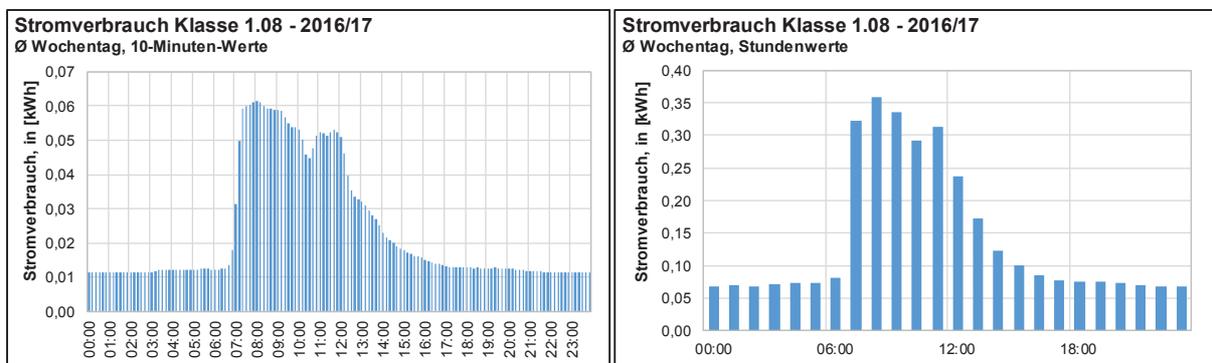


Abbildung 7-128: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Klassenraum 1.08

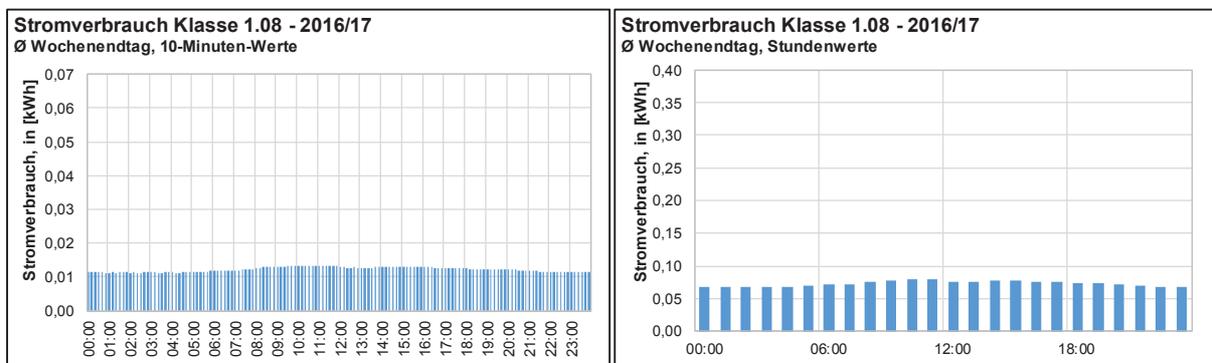


Abbildung 7-129: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Klassenraum 1.08

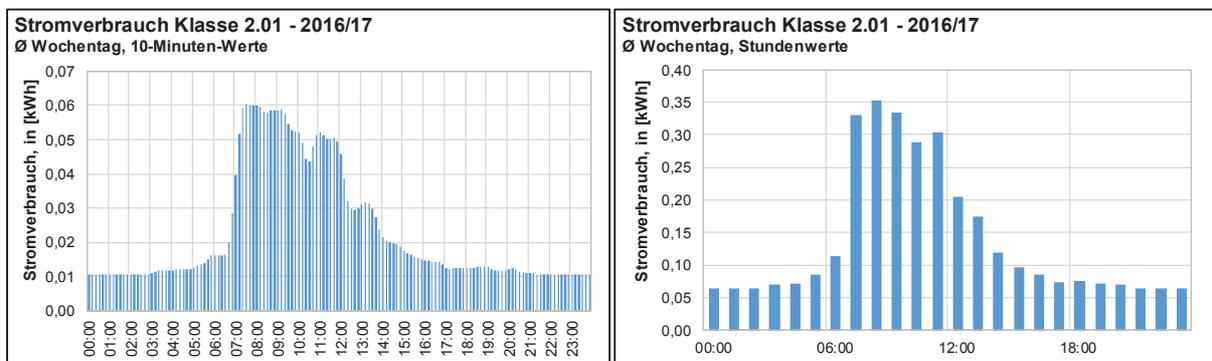


Abbildung 7-130: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Klassenraum 2.01

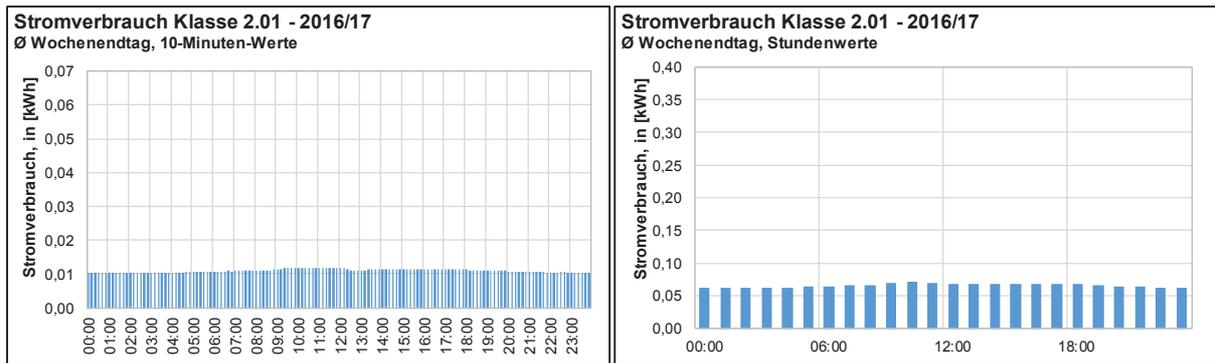


Abbildung 7-131: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Klassenraum 2.01

Wochentags zwischen 17 Uhr und 7 Uhr sowie am Wochenende ist ein Grundverbrauch gegeben. Er ergibt sich aus dem Standbyverbrauch u. a. der PCs, Monitore sowie des Activeboards, welches allein bereits eine Leistungsaufnahme von 9,5 W aufweist. Unterstellt man in der Woche 5 Stunden tägliche Nutzung sowie ca. 190 Schultage jährlich, ergeben sich etwa 7800 Stunden Standby. Das sind in 8 Klassenräumen knapp 600 kWh/a bzw. 160 €/a.

Eine Aufschlüsselung auf Schultage, Horttage und Ferientage ist den Anhängen 8.6.2 und 8.6.3 zu entnehmen.

7.5.6 PV-Erzeugung

Abbildung 7-132 zeigt die PV-Erzeugung als Tagesprofil. Eine Unterscheidung von Wochentag und Wochenende ist nicht notwendig. Der kleine Einbruch der Produktion gegen 9:30 Uhr kann nicht nachvollzogen werden. Eventuell sind Schattenwürfe auf die PV-Module erfolgt. Das Ertragsmaximum liegt bei 13 Uhr.

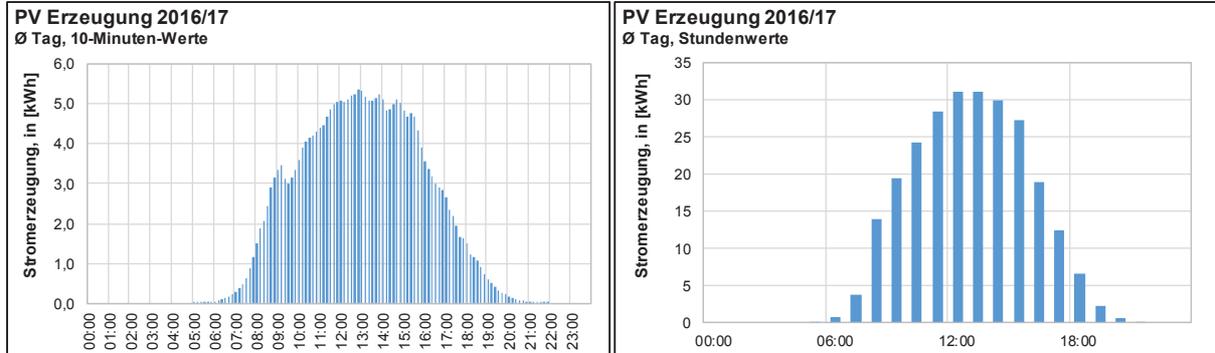


Abbildung 7-132: Tagesprofil – Erzeugung von Photovoltaikstrom

7.5.7 Strombezug aus dem Netz

Abbildung 7-133 und Abbildung 7-134 zeigen den Bezug von PV-Strom aus dem Netz. Es zeigt sich ein deutliches morgendliches Maximum mit dem Eintreffen der Nutzer. Die Verbrauchsspitze am Mittag wird durch die eigene PV-Erzeugung abgebaut. Nach Sonnenuntergang erreicht der Netzstrombezug gegen 20 Uhr seinen Nachtwert bis zum nächsten Morgen.

Der Strombezug am Wochenende ergibt sich aus dem Betrieb der Lüftungsanlagen zur Grundtemperierung des Gebäudes. Die Schaltung erfolgt manuell durch den Hausmeister. Darüber hinaus sind Verbräuche für Beleuchtung in den Verkehrsflächen gegeben, wenn der Hausmeister sich im Gebäude bewegt.

Eine Aufschlüsselung auf Schultage, Horttage und Ferientage ist Anhang 8.6.8 zu entnehmen.

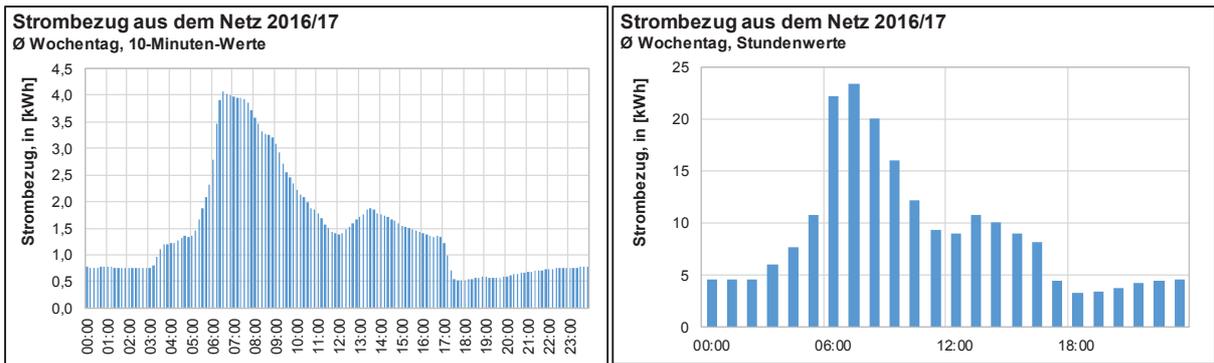


Abbildung 7-133: Tagesprofil – Wochentage – Strombezug aus dem Netz

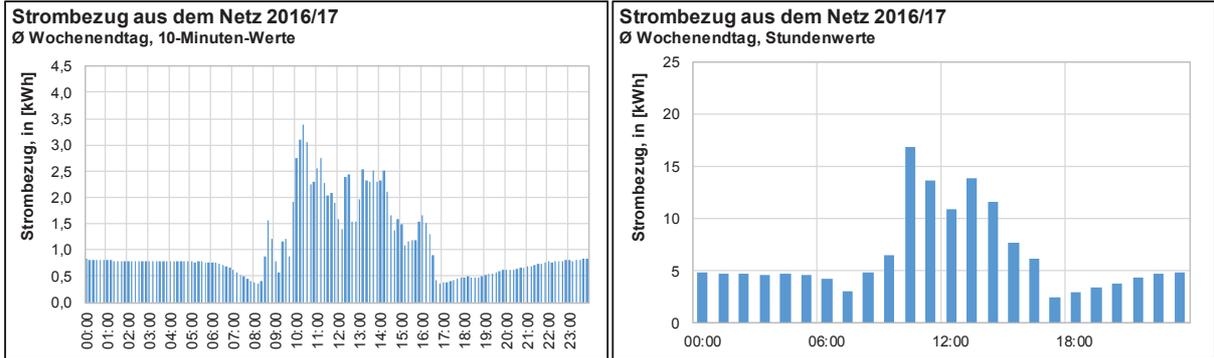


Abbildung 7-134: Tagesprofil – Wochenende – Strombezug aus dem Netz

7.5.8 Stromrückspeisung ins Netz

In Abbildung 7-135 und Abbildung 7-136 ist die Rückspeisung von Strom in das Netz aufgetragen. Sie ist am Wochenende sehr viel höher als in der Woche. Die Überschüsse folgen grundsätzlich dem Ertrag. Allerdings ist für die Wochentage festzustellen, dass gegen 12 Uhr das Einspeisemaximum vorliegt.

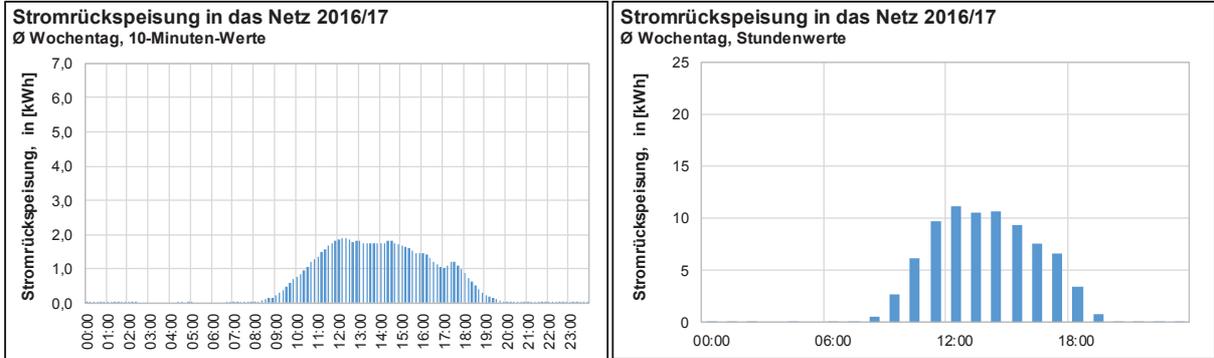


Abbildung 7-135: Tagesprofil – Wochentage – Stromrückspeisung in das Netz

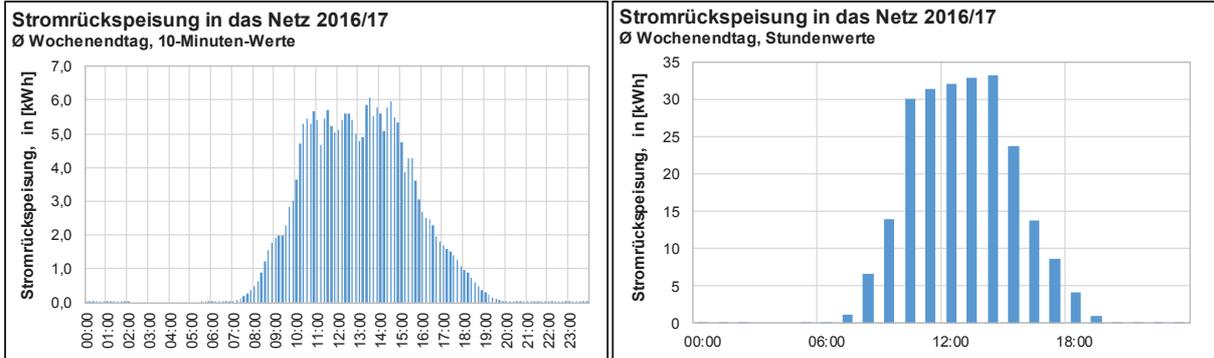


Abbildung 7-136: Tagesprofil – Wochenende – Stromrückspeisung in das Netz

Eine Aufschlüsselung auf Schultage, Horttage und Ferientage ist Anhang 8.6.9 zu entnehmen.

Eine Optimierung (nicht Beseitigung!) dieses Problems kann durch Einsatz einer Batterie erreicht werden. Sie verschiebt die Überschüsse des einen Tages in die Phasen mit Unterdeckung des nächsten Tages. Die tägliche gemessene Netzzurückspeisung liegt bei etwa 80 kWh/d an Wochentagen und 160 kWh/d an Wochenendtagen. An sonnenreichen Tagen Faktor 2 ... 3 höher. Aufgrund der Kosten von elektrochemischen Batterien bei den gegebenen Mengen wurde diese Option nicht weiterverfolgt.

Alternativ lässt sich eine Optimierung auch erreichen, wenn Stromverbraucher mit großem Bedarf in die angebotsreiche Mittagszeit verschoben werden. Übertragen auf das reale Projekt fallen diverse Verbraucher aus, weil deren Einsatz an eine bestimmte Tageszeit gebunden ist. Es verbleiben: die Nachheizung des Solarpufferspeichers sowie der Betrieb der Kühlzellen der Küche.

Die Kühlzelle ließe sich grundsätzlich dafür verwenden. Es kann eine zeitabhängige Sollwertumschaltung erfolgen. Die Temperatur in der Normalkühlzelle kann bis auf 0°C und in der Tiefkühlzelle auf -24°C abgesenkt werden. Die Kosten für die Programmierung und Probelauf betragen ca. 180 € (netto) laut Installationsfirma DKA. Eine Änderung wurde innerhalb der Laufzeit des Monitorings nicht vorgenommen, kann ggf. später erfolgen.

7.6 Messdatenkorrektur

Vor der Auswertung der Messdaten ergaben sich notwendige Korrekturen aufgrund von Unplausibilitäten. Solche sind gegeben, wenn

- trotz abgeschalteter oder ausgebauter Geräte Messwerte erfasst werden,
- Vergleichsmessungen mit verschiedenen Messgeräten zu unterschiedlichen Ergebnissen für ein und denselben Verbraucher führen,
- die Summe von (eher unsicher) erfassten Unterverbrauchern die (sehr fehlerarm) erfasste Gesamtverbrauchsmenge überschreitet.

Klassenräume

Für die Beleuchtung der Klassenräume liegen im Rahmen des Monitoring Stromflussmessungen der einzelnen Phasen vor. Eine Vergleichsmessung zwischen den GEDES-Daten und den realen Werten ist erfolgt. Der ausführende Elektrofachbetrieb Fa. SCHMIDT führte diese durch. Es zeigt sich, dass insbesondere die Blindleistung der Bewegungsmelder/Dimmer die Messung verfälscht. Eine Korrektur kann wie folgt abgeleitet werden:

- $\dot{Q}_{\text{Beleuchtung,korr}} = 1,115 \cdot \dot{Q}_{\text{Beleuchtung,mess}} - 0,07 \text{ kW}$ für Raum 1.08
- $\dot{Q}_{\text{Beleuchtung,korr}} = 1,115 \cdot \dot{Q}_{\text{Beleuchtung,mess}} - 0,08 \text{ kW}$ für Raum 2.01

Der Gesamtanschluss beider Klassenräume weist ebenfalls Fehler auf. Es erfolgte keine Einstufungsmessung, sondern eine Einschätzung anhand der Messwerte selbst. An den Wochenenden sind die Standbyverbraucher gut bekannt. Sie decken sich nicht mit dem Messwert, der daher wie folgt korrigiert wird:

- $\dot{Q}_{\text{Klassenraum,korr}} = \dot{Q}_{\text{Klassenraum,mess}} - 0,12 \text{ kW}$ für Raum 1.08
- $\dot{Q}_{\text{Klassenraum,korr}} = \dot{Q}_{\text{Klassenraum,mess}} - 0,15 \text{ kW}$ für Raum 2.01

Für den Raum 1.08 fehlen von Januar bis April 2016 Daten. Zur Erstellung der Monatsbilanz werden ersatzweise die vier Monate des Jahres 2017 verwendet. Gleiches gilt für den Raum 2.01 und die Monate Januar bis Februar 2016 sowie August bis Dezember 2017, wo jeweils die Monatswerte des anderen Jahres verwendet werden.

Kühlung

Für die Kühl- und Tiefkühlzelle liegt im Rahmen des Monitorings jeweils eine Dreiphasenüberwachung mit Stromflusssensoren vor. Es gibt keine Vergleichsmessungen, die zu einer eindeutigen Fehlerbestimmung führen würden. Allerdings wurden die beiden Kühlzellen im Sommer 2017 im Zusammenhang mit dem Pächterwechsel für etliche Wochen abgeschaltet. Die in diesem Zeitraum gemessenen Leistungen müssen falsch sein und werden als Absolutmessfehler eingeschätzt:

- $\dot{Q}_{\text{Kühlzelle,korr}} = \dot{Q}_{\text{Kühlzelle,mess}} - 0,175 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Tiefkühlzelle,korr}} = \dot{Q}_{\text{Tiefkühlzelle,mess}} - 0,175 \text{ kW}$

Datenlücken sind im Januar 2017 vorhanden. Es wird der Mittelwert der beiden Monate davor und danach ersatzweise verwendet, um die Monatsbilanz zu erstellen.

Lüftungsanlagen

Für sämtliche Lüftungsanlagen liegen im Rahmen des Monitorings jeweils Ein- oder Dreiphasenüberwachungen mit Stromflusssensoren der Fa. GEDES vor. Es gibt keine Vergleichsmessungen, die zu einer eindeutigen Fehlerbestimmung führen würden. Teilweise können die Fehler in Phasen bekannter Anlagenabschaltung bestimmt werden. Teilweise werden Hauptzähler verwendet, um die nachgeschalteten Lüftungsanlagenzähler zu plausibilisieren. Die Absolutmessfehler werden wie folgt eingeschätzt:

- $\dot{Q}_{\text{RLTA,korr}} = \dot{Q}_{\text{RLTA,mess}} - 0,14 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{RLTB,korr}} = \dot{Q}_{\text{RLTB,mess}} - 0,28 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Kochhaube,korr}} = \dot{Q}_{\text{Kochhaube,mess}} - 0,05 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Spülhaube,korr}} = \dot{Q}_{\text{Spülhaube,mess}} - 0,06 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Grundlüftungküche,korr}} = \dot{Q}_{\text{Grundlüftungküche,mess}} - 0,08 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Hausmeister,korr}} = \dot{Q}_{\text{Hausmeister,mess}} - 0,06 \text{ kW}$

Folgende Datenlücken sind vorhanden und werden mit Monatswerten aus dem vorliegenden Jahr oder nachfolgenden Jahr ersetzt:

- Nebenaggregate der RLT-Anlage im Gebäudeteil A: Januar bis Mai 2016
- Hausmeisterlüftung: komplettes Jahr 2016
- Grundlüftung der Küche: Januar bis April 2016

Datenlücken sind im Januar 2017 vorhanden. Es wird der Mittelwert der beiden Monate davor und danach ersatzweise verwendet, um die Monatsbilanz zu erstellen.

Aufzug

Für den Aufzug liegen im Rahmen des Monitorings Stromflussmessungen der drei Phasen vor. Eine Vergleichsmessung zwischen den GEDES-Daten und den realen Werten ist nicht vorhanden. Eine Korrektur erfolgt auf Basis der Untersuchung von Wochenendwerten ohne Fahrbetrieb. Es wird davon ausgegangen, dass die Angabe zum Standby des Herstellers Fa. SCHINDLER aus der jährlichen Wartung stimmt. Dies führt zu einer Korrektur von:

- $\dot{Q}_{\text{Aufzug,korr}} = \dot{Q}_{\text{Aufzug,mess}} - 0,1 \text{ kW}$

Von Januar bis Juli 2016 liegen keine plausiblen Messwerte vor bzw. unerklärt steigende Werte. Daher werden für die Monatsbilanzen 2016/17 im genannten Zeitraum die Werte aus dem Jahr 2017 ersatzweise angenommen.

Pumpen

Für die Pumpen liegen im Rahmen des Monitorings jeweils Ein- oder Dreiphasenüberwachungen mit Stromflusssensoren der Fa. GEDES vor. Es gibt keine Vergleichsmessungen, die zu einer eindeutigen Fehlerbestimmung führen würden. Teilweise können die Fehler in Phasen bekannter Anlagenabschaltung bestimmt werden, z. B. bei der Druckerhöhung der Regenwassernutzung sowie allen Heizungspumpen im Sommer. Die Absolutmessfehler werden wie folgt eingeschätzt:

- $\dot{Q}_{\text{Brauchwasser,korr}} = \dot{Q}_{\text{Brauchwasser,mess}} - 0,05 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Hauptfernwärme,korr}} = \dot{Q}_{\text{Hauptfernwärme,mess}} - 0,035 \text{ kW}$
- $\dot{Q}_{\text{Abnehmerpumpe,korr}} = \dot{Q}_{\text{Abnehmerpumpe,mess}} - 0,0015 \text{ kW}$ Gebäudeteil B
- $\dot{Q}_{\text{Abnehmerpumpe,korr}} = \dot{Q}_{\text{Abnehmerpumpe,mess}} - 0,0020 \text{ kW}$ Gebäudeteil A
- $\dot{Q}_{\text{Abnehmerpumpe,korr}} = \dot{Q}_{\text{Abnehmerpumpe,mess}} - 0,0030 \text{ kW}$ Gebäudeteil A Flur

Für die Solarthermiepumpen liegen keine plausiblen Messwerte vor. Die Messwerte für den Salzhydratspeicher können keiner Korrektur unterzogen werden, da keine Grundlage gegeben ist.

Die Datenlage ist vollständig, bis auf die Daten der Brauchwasserpumpe im Januar und Februar 2016. Es werden bei der Monatsbilanz die Werte des Folgejahres verwendet.

Server und Serverkühlung

Die Messwerte der Stromflusssensoren zeigen keine Datenlücken. Da Server und Kühlung nicht zwischenzeitlich abgeschaltet wurden, sind keine Phasen gegeben, in denen Fehler erkannt werden können. Es erfolgt daher keine Korrektur.

Trinkwassererwärmung

Die Messung erfolgt mit Zählern, nicht über die Stromflusssensoren. Es gibt keinen Anlass zur Korrektur, welche entsprechend auch nicht erfolgt. Von Januar bis Juli 2016 liegen keine Messwerte vor. Daher werden für die Monatsbilanzen 2016/17 im genannten Zeitraum die Werte aus dem Jahr 2017 ersatzweise angenommen.

Windkraft

Die Windkraftanlage wird mit einem Satz Messtechnik der Fa. GEDES überwacht. Da keine Vergleichswerte vorliegen und die Messwerte plausibel sind, gibt es keine Korrekturen. Für die Monatsbilanzen fehlen Werte für Januar und Februar 2016 sowie November und Dezember 2017. Es werden die Werte des gleichen Monats im jeweils anderen Jahr als Ersatzwerte verwendet.

8 Anhang

8.1 Literatur

- [1] AIB GmbH, *Planungsunterlagen*, Bautzen: Architekten Ingenieure Bautzen, 2013.
- [2] Elektro Schmidt, *Ausführungsunterlagen*, Aschersleben: Elektro Schmidt, 2013.
- [3] Schletter GmbH, „Planungsunterlagen für das Tragsystem zur Aufnahme von Solarmodulen AluGrid“, Schletter GmbH, Kirchdorf/Haag i. OB, 2013.
- [4] F. Hallensleben, „Masterarbeit "Nutzerorientierte und witterungsbedingte Simulationen sowie die Erstellung einer Strombilanz am Neubau der Sankt Franziskus Grundschule in Halle (Saale)“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2014.
- [5] SMA, „SMA Wechselrichter; Produktdaten“, SMA, 9 Januar 2014. [Online]. Available: <http://www.sma.de/produkte/solar-wechselrichter-ohne-transformator.html>. [Zugriff am 09 Januar 2014].
- [6] K. Gebhardt, „Masterarbeit "Qualitätssicherung für die Planung und Erstellung eines Monitoringkonzeptes für die St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale)“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2011.
- [7] Wolf moderne Windkraft, *Vertikale Windanlage WW-1*, Wimmelburg: Wolf moderne Windkraft, 2015.
- [8] Clean Energy, „Sinopoly Lithium Iron Phosphate Battery Specifications; Produktdaten“, 08 01 2014. [Online]. Available: [ww.cleanenergygmbh.de](http://www.cleanenergygmbh.de). [Zugriff am 08 01 2014].
- [9] SMA, „Sunny Island; Produktdaten“, 26 06 2015. [Online]. Available: <https://www.sma.de/produkte/batterie-wechselrichter/sunny-island-60h-80h.html>. [Zugriff am 26 06 2015].
- [10] Y. Liu, „Masterarbeit „Ökobilanz für die Elektroausstattung einer Passivhausschule“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2017.
- [11] A. Soboh, „Masterarbeit "Optimierung der Photovoltaikanlage auf Basis von Messdaten für eine Passivhausschule“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [12] S. Jäger und F. Switala, „Masterarbeit "Vergleich von Energiebedarfsbilanzen und Verbrauchsdaten für eine Passivhausschule“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [13] apetito AG, *Berechnung der Energiekosten für apetito Systemtechnik*, Rheine, 2011.
- [14] R. Mank, „Bachelorarbeit "Stromanalyse der Großküche einer Passivhausschule“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2014.
- [15] S. Herthum, „Bachelorarbeit "Stromanalyse der Hausmeisterwohnung in einer Passivhausschule“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2015.
- [16] Y. Guo, „Masterarbeit "Detailanalyse für eine elektrisch versorgte Wohnung in Passivhausbauweise“, Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2018.
- [17] Lungwitz GmbH, *Planungsunterlagen zur Küchentechnik*, Magdeburg: Lungwitz GmbH, 2014.
- [18] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, „Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen“, in *Protokollband 47*, Darmstadt, 2012.
- [19] Schindler Deutschland AG & Co. KG, „www.schindler.com“, Schindler Aufzüge und Fahrtreppen GmbH, Berlin, [Online]. Available: http://www.schindler.com/content/de/internet/de/mobilitaetsloesungen/produkte/aufzu-ege/schindler-3300/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadList/73_1345790544325.download.asset.73_1345790544325/Schindler_3300_nov.2013.pdf. [Zugriff am 03 Dezember 2013].

- [20] R. Schulze, „Masterarbeit "Aufbereitung, Plausibilitätsprüfung und anschließende Auswertung von Messwerten des Monitorings mit Abgleich der geplanten Effizienzen, Bedarfswerte und Komfortkriterien",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [21] DWD, „Deutscher Wetterdienst,“ DWD, 2014. [Online]. Available: <http://www.dwd.de/>.

8.2 Nomenklatur

Tabelle 8-1: Lateinische Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
A	Fläche	m ²
f	Faktor	-
P	Leistung	W
Q	Energiemenge	kWh/a
Q̇	Leistung	W usw.
t	Laufzeit	h/a usw.

Tabelle 8-2: Griechische Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
Δ	Differenz	verschieden
η	Wirkungsgrad	-
ε	Arbeitszahl	-

Tabelle 8-3: Abkürzungen

Kürzel	Erläuterung
DIN	Deutsches Institut für Normung; deutsche Norm
DIN V	Deutsches Institut für Normung; deutsche Vornorm
DLE	Durchlauferhitzer
DWD	Deutscher Wetterdienst
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EG	Erdgeschoss
EN	Europäische Norm
EnOB	(Forschung für) Energieoptimiertes Bauen
EnSan	(Forschung für) Energieoptimiertes Bauen in der Sanierung
EWT	Erdwärmetauscher
GFK	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
HV	Hauptverteilung
i. H. v.	in Höhe von
ISO	International Standardisation Organisation; internationale Norm
IT	Informationstechnologie
k. A.	keine Angabe
LED	Lichtemittierende Diode (Light emitting diode)
OG	Obergeschoss
PV	Photovoltaik
RLT	Raumluftechnik
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV	Unterverteilung

8.3 **Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

Abbildung 1-1: Photovoltaikanlage auf Dach	7
Abbildung 1-2: Nord- und Südansicht des Photovoltaik-Carports	8
Abbildung 1-3: Vertikale Windturbine	9
Abbildung 1-4: Komplettbatterie Lithium (links) und Bleigel (rechts).....	10
Abbildung 1-5: Strombedarfsbilanz des Gesamtgebäudes – Verbrauchsarten und -gruppen	12
Abbildung 1-6: Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern – 2016 und 2017.....	13
Abbildung 1-8: Gesamtstromverbrauch Schule/Hort/Verwaltung nach Verbrauchern – 2016/17.....	14
Abbildung 1-7: Tagesprofil Stromverbrauch Schule o. Hausmeisterwohnung.....	15
Abbildung 1-10: Monatsbilanz Küchenbetrieb – 2016/17.....	15
Abbildung 1-9: Tagesprofil – Stromverbrauch Küche	16
Abbildung 1-11: Tagesprofil – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung.....	16
Abbildung 1-12: Monatsbilanz Stromverbrauch der Hausmeisterwohnung – 2016/17	17
Abbildung 2-1: Konzept der Stromversorgung	19
Abbildung 3-1: Legende zur Stark- und Schwachstrominstallation [1].....	21
Abbildung 3-2: Starkstrominstallation – Erdgeschoss [1].....	22
Abbildung 3-3: Starkstrominstallation – 1. Obergeschoss [1]	23
Abbildung 3-4: Starkstrominstallation – 2. Obergeschoss [1]	24
Abbildung 3-5: Schwachstrominstallation – Erdgeschoss [1].....	25
Abbildung 3-6: Schwachstrominstallation – 1. Obergeschoss [1]	26
Abbildung 3-7: Schwachstrominstallation – 2. Obergeschoss [1]	27
Abbildung 3-8: Blick in den Elektroanschlussraum 0.04 heute (links) und im Bau (rechts).....	28
Abbildung 3-9: Blick in den Elektroanschlussraum 0.04 sowie USV in Raum 0.04a	28
Abbildung 3-10: Grundkonzept des Hausanschlusses mit PV, Wind und Batterie [2].....	29
Abbildung 3-11: Elektroverteilung – PV Einspeisezähler	30
Abbildung 3-12: Elektroverteilung – Batteriesteuerung und Zählung Carport.....	30
Abbildung 3-13: Elektroverteilung – Sicherungen der Hauptverteilung	31
Abbildung 3-14: Elektroverteilung – Unterzähler Hort und Küche mit Sicherungen	31
Abbildung 3-15: Elektroverteilung – Zentrale Zeitsteuerung sowie Hauptstromanschluss	32
Abbildung 3-16: Thermographie von Stromzählern im Januar 2017	32
Abbildung 3-17: Thermographie der Unterverteilung sowie der Messtechnik in Raum 0.04	33
Abbildung 3-18: Komplettansicht der PV auf dem Dach und Carport [Bildquelle: Google Maps].....	33
Abbildung 3-19: Photovoltaikanlage auf Dach	34
Abbildung 3-20: PV-Modul mit Unterkonstruktion sowie PV-Hauptanschluss in Raum 0.04.....	34
Abbildung 3-21: Dachaufsicht mit PV-Modulen [1].....	36
Abbildung 3-22: Wechselrichter Sunny Tripower [5]	37
Abbildung 3-23: Nord- und Südansicht des Photovoltaik-Carports.....	37
Abbildung 3-24: Positionsplan Carport [1].....	38
Abbildung 3-25: Photovoltaik-Module als Dacheindeckung – während der Installationsphase	38
Abbildung 3-26: Typenschild der PV-Module	39
Abbildung 3-27: Wechselrichter Sunny Tripower und Typenschild.....	39
Abbildung 3-28: Vertikale Windturbine Aerolus.....	41
Abbildung 3-29: Leistungskurve des Windrades [7].....	41
Abbildung 3-30: Typenschilder Mikrowindkraft und Gleichrichter	42
Abbildung 3-31: Technische Daten der Batterie [8]	43
Abbildung 3-32: Komplettbatterie Lithium	43
Abbildung 3-33: Komplettbatterie Bleigel mit Schadensfall rechts.....	44
Abbildung 3-34: Innenaufnahme Solarcarport	45
Abbildung 3-35: Sunny Island Technische Daten [9]	46
Abbildung 3-36: Sunny Island Steuerungsmodul	46
Abbildung 3-37: Regelungssystem SMA [2].....	47
Abbildung 3-38: Installationsphase Elektroanschlussraum 0.04, Klassenraum 2.07.....	48
Abbildung 3-39: Whiteboards in den Klassenzimmern	49
Abbildung 3-40: PC-Arbeitsplätze und CD-Player	49
Abbildung 3-41: Thermographie Büroarbeitsplätze am Feiertag 6.1.2017	50
Abbildung 3-42: Büroarbeitsplätze mit Terminalcomputer, Bildschirm, lokalem Drucker	50
Abbildung 3-43: Lokaler Server in Raum 1.24	51
Abbildung 3-44: Telefon am Büroarbeitsplatz	51
Abbildung 3-45: Terminal der Telefon- und Durchsageanlage in Raum 1.23.....	51
Abbildung 3-46: Kopierer.....	52
Abbildung 3-47: Küchenausstattung mit Kühlschrank, Mikrowelle, Kaffeeautomat.....	52

Abbildung 3-48: Durchlauferhitzer und Kleinspeicher	53
Abbildung 3-49: Händetrockner in den Kinder-WCs	53
Abbildung 3-50: RLT-Anlage Gebäudeteil A – Zentrale Raum 2.18	54
Abbildung 3-51: RLT-Anlage Gebäudeteil B – Zentrale Raum 2.03	54
Abbildung 3-52: Volumenstromregler der RLT	55
Abbildung 3-53: Rettungswegleuchte.....	55
Abbildung 3-54: Magnetische Türfeststellanlage	55
Abbildung 3-55: Hilfsenergieaufwand der Brandschutztüren	56
Abbildung 3-56: Zentraler Anzeigemonitor im Eingangsbereich	56
Abbildung 3-57: Bewegungsmelder	56
Abbildung 4-1: Simulationsmodell Photovoltaik Dachanlage 2014	57
Abbildung 4-2: Simulationsmodell Photovoltaik Dachanlage 2014	58
Abbildung 4-3: Eingaben zur PV-Anlage auf dem Dach in die DIN V 18599-Bianzierung	59
Abbildung 4-4: Eingaben zur PV-Anlage auf dem Carport in die DIN V 18599-Bianzierung	59
Abbildung 4-5: Eingaben zur Windkraft in die DIN V 18599-Bianzierung	61
Abbildung 5-1: Strombedarfsbilanz der Schul- und Hortbereiche – Verbrauchsgruppen	66
Abbildung 5-2: Strombedarfsbilanz der Schul- und Hortbereiche – Verbrauchsarten	68
Abbildung 5-3: Strombedarfsbilanz der Küche – Verbrauchsarten und –gruppen.....	71
Abbildung 5-4: Strombedarfsbilanz der Hausmeisterwohnung – Verbrauchsarten und –gruppen	73
Abbildung 5-5: Strombedarfsbilanz des Gesamtgebäudes – Verbrauchsarten und -gruppen	75
Abbildung 5-6: Strombedarfsbilanz der Technikräume – Verbrauchsarten und -gruppen.....	76
Abbildung 5-7: Interne Lasten aus der Strombedarfsbilanz	77
Abbildung 6-1: Gesamtstromverbrauch nach Verbrauchern – 2016 und 2017.....	81
Abbildung 6-2: Carpetplot – Gesamtstromverbrauch ohne Hausmeisterwohnung – 2016.....	82
Abbildung 6-3: Carpetplot – Gesamtstromverbrauch ohne Hausmeisterwohnung – 2017.....	82
Abbildung 6-4: Gesamtstromverbrauch ohne Hausmeisterwohnung – 2016 und 2017	83
Abbildung 6-5: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Gesamtgebäude – Stromverbrauch	83
Abbildung 6-6: Gesamtstromverbrauch Schule/Hort/Verwaltung nach Verbrauchern – 2016/17.....	84
Abbildung 6-7: Carpetplot – Stromerzeugung – 2016.....	85
Abbildung 6-8: Carpetplot – Stromerzeugung – 2017.....	86
Abbildung 6-9: Stromproduktion abhängig von der Globalstrahlung	86
Abbildung 6-10: PV-Wirkungsgrad abhängig von der Globalstrahlung.....	87
Abbildung 6-11: PV-Wirkungsgrad abhängig von der Außentemperatur.....	87
Abbildung 6-12: Stromerzeugung mit PV als Jahresdauerlinie.....	87
Abbildung 6-13: Carpetplot – Stromrückspeisung ins Netz – 2016	88
Abbildung 6-14: Carpetplot – Stromrückspeisung ins Netz – 2017	88
Abbildung 6-15: Carpetplot – Netzstrombezug – 2016	89
Abbildung 6-16: Carpetplot – Netzstrombezug – 2017	89
Abbildung 6-17: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2014.....	90
Abbildung 6-18: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2015.....	90
Abbildung 6-19: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2016.....	90
Abbildung 6-20: Gesamtstromverbrauch nach Herkunft und Verwendung – 2017.....	91
Abbildung 6-21: Täglicher Stromverbrauch – nach Herkunft	91
Abbildung 6-22: Täglicher Stromverbrauch – nach Verwendung.....	92
Abbildung 7-1: Horträume 0.01, 0.03, 0.11 und 0.14	97
Abbildung 7-2: Thermographie des Kühlschranks im Kindercafé 0.03	97
Abbildung 7-3: Verbrauchsverlauf – Hort Unterzähler – 2016	98
Abbildung 7-4: Verbrauchsverlauf – Hort Unterzähler – 2017	98
Abbildung 7-5: Carpetplot – Hort Unterzähler – 2016	99
Abbildung 7-6: Carpetplot – Hort Unterzähler – 2017	99
Abbildung 7-7: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling.....	100
Abbildung 7-8: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer	100
Abbildung 7-9: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst	101
Abbildung 7-10: Hort – beispielhafter Wochenverlauf – Winter	101
Abbildung 7-11: Hort – Stromverbrauch über der Außentemperatur.....	102
Abbildung 7-12: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Hort – Stromverbrauch	102
Abbildung 7-13: Klassenraum 1.08	103
Abbildung 7-14: Klassenraum 2.01	103
Abbildung 7-15: Thermographie Whiteboard und Beamerkopf.....	103
Abbildung 7-16: Thermographie Lehrertisch und CD-Player im Klassenraum	104
Abbildung 7-17: Monatsbilanz Stromverbrauch Klassenraum 1.08 – 2016/17	104
Abbildung 7-18: Monatsbilanz Stromverbrauch Klassenraum 2.01 – 2016/17	105

Abbildung 7-19: Verbrauchsverlauf – Klassenräume Unterzähler – 2016	106
Abbildung 7-20: Verbrauchsverlauf – Klassenräume Unterzähler – 2017	106
Abbildung 7-21: Carpetplot – Klassenraum 1.08 Unterzähler – 2016	107
Abbildung 7-22: Carpetplot – Klassenraum 1.08 Unterzähler – 2017	107
Abbildung 7-23: Carpetplot – Klassenraum 2.01 Unterzähler – 2016	108
Abbildung 7-24: Carpetplot – Klassenraum 2.01 Unterzähler – 2017	108
Abbildung 7-25: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Frühjahr	109
Abbildung 7-26: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer	109
Abbildung 7-27: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst	110
Abbildung 7-28: Klassenräume – beispielhafter Wochenverlauf – Winter	110
Abbildung 7-29: Monatsbilanz Stromverbrauch der Hausmeisterwohnung – 2016/17	111
Abbildung 7-30: Verbrauchsverlauf – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2016	112
Abbildung 7-31: Verbrauchsverlauf – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2017	112
Abbildung 7-32: Carpetplot – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2016	113
Abbildung 7-33: Carpetplot – Hausmeisterwohnung Hauptzähler – 2017	113
Abbildung 7-34: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling	114
Abbildung 7-35: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer	114
Abbildung 7-36: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst	115
Abbildung 7-37: Hausmeisterwohnung – beispielhafter Wochenverlauf – Winter	115
Abbildung 7-38: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Hausmeister – Gesamtstromverbrauch	116
Abbildung 7-39: Küchengeräte – Kombidämpfer, Kippbratpfanne, Kochhaube	117
Abbildung 7-40: Küchengeräte – Spülmaschine, Spülhaube	117
Abbildung 7-41: Küchengeräte – Warmhaltebecken, Tellerwärmer, Herd mit Backofen	118
Abbildung 7-42: Regelung des Fettabscheiders mit Thermographie	118
Abbildung 7-43: Monatsbilanz Küchenbetrieb – 2016/17	119
Abbildung 7-44: Carpetplot – Küche Unterzähler Stromverbrauch – 2016	120
Abbildung 7-45: Carpetplot – Küche Unterzähler Stromverbrauch – 2017	120
Abbildung 7-46: Küche – beispielhafter Wochenverlauf – Schulwoche erster Pächter	121
Abbildung 7-47: Küche – beispielhafter Wochenverlauf – Schulwoche zweiter Pächter	121
Abbildung 7-48: Küche – beispielhafter Wochenverlauf – Ferienhortwoche erster Pächter	122
Abbildung 7-49: Küche – beispielhafter Tagesverlauf – Schultag erster Pächter	122
Abbildung 7-50: Küche – beispielhafter Tagesverlauf – Schultag zweiter Pächter	123
Abbildung 7-51: Tiefkühlzelle – Tür, Einblick, Temperaturanzeige	124
Abbildung 7-52: Kühlzelle – Tür, Einblick, Temperaturanzeige	124
Abbildung 7-53: Inneneinheit der Kältemaschine	125
Abbildung 7-54: Kompressoren der beiden Kälteanlagen in Raum 0.30	125
Abbildung 7-55: Thermographie der Kältekompressoren in Raum 0.30	126
Abbildung 7-56: Typenschild und Datenblatt des Tiefkühlkompressors	126
Abbildung 7-57: Typenschild und Datenblatt des Kühlkompressors	127
Abbildung 7-58: Regelung der Kühl- und Tiefkühlzelle in Raum 0.30	127
Abbildung 7-59: Rückkühlwerke der beiden Kälteanlagen vor dem Gebäude	128
Abbildung 7-60: Elektrische Türrahmenheizung	128
Abbildung 7-61: Monatsbilanz Kühl- und Tiefkühlzelle – 2016/17	129
Abbildung 7-62: Carpetplot – Kühlzelle Stromverbrauch – 2016	130
Abbildung 7-63: Carpetplot – Kühlzelle Stromverbrauch – 2017	130
Abbildung 7-64: Carpetplot – Tiefkühlzelle Stromverbrauch – 2016	131
Abbildung 7-65: Carpetplot – Tiefkühlzelle Stromverbrauch – 2017	131
Abbildung 7-66: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling	132
Abbildung 7-67: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer	132
Abbildung 7-68: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst	133
Abbildung 7-69: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Wochenverlauf – Winter	133
Abbildung 7-70: Kühl- und Tiefkühlzelle – beispielhafter Tagesverlauf	134
Abbildung 7-71: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch der Kühlzelle – 2017	134
Abbildung 7-72: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch der Tiefkühlzelle – 2017	135
Abbildung 7-73: Server im Raum 0.04	136
Abbildung 7-74: Innen- und Außeneinheit der Serverkühlung	136
Abbildung 7-75: Monatsbilanz Server und Serverkühlung – 2016/17	137
Abbildung 7-76: Thermographie der Serverkühlung im Januar 2017	137
Abbildung 7-77: Monatsbilanz Server und Serverkühlung – 2016/17	138
Abbildung 7-78: Verbrauchsverlauf – Server Unterzähler – 2017	138
Abbildung 7-79: Carpetplot – Server Stromverbrauch – 2016	139
Abbildung 7-80: Carpetplot – Server Stromverbrauch – 2017	139

Abbildung 7-81: Verbrauchsverlauf – Serverkühlung Unterzähler – 2017	140
Abbildung 7-82: Carpetplot – Serverkühlung Stromverbrauch – 2016	140
Abbildung 7-83: Carpetplot – Serverkühlung Stromverbrauch – 2017	141
Abbildung 7-84: Server – beispielhafter Wochenverlauf	141
Abbildung 7-85: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Frühling	142
Abbildung 7-86: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Sommer	142
Abbildung 7-87: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Herbst	143
Abbildung 7-88: Serverkühlung – beispielhafter Wochenverlauf – Winter	143
Abbildung 7-89: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch des Servers– 2017	144
Abbildung 7-90: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch der Serverkühlung – 2017	144
Abbildung 7-91: Reaktion der Kältemaschine auf eine Sollwertänderung am 5.7.2017	145
Abbildung 7-92: Bedienpaneel und Typenschild	146
Abbildung 7-93: Aufzug im Rohbau 2013 und im Betrieb 2018	146
Abbildung 7-94: Monatsbilanz Aufzug – 2016/17	147
Abbildung 7-95: Verbrauchsverlauf – Aufzug Unterzähler – 2016	147
Abbildung 7-96: Verbrauchsverlauf – Aufzug Unterzähler – 2017	148
Abbildung 7-97: Carpetplot – Aufzug Stromverbrauch ohne Standby – 2016	148
Abbildung 7-98: Carpetplot – Aufzug Stromverbrauch ohne Standby – 2017	149
Abbildung 7-99: Aufzug – beispielhafter Wochenverlauf – Schulwoche	149
Abbildung 7-100: Aufzug – beispielhafter Wochenverlauf – Ferienhortwoche	150
Abbildung 7-101: Aufzug – beispielhafter Tagesverlauf – Schultag	150
Abbildung 7-102: Jahresdauerlinie – Stromverbrauch des Aufzugs – 2017	151
Abbildung 7-103: Tagesmittelwerte der Leistungsaufnahme des Aufzuges an Wochenenden	151
Abbildung 7-104: Leistungsaufnahme des Aufzugs im Tagesmittel – vor und nach Optimierung	152
Abbildung 7-105: Monatsbilanz RLT-Anlage Verwaltungstrakt – 2016/17	153
Abbildung 7-106: Monatsbilanz RLT-Anlage Klassentrakt – 2016/17	154
Abbildung 7-107: Monatsbilanz Lüftungsanlage Hausmeisterwohnung – 2017	154
Abbildung 7-108: Monatsbilanz RLT-Anlagen Küche – 2016/17	155
Abbildung 7-109: Monatsbilanz Stromverbrauch Pumpen– 2016/17	156
Abbildung 7-110: Monatsbilanz Stromverbrauch Trinkwarmwasserspeicher – 2016/17	157
Abbildung 7-111: Monatsbilanz Stromverbrauch Pufferspeicher – 2016/17	158
Abbildung 7-112: Windgeschwindigkeiten im Zeitraum vom 01.05.2015 bis 22.09.2015 [20]	159
Abbildung 7-113: Carpetplot Stromproduktion der Windkraftanlage – 2016/17	160
Abbildung 7-114: Stromproduktion der Windkraftanlage je nach Windgeschwindigkeit – 2016/17 ...	160
Abbildung 7-115: Carpetplot Standbyverbrauch der Windkraftanlage – 2016/17	161
Abbildung 7-116: Standby der Windkraftanlage je nach Windgeschwindigkeit – 2016/17	161
Abbildung 7-117: Monatsenergiebilanz der Windkraftanlage – 2016/17	162
Abbildung 7-118: Produktdaten der Batteriesteuerung [9]	164
Abbildung 7-119: Energiebilanz der Batteriespeicheranlage	165
Abbildung 7-120: Tagesprofil – Wochentage –Stromverbrauch Schule o. Hausmeisterwohnung	167
Abbildung 7-121: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Schule o. Hausmeisterwohnung ...	167
Abbildung 7-122: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Hort	168
Abbildung 7-123: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Hort	168
Abbildung 7-124: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Küche	168
Abbildung 7-125: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Küche	169
Abbildung 7-126: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung	169
Abbildung 7-127: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung	169
Abbildung 7-128: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Klassenraum 1.08	170
Abbildung 7-129: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Klassenraum 1.08	170
Abbildung 7-130: Tagesprofil – Wochentage – Stromverbrauch Klassenraum 2.01	170
Abbildung 7-131: Tagesprofil – Wochenende – Stromverbrauch Klassenraum 2.01	171
Abbildung 7-132: Tagesprofil – Erzeugung von Photovoltaikstrom	171
Abbildung 7-133: Tagesprofil – Wochentage – Strombezug aus dem Netz	172
Abbildung 7-134: Tagesprofil – Wochenende – Strombezug aus dem Netz	172
Abbildung 7-135: Tagesprofil – Wochentage – Stromrückspeisung in das Netz	172
Abbildung 7-136: Tagesprofil – Wochenende – Stromrückspeisung in das Netz	172
Abbildung 8-1: Leitungsführung Hautverteilung Starkstrom – EG, 1.OG, 2.OG [10]	184
Abbildung 8-2: Leitungsführung Unterverteilung Starkstrom – EG, 1.OG, 2.OG [10]	185
Abbildung 8-3: Leitungsführung Beleuchtung – EG, 1.OG, 2.OG [10]	186
Abbildung 8-4: Leitungsführung Jalousieantriebe – EG, 1.OG, 2.OG [10]	187
Abbildung 8-5: Leitungsführung Brandmeldeanlage – EG, 1.OG, 2.OG [10]	188
Abbildung 8-6: Leitungsführung IT- und Telefonanlage – EG, 1.OG, 2.OG [10]	189

Abbildung 8-7: Leitungsführung Schulsprechanlage – EG, 1.OG, 2.OG [10]	190
Abbildung 8-8: Leitungsführung Einbruchschutzanlage – EG, 1.OG [10]	191
Abbildung 8-9: Leitungsführung Türsprechanlage – EG [10]	191
Abbildung 8-10: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Schultage	208
Abbildung 8-11: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Horttage	208
Abbildung 8-12: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Ferientage	209
Abbildung 8-13: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Wochenendtage	209
Abbildung 8-14: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Wochentage	209
Abbildung 8-15: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Schultage	209
Abbildung 8-16: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Horttage	210
Abbildung 8-17: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Ferientage	210
Abbildung 8-18: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Wochenendtage	210
Abbildung 8-19: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Wochentage	210
Abbildung 8-20: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Schultage	211
Abbildung 8-21: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Horttage	211
Abbildung 8-22: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Ferientage	211
Abbildung 8-23: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Wochenendtage	211
Abbildung 8-24: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Wochentage	212
Abbildung 8-25: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Schultage	212
Abbildung 8-26: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Horttage	212
Abbildung 8-27: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Ferientage	212
Abbildung 8-28: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Wochenendtage	213
Abbildung 8-29: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Wochentage	213
Abbildung 8-30: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Schultage	213
Abbildung 8-31: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Horttage	213
Abbildung 8-32: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Ferientage	214
Abbildung 8-33: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Wochenendtage	214
Abbildung 8-34: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Wochentage	214
Abbildung 8-35: Verbrauchsverteilung – Hauptzähler Hausmeister – Wochenende	214
Abbildung 8-36: Verbrauchsverteilung – Hauptzähler Hausmeister – Wochentage	215
Abbildung 8-37: Verteilung der PV-Produktion	215
Abbildung 8-38: Verteilung Netzstrombezug – Schultage	215
Abbildung 8-39: Verteilung Netzstrombezug – Horttage	215
Abbildung 8-40: Verteilung Netzstrombezug – Ferientage	216
Abbildung 8-41: Verteilung Netzstrombezug – Wochenendtage	216
Abbildung 8-42: Verteilung Netzstrombezug – Wochentage	216
Abbildung 8-43: Verteilung Netzurückspeisung – Schultage	216
Abbildung 8-44: Verteilung Netzstrombezug – Horttage	217
Abbildung 8-45: Verteilung Netzstrombezug – Ferientage	217
Abbildung 8-46: Verteilung Netzstrombezug – Wochenendtage	217
Abbildung 8-47: Verteilung Netzstrombezug – Wochentage	217
Tabelle 1-1: Ergebnisse der Energiebedarfsbilanz	11
Tabelle 3-1: Allgemeine Angaben zur Photovoltaik [3] [2]	34
Tabelle 3-2: Technische Angaben der Photovoltaikmodule [3] [2]	35
Tabelle 3-3: Technische Daten der Wechselrichter [5]	37
Tabelle 3-4: Technische Angaben der Photovoltaikmodule [3] [2]	39
Tabelle 5-1: Energiebedarf für Strom der Schule mit Hort	65
Tabelle 5-2: Energiebedarf für die Küche und Technikflächen	71
Tabelle 6-1: Messpunkte des Gesamtstromverbrauchs und Netzbezugs	79
Tabelle 6-2: Messpunkte für Photovoltaik, Windkraft und Batterie	80
Tabelle 7-1: Messpunkte bezüglich Stromdetailanalyse	95
Tabelle 8-1: Lateinische Formelzeichen	178
Tabelle 8-2: Griechische Formelzeichen	178
Tabelle 8-3: Abkürzungen	178
Tabelle 8-4: Strombedarf der Beleuchtung	192
Tabelle 8-5: Strombedarf der elektrischen Geräte	193
Tabelle 8-6: Interne Wärmelasten aus Beleuchtung	200
Tabelle 8-7: Interne Wärmelasten aus Nutzung elektrischer Geräte	202
Tabelle 8-8: Planer, Ausführende, Projektbeteiligte	218

8.4 Pläne

Die Originale sind in den separaten Anhängen B und C zu finden.

8.4.1 Hauptverteilung Starkstrom

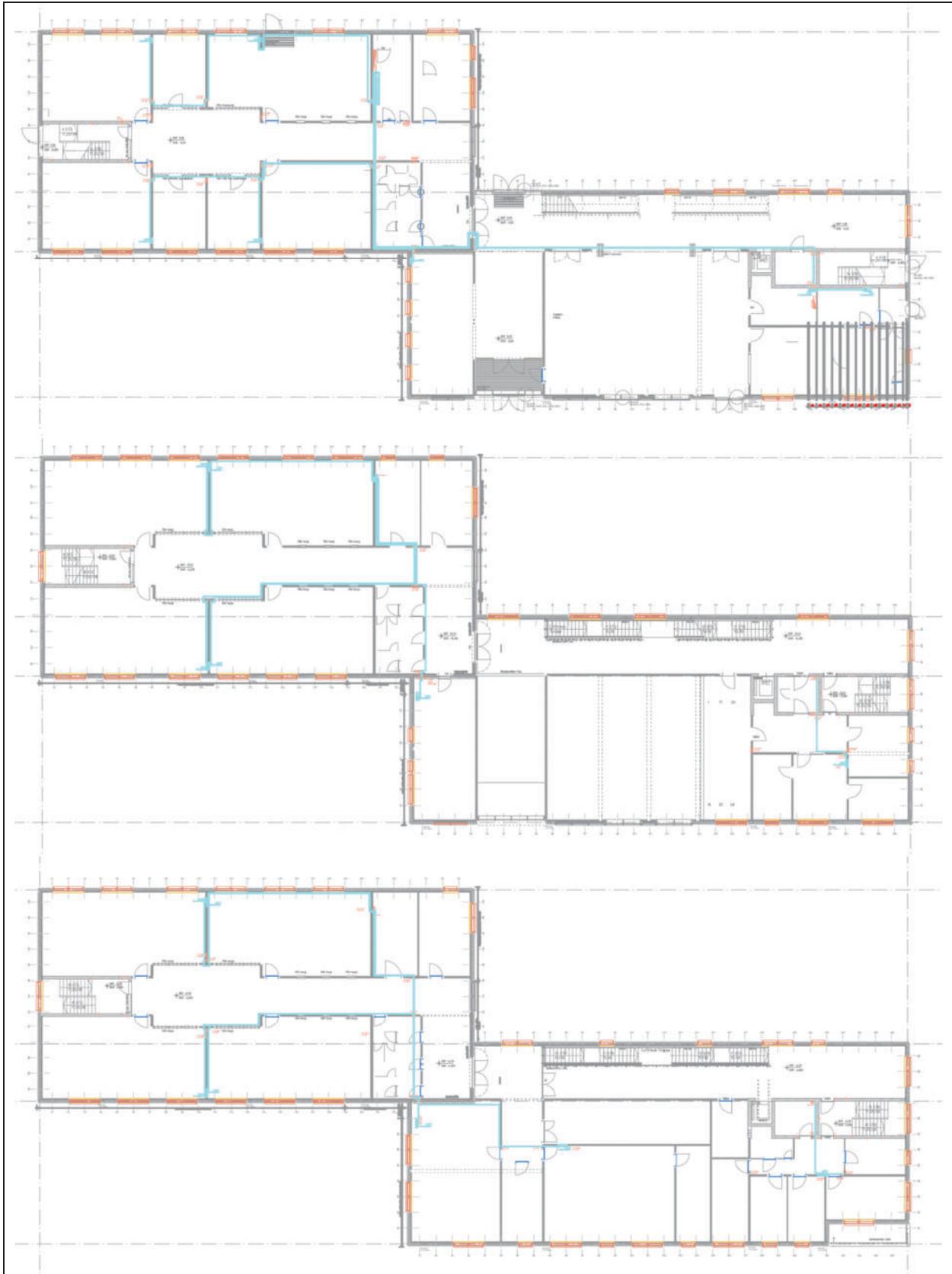


Abbildung 8-1: Leitungsführung Hautverteilung Starkstrom – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.2 Unterverteilung Starkstrom

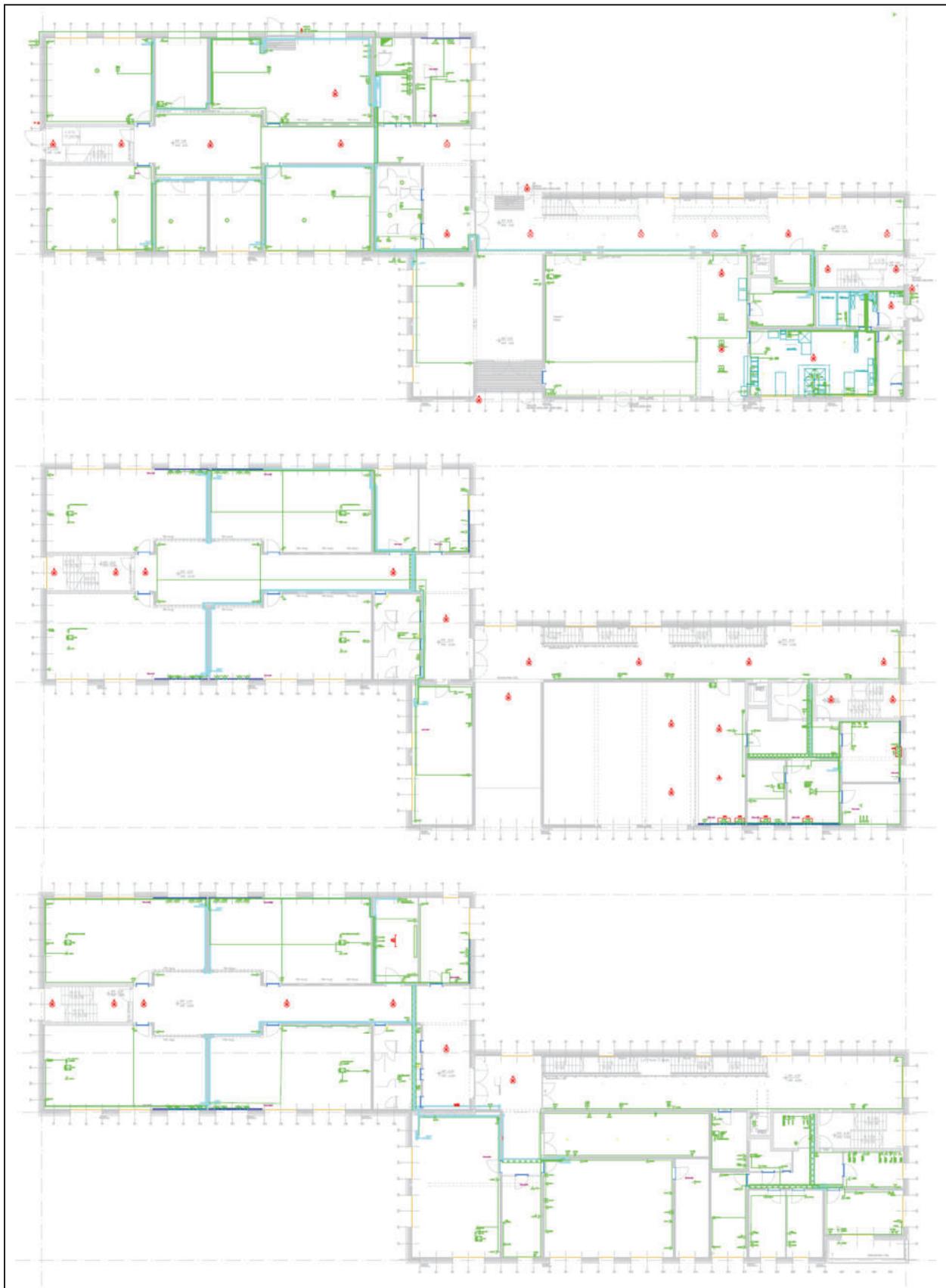


Abbildung 8-2: Leitungsführung Unterverteilung Starkstrom – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.3 Beleuchtung



Abbildung 8-3: Leistungsführung Beleuchtung – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.4 Jalousieantriebe

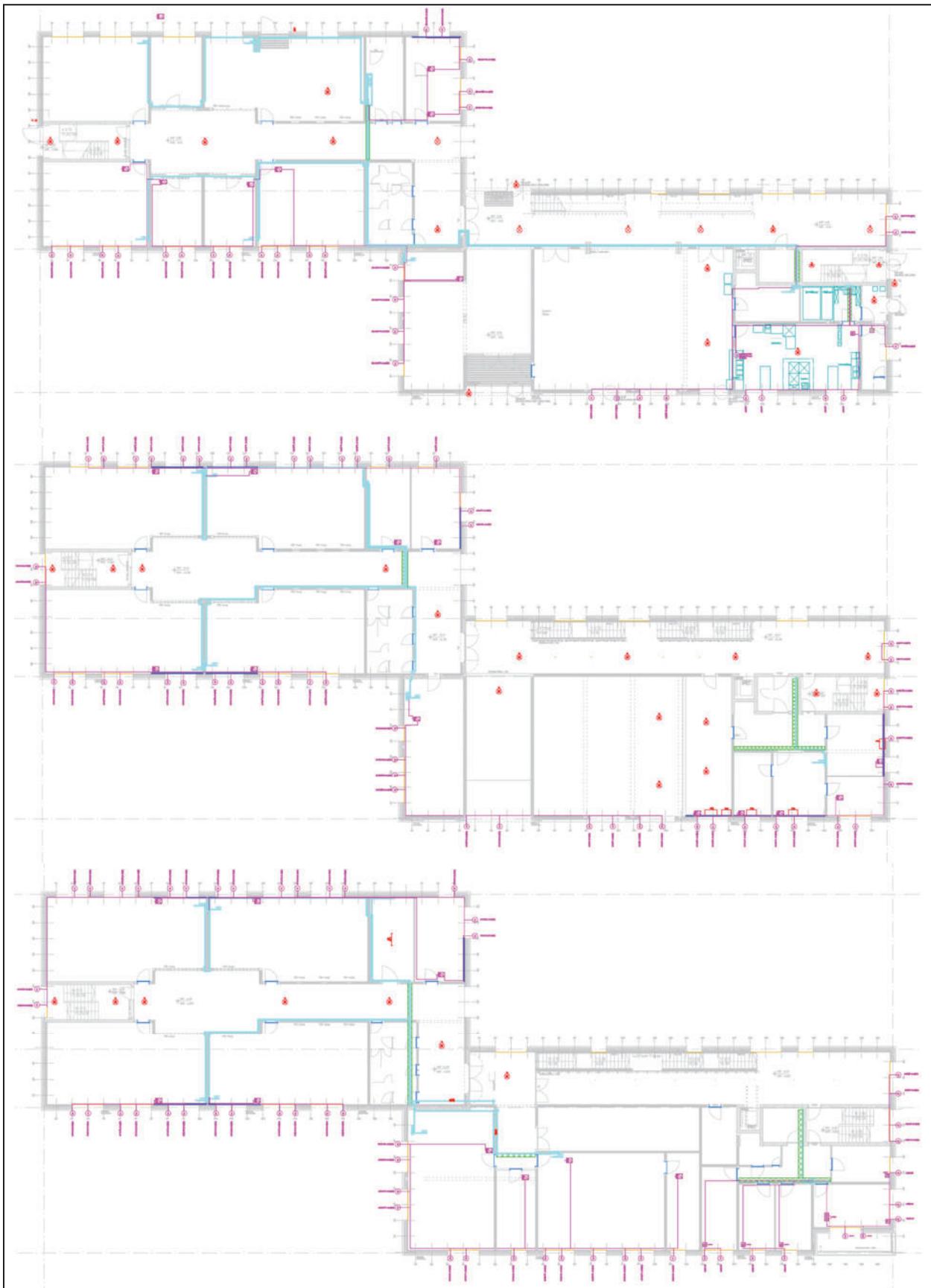


Abbildung 8-4: Leitungsführung Jalousieantriebe – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.5 Brandmeldeanlage

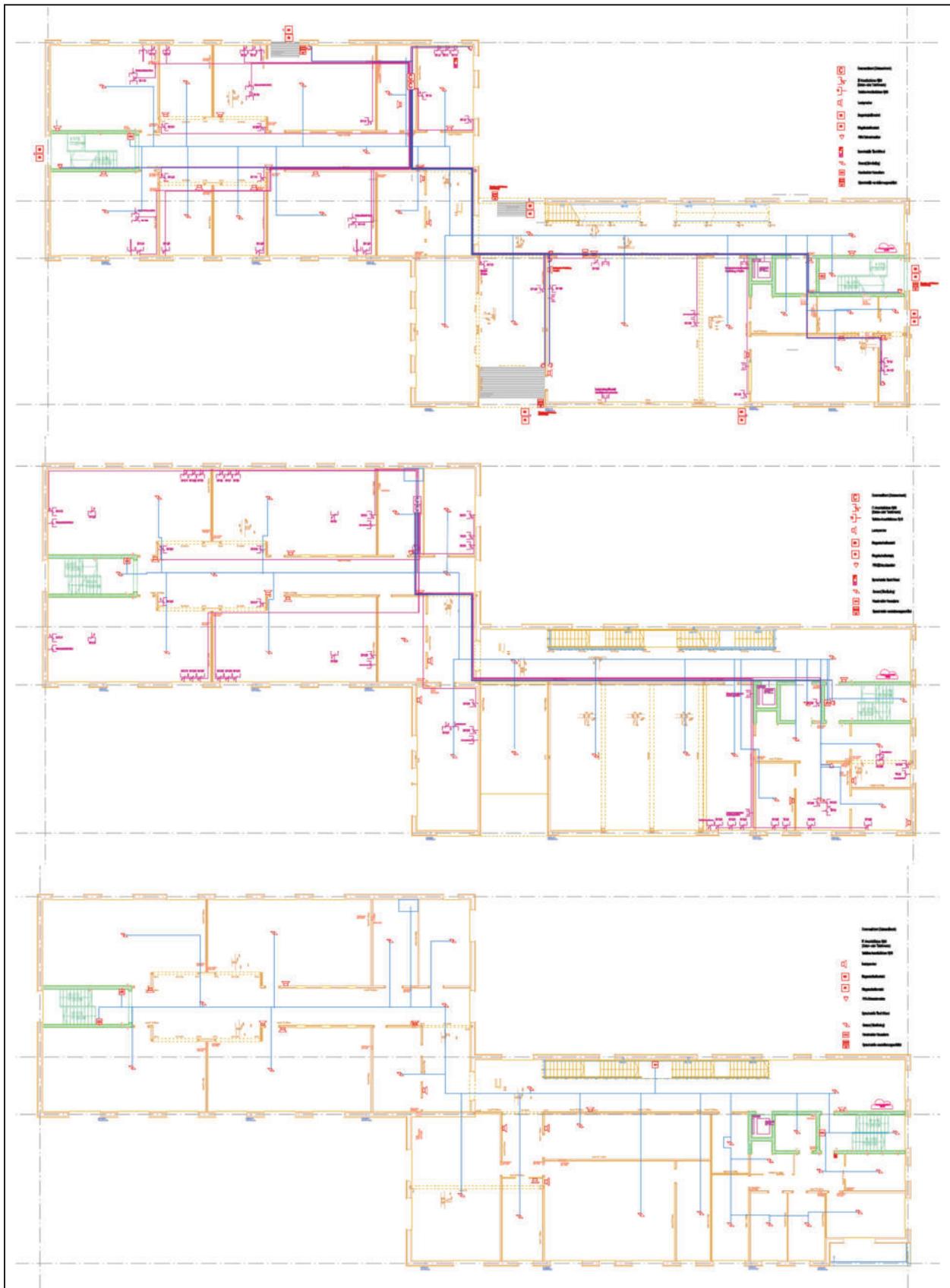


Abbildung 8-5: Leitungsführung Brandmeldeanlage – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.6 IT- und Telefonanlage



Abbildung 8-6: Leitungsführung IT- und Telefonanlage – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.7 Schulsprechanlage

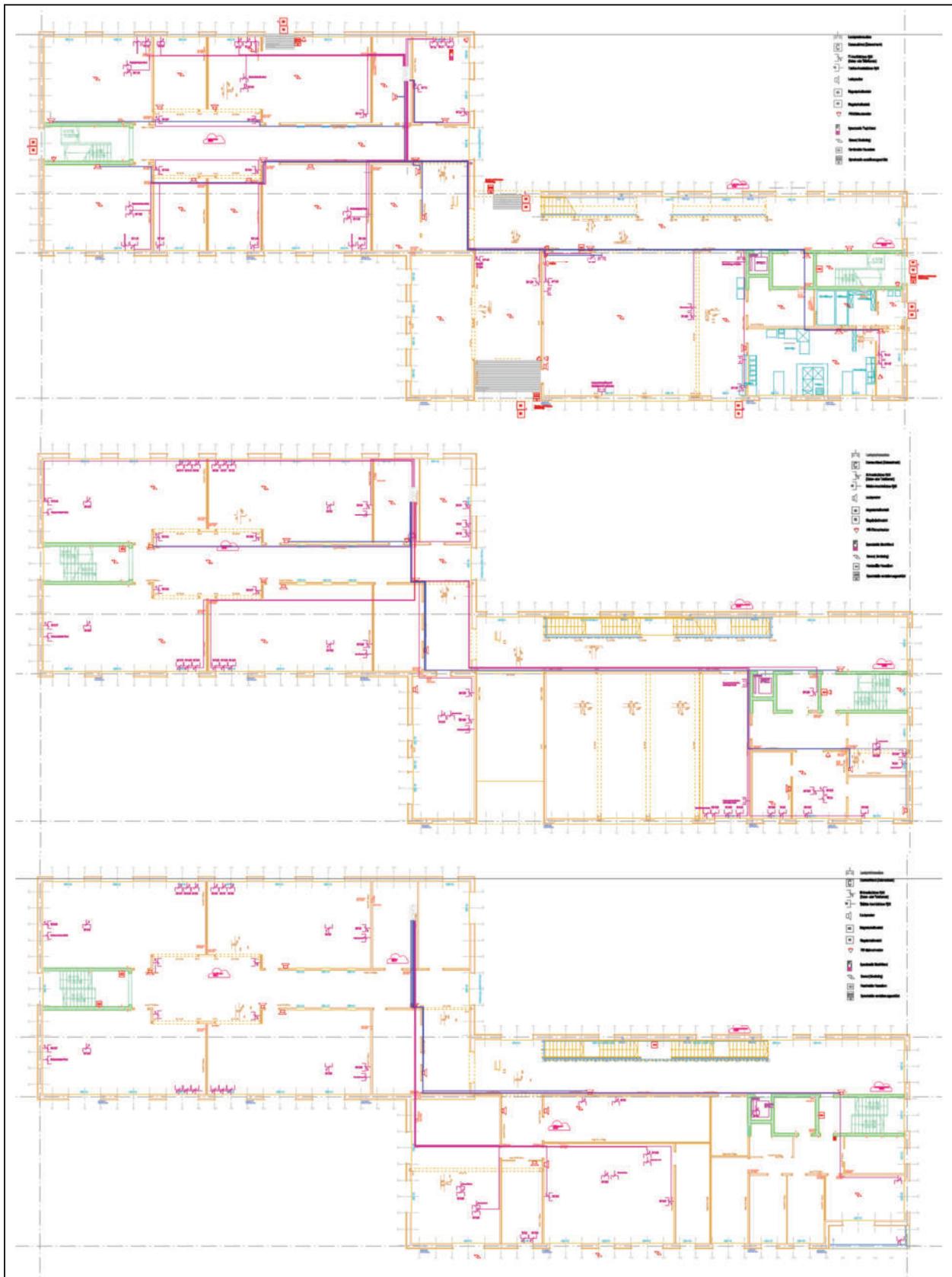


Abbildung 8-7: Leitungsführung Schulsprechanlage – EG, 1.OG, 2.OG [10]

8.4.8 Einbruchschutz- und Türsprechanlage



Abbildung 8-8: Leitungsführung Einbruchschutzanlage – EG, 1.OG [10]



Abbildung 8-9: Leitungsführung Türsprechanlage – EG [10]

8.5 Detailanalyse zur Bedarfsermittlung

Nachfolgende Tabellen enthalten raumweise die Leistungs- und Laufzeitannahmen aller Elektroverbraucher. Auf eine Detaillierung der Hausmeisterwohnung wird aus Datenschutzgründen verzichtet.

8.5.1 Bedarf der Beleuchtung

Tabelle 8-4: Strombedarf der Beleuchtung

Raum	Fläche [m²]	Funktion	Raumart	Leuchte	Anzahl	reale Bestü-	installierte Lei-	Betriebswochen pro Jahr	Betriebstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Laufzeit	Bedarf	
						ckung [W]	stung gesamt [W]					[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
001	57,57	Hort	Hort	Trilux / Valuco D	9	56	504	48	5	2	480	242	4,2
002	24,04	Hort	Hort	Trilux / Valuco D	2	56	112	48	5	2	480	54	2,2
003	82,58	Kindercafé	Hort	RZB / Flat Polymero Kreis	15	36	540	48	5	6	1440	778	9,4
004 a	1,98	Batterie	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	2	116	232	52	5	0,1	26	6	3,0
004	14,23	HAR	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	2	116	232	52	5	1	260	60	4,2
006	1,98	WC	Sanitär	Trilux / 6651	1	14	14	48	5	1	240	3	1,7
007	15,84	Büro	Büro	Trilux / 5041 RMV	2	72	144	48	5	4	960	138	8,7
008	15,84	Mitarbeiter	Büro	Trilux / 5041 RMV	2	72	144	48	5	4	960	138	8,7
009	120,34	Flur	Verkehr	Trilux / Inperla LED	11	21	231	48	5	6	1440	333	2,8
010	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	1	240	17	0,9
011	57,53	Spielraum	Hort	Trilux / Valuco D	9	56	504	48	5	2	480	242	4,2
012	24,04	Medien	Hort	Trilux / Valuco D	2	56	112	48	5	3	720	81	3,4
013	24,04	Entspannung	Hort	Trilux / Valuco D	2	56	112	48	5	3	720	81	3,4
014	57,63	Werkstatt	Hort	Trilux / Valuco D	9	56	504	48	5	4	960	484	8,4
015	7,14	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	3	26	78	48	5	6	1440	112	15,7
016	2,93	Waschen	Sanitär	Tecnolight / DE321	1	26	26	48	5	6	1440	37	12,8
017	7,60	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	3	26	78	48	5	6	1440	112	14,8
018	4,47	HAR	Technik	Trilux / Aragon - 1x58 W	1	58	58	52	5	4	1040	60	13,5
019	145,22	Halle	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	17	36	612	48	5	3	720	441	3,0
020	14,81	Windfang	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	1	240	17	1,2
021	46,20	Foyer/Luftraum	Verkehr	Tecnolight / DA - D=500 mm	6	36	216	48	5	2	480	104	2,2
				Tecnolight / DA - D=500 mm	2	36	72	48	5	2	480	35	0,7
				Tecnolight / DA - D=400 mm	4	62	248	48	5	2	480	119	2,6
022	13,38	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	2,6
023	13,38	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	2,6
024	13,38	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	2,6
025	12,19	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	2,8
026	183,45	Aula/ Luftraum	Aula	Tecnolight / DA - D=500 mm	22	36	792	48	5	3	720	570	3,1
				Tecnolight / DA - D=400 mm	5	62	310	48	5	2	480	149	0,8
				Bühnenstrahler	4	100	400	48	5	0,1	24	10	0,1
027	8,64	Aufzug	Verkehr	LED	4	2	8	52	7	24	8736	70	8,1
028	8,45	WC	Sanitär	Trilux / 7132/58	1	58	58	48	5	1	240	14	1,6
029	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	1,8
030	14,58	Stuhllager	Technik	Trilux / Aragon - 1x58 W	1	58	58	48	5	4	960	56	3,8
031	13,86	Lager Kühlung	Technik	Trilux / 7132/58	1	58	58	48	5	1	240	14	1,0
032	5,80	Flur	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	1	36	36	48	5	1	240	9	1,5
033	37,85	Küche	Küche	Trilux / 7132/58	3	58	174	48	5	8	1920	334	8,8
033 a	9,65	Spülküche	Küche	Trilux / 7132/58	1	58	58	48	5	8	1920	111	11,5
033 b	4,37	Pufferspeicher	Technik	Trilux / Aragon - 1x58 W	1	58	58	52	5	1	260	15	3,5
034	8,56	Personal	Büro	Trilux / 7132/58	1	58	58	48	5	4	960	56	6,5
035	1,62	WC	Sanitär	Trilux / 6651	1	14	14	48	5	1	240	3	2,1
101	82,65	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
102	82,78	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
103	21,00	Lehrmittel	Büro	Trilux / 5041 RMV	3	72	216	42	5	1	210	45	2,2
104	27,09	Lehrer	Büro	Trilux / 5041 RMV	3	72	216	42	5	2	420	91	3,3
105	120,66	Flur	Verkehr	Trilux / Inperla LED	11	21	231	48	5	4	960	222	1,8
				RZB / Flat Polymero Kreis	4	36	144	48	5	4	960	138	1,1
106	19,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	1	240	17	0,9
107	82,65	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
108	82,87	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
109	1,92	WC	Sanitär	Trilux / 6651	1	14	14	48	5	1	240	3	1,8

Raum	Fläche	Funktion	Raumart	Leuchte	Anzahl	reale Bestückung	installierte Leistung gesamt	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Laufzeit	Bedarf	
						[W]	[W]	[w/a]	[d/w]	[h/d]	[h/a]	[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
110	8,35	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	3	26	78	48	5	4	960	75	9,0
111	4,14	Dusche	Sanitär	Tecnolight / DE321	1	26	26	48	5	0,1	24	1	0,2
112	7,83	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	3	26	78	48	5	4	960	75	9,6
113	145,27	Halle	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	17	36	612	48	5	3	720	441	3,0
114	52,84	Raum der Stille	Klasse	Trilux / 3451N/58 dimmbar DALI	10	62	620	48	5	2	480	298	5,6
				RZB / Flat Polymero D=1m	1	76	76	48	5	2	480	36	0,7
				RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	0,7
115	43,27	Galerie	Aula	Tecnolight / DA - D=500 mm	10	36	360	48	5	4	960	346	8,0
117	2,40	WC	Sanitär	Trilux / 6651	1	14	14	48	5	1	240	3	1,4
118	6,02	Vorraum WC	Sanitär	RZB / Flat Polymero Kreis	1	36	36	48	5	2	480	17	2,9
119	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	1,8
120	21,03	Flur Lehrer	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	1,6
121	23,00	Besprechung	Büro	Trilux / 3623 RMV	4	42	168	48	5	2	480	81	3,5
122	15,87	Schulleiter	Büro	Trilux / 3623 RMV	3	42	126	48	5	2	480	60	3,8
123	22,09	Sekretariat	Büro	Trilux / 3623 RMV	4	42	168	48	5	6	1440	242	11,0
124	14,80	Archiv/1.Hilfe	Büro	Trilux / 3452N/58	2	116	232	48	5	2	480	111	7,5
201	82,58	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
202	82,71	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
203	23,77	Lüftung	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	2	116	232	42	5	1	210	49	2,0
204	27,09	Lehrer	Büro	Trilux / 5041 RMV	3	72	216	42	5	2	420	91	3,3
205	121,16	Flur	Verkehr	Trilux / Inperla LED	11	21	231	48	5	4	960	222	1,8
				RZB / Flat Polymero Kreis	4	36	144	48	5	4	960	138	1,1
206	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	1	240	17	0,9
207	82,58	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
208	82,70	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	6	108	648	42	5	3	630	408	4,9
				Trilux / 5041 RMV	2	72	144	42	5	1	210	30	0,4
				Tecnolight / FA 748	1	40	40	42	5	2	420	17	0,2
209	1,97	WC	Sanitär	Trilux / 6651	1	14	14	48	5	1	240	3	1,7
210	8,41	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	3	26	78	48	5	4	960	75	8,9
211	4,18	Putzen	Sanitär	Tecnolight / DE321	1	26	26	48	5	0,5	120	3	0,7
212	7,88	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	3	26	78	48	5	4	960	75	9,5
213	94,00	Halle	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	13	36	468	48	5	3	720	337	3,6
214	77,03	Kunst	Klasse	Trilux / Valuco D	14	56	784	48	5	2	480	376	4,9
215	40,14	Flur	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	1	36	36	48	5	4	960	35	0,9
216	20,25	Vorbereitung	Büro	Trilux / Valuco D	2	56	112	48	5	4	960	108	5,3
217	79,56	Werken	Klasse	Trilux / Valuco D	14	56	784	48	5	1	240	188	2,4
218	45,83	Lüftung	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	2	116	232	48	5	1	240	56	1,2
219	20,48	Lehrmittel	Büro	Trilux / Valuco D	2	56	112	48	5	0,5	120	13	0,7
220	13,04	Hausmeister	Büro	Trilux / Valuco D	1	56	56	48	5	8	1920	108	8,2
231	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	2	36	72	48	5	2	480	35	1,8
		Außenbereich	Verkehr	Cariboni Levante 06LV1B0007A	14	24	336	52	7	8	3640	18	0,2

8.5.2 Bedarf elektrischer Geräte

Tabelle 8-5: Strombedarf der elektrischen Geräte

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung	Korrekturfaktor	effektive Leistung	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Betriebszeit	Energiebedarf	Verbrauchsart
							[W]	[-]	[W]	[w/a]	[d/w]	[h/d]	[h/d]	[kWh/a]	
001	Hort	Hort	57,57	Bügeleisen micromaxx	Reinigung	1	1200	0,5	600	48	0,5	1	24	14	Nutzung
				Klebepestole	Büro	2	80	0,5	80	48	1	0,5	24	2	Nutzung
				Laminiergerät	Büro	1	360		360	48	1	0,5	24	9	Nutzung
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent
002	Hort	Hort	24,04	CD-Player Philips AZ787	Unterhaltung	1	15		15	48	5	1	240	4	Nutzung
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung [W]	Korrekturfaktor [-]	effektive Leistung [W]	Betriebswochen pro Jahr [w/a]	Betriebsstage pro Woche [d/w]	Betriebsstunden pro Tag [h/d]	effektive Betriebszeit [h/d]	Energiebedarf [kWh/a]	Verbrauchsart			
003	Kindercafé	Hort	82,58	Dunstabzugshaube Zanker	Kochen	1	375		375	0	0	0	0	0	Nutzung			
				Durchlauferhitzer	Wasser	1	11000		11000	48	5	0,1	34	378	Nutzung			
				Durchlauferhitzer - Standby	Wasser	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	Standby unveränderlich			
				Elektroherd Zanker (Schultag)	Kochen	1	9275	0,6	5565	40	5	0,5	100	557	Nutzung			
				Geschirrspülmaschine Zanker KDI112XK (Schultag)	Reinigung	1	2200	0,23182	510	40	5	2	400	204	Nutzung			
				Geschirrspülmaschine Zanker KDI112XK (Ferientag)	Reinigung	1	2200	0,23182	510	8	2,5	2	40	20	Nutzung			
				Geschirrspülmaschine Zanker KDI112XK - Standby	Reinigung	1	0,5		1	52,14	-	-	8320	4	Standby schwer veränderlich			
				Kaffeeautomat Siemens EQ.8 series 300 (Ferientag)	Kochen	1	1600	0,6	960	8	5	0,2	8	8	Nutzung			
				Kaffeeautomat Siemens EQ.8 series 300 (Schultag)	Kochen	1	1600	0,6	960	40	5	0,33	66	63	Nutzung			
				Kühlkombi Liebherr	Kühlen	1	120	0,3	36	52,14	7	24	8760	315	permanent			
				Kühlschrank Viva	Kühlen	0	90	0,3	0	0	0	0	0	0	permanent			
				Mikrowelle Kaufland	Kochen	1	1200		1200	48	5	0,1	24	29	Nutzung			
				Mikrowelle Kaufland - Standby	Kochen	1	5		5	52,14	7	24	8760	44	Standby schwer veränderlich			
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent			
				Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent			
				Toaster Clatronic TA 2980	Kochen	1	1400		1400	48	5	0,05	12	17	Nutzung			
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent			
				Waschmaschine A+++ Bosch Maxx 7 varioperfect (Schultag)	Reinigung	1	2300	0,22826	525	40	5	2	400	210	Nutzung			
				Waschmaschine A+++ Bosch Maxx 7 varioperfect (Ferientag)	Reinigung	1	2300	0,22826	525	8	1	2	16	8	Nutzung			
				Waschmaschine A+++ Bosch Maxx 7 varioperfect - Standby	Reinigung	1	0,33		0	52,14	-	-	8344	3	Standby schwer veränderlich			
Wasserkocher Rossmann Ideenwelt	Kochen	1	2000		2000	48	5	0,1	24	48	Nutzung							
004 a	Batterie	Technik	1,98	USV	Sicherheit	1	9000	0,01	90	52,14	7	24	8760	788	permanent			
004	HAR	Technik	14,23	Klimagerät Daikin Kühlgerät FTXS35K2V1B	Kühlen	1	1190	0,15	179	52,14	7	24	8760	1564	permanent			
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent			
				Server ohne lokale Einrichtungen	Server	1	750		750	52,14	7	24	8760	6570	permanent			
				Windrad Eigenverbrauch	Sonstige	1	2		100	52,14	7	24	8760	876	Standby			
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2		40	52,14	7	24	8760	350	permanent			
006	WC Personal	Sanitär	1,98	Kleinspeicher	Wasser	1	2000		2000	48	5	0,1	34	69	Nutzung			
				Kleinspeicher - Standby	Wasser	1	13		13	52,14	-	-	8726	113	Standby schwer veränderlich			
007	Büro	Büro	15,84	Aktenvernichter Fellowes	Büro	1	20		20	48	5	0,01	2	0	Nutzung			
				HP Drucker	Büro	1	600		600	48	5	0,5	120	72	Nutzung			
				HP Drucker - Standby/betriebsbereit	Büro	1	9,5		10	48	5	7	1680	16	Standby			
				HP Drucker - Standby/aus	Büro	1	0,1		0	52,14	-	-	6960	1	Standby			
				Freecom Hard Drive 250GB	Büro	1	3,5		4	48	5	8	1920	7	Nutzung			
				PC HP Compaq 6300	Büro	2	320	0,5	320	48	5	8	1920	614	Nutzung			
				PC-Bildschirm	Büro	2	23		46	48	5	8	1920	88	Nutzung			
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	2	0,3		1	52,14	-	-	6840	4	Standby			
				Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent			
				008	Team	Büro	15,84	Drucker HP Color LaserJet 4600 dn	Büro	1	415		415	48	5	0,05	12	5
Kopierer Triumph-Adler DC 2218	Büro	1	421					421	48	5	0,5	120	51	Nutzung				
Kopierer Triumph-Adler DC 2218 - Standby/betriebsbereit	Büro	1	63					63	48	5	8,5	2040	129	Standby				
Kopierer Triumph-Adler DC 2218 - Standby/aus	Büro	1	6,2					6	52,14	-	-	6600	41	Standby				
PC HP Compaq 6300	Büro	2	320	0,5				320	48	5	8	1920	614	Nutzung				
PC-Bildschirm	Büro	2	23					46	48	5	8	1920	88	Nutzung				
PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	2	0,3					1	52,14	-	-	6840	4	Standby				
009	Flur	Verkehr	120,34	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa				Sicherheit	3	2		6	52,14	7	24	8760	53	permanent
Volumenstromreglerantrieb				Lüftung				1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
010	Treppenhaus	Verkehr	18,90									0						-
011	Spielraum	Hort	57,53	CD-Player	Unterhaltung	1	20		20	48	1	2	96	2	Nutzung			
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent			
012	Medien	Hort	24,04	Drucker hp LaserJet P1101	Büro	1	370		370	48	5	0,5	120	44	Nutzung			
				Drucker hp LaserJet P1102 - Standby/aus	Büro	1	4		4	52,14	-	-	8640	35	Standby			
				PC HP Compaq 6300	Büro	1	320		320	48	5	0,5	120	38	Nutzung			
				PC-Bildschirm	Büro	1	23		23	48	5	0,5	120	3	Nutzung			
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	1	0,3		0	52,14	-	-	8640	3	Standby			
Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	3	2		6	52,14	7	24	8760	53	permanent							

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung		Korrekturfaktor	effektive Leistung	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Betriebszeit	Energiebedarf	Verbrauchsart
							[W]	[-]								
013	Entspannung	Hort	24,04	CD-Player Philips MP3	Unterhaltung	1	15		15	48	5	1	240	4	Nutzung	
				elektrischer Bleistiftanspitzer Dahle	Büro	1	400		400	48	5	0,002	0	0	Nutzung	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	3	2		6	52,14	7	24	8760	53	permanent	
014	Werkstatt	Hort	57,63	Beamer BenQ	Medien	1	200		200	12	1	1	12	2	Nutzung	
				MP3-Player Grundig Ovation	Medien	1	32		32	48	5	0,08	19	1	Nutzung	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	3	2		6	52,14	7	24	8760	53	permanent	
015	WC	Sanitär	7,14		-				0						-	
016	WC Jungen	Sanitär	2,93	Handtrockner O.ERRE Phonny	Wasser	1	1200		1200	48	5	0,025	6	7	Nutzung	
				Handtrockner O.ERRE Phonny - Standby	Wasser	1	3		3	52,14	-	-	8754	26	Standby schwer veränderlich	
017	WC Mädchen	Sanitär	7,60	Handtrockner O.ERRE Phonny	Wasser	1	1200		1200	48	5	0,025	6	7	Nutzung	
				Handtrockner O.ERRE Phonny - Standby	Wasser	1	3		3	52,14	-	-	8754	26	Standby schwer veränderlich	
018	HAR	Technik	4,47	Zisternenpumpe	Sanitär	1	1600		1600	52,14	-	-	9	14	Nutzung	
				Schaltschrank Heizung incl. Hauptpumpe	Heizung	1	3680	0,025	92	52,14	5	12	3128	288	Nutzung	
				Schaltschrank Heizung incl. Hauptpumpe - Standby	Heizung	1	10		10	52,14	-	-	5632	56	Standby unveränderlich	
				Druckerhöhung BrauchwasserNutzung	Sanitär	2	1250		2500	52,14	7	4	1460	3650	Nutzung	
				Druckerhöhung BrauchwasserNutzung - Standby	Sanitär	2	20		40	52,14	-	-	7300	292	Standby unveränderlich	
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2		40	52,14	7	24	8760	350	permanent	
019	Halle	Verkehr	145,22	Feststellanlage Hekatron GTR050	Sicherheit	2	1,5		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent	
				Trinkbrunnen Brita Soda Master	Sonstige	1	390		390	48	5	0,1	24	9	Nutzung	
				Trinkbrunnen Brita Soda Master - Standby	Sonstige	1	30		30	52,14	-	-	8736	262	Standby schwer veränderlich	
020	Windfang	Verkehr	14,81	Flachbildschirm LG	Medien	1	65		65	48	5	11	2640	172	Nutzung	
				Flachbildschirm LG - Standby/aus	Medien	1	0,4		0	52,14	-	-	6120	2	Standby	
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
021	Foyer/Luft-raum	Verkehr	46,20	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
022	Garderobe	Verkehr	13,38		-				0						-	
023	Garderobe	Verkehr	13,38	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
024	Garderobe	Verkehr	13,38	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
025	Garderobe	Verkehr	12,19		-				0						-	
026	Aula/Luft-raum	Aula	183,45	Diffusionsgitterantriebe	Lüftung	7	4		28	48	5	0,05	12	0	Nutzung	
				E-Piano Yamaha	Unterhaltung	1	40		40	48	1	1	48	2	Nutzung	
				Hinterleuchtetes Glasbild	Sonstige	1	168		168	48	5	0,5	120	20	Nutzung	
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	3	2		6	52,14	7	24	8760	53	permanent	
				Volumenstromreglerantrieb Zuluft ü. Szenenbühne	Lüftung	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
027	Aufzug	Verkehr	8,64	Aufzug	Aufzug	1	3100		3100	52,14	7	0,1	36	113	Nutzung	
				Aufzug - Standby	Aufzug	1	100		100	52,14	-	-	8724	872	Standby unveränderlich	
028	Behinder-ten-WC	Sanitär	8,45	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
				Staubsauger ST 7 columbus	Reinigung	1	1250		1250	48	5	0,25	60	75	Nutzung	
029	Treppenhaus	Verkehr	18,90		-				0						-	

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung		effektive Leistung	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Betriebszeit	Energiebedarf	Verbrauchsart
							[W]	[-]							
030	Stuhllager	Technik	14,58	Steuerschrank Salzspeicher mit allen Hilfsenergien	Wasser	1	12800	0,005	64	52,14	7	24	8760	561	Standby unveränderlich
				Steuerschrank Solar mit allen Hilfsenergien	Wasser	1	6400	0,005	32	52,14	7	24	8760	280	Nutzung
				Kompressor Kühlung mit Schaltschrank	Kühlen	1	1600	0,1	160	52,14	7	24	8760	1402	permanent
				Kompressor Tiefkühlung mit Schaltschrank	Kühlen	1	1600	0,28	448	52,14	7	24	8760	3924	permanent
				Lüftung Kochhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Schule)	Lüftung	1	2430	0,6	1458	40	5	5	1000	1458	Nutzung
				Lüftung Kochhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Ferien)	Lüftung	1	2430	0,6	1458	8	5	3	120	175	Nutzung
				Lüftung Spülhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Schule)	Lüftung	1	1170	0,6	702	40	5	3	600	421	Nutzung
				Lüftung Spülhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Ferien)	Lüftung	1	1170	0,6	702	8	5	1	40	28	Nutzung
031	Lager Kühlung	Technik	13,86	Kühlgerät GEA Küba DFBE 031 D Decken-Luftkühler Junior	Kühlen	1	451	0,1	45	52,14	7	24	8760	395	permanent
				Kühlgerät GEA Küba DFBE 031 D Decken-Luftkühler Junior	Kühlen	1	451	0,28	126	52,14	7	24	8760	1106	permanent
				Viessmann Türelement für Kühlzelle TE 1200*2050*100	Kühlen	1	102	0,1	10	52,14	7	24	8760	89	permanent
				Viessmann Türelement für Kühlzelle TE 1200*2050*100	Kühlen	1	102	0,28	29	52,14	7	24	8760	250	permanent
032	Flur	Verkehr	5,80	Lüftungsgerät Paul	Lüftung	1	250	0,6	150	52,14	7	24	8760	1314	Nutzung
				Iso-Defrosterheizung	Lüftung	1	2000	0	0	26	7	12	2184	0	Nutzung
				Kondensat-Pumpe	Lüftung	1	60		60	26	1	0,1	3	0	Nutzung
033 a	Spülküche	Küche	9,65	Rettingswegeleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent
				Beleuchtung Spülmaschinenhaube (Schule)	Beleuchtung	1	58		58	40	5	5	1000	58	Nutzung
				Beleuchtung Spülmaschinenhaube (Ferien)	Beleuchtung	1	58		58	8	5	3	120	7	Nutzung
				Fettscheider Doppelpumpenanlage	Kochen	1	5000		5000	26	1	0,5	13	65	Nutzung
				Spülmaschine Hobert AMX-16 (Schultag)	Reinigung	1	7000	0,3	2100	40	5	4,5	900	1890	Nutzung
				Spülmaschine Hobert AMX-16 (Ferien tag)	Reinigung	1	7000	0,33333	2333	8	5	1,5	60	140	Nutzung
				Steuergerät für Fettschichtdickenmeßgerät	Kochen	1	10		10	52,14	7	24	8760	88	Standby unveränderlich
				Steuerschrank für Micromaticanlage	Kochen	1	10		10	52,14	7	24	8760	88	Standby unveränderlich
				Steuerschrank für Wärmerückgewinnung Ablufthaube	Lüftung	1	10		10	52,14	7	24	8760	88	Standby unveränderlich
				Steuerschrank für Wärmerückgewinnung Spülmaschinenhaube	Lüftung	1	10		10	52,14	7	24	8760	88	Standby unveränderlich
033 b	Solarzentrale	Technik	4,37	Elektronachheizung Solarbehälter 2050l	Wasser	1	9000	0,085	765	52,14	5	12	3128	2393	Nutzung
				Elektronachheizung TWE-200l Hausmeister	Wasser	1	6000	0,25	1500	52,14	1	2	104	156	Nutzung
				Solarmodul mit Solar-, und TWW-Pumpe	Wasser	1	500	0,06	30	52,14	7	24	8760	263	Nutzung
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2	1	40	52,14	7	24	8760	350	permanent
033	Küche	Küche	37,85	Antrieb Essenausgabe Öffnung	Sonstige	1	720		720	48	5	0,05	12	9	Nutzung
				Beleuchtung Kochhaube (Schultag)	Beleuchtung	4	38		152	40	5	5	1000	152	Nutzung
				Beleuchtung Kochhaube (Ferien tag)	Beleuchtung	4	38		152	8	5	3	120	18	Nutzung
				Eloma Multimax B 10-11 (Schultag)	Kochen	2	17000	0,4	13600	40	5	1,5	300	4080	Nutzung
				Eloma Multimax B 10-11 (Ferien tag)	Kochen	2	17000	0,4	13600	8	5	0,5	20	272	Nutzung
				Firma Vario Cooking Center Multificiency VCC 211 (Schultag)	Kochen	1	28000	0,4	11200	40	5	1,5	300	3360	Nutzung
				Firma Vario Cooking Center Multificiency VCC 211 (Ferien tag)	Kochen	1	28000	0,4	11200	40	5	0,5	100	1120	Nutzung
				Gorenje Ceranfeld	Kochen	1	1750		1750	0	0	0	0	0	Nutzung
				Gorenje Herd EV 241-D444M	Kochen	1	2300		2300	0	0	0	0	0	Nutzung
				Gorenje - Standby	Kochen	1	3		3	52,14	-	-	8760	26	Standby unveränderlich
				Solia Mehrzweck-Küchengerät (Ferien tag)	Kochen	1	700		700	8	5	1,5	60	42	Nutzung
				Solia Mehrzweck-Küchengerät (Schul tag)	Kochen	1	700		700	40	5	0,5	100	70	Nutzung
				Speisenausgabewagen Hupfer SPA/EB-3 (Ferien tag)	Kochen	2	2100		4200	8	5	0,7	28	118	Nutzung
Speisenausgabewagen Hupfer SPA/EB-3 (Schul tag)	Kochen	2	2100		4200	40	5	2,1	420	1764	Nutzung				
Tellerstapler Hupfer TEH-2/V19-26	Kochen	1	900		900	0	0	0	0	0	Nutzung				

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung		Korrekturfaktor	effektive Leistung	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Betriebszeit	Energiebedarf	Verbrauchsart
							[W]	[-]								
034	Personal	Büro	8,56	Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
035	WC	Sanitär	1,62	-	-				0						-	
101	Klasse	Klasse	82,65	Amokmelder	Sicherheit	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
				CD-Player	Medien	1	22,5		23	40	5	0,2	40	1	Nutzung	
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320		1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung	
				PC-Bildschirm	Büro	4	23		92	40	5	0,75	150	14	Nutzung	
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3		1	52,14	-	-	8610	10	Standby	
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5		236	40	5	3	600	141	Nutzung	
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5		10	52,14	-	-	8160	78	Standby	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent	
102	Klasse	Klasse	82,78	Amokmelder	Sicherheit	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
				CD-Player	Medien	1	22,5		23	40	5	0,2	40	1	Nutzung	
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320		1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung	
				PC-Bildschirm	Büro	4	23		92	40	5	0,75	150	14	Nutzung	
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3		1	52,14	-	-	8610	10	Standby	
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5		236	40	5	3	600	141	Nutzung	
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5		10	52,14	-	-	8160	78	Standby	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent	
103	Lehrmittel	Büro	21,00	Drucker HP Laserjet 2055 dn	Büro	1	570		570	48	5	0,05	12	7	Nutzung	
				Drucker HP Laserjet 2055 dn - Standby/an	Büro	1	8		8	52,14	-	-	8748	70	Standby	
				Drucker HP Laserjet 3600 N	Büro	1	337		337	48	5	0,05	12	4	Nutzung	
				Drucker HP Laserjet 3600 N - Standby/an	Büro	1	15		15	52,14	-	-	8748	131	Standby	
				PC HP Compaq DC 7800	Büro	2	240		480	48	5	1	240	115	Nutzung	
				PC-Bildschirm	Büro	2	23		46	48	5	1	240	11	Nutzung	
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	2	0,3		1	52,14	-	-	8520	5	Standby	
				PC-Lautsprecher	Büro	1	10		10	48	5	1	240	2	Nutzung	
				Radio Elta	Unterhaltung	1	12		12	48	5	1	240	3	Nutzung	
				Radio Silvercrest	Unterhaltung	1	15		15	48	5	1	240	4	Nutzung	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
104	Lehrer	Büro	27,09	CD-Player Grundig RRCD 3400	Unterhaltung	1	22,5		23	48	5	1	240	5	Nutzung	
				Keyboard KORG SP 170-S	Unterhaltung	1	9		9	48	5	1	240	2	Nutzung	
				Kopierer HP LaserJet M 5035 MFP	Büro	1	932		932	48	5	0,5	120	112	Nutzung	
				Kopierer HP LaserJet M 5035 MFP - Standby/aus	Büro	1	24		24	52,14	-	-	8640	207	Standby	
				Laminiergerät	Büro	1	360		360	48	1	1	48	17	Nutzung	
				Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
105	Flur	Verkehr	120,66	Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	Sicherheit	3	2		6	52,14	7	24	8760	53	permanent	
106	Treppenhaus	Verkehr	19,90	-	-				0						-	
107	Klasse	Klasse	82,65	Amokmelder	Sicherheit	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
				CD-Player	Medien	1	22,5		23	40	5	0,2	40	1	Nutzung	
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320		1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung	
				PC-Bildschirm	Büro	4	23		92	40	5	0,75	150	14	Nutzung	
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3		1	52,14	-	-	8610	10	Standby	
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5		236	40	5	3	600	141	Nutzung	
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5		10	52,14	-	-	8160	78	Standby	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent	
108	Klasse	Klasse	82,87	Amokmelder	Sicherheit	1	3		3	52,14	7	24	8760	26	permanent	
				CD-Player	Medien	1	22,5		23	40	5	0,2	40	1	Nutzung	
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320		1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung	
				PC-Bildschirm	Büro	4	23		92	40	5	0,75	150	14	Nutzung	
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3		1	52,14	-	-	8610	10	Standby	
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5		236	40	5	3	600	141	Nutzung	
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5		10	52,14	-	-	8160	78	Standby	
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2		4	52,14	7	24	8760	35	permanent	
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2	1	40	52,14	7	24	8760	350	permanent	
109	WC	Sanitär	1,92	-	-				0						-	
110	WC Jungen	Sanitär	8,35	Handtrockner O.ERRE Phonny	Wasser	1	1200		1200	48	5	0,025	6	7	Nutzung	
				Handtrockner O.ERRE Phonny - Standby	Wasser	1	3		3	52,14	-	-	8754	26	Standby schwer veränderlich	

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung		Korrekturfaktor	effektive Leistung	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Betriebszeit	Energiebedarf	Verbrauchsart
							[W]	[-]								
111	Duschen	Sanitär	4,14	Durchlauferhitzer Clage CBX11	Wasser	1	11000			11000	0	0	0	0	0	Nutzung
				Durchlauferhitzer Clage CBX11 - Standby	Wasser	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	Standby unveränderlich
112	WC Mädchen	Sanitär	7,83	Handtrockner O.ERRE Phonny	Wasser	1	1200			1200	48	5	0,025	6	7	Nutzung
				Handtrockner O.ERRE Phonny - Standby	Wasser	1	3			3	52,14	-	-	8754	26	Standby schwer veränderlich
113	Halle	Verkehr	145,27	Feststellanlage Hekatron GTR050	Sicherheit	2	1,5			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
114	Raum der Stille	Klasse	52,84	CD-Player	Unterhaltung	1	22,5			23	48	5	1	240	5	Nutzung
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	1	2			2	52,14	7	24	8760	18	permanent
115	Galerie	Aula	43,27	CD-Player	Unterhaltung	1	22			22	48	5	1	240	5	Nutzung
				PC HP Compaq 6300	Büro	2	320			640	40	5	1	200	128	Nutzung
				PC-Bildschirm	Büro	2	23			46	40	5	1	200	9	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	2	0,3			1	52,14	-	-	8560	5	Standby
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
117	WC	Sanitär	2,40		-					0						-
118	Flur	Verkehr	6,02		-					0						-
119	Treppenhaus	Verkehr	18,90	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2			2	52,14	7	24	8760	18	permanent
120	Flur Lehrer	Verkehr	21,03	Kopierer Canon i R 1022A	Büro	1	1000			1000	48	5	0,5	120	120	Nutzung
				Kopierer Canon i R 1022A - Standby/aus	Büro	1	2,5			3	52,14	-	-	8640	22	Standby
121	Besprechung	Büro	23,00	Durchlauferhitzer	Wasser	1	11000			11000	48	5	0,3	69	759	Nutzung
				Durchlauferhitzer - Standby	Wasser	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	Standby unveränderlich
				Gefrierschrank Liebherr f. Kühlakkus etc.	Kühlen	1	180	0,1		18	52,14	7	24	8760	158	permanent
				Geschirrpülmaschine Zanker	Reinigung	1	2200			2200	48	3,5	0,5	84	185	Nutzung
				Geschirrpülmaschine Zanker - Standby	Reinigung	1	0,5			1	52,14	-	-	8676	4	Standby schwer veränderlich
				Kaffeautomat	Kochen	1	1600			1600	48	5	0,08	19	31	Nutzung
				Kaffeemaschine Severin	Kochen	1	1600			1600	48	5	0,25	60	96	Nutzung
				Kühlschrank Viva	Kühlen	1	90	0,3		27	52,14	7	24	8760	237	permanent
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
				Wasserkocher Severin	Kochen	1	1000			1000	48	5	0,1	24	24	Nutzung
				Wasserkocher Siemens	Kochen	1	1000			1000	48	5	0,1	24	24	Nutzung
122	Schulleiter	Büro	15,87	PC HP	Büro	2	320			640	48	5	6	1440	922	Nutzung
				PC-Bildschirm	Büro	2	23			46	48	5	6	1440	66	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	2	0,3			1	52,14	-	-	7320	4	Standby
				Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
123	Sekretariat	Büro	22,09	Aktenvernichter HSM 80	Büro	1	20,1			20	48	5	0,05	12	0	Nutzung
				Ansageanlage Schneider	Medien	1	320			320	48	5	0,05	12	4	Nutzung
				Ansageanlage Schneider - Standby	Medien	1	10			10	52,14	-	-	8748	87	Standby unveränderlich
				Fax Brother 2840	Büro	1	360			360	48	5	0,05	12	4	Nutzung
				Fax Brother 2840 - Standby/aus	Büro	1	1,5			2	52,14	-	-	8748	13	Standby
				HP LaserJet pro	Büro	1	600			600	48	5	0,1	24	14	Nutzung
				HP LaserJet pro - Standby/aus	Büro	1	5			5	52,14	-	-	8736	44	Standby
				PC HP	Büro	2	320			640	48	5	6	1440	922	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/an	Büro	2	23			46	48	5	6	1440	66	Standby
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	2	0,3			1	52,14	-	-	7320	4	Standby
124	Archiv/1.Hilfe	Büro	14,80	CobiNet Datentechnik	Medien	1	25			25	52,14	7	24	8760	219	permanent
				Kopierer HP LaserJet 500 M551	Büro	1	605			605	48	5	0,5	120	73	Nutzung
				Kopierer HP LaserJet 500 M551 - Standby/aus	Büro	1	0,3			0	48	5	0,5	120	0	Standby
201	Klasse	Klasse	82,58	Amokmelder	Sicherheit	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				CD-Player	Medien	1	22,5			23	40	5	0,2	40	1	Nutzung
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320			1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung
				PC-Bildschirm	Büro	4	23			92	40	5	0,75	150	14	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3			1	52,14	-	-	8610	10	Standby
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5			236	40	5	3	600	141	Nutzung
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5			10	52,14	-	-	8160	78	Standby
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2	1		40	52,14	7	24	8760	350	permanent

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung		Korrekturfaktor	effektive Leistung	Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	effektive Betriebszeit	Energiebedarf	Verbrauchsart
							[W]	[-]								
202	Klasse	Klasse	82,71	Amokmelder	Sicherheit	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				CD-Player	Medien	1	22,5			23	40	5	0,2	40	1	Nutzung
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320			1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung
				PC-Bildschirm	Büro	4	23			92	40	5	0,75	150	14	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3			1	52,14	-	-	8610	10	Standby
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5			236	40	5	3	600	141	Nutzung
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5			10	52,14	-	-	8160	78	Standby
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
203	Lüftung	Technik	23,77	RLT B Menerga, nur Ventilatoren	Lüftung	1	5750	0,9		5175	48	5	12	2880	14904	Nutzung
				RLT B Heizungspumpe	Heizung	1	40	0,4		16	20	5	24	2400	38	Nutzung
				RLT B Schaltschrank	Lüftung	1	140			140	52,14	7	24	8760	1226	Standby unveränderlich
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2	1		40	52,14	7	24	8760	350	permanent
204	Lehrer	Büro	27,09	Kopierer Konica Minolta bizhub 223	Büro	1	1680			1680	40	5	0,5	100	168	Nutzung
				Kopierer Konica Minolta bizhub 223 - Standby/aus	Büro	1	10			10	52,14	-	-	8660	87	Standby
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
205	Flur	Verkehr	121,16	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2			2	52,14	7	24	8760	18	permanent
206	Treppenhaus	Verkehr	18,90		-					0						-
207	Klasse	Klasse	82,58	Amokmelder	Sicherheit	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				CD-Player	Medien	1	22,5			23	40	5	0,2	40	1	Nutzung
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320			1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung
				PC-Bildschirm	Büro	4	23			92	40	5	0,75	150	14	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3			1	52,14	-	-	8610	10	Standby
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5			236	40	5	3	600	141	Nutzung
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5			10	52,14	-	-	8160	78	Standby
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
208	Klasse	Klasse	82,70	Amokmelder	Sicherheit	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				CD-Player	Medien	1	22,5			23	40	5	0,2	40	1	Nutzung
				PC HP Compaq 6300	Büro	4	320			1280	40	5	0,75	150	192	Nutzung
				PC-Bildschirm	Büro	4	23			92	40	5	0,75	150	14	Nutzung
				PC-Bildschirm - Standby/aus	Büro	4	0,3			1	52,14	-	-	8610	10	Standby
				Promethean Activboard 500 Pro	Medien	1	235,5			236	40	5	3	600	141	Nutzung
				Promethean Activboard 500 Pro - Standby/aus	Medien	1	9,5			10	52,14	-	-	8160	78	Standby
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
209	WC Lehrer	Sanitär	1,97	Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
210	WC Jungen	Sanitär	8,41	Handtrockner O.ERRE Phonny	Wasser	1	1200			1200	48	5	0,025	6	7	Nutzung
				Handtrockner O.ERRE Phonny - Standby	Wasser	1	3			3	52,14	-	-	8754	26	Standby schwer veränderlich
211	Putzen	Sanitär	4,18	Abluftanlage	Lüftung	1	40			40	48	5	12	2880	115	Nutzung
212	WC Mädchen	Sanitär	7,88	Handtrockner O.ERRE Phonny	Wasser	1	1200			1200	48	5	0,025	6	7	Nutzung
				Handtrockner O.ERRE Phonny - Standby	Wasser	1	3			3	52,14	-	-	8754	26	Standby schwer veränderlich
213	Halle	Verkehr	94,00	Feststellanlage Hekatron GTR050	Sicherheit	2	1,5			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
214	Kunstraum	Klasse	77,03	Amokmelder	Sicherheit	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				Beamer BenQ	Medien	1	200			200	0	0	0	0	0	Nutzung
				CD-Player	Medien	0	22,5			0	0	0	0	0	0	Nutzung
				Durchlauferhitzer	Wasser	1	11000			11000	40	5	0,28661508	57	631	Nutzung
				Durchlauferhitzer - Standby	Wasser	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	Standby unveränderlich
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	1	2			2	52,14	7	24	8760	18	permanent
215	Flur	Verkehr	40,14	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2			2	52,14	7	24	8760	18	permanent
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
216	Vorbereitung	Büro	20,25	Laptop	Büro	1	40			40	48	5	3	720	29	Nutzung
				Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	2	2			4	52,14	7	24	8760	35	permanent
217	Werken	Klasse	79,56	Amokmelder	Sicherheit	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
				Beamer BenQ	Medien	1	200			200	0	0	0	0	0	Nutzung

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Geräteart	Anzahl	Leistung		Korrekturfaktor	effektive Leistung [W]	Betriebswochen pro Jahr [w/a]	Betriebsstage pro Woche [d/w]	Betriebsstunden pro Tag [h/d]	effektive Betriebszeit [h/d]	Energiebedarf [kWh/a]	Verbrauchsart
							[W]	[-]								
218	Lüftung	Technik	45,83	RLT A Menerga, nur Ventilatoren	Lüftung	1	6250			6250	48	5	12	2880	18000	Nutzung
				RLT A Schaltschrank	Lüftung	1	120			120	52,14	7	24	8760	1051	Standby unveränderlich
				RLT A Heizpumpen	Heizung	2	40	0,4	32	20	5	24	2400	77	Nutzung	
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	Messen	20	2	1	40	52,14	7	24	8760	350	permanent	
219	Lehrmittel	Büro	20,48	Volumenstromreglerantrieb	Lüftung	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	
220	Hausmeister	Büro	13,04	Drucker HP Laserjet 1022	Büro	1	300			300	48	5	0,01	2	1	Nutzung
				Drucker HP Laserjet 1022 - Standby/aus	Büro	1	2			2	52,14	-	-	8758	18	Standby
				Laptop	Büro	1	40			40	48	5	2	480	19	Nutzung
				Telefon Alcatel Lucent	Medien	1	3			3	52,14	7	24	8760	26	permanent
231	Treppenhaus	Verkehr	18,90	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	Sicherheit	1	2		2	52,14	7	24	8760	18	permanent	

8.5.3 Interne Wärmelasten der Beleuchtung

Tabelle 8-6: Interne Wärmelasten aus Beleuchtung

Raum	Fläche [m²]	Funktion	Raumart	Leuchte	installierte Leistung gesamt [W]	Betriebswochen pro Jahr [w/a]	Betriebsstage pro Woche [d/w]	Betriebsstunden pro Tag [h/d]	Bedarf [kWh/a]	Gesamt-anwesenheit pro Tag [h/d]	jahresmittlere interne Wärmeleistung		interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit	
											[W]	[W/m²]	[W]	[W/m²]
001	57,57	Hort	Hort	Trilux / Valuco D	504	48	5	2	242	8	28	0,48	126	2,2
002	24,04	Hort	Hort	Trilux / Valuco D	112	48	5	2	54	8	6	0,26	28	1,2
003	82,58	Kindercafé	Hort	RZB / Flat Polymero Kreis	540	48	5	6	778	8	89	1,07	405	4,9
004 a	1,98	Batterie	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	232	52	5	0,1	6	24	1	0,35	1	0,5
004	14,23	HAR	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	232	52	5	1	60	24	7	0,48	10	0,7
006	1,98	WC	Sanitär	Trilux / 6651	14	48	5	1	3	8	0	0,19	2	0,9
007	15,84	Büro	Büro	Trilux / 5041 RMV	144	48	5	4	138	8	16	1,00	72	4,5
008	15,84	Mitarbeiter	Büro	Trilux / 5041 RMV	144	48	5	4	138	8	16	1,00	72	4,5
009	120,34	Flur	Verkehr	Trilux / Inperia LED	231	48	5	6	333	11	38	0,32	126	1,0
010	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	1	17	11	2	0,10	7	0,3
011	57,53	Spielraum	Hort	Trilux / Valuco D	504	48	5	2	242	8	28	0,48	126	2,2
012	24,04	Medien	Hort	Trilux / Valuco D	112	48	5	3	81	8	9	0,38	42	1,7
013	24,04	Entspannung	Hort	Trilux / Valuco D	112	48	5	3	81	8	9	0,38	42	1,7
014	57,63	Werkstatt	Hort	Trilux / Valuco D	504	48	5	4	484	8	55	0,96	252	4,4
015	7,14	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	78	48	5	6	112	11	13	1,80	43	6,0
016	2,93	Waschen	Sanitär	Tecnolight / DE321	26	48	5	6	37	11	4	1,46	14	4,8
017	7,60	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	78	48	5	6	112	11	13	1,69	43	5,6
018	4,47	HAR	Technik	Trilux / Aragon - 1x58 W	58	52	5	4	60	24	7	1,54	10	2,2
019	145,22	Halle	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	612	48	5	3	441	11	50	0,35	167	1,1
020	14,81	Windfang	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	1	17	11	2	0,13	7	0,4
021	46,20	Foyer/Luft- raum	Verkehr	Tecnolight / DA - D=500 mm	216	48	5	2	104	11	12	0,26	39	0,9
				Tecnolight / DA - D=500 mm	72	48	5	2	35	11	4	0,09	13	0,3
				Tecnolight / DA - D=400 mm	248	48	5	2	119	11	14	0,29	45	1,0
022	13,38	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,29	13	1,0
023	13,38	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,29	13	1,0
024	13,38	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,29	13	1,0
025	12,19	Garderobe	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,32	13	1,1
026	183,45	Aula/Luft- raum	Aula	Tecnolight / DA - D=500 mm	792	48	5	3	570	5	65	0,35	475	2,6
				Tecnolight / DA - D=400 mm	310	48	5	2	149	5	17	0,09	124	0,7
				Bühnenstrahler	400	48	5	0,1	10	5	1	0,01	8	0,0
027	8,64	Aufzug	Verkehr	LED	8	52	7	24	70	11	6	0,92	17	2,0
028	8,45	WC	Sanitär	Trilux / 7132/58	58	48	5	1	14	11	2	0,19	5	0,6
029	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,21	13	0,7
030	14,58	Stuhllager	Technik	Trilux / Aragon - 1x58 W	58	48	5	4	56	24	6	0,44	10	0,7
031	13,86	Lager Kühl- lung	Technik	Trilux / 7132/58	58	48	5	1	14	8	2	0,11	7	0,5
032	5,80	Flur	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	36	48	5	1	9	8	1	0,17	5	0,8
033	37,85	Küche	Küche	Trilux / 7132/58	174	48	5	8	334	8	38	1,01	174	4,6
033 a	9,65	Spülküche	Küche	Trilux / 7132/58	58	48	5	8	111	8	13	1,32	58	6,0
033 b	4,37	Pufferspeicher	Technik	Trilux / Aragon - 1x58 W	58	52	5	1	15	24	2	0,39	2	0,6
034	8,56	Personal	Büro	Trilux / 7132/58	58	48	5	4	56	8	6	0,74	29	3,4
035	1,62	WC	Sanitär	Trilux / 6651	14	48	5	1	3	8	0	0,24	2	1,1

Raum	Fläche [m²]	Funktion	Raumart	Leuchte	installierte Leis-	Betriebswochen	Betriebsstage	Betriebsstunden	Bedarf	Gesamt-anwe-	jahresmittlere in-		interne Wärmeleis-	
					tung gesamt	pro Jahr	pro Woche	pro Tag			senheit pro Tag	terne Wärmeleis-	tung in der Nut-	zungszeit
					[W]	[w/a]	[d/w]	[h/d]	[kWh/a]	[h/d]	[W]	[W/m²]	[W]	[W/m²]
101	82,65	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
102	82,78	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
103	21,00	Lehrmittel	Büro	Trilux / 5041 RMV	216	42	5	1	45	8	5	0,25	27	1,3
104	27,09	Lehrer	Büro	Trilux / 5041 RMV	216	42	5	2	91	8	10	0,38	54	2,0
105	120,66	Flur	Verkehr	Trilux / Inperia LED	231	48	5	4	222	11	25	0,21	84	0,7
				RZB / Flat Polymero Kreis	144	48	5	4	138	11	16	0,13	52	0,4
106	19,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	1	17	11	2	0,10	7	0,3
107	82,65	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
108	82,87	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
109	1,92	WC	Sanitär	Trilux / 6651	14	48	5	1	3	5	0	0,20	3	1,5
110	8,35	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	78	48	5	4	75	5	9	1,02	62	7,5
111	4,14	Dusche	Sanitär	Tecnolight / DE321	26	48	5	0,1	1	8	0	0,02	0	0,1
112	7,83	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	78	48	5	4	75	5	9	1,09	62	8,0
113	145,27	Halle	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	612	48	5	3	441	11	50	0,35	167	1,1
114	52,84	Raum der Stille	Klasse	Trilux / 3451N/58 dimmbar DALI	620	48	5	2	298	11	34	0,64	113	2,1
				RZB / Flat Polymero D=1m	76	48	5	2	36	11	4	0,08	14	0,3
				RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,07	13	0,2
115	43,27	Galerie	Aula	Tecnolight / DA - D=500 mm	360	48	5	4	346	5	39	0,91	288	6,7
117	2,40	WC	Sanitär	Trilux / 6651	14	48	5	1	3	5	0	0,16	3	1,2
118	6,02	Vorraum WC	Sanitär	RZB / Flat Polymero Kreis	36	48	5	2	17	5	2	0,33	14	2,4
119	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	11	4	0,21	13	0,7
120	21,03	Flur Lehrer	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	2	35	8	4	0,19	18	0,9
121	23,00	Besprechung	Büro	Trilux / 3623 RMV	168	48	5	2	81	8	9	0,40	42	1,8
122	15,87	Schulleiter	Büro	Trilux / 3623 RMV	126	48	5	2	60	8	7	0,44	32	2,0
123	22,09	Sekretariat	Büro	Trilux / 3623 RMV	168	48	5	6	242	8	28	1,25	126	5,7
124	14,80	Archiv/1.Hilfe	Büro	Trilux / 3452N/58	232	48	5	2	111	8	13	0,86	58	3,9
201	82,58	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
202	82,71	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
203	23,77	Lüftung	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	232	42	5	1	49	24	6	0,23	10	0,4
204	27,09	Lehrer	Büro	Trilux / 5041 RMV	216	42	5	2	91	8	10	0,38	54	2,0
205	121,16	Flur	Verkehr	Trilux / Inperia LED	231	48	5	4	222	5	25	0,21	185	1,5
				RZB / Flat Polymero Kreis	144	48	5	4	138	5	16	0,13	115	1,0
206	18,90	Treppenhaus	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	72	48	5	1	17	11	2	0,10	7	0,3
207	82,58	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
208	82,70	Klasse	Klasse	Trilux / Valuco Active	648	42	5	3	408	5	47	0,56	389	4,7
				Trilux / 5041 RMV	144	42	5	1	30	5	3	0,04	29	0,3
				Tecnolight / FA 748	40	42	5	2	17	5	2	0,02	16	0,2
209	1,97	WC	Sanitär	Trilux / 6651	14	48	5	1	3	5	0	0,19	3	1,4
210	8,41	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	78	48	5	4	75	5	9	1,02	62	7,4
211	4,18	Putzen	Sanitär	Tecnolight / DE321	26	48	5	0,5	3	24	0	0,09	1	0,1
212	7,88	WC	Sanitär	Tecnolight / DE321	78	48	5	4	75	5	9	1,08	62	7,9
213	94,00	Halle	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	468	48	5	3	337	11	38	0,41	128	1,4
214	77,03	Kunst	Klasse	Trilux / Valuco D	784	48	5	2	376	5	43	0,56	314	4,1
215	40,14	Flur	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis	36	48	5	4	35	8	4	0,10	18	0,4
216	20,25	Vorbereitung	Büro	Trilux / Valuco D	112	48	5	4	108	8	12	0,61	56	2,8
217	79,56	Werken	Klasse	Trilux / Valuco D	784	48	5	1	188	5	21	0,27	157	2,0
218	45,83	Lüftung	Technik	Trilux / Aragon - 2x58 W	232	48	5	1	56	24	6	0,14	10	0,2
219	20,48	Lehrmittel	Büro	Trilux / Valuco D	112	48	5	0,5	13	8	2	0,07	7	0,3
220	13,04	Hausmeister	Büro	Trilux / Valuco D	56	48	5	8	108	8	12	0,94	56	4,3
231	18,90	Treppenhaus Außenbereich	Verkehr	RZB / Flat Polymero Kreis Cariboni Levante 06LV1B0007A	280	52	7	8	582	11	4	0,21	13	0,7

8.5.4 Interne Wärmelasten elektrischer Gerätenutzung

Tabelle 8-7: Interne Wärmelasten aus Nutzung elektrischer Geräte

Raum	Funktion	Raumart	Fläche [m²]	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung		Betriebsstunden pro Tag	Wärme im Raum?	Gewinn	Jahresmittlere Gesamtleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmelast in der Nutzungszeit		
						[W]	[W/a]				[d/w]	[h/d]			[kWh/a]	[W]	[W/m²]
001	Hort	Hort	57,57	Bügeleisen micromaxx	1	600	48	0,5	1	14	1,6	0,03	5	11	5	0,09	
				Klebepistole	2	80	48	1	0,5	1	2	0,2	0,00	5	11	1	0,01
				Laminiergerät	1	360	48	1	0,5	1	9	1,0	0,02	5	11	3	0,06
002	Hort	Hort	24,04	Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,07	7	24	4	0,07
				CD-Player Philips AZ787	1	15	48	5	1	1	4	0,4	0,02	5	11	1	0,06
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,17	7	24	4	0,17
003	Kindercafé	Hort	82,58	Dunstabzugshaube Zanker	1	375	0	0	0								
				Durchlauferhitzer	1	11000	48	5	0,1								
				Durchlauferhitzer - standby	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				Elektroherd Zanker (Schultag)	1	5565	40	5	0,5	1	557	63,5	0,77	5	11	253	3,06
				Geschirrspülmaschine Zanker KDI112XK (Schultag)	1	510	40	5	2	0,1	20	2,3	0,03	5	11	93	1,12
				Geschirrspülmaschine Zanker KDI112XK (Ferientag)	1	510	8	2,5	2	0,1	2	0,2	0,00	5	11	46	0,56
				Geschirrspülmaschine Zanker KDI112XK - standby	1	1	52,14	-	-	1	4	0,5	0,01	7	24	0	0,01
				Kaffeeautomat Siemens EQ.8 series 300 (Ferientag)	1	960	8	5	0,2	1	8	0,9	0,01	5	11	17	0,21
				Kaffeeautomat Siemens EQ.8 series 300 (Schultag)	1	960	40	5	0,33	1	63	7,2	0,09	5	11	29	0,35
				Kühlkombi-Liebherr	1	36	52,14	7	24	1	315	36,0	0,44	7	24	36	0,44
				Kühlschrank Viva	0	0	0	0	0								
				Mikrowelle Kaufland	1	1200	48	5	0,1	1	29	3,3	0,04	5	11	11	0,13
				Mikrowelle Kaufland - standby	1	5	52,14	7	24	1	44	5,0	0,06	7	24	5	0,06
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,02	7	24	2	0,02
				Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				Toaster Clatronic TA 2980	1	1400	48	5	0,05	1	17	1,9	0,02	5	11	6	0,08
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05
				Waschmaschine A+++ Bosch Maxx 7 varioperfect (Schultag)	1	525	40	5	2	0,1	21	2,4	0,03	5	11	95	1,16
				Waschmaschine A+++ Bosch Maxx 7 varioperfect (Ferientag)	1	525	8	1	2	0,1	1	0,1	0,00	5	11	19	0,23
				Waschmaschine A+++ Bosch Maxx 7 varioperfect - standby	1	0	52,14	-	-	1	3	0,3	0,00	7	24	0	0,00
Wasserkocher Rossmann Ideenwelt	1	2000	48	5	0,1	1	48	5,5	0,07	5	11	18	0,22				
004 a	Batterie	Technik	1,98	USV	1	90	52,14	7	24	1	788	90,0	45,45	7	24	90	45,45
004	HAR	Technik	14,23	Klimagerät Daikin Kühlgerät FTXS35K2V1B	1	179	52,14	7	24								
				Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,14	7	24	2	0,14
				Server ohne lokale Einrichtungen	1	750	52,14	7	24	1	6570	750,0	52,70	7	24	750	52,71
				Windrad Eigenverbrauch	1	100	52,14	7	24								
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	2,81	7	24	40	2,81
006	WC Personal	Sanitär	1,98	Kleinspeicher	1	2000	48	5	0,1								
				Kleinspeicher - standby	1	13	52,14	-	-	1	113	12,9	6,54	7	24	13	6,54
007	Büro	Büro	15,84	Aktenvernichter Fellowes	1	20	48	5	0,01	1	0	0,0	0,00	5	11	0	0,00
				HP Drucker	1	600	48	5	0,5	1	72	8,2	0,52	5	11	27	1,72
				HP Drucker - standby/betriebsbereit	1	10	48	5	7	1	16	1,8	0,12	5	11	6	0,38
				HP Drucker - standby/aus	1	0	52,14	-	-	1	1	0,1	0,01	7	24	0	0,01
				Freecom Hard Drive 250GB	1	4	48	5	8	1	7	0,8	0,05	5	11	3	0,16
				PC HP Compaq 6300	2	320	48	5	8	1	614	70,1	4,43	5	11	233	14,69
				PC-Bildschirm	2	46	48	5	8	1	88	10,1	0,64	5	11	33	2,11
				PC-Bildschirm - standby/aus	2	1	52,14	-	-	1	4	0,5	0,03	7	24	0	0,03
				Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,19	7	24	3	0,19
				008	Team	Büro	15,84	Drucker HP Color LaserJet 4600 dn	1	415	48	5	0,05	1	5	0,6	0,04
Kopierer Triumph-Adler DC 2218	1	421	48					5	0,5	1	51	5,8	0,36	5	11	19	1,21
Kopierer Triumph-Adler DC 2218 - standby/betriebsbereit	1	63	48					5	8,5	1	129	14,7	0,93	5	11	49	3,07
Kopierer Triumph-Adler DC 2218 - standby/aus	1	6	52,14					-	-	1	41	4,7	0,29	7	24	5	0,29
PC HP Compaq 6300	2	320	48					5	8	1	614	70,1	4,43	5	11	233	14,69
PC-Bildschirm	2	46	48					5	8	1	88	10,1	0,64	5	11	33	2,11
PC-Bildschirm - standby/aus	2	1	52,14					-	-	1	4	0,5	0,03	7	24	0	0,03

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung		Betriebsstunden pro Tag	Wärme im Raum?	Gewinn	jahresmittlere Gewinnleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit		
						[W]	[w/a]				[d/w]	[h/d]			[kWh/a]	[W]	[W/m²]
009	Flur	Verkehr	120,34	Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	3	6	52,14	7	24	1	53	6,0	0,05	7	24	6	0,05
				Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,02	7	24	2	0,02
010	Treppenhaus	Verkehr	18,90			0											
011	Spielraum	Hort	57,53	CD-Player	1	20	48	1	2	1	2	0,2	0,00	5	11	1	0,01
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,07	7	24	4	0,07
012	Medien	Hort	24,04	Drucker hp LaserJet P1101	1	370	48	5	0,5	1	44	5,1	0,21	5	11	17	0,70
				Drucker hp LaserJet P1102 - standby/aus	1	4	52,14	-	-	1	35	3,9	0,16	7	24	4	0,16
				PC HP Compaq 6300	1	320	48	5	0,5	1	38	4,4	0,18	5	11	15	0,61
				PC-Bildschirm	1	23	48	5	0,5	1	3	0,3	0,01	5	11	1	0,04
				PC-Bildschirm - standby/aus	1	0	52,14	-	-	1	3	0,3	0,01	7	24	0	0,01
				Volumenstromreglerantrieb	3	6	52,14	7	24	1	53	6,0	0,25	7	24	6	0,25
013	Entspannung	Hort	24,04	CD-Player Philips MP3	1	15	48	5	1	1	4	0,4	0,02	5	11	1	0,06
				elektrischer Bleistiftanspitzer Dahle	1	400	48	5	0,002	1	0	0,0	0,00	5	11	0	0,00
				Volumenstromreglerantrieb	3	6	52,14	7	24	1	53	6,0	0,25	7	24	6	0,25
014	Werkstatt	Hort	57,63	Beamer BenQ	1	200	12	1	1	1	2	0,3	0,00	5	11	4	0,06
				MP3-Player Grundig Ovation	1	32	48	5	0,08	1	1	0,1	0,00	5	11	0	0,00
				Volumenstromreglerantrieb	3	6	52,14	7	24	1	53	6,0	0,10	7	24	6	0,10
015	WC	Sanitär	7,14			0											
016	WC Jungen	Sanitär	2,93	Handtrockner O.ERRE Phonny	1	1200	48	5	0,025	1	7	0,8	0,28	5	11	3	0,93
				Handtrockner O.ERRE Phonny - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	1,02	7	24	3	1,02
017	WC Mädchen	Sanitär	7,60	Handtrockner O.ERRE Phonny	1	1200	48	5	0,025	1	7	0,8	0,11	5	11	3	0,36
				Handtrockner O.ERRE Phonny - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	0,39	7	24	3	0,39
018	HAR	Technik	4,47	Zisternenpumpe	1	1600	52,14	-	-								
				Schaltschrank Heizung incl. Hauptpumpe	1	92	52,14	5	12								
				Schaltschrank Heizung incl. Hauptpumpe - standby	1	10	52,14	-	-	1	56	6,4	1,44	7	24	6	1,44
				Druckerhöhung Brauchwassernutzung	2	2500	52,14	7	4	1	3650	416,6	93,21	7	24	417	93,21
				Druckerhöhung Brauchwassernutzung - standby	2	40	52,14	-	-	1	292	33,3	7,46	7	24	33	7,46
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	8,95	7	24	40	8,95
019	Halle	Verkehr	145,22	Feststellanlage Hekatron GTR050	2	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,02	7	24	3	0,02
				Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,03	7	24	4	0,03
				Trinkbrunnen Brita Soda Master	1	390	48	5	0,1	1	9	1,1	0,01	5	11	4	0,02
				Trinkbrunnen Brita Soda Master - standby	1	30	52,14	-	-	1	262	29,9	0,21	7	24	30	0,21
020	Windfang	Verkehr	14,81	Flachbildschirm LG	1	65	48	5	11	1	172	19,6	1,32	5	11	65	4,39
				Flachbildschirm LG - standby/aus	1	0	52,14	-	-	1	2	0,3	0,02	7	24	0	0,02
				Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,14	7	24	2	0,14
021	Foyer/Luft-raum	Verkehr	46,20	Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,04	7	24	2	0,04
022	Garderobe	Verkehr	13,38			0											
023	Garderobe	Verkehr	13,38	Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,15	7	24	2	0,15
024	Garderobe	Verkehr	13,38	Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,15	7	24	2	0,15
025	Garderobe	Verkehr	12,19			0											
026	Aula/Luft-raum	Aula	183,45	Diffusionsgitterantriebe	7	28	48	5	0,05	1	0	0,0	0,00	5	11	0	0,00
				E-Piano Yamaha	1	40	48	1	1	1	2	0,2	0,00	5	11	1	0,00
				Hinterleuchtetes Glasbild	1	168	48	5	0,5	1	20	2,3	0,01	5	11	8	0,04
				Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	3	6	52,14	7	24	1	53	6,0	0,03	7	24	6	0,03
				Volumenstromreglerantrieb Zuluft ü. Szenenbühne	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,01	7	24	2	0,01
027	Aufzug	Verkehr	8,64	Aufzug	1	3100	52,14	7	0,1	1	113	12,9	1,49	7	11	28	3,26
				Aufzug - standby	1	100	52,14	-	-	1	872	99,6	11,53	7	24	100	11,53
028	Behinder-ten-WC	Sanitär	8,45	Rettungswegleuchte Beggelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,24	7	24	2	0,24
				Staubsauger ST 7 columbus	1	1250	48	5	0,25								

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung		Betriebswochen pro Jahr	Betriebsstage pro Woche	Betriebsstunden pro Tag	Wärme im Raum?	Gewinn	Jahresmittlere Gewinnleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit		
						[W]	[w/a]						[d/w]	[h/d]			[kWh/a]	[W]	[W/m²]
029	Treppenhaus	Verkehr	18,90			0													
030	Stuhllager	Technik	14,58	Steuerschrank Salzspeicher mit allen Hilfsenergien	1	64	52,14	7	24	0,1	56	6,4	0,44	7	24	64	4,39		
				Steuerschrank Solar mit allen Hilfsenergien	1	32	52,14	7	24	0,1	28	3,2	0,22	7	24	32	2,19		
				Kompressor Kühlung mit Schaltschrank	1	160	52,14	7	24										
				Kompressor Tiefkühlung mit Schaltschrank	1	448	52,14	7	24										
				Lüftung Kochhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Schule)	1	1458	40	5	5	0,05	73	8,3	0,57	5	8	911	62,50		
				Lüftung Kochhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Ferien)	1	1458	8	5	3	0,05	9	1,0	0,07	5	8	547	37,50		
				Lüftung Spülhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Schule)	1	702	40	5	3	0,05	21	2,4	0,16	5	8	263	18,06		
				Lüftung Spülhaube, Zu und Abluft, incl. Regelung und Pumpe (Ferien)	1	702	8	5	1	0,05	1	0,2	0,01	5	8	88	6,02		
031	Lager Kühlung	Technik	13,86	Kühlgerät GEA Küba DFBE 031 D Decken-Luftkühler Junior	1	45	52,14	7	24	1	395	45,1	3,25	7	24	45	3,25		
				Kühlgerät GEA Küba DFBE 031 D Decken-Luftkühler Junior	1	126	52,14	7	24	1	1106	126,3	9,11	7	24	126	9,11		
				Viessmann Türelement für Kühlzelle TE 1200*2050*100	1	10	52,14	7	24	1	89	10,2	0,74	7	24	10	0,74		
				Viessmann Türelement für Kühlzelle TE 1200*2050*100	1	29	52,14	7	24	1	250	28,6	2,06	7	24	29	2,06		
032	Flur	Verkehr	5,80	Lüftungsgerät Paul	1	150	52,14	7	24	0,1	131	15,0	2,59	7	24	150	25,86		
				Iso-Defrosterheizung	1	0	26	7	12		0	0,0	0,00	5	11	0	0,00		
				Kondensat-Pumpe	1	60	26	1	0,1										
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,34	7	24	2	0,34		
033 a	Spülküche	Küche	9,65	Beleuchtung Spülmaschinenhaube (Schule)	1	58	40	5	5	1	58	6,6	0,69	5	8	36	3,76		
				Beleuchtung Spülmaschinenhaube (Ferien)	1	58	8	5	3	1	7	0,8	0,08	5	8	22	2,25		
				Fettabscheider Doppelpumpenanlage	1	5000	26	1	0,5	1	65	7,4	0,77	5	8	63	6,48		
				Spülmaschine Hobert AMX-16 (Schultag)	1	2100	40	5	4,5	0,2	378	43,2	4,47	5	8	1181	122,41		
				Spülmaschine Hobert AMX-16 (Ferien)	1	2333	8	5	1,5	0,2	28	3,2	0,33	5	8	438	45,34		
				Steuergerät für Fettschichtdickenmeßgerät	1	10	52,14	7	24	1	88	10,0	1,04	7	24	10	1,04		
				Steuerschrank für Micromaticanlage	1	10	52,14	7	24	1	88	10,0	1,04	7	24	10	1,04		
				Steuerschrank für Wärmerückgewinnung Ablufthaube	1	10	52,14	7	24	1	88	10,0	1,04	7	24	10	1,04		
				Steuerschrank für Wärmerückgewinnung Spülmaschinenhaube	1	10	52,14	7	24	1	88	10,0	1,04	7	24	10	1,04		
033 b	Solarzentrale	Technik	4,37	Elektronachheizung Solarbehälter 2050l	1	765	52,14	5	12	0,05	120	13,7	3,13	24	24	80	18,24		
				Elektronachheizung TWE-200l Hausmeister	1	1500	52,14	1	2	0,05	8	0,9	0,20	7	24	18	4,09		
				Solarmodul mit Solar- und TWW-Pumpe	1	30	52,14	7	24	1	263	30,0	6,86	7	24	30	6,86		
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	9,15	7	24	40	9,15		
033	Küche	Küche	37,85	Antrieb Essenausgabe Öffnung	1	720	48	5	0,05	1	9	1,0	0,03	5	8	5	0,12		
				Beleuchtung Kochhaube (Schultag)	4	152	40	5	5	1	152	17,4	0,46	5	8	95	2,51		
				Beleuchtung Kochhaube (Ferien)	4	152	8	5	3	1	18	2,1	0,06	5	8	57	1,51		
				Eloma Multimax B 10-11 (Schultag)	2	13600	40	5	1,5	1	4080	465,8	12,31	5	8	2550	67,37		
				Eloma Multimax B 10-11 (Ferien)	2	13600	8	5	0,5	1	272	31,1	0,82	5	8	850	22,46		
				Firma Vario Cooking Center Multi-efficiency VCC 211 (Schultag)	1	11200	40	5	1,5	1	3360	383,6	10,13	5	8	2100	55,48		
				Firma Vario Cooking Center Multi-efficiency VCC 211 (Ferien)	1	11200	40	5	0,5	1	1120	127,9	3,38	5	8	700	18,49		

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung				Betriebsstunden pro Tag	Wärme im Raum?	Gewinn		jahressmittlere Gewinnleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit	
						[W]	[w/a]	[d/w]	[h/d]			[kWh/a]	[W]	[W/m²]	[d/w]			[h/d]	[W]
				Gorenje Ceranfeld	1	1750	0	0	0										
				Gorenje Herd EV 241-D444M	1	2300	0	0	0										
				Gorenje - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	0,08	7	24	3	0,08		
				Solia Mehrzweck-Küchengerät (Ferientag)	1	700	8	5	1,5	1	42	4,8	0,13	5	8	131	3,47		
				Solia Mehrzweck-Küchengerät (Schultag)	1	700	40	5	0,5	1	70	8,0	0,21	5	8	44	1,16		
				Speisenausgabewagen Hupfer SPA/EB-3 (Ferientag)	2	4200	8	5	0,7	1	118	13,4	0,35	5	8	368	9,71		
				Speisenausgabewagen Hupfer SPA/EB-3 (Schultag)	2	4200	40	5	2,1	1	1764	201,4	5,32	5	8	1103	29,13		
				Tellerstapler Hupfer TEH-2V/19-26	1	900	0	0	0										
034	Personal	Büro	8,56	Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,35	7	24	3	0,35		
035	WC	Sanitär	1,62			0													
101	Klasse	Klasse	82,65	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04		
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01		
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,27	5	5	192	2,32		
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17		
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01		
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,20	5	5	141	1,71		
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11		
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05		
102	Klasse	Klasse	82,78	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04		
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01		
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,26	5	5	192	2,32		
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17		
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01		
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,19	5	5	141	1,71		
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11		
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05		
103	Lehrmittel	Büro	21,00	Drucker HP Laserjet 2055 dn	1	570	48	5	0,05	1	7	0,8	0,04	5	5	6	0,27		
				Drucker HP Laserjet 2055 dn - standby/an	1	8	52,14	-	-	1	70	8,0	0,38	7	24	8	0,38		
				Drucker HP Laserjet 3600 N	1	337	48	5	0,05	1	4	0,5	0,02	5	5	3	0,16		
				Drucker HP Laserjet 3600 N - standby/an	1	15	52,14	-	-	1	131	15,0	0,71	7	24	15	0,71		
				PC HP Compaq DC 7800	2	480	48	5	1	1	115	13,2	0,63	5	5	96	4,57		
				PC-Bildschirm	2	46	48	5	1	1	11	1,3	0,06	5	5	9	0,44		
				PC-Bildschirm - standby/aus	2	1	52,14	-	-	1	5	0,6	0,03	7	24	1	0,03		
				PC-Lautsprecher	1	10	48	5	1	1	2	0,3	0,01	5	5	2	0,10		
				Radio Elta	1	12	48	5	1	1	3	0,3	0,02	5	5	2	0,11		
				Radio Silvercrest	1	15	48	5	1	1	4	0,4	0,02	5	5	3	0,14		
				Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,10	7	24	2	0,10		
104	Lehrer	Büro	27,09	CD-Player Grundig RRCD 3400	1	23	48	5	1	1	5	0,6	0,02	5	5	5	0,17		
				Keyboard KORG SP 170-S	1	9	48	5	1	1	2	0,2	0,01	5	5	2	0,07		
				Kopierer HP LaserJet M 5035 MFP	1	932	48	5	0,5	1	112	12,8	0,47	5	5	93	3,44		
				Kopierer HP LaserJet M 5035 MFP - standby/aus	1	24	52,14	-	-	1	207	23,7	0,87	7	24	24	0,87		
				Laminiergerät	1	360	48	1	1	1	17	2,0	0,07	5	5	14	0,53		
				Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,11	7	24	3	0,11		
				Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,07	7	24	2	0,07		
105	Flur	Verkehr	120,66	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	3	6	52,14	7	24	1	53	6,0	0,05	7	24	6	0,05		
106	Treppenhaus	Verkehr	19,90			0													
107	Klasse	Klasse	82,65	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04		
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01		
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,27	5	5	192	2,32		
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17		
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01		
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,20	5	5	141	1,71		
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11		
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05		

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung			Betriebsstunden pro Tag	Wärme im Raum?	Gewinn	jahresmittlere Gewinnleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit	
						[W]	[w/a]	[d/w]				[h/d]	[kWh/a]			[W]	[W/m²]
108	Klasse	Klasse	82,87	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,26	5	5	192	2,32
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,19	5	5	141	1,71
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	0,48	7	24	40	0,48
109	WC	Sanitär	1,92			0											
110	WC Jungen	Sanitär	8,35	Handtrockner O.ERRE Phonny	1	1200	48	5	0,025	1	7	0,8	0,10	5	5	6	0,72
				Handtrockner O.ERRE Phonny - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	0,36	7	24	3	0,36
111	Duschen	Sanitär	4,14	Durchlauferhitzer Clage CBX11	1	11000	0	0	0								
				Durchlauferhitzer Clage CBX11 - standby	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,72	7	24	3	0,72
112	WC Mädchen	Sanitär	7,83	Handtrockner O.ERRE Phonny	1	1200	48	5	0,025	1	7	0,8	0,10	5	5	6	0,77
				Handtrockner O.ERRE Phonny - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	0,36	7	24	3	0,36
113	Halle	Verkehr	145,27	Feststellanlage Hekatron GTR050	2	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,02	7	24	3	0,02
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,03	7	24	4	0,03
114	Raum der Stille	Klasse	52,84	CD-Player	1	23	48	5	1	1	5	0,6	0,01	5	5	5	0,09
				Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,04	7	24	2	0,04
115	Galerie	Aula	43,27	CD-Player	1	22	48	5	1	1	5	0,6	0,01	5	11	2	0,05
				PC HP Compaq 6300	2	640	40	5	1	1	128	14,6	0,34	5	11	58	1,34
				PC-Bildschirm	2	46	40	5	1	1	9	1,1	0,02	5	11	4	0,10
				PC-Bildschirm - standby/aus	2	1	52,14	-	-	1	5	0,6	0,01	7	24	1	0,01
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,09	7	24	4	0,09
117	WC	Sanitär	2,40			0											
118	Flur	Verkehr	6,02			0											
119	Treppenhaus	Verkehr	18,90	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,11	7	24	2	0,11
120	Flur Lehrer	Verkehr	21,03	Kopierer Canon i R 1022A	1	1000	48	5	0,5	1	120	13,7	0,65	5	8	63	2,97
				Kopierer Canon i R 1022A - standby/aus	1	3	52,14	-	-	1	22	2,5	0,12	7	24	2	0,12
121	Besprechung	Büro	23,00	Durchlauferhitzer	1	11000	48	5	0,3								
				Durchlauferhitzer - standby	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,13	7	24	3	0,13
				Gefrierschrank Liebherr f. Kühlakus etc.	1	18	52,14	7	24	1	158	18,0	0,78	7	24	18	0,78
				Geschirrspülmaschine Zanker	1	2200	48	3,5	0,5	0,1	18	2,1	0,09	5	8	96	4,18
				Geschirrspülmaschine Zanker - standby	1	1	52,14	-	-	1	4	0,5	0,02	7	24	0	0,02
				Kaffeeautomat	1	1600	48	5	0,08	1	31	3,5	0,15	5	8	16	0,70
				Kaffeemaschine Severin	1	1600	48	5	0,25	1	96	11,0	0,48	5	8	50	2,17
				Kühlschrank Viva	1	27	52,14	7	24	1	237	27,0	1,17	7	24	27	1,17
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,17	7	24	4	0,17
				Wasserkocher Severin	1	1000	48	5	0,1	1	24	2,7	0,12	5	8	13	0,54
				Wasserkocher Siemens	1	1000	48	5	0,1	1	24	2,7	0,12	5	8	13	0,54
122	Schulleiter	Büro	15,87	PC HP	2	640	48	5	6	1	922	105,2	6,63	5	8	480	30,25
				PC-Bildschirm	2	46	48	5	6	1	66	7,6	0,48	5	8	35	2,17
				PC-Bildschirm - standby/aus	2	1	52,14	-	-	1	4	0,5	0,03	7	24	1	0,03
				Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,19	7	24	3	0,19
123	Sekretariat	Büro	22,09	Aktenvernichter HSM 80	1	20	48	5	0,05	1	0	0,0	0,00	5	8	0	0,01
				Ansageanlage Schneider	1	320	48	5	0,05	1	4	0,4	0,02	5	8	2	0,09
				Ansageanlage Schneider - standby	1	10	52,14	-	-	1	87	10,0	0,45	7	24	10	0,45
				Fax Brother 2840	1	360	48	5	0,05	1	4	0,5	0,02	5	8	2	0,10
				Fax Brother 2840 - standby/aus	1	2	52,14	-	-	1	13	1,5	0,07	7	24	1	0,07
				HP LaserJet pro	1	600	48	5	0,1	1	14	1,6	0,07	5	8	8	0,34
				HP LaserJet pro - standby/aus	1	5	52,14	-	-	1	44	5,0	0,23	7	24	5	0,23
				PC HP	2	640	48	5	6	1	922	105,2	4,76	5	8	480	21,73
				PC-Bildschirm - standby/an	2	46	48	5	6	1	66	7,6	0,34	5	8	35	1,56
				PC-Bildschirm - standby/aus	2	1	52,14	-	-	1	4	0,5	0,02	7	24	1	0,02

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung		Betriebsstunden pro Tag	Wärme im Raum?	Gewinn	Jahresmittlere Gewinnleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit		
						[W]	[w/a]				[d/w]	[h/d]			[kWh/a]	[W]	[W/m²]
124	Archiv/1.Hilfe	Büro	14,80	CobiNet Datentechnik	1	25	52,14	7	24	1	219	25,0	1,69	7	24	25	1,69
				Kopierer HP LaserJet 500 M551	1	605	48	5	0,5	1	73	8,3	0,56	5	8	38	2,55
				Kopierer HP LaserJet 500 M551 - standby/aus	1	0	48	5	0,5	1	0	0,0	0,00	7	24	0,00	0,00
201	Klasse	Klasse	82,58	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,27	5	5	192	2,33
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,20	5	5	141	1,71
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	0,48	7	24	40	0,48
202	Klasse	Klasse	82,71	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,26	5	5	192	2,32
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,20	5	5	141	1,71
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05
203	Lüftung	Technik	23,77	RLT B Menerga, nur Ventilatoren	1	5175	48	5	12								
				RLT B Heizungspumpe	1	16	20	5	24	1	38	4,4	0,18	24	24	3	0,14
				RLT B Schaltschrank	1	140	52,14	7	24	1	1226	140,0	5,89	7	24	140	5,89
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	1,68	7	24	40	1,68
204	Lehrer	Büro	27,09	Kopierer Konica Minolta bizhub 223	1	1680	40	5	0,5	1	168	19,2	0,71	5	8	105	3,88
				Kopierer Konica Minolta bizhub 223 - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	87	9,9	0,36	7	24	10	0,36
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,15	7	24	4	0,15
205	Flur	Verkehr	121,16	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,02	7	24	2	0,02
206	Treppenhaus	Verkehr	18,90			0											
207	Klasse	Klasse	82,58	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,27	5	5	192	2,33
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,20	5	5	141	1,71
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05
208	Klasse	Klasse	82,70	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04
				CD-Player	1	23	40	5	0,2	1	1	0,1	0,00	5	5	1	0,01
				PC HP Compaq 6300	4	1280	40	5	0,75	1	192	21,9	0,27	5	5	192	2,32
				PC-Bildschirm	4	92	40	5	0,75	1	14	1,6	0,02	5	5	14	0,17
				PC-Bildschirm - standby/aus	4	1	52,14	-	-	1	10	1,2	0,01	7	24	1	0,01
				Promethean Activboard 500 Pro	1	236	40	5	3	1	141	16,1	0,20	5	5	141	1,71
				Promethean Activboard 500 Pro - standby/aus	1	10	52,14	-	-	1	78	8,8	0,11	7	24	9	0,11
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,05	7	24	4	0,05
209	WC Lehrer	Sanitär	1,97	Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	2,03	7	24	4	2,03
210	WC Jungen	Sanitär	8,41	Handtrockner O.ERRE Phonny	1	1200	48	5	0,025	1	7	0,8	0,10	5	5	6	0,71
				Handtrockner O.ERRE Phonny - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	0,36	7	24	3	0,36
211	Putzen	Sanitär	4,18	Abluftanlage	1	40	48	5	12	0,1	12	1,3	0,31	5	5	96	22,97
212	WC Mädchen	Sanitär	7,88	Handtrockner O.ERRE Phonny	1	1200	48	5	0,025	1	7	0,8	0,10	5	5	6	0,76
				Handtrockner O.ERRE Phonny - standby	1	3	52,14	-	-	1	26	3,0	0,38	7	24	3	0,38
213	Halle	Verkehr	94,00	Feststellanlage Hekatron GTR050	2	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,03	7	24	3	0,03
				Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,04	7	24	4	0,04

Raum	Funktion	Raumart	Fläche	Gerät	Anzahl	rechnerische Leistung				Wärme im Raum?	Gewinn	Jahresmittlere Gewinnleistung		Gesamtanwesenheit pro Woche	Gesamtanwesenheit pro Tag	interne Wärmeleistung in der Nutzungszeit		
						[W]	[w/a]	[d/w]	[h/d]			[W]	[W/m²]			[W]	[W/m²]	
214	Kunst	Klasse	77,03	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04	
				Beamer BenQ	1	200	0	0	0									
				CD-Player	0	0	0	0	0									
				Durchlauferhitzer	1	11000	40	5	0,28661508									
				Durchlauferhitzer - standby	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04	
				Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,03	7	24	2	0,03	
215	Flur	Verkehr	40,14	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,05	7	24	2	0,05	
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,10	7	24	4	0,10	
216	Vorbereitung	Büro	20,25	Laptop	1	40	48	5	3	1	29	3,3	0,16	5	8	15	0,74	
				Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,15	7	24	3	0,15	
				Volumenstromreglerantrieb	2	4	52,14	7	24	1	35	4,0	0,20	7	24	4	0,20	
217	Werken	Klasse	79,56	Amokmelder	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,04	7	24	3	0,04	
				Beamer BenQ	1	200	0	0	0									
218	Lüftung	Technik	45,83	RLT A Menerga, nur Ventilatoren	1	6250	48	5	12									
				RLT A Schaltschrank	1	120	52,14	7	24	1	1051	120,0	1,51	7	24	120	1,51	
				RLT A Heizungspumpen	2	32	20	5	24	1	77	8,8	0,11	24	24	7	0,08	
				diverse Messtechnik, Netgear ProSet 5 Switch	20	40	52,14	7	24	1	350	40,0	0,87	7	24	40	0,87	
219	Lehrmittel	Büro	20,48	Volumenstromreglerantrieb	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,10	7	24	2	0,10	
220	Hausm.	Büro	13,04	Drucker HP Laserjet 1022	1	300	48	5	0,01	1	1	0,1	0,01	5	8	0	0,03	
				Drucker HP Laserjet 1022 - standby/aus	1	2	52,14	-	-	1	18	2,0	0,15	7	24	2	0,15	
				Laptop	1	40	48	5	2	1	19	2,2	0,17	5	8	10	0,77	
				Telefon Alcatel Lucent	1	3	52,14	7	24	1	26	3,0	0,23	7	24	3	0,23	
231	Treppenhaus	Verkehr	18,90	Rettungswegleuchte Beghelli Präzisa	1	2	52,14	7	24	1	18	2,0	0,11	7	24	2	0,11	

8.6 Detailanalyse zur Verbrauchsverteilung

Die nachfolgenden Grafiken ergänzen die Auswertungen des Kapitels 7.5.

8.6.1 Gesamtverbrauch Schule ohne Hausmeisterwohnung

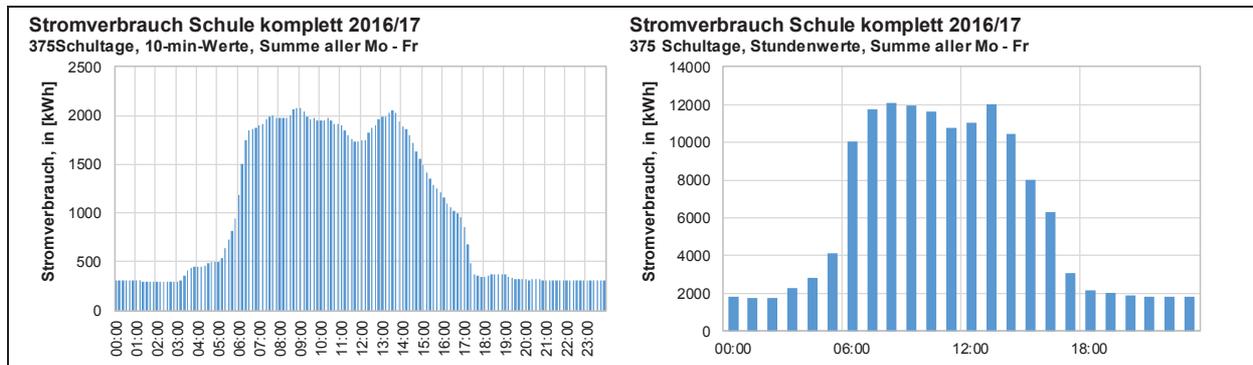


Abbildung 8-10: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Schultage

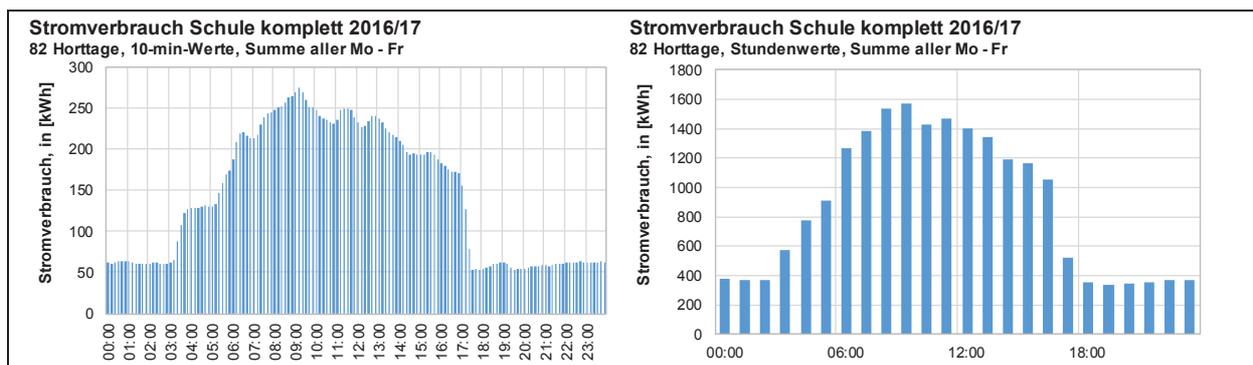


Abbildung 8-11: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Horttage

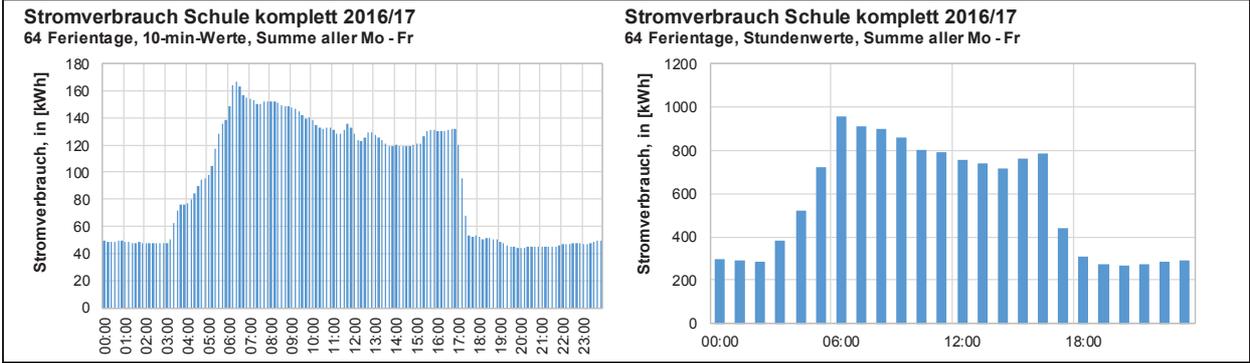


Abbildung 8-12: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Ferientage

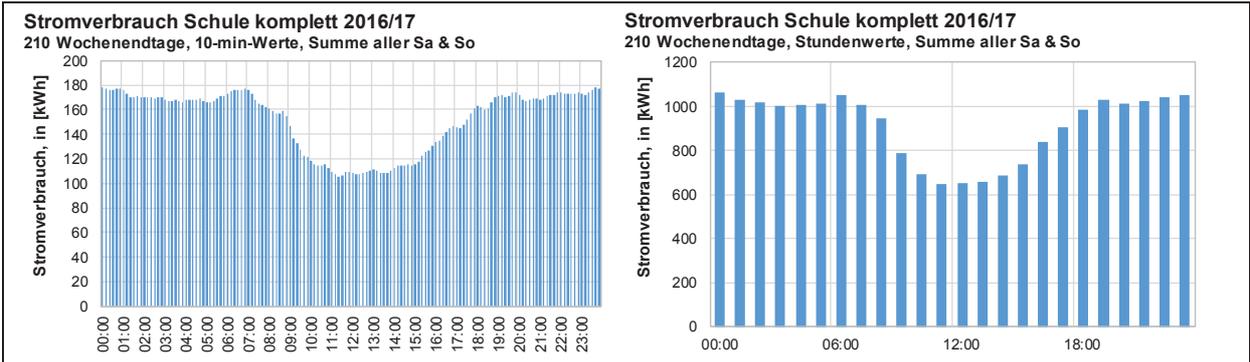


Abbildung 8-13: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Wochenendtage

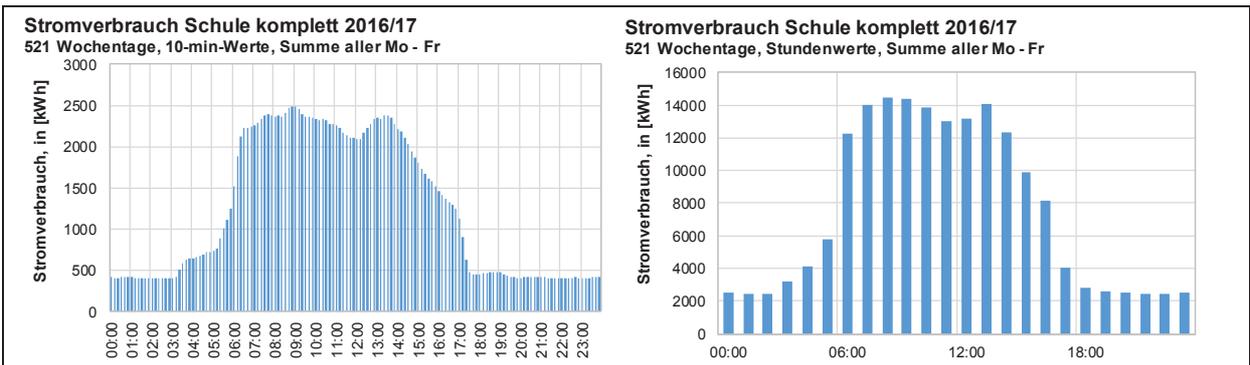


Abbildung 8-14: Verbrauchsverteilung – Gesamtverbrauch ohne Hausmeister – Wochentage

8.6.2 Verbrauch Klasse 1.08

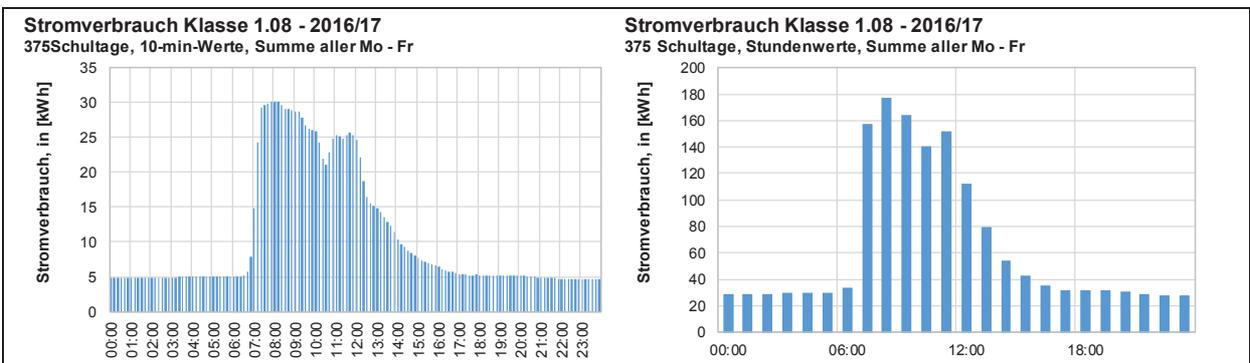


Abbildung 8-15: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Schultage

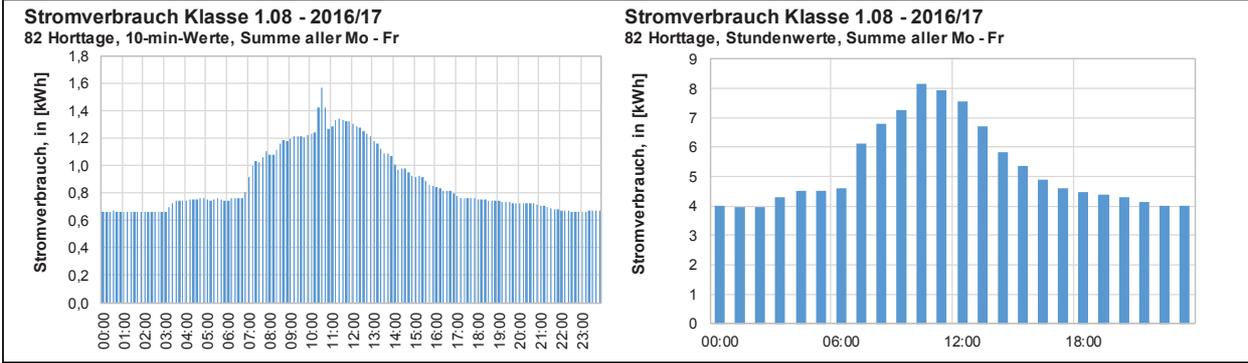


Abbildung 8-16: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Horttage

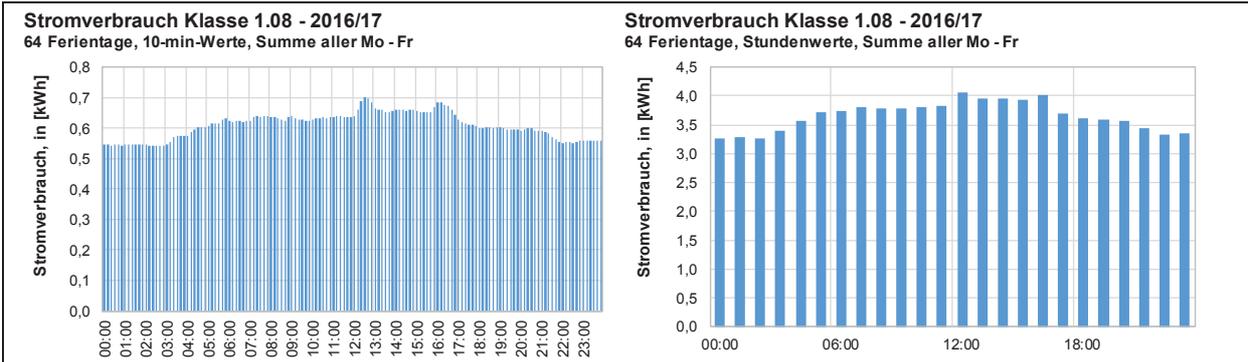


Abbildung 8-17: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Ferientage

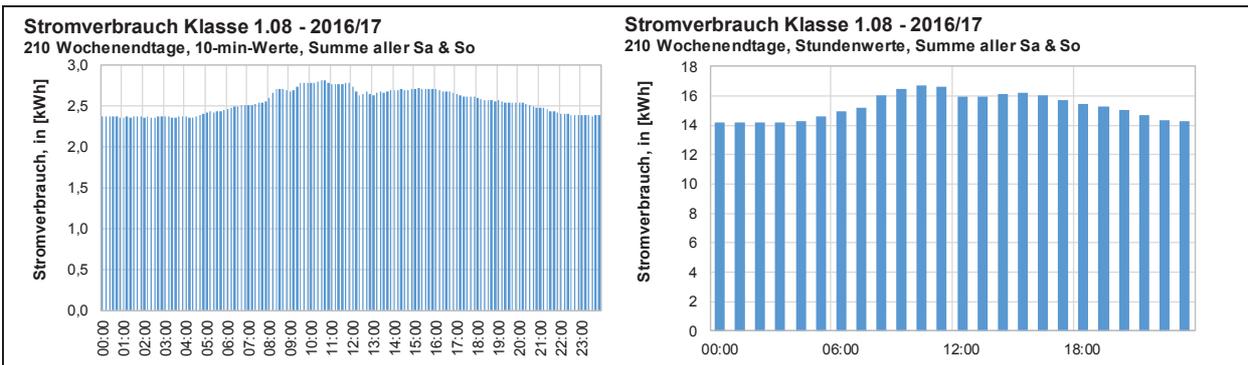


Abbildung 8-18: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Wochenendtage

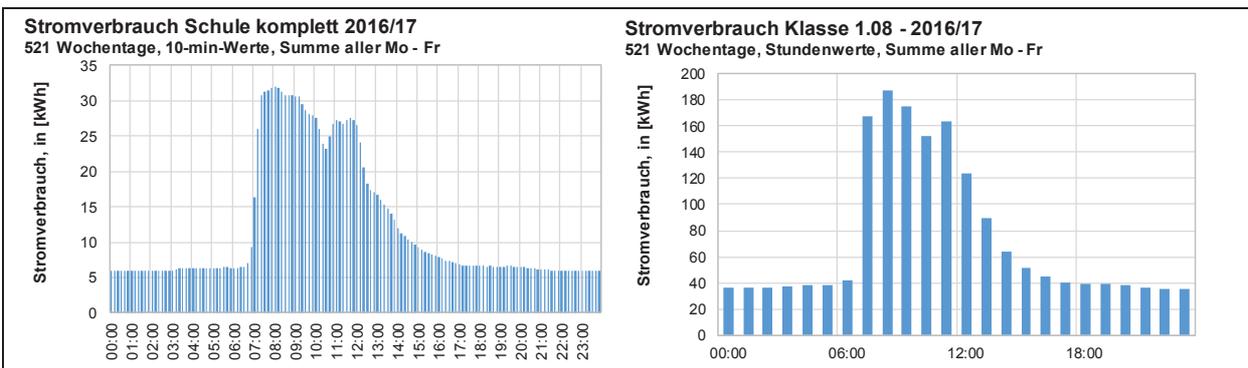


Abbildung 8-19: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 1.08 – Wochentage

8.6.3 Verbrauch Klasse 2.01

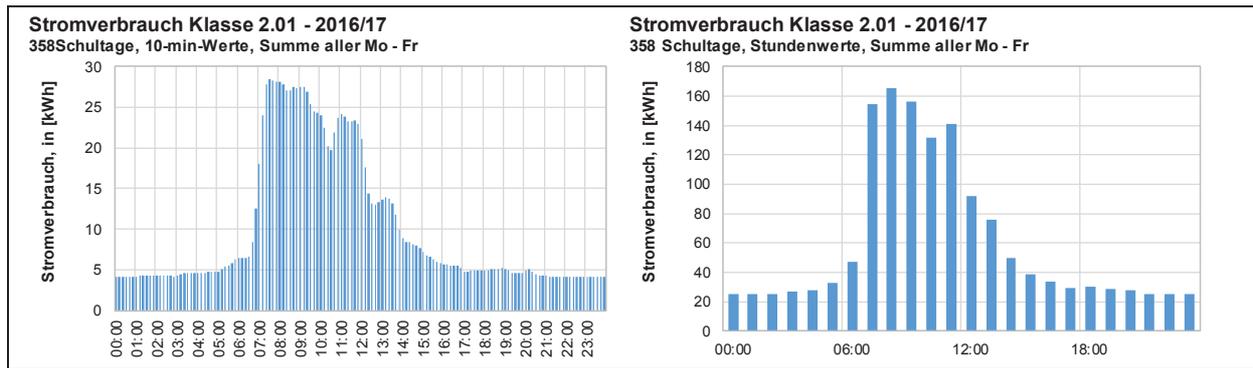


Abbildung 8-20: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Schultage

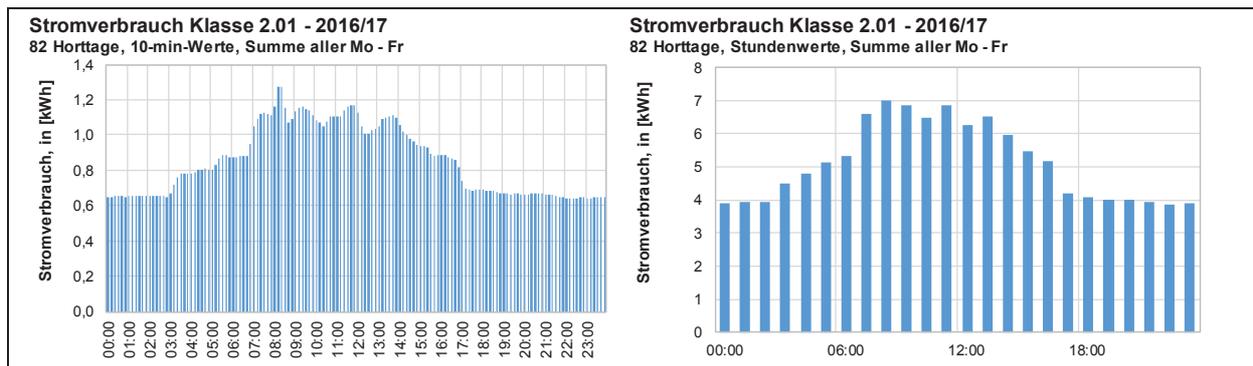


Abbildung 8-21: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Hortage

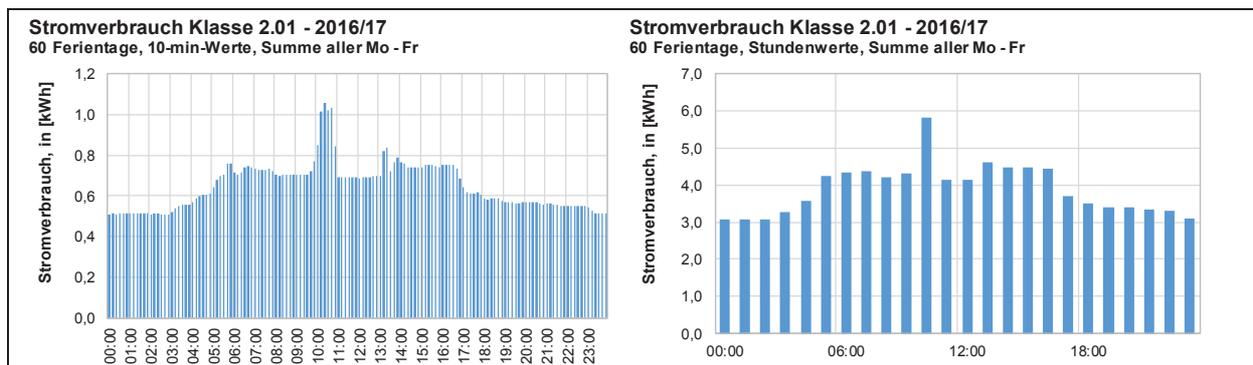


Abbildung 8-22: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Ferientage

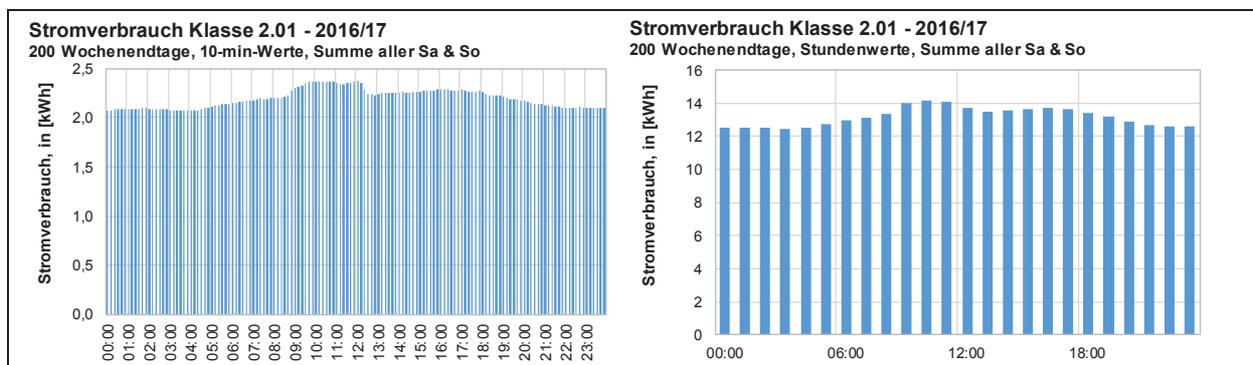


Abbildung 8-23: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Wochenendtage

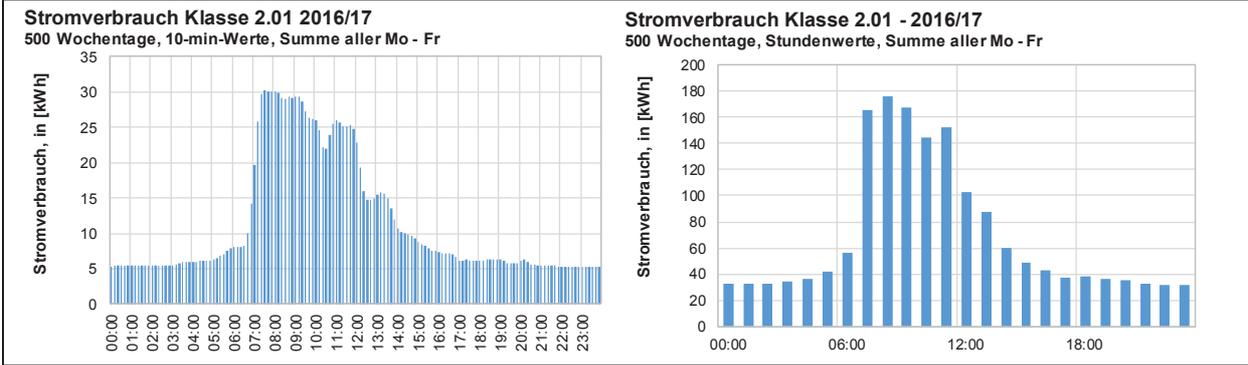


Abbildung 8-24: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Klasse 2.01 – Wochentage

8.6.4 Verbrauch Hort

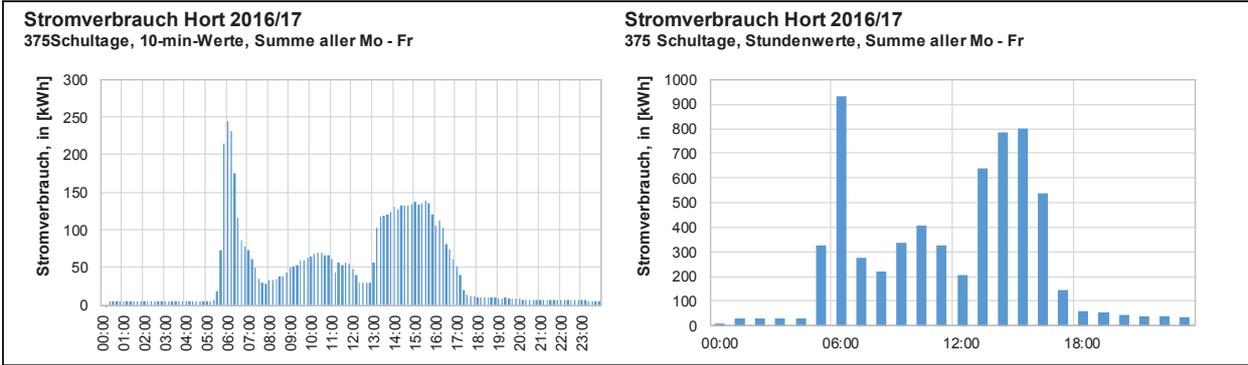


Abbildung 8-25: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Schultage

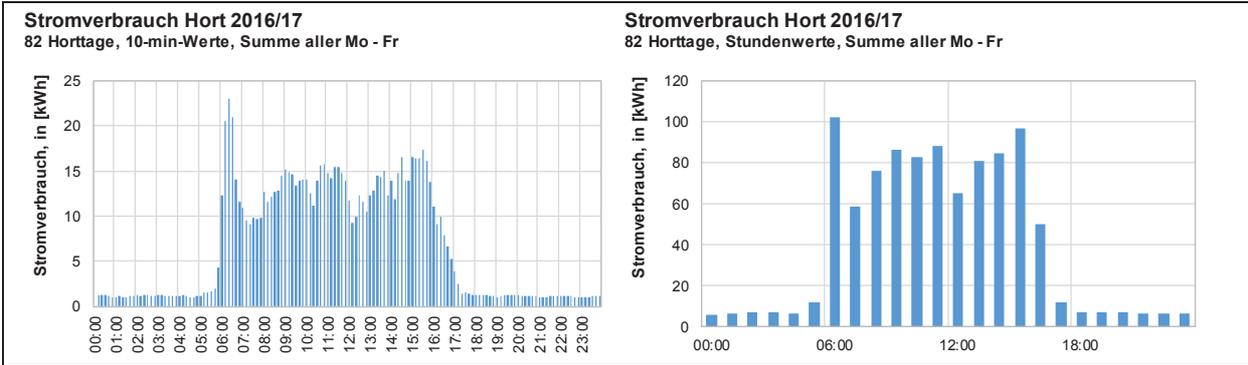


Abbildung 8-26: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Horttage

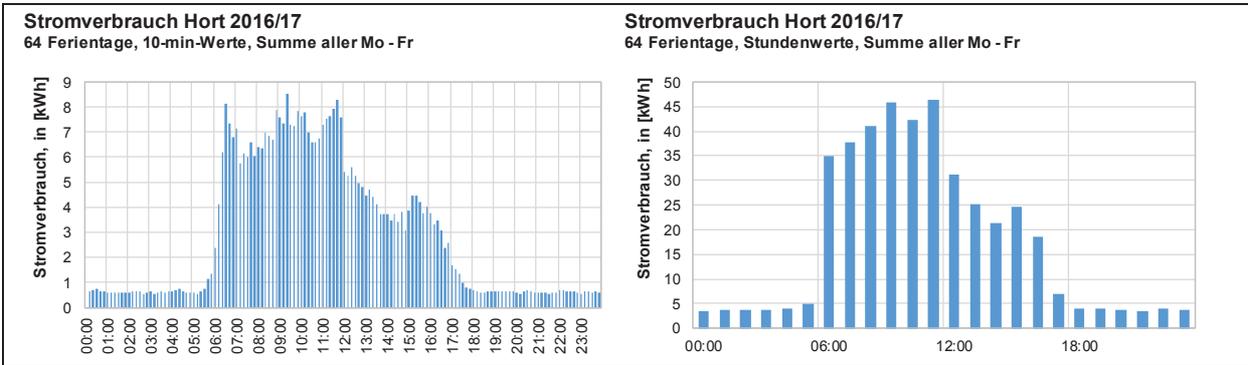


Abbildung 8-27: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Ferientage

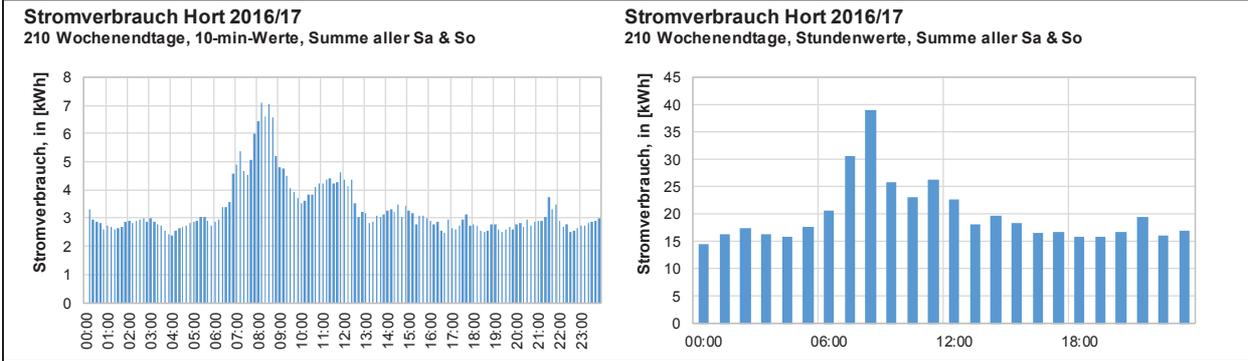


Abbildung 8-28: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Wochenendtage

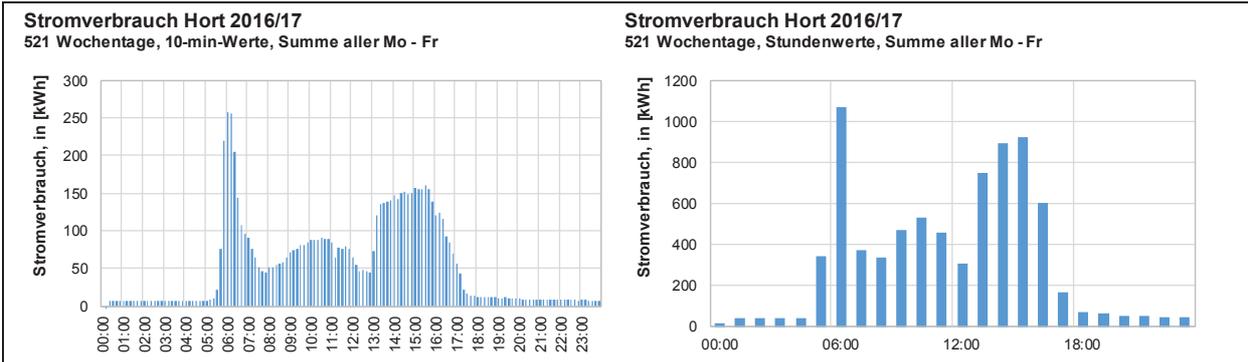


Abbildung 8-29: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Hort – Wochentage

8.6.5 Verbrauch Küche

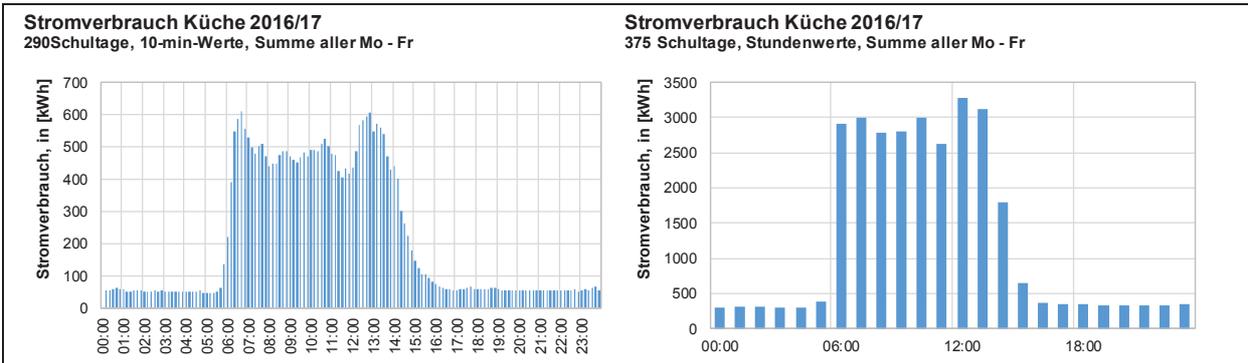


Abbildung 8-30: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Schultage

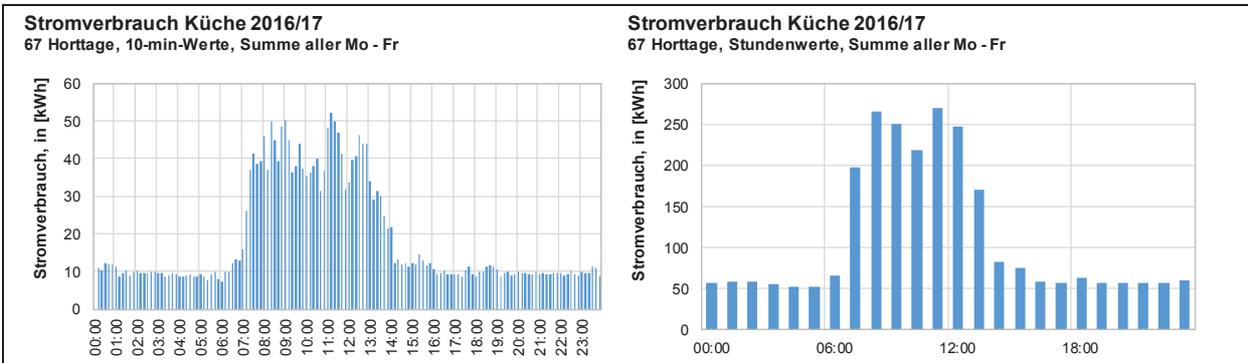


Abbildung 8-31: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Hortage

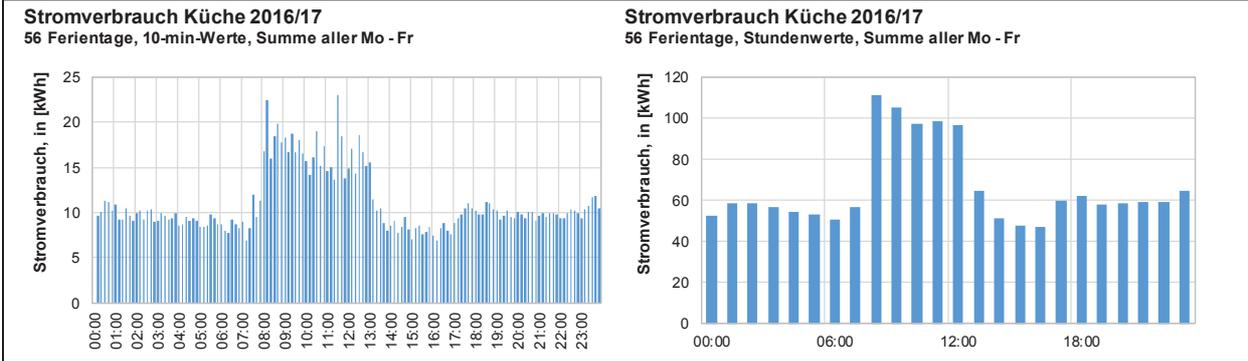


Abbildung 8-32: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Ferientage

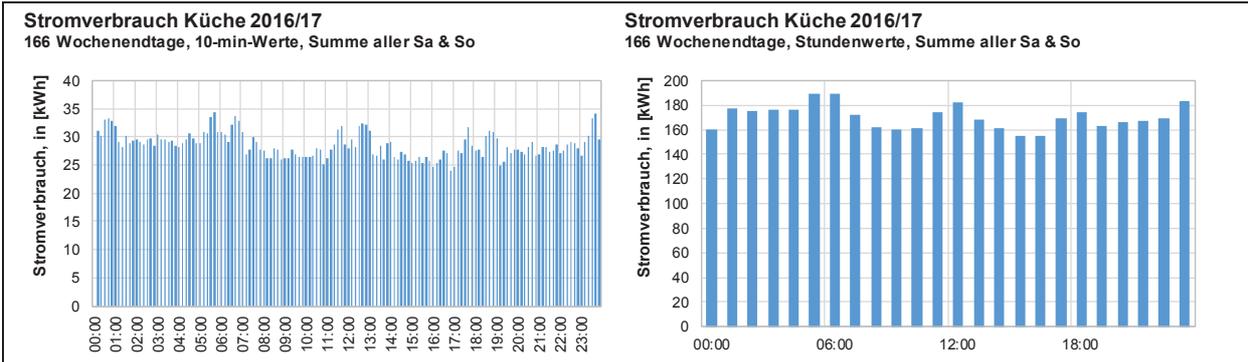


Abbildung 8-33: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Wochenendtage

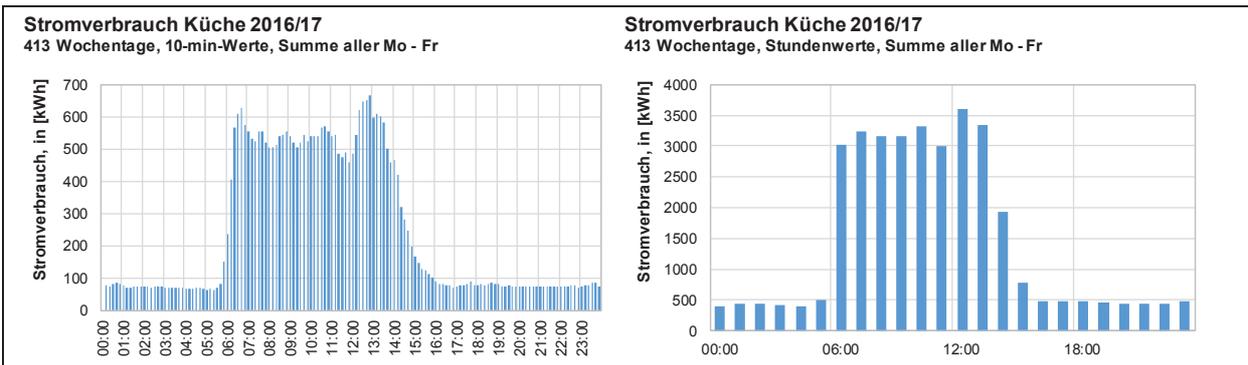


Abbildung 8-34: Verbrauchsverteilung – Unterzähler Küche – Wochentage

8.6.6 Gesamtverbrauch der Hausmeisterwohnung

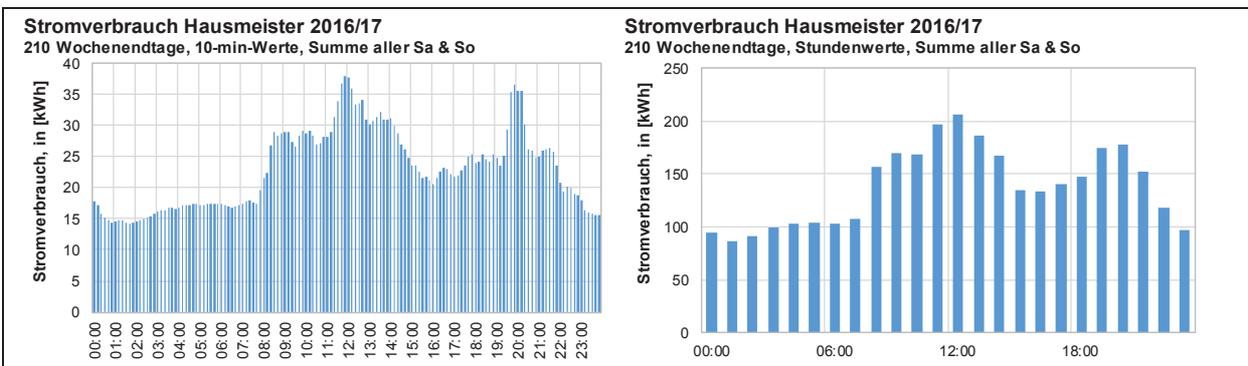


Abbildung 8-35: Verbrauchsverteilung – Hauptzähler Hausmeister – Wochenende

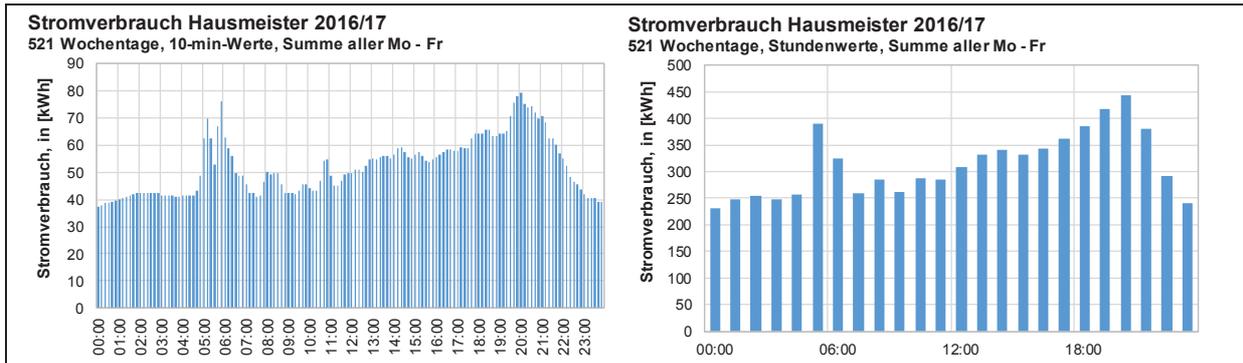


Abbildung 8-36: Verbrauchsverteilung – Hauptzähler Hausmeister – Wochentage

8.6.7 PV-Erzeugung

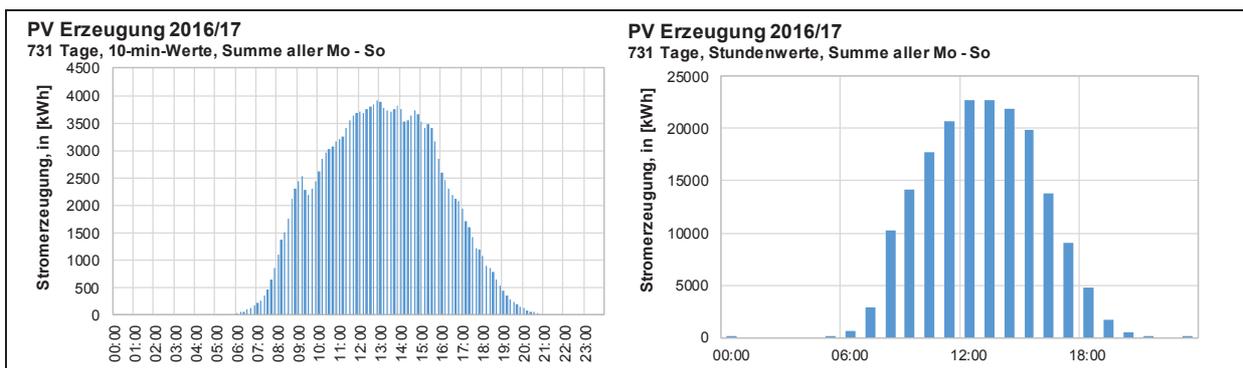


Abbildung 8-37: Verteilung der PV-Produktion

8.6.8 Strombezug aus dem Netz

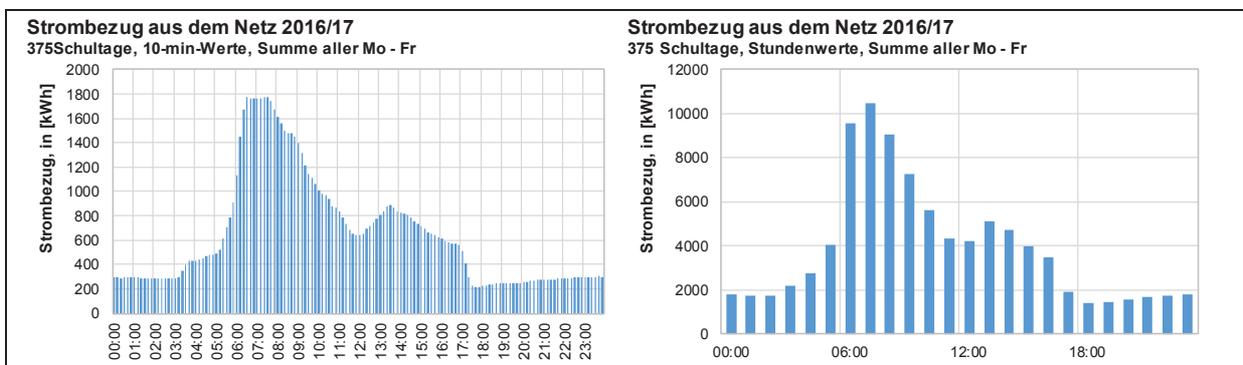


Abbildung 8-38: Verteilung Netzstrombezug – Schultage

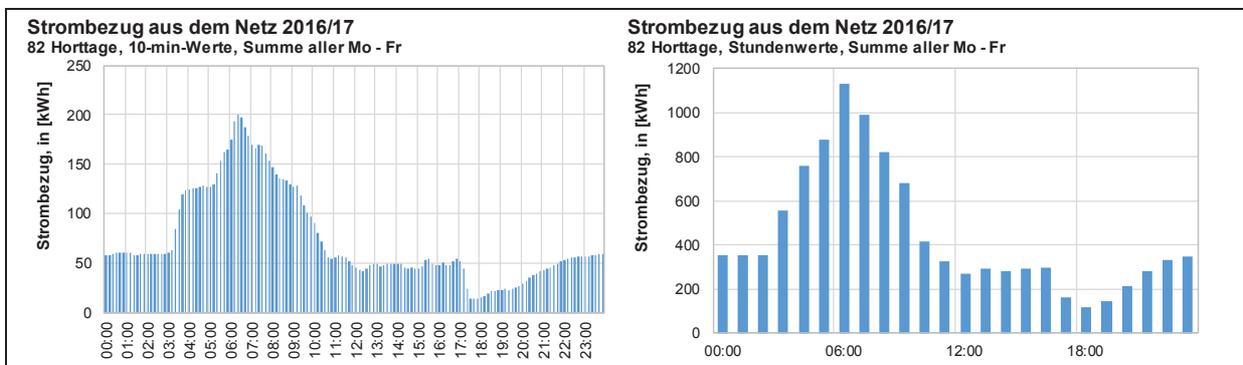


Abbildung 8-39: Verteilung Netzstrombezug – Hortage

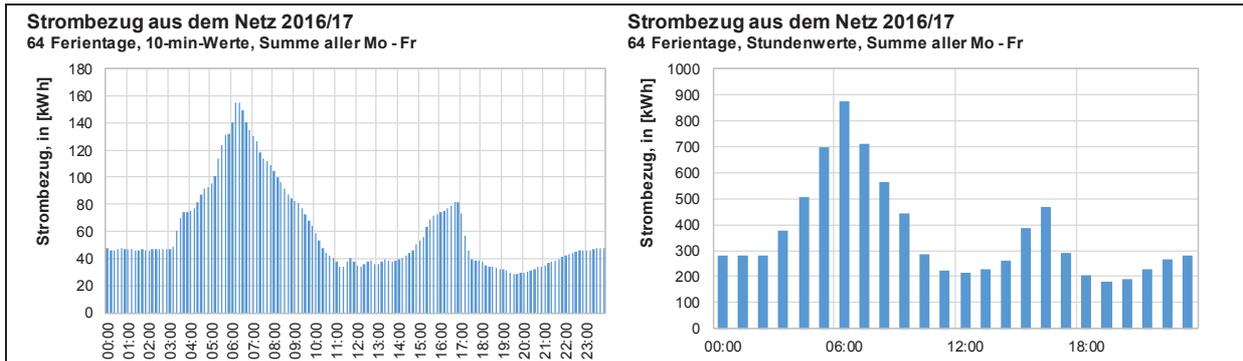


Abbildung 8-40: Verteilung Netzstrombezug – Ferientage

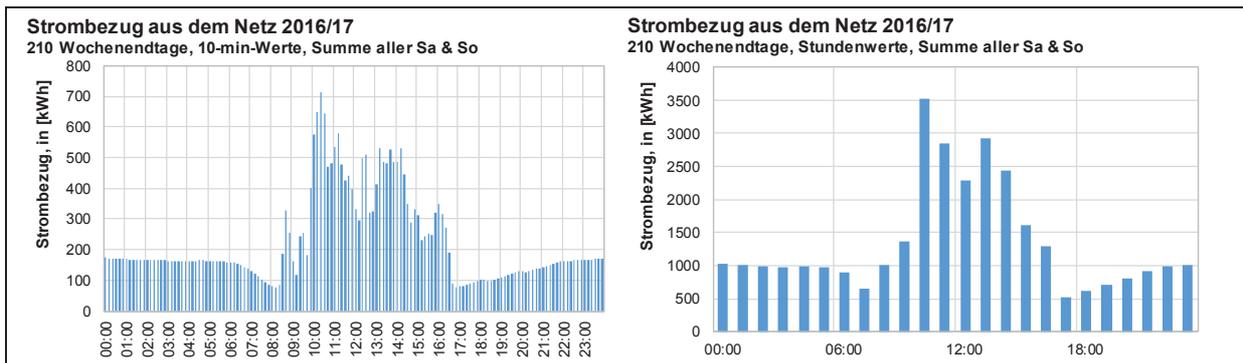


Abbildung 8-41: Verteilung Netzstrombezug – Wochenendtage

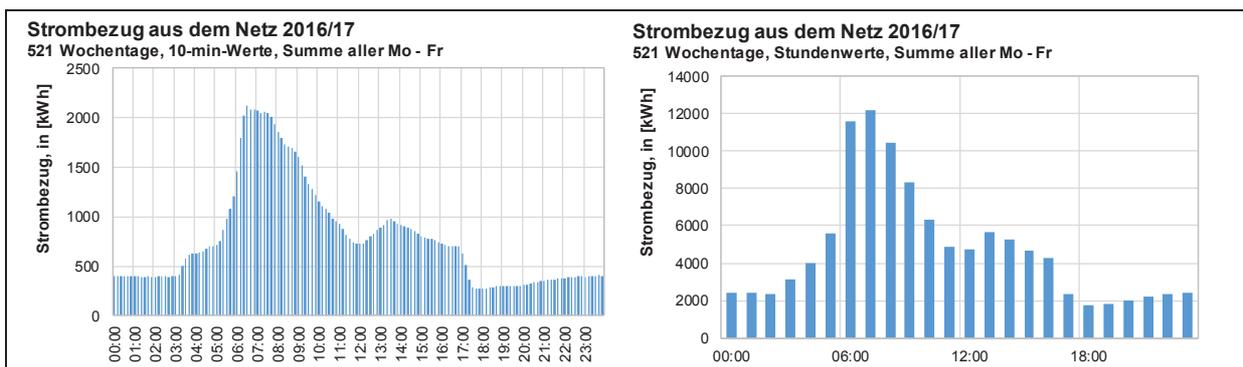


Abbildung 8-42: Verteilung Netzstrombezug – Wochentage

8.6.9 Stromrückspeisung ins Netz

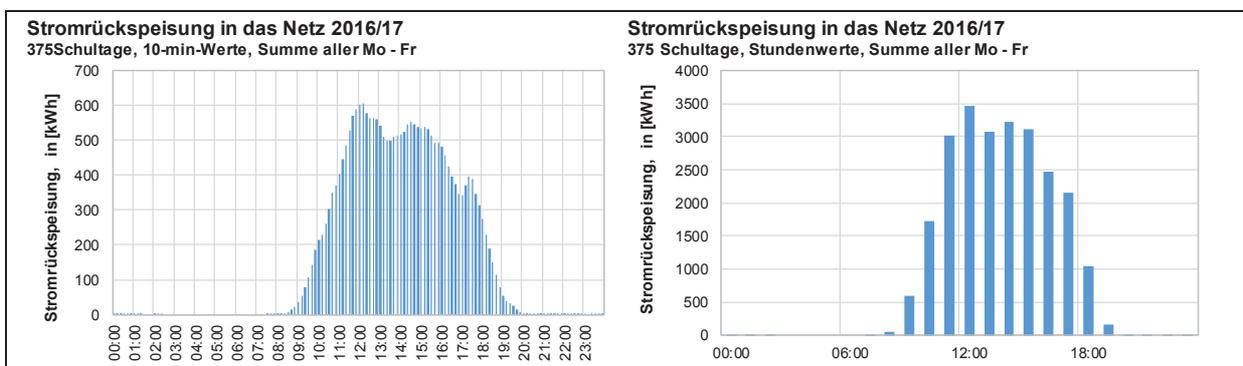


Abbildung 8-43: Verteilung Netzzurückspeisung – Schultage

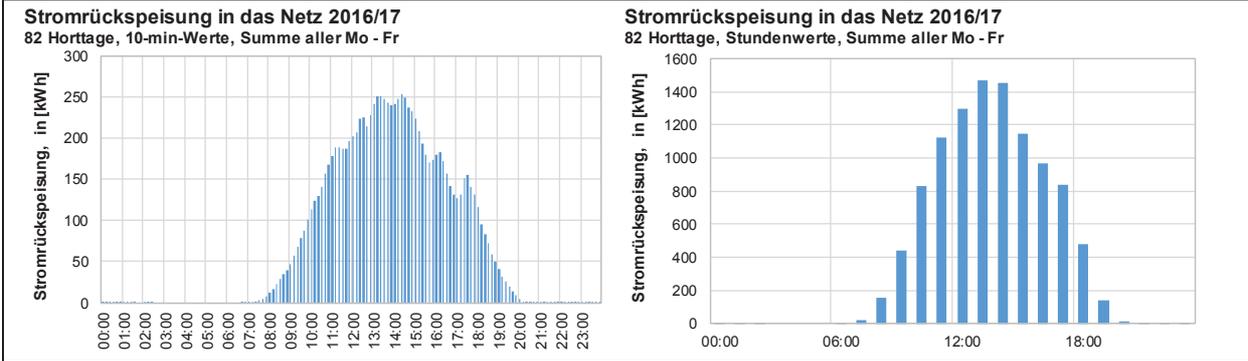


Abbildung 8-44: Verteilung Netzstrombezug – Horttage

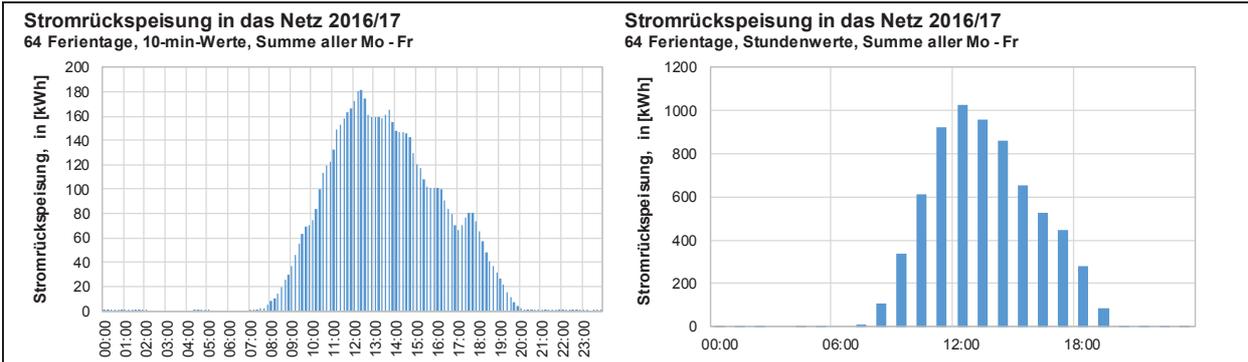


Abbildung 8-45: Verteilung Netzstrombezug – Ferientage

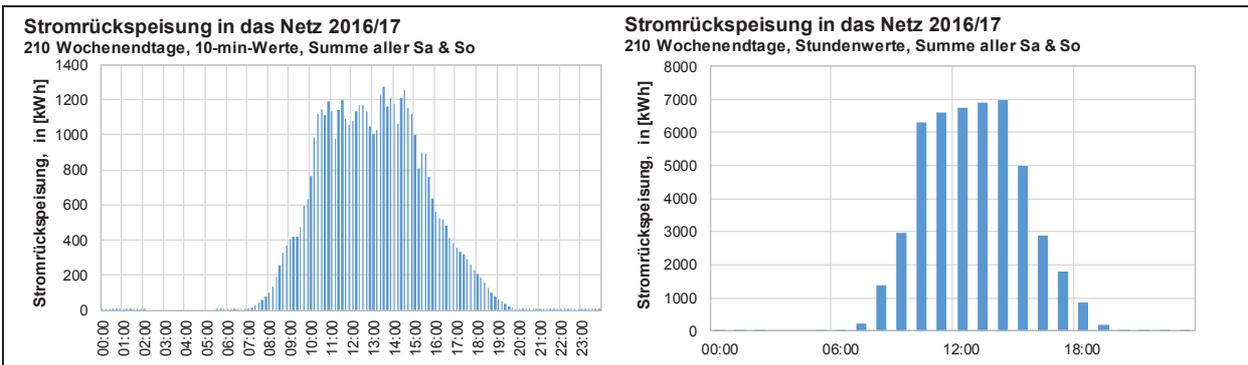


Abbildung 8-46: Verteilung Netzstrombezug – Wochenendtage

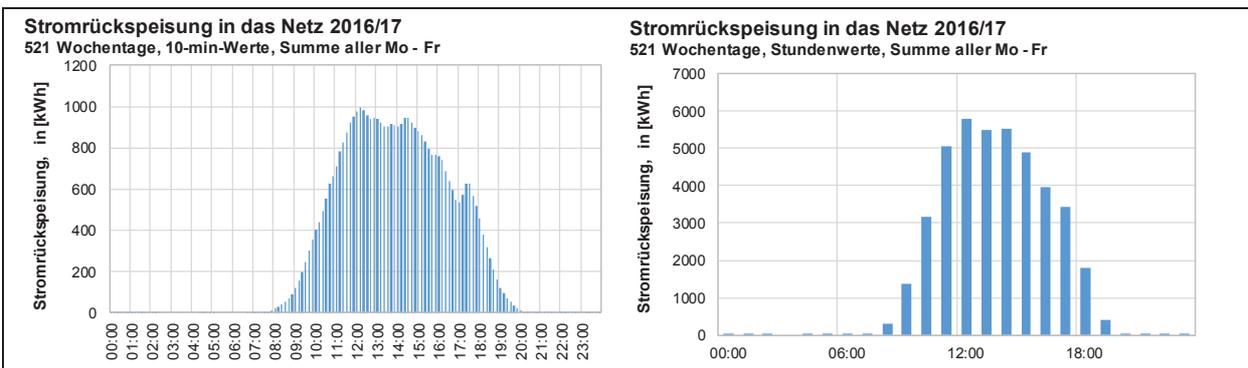


Abbildung 8-47: Verteilung Netzstrombezug – Wochentage

8.7 Verantwortliche Planer und Ausführende

Tabelle 8-8: Planer, Ausführende, Projektbeteiligte

Kurz	ausführliche Angabe	Gewerk/Verantwortlichkeit
DKA	Dresdner Kühlanlagenbau GmbH Herr Dragendorf Geltestraße 11 06184 Kabelsketal	Kälte, Ausführung
HOLLENBACH	Sachverständigenbüro Herr Hollenbach Karlstraße 14 39261 Zerbst	Projektsteuerer
STEINBLOCK	Steinblock Architekten GmbH Herr Tietze Porsestraße 19 39104 Magdeburg	Architektur
GEDES	Gedes e.V. Herr Döring Promenadenring 8 02708 Löbau	Messtechnik, Ausführung
N+S	Ingenieurbüro Naumann + Stahr Arnoldstraße 26 04299 Leipzig	HLS alt, Planer
TUK	Theurich+Klose Ingenieurgesellschaft mbH Vahrenwalder Str. 117 30165 Hannover Herr Adolf, Herr Gierlich, Hr. v. Goldammer	HLS neu, Planer
AIB	AIB GmbH Herr Medack, Herr Hoffmann Liselotte-Herrmann-Str. 4 02625 Bautzen	Elektrotechnik, Planer
NETZ HALLE	Energieversorgung Halle Netz GmbH Herr Vattes Bornknechtstraße 5 06108 Halle (Saale)	Stromversorger
SCHMIDT	Elektro-Schmidt GmbH Herr Schmidt Kreisstr. 57 06449 Aschersleben/ OT Mehringen	Elektrotechnik, Ausführung
SMA	SMA Solar Technology AG Sonnenallee 1 34266 Niestetal	Photovoltaik, Hersteller
WOLF	Wolf Ventus Energy GmbH Herr Wolf Oberdorf 7 06313 Wimmelburg	Windkraftanlage, Planung und Ausführung

8.8 Überblick über separate Anhänge

Als separate Anhänge liegen vor:

- A Pläne Dach und Dachaufsicht
- B Pläne Carport
- C Pläne Starkstrominstallation
- D Pläne Schwachstrominstallation
- E Schaltpläne und Schemata
- F Technische Daten Dach-PV
- G Technische Daten Carport-PV
- H Technische Daten Batterie
- I Technische Daten Windkraft
- J Technische Daten Kälteanlagen
- K PV-Simulation