

# Abschlussbericht

## Monitoring Grundschule Wermisdorf

Messperiode Oktober 2019 bis August 2021

---

**Auftraggeber** Gemeinde Wermisdorf  
Altes Jagdschloss 1  
04779 Wermisdorf

---

**Auftragnehmer** Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig  
Institut für Hochbau, Baukonstruktion und Bauphysik  
Karl-Liebknecht-Straße 132  
04277 Leipzig

**Verfasser** Prof. Dr.-Ing. Ulrich Möller  
M. Sc. Stephanie Weiß

**IHBB**

---

online: <https://ihbb.htwk-leipzig.de/forschung/effizienzhaus-plus-grundschule-wermisdorf/>

Leipzig, November 2021

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	6
1 Kontext und Zielsetzung .....	7
2 Gebäudesteckbrief .....	7
2.1 Allgemeine Daten .....	7
2.2 Architektur.....	7
2.3 Bauteile.....	8
2.4 Anlagentechnik.....	8
2.5 Energiebedarf und Energiedeckung gemäß Vorplanung .....	13
3 Monitoring.....	14
3.1 Messkonzept .....	14
3.2 Verwendete Messtechnik.....	17
3.3 Datenausfall.....	17
3.4 Dokumentation.....	18
3.5 Schulspezifische Randbedingungen .....	18
4 Meteorologische Randbedingungen .....	18
4.1 Solarstrahlung.....	18
4.2 Wetterdaten.....	19
5 Messergebnisse .....	21
5.1 Wärmeerzeugung.....	21
5.2 Lüftungsanlage .....	22
5.3 Beleuchtung.....	24
5.4 Raumklima.....	27
5.4.1 Innenraumtemperaturen .....	27
5.4.2 CO <sub>2</sub> -Konzentration.....	28
5.5 Stromverbrauch.....	30
5.5.1 Endenergieverbrauch .....	30
5.5.2 Gegenüberstellung Stromverbrauch und Stromgewinnung .....	31
5.5.3 Eigenstromnutzung .....	32
6 Bilanz der Messperioden .....	34
6.1 Bilanz 1. Messperiode .....	34
6.2 Bilanz 2. Messperiode .....	35
7 Bewertung.....	36
7.1 Vergleich Messwerte und Simulation .....	36
7.2 Vorjahresvergleich.....	38

7.3	Vergleich mit anderen EnergiePlus-Schulen .....	41
7.4	Auswertung Nutzerbefragung.....	42
7.5	Optimierungspotential .....	44
8	Literaturverzeichnis.....	49
9	Anhang A .....	50
10	Anhang B .....	51

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anlagenschema der Wärmeversorgung gemäß FIS .....	9
Abbildung 2: Solarpaneele auf dem Flachdach .....	10
Abbildung 3: Anlagenschema Lüftung gemäß FIS .....	11
Abbildung 4: Lüftungsanlage unter dem Kaltdach .....	11
Abbildung 5: Steuerung der Klassenraumbelichtung gemäß FIS .....	12
Abbildung 6: Verdunkelungszonen eines Außenfensters .....	12
Abbildung 7: Messkonzept .....	15
Abbildung 8: Messstellenliste .....	16
Abbildung 9: Darstellung der gemessenen Globalstrahlung und PV-Ertrag .....	18
Abbildung 10: Gemessene Außenlufttemperatur im Vergleich zur relativen Luftfeuchte und dem langjährigen Mittel .....	20
Abbildung 11: Wärmeerzeugung .....	21
Abbildung 12: Stromverbrauch der Lüftungsanlage .....	22
Abbildung 13: Aktivität Lüftungsanlage .....	23
Abbildung 14: Verlauf maximale Temperaturen .....	27
Abbildung 15: Tagesverlauf der Klassenraumtemperaturen im Vergleich zur Außentemperatur am 16.09.2020 .....	27
Abbildung 16: Verlauf maximale CO <sub>2</sub> -Konzentration .....	28
Abbildung 17: Wochenverlauf CO <sub>2</sub> -Konzentration 2020 .....	29
Abbildung 18: Wochenverlauf CO <sub>2</sub> -Konzentration 2021 .....	29
Abbildung 19: Tagesverlauf CO <sub>2</sub> -Konzentration .....	30
Abbildung 20: Stromverbrauch pro Monat .....	31
Abbildung 21: Photovoltaik-Ertrag .....	32
Abbildung 22: Eigenverbrauchsquote 1. Messperiode .....	32
Abbildung 23: Eigenverbrauchsquote 2. Messperiode .....	32
Abbildung 24: Gesamtstromverbrauch .....	33
Abbildung 25: Eigenverbrauchsquote 1. Messperiode .....	33
Abbildung 26: Eigenverbrauchsquote 2. Messperiode .....	33
Abbildung 27: Stromverbrauch 1. Messperiode .....	34
Abbildung 28: Stromverbrauch und Stromerzeugung 1. Messperiode .....	35
Abbildung 29: Stromverbrauch 2. Messperiode .....	35
Abbildung 30: Stromverbrauch und Stromerzeugung 2. Messperiode .....	36
Abbildung 31: Vergleich Endenergieverbrauch Monitoring, Simulation und Berechnung .....	37
Abbildung 32: Vergleich Endenergieverbrauch nach Kategorien Monitoring, Simulation und Berechnung .....	37
Abbildung 33: Vergleich PV-Ertrag Monitoring vs. Simulation .....	38
Abbildung 34: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Beleuchtung .....	39
Abbildung 35: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Wärmepumpe .....	39
Abbildung 36: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Durchlauferhitzer .....	40
Abbildung 37: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Elektrogeräte .....	40
Abbildung 38: Bewertung des Klassenzimmers .....	43
Abbildung 39: Bewertung Flur, Lerninseln und Speiseraum .....	43
Abbildung 40: Unterschied geänderte Lüftungsparameter .....	45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Daten .....	7
Tabelle 2: Materialkennwerte laut IPRO Erläuterungsbericht .....	8
Tabelle 3: Aufbau Außenwand .....	8
Tabelle 4: Elektroenergiebezüge in kWh/a .....	13
Tabelle 5: Auswertung der resultierenden monatlichen Elektroenergiebezüge und Erzeugung in kWh durch eine 40,02 kWp PV-Anlage.....	13
Tabelle 6: Endenergiebedarf nach DIN 18599.....	14
Tabelle 7: Verwendete Messtechnik.....	17
Tabelle 8: Vergleich Global Strahlung und PV-Leistung .....	19
Tabelle 9: Außentemperatur und rel. Luftfeuchte .....	20
Tabelle 10: Stromverbrauch Wärmepumpe und erzeugte Wärme .....	22
Tabelle 11: Gegenüberstellung Stromerzeugung und Stromgewinnung.....	31
Tabelle 12:Vergleich Stromerzeugung [kWh] Monitoring vs. Simulation .....	38
Tabelle 13: Vergleich mit anderen EnergiePlus-Schulen.....	41

## Kurzfassung

Der folgende Abschlussbericht umfasst die Ergebnisse des Monitorings im Zeitraum vom 01.10.2019 bis 31.08.2021 der Effizienzhaus Plus Grundschule Wermsdorf. Gemessen wurden Stromverbräuche, raumklimatische Daten, klimatische Randbedingungen, Wärmemengen und Volumenströme. Da die Übermittlung der Daten und die Anbindung einzelner Zähler noch bis April 2020 nicht vollständig abgeschlossen war, konnte eine Auswertung der gesamten Gebäudebilanz erst ab Mai gewährleistet werden. Zudem muss der außergewöhnliche Umstand, dass die Messungen zum Teil unter Pandemiebedingungen (Lockdown, Notbetrieb und veränderte Lüftungskonzepte) stattfand, berücksichtigt werden. Ziel des Projektes war es, zu überprüfen, ob das Gebäude auch in der Praxis die Kriterien des Effizienzhaus Plus-Standards erfüllt. Das heißt, dass in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugt wird, als das Schulgebäude selbst verbraucht.

Besonderheiten des Grundschulgebäudes sind die hohen Wärmeschutzstandards, ein kompakter Baukörper sowie eine intelligente Gebäude- und Anlagentechnik. Des Weiteren wurde bei den Fenstern auf zusätzliche Verschattungselemente verzichtet, da sich die neuartige Verglasung mittels Strom bei hoher Solareinstrahlung selbst verdunkelt.

Der gemessene Endenergieverbrauch zeigt im Vergleich zur vorab erstellten Berechnung nach DIN 18599, dass der tatsächliche Verbrauch oberhalb des prognostizierten Wertes liegt. Im Vergleich mit der durchgeführten nutzerspezifischen Simulation ergibt sich eine deutliche Überschreitung des vorhergesagten Verbrauches.

In der 1. Messperiode betrug der jährliche Gesamtstromverbrauch der Schule 51.928 kWh/a und die PV-Produktion 49.138 kWh/a. Der Gesamtstromverbrauch in der 2. Messperiode betrug insgesamt 53.242 kWh/a und die Produktionsmenge 47.537 kWh/a. Damit erreicht der Schulneubau den Effizienzhaus Plus-Standard mit einer negativen Endenergiebilanz von  $\Delta Q_E \approx 2.790$  kWh/a in der 1. Periode und 5.705 kWh/a in der 2. Periode nicht. Das entspricht einem Defizit von 5,2% bzw. 10,7%.

Jedoch konnte durch das Monitoring ein großes Optimierungspotential detektiert werden. Folgende Maßnahmen wurden in diesem Zusammenhang als entscheidend genannt:

- Entfernung der Schneeschicht auf den PV-Modulen im Winter
- nutzerspezifische Steuerung der Lüftungsanlage (zurzeit in Planung)
- Anpassung der Betriebsarten für die Wärmepumpe (bereits umgesetzt).

Eine Überprüfung dieser Änderungen im weiteren Verlauf ist deshalb sinnvoll und wird angeraten. Zudem kann der Einfluss der pandemischen Lage abschließend nicht vollständig beziffert werden, so dass schon deshalb eine Überprüfung im normalen Regelbetrieb notwendig erscheint. Der positive Effekt der bereits vorgenommenen und noch geplanten Änderungen lässt somit den Schluss zu, dass die Grundschule in Zukunft den Effizienzhaus Plus-Standard erfüllen wird.

# 1 Kontext und Zielsetzung

Mit der Europäischen Richtlinie zur Gesamteffizienz von Gebäuden sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, den Energieverbrauch ihrer Gebäude zu minimieren. Ein klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050 ist dabei das langfristige Ziel. Für das Erreichen dieses Ziels nutzt die Bundesregierung in Deutschland zwei wichtige Werkzeuge. Erstens eine kontinuierliche Verschärfung der Anforderungen und zweitens die Förderung des Baus von energiesparenden Gebäuden durch KfW-Programme.

In der Gemeinde Wermsdorf bei Oschatz wurde im Jahr 2019 das Gebäude der Grundschule neugebaut. Dies erfolgte im Effizienzhaus Plus-Standard. Im zweijährigen Monitoring sollte überprüft werden, ob die theoretisch ermittelten energetischen Kennwerte in der Praxis unter realen Nutzungs- und Klimabedingungen erreicht werden. Hierfür muss das Gebäude in einem Jahr mehr Primärenergie durch regenerative Anlagen erzeugen, als es verbraucht. Im konkreten Projekt muss also die auf dem Dach installierte PV-Anlage in der Jahresbilanz mehr Strom produzieren, als für das Betreiben des Gebäudes verbraucht wird. Diese Bilanz muss sowohl primär- als auch endenergetisch stimmen. Um dies zu ermitteln, wurden im gesamten Gebäude mehrere Sensoren installiert, welche Strombedarf und -erzeugung messen sollen. Des Weiteren wurden Messwerte bezüglich des Raum- und Außenklimas ermittelt, um die Anforderungen an die Behaglichkeit prüfen zu können. Außerdem sollen mittels der Daten Optimierungspotentiale erkannt und definiert werden.

## 2 Gebäudesteckbrief

Im folgenden Abschnitt werden die Randbedingungen, wie Lage und Klima, aber auch die gebäudetechnischen Daten zum Projekt vorgestellt. Dabei werden allgemeine Gebäudeeigenschaften, Architektur, Wärmeschutz und Anlagentechnik beschrieben.

### 2.1 Allgemeine Daten

*Tabelle 1: Allgemeine Daten*

Baujahr	2019
Bruttovolumen $V_e$	8800 m <sup>3</sup>
Nettovolumen $V$	7400 m <sup>3</sup>
Nutzfläche $A_N$	1740 m <sup>2</sup>
Beheizte Grundfläche	2109 m <sup>2</sup>
$A/V_e$ -Verhältnis	0.39
Thermische Hüllfläche	3290 m <sup>2</sup>
Breitengrad	N 51°16'
Längengrad	E 12°56'
Höhenlage	170.77 m
Mittlere Jahrestemperatur	9.5 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober-April)	4.5 °C
TRY – Klimazone / Referenzstation	TRY2015_512795129320

### 2.2 Architektur

Die Grundschule wurde als zweigeschossiger, nicht unterkellertes Bau errichtet. Sie untergliedert sich in ein Hauptgebäude, welches Aula, Speisesaal, Fachkabinette und die Verwaltung beinhaltet, und ein Nebengebäude mit den Klassenräumen und Aufenthaltsbereichen. Im Dachgeschoss des Gebäudes

befindet sich die Technikzentrale mit der Lüftungsanlage. Das Dach des Hauptgebäudes wurde als Walmdach ausgeführt, um eine Einpassung in die umliegenden historischen Gebäude zu erzielen. Auf dem Flachdach des Nebengebäudes wurde die PV-Anlage installiert, zusätzlich wurden weitere 10 Paneele auf dem Dach des Hauptgebäudes angeschlossen. Die Fassade des Hauptgebäudes wurde mit einem hellen Putzanstrich bekleidet, die Fenster wurden analog zu den umliegenden Gebäuden in einem stehenden Format ausgeführt. Die Putzfassade des Nebengebäudes erhielt einen frischen orangefarbenen Anstrich. Alle Außenwände wurden in Massivbauweise errichtet.

## 2.3 Bauteile

*Tabelle 2: Materialkennwerte laut IPRO Erläuterungsbericht*

Bauteil	Bauteildicke [m]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Außenwand</b>	0,54	0,16
<b>Innenwand 24 cm</b>	0,28	1,56
<b>Innenwand 15 cm</b>	0,19	1,94
<b>Bodenplatte</b>	0,64	0,23
<b>Innendecke</b>	0,39	2,24
<b>Flachdach</b>	0,553	0,13
<b>Walmdach</b>	0,478	0,15
<b>Außenfenster</b>	-	0,58

Tabelle 2 zeigt die Kennwerte der Bauteildicke und des U-Wertes der jeweiligen Bauteile gemäß dem Erläuterungsbericht zur Simulation. [1] Die Decken und Fußböden wurden aus massivem Stahlbeton ausgeführt. Die Außenwände und tragenden Innenwände wurden aus 24 cm Kalksandstein aufgebaut, die Außenwände wurden mit 26cm Multipor-Dämmung versehen. Die Bodenplatte wurde auf einer 40cm-dicken Schicht aus Schaumglasschotter errichtet, dies stellt eine optimale Kombination aus Wärmedämmung, Frostschutz und Tragverhalten dar.

Wandaufbau von innen nach außen:

*Tabelle 3: Aufbau Außenwand*

Innenwandputz	d=1,5 cm
KS-Mauerwerk	d=24 cm
Minerale Dämmplatten	d=26 cm
Mineralischer Außenputz	d=2,5 cm

## 2.4 Anlagentechnik

### Anlagensteuerung

Die gesamte Haustechnik und alle von den Sensoren und Zählern übermittelten Messwerte werden in der von der Firma *Hermos* entwickelten Software *FIS#* zusammengeführt. Über diese Plattform wurden mittels *Excel*-Berichten die notwendigen Daten wöchentlich übermittelt. Diese Daten sind die Grundlage für alle anschließenden Auswertungen. Außerdem wurden die folgenden Grafiken der Anlagentechnik aus der Software verwendet. Die Software bietet außerdem die Möglichkeit, eine Vielzahl von Einstellungen, wie Soll-Werte oder Grenzwerte, direkt per Fernüberwachung zu steuern.

### Wärmeerzeugung



Die Grundlage für die Bereitstellung von Wärme bildet die zentrale Wärmepumpe und die sechs 90m-tiefen Erdwärmesonden, diese sind durch einen Pufferspeicher von den drei Heizkreisen entkoppelt. Die Wärmeversorgung innerhalb des Gebäudes wird über die drei verschiedenen Heizsysteme gewährleistet: über die Zentralheizung, über die Deckenheizung und über den Lufterhitzer der Lüftungsanlage. So soll eine annähernd konstante Temperatur in den Räumen beibehalten werden. Seit dem 27. Mai 2020 wurde zusätzlich ein Kühlkreislauf eingebaut.

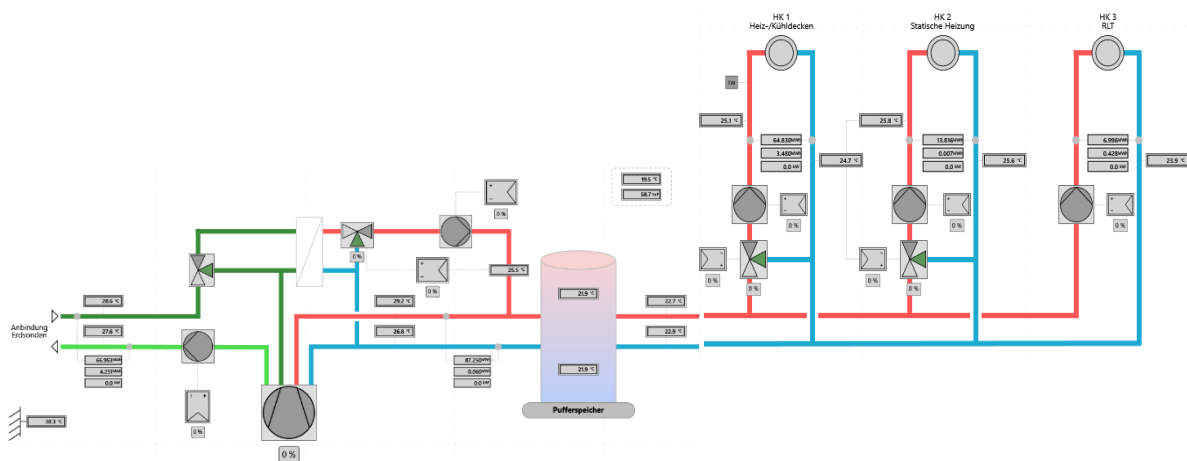


Abbildung 1: Anlagenschema der Wärmeversorgung gemäß FIS

## Stromerzeugung

Die Stromerzeugung erfolgt mittels der hauseigenen PV-Anlage, welche auf den Dachflächen installiert ist. Insgesamt sind 136 Module auf dem Flachdach aufgeständert. Diese besitzen alle eine Neigung von 10°, sind aber zur Hälfte nach Nordosten (45°) und nach Südwest (225°) orientiert. Durch ein eingebautes Oberlicht kann nicht die komplette Flachdachfläche zur PV-Stromerzeugung genutzt werden. Deshalb wurden zusätzlich 10 Module auf dem Walmdach installiert. Insgesamt können so bis zu 52,93 kWp Strom erzeugt werden, welche über zwei Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und in das Netz der Schule eingespeist werden. Die nicht selbstverbrauchte Strommenge wird den Abnehmern Hort und Gemeindeverwaltung zur Verfügung gestellt. Erst danach wird der restliche Überschuss in das allgemeine Stromnetz eingespeist.



*Abbildung 2: Solarpaneele auf dem Flachdach*

### **Lüftungsanlage**

Um die notwendige Mindestluftwechselrate gewährleisten zu können und die CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Klassenzimmern unter dem empfohlenen Grenzwert von 1000 ppm zu halten [1], wurde eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert. Sobald ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von 1000 ppm erreicht wird, wird die sonst konstante Luftwechselrate von 0,5 h<sup>-1</sup> erhöht. Die Lüftungsanlage befindet sich im nicht beheizten Dachgeschoss und besitzt laut technischem Anlagenblatt einen Rotationswärmetauscher, der 80% Wärme- und bis zu 55% Feuchterückgewinnung ermöglicht. Außerdem wurde ein Heizkreislauf der Wärmepumpe mit der Anlage verknüpft, um die Zuluft auf Temperaturen von max. 20°C vorheizen zu können.

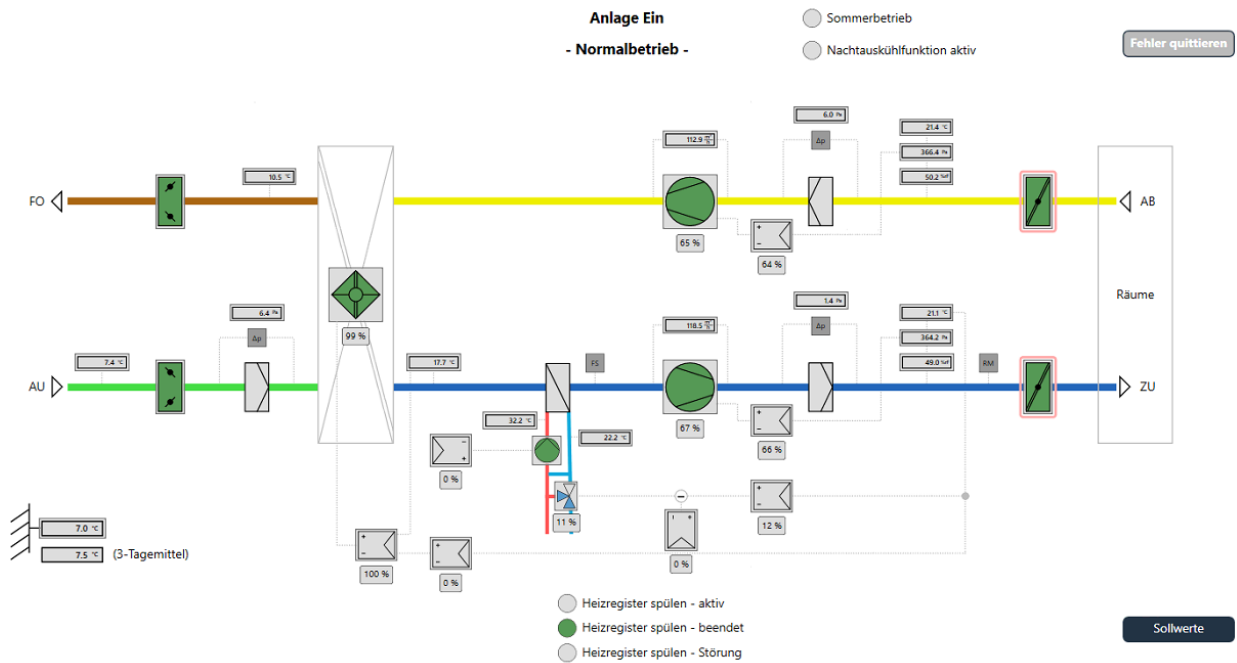


Abbildung 3: Anlagenschema Lüftung gemäß FIS



Abbildung 4: Lüftungsanlage unter dem Kaltdach

## Beleuchtung

Die Beleuchtung der Räume erfolgt über LEDs, da diese weniger Eigenwärme erzeugen und energieärmer betrieben werden können. Sie werden größtenteils nur aktiviert, wenn die Tageslichteinstrahlung allein nicht ausreicht und der mind. LUX-Wert unterschritten wird. Gesteuert wird dies über einen tageslichtabhängigen Dimmer. In den Räumen sind zudem Bewegungsmelder installiert, welche Aktivitäten erfassen und dann die Beleuchtung bei Bedarf aktivieren. Eine manuelle

Steuerung der Beleuchtung ist nur für die Beleuchtung an der Tafel vorgesehen. Eine nachträgliche Änderung der Soll-LUX-Werte war über das FIS jedoch bis August 2021 nicht möglich und muss noch eingearbeitet werden.

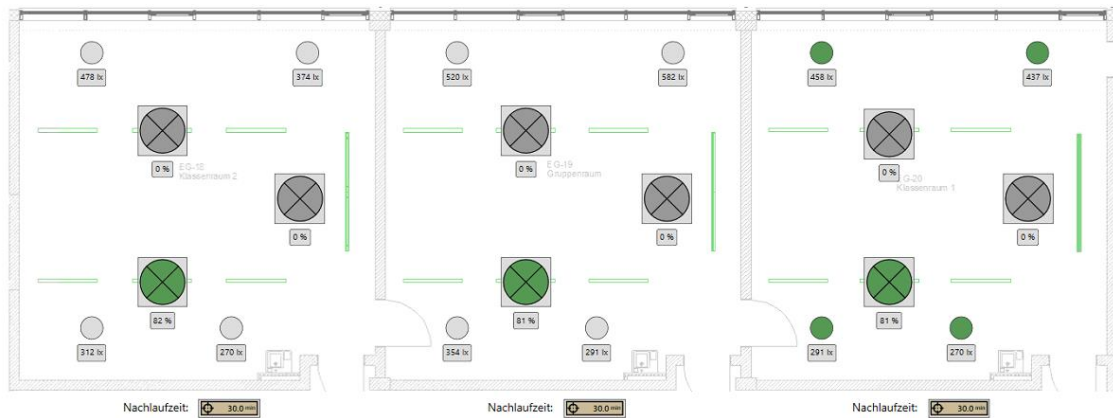


Abbildung 5: Steuerung der Klassenraumbeleuchtung gemäß FIS

### Verschattungssystem

Der Sonnenschutz wird nicht über herkömmliche Rollos erzielt, sondern über tönbares Glas, der Firma SageGlass. Die Aktivierung erfolgt mittels elektrischer Niederspannung, welche wiederum Lithium-Ionen und -elektronen in eine andere elektrochrome Schicht wandern lässt. Mit dem Aufheben der Spannung wird die Tönung der Scheibe wieder in den Ausgangszustand gebracht. Insgesamt können so drei verschiedene Schaltzustände erreicht werden, von hell mit 54% Lichttransmission bis dunkel und nur 1% Transmission. Außerdem besitzen die Gläser 3 Zonen (oben, mitten, unten), um unterschiedliche Verdunklungseinstellungen je nach Einstrahlwinkel der Sonne zu ermöglichen. Weitere Verschattungselemente wurden nicht installiert.



Abbildung 6: Verdunkelungszonen eines Außenfensters

## 2.5 Energiebedarf und Energiedeckung gemäß Vorplanung

Die Firma *IPROconsult* führte während der Planung eine Simulation des Energiebedarfes zur Nachweisführung des Nullenergiestandards durch. Diese wurde mit den Planungsdaten Stand 2016 durchgeführt, somit ergibt sich die Tatsache, dass der IST-Zustand des Gebäudes sich durchaus von der Planungsgrundlage unterscheidet. So ging man damals vom Einsatz außenliegender Lamellenverschattung aus und schloss die Notwendigkeit eines aktiven Kühlbetriebes im Sommer aus. Außerdem wurden andere Solarpaneele verbaut und die Lage dieser den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Auch die autarke PV-Stromnutzung mittels Batterieanlage wurde nicht umgesetzt und eine nachträgliche unentgeltliche Einspeisung ins öffentliche Stromnetz realisiert, um die Effizienzhaus Plus-Bedingungen des Fördermittelgebers einhalten zu können.

Das hygrothermale Gebäudeverhalten und die Funktion der Anlagentechnik wurden in *SimulationX* mit der Modellsprache *Modelica* simuliert. Als Erkenntnisse können festgehalten werden, dass keine aktive Kühlung notwendig ist, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration in allen Räumen als gut (<1200ppm) eingestuft wurde und dass eine PV-Anlage mit ca. 40 kWp Leistung ausreicht, um den Bedarf zu decken.

Tabelle 4: Elektroenergiebezüge in kWh/a

Elektroenergieverbrauch	Beleuchtung	3227 kWh/a
	Lüftungstechnik	6220 kWh/a
	Betriebsmittel	4025 kWh/a
Wärmebedarf Warmwasserabnahme	WC	5307 kWh/a
	Arzt	77 kWh/a
	Ausgabeküche	1990 kWh/a
	Warmwasserbereiter	607 kWh/a
Bezugswert Elektroenergie	Wärmebereitstellung	9677 kWh/a
	Hilfsenergie	1942 kWh/a
	<b>Gesamt</b>	<b>33072 kWh/a</b>

Insgesamt ergibt sich, wie in Tabelle 4 dargestellt, ein simulierter Strombedarf von ca. 33080 kWh/a, welche sich über die Monate wie folgt verteilen:

Tabelle 5: Auswertung der resultierenden monatlichen Elektroenergiebezüge und Erzeugung in kWh durch eine 40,02 kWp PV-Anlage

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Gesamt
PV-Ertrag	750	1181	2439	3885	4971	5150	4750	4313	3041	1799	846	534	33639
Strombedarf	4724	3144	3718	2122	2351	2613	1046	822	2787	1928	3734	4091	33080
Eigenverbrauch Simulation	599	526	1539	1455	1724	1916	794	549	1667	788	609	362	12528
Einspeisung Simulation	151	655	900	2430	3247	3234	3956	3764	1374	1011	217	172	21111

In Tabelle 5 wird gezeigt, dass die Schule laut Simulation den Nullenergiestandard erfüllt, da in der Jahresbilanz genau so viel Energie regenerativ erzeugt, wie bezogen wird.

Da die Förderbedingungen der SAB eine Berechnung nach DIN 18599 fordern, wurde diese ebenfalls durchgeführt. Der nach Norm benötigte Strombedarf lag bei 48288 kWh/a, und schlüsselt sich wie folgt auf:

Tabelle 6: Endenergiebedarf nach DIN 18599

Heizung	23501 kWh/a
Lüftung	7615 kWh/a
Beleuchtung	11625 kWh/a
Warmwasser	5547 kWh/a
<b>Gesamt</b>	<b>48288 kWh/a</b>

Zur Deckung dieses Bedarfs wäre eine Anlage mit einer Leistung von 56,80 kWp notwendig. Tatsächlich wurde eine Anlage mit einer Leistung von 52,93 kWp installiert, da die örtlichen Begebenheiten wie Dachfläche und Denkmalschutz keine größere Leistung ermöglichten.

Zusätzlich sollte die überschüssige Energie, die in den Sommermonaten anfällt, durch die umliegenden Gebäude der Gemeinde genutzt werden. Hierfür kommen der Hort und das Jagdschloss mit der Gemeindeverwaltung in Frage. In der frühen Planungsphase war ebenfalls eine Ladestation für E-Fahrzeuge im Gespräch, die jedoch nicht umgesetzt wurde. Der Strombedarf von Hort und Jagdschloss wurde durch vergleichbare Objekte abgeschätzt, laut Simulation ist es möglich, den gesamten Strombedarf mittels der PV-Stromproduktion zu kompensieren und somit den Nachweis des Nullenergiestandards zu erfüllen. Die restlichen Überschüsse sollten in einer Batterie gespeichert werden. Diese autarke Stromversorgung wurde jedoch im weiteren Planungsprozess verworfen und eine kostenlose Einspeisung ins öffentliche Netz mit dem Netzbetreiber vereinbart.

### 3 Monitoring

#### 3.1 Messkonzept

Das Messkonzept des Monitorings beinhaltet die Erfassung von Strombilanzen des gesamten Gebäudes, Stromverbräuchen der Nutzereinheiten, sowie der Anlagentechnik und des PV-Strombezuges des Hortes. Gleichzeitig werden auch Erzeugung und Verbrauch von Wärmemengen aufgezeichnet. Auch die vorhandene Lüftungsanlage wird überwacht. In den Klassenräumen werden zusätzlich die Temperaturen und die CO<sub>2</sub>-Gehalte gemessen. Auf dem Dach der Schule befindet sich außerdem eine Wetterstation, um die Wetterbedingungen dokumentieren zu können. Die folgende Grafik zeigt alle mittels separaten Sensoren, bzw. Zählern erfasste Messstellen für Strom und Wärmemengen, welche für die Bilanzierung genutzt werden. Da ein Zähler für den Gesamtverbrauch der Schule nicht eingebaut wurde, musste die Bilanzierung mittels der Summe der einzelnen Zähler erfolgen. Der Schulverbrauch ergibt sich aus der Summe der Zähler S4-S8 und S31.

Außerdem wurde der Stromverbrauch für die verbaute Messtechnik bezüglich der Bilanzierung nicht separat gemessen, sondern wurde bei der Anlagensteuerung mit eingegliedert. Ob diese zusätzlichen Verbräuche bei der vorherigen Ermittlung des Strombedarfes berücksichtigt wurden ist nicht ersichtlich.

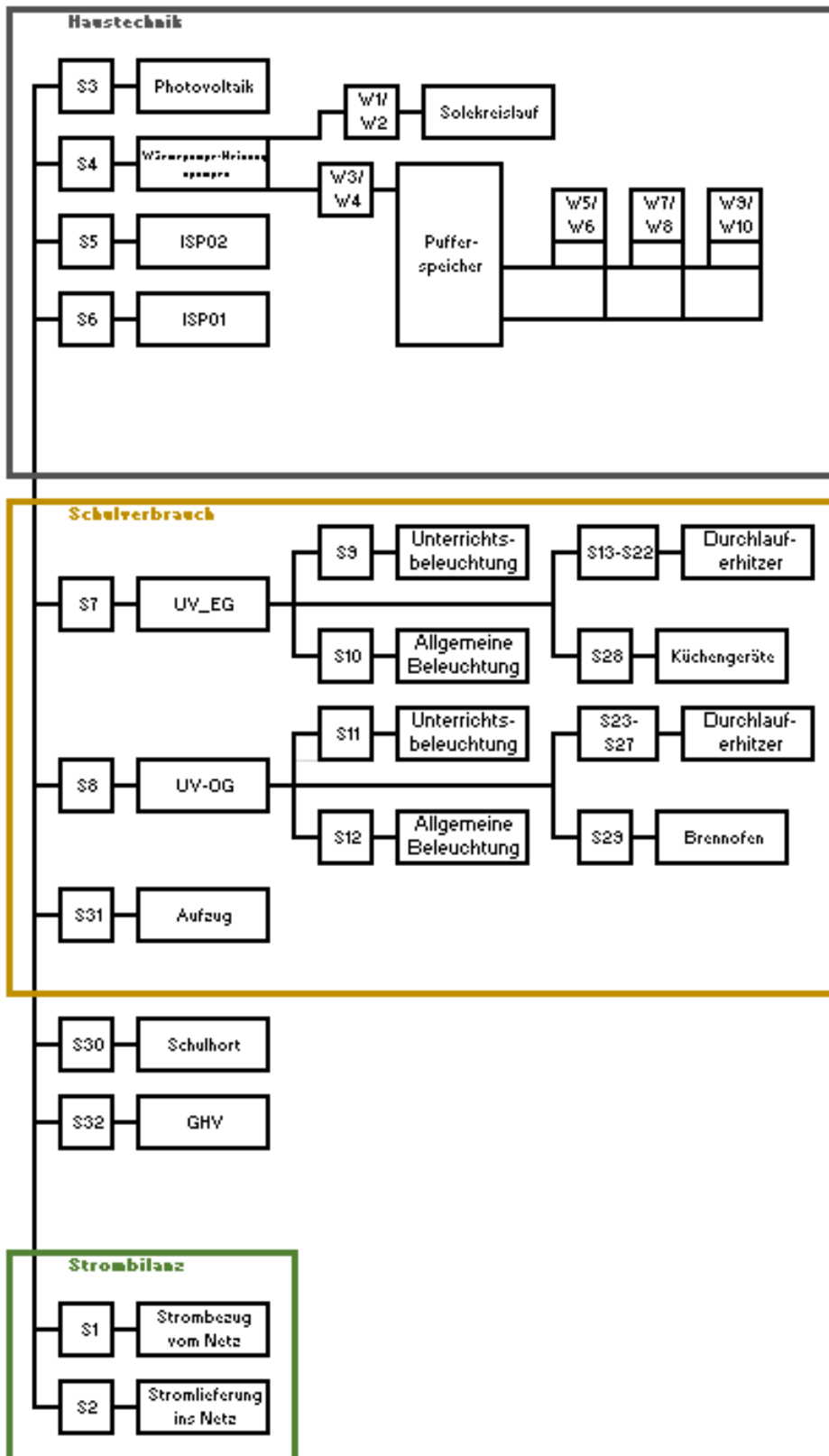


Abbildung 7: Messkonzept

<b>Messstellenliste</b>	
S1	Strombezug vom Netz
S2	Stromlieferung ins Netz
S3	Stromerzeugung Photovoltaik
S4	Elektrische Energie - Wärmepumpe
S5	Elektrische Energie - ISP02 (Lüftungsanlage)
S6	Elektrische Energie - ISP01(Anlagensteuerung)
S7	Elektrische Energie - UV-EG
S8	Elektrische Energie UV-OG
S9	Elektrische Energie - Unterrichtsbel. EG
S10	Elektrische Energie Allg. Beleuchtung EG
S11	Elektrische Energie - Unterrichtsbel. OG
S12	Elektrische Energie Allg. Beleuchtung OG
S13	Elektrische Energie - WC-H EG-27
S14	Elektrische Energie - WC-D EG-28
S15	Elektrische Energie - Ausgabeküche EG-08
S16	Elektrische Energie - Lehrerzimmer EG-05
S17	Elektrische Energie - Arzt EG-06
S18	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer Beh. WC-EG16
S19	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer Umkleide EG-10
S20	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer Küche EG-08
S21	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer WC-H EG-30
S22	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer WC-D EG-29
S23	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer WC-D OG-23
S24	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer WC-H OG-24
S25	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer WC-D OG-12
S26	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer WC-H OG-11
S27	Elektrische Energie - Durchlauferhitzer OG09
S28	Elektrische Energie - Küchengeräte
S29	Elektrische Energie - Brennofen OG06
S30	Elektrische Energie - Abgang Hort
S31	Elektrische Energie - Aufzug
S32	Elektrische Energie - Einspeisung Gemeindehauptverwaltung
W1	Wärmeenergie Solekreise-Heizen
W2	Wärmeenergie Solekreis-Kühlen
W3	Wärmeenergie - Wärmeerzeugung - Heizen
W4	Wärmeenergie - Wärmeerzeugung - Kühlen
W5	Wärmeenergie - Heizkreis 1 - Heizen
W6	Wärmeenergie - Heizkreis 1 - Kühlen
W7	Wärmeenergie - Heizkreis 2 - Heizen
W8	Wärmeenergie - Heizkreis 2 - Kühlen
W9	Wärmeenergie - Heizkreis 3 - Heizen
W10	Wärmeenergie Heizkreis 3 - Kühlen
<b>Wetterstation</b>	<b>Nutzerverhalten</b>
Außenlufttemperatur relative Luftfeuchtigkeit Globalstrahlung	Raumlufttemperaturen CO2-Gehalt von Klassenzimmern

Abbildung 8: Messstellenliste



## 3.2 Verwendete Messtechnik

Tabelle 7: Verwendete Messtechnik

Messort/ -art	Messtechnik
Energiezähler	Modbus RTU
Wärmepumpe	BACnet MS/TP
Wärmemengenzähler	M-Bus
Wetterstation	Modbus RTU
PV-Anlage	EEBUS

## 3.3 Datenausfall

Obwohl die eigentliche Messperiode im September 2019 beginnen sollte, wurden die ersten verwertbaren Daten erst gegen Ende des Jahres übermittelt. Erst ab Mitte April wurden alle notwendigen Messstellen im richtigen Format an die HTWK geschickt. Die Werte aus dem Zeitraum vom Oktober bis April wurden deshalb manuell, soweit vorhanden, aus dem Überwachungssystem *FIS* übernommen. Außerdem gab es bis zum 25.5.2020 täglich zwischen 0:00 Uhr und 2:00 Uhr eine Datenübertragungslücke, die durch ein Update behoben wurde.

Einige geforderte Stromzähler aus dem geplanten Messkonzept fehlen oder wurden erst nachträglich hinzugefügt. Ab dem 29.5.2020 wurde der Stromzähler für die PV-Anlage eingebaut, der jedoch unrealistische Werte liefert. Deshalb werden die Daten der PV-Anlage aus dem separaten Monitoringprogramm *sunnyportal* ausgelesen. Dies betrifft die Zähler Strombezug aus dem Netz (S1), Stromlieferung ins Netz (S2), PV-Ertrag (S3) und den Eigenverbrauch des Gebäudekonglomerats (Schule, Hort und Verwaltung).

Am 01.06.2020 wurde der Zähler, der den Energieverbrauch im Hort misst, installiert. Dieser ist notwendig, um die Differenz zwischen Gesamtverbrauch und Schulverbrauch ermitteln zu können. Am gleichen Tag wurde auch der Zähler für den Brennofen hinzugefügt.

Der Zähler zur Datierung der Stromeinspeisung in die Gemeinde Hauptverwaltung (S32) wurde am 1.6.2020 nachträglich eingebaut, lieferte aber erst ab dem 18.6.2020 um 07:45 Uhr Messergebnisse, welche jedoch nicht benötigt wurden. Einen Tag später wurde ein dritter zusätzlicher Verbrauchszähler, der für den Aufzug, eingebaut. Außerdem gab es am 19.08.2020 von 09:15 bis 10:30 einen Stromausfall und somit eine weitere Messdatenlücke.

Vom 17.2.2021 um 15:35 Uhr bis 19.4.2021 um 10 Uhr lieferte der Zähler S9 (Stromverbrauch Unterrichtsbeleuchtung EG) keine Messwerte. Jedoch wurde der korrekte Zählerstand mit Behebung des Problems am 19.4. übermittelt, der Sprung wurde gleichmäßig über den Zeitraum aufgeteilt um den Fehler möglichst gering zu halten.

Am 31.05.2021 wurden zwischen 15:30 und 16:00 Uhr von allen Sensoren keine Werte übermittelt, seit diesem Zeitpunkt lieferte der Sensor S16 (Stromverbrauch Durchlauferhitzer Lehrerzimmer) keine Messwerte mehr.

Am 25.6. wurden zwischen 3:15 Uhr und 4:45 Uhr ebenfalls keine Messwerte geliefert, nach dieser Unterbrechung übermittelte jedoch der Sensor S16 wieder Daten.

### 3.4 Dokumentation

Die Datenaufzeichnung im FIS erfolgte im 15 Minuten Intervall über verschiedene Bus-Systeme. Die Messwerte wurden der HTWK einmal pro Woche als .csv-Format per E-Mail gesendet und anschließend in einem Tabellenkalkulationsprogramm (*MS Excel*) aufbereitet und auf Auffälligkeiten untersucht. Die Daten aus dem *sunnyportal* wurden ebenfalls mittels .csv-Format in die Bilanzierung eingepflegt.

### 3.5 Schulspezifische Randbedingungen

Aufgrund der Corona-Pandemie, die seit Mitte März 2020 andauert, wurden die Schulen während des Monitoring-Zeitraums insgesamt dreimal geschlossen. Der erste Lockdown dauerte vom 18.03.20 bis zum 17.05.20 an, kurz vor Weihnachten (15.12.) wurden die Schulen erneut geschlossen und öffneten erst nach den Winterferien am 08.02. wieder. Ein drittes Mal fand der Unterricht vom 22.03.2021 bis 12.05.2021 nur zu Hause statt. In diesen Zeiträumen wurde eine Notbetreuung im Schulgebäude eingerichtet. Insgesamt waren zwar weniger Schüler anwesend, das Gebäude war aber dennoch nahezu vollständig in Nutzung. Außerdem wurde in dieser Zeit das Lüftungskonzept um manuelle Stoßlüftung ergänzt, wodurch ein höherer Wärmeenergiebedarf in den Heizperioden nicht ausgeschlossen werden kann.

Während der Ferienzeiten (außer Weihnachtsferien) wurde nur der Speiseraum für das Mittagessen der Hortkinder genutzt, außerdem hielten sich zeitweise einige Lehrer im Gebäude auf. Andere Nutzungen des Gebäudes im Messzeitraum sind nicht übermittelt worden.

## 4 Meteorologische Randbedingungen

### 4.1 Solarstrahlung

Abbildung 7 zeigt die von der Wetterstation gemessene Solarstrahlung als Tagesmittelwert und den Tagesertrag der PV-Anlage. Es lässt sich sehr deutlich erkennen, dass mit abnehmender Sonneneinstrahlung, auch die Solarpaneele weniger Energie erzeugen. In den Monaten Januar und Februar wurden die Module zeitweise durch Schnee bedeckt, weshalb keine Stromproduktion möglich war. Eine genauere Betrachtung dieses Sachverhaltes erfolgt im Abschnitt 8.5

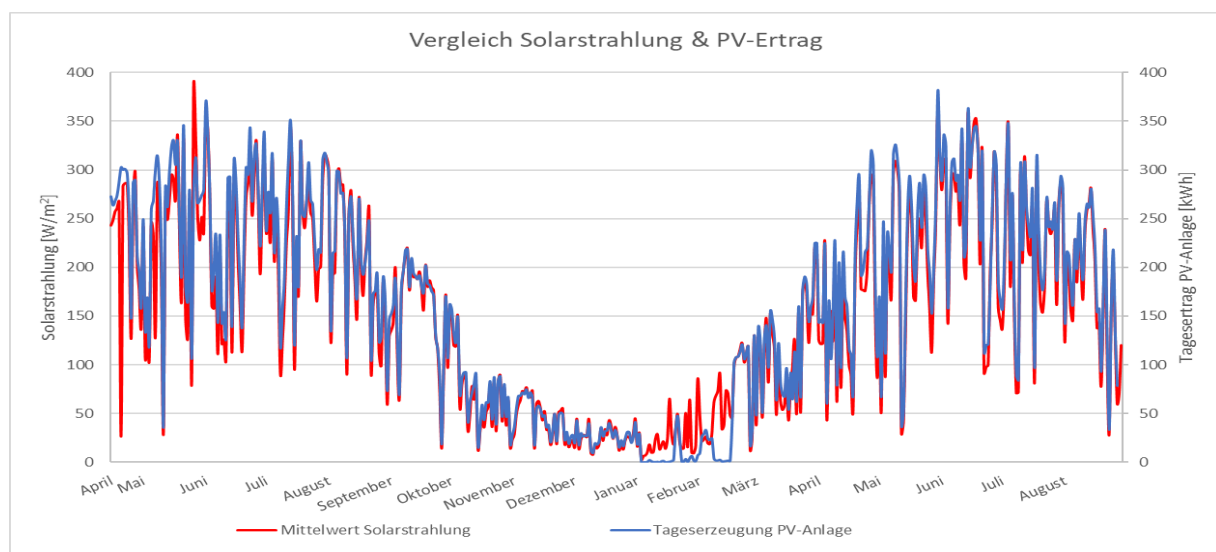


Abbildung 9: Darstellung der gemessenen Globalstrahlung und PV-Ertrag

In der folgenden Tabelle sind die Monatsmittelwerte der Solarstrahlung aus dem Monitoring im Vergleich zum langjährigen Mittel dargestellt. Die Daten für das langjährige Mittel stammen aus der Datenbank des Deutschen Wetterdienstes für ortsgenaue Testreferenzjahre. Für den Standort der Grundschule ist das TRJ2015\_512795129320\_Jahr. Für den untersuchten Zeitraum ergibt sich für die Globalstrahlung eine Abweichung von lediglich 3,82W/m<sup>2</sup>.

Tabelle 8: Vergleich Global Strahlung und PV-Leistung

Monat	Mittlere Globalstrahlung	Langjähriges Mittel	Differenz	Leistung PV-Anlage
	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kWh]
Mai 20	225,62	213,33	12,29	7686,04
Juni 20	227,22	209,06	18,17	7471,84
Juli 20	234,01	217,27	16,74	7759,7
August 20	195,63	199,90	-4,27	6304,71
September 20	156,88	129,48	27,40	4834,04
Oktober 20	71,19	81,79	-10,60	2237,85
November 20	45,18	41,15	4,03	1401,89
Dezember 20	25,47	24,69	0,78	826,78
Januar 21	24,12	33,88	-9,76	193,23
Februar 21	65,80	60,64	5,16	1303,04
März 21	112,32	104,06	8,26	3743,06
April 21	160,43	168,98	-8,55	5375,87
Mai 21	205,09	213,33	-8,24	7020,13
Juni 21	252,21	209,06	43,15	7932,41
Juli 21	218,36	217,27	1,09	7175,99
August 21	170,76	199,90	-29,14	5492,79
Mittelwert	149,06	145,24	+3,82	4797,46

## 4.2 Wetterdaten

Abbildung 8 zeigt die am Standort der Grundschule gemessene Außentemperatur und die relative Luftfeuchte im Tagesmittel, sowie die Temperatur im langjährigen Mittel (TRY). Zusätzlich sind in Tabelle 9 die monatlich gemittelten Werte noch einmal aufgeführt.

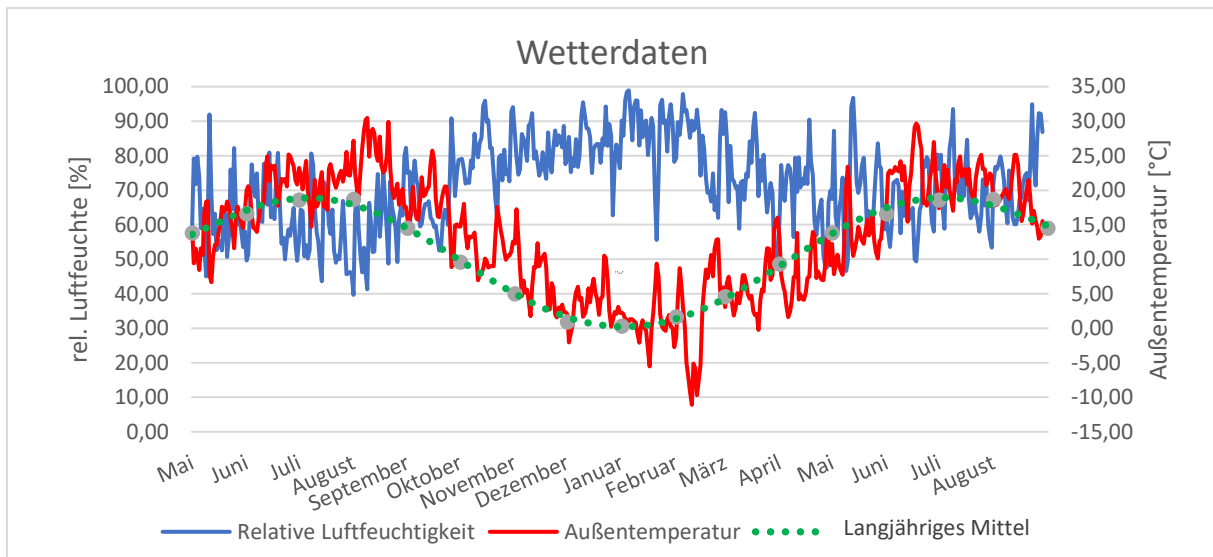


Abbildung 10: Gemessene Außenlufttemperatur im Vergleich zur relativen Luftfeuchte und dem langjährigen Mittel

Tabelle 9: Außentemperatur und rel. Luftfeuchte

Monat	Mittlere Außentemperatur	Langjährige mittlere Außentemperatur	Differenz	Mittlere relative Luftfeuchte
	[°C]	[°C]	[K]	[%]
Mai 20	14,02	13,80	0,22	62,97
Juni 20	20,43	16,60	3,83	63,55
Juli 20	21,02	18,60	2,42	57,44
August 20	23,67	18,70	4,97	60,40
September 20	17,93	14,50	3,43	67,08
Oktober 20	11,99	9,60	2,39	79,76
November 20	6,66	5,00	1,66	81,72
Dezember 20	3,69	0,93	2,76	82,67
Januar 21	0,93	0,33	0,60	87,83
Februar 21	2,13	1,65	0,48	82,40
März 21	6,29	4,58	1,71	72,93
April 21	7,67	9,30	-1,63	68,77
Mai 21	13,16	13,80	-0,64	69,63
Juni 21	22,69	16,60	6,09	65,78
Juli 21	21,55	18,60	2,95	69,83
August 21	18,44	18,70	-0,26	75,01
Mittelwert	13,27	11,33	1,94	71,74

Im Vergleich zu den Referenzdaten ergibt sich eine Differenz von +1,94 K, dies ist der Mittelwert aus den Differenzen von Mai 2020 bis August 2021. Das heißt, dass die Außentemperatur 1,94°C wärmer war als das langjährige Mittel.

## 5 Messergebnisse

Im folgenden Kapitel sind die Messergebnisse der Messperiode vom 01.05.2020 bis zum 31.04.2021, sowie der Messperiode vom 01.09.2020 bis 01.08.2021 dargestellt. Monatliche Messwerte befinden sich in Form von Tabellen im Anhang A dieses Abschlussberichtes. Für den Zeitraum vom 01.10.2019 bis zum Beginn der ersten Messperiode liegen nur monatliche Daten der Stromzähler vor, sie werden deshalb nur zum Vorjahresvergleich herangezogen.

### 5.1 Wärmeerzeugung

In der 1. Messperiode wurden insgesamt 101,2 MWh Wärmeenergie erzeugt, dafür wurden 24,9 MWh Strom aufgewendet. Daraus ergibt sich eine Arbeitszahl von 4,07. In der 2. Messperiode wurden 102,8 MWh Wärmeenergie erzeugt mit einem Stromverbrauch von 25,2 MWh. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe betrug 4,08. Im Mittel über beide Messperioden betrug die Arbeitszahl 4,075, verglichen mit der Angabe des Herstellers von 4,73, liegt der Messwert etwas unterhalb. Abbildung 9 zeigt die monatlichen Wärmemengen/Strombeträge über den gesamten Betrachtungszeitraum.

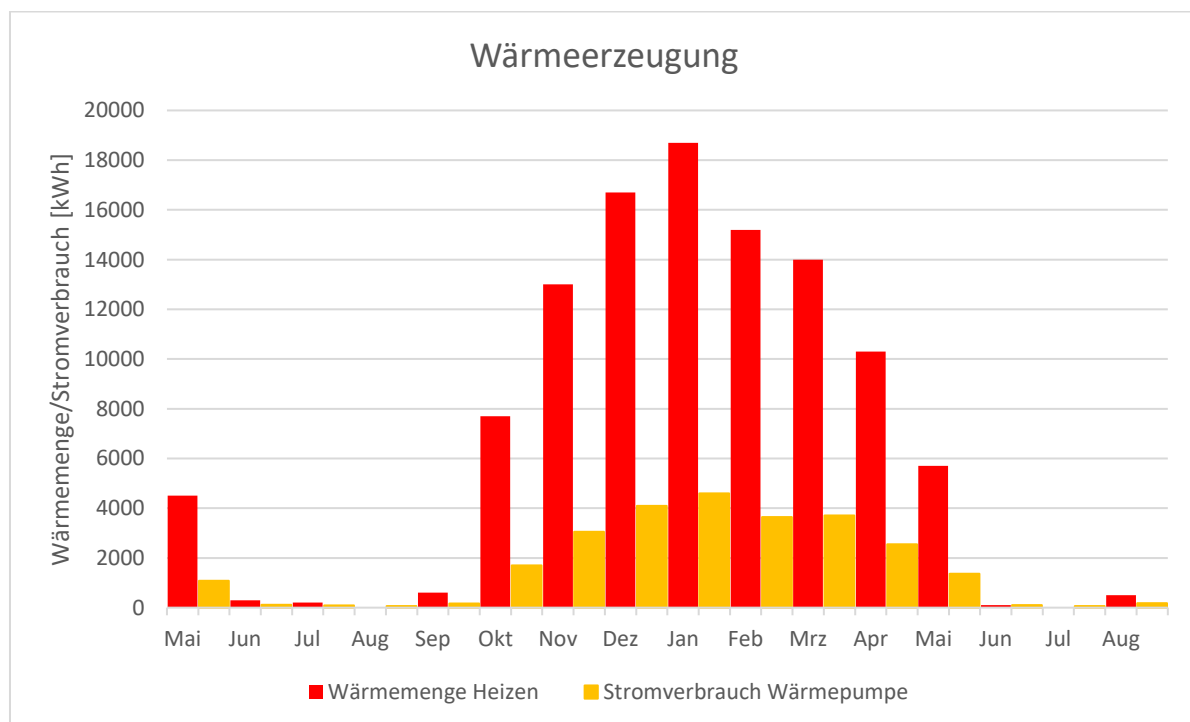


Abbildung 11: Wärmeerzeugung

In der nachfolgenden Tabelle sind der Stromverbrauch der Wärmepumpe, sowie die gewonnene Wärme je Monat und die daraus resultierende Arbeitszahl im Vergleich zur Außentemperatur dargestellt. Bei geringen Außentemperaturen muss mehr Wärme zum Heizen bereitgestellt werden, wodurch der Stromverbrauch der Wärmepumpe steigt. Da die Wärmepumpe im Sommer auch zum kühlen des Gebäudes genutzt wird, sinkt der Stromverbrauch nicht komplett auf Null.

Tabelle 10: Stromverbrauch Wärmepumpe und erzeugte Wärme

Monat	Stromverbrauch Wärmepumpe	erzeugte Wärme	Außentemperatur	Arbeitszahl
	[kWh]	[MWh]	[°C]	[-]
Mai 20	1080,90	4,60	12,76	4,26
Jun 20	112,30	0,30	19,12	2,67
Jul 20	93,50	0,20	19,73	2,14
Aug 20	64,60	0,00	21,98	0,00
Sep 20	164,40	0,60	16,15	3,65
Okt 20	1697,30	7,70	11,34	4,54
Nov 20	3051,60	13,00	6,42	4,26
Dez 20	4098,30	16,70	3,52	4,07
Jan 21	4599,30	18,70	0,50	4,07
Feb 21	3644,80	15,20	1,28	4,17
Mrz 21	3709,00	14,00	5,21	3,77
Apr 21	2550,10	10,30	6,59	4,04
Mai 21	1361,70	5,80	12,15	4,26
Jun 21	97,40	0,10	20,99	1,03
Jul 21	65,70	0,00	20,22	0,00
Aug 21	185,60	0,70	17,56	3,77

## 5.2 Lüftungsanlage

Nachfolgend wird der monatliche Stromverbrauch der Lüftungsanlage in kWh dargestellt. Vergleicht man die Verbräuche der identischen Zeiträume im Jahr 2021 mit 2020, so fällt eine deutliche Zunahme auf.

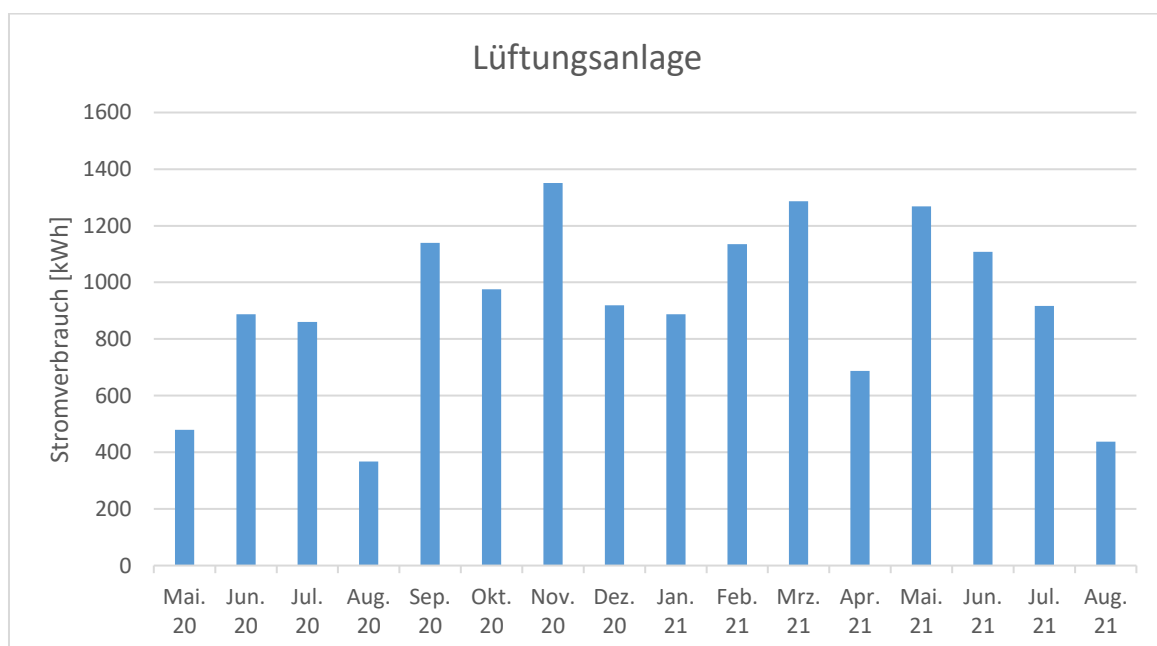


Abbildung 12: Stromverbrauch der Lüftungsanlage

Um dies genauer zu analysieren, wurde der Stromverbrauch und der Druck, welcher die Aktivität der Lüftungsanlage beschreibt, stundenweise betrachtet.

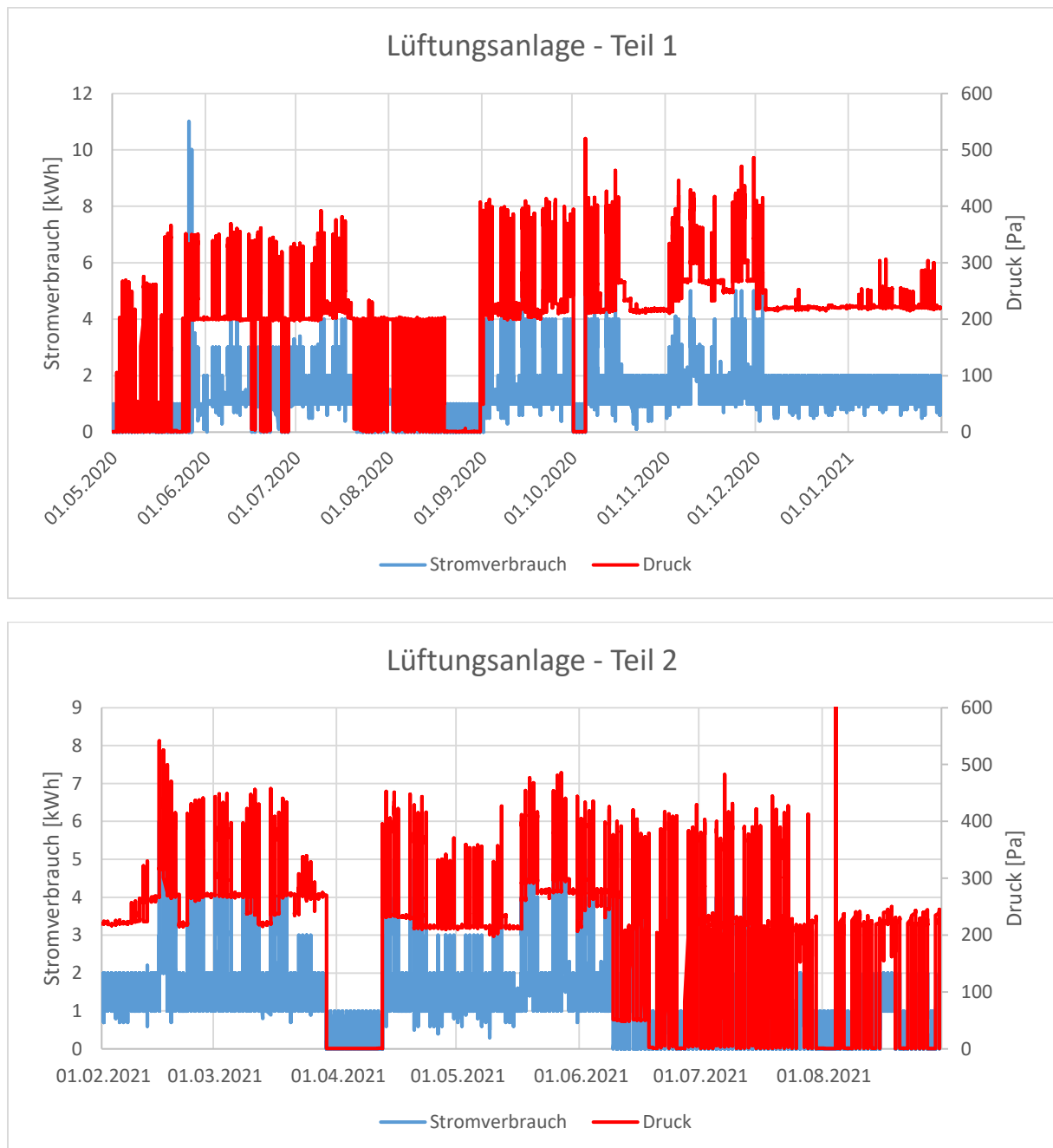


Abbildung 13: Aktivität Lüftungsanlage

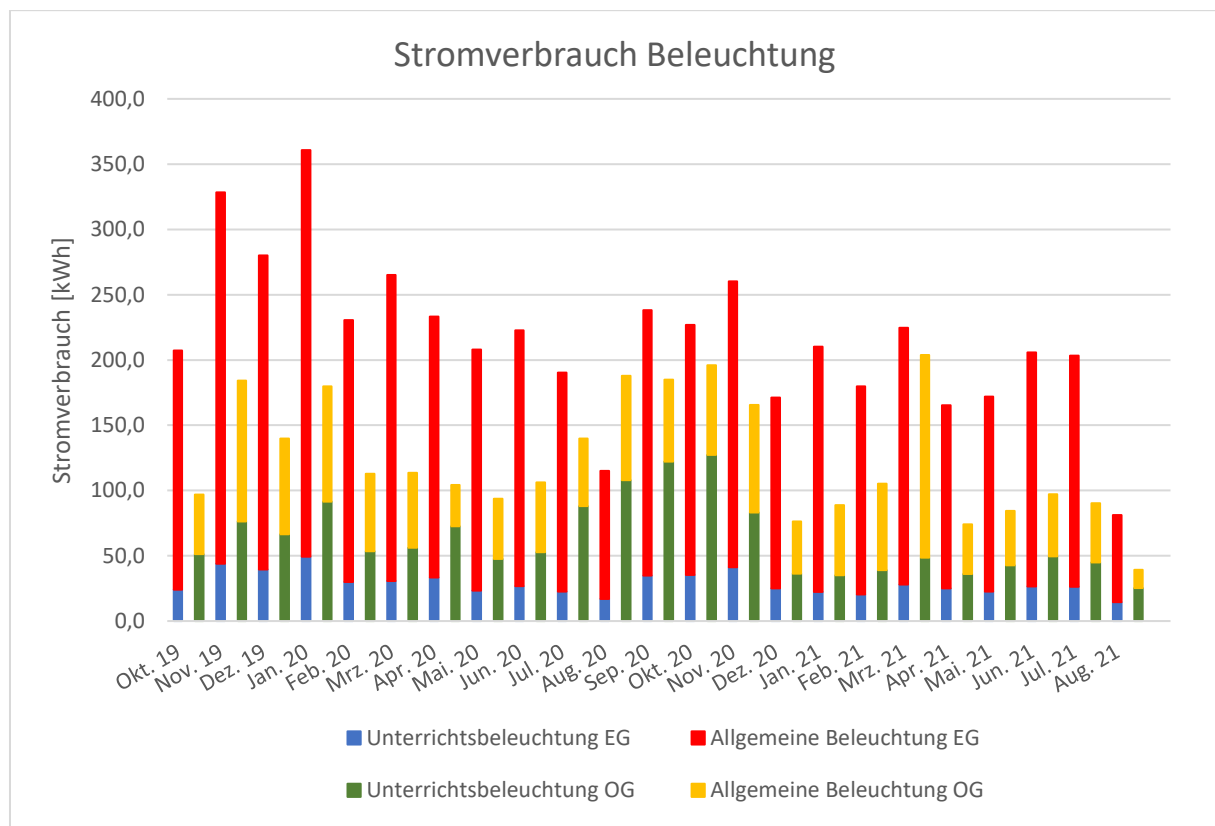
An dieser Stelle ist aufgefallen, dass die Lüftungsanlage nicht mehr zwischen Schulbetrieb und Ferien oder Wochenende unterscheidet. Zu Beginn der Datenerfassung sank der Stromverbrauch regelmäßig auf den Wert 0 kWh. Seit dem 31.08.2020 war dies nur noch zweimal der Fall, zum einen etwa um den 3.10.2020, zum anderen während der Osterferien 2021. In der restlichen Zeit, bis die Ursache gefunden werden konnte, stellte sich ein Grundverbrauch von rund 1,5 kWh pro Stunde ein und auch der Druck in der Lüftungsanlage erreichte nicht mehr den Wert 0 Pa. Dieser hohe Grundstromverbrauch, würde sich im Sommer durch die freie Nachtauskühlung erklären lassen, allerdings ist dieser Grundstromverbrauch auch in den Wintermonaten zu beobachten.

Grund für dieses Verhalten war laut *HERMOS* die defekte Wochenschaltuhr. Am 18.06.2021 war der Hersteller vor Ort in Wermsdorf und hat die Wochenzeitschaltuhr wieder aktiviert, seitdem lässt sich tendenziell ein sinkender Stromverbrauch feststellen.

Ende September 2021 fand ein weiteres Treffen mit *Hermos*, der Gemeinde und dem IHBB statt, bei dem verschiedene Änderungen im Lüftungskonzept beschlossen wurden, welche in Kapitel 8.5 zusammengetragen wurden.

### 5.3 Beleuchtung

Im dargestellten Diagramm ist der Stromverbrauch in kWh für die Beleuchtung pro Monat, aufgeschlüsselt in die allgemeine Beleuchtung und die Unterrichtsbeleuchtung im Ober- und Untergeschoss des Schulgebäudes.



Auffällig ist der deutlich höhere Stromverbrauch im Erdgeschoss im Vergleich zum Obergeschoss, der vor allem aus dem hohen Verbrauch der allgemeinen Beleuchtung resultiert. Ebenso fällt auf, dass während der Schulferien, in denen nur der Speiseraum in Benutzung war, dennoch Strom in den Klassenzimmern und dem Obergeschoss verbraucht wurde. Dies dürfte eigentlich nicht der Fall sein, da die Beleuchtung nur durch Bewegungsmelder aktiviert wird. Aufgrund dessen wurde eine genauere Analyse einzelner Schulwochen durchgeführt. Insgesamt wurden 3 verschiedene Wochen analysiert, eine Regelschulwoche, eine Ferienwoche und eine Woche während der Schulschließung aufgrund der Corona-Pandemie. Wobei der „Tag“ den Zeitraum von 06:00 Uhr bis 16:00 Uhr abdeckt und die „Nacht“ den Zeitraum davor und danach, also von 0:00 Uhr bis 6:00 Uhr und von 16:00 Uhr bis 0:00 Uhr. Diese Analyse wurde einmal im Jahr 2020 durchgeführt und zum Vergleich ein weiteres Mal im Mai 2021. Der Zähler S10 steht hierbei für die allgemeine Beleuchtung im EG und S12 entspricht der allgemeinen Beleuchtung im OG.



Tabelle 11: Stromverbrauch der allgemeinen Beleuchtung in EG und OG in kWh

2020	Tag	Nacht	Tag	Nacht	2021	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Normale Schulwoche:	<b>S10</b>	<b>S10</b>	<b>S12</b>	<b>S12</b>	Normale Schulwoche	<b>S10</b>	<b>S10</b>	<b>S12</b>	<b>S12</b>
<b>Mo 08.06.20</b>	5,0	2,7	1,2	0,5	<b>Mo 17.05.21</b>	5,5	1,8	1,3	0,6
<b>Di 09.06.20</b>	7,2	2,5	1,7	0,7	<b>Di 18.05.21</b>	6,5	1,6	1,5	0,9
<b>Mi 10.06.20</b>	5,6	3,1	1,4	0,6	<b>Mi 19.05.21</b>	5,7	1,9	2,6	0,8
<b>Do 11.06.20</b>	7,0	2,4	1,8	0,5	<b>Do 20.05.21</b>	6,2	1,3	1,9	0,9
<b>Fr 12.06.20</b>	5,2	0,5	1,4	0,2	<b>Fr 21.05.21</b>	5,6	1,2	1,5	0,4
<b>Sa 13.06.20</b>	0,3	0,9	0,1	0,2	<b>Sa 22.05.21</b>	0,2	0,3	0,1	0,1
<b>So 14.06.20</b>	0,9	2,6	0,1	0,3	<b>So 23.05.21</b>	0,3	0,3	0,1	0,2

In der Regelschulwoche lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen dem Stromverbrauch im Erdgeschoss und im Obergeschoss zu erkennen, teilweise unterscheiden sich die Werte um einen Faktor größer 2. Im Tages- und Nachtvergleich lässt sich zwar eine Verringerung erkennen, jedoch wird auch in der Nacht Strom für die Beleuchtung verbraucht. Außerdem unterscheidet sich der Nachtverbrauch unter der Woche von dem am Wochenende. Im Vergleich zum Vorjahr lassen sich keine Auffälligkeiten feststellen.

Tabelle 12: Stromverbrauch der allgemeinen Beleuchtung in EG und OG in kWh

2020	Tag	Nacht	Tag	Nacht	2021	Tag	Nacht	Tag	Nacht
1. Lockdown	<b>S10</b>	<b>S10</b>	<b>S12</b>	<b>S12</b>	3. Lockdown	<b>S10</b>	<b>S10</b>	<b>S12</b>	<b>S12</b>
<b>Mo 20.04.20</b>	0	7,4	0	1,0	<b>Mo 12.04.21</b>	7,7	1,2	2,8	0,3
<b>Di 21.04.20</b>	4,0	4,2	0	1,4	<b>Di 13.04.21</b>	7,5	0,2	1,5	0,6
<b>Mi 22.04.20</b>	5,0	4,5	0	1,1	<b>Mi 14.04.21</b>	6,2	1,0	2,9	0
<b>Do 23.04.20</b>	5,0	2,7	0	0,8	<b>Do 15.04.21</b>	7,0	0,8	1,4	0,6
<b>Fr 24.04.20</b>	5,0	1,6	0	0,7	<b>Fr 16.04.21</b>	7,0	0,6	2,3	0,1
<b>Sa 25.04.20</b>	0	1,5	0	0,2	<b>Sa 17.04.21</b>	0,4	0,3	0,2	0,1
<b>So 26.04.20</b>	0	2,7	0	0,8	<b>So 18.04.21</b>	1,3	0,1	0,1	0,1

Im Zeitraum des ersten Lockdowns wurde im Obergeschoss tagsüber kein Strom für die Beleuchtung verbraucht, während im Erdgeschoss im Vergleich zur Regelschulwoche weniger Strom verbraucht wurde. Jedoch wurde auch in diesem Zeitraum in der Nacht Strom in einer Größenordnung, welche mit der Regelschulwoche vergleichbar ist, verbraucht. Auffällig ist der hohe Verbrauch am Wochenende. Während des dritten Lockdowns ähnelt der Stromverbrauch eher dem der Regelschulwoche. Dies lässt sich auch durch die Notbetreuung erklären, die im Schulgebäude stattfand, da zwar weniger Kinder anwesend waren, diese sich jedoch im ganzen Gebäude verteilt haben.

Tabelle 13: Stromverbrauch der allgemeinen Beleuchtung in EG und OG in kWh

Sommerferien 2020	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Sommerferien 2021	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	S10	S10	S12	S12		S10	S10	S12	S12
<b>Mo 03.08.20</b>	1,0	1,6	0	0,4	<b>Mo 02.08.21</b>	2,2	0,3	0,1	0,2
<b>Di 04.08.20</b>	0	1,6	0	0,2	<b>Di 03.08.21</b>	1,4	0,9	0,1	0,1
<b>Mi 05.08.20</b>	0	1,5	0	0,3	<b>Mi 04.08.21</b>	1,4	1,2	0,2	0,1
<b>Do 06.08.20</b>	0	1,6	0	0,2	<b>Do 05.08.21</b>	2,3	0,5	0,1	0,3
<b>Fr 07.08.20</b>	1,0	0,7	0	0,3	<b>Fr 06.08.21</b>	1,4	0,8	0,2	0,3
<b>Sa 08.08.20</b>	0	0,9	0	0,3	<b>Sa 07.08.21</b>	0,3	0,3	0,1	0,1
<b>So 09.08.20</b>	0	0,9	0	0,3	<b>So 08.08.21</b>	0,3	0,5	0,2	0,1

Während der Sommerferien 2020 wurde tagsüber sowohl im Erdgeschoss als auch im Obergeschoss kaum bis gar kein Strom verbraucht. Jedoch stieg auch hier der Verbrauch in der Nacht an, wenn auch nicht auf ein so hohes Niveau wie in der Regelschulwoche. Im gleichen Zeitraum 2021 wurde im Obergeschoss die Beleuchtung kaum genutzt, nur im Erdgeschoss war sie sowohl am Tag als auch nachts aktiv, jedoch lässt sich auch hier eine Verringerung im Vergleich zur Regelschulwoche feststellen.

Außerdem wurde der Zeitraum über Weihnachten vom 21.12.2020 – 27.12.2020 betrachtet. In dieser Zeit war das Schulgebäude laut Schulleitung nicht in Benutzung. Jedoch wird auch in dieser Zeit durch die allgemeine Beleuchtung 16,5 kWh Strom verbraucht. Aus den Betriebsmeldungen aus dem FIS-Archiv geht hervor, dass die Alarmanlage in dieser Woche mehrmals unscharf geschaltet wurde, sowie im Zeitraum vom 23.12.2020 bis 25.12.2020 gänzlich abgeschaltet war.

Tabelle 14: Stromverbrauch der allgemeinen Beleuchtung in EG und OG in kWh

Weihnachten 2020	Tag	Nacht	Tag	Nacht
	S10	S10	S12	S12
<b>Mo 21.12.20</b>	1,4	1,7	0,1	0,3
<b>Di 22.12.20</b>	2,4	1,8	0,7	0,2
<b>Mi 23.12.20</b>	0,7	1,4	0,2	0,2
<b>Do 24.12.20</b>	0,7	1	0,1	0,1
<b>Fr 25.12.20</b>	0,7	1	0,1	0,1
<b>Sa 26.12.20</b>	0,3	0,3	0,2	0,1
<b>So 27.12.20</b>	0,3	0,2	0,1	0,1

Insgesamt konnte anhand der Betriebsmeldungen festgestellt werden, dass in der Zeit, in der Strom durch die Beleuchtung verbraucht wurde, die Alarmanlage unscharf geschaltet war und die Bewegungsmelder eine Aktivität erkannt haben. Das bedeutet, dass grundsätzlich kein Anlagenfehler vorliegt, sondern die Schule auch außerhalb der üblichen Nutzungszeiten betreten wird.

Auch wenn der Verbrauch für die Beleuchtung außerhalb der üblichen Nutzungszeiten pro Tag nur sehr gering war, so wurden über ein Jahr betrachtet rund 1200 kWh Strom zwischen 18:00 Uhr und 06:00 Uhr verbraucht, dies entspricht 30% des Gesamtverbrauches der Beleuchtung.

## 5.4 Raumklima

### 5.4.1 Innenraumtemperaturen

Das dargestellte Diagramm zeigt den Temperaturverlauf in den einzelnen Klassenzimmern im Vergleich zur Außenlufttemperatur.

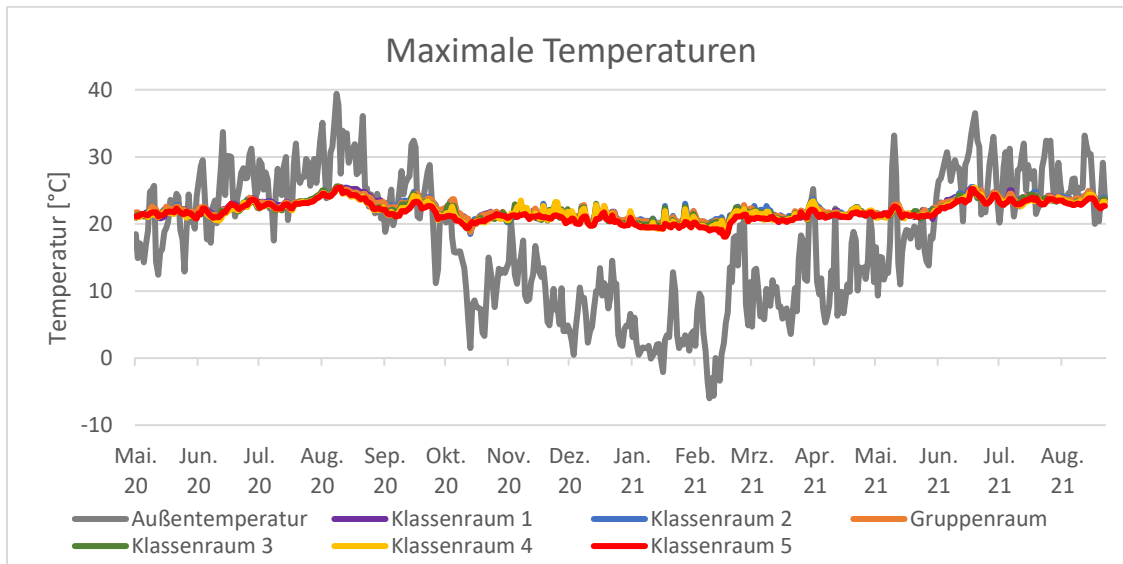


Abbildung 14: Verlauf maximale Temperaturen

Positiv zu bewerten ist der relativ konstante Verlauf der Innenraumtemperaturen. Jedoch wurde die empfohlene Temperatur in Schulen von 19-21 °C in den Sommermonaten um bis zu 4°C überschritten. Während der hohen Außentemperaturen war die Schule nicht belegt, da im Zeitraum vom 18.07.-30.08.2020 Sommerferien waren. Im Winter sank die maximale Temperatur in den Räumen kurzzeitig unter die empfohlenen 19°C. Im Juni 2021 gab es zunächst Kritik durch die Schulleitung über die hohen Temperaturen in den Räumen (ca. 25°C), woraufhin Einstellungen an der Lüftungsanlage vorgenommen wurden. Bis September blieben die Temperaturen trotz der hohen Außentemperaturen unter 25 °C. Durch die geplanten Anpassungen an der RLT soll die freie Nachtauskühlung (FNA) im Sommer verbessert werden, damit der Sollwert von 21°C für die Klassenräume noch seltener überschritten wird.

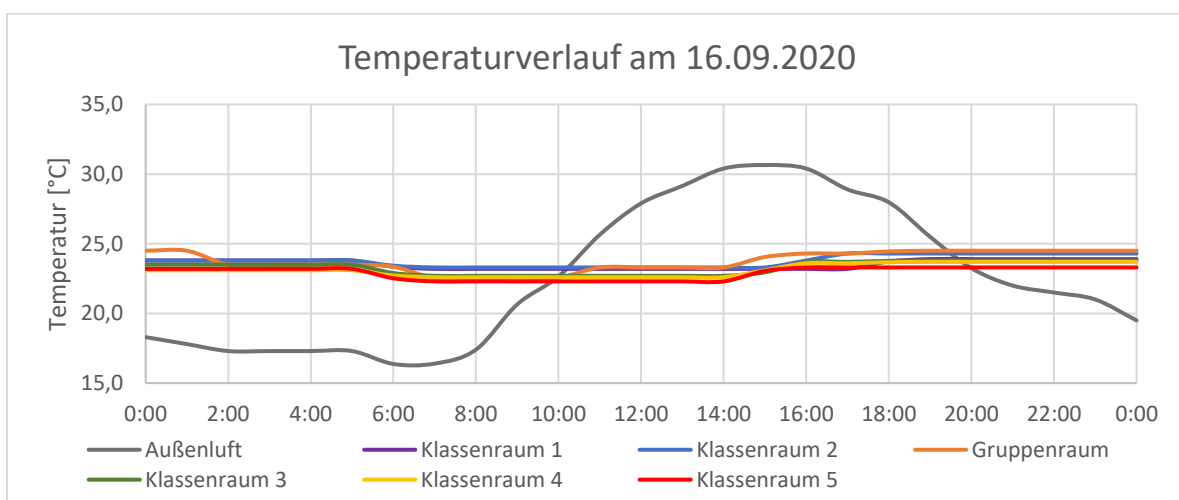


Abbildung 15: Tagesverlauf der Klassenraumtemperaturen im Vergleich zur Außentemperatur am 16.09.2020

Abbildung 14 zeigt den Verlauf der stündlichen Maximaltemperatur am 16.09.2020. Während sich bei den Außentemperaturen eine Differenz von etwa 14K innerhalb der 24 Stunden ergab, blieb die Temperatur in den Klassenräumen nahezu konstant. Die Schwankung betrug lediglich 2K. Dies zeigt sehr deutlich, dass die FNA noch nicht ihren vollen Nutzen bringt. Obwohl es nachts Außentemperaturen von 16-18°C gab, konnten die Raumtemperaturen nicht auf den Sollwert von 21°C herabgesenkt werden. Dies soll durch einen verbesserten FNA-Betrieb nachgeregelt werden.

Zur Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes wurden die Übertemperaturgradstunden nach *DIN 4108-2* berechnet. Hierfür wird Deutschland in drei Sommerklimaregionen unterteilt, um die Adaption der Menschen an ihre jeweiligen Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen. Die Gemeinde Wermsdorf liegt in der Region B, woraus der Bezugswert der Innenraumtemperatur von 26°C resultiert. Diese Temperatur darf in einem Nichtwohngebäude um 500 Kh/a überschritten werden. D.h. liegt die Temperatur eine Stunde bei 28°C, entspricht dies 2 Kh. In den Messperioden wurden 26°C zu keinem Zeitpunkt überschritten, der sommerliche Wärmeschutz kann somit als sehr gut bewertet werden.

#### 5.4.2 CO<sub>2</sub>-Konzentration

Das dargestellte Diagramm zeigt die maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration im Verlauf der Messperiode. Hierbei ist jeweils nur der Tageshöchstwert dargestellt und nicht der Mittelwert. Dies ist notwendig, um den für den Schulbetrieb vorgeschriebenen Grenzwert von 1000ppm zu überprüfen. Dieser sollte nur in kurzen Zeitspannen überschritten werden. Ein Mittelwert würde durch die niedrige CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Nacht die Aussagekraft verringern.

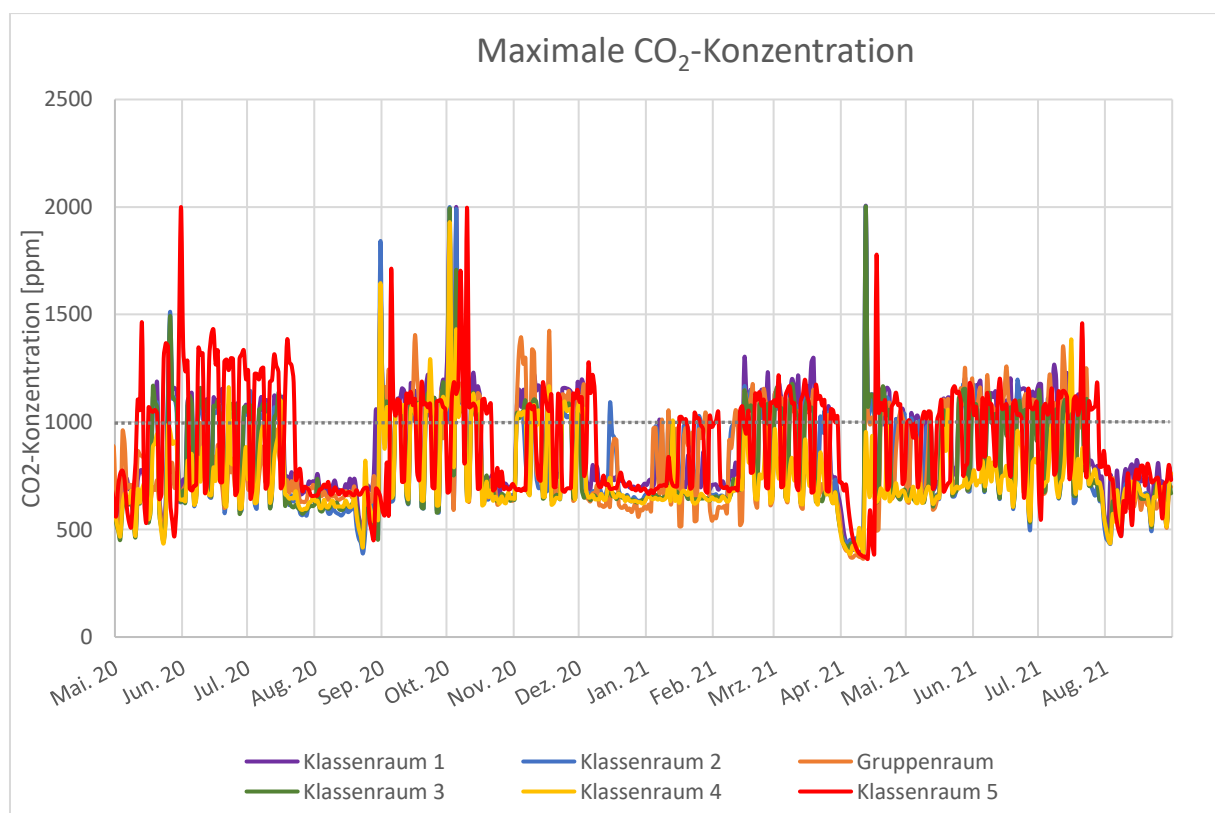


Abbildung 16: Verlauf maximale CO<sub>2</sub>-Konzentration

Das Diagramm zeigt, dass es nahezu täglich zu Überschreitungen des empfohlenen Grenzwertes von 1000 ppm kommt, an einzelnen Tagen wurden Spitzenwerte von 2000 ppm in einigen Klassenzimmern

erreicht. [2] Die großen Schwankungen innerhalb einer Woche resultieren aus der 5-tägigen Schulwoche und dem anschließenden Wochenende, an dem der Grenzwert problemlos einzuhalten war. Auch im Zeitraum der Ferien zeigt sich eine sehr konstante CO<sub>2</sub>-Konzentration.

Besonders auffällig sind die Ausschläge bis zu 2000 ppm. Betrachtet man jedoch den Tagesverlauf, ist erkennbar, dass dieser Zustand nur von sehr kurzer Dauer (ca. einer Stunde) ist. Im Jahr 2021 konnte außerdem nur nach den Osterferien ein solch hoher Ausschlag festgestellt werden.

In den folgenden Diagrammen ist der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration innerhalb einer Schulwoche im Jahr 2020 und im gleichen Zeitraum ein Jahr später dargestellt. In beiden Diagrammen ist zu erkennen, dass die maximalen Werte nur innerhalb der Schulzeiten erreicht werden und am Abend wieder sinken. Im Vergleich zum Vorjahr lassen sich 2021 keine besonders hohen Ausschläge in Raum 5 feststellen.

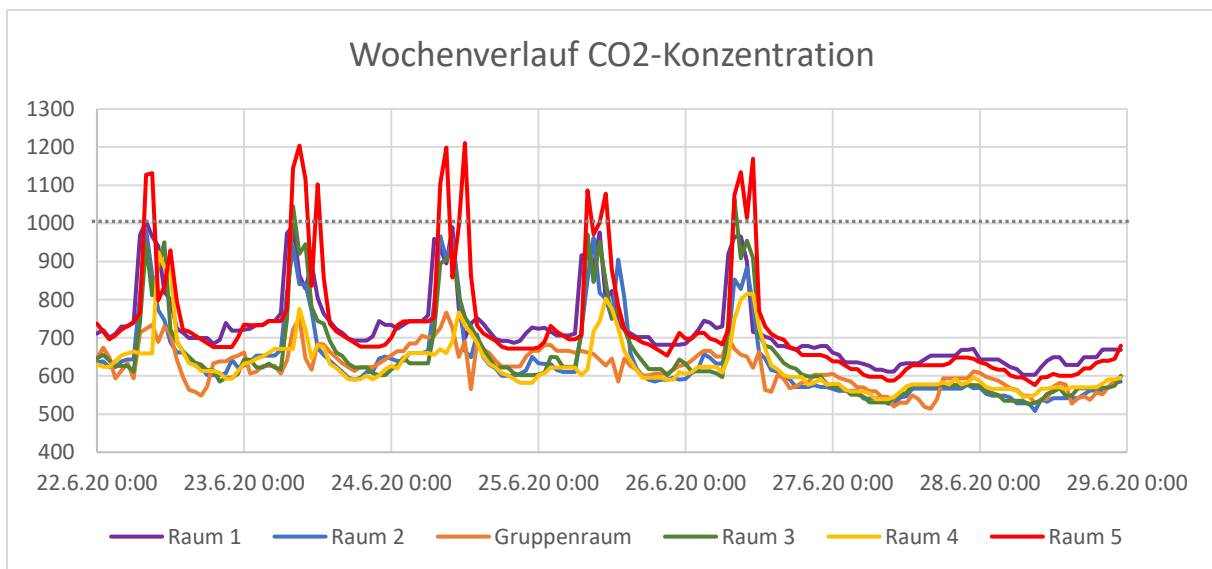


Abbildung 17: Wochenverlauf CO<sub>2</sub>-Konzentration 2020

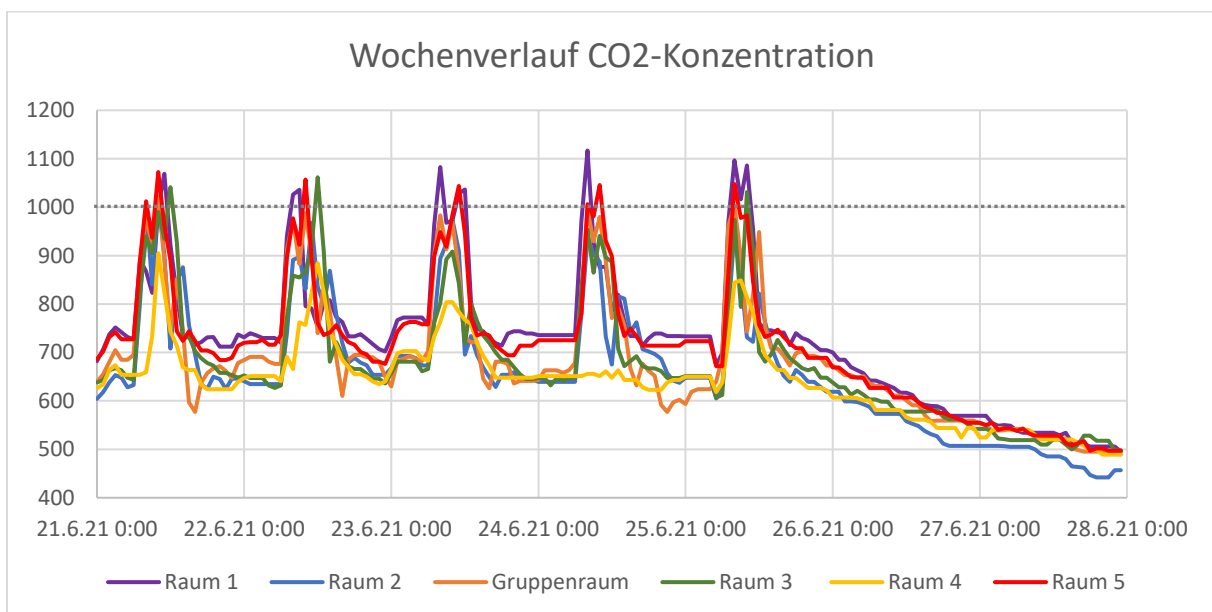


Abbildung 18: Wochenverlauf CO<sub>2</sub>-Konzentration 2021

Abbildung 16 und 17 zeigen den stündlichen Verlauf der maximalen CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Klassenräumen. Gegen 7 Uhr zeigt der Graph ein erstes Maximum, bis etwa 12 Uhr blieb die Konzentration auf hohem Niveau. Erst danach zeigt sich ein steiler Abfall und ein anschließender konstanter Verlauf.

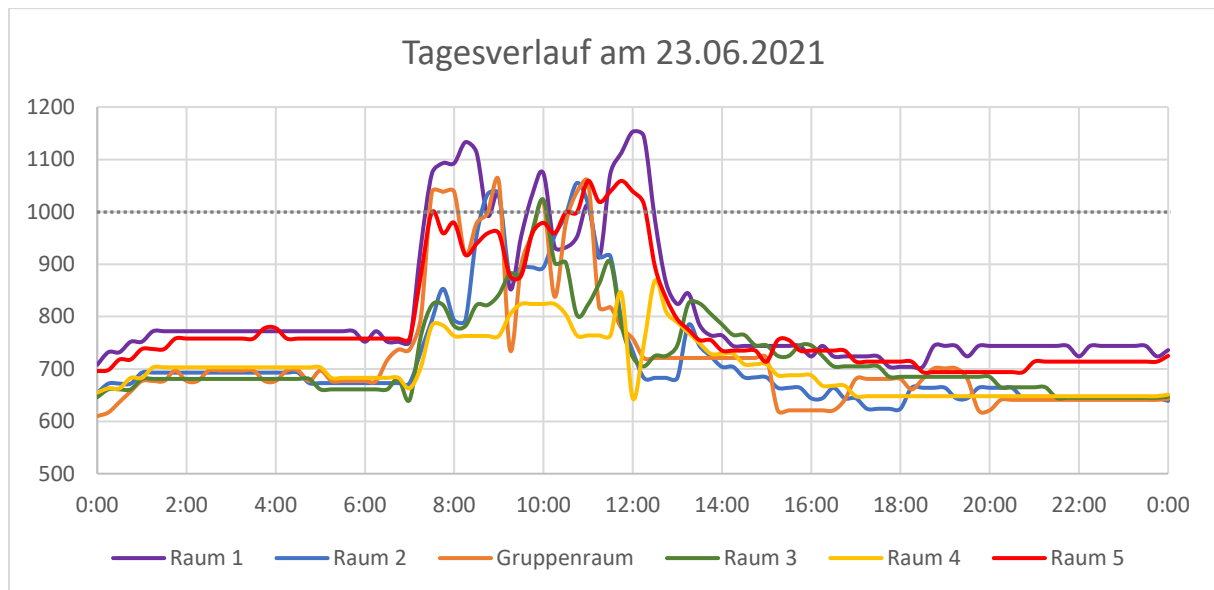


Abbildung 19: Tagesverlauf CO<sub>2</sub>-Konzentration

Abbildung 18 zeigt den stündlichen Verlauf der maximalen CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Klassenräumen. Gegen 7:00 Uhr zeigt der Graph ein erstes Maximum, bis etwa 12:00 Uhr blieb die Konzentration auf hohem Niveau. Erst danach zeigt sich ein steiler Abfall und ein anschließender konstanter Verlauf. Die Schwankungen während der Schulzeiten sind auf unterschiedliche Auslastung der Räume und die Pausenzeiten zurückzuführen.

Im Tagesverlauf zeigt sich deutlich, dass nur in einigen Klassenzimmern der Grenzwert überschritten wird, zudem ist die Überschreitung sehr gering (ca. 10%) und nur in einem kurzen Zeitraum. Dies ergibt sich daraus, dass die Lüftungsanlage erst ab dem Grenzwert von 1000ppm die Leistung erhöht und der Abbau der CO<sub>2</sub>-Konzentration somit verzögert stattfindet.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration den empfohlenen Grenzwert von 1000ppm nur kurzzeitig übersteigt und somit in einem guten Bereich liegt.

## 5.5 Stromverbrauch

### 5.5.1 Endenergieverbrauch

Die folgende Abbildung zeigt den monatlichen Stromverbrauch in kWh aufgeschlüsselt nach verschiedenen Kategorien. Die Rubrik „Heizung“ beinhaltet den Verbrauch der Wärmepumpe und den dazugehörigen Hilfsstrom (Pumpen für Heizkreisläufe), in der Gruppe „Warmwasser“ wurden die Stromverbräuche der Durchlauferhitzer zusammengefasst. Zur „Beleuchtung“ zählen die Verbräuche der Leuchtmittel in den Klassenräumen und die der allgemeinen Beleuchtung im Gebäude. In die Rubrik „Lüftungsanlage+Hilfstechnik“ fallen auch die Hilfsströme für die Messtechnik. Unter „Elektrogeräte“ wurden die Zähler des Brennofens, des Aufzuges und alle anderen Geräte ohne eigenen Zähler, welche auf das Nutzungsverhalten zurückzuführen sind, zusammengeführt.

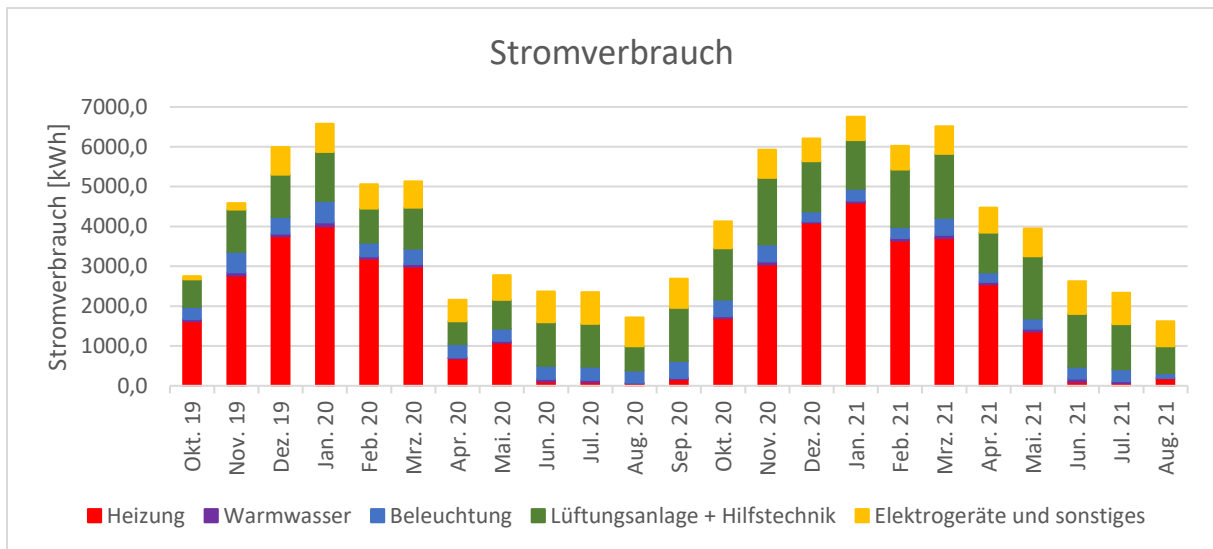


Abbildung 20: Stromverbrauch pro Monat

### 5.5.2 Gegenüberstellung Stromverbrauch und Stromgewinnung

In der nachfolgenden Tabelle ist der Endenergieverbrauch der Schule und die erzeugte Energie durch die PV-Anlage dargestellt. Weiterhin ist die Differenz zwischen den beiden aufgeführt. Negative Werte bedeuten hierbei, dass mehr Strom verbraucht als erzeugt wurde. Dies war in der Heizperiode von Oktober bis März der Fall. Durch die geringere Solarstrahlung im Winter kann der Strombedarf für den Heizbetrieb durch die PV-Produktion nicht mehr gedeckt werden.

Tabelle 15: Gegenüberstellung Stromerzeugung und Stromgewinnung

Monat	Stromerzeugung PV [kWh]	Stromverbrauch [kWh]	Differenz [kWh]
<b>Oktober 19</b>	-	2753,3	-2753,3
<b>November 19</b>	-	4588,3	-4588,3
<b>Dezember 19</b>	-	5990,8	-5990,8
<b>Januar 20</b>	-	6578,6	-6578,6
<b>Februar 20</b>	-	5055,3	-5055,3
<b>März 20</b>	4237,9*	5129,2	-891,3
<b>April 20</b>	7382,5	2161,0	5221,5
<b>Mai 20</b>	7686,0	2779,9	4906,1
<b>Juni 20</b>	7471,8	2365,9	5105,9
<b>Juli 20</b>	7759,7	2350,4	5409,3
<b>August 20</b>	6304,7	1714,6	4590,1
<b>September 20</b>	4834,0	2691,8	2142,2
<b>Oktober 20</b>	2237,8	4127,7	-1889,9
<b>November 20</b>	1401,9	5925,0	-4523,1
<b>Dezember 20</b>	826,8	6206,4	-5379,6
<b>Januar 21</b>	193,2	6758,0	-6564,8
<b>Februar 21</b>	1303,0	6027,1	-4724,1
<b>März 21</b>	3743,0	6510,7	-2767,6
<b>April 21</b>	5375,9	4470,2	905,7
<b>Mai 21</b>	7020,1	3950,7	3069,4
<b>Juni 21</b>	7932,4	2626,6	5305,8
<b>Juli 21</b>	7176,0	2331,4	4844,6
<b>August 21</b>	5492,8	1616,2	3876,6

### 5.5.3 Eigenstromnutzung

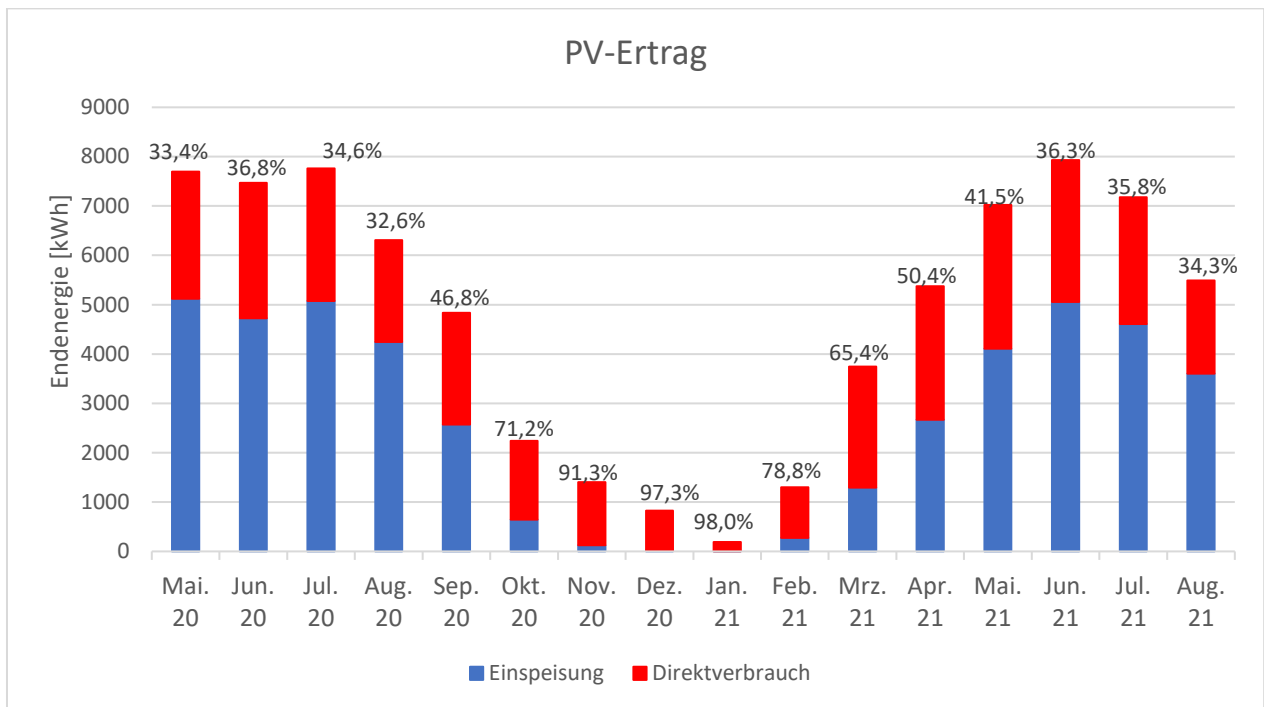


Abbildung 21: Photovoltaik-Ertrag

Abbildung 20 zeigt den durch die PV-Anlage erzeugten Strom pro Monat, welcher aufgeteilt wird in den Direktverbrauch und den ins Stromnetz eingespeisten Strom. Aus dieser Darstellung lässt sich die Eigenverbrauchsquote berechnen, welche das Verhältnis von Eigenverbrauch zu Gesamtertrag darstellt. Am größten war dieses Verhältnis in den sonnenärmeren Monaten Oktober und März. Insgesamt gilt: Je größer die Eigenverbrauchsquote, desto höher sind die eingesparten Stromkosten und desto besser die Wirtschaftlichkeit.



Abbildung 22: Eigenverbrauchsquote 1. Messperiode



Abbildung 23: Eigenverbrauchsquote 2. Messperiode

Durchschnittlich ergab sich in der 1. Messperiode eine Eigenverbrauchsquote von 45,5 %, im zweiten Abschnitt gibt es eine geringfügige Steigerung von 1,9%.



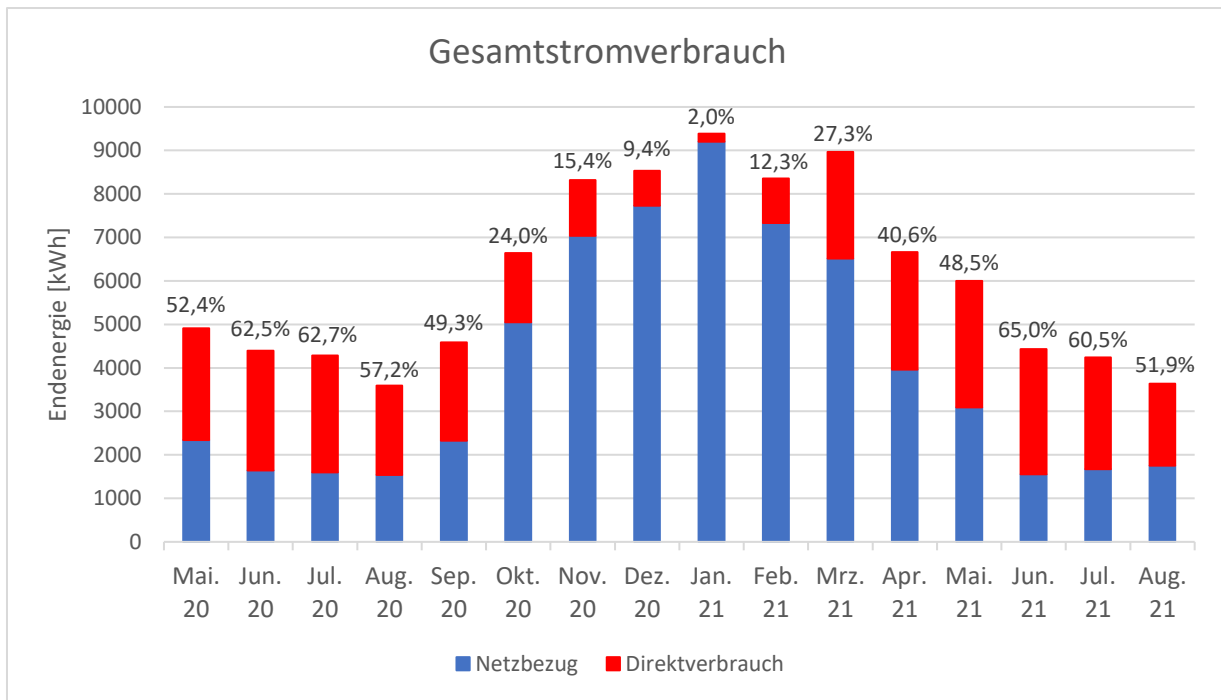


Abbildung 24: Gesamtstromverbrauch

In Abbildung 23 wird der Gesamtstromverbrauch des Konglomerats aus Schule, Hort und Gemeindeverwaltung unterteilt in den Strom aus der PV-Anlage und dem zusätzlichen bezogenen Strom aus dem Netz. Aus dieser Darstellung lässt sich die Autarkiequote berechnen, welche sich aus dem Verhältnis aus Direktverbrauch zu Gesamtverbrauch berechnet. Diese Quote war in den sonnenreichen Monaten Juni und Juli am höchsten. Es gilt: Je größer die Autarkiequote, desto unabhängiger ist das System vom Stromanbieter. Die Autarkiequote der Schule allein kann nicht ermittelt werden, da das umgesetzte Messkonzept eine Einzelbetrachtung des Direktverbrauchs der Schule nicht ermöglicht.



Abbildung 25: Eigenverbrauchsquote 1. Messperiode



Abbildung 26: Eigenverbrauchsquote 2. Messperiode

Die Autarkiequote innerhalb der ersten Messperiode betrug 28,4%, in der zweiten fand eine leichte Abnahme auf 28,3 % statt.

## 6 Bilanz der Messperioden

### 6.1 Bilanz 1. Messperiode

Im nachfolgendem Diagramm ist der Stromverbrauch der Schule nach den in Absatz 6.5.1 beschriebenen Kategorien in einem Jahr dargestellt. Überwiegend wurde der Strom durch die Anlagentechnik zum Heizen und Lüften verbraucht, nur 25% fielen bei den nutzungsabhängigen Verbräuchen an.

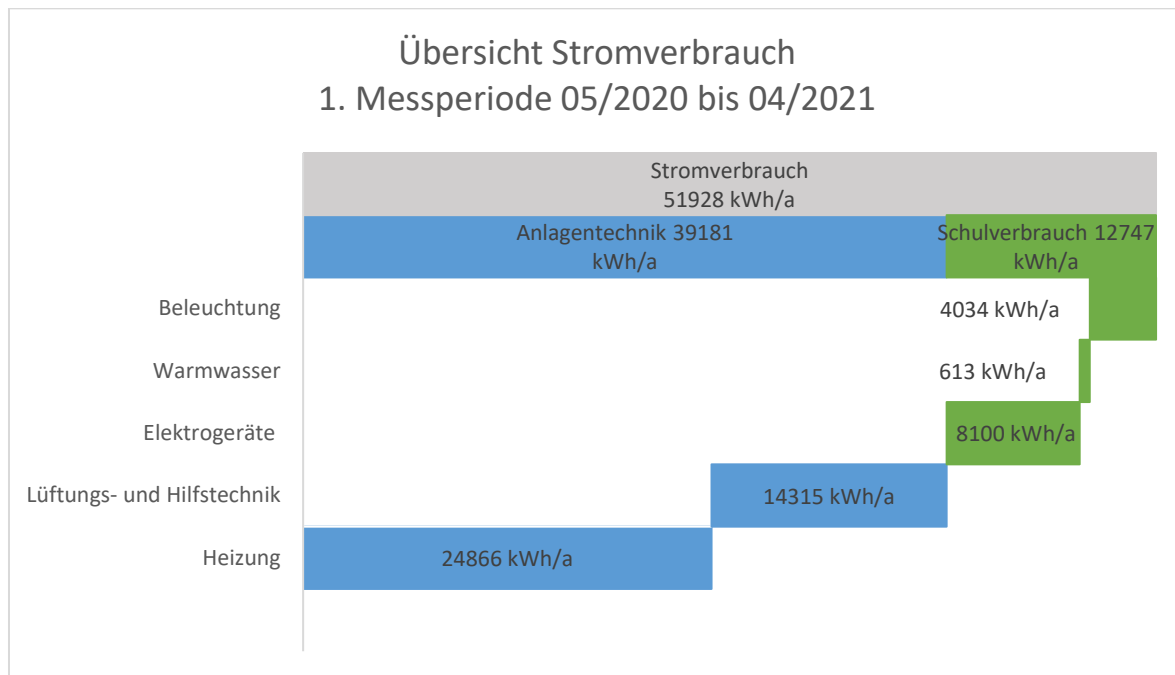


Abbildung 27: Stromverbrauch 1. Messperiode

Insgesamt wurden rund 52.000 kWh Strom verbraucht, jedoch nur ca. 49.000 kWh erzeugt, daraus resultiert ein Fehlbetrag von rund 3000 kWh. In Abbildung 28: Stromverbrauch und Stromerzeugung 1. Messperiode ist diese Bilanzierung dargestellt. Außerdem werden der Eigenstromverbrauch, die Einspeisung ins Stromnetz und der Strombezug vom Netz abgebildet, daraus können die Eigenverbrauchs- und die Autarkiequote berechnet werden. Jedoch beziehen sich diese Zahlen auf den Gebäudekomplex aus Schule, Hort und Verwaltung. Eine Trennung war aufgrund fehlerhafter verbauter Sensoren nicht möglich, des Weiteren wird der Strom erst ins Netz gespeist, nachdem der Bedarf von Hort und Verwaltung gedeckt wurde.

## Stromverbrauch und Stromerzeugung 1. Messperiode 05/2020 bis 04/2021

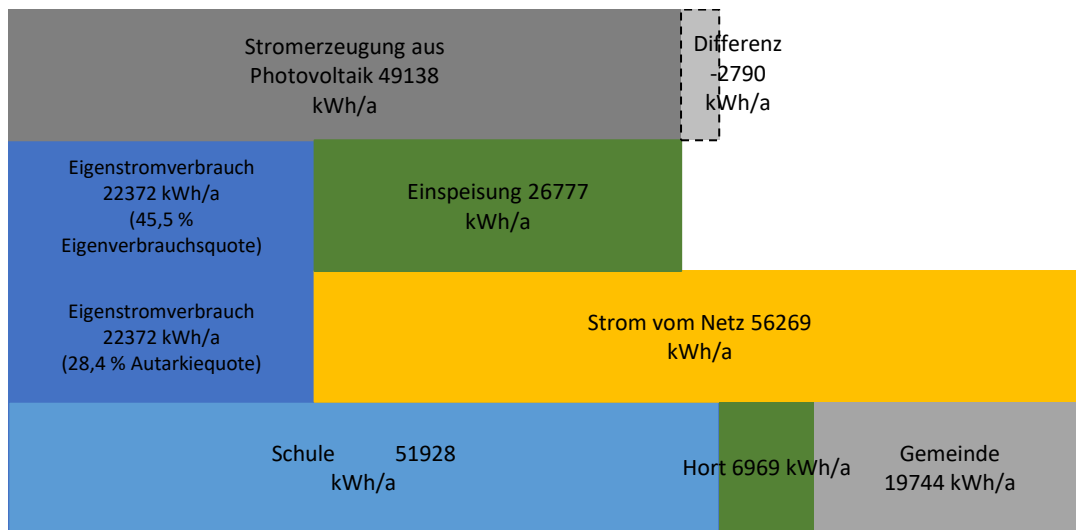


Abbildung 28: Stromverbrauch und Stromerzeugung 1. Messperiode

## 6.2 Bilanz 2. Messperiode

Auch in der 2. Messperiode fällt der Großteil des Verbrauches auf die Anlagentechnik des Schulgebäudes. Vor allem die Wärmepumpe nimmt mit fast 50% einen besonderen Kostenpunkt in der Bilanz ein.

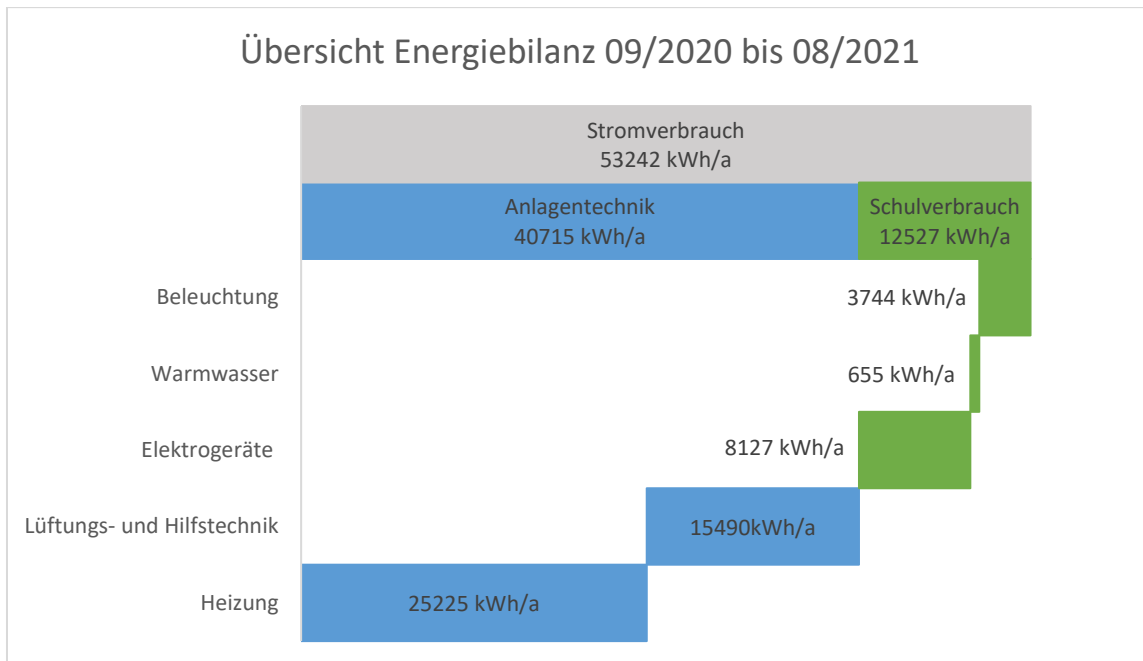


Abbildung 29: Stromverbrauch 2. Messperiode

Insgesamt wurden rund 53.242 kWh Strom verbraucht, jedoch nur 47.537 kWh erzeugt, daraus resultiert ein Fehlbetrag von 5705 kWh. In Abbildung 28 ist die Bilanzierung dargestellt. Auch hier

werden der Eigenstromverbrauch, die Einspeisung ins Stromnetz und der Strombezug vom Netz abgebildet. Daraus können die Eigenverbrauchs- und die Autarkiequote berechnet werden. Diese Zahlen beziehen sich jedoch, wie bereits erwähnt, auf den gesamten Gebäudekomplex aus Schule, Hort und Verwaltung.

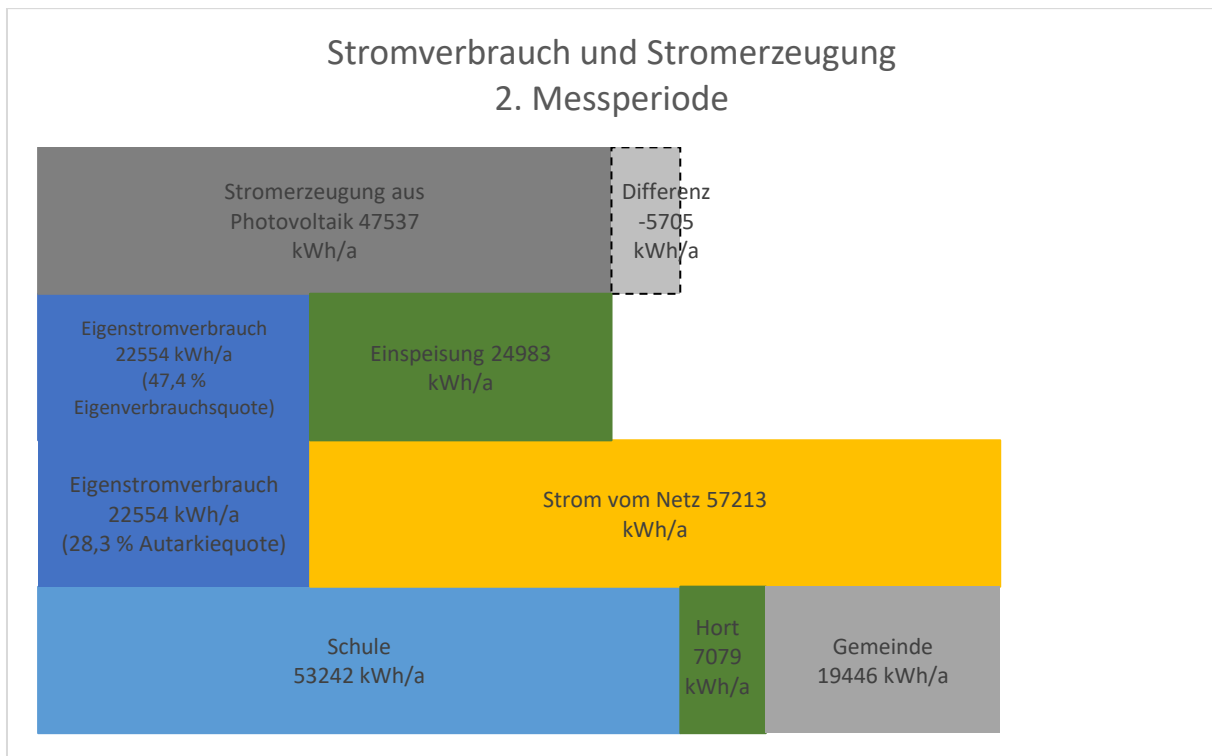


Abbildung 30: Stromverbrauch und Stromerzeugung 2. Messperiode

## 7 Bewertung

### 7.1 Vergleich Messwerte und Simulation

Um einen besseren Eindruck von den tatsächlichen gemessenen Werten zu erhalten, werden im Folgenden die Ergebnisse des Monitorings in der 2. Messperiode mit der vorher durchgeführten Simulation bzw. Berechnung verglichen.

In Abbildung 30 sind zunächst die monatlichen Stromverbräuche getrennt nach Messung, Simulation und Berechnung nach *DIN* 18599 dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die durch benutzerspezifische Simulation vorhergesagten Werte deutlich unter den Messwerten liegen. Die nach *DIN* 18599 berechneten Daten liegen in der Größenordnung des Monitorings.

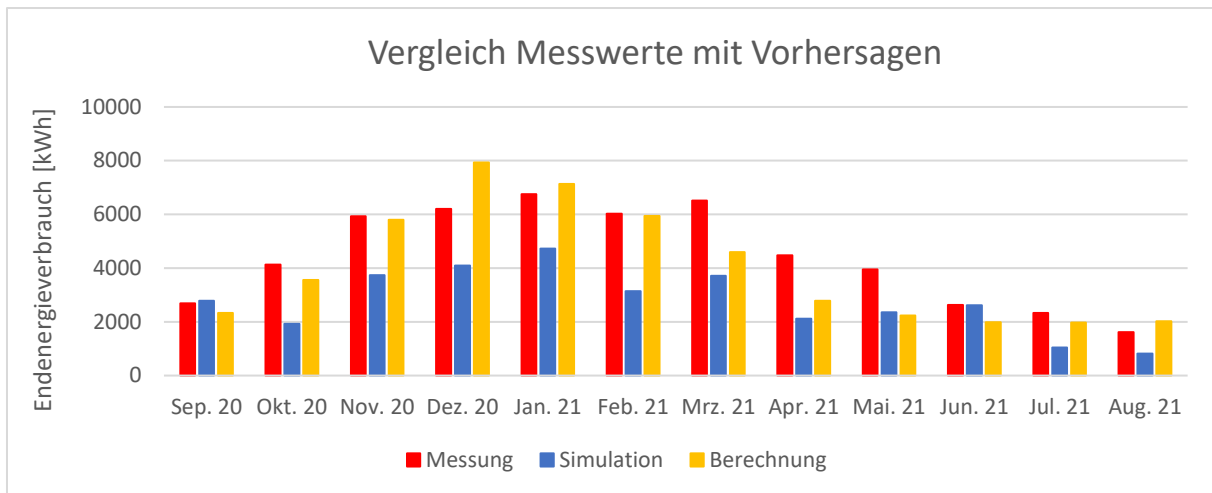


Abbildung 31: Vergleich Endenergieverbrauch Monitoring, Simulation und Berechnung

Daraus kann festgestellt werden, dass die Verbräuche der Simulation mit den benutzerspezifischen Einstellungen mit den Messergebnissen nicht bestätigt werden konnte. Um den Grund für den höheren Verbrauch ermitteln zu können, sind im folgendem Diagramm, die Stromverbräuche getrennt nach den einzelnen Kategorien aufgeschlüsselt dargestellt.

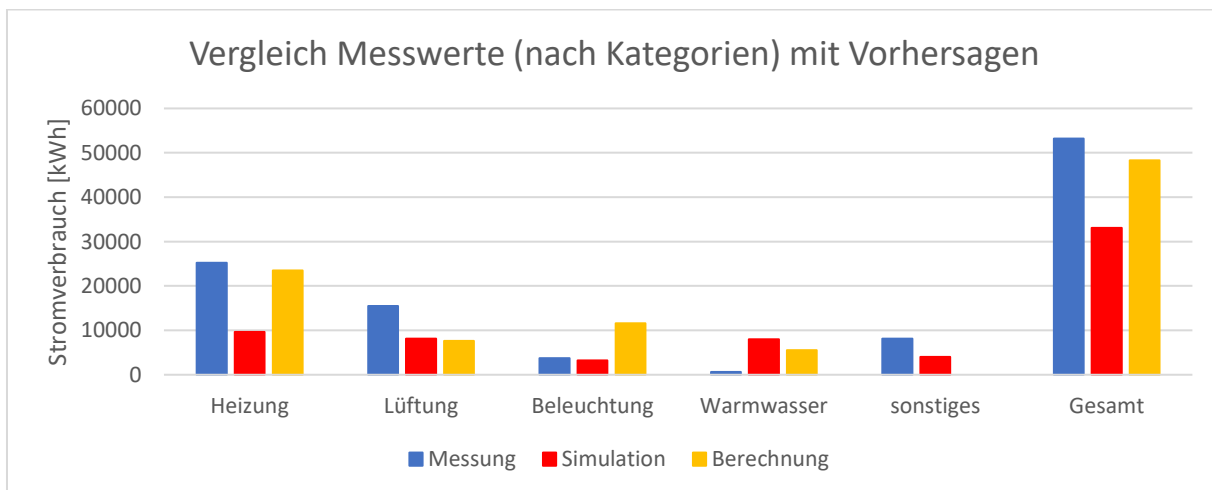


Abbildung 32: Vergleich Endenergieverbrauch nach Kategorien Monitoring, Simulation und Berechnung

Es lässt sich erkennen, dass vor allem Wärmepumpe und Lüftungsanlage mehr Strom verbrauchen als prognostiziert. Der hohe Verbrauch der Lüftungsanlage konnte bereits im Monitoring festgestellt werden, da die Steuerung mittels Zeitschaltuhr zeitweise defekt war. Da jedoch keine Monatswerte der Simulation für den Stromverbrauch der Lüftungsanlage vorliegen, kann noch keine Aussage darüber getroffen werden, ob nach der Anpassung im Juni 2021 eine Verbesserung eingetreten ist. Weshalb der Stromverbrauch der Wärmepumpe nahezu doppelt so groß ist wie der aus der Simulation, lässt sich ebenfalls nicht ergründen, da nicht bekannt ist, welche Ausgangsdaten in der Simulation angesetzt worden sind.

Annähernd identisch ist der Stromverbrauch für die Beleuchtung, trotz des nächtlichen Stromverbrauches. Für die Warmwasserbereitung wurde deutlich weniger Strom verbraucht, da die Durchlauferhitzer in den Schülerbädern größtenteils nicht in Betrieb waren.

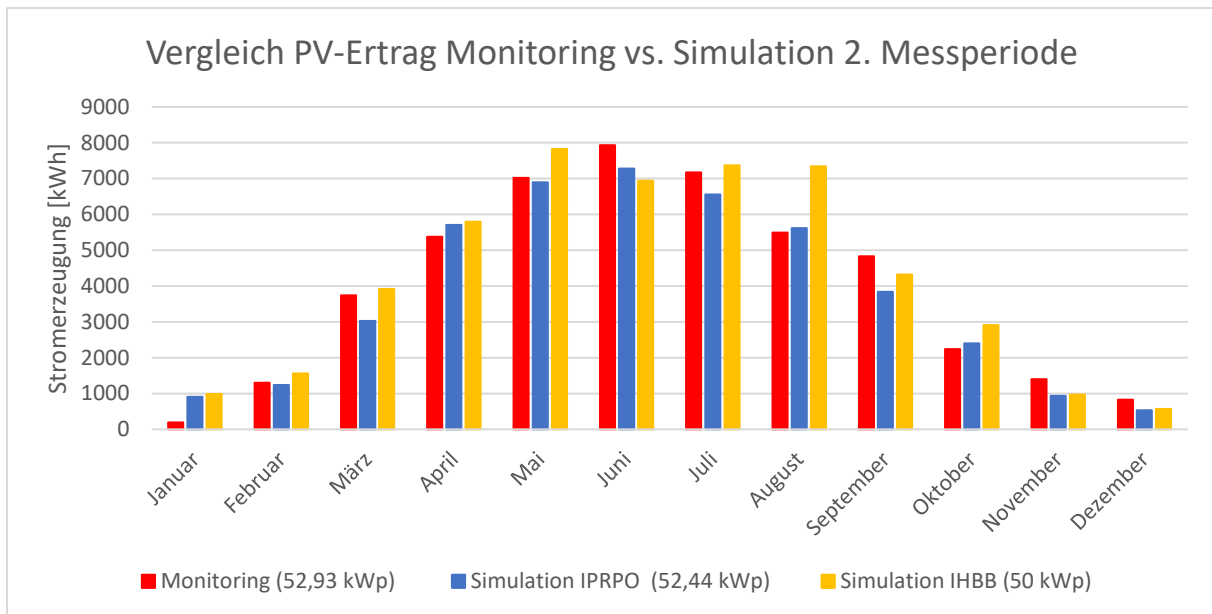


Abbildung 33: Vergleich PV-Ertrag Monitoring vs. Simulation

In Abbildung 32 wird der tatsächlich durch die PV-Anlage erzeugte Strom im Vergleich zu den Ergebnissen verschiedener Simulationen dargestellt. Betrachtet wird hierbei nur die 2. Messperiode, in Tabelle 12 sind die Daten zusammengefasst für beide Perioden dargestellt. Das IHBB hat im Vergleich zur IPRO die tatsächlich verwendeten PV-Module und deren Technischen Eigenschaften für die Simulation ansetzen können und somit eine genauere Simulation der tatsächlichen Begebenheiten erstellen können.

Tabelle 16: Vergleich Stromerzeugung [kWh] Monitoring vs. Simulation

	Monitoring (52,93 kWp)	Simu IPRO (52,44 kWp)	Simu IHBB (50 kWp)
1. Messperiode	49138	44933	50519
2. Messperiode	47537		

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Simulation der IPRO tendenziell eine etwas zu niedrige Stromerzeugung prognostiziert und die Simulation, welche durch das IHBB selbst durchgeführt wurde, die Stromerzeugung leicht überschätzt. Die Messergebnisse der Stromproduktion liegen jedoch, abgesehen vom Januar, nah an den Simulationsprognosen. Die Abweichungen betragen weniger als 10%.

## 7.2 Vorjahresvergleich

Anhand der Daten aus dem FIS-Archiv, die bis Oktober 2019 zurückreichen, können die Monatswerte der Stromverbräuche jeweils mit einem Wert aus dem vergangenen Jahr verglichen werden. Der Monat September ist jeweils ausgenommen, da für diesen keine Vergleichsdaten vorliegen.

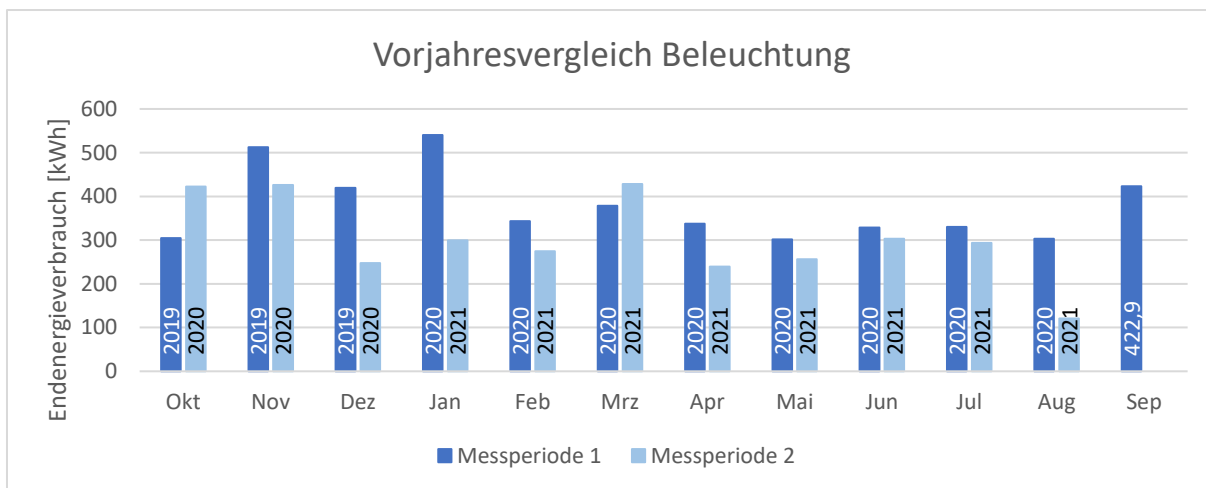


Abbildung 34: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Beleuchtung

In den meisten Monaten liegt der Verbrauch unterhalb des Vorjahreswertes, sodass insgesamt 19% weniger Strom verbraucht wurde.

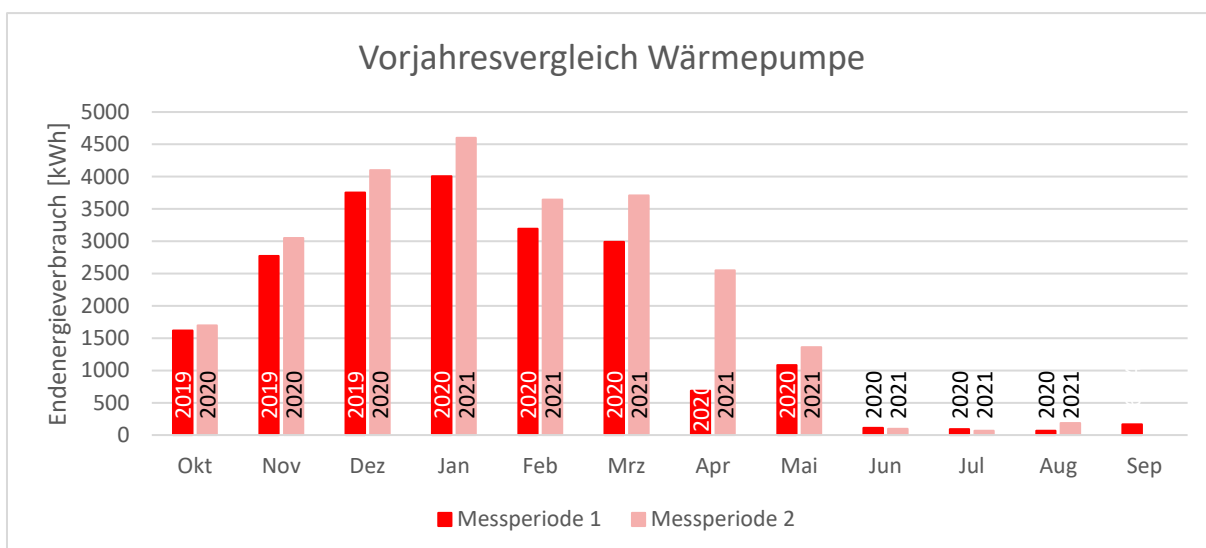


Abbildung 35: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Wärmepumpe

Die Wärmepumpe verbrauchte vergleichsweise 23% mehr Strom als im Vorjahr. Da zum Jahresbeginn 2021 die Außentemperaturen niedriger waren, als im Jahr 2020 ist ein höherer Verbrauch der Wärmepumpe vollkommen nachvollziehbar. Eine Änderung der Anlagentechnik wurde für die Betriebsart „Winterbetrieb“ vorgenommen. Dort war eine Solltemperatur von weniger als 18°C als 3 Tagesmittel zur Aktivierung vorgesehen, diese wurde auf 16°C herabgesetzt um eine zu frühe Heizphase bei kurzen Abkühlungen zu vermeiden. Diese Änderung wurde aber erst im September 2021 vorgenommen und kann deshalb nicht hinreichend ausgewertet werden.

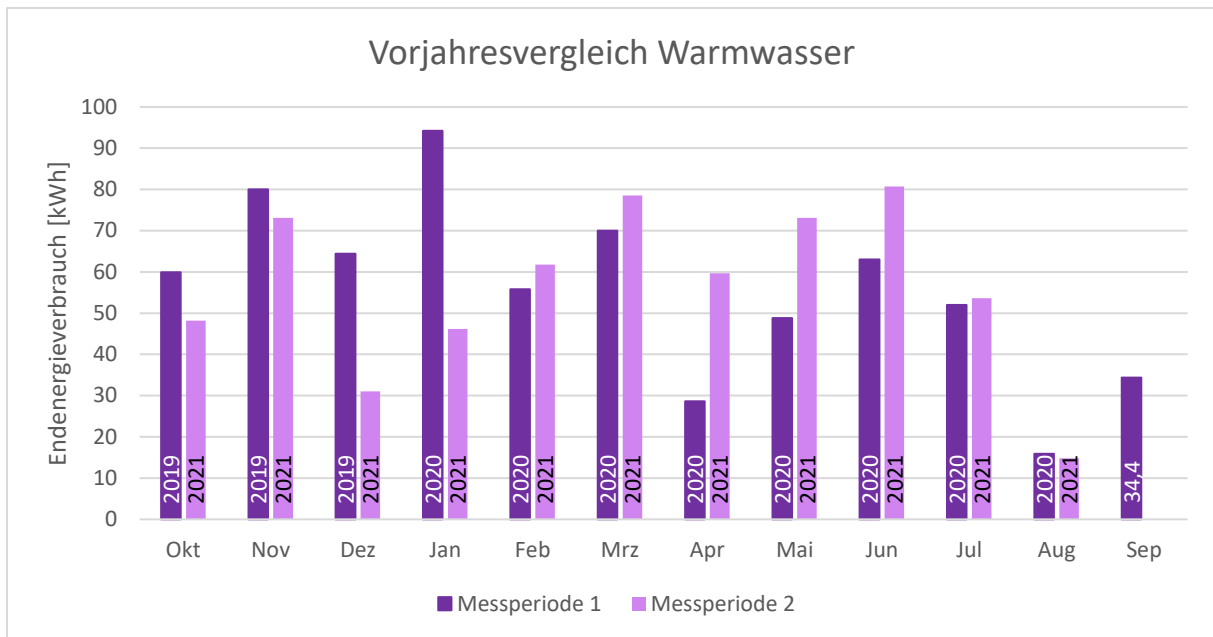


Abbildung 36: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Durchlauferhitzer

Der Stromverbrauch für die Warmwasserbereitung war im Mittel nahezu identisch zum Vorjahr, auch wenn es Monatsweise einige Schwankungen gab. Vor allem im April und Mai 2021 ist das wohl auf die sehr viel kühleren Außentemperaturen zurück zu führen. Die Durchlauferhitzer werden ja primär für die Erwärmung des Händewaschwassers benutzt.

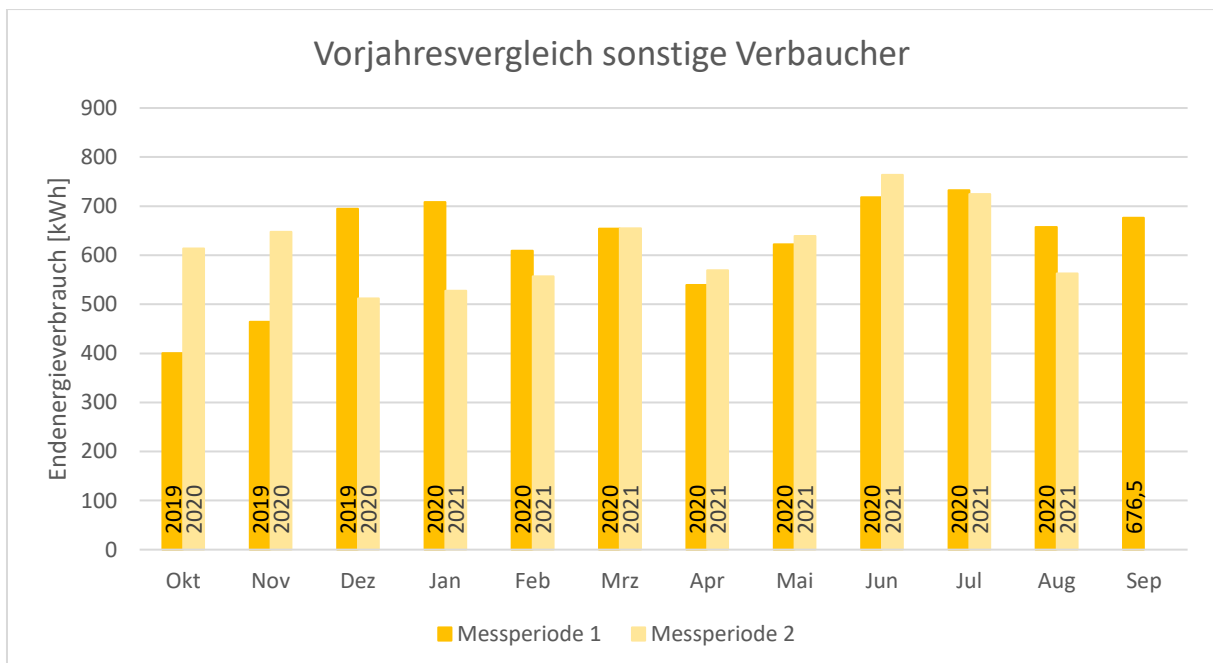
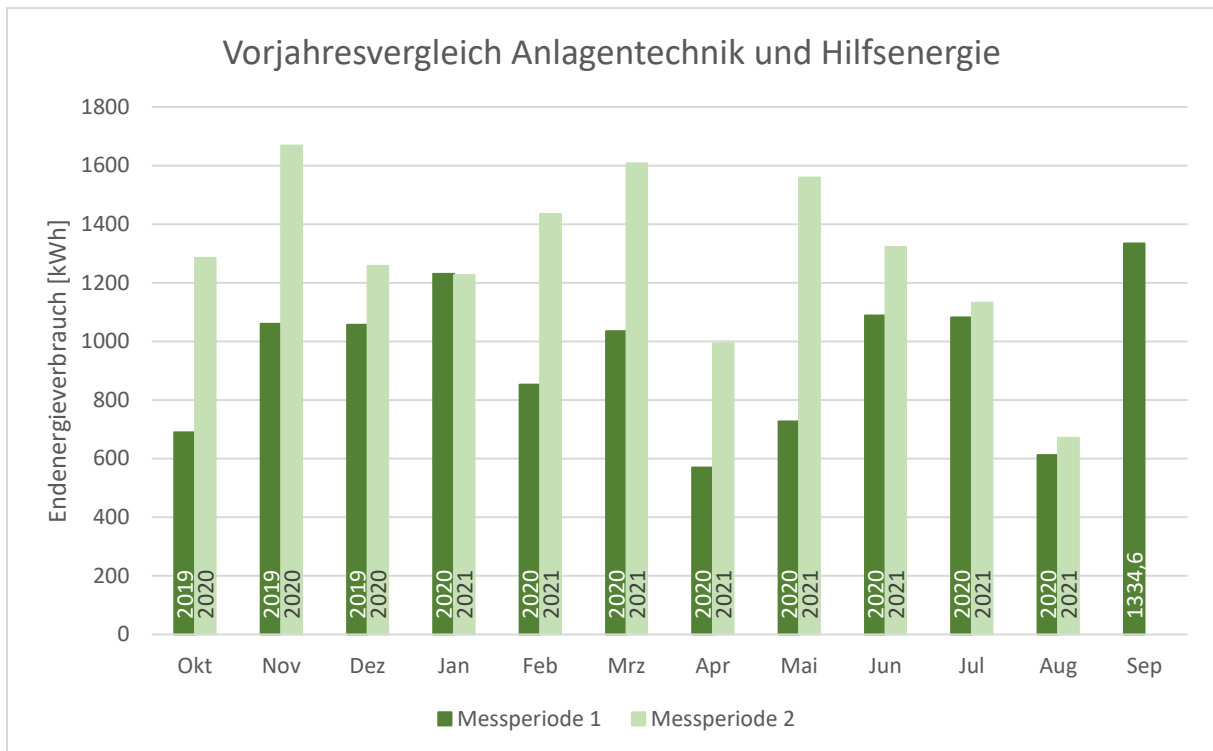


Abbildung 37: Jahresvergleich des Stromverbrauches der Elektrogeräte

Das Gleiche gilt für die Elektrogeräte und sonstigen Zähler, ausgenommen wurde jedoch der Fahrstuhl, da der Sensor erst im Juni 2020 eingebaut wurde.





Für die Lüftungsanlage mussten 41% mehr Strom aufgebracht werden, als im Vorjahr. Grund für den hohen Anstieg war die defekte Wochenschaltuhr. Diese wurde, wie bereits erwähnt, im Juli wieder aktiviert und seitdem gleichen sich die Balken, den Vorjahreswerten wieder besser an.

Betrachtet man die Summe aus allen Zählern, so wurden im Zeitraum 2020/21 9100 kWh mehr Strom verbraucht als 2019/20.

### 7.3 Vergleich mit anderen EnergiePlus-Schulen

In der nachfolgenden Tabelle sind der Stromverbrauch und die Grundfläche von weiteren Schulen, welche ebenfalls im EnergiePlus-Standard errichtet wurden zusammengetragen. Da mit einer größeren Grundfläche auch der Stromverbrauch steigt, wird zum Vergleich der Spezifische Stromverbrauch betrachtet. Dieser berechnet sich aus dem Quotienten aus Stromverbrauch pro Jahr und der Energiebezugsfläche

Tabelle 17: Vergleich mit anderen EnergiePlus-Schulen

Name der Schule	Grundschule Giebelstadt [3,4]	Plusenergie-Grundschule Halle [5,6]	Louise-Otto-Peters Schule in Hockenheim [7]	Plusenergieschule Reutershagen [8]	Uhlandschule Stuttgart-Roth [9]	Grundschule Niederheide in Hohen Neuendorf [10]	Grundschule Wermisdorf
Energiebezugsfläche [m <sup>2</sup> ]	624	2966	3766	1700	2716	6563	2109
Stromverbrauch [kWh]	21312	110000	148898	65280	85200	127871	53242
Spezifischer Stromverbrauch [kWh/a·m <sup>2</sup> ]	34,2	37,1	39,5	38,4	31,4	19,5 <sup>1</sup>	25,3

<sup>1</sup> mit Sporthalle

Die Grundschule Wermsdorf weist im Vergleich zu anderen Schulen mit ähnlichen Energie-Standards einen geringen spezifischen Stromverbrauch auf.

#### 7.4 Auswertung Nutzerbefragung

Im Rahmen des Monitorings wurde auch eine Befragung unter den Schülern und Lehrern durchgeführt. Ziel war es, die gemessenen Werte anhand der gegebenen Antworten zu validieren.

Geplant waren zu Beginn zwei Befragungen, eine zum Sommerzustand und eine zum Winterzustand. Aufgrund der geringen Rücklaufquote und späten Durchführung der ersten Umfrage wurde nur eine Befragung durchgeführt.

Die Befragung fand im Zeitraum von Anfang November bis Mitte Dezember 2020 statt. Es wurden 75 Schüler der zweiten bis vierten Klasse und 10 Lehrer befragt. Jedoch wurde die Befragung aufgrund der Corona-Pandemie nicht wie vereinbart in der Schule unter Betreuung des Klassenlehrers, sondern zu Hause mit Hilfe der Eltern durchgeführt. Dies führte zu einer geringen Rücklaufquote von rund 50% und zum anderen gab es uneindeutige Aussagen zu einigen Fragen.

Die Fragebögen waren so konzipiert, dass sowohl Aussagen zum eigenen Klassenraum, als auch zum Flur und Lerninseln, sowie zum Speiseraum gegeben waren und die Schüler diesen durch Kennzeichnung eines Smileys zustimmen oder ablehnen konnten. Insgesamt gab es fünf Smileys, welche zur Auswertung in Noten von 1 (sehr gut) bis 5 (schlecht) übertragen wurden. Des Weiteren gab es zwei Freitext-Fragen, bei denen die Lehrer und Schüler weitere positive oder negative Kritik äußern konnten. Bei den Lehrern wurden außerdem Fragen zur Technischen Ausstattung und zum Lehrerzimmer gestellt.

Bei den Schülerfragebögen wurden zunächst Fragen zur Lage des Klassenraums und zum Sitzplatz im Zimmer gestellt. Jedoch musste bei der Auswertung festgestellt werden, dass nicht alle Schüler diese Fragen beantwortet haben oder uneindeutige Aussagen getroffen haben. So konnten keine eindeutigen Räume zugeordnet werden. Jedoch haben alle auf die Frage nach der Lage des Sitzplatzes, geantwortet, wodurch zumindest dahingehend eine Separierung möglich war. Es kann so aber keine Aussage getätigt werden, ob ein Problem nur in einem Klassenzimmer oder in allen Räumen besteht.

Des Weiteren verzögerte sich die Befragung aufgrund der Corona-Pandemie bis in den Dezember, weswegen davon ausgegangen werden muss, dass das Erinnerungsvermögen an den Sommerzustand gering ist. Außerdem wurden Fragen, welche das momentane Empfinden abfragen sollten nichtig, da die Befragung zu Hause stattgefunden hat.

Ein weiteres Problem war, dass in dem Fragebogen drei „negativ Fragen“ eingebaut waren, d.h. um die Aussage zu verneinen, hätte der traurige Smiley angekreuzt werden müssen. Einige Schüler, die alle anderen Fragen durchweg positiv beantwortet haben, kreuzten bei diesen Fragen auch den positiven Smiley an, da sie vermutlich die „negativ Frage“ nicht erkannt haben. Somit entsteht bei diesen Fragen eine vergleichsweise hohe Standardabweichung und ein neutraler Mittelwert.

Das dargestellte Diagramm zeigt die verwertbaren Ergebnisse der Nutzerbefragung aus Sicht der Schüler und Lehrer zum eigenen Klassenraum, wobei die Schüler nochmals hinsichtlich ihres Platzes im Klassenraum untergliedert wurden. Insgesamt lassen sich bei dieser Untergliederung jedoch zumeist keine Unterschiede feststellen, lediglich die Beleuchtung des Arbeitsplatzes empfindet die Mittelreihe

als etwas schlechter im Vergleich zu ihren Klassenkameraden, bewertet dies aber insgesamt dennoch mit gut. Die Lehrer bewerteten die Aussagen insgesamt kritischer als die Schülerschaft.

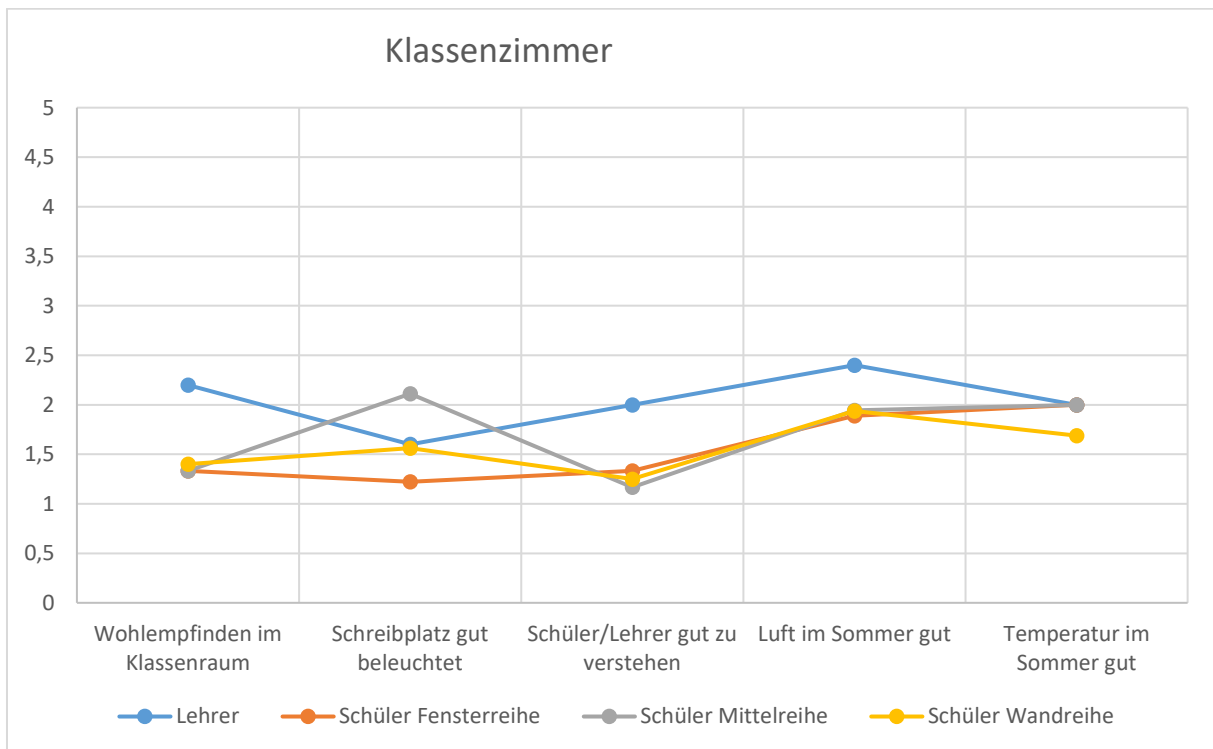


Abbildung 38: Bewertung des Klassenzimmers

Neben ihrem Klassenraum konnten die Schüler und Lehrer auch den Flur mit den Lerninseln und den Speiseraum bewerten.

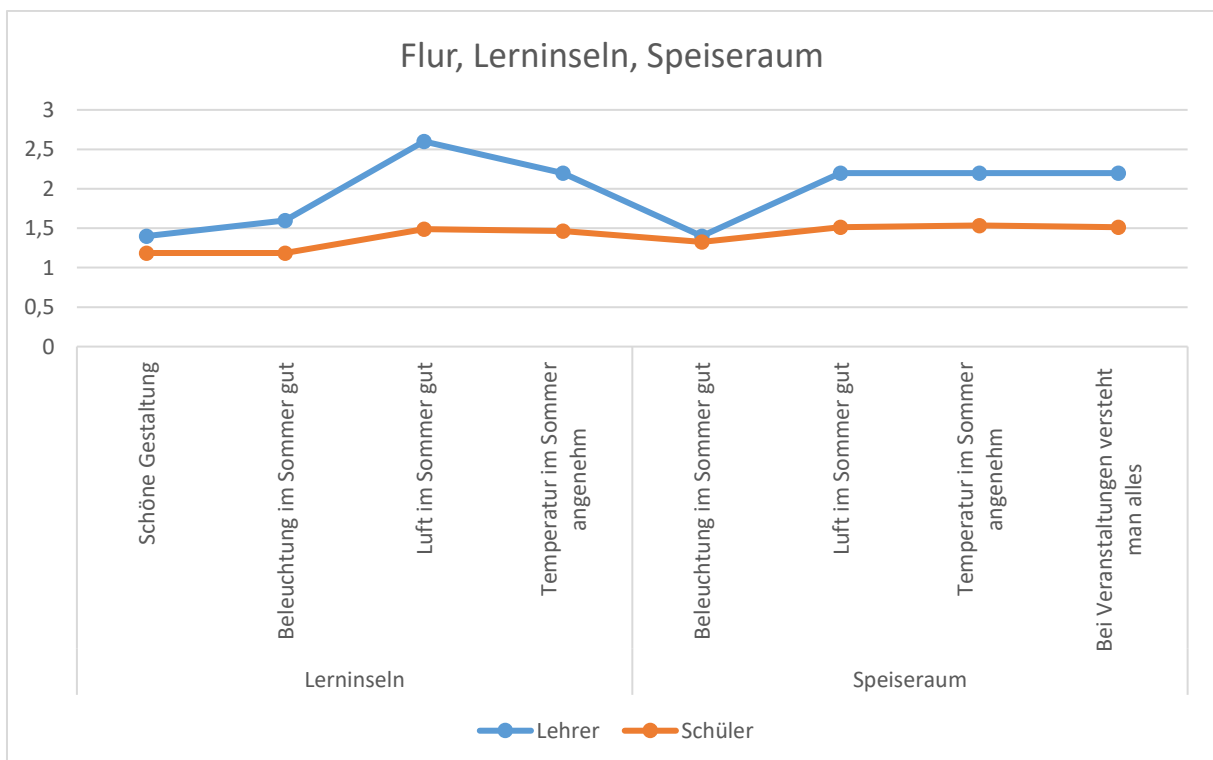


Abbildung 39: Bewertung Flur, Lerninseln und Speiseraum

Anhand des Diagramms kann gesagt werden, dass sowohl Schüler als auch Lehrer die Lerninseln als sehr gut bewerten. Während die Schüler auch alle weiteren Fragen durchweg positiv beantworten, übten die Lehrer Kritik an der Luft und an der Temperatur sowie an der Akustik im Speiseraum.

Die Lehrer durften weiterhin das Lehrerzimmer bewerten. Aus den Umfragebögen ergibt sich, dass die Beleuchtung als sehr gut und die Temperatur und Luft als gut gewertet wurde. Außerdem wurden Fragen zur Verdunkelung der Fenster, der Lüftungsanlage und der automatischen Beleuchtung gestellt. Es zeigt sich, dass die Lüftungsanlage nicht ausreichend frische Luft in die Räume gebracht hat und dies auch nicht von den Lehrern beeinflusst werden kann. Die Fenster hingegen können auch manuell verdunkelt werden. Jedoch wurde angemerkt, dass die Fenster zwar automatisch den Verdunklungsgrad ändern, jedoch trotzdem nicht genug Licht hineinlassen bzw. den Raum nur ungenügend verdunkeln. Dies kann auch nicht durch zusätzliche Beleuchtung durch Deckenlampen kompensiert werden, da diese nur automatisch funktionieren und nicht manuell durch die Lehrkräfte eingestellt werden können.

Anhand der Freitextantworten lässt sich feststellen, dass sowohl Schüler als auch Lehrer die großen Klassenräume und die Lerninseln als sehr positiv bewerten.

Den Kindern gefallen weiterhin der große Speiseraum, die großen Fenster und der vorhandene Platz im Schulgebäude. Negativ wurde jedoch auch von ihnen die Luftqualität und das unzureichende Licht bewertet. Jedoch handelt es sich dabei nur um Einzelantworten.

Einzelne Lehrer kritisieren jedoch die großen Fenster, da sie die Schüler ablenken. Außerdem werden die Hellhörigkeit, die hohen Temperaturen am Nachmittag und abermals die unzureichende Verdunkelung kritisiert.

Vergleicht man die Aussagen der Nutzer nun mit den gemessenen Werten, kann festgestellt werden, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration den Grenzwert von 1000 ppm zwar überschritten hat, meist jedoch nur sehr geringfügig. An einigen Tagen wurden jedoch zeitweise höhere Spitzenwerte gemessen. Über die tatsächliche Luftqualität auf dem Flur und den Lerninseln kann keine Aussage getroffen werden, da hierfür keine Messdaten übermittelt worden sind. Die Innenraumtemperaturen lagen auch bei Außentemperaturen von weit über 30°C immer unterhalb von 26°C. Über die tatsächlichen Lichtverhältnisse können jedoch keine Aussagen getroffen werden, da zum Zweck des Monitorings keine Daten der Lichtsensoren übermittelt werden.

## 7.5 Optimierungspotential

### **Stromeinsparung**

Um die Bilanzierung zukünftig zu schaffen, müssen die Stromeinsparungspotenziale ausgeschöpft werden. Die Auswertung der Messdaten hat gezeigt, dass die Anlagentechnik nicht ausreichend nutzerspezifisch geregelt wird. So läuft die Lüftungsanlage zurzeit im Kühl- und Sommerbetrieb unabhängig davon, ob das Gebäude genutzt wird oder nicht. Das hat zur Folge, dass in den langen Sommerferien unnötig hohe Stromkosten auftreten. Um diesem Umstand zu verbessern, wurden gemeinsam mit *Hermos* Änderungen an den Betriebsart-Sollwerten vorgenommen. Der Heizbetrieb wurde statt bei einem 3-Tages-Mittel der Außentemperatur von 18°C erst bei 16°C aktiviert. So könnte, wie in Abbildung 36 zu sehen, ein im Sommer festgestellter Wechselbetrieb zwischen Kühl-, Sommer- und Heizbetrieb reduziert werden. Die Wärme-Kälte-Anlage bleibt so konstanter in der gewünschten

Betriebsart und der Pufferspeicher wird nicht unnötig im Sommer mit warmem Wasser gefüllt. So wird auch der Kühlkreislauf wirtschaftlicher genutzt.

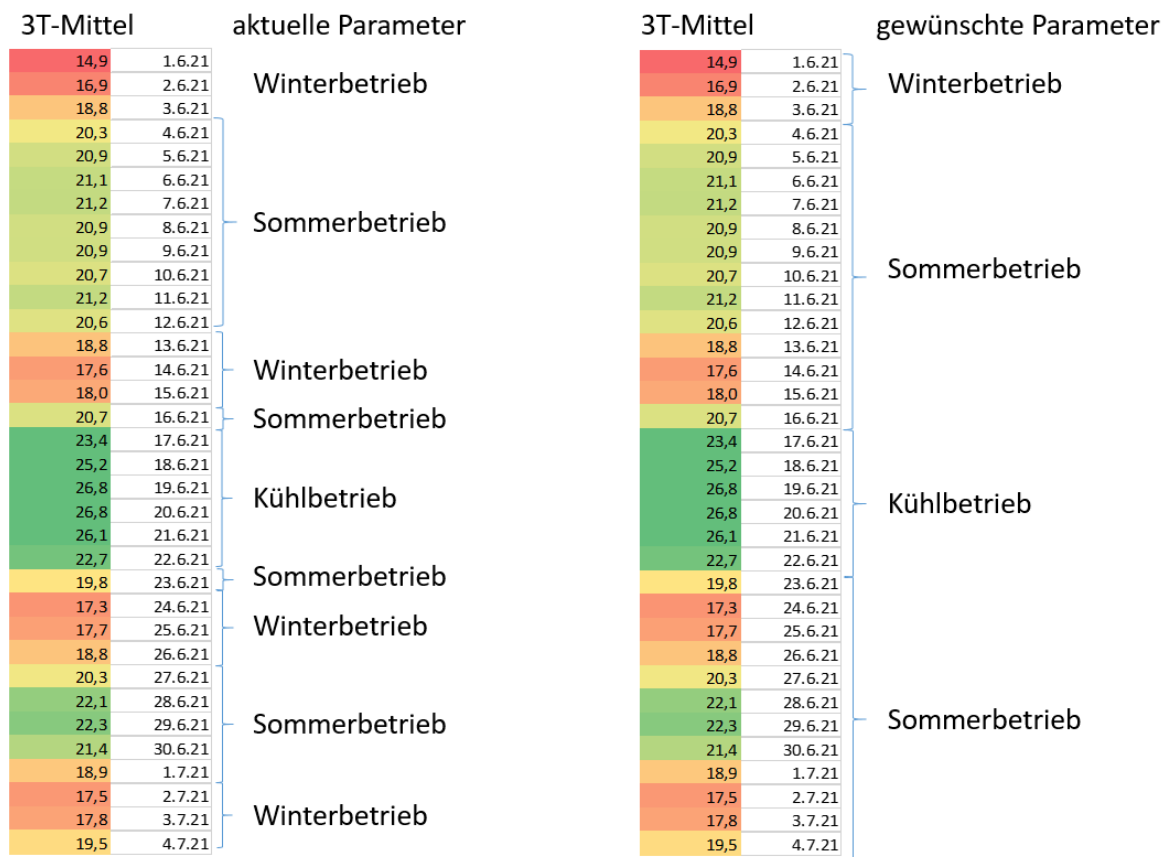


Abbildung 40: Unterschied geänderte Lüftungsparameter

Des Weiteren wurde die Hysterese zwischen Raumlufttemperatur und Außenlufttemperatur für die FNA von 2K auf 4K erhöht. Durch diese Änderung wird verhindert, dass diese zu früh aktiviert wird. Während des Monitoring ist die FNA in den Sommermonaten schon um 20 Uhr aktiviert worden. Zu diesem Zeitpunkt war die Außenluft aber noch höher als die gewünschte Raumtemperatur von 21°C. Zusätzlich wurde festgelegt, dass die FNA nicht wie zurzeit mit geschlossenen Ventilkappen betrieben werden soll, sondern genau wie die CO<sub>2</sub>-gesteuerte Lüftung im Schulbetrieb auf maximaler Leistung laufen soll. Diese Änderung soll zu einer kürzeren, aber effektiveren FNA führen.

Ein weiterer Punkt, der die Lüftungsanlage in unnötigem Dauerbetrieb gehalten hat, war der Umstand, dass die Wochenschaltuhr, die das nutzerspezifische Verhalten abbilden soll, durch den Betreiber über das FIS nicht einstellbar war. Dieser Umstand wurde ebenfalls bei *Hermos* bemängelt und soll in Kürze behoben werden.

Sollten die Änderungen in der Lüftungstechnik eingearbeitet werden, ermöglicht dies ein Einsparpotenzial von ca. 30%.

## **Stromproduktion**

Ein weiterer Ansatz, um eine positive Bilanzierung zu erreichen, ist die Erhöhung der Stromerzeugung. Hierzu wurden Simulationen mit der Software *PVSoI* durchgeführt, um den optimalen Neigungswinkel der PV-Module zu ermitteln. Es stellte sich dabei jedoch heraus, dass die aktuelle Neigung von  $10^\circ$  auch diejenige ist, welche die höchste Stromproduktion ermöglicht. Ein Nachteil der flachen Neigung ergibt sich jedoch, falls die Module mit Schnee bedeckt sind. Dieser rutscht dann nicht eigenständig von den Modulen und verhindert die Stromproduktion. Dieses Problem zeigte sich im Januar 2021, wodurch im Vergleich zu den Simulationen etwa 700 kWh weniger Strom erzeugt wurden.

Um die Eigenverbrauchsquote zu steigern, wäre es sinnvoll, den Strom nicht direkt ins Stromnetz abzugeben, sondern zunächst in einer Batterie zwischenspeichern und den gespeicherten Strom in Zeiten ohne Sonneneinstrahlung selbst zu nutzen. Wenn anschließend noch immer Strom in das Netz gespeist werden muss, könnte dieser virtuell in einer Stromcloud gespeichert werden. Dieser kann dann ebenfalls, beispielsweise nachts, verwendet werden. Jedoch ist die Erweiterung um eine Batterie eine zusätzliche Investition, auch die Nutzung einer Cloud verursacht zusätzliche monatliche Kosten. Ob und wann sich diese Investition rentiert, ist nicht bekannt.

## 8 Zusammenfassung

Die Ergebnisse des Monitorings im Zeitraum vom 01.10.2019 bis 31.08.2021 der Effizienzhaus Plus Grundschule Wermsdorf ergaben für den Betreiber und die wissenschaftlichen Betreuer eine Vielzahl von wichtigen Erkenntnissen. Gemessen wurden Stromverbräuche, raumklimatische Daten, klimatische Randbedingungen, Wärmemengen und Volumenströme. Da die Übermittlung der Daten und die Anbindung einzelner Zähler noch bis April 2020 nicht vollständig abgeschlossen war, konnte eine Auswertung der gesamten Gebäudebilanz erst ab Mai gewährleistet werden. Es ist für zukünftige Projekte deshalb wichtig eine ausreichend lange Betrachtungszeit zu wählen, damit aussagekräftige Ergebnisse erzeugt werden können. Zwei Jahre erscheinen da das Minimum zu sein, da nur durch den Vergleich der Messergebnisse Anpassungen oder Änderungen der Anlagensteuerung ausgewertet werden können. Außerdem müssen alle Beteiligten für den Zeitraum des Monitorings die Bereitschaft gewährleisten Änderungen vorzunehmen. Vor allem wenn externe Firmen für die Anlagensteuerung und deren Programmierung zuständig sind, ist schon im Planungsprozess eine Zuarbeit zu vereinbaren, um unnötige Nachtragskosten zu vermeiden. Eine zeitnahe und ergebnisorientierte Anpassung der Anlagentechnik ist sonst schwer umsetzbar.

Im konkreten Projekt musste zudem der außergewöhnliche Umstand, dass die Messungen zum Teil unter Pandemiebedingungen (Lockdown, Notbetrieb und veränderte Lüftungskonzepte) stattfanden, berücksichtigt werden. Die dadurch gestörten Abläufe im Schulbetrieb spiegeln nicht den Regelbetrieb wieder und beeinflussen somit die Bilanzierung. Die Tatsache, dass die Lüftungsanlage umprogrammiert wurde, um einen höheren Luftaustausch zu gewährleisten und die Lehrkräfte zusätzlich auch häufiger eine manuelle Lüftung ergänzten führte sehr wahrscheinlich zu höheren Verbräuchen. Jedoch war die Schule auch teilweise geschlossen oder nur im Notbetrieb, was auf einen reduzierten Verbrauch deuten könnte. Eine genaue Bezifferung der Einflussfaktoren war jedoch nicht möglich, so dass eine abschließende Ungenauigkeit der Bilanzierung bleibt.

Der gemessene Endenergieverbrauch zeigt im Vergleich zur vorab erstellten Berechnung nach DIN 18599, dass der tatsächliche Verbrauch oberhalb des prognostizierten Wertes liegt. Im Vergleich mit der durchgeführten nutzerspezifischen Simulation ergab sich sogar noch eine deutlich größere Überschreitung des vorhergesagten Verbrauches. Diese Überschreitung konnte vor allem der Wärmepumpe und der Lüftungsanlage zugeordnet werden. Diese beiden Anlagenteile wurden für den Betrieb entgegen der Simulation nicht nutzerspezifisch geregelt. Das ist für ein Gebäude, was in der Regel nur halbtags genutzt wird nicht nachhaltig und führt zu den fast doppelt so hohen Verbräuchen.

Die Bilanzierung der Energieströme ergab in der 1. Messperiode einen jährlichen Gesamtstromverbrauch der Schule von 51.928 kWh/a und eine PV-Produktionsmenge von 49.138 kWh/a. Der Gesamtstromverbrauch in der 2. Messperiode betrug insgesamt 53.242 kWh/a und die Produktionsmenge 47.537 kWh/a. Damit erreicht der Schulneubau den Effizienzhaus Plus-Standard mit einer negativen Endenergiebilanz von  $\Delta Q_E \approx 2.790$  kWh/a in der 1. Periode und 5.705 kWh/a in der 2. Periode nicht. Das entspricht einem Defizit von 5,2% bzw. 10,7%. Diese Abweichungen vom Ziel sind aber als gering einzuschätzen und können in Zukunft durch kleine Anpassungen im Anlagenkonzept beseitigt werden.

Der Betreiber der Schule hat mit der zuständigen Firma ein Änderungskonzept für die Lüftungsanlage beschlossen, welches noch in diesem Jahr umgesetzt werden soll. Dadurch wird die Lüftungsanlage noch effektiver an die Schulbedingungen angepasst und vor allem in den Ferien nicht mit 100% Auslastung fahren. Die dadurch möglichen Einsparungspotenziale würden für das Erreichen des Effizienzhaus Plus-Standards ausreichen. Zusätzlich wurden noch keine Änderungen in den

Heizbetriebsarten vorgenommen. Die Wärmepumpe schaltet jetzt erst bei einem 3-Tagesmittel von 16°C Außentemperatur in den Heizmodus, so können zukünftig kurze Wechsel der Betriebsart im Sommer vermieden werden. Außerdem wurde die Nachtauskühlung, die zu sensibel eingestellt war angepasst werden. So dass diese nicht schon bei 2K, sondern erst bei 4K Differenz zwischen Raumlufttemperatur und Außenlufttemperatur aktiviert wird. Durch das Monitoring konnte auch der Einfluss von Schnee auf der PV-Anlage ausgewertet werden, so dass auch hier der Betreiber in Zukunft Gegenmaßnahmen ergreifen kann, um die Stromerträge im Winter zu steigern.

Eine Überprüfung dieser Änderungen und deren Effekt auf die Bilanzierung im weiteren Betrieb erscheint sinnvoll und wird angeraten. Zudem kann der Einfluss der pandemischen Lage abschließend nicht vollständig beziffert werden, so dass schon deshalb eine Überprüfung im normalen Regelbetrieb notwendig erscheint. Der positive Effekt der bereits vorgenommenen und noch geplanten Änderungen lässt jedoch den Schluss zu, dass die Grundschule in Zukunft den Effizienzhaus Plus-Standard erfüllen wird.

Um die Energiebilanz der Schule besser bewerten zu können, macht es Sinn sie mit anderen EnergiePlus-Schulen zu vergleichen. Diese Einordnung zeigt, dass die Grundschule Wermsdorf mit einem spezifischen Stromverbrauch von 25,3 kWh/a·m<sup>2</sup> zu den sparsamsten Gebäuden gehört. In Durchschnitt der betrachteten Schulen lag dieser Wert über 30 kWh/a·m<sup>2</sup>.

Abschließend sei nochmal die Notwendigkeit der engmaschigen Betreuung einer so hochtechnologisierten Anlage erwähnt. Die Steuerung und Überwachung der einzelnen Teile bedarf speziell geschulter Facilitymanger, welche eine Änderung der Anlage frühzeitig erkennen und beheben können. Zum Zeitpunkt der Bauabnahme nach Errichtung der technischen Gebäudeausrüstung ist eine vollumfängliche Bewertung dieser gar nicht möglich, so dass eine standardisierte Überwachung der Verbräuche über die anschließenden 48 Monate für alle Neubauten in diesem Bereich vorgeschrieben sein sollte. Erst durch diesen Vorgang kann sichergestellt werden, dass die Vorteile dieser Gebäude einen nachhaltigen und wirtschaftlichen Nutzen generieren.

Dieser Bericht enthält 51 Seiten inklusive Anlagen.

Leipzig, 15.11.2021

---

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Möller

---

M.Sc. Stephanie Weiß



## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Projektspezifischer Erläuterungsbericht. 2019. IPROconsult. Martin Fink
- [2] Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. 2008. s.l. : Springer Medizin Verlag, 2008, S. 1358-1369.
- [3] Jagnow, Horschler, Wolff. Qualifikation zum/r Energieberater/in. Kennwerte Innentemperatur [Online] [Zitat vom: 21. 10 2020.]
- [4] [https://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/kongress-2019/Energie/39\\_EEBB\\_HAASE\\_PW.pdf](https://www.zukunftsraum-schule.de/pdf/kongress-2019/Energie/39_EEBB_HAASE_PW.pdf)
- [5] [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/effizienzhaus-plus.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/effizienzhaus-plus.pdf?__blob=publicationFile&v=6)
- [6] <http://www.bine.info/themen/publikation/grundschule-in-halle-als-passivhaus-im-monitoring/ergebnisse-des-monitorings/>
- [7] <https://projektinfos.energiewendebauen.de/projekt/passivhaus-grundschule-in-holzbauweise/>
- [8] [https://www.m-r-n.com/neuigkeiten/2018/18-11-14-Rueckblick%20.%20Regionalkonferenz%20Energie%20-%20Umwelt/01\\_01\\_Gallian\\_RNK\\_EnergieEffizienzPlus%20LOP.pdf](https://www.m-r-n.com/neuigkeiten/2018/18-11-14-Rueckblick%20.%20Regionalkonferenz%20Energie%20-%20Umwelt/01_01_Gallian_RNK_EnergieEffizienzPlus%20LOP.pdf)
- [9] <https://www.koe-rostock.de/projekte/plus-energie-schule.php>
- [10] <https://www.eneff-schule.de/index.php/demonstrationsobjekte/plusenergieschulen/stuttgart-rot.html>
- [11] [https://www.eneff-schule.de/images/stories/files/schulen/doku\\_Bericht\\_Hohen-Neuendorf.pdf](https://www.eneff-schule.de/images/stories/files/schulen/doku_Bericht_Hohen-Neuendorf.pdf)

## 10 Anhang A

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monat	Okt 19	Nov 19	Dez 19	Jan 20	Feb 20	Mrz 20	Apr 20	Mai 20	Jun 20	Jul 20	Aug 20	Sep 20	Okt 20	Nov 20	Dez 20	Jan 21	Feb 21	Mrz 21	Apr 21	Mai 21	Jun 21	Jul 21	Aug 21	Gesamt
<b>Öffentliches Stromnetz</b>																									
Versorgung aus dem Netz (S1) - Gebäudekomplex	[kWh]	-	-	-	-	-	5119,3	1961,5	2340,3	1645,5	1598,3	1538,3	2325,8	5046,6	7040,5	7729,6	9199,7	7329,5	6517,5	3957,7	3091,5	1551,7	1674,4	1749,4	<b>71417</b>
Rückspeisung in das Netz (S2)	[kWh]	-	-	-	-	-	1862,2	5240,1	5122,8	4725,1	5076,7	4247,8	2571,2	644,3	122,4	22,2	4,0	276,4	1295,5	2668,6	4109,5	5055,0	4608,4	3606,0	<b>51258</b>
<b>Aktive Erschließung von Umweltenergie Photovoltaik</b>																									
PV-Produktion gesamt (S3)	[kWh]	-	-	-	-	-	4237,9	7382,5	7686,0	7471,8	7759,7	6304,7	4834,0	2237,9	1401,9	826,8	193,2	1303,0	3743,1	5375,9	7020,1	7932,4	7176,0	5492,8	<b>88380</b>
PV-Rückspeisung (S2)	[kWh]	-	-	-	-	-	1862,2	5240,1	5122,8	4725,1	5076,7	4247,8	2571,2	644,3	122,4	22,2	4,0	276,4	1295,5	2668,6	4109,5	5055,0	4608,4	3606,0	<b>51258</b>
<b>Wärmeerzeuger el. Wärmepumpe</b>																									
Stromverbrauch (S4)	[kWh]	1619,9	2770,2	3755,2	4005,7	3193,9	2991,6	686,1	1080,9	112,3	93,5	64,6	164,4	1697,3	3051,6	4098,3	4599,3	3644,8	3709,0	2550,1	1361,7	97,4	65,7	185,6	<b>45599</b>
Wärmeerzeugung (W3+W4)	[kWh]	6300,0	11400,0	16000,0	16700,0	13400,0	12500,0	2900,0	4600,0	300,0	200,0	0,0	600,0	7700,0	13000,0	16700,0	18700,0	15200,0	14000,0	10300,0	5800,0	100,0	0,0	700,0	<b>187100</b>
<b>TGA und Haushalt</b>																									
Beleuchtung (S9-S12)	[kWh]	304,3	512,5	419,8	540,6	343,4	378,6	337,5	301,5	328,7	330,1	302,9	422,9	422,7	425,8	247,7	299,1	285,0	428,4	239,3	256,3	302,9	293,6	120,5	<b>7844</b>
Warmwasser (S13-S27)	[kWh]	59,9	80,0	64,4	94,2	55,8	70,0	28,6	48,8	63,0	52,0	15,9	34,4	48,2	73,1	31,0	46,2	61,8	78,5	59,7	73,1	80,7	53,6	14,8	<b>1288</b>
Kochen (S28)	[kWh]	79,3	165,4	129,9	183,3	160,6	166,2	64,4	118,7	156,4	136,3	58,9	136,1	123,7	171,3	42,2	48,9	101,0	125,8	95,7	99,4	139,2	125,8	43,0	<b>2671</b>
Brennofen (S29)	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Hilfsenergie Anlagensteuerung (S6)	[kWh]	228,1	265,7	271,9	272,7	253,8	278,6	263,1	247,1	201,2	221,4	244,5	194,8	309,2	317,7	337,6	339,4	299,5	319,7	306,0	290,8	214,0	215,1	233,5	<b>6125</b>
Steckdosen (S7-S8)	[kWh]	321,3	298,9	564,5	524,9	448,8	487,8	475,0	503,4	561,8	595,9	598,7	540,4	490,0	476,6	469,6	478,6	445,4	500,8	473,8	540,0	624,3	598,6	520,1	<b>11539</b>
Stromverbrauch Lüftungsanlage (S5)	[kWh]	461,8	794,5	785,1	957,2	599,0	756,4	306,3	479,5	887,0	860,4	367,5	1139,8	975,4	1350,8	919,6	887,0	1135,6	1287,1	687,1	1268,0	1108,0	916,6	437,7	<b>19367</b>
<b>Gesamtverbrauch</b>																									
Verbrauch Hort (S30)	[kWh]	-	-	-	-	-	-	-	-	325,9	498,0	512,5	523,4	763,7	702,0	616,7	705,6	602,0	626,9	558,9	529,0	434,8	472,5	543,9	<b>8416</b>
Verbrauch Schule (S4-S8,S31)	[kWh]	2753,3	4588,3	5990,8	6578,6	5055,3	5129,2	2161	2779,9	2365,9	2350,4	1714,6	2691,8	4127,7	5925,0	6206,4	6758,0	6027,1	6510,7	4470,2	3950,7	2626,6	2331,4	1616,2	<b>94709</b>
Verbrauch Gemeinde	[kWh]	-	-	-	-	-	-	-	-	1700,5	1432,9	1368,1	1373,5	1748,8	1693,0	1711,1	1925,4	1727,1	1827,45	1635,9	1522,1	1367,7	1438,1	1476,1	<b>23948</b>
Gebäudekomplex	[kWh]	-	-	-	-	-	7495,0	4103,8	4913,6	4392,3	4281,3	3595,2	4588,7	6640,2	8320,0	8534,2	9389,0	8356,2	8965,05	6665,0	6001,8	4429,1	4242,0	3636,2	<b>108548</b>

## 11 Anhang B

Stromverbrauch [kWh]	Heizung	Trinkwasser	Beleuchtung	Hilfsenergie	Elektrogeräte	Gesamt
Monat						
Oktober 19	1619,9	59,9	304,3	689,9	79,3	<b>2753,3</b>
November 19	2770,2	80,0	512,5	1060,2	165,4	<b>4588,3</b>
Dezember 19	3755,2	64,4	419,8	1057,0	694,4	<b>5990,8</b>
Januar 20	4005,7	94,2	540,6	1229,9	708,2	<b>6578,6</b>
Februar 20	3193,9	55,8	343,4	852,8	609,4	<b>5055,3</b>
März 20	2991,6	70,0	378,6	1035,0	654,0	<b>5129,2</b>
April 20	686,1	28,6	337,5	569,4	539,4	<b>2161,0</b>
Mai 20	1080,9	48,8	301,5	726,6	622,1	<b>2779,9</b>
Juni 20	112,3	63,0	328,7	1088,2	773,7	<b>2365,9</b>
Juli 20	93,5	52,0	330,1	1081,8	793,0	<b>2350,4</b>
August 20	64,6	15,9	302,9	612,0	719,2	<b>1714,6</b>
September 20	164,4	34,4	422,9	1334,6	735,5	<b>2691,8</b>
Oktober 20	1697,3	48,2	422,7	1284,6	674,9	<b>4127,7</b>
November 20	3051,6	73,1	425,8	1668,5	706,0	<b>5925,0</b>
Dezember 20	4098,3	31,0	247,7	1257,2	572,2	<b>6206,4</b>
Januar 21	4599,3	46,2	299,1	1226,4	587,0	<b>6758,0</b>
Februar 21	3644,8	61,8	285,0	1435,1	600,4	<b>6027,1</b>
März 21	3709,0	78,5	428,4	1606,8	688,0	<b>6510,7</b>
April 21	2550,1	59,7	239,3	993,1	628,0	<b>4470,2</b>
Mai 21	1361,7	73,1	256,3	1558,8	700,8	<b>3950,7</b>
Juni 21	97,4	80,7	302,9	1322,0	823,6	<b>2626,6</b>
Juli 21	65,7	53,6	293,6	1131,7	786,8	<b>2331,4</b>
August 21	185,6	14,8	120,5	671,2	624,1	<b>1616,2</b>
<b>Gesamt</b>	<b>45599,1</b>	<b>1287,7</b>	<b>7844,1</b>	<b>25492,8</b>	<b>14485,4</b>	<b>94709,1</b>