



HEIZLASTBERECHNUNG UND HEIZKÖRPERÜBERPRÜFUNG

Projekt	Inda-Gymnasium Aachen
Ort	Gangolfsweg 52
Datum	20. Februar 2024

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG.....	3
2	GRUNDLAGEN.....	4
2.1	OBJEKT	4
2.1.1	NUTZUNG	8
2.1.2	BESTEHENDE WÄRMEVERSORGUNG	8
2.1.3	WÄRMEVERTEILUNG	9
2.1.4	VERBRAUCH	9
3	HEIZLASTBERECHNUNG.....	14
3.1	SCHULBAU 1973.....	14
3.2	NEUBAU	15
3.3	TURNHALLE.....	16
4	HEIZKÖRPERÜBERPRÜFUNG.....	17
4.1	SCHULBAU 1973.....	17
4.1.1	NÄHERE BETRACHTUNG EINES BEISPIELRAUMES.....	18
4.1.2	DARSTELLUNG EINES BEISPIELHEIZKREISES	19
4.2	NEUBAU	21
4.2.1	NÄHERE BETRACHTUNG EINES BEISPIELRAUMES.....	21
4.2.2	DARSTELLUNG EINES BEISPIELHEIZKREISES	22
4.3	TURNHALLE.....	23
4.3.1	NÄHERE BETRACHTUNG EINES BEISPIELRAUMES.....	24
4.3.2	DARSTELLUNG EINES BEISPIELHEIZKREISES	25
5	ZUSAMMENFASSUNG	27
6	ANHANG	28
6.1	TABELLEN DER HEIZKÖRPER UND HEIZLEISTUNG PRO RAUM.....	28
6.2	DIAGRAMME AUS DATEN DER GEBÄUDEAUTOMATION	28
6.2.1	SCHULBAU (\$11).....	28
6.2.2	ERWEITERUNGSBAU (\$014)	33

1 AUFGABENSTELLUNG

Zurzeit wird die Wärmeversorgung des Inda-Gymnasiums durch ein Gas-Blockheizkraftwerk (BHKW) und zwei Gas-Brennwertkessel sichergestellt. Im Rahmen dieser Untersuchung soll eine belastbarere Aussage getroffen werden, ob die vorhandene Wärmebereitstellung über Heizkörper, Fußbodenheizung und Lüftung, in Verbindung mit einer energetischen Sanierung der Gebäudehülle geeignet ist für den Betrieb von Wärmepumpen bei Temperaturen unter 50-55°C Vorlauftemperatur. Dies dient als Grundlage für die Frage, ob eine Beheizung mittels Wärmepumpe effizient gestaltbar ist.

Es handelt sich um ein Bestandsgebäude aus dem Jahre 1973, ergänzt durch einen Neubau im Jahre 2005. Durch die nachträglich erfolgten Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle des Gebäudes aus den 80er Jahren könnte bei unveränderter Verteil- und Heizkörpersituation eine deutliche Reduzierung der notwendigen Vorlauftemperaturen in der Heizungszentrale möglich sein.

Anhand vorliegender Pläne und Daten (U-Wert) aus den Sanierungen wird eine Heizlastberechnung nach DIN EN12831-1:2017-09 für die Gebäude durchgeführt. Darauf aufbauend wird untersucht, bei welchen Vor- und Rücklauftemperaturen die vorhandenen Heizkörper in der Lage sind die Heizlast des Raumes zu decken. In einem zweiten Schritt werden diese Ergebnisse mit geloggten Trenddaten der Gebäudeleittechnik verglichen und analysiert. Weiterhin werden Verbrauchsdaten aus dem Portal „E2Watch“ der Stadt Aachen herangezogen und in einen Zusammenhang gesetzt.

2 GRUNDLAGEN

Für die Erstellung dieses Berichts sind folgende vorliegende Pläne und Dokumente herangezogen worden, einige dieser Pläne und Dokumente stammen aus dem Projekt der Lüftungserneuerungen aus dem Jahre 2016:

Pläne

- Grundriss Schulbau UG (DWG u. PDF)
- Grundriss Schulbau EG (DWG u. PDF)
- Grundriss Schulbau 1.OG (DWG u. PDF)
- Grundriss Schulbau 2.OG (DWG u. PDF)
- Grundriss Schulbau DG (DWG u. PDF)
- Ansicht Schulbau G1 (DWG u. PDF)
- Ansicht Schulbau G2 (DWG u. PDF)
- Ansicht Schulbau G3 (DWG u. PDF)
- Ansicht Schulbau S (DWG u. PDF)
- Ansicht Schulbau V (DWG u. PDF)
- Grundriss Turnhalle EG (PDF)
- Revisionszeichnung Heizung KG Neubau (PDF)
- Revisionszeichnung Heizung EG Neubau (PDF)
- Revisionszeichnung Heizung 1.OG Neubau (PDF)
- Revisionszeichnung Heizung 2.OG Neubau (PDF)

Dokumente

- Bauantrag Nutzungserweiterung der Sporthalle (04.08.2020)
- Bericht über die Prüfung raumluftechnischer Anlagen (30.03.2023)
- Entwurf Aachener Energie Standard Sanierung – 2022 (Stand_230824)
- Heizlastberechnung Neubau (18.02.2009)
- Anlagenschemata der GLT (04.12.2023)
- Liste der Datenpunkte der GLT (04.12.2023)
- Bauphysikalische Angaben zur Hüllflächensanierung des Schulbaus von Fr. Reiners (05.10.2023)

Daten

- Datentrends ausgewählter Datenpunkte (18.12.2023)
- Zugang E2Watch Daten (aktuell)

2.1 OBJEKT

Die Liegenschaft besteht aus insgesamt 3 alleinstehenden Gebäuden: der Turnhalle und dem Schulgebäude aus dem Jahr 1973 sowie dem Neu- (bzw. Erweiterungs-) bau aus dem Jahr 2005. Für die nachfolgende Betrachtung wurde das zusammenhängende Schulgebäude in 5 Abschnitte gegliedert, für welche jeweils eine Heizlastberechnung nach DIN EN12831-1:2017-09 durchgeführt wurde.

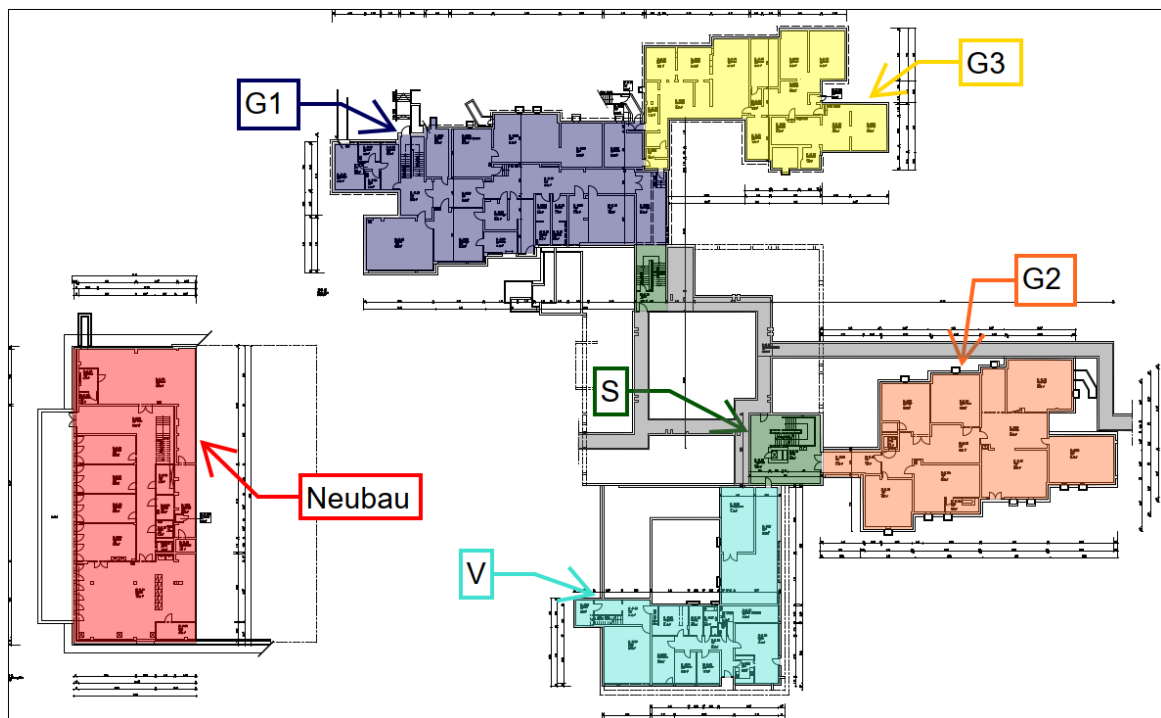


Abbildung 1: Lageplan Untergeschoss

Das Schulgebäude ist nur teilweise unterkellert. Im Keller des Verwaltungstraktes (V) befindet sich die Hausmeisterwohnung, welche aufgrund der Hanglage der Liegenschaft ebenerdig ist. Die Keller unter den Trakten „G2“ und „G3“ werden hauptsächlich als Lager- bzw. Kellerräume genutzt. Nur die Kellerräume des Traktes „G1“, sowie des Neubaus werden teilweise für den Schulbetrieb genutzt.

Ein unterirdischer Kriechkeller verbindet die Gebäude der Schule und verläuft zudem ringförmig in Trakt „S“. Er dient als Installationsschacht für die Fernwärmeleitungen, welche die in der Turnhalle

bereitgestellte Wärme auf die übrigen Gebäude verteilen. Die Installationsschächte sind unbeheizt, vernachlässigbar klein und daher nicht Bestand dieser Untersuchung.

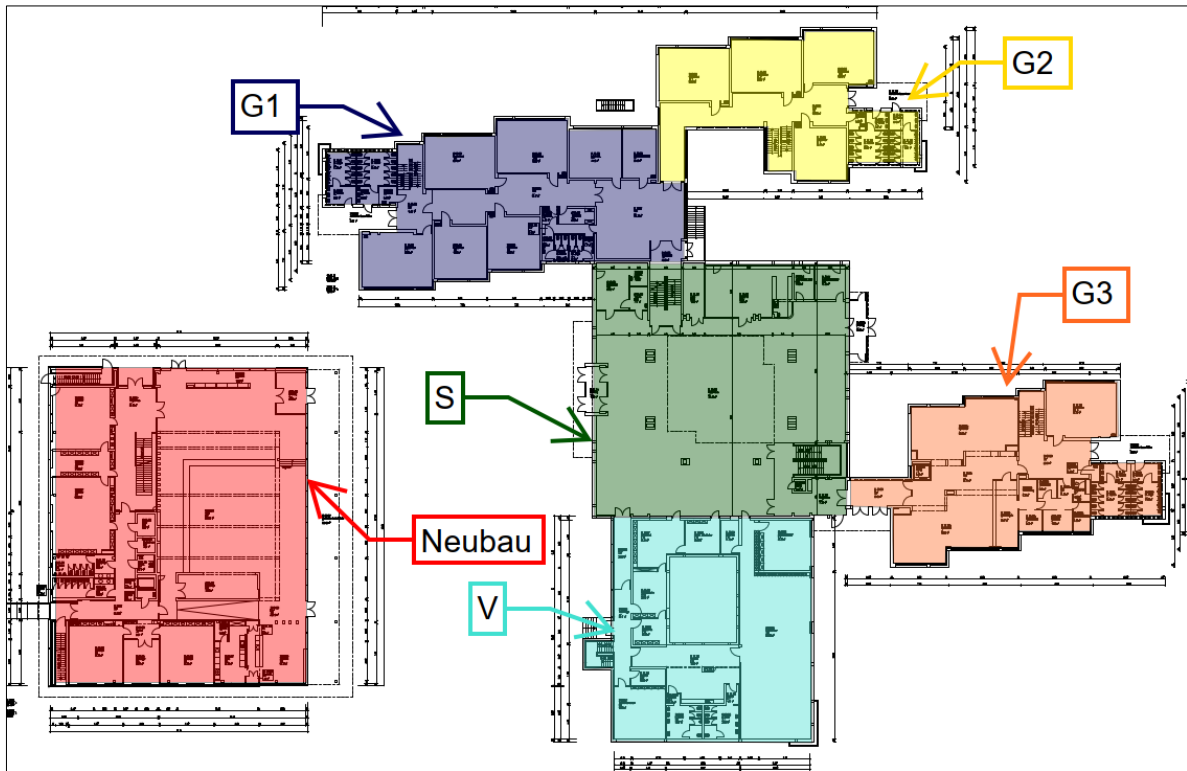


Abbildung 2: Lageplan Erdgeschoss

In den Gebäudeteilen „G1“ und „G2“ befinden sich Klassenräume. Das Erdgeschoss des Gebäudeteils „G3“ wird von der Mensa, sowohl als Speisesaal, als auch zur Essensvorbereitung, genutzt. Im Erdgeschoss des Gebäudeteils „V“ ist die Verwaltung und das Lehrerzimmer. In dem Gebäudeteil „S“ befinden sich die Bereiche Sonderklassen und pädagogisches Zentrum. Eine sog. Pausenhalle durchstreckt sich durch die gesamten 3 Etagen dieses Gebäudeteils, wird aber nicht mehr regelmäßig als Aula genutzt.

Im Erdgeschoss des Neubaus befinden sich neben Klassenräumen die Aula, sowie ebenfalls eine Cafeteria. Im 1.OG befindet sich ein Aufenthaltsbereich der sich über das 1. Und 2. Obergeschoss erstreckt.

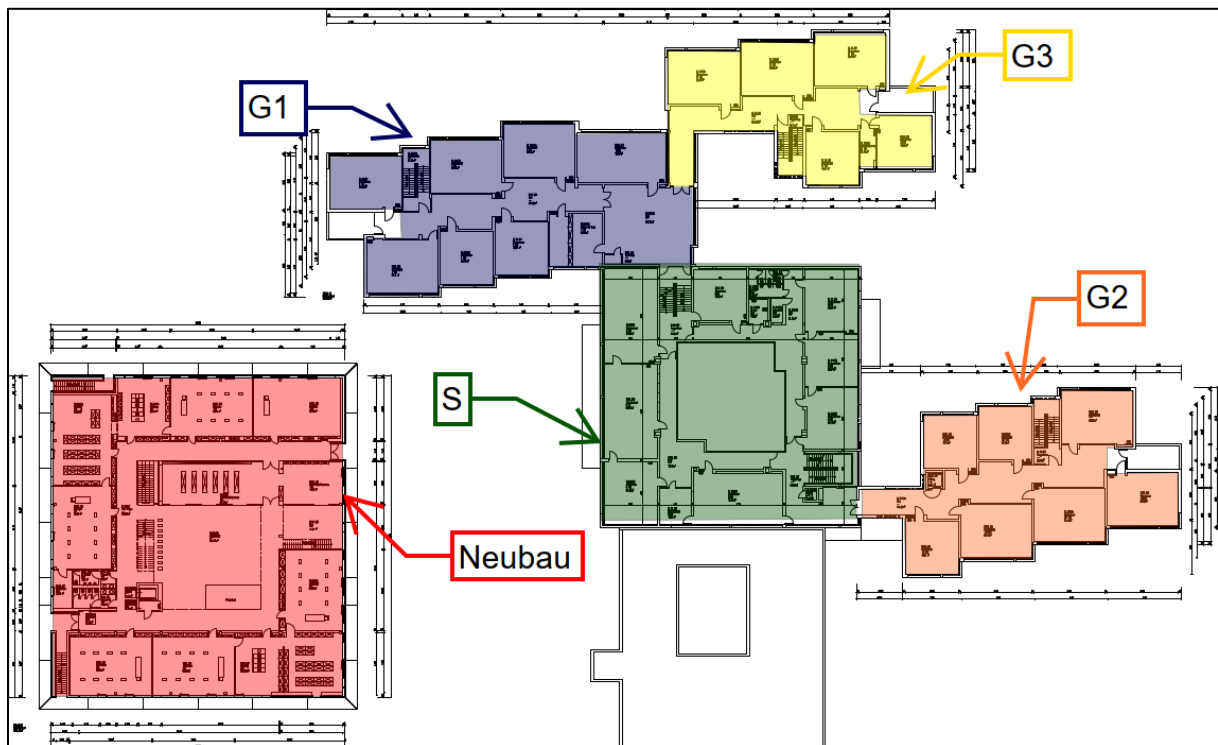


Abbildung 3: Lageplan 1. Obergeschoss

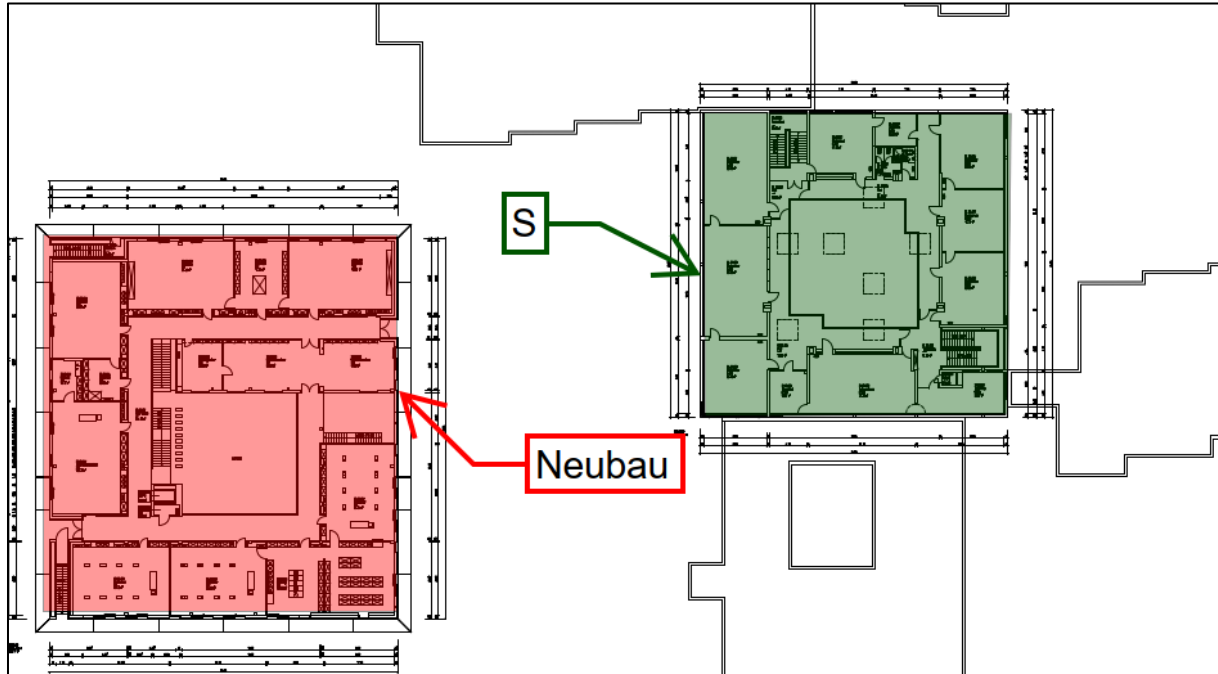


Abbildung 4: Lageplan 2. Obergeschoss

2.1.1 NUTZUNG

Das Gebäude wird für den Schulbetrieb des Inda-Gymnasiums genutzt. Dies umfasst einen regulären Schulbetrieb von 8 bis 13 Uhr, sowie den Nachmittagsunterricht bis 16:45. Die Hausmeisterwohnung wird ganzjährig bewohnt.

Die Turnhalle wird während der Schulzeiten für den Schulbetrieb genutzt. Außerhalb der Schulzeiten nutzen diverse Vereine die Turnhalle. An Wochenenden wird die Halle regelmäßig für (Sport-)Veranstaltungen genutzt, weswegen die Turnhalle auch als Veranstaltungsstätte angesehen wird. Laut Bauantrag vom 04.08.2020 beträgt die maximale Sitzplatzanzahl 540 Stück.

Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral in der Heizzentrale mit einem Warmwasserspeicher von 1500 Litern. Versorgt werden die Bereiche Turnhalle und Mensa. In dem restlichen Bereich der Schule erfolgt die Warmwasserbereitung dezentral über elektrische Durchlauferhitzer.

2.1.2 BESTEHENDE WÄRMEVERSORGUNG

Die hauptsächliche Wärmeerzeugung befindet sich in einem ebenerdigen, an der Turnhalle anliegenden Raum. Außerhalb diesem, in einem Container befindet sich das BHKW. Von dem Technikraum der Turnhalle laufen Fernwärmeleitungen durch einen Kriechkeller zu den Unterverteilungen in den Schulgebäuden. Die Bereiche der Verwaltung und der Hausmeisterwohnung werden durch einen eigenen Heizkessel mit einer gesonderten Gasversorgung beheizt. Dieser Heizkessel befindet sich in dem Heizungsraum der Hausmeisterwohnung.

Der primäre Energieträger für die Wärmebereitstellung ist Erdgas. Es kommt ein Blockheizkraftwerk (BHKW) mit 19kW elektrischer und 39kW thermischer Leistung zum Einsatz. Der wesentliche Teil der Heizlast wird von zwei Gas-Brennwertkesseln getragen. Der erste Heizkessel ist vom Typ „Buderus Logano plus SB735“ und besitzt eine Heizleistung von 1200kW, der zweite Kessel ist vom Typ „Buderus Logana GE 615“ und besitzt eine Heizleistung von 740kW.

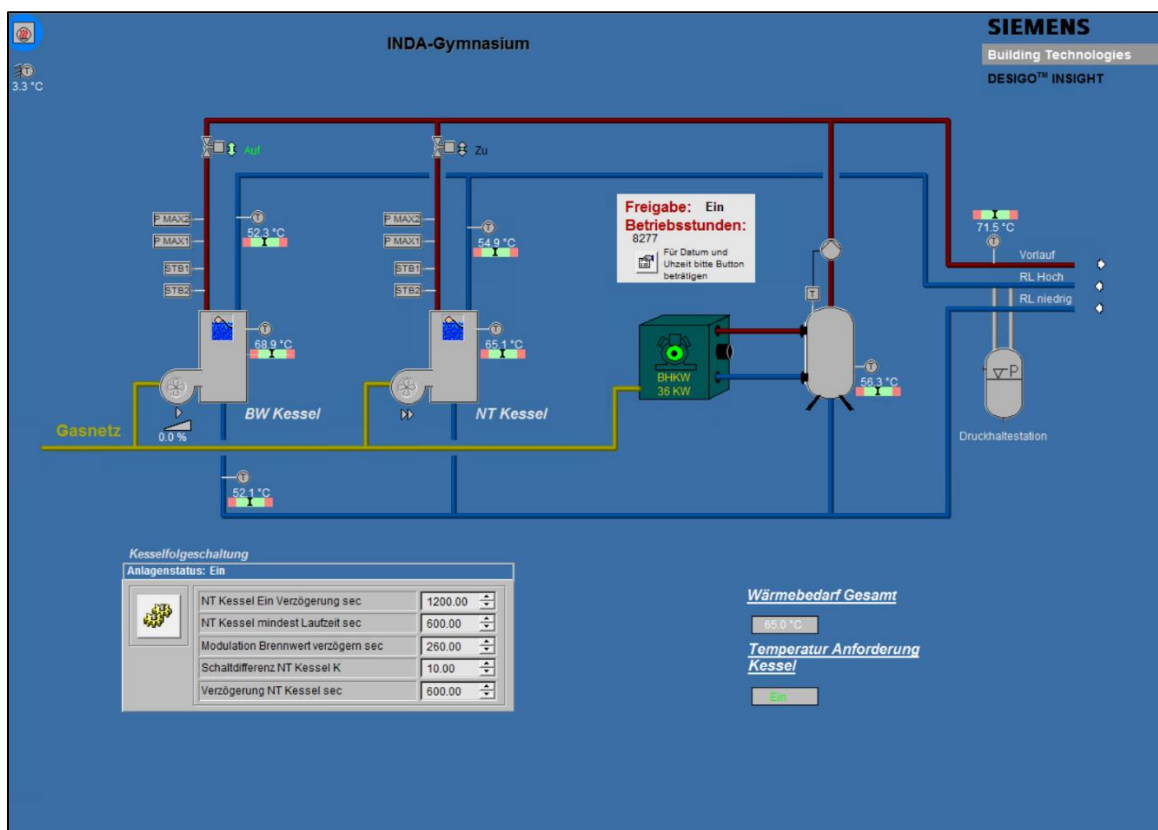


Abbildung 4: Schema Wärmebereitstellung Inda-Gymnasium (aus Visualisierung GLT Stadt Aachen)

2.1.3 WÄRMEVERTEILUNG

Vom Heizungsraum verlaufen die Nahwärmeleitungen in die Technikeller des Schul- und Neubaus. In diesem Kriechkeller sind ebenfalls die Warmwasserleitungen für die Versorgung der Mensa installiert. Der Technikeller des Schulbaus befindet sich unterhalb des „S“-Traktes.

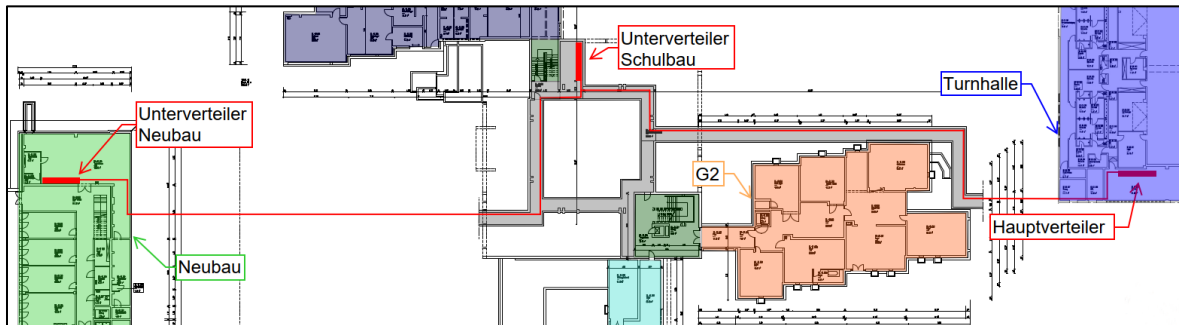


Abbildung 5: Lageplan Nahwärmeleitungen

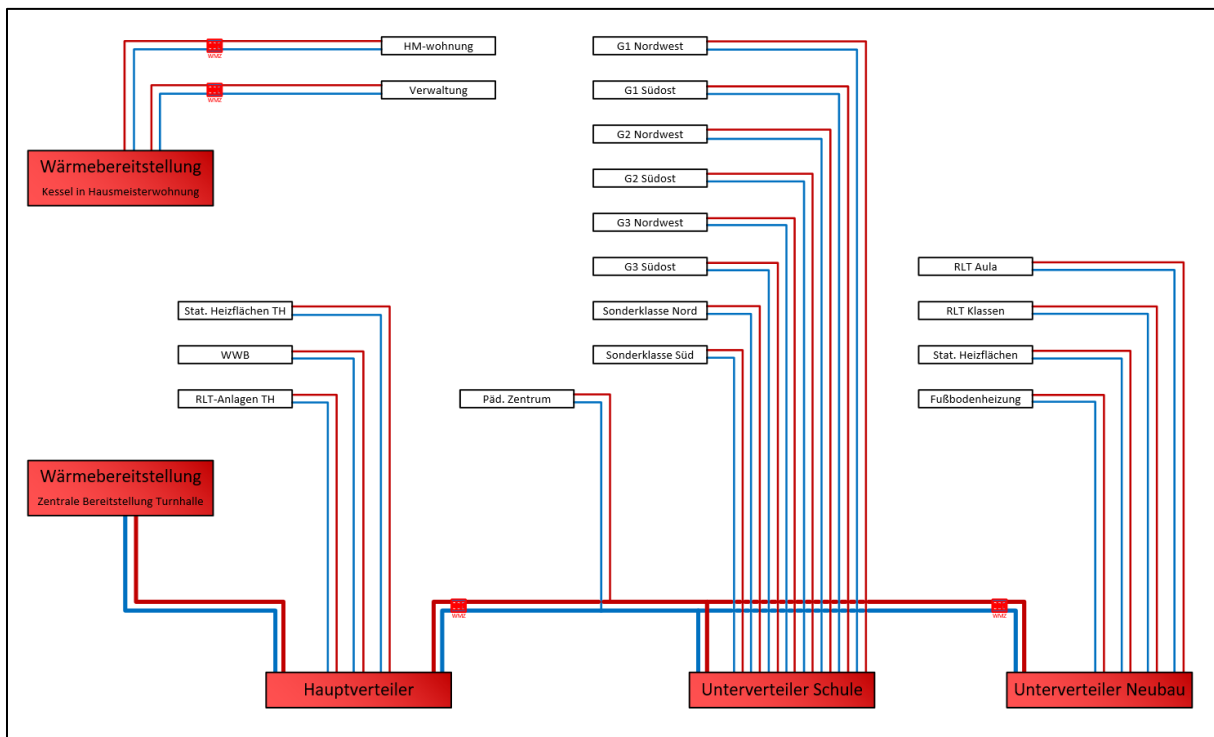


Abbildung 6: Schema Wärmeverteilung

2.1.4 VERBRAUCH

Im nachfolgenden ist der Gesamtgasverbrauch pro Tag für das Kalenderjahr 2022 dargestellt. Die Daten stammen aus den Gaszählerständen des Gaszählers der Hauptversorgung. Dieser zeichnete am Anfang des Jahres in der Einheit Liter und anschließend in Kubikmeter auf. Für eine Vergleichbarkeit wurden diese Werte in kWh (pro Stunde) umgerechnet. Zur Vereinfachung wurde ein Standardbrennwert von 10kWh pro m³ Gas gewählt.

Während dieses Zeitraumes war die Hüllflächensanierung noch nicht vollständig abgeschlossen. Anfang und Ende Februar 2022 wurden die Daten vom Portal „E2Watch“ unregelmäßig erfasst, was zu den Lücken in der Jahreslinie führt.

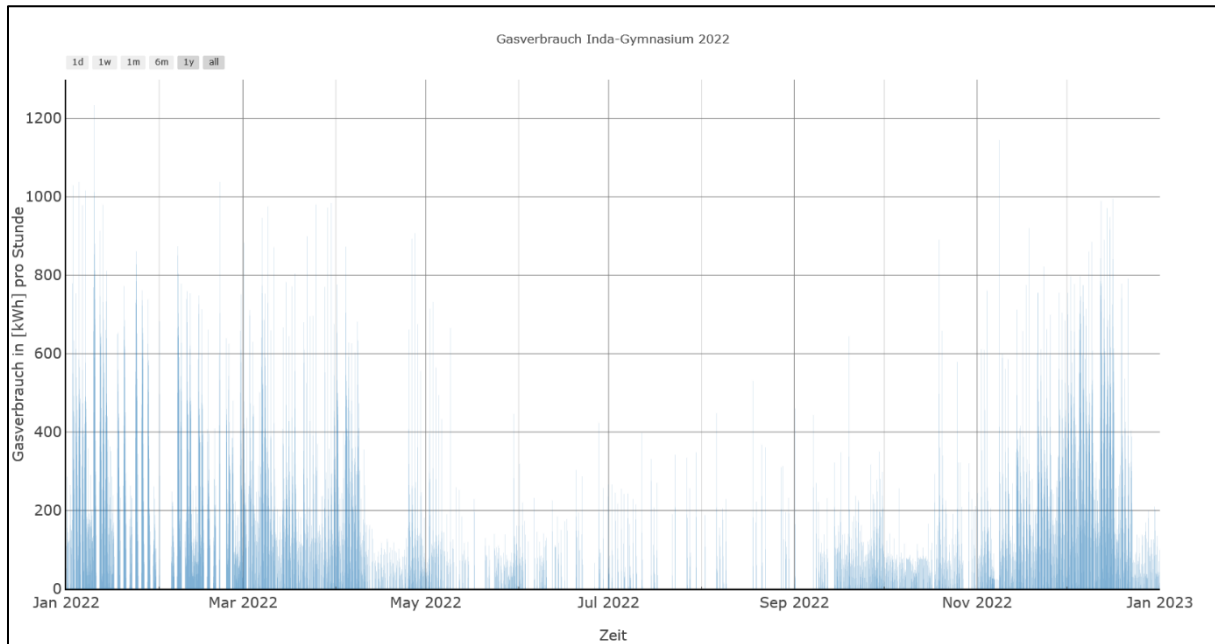


Abbildung 7: Gesamtgasverbrauch – 2022

Es sind deutliche saisonale Schwankungen zwischen Sommer und Winter erkennbar. An den Wochenenden sowie in den Ferien ist eine Reduzierung des Gasverbrauches ebenfalls zu erkennen.

Zudem stehen auch Trends einiger Datenpunkte aus der Gebäudeautomation zur Verfügung. Diese werden von der Stadt Aachen ausschließlich in einem Zeitraum von bis zu 3 Monaten in der Vergangenheit gespeichert. Durch einen Fehler stehen zurzeit keine Daten aus November 2023 zur Verfügung. Für eine nähere Betrachtung werden unter Punkt 4 einige Heizkreise in dem Zeitraum der 49. Kalenderwoche betrachtet. In dieser Woche liegt nach Daten des Deutschen Wetterdienstes die Temperatur zwischen $-0,2^{\circ}\text{C}$ und $10,3^{\circ}\text{C}$ mit insgesamt 6,1 Stunden Sonnenschein und teilweise Sturm.

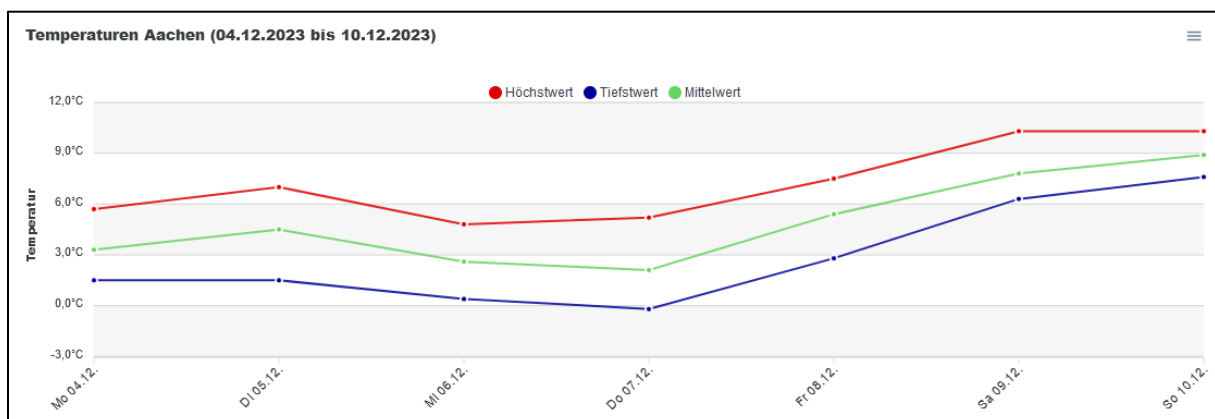


Abbildung 8: Temperaturen Aachen - KW49

Folgende Grafik zeigt die Verbräuche verschiedener Gasmessstellen aus dem E2Watch-System. In blau ist der Zähler „Ga-1428 Hauptversorgung Leistungswert“ dargestellt, welcher den Verbrauch pro Stunde in m^3 aufzeichnet. Die Zähler „Ga-746-BHKW“ und „Ga-747-Heizkessel für Verwaltungstrakt und Hausmeister“ werden von E2watch alle 5 Minuten in Litern erfasst. Dies wurde für eine Vergleichbarkeit in

Verbräuche pro Stunde umgerechnet. Zur Vereinfachung wurde ebenfalls ein Standardbrennwert von 10kWh pro m³ Gas gewählt.

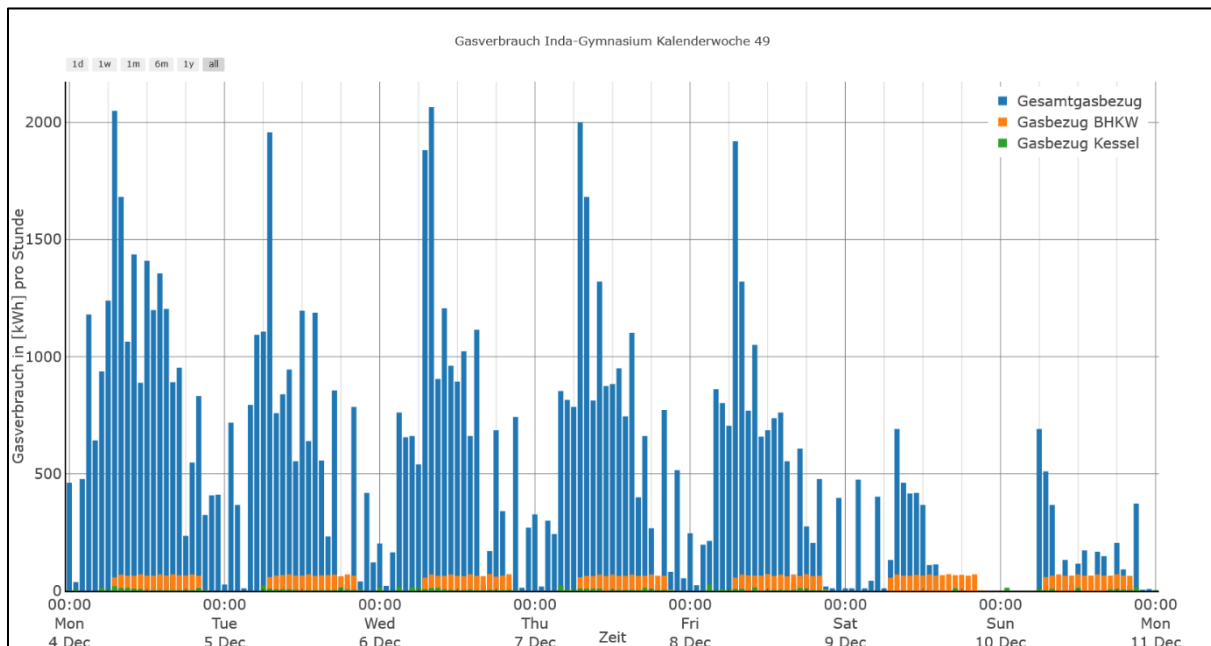


Abbildung 9: Gasverbrauch -KW49

Der Gasverbrauch liegt unter der Woche während des Schulbetriebes maximal bei 2 MWh im Zeitraum zwischen 6 und 8 Uhr; danach fällt der Gasverbrauch unter 1,5 MWh und in den Abend und Nachtstunden liegt er größtenteils unter 0,5 MWh.

Das BHKW läuft in den Zeiten zwischen 7 und 20 Uhr konstant mit einem Gas-Bezug von 65-70 kWh pro Stunde. In der Abbildung 9 ist in Grün der Verbrauch des Heizkessels (Ga-747) dargestellt und fast nicht erkennbar. Dies liegt an deren geringen Bezug. In der gesamten 49. Kalenderwoche lag der Gas-Bezug des Heizkessels für die Hausmeisterwohnung und den Verwaltungstrakt bei 765 kWh.

Über das Portal E2Watch stehen noch andere Verbrauchsdaten zur Verfügung, welche nachfolgend für die 49. Kalenderwoche dargestellt werden.

Es handelt sich um Wärmemengenzähler an den verschiedenen Nahwärmeleitungen zu den Unterverteilungen des Schulbaus und des Neubaus, sowie den Heizkreisen der Verwaltung und der Hausmeisterwohnung. Die Nahwärme der Hausmeisterwohnung wird hier nicht dargestellt, da diese vernachlässigbar klein ist.

Diese werden von den Wärmemengenzähler im 5-Minutentakt erfasst. Um diese mit den anderen Daten vergleichbar zu machen, wurden sie mit 12 multipliziert, um einen Wert in kWh zu erhalten. Die minimale Auflösung der Wärmemengenzähler bei den Unterverteilungen des Schulbaus und des Neubaus ist 120 kWh, bei dem Heizkreis der Verwaltung 12kWh. Dies ist eine zu geringe Auflösung für fundierte Aussagen. Zwischen Samstag, 12 Uhr und Sonntag 0:00 wurden die Daten nicht von dem E2Watch-System erfasst.

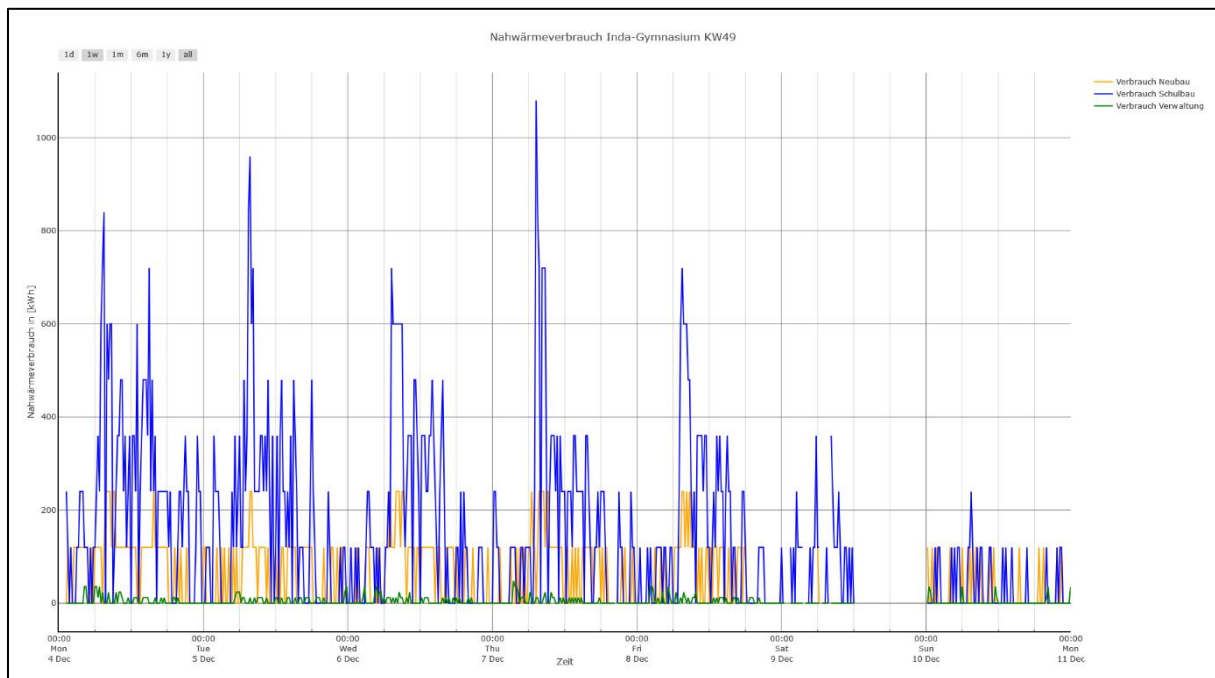


Abbildung 10: Nahwärmeleitungen - KW49

Dargestellt sind hier in blauer Farbe der Verbrauch des Schulgebäudes, in Orange der Verbrauch des Neubaus, sowie in Grün der Verbrauch der Verwaltung.

Für eine bessere Übersicht wurde aus dieser Woche nun Donnerstag der 7.12. dargestellt.

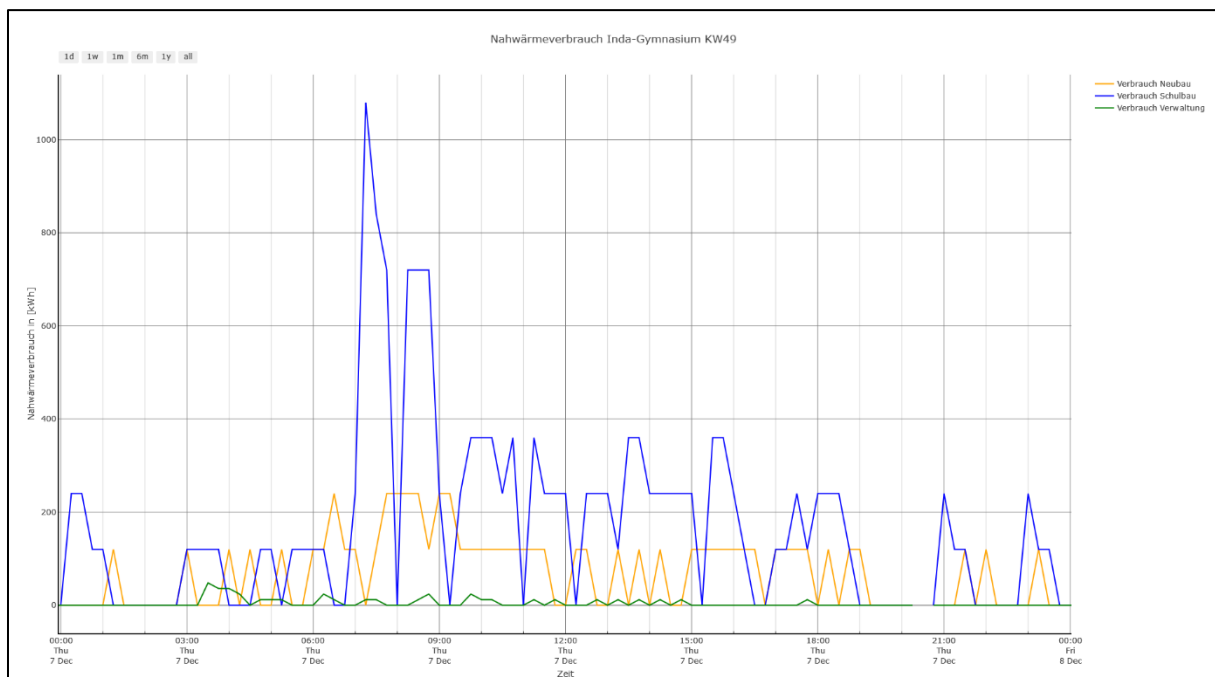


Abbildung 11: Nahwärmeleitungen - 07.12.23

Es sind deutliche Lastspitzen um 6-7 Uhr morgens zu erkennen. Die Nachtabsenkung und das Wochenende können ebenso aus dem Profil abgelesen werden mit Verbräuchen annähernd der minimalen Auflösung.

Anhand dieser Daten sind deutlich die Lastspitzen der morgendlichen (Schnell-) Aufheizung zu erkennen. Diese resultieren aus der Funktion „Ein-/Ausschaltoptimierung (OSSC)“ der Software des Gebäudemaneagements „Siemens Desigo“.

Diese Funktion berechnet unter Berücksichtigung der Außen- und Raumtemperatur, sowie des thermischen Verhaltens des Gebäudes oder der Gebäudezone selbstlernend den jeweils optimalen Start- und Stoppzeitpunkt für die Beheizung der Räume. Durch die gleichen Belegungszeiten im Zeitschaltprogramm gibt es keinen zeitlichen Versatz des Anheizens der verschiedenen Nutzungseinheiten. Als Stellgrößen können die Sollwert „Komfort“ Temperatur, als Temperatur in der Nutzungszeit, vorgegeben werden, sowie die „Economy“ Temperatur, als Temperaturabsenkung in der Nichtnutzungszeit.

3 HEIZLASTBERECHNUNG

Anhand der vorliegenden Pläne und Angaben zu den Bauteilen wurden Heizlastberechnungen nach DIN EN12831-1:2017-09 für das Gebäude durchgeführt. Als Berechnungsgrundlage hierfür dient die Software „mh-Bim 7“.

Die Auslegungsaußentemperatur beträgt laut Norm für diesen Standort $-8,8^{\circ}\text{C}$, die Jahresmittel-Außentemperatur wird mit $10,1^{\circ}\text{C}$ angenommen.

Die Ergebnisse der Heizlastberechnung sind von den Annahmen wärmetechnischer und nutzungsspezifischer Parameter abhängig; die nutzungsspezifischen Parameter Innentemperatur und Luftwechselzahl sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Raumtyp	Innentemperatur $^{\circ}\text{C}$	Eingeschränkte Innentemperatur $^{\circ}\text{C}$	Luftwechselzahl h^{-1}	Anmerkung
Klassenraum	20	18	0,5	$0,1\text{h}^{-1}$ bei WRG
Flur	18	18	0,5	
Versammlungsraum	20	18	0,5	$0,2\text{h}^{-1}$ bei WRG
Mensa	20	18	0,5	
Lager	15	12	0,5	
WC	15	15	0,5	
Umkleide	24	20	0	
Duschen	24	20	10	
Turnhalle	15	15	0,25	
Aufzug	5	5	0	

Tabelle 1: Grundannahmen Raumtypen

3.1 SCHULBAU 1973

Für den Schulbau werden folgende U-Werte, auf Basis bauphysikalischer Angaben von der zuständigen Architektin Frau Reiners angenommen:

Bauteil	U-Wert $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
Außenwände	0,18
Außenfenster	1,00
Außentüren	1,00
Dächer	0,14
Bodenplatte	1,00

Tabelle 2 U-Werte Schulbau

Da die Bodenplatte nicht Teil der energetischen Sanierung ist, wird diese mit einem Standardwert von $1,00 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ angenommen. Dieser Wert wurde aus der Tabelle 3.2-1: „Pauschalwerte für den

Wärmedurchgangskoeffizienten nicht nachträglich gedämmter opaker Bauteile im Urzustand“ der Fraunhofer Studie „Typisierte Bauteilaufbauten – Präzisierung der Pauschalwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten [...]“ entnommen, als massives Bauteil gegen Erdreich der Baualtersklasse 1969 bis 1978.

Die Heizlastberechnung ergibt für die verschiedenen Gebäudeteile folgenden Wärmebedarf:

Zone	Wärmebedarf W
Gebäudetrakt G1	32.520
Gebäudetrakt G2	29.737
Gebäudetrakt G3	23.269
Schulbau (S)	48.442
Verwaltung (V)	21.574
Gesamt	155.542

Tabelle 3: Heizlastberechnung Schulbau

Weitere Raumspezifische Heizlastdaten sind dem beigelegten Anhang 1 zu entnehmen.

Eine nähere Betrachtung eines Beispielraumes ist unter zu 4.1.1 finden.

3.2 NEUBAU

Für den Neubau werden folgende U-Werte auf Basis der vorhandenen Berechnung vom 18.02.2009 angenommen:

Bauteil	U-Wert W/m ² K
Außenwände	0,35
Außenfenster	1,30
Außentüren	1,80
Dächer	0,27
Bodenplatte	0,35

Tabelle 4: U-Werte Neubau

Die Heizlastberechnung ergibt einen Wärmebedarf von insgesamt **90,315 kW**.

Dieses Ergebnis entspricht deutlich weniger benötigter Leistung als der in Papierform vorliegenden Heizlastberechnung der Firma ECON Umwelt-Ingenieure GmbH vom 18 Februar 2009. Dies liegt an der Erhöhung der Auslegungstemperatur von -12°C auf -8,8°C bei dem betrachteten Standort durch die Neufassung der Norm DIN EN 12831-1 aus dem Jahr 2017. Zum Teil wurden auch die Raumtemperaturen mit anderen Werten angenommen. Auch die anderen Luftwechselzahlen der verschiedenen Räume unterscheiden sich, was in deutlich unterschiedlichen Lüftungswärmeverlusten resultiert.

Eine Aufstellung pro Raum ist dem beigelegten Anhang 2 zu entnehmen.

3.3 TURNHALLE

Für die Turnhalle werden folgende U-Werte auf Basis der „Aachener Energie Standard Sanierung“ (Stand_230824) angenommen. Dies entspricht nicht dem aktuellen baulichen Stand der Sanierung. Es wird hier einer zukünftigen Sanierung vorweggenommen.

Bauteil	U-Wert W/m ² K
Außenwände	0,20
Außenfenster	Wurden vernachlässigt
Außentüren	Wurden vernachlässigt
Dächer	0,14
Bodenplatte	1,00

Tabelle 5: U-Werte Turnhalle

Der Wert der Bodenplatte wurde analog zu 3.1 angenommen. Die Außenfenster wurden aufgrund ihres geringen Anteils an der Gesamtaußenfläche vernachlässigt.

Folgende Parameter an Innentemperaturen und Luftwechseln wurden für die Turnhalle angenommen:

Raumtyp	Innentemperatur °C	Eingeschränkte Innentemperatur °C	Luftwechselzahl h ⁻¹	Anmerkung
Flur	18	18	0,5	
Versammlungsraum	20	18	0,5	0,2h ⁻¹ bei WRG
Lager	15	12	0,5	
WC	15	15	0,5	
Umkleide	24	20	0	
Duschen	24	20	10	
Turnhalle	15	15	0,25	

Tabelle 6: Grundannahmen Raumtypen Turnhalle

Die Heizlastberechnung ergab einen Wärmebedarf von insgesamt **57.282 Watt**.

Eine Aufstellung pro Raum ist dem beigelegten Anhang 3 zu entnehmen.

4 HEIZKÖRPERÜBERPRÜFUNG

Im nachfolgenden wird erörtert, inwiefern die vorhandenen statischen Heizflächen ausreichen, um die unter 3. berechneten Wärmemengen in die einzelnen Räume einzubringen.

Eine genaue, raumweise Betrachtung ist den Anhängen 1-3 zu entnehmen. Oft wurden aus Übersichtsgründen baugleiche Heizkörper pro Raum zusammengefasst. Deren Heizleistungen wurde bei zwei unterschiedlichen Vor- und Rücklauftemperaturen bestimmt, und mit den Heizlasten (siehe Punkt 3) der Räume verrechnet.

Da es sich um Bestandsheizkörper handelt, deren Leistungsdaten nicht exakt vorliegen wurde anhand von Literaturdaten die Heizkörperleistung abgeschätzt. Als Berechnungsgrundlage zur Bestimmung der einzelnen Heizkörperheizleistungen wurde das „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“ von Recknagel, Sprenger, Schramek aus dem Jahre 2005 verwendet.

4.1 SCHULBAU 1973

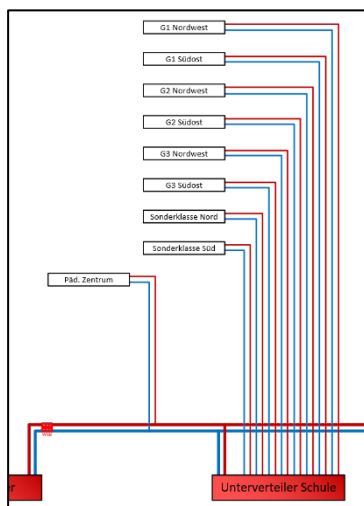


Abbildung 12: Schema Schulbau

In der Unterverteilung des Schulbaus befinden sich insgesamt 9 Heizkreise. Die beiden Heizkreise Verwaltung und Hausmeisterwohnung befinden sich nicht an der Unterverteilung im Technikeller des Traktes „S“, sondern in dem Kellerraum „Lüftungstechnik 01.069“ des Traktes „V“.

Warmwasser wird größtenteils mittels elektrischer Durchlauferhitzer bereitgestellt. Die Mensa ist an die Warmwasserbereitung in der Turnhalle angeschlossen.

Jeder Klassenraum besitzt sein eigenes dezentrales Lüftungsgerät mit je 800 m³/h. Das Lüftungsgerät der Mensa befindet sich in dem Keller des dazugehörigen Traktes „G2“. Der Pausenraum im Trakt „S“ besitzt ein Lüftungsgerät auf dem Dach. Dieses wird händisch vom Hausmeister für die seltene Benutzung gesteuert.

An statischen Heizflächen befinden sich im Schulbau hauptsächlich Gussgliederradiatoren. Diese sind meist fensterseitig an den Wänden montiert.



Abbildung 14: Guss-Gliederheizkörper



Abbildung 13: Glatte wandige Flachheizkörper

4.1.1 NÄHERE BETRACHTUNG EINES BEISPIELRAUMES

Beispielhaft wird hier nun ein Klassenraum näher betrachtet.

Der Klassenraum I.7 im EG weist die größte notwendige Heizlast in Trakt G1 auf, was auf den großen Anteil an Außenwand der Raumhüllfläche zu schließen ist. Die für diesen Raum errechnete Heizlast beträgt 2636 W. Durch die vorhandenen Heizkörper beträgt bei einer Vorlauftemperatur von 55°C, einer Rücklauftemperatur von 45°C und der gewünschten Raumtemperatur von 20°C die bereitstellbare Heizleistung 5240 W. Das entspricht fast dem Zweifachen der erforderlichen Heizleistung.

Heizlastberechnung Heizleistungen Schulbau													
Raum				Installierte Heizkörper						Bereitstellbare Heizleistung			
Gebäudeteil	Stockwerk	Raumnr.	Raumbezeichnung	Heizlast	Typ	Höhe	Tiefe	Länge	Gliederanz.	55/45/20	Differenz	60/50/20	Differenz
G1	EG	1	WC Jungen	458	Guss	980	70	1500	25	1072,6	614,6	1314,9	856,9
G1	EG	2	WC Vorraum	311	Guss	980	70	1620	27	1158,4	847,4	1420,1	1109,1
G1	EG	3	WC Mädchen	377	Guss	980	70	1320	22	943,9	566,9	1157,1	780,1
G1	EG	4	WC Vorraum	143	Guss	980	70	800	13	557,8	414,8	683,8	540,8
G1	EG	5	Putzmittel	122	Konv.	500	10	920		239,9	117,9	292,2	170,2
G1	EG	6	Flur		Guss	580	160	1020	17	824,9	824,9	1011,2	1011,2
G1	1.UG				Guss	980	70	500	8	343,2	343,2	420,8	420,8
				2512							-1343,9		-1080
G1	EG	7	Klassenraum I11	2206	Guss	580	160	8960	149	7230	5024	8863,1	6657,1
G1	EG	8	Klassenraum I12	2253	Guss	580	160	6900	115	5580,2	3327,2	6840,6	4587,6
G1	EG	9	Lehrmittel	1417	Guss	580	110	5160	86	3030,9	1613,9	3715,5	2298,5
G1	EG	10	Streitschlichtung	1068	Guss	580	160	3300	55	2668,8	1600,8	3271,6	2203,6
G1	EG	21	Flur	4103	Guss	580	110	5900	98	3453,8	-649,2	4234	131
G1	EG	22	Flur	2663	Guss	430	70	1000	17	356	-2307	436,4	-2226,6
G1	EG	23	Klassenraum I7	2636	Guss	580	160	6480	108	5240,5	2604,5	6424,3	3788,3
G1	EG	24	Klassenraum I6	1628	Guss	580	160	4720	79	3833,4	2205,4	4699,2	3071,2
G1	EG	25	Klassenraum I5	1623	Guss	580	160	4820	80	3881,9	2258,9	4758,7	3135,7
G1	EG	27	Lehrmittel	106	Kein Heizkörper verbaut								
G1	EG	28	Flur	397	Kein Heizkörper verbaut								
G1	EG	30	WC Mädchen		Konv.	400	10	800		153,9		187,5	
					Konv.	400	10	920		177		215,6	
				526							-195,1		-122,9
G1	EG	31	WC Jungen		Konv.	400	10	800		153,9		187,5	
					Konv.	400	15	1005					
				483							-329,1		-295,5
G1	EG	32	Putzmittel	0	Kein Heizkörper verbaut								
G1	1.OG	1	Klassenraum I105	2251	Guss	580	220	8140	136	8474,7	6223,7	10389	8138
G1	1.OG	3	Klassenraum I106	1464	Guss	580	160	6870	115	5580,2	4116,2	6840,6	5376,6
G1	1.OG	4	Klassenraum I108	1683	Guss	580	160	8800	147	7132,9	5449,9	8744,1	7061,1
G1	1.OG	13	Flur	3580	Kein Heizkörper verbaut								
G1	1.OG	14	Flur	3109	Guss	580	160	6280	105	5095	1986	6245,8	3136,8
G1	1.OG	15	Klassenraum I104	1682	Guss	580	220	7230	121	7540	5858	9243,2	7561,2
G1	1.OG	16	Klassenraum I103	1045	Guss	580	220	5300	88	5483,7	4438,7	6722,3	5677,3
G1	1.OG	17	Klassenraum I102	1048	Guss	580	220	5300	88	5483,7	4435,7	6722,3	5674,3
G1	1.OG	18	Medien-/SV-Raum I 101	1260	Guss	580	220	4340	72	4486,6	3226,6	5500,1	4240,1
G1	1.OG	003a	Klassenraum I107	1498	Guss	580	160	7290	122	5919,9	4421,9	7257	5759

Abbildung 15: Ausschnitt aus Anhang_1_Schulbau

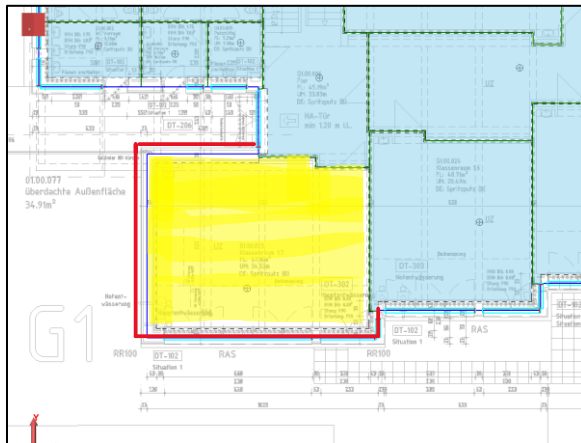


Abbildung 16: Lage Klassenraum I 7

Aus der Tabelle Anhang_1_Schulbau ist zu entnehmen, dass in einigen Fluren der Heizbedarf bei einer niedrigeren Vor- und Rücklauftemperatur nicht ausreichend gedeckt ist. Aufgrund des regelmäßigen Öffnens und Schließens der Klassenraumtüren während des Schulbetriebs kann angenommen werden, dass mehr Wärme, als errechnet in Form von überströmender Luft die Flure mitbeheizt.

Um eine praxisnahe Aussage zu erhalten wäre es ggf. in den beiden Heizkreisen eines Traktes, beispielsweise G1 Südost und Nordwest, die maximale Vorlauftemperatur zu begrenzen und zu überprüfen, wie sich die Raumtemperatur der Flure verhält. Analog der Vorgehensweise in der Karl-Kuck-Schule sollte die maximale Vorlauftemperatur am Morgen auf 55°C beschränkt und die Absenkttemperatur in der Nacht erhöht werden. Durch Messungen der Temperaturen in den Fluren kann dann eine Evaluierung erfolgen.

4.1.2 DARSTELLUNG EINES BEISPIELHEIZKREISES

Nachfolgend ist der Heizkreis Nordwest des Gebäudeteils G3 des Schulgebäudes dargestellt. Bei diesem ist eine morgendliche Anlaufspitze von 60°C zwischen 5:30 und 9:00 morgens zu erkennen. Während des Schulbetriebs liegt die Vorlauftemperatur bei unter 40°C. Dieser Heizkreis umfasst den Gebäudeteil „G3“, dessen Hüllflächensanierung in der 49. Kalenderwoche des Jahres 2023 noch nicht vollständig abgeschlossen war.

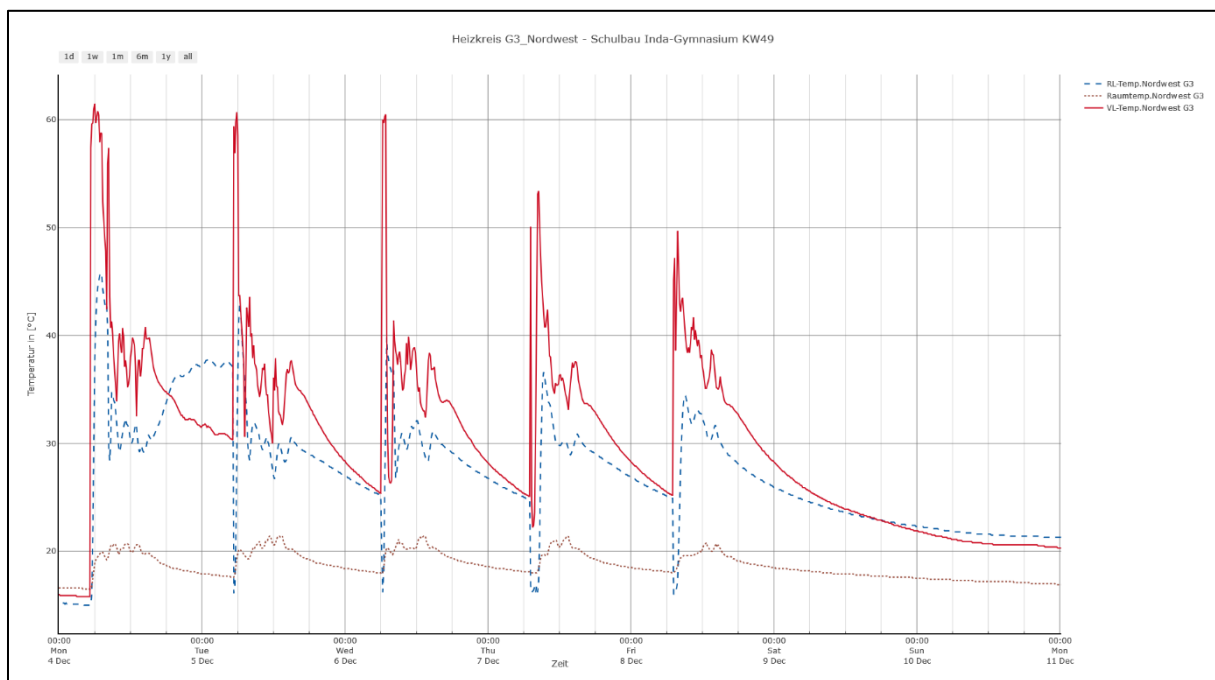


Abbildung 17: Heizkreis G3 Nordwest - KW49

Die Hüllflächenanierung des Gebäudeteils „G1“ ist bereits abgeschlossen worden. Hier sind deutlich geringere Lastspitzen in der morgentlichen Anheizphase zu erkennen.

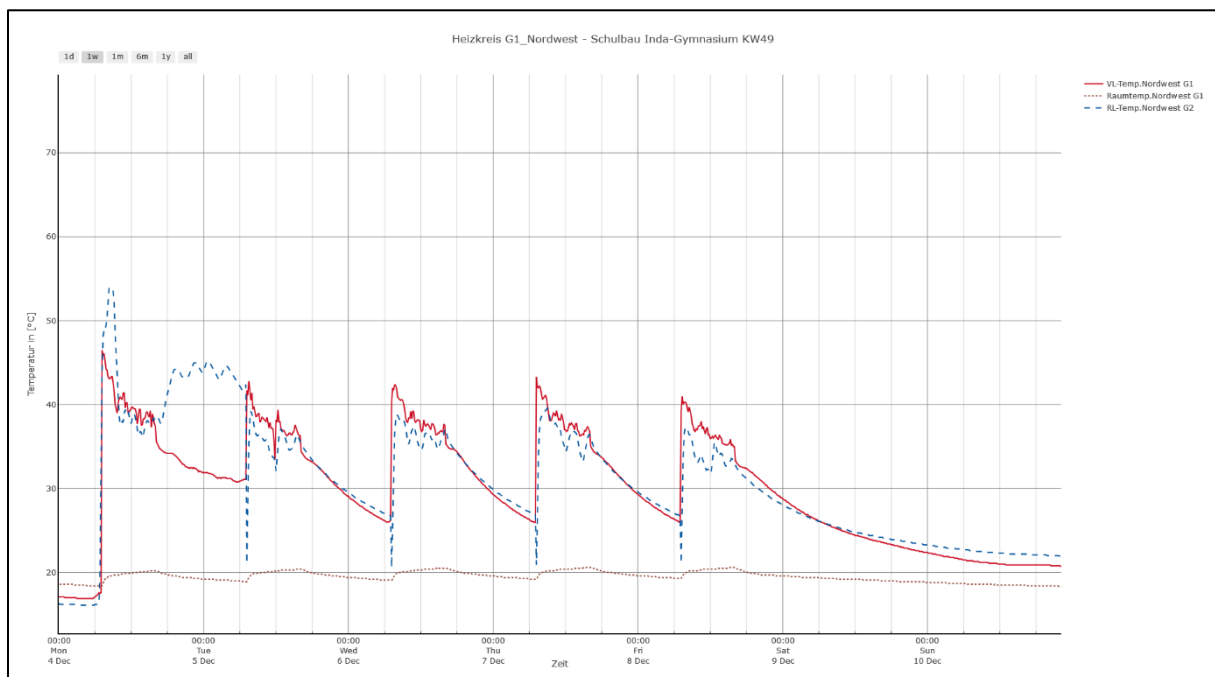


Abbildung 18: Heizkreis G1 Nordwest - KW49

Die Diagramme der weiteren Heizkreise sind dem Anhang 6.2.1 Schulbau zu entnehmen. Dort sind alle auf die Gebäudeautomation aufgeschalteten Heizkreise zu finden, bis auf den Heizkreis Sonderklassen Süd. Dieser war durch die Sanierungsarbeiten in der 49. Kalenderwoche ausgeschaltet.

4.2 NEUBAU

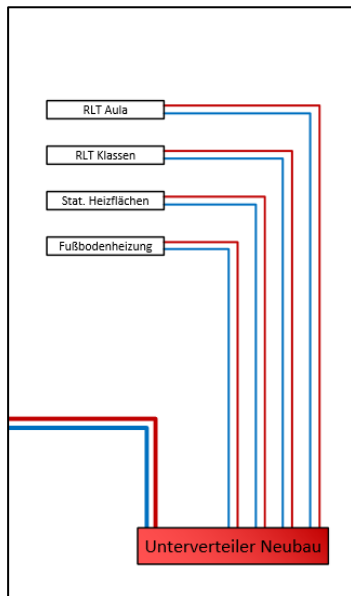


Abbildung 19: Schema Neubau

In der Unterverteilung des Neubaus befinden sich insgesamt 4 Heizkreise.

Warmwasser wird mittels elektrischer Durchlauferhitzer bereitgestellt. Der Neubau ist nicht an die Warmwasserbereitung in der Turnhalle angeschlossen.

Die Lüftung der Klassenräume wird durch ein zentrales RLT-Gerät auf dem Dach geleistet. Dieses besitzt ein Zu- und Abluftvolumenstrom von $14.600 \text{ m}^3/\text{h}$. Es wird ein Kreuzstromwärmetauscher für die Wärmerückgewinnung eingesetzt. Das RLT-Gerät der Aula befindet sich im Technikeller des Neubaus. Der Zu- und Abluftvolumenstrom beträgt $9.000 \text{ m}^3/\text{h}$ und es wird ebenfalls ein Kreuzstromwärmetauscher für die Wärmerückgewinnung eingesetzt. Die weiteren Lüftungsgeräte, wie beispielsweise Digestoren in Chemieräumen oder Lüftungen der Gefahrstoff-Lagerschränke wurden nicht weiter betrachtet.

An statischen Heizflächen sind in dem Neubau Stahlrohrradiatoren der Firma Arbonia verbaut. In den Bereichen der Aula, des Cafés (Beides EG) und der Halle im 1.OG befinden sich Fußbodenheizflächen. Die Fußbodenheizflächen sind durch eine Übergabestation des Typs „Vitrotrans

100“ an die Heizungsanlage in einem eigenen Heizkreis angeschlossen. Diese befindet sich im Technikeller des Neubaus.



Abbildung 20: Stahlrohr radiator im Neubau

4.2.1 NÄHERE BETRACHTUNG EINES BEISPIELRAUMES

Beispielhaft wird hier, analog zu 4.1.1, nun ein Klassenraum näher betrachtet.

Der Klassenraum 209; Kunst im 2.OG weist eine der größt notwendigen Heizlasten im Neubau auf. Dies ist auf seine Fläche und analog zu 4.1.1 auf den großen Anteil an Außenwänden als Eckraum zurückzuführen. Die für diesen Raum errechnete Heizlast beträgt 4105 W . Durch die vorhandenen Heizkörper beträgt bei einer Vorlauftemperatur von 55°C , einer Rücklauftemperatur von 45°C und der gewünschten Raumtemperatur von 20°C die bereitstellbare Heizleistung $3981,5 \text{ W}$. Diese Abweichung beträgt 3%

und kann daher als vernachlässigbar klein angesehen werden. Es ist der einzige Klassenraum, bei dem die Differenz negativ ist, bei den anderen beiden Räumen handelt es sich um einen Flur bzw. Windfang.

Aus der vollständigen Tabelle Anhang_2_Neubau ist zu entnehmen, dass in allen Räumen die Absenkungen der Vorlauftemperatur auf 60°C ausreicht, um den Wärmebedarf zu decken. Bei drei Räumen gibt es eine kleine Differenz bei einer auf 55°C abgesenkten Vorlauftemperatur.

Raum					Installierte Heizkörper					Bereitstellbare Heizleistung			
Gebäudeteil	Stockwerk	Raumnr.	Raumbezeichnung	Heizlast	Typ	Höhe	Tiefe	Länge	Gliederanz.	55/45/20	Differenz	60/50/20	Differenz
Neubau	2.OG	204	Chemie	2590	Röhren	2500	65	1800	40	3619,5	1029,5	4451	1861
Neubau	2.OG	206	Sammelzentrum		Röhren	2500	65	1080	24	2171,7		2670,6	
					Röhren	1800	145	810	18	1972,3		2433	
				2607							1537		2496,6
Neubau	2.OG	208	Beratungslehrer	463	Röhren	1800	65	855	19	1248,6	785,6	1535,5	1072,5
Neubau	2.OG	209	Kunst	4105	Röhren	2500	65	1980	44	3981,5	-123,5	4896,1	791,1
Neubau	2.OG	210	Nebenr	508	Röhren	2500	105	810	18	2080,3	1572,3	2566,3	2058,3
Neubau	2.OG	211	Kunst	3327	Röhren	2500	65	1980	44	3981,5	654,5	4896,1	1569,1
Neubau	2.OG	212	Kunst	3300	Röhren	2500	65	1800	40	3619,5	319,5	4451	1151
Neubau	2.OG	213	Nebenraum	-424	Röhren	1200	65	765	17	756,3	1180,3	930	1354
Neubau	2.OG	214	Sammlung	960	Röhren	2500	65	495	11	995,4	35,4	1224	264
Neubau	2.OG	215	Nawi.	3566	Röhren	2500	65	2025	45	4072	506	5007,4	1441,4
Neubau	2.OG	216	Putzmittel	692	Kein Heizkörper verbaut								
Neubau	2.OG	217	Aufzug	-1442	Kein Heizkörper verbaut								
Neubau	Mehrere	XXX	Aula/Flur		Röhren	2500	65	3375	75	6786,6		8345,7	
					Summe Fußbodenheizung (50°C/45°C)					39380		39380	
				34252							11914,6		13473,7

Abbildung 21: Ausschnitt aus Anhang_2_Neubau

Dies basiert auf den unter Punkt 3 getroffenen Annahmen. In diesem Beispielraum wurde die Luftwechselzahl auf 0,5 h⁻¹ gesenkt, im Vergleich zu der Luftwechselzahl von 4,00h⁻¹ der Heizlastberechnung vom 18.02.2009. Diese Senkung basiert auf der Annahme, dass der Neubau auch über die beiden Lüftungsgeräte beheizt wird.

Eine endgültige Aussage ist somit nur zu treffen, wenn sowohl die statischen Heizflächen, die Lüftungsgeräte, sowie das Zusammenspiel dieser Beiden gemeinsam betrachtet werden.

4.2.2 DARSTELLUNG EINES BEISPIELHEIZKREISES

Nachfolgend die Messung der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der statischen Heizflächen des Neubaus, ebenfalls in der 49. Kalenderwoche 2023. Es ist zu erkennen, dass die Vorlauftemperatur dauerhaft in dem Bereich von 50 bis zu 65°C liegt. Ausschließlich außerhalb der Schulbetriebszeiten, nachts und am Wochenende, fällt die Temperatur unter die 50°C Marke.

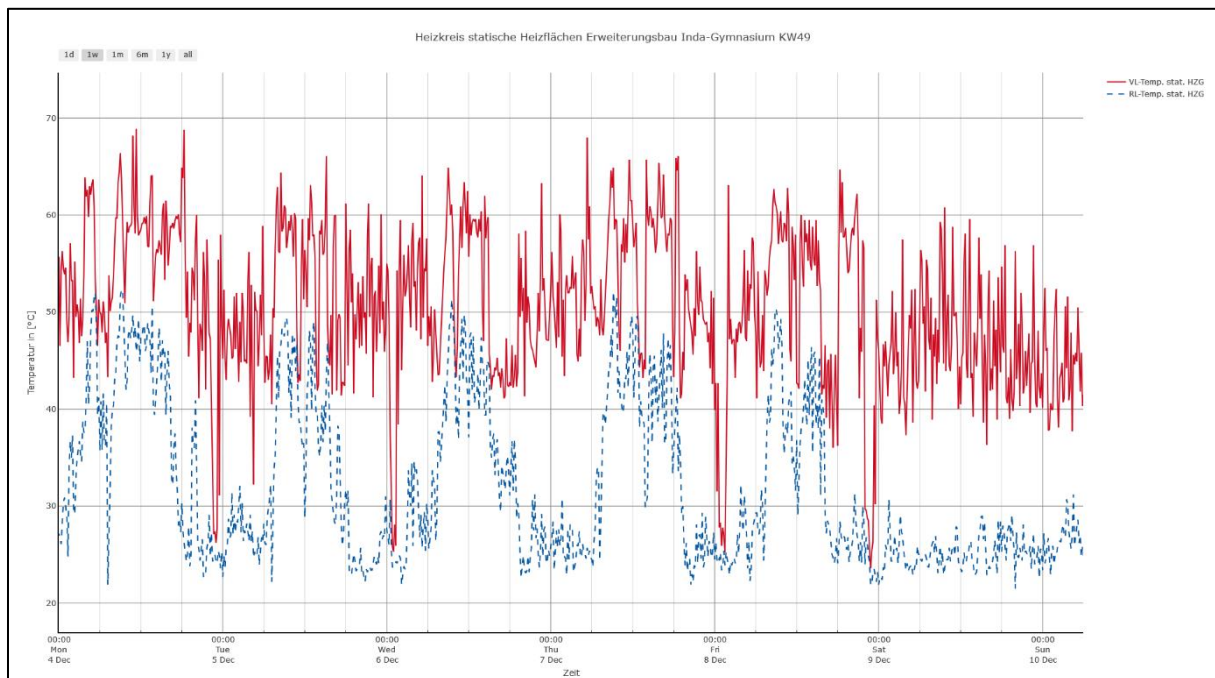


Abbildung 22: Neubau statische Heizflächen - KW49

Diese Grafik unterstützt die oben getroffene Aussage, dass eine Beheizung des Neubaus mit den statischen Heizflächen mit einer Vorlauftemperatur von ca. 60°C bereits jetzt möglich ist.

Die Diagramme der weiteren Heizkreise sind dem Anhang 6.2.2 Erweiterungsbau zu entnehmen.

Sowohl die Berechnung der Heizlast und Heizkörper als auch die Messungen weisen aus, dass eine Reduktion der Vorlauftemperaturen im Neubau nur durch genauere Betrachtungen auch des Lüftungssystems beurteilt werden kann.

4.3 TURNHALLE

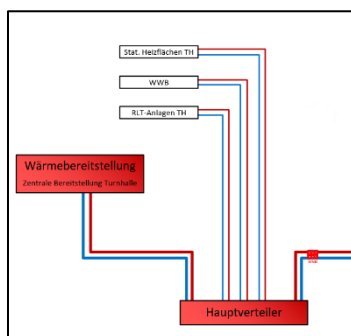


Abbildung 23: Schema Turnhalle

In dem Technikraum der Turnhalle befindet sich die Wärmebereitstellung sowie der Hauptverteiler. Dieser besitzt insgesamt 4 Abgänge, von denen einer die Nahwärmeleitungen in den Schul- und Neubau sind.

Warmwasser wird zentral mithilfe eines 1500 Liter großen Speicher bereitgestellt.

Die Turnhalle verfügt über 4 Lüftungsgeräte. Diese stehen alle auf dem Flachdach der Nebenräume der Turnhalle. Das Lüftungsgerät der Sporthalle besitzt einen Zu- und Abluftvolumenstrom von 11.000m³/h. Die 3 Lüftungsgeräte der Nebenräume besitzen jeweils einen Zu- und Abluftvolumenstrom von 4.500m³/h.

In der Turnhalle befinden sich unter bzw. hinter der Tribüne Stahlrohrstrahlradiator. In dem Boden des Tribünengangs sind für diese Konvektionsgitter eingelassen. In den angrenzenden Räumen sind in den Fluren Stahlrohrstrahlradiator und in den WCs und (Einzel-) Duschen glattwandige Flachheizkörper (Typ 10) angebracht. Diese Flachheizkörper dienen nicht der Abdeckung der Heizlast in den Umkleiden. Der wesentliche Teil der Beheizung erfolgt über die Lüftungsgeräte.



Abbildung 24: Heizkörper der Sporthalle
(Unter bzw. hinter der Tribüne)



Abbildung 25: Heizkörper der WCs und (Einzel-) Duschen

4.3.1 NÄHERE BETRACHTUNG EINES BEISPIELRAUMES

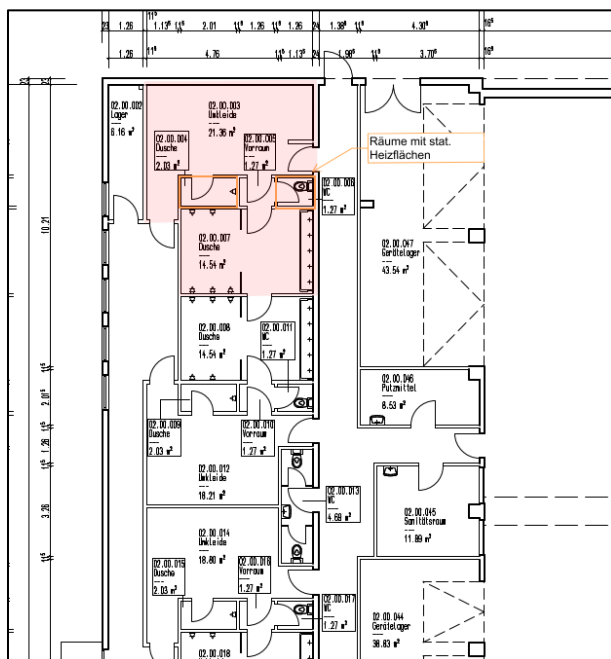


Abbildung 26: Ausschnitt aus dem Grundriss der Turnhalle

Beispielhaft wird hier nun ein Umkleidebereich näher betrachtet. Dieser besteht aus insgesamt 5 Räumen. Der Umkleide (3), der (Einzel-)Dusche (4), des Vorraums (5), des WCs (6) und der (Gruppen-) Dusche (7).

Davon sind nur die (Einzel-) Dusche und das WC, hier in orange markiert, mit statischen Heizflächen ausgestattet. Diese reichen nicht aus, um die erforderliche Heizleistung bereitzustellen. Die wesentliche Heizlast wird von den Lüftungsgeräten abgedeckt.

Zu beachten ist, dass dies auf die unter 3.3 berechnete Heizleistung bezogen ist, welche eine noch nicht erfolgte Sanierung berücksichtigt.

Die anderen Nebenräume sind analog aufgebaut, wobei immer 2 aneinander liegende Umkleiden an ein Lüftungsgerät angeschlossen sind.

Raum					Installierte Heizkörper					Bereitstellbare Heizleistung			
Gebäudeteil	Stockwerk	Raumnr.	Raumbezeichnung	Heizlast	Typ	Höhe	Tiefe	Länge	Gliederanz.	55/45/20	Differenz	60/50/20	Differenz
Turnhalle	EG	1	Strassenschuhgang	2225	Röhren	900	65	7965	177	6378,5	4153,5	7697,7	5472,7
Turnhalle	EG	2	Lager	191	10	900	11	500		218,6	27,6	2670,9	2479,9
Turnhalle	EG	3	Umkleide	704	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	4	Dusche	649	10	900	20	720		314,7	-334,3	384,6	-264,4
Turnhalle	EG	5	Vorraum	-33	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	6	WC	-22	10	600	48	200		61,3	83,3	74,7	96,7
Turnhalle	EG	7	Dusche	4604	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	8	Dusche	4610	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	9	Dusche	649	10	900	20	710		310,4	-338,6	379,3	-269,7
Turnhalle	EG	10	Vorraum	-33	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	11	WC	-22	10	600	48	200		61,3	83,3	74,7	96,7
Turnhalle	EG	12	Umkleide	436	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	13	WC	-30	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	14	Umkleide	451	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	15	Dusche	649	10	900	20	710		310,4	-338,6	379,3	-269,7
Turnhalle	EG	16	Vorraum	-33	Kein Heizkörper verbaut								
Turnhalle	EG	17	WC	-22	10	600	48	200		61,3	83,3	74,7	96,7

Abbildung 27: Ausschnitt aus Anhang_3_Turnhalle

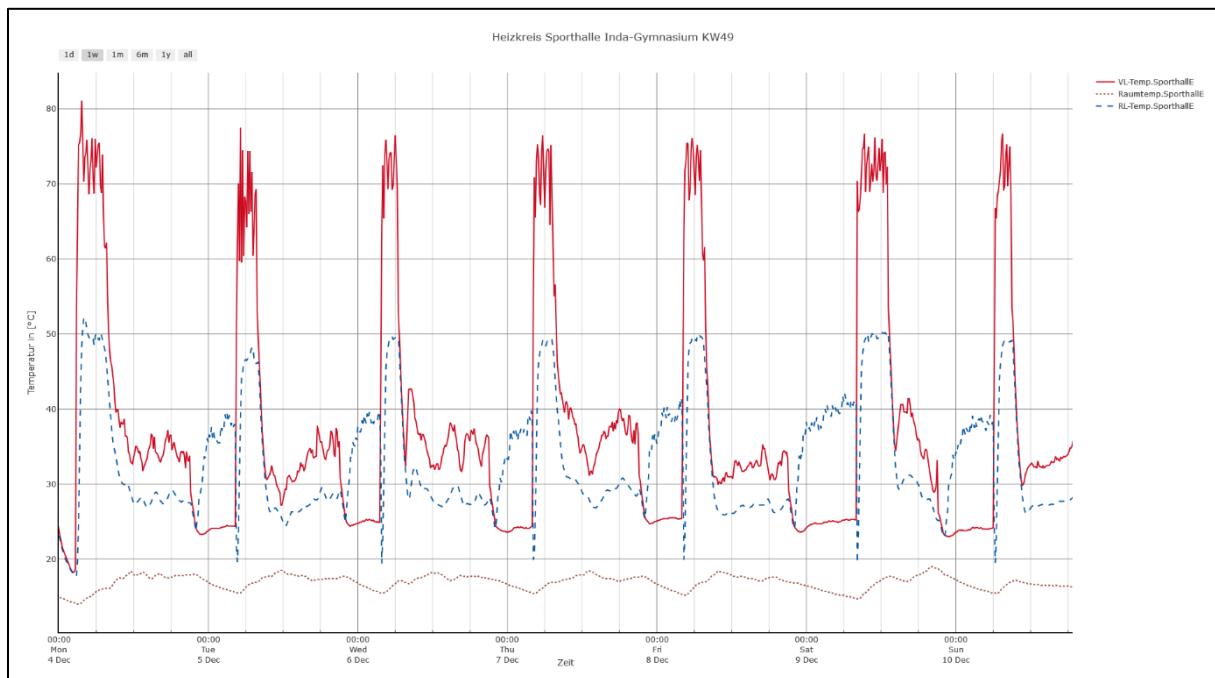
Aus der Tabelle Anhang_3_Turnhalle ist zu entnehmen, dass in fast allen Räumen die Absenkungen der Vorlauftemperatur auf 60°C nicht ausreicht, um den Wärmebedarf durch die statischen Heizflächen zu decken.

In den Bereichen bzw. Räumen, die hauptsächlich durch die statischen Heizflächen beheizt werden, reicht auch eine reduzierte Vorlauftemperatur von 55°C aus, solange die angrenzenden Räume die angenommene Temperatur besitzen. Diese Räume sind die Turnhalle an sich, die Flure und das Foyer.

In der Turnhalle sind die statischen Heizflächen genügend groß dimensioniert, um die Normheizlast bei einer Luftwechselzahl von 0,25⁻¹h zu decken; auch mit einer Vorlauftemperatur von 55°C. Bei dem Raumvolumen von ca. 3000 m³ entspricht dies 750 m³/h, was für eine Anzahl von 25 sporttreibenden Kindern ausreicht.

4.3.2 DARSTELLUNG EINES BEISPIELHEIZKREISES

Nachfolgend sind die Vor- und Rücklauftemperaturen der statischen Heizflächen der Turnhalle dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Vorlauftemperatur in den Nutzungszeiten bei 70 bis zu 80°C liegt. Lediglich während der Stillstandszeiten, über Nacht, fällt die Vorlauftemperatur unter 70°C.

**Abbildung 28: Heizkreis Sporthalle - KW49**

Der dargestellte Heizkreis versorgt sowohl die statischen Heizflächen in den Nebenräumen der Turnhalle als auch die statischen Heizflächen in der Turnhalle selbst.

Sowohl die Berechnung der Heizlast und Heizkörper als auch die Messungen weisen aus, dass eine Reduktion der Vorlauftemperaturen in der Turnhalle nur durch genauere Betrachtungen auch der Lüftungssysteme beurteilt werden kann.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Umstellung der Wärmeerzeugung von einem Blockheizkraftwerk auf eine Wärmepumpe erfordert das Absenken der Vor- und Rücklauftemperaturen in allen Heizkreisen, die an den Wärmeerzeuger angeschlossen sind.

In dem Gebäudekomplex des Schulbaus mit seinen anliegenden Gebäudeteilen G1, G2, G3 und V ist eine Vorlauf Temperaturabsenkung möglich. Die Situation in den Fluren verlangt eine weitergehende Untersuchung. Hier wird empfohlen exemplarisch bei einzelnen Heizkreisen in bereits fertig sanierten Gebäudeteilen die Vorlauftemperaturen in den kommenden Wochen abzusenken und die daraus resultierenden Heiz- und Raumtemperaturen zu dokumentieren.

Bei dem Neubau ergibt sich eine geringere Heizlast gegenüber der ursprünglichen Planung. Dies basiert ausschließlich auf anders getroffenen Randbedingungen (Außentemperatur und Luftwechsel). Auch für diesen Gebäudeteil wird empfohlen exemplarisch bei einzelnen Heizkreisen die Vorlauftemperaturen in den kommenden Wochen abzusenken und die daraus resultierenden Heiz- und Raumtemperaturen zu dokumentieren. Das Zusammenspiel zwischen Lüftung und Heizkörpern anhand exemplarischer Räume sollte weiter untersucht werden. Ausführliche Messungen an Heizkörpern werden hier empfohlen. Die Systemtemperaturen der Fußbodenheizung sollten auch weiter analysiert werden.

Bei der Turnhalle wird es durch die anstehende Sanierung zu Energieeinsparnissen kommen. Insbesondere in dem Großraum der Turnhalle und den anliegenden Räumen wie dem Foyer ist zu erwarten, dass die Heizleistung der vorhandenen Heizkörper ausreicht. Diese Aussage kann nicht für die Umkleiden und Duschen getroffen werden, da die dortigen statischen Heizflächen nicht ausreichend vorhanden sind. Hier werden die Räume überwiegend durch die Lüftung beheizt.

Zusammenfassend ergibt die Untersuchung, dass die Absenkung der Vorlauf Temperatur für den Betrieb einer Wärmepumpe nicht im gesamten Schulkomplex ohne weitere Untersuchungen und vereinzelte Maßnahmen möglich ist, jedoch realisierbar erscheint.

6 ANHANG

6.1 TABELLEN DER HEIZKÖRPER UND HEIZLEISTUNG PRO RAUM

Siehe folgende PDF-Dateien:

- Anhang_1_Schulbau
- Anhang_2_Neubau
- Anhang_3_Turnhalle

6.2 DIAGRAMME AUS DATEN DER GEBÄUDEAUTOMATION

6.2.1 SCHULBAU (\$11)

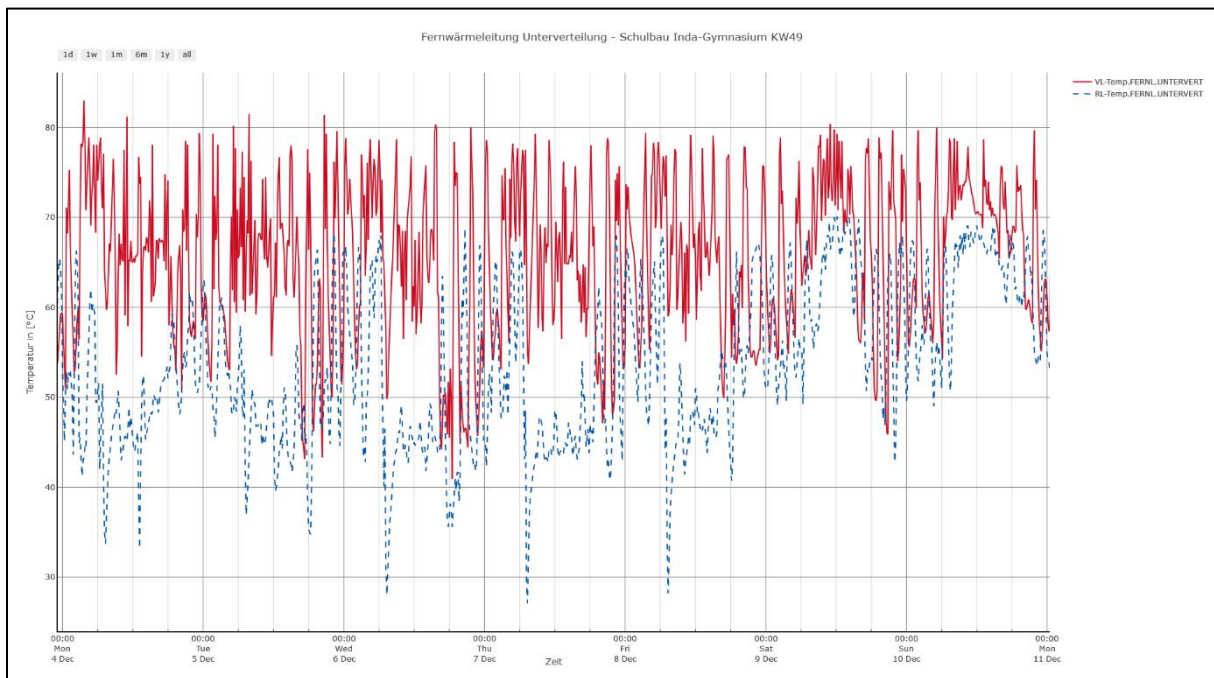


Abbildung 29: Fernwärmeleitung Unterverteilung -KW49

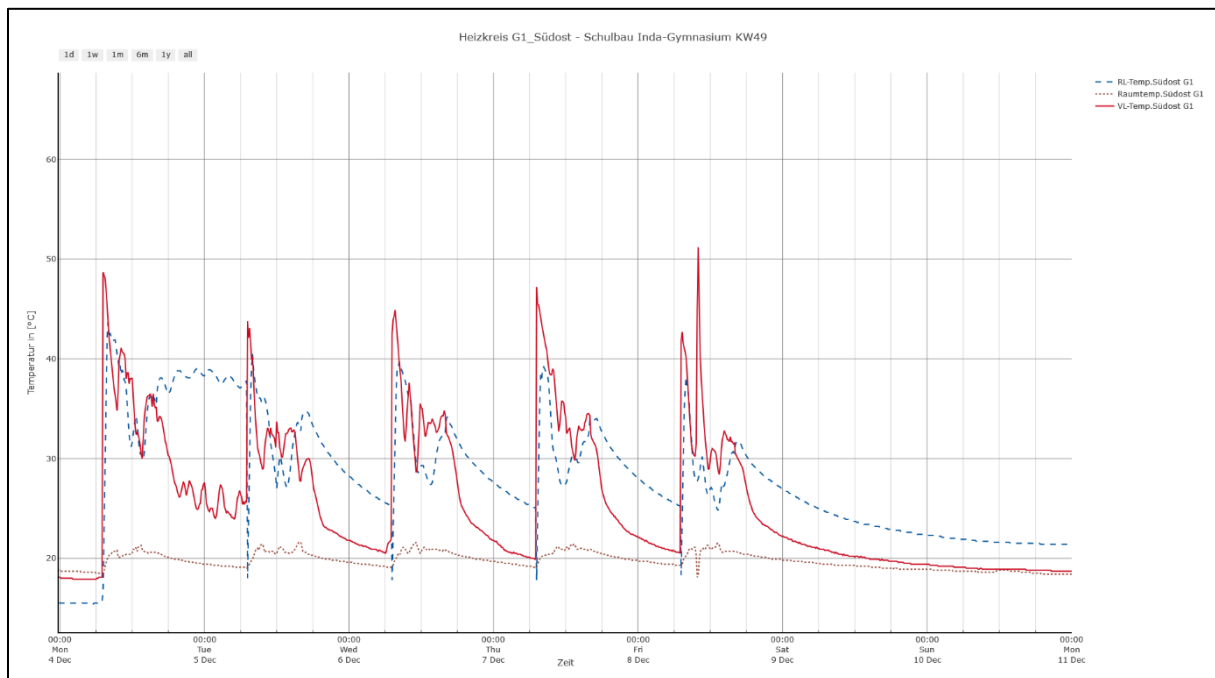


Abbildung 30: Heizkreis G1 Südost - KW49

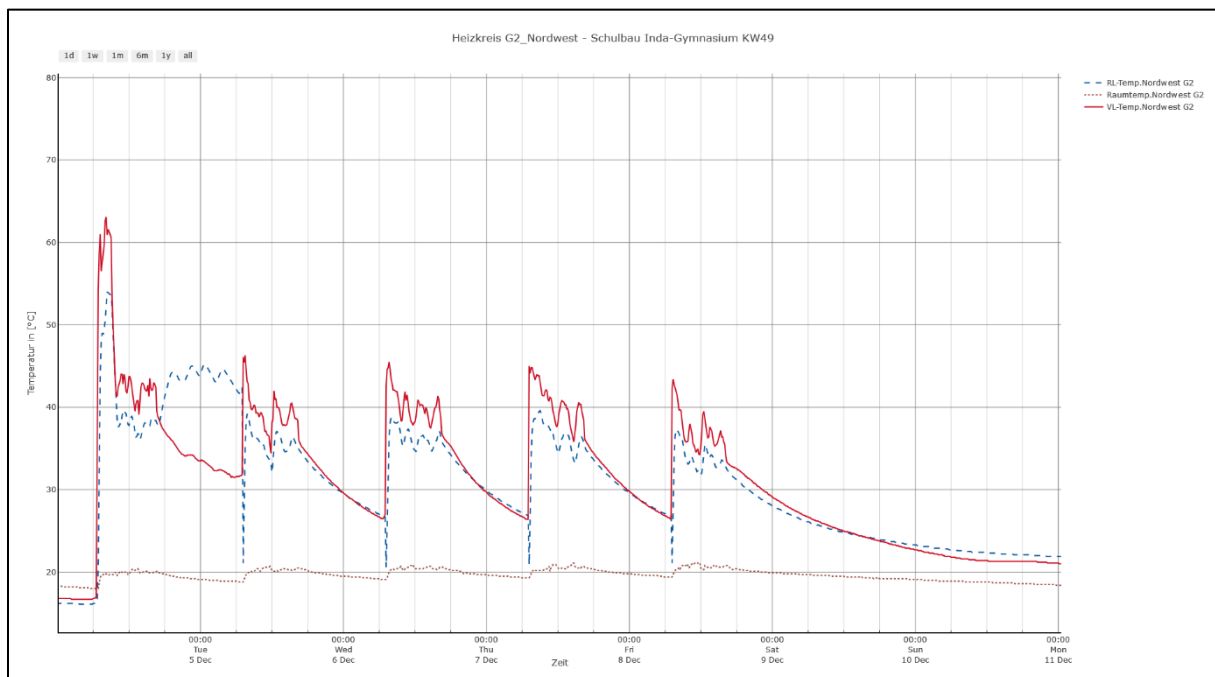


Abbildung 31: Heizkreis G2 Nordwest - KW49

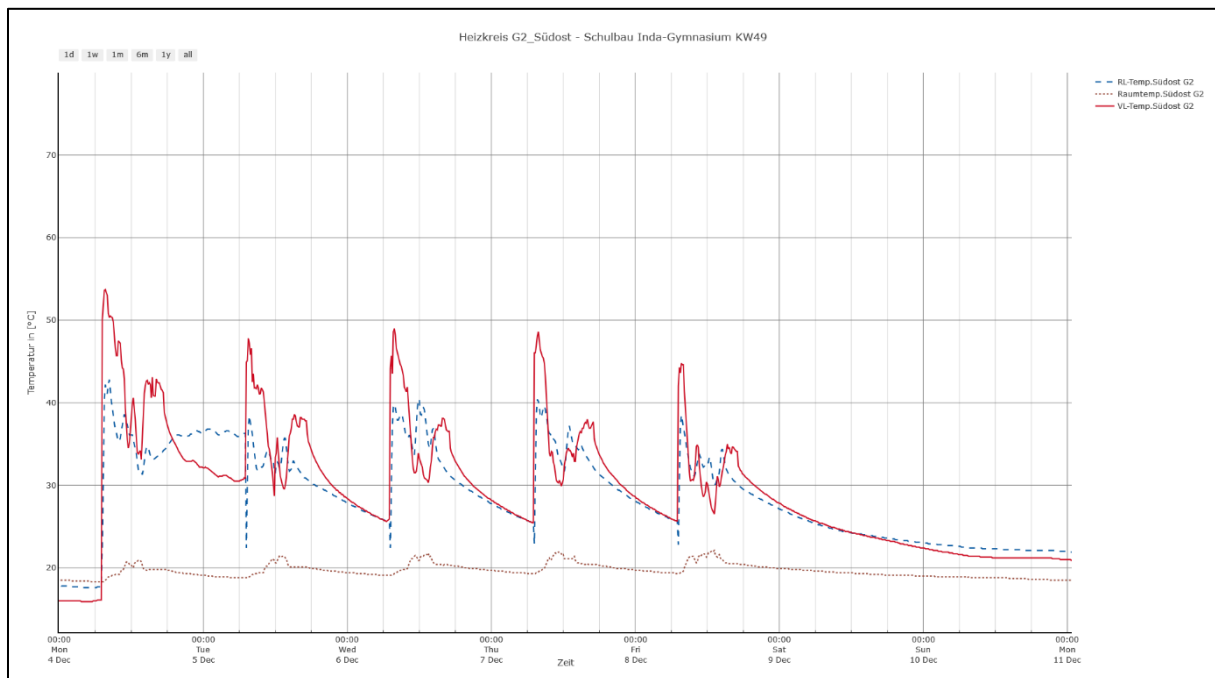


Abbildung 32: Heizkreis G2 Südost - KW49

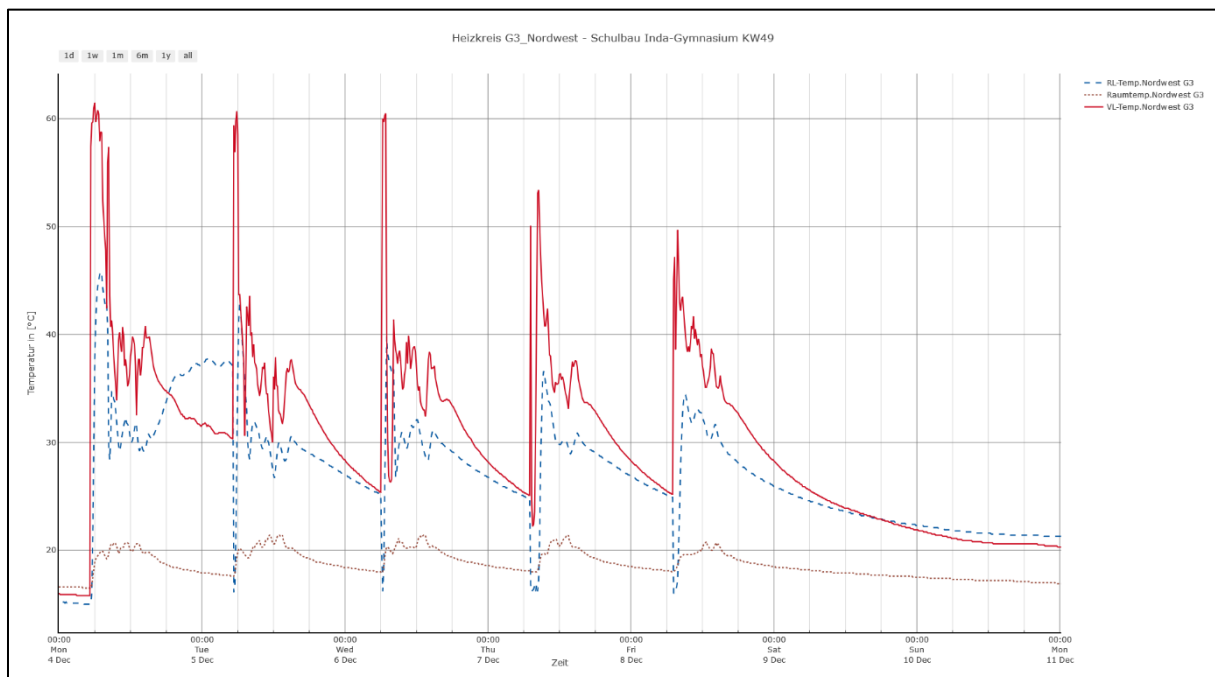


Abbildung 33: Heizkreis G3 Northwest - KW49

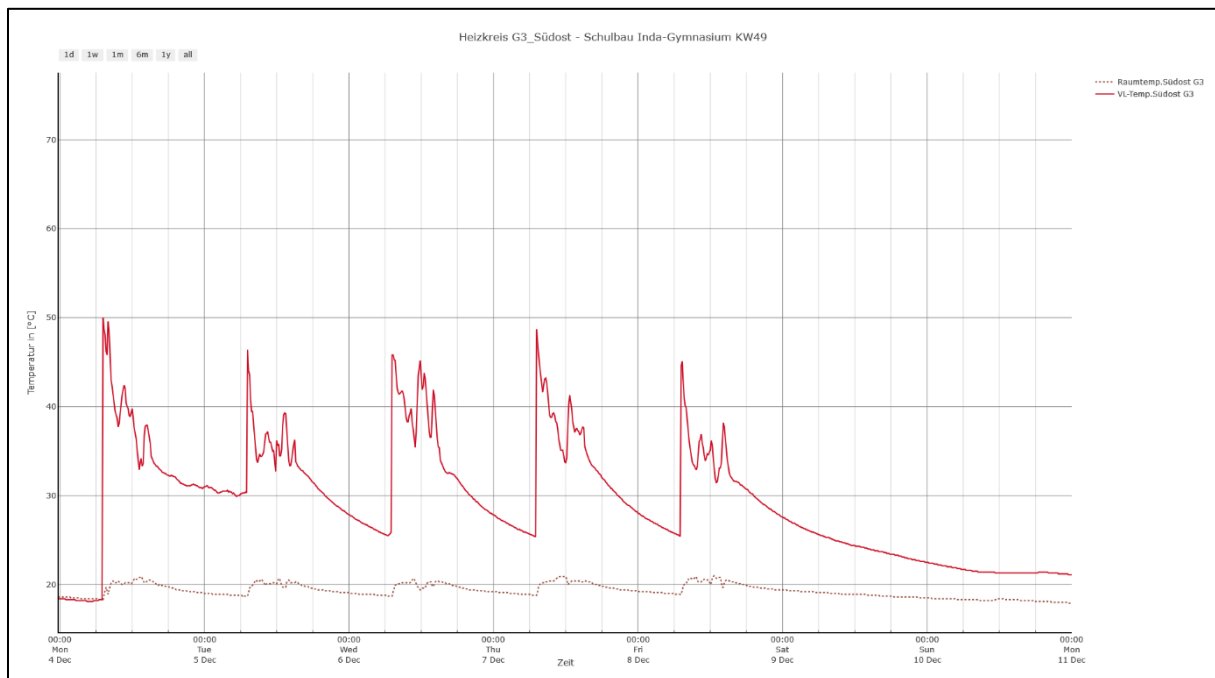


Abbildung 34: Heizkreis G3 Südost - KW49

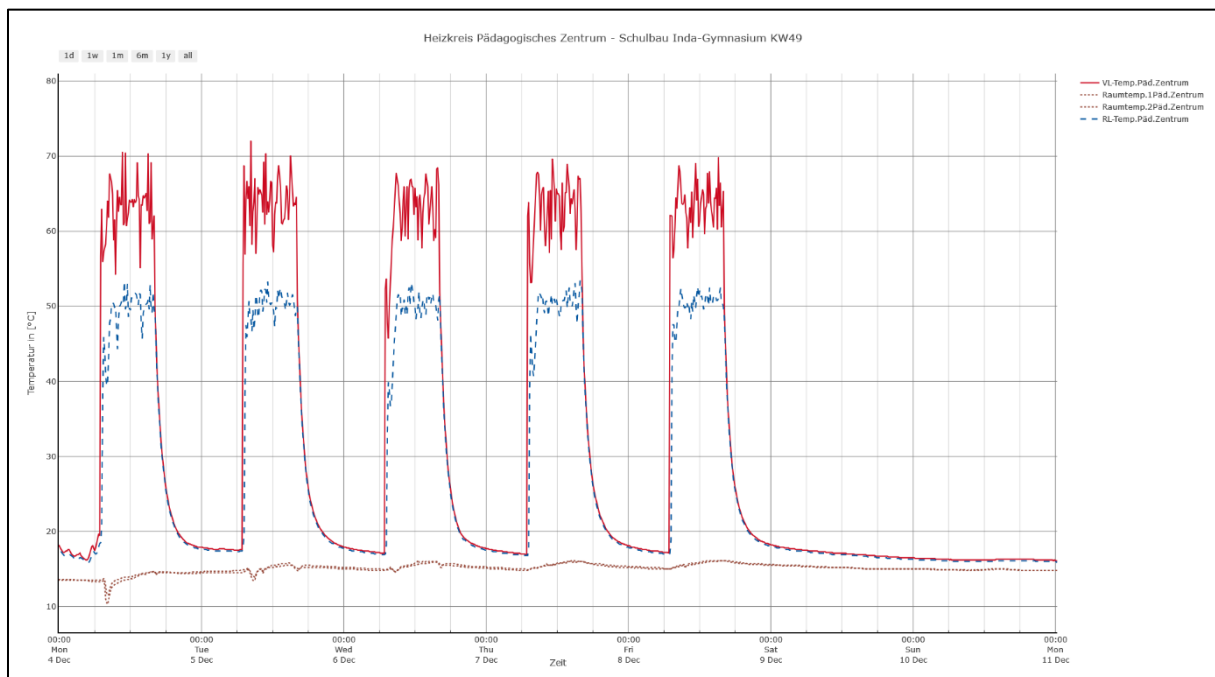


Abbildung 35: Heizkreis Pädagogisches Zentrum - KW49

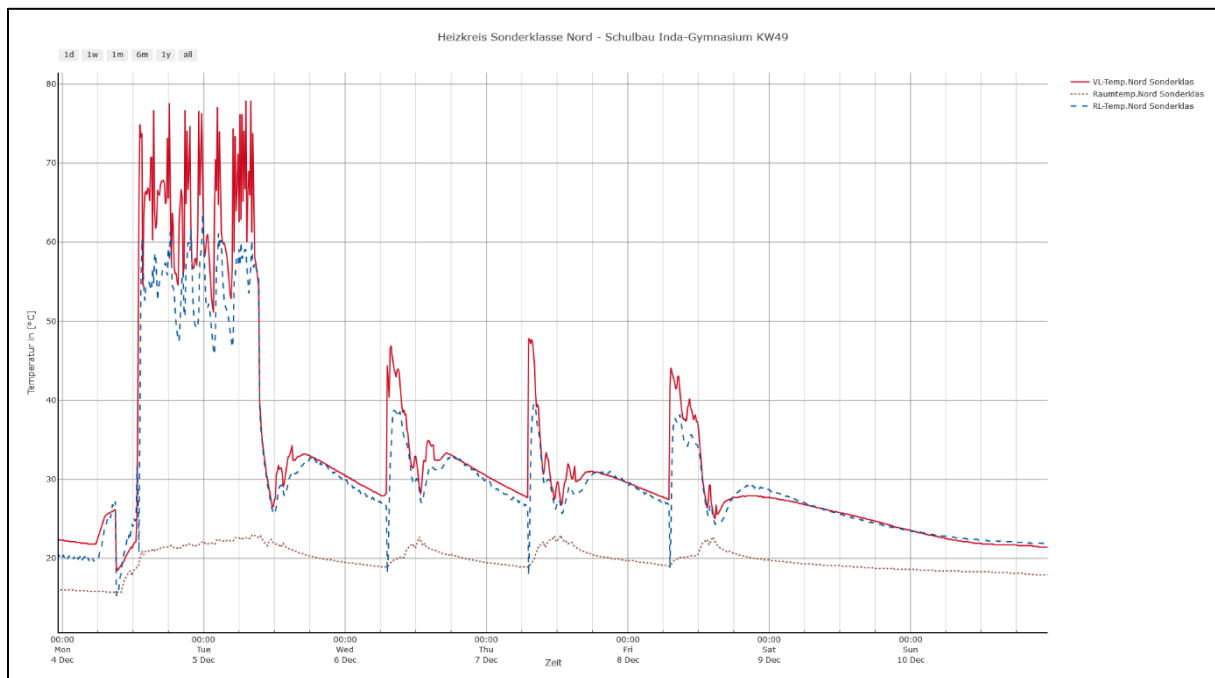


Abbildung 36: Heizkreis Sonderklasse Nord - KW49

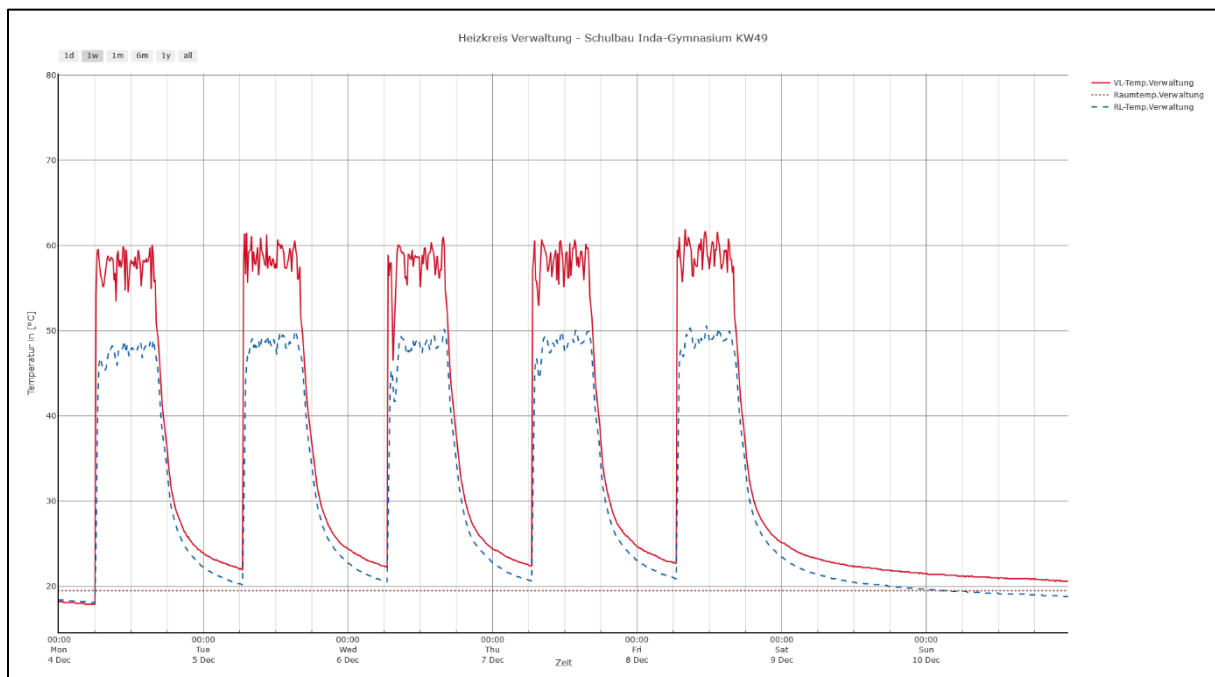


Abbildung 37: Heizkreis Verwaltung - KW49

6.2.2 ERWEITERUNGSBAU (\$014)

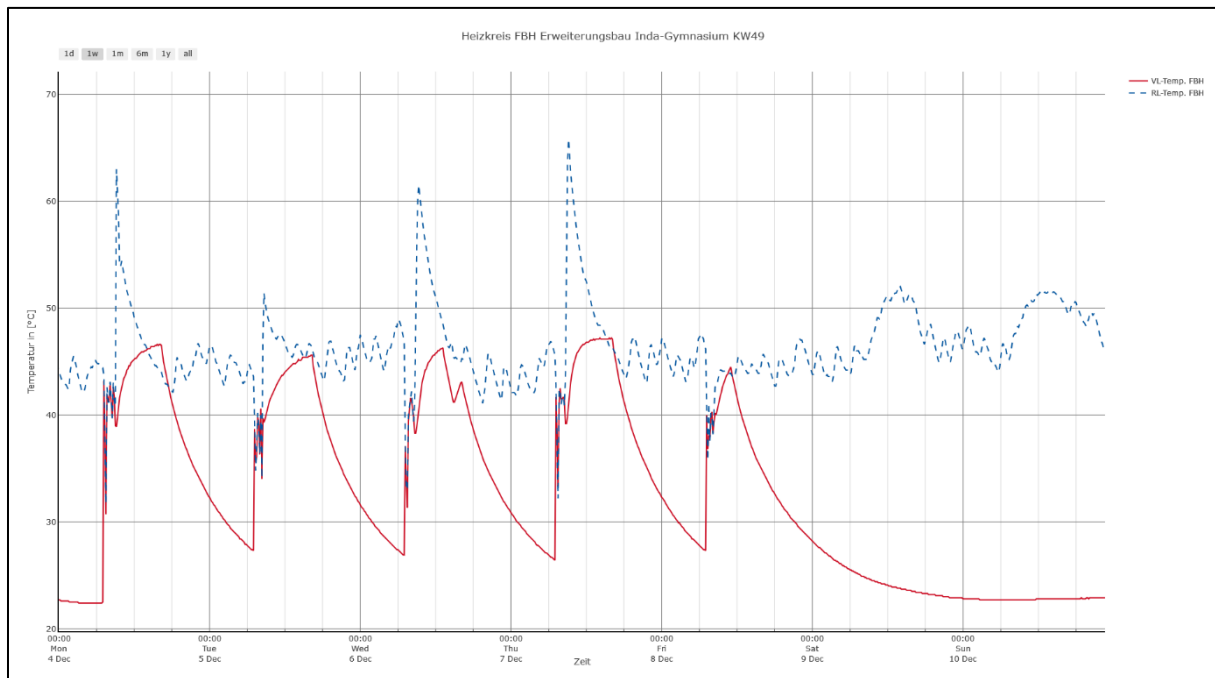


Abbildung 38: Heizkreis Fußbodenheizung - KW49

Zu beachten ist hier, dass es sich um die heizflächenseitige Vorlauftemperatur und die verteilerseitige Rücklauftemperatur an dem Wärmetauscher der Fußbodenheizung handelt.

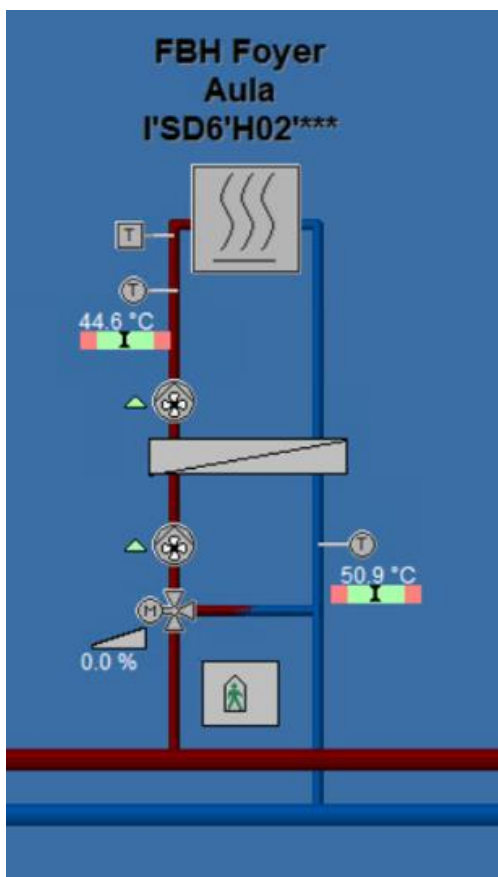


Abbildung 39: GLT-Schema Ausschnitt der Fußbodenheizung

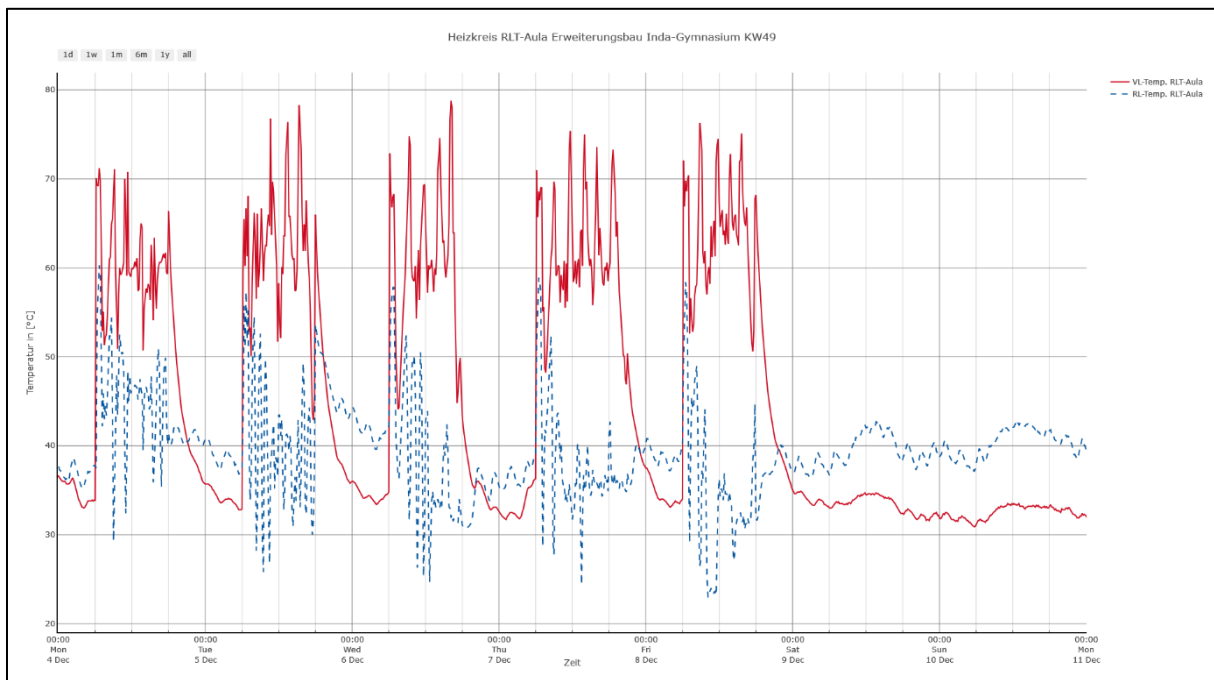


Abbildung 40: Heizkreis RLT-Anlage Aula - KW49

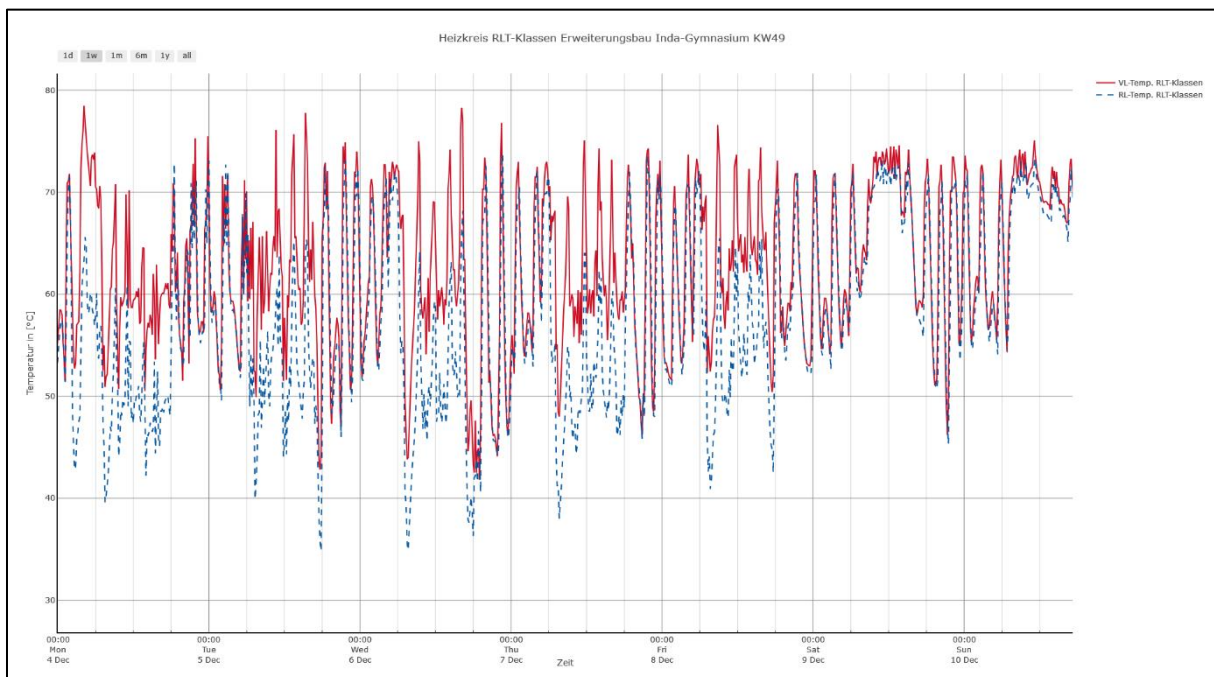


Abbildung 41: Heizkreis RLT-Anlage Klassen - KW49