



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

Abschlussbericht

Teil 9: Wärmeversorgung, Heizung, Hydraulik

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

Projekträger:

Projekträger 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.
Sandra Jäger, M. Eng.
Heidrun Neumann, B. Eng.

Florian Switala, M. Eng.
Xiaoya Wang, M. Eng.
Jana Wohlfahrt, B. Eng.
Cheng Zhang, M. Eng.

Datenstand:

Magdeburg, 30.09.2018

Inhalt

Impressum	3
1 Zusammenfassung	7
2 Funktionsschema und Kurzbeschreibung	18
3 Komponenten und Bauteile	21
3.1 Pläne Heizungsnetz	21
3.2 Hausanschluss.....	28
3.3 Bauteile.....	33
3.4 Netzberechnung.....	50
3.5 Primärenergie für Fernwärme.....	51
4 Planung Heizlast und Heizungsnetz	53
4.1 Planungsphase	53
4.2 Nachrechnung für das Monitoring	55
4.3 Resultierende Raumlufttemperatur.....	72
4.4 Fazit und Empfehlungen.....	75
5 Planung Kühllast	77
6 Messergebnisse Energie	81
6.1 Messorte und Messtechnik.....	81
6.2 Jahresenergiebilanzen der Fernwärme.....	82
6.3 Monatlicher Fernwärmeverbrauch und Energieanalyse.....	84
6.4 Hilfsenergie Fernwärmepumpen	90
6.5 Elektroheizung	93
7 Regelung und Hydraulik	95
7.1 Planungsphase	95
7.2 Hydraulikschema	96
7.3 Regelfunktionen.....	96
7.4 Probleme und Verbesserungsansätze	100
8 Messergebnisse Funktion	103
8.1 Typische Tagesprofile	103
8.2 Netztemperaturen.....	111
8.3 Pumpen	116
8.4 Dreiwegeventile.....	120
8.5 Detailanalyse des Betriebs	122
8.6 Fazit zur Anlagenfunktion.....	126
9 Anhang	129
9.1 Literatur.....	129
9.2 Nomenklatur.....	130
9.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	131
9.4 Detailauswertungen	134
9.5 Planer, Ausführende, Projektbeteiligte	140
9.6 Überblick über separate Anhänge.....	140

1 Zusammenfassung

Die Grundschule wird mit Fernwärme versorgt. Sie ist an den Fernwärmerücklauf des benachbarten Elisabeth-Gymnasiums angeschlossen. Für die Grundschule ist dieser Betrieb kostengünstiger, da kein eigener Anschluss zu bezahlen ist (Leistungspreis, Grundgebühr), sondern nur der Verbrauch zu bezahlen ist. Es gibt allerdings eine Bedarfsumschaltung in den Vorlauf der Fernwärme, falls über längere Zeit kein ausreichend heißes Rücklaufwasser zur Verfügung steht. In diesen – sehr selten gemessenen – Betriebsphasen teilt sich die Grundschule dann die Leistung mit dem Gymnasium im Sinne einer Parallelschaltung.

Verbraucher und Heizflächen

Die Fernwärme dient der Nachheizung der Luft über Heizregister in den beiden Hauptlüftungsanlagen (Klassentrakt, Verwaltungstrakt), der Küchenlüftung sowie zur Nachheizung des Solarpufferspeichers in der Schulküche (theoretisch, praktisch aber nicht in Betrieb).

In allen Nutzungsbereichen liegt eine reine Luftheizung vor, d. h. im Gebäude gibt es keine Pumpenwarmwasserheizung mit Heizkörpern oder Flächenheizung. Die Luftherwärmung erfolgt im Winterhalbjahr zunächst über den Erdwärmeübertrager (Vorwärmung um wenige Grad), anschließend über die Wärmerückgewinnung aus der Abluft, wobei bereits fast Raumlufttemperatur erreicht wird. Für die ggf. notwendige Restheizung mit Lufttemperaturen von maximal 35°C kommt entsprechend die Fernwärme zum Einsatz.

Alle Räume, die einer Lüftungsanlage zugeordnet sind, werden mit Luft derselben Temperatur versorgt, was im laufenden Betrieb nicht optimal ist. Einzelne ungünstig gelegene Räume oder Räume mit geringer Fremdwärme, z. B. das wenig frequentierte Lehrerzimmer an der Nordostecke des Gebäudes, sind daher zusätzlich mit Elektroheizkörpern ausgestattet.

Die Lüftungsanlage der Hausmeisterwohnung hat keine Beheizung mit Fernwärme, hier gibt es vier elektrische Nachheizregister (zu je 400 W), damit die Temperatur in jedem Raum einzeln gewählt werden kann. Das Bad ist mit einer elektrischen Fußbodenheizung ausgestattet.

Auslegungstemperaturen und Leistungen der Fernwärme

Das neue Netz ist mit einem Wärmeübertrager vom Altbestand getrennt. Die Anschlussleistung einschließlich Ausbaureserve für die in Planung befindliche Turnhalle und Sekundarschule liegt bei 220 kW.

Hauptverbraucher in der Grundschule sind 6 Heizregister. Sie versorgen die beiden Hauptlüftungsanlagen für den Klassentrakt (15 kW) und den Verwaltungstrakt (21 kW) mit Nacherhitzer für den Flur (10 kW). Darüber hinaus sind die Luftherhitzer der Küche (11 kW, 18 kW, 18 kW) an das Netz angeschlossen. Alle Heizregister sind mit eigenen Pumpen und Mischventilen versehen, siehe Hydraulikschema in Abbildung 1-1.

Grundsätzlich ist das Fernwärmenetz auch für die Nacherwärmung des Solarpuffers der Küche vorgesehen. Es ist ein Heizregister mit 25 kW Leistung im Speicher installiert. Allerdings wird diese Möglichkeit – aufgrund des geringen Temperaturniveaus der Fernwärme – nicht genutzt. Eine weitere Vertiefung der Thematik ist in [Abschlussbericht 8](#) gegeben.

Die Auslegung aller Verbraucher erfolgte mit der Temperatur 45/35°C. Eine witterungsgeführte Regelung ist nicht erkennbar; es ist ein Festwert von 45°C in der Heizperiode vorgegeben, der um bis zu 7 K unterschritten werden darf, ohne dass eine Umschaltung auf den Vorlauf der Fernwärme erfolgt. Das Monitoring zeigt, dass oberhalb von etwa 15°C (Heizgrenze des Elisabeth-Gymnasiums) jeweils nur der Minimalwert von 38°C erreicht wird.

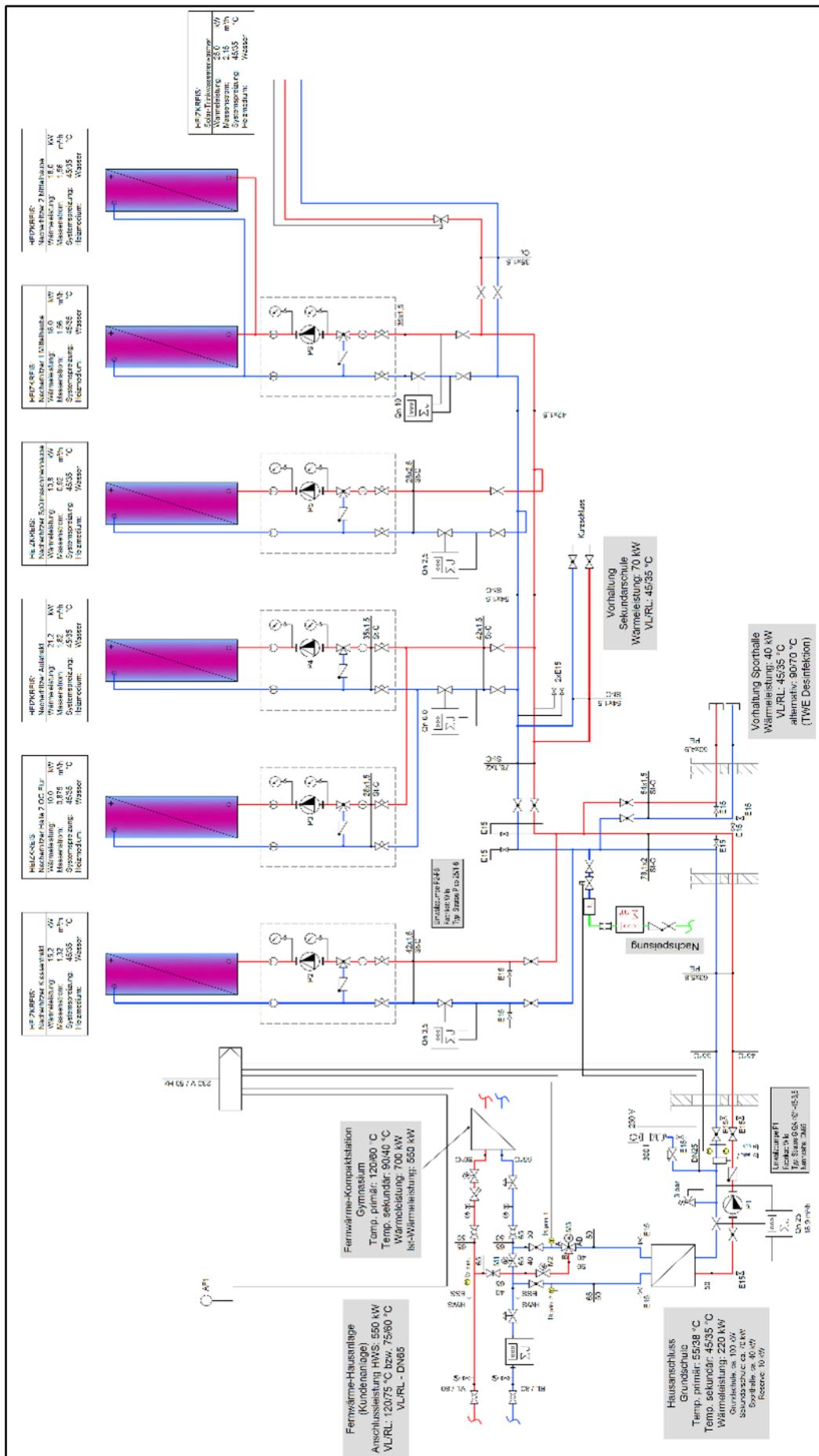


Abbildung 1-1: Strangschema Heizung (ohne Solarthermie) [1]

Die Fernwärme Halle wird an diesem Standort mit einem Primärenergiefaktor von $f_p = 0,21$ und einem CO_2 -Äquivalent von $169,63 \text{ g/kWh}$ geliefert [2]. Der Versorger EVH GmbH Halle erzeugt die Fernwärme in eigenen Kraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung, unter anderem in einem Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk.

Elektrische Heizung

Die Lüftungsanlage der Hausmeisterwohnung hat keine Beheizung mit Fernwärme, hier gibt es raumweise elektrische Heizregister in den Lüftungskanälen der Zulufräume. Installiert wurden 4 Heizregister mit 400 W Leistung. Außerdem hat das Hauptbadezimmer des Hausmeisters eine elektrische Fußbodenheizung (manuell einzuschalten) mit Zeitschaltprogramm. Raumregler für die Luftheizung sind vorhanden (elektronisch), aber zusätzliche Zeitschaltprogramme wären wünschenswert gewesen.

Bereits in der Planungsphase wurde davon ausgegangen, dass einzelne Räume bei Bedarf Elektroheizkörper erhalten werden. Nach dem ersten Betriebsjahr wurden Anfang 2015 in folgenden Räumen Heizkörper nachgerüstet:

- Raum 0.07 (Hortbüro, EG, Nordost)
- Raum 0.08 (Hortbüro, EG, Ost)
- Raum 2.04 (Teamraum, 2. OG, Nordost)
- Raum 2.16 (Vorbereitungsraum, 2. OG, Süd)

Die Heizkörper wurden in der Nähe der Sitzplätze angeordnet, i. d. R. unter dem Schreibtisch. Eine Zeitschaltuhr mit 120 Minuten Laufzeit wurde installiert. Eine Temperaturregelung gibt es nicht. Alle anderen Büroräume, bei denen eine mögliche Unterversorgung vermutet wurde, haben sich als unkritisch erwiesen.

Im Hort waren auch im dritten Betriebswinter immer wieder zu niedrige Temperaturen festzustellen – insbesondere zu Tagesbeginn und besonders ausgeprägt zu Wochenbeginn nach der Absenkephase. Durch die fehlenden internen Lasten und die suboptimale Zulufttemperaturregelung erreichten Raumtemperaturen teils nicht einmal 18°C . Ein mobiles Heizgerät mit $3,3 \text{ kW}$ Leistung wurde angeschafft. Es ersetzt die fehlende Einzelraumregelung. Der Stromverbrauch wird nicht einzeln erfasst.

Es ist anzumerken, dass die Nutzer das Gerät bzw. den notwendigen Einsatz als "altertümlich" empfinden. Es deckt sich nicht mit der Vorstellung, welche Technik in einem modernen Gebäude erwartet wird.

Insofern deckt sich die Meinung der Nutzer mit der Erkenntnis aus dem Monitoring: eine Einzelraumregelung oder zumindest Zonenregelung ist in künftigen Bauprojekten sinnvoll. Es darf erwartet werden, dass zum Betriebsbeginn die Räume 20°C erreicht haben. Auch darf erwartet werden, dass es keine Ungleichbeheizung von bis zu 5°C innerhalb eines Gebäudes gibt.

Der Einsatz einer elektrischen Nachheizung als solches ist jedoch durchaus sinnvoll. Die Auswertung der Verbrauchswerte zeigen einen Heizwärmebedarf von durchschnittlich etwa $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ im Klassentrakt.

Es wäre durchaus vorstellbar gewesen, eine zentrale Vortemperierung der Luft mit Fernwärme vorzunehmen (Erwärmung auf eine Temperatur in der Nähe von 20°C , Ausgleich der Lüftungsheizlast, geschätzt 50 % des Bedarfs) und eine lokale elektrische Nachheizung im Sinne einer Einzelraumregelung (die anderen 50 % des Bedarfs, Deckung der lokal unterschiedlichen Transmissionslasten) zu installieren. Dann allerdings als elektrische Luftheizregister mit Einzelraumregelung analog der Installation in der Hausmeisterwohnung. In den 4 großen Horträumen sind jeweils Transmissionsheizlasten (Auslegungsfall) im Bereich von $360 \dots 590 \text{ W}$ festzustellen.

Raumweise Heizlast, Zuluft- und Innenraumtemperaturen

Im Rahmen des Monitorings wurde die Heizlastberechnung parallel zur Inbetriebnahme des Gebäudes erneut berechnet. Im Rahmen der Bachelorarbeit erfolgten nachträgliche Berechnungen nach der DIN EN 12831 im ausführlichen Verfahren und dem vereinfachten Verfahren sowie in Anlehnung an das PHPP unter Berücksichtigung von Wärmegewinnen.

Die interne Gewinnleistung aus Personen, Geräten und Beleuchtung wurden anhand der Belegung und Ausstattung betroffen. Es werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt: geringe Gewinne (zeitliche Mittelung der Gewinne; Jahresmittelwert) oder realistische Gewinne (Momentaufnahme eines Tages mit typischer Nutzung).

Es wurde theoretisch berechnet, welche Raumtemperatur sich einstellt, wenn von einer identischen Zulufttemperatur innerhalb einer Lüftungszone auszugehen ist. Für dieses Rechenbeispiel wird sie so gewählt, dass sich eine mittlere Ablufttemperatur von 23°C aller an eine Anlage angeschlossenen Räume ergibt. Tabelle 4-6 zeigt die Ergebnisse für folgende Fälle:

- Heizlast ohne Gewinne, DIN EN 12831
- Heizlast mit solaren sowie jahresmittleren internen Gewinnen, PHPP
- Heizlast mit solaren sowie nutzungstypischen internen Gewinnen, PHPP.

Tabelle 1-1: Resultierende Raumlufttemperaturen auf Basis von Heizlastberechnungen mit unterschiedlichen Ansätzen (DIN EN 12831, PHPP)

Zone	Raum		Funktion	Fläche, in [m ²]	keine Gewinne		solare und mittlere interne Gewinne		solare und typische interne Gewinne	
					ϑ_{zu} [°C]	ϑ_i [°C]	ϑ_{zu} [°C]	ϑ_i [°C]	ϑ_{zu} [°C]	ϑ_i [°C]
RLT Klassentrakt										
			Gesamt/Mittelwerte		27	23	24,8	23	15	23
1	001	EG	Atelier (Nord)	57,57	27,0	24,3	24,8	23,1	15,0	18,7
1	002	EG	Märchenzimmer (N.)	24,04	27,0	24,1	24,8	22,2	15,0	19,9
1	003	EG	Kindercafé (Nord)	82,58	27,0	23,9	24,8	25,7	15,0	31,0
1	006	EG	WC	1,98	23,9	23,7	21,7	21,1	14,1	13,7
1	007	EG	Büro (Nord)	15,84	27,0	20,1	24,8	18,6	15,0	16,7
1	008	EG	Mitarbeiter (Nord)	15,84	27,0	20,1	24,8	18,8	15,0	22,5
1	009	EG	Flur	120,34	27,0	23,9	24,8	21,7	15,0	14,1
1	011	EG	Spielraum (Süd)	57,53	27,0	23,6	24,8	24,0	15,0	18,4
1	012	EG	Medien (Süd)	24,04	27,0	24,1	24,8	23,2	15,0	16,9
1	013	EG	Entspannung (Süd)	24,04	27,0	24,1	24,8	23,2	15,0	16,9
1	014	EG	Bauraum (Süd)	57,63	27,0	24,3	24,8	24,4	15,0	19,0
1	101	1. OG	Klasse 1 (Nord)	82,65	27,0	23,8	24,8	23,5	15,0	27,8
1	102	1. OG	Klasse 2 (Nord)	82,78	27,0	24,3	24,8	23,7	15,0	28,1
1	103	1. OG	Lehrmittel (Nord)	21,00	22,6	21,2	21,1	20,0	18,5	17,7
1	104	1. OG	Lehrer (Nord)	27,09	27,0	22,6	24,8	21,1	15,0	18,5
1	105	1. OG	Flur	120,66	27,0	25,2	24,8	25,1	15,0	26,5
1	107	1. OG	Klasse 3 (Süd)	82,65	27,0	23,8	24,8	24,5	15,0	24,7
1	108	1. OG	Klasse 4 (Süd)	82,87	27,0	24,3	24,8	25,1	15,0	25,3
1	201	2. OG	Klasse 5 (Nord)	82,58	27,0	21,9	24,8	21,7	15,0	25,8
1	202	2. OG	Klasse 6 (Nord)	82,71	27,0	22,4	24,8	22,2	15,0	26,3
1	204	2. OG	Lehrer (Nord)	27,09	27,0	20,8	24,8	19,6	15,0	16,2
1	205	2. OG	Flur	121,16	27,0	20,7	24,8	20,7	15,0	21,9
1	207	2. OG	Klasse 7 (Süd)	82,58	27,0	21,8	24,8	23,5	15,0	23,7
1	208	2. OG	Klasse 8 (Süd)	82,70	27,0	22,4	24,8	23,2	15,0	23,3

Zone	Raum		Funktion	Fläche, in [m ²]	keine Gewinne		solare und mittlere interne Gewinne		solare und typische interne Gewinne	
					θ _{zu} [°C]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]	θ _i [°C]
RLT Verwaltungstrakt										
			Gesamt/Mittelwerte		25,5	23	25,0	23	21,6	23
2	019	EG	Halle	145,22	25,5	20,1	25,0	19,2	21,6	16,5
2	021	EG	Foyer	46,20	20,1	19,0	19,2	18,8	16,5	16,2
2	022	EG	Garderobe 1	13,38	19,0	17,8	18,8	17,6	16,2	15,1
2	023	EG	Garderobe 2	13,38	19,0	18,3	18,8	18,1	16,2	15,6
2	024	EG	Garderobe 3	13,38	19,0	18,3	18,8	18,1	16,2	15,6
2	025	EG	Garderobe 4	12,19	19,0	18,3	18,8	17,9	16,2	15,4
2	026	EG	Aula	183,45	25,5	24,9	25,0	24,7	21,6	24,3
2	113	1. OG	Halle	145,27	25,5	21,3	25,0	21,0	21,6	18,0
2	114	1. OG	Raum d. Stille	52,84	25,5	23,2	25,0	23,3	21,6	22,0
2	115	1. OG	Aula/Galerie	43,27	24,9	24,7	24,7	24,6	24,3	24,4
2	120	1. OG	Flur Lehrer	21,03	21,7	21,7	24,3	24,3	29,6	29,6
2	121	1. OG	Besprechung	23,00	25,5	24,0	25,0	24,0	21,6	25,8
2	122	1. OG	Schulleiter	15,87	25,5	21,7	25,0	24,3	21,6	29,6
2	123	1. OG	Sekretariat	22,09	25,5	20,9	25,0	23,7	21,6	26,2
2	124	1. OG	Archiv/1.Hilfe	14,80	25,5	10,9	25,0	14,5	21,6	21,2
2	213	2. OG	Halle	94,00	25,5	18,4	25,0	18,1	21,6	15,4
2	214	2. OG	Kunst	77,03	25,5	20,7	25,0	21,6	21,6	27,5
2	216	2. OG	Vorbereitung	20,25	25,5	20,4	25,0	21,1	21,6	24,9
2	217	2. OG	Werken	79,56	25,5	21,5	25,0	22,5	21,6	28,4
2	219	2. OG	Lehrmittel	20,48	21,5	20,6	22,5	21,8	28,4	27,5
2	220	2. OG	Hausmeister	13,04	25,5	20,8	25,0	21,1	21,6	29,8
Abluftanlage										
3	015	EG	WC Mädchen	10,07	23,9	22,7	21,7	19,7	14,1	23,3
3	017	EG	WC Jungen	7,60	23,9	23,4	21,7	20,8	14,1	20,1
3	109	1. OG	WC	1,92	25,2	25,2	25,1	25,1	26,5	26,5
3	110	1. OG	WC Mädchen	8,35	25,2	25,2	25,1	25,5	26,5	38,3
3	111	1. OG	Dusche	4,14	25,2	25,2	25,1	25,1	26,5	26,5
3	112	1. OG	WC Jungen	7,83	25,2	21,9	25,1	22,2	26,5	33,8
3	209	2. OG	WC	1,97	20,7	20,0	20,7	20,6	21,9	21,8
3	210	2. OG	WC Mädchen	8,41	20,7	17,7	20,7	17,9	21,9	29,3
3	211	2. OG	Putzen	4,18	20,7	19,3	20,7	21,9	21,9	25,0
3	212	2. OG	WC Jungen	7,88	20,7	15,1	20,7	15,3	21,9	25,7

Die drei Auswertungen zur Raumheizlast sowie daraus resultierenden notwendigen Zulufttemperatur zeigen: prinzipiell wäre eine raumweise Einzelraumregelung sinnvoll. Jeder Raum erhielte eine passende Zulufttemperatur zur jeweiligen Lastdeckung. Diese regelungstechnische Ausstattung ist vor Ort aber nicht bzw. nur in wenigen Räumen (Wohnräume der Hausmeisterwohnung, Aula, Haupträume der Küche, Halle/Flur BTA) gegeben.

Der Realbetrieb liegt im Winter vermutlich zwischen den beiden untersuchten Fällen mit Gewinnen. Es ist innerhalb einer Lüftungszone mit Differenzen der resultierenden Raumtemperaturen von bis zu 10 K zu rechnen. Dabei liegen die Büros jeweils deutlich unter den Klassenräumen. Die Klassenräume sehen sich untereinander sehr ähnlich. Zu den Horträumen ergibt sich aber eine Differenz von mehr als 5 K. Das bestätigt sich auch durch Messungen, siehe Abschlussbericht 5.

Der Temperatenausgleich durch offenstehende Türen zwischen den Räumen ist nur bedingt möglich, vor allem wegen der fest definierten Luftströmungsrichtungen bei laufenden Lüftungsanlagen. Die Räume mit ausgeglichener Volumenstrombilanz (Zuluft = Abluft, z. B. Klassenräume, aber auch Büros) können eine starke Überwärmung im Winter lediglich durch manuelles Fensterlüften ausgleichen (z. B. Südklassenräume). Die Unterversorgung ergibt sich, da die Zulufttemperatur zu gering ist bzw. interne Gewinne fehlen (z. B. Nordbüros). Daran ändern auch offenstehende Türen zum Flur wenig, da von dort kaum Wärme zu erwarten ist. Die ggf. nicht ausreichend temperierten WCs erhalten bereits derzeit Zuluft aus dem Flur, was auch durch eine offenstehende Tür nicht verändert wird.

Alternative Versorgungssysteme

Das gesamte Problem lässt sich nur durch Einzelraumregelung oder zumindest Zonenregelung vermeiden. Dabei ist nicht zwangsläufig nur in Nord/Süd-Richtung zu unterscheiden, sondern vor allem die Nutzung (Hort, Schule) zu beachten. Zusammengefasst werden sinnvollerweise auch Räume mit ähnlichen Luftwechselln (Luftvolumenstrom je Fläche bzw. Raumvolumen) und internen Wärmelasten, also Klassenräume untereinander sowie Büros. Der Grundriss ist entsprechend sinnvoll zu konzipieren (keine im Gebäude verstreuten Büros).

Im Vergleich von zentraler und dezentraler Wärmezufuhr ist zunächst folgendes festzustellen: ein wirtschaftlicher Vorteil der Systeme mit Einzelraumregelung gegenüber der zentralen Variante ist nicht darstellbar. Die dezentralen Systeme sind deutlich teurer; für sie spricht nur die Behaglichkeit.

Vergleicht man jeweils untereinander eine Heizungsvariante auf Basis von Fernwärme mit der (direkten) elektrischen Heizung ergibt sich folgendes unter den Randdaten der St. Franziskus-Grundschule (örtlicher Strompreis- und Fernwärmepreis):

- die Ausstattung des Gebäudes mit einfachen raumweisen Heizkörpern ist aus wirtschaftlicher Sicht der dezentralen direkt-elektrischen Luftbeheizung vorzuziehen.
- auch im Falle der zentralen Versorgung über Luftheizregister schneidet die Fernwärme kostengünstiger ab – vor allem, weil in Phasen mit Heizwärmebedarf davon ausgegangen werden muss, dass kein selbst produzierter PV-Strom zur Verfügung steht.

Die Untersuchung einer Flächenheizung entfällt, da ein schnell reagierendes System benötigt wird, um die schnell veränderlichen lokalen Lasten auszugleichen.

Jahresfernwärmeverbrauch

Abbildung 1-2 und Abbildung 1-3 zeigen den jährlichen Fernwärmeverbrauch, wie er aus den Wärmemengenzählern ausgelesen werden konnte. Es handelt sich zum einen um die Rohdaten vor der Witterungskorrektur, zum anderen um witterungskorrigierte Werte auf Basis der Durchschnittsklimadaten von Halle/Leipzig (Wetterstation des DWD).

Im gesamten Messzeitraum von 1.1.2015 bis 1.1.2018 war es verglichen mit dem Durchschnittsklima (der DWD-Messstation Halle/Leipzig) zu warm. Es war in der Winterperiode 2015 etwa 28 % zu warm, 2016 etwa 10 % und 2017 etwa 17%. Als Heizperiode zählen alle Tage unterhalb einer Heizgrenztemperatur von 10°C. Das ist bei der Interpretation der Balkendiagramme zu berücksichtigen.

Das Jahr 2014 wird nicht weiter ausgewertet. Die Datenerfassung startete erst im April, so dass etwa 3 von zu erwartenden 5 Heizmonaten bereits vorbei waren. Im Jahr 2015 ist vor allem zu erkennen, dass der Verbrauch des Klassentraktes extrem gering ausgefallen ist. Dies liegt daran, dass die Regelung der RLT falsch programmiert war. Der Fehler wurde erst im Januar 2016 behoben. Die Zuordnung von Nord- und Südräumen in der morgendlichen Aufheizphase erfolgte vertauscht. Daher wurde die Heizung regelmäßig beendet, sobald im Süd-Referenzraum die Solltemperatur erreicht wurde. Das führte zu regelmäßigen Unterschreitungen der Raumtemperaturen.

Wäre das Jahr 2015 nicht so warm gewesen (30 % weniger Verbrauch allein aufgrund der milden Witterung), hätte es deutlich mehr Beschwerden gegeben. So wurde der Fehler erst Ende 2015 überhaupt erkannt. Ab 2016 stabilisieren sich die Verbrauchswerte auch im Klassentrakt.

**Fernwärmeverbrauch
ohne Witterungskorrektur,
Jahreswerte, 2014 (tw.) bis 2017**

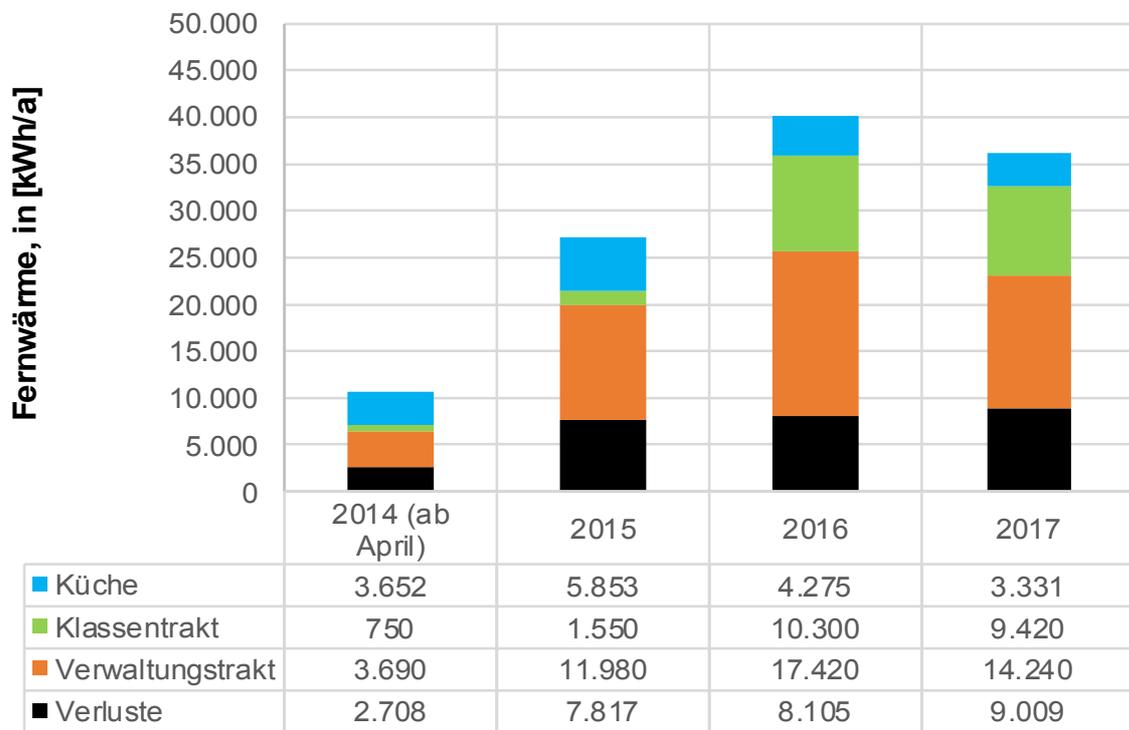


Abbildung 1-2: Jahresfernwärmeverbrauch ohne Witterungskorrektur

**Fernwärmeverbrauch
mit Witterungskorrektur,
Jahreswerte 2015 - 2017 und Mittelwert**

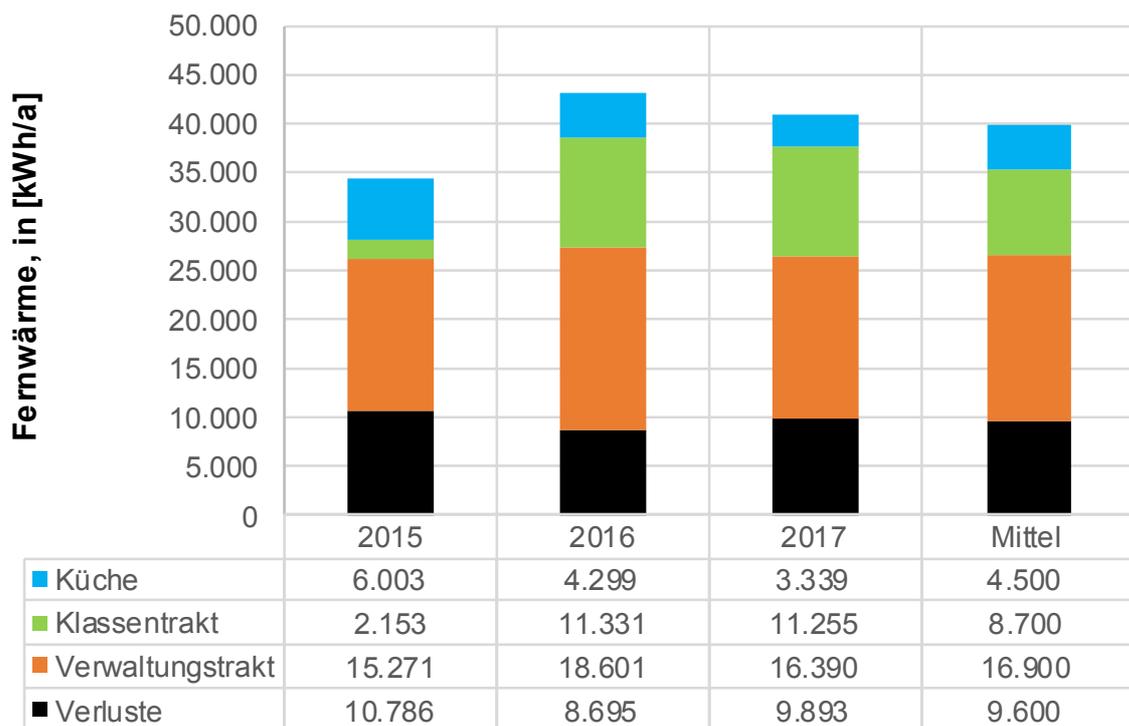


Abbildung 1-3: Jahresfernwärmeverbrauch mit Witterungskorrektur

Der Netzverlust von 9600 kWh/a entspricht bei 70 m Trassenlänge im Erdreich (zwischen beiden Schulen) einem Verlustkennwert von $137 \text{ kWh}/(\text{m}_{\text{Trasse}} \cdot \text{a})$. Werden alle Leitungen berücksichtigt, ergeben sich 203 m Trassenlänge sowie $47 \text{ kWh}/(\text{m}_{\text{Trasse}} \cdot \text{a})$. Verglichen mit den üblichen Trassenverlusten neuer Netze von $200 \text{ kWh}/(\text{m}_{\text{Trasse}} \cdot \text{a})$ bei Hochtemperaturbetrieb ($80/60^\circ\text{C}$) ist der Wert gering.

Energieanalyse des Verbrauchs

Da alle Zähler ein Speicherwerk aufweisen, kann problemlos eine Monatsauswertung der Messwerte erfolgen. Darüber hinaus können die Messwerte auch außentemperaturbezogen ausgewertet werden. In der Darstellung einer mittleren Leistung über der Außentemperatur ist die Witterungsabhängigkeit des jeweiligen Verbrauches erkennbar.

Werden die Monatsverbräuche am Hauptzähler durch die Anzahl der Monatsstunden dividiert, ergeben sich die in Abbildung 1-4 aufgetragenen Leistungen. Eine Heizgrenze von etwa $\vartheta_{\text{HG}} = 10,1^\circ\text{C}$ ist erkennbar, oberhalb der nicht mehr witterungsabhängig verbraucht wird.

In den witterungsunabhängigen Verbrauchssockel fallen 27 % des Verbrauchs, zum großen Teil für den Netzverlust, aber auch die Küche verbraucht witterungsunabhängig Energie. Die Dauerleistung beträgt 1,29 kW bzw. $0,4 \text{ W}/\text{m}^2$. Der flächenbezogene witterungsunabhängige Energiekennwert liegt bei $3,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Entsprechend fallen 73 % des Fernwärmeverbrauchs witterungsabhängig an. Die Steigung ergibt, dass je Grad Außentemperaturabfall die Heizleistung um 0,97 kW ansteigt. Je angeschlossener Fläche liegt der Kennwert bei $h = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dieser Wert ist sehr gering und als sehr positiv einzuschätzen. Er ist besser als theoretisch vorab berechnet. Der Passivhausnachweis liefert den Kennwert aus einer Verlustrechnung (Gebäudehülle und Lüftungswärmeverlust) und kommt auf $0,36 \dots 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ – im Rahmen der Berechnung des kältesten Tages bzw. des Jahresmittels.

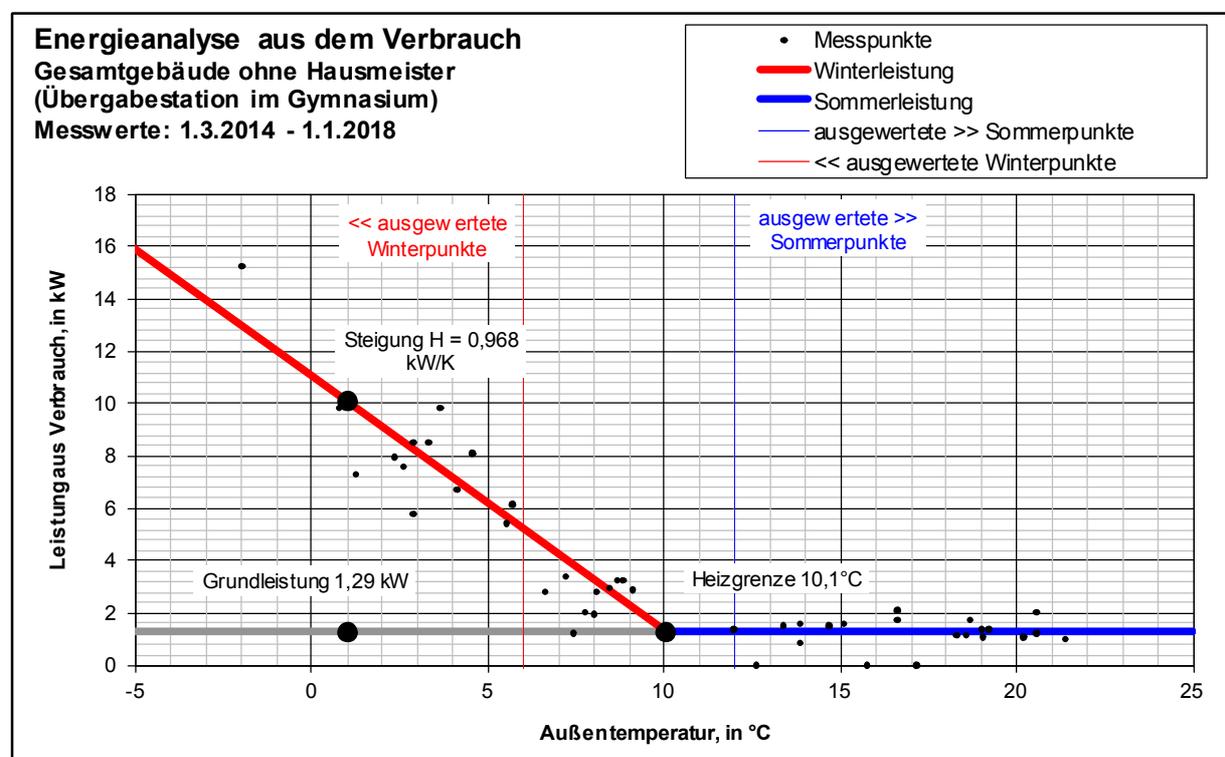


Abbildung 1-4: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Haupteinspeisung

Der Kennwert, welcher sich aus dem witterungsabhängigen Verbrauch ergibt, liegt witterungskorrigiert bei 10,1 kWh/(m²a). Das ergibt insgesamt einen Energiekennwert von 13,9 kWh/(m²a) – incl. aller Netzverluste. Damit ist der Zielwert des Passivhauses eingehalten. Er liegt bei 15 kWh/(m²a), jedoch ohne Netzverluste.

Die Heizlast am kältesten Tag liegt – extrapoliert bei -14°C minimaler Außentemperatur – bei nur 33 kW, deutlich unter den theoretischen Werten. Der flächenbezogene Kennwert liegt damit bei 11,1 W/m². Der Grenzwert von 10 W/m² wird nur eingehalten, wenn die Netzverluste unberücksichtigt bleiben.

Tabelle 1-2: Kennwerte aus der Verbrauchsanalyse

Nutzungszone	Fläche, [m ²]	Heizgrenze, [°C]	Energiekennwert, [kWh/(m ² a)]		flächen- und temperaturbezogene Leistung, in [W/(m ² K)]	flächenbezogene Heizlast bei -14°C, [W/m ²]
			witterungsabhängig	witterungsunabhängig		
Klassentrakt	1624,45	7,4	10,0	0,1	0,32	10,9
Verwaltungstrakt	1267,30	11,6	13,6	0,6	0,33	11,3
Küche	81,71	k. A.	0,0	60,2	k. A.	k. A.
Hausmeisterwohnung	112,53	14,3	31,1	16,2	0,40	13,6

Werden die anderen Fernwärmehähler nach diesem Schema ausgewertet, ergeben sich die Kennwerte nach Tabelle 1-2. Mit eingetragen ist auch die mit Strom beheizte Hausmeisterwohnung, wobei der witterungsunabhängige Verbrauch den gesamten Haushaltsstrom enthält.

Der Fernwärmebezug für das Gebäude ist erfreulich gering, dennoch sind regelungstechnische Optimierungen an der Lüftungsanlage vorgesehen bzw. wären sinnvoll:

- die Optimierung der morgendlichen Wiederaufheizung im Winter nach der Nachabsenkung mit dem Ziel einer gleichmäßigeren Aufheizung bis zum Eintreffen der ersten Personen; dies wird zu einer Erhöhung des Verbrauchs führen, aber die Nutzerzufriedenheit verbessern
- die Verbesserung der Wärmeverteilung zwischen Nord- und Südräumen während des Tagbetriebes, wobei hier Grenzen gesetzt sind, da für alle Räume die gelieferte Zuluft auf dieselbe Temperatur beheizt wird, eine geringe Variation der Volumenströme ist denkbar; dies wird den Verbrauch voraussichtlich nicht verändern, sondern nur umverteilen
- die Optimierung der minimalen Volumenströme in der Aula, wenn keine Personen anwesend sind von heute ca. 60 ... 80 % des Maximalwertes auf 20 ... 30 % (eine CO₂-Regelung ist vorhanden)
- Einrichtung einer geregelten Sommer-/Winterumschaltung für den Anlagenbetrieb.
- die Verbesserung der sommerlichen Nachtkühlung mit dem Ziel, die Effekte der Nachtkühlung länger nutzen zu können (Abwägen zwischen Luftqualität und Raumtemperatur),

Die beiden letztgenannten Punkte werden im **Abschlussbericht 7** vertieft.

Tagesprofile

Die Monitoringdaten der Wärmemengenzähler ermöglichen die Erstellung von Tagesprofilen. Sie zeigen, welche Wärmemengen zu welchen Tageszeiten benötigt werden. Die jeweiligen Grafiken sind durch Addition aller Tage einer Nutzungsart – Schultage, Ferienhorttage, Schließtage, Wochenende – entstanden. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Tage jeder Rubrik ist vermerkt. Ein typischer Tag kann abgeleitet werden, wenn die eingetragenen Balkenhöhen durch die Anzahl der Tage dividiert wird.

Abbildung 1-5 zeigt exemplarisch die Ergebnisse für den Klassentrakt und die Schultage. Es ist – entgegen der Erwartung – keine ausgeprägte morgendliche Aufheizphase erkennbar. Das Maximum des Verbrauchs ergibt sich von 8 ... 10 Uhr.

Das ist die Phase, in der die Bewegungsmelder aller Klassenräume ausgelöst wurden. Dies deckt sich mit Erkenntnissen zur Lüftungsregelung, siehe [Abschlussbericht 7](#). Aus Sicht der Nutzer ist dies zu spät. Im Rahmen der Lüftungsoptimierung wurde dies im Juni 2018 geändert.

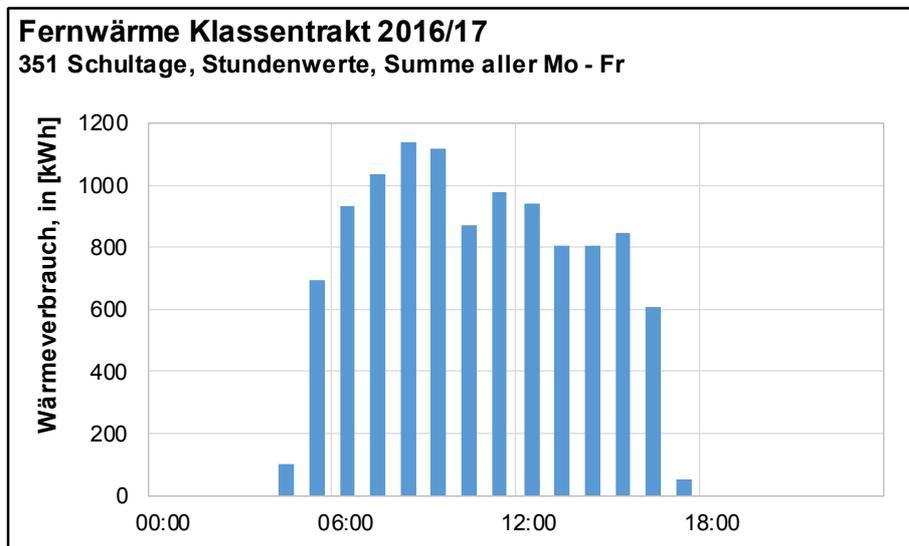


Abbildung 1-5: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Schultage

Diese Erkenntnis wiederholt sich für alle anderen Gebäudezonen und Nutzungsprofile.

Detailerkennnisse für die Küche

Eine Analyse der Messwerte in der Küche zeigt sehr geringe Spreizungen der Fernwärmertemperaturen im Bereich 1 ... 2 K – entgegen der Beobachtungen an allen anderen Heizregistern. Das spricht für eine Unterdimensionierung der Lüftungshauben oder einen Betrieb mit zu hohen Volumenströmen, wovon hier ausgegangen wird.

Die Messwerte decken sich mit der Rückmeldung des Küchenpersonals zum Betrieb der Anlagen. Der Luftvolumenstrom wird nicht geregelt, es handelt sich um eine manuelle Vorgabe des Küchenpersonals. Insbesondere morgens werden zur Wiederaufheizung der Küche nach der Nachtlüftung (durch die Grundlüftungsanlage, ohne Heizfunktion) die Anlagen mit maximalem Volumenstrom in Betrieb genommen – nach dem Motto: viel hilft viel. Laufen beide Lüftungshauben in Vollast, ergibt sich ein 39-facher Luftwechsel in der Küche. Die Luftumwälzung ist riesig, die Erwärmung des Raumes allerdings nur marginal. Abhilfe kann nur eine Aufklärung des Bedienpersonals schaffen: sind die Küchengeräte (Herd, Spülmaschine usw.) ausgeschaltet, wird der minimale Volumenstrom verwendet, sind die Küchengeräte eingeschaltet, dann wird der Volumenstrom erhöht, ggf. bis zum Maximum.

Detailerkennnisse für die Regelung

Die Leistungsaufnahme der Hauptpumpe und Heizregisterpumpen an den Hauptlüftungsanlagen sowie die Stellung der Regelventile und die Fernwärmertemperaturen ermöglichen eine Betriebsanalyse, v. a. zu den Betriebszeiten und zur Funktion der Regelungsstrategien.

Insgesamt ist eine sehr gute Funktion der Rücklaufauskühlung gegeben. Dennoch sind Verbesserungsansätze für den künftigen Betrieb in der St. Franziskus-Grundschule erkennbar:

- der zeitliche Pumpenbetrieb aller Pumpen muss aneinander angeglichen werden; es ist nicht sinnvoll die Zentralpumpe außerhalb der Zeitfenster der Abnehmerpumpen laufen zu lassen und umgekehrt,
- die Sommer-/Winterumschaltung für die Zentralpumpe muss umgesetzt werden (insbesondere, da derzeit ohnehin keine Fernwärme für die Trinkwassererwärmung zum Einsatz kommt),
- die Nachlaufzeit der Verbraucherpumpen von 1 Stunde muss verkürzt werden, die nächtlichen Laufzeiten sollen gänzlich unterbunden werden,
- die gegenseitige Verriegelung von sommerlicher Nachtlüftung und Nachheizung muss geprüft und ggf. (wieder) hergestellt werden
- die Vorlauftemperatur von 45°C im Regelfall ist ausreichend, jedoch sollte überlegt werden, ob die Hysterese von 7 K (bevor die Umschaltung in Parallelbetrieb erfolgt) nicht verringert wird; mit im schlimmsten Falle 38°C Vorlauftemperatur sind die anvisierten Lufttemperaturen im Kernwinter kaum erreichbar; Vorschlag: 3 ... 4 K

Der Hausmeister muss geschult werden hinsichtlich der sinnvollen Wahl manuell eingestellter Sollwerte für Zuluft- und Raumtemperatur für die RLT-Anlagen.

2 Funktionsschema und Kurzbeschreibung

Die Grundschule wird mit Fernwärme versorgt. Sie ist an den Fernwärmerücklauf des benachbarten Elisabeth-Gymnasiums angeschlossen. Mit der Erdleitung wird über eine Strecke von etwa 70 Metern die Murmanner Straße unterquert, schematisch gezeigt in Abbildung 2-1. Ausgangspunkt der Installation ist der Hausanschlussraum des Gymnasiums. Die Leitung tritt im Hausanschlussraum der Grundschule (0.18) in das Gebäude ein.

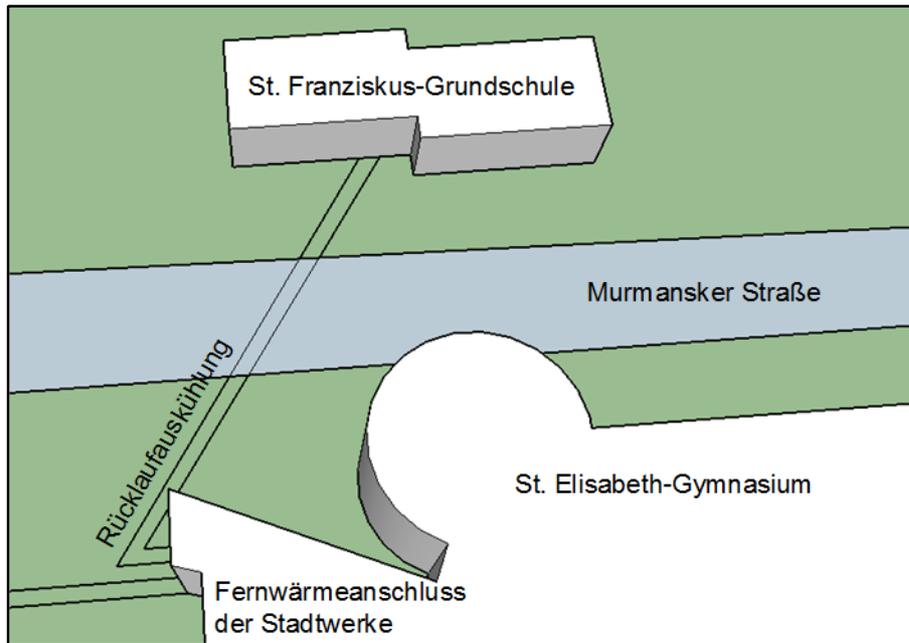


Abbildung 2-1: Anschlussschema Fernwärme

Die Wärmeversorgung der Grundschule ist im Rücklauf des Gymnasiums angeordnet. Damit steht im Regelfall 45°C warmes Wasser zur Versorgung zur Verfügung. Für den Versorger ist die größere Auskühlung des Fernwärmewassers günstig, da er mit diesem Wasser seine Kraftwerke kühlt. Für die Grundschule ist dieser Betrieb kostengünstiger, da kein eigener Anschluss vorhanden (Leistungspreis, Grundgebühr), sondern nur der Verbrauch zu bezahlen ist.

Es gibt allerdings eine Notumschaltung in den Vorlauf der Fernwärme, falls über längere Zeit kein ausreichend heißes Rücklaufwasser zur Verfügung steht. In diesen – sehr selten gemessenen – Betriebsphasen teilt sich die Grundschule dann die Leistung mit dem Gymnasium.

Die Fernwärme dient der Nachheizung der Luft über Heizregister in den beiden Hauptlüftungsanlagen (Klassentrakt, Verwaltungstrakt), der Küchenlüftung sowie zur Nachheizung des Solarpufferspeichers in der Schulküche, siehe Abbildung 2-2.

Es liegt eine reine Luftheizung vor, d. h. im Gebäude gibt es keine Pumpenwarmwasserheizung mit Heizkörpern oder Flächenheizung. Die Lufterwärmung erfolgt im Winterhalbjahr zunächst über den Erdwärmeübertrager (Vorwärmung um wenige Grad), anschließend über die Wärmerückgewinnung aus der Abluft, wobei bereits fast Raumlufttemperatur erreicht wird. Für die ggf. notwendige Restheizung mit Lufttemperaturen von maximal 35°C kommt entsprechend die Fernwärme zum Einsatz.

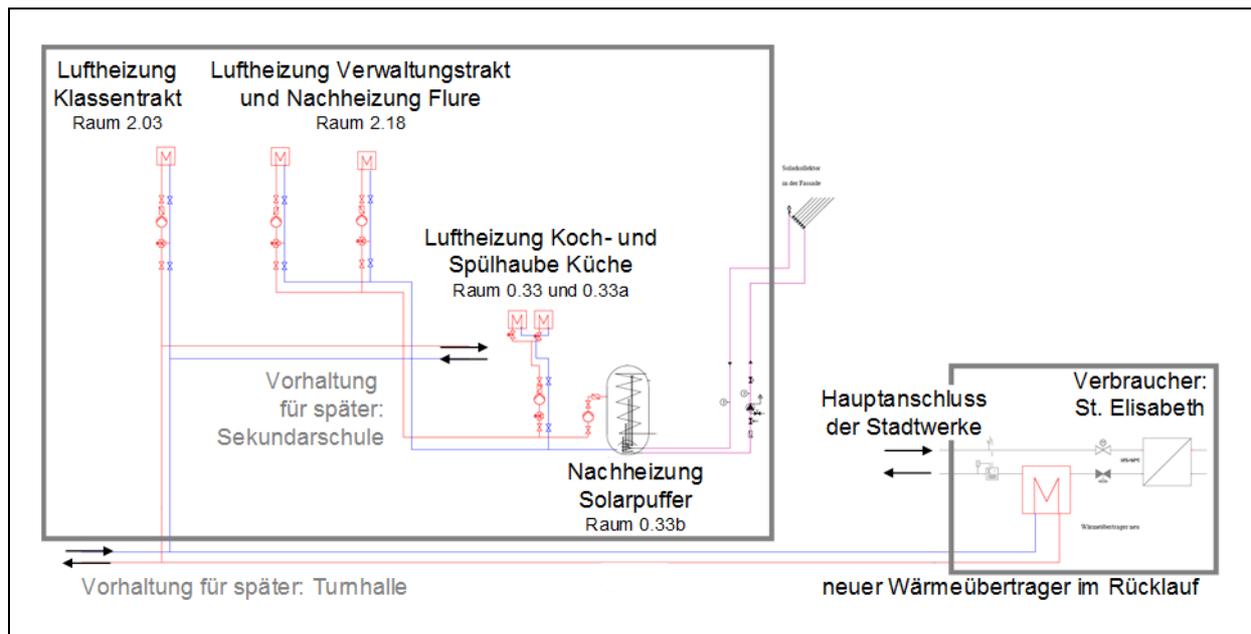


Abbildung 2-2: Verbraucher Fernwärme

Insbesondere im Klassentrakt ist der Nachheizbedarf sehr gering, da wegen der hohen Personenbelegung und Geräteausstattung eine große interne Wärmelast zu verzeichnen ist, die bei dem realisierten Baustandard fast den Heizwärmebedarf deckt. Im Verwaltungstrakt ist der Nachheizbedarf wegen der geringeren Personenbelegung etwas größer.

Für den Flur muss ein zusätzliches Nachheizregister eingesetzt werden, da die internen Lasten sehr gering ausfallen und über die große Nordfensterfläche kaum solare Wärmeeinträge zu erwarten sind. Die Sanitärräume weisen – bis auf das Bad der Hausmeisterwohnung – keine eigenen Heizquellen auf. Sie werden mit der temperierten Luft aus dem Flur versorgt.

Die Schulküche erhält eine separate Versorgung mit einer Luftheizung des Koch- und Spülbereiches. Wegen der großen Luftmengen im Betrieb (Feuchteabfuhr) muss im Winterhalbjahr geheizt werden – trotz größerer Abwärmemengen aus dem Betrieb.

Alle Räume, die einer Lüftungsanlage zugeordnet sind, werden mit Luft derselben Temperatur versorgt, was im laufenden Betrieb nicht optimal ist. Einzelne ungünstig gelegene Räume oder Räume mit geringer Fremdwärme, z. B. das wenig frequentierte Lehrerzimmer an der Nordostecke des Gebäudes, sind daher zusätzlich mit Elektroheizkörpern ausgestattet.

Die Lüftungsanlage der Hausmeisterwohnung hat keine Beheizung mit Fernwärme, hier gibt es vier elektrische Nachheizregister, damit die Temperatur in jedem Raum einzeln gewählt werden kann. Das Bad ist mit einer elektrischen Fußbodenheizung ausgestattet.

3 Komponenten und Bauteile

Der nachfolgende Abschnitt erläutert die Bestandteile der Wärmeversorgung. Zunächst wird der Leitungsverlauf anhand von Strangschemen und Grundrissplänen dargestellt. Anschließend werden die technischen Details des Hausanschlusses, der verwendeten Rohre und deren Dämmung, der Heizregister, Pumpen und Regelventile beschreiben. Die Detaillierung wird passend zur weiteren Datenauswertung gewählt, d. h. einerseits der Analyse der Verbrauchsdaten für Fernwärme und Hilfsenergie (siehe Kapitel 6 ff.), andererseits der Ökobilanzierung in Abschlussbericht 3.

3.1 Pläne Heizungsnetz

Das Heizungsnetz hat eine überschaubare Länge innerhalb des Gebäudes, da nur 7 Verbraucher – 6 Heizregister und der Solarpufferspeicher – angeschlossen sind. Allerdings gibt es bereits für die Verbraucher der folgenden Bauabschnitte vorgehaltene Leitungen. Das Netz erläutert der Planer N&S 2011 wie folgt:

"Die Rohrleitungen werden unter der Rohbaukonstruktion der Holzbalkendecken verlegt und dann verkleidet. Steigleitungen werden in Installationschächten verlegt. Im Hausanschlussraum und in der Küche erfolgt die Installation auf der fertigen Wand. Alle Leitungen sind zu isolieren (100% nach EnEV 2009).

Die Leitung für die später zu errichtende Sekundarschule soll trocken unter der Decke im Flur EG verlegt werden und in einer Revisionsöffnung enden. Der Übergang zum anderen Gebäude soll durch die Außenwand am Berührungspunkt beider Gebäude erfolgen. Die Leitung für die später zu errichtende Turnhalle soll unter der Bodenplatte als konfektionierte gedämmte 2-Rohr-Erdleitung verlegt werden und im Hofbereich enden." [3]

3.1.1 Strangschemata Heizung

Das Netz wird ausgehend vom bereits bestehenden Fernwärmeanschluss des benachbarten Elisabeth-Gymnasiums verlegt. Die Übersicht ist Abbildung 3-1 zu entnehmen. Vergrößerte Ausschnitte folgen in Abbildung 3-2 bis Abbildung 3-4.

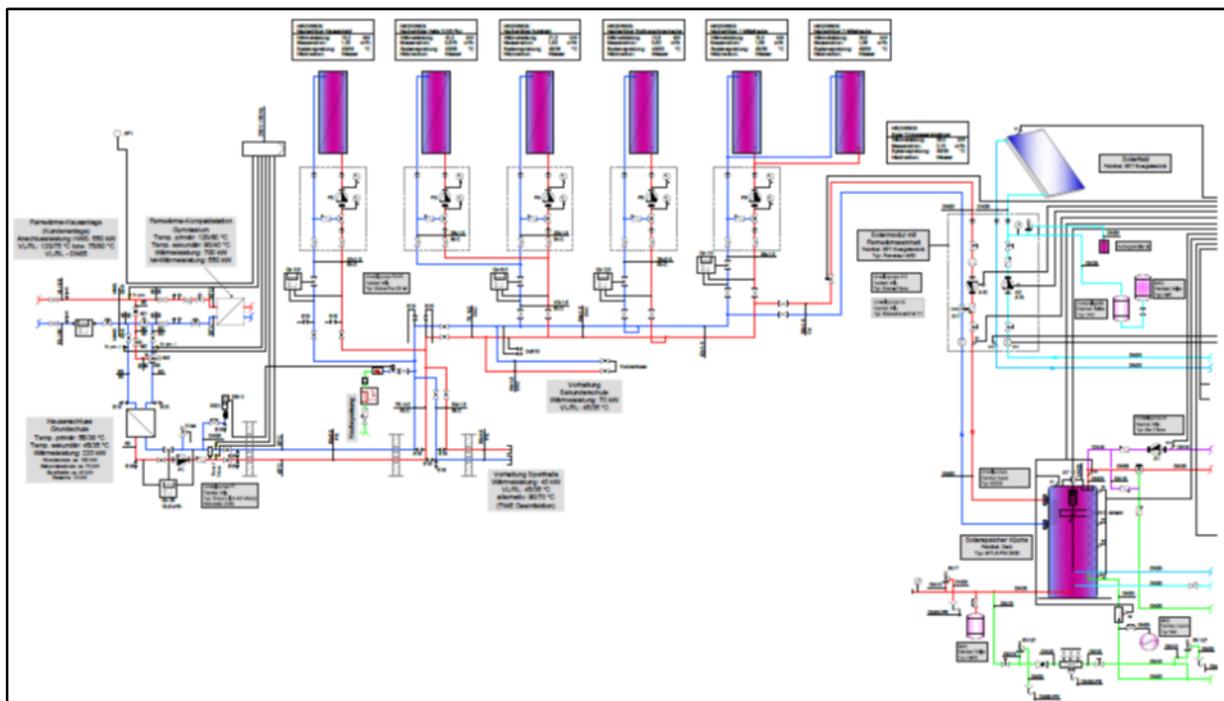


Abbildung 3-1: Strangschemata Heizung (Übersicht) [1]

Der Hauptanschluss ist umschaltbar gestaltet. Der Regelbetrieb ist die Rücklaufauskühlung des Gymnasiums über das Ventil M1, wobei eine Parallelschaltung über M2 möglich ist.

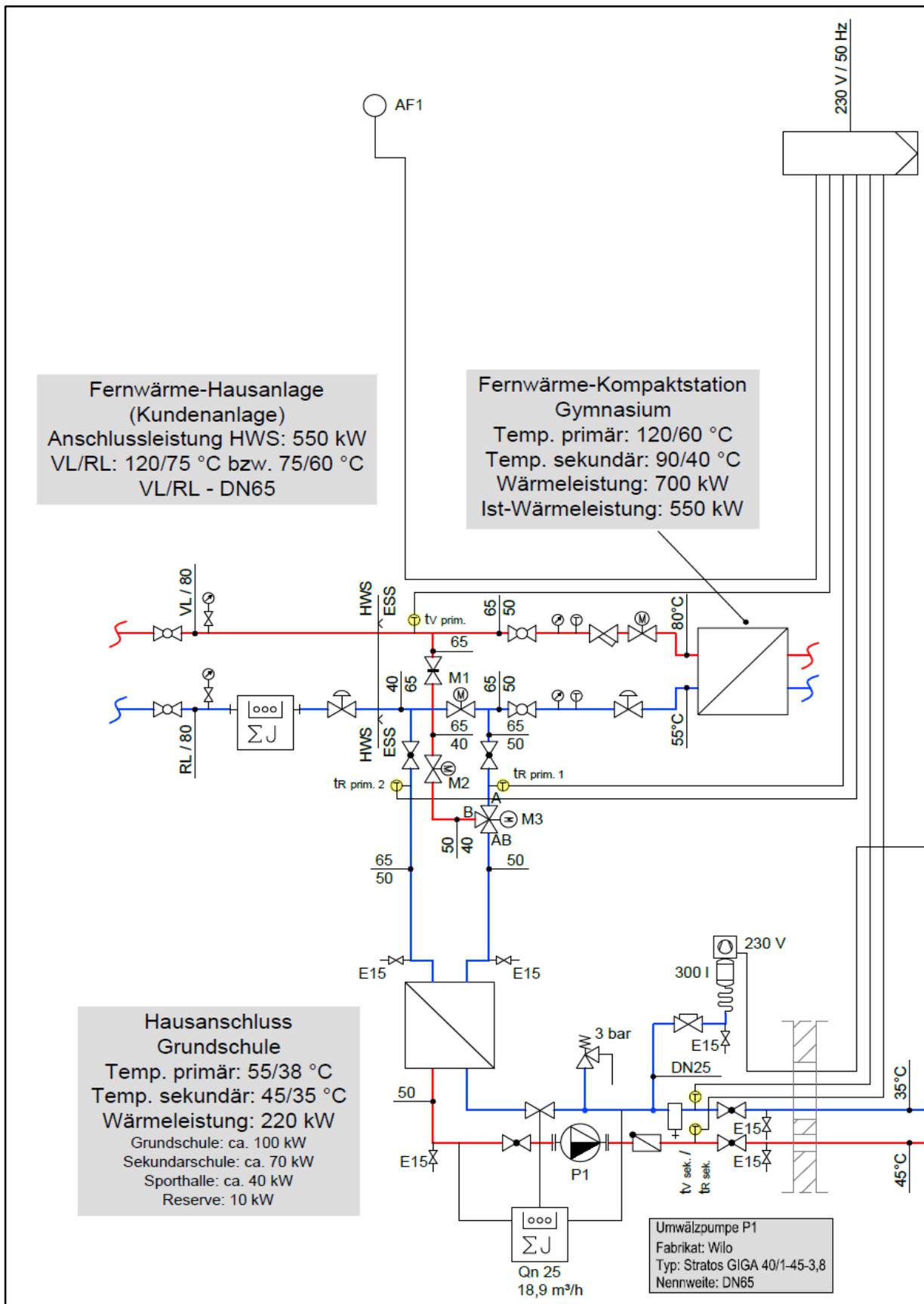


Abbildung 3-2: Strangschemata Heizung – Details zum Hausanschluss im Gymnasium [1]

Hauptverbraucher sind die in Abbildung 3-3 dargestellten 6 Heizregister. Sie versorgen die beiden Hauptlüftungsanlagen für den Klassentrakt (15 kW) und den Verwaltungstrakt (21 kW) mit Nacherhitzer für den Flur (10 kW). Darüber hinaus sind die Luftherhitzer der Küche (11 kW, 18 kW, 18 kW) an das Netz angeschlossen. Alle Heizregister sind mit eigenen Mischventilen und Pumpen versehen und auf 45/35°C ausgelegt.

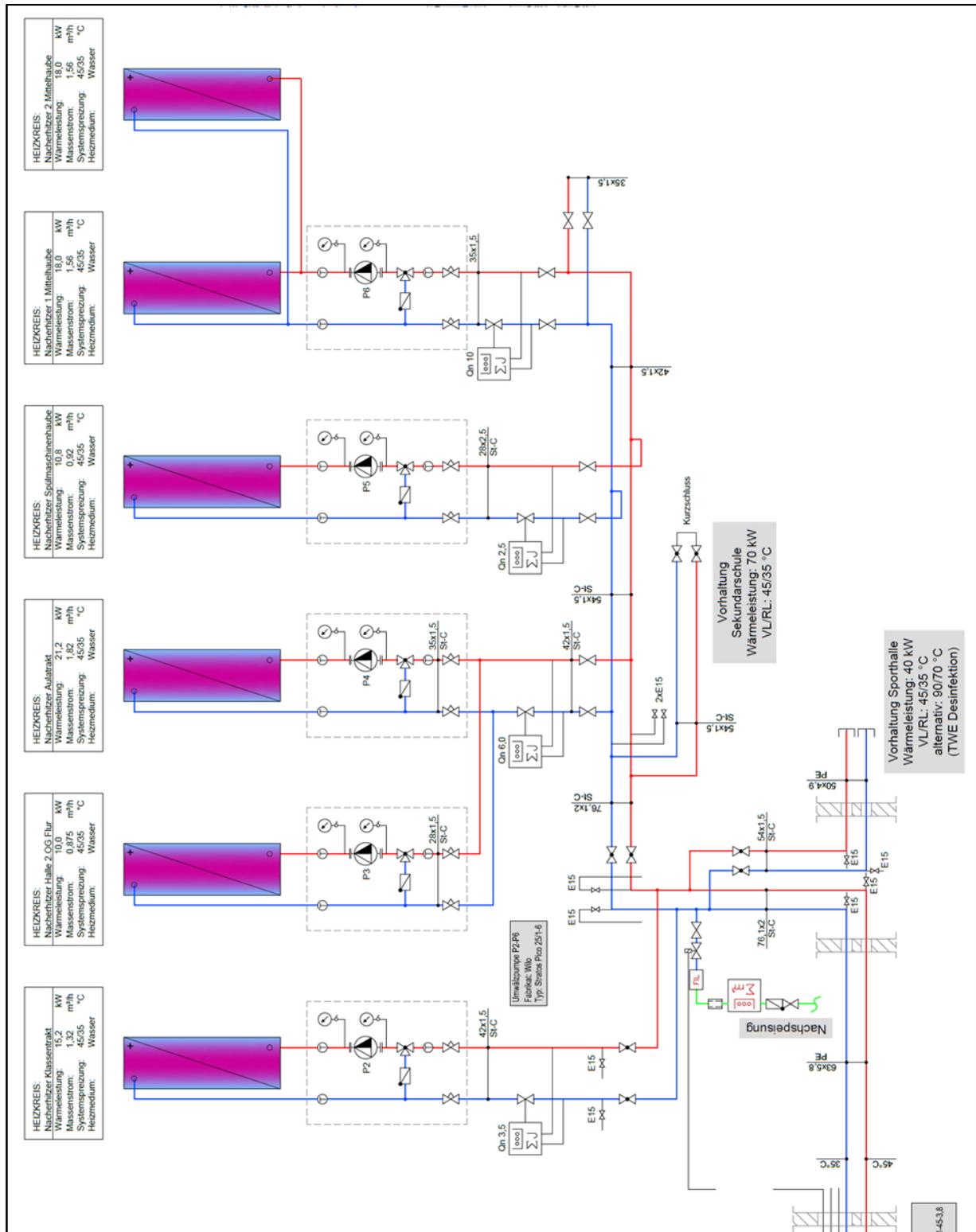


Abbildung 3-3: Strangschema Heizung – Details der Heizregister St. Franziskus [1]

Grundsätzlich ist das Fernwärmenetz auch für die Nacherwärmung des Solarpuffers der Küche vorgesehen, siehe Abbildung 3-4. Es ist ein Heizregister mit 25 kW Leistung im Speicher installiert. Allerdings wird diese Möglichkeit – aufgrund des geringen Temperaturniveaus der Fernwärme – nicht genutzt. Eine weitere Vertiefung der Thematik ist in **Abschlussbericht 8** gegeben.

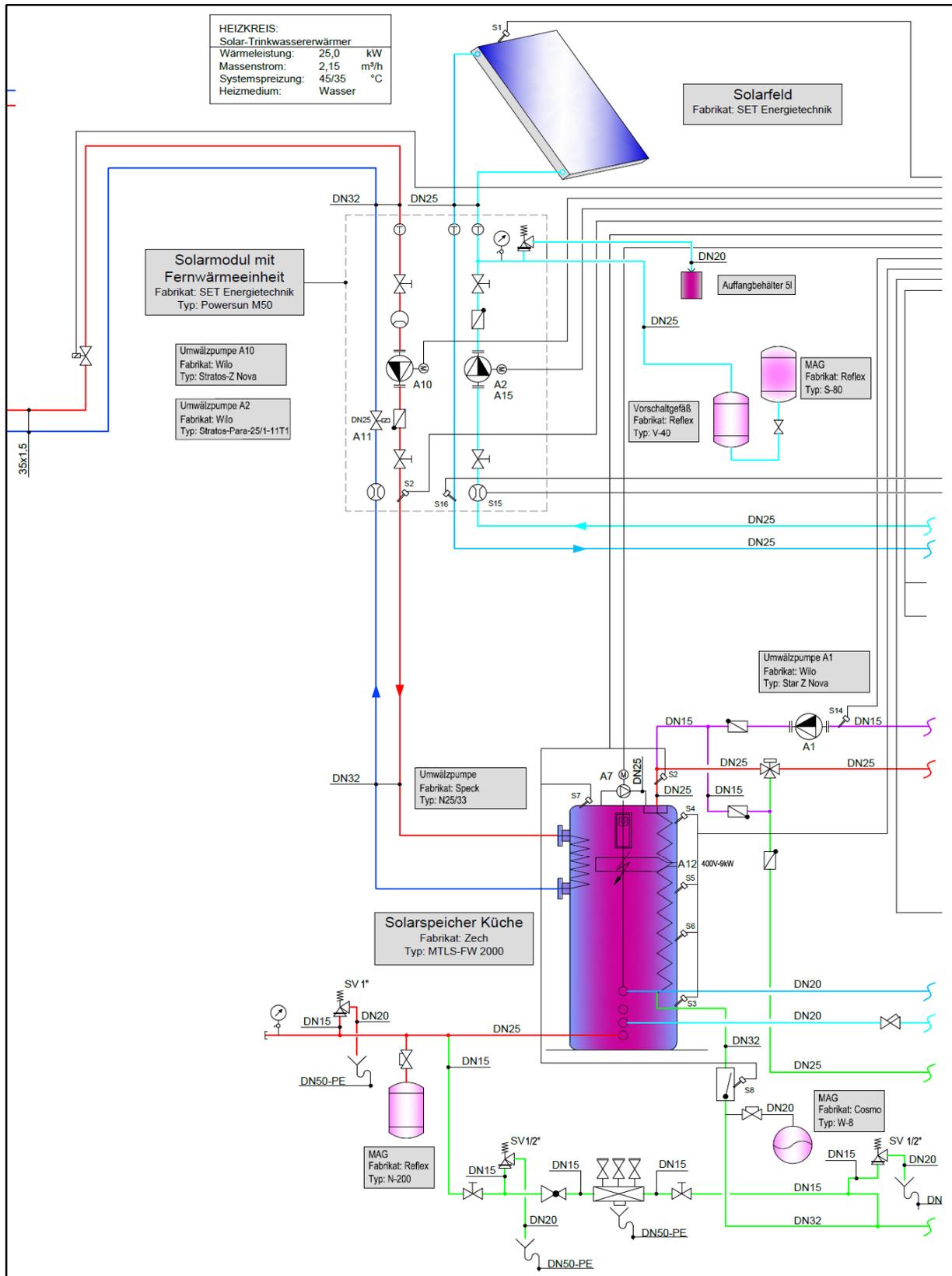


Abbildung 3-4: Strangschema Heizung – Details der Solarthermie [1]

3.1.2 Grundrisse Heizung

Nachfolgende Pläne zeigen den Verlauf der Rohrleitungstrassen aus der Planungsphase 2011. Die Umsetzung erfolgte ohne Abweichung. Die zum Solarkreislauf gehörigen Leitungen sind zusätzlich mit eingetragen.

Aufgrund der Insolvenz des ersten Planers lagen sämtliche Originalpläne nur als PDF-Dateien aus der Bauantragsphase (2011) sowie Papierausdrucke aus der Ausführungsphase (2013) vor. Alle Änderungen bei der Ausführung wurden daher – wenn überhaupt – nur händisch festgehalten.

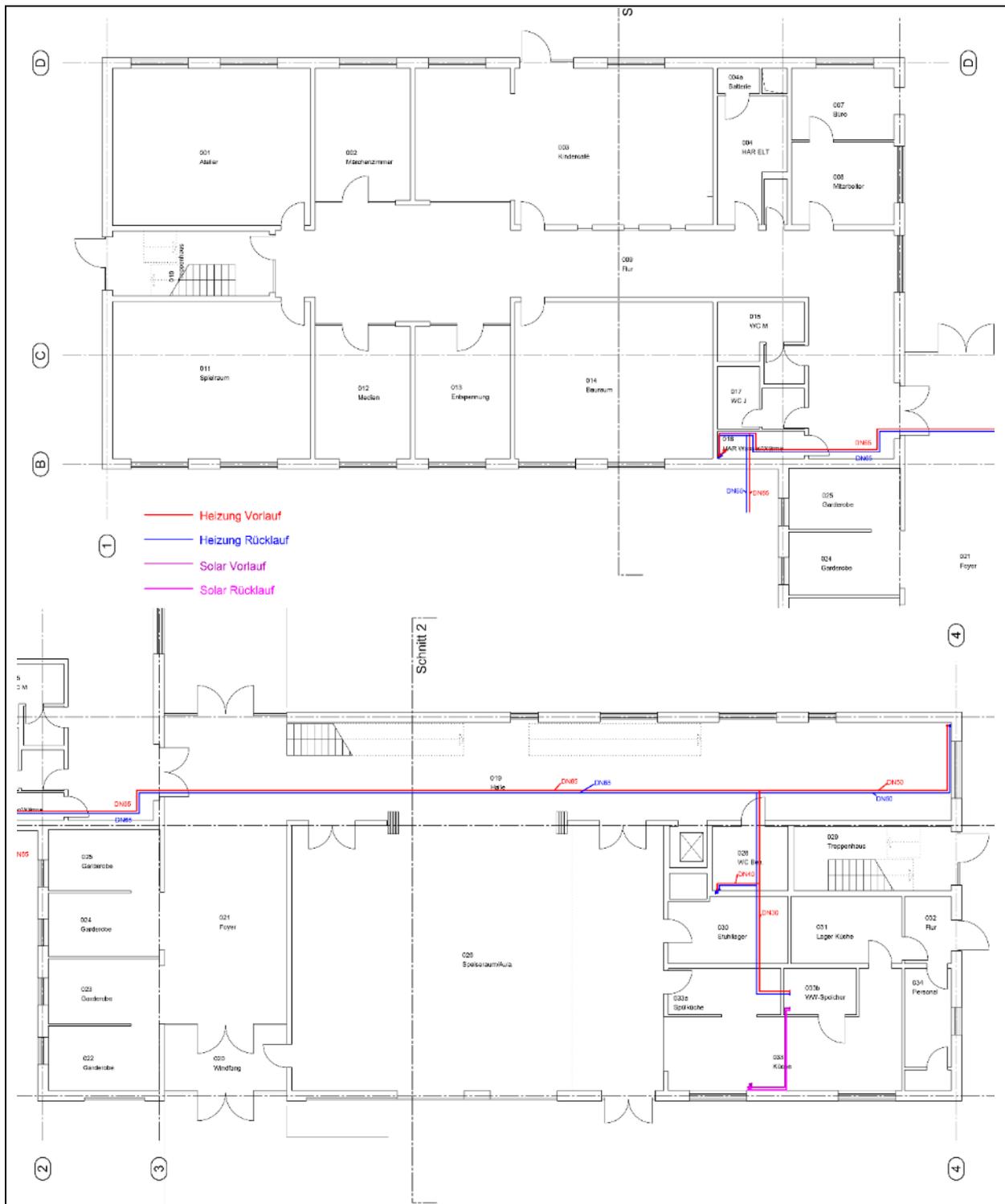


Abbildung 3-5: Grundriss Heizung – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben) [3]

Daher wurden nach Baufertigstellung alle Planunterlagen im Rahmen des Monitorings neu als CAD-Dateien erstellt und Änderungen eingetragen [4] [5] [6].

Für die Planerstellung in CAD gelten folgende Konventionen: alle Leitungen werden immer 10 cm neben der Wand gezeichnet. Um die Netze übersichtlicher darzustellen, werden die Leitungen, die in der Realität untereinander verlegt sind, im 2D-Raum nebeneinander gezeichnet.

Sämtliche Planunterlagen sind im separaten **Anhang A** zu finden.

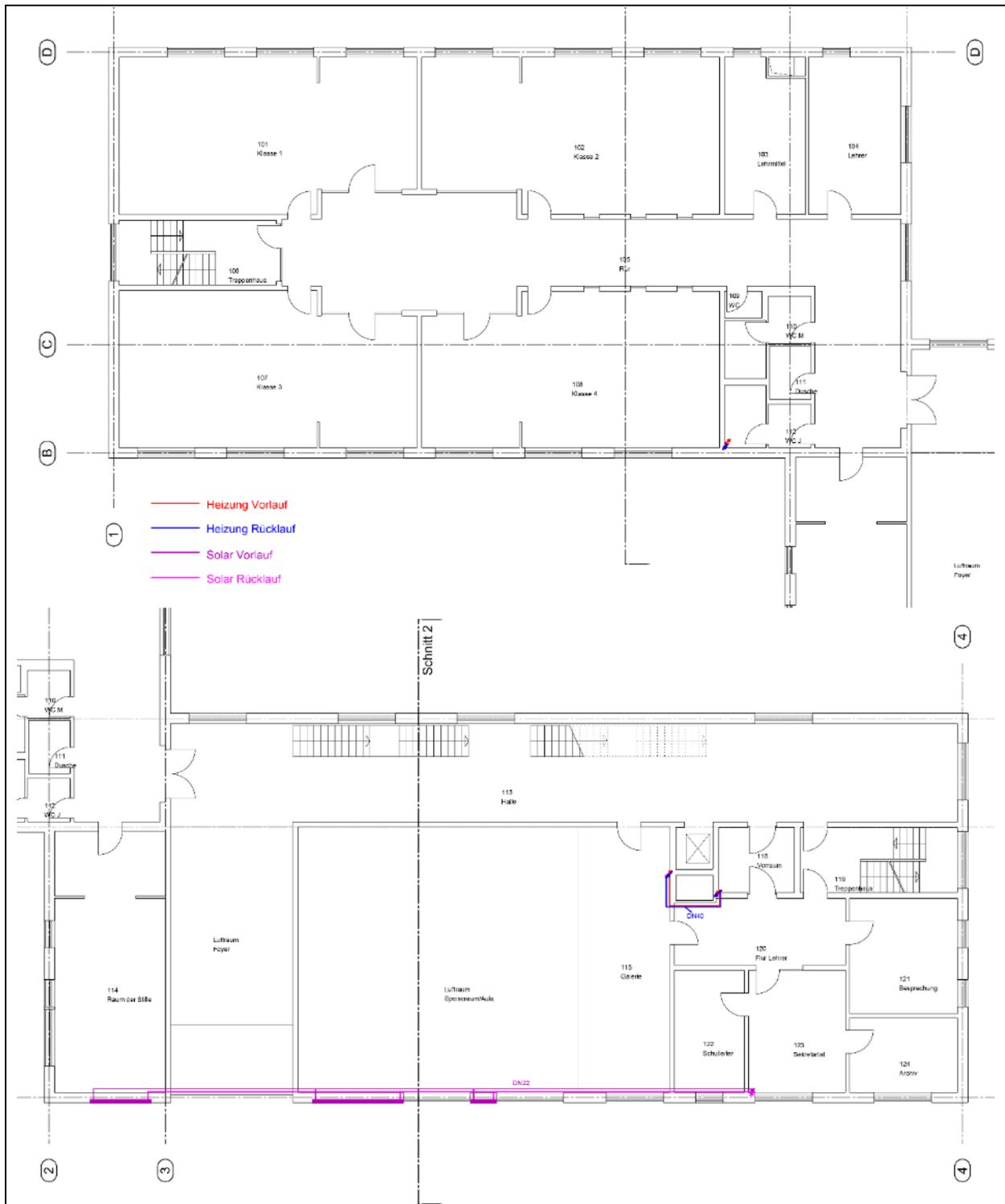


Abbildung 3-6: Grundriss Heizung – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben) [3]

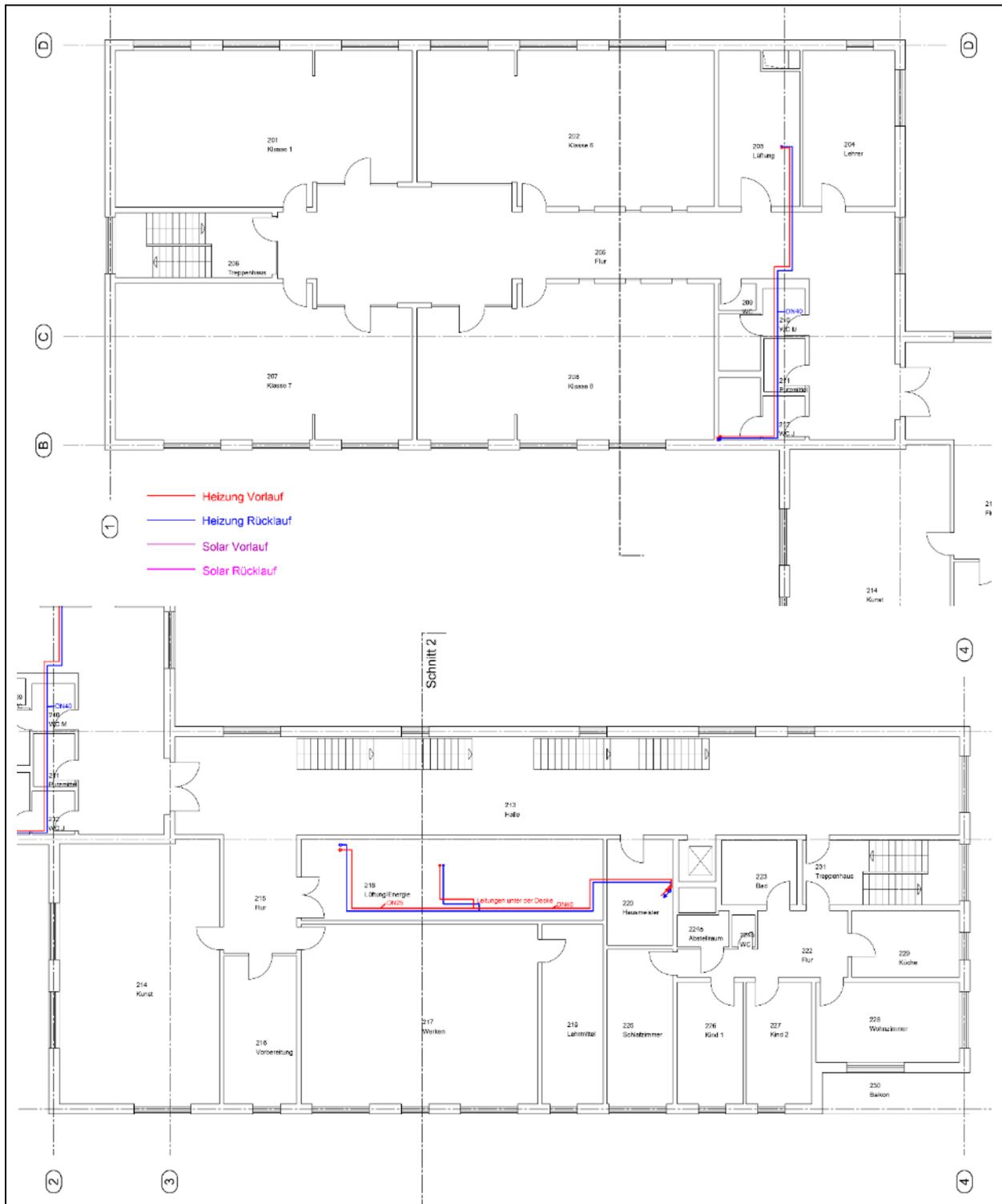


Abbildung 3-7: Grundriss Heizung – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben) [3]

3.2 Hausanschluss

Bei der Erschließung der Grundschule wurde auf den ohnehin vorhandenen Fernwärmeanchluss des benachbarten Gymnasiums (Anschlussleistung 500 kW) zurückgegriffen, siehe Abbildung 3-8 und Abbildung 3-9.



Abbildung 3-8: Hausanschlussraum im Gymnasium vor der Neuinstallation



Abbildung 3-9: Hausanschlussraum im Gymnasium nach der Neuinstallation

Die Grundschule ist im Rücklauf des Gymnasiums – im Sinne einer Reihenschaltung der Verbraucher – angeordnet.

Bei der Überprüfung der im Gymnasium vorliegenden Systemtemperaturen durch den dortigen Energiebeauftragten konnte während der Planungsphase 2010/11 festgestellt werden, dass eine Rücklauftemperatur von 50 ... 55°C dauerhaft vorhanden ist. Der Energieversorger zeigte sich für die Rücklaufauskühlung aufgeschlossen, da hierdurch die primäre Rücklauftemperatur weiter abgesenkt wird und sich somit die Effizienz der Fernwärmeerzeugung und der -verteilung (geringere Fernwärmeevolumenströme) erhöht.

Der Grundschulneubau wird mittels einer erdverlegten Querung der Murmanner Straße an die Fernwärmeversorgung des Gymnasiums angeschlossen, wobei auch die Anschlüsse für die geplante Turnhalle und die geplante Sekundarschule bereits vorgehalten werden.



Abbildung 3-10: Rohrdurchführung zur Grundschule (oben rechts)

Das neue Netz wird mit einem Wärmeübertrager vom Altbestand getrennt. Dies erfolgt durch den Einbau eines neuen Wärmeübertragers. Hierbei handelt es sich um einen Plattenwärmeübertrager vom Typ COSMO 85/60 mit gelöteten Edelstahlplatten. Es wird eine Gesamtleistung angesetzt von:

- Grundschule 100 kW
- Sporthalle 40 kW
- Sekundarschule 70 kW
- Reserve 10 kW
- Gesamt 220 kW

Die Vorlauftemperatur für die Grundschule wird regelungstechnisch auf 45°C begrenzt. Es erfolgt eine Auslegung der Verbraucherkreise mit der Temperaturpaarung 45/35°C. Für den Fall, dass die Rücklauftemperatur des Gymnasiums nicht ausreichend ist oder aus anderen Gründen eine Versorgung über den Rücklauf nicht möglich ist, ermöglicht ein Umschaltventil den Zugriff auf den Fernwärmeverlauf (Hochtemperatur) und damit eine Parallelschaltung beider Schulen.

Thermografie

Anfang 2017 wurde bei einer Außentemperatur von etwa -10°C eine Thermografie des Gebäudes mit Dichtheitsmessung und Leckageortung durchgeführt. Da entsprechende Technik vor Ort war, wurden auch die technischen Anlagen untersucht und Schwachstellen dokumentiert.

Abbildung 3-11 zeigt vorne links die Bestandsübergabestation des Elisabeth-Gymnasiums, erkennbar im Hochtemperaturbetrieb sowie mit schlechter Dämmung. In der Mitte ist hinten im Raum die Pumpe für die Versorgung der Grundschule deutlich zu erkennen. Rechts oben – mit Temperaturen im Bereich von 45°C ist die ungedämmte Rohrdurchführung zur Grundschule zu erkennen.

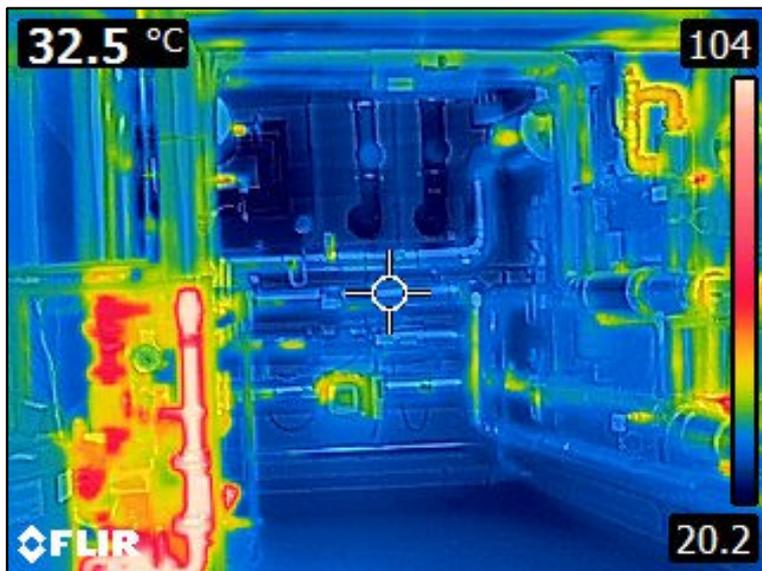


Abbildung 3-11: Übergabestation Elisabeth-Gymnasium (links) und Pumpe St. Franziskus (Mitte)

Abbildung 3-12 zeigt Temperaturen an den ungedämmten Leitungsteilen. Im linken Bild sind Temperaturen bis ca. 60°C feststellbar. Die thermografierten Leitungen gehören zum neuen Anschluss für die St. Franziskus-Grundschule. Das rechte Bild zeigt die eigentlichen Systemtemperaturen des Versorgers, wie sie für das Elisabeth-Gymnasium zum Einsatz kommen: 110°C Vorlauftemperatur entspricht der Auslegungsvorlauftemperatur des Versorgers.



Abbildung 3-12: Temperaturen an ungedämmten Leitungsteilen (Januar 2016)

Anschlussraum in der Grundschule

Der erdverlegte Fernwärmeanschluss tritt im Hausanschlussraum 0.18 – siehe Abbildung 3-13 – der Grundschule in das Gebäude ein. Die Hauseinführung der Rohre erfolgt über einen Bodenschacht, in dem auch die Entleerungsventile angebracht sind. Abbildung 3-14 zeigt die Rohrdurchführung während der Installation, d. h. bevor die Dämmung angebracht wurde.



Abbildung 3-13: Gesamtblick in den Hausanschlussraum 0.18 mit Schachtzugang im Boden



Abbildung 3-14: Anschlusschacht mit Heizungsleitungen während der Installation

Im Hausanschlussraum 0.18 wurde ebenfalls die zentrale Heizungsregelung angeordnet, siehe Abbildung 3-15. Der Schaltkasten enthält die Module zur Pumpenansteuerung, Zeitschaltuhr sowie die Schnittstelle zur Ansteuerung der drei Regel- bzw. Umschaltventile.



Abbildung 3-15: Schaltkasten für Heizungsregelung

Der geschlossene Kreislauf der Wärmeversorgung kann vom Raum 0.18 aus mit aufbereitetem Heizungswasser befüllt werden, siehe Abbildung 3-16. Die Menge wird erfasst, jedoch ist der Zähler nicht in das automatische Monitoring eingebunden.

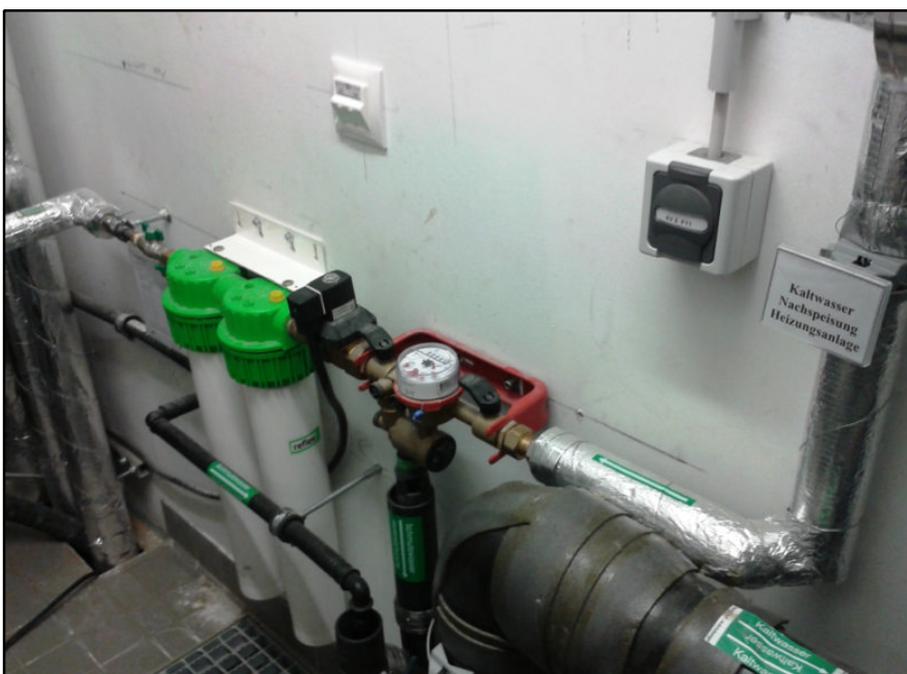


Abbildung 3-16: Heizwassernachspeisung mit Zähler

3.3 Bauteile

3.3.1 Wärmeübertrager

Im Elisabeth-Gymnasium ist ein Plattenwärmeübertrager mit 220 kW Leistung installiert, siehe Abbildung 3-17. Da Turnhalle und Sekundarschule noch nicht gebaut sind, werden derzeit davon lt. Planung maximal 118 kW ausgeschöpft, siehe Tabelle 3-1.

TYP		COSMO Gelöteter Plattenwärmetauscher 1x COSMO 85/60 DN50 Art.Nr. CWTG856003DN50				Version 4.0
Für diese Größe empfehlen wir:		Bodenkonsole: CWTG0850008				
Leistung	kW	220,00				
Medium		Wasser		Wasser		
		Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt	
<i>Sitz der Anschlüsse</i>		S1	S2	S3	S4	
Massenstrom	kg/h	11148,84		18959,24		
Volumenstrom (flüssig)	m ³ /h	11,27		19,11		
Temperatur	°C	55,00	38,00	35,00	45,00	
k-Wert (sauber) / k-Wert (betrieb)	W/m ² ·K	9234,88		4349,33		
Spezifische Wärmekapazität	kJ/kg·K	4,18		4,18		
Dichte	kg/m ³	989,54		992,09		
Wärmeleitfähigkeit	W/m·K	0,64		0,63		
Dynamische Viskosität	mm ² /s	0,58		0,65		
log. Temperaturdifferenz	K			5,81		
Fouling-Factor [10E-4]	m ² ·K/W	0,00		0,00		
Gesamtfläche	m ²			8,70		
Flächenreserve	%			112,33		
Anzahl der Kanäle		1x29		1x30		
Druckverlust	kPa	5,37		14,25		
Gesamtplattenanzahl		60				
Anschlussgröße		Flansch DN50/PN40		Flansch DN50/PN40		
Apparate in Reihe		1				
Apparate Parallel		1				
Material		1.4404 / AISI 316 L				
Lötmaterial		Kupfer				
Leergewicht	kg			47,00		
max. Betriebsdruck/Prüfdruck	bar	30/45		30/45		
min./max. Betriebstemperatur	°C	-50/195				
Anmerkung: <i>Sitz der Anschlüsse</i> – Klammerwerte gelten für zweistufige Schaltungen. PWÜ-Platten aus Edelstahl, Werkstoff 1.4404, in einem Spezialverfahren miteinander hart verlötet. Geprüft entsprechend DGR 97/23/EG.						
- Die Plattenanordnung wird gemäß den Anforderungen optimal ausgelegt!						
- Es ist auf Medienverträglichkeit zu achten, zulässige Wasserinhaltsstoffe müssen beachtet werden. Bitte beachten Sie hierzu unsere Montage-, Betriebs- und Wartungsanleitung.						
- Bei Korrosion übernehmen wir keine Haftung.						
- Achtung: Bitte überprüfen Sie die von uns eingesetzten Stoffwerte und Eingabedaten!						

Abbildung 3-17: Technische Daten Plattenwärmeübertrager (Hauptanschluss Grundschule) [1]

Die Speicherwerke der Wärmemengenzähler erfassten nachfolgende Maximalleistungen an den jeweils angegebenen Tagen:

- Hauptzähler: 46,3 kW (6.1.2016) geplant 220 kW
- Küche Spülhaube: 3,6 kW (7.1.2016) geplant: 10,8 kW
- Küche Kochhaube: 4,5 kW (7.1.2016) geplant: 36,0 kW
- RLT Klassentrakt: 26,8 kW (1.1.2017) geplant: 15,2 kW
- RLT Verwaltungstrakt: 25,3 kW (4.1.2016) geplant: 21,2 kW

Ob die gezeigten Leistungen das jeweils erreichte Maximum darstellen, ist nicht bekannt. Der Speicherzähler erfasst jeden Monat das aufgetretene Maximum und überschreibt damit den Vormonatswert. Dokumentiert sind daher nur die bekannten Maxima.

Im Klassentrakt liegt die erreichte Leistung mit knapp 27 kW deutlich über der geplanten Leistung von 15 kW. Die Abweichung zum Sollwert ist so hoch, dass davon auszugehen ist, dass die Vor- und Rücklauftemperaturen über dem Planwert von 45/35°C gelegen haben. Eine Detailanalyse zeigt, dass Anfang Januar 2017 eine Spreizung von 57/47°C erreicht wurde (Parallelbetrieb), siehe auch Kapitel 8.5.

Warum die Leistungen in der Küche so stark von den Planwerten abweichen, ist nicht bekannt.

3.3.2 Regelventile

Für den Hauptanschluss der Grundschule an das Gymnasium werden neben dem Plattenwärmeübertrager auch drei Regel- bzw. Umschaltventile benötigt:

- M1: Honeywell V5016A1127 Durchgangsventil, $k_{v,s} = 63 \text{ m}^3/\text{h}$, DN 65
- M2: Honeywell V5016A1101 Durchgangsventil, $k_{v,s} = 25 \text{ m}^3/\text{h}$, DN 40
- M3: Honeywell V5329A1061 Dreiwegeventil, $k_{v,s} = 40 \text{ m}^3/\text{h}$, DN 50

Das Durchgangsregelventil M1 (Abbildung 3-18) dient der Regelung der Rücklaufwassermenge, die über die Übergabestation für St. Franziskus strömt. Die Wassermenge wird so reguliert, dass die gewünschte sekundäre Vorlauftemperatur eingehalten wird (45°C). Ist M1 ganz geschlossen, wird das gesamte Rücklaufwasser über die Übergabestation geleitet. Je weiter das Ventil öffnet, desto geringer die Menge über die Übergabestation.



Abbildung 3-18: Durchgangsregelventil M1 im Rücklauf des Elisabeth-Gymnasiums

Zur Regelung der Vorlaufwassermenge, die über die Übergabestation für St. Franziskus strömt, dient das Regeldurchgangsventil M2 (Abbildung 3-19). Es wird nur verwendet, wenn über die Rücklaufwassernutzung keine ausreichende Vorlauftemperatur erreicht wird. Ist das Ventil M2 geschlossen, strömt kein Wasser. Je weiter die Öffnung, desto mehr Vorlaufwasser wird vom Gymnasium abgezweigt und stattdessen für die Grundschule verwendet.



Abbildung 3-19: Durchgangsregelventil M2 im Vorlaufabzweig des Elisabeth-Gymnasiums

Das Ventil M3 (Abbildung 3-20) ist ein Umschaltventil zwischen Reihen- und Parallelschaltung.

Durch das Tor A (Durchgang) strömt im geöffneten Zustand das Rücklaufwasser vom Elisabeth-Gymnasium. Steht das Ventil in der Position A-AB ist eine Reihenschaltung der Verbraucher gegeben. Geregelt wird die Wassermenge dann von M1. Das ist der Normalbetrieb.

An das Tor B ist der Vorlauf vom Elisabeth-Gymnasium angeschlossen. Steht das Ventil in der Position B-AB ist eine Parallelschaltung beider Schulen gegeben. Das ist der Ausnahmefall. Geregelt wird die Wassermenge dann von M2.



Abbildung 3-20: Umschaltventil M3

Für die Heizregister an den Lüftungsanlagen sind Dreiwegeventile der Fa. Wittler vorhanden, siehe Abbildung 3-21. Es wurden folgende Größen verwendet:

- Heizregister Klassentrakt: $k_{v,S} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$
- Heizregister Verwaltungstrakt: $k_{v,S} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$
- Nachheizregister Flure: $k_{v,S} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$



Abbildung 3-21: Regelventile an den Heizregistern der Lüftungsanlagen

Weitere Daten zu den Ventilen sind dem separaten [Anhang C](#) zu entnehmen.

3.3.3 Pumpen

Zur Heizwärmeversorgung gehören insgesamt 6 Pumpen: die Hauptpumpe im Elisabeth-Gymnasium sowie 6 Verbraucherpumpen. Nachfolgende Zusammenstellungen liefern die Randdaten der Auswahl gemäß Planung [3].

Hauptpumpe

- WILO-Stratos GIGA 40/1-45/3,8 (Abbildung 3-22, Abbildung 3-23)
 - berücksichtigt bei der Auslegung sind 200 m Rohrleitung erdverlegt PE 63 x 5,8 sowie 80 m Stahlrohr DN 65; hierfür wird vom Planer eine Druckverlusthöhe von 30,2 m angesetzt
 - für den Wärmeübertrager, den Wärmemengenzähler, Mischer und Formteile wurden 7 m berücksichtigt
 - somit ergibt sich ein Druckverlust von ca. 37,2 m
 - eingestellt sind 3,0 m (Hinweis der Berichtverfasser: es muss entgegen der Planung hier bei der Beschreibung die Zehnerpotenz falsch sein; korrekt 3,72 m)

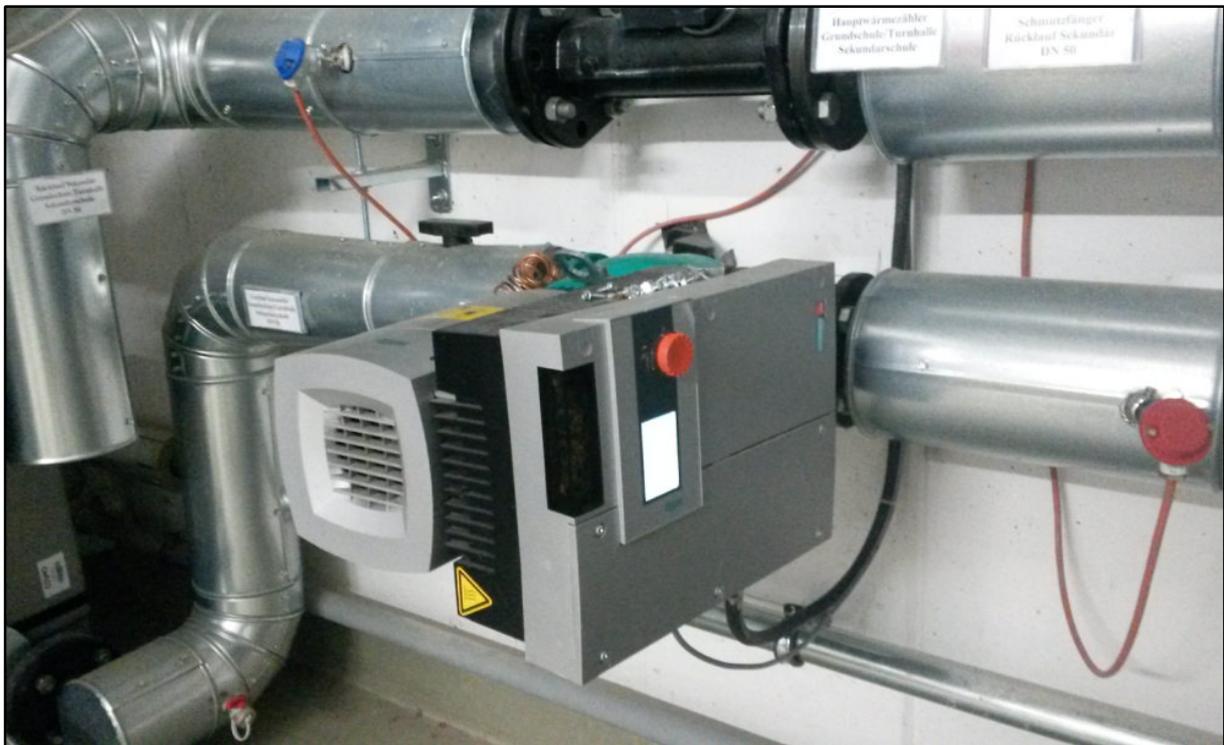


Abbildung 3-22: Hauptpumpe im Elisabeth-Gymnasium

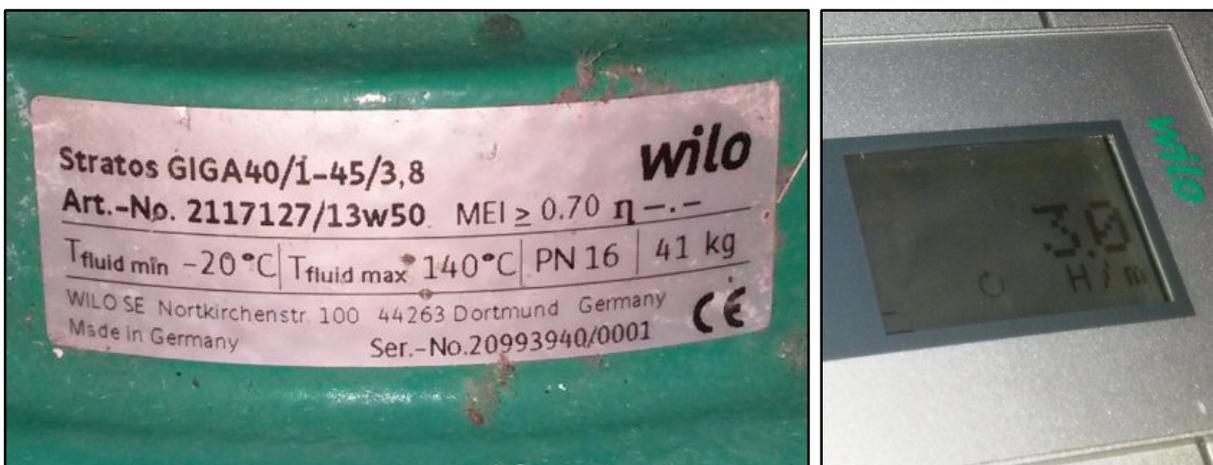


Abbildung 3-23: Hauptpumpe Typenschild und eingestellte Förderhöhe

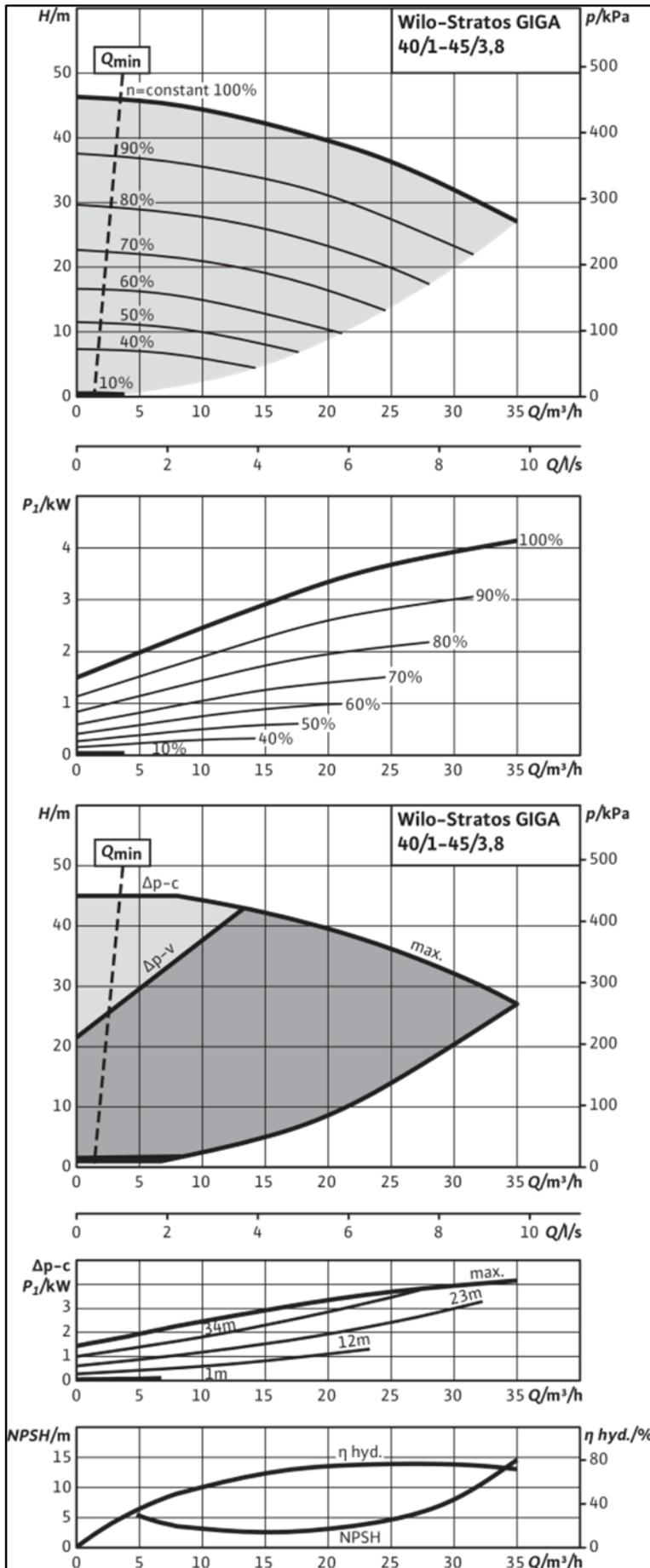


Abbildung 3-24: Pumpenkennlinie Hauptpumpe [7]

RLT – Luftheizregister Klassentrakt

- WILO-Stratos PICO 25/1-6 (Abbildung 3-25)
 - berücksichtigt wurde ein Druckverlust des Heizregisters von 0,42 m
 - Mischer 1 m und 1,5m für die Rohrleitung, Formteile und Sicherheitszuschlag

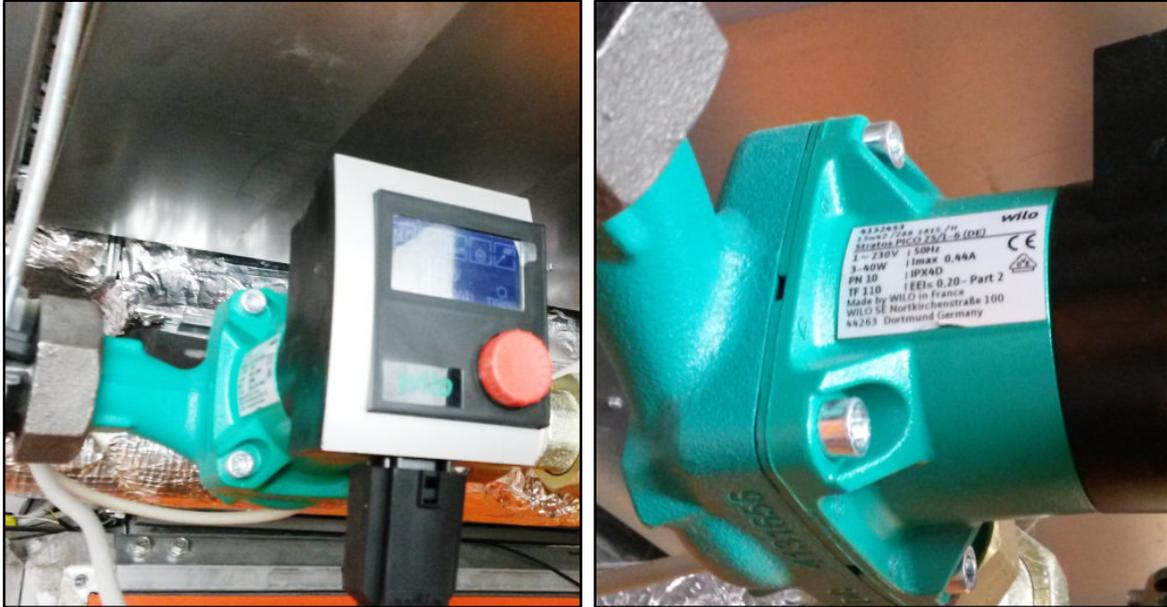


Abbildung 3-25: Pumpe Heizregister Klassentrakt

RLT– Luftheizregister Verwaltungstrakt und Nachheizregister Flur

- Verwaltungstrakt: WILO-Stratos PICO 25/1-6 (Abbildung 3-26)
 - berücksichtigt wurde eine Druckverlusthöhe des Heizregister von 0,35 m
 - Mischer 1 m und 1,5 m für die Rohrleitung, Formteile und Sicherheitszuschlag

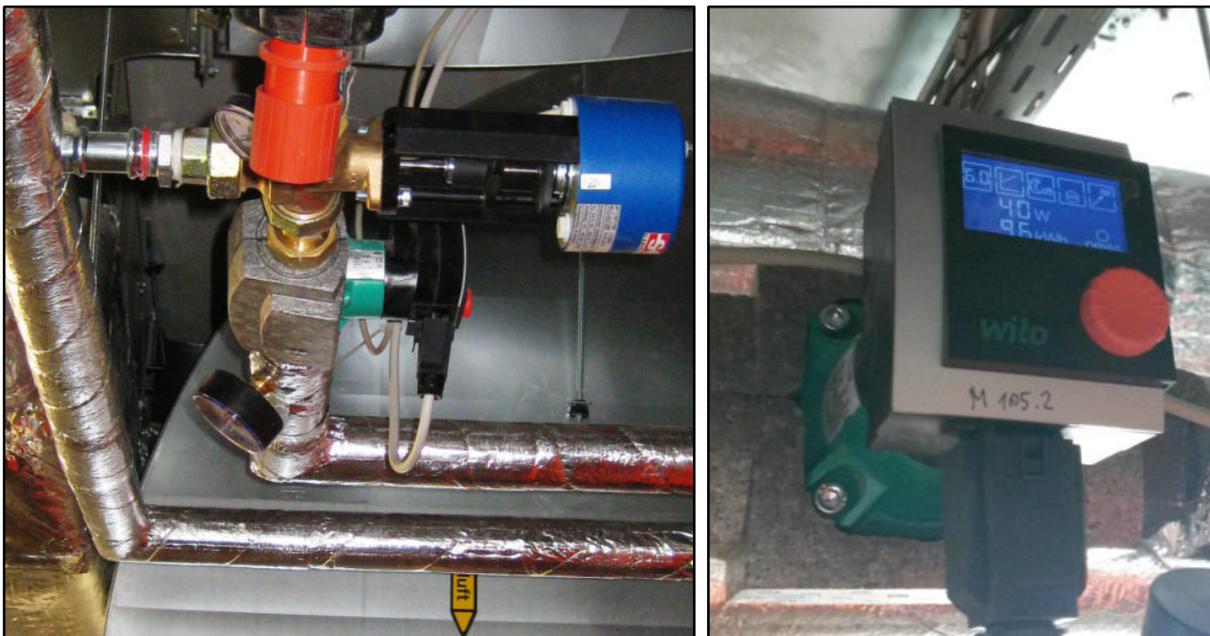


Abbildung 3-26: Pumpe Heizregister Verwaltungstrakt

- Flur: WILO-Stratos PICO 25/1-6 (Abbildung 3-27)
 - berücksichtigt wurde eine Druckverlusthöhe des Heizregisters von 0,58 m
 - Mischer 1 m und 1,5 m für die Rohrleitung, Formteile und Sicherheitszuschlag

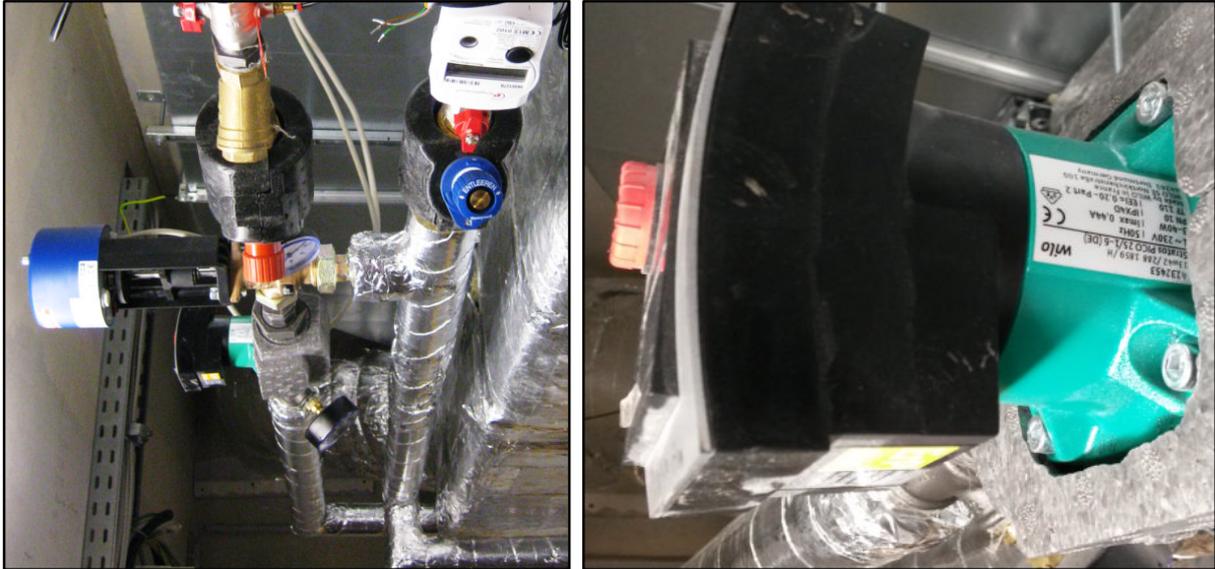


Abbildung 3-27: Pumpe Nachheizregister Flur

Küche – Heizregister für Spülmaschine und Mittelhaube

- Mittelhaube: WILO-Stratos PICO 25/1-6 (Abbildung 3-28)
 - berücksichtigt wurde ein Druckverlusthöhe des Heizregisters von 1,05 m
 - Mischer 1 m und 1,5 m für die Rohrleitung, Formteile und Sicherheitszuschlag

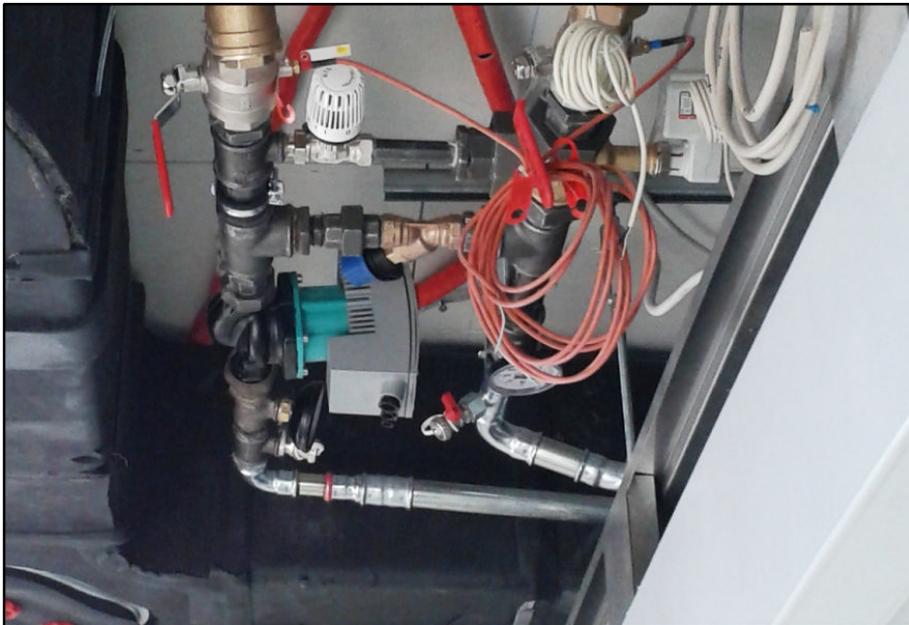


Abbildung 3-28: Pumpe Heizregister Mittelhaube über Kochblock

- Spülhaube: WILO-Stratos PICO 25/1-6 (Abbildung 3-29)
 - berücksichtigt wurde eine Druckverlusthöhe eines Heizregisters von 0,91 m
 - Mischer 1 m und 1,5 m für die Rohrleitung, Formteile und Sicherheitszuschlag

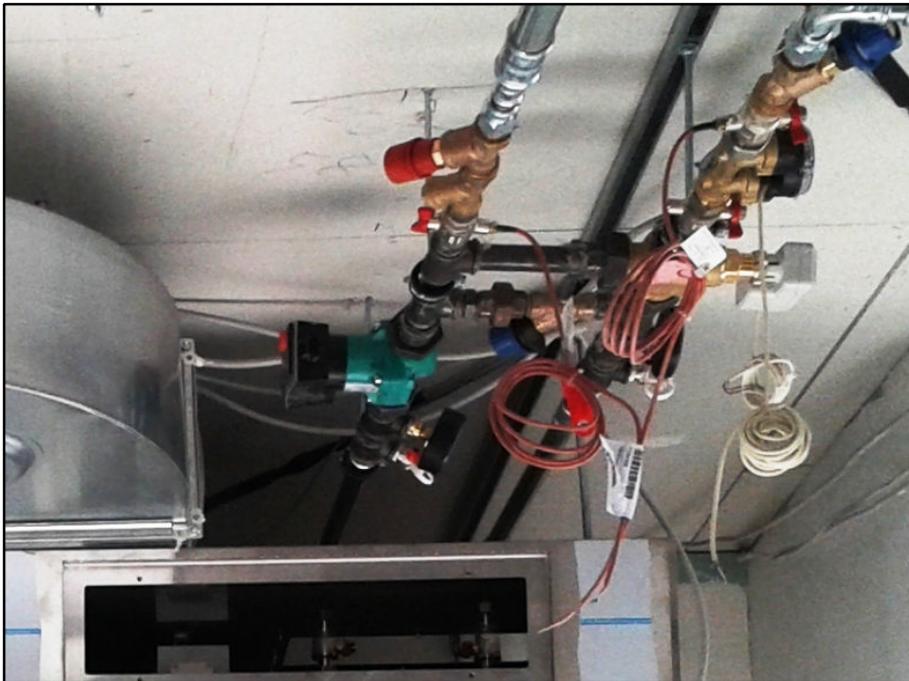


Abbildung 3-29: Pumpe Heizregister Spülhaube über Spülmaschine

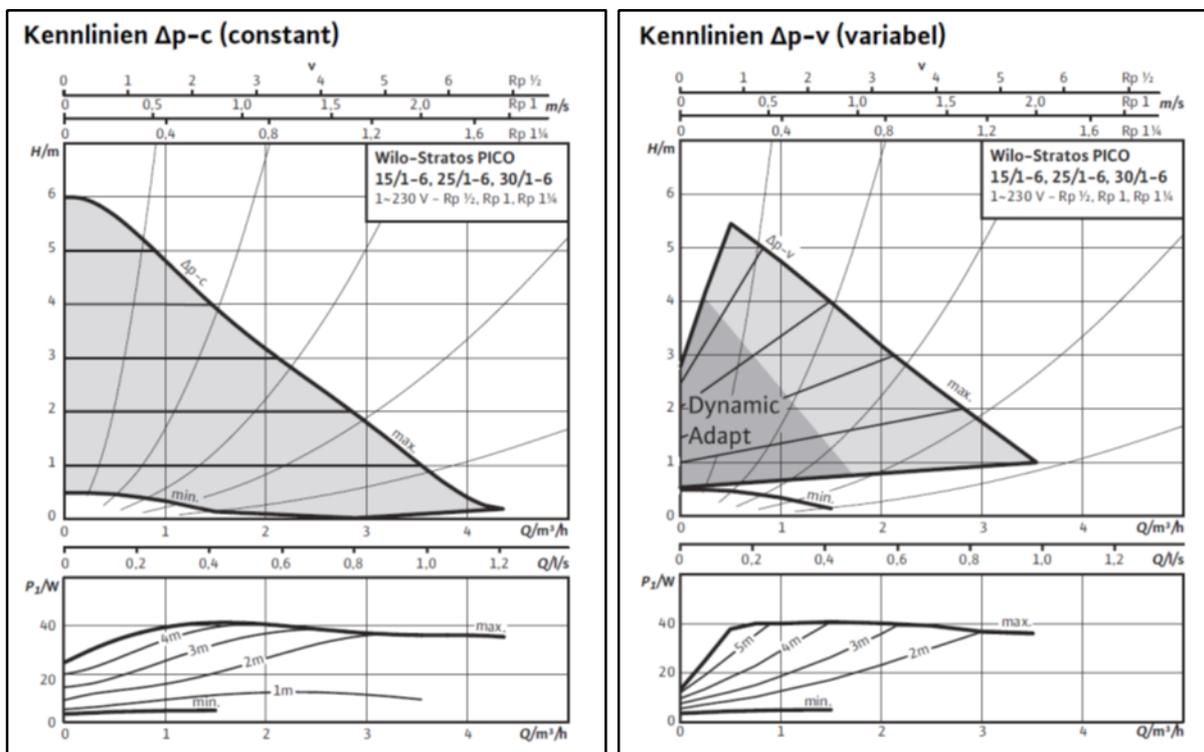


Abbildung 3-30: Pumpenkennlinie Verbraucherpumpen [7]

Weitere Daten der Pumpen sind dem separaten Anhang D zu diesem Bericht zu entnehmen.

3.3.4 Heizregister und Heizkörper

Heizregister der Lüftungsanlagen

Durch Fernwärme werden die in Tabelle 3-1 erfassten Abnahmestellen in der Grundschule versorgt. Die Luftheizregister sind mit der Temperaturspreizung 45/35°C ausgelegt.

Tabelle 3-1: Übersicht der Fernwärmeheizregister [1]

Heizregister	Leistung [kW]
für Lüftung	
Lüftungsgerät 1 (Klassentrakt)	15,2
Lüftungsgerät 2 (Aulatrakt)	21,2
Lüftungskanal (Flure Aula)	10,0
Küchendecke (Spülmaschine)	10,8
Mittelhaube	2 x 18,0
für Warmwasser	
Pufferspeicher 2000 l	25,0
Gesamt	118,0

Die Heizregister der beiden Hauptlüftungsgeräte sind jeweils im Zentralgerät (Raum 2.03 und Raum 2.18) angeordnet. Die Flure haben ein im Lüftungskanal installiertes Nachheizregister (Revisionsklappe im Flur 2. OG). Die Küchenlüftungsgeräte sind Kompaktgeräte mit integrierten Heizregistern.

Elektrische Heizregister in der Hausmeisterwohnung

Die Lüftungsanlage der Hausmeisterwohnung hat keine Beheizung mit Fernwärme, hier gibt es raumweise elektrische Heizregister in den Lüftungskanälen der Zulufräume (2.25 Schlafzimmer, 2.26 und 2.27 Kinderzimmer sowie 2.28 Wohnzimmer). Installiert wurden 4 Heizregister mit 400 W Leistung der Firma Helios, Modell EHR-R, siehe Abbildung 3-31.



Abbildung 3-31: Nachheizregister 0,4 kW im Luftkanal mit Einzelraumregelung

Außerdem hat das Hauptbadezimmer des Hausmeisters eine elektrische Fußbodenheizung (manuell einzuschalten) mit Zeitschaltprogramm. Raumregler für die Luftheizung sind vorhanden (elektronisch), aber zusätzliche Zeitschaltprogramme wären wünschenswert gewesen.

Die maximale Zulufttemperatur ergibt sich aus der Leistung und dem Volumenstrom. Sofern keine Wärmegewinne in den jeweiligen Räumen angesetzt werden, ergeben sich im Auslegungsfall rechnerisch Zulufttemperaturen von 29 ... 42°C, siehe auch Kapitel 4.2.1. Unter Berücksichtigung von Gewinnen ist mit Temperaturen von 23 ... 33°C zu rechnen, siehe Kapitel 4.2.2.

Elektroheizkörper für Büros

Bereits in der Planungsphase wurde davon ausgegangen, dass einzelne Räume bei Bedarf Elektroheizkörper erhalten werden: "dies betrifft Räume, die nur sporadisch genutzt werden oder auch während der Ferienzeit besetzt sind. Hierzu zählen: Lehrerzimmer, Personalräume, Raum der Stille, Besprechungsraum, Schulleiterbüro, Sekretariat sowie der Vorbereitungsraum Kunst/Werken" [8].

Es war angedacht, in den betroffenen Nebenräumen die Stromanschlüsse für die Heizkörper vorzubereiten und die Zufriedenheit der Nutzer abzuwarten. Die Geräte werden dann bei Bedarf nachinstalliert.

Nach dem ersten Betriebsjahr wurden Anfang 2015 in folgenden Räumen Heizkörper nachgerüstet:

- Raum 0.07 (Hortbüro, EG, Nordost)
- Raum 0.08 (Hortbüro, EG, Ost)
- Raum 1.04 (Teamraum, 1. OG, Nordost)
- Raum 2.04 (Teamraum, 2.OG, Nordost)
- Raum 2.16 (Vorbereitungsraum, 2. OG, Süd)

Die Heizkörper wurden in der Nähe der Sitzplätze angeordnet, i. d. R. unter dem Schreibtisch, siehe Abbildung 3-33. Eine Zeitschaltuhr mit 120 Minuten Laufzeit wurde installiert. Eine Temperaturregelung gibt es nicht. Die Heizkörperleistung beträgt einheitlich 300 W, siehe Abbildung 3-32.



Abbildung 3-32: Elektroheizkörper und Typenschild im Raum 2.16

Alle anderen Büroräume, bei denen eine mögliche Unterversorgung vermutet wurde, haben sich als unkritisch erwiesen.



Abbildung 3-33: Nachgerüsteter Elektroheizkörper mit Zeitschaltuhr im Raum 2.16

Mobile Heizgeräte Hort

Im Hort waren auch im dritten Betriebswinter immer wieder zu niedrige Temperaturen festzustellen – insbesondere zu Tagesbeginn und besonders ausgeprägt zu Wochenbeginn nach der Absenkephase. Durch die fehlenden internen Lasten und die suboptimale Zulufttemperaturregelung erreichten Raumtemperaturen teils nicht einmal 18°C. Ein mobiles Heizgerät mit 3,3 kW Leistung wurde angeschafft, siehe Abbildung 3-34. Es ersetzt die fehlende Einzelraumregelung. Der Stromverbrauch wird nicht einzeln erfasst.



Abbildung 3-34: Mobiles Heizgerät mit 3.3 kW Leistung im Hort

Es ist anzumerken, dass die Nutzer das Gerät bzw. den notwendigen Einsatz als "altertümlich" empfinden. Es deckt sich nicht mit der Vorstellung, welche Technik in einem modernen Gebäude erwartet wird.

Insofern deckt sich die Meinung der Nutzer mit der Erkenntnis aus dem Monitoring: eine Einzelraumregelung oder zumindest Zonenregelung ist in künftigen Bauprojekten sinnvoll. Es darf erwartet werden, dass zum Betriebsbeginn die Räume 20°C erreicht haben. Auch darf erwartet werden, dass es keine Ungleichbeheizung von bis zu 5°C innerhalb eines Gebäudes gibt.

Der Einsatz einer elektrischen Nachheizung als solches ist jedoch durchaus sinnvoll. Die Auswertung der Verbrauchswerte zeigen einen Heizwärmebedarf von durchschnittlich etwa 10 kWh/(m²a) im Klassentrakt.

Es wäre durchaus vorstellbar gewesen, eine zentrale Vortemperierung der Luft mit Fernwärme vorzunehmen (Erwärmung auf eine Temperatur in der Nähe von 20°C, Ausgleich der Lüftungslast, geschätzt 50 % des Bedarfs) und eine lokale elektrische Nachheizung im Sinne einer Einzelraumregelung (die anderen 50 % des Bedarfs, Deckung der lokal unterschiedlichen Transmissionslasten) zu installieren. Dann allerdings als elektrische Luftheizregister mit Einzelraumregelung analog der Installation in der Hausmeisterwohnung. In den 4 großen Horträumen sind jeweils Transmissionsheizlasten (Auslegungsfall) im Bereich von 360 ... 590 W festzustellen.

3.3.5 Wärmemengenzähler

An allen Verbrauchern sind Wärmemengenzähler installiert. In den Lüftungszentralen 2.03 und 2.18 sind sie frei zugänglich, ebenfalls in der Heizzentrale des Elisabeth-Gymnasiums – siehe Abbildung 3-35 bis Abbildung 3-38. Lediglich in der Küche befinden sie sich in der abgehängten Decke – siehe Abbildung 3-39 und Abbildung 3-40.



Abbildung 3-35: Hauptwärmemengenzähler im Heizungsraum des Elisabeth-Gymnasiums



Abbildung 3-36: Wärmemengenzähler Klassentrakt in Raum 2.03



Abbildung 3-37: Wärmemengenzähler Verwaltungstrakt in Raum 2.18



Abbildung 3-38: Unterzähler Nachheizregister Flure in Raum 2.18

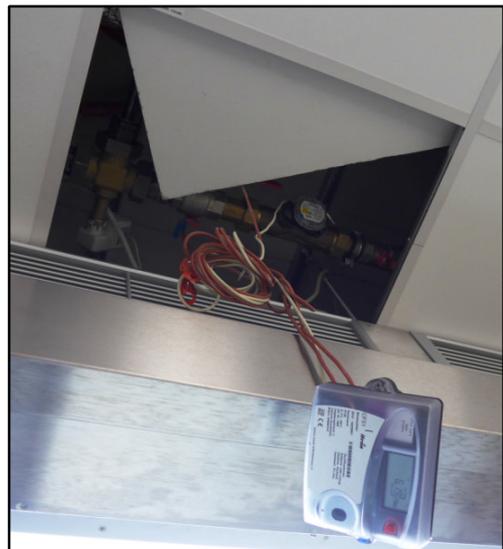


Abbildung 3-39: Wärmemengenzähler Mittelhaube über Kochblock in Raum 0.33



Abbildung 3-40: Wärmemengenzähler Spülhaube über Spüle in Raum 0.33a

3.3.6 Rohre und Dämmung

Für das Heizungsnetz wurde Edelstahl (Typ Mefa) für die Steig- und Horizontalverteilungen sowie für die Abnehmeranschlüsse eingesetzt.



Abbildung 3-41: Heizungsleitungen (hintere Wand) vor und nach der Dämmung

Es sind folgende Verlegelängen zu verzeichnen, welche auch in der Ökobilanzierung – siehe Abschlussbericht 3 – berücksichtigt wurden [9]:

- Edelstahl
 - DN 32: 31 m
 - DN 40: 85 m
 - DN 50: 22 m
 - DN 65: 267 m

Etwa 140 m der größten Dimension sind als Verbindungsleitung zwischen den beiden Schulen im Erdreich verlegt (70 m Trassenlänge).

Dämmung

Für die Dämmung der Leitungen im Gebäude gilt die EnEV. Innerhalb des Gebäudes sind 50 % Dämmdicke vorgeschrieben. Es konnte durch Stichprobenkontrollen festgehalten werden, dass:

- die Edelstahlleitungen in der Regel mit alukaschierter Mineralwolle versehen sind; Dämmdicke 100 % des Durchmessers (mehr als vorschriftsmäßig)
- Ausnahme: Leitung in der Zwischendecke EG/1.OG des Gebäudeteils A, dort wurde aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Höhe nur 50 % Dämmung verwendet (vorschriftsmäßig)

Die Dämmung der Verbraucheranschlüsse erfolgte nahezu lückenlos. Lediglich Regelventile und einzelne Verschraubungen wurden ausgelassen – siehe Abbildung 3-42. Für Pumpen und Absperrarmaturen sind die mitgelieferten Dämmhülsen eingebaut worden.



Abbildung 3-42: Anschluss am Verbraucher – hier RLT

Die thermografische Untersuchung zeigt die wärmeabgebenden Komponenten bei nahezu Auslegungsaußentemperatur (ca. -10°C) im Januar 2016: der Pumpenkopf, das Regelventil sowie der ungedämmte Heizregisteranschluss (mit ca. 35°C Temperatur) an einer RLT-Anlage, siehe Abbildung 3-43 und Abbildung 3-44.



Abbildung 3-43: RLT-Anschluss Klassentrakt

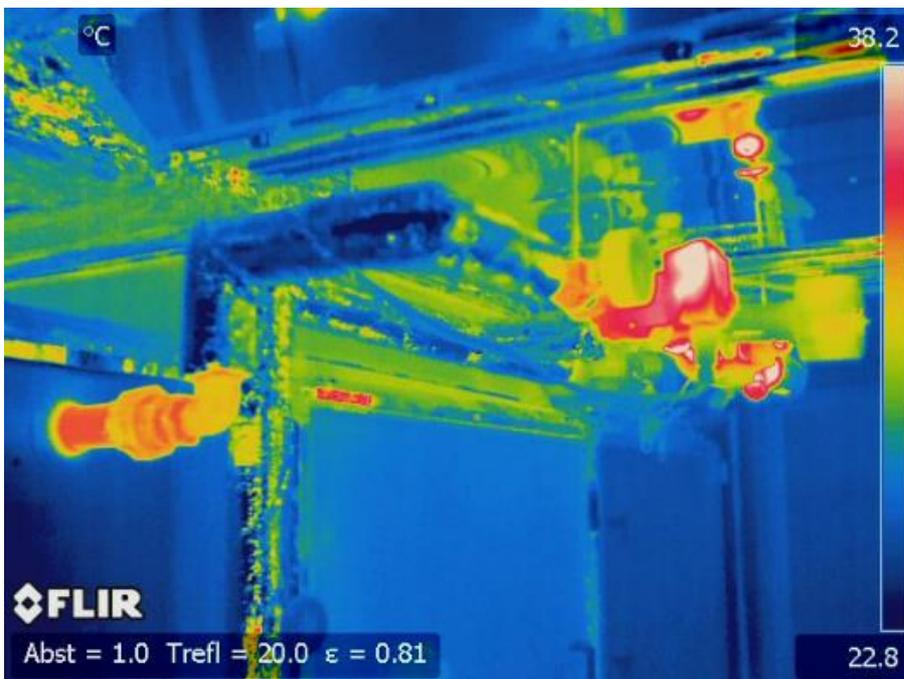


Abbildung 3-44: RLT-Anschluss Klassentrakt – Thermografie

Bei der Thermografie des Gebäudes am 6.1.2017 (Feiertag) wurden in dem ansonsten leeren Gebäude elektrische Verbraucher in Standby gesucht. Bei der Begehung des 1. Geschosses fiel dabei zufällig ein wärmeabgebendes Feld von ca. 40 x 40 cm Größe im Fußboden auf, siehe Abbildung 3-45 rechts. Es zeigte sich, dass hier über den kompletten Deckenquerschnitt eine Revisionsöffnung für die Fernwärmetrasse angeordnet ist. Insbesondere der unge-dämmte Kompensator führt mit seinen Oberflächentemperaturen von knapp 38°C zur Erwärmung der umliegenden Konstruktion, siehe Abbildung 3-46.

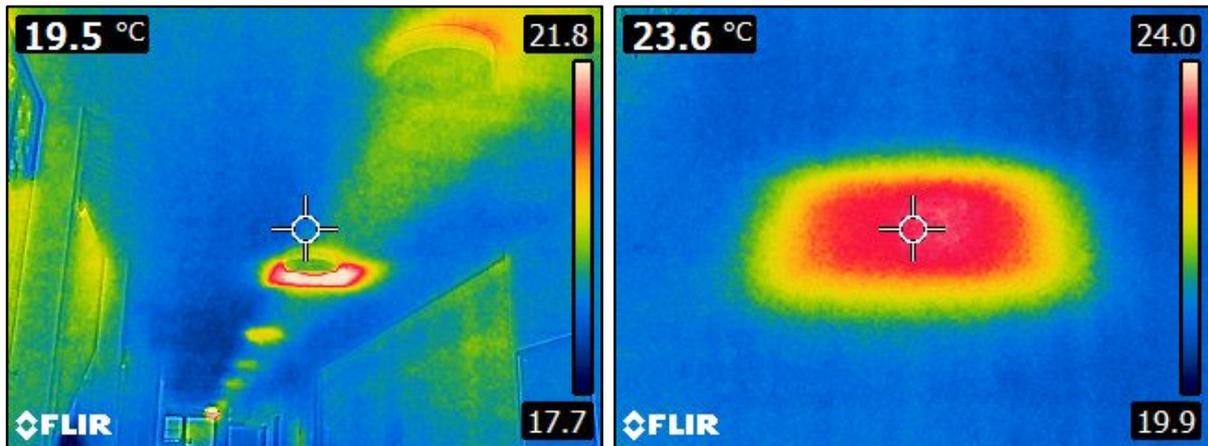


Abbildung 3-45: Revisionsöffnung von unten (links) und oben (rechts)

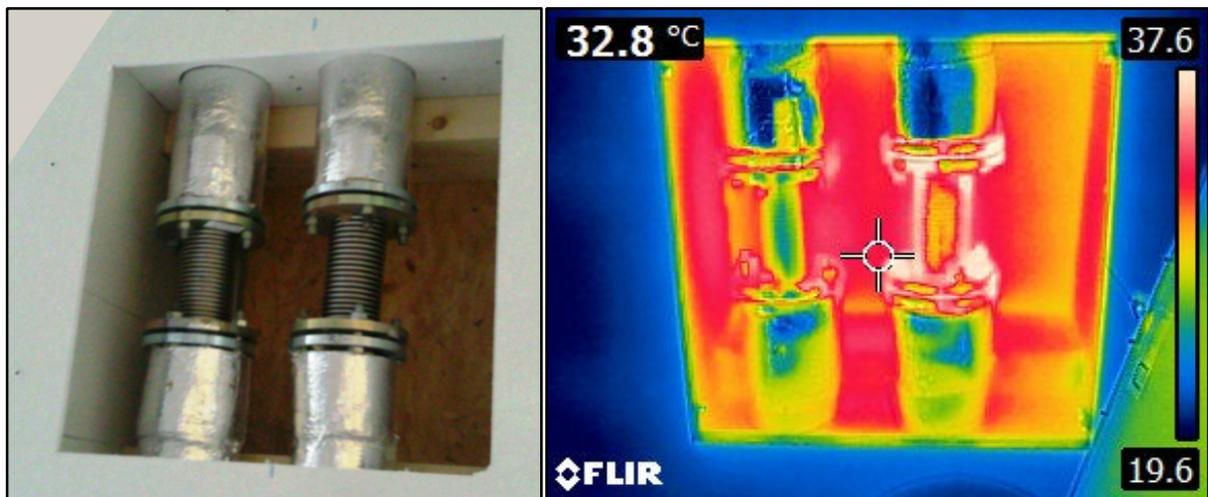


Abbildung 3-46: Kompensator Fernwärmeleitung ohne Dämmung (Vorlaufleitung rechts)

3.4 Netzberechnung

Eine Berechnung des Netzes liegt nur aus der Planungsphase 2011 vor, siehe separater Anhang H. Allerdings sind die Zuordnungen von Teilstreckennummern nur bedingt nachvollziehbar.

Die Berechnung wurde – im Gegensatz zu allen anderen Netzplanungen – im Zuge des Monitorings nicht neu erstellt und demzufolge auch nicht auf Inkonsistenzen geprüft. Das geplante Leitungsnetz wurde allerdings ohne Änderungen 2013/14 gebaut. Daher ist von nur wenigen Fehldimensionierungen auszugehen.

3.5 Primärenergie für Fernwärme

Die Fernwärme Halle wird an diesem Standort mit einem Primärenergiefaktor von $f_p = 0,21$ und einem CO₂-Äquivalent von 169,63 g/kWh geliefert [10]. Der Versorger EVH GmbH Halle erzeugt die Fernwärme in eigenen Kraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung, unter anderem in einem Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk.

	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN	Fakultät Maschinenwesen Institut für Energietechnik Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung
<h1>Zertifikat</h1>		
Hiermit wird bescheinigt, dass auf Grundlage der im Zertifizierungsbericht ¹ genannten Betriebsdaten		
das Fernwärmeversorgungssystem der EVH GmbH Halle		
durch das		
Institut für Energietechnik der TU Dresden, Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung		
geprüft und nach AGFW Arbeitsblatt FW 309 - Teil 1 folgendermaßen bewertet wurde:		
Primärenergiefaktor des Fernwärmeversorgungssystems:		0,21
Die Wärmebereitstellung erfolgte mit einem Anteil von aus in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugter Wärme.		80,7 %
Diese Bescheinigung ist gültig bis zum 23.07.2023.		
	Technische Universität Dresden Fakultät Maschinenwesen Institut für Energietechnik Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann 01062 Dresden	
<u>Prof. Dr.-Ing. C. Felsmann</u> Leiter der Professur	Stempel	<u>Dr.-Ing. T. Sander</u> Bearbeiter
	Dresden, 24.07.2013	f-Gutachter-Nr.: FW 609-010
<small>¹ Kurzbericht - Zertifizierung des Primärenergiefaktors nach FW 309 Teil 1 für das Fernwärmeversorgungssystem der EVH GmbH Halle sowie Hocheffizienznachweis für die KWK-Anlagen. Dresden, 24.07.2013</small>		

Abbildung 3-47: Fernwärmezertifikat EVH Halle [2]

4 Planung Heizlast und Heizungsnetz

Der nachfolgende Abschnitt erläutert die Berechnung der Raumheizlast in der Planungsphase sowie parallel zum Monitoring.

Die resultierenden Ergebnisse werden gegenübergestellt und ausgewertet. Insbesondere die Entscheidung, jeweils große Teile des Gebäudes mit einer identischen Zulufttemperatur zu versorgen, wird kritisch untersucht. Basis sind einerseits die Planungsunterlagen des später insolventen Büros N&S [3] sowie eine Bachelorarbeit aus dem ersten Betriebsjahr [11].

4.1 Planungsphase

In der Planungsphase wurde die Heizlast nach dem ausführlichen Verfahren der DIN EN 12831 berechnet. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 4-1. Das Gebäude wurde unter folgenden Randdaten berechnet:

- Innentemperatur 20°C für alle Aufenthaltsräume und Toiletten sowie 17°C für alle Nebenräume, Lagerräume und Flure
- leichtes Gebäude
- minimale Außentemperatur unter Berücksichtigung der Auskühlung -11°C
- Luftdichtheit $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
- Wiederaufheizung innerhalb von 5 Stunden, jedoch auch Untersuchung einer Schnellaufheizung innerhalb von 10 Minuten

Wie die Bemessung der Zusatzheizkörper zustande kommt, ist im Nachhinein nicht mehr nachvollziehbar. Es zeigt sich aber, dass für alle Büros und Mitarbeiteräume, die morgens schnell warm sein müssen, Nachheizflächen angedacht waren.

Mit der Berechnung in der Tabelle wurde geprüft, ob die Heizlast der betreffenden Räume mit der zur Verfügung stehenden Zuluft ausreichend beheizt werden können. Die Zulufttemperatur liegt dabei 10 K über der Raumlufthtemperatur. In Räumen, bei denen das nicht der Fall ist, wurden Nachheizflächen geplant (Büros usw.) oder die Unterdeckung toleriert (Küche, Kunst-raum etc.).

Eine detaillierte Prüfung der notwendigen raumweisen Zulufttemperaturen für die Räume ohne lokale Nachheizflächen erfolgte nicht. Details sind dem separaten **Anhang F** zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Raumheizlasten aus der Planungsphase [3]

Nr.	Funktion	Transmission, [W]	Infiltration, [W]	Aufheizleistung in- nerhalb 5 h [W]	Aufheizleistung in- nerhalb 10 min [W]	Heizlast über Zuluft zu decken [W]	Zuluftvolumen- strom [m³/h]	Übertragbare Heiz- last bei 10 K Über- temperatur [W]	mögliche Deckung mit Zuluft	Heizleistung Zu- satzheizkörper [W]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
						1+2+3	geg.	aus 6	7/5	
EG										
0.01	Atelier	495	102	402		999	425	1358	1,36	
0.02	Märchenzimmer	194	41	164		399	200	639	1,6	
0.03	Kindercafé	629	145	575		1349	625	1997	1,48	
0.07	Büro	204	24	95	617	323	60	192	0,59	650
0.08	Mitarbeiter	171	28	111	717	310	120	383	1,24	650
0.09	Flur	24	194	851		1069	400	1278	1,2	
0.11	Spielraum	495	102	402		999	425	1358	1,36	
0.12	Medien	194	41	164		399	200	639	1,6	
0.13	Entspannung	194	41	164		399	200	639	1,6	
0.14	Bauraum	402	102	405		909	425	1358	1,49	
0.19	Halle	1497	386	1017		2900	800	2556	0,88	
0.26	Aula	1717	644	2549		4910	7500	23958	4,88	
0.28	Behinderten WC	28	0	64		92	30	96	1,04	
0.33	Küche	406	93	369		868	200	639	0,74	
0.34	Personal	96	11	42		149	60	192	1,29	280
1.OG										
1.01	Klasse1	490	145	572		1207	500	1597	1,32	
1.02	Klasse2	402	145	575		1122	500	1597	1,42	
1.04	Lehrer	252	70	186	1200	508	200	639	1,26	1550
1.05	Flur	0	194	851		1045	400	1278	1,22	
1.07	Klasse3	490	145	572		1207	500	1597	1,32	
1.08	Klasse4	403	145	575		1123	500	1597	1,42	
1.13	Halle	694	348	1017		2059	800	2556	1,24	
1.14	Raum der Stille	331	97	385		813	500	1597	1,96	
1.21	Besprechung	139	41	161	1041	341	300	958	2,81	1300
1.22	Schulleiter	72	28	111		211	60	192	0,91	380
1.23	Sekretariat	160	39	154		353	90	288	0,81	580
2.OG										
2.01	Klasse5	776	145	572		1493	500	1597	1,07	
2.02	Klasse6	668	145	575		1388	500	1597	1,15	
2.04	Lehrer	360	70	167	1200	597	200	639	1,07	1800
2.05	Flur	146	194	851		1191	400	1278	1,07	
2.07	Klasse7	737	145	572		1454	500	1597	1,1	
2.08	Klasse8	642	145	575		1362	500	1597	1,17	
2.13	Halle	829	290	1120		2239	800	2556	1,14	
2.14	Kunst	720	211	1441		2372	500	1597	0,67	
2.16	Vorbereitung	153	35	281	904	469	90	288	0,61	1300
2.17	Werken	526	141	1177		1844	500	1597	0,87	
2.23	Bad	108	0	190		298	0	0	0	350
2.24	Abstellraum	34	0	34		68	0	0	0	
2.25	Schlafen	172	33	267		472	60	192	0,41	650
2.26	Kind1	126	26	183		335	30	96	0,29	650
2.27	Kind2	152	26	209		387	30	96	0,25	650
2.28	Wohnzimmer	344	57	462		863	60	192	0,22	900
2.29	Küche	126	24	149		299	0	0		
Σ	Klassenzimmertrakt	8976	2790	9976		21742	8280	26450		
	Aulatrakt	7933	2552	9413		19898	11970	38238		
	Flur Aula			3154		7198	2400	7667		

4.2 Nachrechnung für das Monitoring

Im Rahmen des Monitorings wurde die Heizlastberechnung parallel zur Inbetriebnahme des Gebäudes erneut berechnet. Im Rahmen der Bachelorarbeit erfolgten nachträgliche Berechnungen nach der DIN EN 12831 im ausführlichen Verfahren und dem vereinfachten Verfahren sowie in Anlehnung an das PHPP unter Berücksichtigung von Wärmegewinnen [11].

Berücksichtigt wurden das aktuelle geometrische Aufmaß sowie die Zu- und Abluftvolumenströme aus der Inbetriebnahme. Tabelle 4-2 zeigt die grundsätzlichen Randdaten für alle Räume, insbesondere die Volumenströme und – soweit notwendig – die Angaben zur räumlichen Herkunft der zwischen den Räumen strömenden Luft. Auf Basis der Zahlen erfolgten alle weiteren Berechnungen. Aus Gründen der Praktikabilität sind die Räume nach Lüftungszonen zusammengefasst. In allen nachfolgenden Überlegungen weisen die Zulufräume einer Lüftungszone i. d. R. identische Zulufttemperaturen aus der Luftheizung auf.

Tabelle 4-2: Zusammenstellung der zu beheizenden Räume [1] [11] [eigene]

Zone	Raum	Geschoss	Funktion	Fläche [m ²]	Status	Zuluft RL T [m ³ /h]	Zuluft Überström [m ³ /h]	...von Raum	Abluft RL T [m ³ /h]	Abluft Überström [m ³ /h]	... nach Raum
Lüftungsgerät 7500 m³/h MENERGA Resolair 640701 (Klassentrakt)											
1	001	EG	Atelier	57,57	ZU/AB	500	0	---	500	0	---
1	002	EG	Märchenzimmer	24,04	ZU/AB	180	0	---	180	0	---
1	003	EG	Kindercafé	82,58	ZU/AB	560	0	---	560	0	---
1	004	EG	HAR-Elektro	14,23	AB	0	130	007 008	130	0	---
1	004a	EG	Batterie	1,98	Ü	---	30	004	0	30	004
1	006	EG	WC	1,98	AB	0	30	007	30	0	---
1	007	EG	Büro	15,84	ZU	100	0	---	---	100	004
1	008	EG	Mitarbeiter	15,84	ZU	60	0	---	---	60	004 006
1	009	EG	Flur	120,34	ZU/Ü	300	0	---	190	110	015 016 017
1	011	EG	Spielraum	57,53	ZU/AB	400	0	---	400	0	---
1	012	EG	Medien	24,04	ZU/AB	180	0	---	180	0	---
1	013	EG	Entspannung	24,04	ZU/AB	180	0	---	180	0	---
1	014	EG	Bauraum	57,63	ZU/AB	400	0	---	400	0	---
1	101	1. OG	Klasse 1	82,65	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	102	1. OG	Klasse 2	82,78	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	103	1. OG	Lehrmittel	21,00	AB	0	180	104	180	0	---
1	104	1. OG	Lehrer	27,09	ZU	180	0	---	0	180	103
1	105	1. OG	Flur	120,66	ZU/Ü	280	0	---	160	120	109 110 111 112
1	107	1. OG	Klasse 3	82,65	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	108	1. OG	Klasse 4	82,87	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	201	2. OG	Klasse 5	82,58	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	202	2. OG	Klasse 6	82,71	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	203	2. OG	Lüftung	23,77	ZU/AB	20	0	---	20	0	---
1	204	2. OG	Lehrer	27,09	ZU/AB	180	0	---	180	0	---
1	205	2. OG	Flur	121,16	ZU/Ü	280	0	---	160	120	209 210 211 212
1	207	2. OG	Klasse 7	82,58	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
1	208	2. OG	Klasse 8	82,70	ZU/AB	480	0	---	480	0	---

Zone	Raum	Geschoss	Funktion	Fläche [m²]	Status	Zuluft RLT [m³/h]	Zuluft Überström [m³/h]	... von Raum	Abluft RLT [m³/h]	Abluft Überström [m³/h]	... nach Raum
Lüftungsgerät 10.000 m³/h MENERGA Resolair 641001 (Verwaltungstrakt)											
2	019	EG	Halle	145,22	ZU	700	0	---	0	700	021
2	021	EG	Foyer	46,20	Ü	0	1840	019 113	0	1840	022 023 024 025
2	022	EG	Garderobe 1	13,38	AB	0	460	021	460	0	---
2	023	EG	Garderobe 2	13,38	AB	0	460	021	460	0	---
2	024	EG	Garderobe 3	13,38	AB	0	460	021	460	0	---
2	025	EG	Garderobe 4	12,19	AB	0	460	021	460	0	---
2	026	EG	Aula	183,45	ZU/Ü	6500	0	---	4500	2000	115
2	113	1. OG	Halle	145,27	ZU/Ü	700	440	213	0	1140	021
2	114	1. OG	Raum d. Stille	52,84	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
2	115	1. OG	Aula/Galerie	43,27	AB	0	2000	026	2000	0	---
2	120	1. OG	Flur Lehrer	21,03	AB	0	150	122 123	150	0	---
2	121	1. OG	Besprechung	23,00	ZU/AB	300	0	---	300	0	---
2	122	1. OG	Schulleiter	15,87	ZU	60	0	---	0	60	120
2	123	1. OG	Sekretariat	22,09	ZU	90	0	---	0	90	120
2	124	1. OG	Archiv/1.Hilfe	14,80	ZU/AB	30	0	---	30	0	---
2	213	2. OG	Halle	94,00	ZU	440	0	---	0	440	113
2	214	2. OG	Kunst	77,03	ZU/AB	480	0	---	480	0	---
2	215	2. OG	Flur	38,60	ohne	0	0	---	0	0	---
2	216	2. OG	Vorbereitung	20,25	ZU/AB	90	0	---	90	0	---
2	217	2. OG	Werken	79,56	ZU	480	0	---	0	480	219
2	218	2. OG	Lüftung	45,83	ZU/AB	20	0	---	20	0	---
2	219	2. OG	Lehrmittel	20,48	AB	0	480	217	480	0	---
2	220	2. OG	Hausmeister	13,04	ZU/AB	30	0	---	30	0	---
Abluftgerät 320 m³/h HELIOS Slimvent SVS 160 K (WCs)											
3	015	EG	WC Mädchen	10,07	AB	0	30	009	30	0	---
3	017	EG	WC Jungen	7,60	AB	0	80	009 018	50	0	---
3	018	EG	HAR-Hzg/San	4,47	ohne	0	50	009	50	017	---
3	109	1. OG	WC	1,92	AB	0	30	105	30	0	---
3	110	1. OG	WC Mädchen	8,35	AB	0	30	105	30	0	---
3	111	1. OG	Dusche	4,14	AB	0	30	105	30	0	---
3	112	1. OG	WC Jungen	7,83	AB	0	30	105	30	0	---
3	209	2. OG	WC	1,97	AB	0	30	205	30	0	---
3	210	2. OG	WC Mädchen	8,41	AB	0	30	205	30	0	---
3	211	2. OG	Putzen	4,18	AB	0	30	205	30	0	---
3	212	2. OG	WC Jungen	7,88	AB	0	30	205	30	0	---
4: Lüftungsgerät 320 m³/h PAUL Santos 370 DC (Grundlüftung Küche)											
6: Zuluftgerät 4.000 m³/h HELIOS SKR D 450/4/70/40											
mit Abluftgerät 4.000 m³/h HELIOS MBD 355/2/2 (Mittelhaube Kochblock)											
7: Zuluftgerät 1.500 m³/h HELIOS KVV 250/4/50/30											
mit Abluftgerät 1.500 m³/h HELIOS MBW 200/4 TK (Spülhaube)											
4	033 033a	EG	Küche/Spülküche	47,50	ZU/AB	197	1	---	198	0	---
4	028	EG	WC-Behind.	8,45	ZU/AB	31	0	---	31	0	---
4	030	EG	Stuhllager	14,58	ZU	30	0	---	0	30	031
4	031	EG	Lager Kühlung	13,86	AB	0	29	030	29	0	---
4	032	EG	Flur	5,80	ohne	0	0	---	0	0	---
4	034	EG	Personal	8,56	ZU	31	0	---	0	31	035
4	035	EG	WC	1,62	AB	0	31	034	31	0	---
4	117	1. OG	WC-L	2,40	AB	0	30	118	30	0	---
4	118	1. OG	Vorraum WC-L	6,02	ZU	30	0	---	0	30	117
6	033	EG	Küche	37,85	ZU/AB	4000	0	---	4000	0	---
7	033a	EG	Spülküche	9,65	ZU/AB	1500	0	---	1500	0	---

Zone	Raum	Geschoss	Funktion	Fläche [m²]	Status	Zuluft RLT [m³/h]	Zuluft Überström [m³/h]	... von Raum	Abluft RLT [m³/h]	Abluft Überström [m³/h]	... nach Raum
Lüftungsgerät 180 m³/h PAUL Santos 370 DC (Hausmeisterwohnung)											
5	222	2. OG	Flur	15,54	Ü	0	214	223 224a 224b 229	0	214	225 226 227 228
5	223	2. OG	Bad	8,06	AB	0	62	222	62	0	---
5	224a	2. OG	Abstellraum	3,18	AB	0	30	222	30	0	---
5	224b	2. OG	Bad-Gäste	1,38	AB	0	31	222	31	0	---
5	225	2. OG	Schlafzimmer	18,96	ZU	61	0	---	0	61	222
5	226	2. OG	Kind 1	15,05	ZU	46	0	---	0	46	222
5	227	2. OG	Kind 2	15,05	ZU	46	0	---	0	46	222
5	228	2. OG	Wohnzimmer	21,78	ZU	61	0	---	0	61	222
5	229	2. OG	Küche	13,53	AB	0	91	222	91	0	---
ohne Lüftungsanlage											
-	020	EG	Windfang	14,81	ohne	0	0	---	0	0	---
-	033b	EG	WW-Speicher	6,25	ohne	0	0	---	0	0	---
-	010 106 206	EG	Treppenhaus EG bis 2.OG	10,90	ohne	0	0	---	0	0	---
-	027 116 221	EG	Aufzug EG bis 2.OG	2,88	ohne	0	0	---	0	0	---
-	029 119 231	EG	Treppenhaus EG bis 2.OG	18,96	ohne	0	0	---	0	0	---
Legende: ZU = Zuluft, AB = Abluft, Ü = Überströmung; farbige Hinterlegung: Räume ohne Daueraufenthalt											

4.2.1 DIN EN 12831

Die Berechnungen nach DIN EN 12831 gibt es in insgesamt 7 Varianten. Die Variation erfolgte, um den Einfluss verschiedener Parameter bzw. Verfahrensansätze zu verdeutlichen:

- Ausführliches Verfahren
 - Hauptnutzräume und WCs 20°C, Nebenräume 17°C
 - Wärmebrückenzuschlag 0,05 W/(m²K)
 - Wärmebrückenzuschlag 0,10 W/(m²K)
 - alle Räume 20°C
 - Wärmebrückenzuschlag 0,05 W/(m²K) *
 - Wärmebrückenzuschlag 0,10 W/(m²K)
- Vereinfachtes Verfahren
 - Hauptnutzräume und WCs 20°C, Nebenräume 17°C
 - Wärmebrückenzuschlag 0,05 W/(m²K)
 - alle Räume 20°C
 - Wärmebrückenzuschlag 0,00 W/(m²K) *
 - Wärmebrückenzuschlag 0,05 W/(m²K)

Die mit dem Stern (*) markierten Varianten werden innerhalb des vorliegenden Berichtes näher untersucht bzw. vertieft ausgewertet.

Vereinfachtes Verfahren

Weitere Randdaten der vereinfachten Berechnung sind:

- Norm-Außentemperatur $\vartheta_e = -14^\circ\text{C}$
- Lüftungswärmeverlust berechnet mit dem Mindestluftwechselrate $n_{\min} = 0,0 \text{ h}^{-1}$ oder $0,5 \text{ h}^{-1}$ oder $1,0 \text{ h}^{-1}$ je nach Raumnutzung
- Temperaturkorrektur $F_x = 0,31$ (Erdreich) oder $0,09$ (niedrig beheizte Räume) oder $1,0$
- Vereinfacht pauschaler Zuschlag für Wiederaufheizung $f_{RH} = 16,5 \text{ W/m}^2$ (als typischer Mittelwert für das Gebäude)

Das vereinfachte Verfahren liefert keine korrekten Gesamtergebnisse, da die Lüftungsheizlast nicht korrekt berechnet wird – ohne RLT. Es wird von Fensterlüftung ausgegangen. Jedoch sind die Transmissionsheizlasten für weitergehende Betrachtungen zur Raumtemperatur nutzbar, siehe Kapitel 4.3.

Ausführliches Verfahren

Weitere Randdaten der ausführlichen Berechnung sind:

- Norm-Außentemperatur $\vartheta_e = -12^\circ\text{C}$
- Volumenströme nach Planung mit Berücksichtigung der Luftvorwärmung durch die Wärmerückgewinnung und den Erdwärmeübertrager
- Individuell berechneter Zuschlag für Wiederaufheizung
- Temperaturkorrektur detailliert mit Nachbarraumtemperaturen berechnet.

Das Ergebnis der Berechnung sind raumweise Heizlasten, die lokal mit Heizflächen gedeckt werden müssten. Die Unterschiedlichkeit der Ergebnisse ergibt sich aus der geometrischen Lage im Gebäude. Eine grafische Aufbereitung der Ergebnisse zeigen Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-3.

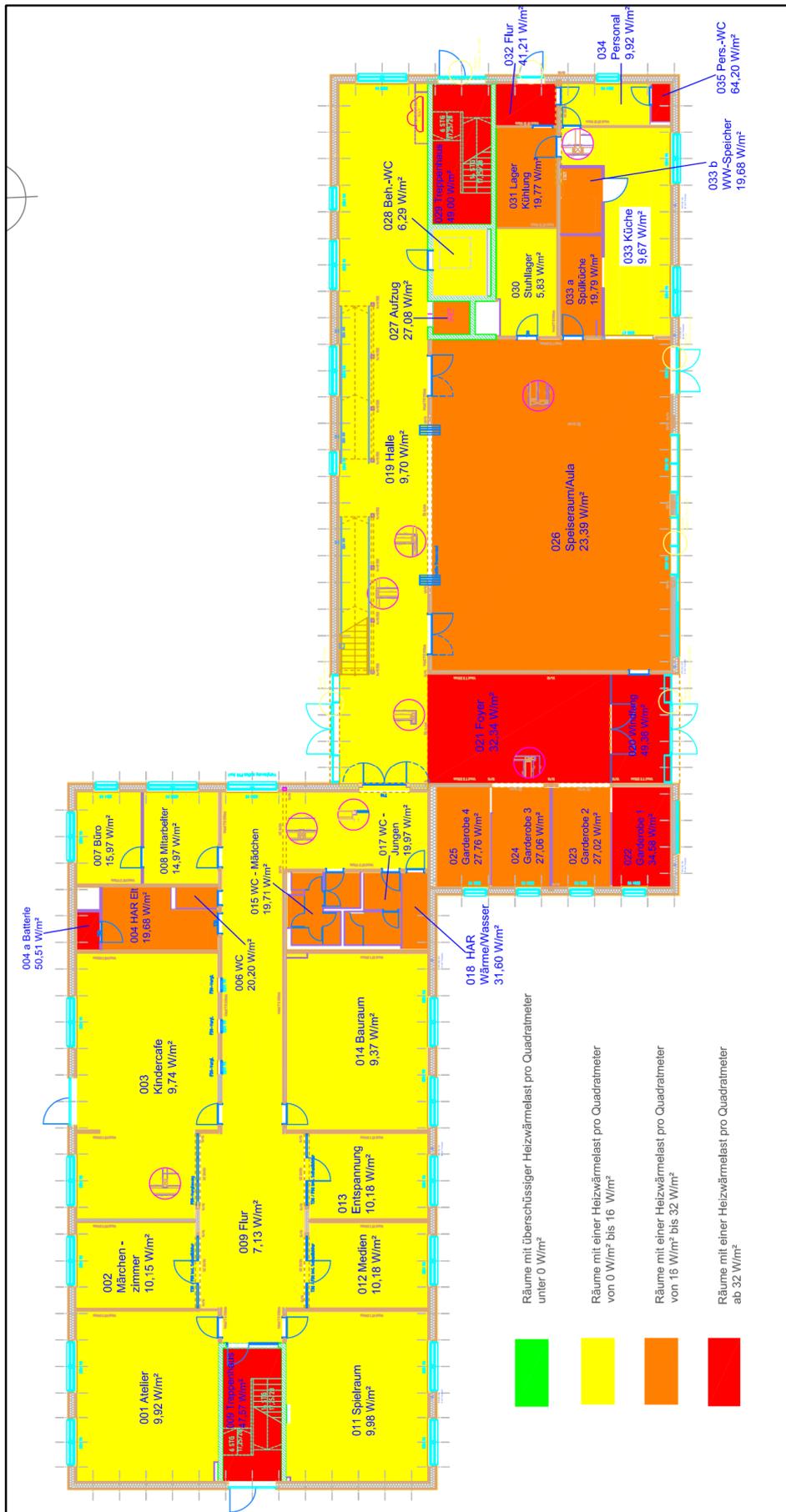


Abbildung 4-1: Flächenbezogene Heizlast nach DIN EN 12831 – EG [11]

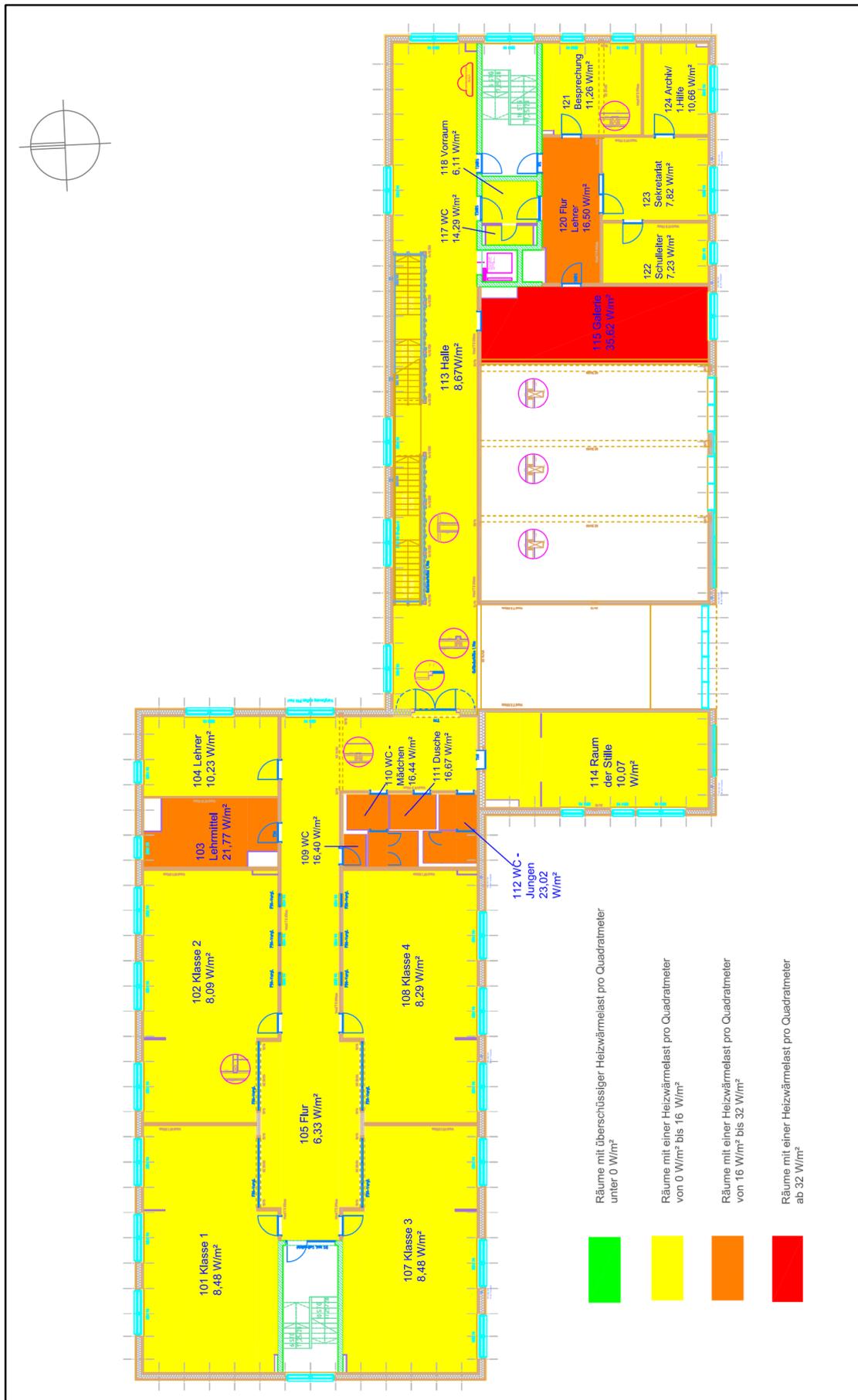


Abbildung 4-2: Flächenbezogene Heizlast nach DIN EN 12831 – 1.OG [11]

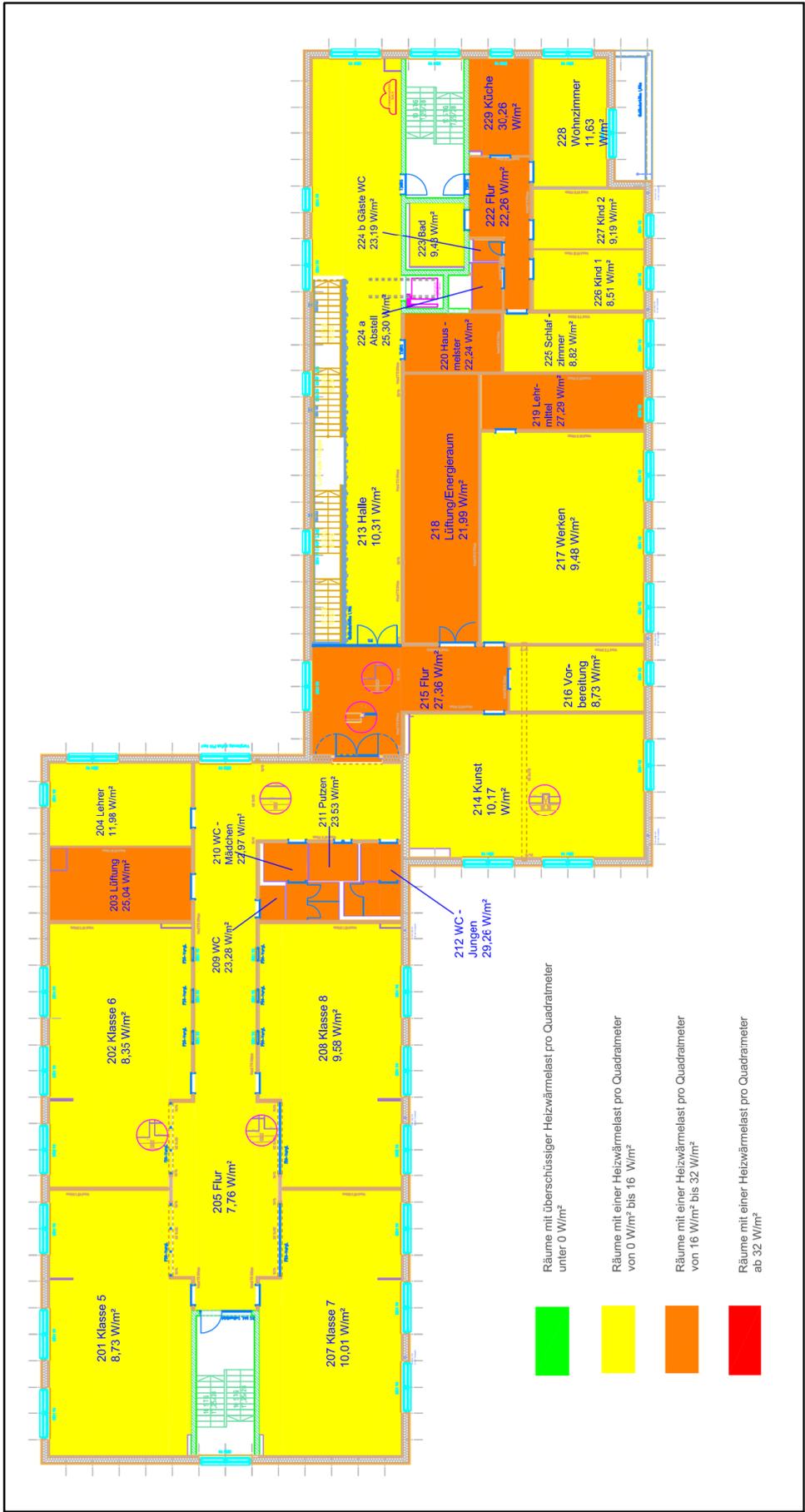


Abbildung 4-3: Flächenbezogene Heizlast nach DIN EN 12831 – 2.OG [11]

Aus den Zahlenwerten der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 kann darüber hinaus die notwendige Zulufttemperatur für die Zulufräume ϑ_{zu} abgeleitet werden. Diese müsste von einem lokalen Luftheizregister bereitgestellt werden, welches in der Realität nur in den wenigsten Räumen vorhanden ist. Es handelt sich daher um theoretische Überlegungen. Diese verdeutlichen, wie unterschiedlich Zulufttemperaturen eigentlich sein müssten, um eine genaue Lastabdeckung vorzunehmen.

Die Zulufttemperatur ergibt sich aus der Transmissionsheizlast \dot{Q}_T (ohne lokale Infiltration wegen des sehr dichten Gebäudes, Basis sind die Ergebnisse des vereinfachten Verfahrens ohne Wärmebrückenzuschläge) sowie abhängig vom Volumenstrom \dot{V} (aus Tabelle 4-2). Sie kann für alle Räume berechnet werden, die eine Luftzufuhr aus der RLT aufweisen.

- Zulufttemperatur für Zulufräume:
$$\vartheta_{zu} = \vartheta_i + \frac{\dot{Q}_T}{\dot{V} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K}}$$

Für die Räume, die keine eigene Zuluft aus der RLT aufweisen, ist die Temperatur des Raumes ϑ_{zu} relevant, aus dem der Volumenstrom überströmt, i. d. R. also 20°C. Zusammen mit der temperaturbezogenen Transmissionsheizlast H_T des Raumes (berechnet aus Transmissionsheizlast \dot{Q}_T) sowie dem überströmenden Volumenstrom \dot{V} (aus Tabelle 4-2) ergibt sich eine Raumtemperatur ϑ_i unterhalb des eigentlich angestrebten Sollwertes wie folgt:

- Raumtemperatur für Ablufträume:
$$\vartheta_i = \frac{-12^\circ C + \vartheta_{zu} \cdot (\dot{V} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} / H_T)}{1 + (\dot{V} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} / H_T)}$$

Tabelle 4-3 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen ohne Berücksichtigung von Gewinnen.

Tabelle 4-3: Raum- und Zulufttemperaturen für den Fall ohne Wärmegewinne [11] [eigene]

Zone	Raum	Geschoss	Funktion	Fläche, [m ²]	Heizlast DIN EN 12831		Temperaturen	
					\dot{Q}_T [W]	H_T [W/K]	ϑ_i [°C]	ϑ_{zu} [°C]
RLT Klassentrakt								
1	001	EG	Atelier	57,57	454	13	20	22,67*
1	002	EG	Märchenzimmer	24,04	172	5	20	22,81*
1	003	EG	Kindercafé	82,58	586	17	20	23,08*
1	004	EG	HAR-Elektro	14,23	18	1	20	21,75*
1	004a	EG	Batterie	1,98	45	1	20	24,37*
1	006	EG	WC	1,98	3	0	19,74*	20
1	007	EG	Büro	15,84	257	8	20	27,57*
1	008	EG	Mitarbeiter	15,84	156	5	20	27,65*
1	009	EG	Flur	120,34	306	9	20	23,00*
1	011	EG	Spielraum	57,53	454	13	20	23,34*
1	012	EG	Medien	24,04	172	5	20	22,81*
1	013	EG	Entspannung	24,04	172	5	20	22,81*
1	014	EG	Bauraum	57,63	358	11	20	22,63*
1	101	1. OG	Klasse 1	82,65	522	15	20	23,20*
1	102	1. OG	Klasse 2	82,78	427	13	20	22,62*
1	103	1. OG	Lehrmittel	21,00	88	3	18,71*	20
1	104	1. OG	Lehrer	27,09	277	8	20	24,53*
1	105	1. OG	Flur	120,66	159	5	20	21,67*
1	107	1. OG	Klasse 3	82,65	522	15	20	23,20*
1	108	1. OG	Klasse 4	82,87	428	13	20	22,63*
1	201	2. OG	Klasse 5	82,58	871	26	20	25,33*
1	202	2. OG	Klasse 6	82,71	768	23	20	24,71*
1	203	2. OG	Lüftung	23,77	145	4	20	41,35*
1	204	2. OG	Lehrer	27,09	409	12	20	26,68*
1	205	2. OG	Flur	121,16	646	19	20	26,79*
1	207	2. OG	Klasse 7	82,58	882	26	20	25,40*
1	208	2. OG	Klasse 8	82,70	768	23	20	24,71*

Zone	Raum	Geschoss	Funktion	Fläche, [m ²]	Heizlast DIN EN 12831		Temperaturen	
					Q _T [W]	H _T [W/K]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]
RLT Verwaltungstrakt								
2	019	EG	Halle	145,22	1430	42	20	26,01*
2	021	EG	Foyer	46,20	600	18	18,86*	20
2	022	EG	Garderobe 1	13,38	168	5	17,62*	20
2	023	EG	Garderobe 2	13,38	96	3	18,14*	20
2	024	EG	Garderobe 3	13,38	95	3	18,15*	20
2	025	EG	Garderobe 4	12,19	96	3	18,14*	20
2	026	EG	Aula	183,45	1302	38	20	20,59*
2	113	1. OG	Halle	145,27	1080	32	20	24,54*
2	114	1. OG	Raum d. Stille	52,84	387	11	20	22,37*
2	115	1. OG	Aula/Galerie	43,27	139	4	19,81*	20
2	120	1. OG	Flur Lehrer	21,03	0	0	20,00*	20
2	121	1. OG	Besprechung	23,00	150	4	20	21,47*
2	122	1. OG	Schulleiter	15,87	82	2	20	24,01*
2	123	1. OG	Sekretariat	22,09	153	5	20	25,01*
2	124	1. OG	Archiv/1.Hilfe	14,80	236	7	20	43,15*
2	213	2. OG	Halle	94,00	1259	37	20	28,41*
2	214	2. OG	Kunst	77,03	863	25	20	25,29*
2	215	2. OG	Flur	38,60	315	9	20	---
2	216	2. OG	Vorbereitung	20,25	171	5	20	25,57*
2	217	2. OG	Werken	79,56	691	20	20	24,24*
2	218	2. OG	Lüftung	45,83	176	5	17	42,95*
2	219	2. OG	Lehrmittel	20,48	164	5	19,08*	20
2	220	2. OG	Hausmeister	13,04	52	2	20	25,11*
Abluftanlage								
3	015	EG	WC Mädchen	10,07	13	0	18,85*	20
3	017	EG	WC Jungen	7,60	10	0	19,46*	20
3	018	EG	HAR-Heizung/Sanitär	4,47	42	1	20	---
3	109	1. OG	WC	1,92	0	0	20,00*	20
3	110	1. OG	WC Mädchen	8,35	0	0	20,00*	20
3	111	1. OG	Dusche	4,14	0	0	20,00*	20
3	112	1. OG	WC Jungen	7,83	36	1	17,02*	20
3	209	2. OG	WC	1,97	9	0	19,20*	20
3	210	2. OG	WC Mädchen	8,41	38	1	16,85*	20
3	211	2. OG	Putzen	4,18	17	1	18,50*	20
3	212	2. OG	WC Jungen	7,88	76	2	14,22*	20
Küche								
4	033 033a	EG	Küche/Spülküche	47,50	362	11	20	25,41*
4	028	EG	Behinderten-WC	8,45	12	0	20	21,13*
4	030	EG	Stuhllager	14,58	21	1	20	22,03*
4	031	EG	Lager Kühlung	13,86	17	1	18,45*	20
4	032	EG	Flur	5,80	116	3	20	---
4	034	EG	Personal	8,56	110	3	20	30,39*
4	035	EG	WC	1,62	53	2	15,88*	20
4	117	1. OG	WC-L	2,40	0	0	20,00*	20
4	118	1. OG	Vorraum WC-L	6,02	0	0	20	20,00*
6	033	EG	Küche	37,85	350	11	20	20,26*
7	033a	EG	Spülküche	9,65	12	0	20	20,02*
Hausmeisterwohnung								
5	222	2. OG	Flur	15,54	63	2	19,21*	20
5	223	2. OG	Bad	8,06	41	1	17,54*	19,21*
5	224a	2. OG	Abstellraum	3,18	22	1	17,38*	19,21*
5	224b	2. OG	Bad-Gäste	1,38	7	0	18,64*	19,21*
5	225	2. OG	Schlafzimmer	18,96	208	6	20	30,04*
5	226	2. OG	Kind 1	15,05	146	4	20	29,32*
5	227	2. OG	Kind 2	15,05	176	5	20	31,22*
5	228	2. OG	Wohnzimmer	21,78	452	13	20	41,81*
5	229	2. OG	Küche	13,53	143	4	15,47*	19,21*
Legende: * = berechneter Wert; farbig hinterlegte Räume = räume ohne Daueraufenthalt								

Für alle Räume im Gebäude mit eigener Zuluft aus der RLT wurde eine Raumsolltemperatur von $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$ angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass mit einer geeigneten Zulufttemperatur die lokale Transmissionsheizlast zu decken ist.

Für andere Raumtemperaturen als 20°C ergibt die Berechnung abweichende Ergebnisse bei gleicher Grundaussage: es werden große Differenzen der für eine exakte Raumheizlastabdeckung notwendigen Zulufttemperaturen erkennbar.

Für die RLT-Anlage "Klassentrakt" ergibt sich aus dieser Berechnung eine maximale Zulufttemperatur von $27,6^\circ\text{C}$ (7,6 K oberhalb der Raumtemperatur) aus den Räumen 0.07 und 0.08 im Hort. Für die Klassenräume ergeben sich Werte zwischen 23°C und 25°C . In den Nebenräumen – mit geringen Luftvolumenströmen pro beheizte Fläche – sind höhere Werte erforderlich. Die geringsten Temperaturen in diesem Lüftungsabschnitt haben die Ablufträume. Der Lehrmittelraum 1.03 erreicht rechnerisch $18,7^\circ\text{C}$.

Im Einzugsbereich der Lüftungsanlage "Verwaltungstrakt" wird aufgrund des Archivs/1.Hilferraums 1.24 rechnerisch eine maximale Zulufttemperatur von $43,2^\circ\text{C}$ notwendig. Der Raum hat eine große Transmissionslast (Eckraum), aber einen sehr geringen Volumenstrom. Der Abluftraum mit der geringsten Raumtemperatur ist die Garderobe 1 mit $17,6^\circ\text{C}$.

Alle Räume, welche an der Ablufanlage angeschlossen sind, weisen Temperaturen unter 20°C auf. Mit $14,2^\circ\text{C}$ ist das Jungen-WC im Obergeschoss das thermisch ungünstigste.

In der Hausmeisterwohnung ergeben sich raumweise Zulufttemperaturen von $29,3 \dots 41,8^\circ\text{C}$ zum Erreichen einer Raumtemperatur von 20°C . In den Ablufträumen stellen sich Temperaturen von $15,5 \dots 18,6^\circ\text{C}$ ein. Es ist ersichtlich, warum im Badezimmer eine zusätzliche Heizung sinnvoll ist.

Die detaillierte Auswertung für die Zulufttemperatur in den Nebenräumen der Küche entfällt. Die Prozesslüftungsanlagen können mit sehr geringen Übertemperaturen betrieben werden, um die Transmissionsverluste auszugleichen.

4.2.2 Ansatz des PHPP

Im Rahmen des regulären PHPP-Nachweises werden zwei Gebäudeheizlasten unter Berücksichtigung von Wärmegewinnen bestimmt: eine für einen moderaten, bedeckten Tag sowie eine zweite für einen klaren, sonnigen Tag. Dieses Verfahren wurde im Rahmen des Monitorings im Rahmen einer Bachelorarbeit auf die Raumheizlastberechnung übertragen [11].

Alle Räume wurden mit einer Raumtemperatur von 20°C berechnet. Allerdings wurde nur der klare, sonnige Tag untersucht. Es ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung der solaren Gewinne der Erkenntnisgewinn der Berechnung höher ist. Die minimale Außentemperatur liegt bei $\vartheta_e = -10,6^\circ\text{C}$. Der Wärmebrückenzuschlag wurde mit $0,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

Darüber hinaus werden keine Wiederaufheizleistungen berücksichtigt. Die Volumenströme aus der Lüftungsanlage ergeben sich aus der Planung mit Berücksichtigung der Luftvorwärmung durch die Wärmerückgewinnung und den Erdwärmeübertrager.

Die solare Heizlast ergibt sich aus den raumweisen Fensterflächen, den g-Werten der Fenster (Produkt Daten), der Globalstrahlung nach Himmelsrichtung (an dem klaren, kalten Tag) sowie Abminderungsfaktoren für Rahmenanteil (Berechnung), Verschmutzung und Verschattung (Standardwerte).

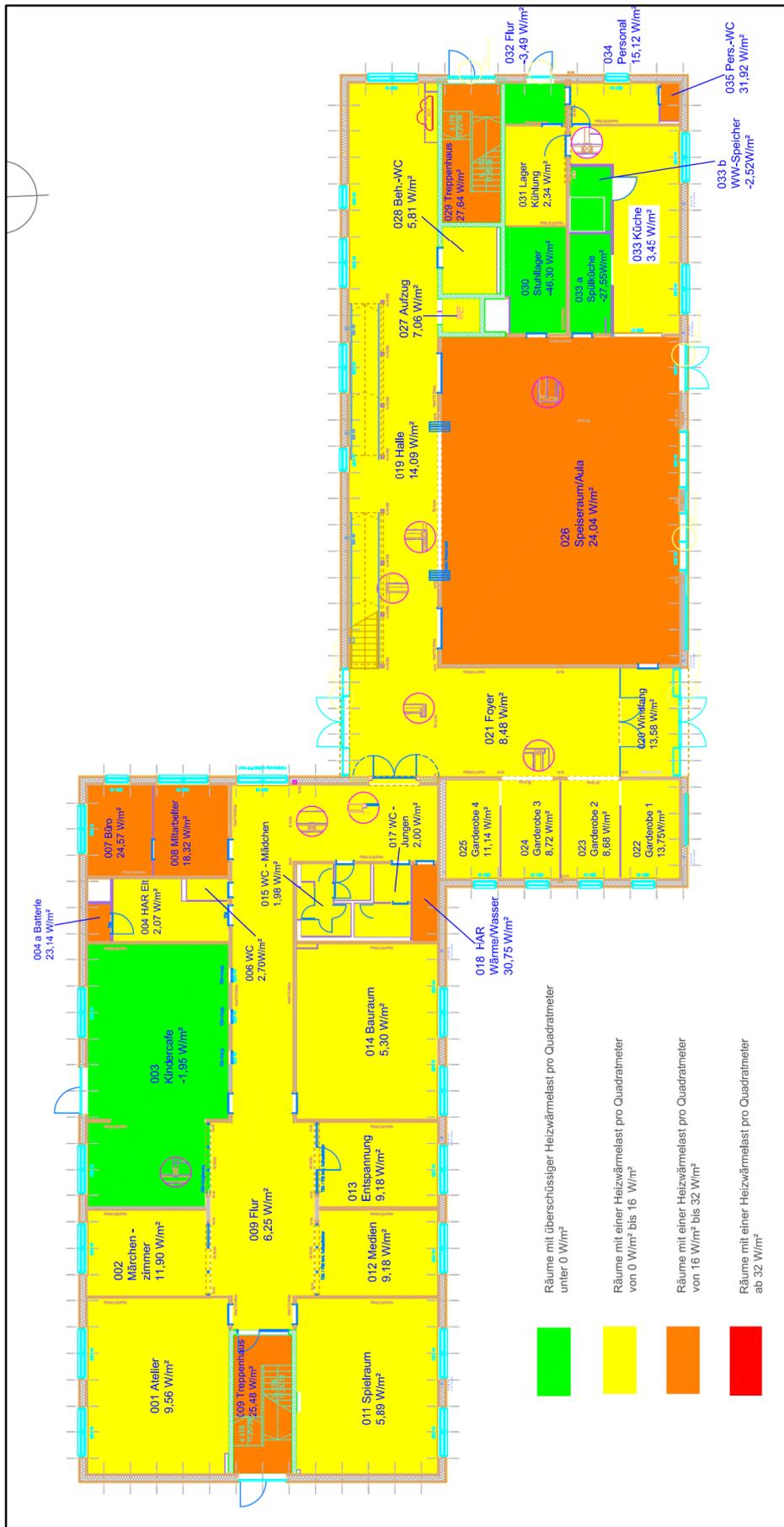
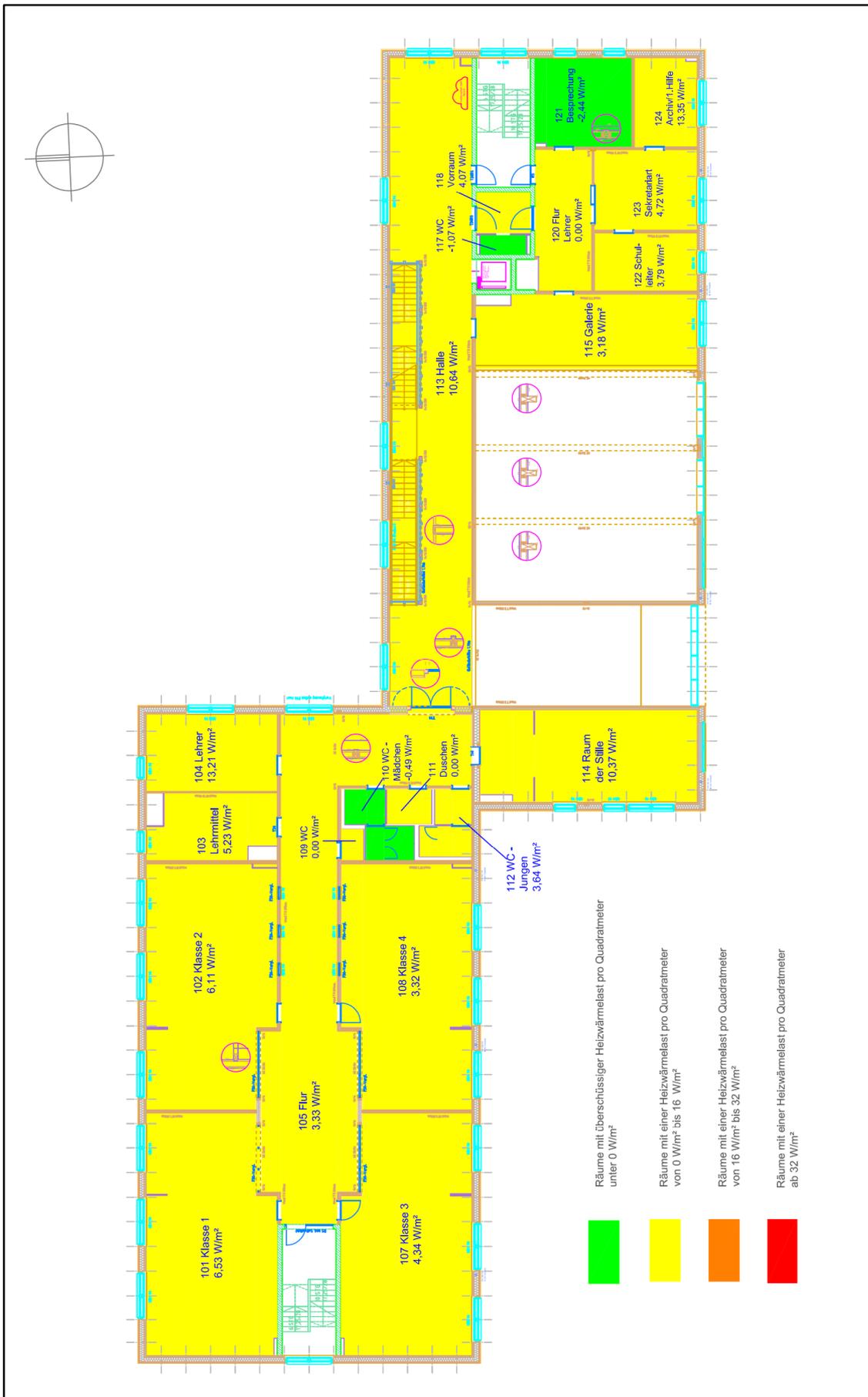


Abbildung 4-4: Flächenbezogene Heizlast nach PHPP-Ansatz – EG [11]



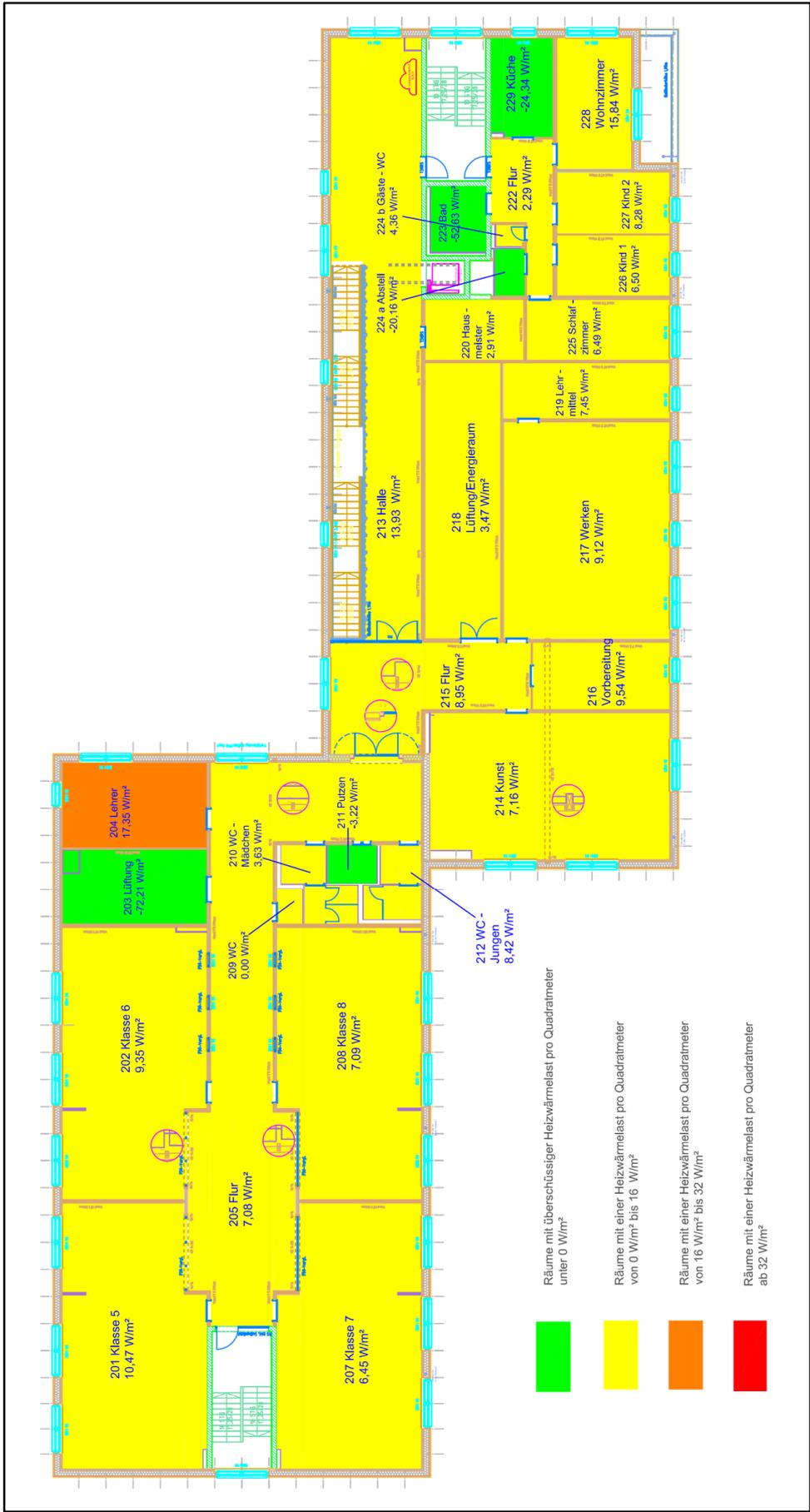


Abbildung 4-6: Flächenbezogene Heizlast nach PHPP-Ansatz – 2. OG [11]

Die interne Gewinnleistung aus Personen, Geräten und Beleuchtung wurden anhand der Belegung und Ausstattung getroffen. Es werden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt: geringe Gewinne (zeitliche Mittelung der Gewinne; Jahresmittelwert) oder realistische Gewinne (Momentaufnahme eines Tages mit typischer Nutzung).

Das Ergebnis der Berechnung sind raumweise Nettoheizlasten, die lokal mit Heizflächen oder Luftheizung gedeckt werden müssten. Die Unterschiedlichkeit der Ergebnisse ergibt sich aus der geometrischen Lage im Gebäude sowie den zu erwartenden Gewinnen. Eine grafische Aufbereitung der Ergebnisse der Version mit geringen Wärmegegewinnen zeigen Abbildung 4-4 bis Abbildung 4-6.

Aus den Zahlenwerten kann darüber hinaus ebenfalls die notwendige Zulufttemperatur für die Zulufräume ϑ_{zu} abgeleitet werden. Sie ergibt sich unter Berücksichtigung der Nettoheizlast (Transmissionsheizlast \dot{Q}_T abzüglich solare und innere Gewinnlast \dot{Q}_{i+s} , aber ohne lokale Infiltration) sowie dem Volumenstrom \dot{V} (aus Tabelle 4-2). Sie kann für alle Räume berechnet werden, die eine Luftzufuhr aus der RLT aufweisen.

- Zulufttemperatur für Zulufräume:
$$\vartheta_{zu} = \vartheta_i + \frac{\dot{Q}_T - \dot{Q}_S - \dot{Q}_I}{\dot{V} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K}}$$

Für die Räume, die keine eigene Zuluft aus der RLT aufweisen, ist die Temperatur des Raumes relevant, aus dem der Volumenstrom überströmt. Zusammen mit der lokalen Transmissionsheizlast sowie den internen und solaren Wärmelasten sowie dem überströmenden Volumenstrom (aus Tabelle 4-2) ergibt sich eine Raumtemperatur unterhalb oder oberhalb des eigentlich angestrebten Sollwertes.

- Raumtemperatur für Ablufträume:
$$\vartheta_i = \frac{-10,6^\circ C \cdot H_T + \vartheta_{zu} \cdot \dot{V} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} + \dot{Q}_S + \dot{Q}_I}{\dot{V} \cdot 0,34 \frac{Wh}{m^3K} + H_T}$$

Die rechnerischen Ansätze ähneln der Version ohne Fremdwärmegegewinne (DIN EN 12831).

Auswertung für den Fall gemittelter Wärmegegewinnlasten

Tabelle 4-3 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnungen ausgehend von einer minimalen Außentemperatur von $-10,6^\circ C$. Für alle Räume im Gebäude mit eigener Zuluft wurde eine Solltemperatur von $\vartheta_i = 20^\circ C$ angenommen. Die Wärmegegewinne ergeben sich als Jahresmittelwerte (mittlere Dauerleistung) aus der geplanten Personenbelegung sowie Ausstattung mit Elektrogeräten, siehe auch [Abschlussbericht 2](#).

Für die RLT-Anlage "Klassentrakt" ergibt sich aus dieser Berechnung eine maximale Zulufttemperatur von $26,6^\circ C$ ($6,6 K$ oberhalb der Raumtemperatur) aus dem Büro 0.07 im Hort. Allerdings haben die Klassenräume im 1. OG bereits keine Heizlast mehr. Die Zuluft für die Klassenräume liegt zwischen $19^\circ C$ und $23^\circ C$. Die geringste Temperatur in diesem Lüftungsabschnitt weist der Lehrmittelraum 1.03 mit $18,9^\circ C$ auf.

Im Einzugsbereich der Lüftungsanlage "Verwaltungstrakt" wird aufgrund des Archivs/1.Hilferraums 1.24 rechnerisch eine maximale Zulufttemperatur von $34,2^\circ C$ notwendig. Es gibt jedoch auch Räume – wie das Sekretariat 1.23 – mit keiner nennenswerten Heizlast. Der Raum mit der geringsten Raumtemperatur ist die Garderobe 1 mit $18,3^\circ C$.

Fast alle Räume, welche an der Abluftanlage angeschlossen sind, weisen Temperaturen unter $20^\circ C$ auf. Mit $14,8^\circ C$ ist das Jungen-WC im Obergeschoss das thermisch ungünstigste.

Tabelle 4-4: Raum- und Zulufttemperaturen bei jahresmittleren Wärmegewinnen [11] [eigene]

Zon	Raum	Ge- schoss	Funktion	Flä- che, in [m ²]	Heizlast nach PHP					Temperaturen	
					Q _{HLoL} [W]	Q _T [W]	H _T [W/K]	Q _s [W]	Q _i [W]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]
RLT Klassentrakt											
1	001	EG	Atelier	57,57	258	483	16	15	211	20	21,51*
1	002	EG	Märchenzimmer	24,04	147	185	6	8	31	20	22,40*
1	003	EG	Kindercafé	82,58	-270	629	21	25	874	20	18,58*
1	004	EG	HAR-Elektro	14,23	30	34	1	0	4	20	22,95*
1	004a	EG	Batterie	1,98	46	46	1	0	0	20	24,49*
1	006	EG	WC	1,98	5	5	0	0	0	19,49*	20
1	007	EG	Büro	15,84	224	252	8	18	10	20	26,58*
1	008	EG	Mitarbeiter	15,84	129	161	5	23	10	20	26,32*
1	009	EG	Flur	120,34	300	424	14	23	101	20	22,94*
1	011	EG	Spielraum	57,53	45	484	16	135	303	20	20,33*
1	012	EG	Medien	24,04	83	185	6	68	35	20	21,35*
1	013	EG	Entspannung	24,04	83	185	6	68	35	20	21,35*
1	014	EG	Bauraum	57,63	11	394	13	135	248	20	20,08*
1	101	1. OG	Klasse 1	82,65	164	469	15	23	283	20	21,00*
1	102	1. OG	Klasse 2	82,78	129	435	14	23	283	20	20,79*
1	103	1. OG	Lehrmittel	21,00	71	78	3	4	4	18,89*	20
1	104	1. OG	Lehrer	27,09	220	250	8	26	4	20	23,59*
1	105	1. OG	Flur	120,66	-52	143	5	23	172	20	19,46*
1	107	1. OG	Klasse 3	82,65	-17	470	15	203	283	20	19,90*
1	108	1. OG	Klasse 4	82,87	-101	386	13	203	283	20	19,38*
1	201	2. OG	Klasse 5	82,58	478	784	26	23	283	20	22,93*
1	202	2. OG	Klasse 6	82,71	386	692	23	23	283	20	22,36*
1	203	2. OG	Lüftung	23,77	131	131	4	0	0	20	39,21*
1	204	2. OG	Lehrer	27,09	327	368	12	26	15	20	25,35*
1	205	2. OG	Flur	121,16	387	582	19	23	172	20	24,06*
1	207	2. OG	Klasse 7	82,58	146	632	21	203	283	20	20,89*
1	208	2. OG	Klasse 8	82,70	199	694	23	203	291	20	21,22*
RLT Verwaltungstrakt											
2	019	EG	Halle	145,22	1416	1473	48	51	6	20	25,95*
2	021	EG	Foyer	46,20	201	411	13	210	0	19,59*	---
2	022	EG	Garderobe 1	13,38	159	171	6	13	0	18,33*	20
2	023	EG	Garderobe 2	13,38	91	103	3	13	0	18,86*	20
2	024	EG	Garderobe 3	13,38	90	102	3	13	0	18,87*	20
2	025	EG	Garderobe 4	12,19	116	128	4	13	0	18,66*	20
2	026	EG	Aula	183,45	429	1238	40	540	268	20	20,19*
2	113	1. OG	Halle	145,27	907	972	32	66	0	20	23,81*
2	114	1. OG	Raum d. Stille	52,84	237	349	11	52	60	20	21,45*
2	115	1. OG	Aula/Galerie	43,27	58	125	4	68	0	19,92*	20
2	120	1. OG	Flur Lehrer	21,03	0	0	0	0	0	20,00*	20
2	121	1. OG	Besprechung	23,00	83	135	4	22	30	20	20,81*
2	122	1. OG	Schulleiter	15,87	4	74	2	32	37	20	20,20*
2	123	1. OG	Sekretariat	22,09	23	128	4	68	37	20	20,76*
2	124	1. OG	Archiv/1.Hilfe	14,80	145	213	7	68	0	20	34,19*
2	213	2. OG	Halle	94,00	1092	1133	37	41	0	20	27,30*
2	214	2. OG	Kunst	77,03	510	698	23	94	94	20	23,13*
2	215	2. OG	Flur	38,60	268	283	9	8	8	---	---
2	216	2. OG	Vorbereitung	20,25	113	153	5	32	8	20	23,69*
2	217	2. OG	Werken	79,56	346	622	20	168	108	20	22,12*
2	218	2. OG	Lüftung	45,83	159	159	5	0	0	17	40,35*
2	219	2. OG	Lehrmittel	20,48	111	148	5	32	4	19,34*	20
2	220	2. OG	Hausmeister	13,04	38	47	2	0	9	20	23,72*

Zon	Raum	Ge- schoss	Funktion	Flä- che, in [m ²]	Heizlast nach PHP					Temperaturen	
					Q _{HLol} [W]	Q _T [W]	H _T [W/K]	Q _S [W]	Q _I [W]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]
Abluftanlage											
3	015	EG	WC Mädchen	10,07	21	25	1	0	4	18,13*	20
3	017	EG	WC Jungen	7,60	15	19	1	0	4	19,15*	20
3	018	EG	HAR-Hzg./San.	4,47	136	186	6	0	50	20	---
3	109	1. OG	WC	1,92	0	0	0	0	0	20,00*	20
3	110	1. OG	WC Mädchen	8,35	-4	0	0	0	4	20,00*	20
3	111	1. OG	Dusche	4,14	0	0	0	0	0	20,00*	20
3	112	1. OG	WC Jungen	7,83	28	32	1	0	4	17,51*	20
3	209	2. OG	WC	1,97	0	8	0	0	8	20,00*	20
3	210	2. OG	WC Mädchen	8,41	30	34	1	0	4	17,34*	20
3	211	2. OG	Putzen	4,18	-13	15	1	0	29	21,23*	20
3	212	2. OG	WC Jungen	7,88	65	69	2	0	4	14,80*	20
Küche											
4	033 033a	EG	Küche/Spülküche	47,50	-297	208	7	135	370	20	15,56*
4	028	EG	WC-Behinderte	8,45	23	23	1	0	0	20	22,15*
4	030	EG	Stuhllager	14,58	-733	39	1	0	772	20	-51,86*
4	031	EG	Lager Kühlung	13,86	32	32	1	0	0	17,02*	20
4	032	EG	Flur	5,80	-31	113	4	15	130	20	---
4	034	EG	Personal	8,56	100	111	4	11	0	20	29,51*
4	035	EG	WC	1,62	52	52	2	0	0	15,77*	20
4	117	1. OG	WC-L	2,40	-3	0	0	0	3	20,00*	20
4	118	1. OG	Vorraum WC-L	6,02	0	0	0	0	0	20	20,00*
6	033	EG	Küche	37,85	-31	185	6	135	81	20	19,98*
7	033a	EG	Spülküche	9,65	-266	23	1	0	289	20	19,48*
Hausmeisterwohnung											
5	222	2. OG	Flur	15,54	35	56	2	0	21	19,53*	20
5	223	2. OG	Bad	8,06	-65	37	1	0	102	22,50*	19,53*
5	224a	2. OG	Abstellraum	3,18	-67	19	1	0	86	25,73*	19,53*
5	224b	2. OG	Bad-Gäste	1,38	6	6	0	0	0	18,97*	19,53*
5	225	2. OG	Schlafzimmer	18,96	59	187	6	68	61	20	22,82*
5	226	2. OG	Kind 1	15,05	48	131	4	32	51	20	23,06*
5	227	2. OG	Kind 2	15,05	75	158	5	32	51	20	24,77*
5	228	2. OG	Wohnzimmer	21,78	272	407	13	115	20	20	33,10*
5	229	2. OG	Küche	13,53	99	129	4	11	19	16,78*	19,53*

Legende: * = berechneter Wert; farbig hinterlegte Räume = räume ohne Daueraufenthalt

In der Hausmeisterwohnung ergeben sich raumweise Zulufttemperaturen von 22,8 ... 33,1°C zum Erreichen einer Raumtemperatur von 20°C. Das ist mit den lokalen Heizregistern zu realisieren. In den Ablufträumen stellen sich Temperaturen von 16,8 ... 25,7 °C ein. Vor allem der Abstellraum profitiert von der Abwärme des Lüftungsgerätes.

Auswertung für den Fall gemittelter Wärmegewinnlasten

Tabelle 4-5 zeigt die Ergebnisse für den Fall mit typischen Wärmegewinnen in der Nutzungszeit, d. h.

- die Beleuchtung auf der Nordseite ist zu 80 % eingeschaltet, auf der Südseite nur zu 20 %, in den WCs zu 50 %, im Flur und der Küche zu 100 %,
- die Personen sind in den Hauptnutzräumen anwesend, in der Aula wird gegessen, die Hausmeisterwohnung ist in Benutzung,
- die Standby- und Dauerverbraucher liefern Abwärme,
- in der Küche wird gekocht und gespült, in den Klassenräumen laufen die Whiteboards, in den Büros die PCs.

Für die RLT-Anlage "Klassentrakt" ergibt sich aus dieser Berechnung eine maximale Zulufttemperatur von 21,6 °C (1,6 K oberhalb der Raumtemperatur) aus dem Flur 0.09 im Hort. Allerdings haben fast alle Räume keine Heizlast mehr. In den Klassenräumen reicht eine Zulufttemperatur von unter 10°C für eine ausgeglichene Bilanz. Die geringste Temperatur in diesem Lüftungsabschnitt weist dennoch der Lehrmittelraum 1.03 mit 19,2°C auf.

Tabelle 4-5: Raum- und Zulufttemperaturen bei typischen Wärmegewinnen [11] [eigene]

Zon	Raum	Geschoss	Funktion	Fläche, in [m ²]	Heizlast nach PHP					Temperaturen	
					Q _{HL0L} [W]	Q _T [W]	H _T [W/K]	Q _S [W]	Q _I [W]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]
RLT Klassentrakt											
1	001	EG	Atelier	57,57	-623	483	16	15	1091	20	16,33*
1	002	EG	Märchenzimmer	24,04	-300	185	6	8	478	20	15,10*
1	003	EG	Kindercafé	82,58	-3269	629	21	25	3873	20	2,83*
1	004	EG	HAR-Elektro	14,23	30	34	1	0	4	20	22,95*
1	004a	EG	Batterie	1,98	-4	46	1	0	50	20	19,59*
1	006	EG	WC	1,98	5	5	0	0	0	19,49*	20
1	007	EG	Büro	15,84	-31	252	8	18	265	20	19,08*
1	008	EG	Mitarbeiter	15,84	-166	161	5	23	305	20	11,86*
1	009	EG	Flur	120,34	166	424	14	23	235	20	21,63*
1	011	EG	Spielraum	57,53	-441	484	16	135	789	20	16,76*
1	012	EG	Medien	24,04	-97	185	6	68	214	20	18,41*
1	013	EG	Entspannung	24,04	-97	185	6	68	214	20	18,41*
1	014	EG	Bauraum	57,63	-535	394	13	135	793	20	16,07*
1	101	1. OG	Klasse 1	82,65	-2222	469	15	23	2669	20	6,39*
1	102	1. OG	Klasse 2	82,78	-2256	435	14	23	2669	20	6,17*
1	103	1. OG	Lehrmittel	21,00	51	78	3	4	24	19,21*	20
1	104	1. OG	Lehrer	27,09	-200	250	8	26	424	20	16,72*
1	105	1. OG	Flur	120,66	-1130	143	5	23	1251	20	8,13*
1	107	1. OG	Klasse 3	82,65	-1667	470	15	203	1933	20	9,79*
1	108	1. OG	Klasse 4	82,87	-1751	386	13	203	1933	20	9,27*
1	201	2. OG	Klasse 5	82,58	-1908	784	26	23	2669	20	8,31*
1	202	2. OG	Klasse 6	82,71	-2000	692	23	23	2669	20	7,75*
1	203	2. OG	Lüftung	23,77	131	131	4	0	0	20	39,21*
1	204	2. OG	Lehrer	27,09	-33	368	12	26	375	20	19,46*
1	205	2. OG	Flur	121,16	-692	582	19	23	1251	20	12,73*
1	207	2. OG	Klasse 7	82,58	-1504	632	21	203	1933	20	10,78*
1	208	2. OG	Klasse 8	82,70	-1443	694	23	203	1933	20	11,16*
RLT Verwaltungstrakt											
2	019	EG	Halle	145,22	1370	1473	48	51	52	20	25,76*
2	021	EG	Foyer	46,20	201	411	13	210	0	19,59*	---
2	022	EG	Garderobe 1	13,38	159	171	6	13	0	18,33*	20
2	023	EG	Garderobe 2	13,38	91	103	3	13	0	18,86*	20
2	024	EG	Garderobe 3	13,38	90	102	3	13	0	18,87*	20
2	025	EG	Garderobe 4	12,19	116	128	4	13	0	18,66*	20
2	026	EG	Aula	183,45	-6112	1238	40	540	6809	20	17,23*
2	113	1. OG	Halle	145,27	907	972	32	66	0	20	23,81*
2	114	1. OG	Raum d. Stille	52,84	-93	349	11	52	390	20	19,43*
2	115	1. OG	Aula/Galerie	43,27	-122	125	4	68	180	20,18*	20
2	120	1. OG	Flur Lehrer	21,03	0	0	0	0	0	20,00*	20
2	121	1. OG	Besprechung	23,00	-458	135	4	22	571	20	15,51*
2	122	1. OG	Schulleiter	15,87	-188	74	2	32	229	20	10,81*
2	123	1. OG	Sekretariat	22,09	-168	128	4	68	229	20	14,50*
2	124	1. OG	Archiv/1.Hilfe	14,80	-5	213	7	68	150	20	19,48*
2	213	2. OG	Halle	94,00	1092	1133	37	41	0	20	27,30*
2	214	2. OG	Kunst	77,03	-1137	698	23	94	1741	20	13,04*
2	215	2. OG	Flur	38,60	268	283	9	8	8	---	---
2	216	2. OG	Vorbereitung	20,25	-127	153	5	32	248	20	15,85*
2	217	2. OG	Werken	79,56	-1283	622	20	168	1737	20	12,14*
2	218	2. OG	Lüftung	45,83	159	159	5	0	0	17	40,35*
2	219	2. OG	Lehrmittel	20,48	111	148	5	32	4	19,34*	20
2	220	2. OG	Hausmeister	13,04	-99	47	2	0	146	20	10,33*

Zon	Raum	Ge- schoss	Funktion	Flä- che, in [m ²]	Heizlast nach PHP					Temperaturen	
					Q _{HLol} [W]	Q _T [W]	H _T [W/K]	Q _S [W]	Q _i [W]	θ _i [°C]	θ _{zu} [°C]
Abluftanlage											
3	015	EG	WC Mädchen	10,07	-96	25	1	0	121	28,71*	20
3	017	EG	WC Jungen	7,60	-101	19	1	0	121	25,76*	20
3	018	EG	HAR-Hzg./San.	4,47	-64	186	6	0	250	20	---
3	109	1. OG	WC	1,92	0	0	0	0	0	20,00*	20
3	110	1. OG	WC Mädchen	8,35	-121	0	0	0	121	20,00*	20
3	111	1. OG	Dusche	4,14	0	0	0	0	0	20,00*	20
3	112	1. OG	WC Jungen	7,83	-88	32	1	0	121	27,87*	20
3	209	2. OG	WC	1,97	0	8	0	0	8	20,00*	20
3	210	2. OG	WC Mädchen	8,41	-86	34	1	0	121	27,64*	20
3	211	2. OG	Putzen	4,18	-35	15	1	0	50	23,23*	20
3	212	2. OG	WC Jungen	7,88	-52	69	2	0	121	24,16*	20
Küche											
4	033 033a	EG	Küche/Spülküche	47,50	-6580	208	7	135	6652	20	-78,23*
4	028	EG	WC-Behinderte	8,45	23	23	1	0	0	20	22,15*
4	030	EG	Stuhllager	14,58	-553	39	1	0	592	20	-34,17*
4	031	EG	Lager Kühlung	13,86	32	32	1	0	0	17,02*	20
4	032	EG	Flur	5,80	74	113	4	15	25	20	---
4	034	EG	Personal	8,56	40	111	4	11	60	20	23,81*
4	035	EG	WC	1,62	52	52	2	0	0	15,77*	20
4	117	1. OG	WC-L	2,40	-15	0	0	0	15	20,00*	20
4	118	1. OG	Vorraum WC-L	6,02	-80	0	0	0	80	20	12,16*
6	033	EG	Küche	37,85	-5564	185	6	135	5614	20	15,91*
7	033a	EG	Spülküche	9,65	-1015	23	1	0	1038	20	18,01*
Hausmeisterwohnung											
5	222	2. OG	Flur	15,54	46	56	2	0	10	19,38*	20
5	223	2. OG	Bad	8,06	-23	37	1	0	60	20,47*	19,38*
5	224a	2. OG	Abstellraum	3,18	-31	19	1	0	50	22,24*	19,38*
5	224b	2. OG	Bad-Gäste	1,38	6	6	0	0	0	18,83	19,38*
5	225	2. OG	Schlafzimmer	18,96	-40	187	6	68	160	20	18,05*
5	226	2. OG	Kind 1	15,05	-51	131	4	32	150	20	16,73*
5	227	2. OG	Kind 2	15,05	-24	158	5	32	150	20	18,44*
5	228	2. OG	Wohnzimmer	21,78	72	407	13	115	220	20	23,46*
5	229	2. OG	Küche	13,53	-7	129	4	11	125	19,65*	19,38*

Legende: * = berechneter Wert; farbig hinterlegte Räume = räume ohne Daueraufenthalt

Im Einzugsbereich der Lüftungsanlage "Verwaltungstrakt" braucht nur die Halle eine Zulufttemperatur von mehr als 20°C. Alle anderen Zulufräume sind bereits im Kühlfall. Insgesamt sieht die notwendige Zulufttemperatur in diesem Lüftungsabschnitt sehr viel homogener aus. Der Abluftraum mit der geringsten Raumtemperatur ist die Garderobe 1 mit 18,3°C.

Fast alle Räume, welche an der Abluftanlage angeschlossen sind, weisen Temperaturen über 20°C auf. Insbesondere im 1. OG werden unter Berücksichtigung von Beleuchtung und Händetrocknern Temperaturen von mehr als 25°C erreicht.

Ist die Küche in Betrieb, ergibt sich in jedem Fall eine Kühllast, um die Gewinne auszugleichen.

In der Hausmeisterwohnung ergeben sich raumweise Zulufttemperaturen von 16,7 ... 23,5°C zum Erreichen einer Raumtemperatur von 20°C. Das ist mit den lokalen Heizregistern zu realisieren. In den Ablufträumen stellen sich Temperaturen von 18,8 ... 22,2 °C ein.

4.3 Resultierende Raumlufttemperatur

Die drei Auswertungen zur Raumheizlast sowie daraus resultierenden notwendigen Zulufttemperatur zeigen: prinzipiell wäre eine raumweise Einzelraumregelung sinnvoll. Jeder Raum erhielte eine passende Zulufttemperatur zur jeweiligen Lastdeckung. Diese regelungstechnische Ausstattung ist vor Ort aber nicht bzw. nur in wenigen Räumen (Wohnräume der Hausmeisterwohnung, Aula, Haupträume der Küche, Halle/Flur BTA) gegeben.

Im letzten Schritt wird daher untersucht, welche Raumtemperatur sich einstellt, wenn von einer identischen Zulufttemperatur innerhalb einer Lüftungszone auszugehen ist. Diese Zulufttemperatur am Auslegungstag ist nicht bekannt. In der Realität wird sie (in Reaktion auf Nutzerbeschwerden) vom Hausmeister vorgegeben. Für dieses Rechenbeispiel wird sie so gewählt, dass sich eine mittlere Ablufttemperatur von 23°C (frei gewählter Wert) aller an eine Anlage angeschlossenen Räume ergibt. Daher haben einige Räume eine Raumtemperatur oberhalb dieses Wertes, andere darunter. Würde eine andere Zulufttemperatur gewählt, bliebe die Tendenz der Erkenntnisse dennoch gleich – bei abweichenden Absolutwerten.

Tabelle 4-6 zeigt die Ergebnisse für folgende Fälle:

- Heizlast ohne Gewinne, DIN EN 12831 (Kapitel 4.2.1)
- Heizlast mit solaren sowie jahresmittleren internen Gewinnen, PHPP (Kapitel 4.2.2)
- Heizlast mit solaren sowie nutzungstypischen internen Gewinnen, PHPP (Kapitel 4.2.2).

Nicht ausgewertet werden die Räume der Küche, da die Lüftungsanlage für die Nebenräume keine Heizfunktion hat (und daher ohnehin der Sollwert nicht erreicht werden kann) und im Koch- und Spülbereich stark wechselnde Lasten und damit Temperaturen zu verzeichnen sind. Ebenfalls bleibt die Hausmeisterwohnung ohne Detailuntersuchung, da hier eine Einzelraumregelung der Zuluft Räume gegeben und keine ungewollte Überwärmung zu erwarten ist.

Bereich "Klassentrakt"

Für den Fall, dass keine Gewinne auftreten, müsste die Zuluft mit 27°C geliefert werden, um im Mittel 23°C Ablufttemperatur zu erreichen. Die angeschlossenen Räume hätten Raumtemperaturen im Bereich 20 ... 25°C.

Unter der Annahme geringer interner Gewinne müsste knapp 25°C als Zulufttemperatur gewählt werden, um eine mittlere Raumtemperatur von 23°C zu erreichen. Die einzelnen Räume lägen im Bereich 19 ... 26°C.

Geht man von einer typischen Vollbenutzung der Räume aus, sind die internen und solaren Gewinne selbst im Winter so hoch, dass im Mittel ein Kühlfall gegeben ist. Mit 15°C Zulufttemperatur ergibt sich eine mittlere Raumtemperatur von 23°C. Die Räume, in denen noch Heizbedarf gegeben ist, kühlen dann auf minimal 14°C aus. In anderen Räumen mit hoher Last resultiert trotzdem eine Raumtemperatur von 31°C.

Bereich "Verwaltungstrakt"

Für den Fall ohne Gewinne müsste die Zuluft mit 25,5°C geliefert werden, um im Mittel 23°C Ablufttemperatur zu erreichen. Die angeschlossenen Räume hätten Raumtemperaturen im Bereich 18 ... 25°C.

Unter der Annahme geringer interner Gewinne müsste knapp 25°C als Zulufttemperatur gewählt werden, um eine mittlere Raumtemperatur von 23°C zu erreichen. Die einzelnen Räume lägen im Bereich 18 ... 25°C. Das Bild ähnelt dem Klassentrakt, wenn auch auf etwas niedrigerem Niveau, da die Dichte der internen Lasten geringer ist.

Geht man von einer typischen Vollbenutzung der Räume aus, sind die internen und solaren Gewinne selbst im Winter so hoch, dass hier im Mittel bereits der Kühlfall gegeben ist. Mit knapp 22°C Zulufttemperatur ergibt sich eine mittlere Raumtemperatur von 23°C. Allerdings sind auch hier Raumtemperaturen zwischen 15°C und 30°C je nach interner Wärmelast zu erwarten. Damit ähnelt das Ergebnis ebenfalls dem aus dem Klassentrakt.

Tabelle 4-6: Resultierende Raumlufftemperaturen

Zone	Raum		Funktion	Fläche, in [m ²]	keine Gewinne		solare und mittlere interne Gewinne		solare und typische interne Gewinne	
					ϑ _{zu} [°C]	ϑ _i [°C]	ϑ _{zu} [°C]	ϑ _i [°C]	ϑ _{zu} [°C]	ϑ _i [°C]
RLT Klassentrakt										
			Gesamt/Mittelwerte		27	23	24,8	23	15	23
1	001	EG	Atelier (Nord)	57,57	27,0	24,3	24,8	23,1	15,0	18,7
1	002	EG	Märchenzimmer (N.)	24,04	27,0	24,1	24,8	22,2	15,0	19,9
1	003	EG	Kindercafé (Nord)	82,58	27,0	23,9	24,8	25,7	15,0	31,0
1	006	EG	WC	1,98	23,9	23,7	21,7	21,1	14,1	13,7
1	007	EG	Büro (Nord)	15,84	27,0	20,1	24,8	18,6	15,0	16,7
1	008	EG	Mitarbeiter (Nord)	15,84	27,0	20,1	24,8	18,8	15,0	22,5
1	009	EG	Flur	120,34	27,0	23,9	24,8	21,7	15,0	14,1
1	011	EG	Spielraum (Süd)	57,53	27,0	23,6	24,8	24,0	15,0	18,4
1	012	EG	Medien (Süd)	24,04	27,0	24,1	24,8	23,2	15,0	16,9
1	013	EG	Entspannung (Süd)	24,04	27,0	24,1	24,8	23,2	15,0	16,9
1	014	EG	Bauraum (Süd)	57,63	27,0	24,3	24,8	24,4	15,0	19,0
1	101	1. OG	Klasse 1 (Nord)	82,65	27,0	23,8	24,8	23,5	15,0	27,8
1	102	1. OG	Klasse 2 (Nord)	82,78	27,0	24,3	24,8	23,7	15,0	28,1
1	103	1. OG	Lehrmittel (Nord)	21,00	22,6	21,2	21,1	20,0	18,5	17,7
1	104	1. OG	Lehrer (Nord)	27,09	27,0	22,6	24,8	21,1	15,0	18,5
1	105	1. OG	Flur	120,66	27,0	25,2	24,8	25,1	15,0	26,5
1	107	1. OG	Klasse 3 (Süd)	82,65	27,0	23,8	24,8	24,5	15,0	24,7
1	108	1. OG	Klasse 4 (Süd)	82,87	27,0	24,3	24,8	25,1	15,0	25,3
1	201	2. OG	Klasse 5 (Nord)	82,58	27,0	21,9	24,8	21,7	15,0	25,8
1	202	2. OG	Klasse 6 (Nord)	82,71	27,0	22,4	24,8	22,2	15,0	26,3
1	204	2. OG	Lehrer (Nord)	27,09	27,0	20,8	24,8	19,6	15,0	16,2
1	205	2. OG	Flur	121,16	27,0	20,7	24,8	20,7	15,0	21,9
1	207	2. OG	Klasse 7 (Süd)	82,58	27,0	21,8	24,8	23,5	15,0	23,7
1	208	2. OG	Klasse 8 (Süd)	82,70	27,0	22,4	24,8	23,2	15,0	23,3
RLT Verwaltungstrakt										
			Gesamt/Mittelwerte		25,5	23	25,0	23	21,6	23
2	019	EG	Halle	145,22	25,5	20,1	25,0	19,2	21,6	16,5
2	021	EG	Foyer	46,20	20,1	19,0	19,2	18,8	16,5	16,2
2	022	EG	Garderobe 1	13,38	19,0	17,8	18,8	17,6	16,2	15,1
2	023	EG	Garderobe 2	13,38	19,0	18,3	18,8	18,1	16,2	15,6
2	024	EG	Garderobe 3	13,38	19,0	18,3	18,8	18,1	16,2	15,6
2	025	EG	Garderobe 4	12,19	19,0	18,3	18,8	17,9	16,2	15,4
2	026	EG	Aula	183,45	25,5	24,9	25,0	24,7	21,6	24,3
2	113	1. OG	Halle	145,27	25,5	21,3	25,0	21,0	21,6	18,0
2	114	1. OG	Raum d. Stille	52,84	25,5	23,2	25,0	23,3	21,6	22,0
2	115	1. OG	Aula/Galerie	43,27	24,9	24,7	24,7	24,6	24,3	24,4
2	120	1. OG	Flur Lehrer	21,03	21,7	21,7	24,3	24,3	29,6	29,6
2	121	1. OG	Besprechung	23,00	25,5	24,0	25,0	24,0	21,6	25,8
2	122	1. OG	Schulleiter	15,87	25,5	21,7	25,0	24,3	21,6	29,6
2	123	1. OG	Sekretariat	22,09	25,5	20,9	25,0	23,7	21,6	26,2
2	124	1. OG	Archiv/1.Hilfe	14,80	25,5	10,9	25,0	14,5	21,6	21,2
2	213	2. OG	Halle	94,00	25,5	18,4	25,0	18,1	21,6	15,4
2	214	2. OG	Kunst	77,03	25,5	20,7	25,0	21,6	21,6	27,5
2	216	2. OG	Vorbereitung	20,25	25,5	20,4	25,0	21,1	21,6	24,9
2	217	2. OG	Werken	79,56	25,5	21,5	25,0	22,5	21,6	28,4
2	219	2. OG	Lehrmittel	20,48	21,5	20,6	22,5	21,8	28,4	27,5
2	220	2. OG	Hausmeister	13,04	25,5	20,8	25,0	21,1	21,6	29,8
Abluftanlage										
3	015	EG	WC Mädchen	10,07	23,9	22,7	21,7	19,7	14,1	23,3
3	017	EG	WC Jungen	7,60	23,9	23,4	21,7	20,8	14,1	20,1
3	109	1. OG	WC	1,92	25,2	25,2	25,1	25,1	26,5	26,5
3	110	1. OG	WC Mädchen	8,35	25,2	25,2	25,1	25,5	26,5	38,3
3	111	1. OG	Dusche	4,14	25,2	25,2	25,1	25,1	26,5	26,5
3	112	1. OG	WC Jungen	7,83	25,2	21,9	25,1	22,2	26,5	33,8
3	209	2. OG	WC	1,97	20,7	20,0	20,7	20,6	21,9	21,8
3	210	2. OG	WC Mädchen	8,41	20,7	17,7	20,7	17,9	21,9	29,3
3	211	2. OG	Putzen	4,18	20,7	19,3	20,7	21,9	21,9	25,0
3	212	2. OG	WC Jungen	7,88	20,7	15,1	20,7	15,3	21,9	25,7

Bereich "Abluftanlage"

Die zuströmende Zuluft ergibt sich aus den anderen Lüftungsbereichen.

Für den Fall ohne Gewinne ergeben sich Raumtemperaturen zwischen 15 und 25°C, bei geringen Gewinnen zwischen 15 und 26°C. Geht man von hohen Gewinnen aus, ergeben sich Werte von 20°C bis deutlich über 30°C.

4.4 Fazit und Empfehlungen

Temperaturverteilung im Gebäude

Der Realbetrieb liegt im Winter vermutlich zwischen den beiden untersuchten Fällen mit Gewinnen. Es ist innerhalb einer Lüftungszone mit Differenzen der resultierenden Raumtemperaturen von bis zu 10 K zu rechnen. Dabei liegen die Büros jeweils deutlich unter den Klassenräumen. Die Klassenräume sehen sich untereinander sehr ähnlich. Zu den Horträumen ergibt sich aber eine Differenz von mehr als 5 K. Das bestätigt sich auch durch Messungen, siehe [Abschlussbericht 5](#). Auch in Simulationsberechnungen bestätigt sich dieses Erkenntnis, selbst bei nur 3 Räumen gleicher Nutzung in einer Schule ergeben sich in leichter Bauweise Abweichungen von 4 K zwischen dem wärmsten und kältesten Raum [12].

Der Temperatenausgleich durch offenstehende Türen zwischen den Räumen ist nur bedingt möglich, vor allem wegen der fest definierten Luftströmungsrichtungen bei laufenden Lüftungsanlagen. Die Räume mit ausgeglichener Volumenstrombilanz (Zuluft = Abluft, z. B. Klassenräume, aber auch Büros) können eine starke Überwärmung im Winter lediglich durch manuelles Fensterlüften ausgleichen (z. B. Südklassenräume). Die Unterversorgung ergibt sich, da die Zulufttemperatur zu gering ist bzw. interne Gewinne fehlen (z. B. Nordbüros). Daran ändern auch offenstehende Türen zum Flur wenig, da von dort kaum Wärme zu erwarten ist.

Die ggf. nicht ausreichend temperierten WCs erhalten bereits derzeit Zuluft aus dem Flur, was auch durch eine offenstehende Tür nicht verändert wird.

Einzelraumregelung

Das gesamte Problem lässt sich nur durch Einzelraumregelung oder zumindest Zonenregelung vermeiden, siehe auch [13]. Dabei ist nicht zwangsläufig nur in Nord/Süd-Richtung zu unterscheiden, sondern vor allem die Nutzung (Hort, Schule) zu beachten. Zusammengefasst werden sinnvollerweise auch Räume mit ähnlichen Luftwechseln (Luftvolumenstrom je Fläche bzw. Raumvolumen) und Wärmelasten, also Klassenräume, Horträume und Büros jeweils untereinander. Der Grundriss ist entsprechend sinnvoll zu konzipieren (keine im Gebäude verstreuten Büros).

Alternative Versorgungssysteme – zentrale Luftheizung

Für den Klassen- und Verwaltungstrakt werden insgesamt 25.600 kWh/a an Heizwärme eingesetzt – gemessen an den zentralen Luftheizregistern und witterungskorrigiert, siehe Abschnitt 6.2. Die Wärme wurde auf Basis von Fernwärme (wasserbasiert) bereitgestellt. Alternativ wäre eine elektrische Beheizung (direkt) denkbar gewesen.

Folgende Preise gelten:

- Fernwärme, nur Arbeitspreis: 0,06 €/kWh (auf Basis der Versorgerabrechnung von 2015 aufgerundet)
- Strom, Einkauf, Gesamtpreis: 0,27 €/kWh (auf Basis der Versorgerabrechnung von 2017 gerundet)

Eine Luftherwärmung mit Fernwärme kostet demnach heute etwa 1500 €/a. Wäre Strom zum Einsatz gekommen, ergäben sich 6900 €/a. Ein beträchtlicher Anteil des Wärmebedarfs resultiert aus der morgendlichen Wiederaufheizung des Gebäudes. In dieser Phase des Tages wird – auf Basis heutiger Speichertechnologien – Netzstrom bezogen, kein PV-Strom selbst generiert. Außerdem fallen die PV-Erträge in der Heizperiode ohnehin geringer aus. Daher wird in dieser Vergleichsrechnung ein Netzstrombezug unterstellt.

Der Kostenunterschied von 5400 €/a bei den Energiekosten (zugunsten der Fernwärme) führt zu einer maximal refinanzierbaren Investitionskostendifferenz von 108.000 € – gerechnet ohne Preissteigerung der Energieträger, ohne Zinslasten und über 20 Jahre – für die Fernwärme als Mehrkosten gegenüber einer Elektroheizung.

Die Anschaffung von 3 wasserbasierten Heizregistern (Klassentrakt, Aula, Nachheizung Flure) samt Verrohrung ist teurer als die Installation dreier elektrischer Luftheizregister. Allerdings ist die Investitionskostendifferenz geringer als 108.000 € zu vermuten. Somit ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten für die St. Franziskus-Grundschule die zentrale Luftheizung mit Fernwärme der zentralen Luftheizung mit Strom vorzuziehen.

Alternative Versorgungssysteme – lokale Heizung

Das Hauptproblem des vorhandenen Versorgungssystems ist aber die nicht vorhandene Einzelraumregelung und damit einhergehende Abstriche bei der Behaglichkeit. Daher sollen abschließend die Kosten für eine raumweise Erschließung mit (wasserbasierten) Heizkörpern bzw. Elektroluftheizregistern (direkt) miteinander verglichen werden. Das Konzept entspricht auch den Empfehlungen für wirtschaftliches Bauen der Stadt Frankfurt für Schulen in Passivhausbauweise: Trennung von Lüftung und Heizung [14].

Auszustatten sind etwa 40 Räume mit Daueraufenthalt. Es handelt sich um die Zulufräume. In allen anderen Räumen – Fluren, WCs usw. – werden aus der Luftführung resultierende Temperaturen akzeptiert. Folgende Investitionskosten lassen sich abschätzen:

- Luftheizregister á ca. 1 kW: 200 ... 300 € zzgl. Einbau
- Einzelraumregelung für Elektroheizung pro Raum ca. 50 ... 100 € zzgl. Einbau
- Zzgl. elektrische Verkabelung des Systems, zentraler Steuerung mit Schaltkasten

- Heizkörper á ca. 1 kW: 200 ... 300 € zzgl. Einbau
- Thermostatventil oder elektronischer Raumregler pro Raum ca. 50 ... 100 € zzgl. Einbau
- Zzgl. Rohrnetz mit Pumpe sowie zentrale Heizungsregelung

Es darf vermutet werden, dass das wasserbasierte System teurer ausfällt, jedoch nicht zu mehr als 108.000 € erhöhten Investitionskosten führen wird. Somit ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten für die St. Franziskus-Grundschule die raumweise Luftheizung mit Fernwärme der raumweisen Luftheizung mit Strom vorzuziehen.

Die Untersuchung einer Flächenheizung entfällt, da ein schnell reagierendes System benötigt wird, um die schnell veränderlichen lokalen Lasten auszugleichen.

Ein wirtschaftlicher Vorteil des Systems mit Einzelraumregelung gegenüber der zentralen Variante ist allerdings nicht darstellbar. Hierfür spricht nur die Behaglichkeit.

5 Planung Kühllast

Aus der Planungsphase des Gebäudes 2011 liegt eine raumweise Kühllastberechnung nach dem ausführlichen Verfahren der VDI 2078 vor [3]. Angenommen wurde ein Gebäude mittlerer Bauschwere (Begründung unklar). Die Fenster sind ganztägig verschattet angenommen, jedoch ist die passive Kühlung über Nachtlüftung und Erdschichtwärmeübertrager nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Berechnung zeigt Tabelle 5-1, detaillierter im separaten Anhang G. Angegeben ist das zu erwartende Maximum im Raum am jeweils ungünstigsten Tag. Ob die maximalen Werte zeitgleich zu erwarten sind, ist nicht bekannt. Es wird vermutet, dass für jeden Raum sein Maximum angegeben ist, wobei die Maximalwerte für Räume auf der Südseite zu anderen Uhrzeiten auftraten als bei den Nordräumen.

Unter der Annahme einer nicht vorhandenen Kühltechnik wurde aus der Kühllast zusätzlich eine resultierende Rauminnentemperatur im eingeschwungenen Zustand (längere zusammenhängende heiße Phase) berechnet. Tabelle 5-1 zeigt die Werte absteigend sortiert.

Tabelle 5-1: Kühllast und resultierende Raumtemperatur [3]

Raum	Funktion	A [m ²]	V [m ³]	$\dot{Q}_{K,max}$ [W]	$\vartheta_{i,ist}$ [°C]
0.20	Windfang	15	44	2826	64,8
2.28	Wohnzimmer	22	65	1452	59,4
1.24	Archiv	15	44	1196	55,0
2.07	Klasse7	82	245	4169	54,0
2.08	Klasse8	82	246	4251	54,0
2.25	Schlafzimmer	19	56	1251	53,4
0.29	Treppenhaus	19	57	1266	51,9
1.08	Klasse4	82	246	4446	50,6
1.07	Klasse3	82	245	4365	50,4
2.12	WCJ	4	13	494	49,3
2.17	Werken	80	239	3417	48,9
0.10	Treppenhaus	20	60	1338	48,5
1.12	WCJ	4	13	500	48,4
2.04	Lehrer	27	80	1502	48,3
0.33	Küche	53	158	2486	48,1
1.23	Sekretariat	22	66	1767	47,7
1.04	Lehrer	27	80	1520	46,7
0.08	Mitarbeiter	20	59	1462	46,3
1.14	Raum der Stille	55	165	2410	45,8
2.14	Kunst	79	238	2580	45,7
0.26	Speiseraum	183	550	16431	44,1
0.07	Büro	10	29	734	43,2
1.22	Schulleiter	16	48	1017	43,2
1.06	Treppenhaus	20	60	970	42,5
1.19	Treppenhaus	19	57	921	41,3
1.21	Besprechung	23	69	843	40,9
1.15	Galerie	45	134	1279	39,3
0.34	Personal	6	18	413	39,1
0.14	Hort6	58	173	3734	38,8
0.11	Hort3	57	172	3653	38,5
0.22	Gard.1	13	40	436	38,3
2.27	Kind2	15	45	482	38,3
2.26	Kind1	15	45	490	38,2
0.25	Gard.4	13	40	435	37,5
0.24	Gard.3	13	40	436	37,4
0.23	Gard.2	13	40	436	37,3
1.13	Halle	145	436	2081	37,2
2.29	Küche	13	40	418	37,0
2.13	Halle	148	445	1694	36,8
2.16	Vorbereitung	20	60	486	36,1

Raum	Funktion	A [m ²]	V [m ³]	Q _{K,max} [W]	θ _{i,ist} [°C]
0.19	Halle	145	436	1999	35,9
2.06	Treppenhaus	20	60	405	33,9
0.12	Hort4	23	70	2458	33,7
0.13	Hort5	23	70	2458	33,7
2.21	Treppenhaus	19	57	394	33,1
2.01	Klasse5	82	245	1599	32,7
2.02	Klasse6	82	246	1199	32,3
0.03	Kindercafé	82	246	2294	32,0
1.02	Klasse2	82	246	1266	32,0
0.02	Hort2	23	70	1575	31,5
0.01	Hort1	57	172	1816	31,1
1.01	Klasse1	82	245	1090	30,7
1.05	Flur	122	365	1077	29,2
2.05	Flur	122	365	980	29,2
2.03	Lüftung	24	71	102	29,1
0.09	Flur	122	365	990	28,7
1.03	Lehrmittel	24	71	93	28,6
2.19	Lehrmittel	20	61	22	26,7
2.18	Lüftung	45	136	35	26,6
0.35	Personal WC	2	5	5	26,5
2.20	Lehrmittel	13	39	10	26,4
2.23	Bad	9	27	7	26,4
1.15	Luftraum Foyer	60	181	18	26,3
2.10	WCM	4	14	3	26,3
2.11	Putzmittel	4	12	3	26,3
2.24	Abstellraum	6	17	4	26,3
2.31	Raum030	3	10	4	26,3
2.15	Flur	13	39	10	26,2
2.22	Flur	16	49	13	26,2
0.18	HAR	4	13	3	26,1
0.05	Lager	9	26	0	26,0
0.06	WC	2	6	0	26,0
0.15	WCM	5	14	0	26,0
0.16	Waschraum	2	7	0	26,0
0.17	WCJ	5	15	0	26,0
0.27	Aufzug	3	9	0	26,0
0.35	Raum033	3	10	0	26,0
0.36	Raum034	3	10	0	26,0
1.09	WC	2	6	0	26,0
1.10	WCM	4	13	1	26,0
1.11	Putzmittel	4	12	1	26,0
1.16	Aufzug	3	9	1	26,0
1.17	WC	3	8	1	26,0
1.18	Vorraum	6	18	1	26,0
1.20	Flur Lehrer	23	69	2	26,0
1.25	Raum024	4	11	1	26,0
1.26	Raum025	3	10	2	26,0
2.09	WC	2	6	1	26,0
2.21	Aufzug	3	9	2	26,0
2.30	Raum029	4	11	3	26,0
0.21	Foyer	45	135	0	25,9
0.28	Behinderten-WC	9	27	0	25,9
0.30	Stuhllager	17	50	0	25,9
0.31	Lager	13	40	0	25,9
0.04	HAR ELT	4	13	0	25,8
0.04a	Batterie	4	13	0	25,8
0.32	Flur	9	26	0	25,5
1.14	Luftraum	136	409	0	24,2

Legende: farbige Markierung für alle Räume mit Dauernutzung oberhalb der Außentemperatur

Die Mehrzahl der relevanten Räume mit dauerhaften Aufenthalt von Personen weist Rauminnentemperaturen auf, die den jeweiligen Raum unbenutzbar machen würden.

Die Berechnungen wurden in der Planungsphase verwendet, um die Nachtauskühlung über sommerliche Nachtlüftung zu realisieren. Außerdem wurde der Erdreichwärmeübertrager zur passiven Kühlung konzipiert.

In der Realität zeigen die Messwerte, dass die ohne Kühlung zu erwartenden maximalen Raumtemperaturen erfreulicherweise vermieden werden konnten. Es kommt im Sommer nur zu moderaten Überschreitungen der maximalen Raumtemperatur von 26°C, siehe [Abschlussbericht 5](#).

6 Messergebnisse Energie

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt die vorhandene Messtechnik zur Beurteilung der Heizung mit Fernwärme hinsichtlich ihres Energieverbrauchs sowie ihrer Betriebsweise und der korrekten regelungstechnischen Funktionen. Anschließend wird im Überblick die Jahresenergiebilanz vorgestellt und Einzelgrößen ausgewertet und interpretiert.

6.1 Messorte und Messtechnik

Tabelle 6-1 zeigt die Summe aller mit der Fernwärme verbundenen Messfühler. Sie sind komplett für das Monitoringprojekt installiert worden (Messtechnik von Fa. GEDES). Die Grundschule ist an den Sekundärkreis der Fernwärme des benachbarten Elisabeth-Gymnasiums angeschlossen. Daher ist der Hauptzähler – trotz des gewählten Namens – bereits ein Unterzähler, der nicht von den Stadtwerken betreut wird, sondern nur der internen Verrechnung dient. Grundlegendes zu dieser Projektarchitektur wird in [Abschlussbericht 1](#) erläutert.

Tabelle 6-1: Messpunkte Fernwärme

Kürzel	Einheit	Gruppe	Untergruppe	Beschreibung
DF001A-50CC-0	m³	HZG	FEW	Hauptzaehler_Fernwaerme
DF001A-54A2-0	MWh	HZG	FEW	Fernwaermebezug_fuer_Heizung_Schulfluegel
DF001A-61EA-0	MWh	HZG	FEW	Fernwaermebezug_fuer_Kueche_Kochhaube
DF001A-61EC-0	MWh	HZG	FEW	Fernwaermebezug_fuer_Kueche_Spielhaube
DF001A-65E0-0	MWh	HZG	FEW	Fernwaermebezug_fuer_Heizung_BtA
Temperaturen				
DF0220-5096-0	°C	HZG	FEW	Temperatur_Vorlauf_Fernwaerme
DF0220-509E-0	°C	HZG	FEW	Temperatur_Ruecklauf_Fernwaerme
Hilfsenergie				
DF0118-50B2-0	A	HZG	HIL	Strom_fuer_Fernwaerme_Pumpe_Phase_L1
DF0118-50B2-5	kW	HZG	HIL	Leistung_Fernwaerme_Pumpe_Phase_L1
DF0118-50B4-0	A	HZG	HIL	Strom_Fernwaerme_Pumpe_Phase_L2
DF0118-50B4-5	kW	HZG	HIL	Leistung_Fernwaerme_Pumpe_Phase_L2
DF0118-50B6-0	A	HZG	HIL	Strom_Fernwaerme_Pumpe_Phase_L3
DF0118-50B6-5	kW	HZG	HIL	Leistung_Fernwaerme_Pumpe_Phase_L3
DF0118-54B0-0	A	HZG	HIL	Strom_Pumpen_Heizregister_fuer_BtB
DF0118-54B0-5	kW	HZG	HIL	Leistung_Pumpen_Heizregister_fuer_BtB
DF0118-65A4-0	A	HZG	HIL	Strom_Pumpe_Nachheizung_BtA
DF0118-65A4-5	kW	HZG	HIL	Leistung_Pumpe_Nachheizung_BtA
DF0118-65A6-0	A	HZG	HIL	Strom_Pumpe_Nachheizung_BtA_Flur
DF0118-65A6-5	kW	HZG	HIL	Leistung_Pumpe_Nachheizung_BtA_Flur
Regelungszustände				
A_PWW-Ventil Stellung	%	RLT	MAR	Stellung des Dreiwegeventils zur Heizung, Mittelwert
B_PWW-Ventil Stellung	%	RLT	MBR	Stellung des Dreiwegeventils zur Heizung, Mittelwert

Ziel des Messkonzeptes ist die Erfassung der Energiemengen für die einzelnen Fernwärmeanwendungen. Das Zählerkonzept erlaubt auch einen Rückschluss über die Leitungsverluste zwischen dem Einspeisepunkt im Elisabeth-Gymnasium und den Verbrauchern.

Zusammen mit der gleichzeitig erfassten Vorwärmung der Zuluft durch den Erdreichwärmeübertrager und die Wärmerückgewinnung kann die Teilbilanz für die Luftheizung komplett nachvollzogen werden, siehe [Abschlussbericht 7](#). Für Details zur Trinkwarmwasserbilanzierung wird auf den [Abschlussbericht 8](#) verwiesen. Es sei vorher angemerkt, dass derzeit keine Fernwärmenutzung im Solarpufferspeicher stattfindet.

6.2 Jahresenergiebilanzen der Fernwärme

Abbildung 6-1 zeigt den jährlichen Fernwärmeverbrauch, wie er aus den Wärmemengenzählern ausgelesen werden konnte. Es handelt sich um die Rohdaten vor der Witterungskorrektur. Abbildung 6-2 zeigt die witterungskorrigierten Werte auf Basis der Durchschnittsklimadaten von Halle/Leipzig (Wetterstation des DWD).

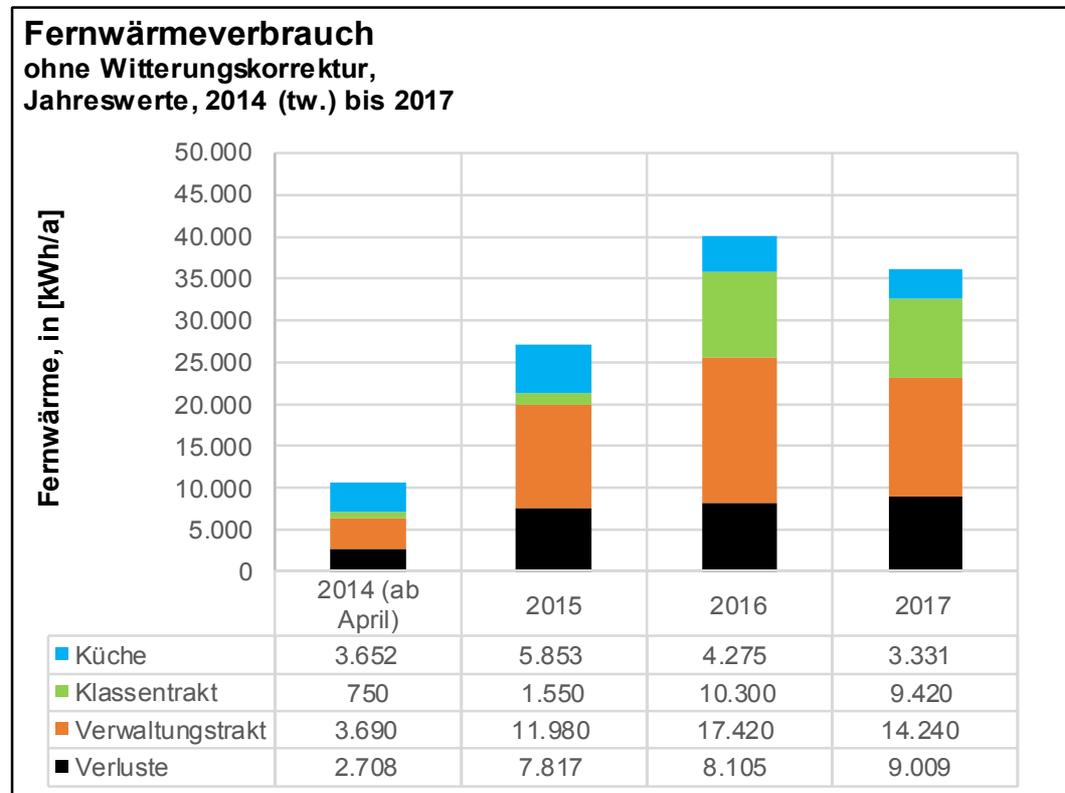


Abbildung 6-1: Jahresfernwärmeverbrauch ohne Witterungskorrektur

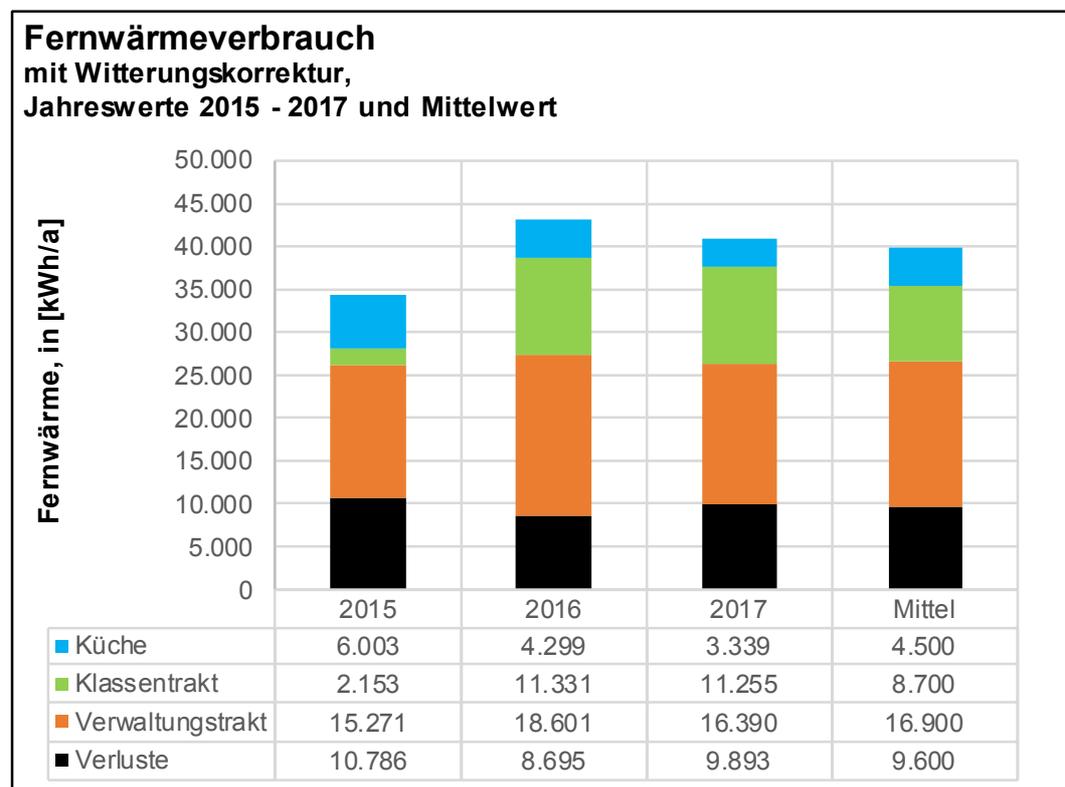


Abbildung 6-2: Jahresfernwärmeverbrauch mit Witterungskorrektur

Im gesamten Messzeitraum von 1.1.2015 bis 1.1.2018 war es verglichen mit dem Durchschnittsklima (der DWD-Messstation Halle/Leipzig) zu warm: in der Winterperiode 2015 etwa 28 %, 2016 etwa 10 % und 2017 etwa 17% (jeweils bezogen auf eine Heizperiode mit Heizgrenze 10°C und unter Verwendung der Heizgradtage). Das ist bei der Interpretation der Balkendiagramme zu berücksichtigen.

Das Jahr 2014 wird nicht weiter ausgewertet. Die Datenerfassung startete erst im April, so dass etwa 3 von zu erwartenden 5 Heizmonaten bereits vorbei waren. Im Jahr 2015 ist vor allem zu erkennen, dass der Verbrauch des Klassentraktes extrem gering ausgefallen ist. Dies liegt daran, dass die Regelung der RLT falsch programmiert war. Der Fehler wurde erst im Januar 2016 behoben. Die Zuordnung von Nord- und Südräumen in der morgendlichen Aufheizphase erfolgte vertauscht. Daher wurde die Heizung regelmäßig beendet, sobald im Süd-Referenzraum die Solltemperatur erreicht wurde. Das führte zu regelmäßigen Unterschreitungen der Raumtemperaturen.

Wäre das Jahr 2015 nicht so warm gewesen (30 % weniger Verbrauch allein aufgrund der milden Witterung), hätte es deutlich mehr Beschwerden gegeben. So wurde der Fehler erst Ende 2015 überhaupt erkannt. Ab 2016 stabilisieren sich die Verbrauchswerte auch im Klassentrakt. Eine weitere Kennwertbildung für die einzelnen Bereiche folgt in Abschnitt 6.3.

Netzverlust

Der Verlust von 9600 kWh/a entspricht bei 70 m Trassenlänge im Erdreich (zwischen beiden Schulen) einem Verlustkennwert von 137 kWh/(m_{Trasse} · a). Werden alle Leitungen berücksichtigt, ergeben sich 203 m Trassenlänge sowie 47 kWh/(m_{Trasse} · a). Verglichen mit den üblichen Trassenverlusten neuer Netze von 200 kWh/(m_{Trasse} · a) bei Hochtemperaturbetrieb (80/60°C) ist der Wert gering.

Für das Netz gelten folgende Randdaten:

- Leitungslänge L
- außerhalb des Gebäudes: 140 m
- innerhalb des Gebäudes: 265 m
- Dämmung und U-Wert der Leitungen
- außerhalb des Gebäudes: 50 % angenommen (entspricht der Empfehlung der AGFW für Erdleitungen in DN 65) und ergibt U = 0,45 W/(mK)
- innerhalb des Gebäudes: 50 ... 100 %, 75 % angenommen, d. h. U = 0,30 W/(mK)
- Netztemperatur ca. 45°C im Vorlauf und 25°C im Rücklauf, siehe Kapitel 8.2, daher $\vartheta_i = 35^\circ\text{C}$ als repräsentativ angenommen
- Umgebungstemperatur am Ort der Leitungsverlegung
- außerhalb des Gebäudes Erdreich mit $\vartheta_e = 10^\circ\text{C}$ angenommen
- innerhalb des Gebäudes Verlegung überwiegend in Schächten und Decken, daher $\vartheta_e = 25^\circ\text{C}$ angenommen
- Betriebszeit: in der Woche täglich ca. 12 h, am Wochenende ca. insgesamt 5 h, für 52 Betriebswochen, d. h. jährlich t = 3380 h/a

Der rechnerische Wärmeverlust ergibt sich zu:

$$\begin{aligned}
 Q_d &= \sum U \cdot L \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t \\
 &= 0,45 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot 140\text{m} \cdot (35 - 10)\text{K} \cdot \frac{3380\text{h}}{a} + 0,30 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot 265\text{m} \cdot (35 - 25)\text{K} \cdot \frac{3380\text{h}}{a} \\
 &= 8011\text{kWh/a}
 \end{aligned}$$

Der Messwert von etwa 9600 kWh/a liegt etwa 20 % neben der Berechnung. Das Ergebnis ist als realistisch einzuschätzen, zumal erhöhte Verluste aufgrund von Armaturen, Zählern usw. nicht rechnerisch berücksichtigt wurden.

6.3 Monatlicher Fernwärmeverbrauch und Energieanalyse

Da alle Zähler ein Speicherwerk aufweisen, kann problemlos eine Monatsdarstellung der Messwerte erfolgen. Darüber hinaus können die Messwerte auch außentemperaturbezogen ausgewertet werden. In der Darstellung einer mittleren Leistung über der Außentemperatur ist die Witterungsabhängigkeit des jeweiligen Verbrauches erkennbar.

6.3.1 Haupteinspeisung an der Übergabestation

Abbildung 6-3 zeigt den monatlichen Verbrauch für Fernwärme an der Haupteinspeisung der St. Franziskus-Grundschule. Versorgt werden über diesen Zähler 2973,46 m² beheizte Nettogrundfläche – das gesamte Schulgebäude ohne die Hausmeisterwohnung. Indirekt beheizte Treppenträume und Aufzugsschächte sind in der Fläche enthalten.

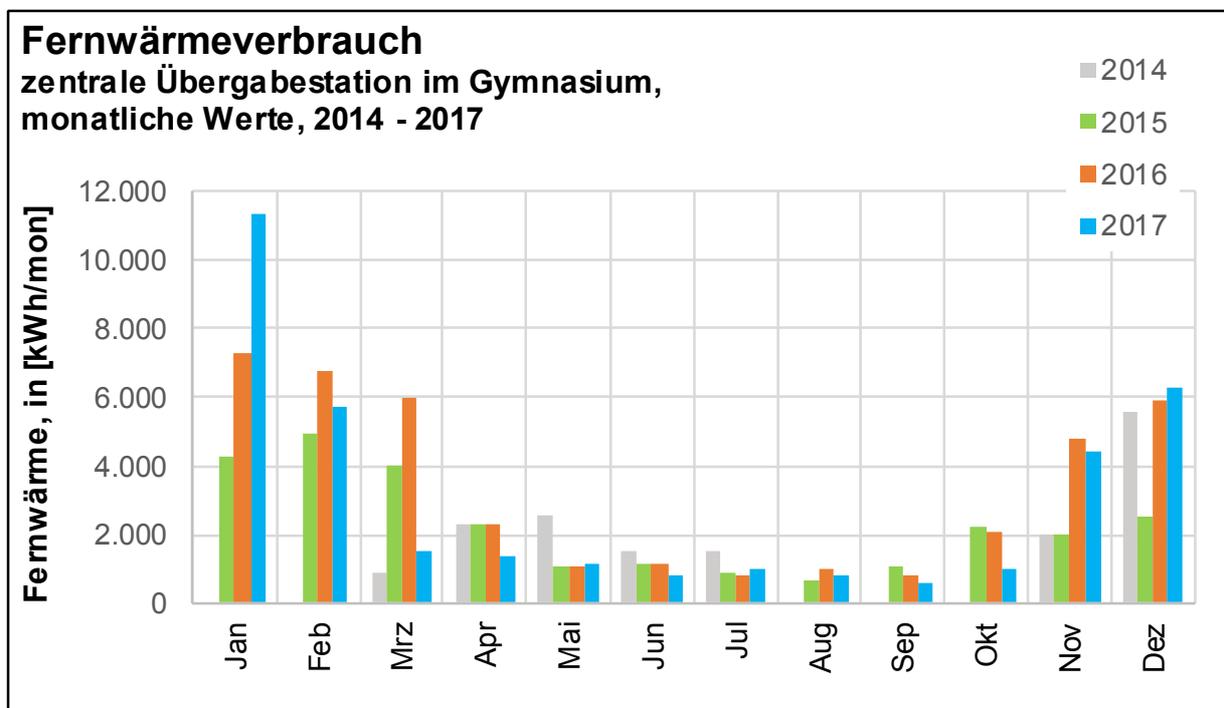


Abbildung 6-3: Monatlicher Fernwärmeverbrauch an der Haupteinspeisung

Werden die Monatsverbräuche durch die Anzahl der Monatsstunden dividiert, ergeben sich die in Abbildung 6-4 aufgetragenen Leistungen. Eine Heizgrenze von etwa $\vartheta_{HG} = 10,1^{\circ}\text{C}$ ist erkennbar, oberhalb der nicht mehr witterungsabhängig verbraucht wird.

In den witterungsunabhängigen Verbrauchssockel fallen 27 % des Verbrauchs, zum großen Teil für den Netzverlust, aber auch die Küche verbraucht witterungsunabhängig Energie. Die Dauerleistung beträgt 1,29 kW bzw. 0,4 W/m². Der flächenbezogene witterungsunabhängige Energiekennwert liegt bei 3,8 kWh/(m²a).

Entsprechend fallen 73 % des Fernwärmeverbrauchs witterungsabhängig an. Die Steigung ergibt, dass je Grad Außentemperaturabfall die Heizleistung um 0,97 kW ansteigt (Kennwert H). Je angeschlossener Fläche liegt der Kennwert bei $h = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dieser Wert ist sehr gering und als sehr positiv einzuschätzen. Er ist besser als theoretisch vorab berechnet. Der Passivhausnachweis liefert den Kennwert aus einer Verlustrechnung (Gebäudehülle und Lüftungswärmeverlust) und kommt auf 0,36 ... 0,40 W/(m²K) – im Rahmen der Berechnung des kältesten Tages bzw. des Jahresmittels.

Der Kennwert, welcher sich aus dem witterungsabhängigen Verbrauch ergibt liegt witterungskorrigiert bei 10,1 kWh/(m²a). Das ergibt insgesamt einen Energiekennwert von 13,9 kWh/(m²a) – incl. aller Netzverluste. Damit ist der Zielwert des Passivhauses eingehalten. Er liegt bei 15 kWh/(m²a), jedoch ohne Netzverluste.

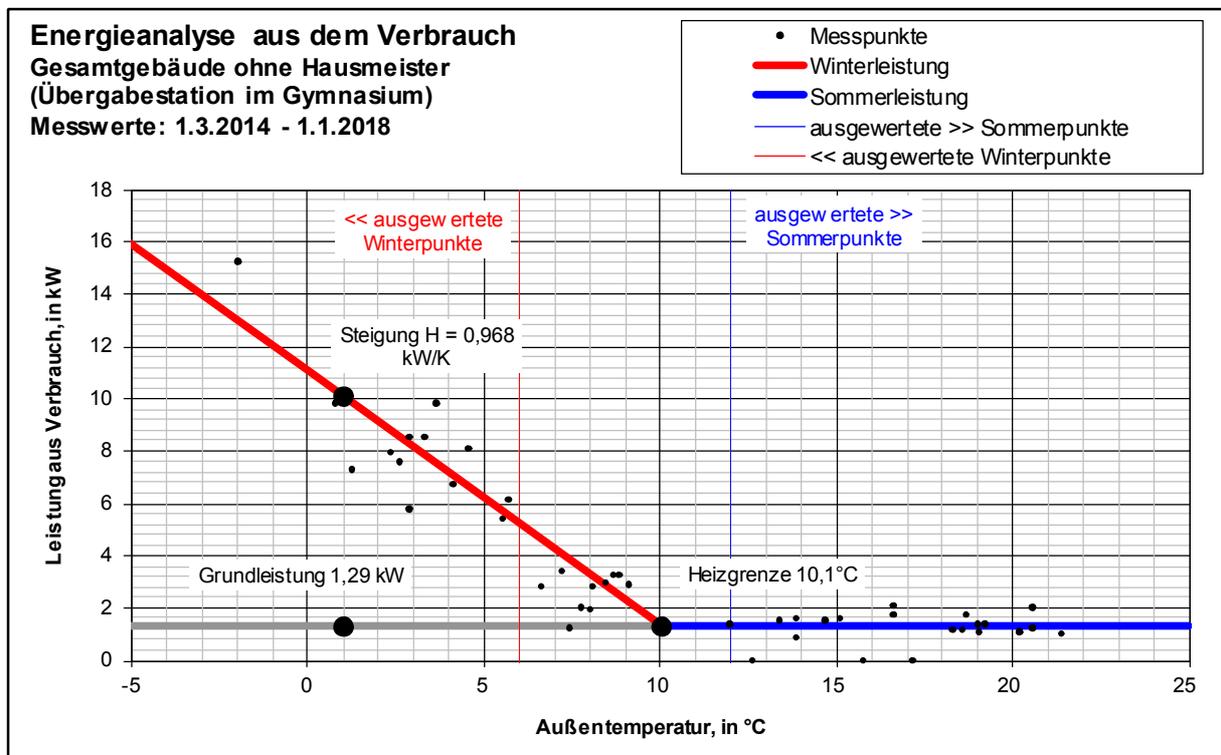


Abbildung 6-4: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Haupteinspeisung

Die Heizlast am kältesten Tag liegt – extrapoliert bei -14°C minimaler Außentemperatur – bei nur 33 kW, deutlich unter den theoretischen Werten. Der flächenbezogene Kennwert liegt damit bei 11,1 W/m². Der Grenzwert von 10 W/m² wird nur eingehalten, wenn die Netzverluste unberücksichtigt bleiben.

6.3.2 Heizregister Klassentrakt

Abbildung 6-5 zeigt den monatlichen Verbrauch für Fernwärme am Heizregister der RLT-Anlage "Klassentrakt" (BTB). Versorgt werden über diesen Zähler 1624,45 m² beheizte Nettogrundfläche – der gesamte westliche Gebäudeteil (Bauteil B) incl. indirekt beheizter Treppenträume.

Abbildung 6-6 zeigt die Energieanalyse aus dem Verbrauch. Eine Heizgrenze von etwa $\vartheta_{HG} = 7,4^{\circ}\text{C}$ ist erkennbar, oberhalb der nicht mehr witterungsabhängig verbraucht wird.

In den witterungsunabhängigen Verbrauchssockel fällt nur 1 % des Verbrauchs. Dies ist mit 0,1 kWh/(m²a) nahezu vernachlässigbar. Der Wert spricht für eine funktionierende regelungstechnische Abschaltung der Beheizung in Phasen ohne Bedarf.

Entsprechend fallen 99 % des Fernwärmeverbrauchs witterungsabhängig an. Die Steigung ergibt, dass je Grad Außentemperaturabfall die Heizleistung um 0,52 kW ansteigt (Kennwert H). Je angeschlossener Fläche liegt der Kennwert bei $h = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und damit leicht unter dem Gebäudemittelwert.

Der Kennwert, welcher sich aus dem witterungsabhängigen Verbrauch ergibt liegt witterungskorrigiert bei 10,0 kWh/(m²a). Das ergibt insgesamt einen Energiekennwert von 10,1 kWh/(m²a). Damit ist der Zielwert des Passivhauses von 15 kWh/(m²a) eingehalten.

Fernwärmeverbrauch

Heizregister in Lüftung 2.03 Klassentrakt,
monatliche Werte, 2014 - 2017

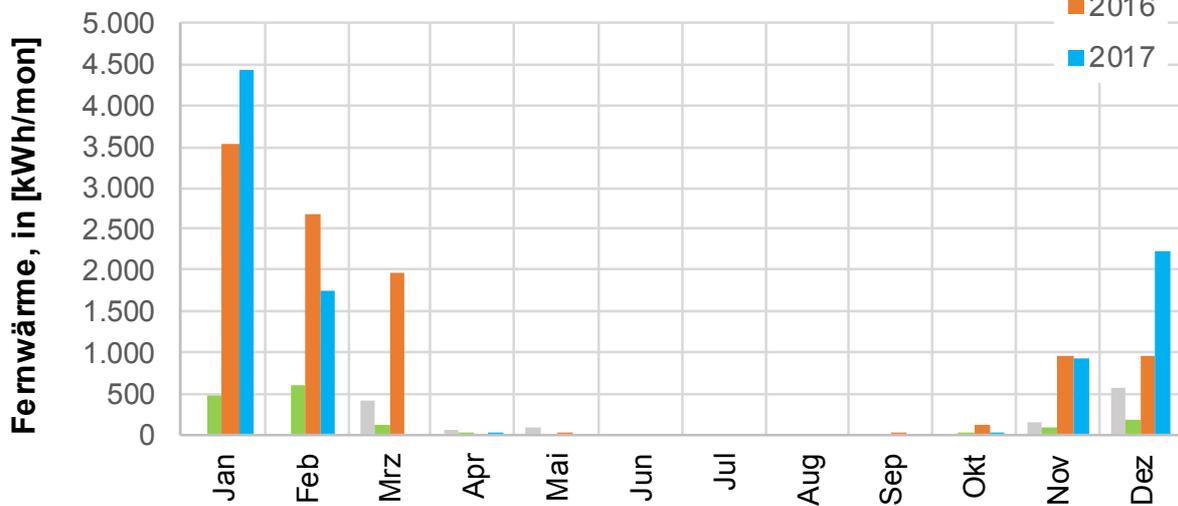


Abbildung 6-5: Monatlicher Fernwärmeverbrauch für den Klassentrakt

Energieanalyse aus dem Verbrauch

Klassentrakt (Heizregister Lüftung BTB)
Messwerte 1.2.2014 - 1.1.2018

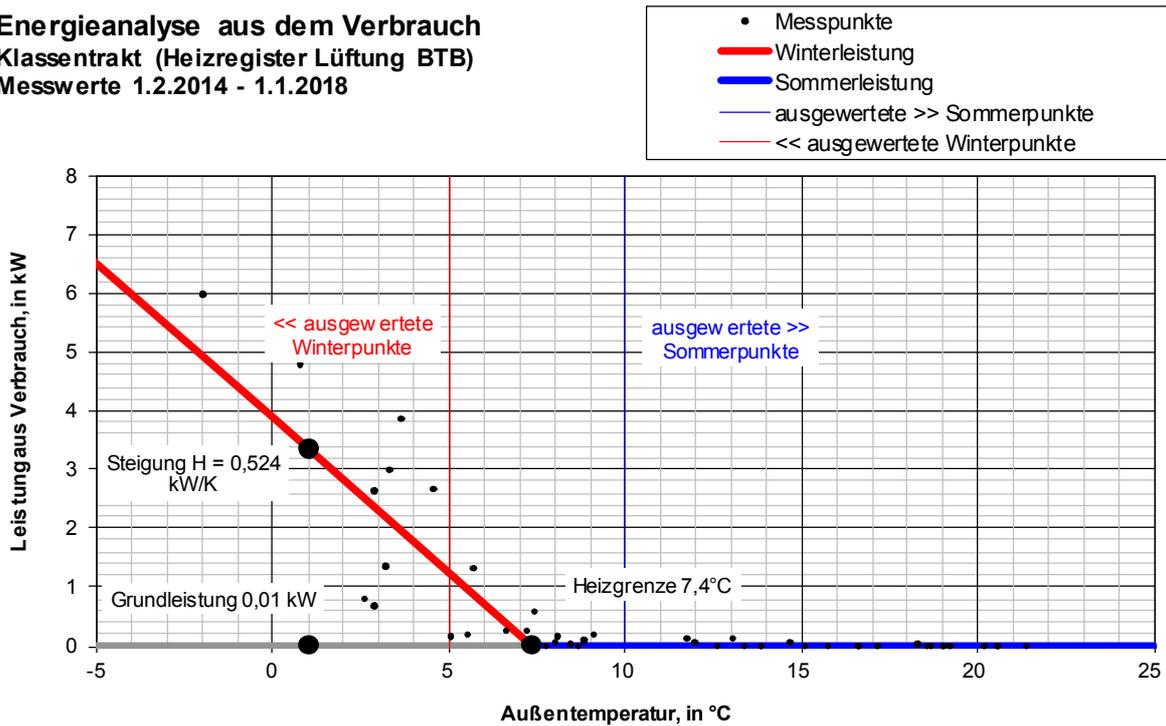


Abbildung 6-6: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Klassentrakt

Die Heizlast am kältesten Tag liegt – extrapoliert bei -14°C minimaler Außentemperatur – bei 18 kW , deutlich unter den theoretischen Werten. Der flächenbezogene Kennwert liegt damit bei $10,9 \text{ W/m}^2$.

Der Fernwärmebezug für den Klassentrakt ist erfreulich gering, dennoch wurden im Juni 2018 regelungstechnische Optimierungen an der Lüftungsanlage vorgenommen:

- die Optimierung der morgendlichen Wiederaufheizung im Winter nach der Nachtabsenkung mit dem Ziel einer gleichmäßigeren Aufheizung bis zum Eintreffen der ersten Personen,
 - dies wird zu einer Erhöhung des Verbrauchs führen, aber die Nutzerzufriedenheit verbessern
- die Verbesserung der Wärmeverteilung zwischen Nord- und Südräumen während des Tagbetriebes, wobei hier Grenzen gesetzt sind, da für alle Räume die gelieferte Zuluft auf dieselbe Temperatur beheizt wird, eine geringe Variation der Volumenströme ist denkbar
 - dies wird den Verbrauch voraussichtlich nicht verändern, sondern nur umverteilen
- Einrichtung einer geregelten Sommer-/Winterumschaltung für den Anlagenbetrieb.
- die Verbesserung der sommerlichen Nachtkühlung mit dem Ziel, die Effekte der Nachtkühlung länger nutzen zu können (Abwägen zwischen Luftqualität und Raumtemperatur),

Die beiden letztgenannten Punkte werden im **Abschlussbericht 7** vertieft.

6.3.3 Heizregister Verwaltungstrakt

Abbildung 6-7 zeigt den monatlichen Verbrauch für Fernwärme am Heizregister der RLT-Anlage "Verwaltungstrakt" (BTA). Versorgt werden über diesen Zähler 1267,3 m² beheizte Nettogrundfläche – der gesamte östliche Gebäudeteil (Bauteil A), jedoch ohne Küche und Hausmeisterwohnung.

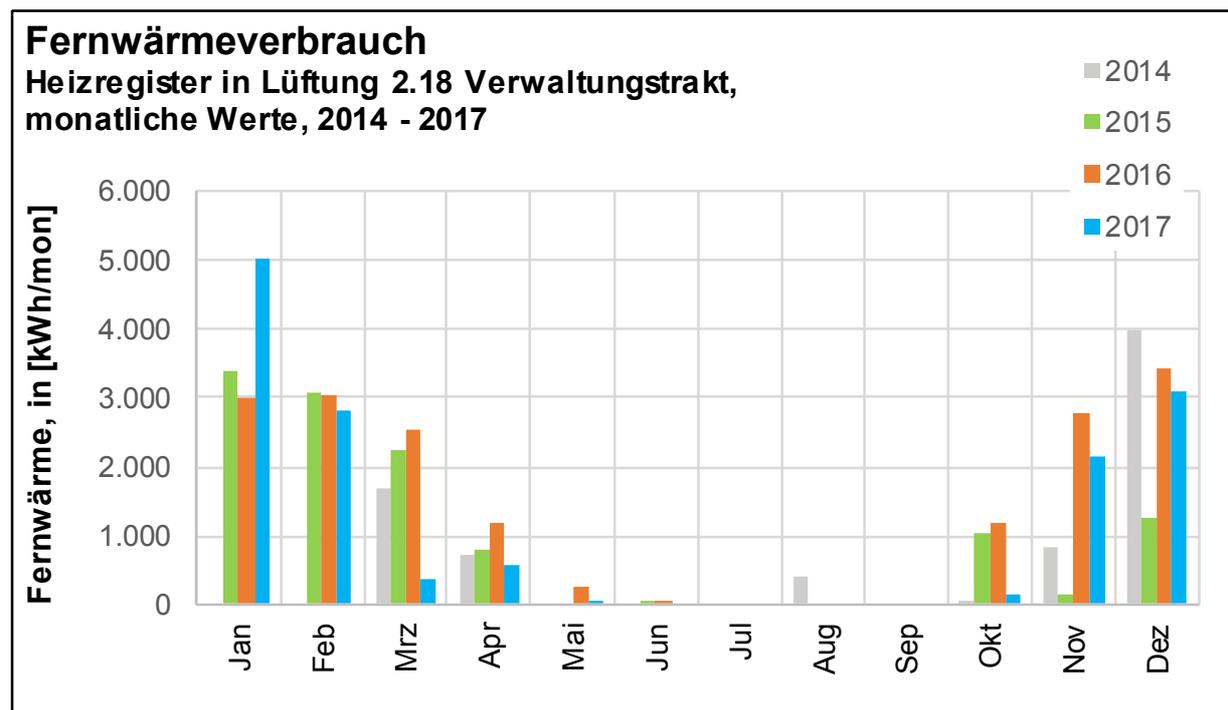


Abbildung 6-7: Monatlicher Fernwärmeverbrauch für den Verwaltungstrakt

Abbildung 6-8 zeigt die Energieanalyse aus dem Verbrauch. Eine Heizgrenze von etwa $\vartheta_{HG} = 11,6^{\circ}\text{C}$ ist erkennbar, oberhalb der nicht mehr witterungsabhängig verbraucht wird. Das ist ein deutlich höherer Wert als im Klassentrakt, weil auf die Fläche bezogen deutlich weniger Wärmegewinne (v. a. interne Gewinne) zu verzeichnen sind.

In den witterungsunabhängigen Verbrauchssockel fallen 4 % des Verbrauchs bzw. auf die versorgte Fläche bezogen 0,6 kWh/(m²a). Er resultiert aus einzelnen Verbrauchsspitzen in eigentlich warmen Monaten. Eine regelungstechnische Optimierung der RLT-Anlage steht noch aus, ist aber geplant.

Entsprechend fallen 96 % des Fernwärmeverbrauchs witterungsabhängig an. Die Steigung ergibt, dass je Grad Außentemperaturabfall die Heizleistung um 0,42 kW ansteigt (Kennwert H). Je angeschlossener Fläche liegt der Kennwert bei 0,33 W/(m²K) und damit leicht über dem Wert des Klassentraktes, was bei identischer Gebäudehülle und Lüftungstechnik auch zu erwarten ist.

Der Kennwert, welcher sich aus dem witterungsabhängigen Verbrauch ergibt liegt witterungskorrigiert bei 13,4 kWh/(m²a). Das ergibt insgesamt einen Energiekennwert von 14,0 kWh/(m²a). Damit ist der Zielwert des Passivhauses von 15 kWh/(m²a) eingehalten. Die Unterschiede zum Klassentrakt resultieren vor allem aus den geringeren internen Lasten.

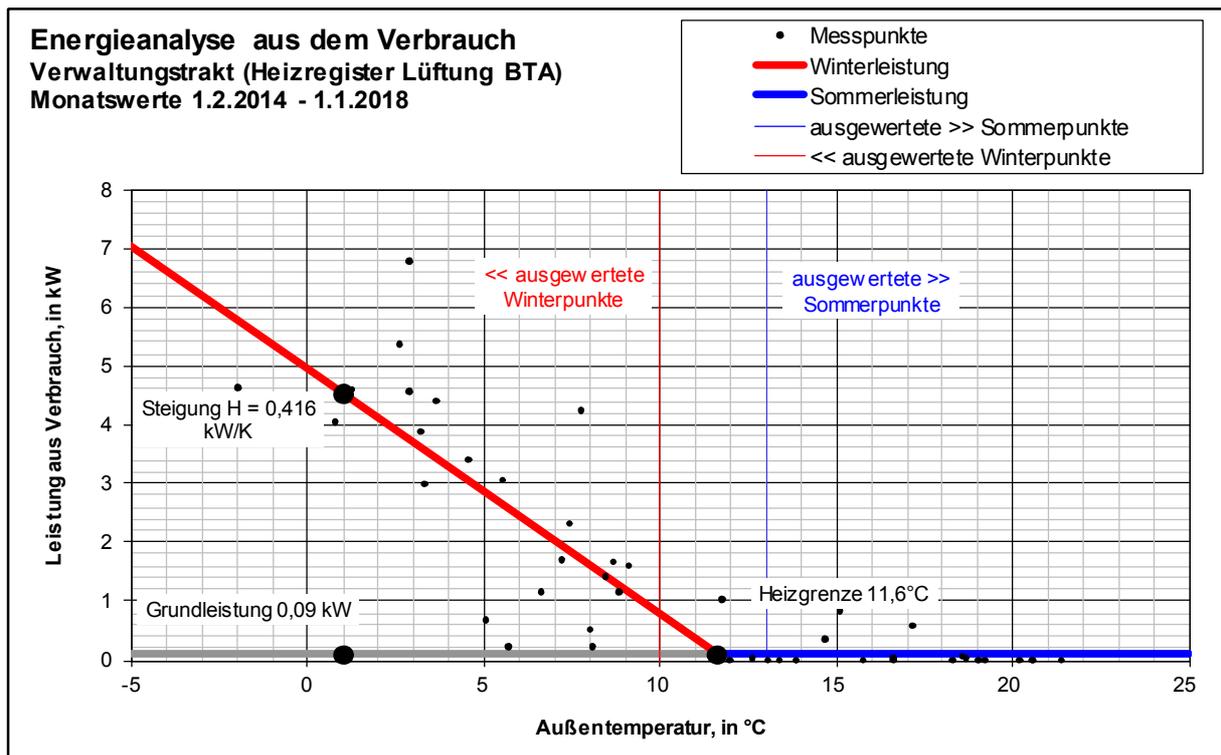


Abbildung 6-8: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Verwaltungstrakt

Die Heizlast am kältesten Tag liegt – extrapoliert bei -14°C minimaler Außentemperatur – bei 14 kW, deutlich unter den theoretischen Werten. Der flächenbezogene Kennwert liegt damit bei 11,3 W/m².

Der Fernwärmebezug für den Verwaltungstrakt ist gering, dennoch sind regelungstechnische Optimierungen an der Lüftungsanlage vorgesehen bzw. wären sinnvoll:

- die Optimierung bzw. Reduzierung der minimalen Volumenströme in der Aula, wenn keine Personen anwesend sind von heute ca. 60 ... 80 % des Maximalwertes auf 20 ... 30 % (eine CO₂-Regelung ist vorhanden)
- Einrichtung einer geregelten Sommer-/Winterumschaltung für den Anlagenbetrieb.
- die Verbesserung der sommerlichen Nachtkühlung mit dem Ziel, die Effekte der Nachtkühlung länger nutzen zu können (Abwägen zwischen Luftqualität und Raumtemperatur),

Die beiden letztgenannten Punkte werden im Abschlussbericht 7 vertieft.

6.3.4 Heizregister Küche

Abbildung 6-9 zeigt den monatlichen Verbrauch für Fernwärme an den Heizregistern der Küche. Versorgt werden über diesen Zähler 81,71 m² beheizte Nettogrundfläche. Es ist anzumerken, dass die direkt mit Wärme versorgte Fläche kleiner ist (47,5 m² bzw. 142 m³), da alle Nebenräume dieses Bereiches – wenn überhaupt – nur von der Grundlüftungsanlage versorgt werden, welche keine Heizfunktion aufweist. Dennoch werden die flächenbezogenen Kennwerte auf die Gesamtfläche bezogen, da ein Raumlufverbund gegeben ist.

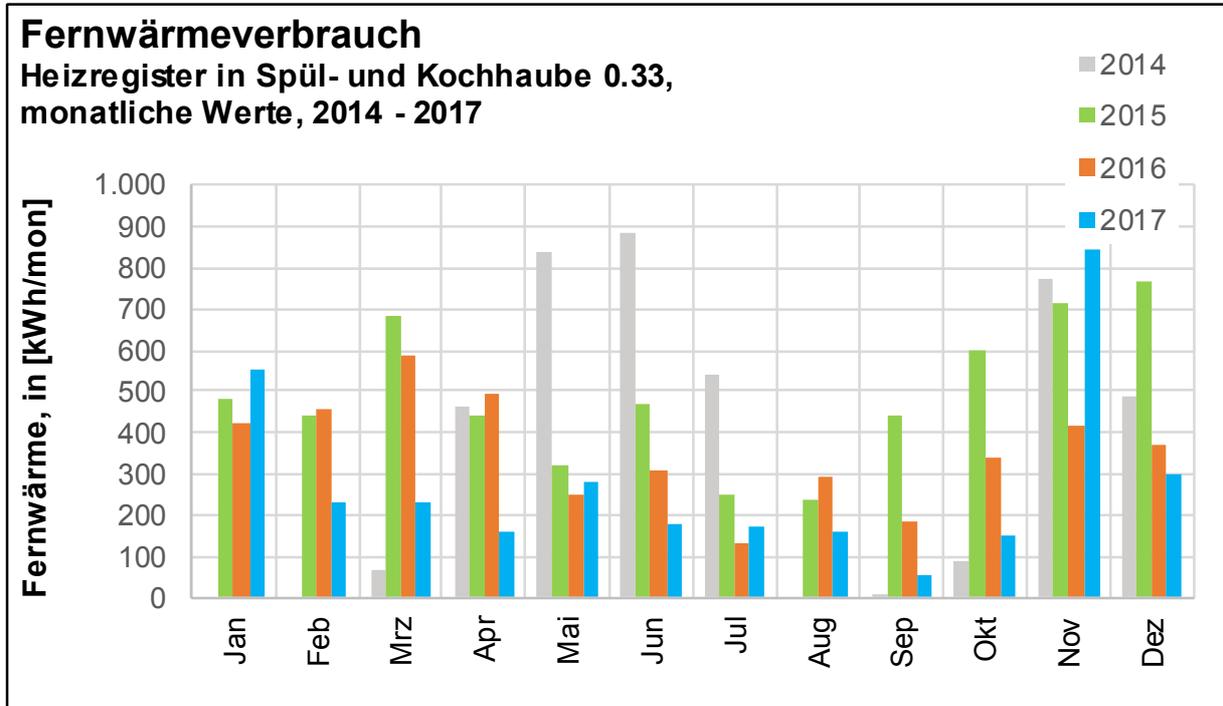


Abbildung 6-9: Monatlicher Fernwärmeverbrauch in der Küche

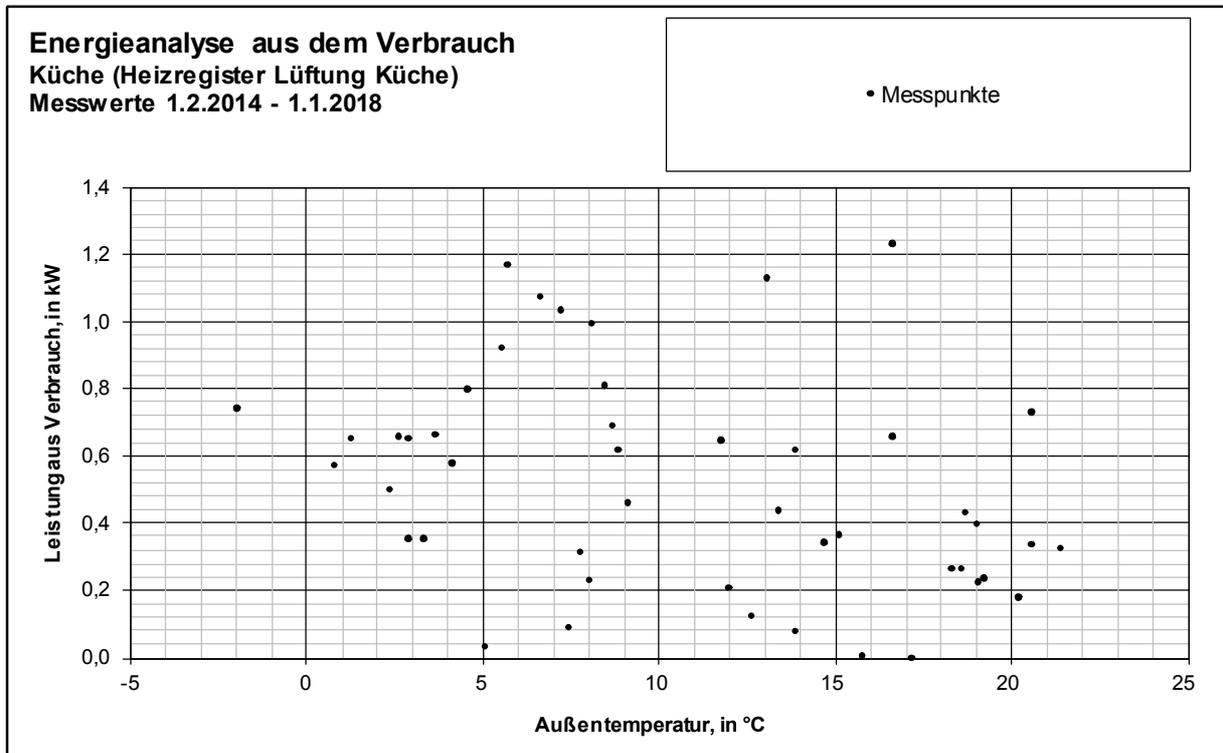


Abbildung 6-10: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Küche

Grundsätzlich sind Verbrauchsunterschiede zwischen den Monaten erkennbar. Allerdings scheint eine größere Abhängigkeit von den Betriebs- und Schließtagen vorzuherrschen als von der Außentemperatur. Die Monate mit großem Bedarf fallen in die Zeit ohne größere Ferien- oder Schließzeiten.

Abbildung 6-10 zeigt die außentemperaturabhängige Auswertung. Auf die Bestimmung einer Heizgrenze wurde verzichtet. Auch ein witterungsabhängiger Anteil wird nicht bestimmt. Der Gesamtenergiekennwert liegt bei 60,2 kWh/(m²a).

6.3.5 Nachheizung Pufferspeicher

Es findet keine Nachheizung des Pufferspeichers für die Trinkwassererwärmung der Küche statt. Grund sind die zu geringen Vorlauftemperaturen der Fernwärme. Weitere Auswertungen sowie Vorschläge zur regelungstechnischen Optimierung sind Abschlussbericht 8 zu entnehmen.

6.4 Hilfsenergie Fernwärmepumpen

Die messtechnische Ausstattung erlaubt es, die Hilfsenergie für die Wärmeversorgung getrennt zu erfassen. Zusammen mit der Hauptpumpe werden auch alle regelungstechnischen Aufwendungen des Hauptanschlusses erfasst (Messung gesamter Schaltschrank). Darüber hinaus sind die Verbraucherpumpen an den Heizregistern – außer für die Küche – im Monitoring erfasst.

Abbildung 6-11 zeigt die Energieaufwendungen für die Jahre 2016 und 2017. Es ist nicht bekannt, warum die Hauptpumpe im letzten Betriebsjahr einen deutlich geringeren Verbrauch als im Vorjahr aufweist. Insbesondere im Frühjahr 2016 war der Verbrauch deutlich höher als im Frühjahr 2017.

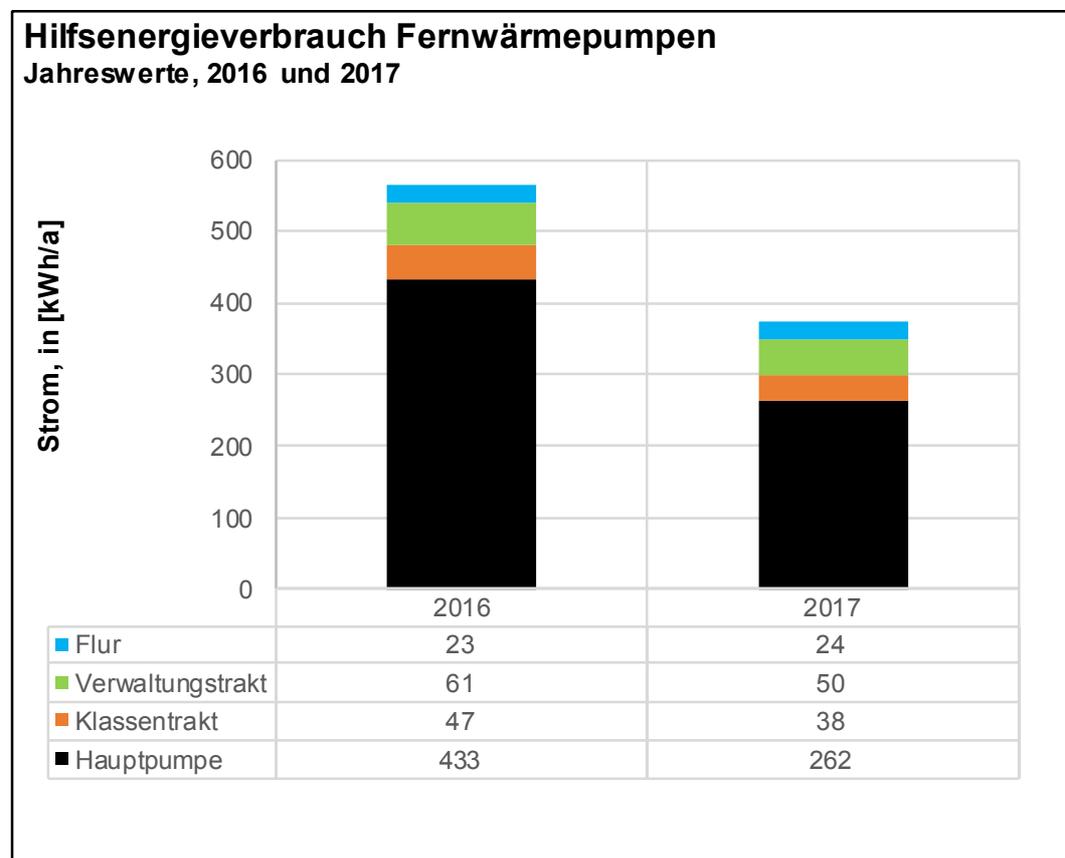


Abbildung 6-11: Jahresstromverbrauch für die Fernwärmepumpen

Abbildung 6-12 bis Abbildung 6-15 zeigen die zugehörigen Monatsbilanzen. Unklar ist, warum die Hauptpumpe den höchsten Verbrauch im Juli (Ferien) aufweist. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass die Verbraucherkreise geschlossen sind. Auch vorhandene Überströmstellen wurden bereits 2015 geschlossen. Insgesamt folgt der Pumpenstromverbrauch im Winterhalbjahr dem Wärmebedarf, im Sommer jedoch ist der Zusammenhang gegenläufig.

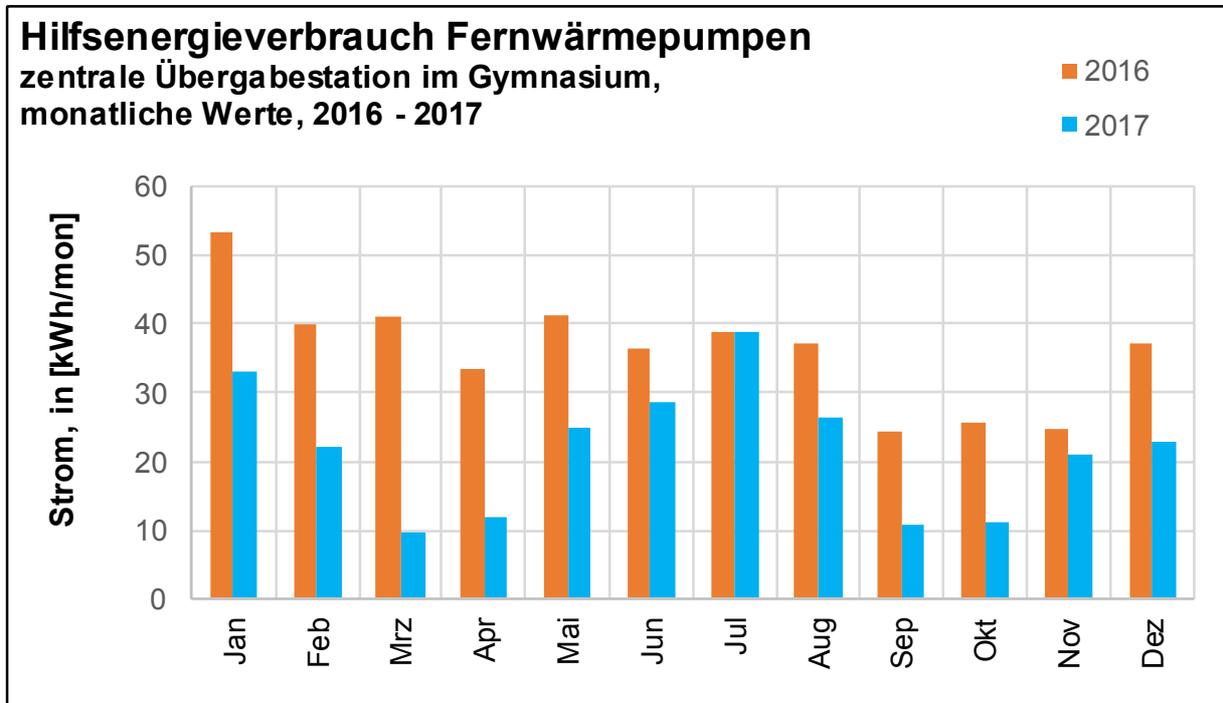


Abbildung 6-12: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Hauptpumpe

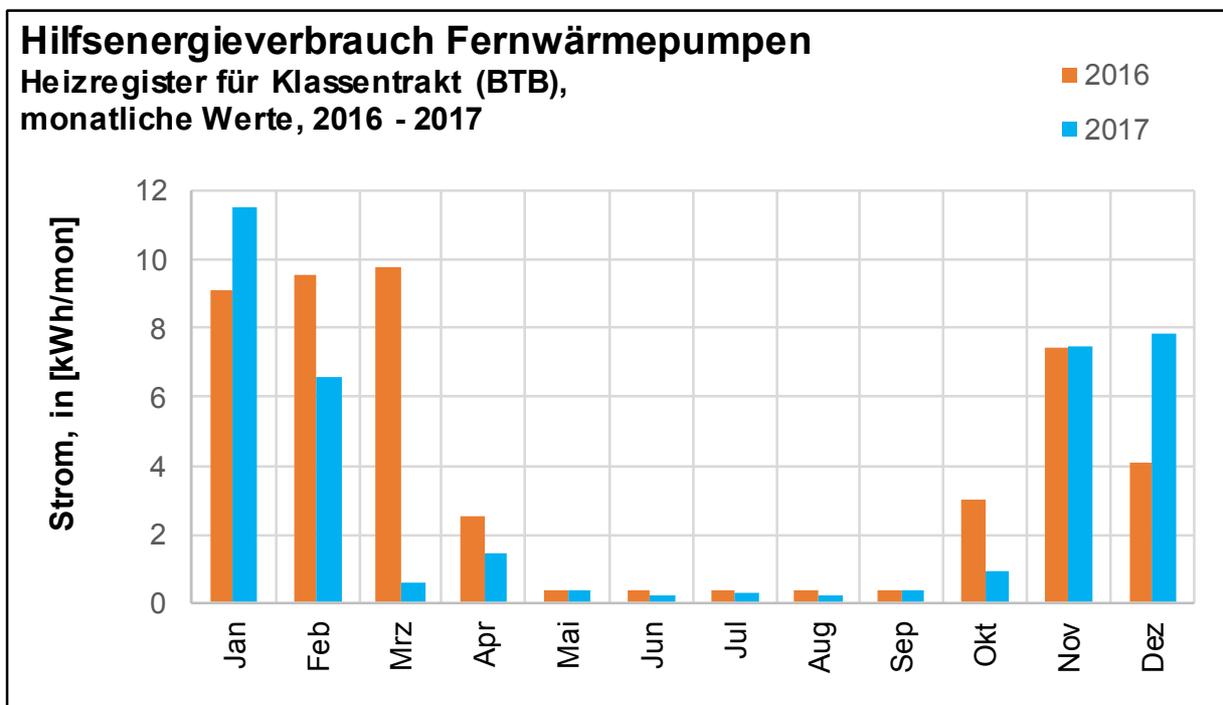


Abbildung 6-13: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Heizregister Klassentrakt

Hilfsenergieverbrauch Fernwärmepumpen
Heizregister für Verwaltungstrakt (BTA),
monatliche Werte, 2016 - 2017

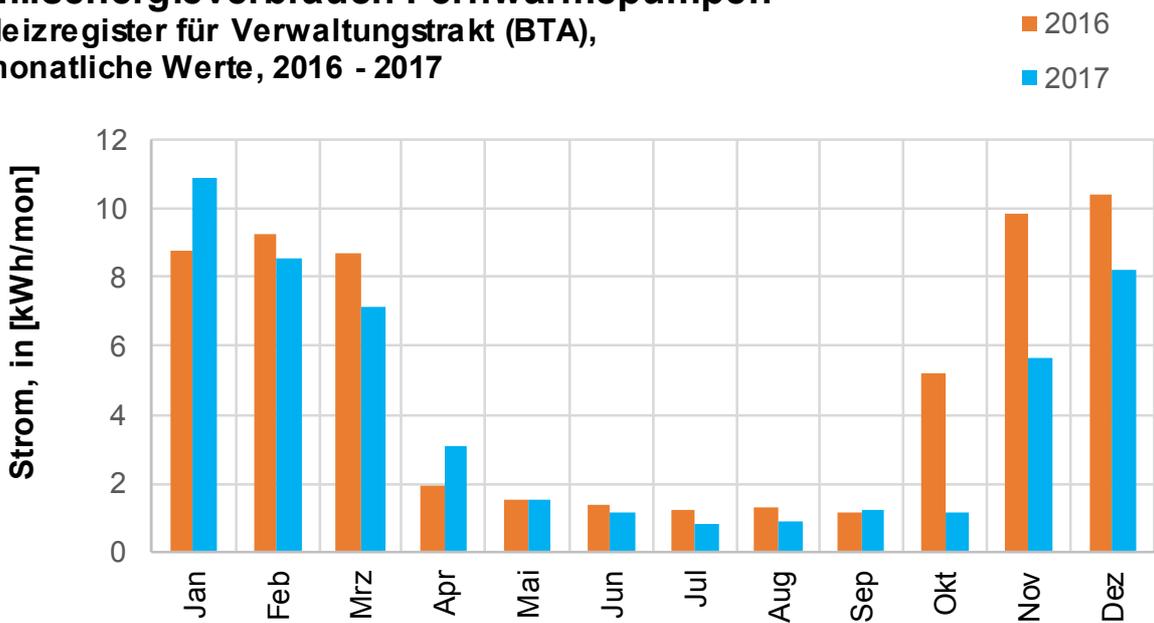


Abbildung 6-14: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Heizregister Verwaltungstrakt

Hilfsenergieverbrauch Fernwärmepumpen
Nachheizregister für Flur (BTA),
monatliche Werte, 2016 - 2017

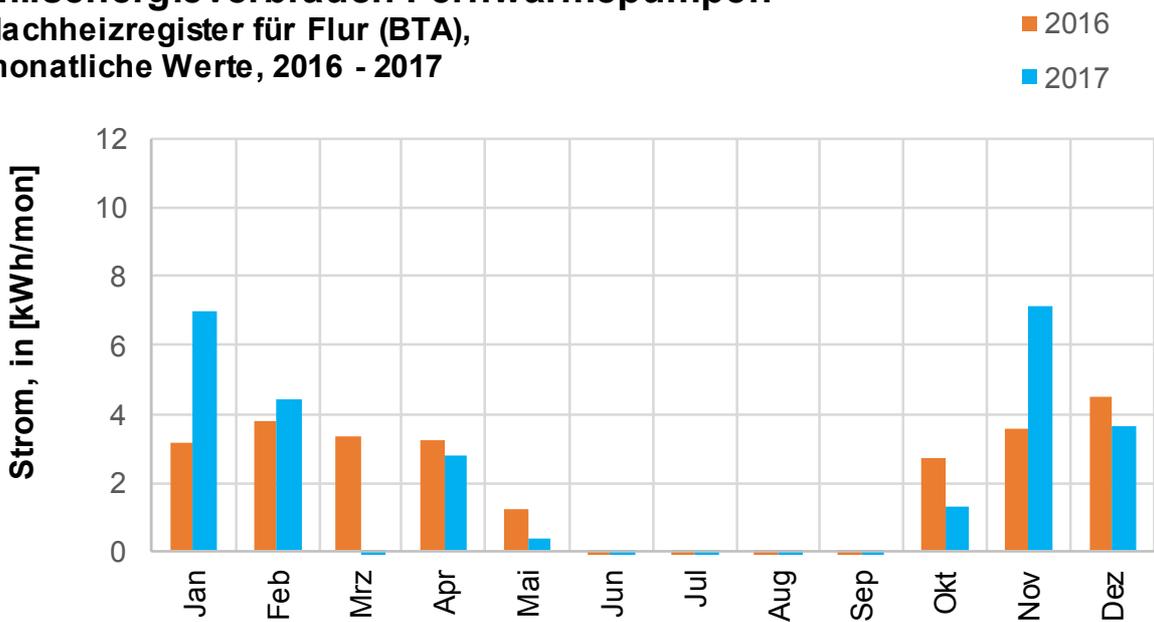


Abbildung 6-15: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Nachheizregister Flure

Die Messwerte mussten einer Fehleranalyse und Messwertkorrektur unterzogen werden. Die gesamte Vorgehensweise ist im Abschlussbericht 10 (Stromanalyse) beschrieben.

6.5 Elektroheizung

Sowohl in der Hausmeisterwohnung als auch in einigen Büros des Schulgebäudes werden elektrische Heizkörper bzw. Heizregister betrieben, jedoch der zugehörige Stromverbrauch nicht separat erfasst.

Nachheizung in der Hausmeisterwohnung

Abbildung 6-16 zeigt die witterungsabhängige Auftragung des Gesamtstromverbrauchs der Hausmeisterwohnung für einen Zeitraum von etwas mehr als 2 Jahren. Basis sind manuelle unterjährliche Ablesungen des Hauptstromzählers, so dass für etwa 20 Intervalle die jeweilige mittlere Dauerleistung über der Außentemperatur aufgetragen werden kann.

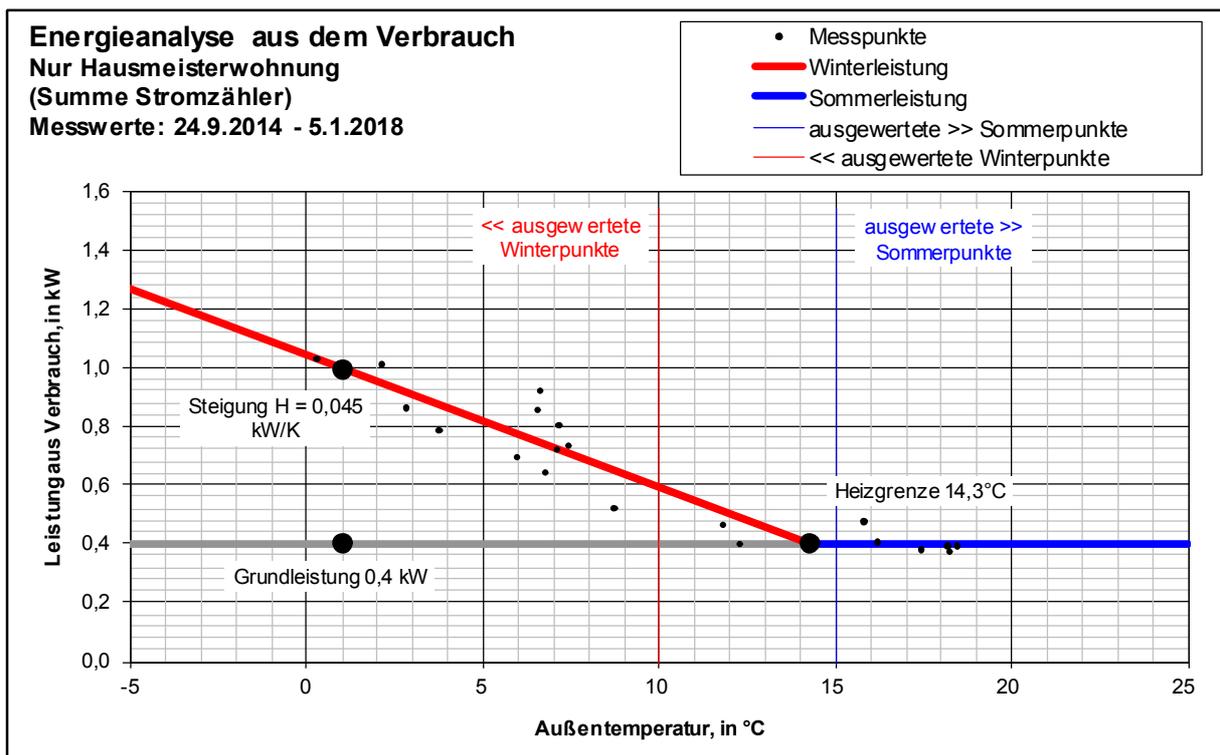


Abbildung 6-16: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung

Bei $\vartheta_{HG} = 14,3^{\circ}\text{C}$ ist eine Heizgrenztemperatur zu erkennen. Der Wert ist für den Wohnungsbau typisch. In einem Passivhaus mit ausschließlich Südost-Außenflächen könnte man etwas geringere Werte erwarten. Jedoch sind nur sehr geringe interne Gewinne aufgrund sparsamer Gerätenutzung zu verzeichnen.

Im Sockel ergibt sich eine witterungsunabhängige Dauerleistung von 0,4 kW. Dies entspricht 31,1 kWh/(m²a) bezogen auf die beheizte Wohnfläche von 112,53 m² bzw. 66 % des Gesamtverbrauchs. Die witterungsunabhängige Energiemenge von 875 kWh/a je Person wird für den üblichen Haushaltsstrom, den Betrieb der Lüftungsanlage sowie teilweise für die Durchlauferhitzer der Trinkwassererwärmung eingesetzt.

Der witterungsabhängige Verbrauch macht entsprechend 34 % des Gesamtstromverbrauchs aus. Die Steigung ergibt, dass je Grad Außentemperaturabfall die Heizleistung um 0,045 kW ansteigt (Kennwert H). Je angeschlossener Fläche liegt der Kennwert bei $h = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und damit leicht unter dem Gebäudemittelwert, aber genau bei dem Kennwert des Passivhausnachweises.

Der Kennwert, welcher sich aus dem witterungsabhängigen Verbrauch ergibt liegt witterungskorrigiert bei $16,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und damit in der Nähe des Heizwärmebedarfs aus dem Passivhausnachweis von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Der witterungsabhängige Verbrauch enthält teilweise auch Energieaufwendungen für die Trinkwassererwärmung, die aber nicht herausgerechnet werden sollen. Begründet wird dies durch die solare Vorwärmung, die im Sommer höher und Winter geringer ist.

Der Gesamtenergieverbrauch für Heizung, Warmwasser, Lüftung sowie alle Haushaltsstromanwendungen liegt bei 5328 kWh/a , d. h. bei $47,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. 1332 kWh/a je Person. Damit sind sehr gute Kennwerte erreicht worden. Zum Vergleich der übliche Pro-Kopf-Verbrauch allein für Haushaltsstrom liegt für einen Vierpersonenhaushalt bei $1000 \text{ kWh}/(\text{P}\cdot\text{a})$ [15].

Die Heizlast aus der Energieanalyse liegt bei $1,5 \text{ kW}$ (für -14°C) und damit bei $13,6 \text{ W}/\text{m}^2$. Der Wert ist ebenfalls als sehr gut einzustufen und erreicht in etwa das geplante Niveau.

Die Gesamtstrombilanz für die Hausmeisterwohnung wird im **Abschlussbericht 10** vorgestellt.

Dezentrale Elektroheizkörper

Der Stromverbrauch der dezentralen Elektroheizkörper kann nicht erfasst werden. Da der Anteil am Gesamtverbrauch sehr gering ist, führt auch die Energieanalyse aus dem Verbrauch nicht zu aussagekräftigen Daten. Es ist zwar ein witterungsabhängiger Stromverbrauch zu erkennen, der jedoch auch von witterungsabhängiger Beleuchtung usw. beeinflusst wird. Auf eine Auswertung wird verzichtet.

7 Regelung und Hydraulik

Der nachfolgende Abschnitt widmet sich der Anlagenregelung und -hydraulik. Zunächst wird der Planungsstand von 2010/11 kurz kommentiert. Anschließend wird der aktuelle Stand vorgestellt.

7.1 Planungsphase

Umschaltbarkeit der Fernwärme

Der Versorger EVH fordert für sein Netz vertraglich das Einhalten einer primärseitigen Rücklauftemperatur von $\vartheta_{R,prim} \leq 60^\circ\text{C}$, anderenfalls ergeben sich Strafzahlungen (erhöhte Arbeitspreise). Das vorhandene Elisabeth-Gymnasium hat die geforderten Werte vorher eingehalten. Jedoch kann die vertragliche Grundlage als Auslöser angesehen werden, den Neubau in einer Reihenschaltung im Rücklauf anzuschließen.

In den ersten Planungsentwürfen wurde eine reine unregelte Reihenschaltung konzipiert. Dies wurde noch in der Planungsphase von der künftigen wissenschaftlichen Begleitung kritisiert [16]. Nachteilig wäre die aus dieser Lösung folgende Abhängigkeit der Grundschule von den Heizzeiten des Gymnasiums, denn der Fernwärmerücklauf kann nur genutzt werden, wenn dort auch geheizt wird. Dies gilt für Veranstaltungen in der Aula, die Heizung von Hort und die Verwaltung in den Ferien, die Nachheizung des Pufferspeichers.

Die wissenschaftliche Begleitung schlug vor, die Möglichkeit des Einbaus eines Umschaltventils zu prüfen, durch welches im Bedarfsfall auch der Vorlauf der Schule genutzt werden könnte. Dies wurde final auch umgesetzt.

Die Nutzung der Umschaltung zur Solarspeichernachheizung innerhalb eines kurzen Zeitfensters wurde allerdings nicht realisiert, siehe Abschlussbericht 8.

Vorlauftemperaturregelung

Die wissenschaftliche Begleitung hatte in der Planungsphase vorgeschlagen, in der Zeit außerhalb des Trinkwarmwasservorrangs die Vorlauftemperatur zentral vorzuregulieren. Dies erhöht die Regelgenauigkeit der Mischkreise der Lüftung und vermindert die Leitungsverluste der Erdleitung. Die Vorregelung sollte witterungsgeführt erfolgen oder sich aus der Schlechtpunktüberwachung der Regelventile der Verbraucher ergeben.

Diese Option wurde nicht umgesetzt, sondern eine Festwertregelung vorgesehen.

Solare Heizungsunterstützung

In der Planungsphase war der zentrale Vorlaufanschluss der Fernwärme allein mit dem Solarpufferspeicher verbunden, der als Kombispeicher für Heizung und Trinkwarmwasser konzipiert war. Von dort aus wurden alle Verbraucher, auch die Heizregister, versorgt.

Aus Gründen der einfacheren Regelung (entflochtene Systeme) hatte die wissenschaftliche Begleitung in der Planungsphase vorgeschlagen, allein eine solare Trinkwassererwärmung vorzusehen. Dies wurde auch so umgesetzt.

7.2 Hydraulikschema

Umgesetzt wurde der umschaltbare Fernwärmeanschluss, siehe Kapitel 3.1.1 (detailliertes Schaltschema) bzw. vereinfacht in Abbildung 7-1. Die Kombination von Reihen- und Parallelschaltung wird als "Zweileiter-Dreifachanschluss" bezeichnet.

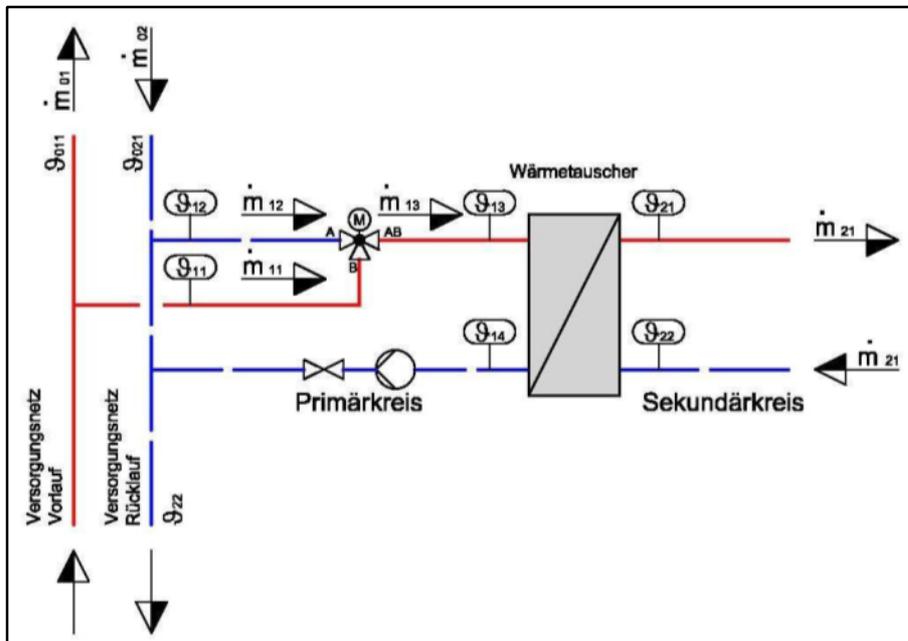


Abbildung 7-1: Prinzipschema Zweileiter-Dreifachanschluss [17]

Liegt die vom Verbraucher benötigte sekundärseitige Vorlauftemperatur (ϑ_{21}) unter der Versorgungsnetz-Rücklauftemperatur (ϑ_{021}), ist das Tor A des 3-Wege-Ventils voll geöffnet und somit das Tor B ganz geschlossen. Bei dieser Ventilstellung entspricht die Schaltung dem Rücklaufanschluss. Ist hingegen Tor A geschlossen und Tor B voll geöffnet, entspricht die Schaltung weitgehend dem klassischen Zweileiteranschluss.

Diese Schaltung führt zu einer Versorgungssicherheit, weil im Notfall immer Vorlaufwasser verwendet werden kann.

Tabelle 7-1 zeigt die Auslegungstemperaturen für die Fernwärme. Die Temperaturen für den Regelfall, also die Reihenschaltung der Grundschule in den Rücklauf des Gymnasiums stammen aus der Planung. Diese macht für die Parallelschaltung identische Angaben.

Tabelle 7-1: Auslegungstemperaturen [3] [1] [17]

		primäre Temperaturen, [°C]		sekundäre Temperaturen, [°C]	
		Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf
B-AB (Reihenschaltung)	geplant	55°C	38°C	45°C	35°C
A-AB (Parallelschaltung)	geplant	55°C	38°C	45°C	35°C
	optimiert	85°C	60°C	70°C	50°C

Im Zuge einer Masterarbeit zur regelungstechnischen Optimierung wurden höhere Temperaturen für die Parallelschaltung vorgeschlagen. Diese ermöglichen es, den Solarspeicher zu erwärmen und wären auch künftig für den Betrieb der Turnhalle dienlich.

7.3 Regelfunktionen

Die Regelung (Fa. KIEBACK & PETER) wird nachfolgend vorgestellt; es werden grafische Ausschnitte der Programmierenebene für die Regelung eingebunden [1]. Zur Erläuterung wird auf einen im Rahmen einer Masterarbeit [17] erarbeiteten Text zurückgegriffen und dieser ggf. ergänzt.

Es gibt zwei Regelventile. Bei Rücklaufnutzung regelt das Ventil M1 in der Bypassstrecke, so dass Wasser in den Wärmeübertragerkreis strömt, siehe Abbildung 7-2. Die Drosselung bewirkt eine Erhöhung des Wasserflusses über die Übergabestation. Bei Vorlaufnutzung regelt das Ventil M2 in der Einspeisung die strömende Menge, siehe Abbildung 7-5. Die Drosselung bewirkt eine Absenkung des Wasserflusses über die Übergabestation; geschlossen verhindert es Kurzschlussströmung in der Fernwärme.

Normalbetrieb – Reihenschaltung – Umschaltventil Tor A-AB offen

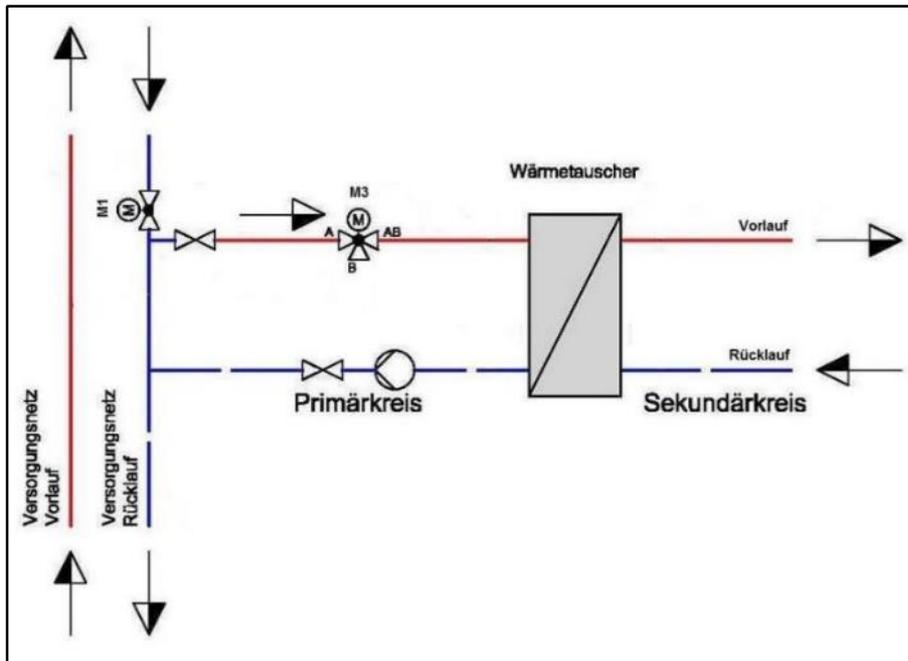


Abbildung 7-2: Prinzipschema Reihenschaltung (Tor A-AB offen) [17]

Das Tor A-AB ist geöffnet, wenn die folgende Bedingung erfüllt wird: die primäre Rücklaufftemperatur aus der Anlage Gymnasium ist größer als der berechnete Sollwert der Vorlauftemperatur des Heizkreises St. Franziskus-Grundschule (45°C), siehe Abbildung 7-3.

Übersteuerungsbedingung / Zeilen				
Zeile	Wert1	Bedingung	Wert2	Hysterese
Wern		TR_primär_WTalt_01 >=	HK1_ber_V.TSW__01	-1

Abbildung 7-3: Übersteuerungsbedingung Tor A-AB [1]

Da dies der Standardfall sein wird, sollten laut Planer ca. 98 % der Betriebsweise diese Bedingung erfüllen. Wenn das Umschaltventil M3 weniger als 5 % geöffnet ist (Tor A-AB offen), bekommt das primäre Rücklaufregelventil M1 sein Regelsignal vom Heizkreis. Die Übersteuerungsbedingung wird wie in Abbildung 7-4 eingestellt.

Übersteuerungsbedingung / Zeilen				
Zeile	Wert1	Bedingung	Wert2	Hysterese
Wern		Umschaltventil_M_3 <=	5	0

Abbildung 7-4: Übersteuerungsbedingung M1 [1]

Umschaltbetrieb – Parallelschaltung – Umschaltventil Tor B-AB offen

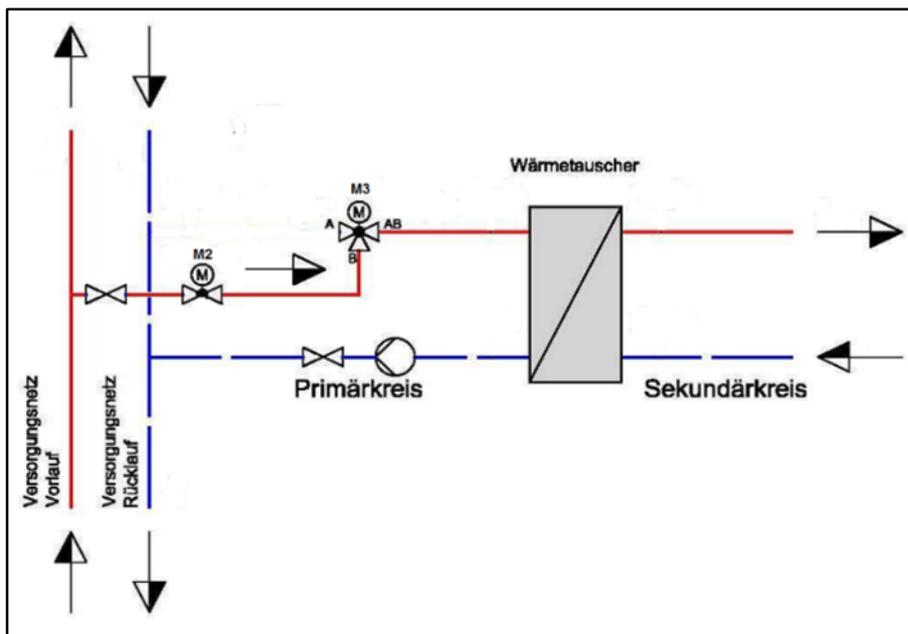


Abbildung 7-5: Prinzipschema Parallelschaltung (Tor B-AB offen) [17]

Wenn die Rücklauftemperatur des Gymnasiums für mehr als 10 Minuten unter die Vorlauf-Solltemperatur der Grundschule fällt, ist mithilfe eines Umschaltventils auch die Versorgung über den Vorlauf des Elisabeth-Gymnasiums möglich. Das Zeitverzögerungsglied wurde 2015 nachträglich programmiert, um Schwingungen zu verringern.

Das Umschaltventil wird geöffnet (Tor B-AB offen), wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt wird: Die primäre Rücklauftemperatur ist kleiner als der Sollwert der sekundären Vorlauftemperatur, siehe Abbildung 7-6.

Übersteuerungsbedingung / Zeilen				
Zeile	Wert1	Bedingung	Wert2	Hysterese
Wenn		TR_primär_WTalt_01 <=	HK1_ber_VLTSW__01	1

Abbildung 7-6: Übersteuerungsbedingung Tor B-AB-1 [1]

Die sekundäre Vorlauftemperatur liegt 7 K unter der Sollvorlauftemperatur.

Übersteuerungsbedingung / Zeilen				
Zeile	Wert1	Bedingung	Wert2	Hysterese
Wenn		TV_sekundär__01 <=	SJ1_Sum_Ausg__01	0

Abbildung 7-7: Übersteuerungsbedingung Tor B-AB-2 [1]

Das primäre Vorlaufregelventil M2 bekommt das Regelsignal der Regelung vom Heizkreis, wenn das Umschaltventil M3 mehr als 95 % geöffnet ist (Tor B-AB offen). Die Übersteuerungsbedingung wird in Abbildung 7-8 dargestellt.

Übersteuerungsbedingung / Zeilen				
Zeile	Wert1	Bedingung	Wert2	Hysterese
Wenn		Umschaltventil_M_3 >=	95	

Abbildung 7-8: Übersteuerungsbedingung M2 [1]

Handbetrieb

Unabhängig von der Stellung des Umschaltventils gilt eine Vorlauftemperatur von 45°C (Festwert) bzw. minimal 7 K weniger für die St. Franziskus Grundschule, siehe Abbildung 7-9.

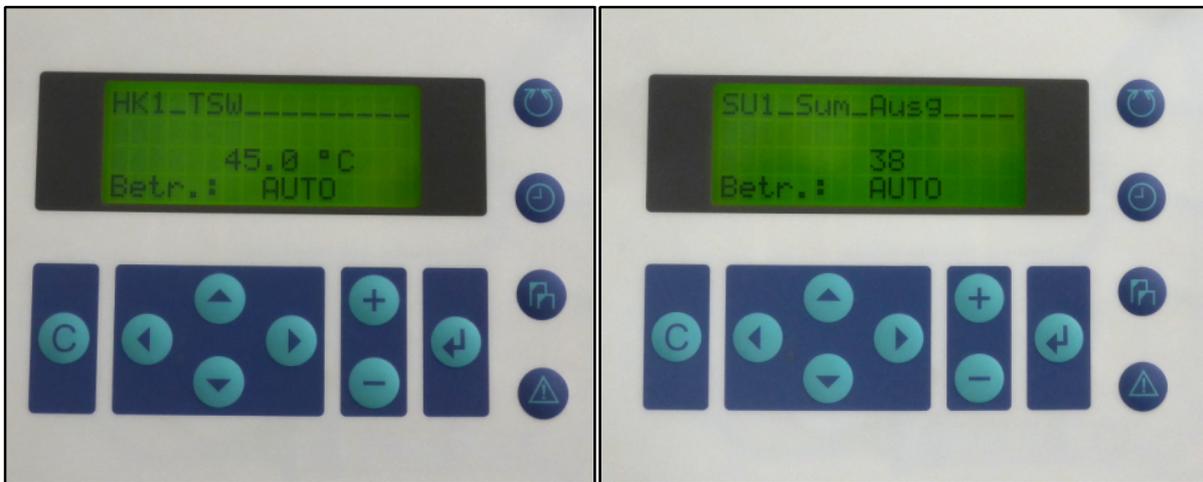


Abbildung 7-9: Temperaturen an der zentralen Steuerung

Dies kann über einen Handbetrieb übersteuert werden, z. B. vom Hausmeister ausgelöst. Die Vorlauftemperatur wird dann (ungeregelt und unbegrenzt) so hoch, wie es die primäre Anlage ermöglicht.



Abbildung 7-10: Möglichkeit zur Handumschaltung der Ventile im Schaltkasten

7.4 Probleme und Verbesserungsansätze

Erwärmung des Solarspeichers

Durch die geringe Vorlauftemperatur von 38 ... 45°C (Sollwert mit 7 K Hysterese) ist eine Aufheizung des Solarpuffers durch die Fernwärme nicht möglich.

Bereits in der Planungsphase wurde durch die wissenschaftliche Begleitung vorgeschlagen, über eine Zeitschaltuhr zwischen witterungsgeführter Vorlauftemperatur und Hochtemperatur (z. B. 60 ... 75°C nur zu Küchenbetriebszeiten) umzuschalten, um aus Kostengründen den Energieträger Strom zur Nachladung zu vermeiden. Der realisierte Anschluss lässt das zu. Diese Regelungsoption wurde jedoch nicht umgesetzt.

Eine Masterarbeit zur Optimierung dieses Problems identifiziert das sinnvolle Zeitfenster und definiert Umschaltbedingungen sowie -temperaturen, siehe [Abschlussbericht 8](#). Der Fachplaner TUK stimmt dem Vorhaben zu. Es soll zusammen mit dem Turnhallenneubau realisiert werden, da die Turnhalle – wie die Küche – ebenfalls aus dem Rücklauf des Gymnasiums versorgt werden soll.

Kurzschlüsse in der Neuanlage

Insbesondere im ersten Betriebsommer war ein nicht erklärlicher Volumenstrom feststellbar, obwohl keine Wärmeabnahme festzustellen ist. Die genauere Untersuchung führte zu Kurzschlussstrecken an den Heizregistern, siehe [Abbildung 7-11](#). In der Planung waren sie nicht vorgesehen, jedoch installiert worden mit der Begründung: damit es nicht so lange dauert, bis Wärme nach der Bedarfsanforderung anliegt.

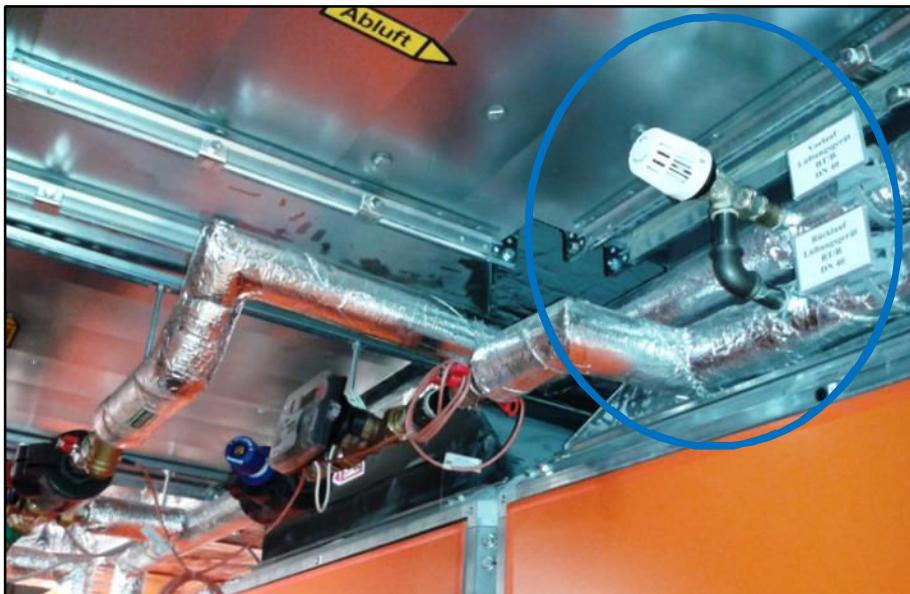


Abbildung 7-11: Kurzschluss bei RLT-Heizregisteranschluss

Ende 2014 wurde dem ausführenden Unternehmen der Auftrag erteilt, alle Kurzschlussstrecken zu schließen (Lüftungsgeräte Klassentrakt und Verwaltungstrakt, Nachheizregister Flure, 2 Hauben in der Küche) und die Thermostatventile in die Stellung "0" zu bringen.

Beeinflussung des Gymnasiums

Während des ersten Winters wurden starke Rückwirkungen der Grundschule auf das Gymnasium vom dortigen Energiemanager festgestellt. Kritisch war nur die morgendliche Aufheizphase, vor allem montags. Grund war das zu häufige Umschalten von Rücklauf- auf Vorlaufnutzung. Letzteres zweigt – als Parallelschaltung – Leistung ab, die dem Gymnasium für die Aufheizung fehlt.

Das Problem wurde einerseits gemildert durch die Nachrüstung einer zeitlichen Verzögerung von 10 Minuten, bis eine Umschaltung erfolgt. Außerdem wurde Anfang 2015 in der Anschlussstrecke für die St. Franziskus-Grundschule ein Regulierventil installiert, das den abgezweigten Volumenstrom begrenzt.

Einstellung der Primärpumpe

Die Primärpumpe wurde Anfang 2015 von 8 auf 2 m gestellt sowie die Variabel- statt der Konstantdruckregelung gewählt. Dies erfolgte im Rahmen der Inbetriebnahme und Fehlerbeseitigung. Bei einer späteren Besichtigung vor Ort konnte jedoch eine Einstellung von 3 m vorgefunden werden.

Regelprogramme der RLT

Die Optimierung der Regelparameter der beiden zentralen RLT-Anlagen wird im **Abschlussbericht 7** beschrieben.

8 Messergebnisse Funktion

Der nachfolgende Abschnitt gibt einen Überblick über wichtige Messergebnisse zur Funktion der Anlage. Basis sind die in Kapitel 6.1 beschriebenen Messeinrichtungen.

Zunächst werden typische Tagesprofile des Wärmeverbrauchs erstellt. Sie geben Aufschluss darüber, zu welchen Zeiten die Fernwärmeabfrage erfolgt. Im nächsten Schritt werden die Fernwärmenetztemperaturen ausgewertet. Den Abschluss bilden die Auswertungen der Pumpenlaufzeiten sowie der Stellung der Dreiwegeventile an den beiden Hauptlüftungsanlagen.

8.1 Typische Tagesprofile

Nachfolgend werden aus den Messwerten der Wärmemengenzähler Tagesprofile ausgewertet. Sie zeigen, welche Wärmemengen zu welchen Tageszeiten benötigt werden. Die jeweiligen Grafiken sind durch Addition aller Tage einer Nutzungsart – Schultage, Ferienhorttage, Schließtage, Wochenende – entstanden. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Tage jeder Rubrik ist vermerkt. Ein typischer Tag kann abgeleitet werden, wenn die eingetragenen Balkenhöhen durch die Anzahl der Tage dividiert wird.

Ausgewertet wurden alle Messwerte, die seit Inbetriebnahme des Monitorings verfügbar sind. Etwa ein Monat der fast 2-jährigen Messphase kann aufgrund von Datenverlusten nicht ausgewertet werden.

8.1.1 Klassentrakt

Abbildung 8-1 bis Abbildung 8-8 zeigen die summierten Wärmelieferungsprofile für die Heizung in der RLT-Anlage für den Klassentrakt.

An den Schultagen ist – entgegen der Erwartung – keine ausgeprägte morgendliche Aufheizphase erkennbar. Das Maximum des Verbrauchs ergibt sich von 8 ... 10 Uhr. Das ist die Phase, in der die Bewegungsmelder aller Räume ausgelöst wurden. Dies deckt sich mit Erkenntnissen zur Lüftungsregelung, siehe [Abschlussbericht 7](#).

An den Ferienhorttagen (Nutzer anwesend) sowie den Schließtagen (keine Personenanwesenheit) gibt es jeweils ein Maximum morgens von 6 ... 7 Uhr, was aus der Aufheizung resultieren könnte.

Schultage

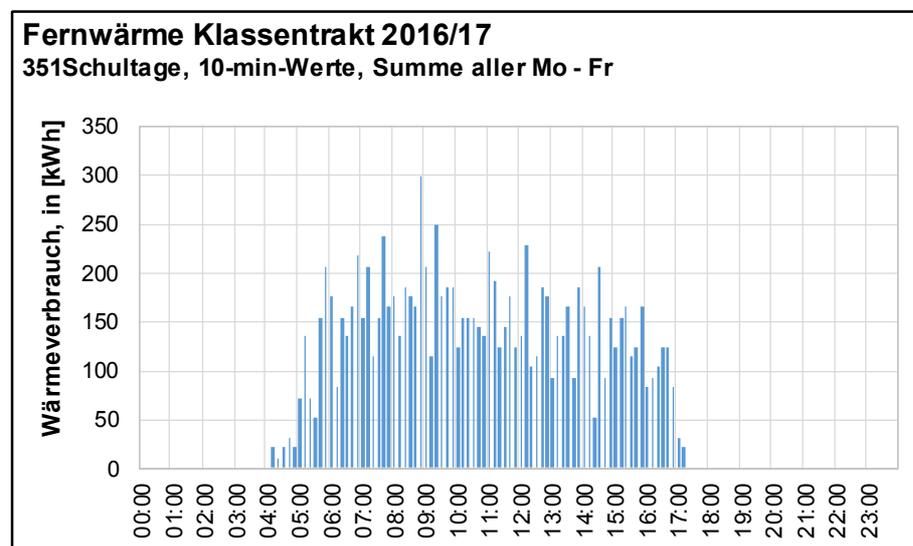


Abbildung 8-1: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Schultage

Fernwärme Klassentrakt 2016/17
 351 Schultage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

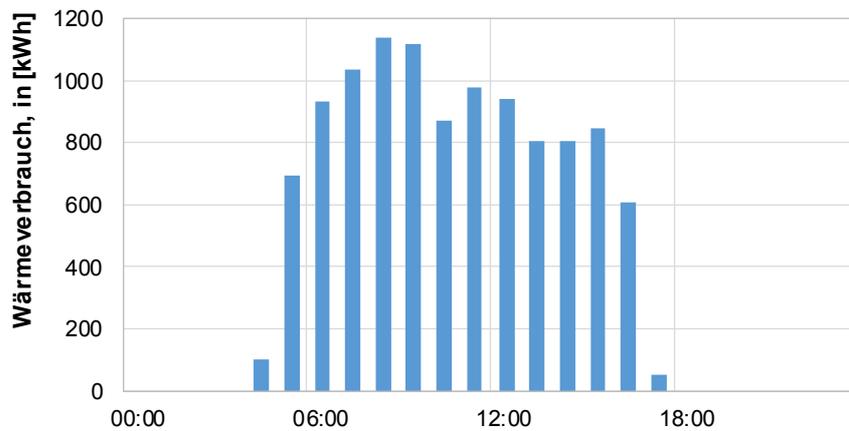


Abbildung 8-2: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Schultage Horttage

Fernwärme Klassentrakt 2016/17
 82 Horttage, 10-min-Werte, Summe aller Mo - Fr

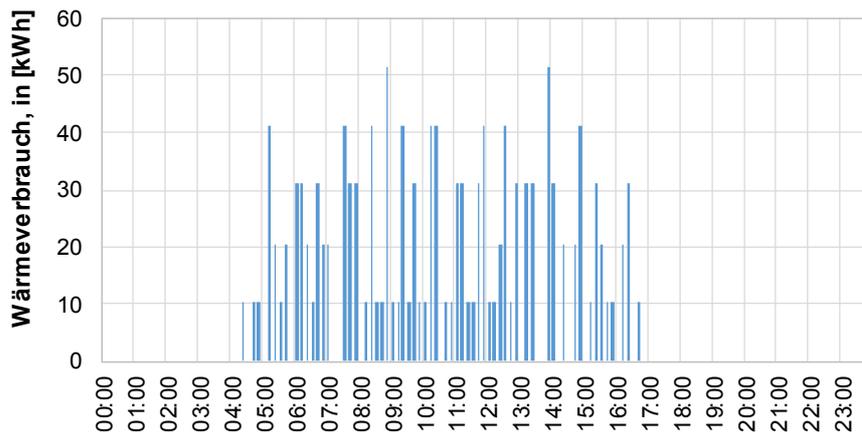


Abbildung 8-3: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Horttage

Fernwärme Klassentrakt 2016/17
 82 Horttage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

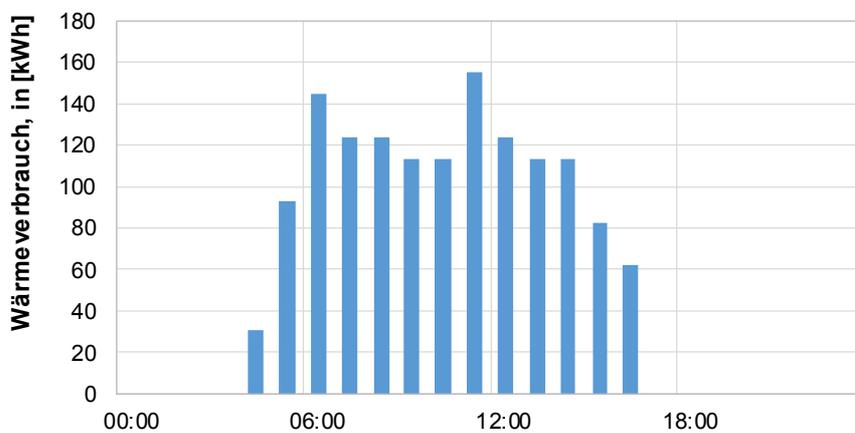


Abbildung 8-4: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

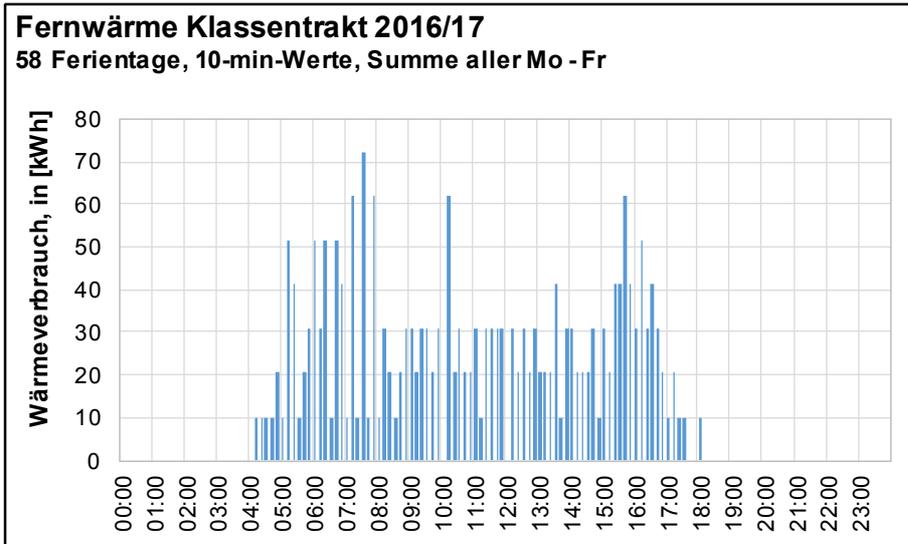


Abbildung 8-5: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Ferientage

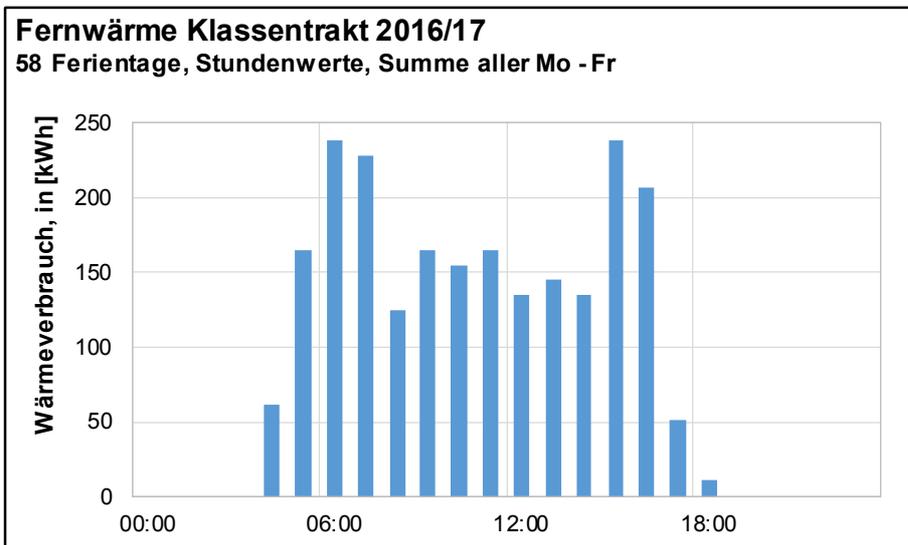


Abbildung 8-6: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

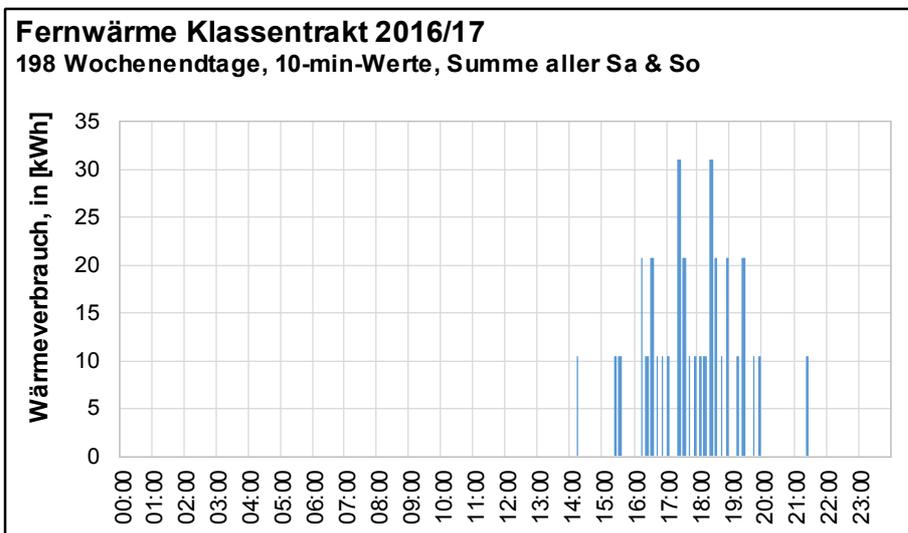


Abbildung 8-7: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Wochenende

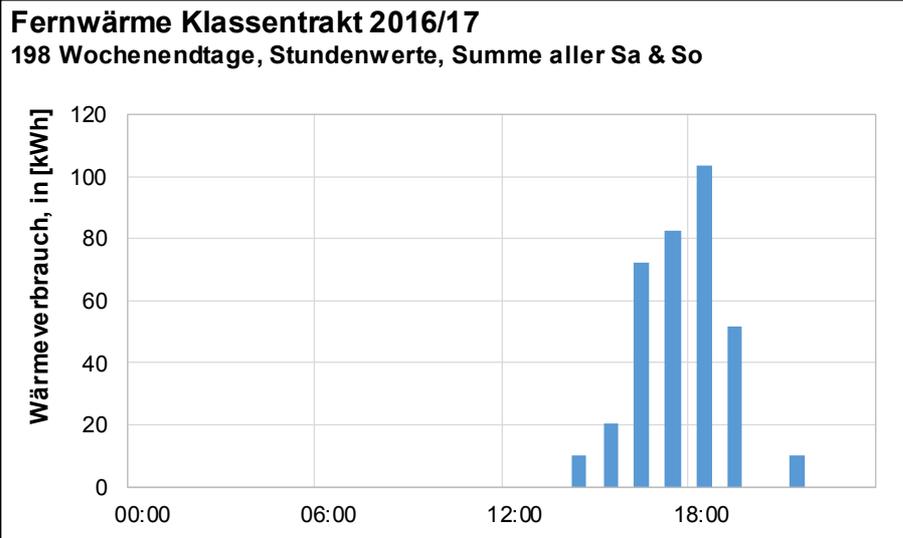


Abbildung 8-8: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Wochenende

An den Wochenenden gibt es jeweils sonntags einen kurzen RLT-Betrieb. Falls die Auskühlung des Gebäudes bis dahin zu hoch ist, wird nachgeheizt, damit die Wiederaufheizung montags in der zur Verfügung stehenden Zeit gewährleistet ist.

8.1.2 Verwaltungstrakt

Abbildung 8-9 bis Abbildung 8-16 zeigen die summierten Lastprofile für die Heizung in der RLT-Anlage für den Verwaltungstrakt.

Die Auswertung ähnelt dem Klassentrakt: insbesondere an den Schultagen ist keine morgendliche Aufheizung erkennbar. In der Zeit von 8 ... 10 Uhr wird die maximale Wärmemenge abgenommen.

An den Schließtagen ist ein umgekehrt proportionaler Verlauf erkennbar, bei dem mittags der geringste Verbrauch zu verzeichnen ist.

Schultage

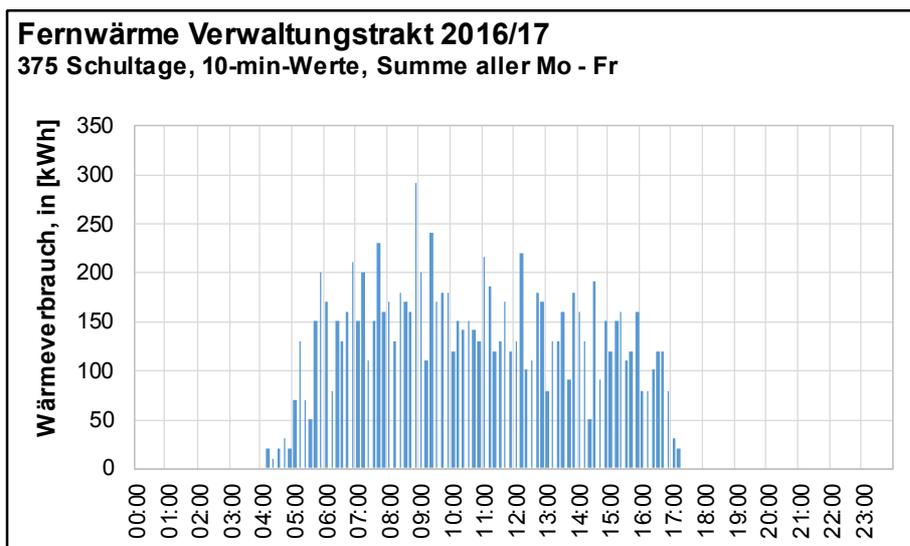


Abbildung 8-9: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Schultage

Fernwärme Verwaltungstrakt 2016/17
 375 Schultage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

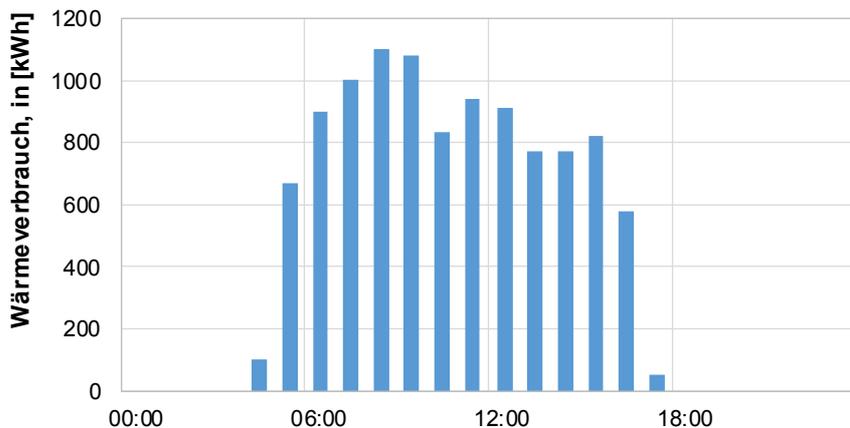


Abbildung 8-10: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Schultage Horttage

Fernwärme Verwaltungstrakt 2016/17
 82 Horttage, 10-min-Werte, Summe aller Mo - Fr

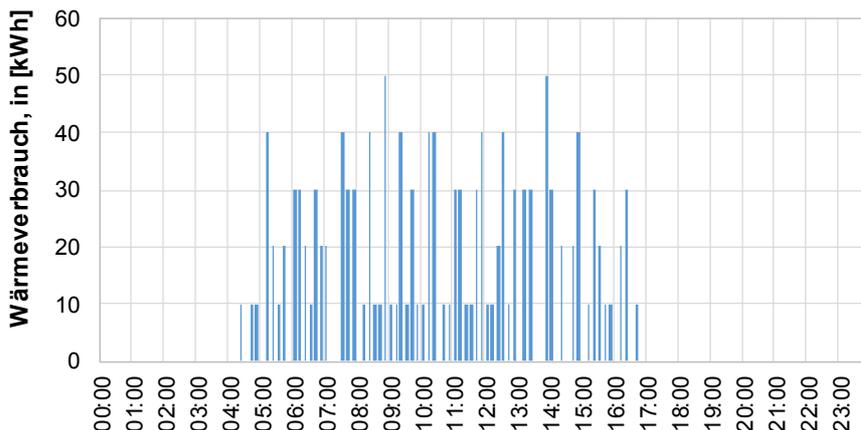


Abbildung 8-11: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Horttage

Verwaltungswärme Klassentrakt 2016/17
 82 Horttage, Stundenwerte, Summe aller Mo - Fr

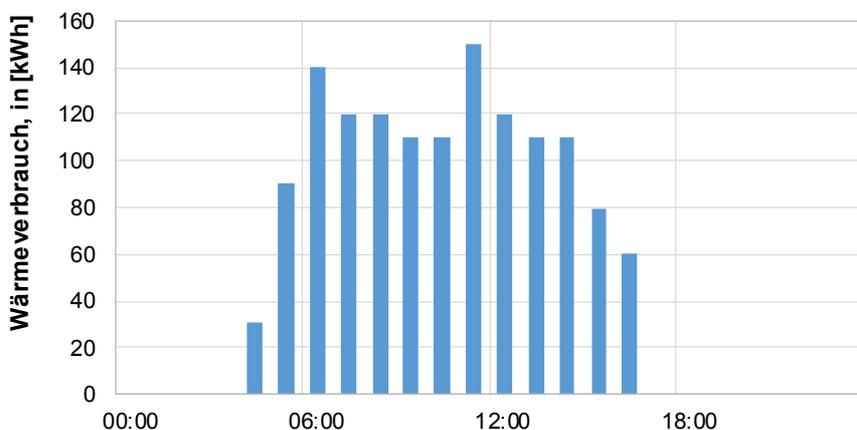


Abbildung 8-12: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Horttage

Ferien- und Schließtage

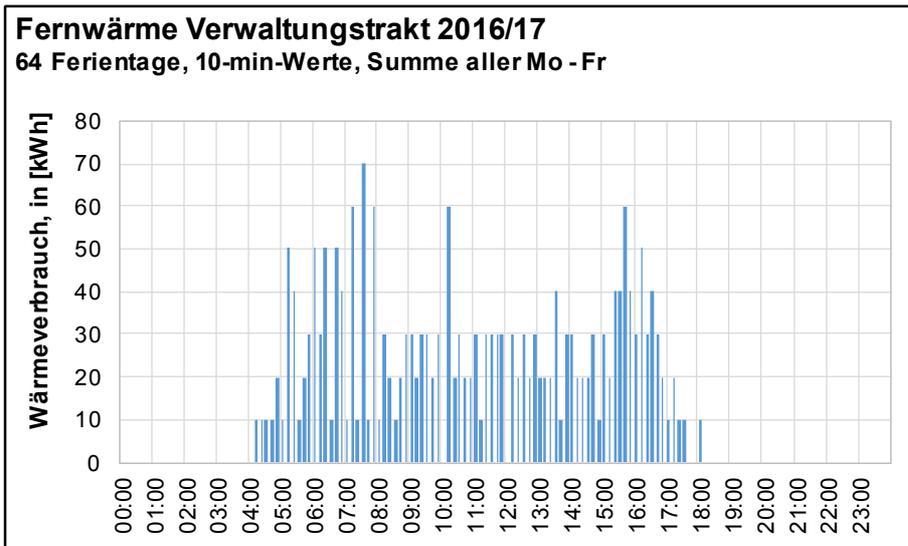


Abbildung 8-13: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Ferientage

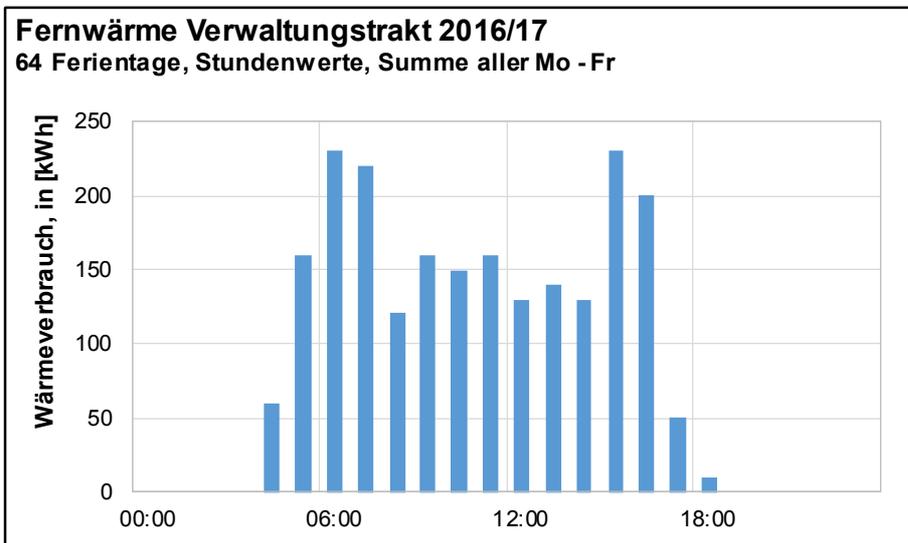


Abbildung 8-14: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Ferientage

Wochenende

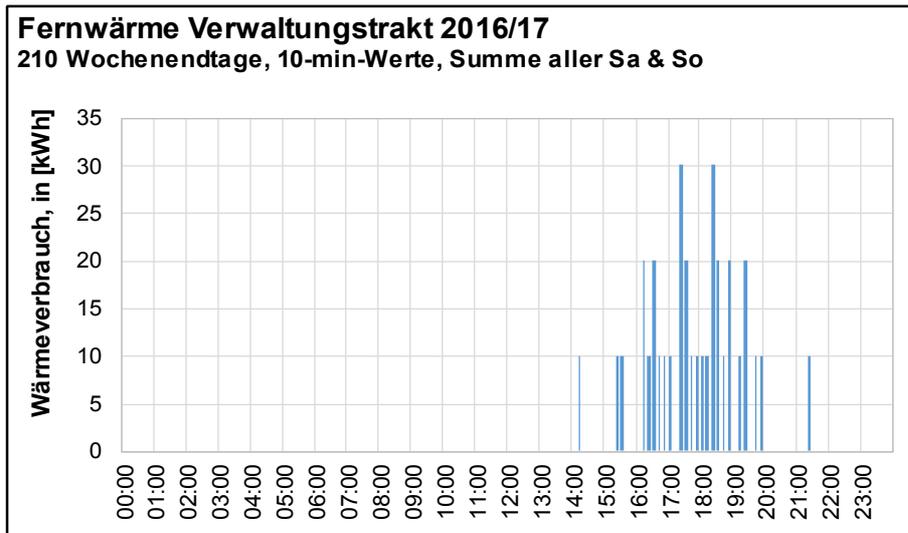


Abbildung 8-15: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Wochenende

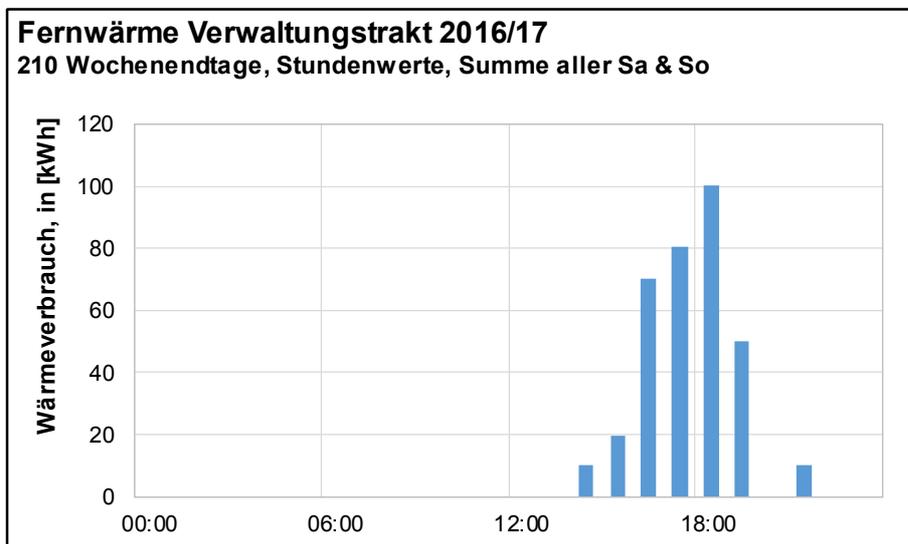


Abbildung 8-16: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Wochenende

An den Wochenenden gibt es jeweils sonntags einen kurzen RLT-Betrieb. Falls die Auskühlung des Gebäudes bis dahin zu hoch ist, wird nachgeheizt, damit die Wiederaufheizung montags in der zur Verfügung stehenden Zeit gewährleistet ist.

8.1.3 Küche

Abbildung 8-17 bis Abbildung 8-20 zeigen den Wärmeverbrauch der Küche. An den Wochentagen wird die Wärmezufuhr von den Mitarbeitern gesteuert – sie bestimmen über die Höhe des Volumenstroms und die Zulufttemperatur. An Schultagen ist zwischen 6 ... 7 Uhr eine Aufheizphase erkennbar. Ansonsten laufen die Anlagen bedarfsgesteuert. Ein Minimum ergibt sich von 10 ... 11 Uhr in der Phase der größten Abwärmemengen aus dem Kochbetrieb.

An den Wochenenden gibt es jeweils sonntags eine kurze Betriebsphase. Falls die Auskühlung des Gebäudes bis dahin zu hoch ist, wird nachgeheizt, damit die Wiederaufheizung montags in der zur Verfügung stehenden Zeit gewährleistet ist. Für die Küche ist anzumerken: die Wärmemenge ist so gering, weil die Lüftungsanlage selbst nicht läuft, sondern nur die (nicht durchströmten) Heizregister mit Wärme versorgt werden.

Schultage

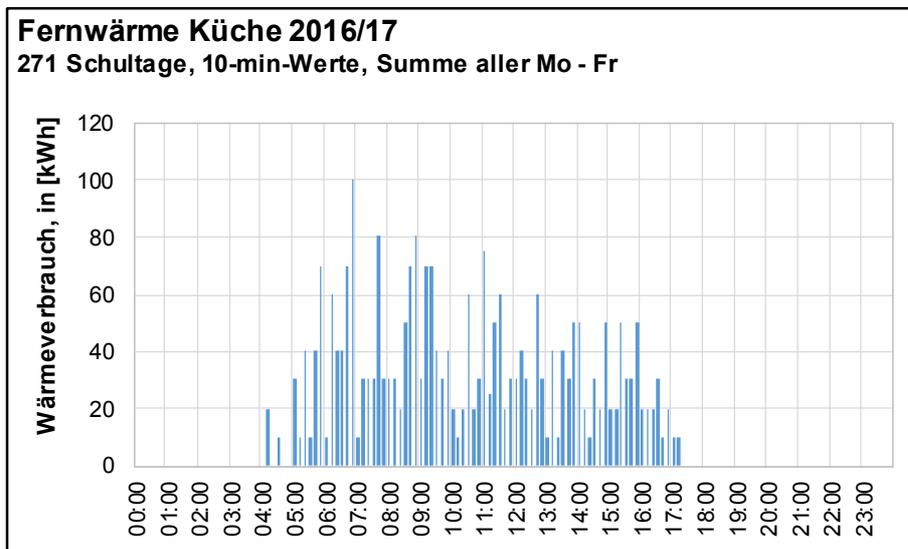


Abbildung 8-17: Fernwärme Küche – 10-Minuten-Werte – Schultage

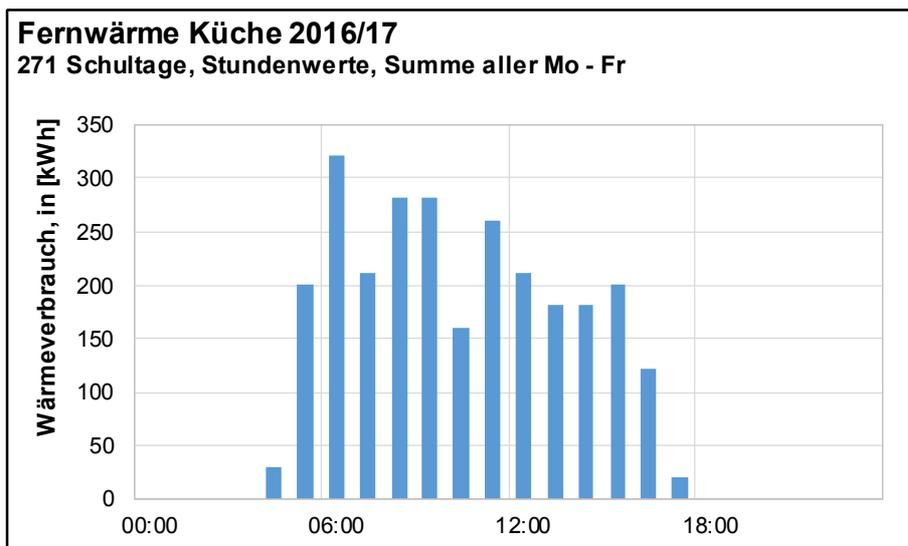


Abbildung 8-18: Fernwärme Küche – Stundenwerte – Schultage

Wochenende

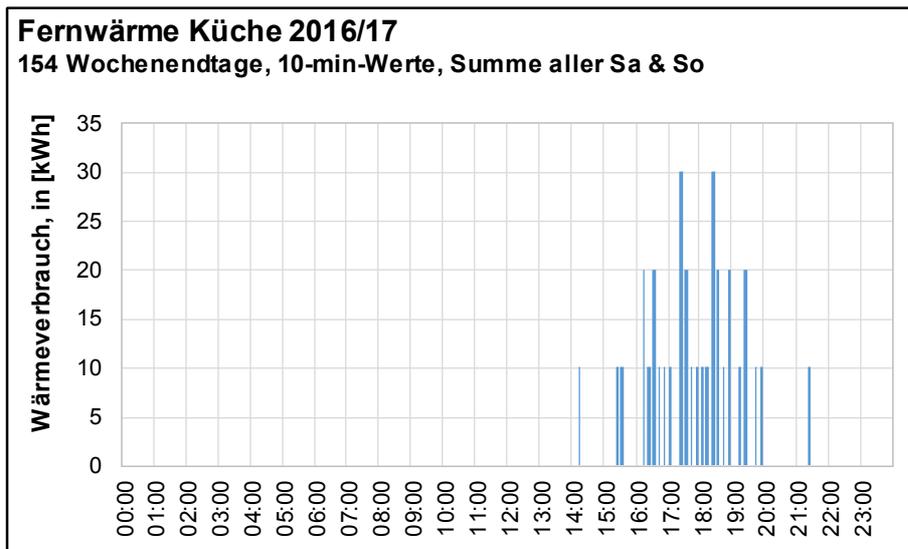


Abbildung 8-19: Fernwärme Küche – 10-Minuten-Werte – Wochenende

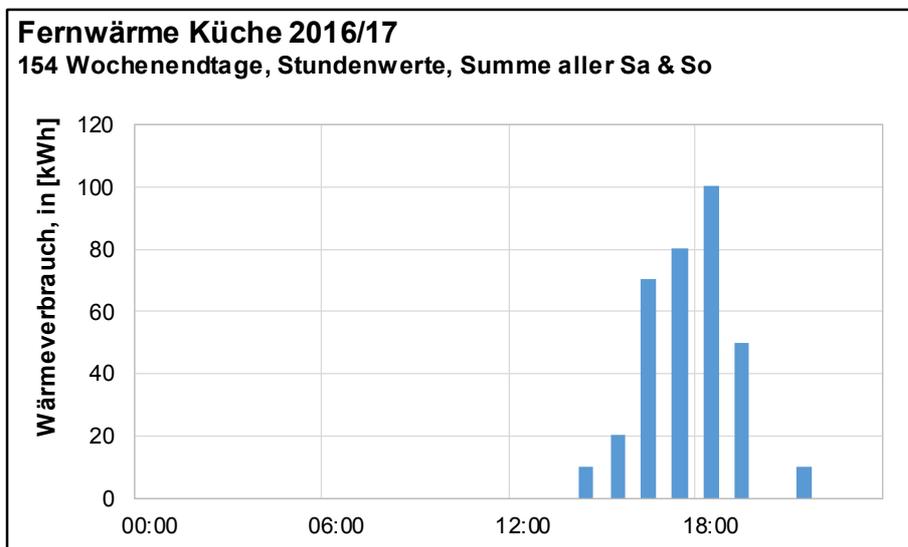


Abbildung 8-20: Fernwärme Küche – Stundenwerte – Wochenende

8.2 Netztemperaturen

Die Netztemperatur der Fernwärme wird im Vor- und Rücklauf über Anlegefühler erfasst, welche sich im Hausanschlussraum des Elisabeth-Gymnasiums befinden. Gemessen wird an der sekundären Einspeisung für die St. Franziskus-Grundschule. Diese Ausstattung ist nicht optimal, da ein großer Einfluss der Raumtemperatur auf den Messwert zu erkennen ist.

Das gilt insbesondere, da der Heizraum des Gymnasiums häufig Raumtemperaturen im Bereich 25 ... 30°C aufweist (viele ungedämmte Leitungsabschnitte und Formteile der primären Versorgung), während die zu messenden Wasservolumenströme auf 45/35°C ausgelegt sind.

Allerdings wird über den zentralen Wärmemengenzähler der Wasservolumenstrom erfasst, so können die Phasen mit Volumenstrom und die Phasen ohne Durchfluss voneinander separiert werden. Das Volumenstrommessteil hat eine Messauflösung von 100 Litern. Für jede Stunde, in der mindestens dieser Volumenstrom zu verzeichnen ist, erfolgt eine Markierung.

Es handelt sich um ein Versehen beim Aufbau der Messtechnik (eigentlich sollte die Wärmemenge erfasst werden). Dieser wurde nicht mehr korrigiert, da – als das Problem bekannt wurde – das Projekt schon zu weit fortgeschritten war. Der Verbrauch war zudem auch manuell im Monatstakt erfasst worden (Auslesen des Speicherwerks).

Vor- und Rücklauftemperatur

Abbildung 8-21 zeigt die Auswertung der erfassten Vorlauftemperatur der Fernwärme. In der Grafik sind Stundenmittelwerte eingetragen, jedoch nur für Messpunkte, in denen gleichzeitig ein Volumenstrom über die Wärmemengenmessung registriert wurde.

Die große Streuung der Werte kann durch das Messprinzip des Anlegefühlers erklärt werden, der erst erwärmt werden muss. Für den Fall einer nur sehr kurzen Betriebszeit hat der Messfühler vermutlich noch nicht einmal den finalen Temperaturwert erreicht, bevor der Volumenstrom bereits wieder abbricht.

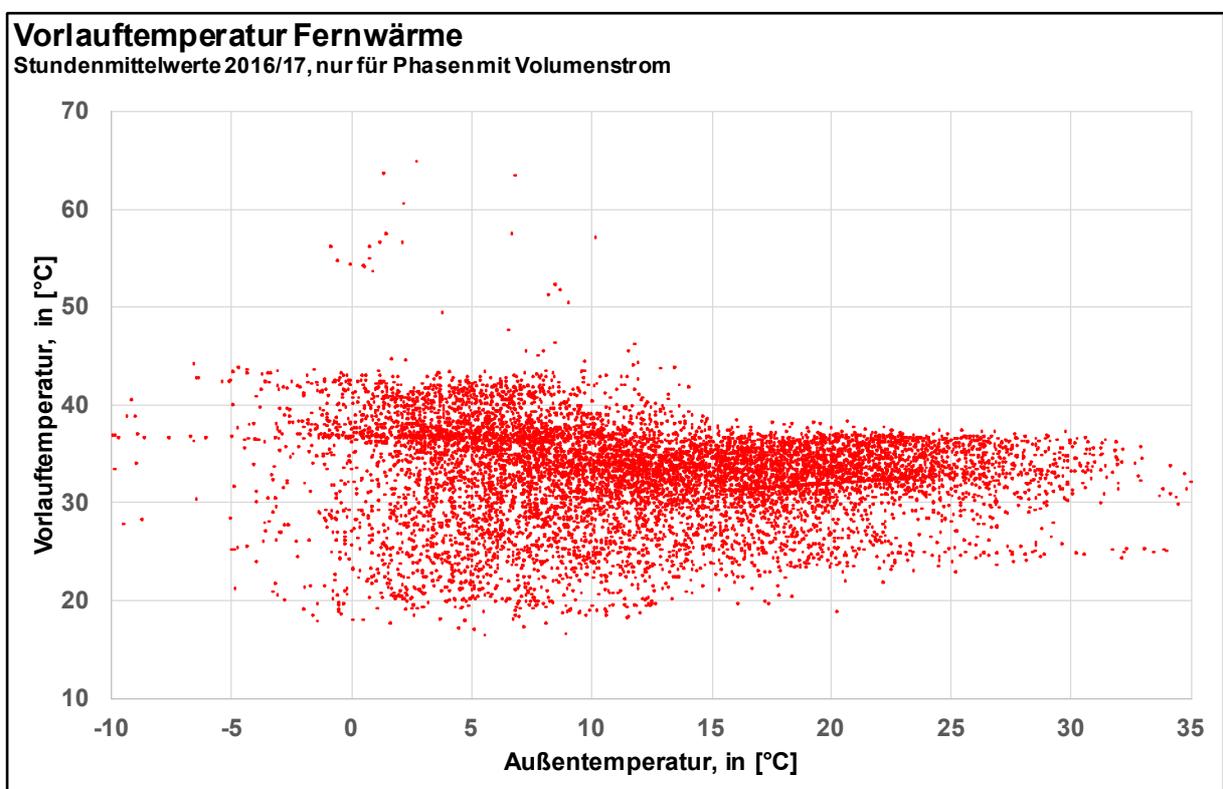


Abbildung 8-21: Fernwärme - Vorlauftemperatur abhängig von der Außentemperatur

Eine witterungsgeführte Regelung ist nicht erkennbar; es ist ein Festwert von 45°C in der Heizperiode vorgegeben, der um bis zu 7 K unterschritten werden darf, ohne dass eine Umschaltung auf den Vorlauf der Fernwärme erfolgt. Unter Berücksichtigung der Messtoleranz des Fühlers sowie des Messprinzips wird dieser Wert auch erreicht – in Phasen mit längeren zusammenhängenden Volumenströmen.

Die Messpunkte lassen erahnen, dass oberhalb von etwa 15°C (Heizgrenze des Elisabeth-Gymnasiums) jeweils nur der Minimalwert von 38°C erreicht wird. Vor- und Rücklauftemperatur sind näherungsweise gleich hoch, siehe Abbildung 8-22.

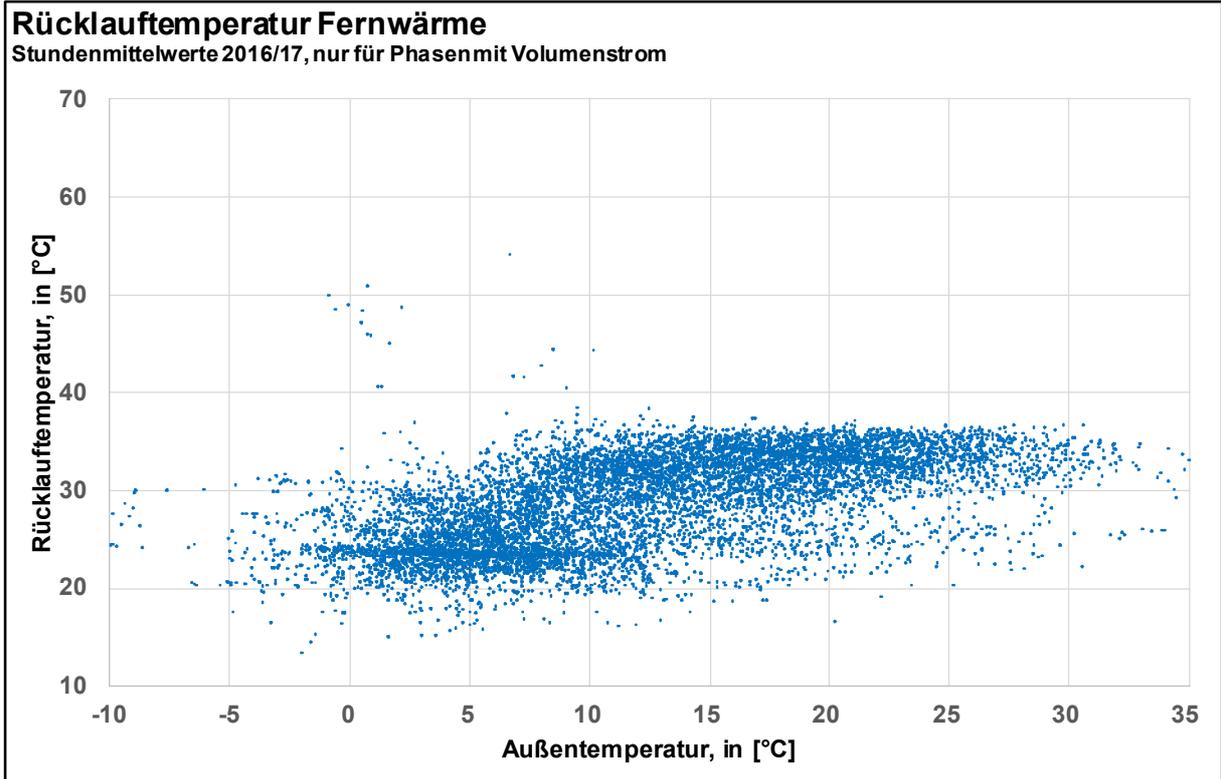


Abbildung 8-22: Fernwärme - Rücklauf­temperatur abhängig von der Außentemperatur

Spreizung

Aus den monatlich gespeicherten Daten (Wärmemenge, Volumenstrom) der Wärmemengenzähler kann eine Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf bestimmt werden.

Abbildung 8-23 zeigt die Ergebnisse für den Zähler an der Haupteinspeisung. Die Datenpunkte sind Monatsmittelwerte für die Jahre 2015 bis 2017. Unterhalb von etwa 15°C liegen die winterlichen Spreizungen bei Werten um 8 K – mit Ausreißern nach oben und unten. Die Daten sind plausibel. Die extrapolierte Auslegungsspreizung bei -14°C Außentemperatur liegt bei gemessenen 15 K. Der Planungswert war 10 K. Im Sommer ergeben sich Werte um 2 K.

Die monatlichen Spreizungen am Heizregister des Klassentraktes zeigt Abbildung 8-24. Die Witterungsabhängigkeit ist deutlich schwächer ausgeprägt. Die Werte liegen in der Heizperiode zwischen 15 und 20 K. Der extrapolierte Auslegungswert läuft auf fast 30 K zu. Da mit 10 K ausgelegt wurde, wären eigentlich kleinere Werte zu erwarten. Das spricht für einen im Mittel stark gedrosselten Volumenstrom (mit dann größerer Auskühlung des Heizmediums im Wärmeübertrager). Grund ist die deutlich geringere Wärmeabnahme an dem Heizregister als geplant. Das Heizregister hätte kleiner dimensioniert werden können.

Spreizung Heizwassertemperatur
 zentrale Übergabestation im Gymnasium,
 Basis Wärmemengenzählerwerte, monatliche Werte, 2015 - 2017

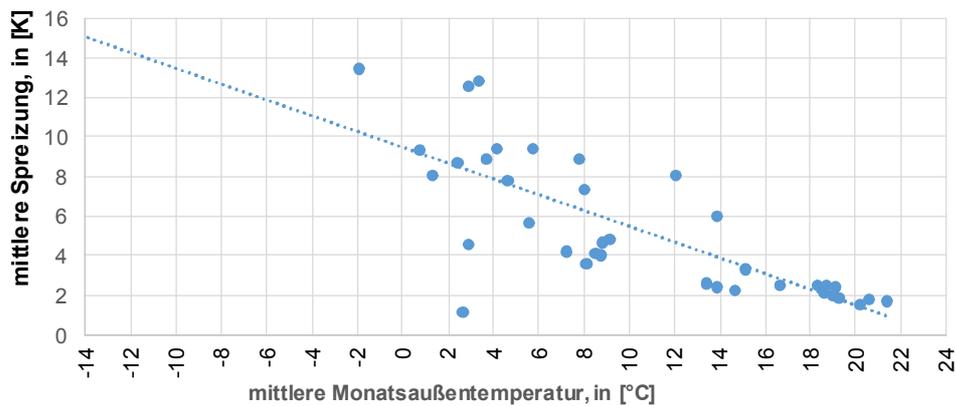


Abbildung 8-23: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – zentrale Übergabestation

Spreizung Heizwassertemperatur
 Heizregister in Lüftung 2.03 Klassentrakt,
 Basis Wärmemengenzählerwerte, monatliche Werte, 2015 - 2017

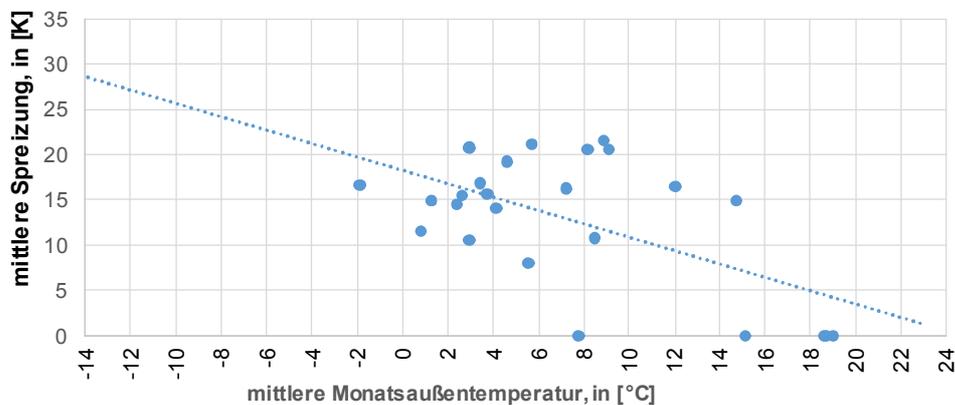


Abbildung 8-24: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – Klassentrakt

Spreizung Heizwassertemperatur
 Heizregister in Lüftung 2.18 Verwaltungstrakt,
 Basis Wärmemengenzählerwerte, monatliche Werte, 2015 - 2017

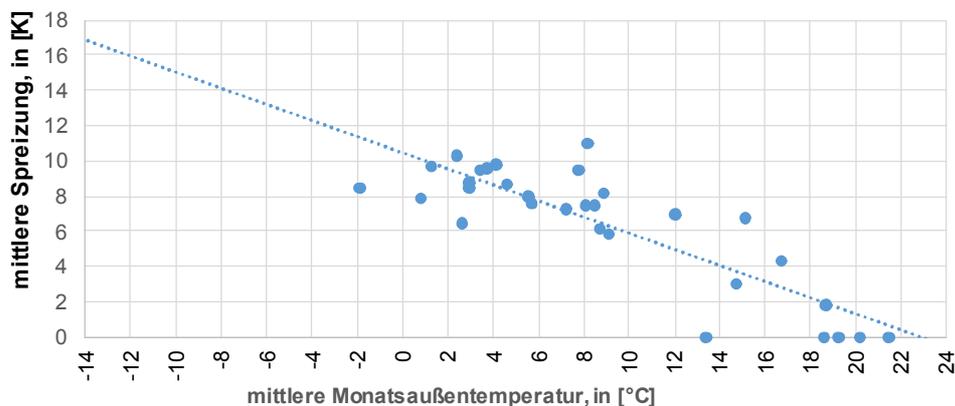


Abbildung 8-25: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – Verwaltungstrakt

Das Heizregister des Verwaltungstraktes liefert eine deutlich ausgeprägtere Witterungsabhängigkeit der Messwerte, siehe Abbildung 8-25. Die extrapolierte Auslegungsspreizung von 17 K liegt außerdem näher am Planungswert von 10 K. Das Heizregister ist nur wenig überdimensioniert.

Abbildung 8-26 zeigt die summierten Ergebnisse für die beiden Heizregister der Küche. Die Auslegungsspreizung von 10 K wird nicht annähernd erreicht. Das spricht für eine Unterdimensionierung der Hauben oder einen Betrieb mit zu hohen Volumenströmen. Wird der Luftvolumenstrom gegenüber der Auslegung überhöht gefahren, verringert sich die Verweilzeit der Luft im Heizregister. Um die geplante Luftaustrittstemperatur dennoch zu erreichen, erhöht die Regelung den Heizwasserdurchsatz auf der anderen Seite des Wärmeübertragers. Dies führt nach analogem Prinzip jedoch zu einer kürzeren Verweilzeit des Heizwassers im Heizregister. Folge ist eine Rücklauftemperatur nur knapp unterhalb der Vorlauftemperatur.

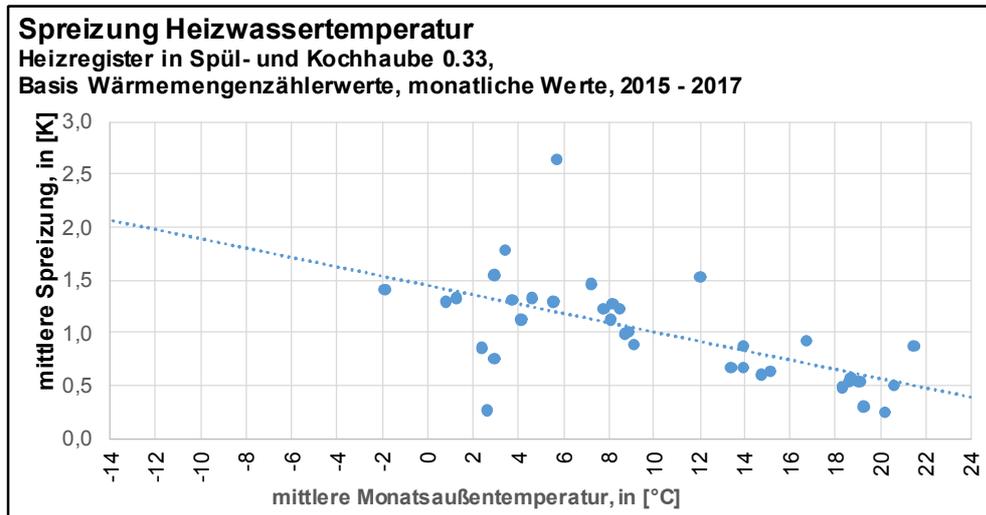


Abbildung 8-26: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – Küche

Die Messwerte decken sich mit der Rückmeldung des Küchenpersonals zum Betrieb der Anlagen. Der Luftvolumenstrom wird nicht geregelt, es handelt sich um eine manuelle Vorgabe des Küchenpersonals. Insbesondere morgens werden zur Wiederaufheizung der Küche nach der Nachtlüftung (durch die Grundlüftungsanlage, ohne Heizfunktion) die Anlagen mit maximalem Volumenstrom in Betrieb genommen – nach dem Motto: viel hilft viel. Laufen beide Lüftungshauben in Vollast, ergibt sich ein 39-facher Luftwechsel in der Küche. Die Luftumwälzung ist riesig, die Erwärmung des Raumes allerdings nur marginal.

Es gibt keine Umluft, jedoch eine Wärmerückgewinnung – wobei auch deren Wirkung abnimmt, je höher die Durchströmungsgeschwindigkeit wird, weil die Verweildauer der Luft im Wärmeübertrager zu kurz wird. Folge ist: die jeweils frische Außenluft wird nur mäßig in der Wärmerückgewinnung temperiert, dann nur mäßig im Heizregister nacherwärmt und strömt vermutlich in der Nähe der Raumlufttemperatur ein. Die Rücksprache mit dem Küchenpersonal ergibt die Aussage: "die Luft fühlt sich nicht warm an".

Abhilfe kann nur eine Aufklärung des Bedienpersonals schaffen. Die Maxime lautet:

- sind die Küchengeräte (Herd, Spülmaschine usw.) ausgeschaltet, wird der minimale Volumenstrom verwendet
- sind die Küchengeräte eingeschaltet, dann wird der Volumenstrom erhöht, ggf. bis zum Maximum

Die Problematik der Küchenlüftung, einschließlich der korrekten Nutzung der Grundlüftungsanlage wird im [Abschlussbericht 7](#) vertieft.

Weitere Carpetplots zu den Fernwärmemetemperaturen sind im Anhang 9.4.1 hinterlegt.

8.3 Pumpen

Die Auswertung der Pumpenbetriebsleistungen anhand von Carpetplots liefert Erkenntnisse zu Betriebszeiten und zur Pumpenregelung. Einzelne Phasen des Tages sowie Jahreszeiten, in denen unplausible Messwerte auftreten, werden anschließend näher untersucht.

Zentralpumpe

Abbildung 8-27 und Abbildung 8-28 zeigen die Leistungsaufnahme der Hauptfernwärmepumpe in den Jahren 2016 und 2017. Im Januar 2016 sowie Ende Mai/Anfang Juni 2016 sind Messfehler erkennbar. Die restlichen Daten sind auswertbar.

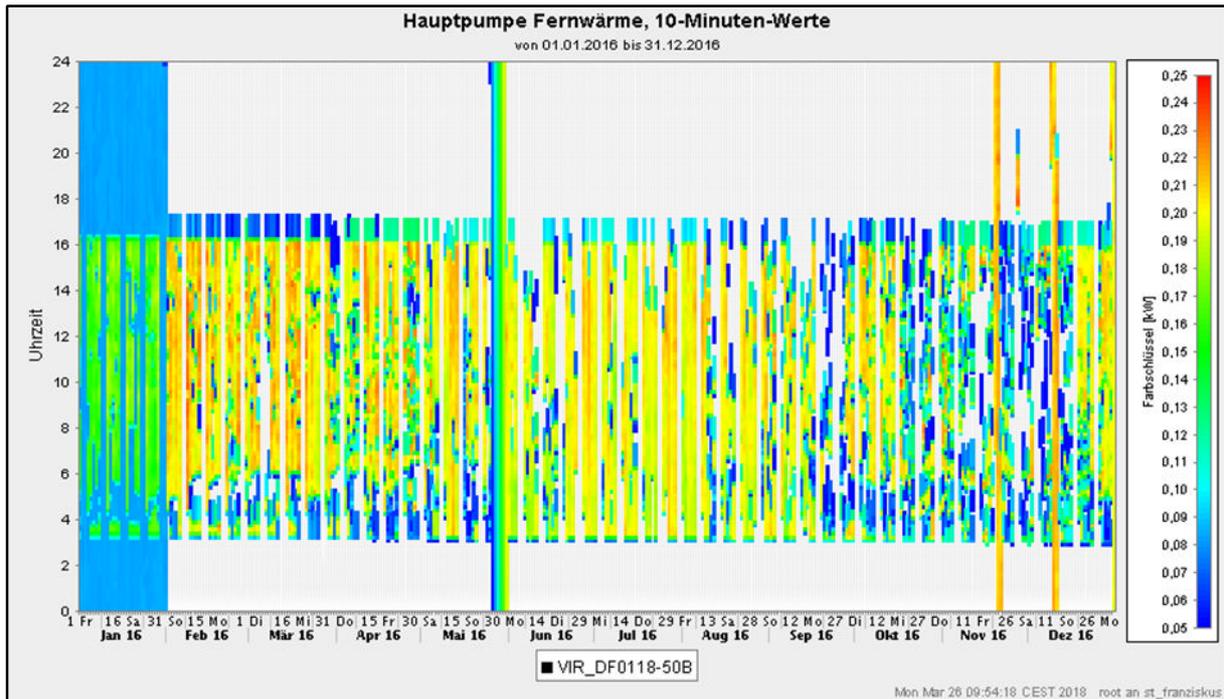


Abbildung 8-27: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – 10-Minuten-Werte – 2016

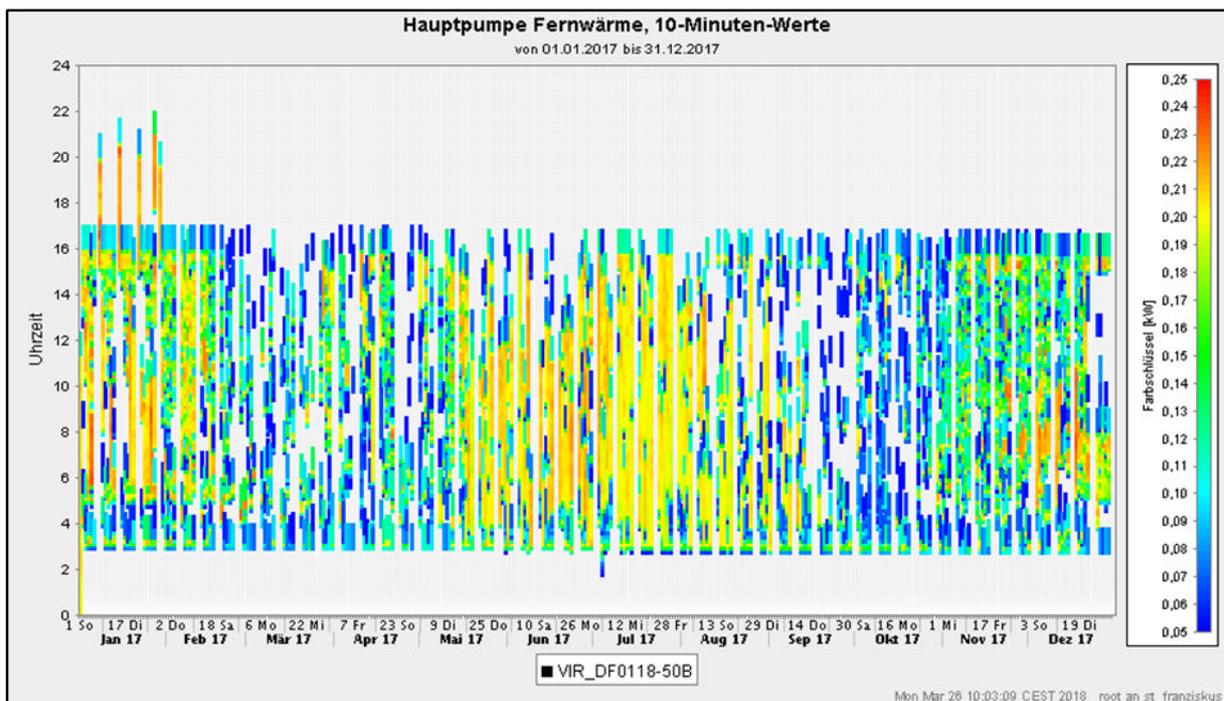


Abbildung 8-28: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – 10-Minuten-Werte – 2017

Die grundsätzlichen Zeitschaltprogramme sind erkennbar: zwischen 3 und 17 Uhr läuft die Pumpe; es gibt jeweils an den Wochenenden Betriebspausen.

Auffällig ist der erhöhte Leistungsmesswert in der Sommerpause. Er kann nicht final geklärt werden. Einerseits könnte ein Messfehler vorliegen, da die Messtechnik nicht zwischen Wirk- und Blindleistung unterscheiden kann. Da die Auswertung keiner der anderen Pumpen dieses Phänomen zeigt, erscheint die zweite Erklärung plausibler: die Pumpe ist in Betrieb, läuft in einem mehr als 30°C heißen Heizraum gegen eine geschlossene Anlage und hat die aufgezeichnete Nulllast. Das Problem muss spätestens beim Bau der neuen Turnhalle abgestellt werden. Zu dem Zeitpunkt wird ohnehin eine Neuprogrammierung der Fernwärme- und Pumpenregelung erforderlich.

Darüber hinaus zeigen die Carpetplots, dass im Winterhalbjahr jeweils ab 5 Uhr eine Leistungssteigerung eintritt, die durch die Inbetriebnahme der Luftheizung erklärt werden kann. Die Laufzeitspitzen im Januar 2017 fallen jeweils auf die Sonntage. Die Anlage wurde manuell durch den Hausmeister in Betrieb genommen, um die Wiederaufheizung montags zu verkürzen. Vor dem Schlafengehen wurde der Handbetrieb jeweils beendet.

Pumpe Heizregister Klassentrakt

Abbildung 8-29 und Abbildung 8-30 zeigen die Messwerte für die Pumpe in der RLT-Anlage "Klassentrakt". Messfehler sind im Januar/Februar 2017 zu erkennen. Die restlichen Daten sind auswertbar.

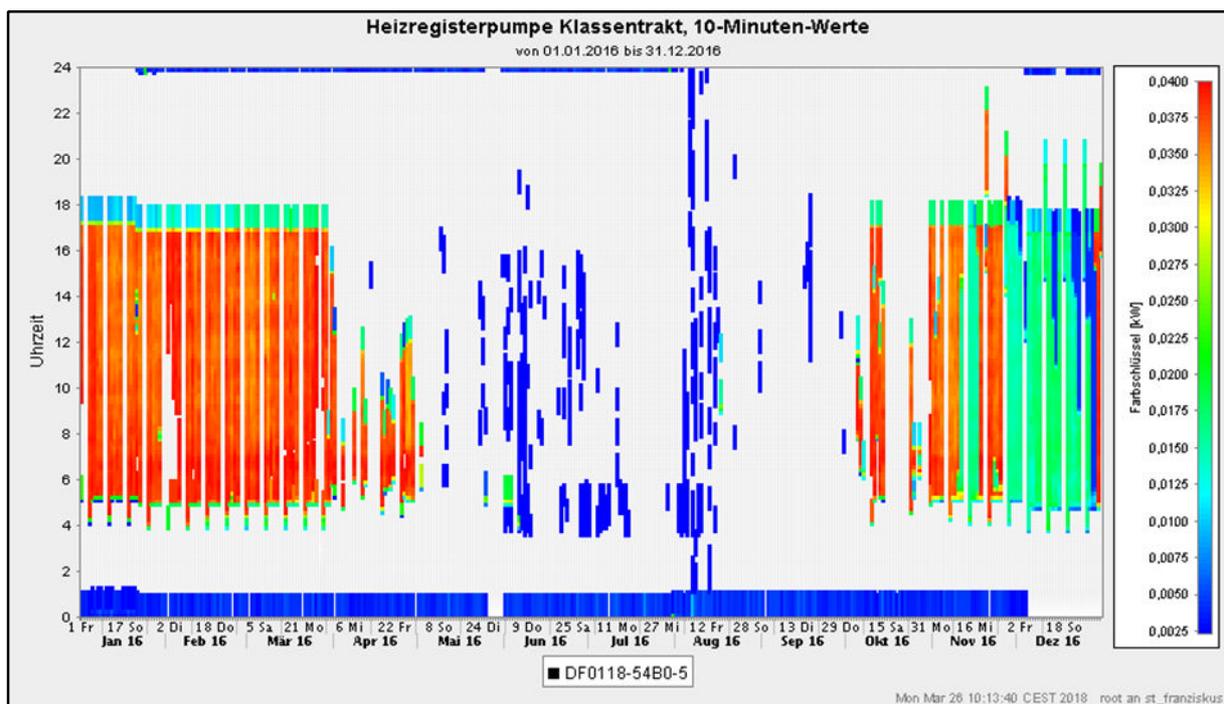


Abbildung 8-29: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – 2016

Das Regelprogramm im Winter ist gut erkennbar: die Pumpenzeit liegt bei 4 bzw. 5 Uhr. Nach dem Ende des RLT-Betrieb läuft die Pumpe allerdings noch eine Stunde nach. Die Leistung ist geringer, aber diese Phase sicherlich dennoch vermeidbar.

In den Betriebsphasen mit sommerlicher Nachtlüftung – in dieser RLT von 3 bis 4 Uhr – sollte die Heizungspumpe anschließend für 3 Stunden gesperrt sein. Das ist zumindest 2016 noch nicht der Fall. Im Jahr 2017 beginnt die sommerliche Heizung der Luft – wenn überhaupt – erst gegen 7 Uhr, also wie geplant.

Ungeklärt ist die jeweils ca. einstündige Laufzeit mit knapp über 0 W zwischen 24 und 1 Uhr.

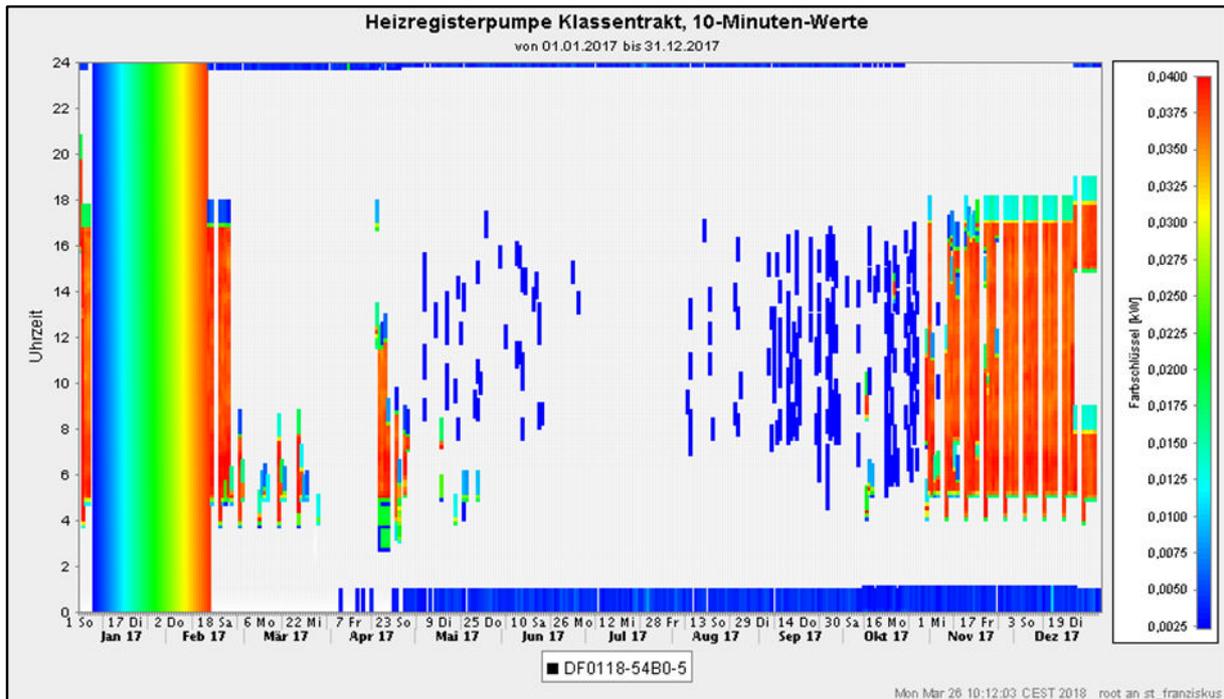


Abbildung 8-30: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – 2017

Pumpe Heizregister Verwaltungstrakt

Abbildung 8-31 und Abbildung 8-32 zeigen die Auswertungen für die Pumpe in der Verwaltungstrakt-RLT. Die Erkenntnisse zur einstündigen Pumpenlaufzeit, v. a. jeweils nachts von Mitternacht bis 1 Uhr wiederholen sich.

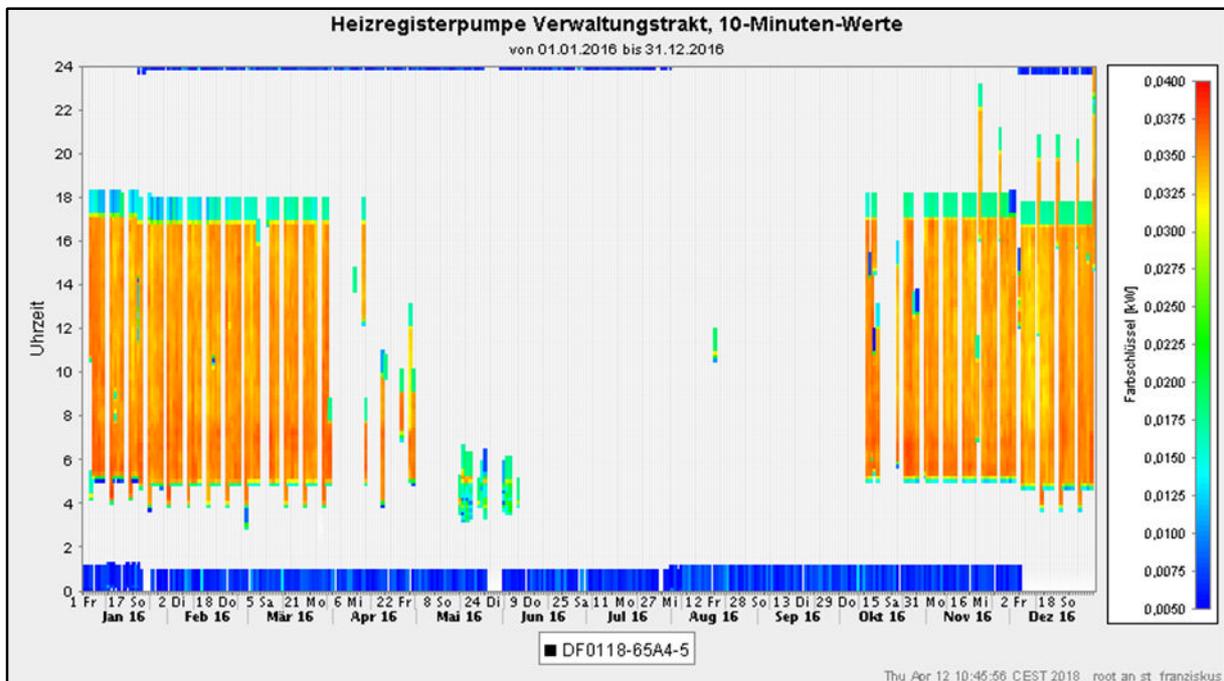


Abbildung 8-31: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – 2016

In der Phase der sommerlichen Nachtlüftung – in dieser RLT von 3 bis 5 Uhr – sind immer wieder Pumpenlaufzeiten (also Heizung oder Heizversuche) während oder direkt nach Beendigung der Nachtlüftung festzustellen. Dies ist selbstverständlich kontraproduktiv und soll im Rahmen künftiger Verbesserungen abgestellt werden. Geplant war eine 3-stündige Sperrzeit, die nicht eingehalten ist.

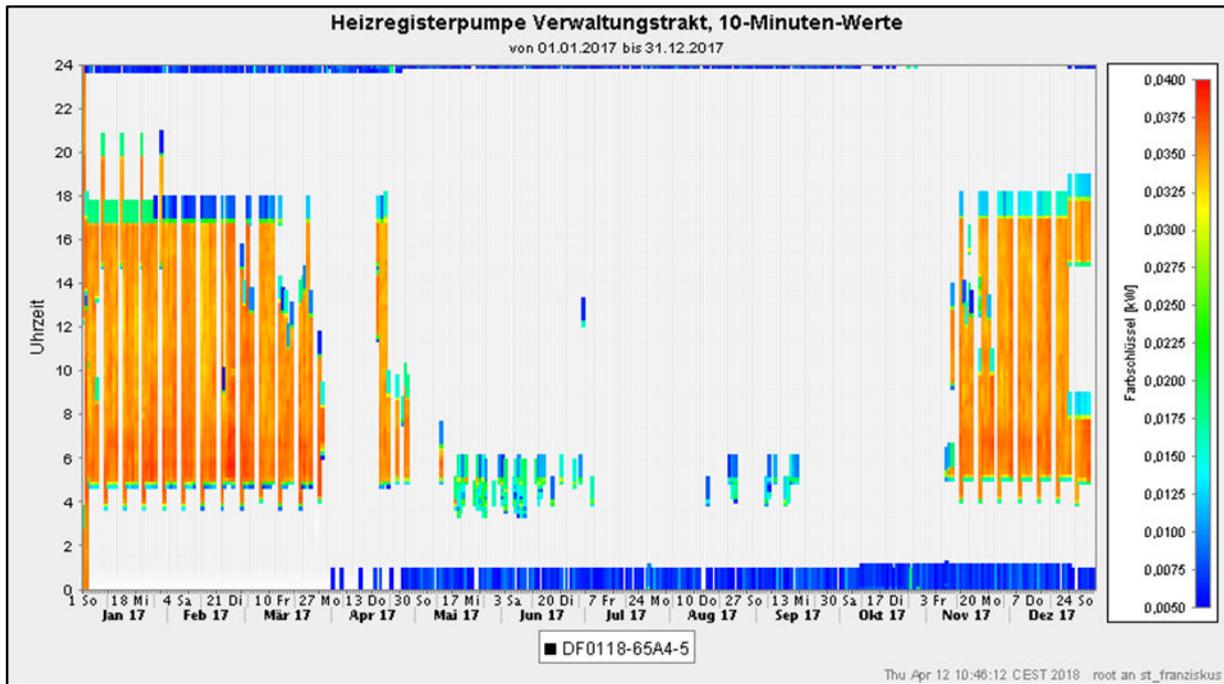


Abbildung 8-32: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – 2017

Pumpe Nachheizregister Flure

Abbildung 8-33 und Abbildung 8-34 zeigen die Betriebszustände für die Pumpe des Nachheizregisters im Flur. Die Sommer- und Winterumschaltung funktioniert. Verbesserungswürdig sind wiederum die Pumpennachlaufzeit sowie der häufige 1-stündige Nachtbetrieb, der keiner erkennbaren Logik folgt.

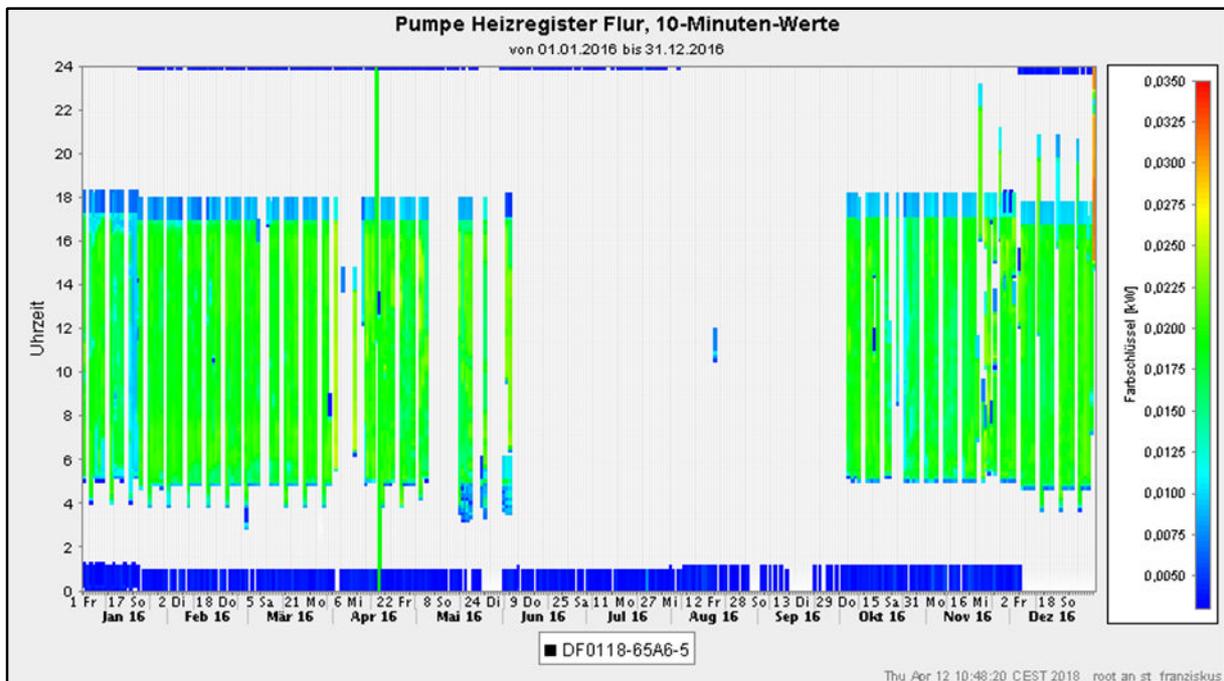


Abbildung 8-33: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – 10-Minuten-Werte – 2016

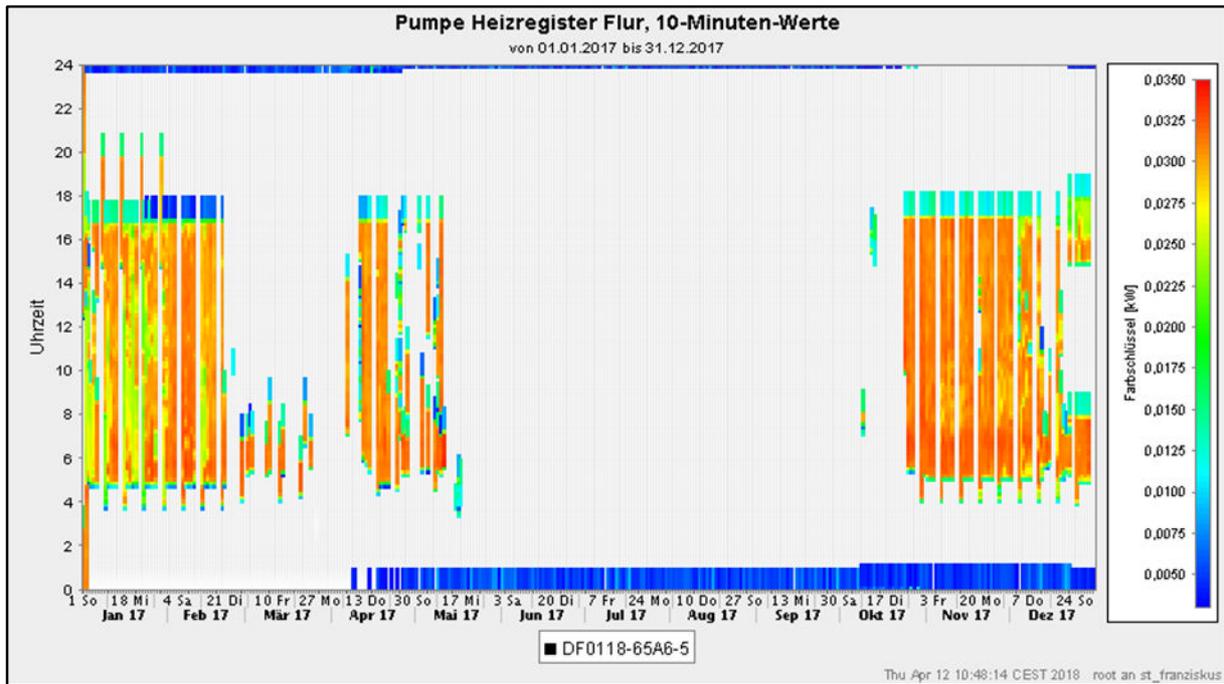


Abbildung 8-34: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – 10-Minuten-Werte – 2017

Darüber hinaus fällt auf, dass die mittlere Betriebsleistung etwa rund um den Jahreswechsel 2016/17 gesteigert wurde – von 20 W auf 30 W. Damit ist trotz einer viel kleineren angeschlossenen Fläche (ca. 1/6 der Gesamtfläche) ein Wert erreicht, den die anderen beiden Heizregisterpumpen auch aufweisen.

Die Steigerung ist durch den Sollwert der Zulufttemperatur für den Flur zu erklären. Er liegt so hoch, dass er mit der gegebenen Fernwärmeverlauftemperatur (und dem vorhandenen Heizregister) kaum zu erreichen ist. Die Pumpe versucht dies durch eine überproportionale Volumenstromsteigerung, welche vor allem elektrischen Energieverbrauch nach sich zieht.

Weitere Auswertungen zur Raumlufttechnik einschließlich Verbesserungsvorschlägen und Empfehlungen sind in [Abschlussbericht 7](#) zu finden.

Weitere Carpetplots zu den Pumpen sind im Anhang 9.4.2 hinterlegt.

8.4 Dreizeventile

Die Daten zur Stellung der Dreizeventile geben Aufschluss über die Überdimensionierung der Anlage sowie zur korrekten Funktion der Anlagenanpassung an die Witterung. Da es keine zentrale witterungsgeführte Vorregelung der Fernwärmetemperatur gibt, ist die Leistungsanpassung der Heizregister an den aktuellen Bedarf Aufgabe der örtlichen Regelventile.

Eine 0 %-Stellung bedeutet, dass keine Heizung erfolgt. Der Wert 100 % zeigt an, dass (ohne Beimischung von Rücklaufwasser) vollständig der Fernwärmeverlauf zur Heizung verwendet wird. Unabhängig von der Stellung der Ventile zählen allerdings nur Phasen, in denen die Verbrauchpumpe in Betrieb ist.

Dreiwegeventil Heizregister Klassentrakt

Der Abbildung 8-35 und Abbildung 8-36 sind die Ergebnisse für das Dreiwege-Ventil im Klassentrakt zu entnehmen. Werte von Februar/März 2016 sind fehlerhaft erfasst. Da Verbrauch festzustellen ist, muss das Ventil geöffnet gewesen sein. Die sonstigen Werte sind grundsätzlich auswertbar.

Die Winterperioden sind nachvollziehbar. Insbesondere im Jahr 2017 ist erkennbar: je kälter es ist, desto höher der Öffnungsgrad des Ventils.

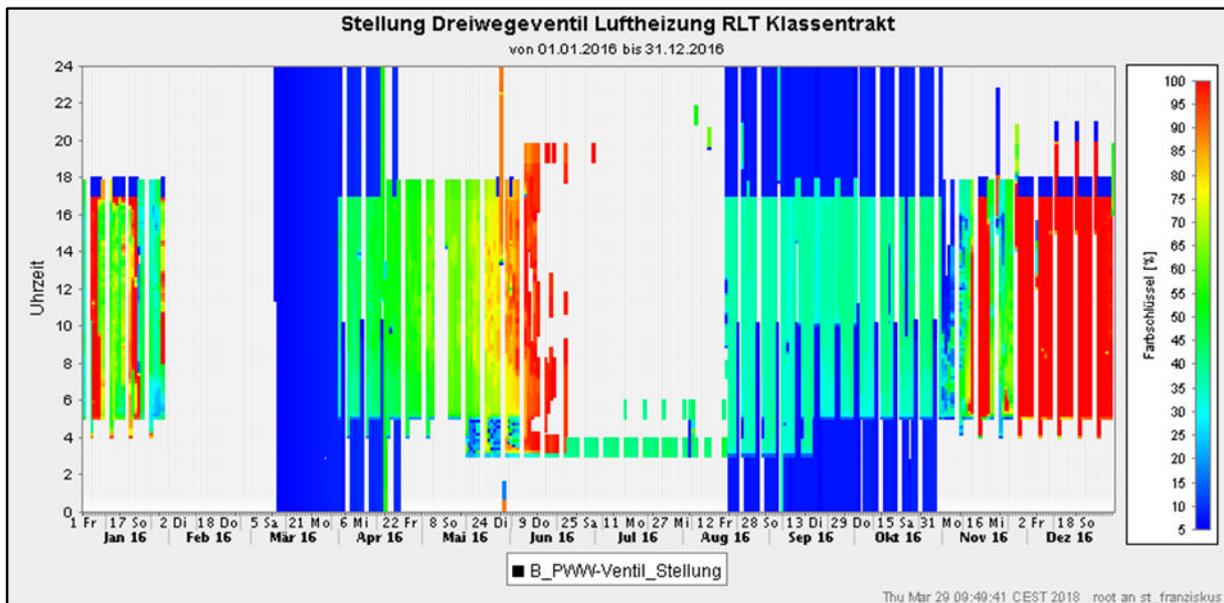


Abbildung 8-35: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Klassentrakt – 2016

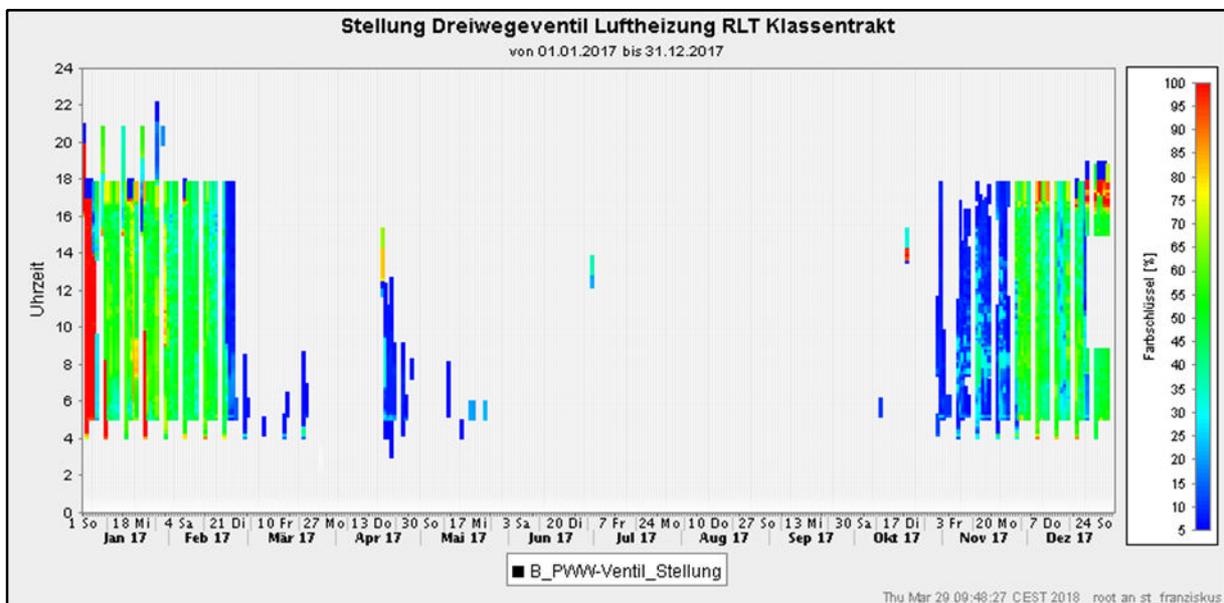


Abbildung 8-36: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Klassentrakt – 2017

Im Juni 2016 ist der Betrieb nicht nachvollziehbar, wie auch schon für die Pumpe angedeutet. Mit voll geöffnetem Ventil wird in Intervallen geheizt. Dieses Problem ist 2017 nicht wieder aufgetreten.

Dreiwegeventil Heizregister Verwaltungstrakt

Die Auswertung des Dreiwegeventils im Verwaltungstrakt liefert in beiden Jahren plausible Zusammenhänge zwischen Ventilstellung und Leistungsbedarf, siehe Abbildung 8-37 und Abbildung 8-38.

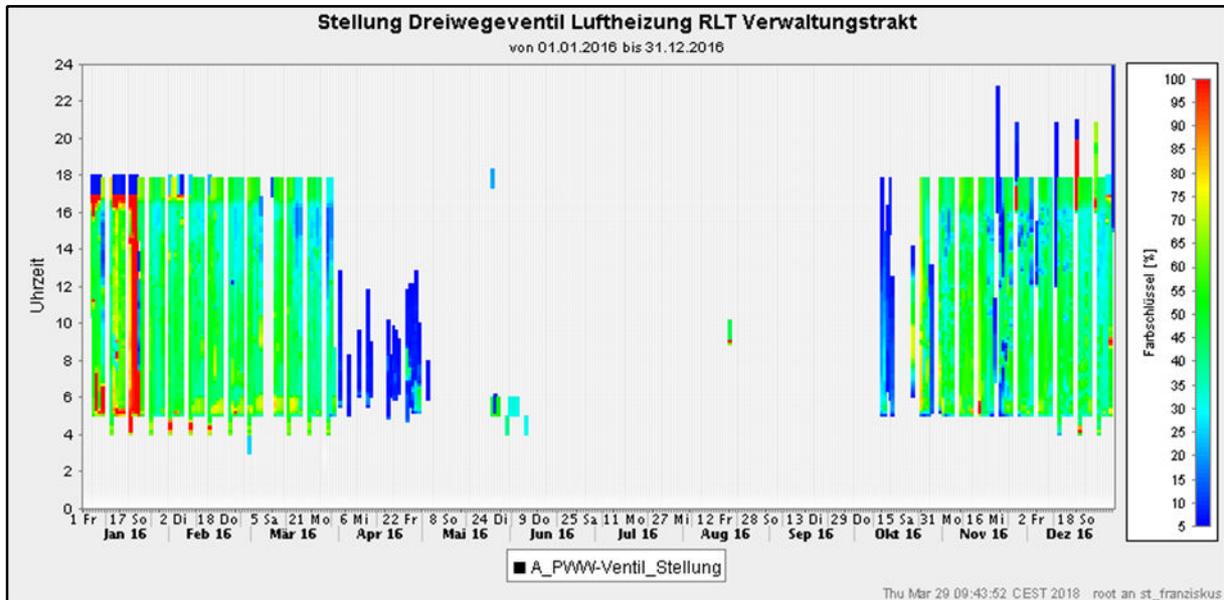


Abbildung 8-37: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Verwaltungstrakt – 2016

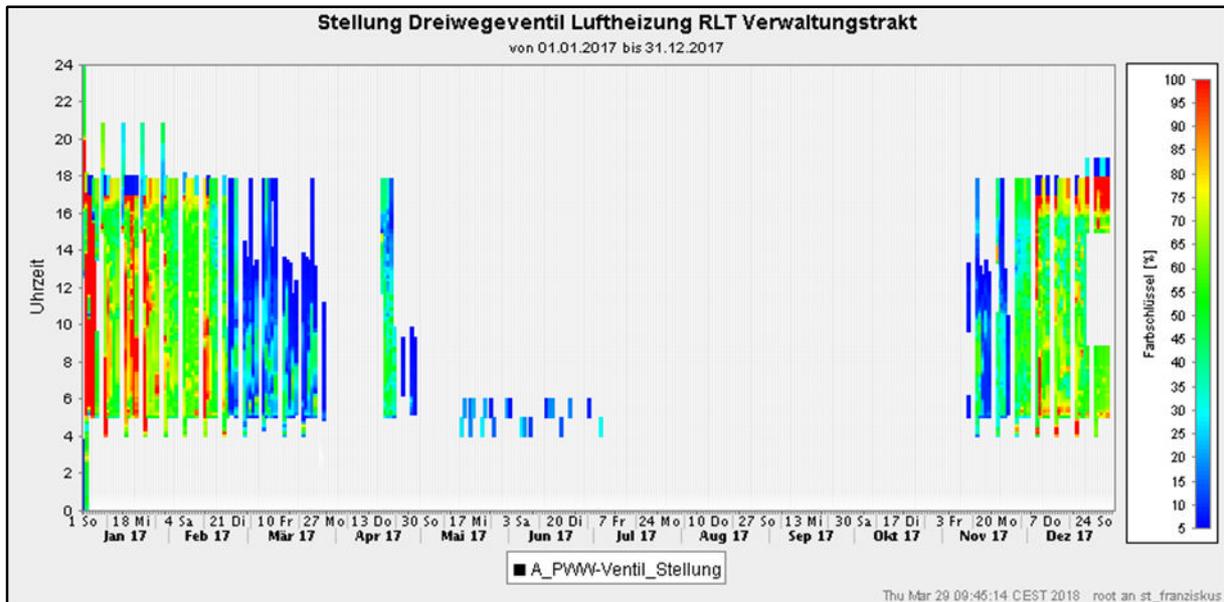


Abbildung 8-38: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Verwaltungstrakt – 2017

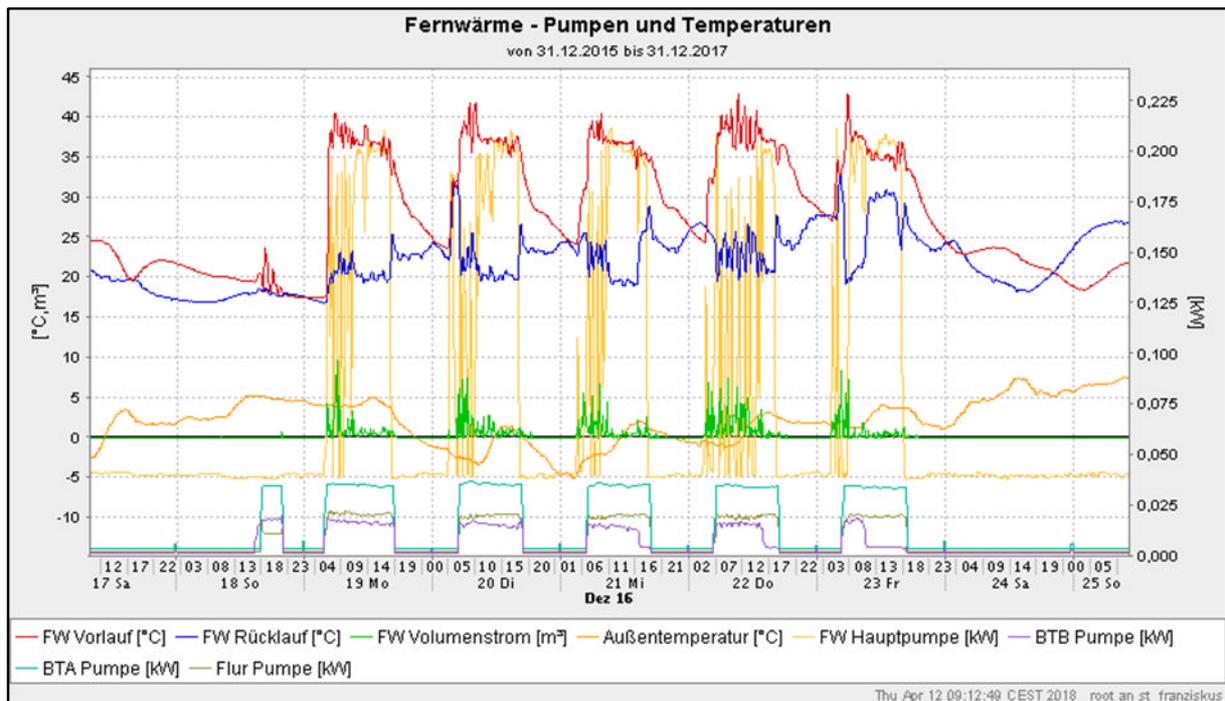


Abbildung 8-40: Fernwärme- und Außentemperaturen – Winterwoche 2016

Die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf liegt während der Betriebsphasen (Mo – Fr, 5 – 17 Uhr) bei etwa 15 K. Das deckt sich mit den Werten des Wärmemengenzählers für eine Winterwoche bei 0°C Außentemperatur.

Die Fernwärmehauptpumpe ist in dem geplanten Schaltprogramm in Betrieb. Auch alle Abnehmerpumpen laufen. Beachtenswert ist die Heizphase am Sonntag. Die Abnehmerpumpen laufen alle von ca. 15 – 19 Uhr und bewirken eine Temperaturerhöhung der Fernwärme in der Übergabestation, d. h. einen Fernwärmefluss. Dies ist insofern interessant, als dass die Hauptpumpe nicht in Betrieb ist. Dennoch reichen die drei Verbraucherpumpen aus, um einen Wasser- und Wärmefluss hervorzurufen. Langfristig wäre es sinnvoll, das Zeitschaltprogramm der Hauptpumpe an diese Sicherheitsheizphase (gegen zu große Auskühlung) anzugleichen.

Abbildung 8-41 zeigt eine typische Sommerwoche im Juli 2016 mit Außentemperaturen von 20°C nachts bis über 30°C tagsüber. Eine Spreizung zwischen Fernwärmever- und Rücklauf ist praktisch nicht zu erkennen. Dennoch lassen die sägezahnartigen Verläufe erkennen, dass grundsätzlich noch das Umschaltprogramm zwischen Woche und Wochenende aktiv ist. Auch der Wasserfluss durch den Hauptwärmemengenzähler bestätigt das.

Die Abnehmerpumpen sind bis auf die nächtlichen Laufzeiten gegen Mitternacht tagsüber nicht in Betrieb. Eine tatsächliche Wärmeabnahme gibt es daher nicht – maximal Verluste ans Erdreich. Diese wären vermeidbar, wenn eine Sommer-/Winterumschaltung für die Hauptpumpe programmiert würde.

In der Woche kühlen nachts die Anlegefühler auf etwa 30°C aus. Am Wochenende auf 25°C, was der Heizraumtemperatur entspricht. Die zur Verfügung gestellte Vorlauftemperatur von 35°C ist eine aktiv bereitgestellte Beheizung – nicht die Heizraumtemperatur. Sie ist vermeidbar. Eine Umprogrammierung zu einer sommerlichen Totalabschaltung wird empfohlen.

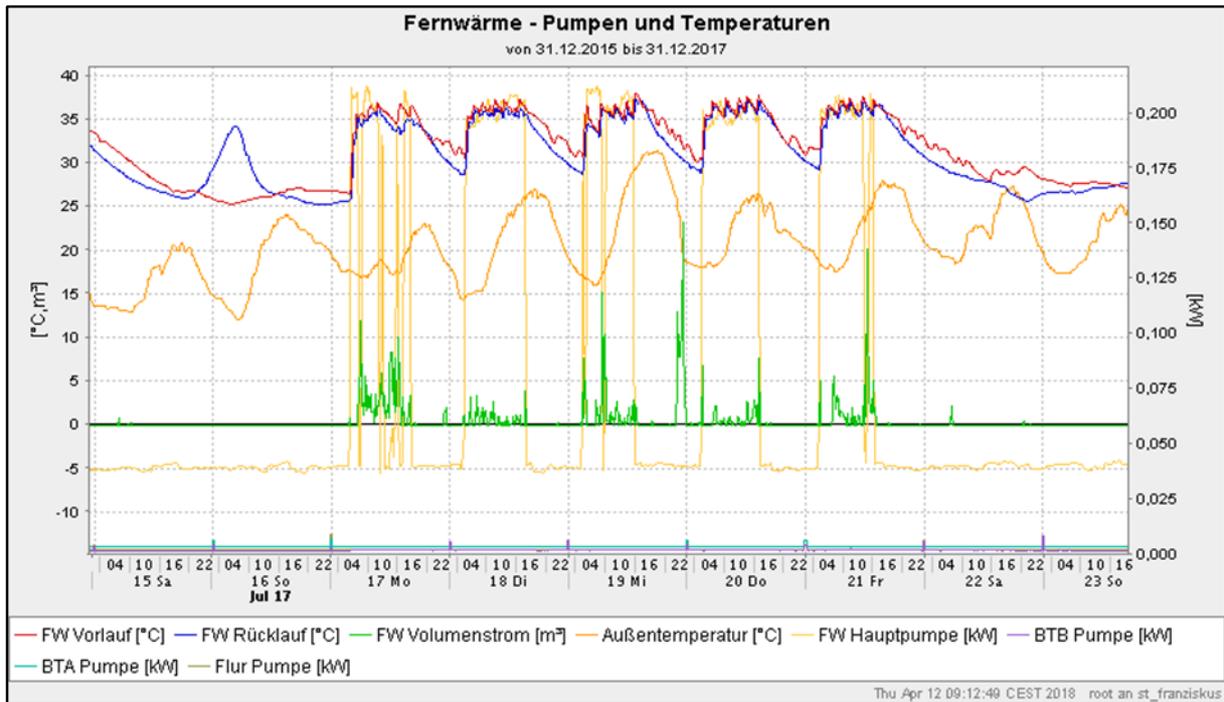


Abbildung 8-41: Fernwärme- und Außentemperaturen – Sommerwoche 2016

Abbildung 8-42 zeigt mehrere Winterwochen zur Jahreswende 2016/17 mit mehreren Umschaltungen von Reihen- auf Parallelbetrieb der Fernwärme.

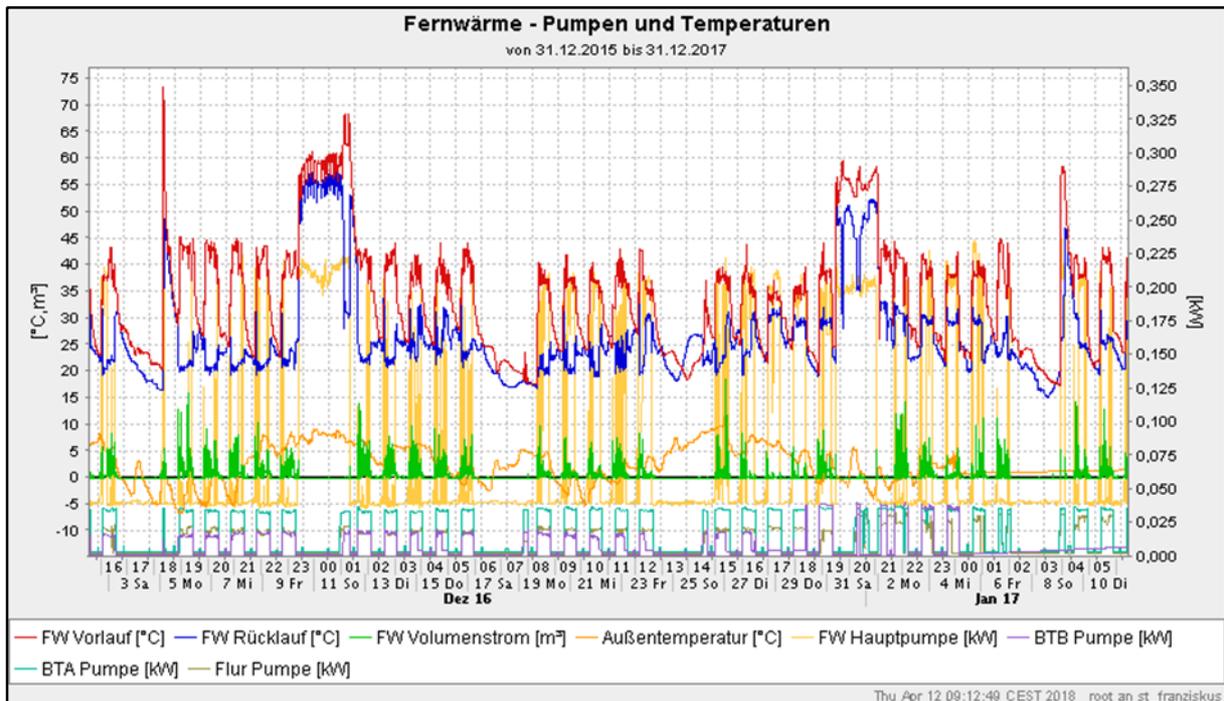


Abbildung 8-42: Umschaltung Reihen- in Parallelschaltung

Am Sonntag, den 4.12.2016 erfolgte eine Umschaltung, welche zu einer Vorlauftemperatur von über 70°C führte. Die Fernwärmepumpe war ebenfalls in Betrieb, weshalb von einer erzwungenen Umschaltung durch den Hausmeister auszugehen ist (manueller Betrieb). Auch das Zeitfenster 11 ... 14 Uhr spricht dafür.

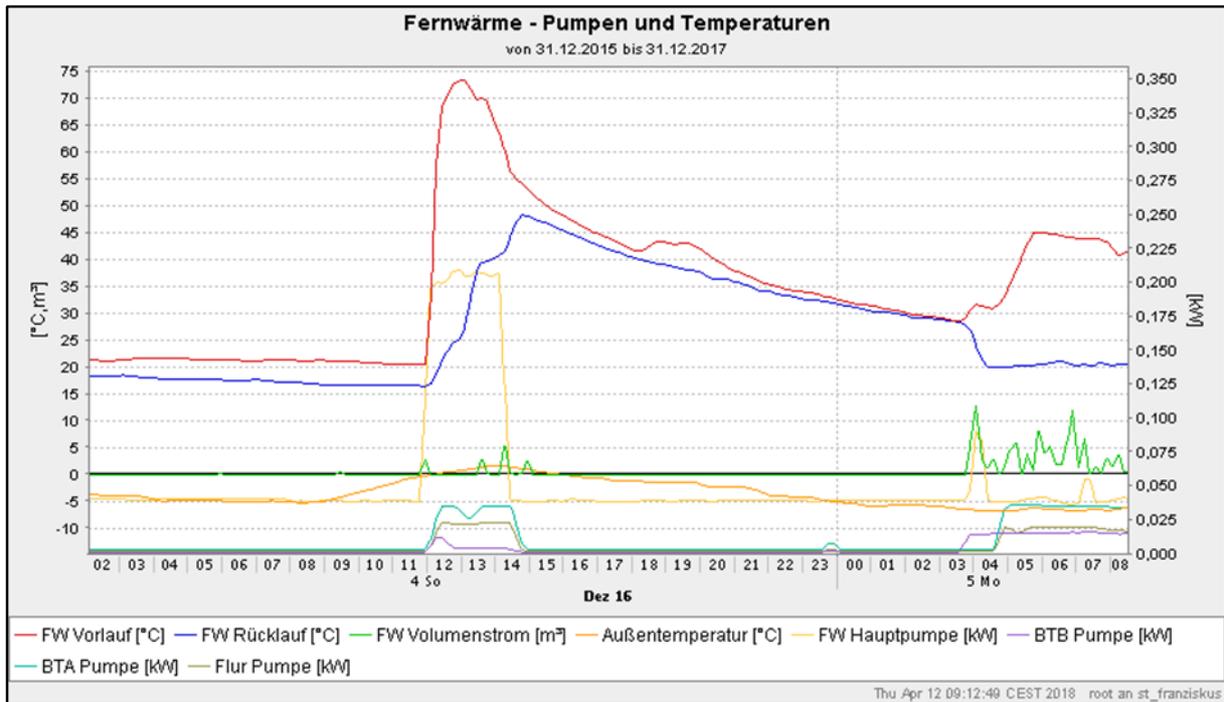


Abbildung 8-43: Umschaltung Reihen- in Parallelschaltung – 4.12.16

Vom 9.12.2016 bis zum 11.12.2016 lief die Fernwärmepumpe aus unbekanntem Grund aus. Da allerdings die Abnehmerpumpen nicht in Betrieb waren, konnte keine Wärmemenge festgestellt werden. Der Volumenstrom durch den Wärmemengenzähler ist null, d. h. die Pumpe arbeitet gegen eine geschlossene Anlage. Erst Sonntagmittag ist eine Abnahme festzustellen.

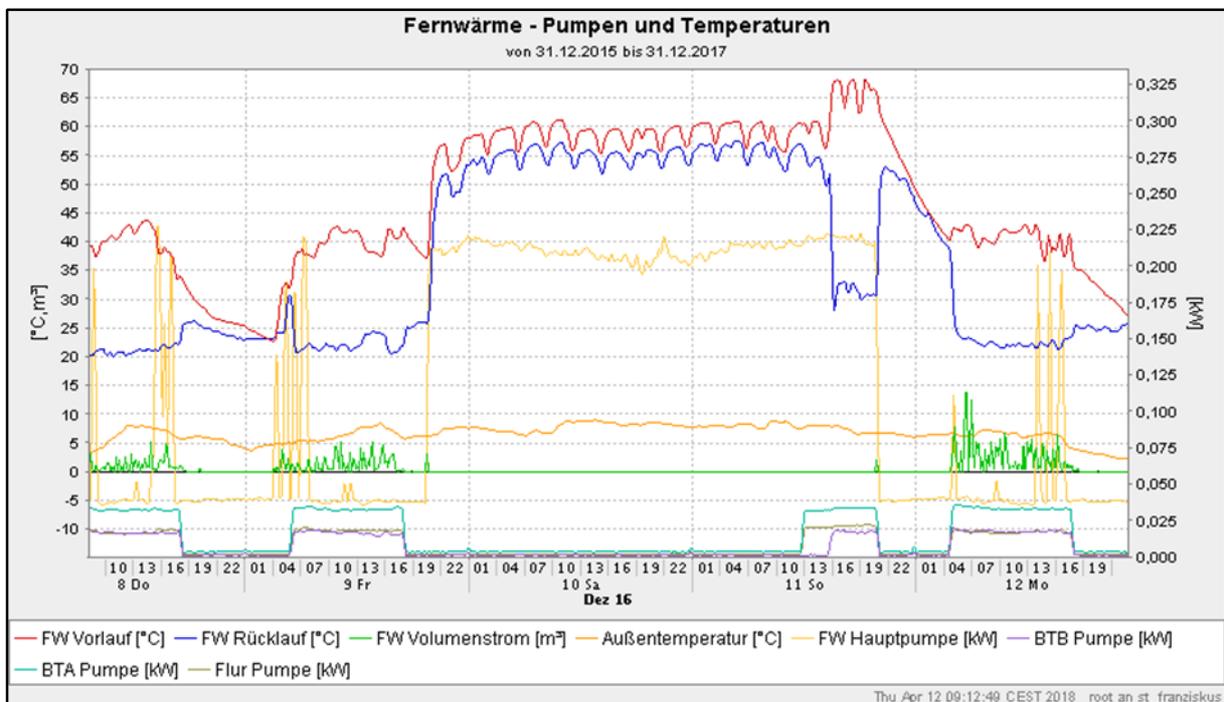


Abbildung 8-44: Umschaltung Reihen- in Parallelschaltung – 9. bis 11.12.16

8.6 Fazit zur Anlagenfunktion

Für die St. Franziskus Grundschule

Insgesamt ist eine sehr gute Funktion der Rücklaufauskühlung gegeben. Dennoch sind Verbesserungsansätze für den künftigen Betrieb erkennbar:

- der zeitliche Pumpenbetrieb aller Pumpen muss aneinander angeglichen werden; es ist nicht sinnvoll die Zentralpumpe außerhalb der Zeitfenster der Abnehmer laufen zu lassen und umgekehrt,
- die Sommer-/Winterumschaltung für die Zentralpumpe muss umgesetzt werden (insbesondere, da derzeit ohnehin keine Fernwärme für die Trinkwassererwärmung zum Einsatz kommt),
- die Nachlaufzeit der Verbraucherpumpen von 1 Stunde muss verkürzt werden, die nächtlichen Laufzeiten sollen unterbunden werden,
- die gegenseitige Verriegelung von sommerlicher Nachtlüftung und Nachheizung muss geprüft und ggf. (wieder) hergestellt werden
- die Vorlauftemperatur von 45°C im Regelfall ist ausreichend, jedoch sollte überlegt werden, ob die Hysterese von 7 K (bevor die Umschaltung in Parallelbetrieb erfolgt) nicht verringert wird; mit im schlimmsten Falle 38°C Vorlauftemperatur sind die anvisierten Lufttemperaturen im Kernwinter kaum erreichbar; Vorschlag: 3 ... 4 K

Hinsichtlich der Nutzerschulung ist folgender Bedarf aus der Auswertung heraus erkennbar:

- der Hausmeister muss geschult werden hinsichtlich der sinnvollen Wahl einer manuellen Zuluft- und Raumtemperatur für die RLT-Anlagen,
- das Küchenpersonal muss (erneut) geschult werden hinsichtlich einer sinnvollen Bedienung der Ablufthauben mit Kombinationen von Zulufttemperatur und Volumenstrom,

Für andere Schulen

Die Rücklaufauskühlung ist funktionstüchtig und empfehlenswert. Auch die Reihen- und Parallelumschaltung funktioniert. Eine witterungsgeführte Regelung erscheint jedoch insgesamt sinnvoller als die Festtemperaturregelung. Auf die korrekte Sommer-/Winterumschaltung muss geachtet werden.

9 Anhang

9.1 Literatur

- [1] Theurich+Klose, *Planungsunterlagen*, Hannover, 2013.
- [2] EVH Energieversorgung Halle GmbH, „Primärenergiefaktor,“ 14.02.2014. [Online]. Available: <http://www.evh.de/EVH/Grosskunden/Waerme/Primaerenergiefaktor/>. [Zugriff am 14.02.2014].
- [3] Ingenieurbüro Naumann & Stahr, *Planungsunterlagen*, Leipzig, 2011.
- [4] M. Erl, „Bachelorarbeit „Überprüfung der Trink- und Brauchwasserplanung für eine Passivhausschule“,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [5] X. Wang, „Masterarbeit "Ökobilanz für die technische Gebäudeausrüstung einer Passivhausschule",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2017.
- [6] L. Hoffmann, „Bachelorarbeit "Überprüfung der Trinkwasserplanung für die Sankt Franziskus Grundschule in Halle",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [7] WILO SE, „Wilco Pumpenberater,“ 31.03.2018. [Online]. Available: <https://wilo.com/de/de/Wilo-Services/Analyse-Planung-und-Auswahl/Wilo-Select-4/>. [Zugriff am 31.03.2018].
- [8] Ingenieurbüro Naumann & Stahr, „Erläuterungsbericht HLS-Technik,“ Ingenieurbüro Naumann & Stahr, Leipzig, 2011.
- [9] H. Neumann und J. Wohlfahrt, „Bachelorarbeit "Ökologische Bewertung einer Passivhausschule mit Schwerpunkt technische Gebäudeausrüstung (TGA)",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [10] EVH, *E-Mail von Annett Tast, EVH, vom 28.08.2014*, Halle: EVH, 2014.
- [11] S. Jäger und F. Switala, „Bachelorarbeit "Vergleich der Ergebnisse der Heizlastberechnung für eine Passivhausschule nach verschiedenen Verfahren für die St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale)",“ Magdeburg, 2014.
- [12] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, „Passivhaus-Schulen,“ in *Protokollband Passivhaus-Schulen*, Darmstadt, 2006.
- [13] O. Kah, „Schulen im Passivhaus-Standard: Randbedingungen und Anforderungen,“ in *Protokollband 33 des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser: Passivhaus-Schulen*, Darmstadt, Passivhaus Institut, 2006.
- [14] Dezernat Planen, Bauen, Wohnen und Grundbesitz - Hochbauamt, „Leitlinien Nachhaltiges Bauen,“ Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Frankfurt, 2012.
- [15] co2online gemeinnützige GmbH, „Stromverbrauch im Haushalt,“ co2online gemeinnützige GmbH, 03.04.2018. [Online]. Available: <https://www.stromspiegel.de/stromkosten/stromverbrauch-pro-haushalt/>. [Zugriff am 03.04.2018].
- [16] K. Gebhardt, „Masterarbeit "Qualitätssicherung für die Planung und Erstellung eines Monitoringkonzeptes für die St. Franziskus-Grundschule in Halle (Saale)",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2011.
- [17] C. Zhang, „Masterarbeit "Optimierung der Solarwärmenutzung für eine Schulküche auf Basis von Messdaten",“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2016.
- [18] N. Stottmeister, „Masterarbeit "Energetische und wirtschaftliche Bewertung regenerativer Einsparmaßnahmen für eine Grundschule in Passivhausbauweise,“ Hochschule Magdeburg-Stendal, Magdeburg, 2017.

9.2 Nomenklatur

Tabelle 9-1: Abkürzungen

Kürzel	Erläuterung
AB	Abluft
AGFW	Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK
BTA	Bauteil/Gebäudeteil A, hier: Ostflügel, Verwaltungstrakt
BTB	Bauteil/Gebäudeteil B, hier: Westflügel, Klassentrakt
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung; deutsche Norm
DIN V	Deutsches Institut für Normung; deutsche Vornorm
DN	engl. Diameter Nominal, Nennweite (von Rohren etc.)
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG	Erdgeschoss
EN	Europäische Norm
EnEV	Energieeinsparverordnung (Jahr 2009)
EnOB	(Forschung für) Energieoptimiertes Bauen
EnSan	(Forschung für) Energieoptimiertes Bauen in der Sanierung
HS MD	Hochschule Magdeburg-Stendal
ISO	International Standardisation Organisation; internationale Norm
k. A.	keine Angabe
M	Motorventil
OG	Obergeschoss
PHI	Passivhaus Institut Darmstadt
PHPP	Passivhausprojektierungspaket
QN	Nenndurchfluss, z. B. für Ventile
RL	Rücklauf
RLT	Raumlufttechnik
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
Ü	Überströmluft
VDI	Verband Deutscher Ingenieure
VL	Vorlauf
ZU	Zuluft

Tabelle 9-2: Lateinische Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
A	Fläche	m ²
f _p	Primärenergiefaktor	-
f _{RH}	flächenbezogener Leistungszuschlag für Wiederaufheizung	W/m ²
F _x	Temperaturkorrekturfaktor	-
H	temperaturbezogene Leistung	W/K
h	temperatur- und flächenbezogene Leistung	W/(m ² K)
H _T	temperaturbezogene Transmissionsleistung	W/K
k _{v,s}	Durchflusskennwert einer Ventilserie	m ³ /h
L	Länge	m
n _{min}	Mindestluftwechselrate	h ⁻¹
Q	Energiemenge, Wärmeverlust	kWh/a
q	Energiemenge, flächenbezogen	kWh/(m ² a)
Q̇	Wärmestrom, Leistung	W
Q _d	Wärmeverlust des Verteilnetzes	kWh/a
Q _{HLol}	Heizlast ohne Lüftungsleistung	W
Q _I	interne Leistung	W
Q _S	solare Leistung	W
Q _T	Transmissionswärmeleistung	W
t	Zeit	h/a, t/a etc.
U	Wärmedurchgangskoeffizient, hier für Rohre	W/(mK)
V̇	Volumenstrom	l/h, m ³ /h

Tabelle 9-3: Griechische Formelzeichen

Formelzeichen	Erläuterung	Einheit
Δ	Differenz	div.
ϑ	Temperatur	°C
ϑ_e	Umgebungstemperatur	°C
ϑ_{HG}	Heizgrenztemperatur	°C
ϑ_i	Innentemperatur	°C
$\vartheta_{R,prim}$	primäre Rücklauftemperatur der Fernwärmeversorgung	°C
ϑ_{RL}	Rücklauftemperatur	°C
ϑ_{VL}	Vorlauftemperatur	°C
ϑ_{ZU}	Zulufttemperatur	°C

9.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1-1: Strangschema Heizung (ohne Solarthermie) [1].....	8
Abbildung 1-2: Jahresfernwärmeverbrauch ohne Witterungskorrektur	13
Abbildung 1-3: Jahresfernwärmeverbrauch mit Witterungskorrektur	13
Abbildung 1-4: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Haupteinspeisung	14
Abbildung 1-5: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Schultage	16
Abbildung 2-1: Anschlussschema Fernwärme	19
Abbildung 2-2: Verbraucher Fernwärme.....	20
Abbildung 3-1: Strangschema Heizung (Übersicht) [1].....	21
Abbildung 3-2: Strangschema Heizung – Details zum Hausanschluss im Gymnasium [1].....	22
Abbildung 3-3: Strangschema Heizung – Details der Heizregister St. Franziskus [1].....	23
Abbildung 3-4: Strangschema Heizung – Details der Solarthermie [1].....	24
Abbildung 3-5: Grundriss Heizung – Erdgeschoss – BTA (unten) und BTB (oben) [3].....	25
Abbildung 3-6: Grundriss Heizung – 1. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben) [3].....	26
Abbildung 3-7: Grundriss Heizung – 2. Obergeschoss – BTA (unten) und BTB (oben) [3].....	27
Abbildung 3-8: Hausanschlussraum im Gymnasium vor der Neuinstallation	28
Abbildung 3-9: Hausanschlussraum im Gymnasium nach der Neuinstallation.....	28
Abbildung 3-10: Rohrdurchführung zur Grundschule (oben rechts).....	29
Abbildung 3-11: Übergabestation Elisabeth-Gymnasium (links) und Pumpe St. Franziskus (Mitte)	30
Abbildung 3-12: Temperaturen an ungedämmten Leitungsteilen (Januar 2016).....	30
Abbildung 3-13: Gesamtblick in den Hausanschlussraum 0.18 mit Schachtzugang im Boden.....	31
Abbildung 3-14: Anschlusschacht mit Heizungsleitungen während der Installation.....	31
Abbildung 3-15: Schaltkasten für Heizungsregelung.....	32
Abbildung 3-16: Heizwassernachspeisung mit Zähler.....	32
Abbildung 3-17: Technische Daten Plattenwärmeübertrager (Hauptanschluss Grundschule) [1].....	33
Abbildung 3-18: Durchgangsregelventil M1 im Rücklauf des Elisabeth-Gymnasiums.....	34
Abbildung 3-19: Durchgangsregelventil M2 im Vorlaufabzweig des Elisabeth-Gymnasiums.....	35
Abbildung 3-20: Umschaltventil M3	35
Abbildung 3-21: Regelventile an den Heizregistern der Lüftungsanlagen.....	36
Abbildung 3-22: Hauptpumpe im Elisabeth-Gymnasium	37
Abbildung 3-23: Hauptpumpe Typenschild und eingestellte Förderhöhe	37
Abbildung 3-24: Pumpenkennlinie Hauptpumpe [7]	38
Abbildung 3-25: Pumpe Heizregister Klassentrakt.....	39
Abbildung 3-26: Pumpe Heizregister Verwaltungstrakt	39
Abbildung 3-27: Pumpe Nachheizregister Flur.....	40
Abbildung 3-28: Pumpe Heizregister Mittelhaube über Kochblock	40
Abbildung 3-29: Pumpe Heizregister Spülhaube über Spülmaschine.....	41
Abbildung 3-30: Pumpenkennlinie Verbraucherpumpen [7].....	41
Abbildung 3-31: Nachheizregister 0,4 kW im Luftkanal mit Einzelraumregelung.....	42
Abbildung 3-32: Elektroheizkörper und Typenschild im Raum 2.16.....	43
Abbildung 3-33: Nachgerüsteter Elektroheizkörper mit Zeitschaltuhr im Raum 2.16.....	44
Abbildung 3-34: Mobiles Heizgerät mit 3.3 kW Leistung im Hort	44
Abbildung 3-35: Hauptwärmemengenzähler im Heizungsraum des Elisabeth-Gymnasiums.....	45
Abbildung 3-36: Wärmemengenzähler Klassentrakt in Raum 2.03.....	45
Abbildung 3-37: Wärmemengenzähler Verwaltungstrakt in Raum 2.18	46
Abbildung 3-38: Unterzähler Nachheizregister Flure in Raum 2.18	46

Abbildung 3-39: Wärmemengenzähler Mittelhaube über Kochblock in Raum 0.33.....	46
Abbildung 3-40: Wärmemengenzähler Spülhaube über Spüle in Raum 0.33a.....	47
Abbildung 3-41: Heizungsleitungen (hintere Wand) vor und nach der Dämmung.....	47
Abbildung 3-42: Anschluss am Verbraucher – hier RLT.....	48
Abbildung 3-43: RLT-Anschluss Klassentrakt.....	49
Abbildung 3-44: RLT-Anschluss Klassentrakt – Thermografie.....	49
Abbildung 3-45: Revisionsöffnung von unten (links) und oben (rechts).....	50
Abbildung 3-46: Kompensator Fernwärmeleitung ohne Dämmung (Vorlaufleitung rechts).....	50
Abbildung 3-47: Fernwärmezertifikat EVH Halle [2].....	51
Abbildung 4-1: Flächenbezogene Heizlast nach DIN EN 12831 – EG [11].....	59
Abbildung 4-2: Flächenbezogene Heizlast nach DIN EN 12831 – 1.OG [11].....	60
Abbildung 4-3: Flächenbezogene Heizlast nach DIN EN 12831 – 2.OG [11].....	61
Abbildung 4-4: Flächenbezogene Heizlast nach PHPP-Ansatz – EG [11].....	65
Abbildung 4-5: Flächenbezogene Heizlast nach PHPP-Ansatz – 1. OG [11].....	66
Abbildung 4-6: Flächenbezogene Heizlast nach PHPP-Ansatz – 2. OG [11].....	67
Abbildung 6-1: Jahresfernwärmeverbrauch ohne Witterungskorrektur.....	82
Abbildung 6-2: Jahresfernwärmeverbrauch mit Witterungskorrektur.....	82
Abbildung 6-3: Monatlicher Fernwärmeverbrauch an der Haupteinspeisung.....	84
Abbildung 6-4: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Haupteinspeisung.....	85
Abbildung 6-5: Monatlicher Fernwärmeverbrauch für den Klassentrakt.....	86
Abbildung 6-6: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Klassentrakt.....	86
Abbildung 6-7: Monatlicher Fernwärmeverbrauch für den Verwaltungstrakt.....	87
Abbildung 6-8: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Verwaltungstrakt.....	88
Abbildung 6-9: Monatlicher Fernwärmeverbrauch in der Küche.....	89
Abbildung 6-10: Energieanalyse aus dem Verbrauch - Fernwärmeverbrauch Küche.....	89
Abbildung 6-11: Jahresstromverbrauch für die Fernwärmepumpen.....	90
Abbildung 6-12: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Hauptpumpe.....	91
Abbildung 6-13: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Heizregister Klassentrakt.....	91
Abbildung 6-14: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Heizregister Verwaltungstrakt.....	92
Abbildung 6-15: Monatlicher Stromverbrauch für die Pumpen – Nachheizregister Flure.....	92
Abbildung 6-16: Energieanalyse aus dem Verbrauch – Stromverbrauch Hausmeisterwohnung.....	93
Abbildung 7-1: Prinzipschema Zweileiter-Dreifachanschluss [17].....	96
Abbildung 7-2: Prinzipschema Reihenschaltung (Tor A-AB offen) [17].....	97
Abbildung 7-3: Übersteuerungsbedingung Tor A-AB [1].....	97
Abbildung 7-4: Übersteuerungsbedingung M1 [1].....	97
Abbildung 7-5: Prinzipschema Parallelschaltung (Tor B-AB offen) [17].....	98
Abbildung 7-6: Übersteuerungsbedingung Tor B-AB-1 [1].....	98
Abbildung 7-7: Übersteuerungsbedingung Tor B-AB-2 [1].....	98
Abbildung 7-8: Übersteuerungsbedingung M2 [1].....	98
Abbildung 7-9: Temperaturen an der zentralen Steuerung.....	99
Abbildung 7-10: Möglichkeit zur Handumschaltung der Ventile im Schaltkasten.....	99
Abbildung 7-11: Kurzschluss bei RLT-Heizregisteranschluss.....	100
Abbildung 8-1: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Schultage.....	103
Abbildung 8-2: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Schultage.....	104
Abbildung 8-3: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Horttage.....	104
Abbildung 8-4: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Horttage.....	104
Abbildung 8-5: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Ferientage.....	105
Abbildung 8-6: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Ferientage.....	105
Abbildung 8-7: Fernwärme Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – Wochenende.....	105
Abbildung 8-8: Fernwärme Klassentrakt – Stundenwerte – Wochenende.....	106
Abbildung 8-9: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Schultage.....	106
Abbildung 8-10: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Schultage.....	107
Abbildung 8-11: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Horttage.....	107
Abbildung 8-12: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Horttage.....	107
Abbildung 8-13: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Ferientage.....	108
Abbildung 8-14: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Ferientage.....	108
Abbildung 8-15: Fernwärme Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – Wochenende.....	109
Abbildung 8-16: Fernwärme Verwaltungstrakt – Stundenwerte – Wochenende.....	109
Abbildung 8-17: Fernwärme Küche – 10-Minuten-Werte – Schultage.....	110
Abbildung 8-18: Fernwärme Küche – Stundenwerte – Schultage.....	110
Abbildung 8-19: Fernwärme Küche – 10-Minuten-Werte – Wochenende.....	111
Abbildung 8-20: Fernwärme Küche – Stundenwerte – Wochenende.....	111

Abbildung 8-21: Fernwärme - Vorlauftemperatur abhängig von der Außentemperatur	112
Abbildung 8-22: Fernwärme - Rücklauftemperatur abhängig von der Außentemperatur	113
Abbildung 8-23: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – zentrale Übergabestation	114
Abbildung 8-24: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – Klassentrakt	114
Abbildung 8-25: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – Verwaltungstrakt	114
Abbildung 8-26: Fernwärme – Spreizung aus Wärmemengenzähler – Küche	115
Abbildung 8-27: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – 10-Minuten-Werte – 2016	116
Abbildung 8-28: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – 10-Minuten-Werte – 2017	116
Abbildung 8-29: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – 2016	117
Abbildung 8-30: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – 10-Minuten-Werte – 2017	118
Abbildung 8-31: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – 2016	118
Abbildung 8-32: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – 10-Minuten-Werte – 2017	119
Abbildung 8-33: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – 10-Minuten-Werte – 2016	119
Abbildung 8-34: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – 10-Minuten-Werte – 2017	120
Abbildung 8-35: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Klassentrakt – 2016	121
Abbildung 8-36: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Klassentrakt – 2017	121
Abbildung 8-37: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Verwaltungstrakt – 2016	122
Abbildung 8-38: Carpetplot – Dreiwegeventil Heizregister Verwaltungstrakt – 2017	122
Abbildung 8-39: Fernwärme- und Außentemperaturen 2016/17	123
Abbildung 8-40: Fernwärme- und Außentemperaturen – Winterwoche 2016	124
Abbildung 8-41: Fernwärme- und Außentemperaturen – Sommerwoche 2016	125
Abbildung 8-42: Umschaltung Reihen- in Parallelschaltung	125
Abbildung 8-43: Umschaltung Reihen- in Parallelschaltung – 4.12.16	126
Abbildung 8-44: Umschaltung Reihen- in Parallelschaltung – 9. bis 11.12.16	126
Abbildung 9-1: Fernwärme - Vorlauftemperatur Carpetplot 2016	134
Abbildung 9-2: Fernwärme - Vorlauftemperatur Carpetplot 2017	134
Abbildung 9-3: Fernwärme - Rücklauftemperatur Carpetplot 2016	135
Abbildung 9-4: Fernwärme - Rücklauftemperatur Carpetplot 2017	135
Abbildung 9-5: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – Stundenwerte – 2016	136
Abbildung 9-6: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – Stundenwerte – 2017	136
Abbildung 9-7: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – Stundenwerte – 2016	137
Abbildung 9-8: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – Stundenwerte – 2016	137
Abbildung 9-9: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – Stundenwerte – 2016	138
Abbildung 9-10: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – Stundenwerte – 2017	138
Abbildung 9-11: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – Stundenwerte – 2016	139
Abbildung 9-12: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – Stundenwerte – 2017	139
Tabelle 1-1: Resultierende Raumlufftemperaturen auf Basis von Heizlastberechnungen mit unterschiedlichen Ansätzen (DIN EN 12831, PHPP)	10
Tabelle 1-2: Kennwerte aus der Verbrauchsanalyse	15
Tabelle 3-1: Übersicht der Fernwärmeheizregister [1]	42
Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Raumheizlasten aus der Planungsphase [3]	54
Tabelle 4-2: Zusammenstellung der zu beheizenden Räume [1] [11] [eigene]	55
Tabelle 4-3: Raum- und Zulufttemperaturen für den Fall ohne Wärmegewinne [11] [eigene]	62
Tabelle 4-4: Raum- und Zulufttemperaturen bei jahresmittleren Wärmegewinnen [11] [eigene]	69
Tabelle 4-5: Raum- und Zulufttemperaturen bei typischen Wärmegewinnen [11] [eigene]	71
Tabelle 4-6: Resultierende Raumlufftemperaturen	74
Tabelle 5-1: Kühllast und resultierende Raumtemperatur [3]	77
Tabelle 6-1: Messpunkte Fernwärme	81
Tabelle 7-1: Auslegungstemperaturen [3] [1] [17]	96
Tabelle 9-1: Abkürzungen	130
Tabelle 9-2: Lateinische Formelzeichen	130
Tabelle 9-3: Griechische Formelzeichen	131
Tabelle 9-4: Planer, Ausführende Projektbeteiligte	140

9.4 Detailauswertungen

9.4.1 Carpetplots Fernwärmemetemperaturen

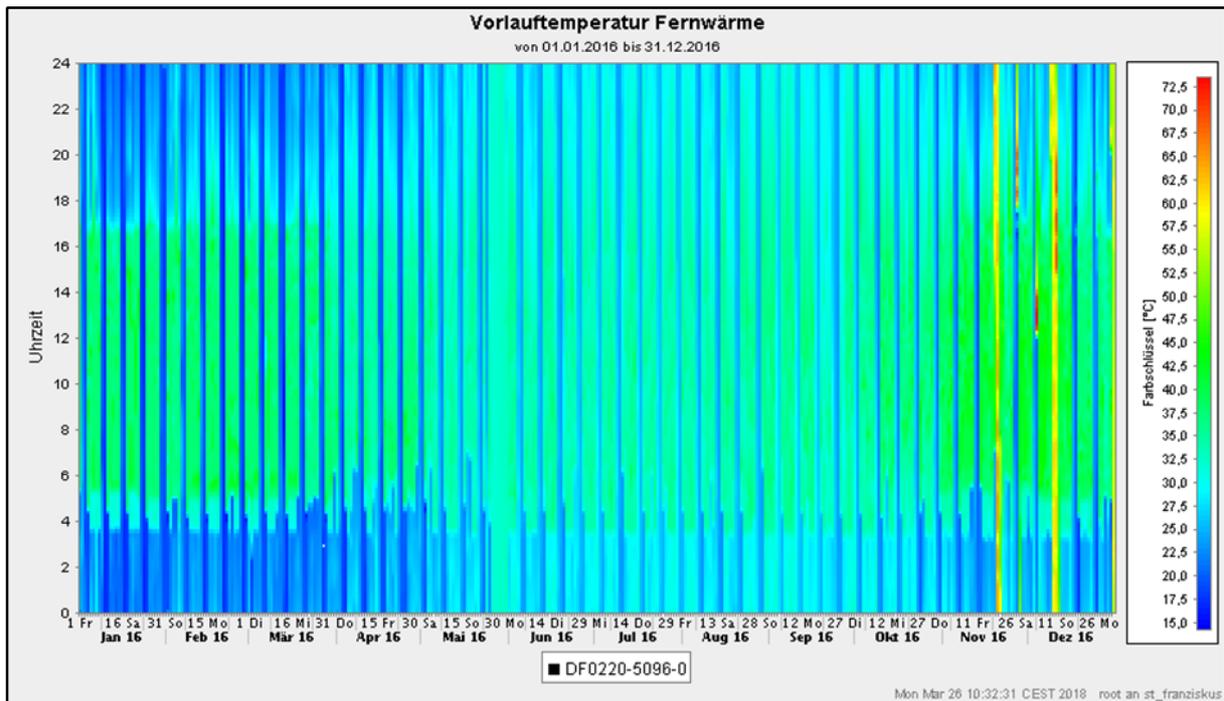


Abbildung 9-1: Fernwärme - Vorlauftemperatur Carpetplot 2016

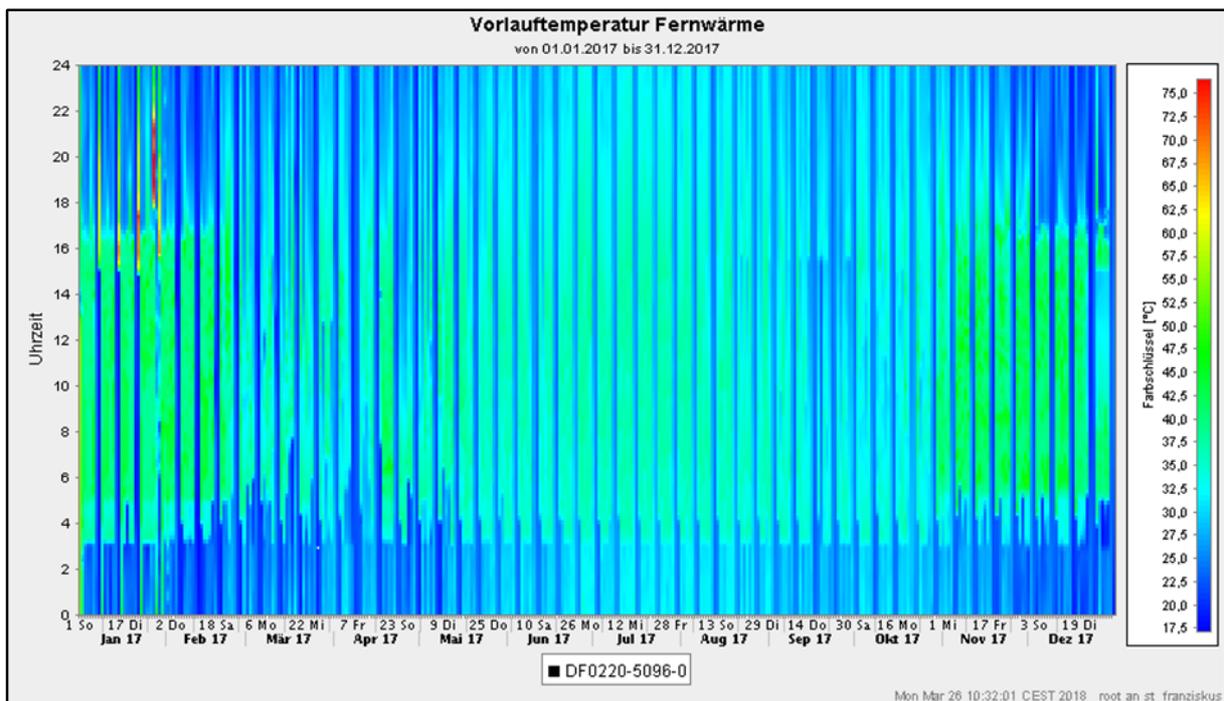


Abbildung 9-2: Fernwärme - Vorlauftemperatur Carpetplot 2017

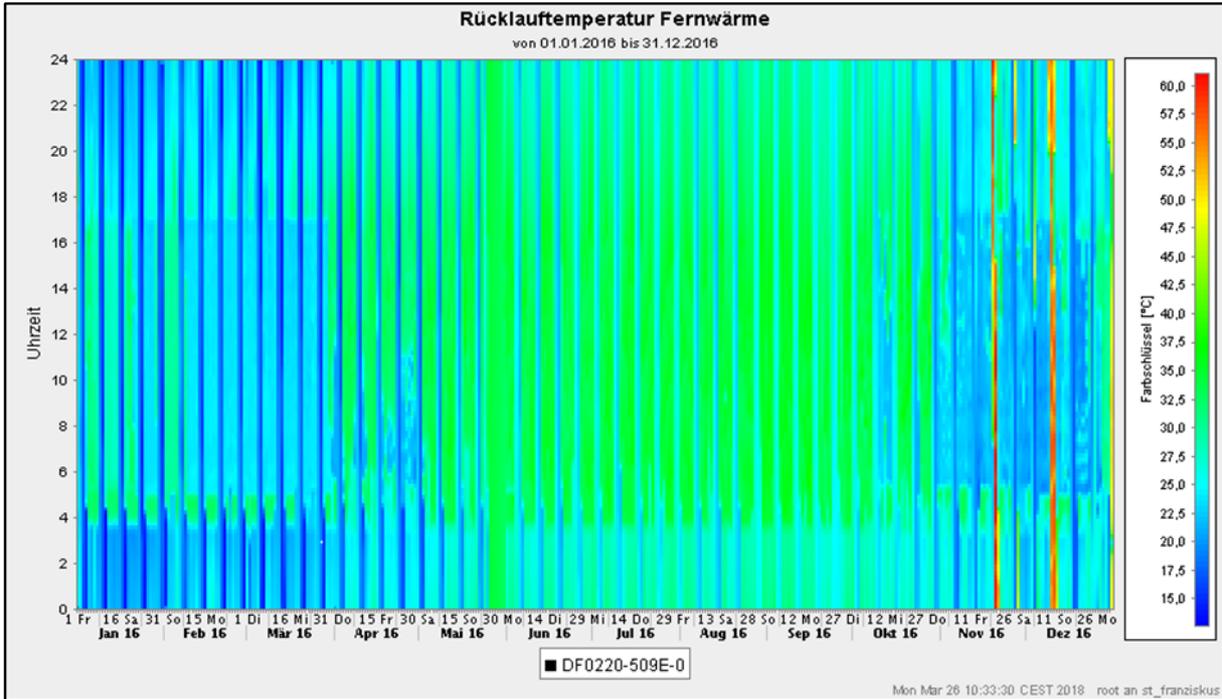


Abbildung 9-3: Fernwärme - Rücklauftemperatur Carpetplot 2016

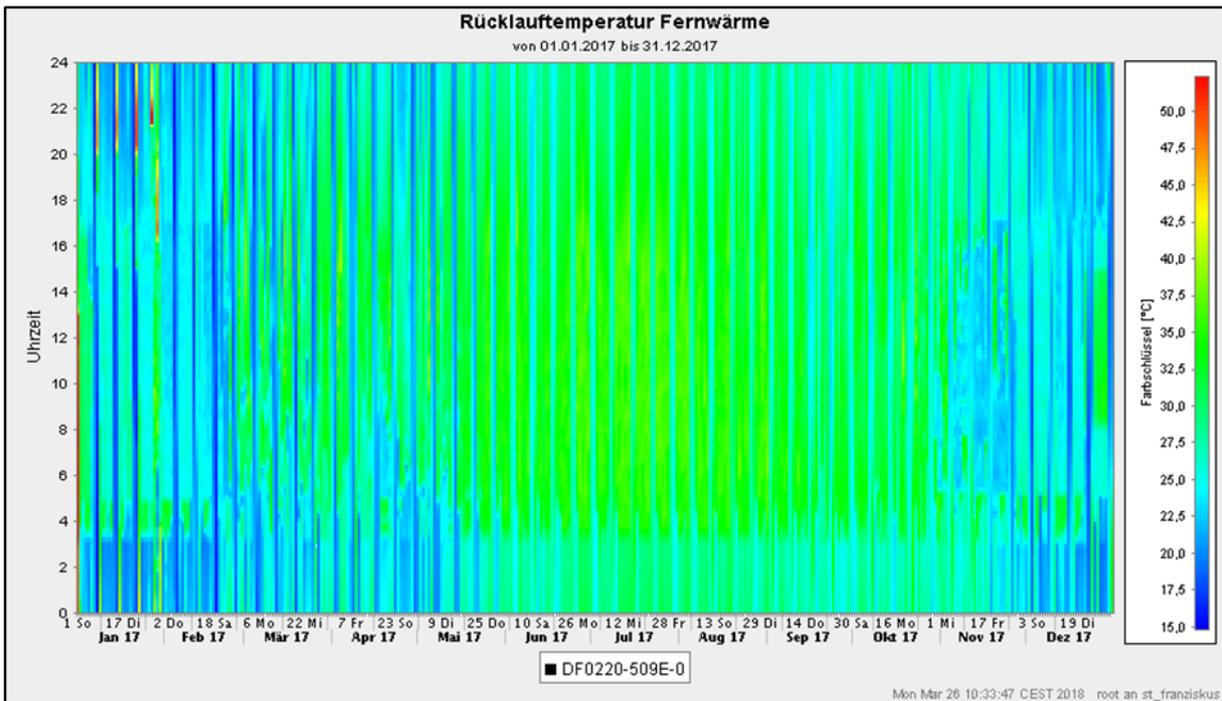


Abbildung 9-4: Fernwärme - Rücklauftemperatur Carpetplot 2017

9.4.2 Carpetplots Pumpen

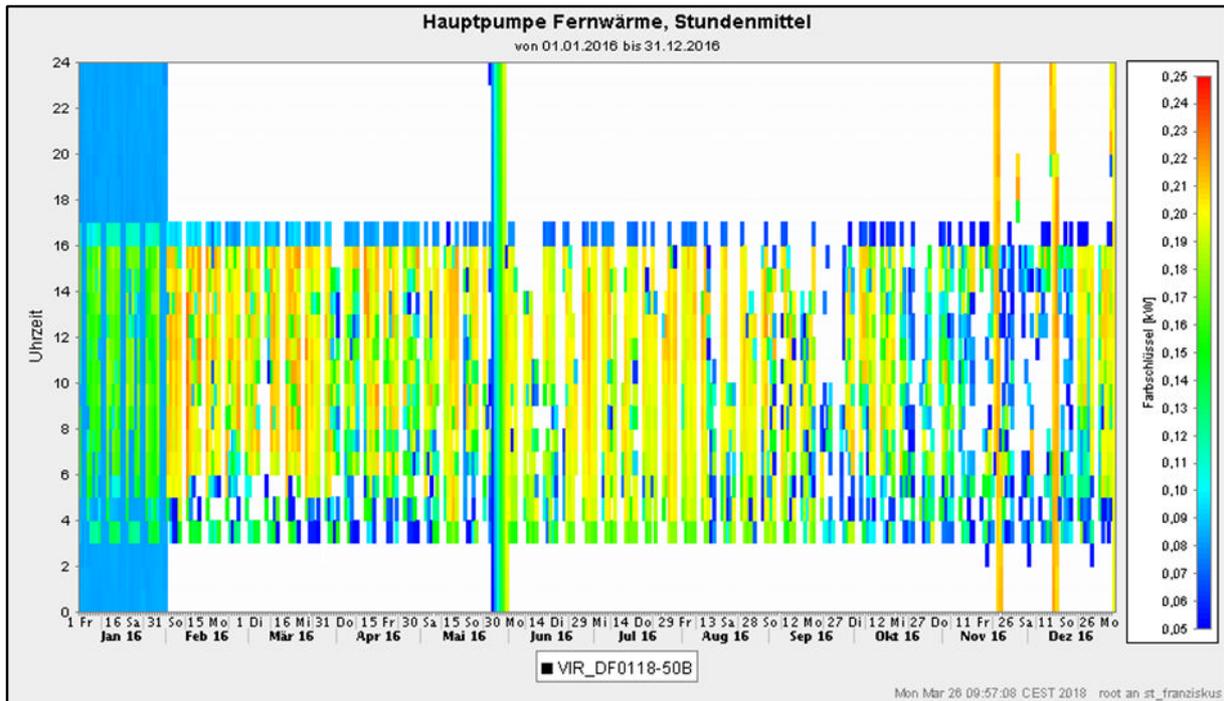


Abbildung 9-5: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – Stundenwerte – 2016

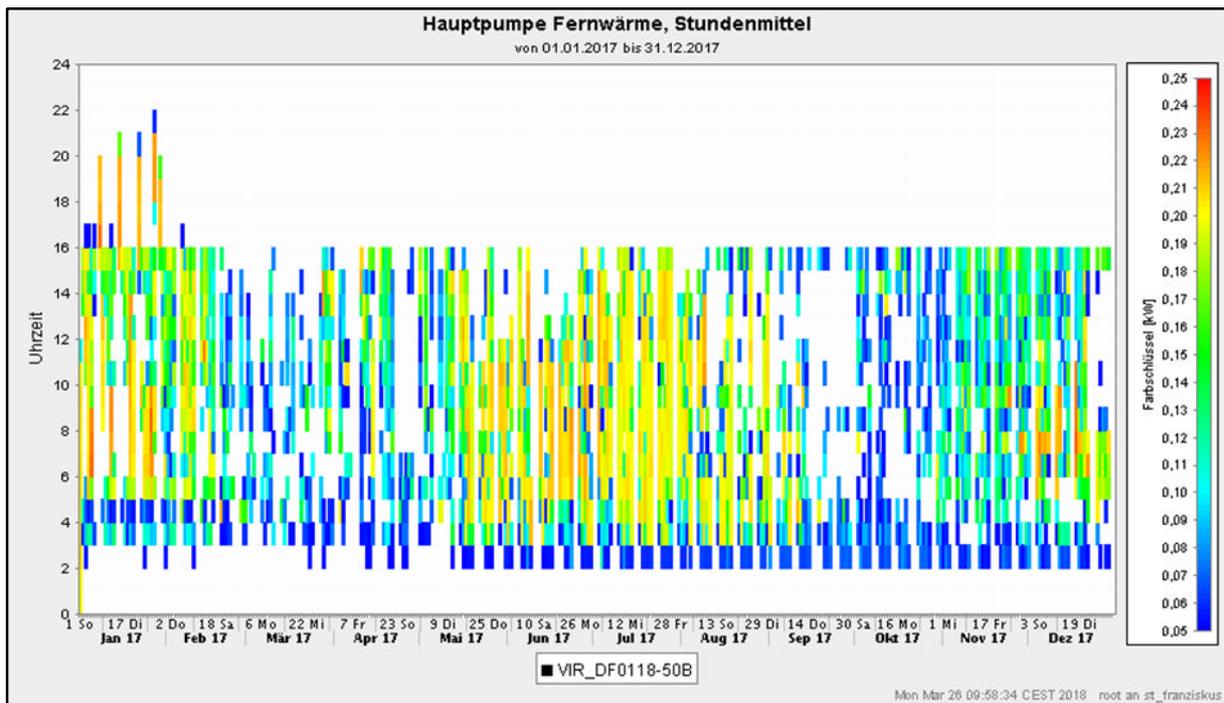


Abbildung 9-6: Carpetplot – Hauptfernwärmepumpe – Stundenwerte – 2017

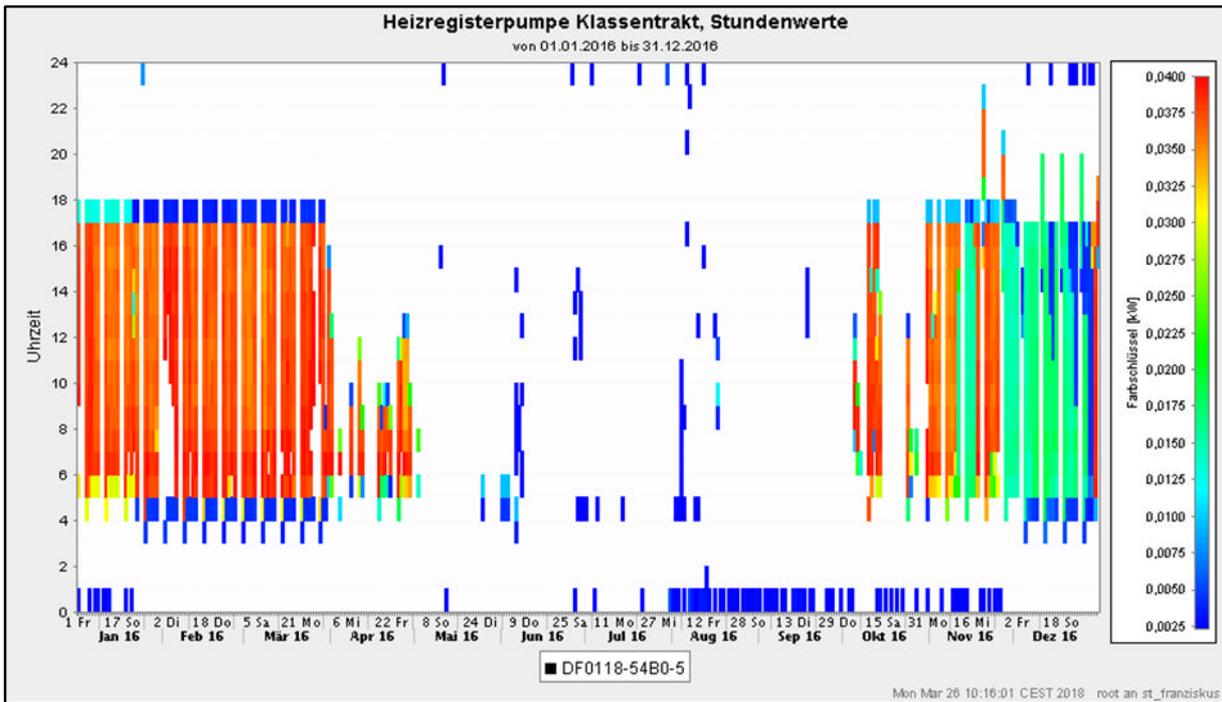


Abbildung 9-7: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – Stundenwerte – 2016

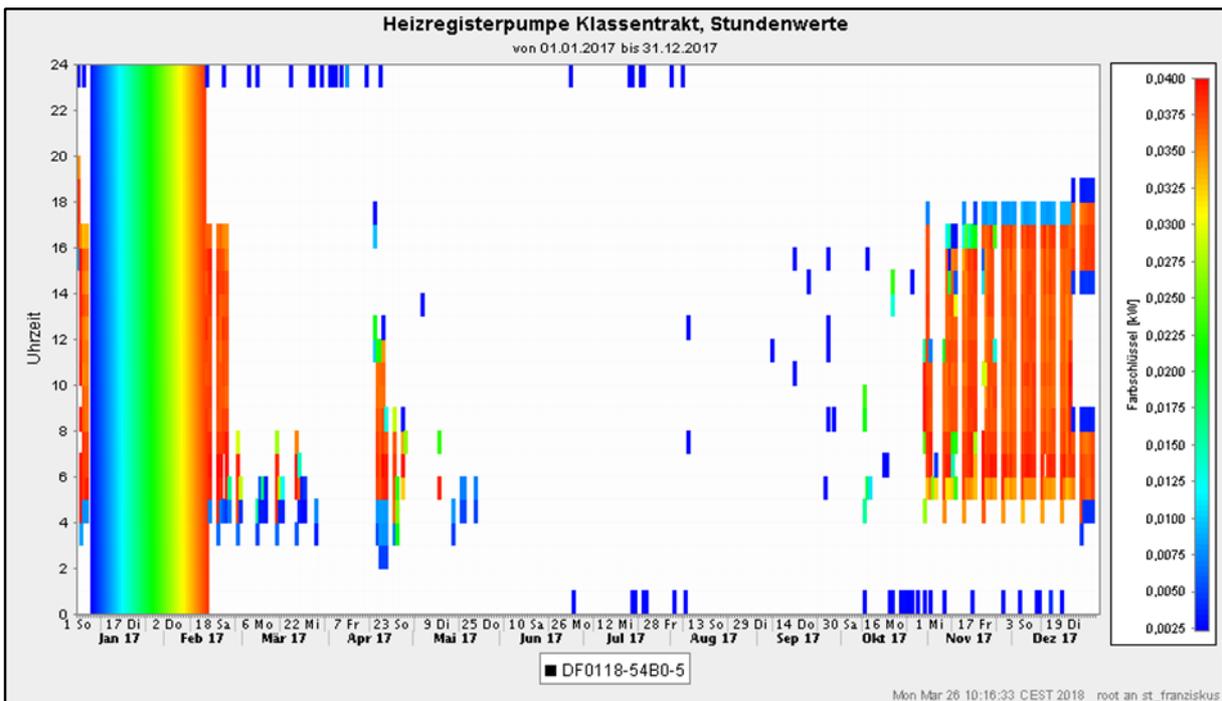


Abbildung 9-8: Carpetplot – Pumpe Klassentrakt – Stundenwerte – 2016

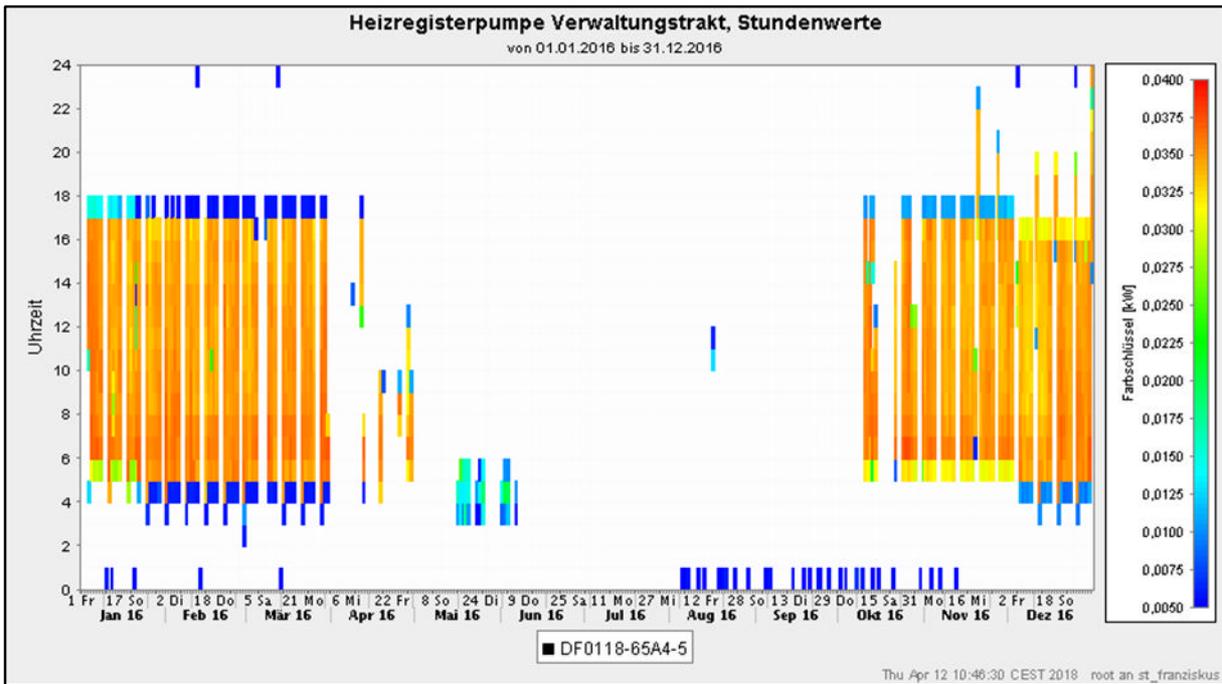


Abbildung 9-9: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – Stundenwerte – 2016

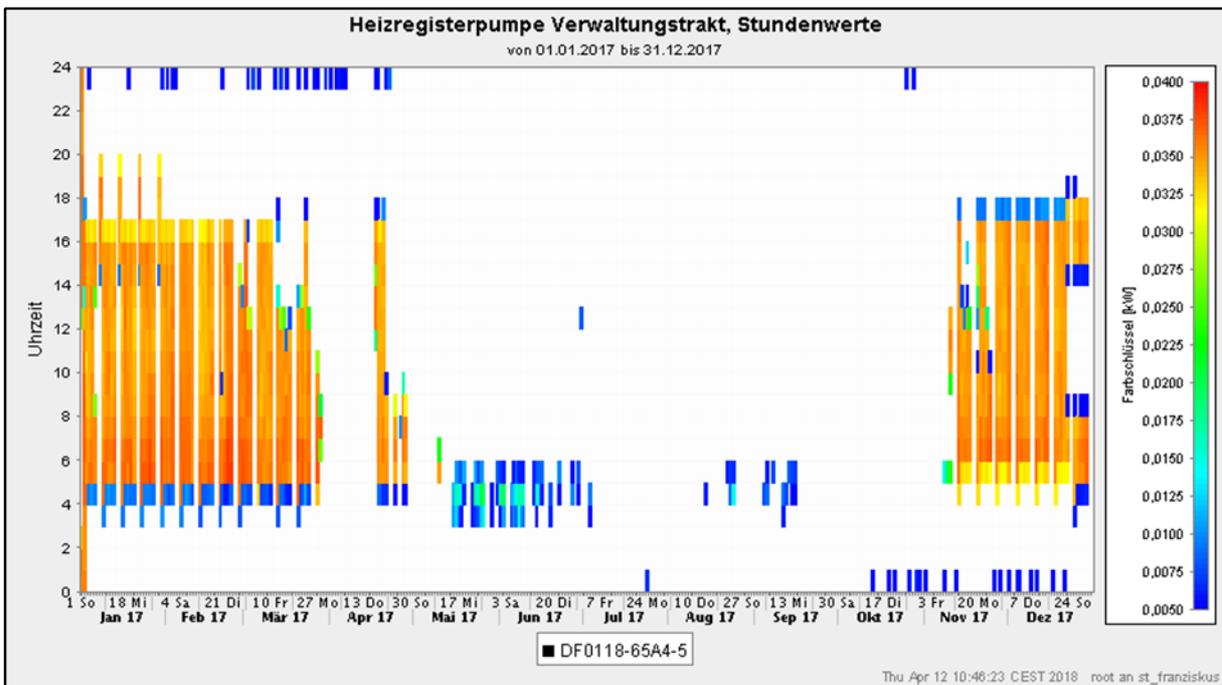


Abbildung 9-10: Carpetplot – Pumpe Verwaltungstrakt – Stundenwerte – 2017

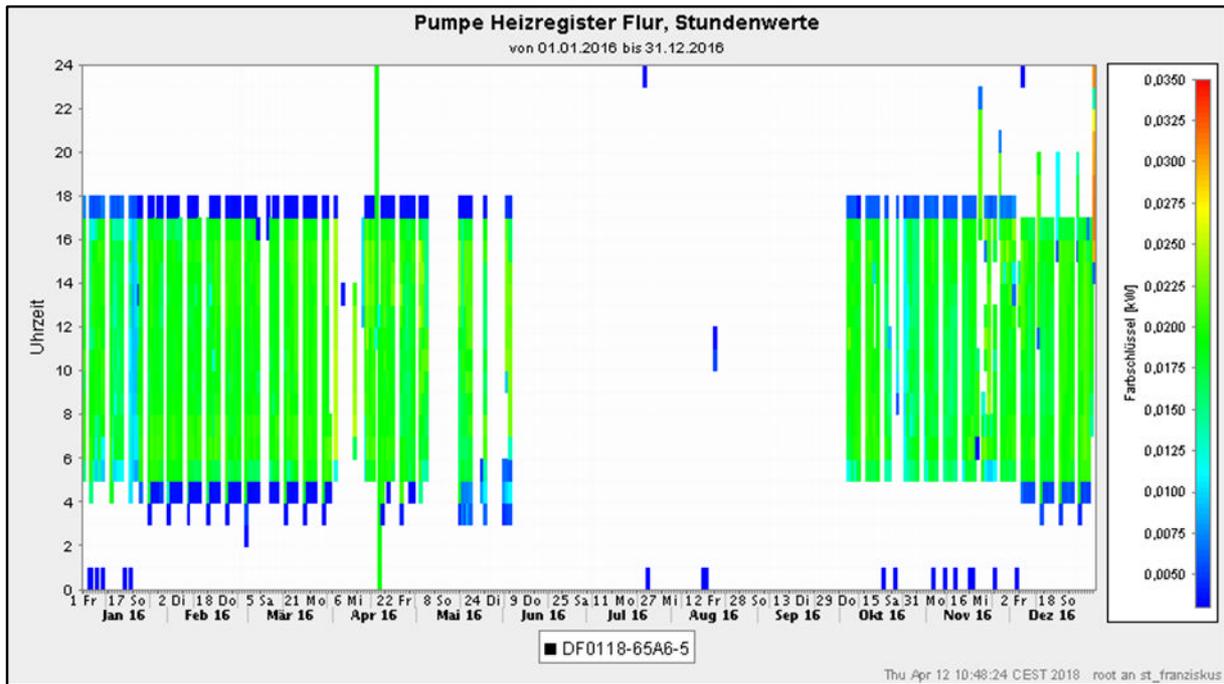


Abbildung 9-11: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – Stundenwerte – 2016

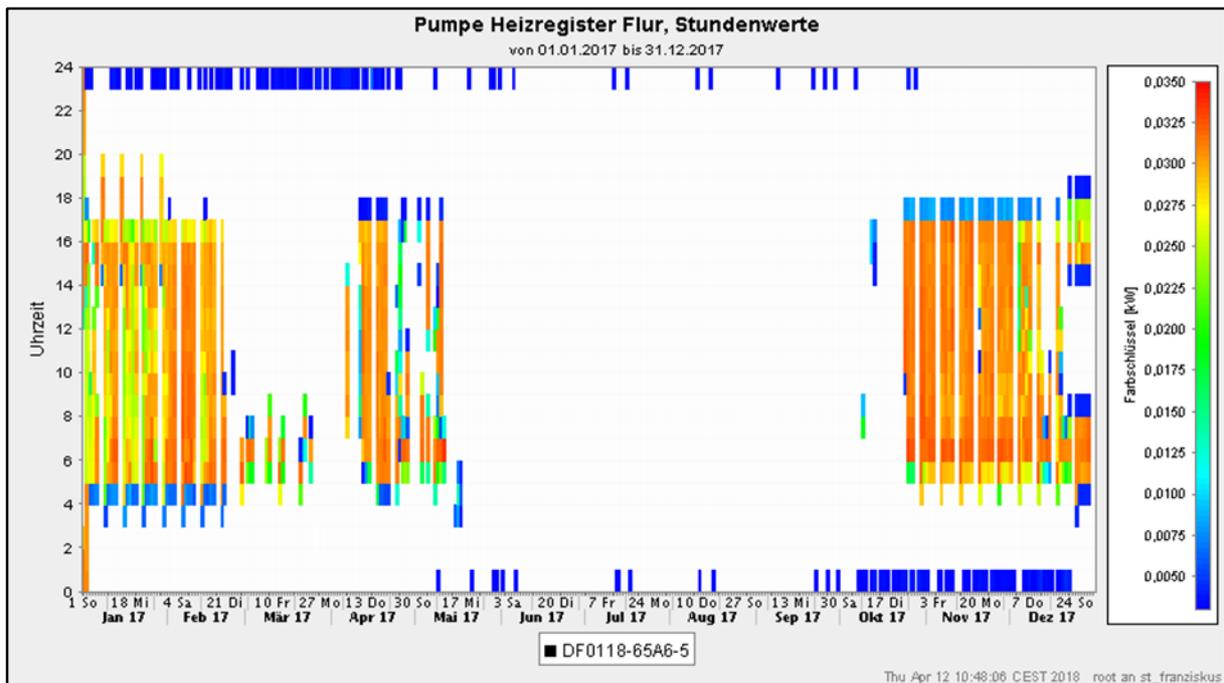


Abbildung 9-12: Carpetplot – Pumpe Flurnachheizung – Stundenwerte – 2017

9.5 Planer, Ausführende, Projektbeteiligte

Tabelle 9-4: Planer, Ausführende Projektbeteiligte

Kurz	ausführliche Angabe	Gewerk/Verantwortlichkeit
APW	APW Heizung und Sanitärbaubau GmbH Herr Petersohn Hauptstraße 9 04288 Leipzig	TGA, Ausführung
EVH	EVH GmbH Bornknechtstraße 5 06108 Halle	Fernwärme, Energieversorger
GEDES	Gedes e.V. Herr Döring Promenadenring 8 02708 Löbau	Messtechnik, Ausführung
HOLLENBACH	Sachverständigenbüro Herr Hollenbach Karlstraße 14 39261 Zerbst	Projektsteuerer
LUNGWITZ	Lungwitz GmbH Herr Lungwitz Matthiasstr. 23 39122 Magdeburg	Küchenplanung
N&S	Ing.-Büro Naumann u. Stahr GbR Herr Naumann, Herr Reichel, Herr Stahr Sommerfelder Straße 11 04299 Leipzig	TGA, Planung (zu Beginn)
SETSOLAR	SET Solar Energie Technik GmbH Herr Dietel Hauptstraße 29 09477 Schmalzgrube	Solarthermie, Hersteller und Ausführung
TUK	Theurich+Klose Ingenieurgesellschaft mbH Herr Gierlich, Herr Adolf, Herr v. Goldammer Vahrenwalder Str. 117 30165 Hannover	TGA, Planung (zum Schluss)

9.6 Überblick über separate Anhänge

Als separate Anhänge liegen vor:

- A Pläne und Strangschemen
- B Erläuterungen zur TGA
- C Technische Daten Hydraulik
- D Technische Daten Pumpen
- E Technische Daten Fernwärme
- F Planung Heizlast
- G Planung Kühllast
- H Planung Heizungsrohrnetz