

Hochschule München –  
University of Applied Sciences  
Fakultät 05 – Studiengang  
Energie- und Gebäudetechnik



## **BACHELORARBEIT**

# **Bestandsaufnahme und energetische Analyse der Wärmerversorgung im Pullacher Rathaus in Hinblick auf eine effiziente Fernwärmenutzung**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Bachelor of Engineering (B.Eng.)

VerfasserIn: Quirin Marxer

Matrikelnummer: 33290715

Hochschulbetreuer: Prof. Dr. Roland Kraus

Abgabetermin: 01.05.2020

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Technischer Hintergrund .....	III
Abkürzungsverzeichnis .....	IV
I) Einleitung.....	1
II) Bestandsaufnahme und Analyse der Wärmeversorgung.....	4
1. Bestandsaufnahme .....	4
1.1. Gebäude .....	5
1.2. Wärmeerzeugung .....	6
1.3. Wärmeverteilung.....	7
1.3.1. Regelung der Heizkreise.....	8
1.3.2. Umwälzpumpen .....	8
1.3.3. Unterverteilungen, Heizkörper und Fußbodenheizung .....	9
1.3.4. Warmwasser .....	9
2. Analyse und Bewertung.....	10
2.1. Wärmebedarf und überschlägige Heizlast .....	10
2.2. Analyse Wärmeerzeugung.....	13
2.2.1. Primärseite .....	14
2.2.2. Sekundärseite.....	16
2.2.3. Regelung der Übergabestation .....	16
2.3. Analyse Heizkreise .....	17
2.3.1. Rathaus Altbau .....	18
2.3.2. Musikschule.....	20
2.3.3. Turnhalle/Hausmeister .....	22

2.3.4. Grundschule .....	24
2.3.5. Neues Rathaus.....	28
2.3.6. Boilerladekreis.....	31
3. Optimierung der bestehenden Heizungsanlage .....	35
3.1. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz .....	35
3.2. Auslegung der Pumpen .....	43
3.3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	48
III) Zusammenfassung .....	51
Abbildungsverzeichnis .....	53
Tabellenverzeichnis .....	54
Literaturverzeichnis .....	55
Anhang .....	57
Anhang Teil 1: Bilder, Schemata und Pläne .....	57
Anhang Teil 2: Datenblätter Wärmeübertrager und Umwälzpumpen.....	62
Wärmeübertrager der Übergabestation .....	62
Umwälzpumpe Altes Rathaus .....	63
Umwälzpumpe Musikschule .....	66
Umwälzpumpe Turnhalle/Hausmeister.....	68
Umwälzpumpe Grundschule .....	70
Umwälzpumpe Neues Rathaus.....	72
Umwälzpumpe Boiler.....	74
Verfassererklärung.....	76

## Technischer Hintergrund

In der folgenden Arbeit sollen aus Umfangsgründen und zugunsten der Übersichtlichkeit die wichtigsten Formeln und Einheitenrechnungen hier aufgelistet werden

Einheit	Formel
Wärmeleistung in [kW]	$\dot{Q} = \dot{m} * c * \Delta\vartheta$ Mit $c = 4,19 \frac{kJ}{kgK} = 1,164 \frac{Wh}{kgK}$
Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho = \frac{m}{V}$
Massestrom in [kg/s]	$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\rho}$
Druckverlust in [mWS]	$H = \frac{R \cdot l \cdot Z}{10.000}$ <p><i>R = Rohrreibungsverlust/Druckgefälle [Pa/m]</i>  <i>l = Länge des ungünstigsten Strangs [m]</i>  <i>Z = Zugschlagsfaktor</i>            10.000 = Umrechnungsfaktor [mWS - Pa]</p>

Zudem soll der Einfachheit halber in dieser Arbeit folgende Annahme gelten:

$$\rho_{\text{wasser}} = \frac{m}{V} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Einheitenrechnung:

Massestrom	$\dot{m} = 1 \frac{m^3}{h} * \frac{1000 \frac{kg}{m^3}}{3600 \frac{s}{h}} = \frac{1 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} = \frac{1 \text{ l}}{3,6 \text{ s}}$
Leistung	$\dot{Q} = 1 \text{ W} = 10^{-3} \text{ kW} = 10^{-6} \text{ MW}$
Druck	$1 \text{ bar} = 10^3 \text{ mbar} = 10^5 \text{ Pa} \approx 10 \text{ mWs}$
Temperatur absolut	$\vartheta = 0 \text{ }^\circ\text{C} = -273,15 \text{ K}$
Temperaturdifferenz	$\Delta\vartheta = 1 \text{ }^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$

## Abkürzungsverzeichnis

Neben den allgemein gebräuchlichen werden in dieser Arbeit auch fachspezifische Abkürzungen verwendet. Zum besseren Verständnis sind hier die wichtigsten aufgeführt:

a	Jahr	Pa	Pascal
AT	Außentemperatur	Prim	Primär(-kreislauf)
BP	Betriebspunkt (Pumpe)	RL	Rücklauf
°C	Grad Celsius	RLT	Raumluftechnik
el./elektr.	elektrisch	Sek	Sekundär(-kreislauf)
FBH	Fußbodenheizung	TAB	Technische Anschlussbedingungen
FVU	Fernwärmeversorgungsunternehmen	Temp.	Temperatur
FW	Fernwärme	TWW	Trinkwarmwasser
h	Stunden	Vbh	Vollbenutzungsstunden
K	Kelvin	VL	Vorlauf
kPa	Kilopascal	W	Watt
kW	Kilowatt	WÜS	Wärmeübergabestation
MW	Megawatt	WW	Warmwasser (=Trinkwarmwasser)
mWS	Meter Wassersäule	Zirk.	Zirkulation

## 1) Einleitung

Mit dem Pariser Klimaabkommen 2015 verpflichtete sich auch Deutschland, seinen Teil zur Begrenzung der menschengemachten globalen Erwärmung auf unter 2 °C beizutragen. Erreicht werden soll das durch die Reduktion von Treibhausgasemissionen, bis 2030 um 55 % und 2040 um mindestens 70 % gegenüber dem Wert von 1990. Ab dem Jahr 2050 soll Deutschland „weitgehend treibhausgasneutral“ sein, wie die Bundesregierung es formuliert.<sup>1</sup>

Der jährliche Bericht des Bundesumweltministeriums „Klimaschutz in Zahlen“ offenbart die Versäumnisse der deutschen Klimapolitik der vergangenen Jahre. Während man im Stromsektor die gesteckten Ziele für 2020 einhalten konnte, sind beispielsweise im Verkehrssektor die Emissionen im Vergleich zu 1990 nicht gesunken.<sup>2</sup> Der Gebäudesektor, also Privathaushalte und gewerbliche Bauten, war 2017 für 14,6 % der nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich. Allerdings werden hier nur die direkten Emissionen aus den Kaminen berücksichtigt, indirekte Emissionen aus der öffentlichen Gebäudeversorgung, wie Strom oder Fernwärme, werden zum Sektor der Energiewirtschaft gerechnet. Zählt man diese nun zum Gebäudebereich mit dazu, steigt dessen Anteil auf das Doppelte und macht somit rund ein Drittel der gesamtdeutschen Emissionen aus. Das Einsparpotenzial ist hier enorm, zwei Drittel der Wohngebäude wurden vor der ersten Wärmeschutzverordnung 1979 gebaut. Eine Untersuchung des Umweltbundesamt hinsichtlich des Heizenergieverbrauchs hat gezeigt, dass nur jedes achte Gebäude in Deutschland ausreichend energetisch saniert ist, Neubauten mit eingerechnet. Während dort 50 bis 90 kWh/m<sup>2</sup>a Standard sind, benötigt der große Rest jährlich mehr als doppelt so viel Energie für Heizung und Warmwasser.<sup>3</sup>

Eine energetische Sanierung beinhaltet im Wesentlichen zwei Maßnahmen: die Reduzierung der Wärmeverluste über die Gebäudehülle und die Optimierung der Wärmeversorgung, also eine Minimierung der Umwandlungs- und Verteilungsverluste, sodass die Wärme auch dort ankommt wo sie gebraucht wird. In dieser Bachelorarbeit will ich mich

---

<sup>1</sup> Bundesumweltministerium (BMU): Klimaschutz in Zahlen, Ausgabe 2019, 1. Auflage S. 24.

<sup>2</sup> Ebd.

<sup>3</sup> Ebd., S.41f.

mit dem zweiten Teil auseinandersetzen, nämlich der Wärmeversorgung im Rathaus in Pullach. Der Ort mit knapp 9000 Einwohnern grenzt im Süden Münchens direkt an die Stadtgrenze an und besitzt seit 2005 ein Tiefengeothermisches Kraftwerk mit 16 Megawatt Leistung. Betreiber der Anlage ist die IEP GmbH (Innovative Energie für Pullach), eine kommunale Firma, die 2002 gegründet wurde und über ein stetig wachsendes Fernwärmenetz mittlerweile drei Viertel des gesamten örtlichen Wärmebedarfs abdeckt.<sup>4</sup> Neben Privathaushalten sind Industrie, Gewerbe und kommunale Einrichtungen wie Schulen oder Schwimmbad die wichtigsten Wärmeabnehmer. Auch das Rathaus ist seit 2007 an die Geothermie angeschlossen. Dabei konnten drei alte Gaskessel mit einer Gesamtleistung von 600 Kilowatt durch eine regenerative Wärmeversorgung ersetzt werden.

Aus Sicht des Energieversorgers ist es essenziell, dass im Fernwärmenetz eine hohe Temperaturspreizung erreicht wird. Andernfalls müsste die Last durch einen höheren Volumenstrom abgedeckt werden, was gleichbedeutend wäre mit einem deutlich größeren Strombedarf der Umwälzpumpen. Die Netzvorlauftemperatur bewegt sich in einem festen Korridor von 85-95°C. Die Möglichkeiten einer Verbesserung der Spreizung beschränken sich somit auf den Rücklauf. Eine direkte Auswirkung auf die Temperatur haben die Heizungsanlagen der Wärmeabnehmer: Je besser diese eingestellt sind desto niedriger ist die Rücklauftemperatur. Ineffiziente Anlagen geben oftmals Temperaturen zwischen 60 und 70°C an das Netz zurück. Eine Rücklauftemperaturbegrenzung in jeder Fernwärmeübergabestation sorgt zwar dafür, dass maximal 60°C an das Netz zurückgegeben werden, allerdings führt diese harte Abregelung oft zu Heizungsstörungen bei Kundenanlagen und verhindert eine optimale Wärmeversorgung in den entsprechenden Gebäuden. Das Pullacher Rathaus fällt unter diese Kategorie und da es mit knapp 600 kW gebuchter Leistung zu den Großabnehmern gehört, gibt es ein beiderseitiges Interesse von Kommune und Energieversorger, die Heizungsanlage im Betrieb zu verbessern.

Im Rahmen dieser Abschlussarbeit soll deshalb die Wärmeversorgung im Rathaus ganzheitlich untersucht werden. Dazu gehört eine Bestandsaufnahme der gebäudetechnischen Gegebenheiten im Rathaus. Das schließt sowohl Wärmeerzeugung als auch die Verteilung mit

---

<sup>4</sup> Vgl. IEP- Innovative Energie für Pullach GmbH: [www.iep-pullach.de/unternehmen#daten-fakten](http://www.iep-pullach.de/unternehmen#daten-fakten) [zuletzt abgerufen am 22.03.2020].

ein. Auf dieser Basis werden die verschiedenen Bereiche anschließend hinsichtlich Temperaturverlauf und Volumenstrom genauer analysiert und bewertet. Auch auf den elektrischen Energieeinsatz soll eingegangen werden. Der Fokus richtet sich aus umfangstechnischen Gründen auf das Hauptgebäude, die mitversorgten Nebengebäude werden jedoch mitbetrachtet, ohne in die Tiefe zu gehen. Die Ergebnisse der Analyse fließen dann in einen Maßnahmenkatalog, in dem die verschiedenen Optimierungsmöglichkeiten diskutiert werden, worauf die zuständigen Abteilungen der Gemeinde entscheiden können, was in welcher Form umgesetzt werden soll.

Durch eine Effizienzsteigerung der mit Fernwärme versorgten Heizungsanlagen ist eine bessere Ausschöpfung der Geothermie möglich. Mit der freiwerdenden Leistung können bei gleichem Energieeinsatz weitere Objekte erschlossen werden und dadurch konventionelle Energieträger verdrängt werden. Die Dekarbonisierung wird seitens der Gemeinde weiter vorangetrieben, um eine deutliche Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der Pullacher Bürger unter den deutschen Durchschnitt von 9,6 Tonnen pro Kopf und Jahr zu erreichen.<sup>5</sup> Um bis 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu sein, muss jeder Sektor seinen Beitrag leisten. Für den Gebäudebereich bedeutet das, dass in Zukunft der Fokus noch stärker als bisher auf die Bestandsbauten gerichtet werden muss, um dort den Energieverbrauch zu senken und gleichzeitig die Energieerzeugung zu dekarbonisieren.

---

<sup>5</sup> Bundesumweltministerium: Klimaschutz in Zahlen 2019, S. 26.

## II) Bestandsaufnahme und Analyse der Wärmeversorgung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist eine Analyse der bestehenden Heizungsanlage des Pullacher Rathauses. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen Vorschläge zu einer Optimierung der Anlage hinsichtlich einer Effizienzsteigerung der Fernwärmenutzung erbracht werden. Im aktuellen Betrieb muss die meiste Zeit die Rücklauftemperaturbegrenzung der Fernwärmeübergabestation den Durchfluss abregeln. Es werden selten Temperaturspreizungen von mehr als 10 Kelvin auf der Sekundärseite erreicht, bei einer Deaktivierung der Temperaturbegrenzung steigt der Fernwärmerücklauf, der sogenannte Primärücklauf, auf bis zu 66 °C. In einigen anderen Anlagen reicht dieser Wert als Vorlauftemperatur aus, was das enorme Potenzial einer Verbesserung der Heizungsanlage offenbart. Die Grundlagen hierfür sollen durch diese Abschlussarbeit erarbeitet werden. Bevor Analysen durchgeführt und daraus Schlüsse gezogen werden können, ist eine umfassende Bestandsaufnahme erforderlich, welche die vorhandenen örtlichen und technischen Gegebenheiten dokumentiert und die Basis für alle weiteren Schritte ist. Nach der Analyse und Bewertung sollen abschließend mögliche Maßnahmen diskutiert werden, um die Fernwärme effizienter zu nutzen, also das Verhältnis von Volumenstrom zugunsten der Temperaturspreizung zu senken, aber auch beispielsweise den elektrischen Energieeinsatz für Pumpen zu reduzieren. Im Fokus soll die zentrale Wärmeverteilung im Rathaus stehen und darüber hinaus die Verteilung in den anderen Gebäudeteilen betrachtet werden.

### 1. Bestandsaufnahme

Bei dem Objekt handelt es sich um einen Gebäudekomplex mit mehreren Nutzungseinheiten. Neben dem Rathaus befindet sich ein Altbau, in dem eine Turnhalle und eine Musikschule untergebracht sind. Direkt daneben grenzt die Grundschule mit Klassenzimmern, einem kleinen Turnsaal sowie Büros und einer Aula an. Alle Gebäude werden vom Hauptheizungsverteiler mit Wärme beliefert und teilweise von Unterverteilungen geregelt.

## 1.1. Gebäude

Das Rathaus besteht aus einem alten (1) und einem neueren (2) Gebäudeteil. Ersterer (auch „Rathaus Altbau“) wurde 1900 gebaut und im Jahr 2013 saniert und das Dachgeschoss ausgebaut. In dem Zuge wurden besser gedämmte Fenster eingebaut und die Heizkörper erneuert. Im Keller befindet sich die Heizungs-



Abbildung 1-A: Rathaus mit Nebengebäuden, Quelle: Google Maps 2020

technik mit Wärmeübergabestation, Hauptverteilung und Ausdehnungsgefäßen. Der neue Anbau des Rathauses (auch „Neues Rathaus“; Ziffer 2), in dem sich u. a. der große Sitzungssaal befindet, wurde 1978 fertiggestellt und ist als einziges Gebäude mit einer Fußbodenheizung ausgestattet. Der lange Bau (3) mit Nord-Süd-Ausrichtung wurde 1900 fertiggestellt und 1936 um seinen nördlichen Anbau ergänzt. Darin befinden sich, neben Lagerräumen im Keller, die Turnhalle mit Umkleiden und Duschen im Erdgeschoss und eine Musikschule im Obergeschoss. Dort gibt es mehrere kleine Über-

zimmer und einen größeren Raum für Vorspiele und Gruppenunterricht. Das ausgebaute Dachgeschoss ist unterteilt in einen Wohnbereich im Südteil, in dem eine Dienst-/ Haus-

meisterwohnung untergebracht ist und Klassenzimmer im Nordteil, die von Musik- und Grundschule als Überäume genutzt werden. Die Grundschule (4), 1981 gebaut und 1998 erweitert, ist nur zweigeschossig und wird ebenso über die Hauptver-



Abbildung 1-B Altes Rathaus (rechts) und Neues Rathaus

teilung mit Wärme versorgt. Die lange Zubringerleitung für diesen Heizkreis kann man als internes Nahwärmenetz bezeichnen. In der Schule befindet sich ein großer Technikraum mit eigener Heizungsverteilung

und einer Lüftungsanlage mit Lufterhitzer, die jedoch seit Jahren außer Betrieb ist und somit keinen Einfluss auf das Heizverhalten hat. Ebenso gibt es im Neuen Rathaus ein RLT-Gerät, das die Zuluft mithilfe von Trinkwasser in einem Kühlregister herunterkühlt. Das erwärmte Trinkwasser läuft direkt in den Abfluss. Diese Kühlung ist gelegentlich im Sommer in Betrieb, um den Sitzungssaal zu klimatisieren, der sich unter dem unisolierten Dach stark aufheizt. Bei hochsommerlichen Temperaturen zeigt die Klimatisierung allerdings wenig Wirkung.

Anhand von Plänen (siehe Anhang Teil 1) kann überschlägig die beheizte Fläche errechnet werden. Überschlägig deshalb, weil in einer Bestandsaufnahme nicht immer klar getrennt werden kann zwischen beheizten und unbeheizten Räumen. Beispielsweise sind in einigen Kellerräumen Heizkörper angebracht, die nur selten benötigt werden. Oder es wurden in Gebäudeteilen mit Fußbodenheizung nachträglich Wände eingezogen und so gibt es Büros, deren Fußboden nur zur Hälfte beheizt wird. Alle Stockwerke mit eingerechnet kommt man auf etwa 5000 m<sup>2</sup> beheizte Fläche. Wichtig ist dies zur Ermittlung von spezifischen Kennzahlen, die zur besseren Vergleichbarkeit mit Referenzgebäuden auf die Fläche bezogen werden, beispielsweise der jährliche Wärmebedarf oder die spezifische Heizlast.

## 1.2. Wärmeerzeugung

Mit dem Anschluss an das Fernwärmenetz im Jahr 2006 wurden zwei Gaskessel mit 305 kW für den Winterbetrieb und ein Kessel mit 95 kW Leistung für die Warmwasserbereitung im Sommer durch eine Wärmeübergabestation ersetzt. Die Leistung wurde nicht anhand der



Abbildung 1-C: Fernwärmeübergabestation mit isoliertem Plattenwärmetauscher (blau)

installierten Gasbrenner berechnet oder nach der Heizlast, sondern anhand des tatsächlichen Energieverbrauchs. Durch diese Methode werden Unwägbarkeiten und Ungenauigkeiten einer Heizlastberechnung umgangen. Besonders das spezifische Heizverhalten der Nutzer wird darin automatisch berücksichtigt. Der damalige Wärmeverbrauch wurde mit 667 MWh angegeben und damit eine

Leistung von 577 kW errechnet. Das entspricht 1.156 Vollbenutzungsstunden (Vbh), was deutlich unter dem Durchschnitt der Pullacher Fernwärmeanlagen von knapp 1.700 Vbh liegt. Dies entspräche einer Leistung von etwa 400 kW.

<b>Hersteller</b>		Alfa Laval
<b>Typ</b>		CB76-150H
<b>Auslegungsleistung</b>	kW	ca. 700
<b>Freigeschaltete Leistung</b>	kW	577
<b>Temperaturen primär</b>	°C	85/62
<b>Volumenstrom primär</b>	m <sup>3</sup> /h	6,4
<b>Temperaturen sekundär</b>	°C	71/59
<b>Volumenstrom sekundär</b>	m <sup>3</sup> /h	12,2

*Tabelle 1-I: Daten Plattenwärmetauscher der WÜS*

Die Übergabestation vom Typ „CAD I-0“ ist von der Firma PEWO. Die Regelungstechnik kommt von der Firma Schneid aus Österreich und ist per Datenleitung mit der Leitstelle des Energieversorgungsunternehmens verbunden. Somit können sämtliche Parameter der Primär- und Sekundärseite der Station von der Leitstelle aus eingestellt oder ausgelesen werden. Auch die komplette Regelung der Heizkreise ist möglich, dies wird allerdings nach wie vor von der alten Kesselregelung übernommen. Inzwischen häufen sich Störungen und Ausfälle, zudem sind die Einstellmöglichkeiten für die Heizungsregelung begrenzt, weshalb hier schon länger ein Austausch angedacht ist. Der FW-Vorlauf bewegt sich in einem Korridor zwischen 80 und 90 °C. Das Fernwärmeversorgungsunternehmen garantiert in seinen TAB eine Mindesttemperatur von 75 °C.<sup>6</sup>

### 1.3. Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung schließt sämtliche Leitungen, Armaturen und Steuerungen ab dem Hauptheizungsverteiler ein. Es gibt insgesamt sechs Heizkreise mit den Bezeichnungen: Rathaus Altbau, Musikschule (nur 1. OG), Turnhalle/Hausmeisterwohnung (Erdgeschoss und Dachgeschoss der Musikschule), Grundschule, Neues Rathaus und den Boilerladekreis (siehe Heizungsschema, Anhang Teil 1). Grundschule und Neues Rathaus besitzen jeweils

<sup>6</sup> Innovative Energie für Pullach GmbH: [https://iep-pullach.de/wp-content/uploads/2020/04/202001\\_Technische-Anschlussbedingungen\\_Anpassung.pdf](https://iep-pullach.de/wp-content/uploads/2020/04/202001_Technische-Anschlussbedingungen_Anpassung.pdf), S. 4 [zuletzt abgerufen am 25.04.2020].

eine eigene Unterverteilung. Diese beiden Heizkreise sind ungeregelt, das bedeutet, der Vorlauf hat das gleiche Temperaturniveau wie an der Übergabestation und wird erst in den Unterverteilungen für die jeweiligen Heizkreise angepasst. Die vier restlichen Kreise sind geregelte Verbraucherkreise und versorgen direkt ihre Heizkörper bzw. den Boiler.

### 1.3.1. Regelung der Heizkreise

Die Regelung der Gaskessel und der Heizkreise des Typs „Regelsystem 3000“ von Buderus wurde bei der Umstellung auf Fernwärme nicht ausgetauscht und regelt nach Wegfall der Kessel nur noch die einzelnen Heizkreise des Hauptverteilers. Eine Gebäudeleittechnik, wie sie in vielen größeren Objekten mittlerweile Standard ist, existiert hier nicht, weshalb die Überwachungsmöglichkeiten von Temperaturen und Energieströmen begrenzt sind. Einstellungen werden manuell vorgenommen und meist nur auf Rückmeldung der Beschäftigten im Rathaus, nicht aber hinsichtlich einer Energieoptimierung. Für die Heizkreise gibt es beispielsweise nur die Möglichkeit einer Nachtschaltung der Pumpen, eine Absenkung der geregelten Kreise ist nicht möglich. Die Regelungen der Unterverteilungen von Grundschule und neuem Rathaus können dagegen schon ihre Heizkreise absenken.



Abbildung 1-D: Hauptheizungsverteiler

### 1.3.2. Umwälzpumpen

Der Heizungsverteiler versorgt über die sechs Heizkreise mithilfe von Umwälzpumpen die benötigte Wärmemenge jeweils zu den Verbrauchsstellen. Eine Vordruckpumpe zwischen Übergabestation und Hauptverteiler gibt es nicht (siehe Heizungsschema, Anhang Teil 1). Von den sechs Hauptpumpen sind fünf noch aus dem Bestand von 1991, als die Anlage gebaut wurde. Lediglich die Pumpe im Musikschulkreis wurde seitdem ausgetauscht und hat eine integrierte Differenzdruckregelung. Die Umwälzpumpe des Heizkreises Turnhalle/Hausmeister ist ebenso geregelt, hat jedoch einen verhältnismäßig hohen Strombedarf gegenüber modernen Pumpen. Die restlichen, meist Doppelpumpen, sind ungeregelt und nur stufenweise einstellbar (siehe Datenblätter, Anhang Teil 2).

### 1.3.3. Unterverteilungen, Heizkörper und Fußbodenheizung

Bis auf Teile des Neuen Rathauses, welches das jüngste der Gebäude ist, sind im gesamten System ausschließlich Radiatorenheizkörper verbaut. In der Grundschule werden sie über eine eigene Heizungsunterverteilung versorgt und geregelt. In den Heizkreisen Turnhalle/Hausmeister und Musikschule sowie im alten Rathaus werden die Steigstränge direkt von der Zentrale aus im Zweirohrsystem angefahren. Im Neuen Rathaus ist ein Unterverteiler mit Vordruckpumpe zwischengeschaltet (siehe Anhang Teil 1), der Fußbodenkreise, Heizkörper und Luftherhitzer der RLT-Anlage versorgt, die jedoch seit Jahren nicht mehr zum



Abbildung 1-E: Unterverteilung "MAGRA-Tubo"

Heizen genutzt wird und somit keine Rolle bei der Betrachtung spielt. Für die einzelnen Räume oder Gebäudeabschnitte im Neuen Rathaus sind Heizkreisverteiler des Typs „MAGRA-Tubo“ der Firma Maile + Grammer GmbH angebracht. Versorgt werden hierüber neben sämtlichen Fußbodenheizungen auch die meisten Heizkörper, allesamt auf dem Temperaturniveau der FBH.

### 1.3.4. Warmwasser

An den meisten Zapfstellen wird das Warmwasser elektrisch in Untertischboilern aufgeheizt. Ausnahme ist die Grundschule, in der das Brauchwasser durch einen 300l-Speicher bereitgestellt wird, der an das Heizungssystem angeschlossen ist. Am Hauptheizungsverteiler gibt es ebenfalls einen Boilerladekreis mit einem 400l-Speicher, mit dem 15 Waschbecken im Alten und Neuen Rathaus versorgt werden, davon zwei Teeküchen, neun WC-Waschbecken und vier Handwaschbecken für die Polizeidienststelle und drei Büros. Die Zirkulationspumpe läuft scheinbar beliebig innerhalb der programmierten Zeiträume (Tabelle 2-II). Woher die Anforderung jeweils kommt, konnte nicht ermittelt werden. Ein zuverlässiger Betrieb scheint jedoch nicht gegeben zu sein, da bei Probeentnahmen an verschiedenen Zapfstellen das Warmwasser erst nach über 20 Sekunden die volle Temperatur erreichte. Da von 15 Waschbecken drei nicht mehr oder nur sehr selten genutzt werden, besteht in den stagnierenden Leitungen daher Potenzial zur Legionellenbildung.

## 2. Analyse und Bewertung

Auf Basis der Bestandsaufnahme soll im folgenden Kapitel die Heizungsanlage energetisch analysiert werden. Um Zahlen und Ergebnisse besser einordnen zu können, sind spezifische Kennzahlen hilfreich, die mit Referenzwerten verglichen werden. Außerdem werden Temperaturen, Volumenströme, hydraulisches Verhalten und auch der elektrische Energieeinsatz näher betrachtet.

### 2.1. Wärmebedarf und überschlägige Heizlast

Der Wärmeverbrauch wird über einen geeichten Wärmemengenzähler des Energieversorgers täglich mitgeloggt. Über die letzten Jahre hat sich ein durchschnittlicher Energiebedarf für Heizung und Warmwasser von  $Q_{h+w} = 685.000 \text{ kWh/a}$  eingestellt. Das ergibt bei etwa 5000 m<sup>2</sup> beheizter Fläche einen Bedarf von:

$$q_{h+w} = \frac{Q_{h+w}}{A} = \frac{685.000 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{5.000 \text{ m}^2} = 137 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$$

Zum Vergleich: Nichtwohngebäude wie Schulen oder Büros haben nach EnEV 2016 einen Energiebedarf von 30 bis 70 kWh/m<sup>2</sup>a für Heizung und Warmwasser.<sup>7</sup> Der bundesweite Durchschnitt für Privathaushalte betrug im Jahr 2017 dagegen 133 kWh/m<sup>2</sup>a.<sup>8</sup>

Anhand der monatlichen Verbräuche kann näherungsweise der Energiebedarf für Trinkwarmwasser extrahiert werden: Im Sommer sind die Heizkreise ausgeschaltet, das bedeutet, dass nur die zwei Boiler in Rathaus und Grundschule Wärme abnehmen. Im August 2019, also zur Urlaubs- und Schulferienzeit betrug das Tagesmittel 450 kWh (Tabelle 2-I). Es ist davon auszugehen, dass es sich hier zum Großteil um Bereitschafts- und Zirkulationsverluste handelt. Bei regulärem Schulbetrieb im Juni liegt der Tagesdurchschnitt bei rund 640 kWh, was bedeuten könnte, dass die Differenz  $Q_w = (640 - 450) \text{ kWh} = 190 \text{ kWh}$  dem tatsächlichen Tagesbedarf entspricht. Der jährliche Energiebedarf für Warmwasser inkl. Verlusten würde nach dieser Logik  $Q_h = \frac{640 \text{ kWh}}{d} * 365d = 233.600 \text{ kWh}$  entsprechen, rund einem Drittel des gesamten Jahresheizwärmebedarfs. Eine andere Herangehensweise ist die Betrachtung der monatlichen Verbräuche und der Anteil an der Gesamtjahresmenge.

<sup>7</sup> Recknagel, Sprenger: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, 79. Auflage 2019/20, Kap. 1.14.8-4

<sup>8</sup> Umweltbundesamt/Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Projekt Temperaturbereinigung, Stand 11/2018.

Geht man davon aus, dass der Juli und August mit je zwei Prozent die Mindestwerte der WW-Verbräuche sind, dann kommt man auf einen Jahresbedarf von  $Q_h = 2\% * 680 \text{ MWh} * 12 \text{ Monate} = 163 \text{ MWh}$ . Die jährlich benötigte Wärmeenergie in Rathaus und Grundschule für die WW-Bereitung bewegt sich also in einem Bereich zwischen 160 und 230 MWh, inklusive Bereitschafts- und Zirkulationsverluste.

<i>Monat</i>	<b>Mittelwert/Tag in kWh</b>	<b>Wärmebedarf in kWh</b>	<b>Anteil an Jahres- wärmemenge</b>
<i>Januar</i>	3.660	111.230	16%
<i>Februar</i>	3.080	86.250	13%
<i>März</i>	2.500	77.500	11%
<i>April</i>	1.860	55.660	8%
<i>Mai</i>	1.660	51.590	8%
<i>Juni</i>	642	19.270	3%
<i>Juli</i>	490	15.170	2%
<i>August</i>	450	13.960	2%
<i>September</i>	1.200	35.970	5%
<i>Oktober</i>	1.630	50.550	7%
<i>November</i>	2.675	80.260	12%
<i>Dezember</i>	2.850	85.080	12%
		<b>682.490</b>	

Tabelle 2-1: Wärmebedarf Rathaus 2019

Über den Jahresheizwärmebedarf und die Vollbenutzungsstunden (Vbh) einer Anlage kann man außerdem die Heizlast eines Gebäudes überschlägig berechnen. Die Vbh sind eine Kennzahl, mit der die Auslastung und somit die richtige Auslegung eines Wärmeerzeugers überprüft wird oder mit der die Größe des Brennstofflagers (z. B. Öltank) bemaßt werden kann. In Anlehnung an die VDI 2067 gibt es Erfahrungswerte für verschiedene Standorte und Gebäudetypen in Deutschland, z. B. hat die Heizanlage eines Bürogebäudes in München im Schnitt 2050 Vbh pro Jahr, die eines Schulgebäudes 1370.<sup>9</sup> Im hier betrachteten Gebäudekomplex ist beides vorhanden, weshalb im Mittel 1700 Vbh/a angenommen werden sollen, was auch dem Durchschnitt der Pullacher Fernwärmestationen entspricht. Somit ergibt sich eine mittlere Heizlast (mit und ohne Warmwasser  $w$ ) von:

<sup>9</sup> W. Burkhardt/R. Kraus, „Projektierung von Warmwasserheizungen“, 8. Auflage, 2011 Tabelle 12.1.

$$\dot{Q}_{h+w} = \frac{685.000 \frac{kWh}{a}}{1700 \frac{h}{a}} = 403 \text{ kW}; \quad \dot{Q}_h = \frac{(685.000 - 233.600) \frac{kWh}{a}}{1700 \frac{h}{a}} = 266 \text{ kW}$$

$$\dot{q}_{h+w} = \frac{403 \text{ kW}}{5.000 \text{ m}^2} = 0,081 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 81 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}; \quad \dot{q}_h = \frac{266 \text{ kW}}{5.000 \text{ m}^2} = 0,053 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Diese überschlägige Berechnung beruht rein auf Erfahrungswerten und berücksichtigt keine Spitzenlasten. Ein Blick auf die tatsächlichen Lastgänge der Übergabestation an sehr kalten Tagen ist zwar die genauere Methode, allerdings verzerrt hier die Rücklauftemperaturebegrenzung das Betriebsverhalten der Anlage. Durch die ständige Abregelung des Durchflusses kann die eigentlich benötigte Leistung nicht übertragen werden. Hier zeigt sich, dass nie mehr als 300 kW an der Station übertragen wurden (Abbildung 2-A). Bei ausgeschalteter RL-Begrenzung bilden sich zwar Leistungsspitzen, diese überschreiten jedoch nicht 350 kW. Der durchschnittliche Lastgang pendelt sich dagegen bei leichten Minusgraden in einem Bereich zwischen 100 und 200 kW ein (vgl. Abbildung 2-E).

Dass die Station für knapp 600 kW ausgelegt wurde, hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass früher die Heizregister der Lüftungsanlage in Betrieb waren und dadurch eine deutlich höhere Leistungsabnahme im System vorhanden war. Inzwischen sind die beiden Luftherhitzer jedoch nicht mehr in Betrieb und der Leistungsbedarf ist wesentlich geringer.

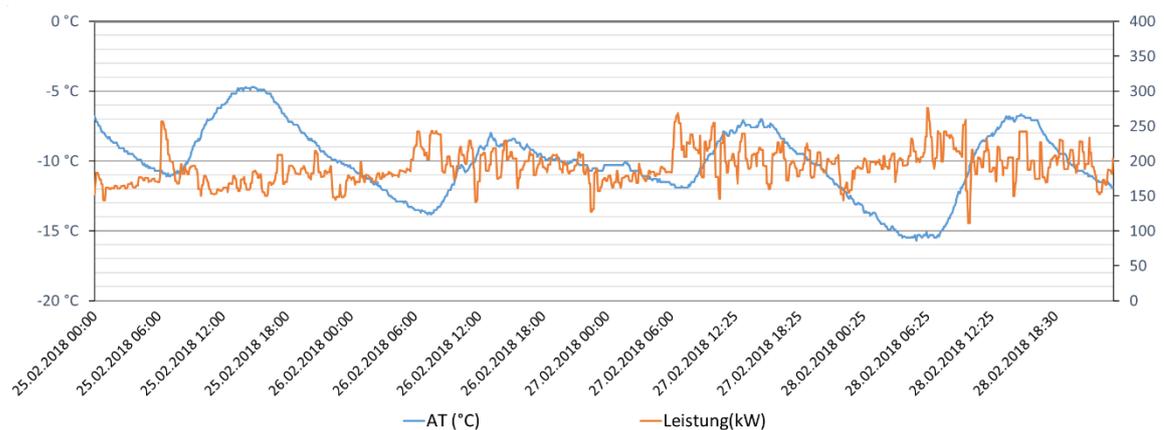


Abbildung 2-A: Volllast an kalten Tagen mit Rücklauftemperaturebegrenzung

## 2.2. Analyse Wärmeerzeugung

Wenn ein bestehendes Heizungssystem analysiert und optimiert werden soll, spielt die Wärmeerzeugung, in diesem Fall die Fernwärmeübergabestation, eine wesentliche Rolle. Falsche Einstellungen oder Störungen an dieser Stelle, wie Ablagerungen im Plattenwärmeübertrager oder ein defektes Primärventil, wirken sich direkt auf die gesamte Anlage aus. Hier sind die wichtigsten Anlagenkenngrößen ablesbar und wie effizient das sekundäre Heizungssystem die Wärme nutzt. Hohe Volumenströme auf der Primärseite müssen von den Netzpumpen im Heizkraftwerk geleistet werden, was einen höheren elektrischen Energieeinsatz zur Folge hat. Hohe Rücklauftemperaturen haben zur Folge, dass sich die Spreizung im Fernwärmenetz verringert. Weil die Thermalwassertemperatur konstant bei rund 105 °C ist und die Schüttung (Förderrate in l/s) sich ebenfalls nicht erhöhen lässt, kann nur über die Rücklauftemperatur die geothermische Leistung erhöht werden. Ist die Leistung zu gering, müssen die Ölkessel des Redundanzkraftwerks zugeschaltet werden. Im Winter ist dies in den Morgen- und Abendstunden der Fall, wenn der Warmwasserverbrauch der Haushalte am höchsten ist. Diese Spitzenlast wird außerdem dadurch verstärkt, dass viele Heizungsanlagen eine Nachtabenkung eingestellt haben, weshalb meist gegen sechs bis sieben Uhr morgens die weniger gut isolierten Gebäude leicht ausgekühlt sind und einen erhöhten Wärmebedarf haben.

Für eine effiziente Fernwärmenutzung sind also im Wesentlichen zwei Faktoren ausschlaggebend: Die Primärrücklauftemperatur an der Wärmeübergabestation sollte so gering wie möglich sein, auf keinen Fall aber 60 °C überschreiten.<sup>10</sup> Dies wird in den TAB des Energieversorgers auch so gefordert und durch eine Rücklaufbegrenzung, die bei Nichteinhaltung den Primärdurchfluss eindrosselt, sichergestellt. Allerdings werden Ausnahmen gemacht, wenn durch die Begrenzung die Heizungsanlage nicht mehr funktionieren würde. Von einer solchen Ausnahme betroffen ist das Rathaus, hier wurde die Rücklaufbegrenzung auf 63 °C eingestellt. Der zweite Faktor ist der Volumenstrom – hier kann auf beiden Seiten durch eine Erhöhung der Spreizung elektrische Pumpenenergie eingespart werden.

---

<sup>10</sup> Innovative Energie für Pullach GmbH: Technische Anschlussbedingungen. [zuletzt abgerufen am 25.04.2020].

### 2.2.1. Primärseite

In Abbildung 2-B erkennt man die Auswirkung der Rücklaufbegrenzung: Sobald der Temperaturfühler höhere Werte als 63 °C misst, reduziert das Primärventil den Volumenstrom (grün). Das System weist deshalb kein stabiles Regelverhalten auf, sondern schwingt entlang der vorgegebenen Temperatur. Gut erkennbar sind die hohen Durchflussraten jeden Morgen ab 6 Uhr, an manchen Tagen bis zu 14.000 l/h. Diese Spitzen decken sich mit dem Ende der Nachtabenkung. Sobald bei mehreren Heizkreisen gleichzeitig die Mischer aufmachen, steigt der Volumenstrom und sinkt der Sekundär-VL worauf die Übergabestation den Primärdurchfluss erhöhen muss.

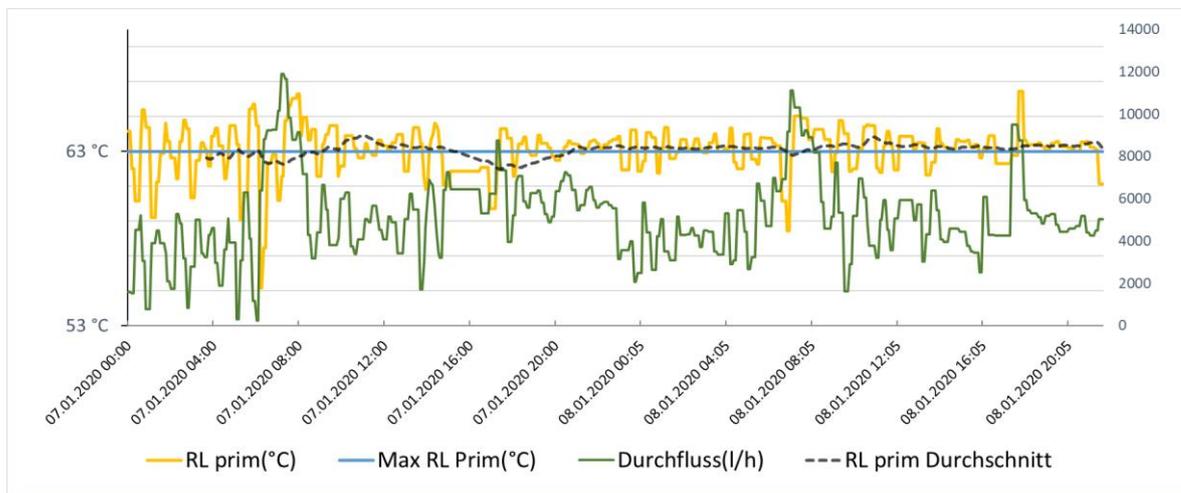


Abbildung 2-B: Rücklauf und Durchfluss primär mit Temperaturbegrenzung bei 63°C

Durch den hohen Volumenstrom und die größere Spreizung entstehen Leistungsspitzen bis 300 kW (Abbildung 2-D). Für die Schwingungen im unteren Leistungsbereich ist die Rücklauftemperaturebegrenzung verantwortlich. Wird diese ausgeschaltet verschwinden die Schwankungen (Abbildung 2-E) und es stellt sich, abgesehen von den morgendlichen Spitzen, ein stabiles Regelverhalten ein. Auch die Temperaturkurven werden bis auf wenige Ausreißer stabiler (Abbildung 2-C). Gleichzeitig erhöht sich die durchschnittliche Primär-rücklauf-temperatur um drei bis vier Kelvin. Die geringe Differenz der primären zur sekundären Rücklauf-temperatur zeigt eine sehr gute Grädigkeit des Plattenwärmeübertragers und schließt somit eine Verschmutzung der Platten oder sonstige Störung aus. Aufgrund der in 2.1. diskutierten Überdimensionierung der Station mit 577 kW Leistung ist die Über-trägerfläche verhältnismäßig groß. Klare negative Auswirkungen sind jedoch nicht zu sehen, im Teillastfall bei etwa 100 kW scheint das Primärventil noch stabil regeln zu können.

Bei niedrigen Lastgängen im Sommer unter 50 kW kann sich dies jedoch ändern. Da im Moment keine Daten für den Sommerfall ohne RL-Begrenzung vorliegen, muss das Verhalten der Station weiter beobachtet werden.

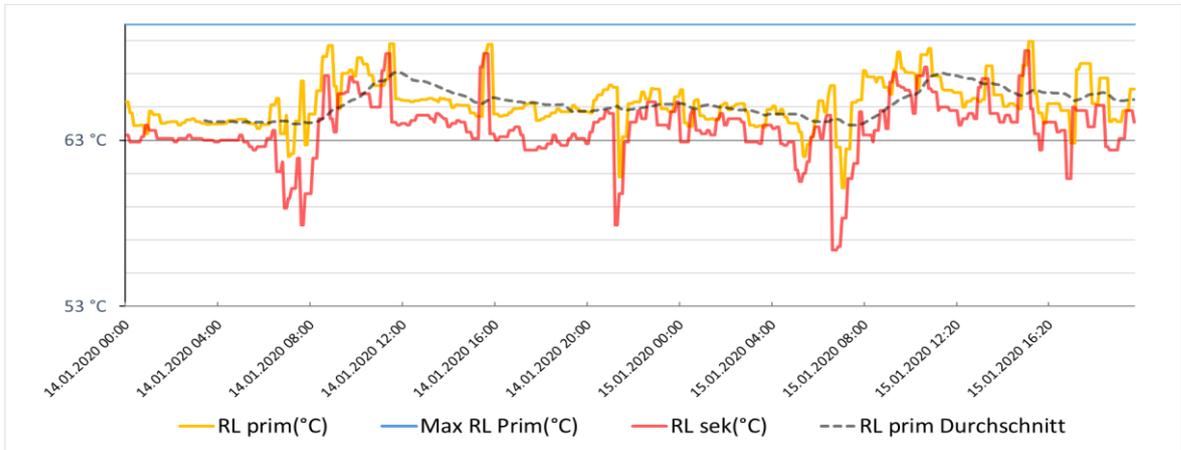


Abbildung 2-C: Rücklauftemperatur primär/sekundär ohne Begrenzung

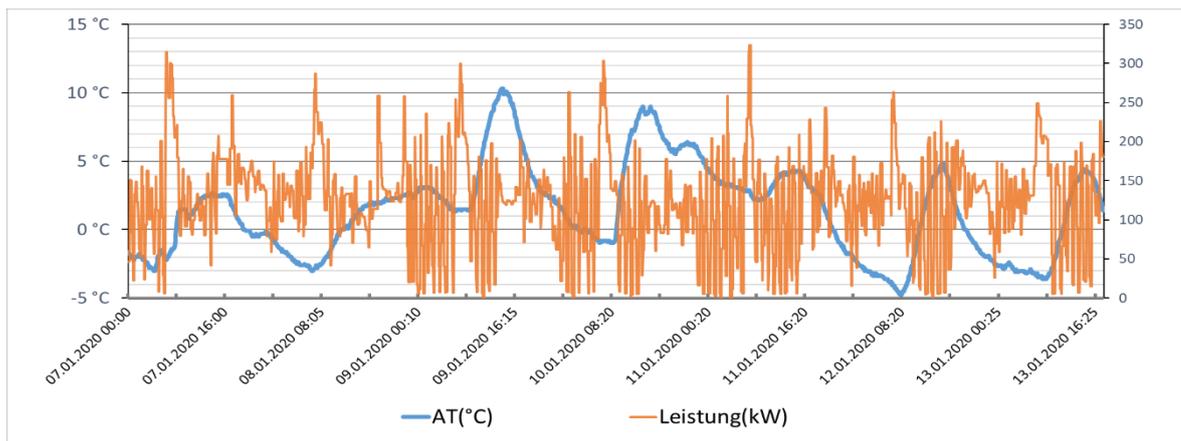


Abbildung 2-D: Leistungsabgabe primär mit RL-Temperaturbegrenzung

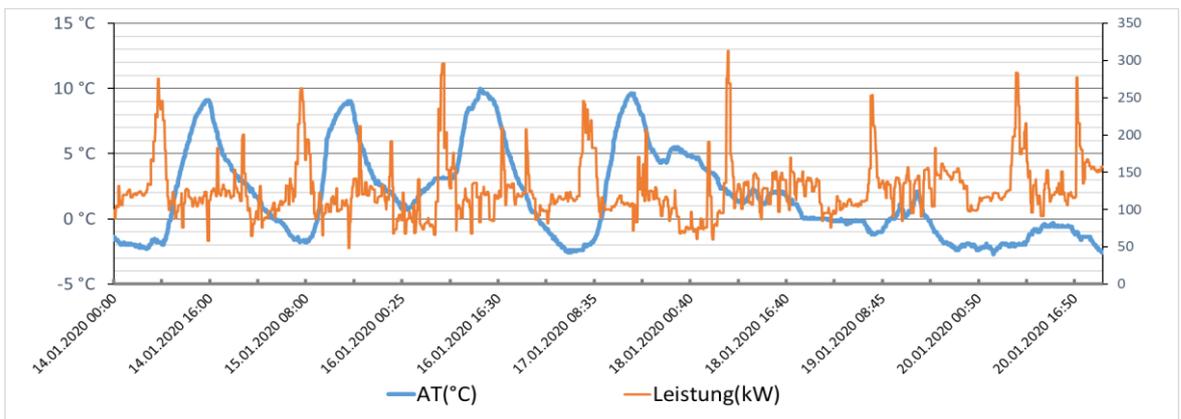


Abbildung 2-E: Leistungsabgabe primär ohne RL-Temperaturbegrenzung

### 2.2.2. Sekundärseite

Aufgrund der guten Grädigkeit des Wärmeübertragers kann davon ausgegangen werden, dass sich die Leistung der Primärseite nur mit geringen Verlusten auf die Sekundärseite übertragen wird. Die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf ist bekannt und daher kann man überschlägig die Volumenströme auf der Sekundärseite berechnen:

$$\dot{m}_1 = \frac{Q}{c \cdot \Delta\theta} = \frac{100 \text{ kW}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 7\text{K}} = 3,41 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 12,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Mit einem Ultraschallmessgerät wurden bei Volumenströme von bis zu 13 m<sup>3</sup>/h bei ähnlichen Bedingungen aufgezeichnet. Die überschlägige Berechnung kann also bestätigt werden. Um eine Relation für diese Masseströme zu bekommen, kann die Fließgeschwindigkeit des Heizungswassers in dieser Strecke berechnet werden. Über den Querschnitt (DN100) der Rohre erhält man:

$$A = \frac{d^2}{4} * \pi = \frac{(0,1\text{m})^2}{4} * \pi = 7,85 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v_{100 \text{ kW}} = \frac{\dot{m}}{A} = \frac{3,41 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{7,85 * 10^{-3} \text{ m}^2} = 0,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 2.2.3. Regelung der Übergabestation

Die Solltemperatur des Sekundärvorlaufs wird mit dem Primärventil über den Durchfluss geregelt. Sie ist ganzjährig auf einen fixen Wert von 71 °C eingestellt. Eine außentemperaturgeführte Regelung der Vorlauftemperatur ist damit ausgehebelt, weil das ganze Jahr über stabile VL-Temperaturen für die Warmwasserbereitung benötigt werden. Eine Berechnungsgrundlage für diesen Wert gibt es allerdings nicht und sollte an die Boiler angepasst werden. Einerseits, um übermäßigen Kalkausfall im Warmwasser zu vermeiden, andererseits, weil man durch eine Verringerung der VL-Temperatur sehr effektiv einen kühleren Rücklauf bewirkt, ohne dabei die Spreizung erhöhen zu müssen. Um im Vollastfall noch ausreichend Wärme zur Verfügung zu haben, kann man die Heizkurve der Station so anpassen, dass stets eine Übertemperatur von sechs Kelvin gegenüber der höchsten Heizkurve der Verbraucherkreise eingehalten wird.

### 2.3. Analyse Heizkreise

Die Sekundärücklauftemperatur ist die Mischtemperatur von allen Rückläufen der Heizkreise. Stark durchströmte Kreise haben dabei einen höheren Einfluss, weil sich gemäß der „Richmannschen Mischungsregel“ eine mittlere Rücklauftemperatur von  $T_m = \frac{m_1 T_1 + m_2 T_2 + \dots + m_x T_x}{m_1 + m_2 + \dots + m_x}$  einstellt. Zu einer aussagekräftigen energetischen Analyse hinsichtlich eines optimierten Fernwärmerücklaufs gehören folglich die Betrachtung der Temperaturverläufe und der Volumenströme. In diesem Kapitel soll auf die sechs Heizkreise des Hauptverteilers einzeln eingegangen werden.

Über die bestehende Buderus-Regelung können keine Absenkezeiten für Heizkreise definiert werden, sondern nur Abschaltzeiten. Während bei ersteren die Heizkurve (und damit die Solltemperatur) um einen vorgegebenen Wert in einem bestimmten Zeitraum gesenkt wird, z. B. um -2 °C oder -5 °C, gibt es bei zweiteren nur für die Pumpen die Anforderung „ein“ oder „aus“.

Heizkreis	Betriebszeiten Pumpe
Altes Rathaus	MO-FR 6.00-18.00 Uhr
Musikschule	MO-FR 8.00-22.00 Uhr
Turnhalle/Hausmeister	MO-FR 6.00-22.00 Uhr
Grundschule	Durchgehend
Neues Rathaus	Durchgehend
WW Bereitung	MO-FR 6.00-17.00 Uhr
WW Zirkulation	MO-FR 6.00-18.00 Uhr

Tabelle 2-II: Betriebszeiten der Heizkreispumpen

### 2.3.1. Rathaus Altbau

Das älteste Gebäude ist aufgrund umfangreicher Sanierungsmaßnahmen im Jahr 2013 zugleich das modernste. Dabei wurden das Dachgeschoss ausgebaut, die Fenster erneuert und die Gebäudehülle isoliert sowie teilweise Heizkörper oder Rohrleitungen ausgetauscht.

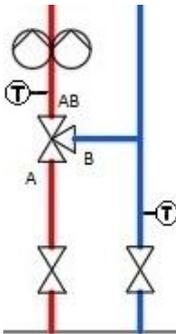


Abbildung 2-G:  
Anordnung  
Temp.fühler

Die Heizungstechnik dieses Heizkreises wurde jedoch nicht erneuert, also weder die Umwälzpumpe getauscht noch ein hydraulischer Abgleich gemacht oder die Heizkurve an die neuen Gegebenheiten angepasst. Mit über 30 Heizkörpern ist dieser zudem der größte der drei gemischten Heizkreise. Temperaturmessungen mit Anlegefühlern an Vor- und Rücklauf (in allen gemischten Kreisen wie in Abbildung 2-G) zeigen ein oftmals unruhiges Regelverhalten der Vorlauftemperatur. Da die unregelte Pumpe mit konstanter Drehzahl läuft (siehe Datenblatt, Anhang Teil 2) und die Heizkurve sehr flach eingestellt und damit unabhängiger von der Außentemperatur ist, ist ein häufiges Takten des Mischventils wahrscheinlich. Ein Grund dafür könnte sein, dass das Ventil (Typ: VXF21.40-19) für die vorherrschenden Volumenströme zwischen 0,3 und 2 m<sup>3</sup>/h zu groß dimensioniert ist (Abbildung 2-H), was zur Folge hat, dass schon eine geringe Änderung der Ventilstellung sich sehr stark auf die Mischtemperatur (in dem Fall die VL-Temperatur des Heizkreises) auswirkt. Ein Indiz dafür ist das stabile Regelverhalten bei höheren RL-Temperaturen, weil gemäß der Mischungsregel sich die VL-Temperatur  $T_m$  weniger stark ändern kann als bei großen Spreizungen. Die Wärmeabgabe über die Heizkörper an die Räume scheint jedoch grundsätzlich effizient zu sein, da die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf oft über 15K beträgt. Heizkörper sind

nach DIN EN 442 auf 75/65 °C Normtemperatur ausgelegt. In Neubauten werden meist niedrigere Temperaturen und größere Spreizungen von 15 bis 20 K gewählt, um die Brennwertnutzung zu erhöhen, aber auch für eine gleichmäßigere Wärmeverteilung im Raum.<sup>11</sup>

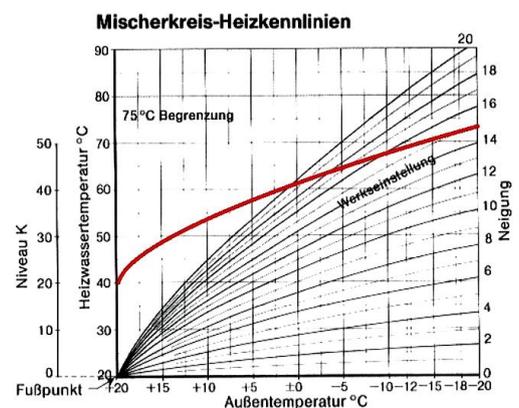


Abbildung 2-F: Rot: eingestellte Heizkurve Rathaus Altbau, Musikschule und Turnhalle/Hausmeister, Quelle: Buderus. Herstellerunterlagen. Regelsystem 3000 Serviceunterlage 2.02. 919659-2/91

<sup>11</sup> Recknagel, Sprenger: Kap. 2.2.2. Wärmeübergabe.

Eine zweite Sache, die auffällt, ist eine höhere RL- als VL-Temperatur in den Abschaltzeiten der Pumpe an den Wochenenden (01./02. und 08./09. Februar) und nachts. In diesen Zeiträumen finden offenbar Fehlströmungen statt, worauf anhand des Beispiels eines anderen Heizkreises in Kap. 2.3.3. näher eingegangen werden soll.

Die mit einem Anlege-Ultraschallmessgerät erfassten Volumenströme weisen Werte von bis zu 1,5 m<sup>3</sup>/h auf. Daraus ergibt sich eine gemittelte Heizlast für diesen Gebäudeteil von

$$\dot{Q}_m = \dot{m} * c * \Delta\vartheta = \frac{1,5 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 18\text{K} = 31 \text{ kW}$$

und bei einer Gesamtfläche von etwa 870 m<sup>2</sup> (EG, 1.OG, 2.OG, DG):

$$\dot{q}_m = \frac{31.000 \text{ W}}{870 \text{ m}^2} = 36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

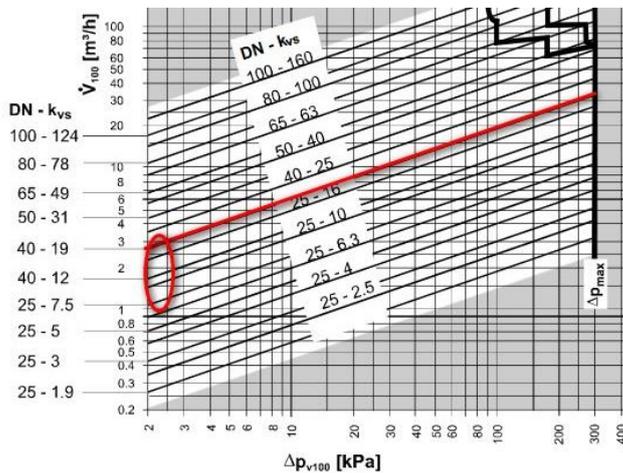


Abbildung 2-H: Kennlinie Dreiwegmischventil VXF21.40-19 Quelle: Siemens Building Technologies, Dreiwegventile PN6 mit Flanschanschluss VXF21.. 2013-09-06

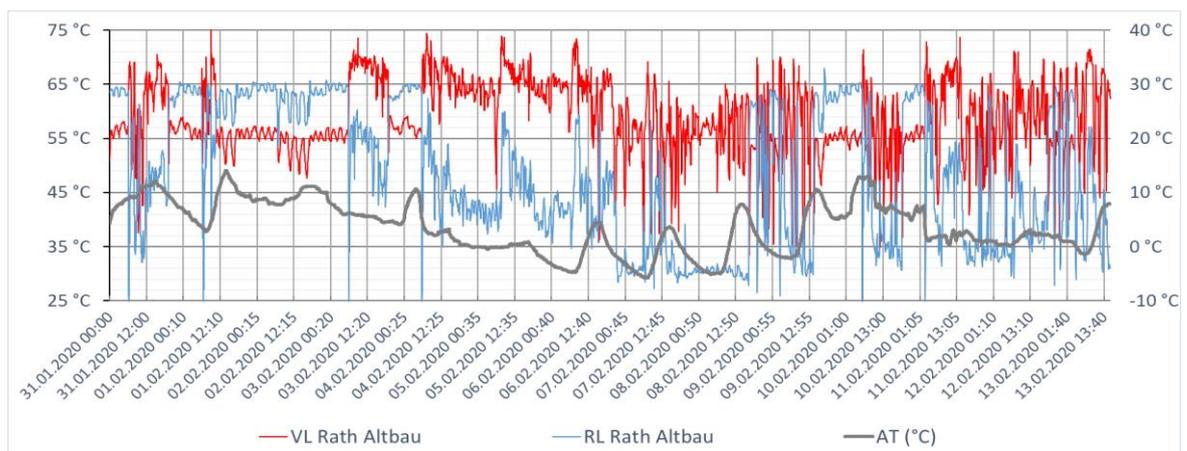


Abbildung 2-I: Temperaturverlauf Altes Rathaus

### 2.3.2. Musikschule

Die Heizkörper im ersten Obergeschoss des Gebäudes gehören zum gleichnamigen Heizkreis „Musikschule“. Hier fällt an den aufgezeichneten Temperaturen von Vor- und Rücklauf ein stetiges Überlagern auf, es bildet sich eine Art Zickzack-Linie: Hat der VL eine bestimmte Temperatur erreicht, erhöht sich die RL-Temperatur, bis es sich wieder umdreht (Abbildung 2-J). Dieses Verhalten ist schwierig zu deuten, am ehesten ist es auf ein häufiges Takten des Mischventils kombiniert mit hydraulischen Fehlströmungen wie in den anderen Heizkreisen zurückzuführen (siehe Kap. 2.3.3). Beobachtungen zeigten außerdem ein wahrscheinlich defektes Mischventil vom Typ VXF21.40-12, bzw. eine Fehlfunktion des zugehörigen Stellmotors SKD32.50. Es ist zudem nicht auszuschließen, dass das häufige Takten von einem Fehler in der Steuerung ausgeht.

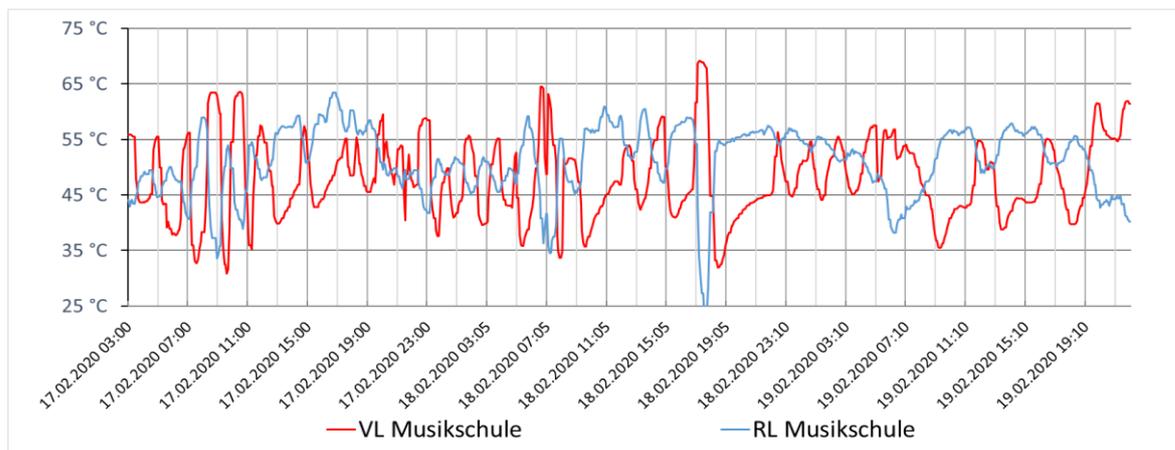


Abbildung 2-J: Temperaturüberlagerungen im Heizkreis Musikschule

Ab einem bestimmten Zeitpunkt der Messungen sind diese Überlagerungen der Temperaturen jedoch nicht mehr vorhanden und es stellt sich ein „normales“ Verhalten des Heizkreises mit einem Vorlauf zwischen 55 und 65 °C und einer Spreizung von durchschnittlich 15 K ein (Abbildung 2-K). Die Ursache für diese erhebliche Änderung des Heizkreisverhaltens liegt wahrscheinlich darin, dass in diesem Zeitraum die Boilerladetemperatur stark abgesenkt war und das den gesamten Verteiler stark beeinflusst hat. Dies soll jedoch in den Kapiteln 2.3.4. und 2.3.5. genauer behandelt werden.

Bei einem Volumenstrom von  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  und  $20 \text{ K}$  Spreizung ergibt sich eine mittlere Heizlast von

$$\dot{Q}_m = \dot{m} * c * \Delta\vartheta = \frac{1,5 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 15\text{K} = 26 \text{ kW}$$

Und eine flächenspezifische Leistung von

$$\dot{q}_m = \frac{35.000 \text{ W}}{470 \text{ m}^2} = 55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Dies ist ein plausibler Wert, da einerseits das Musikschulgebäude eine alte Bausubstanz und keine Isolierverglasung, sondern Doppelfenster hat, andererseits der Heizkreis lediglich das erste Obergeschoss beheizen muss und Boden und Decke durch den Heizkreis „Turnhalle/Hausmeister“ mitbeheizt werden. Das Warmwasser der Handwaschbecken wird über elektrische Boiler bereitet, Duschen gibt es in diesem Gebäudeteil keine. Der Heizkreis ist zwischen 22 Uhr und 8 Uhr morgens nicht in Betrieb und damit etwas verschoben zu den Abschaltzeiten der anderen Kreise, weil Unterricht und Vorspiele eher nachmittags und abends stattfinden.

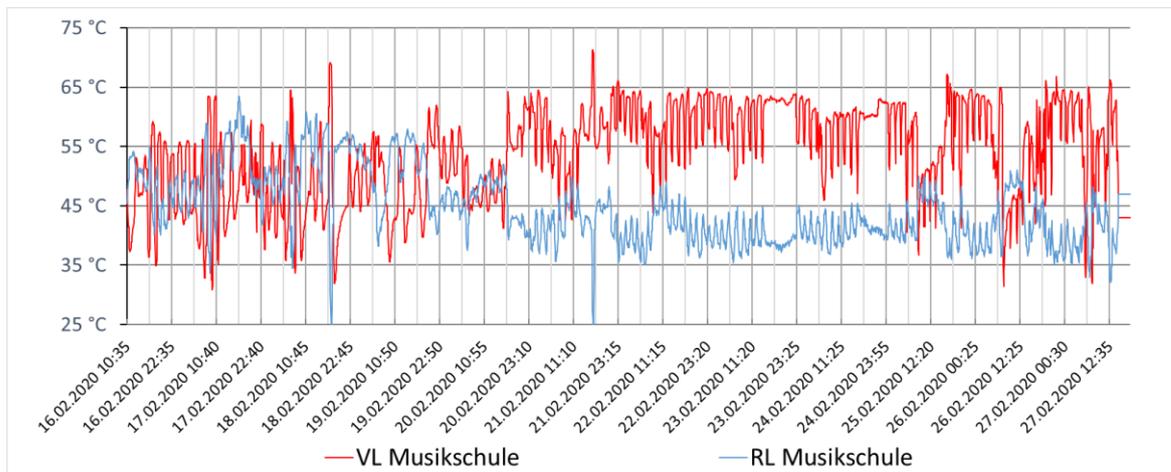


Abbildung 2-K: Änderung des Heizkreisverhaltens durch Einfluss von Parallelkreisen

### 2.3.3. Turnhalle/Hausmeister

Die Temperaturverläufe dieses Kreises weisen das wohl sonderbarste Verhalten auf: Die VL-Temperatur ist an manchen Tagen niedriger als der Rücklauf, der zudem vom Vorlauf unabhängig zu sein scheint und relativ stabil bleibt (Abbildung 2-L). Dass die Vorlauftemperatur aber offensichtlich geregelt wird, zeigt der Verlauf, der unabhängig vom konstant 71-gradigen Hauptvorlauf ist. Die in 2.3. genannten Betriebszeiten der Pumpe von 6 bis 22 Uhr erkennt man ebenfalls durch die in dieser Zeit starke Abkühlung des Vorlaufs und die Temperaturerhöhung jeweils um 6 Uhr.

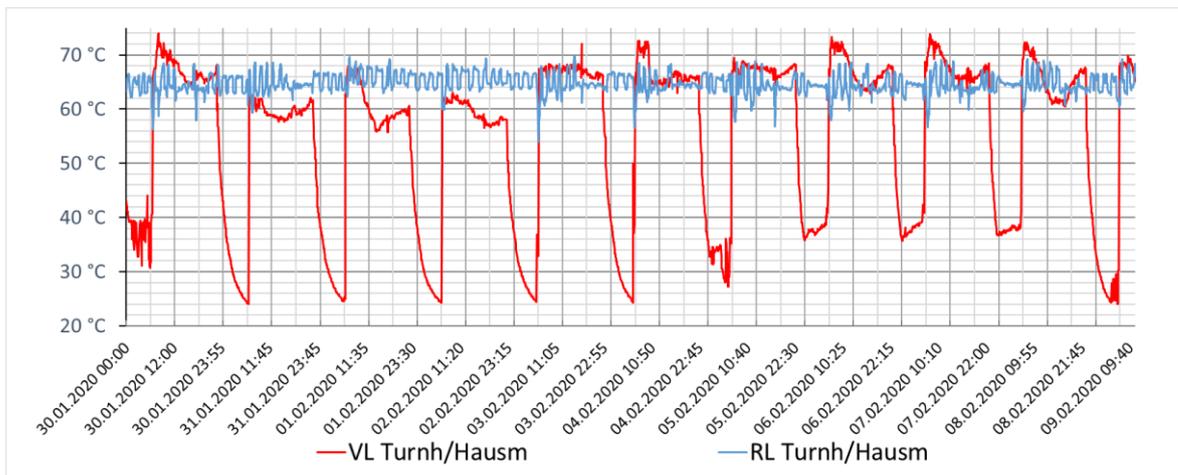


Abbildung 2-L: Temperaturverlauf Turnhalle/Hausmeister

In der folgenden Abbildung 2-M erkennt man am Kurvenverlauf, dass ein enger Zusammenhang der RL-Temperatur des Heizkreises und des Gesamtrücklaufs bestehen muss. Unter Berücksichtigung von Messungenauigkeiten der Fühler muss sogar davon ausgegangen werden kann, dass es sich hier um ein- und denselben Massestrom handelt.

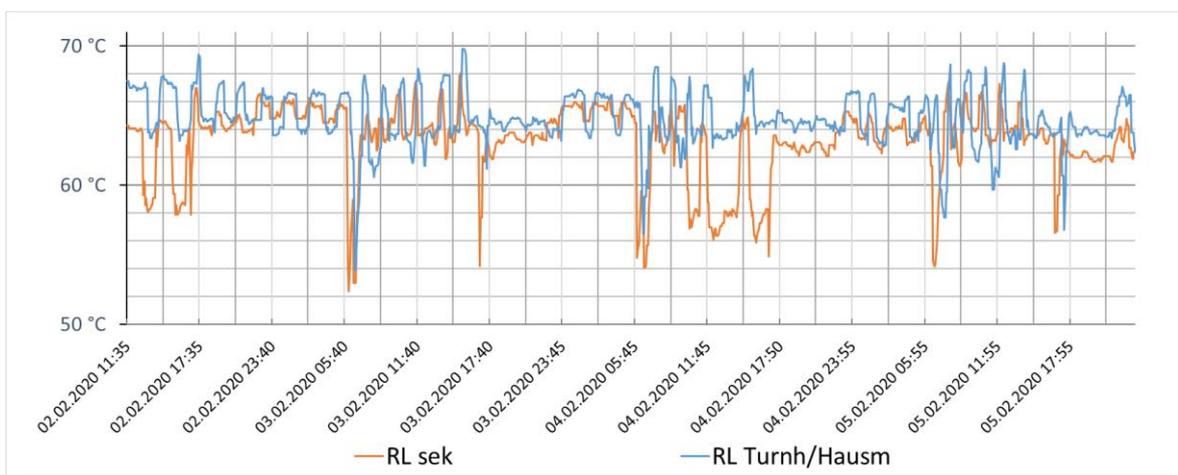


Abbildung 2-M: Abhängigkeit des RL Turnh/Hausm vom Gesamtrücklauf

Fließt das Wasser eines Heizkreises in die richtige Richtung muss die RL-Temperatur immer niedriger sein als die des Vorlaufs, sofern es keine zusätzliche externe Wärmequelle gibt. Dies ist hier ausgeschlossen, ebenso eine Fehlfunktion der Temperatursensoren, da bei ei-

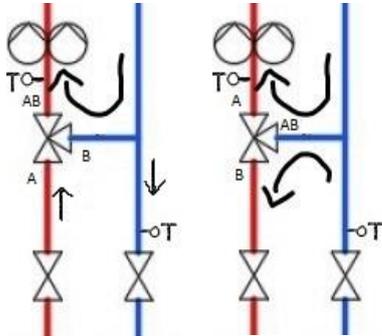


Abbildung 2-N: Normalströmung (links) und Fehlströmung (rechts)

nem Tausch der Fühler die gleichen Werte angezeigt wurden. Auch die Pumpe scheint richtig zu arbeiten, da sogar die entfernten Heizkörper ausreichend geheizt werden. Wenn also das Wasser im Heizkreis richtig fließt, muss es eine Fehlströmung außerhalb des gemischten Heizkreises, also am Dreiwegeventil geben. Sind Pumpen zu groß ausgelegt, können sich die Heizkreise in einer Parallelschaltung gegenseitig beeinflussen, sodass das Misch- zu einem Verteilventil wird (Abbildung 2-N). Im Heizkreis wird das Wasser weiterhin im Kreis gefördert und durch die hohe Temperatur im RL-Sammler an der Auskühlung gehindert. Es findet also eine Art umgedrehte Beimischung statt. Senkt sich allerdings der Gesamttrücklauf, kann die Turnhalle und die Hausmeisterwohnung im Dachgeschoss nicht mehr ausreichend mit Wärme versorgt werden. Abhilfe schaffen können richtig ausgelegte Pumpen in den Parallelkreisen und, sollten die Fehlströmungen dann immer noch auftreten, ein Rückschlagventil am Eintritt in den RL-Sammler. Zwar sollten diese aufgrund ihrer Öffnungscharakteristik nicht in Strecken mit variablem Volumenstrom eingebaut werden<sup>12</sup>, die Verbesserung der Hydraulik hätte in diesem Fall jedoch im Vorrang.

Aufgrund der Fehlströmungen ist es nicht möglich, die tatsächliche Spreizung zu erkennen, jedoch soll von etwa 10 Kelvin ausgegangen werden. Die Masseströme sind mit bis zu 3,5 m<sup>3</sup>/h in diesem Kreis relativ hoch, was zum einen an der Pumpe liegt, zum anderen an manchen Heizkörperventilen ohne Thermostat, die unabhängig von der Raumtemperatur konstant durchströmt werden. Die mittlere Heizleistung dieses Kreises liegt bei

Die mittlere Heizleistung dieses Kreises liegt bei

$$\dot{Q}_m = \dot{m} * c * \Delta\vartheta = \frac{3,5 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 10\text{K} = 41 \text{ kW}$$

$$\dot{q}_m = \frac{41.000 \text{ W}}{800 \text{ m}^2} = 51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

<sup>12</sup> W. Burkhardt/R. Kraus: „Projektierung von Warmwasserheizungen“, S.104.

### 2.3.4. Grundschule

Die Grundschule besitzt eine eigene große Heizungsunterverteilung (siehe Heizungs-  
schema, Anhang Teil 1). Dort versorgen sieben Heizkreise die Heizkörper in den Unter-  
richts- und Büroräumen, ein Kreis die Warmwasserbereitung und der neunte den Erhitzer  
der RLT-Anlage, die aber seit Jahren nicht mehr zur Lufterwärmung genutzt wird. Über eine  
Versorgungsleitung wird diese Unterverteilung von der Heizzentrale aus mit Wärme ver-  
sorgt. Dieses Gebäude hat mit

$$\dot{Q}_m = \dot{m} * c * \Delta\vartheta = \frac{4 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 18\text{K} = 84 \text{ kW}$$

$$\dot{q}_m = \frac{84.000 \text{ W}}{2100 \text{ m}^2} = 40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

durchschnittlicher Heizlast die größte Wärmeabnahme der Heizungsanlage. Durch die ge-  
ringe spezifische Gebäudehüllfläche und solare Wärmegegewinne durch große Fensterfron-  
ten auf der Südseite ist die flächenbezogene Heizlast sehr gering. Auch die langen Absenke-  
zeiten der Heizkreise tragen ihren Teil dazu bei. Die Unterverteilung wird über eine eigene  
Regelung gesteuert. Die Heizkurven der sieben Heizkörperheizkreise sind alle ähnlich ein-  
gestellt in einem Bereich zwischen der steileren und der unteren, flacheren Linie (Abbil-  
dung 2-0), unabhängig vom tatsächlichen Bedarf o-  
der von der Vorlauftemperatur der WÜS. Diese ist  
bekanntlich auf 71 °C eingestellt und kann somit bei  
unter -5 °C AT die geforderte Temperatur nicht mehr  
bereitstellen. Das hat zur Folge, dass bei tieferen Au-  
ßentemperaturen die Mischventile aller Heizkreise  
ganz aufmachen, um die höchstmögliche VL-Tempe-  
ratur zu bekommen und dadurch der Volumenstrom  
sekundärseitig massiv ansteigt. Aus energetischer Sicht ist es daher sinnvoll, die Heizkurven  
in der Grundschule zu überprüfen, gegebenenfalls abzusenken und erst danach die Heiz-  
kurve der Wärmeerzeugung anzupassen. Das Gleiche gilt für den Boilerladekreis. Der WW-  
Bereiter hat eine manuelle Temperaturregelung, die auf einen Soll-Wert von 75 °C einge-  
stellt wurde, was ebenfalls über der Ist-Temperatur des Haupt-VL liegt. Der Boilerladekreis  
ist daher pausenlos in Betrieb, weil vergeblich versucht wird, die vorgegebene WW-Tem-  
peratur zu erreichen. Zudem ist eine zwar neue, aber zu groß dimensionierte Ladepumpe

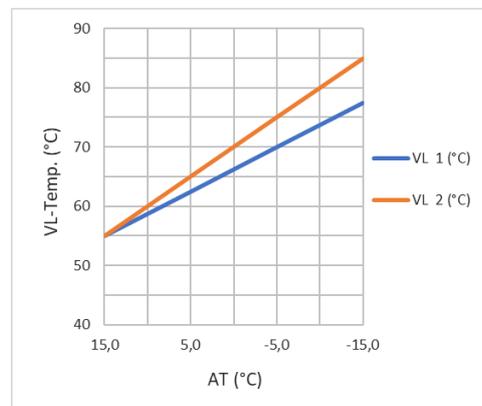


Abbildung 2-0: Heizkurven Grundschule

Abbildung 2-0: Heizkurven Grundschule

eingebaut, die mit den eingestellten Werten eine Fördermenge von  $7,8 \text{ m}^3/\text{h}$  erreicht, was die Spreizung auf etwa  $2 \text{ K}$  minimiert. Und da der Grundschulheizkreis mit durchschnittlich  $4 \text{ m}^3/\text{h}$  von der Hauptverteilung versorgt wird, liegt nahe, dass der Volumenstrom durch Fehlströmungen über andere Kreise zustande kommen muss, da der Boilerladekreis ungemischt ist und nur durch ein Durchgangsventil geregelt wird (siehe Heizungsschema Grundschule, Anhang Teil 1). Durch die ständige Beladung wird die Kalkausfällung beschleunigt, was den Wärmeübergang in den Heizwendeln und somit die Spreizung zusätzlich minimiert. In Abbildung 2-P sieht man, dass das Mischventil des Heizkreises „Töpferei“ (links im Bild) auf „AUF“ gestellt und dadurch die Regelung der Heizkurve ausgehebelt wurde, was eine Anhebung der RL-Temperatur zur Folge hat.

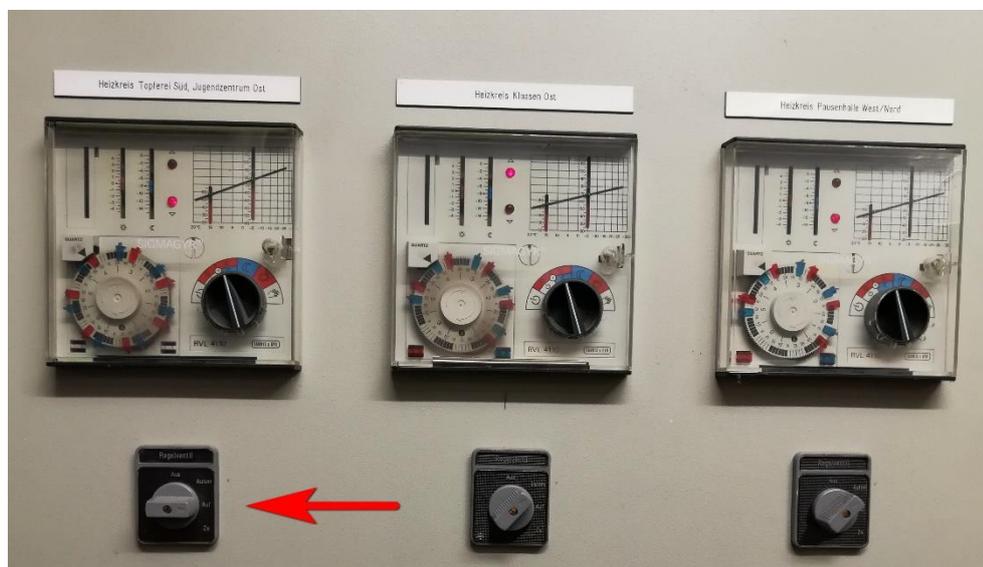


Abbildung 2-P: Bestandsregelung Grundschule; links die Regelventileinstellung "AUF"

Die Absenkezeiten sind in den Klassenräumen von 14 bis 6 Uhr morgens sowie an den Wochenenden, im Heizkreis („Töpferei Süd“) von 23 bis 14 Uhr. In Abbildung 2-Q kann man diese Überlagerung zwischen 23 und 6 Uhr an der Absenkung des Rücklaufs gut erkennen. Das Absenkniveau um  $8 \text{ Kelvin}$  der Heizkurve ist überall gleich und verhältnismäßig groß. In zwei Kreisen sind Uhrzeit und Wochentag falsch eingestellt. An Tagen ohne zusätzliche Erwärmung der Räume durch Sonneneinstrahlung ist eine Abkühlung des Gebäudes wahrscheinlich, da zudem keine Wärmedämmung an den Außenwänden vorhanden ist. Dem könnte man entgegenwirken, indem man die Absenkezeiträume und das -niveau verringert

und gleichzeitig die Heizkurve nach unten korrigiert und so eine gleichmäßigere Wärmeversorgung erhält. Der Rücklauf würde sich somit dem Mittel annähern und unnötige Spitzen könnten vermieden werden.

Die Umwälzpumpen sind bis auf eine Ausnahme drehzahl geregelt und laufen auf der AUTO-Einstellung, mit der der Hersteller wirbt, dass durch eine intelligente Selbsteinstellung elektrische Pumpenenergie gespart werden kann. Bei den meisten Pumpen werden in dieser Einstellung 6 m Förderhöhe angezeigt, was viel erscheint, wenn bei der Druckverlustberechnung für weitaus größere Heizkreise maximale Förderhöhen von etwa 3,5 m herauskommen.

Eine hydraulische Fehlschaltung liegt außerdem an der Heizungsverteilung der Grundschule vor. Die VL-Temperatur wird in allen Kreisen durch eine Beimischschaltung geregelt (siehe Heizungsschema Grundschule, Anhang Teil 1), was die Vordruckpumpe in der Hauptverteilung nicht nur überflüssig macht, sondern diese das Regelverhalten der Mischer sogar verschlechtert. Im schlechtesten Falle kann es zu Überströmungen kommen, was hohe Rücklauftemperaturen des Heizkreises zur Folge hat und die Temperaturregelung zusätzlich behindert.<sup>13</sup> Entweder müssten daher alle gemischten Heizkreise in der Grundschule zu Einspritzschaltungen umgebaut werden oder - deutlich einfacher - man baut die Vordruckpumpe in der Hauptverteilung aus. Neben einem verbesserten hydraulischen Verhalten kann auch eine erhebliche Einsparung elektrischer Energie erreicht werden, da die Vordruckpumpe ganzjährig in Betrieb ist. Bei 8760 h/a und 350 W Dauerleistung macht das einen Strombedarf von rund 3000 kWh pro Jahr aus.

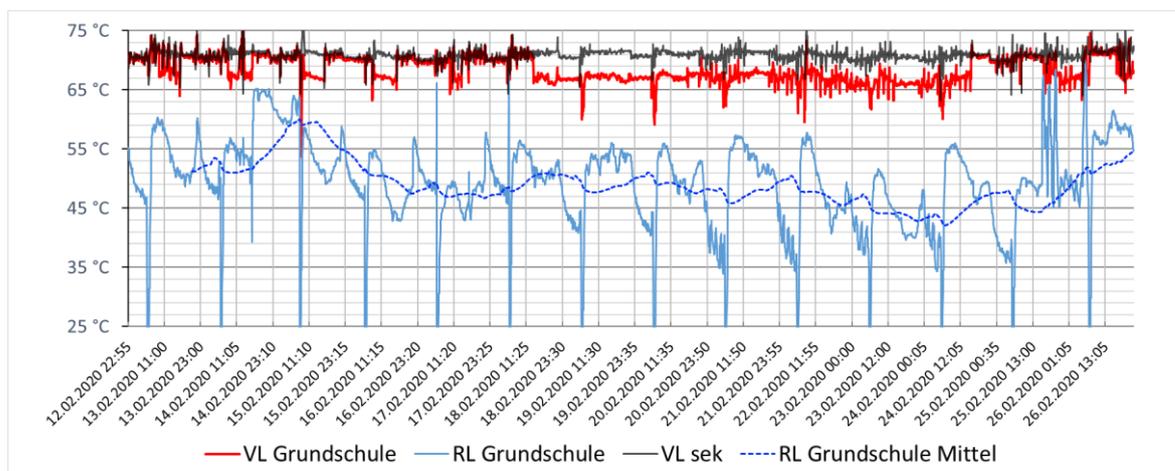


Abbildung 2-Q: Vor- und Rücklauf Grundschule

<sup>13</sup> Vgl. Dr.-Ing. Christian Bichler, Seminar Hydraulik, Skript: Sommersemester 2020 (Hochschule München).

Der VL Grundschule sollte sich eigentlich nicht vom VL sekundär unterscheiden, da keine Temperaturregelung stattfindet. Die meiste Zeit zeichnen die Fühler ähnliche Werte auf, es sind jedoch immer wieder Abweichungen zu erkennen. Besonders im Zeitraum 18. bis 24. Februar ist der Unterschied besonders groß. In diesem Zeitraum war die Pumpe des Boilercyklus außer Betrieb und wenn man die Temperaturkurven miteinander vergleicht, ist eine Korrelation nicht von der Hand zu weisen (Abbildung 2-R). Sobald die Vorlauftemperatur des Boilers abfällt, sinkt gleichzeitig der Grundschulvorlauf. Im Umkehrschluss muss das bedeuten, dass hier eine Temperaturmischung stattfindet, was nur möglich ist, wenn das Wasser im Boilercyklus verkehrt herum fließt. Es muss also Fehlströmungen geben innerhalb des Hauptheizungsverteilers und obwohl die beiden Heizkreise nicht direkt nebeneinander liegen, beeinflussen sie sich gegenseitig. Wenn dem so ist, muss der direkt benachbarte Heizkreis 5 („Neues Rathaus“) noch deutlich stärker davon betroffen sein und genau das soll im folgenden Kapitel 2.3.5. gezeigt werden.

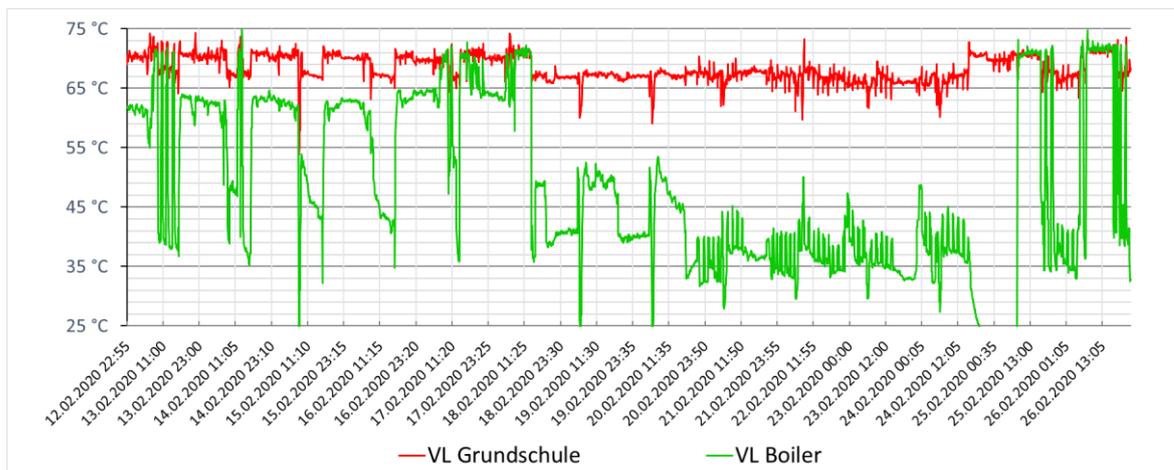


Abbildung 2-R: Korrelation der VL-Temperaturen im Boilercyklus- und Grundschulkreis

### 2.3.5. Neues Rathaus

Der sogenannte „Neubau“ des Pullacher Rathauses wurde vor 42 Jahre gebaut und besitzt als einziger Gebäudeteil eine Fußbodenheizung, teilweise kombiniert mit Heizkörpern. Eine raumweise Temperaturregelung der FBH gibt es nicht und ist auch schwer möglich, da die Heizschlangen wegen einer nachträglichen Änderung der Raumaufteilung teilweise raumübergreifend verlegt sind. Die Raumtemperatur muss über den Durchfluss an den voreinstellbaren Ventilen an den Unterverteilungen (siehe Abbildung 1-E) oder durch die Heizkurve eingestellt werden. Aufgrund einzelner Beschwerden des Personals über zu hohe Raumtemperaturen im Winter ist in nebenstehender Abbildung 2-S die aktuelle und darunter eine empfohlene Heizkurve dargestellt, die dann im laufenden Betrieb evtl. noch angepasst werden muss. Sollte dann bei einem Absenken der Heizkurve morgens die Raumtemperatur zu niedrig sein, besteht die Möglichkeit, die Nachtabenkung von 2 Kelvin zwischen 22 und 6 Uhr zu verkürzen und so eine Auskühlung des Gebäudes zu verringern. Einige Heizkörper werden über die FBH mitversorgt und tragen aufgrund der niedrigen Temperaturen nur bedingt zur Wärmeverteilung bei, andere sind an einen separaten Heizkreis angeschlossen, allerdings sind die Verläufe der Heizstränge teilweise nicht mehr nachvollziehbar.

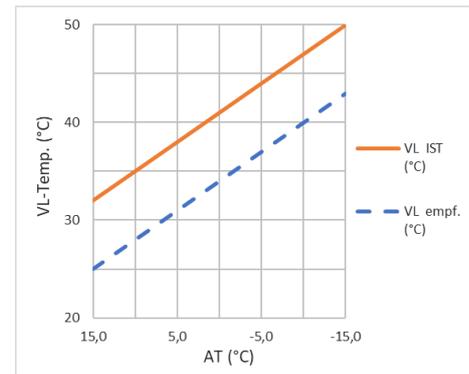


Abbildung 2-S: Heizkurve für FBH und Heizkörper Neues Rathaus

Wie in den vorangegangenen Kapiteln schon angesprochen, belegen die Temperaturfühler am Hauptverteiler einen eindeutigen hydraulischen Zusammenhang mit dem Boilerladekreis (Abbildung 2-T). Sobald die Temperatur des Boilervorlaufs stark absinkt, nimmt auch der Vorlauf des Neuen Rathauses ab. Da der Heizkreis ungemischt ist, sollten Heizkreisvorlauf und Hauptvorlauf stets die gleiche Temperatur haben. Bei abgeschalteter Boilerpumpe strömt das Wasser jedoch aufgrund einer defekten Rückschlagklappe im Boilerkreis rückwärts durch den Boiler, dessen Pumpe läuft sozusagen im „Turbinenbetrieb“. Der VL „Neues Rathaus“ wird in diesen Zeiten entweder komplett vom Boilerkreis gespeist (Abbildung 2-U) oder ist, je nach Einfluss des Grundschulkreises, eine Mischtemperatur aus Haupt-VL und Boiler-VL (Abbildung 2-V). Auf diese Weise lassen sich die Temperaturverläufe der Heizkreise 4 und 5 erklären. Weil der Mischer im Abschaltbetrieb nicht schließt,

kann das Wasser weiterhin im Kreis fließen. Würde es stets bis zum Grundschulkreis zirkulieren, wäre der VL des Neuen Rathauses gleich dem Boiler-VL in dieser Zeit. Offenbar bekommt er aber zwischendurch höher temperiertes Wasser vom Haupt-VL ab und ist daher meist ein bisschen wärmer. Auf die FBH im Neuen Rathaus haben diese Fehlströmungen nur bedingt einen Einfluss, an sehr kalten Tagen kann es aber zu einer leichten Unterversorgung kommen, wenn die Vorgabe der Heizkurve nicht mehr erreicht wird. Der Heizkörperheizkreis (siehe Schema Unterverteilung Neues Rathaus, Anhang Teil 1) ist jedoch mit zeitweisen 48 °C definitiv unterversorgt, ebenso die - momentan inaktiven - Heizregister der RLT-Anlage.

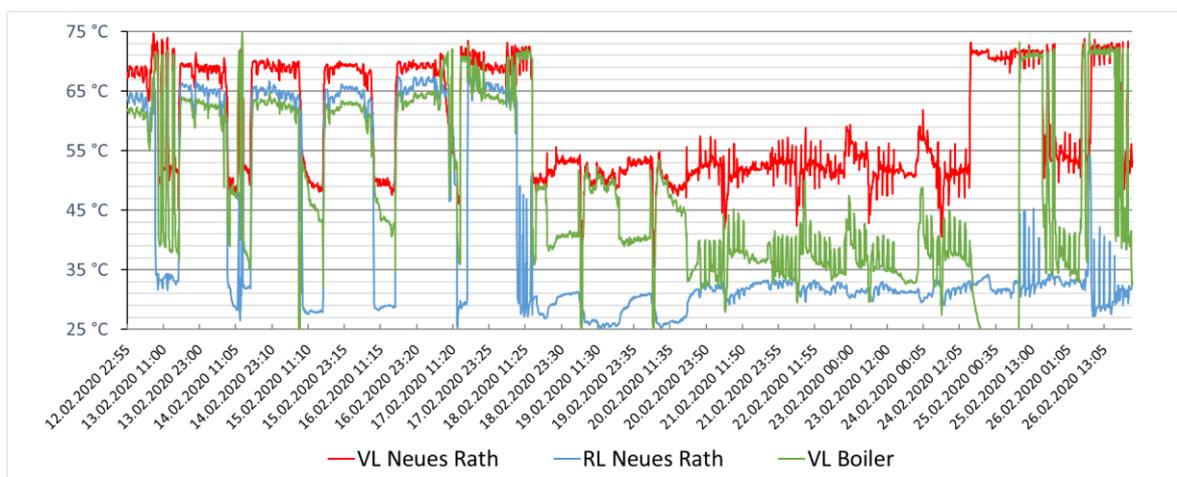


Abbildung 2-T: Temperaturen Heizkreis "Neues Rathaus" und Einfluss des Boilers

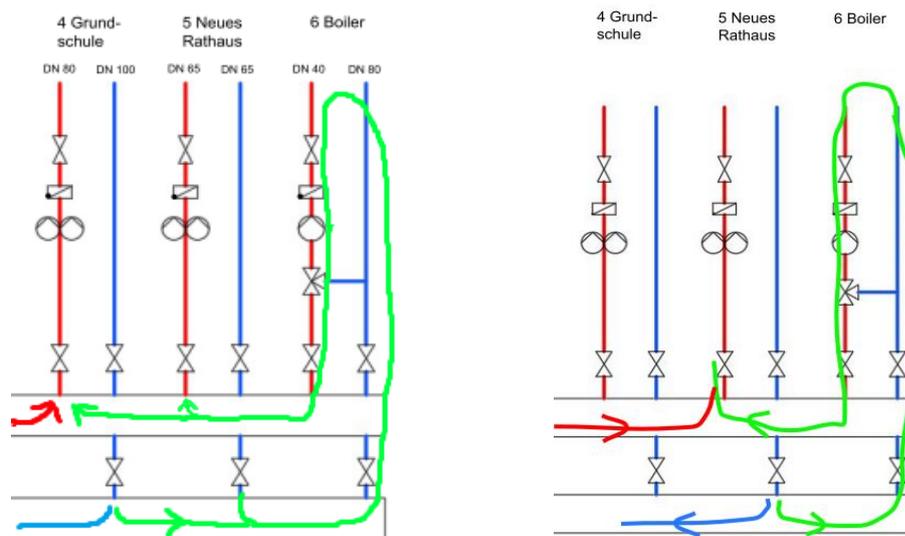


Abbildung 2-U: Einfluss der Fehlströmungen auf die Kreise 4 und 5

Abbildung 2-V: Beeinflussung des 5. Heizkreises durch Fehlströmungen

In der Unterverteilung des Neuen Rathauses (Bild und Schema im Anhang Teil 1) sind der FBH-Heizkreis und die beiden – inaktiven - Heizregisterkreise als Einspritzschaltung mit Dreibegeventil ausgeführt. Diese Schaltung hat jedoch den Nachteil,

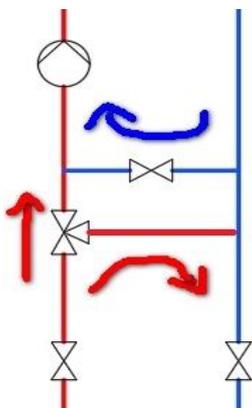


Abbildung 2-X: Funktionsweise Einspritzschaltung mit Dreibegeventil

dass sich durch die Überströmung des VL in den RL dessen Temperatur erhöht. Versuche haben gezeigt, dass ein relativ einfacher Umbau des FBH-Kreises möglich ist. Bei Abschaltung der Vordruckpumpe entsteht ein „Turbinenbetrieb“: Die FBH-Heizkreispumpe befördert das Wasser über Vordruckpumpe und Rückschlagventil des Hauptverteilers zur Unterverteilung, d. h. das Dreibegeventil wird zu einem Mischventil. Die Vordruckpumpe muss also lediglich ausgebaut werden und aus der Einspritz-/ Umlenkschaltung wird eine Beimischschaltung mit Konstantbeimischung.<sup>14</sup> Da das Regelverhalten dabei

meistens schlechter wird, sollte das Dreibegeventil ausgetauscht oder zumindest so eingebaut werden, dass die Ein- und Ausgänge (A, B, AB) zur tatsächlichen Fließrichtung passen. In diesem Betrieb finden allerdings Fehlströmungen über die Heizregister statt. Eine hydraulische Entkopplung kann aber durch eine mechanische Absperrung der Ventile der Heizregister sehr einfach erreicht werden (Abbildung 2-W).

Die mittlere Heizlast bildet sich aus den gemessenen Volumenströmen am Vorlauf in der Hauptverteilung und dessen Temperaturdifferenz zum Rücklauf. Aufgrund der Niedertemperaturheizung entstehen höhere Spreizungen als in den anderen Heizkörperheizkreisen.

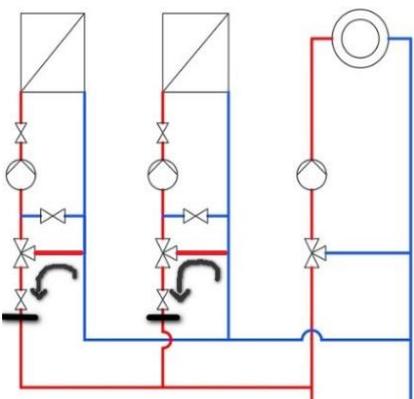


Abbildung 2-W: Verhinderung von Fehlströmungen durch Absperrung der Ventile

$$\dot{Q}_m = \dot{m} * c * \Delta\vartheta = \frac{1,3 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 20\text{K} = 30 \text{ kW}$$

$$\dot{q}_m = \frac{30.000 \text{ W}}{1.100 \text{ m}^2} = 27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

<sup>14</sup> Siemens Schweiz AG: „Hydraulik in der Gebäudetechnik“, Stand 07/2019.

### 2.3.6. Boilerladekreis

Der Heizkreis für die Warmwasserbereitung (WW) hat einen Mischer eingebaut, was eher ungewöhnlich ist. Meistens wird die maximale Vorlauftemperatur in einem Heizsystem für die Warmwasserbereitung ausgelegt, während die restlichen Heizkreise die Temperatur entlang ihrer Heizkurve regeln, meistens durch Beimischen des Rücklaufs. Bei der WW-Bereitung hingegen wird lediglich die Boilerladepumpe von der Steuerung angefordert, wenn die Temperatur im Speicher sich unterhalb eines bestimmten Wertes - meist 45-50 °C - befindet, der die Vermehrung von Legionellen verhindert. Wenn die Sekundärvorlauftemperatur jedoch höher eingestellt ist, würden diese hohen Temperaturen im Boiler zu einer starken Verkalkung führen, weshalb das Mischventil auf eine niedrigere Temperatur herunterregeln soll. Die Vorlauftemperatur, wie in Abbildung 2-Y zu sehen, schwankt in den Boilerladezeiträumen von 6-17 Uhr zwischen 65 und 71 °C, was auf eine minimale Tätigkeit des Mischventils hindeutet. Es gibt jedoch in der Buderus-Kesselregelung keine Einstellmöglichkeit der Beladetemperatur. Laut Fachliteratur sollte bei hartem Wasser die Heizmittel-Eintrittstemp. 60 -70 °C keinesfalls überschreiten.<sup>15</sup> Da der Speicher laut Protokoll 2017 das letzte Mal entkalkt wurde, ist bei einem Härtegrad von 17,9 °dH des Pullacher Trinkwassers<sup>16</sup> ist auf eine starke Verkalkung der Heizwendel zu schließen, was den Wärmeübertrag auf das Warmwasser erschwert und die geringe Spreizung erklären könnte.

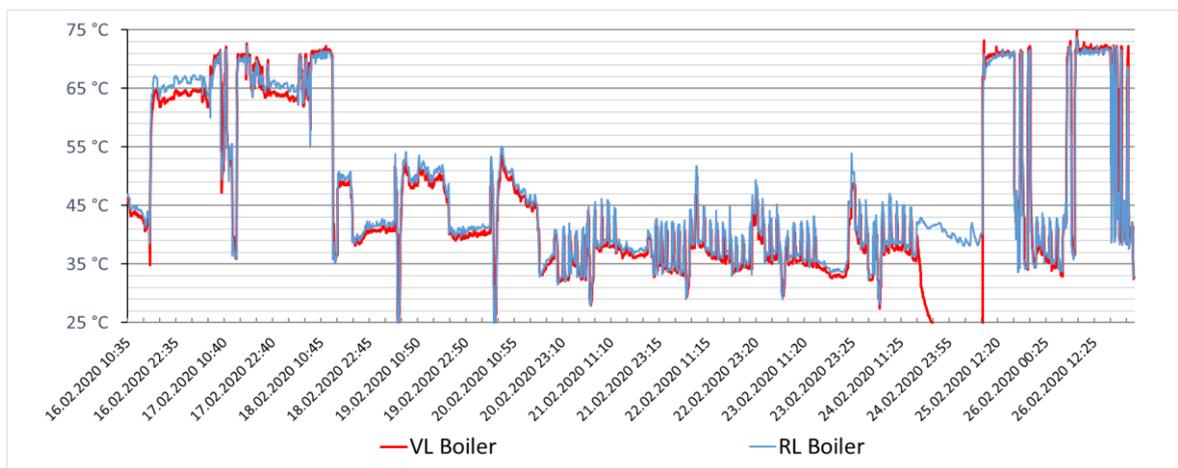


Abbildung 2-Y: Temperaturen im Boilerladekreis

<sup>15</sup> Recknagel, Sprenger: Heizungs- und Klimatechnik, Kap. 2.7.3.

<sup>16</sup> VBS Pullach: <https://www.vbs-pullach.de/wasserversorgung/> [abgerufen am 28.04.2020].

Ein weiterer Grund für die geringe Spreizung ist die hohe Durchströmung des Boilers mit durchschnittlich 7 m<sup>3</sup>/h. Dies ist auf die Boilerladepumpe zurückzuführen, die auf der höchsten von drei Stufen läuft. Auf die Verteilerseite entfallen dabei Ströme von 3- 4 m<sup>3</sup>/h. Damit machen Boiler- und Grundschulkreis jeweils ein Drittel des gesamten Sekundärvolu-  
menstroms aus, die Kreise Rathaus Altbau, Musikschule, Turnhalle/Hausmeister und Neues Rathaus bringen es zusammen auf das letzte Drittel. Aufgrund der geringen Spreizung in den Beladezeiträumen ergibt sich für den WW-Bereiter eine mittlere thermische Leistung von:

$$\dot{Q}_m = \dot{m} * c * \Delta\vartheta = \frac{7 \text{ kg}}{3,6 \text{ s}} * 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1,5\text{K} = 12 \text{ kW}$$

In den elf Stunden mit 12 kW Dauerleistung ist das ein thermischer Energiebedarf von 132 kWh pro Tag und ca. 34.000 kWh pro Jahr (bei 50 Arbeitswochen je 5 Werktag; an Wochenenden keine WW-Bereitung). In Kap. 2.1 wurde jedoch ein tatsächlicher Wärmebedarf von 160 bis 230 MWh für Rathaus und Grundschule pro Jahr festgestellt. Das sind, wegen ähnlicher Größe und Nutzung beider WW-Speicher, etwa 80 bis 115 MWh für das Warmwasser im Rathaus.

In Bürogebäuden wird von 10 - 40 Litern 45-gradigem Warmwasser pro Person und Tag ausgegangen.<sup>17</sup> Kommunale Verwaltungsgebäude haben jedoch eine etwas andere Nutzung, da viele Stellen nur halbtags besetzt sind. Zudem gibt es im Rathaus einige Waschbecken mit Untertischboilern, die einen Teil des Bedarfs decken. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass im Schnitt nicht mehr als 20 Personen pro Tag einen Warmwasserbedarf von max. 10l haben.

$$q_{WW \text{ Rath.}} = m * c * \Delta\vartheta = 10 \frac{\text{kg}}{\text{Pers.}} * 1,164 \frac{\text{Wh}}{\text{kgK}} * (45 - 10) \text{K} = 0,4 \frac{\text{kWh}}{\text{Pers.* Tag}}$$

$$Q_{WW \text{ Rath.}} = 0,4 \frac{\text{kWh}}{\text{Pers.* Tag}} * 20 \text{ Pers.*} 5 \frac{\text{Werktage}}{\text{Woche}} * 50 \frac{\text{Wochen}}{\text{a}} = 2.000 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Das bedeutet, dass 97 % der in den Boiler gesteckten Wärmeenergie ungenutzt bleibt. Diese Verluste sind gleichzusetzen mit dem jährlichen Wärmebedarf von vier Einfamilienhäusern (Annahme: 20 MWh/a). Neben Bereitschafts- und Zirkulationsverlusten ist ein Großteil auf die nächtliche Abkühlung des Boilers durch Fehlströmungen zurückzuführen.

---

<sup>17</sup> K. Jagnow und D. Wolff: „Wärmeleistungsbedarf für Trinkwarmwasser“, Manuskript für „Der Energieberater“, Köln: Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 2003-2009.

In Abbildung 2-Z sind deshalb die RL-Temperaturen der Heizkreise 4, 5 und 6 zusammengeführt, um graphisch darzustellen, wie der Boilerkreis die anderen beiden Kreise unterschiedlich stark beeinflusst, bzw. von ihnen beeinflusst wird. Es ist wahrscheinlich, dass in jeder Abschaltphase der Boilerladepumpe sich die Fließrichtung des Wassers umdreht und sich ein Betrieb wie in Abbildung 2-U oder Abbildung 2-V einstellt. In der untenstehenden Graphik sind die Zeiträume beziffert, in denen sich eindeutige Zusammenhänge zwischen Boilerkreis und Neuem Rathaus (1) bzw. Boiler und Grundschule (2) herauskristallisieren. Die Konsequenz von diesen starken Schwankungen und gegenseitigen Abhängigkeiten ist eine Übertragung auf die Trinkwarmwassertemperatur im Boiler. Wenn ein kühler Rücklauf falsch herum fließt, sinkt dadurch auch die WW-Temperatur und in diesen Zeiten herrschen optimale Bedingungen für Legionellenbildung. Gerade nach den Wochenenden ist die Gefahr durch Keime im Wasser gegeben. Tests haben die niedrige WW-Temperatur außerhalb der Ladezeiten bestätigt. Daneben ist der Energiebedarf durch die nächtliche Auskühlung deutlich erhöht. Zudem gibt es in der Heizungssteuerung keine detaillierten Einstellmöglichkeiten, wie z. B. eine Unter- und Obergrenze des TWW oder eine Heizwassereintrittstemperatur. Lediglich der Sollwert des TWW kann vorgegeben werden. In den Abbildungen ist auch gut zu sehen, dass eine Regelung der VL-Temp. nicht stattfindet. Der 400l-Speicher versorgt 15 Waschbecken im Alten und Neuen Rathaus, von denen mehrere nicht bzw. selten genutzt werden. Die Zapfraten an den übrigen Stellen sind überschaubar, weshalb hier die Zirkulations- und Warmhalteverluste sehr hoch sind.

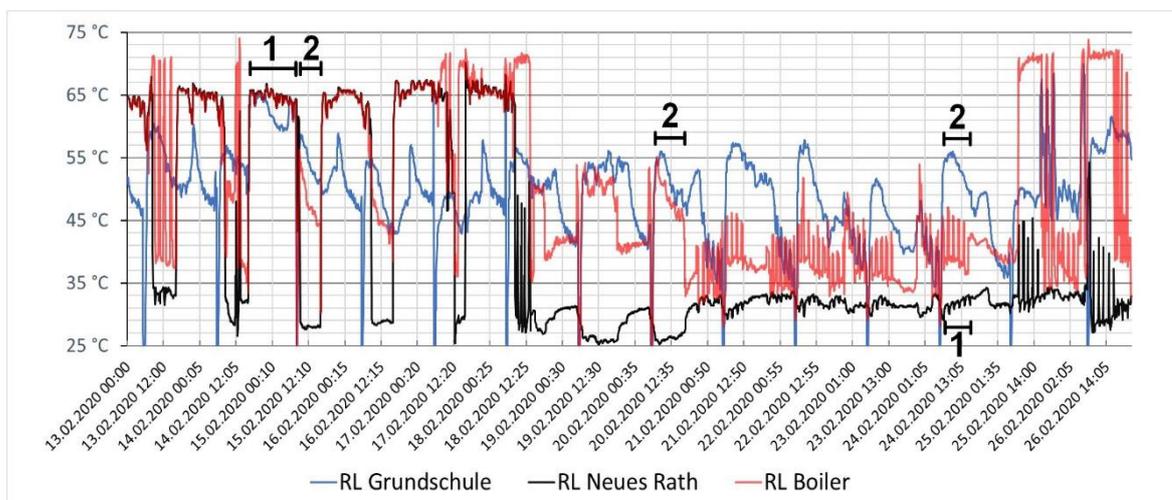


Abbildung 2-Z: Hydraulischer Zusammenhang der Heizkreise 4, 5 und 6

Elektrischer Energieeinsatz:

Die Boilerladepumpe ist auf die höchste von drei Stufen eingestellt (siehe Datenblatt, Anhang Teil 2). Das bedeutet bei einem Volumenstrom von  $7 \text{ m}^3/\text{h}$  eine elektrische Leistungsaufnahme von 350 Watt. In der Heizungssteuerung ist ein Boilerladezeitraum von 6-17 Uhr wochentags eingestellt. Das ergibt einen Strombedarf von  $3,85 \text{ kWh}_{el}$  pro Tag und rund  $1.000 \text{ kWh}_{el}$  pro Jahr. Dazu kommt die Leistung der Zirkulationspumpe (Wilo Stratos-Z 25/1-8) mit ca. 80 Watt, die etwa 6 Stunden pro Tag in Betrieb ist. An 5 Tagen pro Woche ist der Energieeinsatz in 50 Wochen etwa  $125 \text{ kWh}_{el}$ .

	<b>Bestand</b>	<b>Tatsächlicher Bedarf</b>
<b>WW-Bereitung pro Jahr</b>	80.000 kWh th.	2000 kWh th.
<b>Stromverbrauch Boilerpumpe</b>	1.000 kWh el.	
<b>Stromverbrauch Zirk.pumpe</b>	125 kWh el.	

*Tabelle 2-III: Jährliche Energiebilanz WW-Bereitung*

### 3. Optimierung der bestehenden Heizungsanlage

Mit den Ergebnissen der energetischen und hydraulischen Analyse können konkrete Maßnahmen für eine Optimierung der bestehenden Heizungsanlage diskutiert werden. Im folgenden Kapitel werden diese aufgeführt und auch mögliche Folgen beschrieben, weil dabei auch größere Eingriffe in das bestehende Heizungssystem vorgenommen werden. Ein eigener Abschnitt widmet sich danach der Auslegung der Umwälzpumpen der einzelnen Heizkreise. Abschließend wird mit einer kurzen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung noch der finanzielle Aspekt beleuchtet.

#### 3.1. Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Die Vorstellung der möglichen Optimierungsmaßnahmen soll vom Großen zum Kleinen hin erfolgen. Begonnen wird mit der Heizzentrale, der Wärmeerzeugung und Regelung der Heizungsanlage, danach werden die einzelnen Heizkreise mit den jeweiligen Unterverteilungen und Wärmeübergabesystemen aufgeführt.

##### Heizzentrale und Hauptverteilung

- (1) **Pumpen:** Ein Austausch der bestehenden unregelmäßig durch drehzahlregelte Umwälzpumpen ist aus mehreren Gründen notwendig. Neben einer Verbesserung der Hydraulik und der Regelbarkeit spielt auch der elektrische Energieeinsatz eine wesentliche Rolle, der bei modernen Hocheffizienzpumpen meist nur noch ein Zehntel von älteren Pumpen beträgt. Eine richtige Auslegung ist dabei elementar, darauf soll im Kapitel 3.2 eingegangen werden.
- (2) **Regelungstechnik:** Um die Heizungsanlage gut regeln und auf eine effiziente Fernwärmenutzung einstellen zu können, ist ein Austausch der bestehenden Buderus-Kesselregelung durch eine neue, moderne Regelungstechnik entscheidend. Mit einer Regelung der Firma Schneid besteht die Möglichkeit, diese mit der Leitzentrale des FVU zu verknüpfen und darüber die Anlage zu überwachen und einzustellen. So ist einerseits eine laufende Analyse und Optimierung möglich, weil z. B. Heizkreistemperaturen erfasst und gespeichert werden, andererseits können Störungen im System frühzeitig erkannt und behoben werden. Weitere Vorteile einer Schneid-Regelung sind:

- Regelung der WW-Bereitung: Einstellmöglichkeit von Temperaturober- und untergrenzen; Verringerung von Legionellenbildung (durch zu niedrige WW-Temperaturen) und Kalkausfall im Boiler (durch zu hohe VL-Temperaturen)
  - Absenkbetrieb der Heizkreise; momentan nur Abschaltung möglich
  - Verringerung von hydraulischen Fehlströmungen: Die Mischer bleiben in den Abschaltzeiten aktuell meist in Mittelstellung stehen und ermöglichen dadurch das Fehlzirkulieren von Heizungswasser, wie z. B. im Boilerladekreis nachgewiesen werden kann. Die Schneid-Regelung schließt das Mischventil außerhalb der Heizzeiten, sodass Fehlströmungen verhindert werden
  - Geringere Störanfälligkeit im Vergleich zur Bestandsregelung
  - Genaue Abstimmung auf die Regelung der WÜS möglich
  - Leittechnik: Die Steuerung bietet die Möglichkeit einer Visualisierung und Steuerung am Computer; so können Einstellungen und Auswertungen oder eine schnelle Fehleranalyse bei einer Heizungsstörung durchgeführt werden.
- (3) **Glättung des Lastgangs:** Die momentane Einstellung der Heizkreisbetriebszeiten (siehe Tabelle 2-II) hat eine Leistungsspitze um 6 Uhr morgens zur Folge, weil fast alle Pumpen nach der Nachtabstaltung gleichzeitig in Betrieb gehen (vgl. Abbildung 2-E). Nach der nächtlichen Abkühlung von Heizkörpern, FBH und WW-Boiler ist der Wärmebedarf kurzzeitig sehr hoch, um die Heizkreise wieder auf Temperatur zu bringen, was primärseitig hohe Volumenströme von bis zu 15 m<sup>3</sup>/h zur Folge hat. Zwischen 6 und 9 Uhr ist jedoch im Fernwärmenetz der höchste Wärmebedarf, deswegen sollte dort jede zusätzliche Leistungsspitze vermieden werden. Bei einem versuchsweisen Entzerren der Anlaufzeiten der verschiedenen Heizkreise auf einen Zeitraum von 5 und 7 Uhr, konnten bereits die morgendlichen Durchflussspitzen verringert werden (Abbildung 3-A). Noch effektiver wäre ein Absenk- statt Abschaltbetrieb, um die nächtliche Abkühlung von Rohrleitungen oder ganzen Gebäudeteilen zu verhindern oder sogar eine gleichmäßige Fahrweise ohne Nacht- und Wochenendbetrieb, dafür mit dauerhaft niedriger Heizkurve. Dadurch kann auch eine Senkung der Rücklauftemperatur bei gleicher Spreizung erreicht werden.

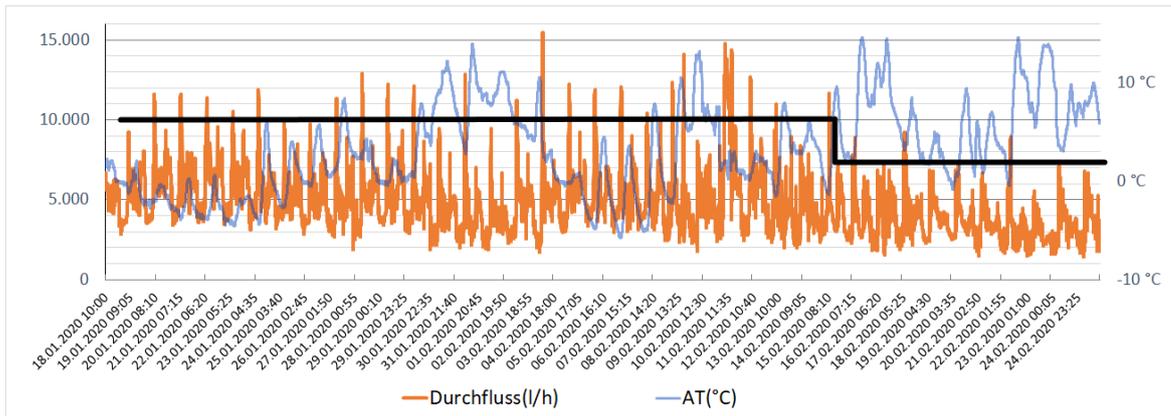


Abbildung 3-A: Glättung der Durchflussspitzen durch Vermeiden von gleichzeitigem Einschalten der Heizkreise

- (4) **Anpassung der VL-Temperatur:** Die in Punkt (3) angesprochene niedrige Heizkurve muss in ihren Ober- und Untergrenzen mit dem Sekundärsystem abgestimmt sein. Im Moment ist der Haupt-VL unabhängig von der AT auf 71 °C fixiert und offensichtlich nicht abgestimmt. Das sieht man daran, dass die Heizkurven einiger Grundschulheizkreise bei tiefen AT teilweise die 71 °C überschreiten, weshalb es dann zu einem exponentiellen Anstieg der Volumenströme auf der Sekundärseite kommt, da alle Mischventile komplett öffnen, um ihre Soll-Vorlauftemperatur zu erreichen. Bei warmen AT und niedriger geforderter VL-Temperatur ist darauf zu achten, dass die nötigen TWW-Temperaturen noch erreicht werden können. Bei Umsetzung der hier vorgeschlagenen Maßnahmen wird es sekundärseitig im Teillastbereich zu einer Erhöhung der Spreizung und einer Verringerung der Volumenströme kommen. Da der Wärmetauscher der WÜS jedoch schon jetzt nur im unteren Teillastbereich arbeitet (siehe Datenblatt, Anhang Teil 2), ist nicht ausgeschlossen, dass bei noch geringeren Masseströmen hydraulische Probleme auftreten, die mit den spezifischen Eigenschaften des Plattenwärmeübertragers zusammenhängen. Insofern sollte die Heizkurve des Sekundär-VL so niedrig wie möglich eingestellt werden, dass auch bei tieferen AT alle Heizkreise noch ausreichend versorgt werden können. Eine längere Aufheizzeit des Boilers kann jedoch hingenommen werden, da keine größeren Abnehmer wie Großküche oder Duschen vorhanden sind.
- (5) **Hydraulischer Abgleich:** Momentan findet tendenziell eine Überversorgung in den Heizkreisen durch zu große Pumpen und zu hoch eingestellten Heizkurven statt. Bei einer Neueinstellung des Systems kann es passieren, dass einzelne, von der Pumpe weit entfernte Heizkörper nicht mehr ausreichend warm werden. Dann muss zwingend

ein hydraulischer Abgleich durchgeführt werden, bevor an der Heizkurve und der Pumpenleistung etwas geändert wird. Dafür müssen an einzelnen Heizkörpern evtl. voreinstellbare Thermostatventile oder Heizkörperverschraubungen nachgerüstet werden.

- (6) **Wartung der Heizungsanlage:** Um sicherzugehen, dass kein Mangel der Anlage für eine Störung oder eine Fehlfunktion verantwortlich ist, sollte das gesamte Heizungssystem regelmäßig gewartet werden. Dazu gehören eine regelmäßige Überprüfung des Anlagendrucks, um eine ausreichende Versorgung der oberen Stockwerke zu gewährleisten, das Entlüften der Heizkörper und Hochpunkte im System sowie eine Überprüfung der Heizwasserqualität, der Stellmotoren und Armaturen (Rückschlagklappen, Ventile, Schieber, Filter) sowie der korrekten Einstellung der Pumpen.
- (7) **Austausch defekter Analogthermometer:** Eine kleine und einfache Maßnahme, um vor Ort an den Vor- und Rückläufen der Heizkreise das Betriebsverhalten (Heizkurve, Spreizung) schnell ablesen zu können und um die Plausibilität gemessener Werte zu überprüfen.

#### Heizkreis Rathaus Altbau

- (1) **Austausch der Pumpe:** siehe Kap. 3.2
- (2) **Absenken der Heizkurve:** In Kap. 2.3.1 wurde angesprochen, dass die Heizkurve nie an die neuen Bedingungen nach der Sanierung angepasst wurde. Die notwendige Heizkörperübertemperatur für eine ausreichende Raumbeheizung ist nach einer Sanierung jedoch meist deutlich niedriger.<sup>18</sup> Eine Absenkung der VL-Temperatur hat bei gleicher Spreizung eine direkte Verbesserung des RL zur Folge, ferner ist die Wärmeabgabe an den Heizkörperflächen aufgrund der geringeren Übertemperatur zur Raumluft gleichmäßiger und die Thermostate müssen weniger oft nachregeln.
- (3) **Austausch des Dreiwegemischventils:** Im gleichen Kapitel wurde thematisiert, dass der Mischer für die vorherrschenden Volumenströme deutlich zu groß dimensioniert ist. Wie groß die Auswirkungen auf die Regelbarkeit und die Hydraulik des Heizkreises sind, ist allerdings schwierig zu erfassen.

---

<sup>18</sup> K. Jagnow, C. Halpers, T. Timm, M. Sobirey: „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“, Artikel für TGA-Fachplaner 2003/2004.

### Heizkreis Musikschule

- (1) **Anpassung der Pumpeneinstellung:** In diesem Heizkreis ist eine drehzahlgeregelte Pumpe des Typs Wilo Stratos 40/1-8 eingebaut. Man sieht anhand des Betriebspunktes im Datenblatt (Anhang Teil 2), dass diese Pumpe etwas überdimensioniert ist, besonders die Einstellung auf 6 m Förderhöhe wirkt sehr hoch und soll unter Punkt 3.2 berechnet werden.
- (2) **Austausch des Stellantriebs des Mischventils:** Der Stellmotor vom Typ SKD32.50 scheint nicht mehr zuverlässig zu funktionieren. Darauf deuten sowohl die Temperaturkurven als auch eine direkte Beobachtung des Stellantriebs hin: Dieser bekommt zwar (hörbar) eine Anforderung von der Regelung, der Ventilstößel bewegt sich jedoch nicht. Im Zuge dieses dringend notwendigen Austauschs kann auch ein Tausch des leicht überdimensionierten Dreiwegeventils vom Typ VXF21.40-12 erfolgen.

### Heizkreis Turnhalle Hausmeister

- (1) **Austausch der Pumpe:** Die momentan eingesetzte Pumpe ist zwar drehzahlgeregelt, aber auch zu groß dimensioniert und mit einem verhältnismäßig hohen Energieverbrauch. Auch hier soll im nächsten Kapitel eine genaue Auslegung einer neuen Hocheffizienzpumpe erfolgen.
- (2) **Austausch alter Thermostatventile:** Einige der Radiatorenheizkörper haben noch alte, teils schwergängige Thermostatventile, die bei einem etwaigen hydraulischen Abgleich erneuert werden müssen. An einem einzelnen Heizkörper ist kein Thermostat angebracht, sondern lediglich ein Ventil zum Auf- und Zudrehen. Für eine sinnvolle und energiesparende Raumbeheizung muss hier ein Thermostatventil eingebaut werden.
- (3) **Einbau Rückschlagventil:** Bekommt man die Fehlströmungen über das Mischventil nicht in den Griff, kann, wie in Kap. 2.3.3 bereits ausgeführt wurde, ein Rückschlagventil vor dem Eintritt in RL-Sammler eingebaut werden.

### Heizkreis Grundschule

- (1) **Regelungstechnik:** Für die Bestandsregelung der Grundschule gilt im Prinzip das gleiche wie für die Hauptsteuerung in der Heizzentrale: Eine genaue Abstimmung auf die

Hauptverteilung sowie eine laufende Überwachung, Analyse und Optimierung der Betriebszustände oder Fernwartung ist nur mit einer Modernisierung der Regelungstechnik möglich. Gerade für WW-Bereitung und Zirkulation gibt es im Moment nur rudimentäre Einstellmöglichkeiten.

(2) **WW-Bereitung:** Die TWW-Temperatur kann ausschließlich manuell am Boiler eingestellt werden. Bei der Bestandsaufnahme war die Solltemperatur mit 75 °C vorgegeben. Hier ist das gleiche Problem wie schon anderer Stelle beschrieben, dass aufgrund des 71-gradigen Sek-VL der Wert nie erreicht werden kann. Als Folge läuft die Boilerpumpe rund um die Uhr und die Verkalkung des Speichers wird beschleunigt. Zudem wird der Rücklauf des Grundschulkreises permanent angehoben. Folgende Maßnahmen müssen umgesetzt werden, um eine effiziente WW-Bereitung zu erreichen:

- Die Sollvorgabe für das TWW wurde bereits auf 65 °C gesenkt, um einen dauerhaften Ladebetrieb zu verhindern.
- Die Temperatur der WÜS sollte auf den Boilerbetrieb der Grundschule abgestimmt werden, um nicht zu hohe Ladetemperaturen zu haben, während ein legionellenfreier Betrieb trotzdem sichergestellt ist.
- Anpassung der Zirkulationszeiten: Durch die Einstellung in der Bestandsregelung ist die Zirkulationspumpe zwischen 6 und 18 Uhr in Betrieb, bei einer neuen Regelung sollten kleinere Zeitfenster programmiert werden, um die Wärmeverluste des Speichers zu reduzieren.
- Anpassung der Boilerladepumpe: Die Einstellung auf 5 m Förderhöhe erzeugt einen Volumenstrom von etwa 8 m<sup>3</sup>/h. Wird die Förderhöhe auf 2,5 m reduziert, werden immer noch 7 m<sup>3</sup>/h durch den Speicher befördert, was auf eine sehr flache Anlagenkennlinie sowie eine zu groß ausgelegte Umwälzpumpe schließen lässt. Diese wurde vor nicht allzu langer Zeit erneuert, trotzdem wäre ein Austausch das energetisch Sinnvollste. Eine andere Möglichkeit ist, den Druckverlust mithilfe des Strangregulierventils der Drosselschaltung künstlich zu erhöhen und dadurch den Durchfluss zu reduzieren, damit die Pumpe in ihren optimalen Regelbereich kommt.
- Der mittlerweile betagte und vermutlich sehr verkalkte Boiler muss ausgetauscht werden. Aufgrund der Ähnlichkeit zur WW-Bereitung im Rathaus, sollte dabei berücksichtigt werden, wie hoch der tatsächliche WW-Bedarf in der Grundschule ist

und ob ein Umstieg auf eine dezentrale elektrische Erwärmung sinnvoll ist, um hohe Zirkulations- und Warmhalteverluste zu vermeiden. Bei einer Versorgung über das Heizungssystem sollte die Größe und Ausführung des Speichers auch hinsichtlich der RL-Temperatur gewählt werden, z. B. mit einer Trinkwasservorwärmung, als Speicherladesystem mit Wärmetauscher oder eine dezentrale Lösung mit Frischwasserstationen.

- (4) **Anpassung von Absenkezeiten und Heizkurve:** In sechs von sieben Heizkreisen herrscht außerhalb der Unterrichtszeiten zwischen 14 und 6 Uhr und am Wochenende Absenkebetrieb. Mit 8 K ist die Absenkung relativ hoch gewählt und mit zwei Drittel der Tageszeit auch relativ lang. Für eine Glättung des Lastgangs sollten daher die Abschaltzeiten verkürzt und dafür die Heizkurve im „Tagbetrieb“ gesenkt werden.
- (5) **Einstellung Regelventil des Heizkreises („Töpferei“):** Die Regelfunktion des Dreiwegemischventils wird am Schaltschrank der Heizungssteuerung auf der Stufe „Automatik“ aktiviert. Momentan ist jedoch die Stufe „Auf“ gewählt, dadurch steht immer die maximale VL-Temperatur an, was einen höheren Rücklauf und einen unregelmäßigen Heizkreis zur Folge hat.
- (6) **Rückbau Vordruckpumpe:** Von der Kombination von Beimischschaltungen mit einer Vordruckpumpe am Verteiler wird in der Fachliteratur abgeraten. Darauf ist in Kap. 2.3.4 schon detailliert eingegangen worden. Um nicht jeden einzelnen Heizkreis auf eine Einspritzschaltung umbauen zu müssen, ist es einfacher, die Pumpe in der Hauptverteilung auszubauen. Danach sollten etwaige Überströmeinrichtungen in der Unterverteilung geschlossen werden, um Fehlströmungen zu verhindern.
- (7) **Austausch und Anpassung der Pumpen:** Mit einer Ausnahme sind die Heizkreise mit drehzahlgeregelten Pumpen ausgestattet. Im Heizkreis 6 („Klassen Ost, SO“) sollte die unregelmäßige Pumpe ebenfalls noch gewechselt werden. Bis auf den Boilerkreis sind überall Pumpen des Typs MAGNA 32-100 (bis 10 m Förderhöhe) oder 32-120 (bis 12 m Förderhöhe) in Betrieb. Da die Heizkörperkreise in der Grundschule tendenziell kleiner als die der Hauptverteilung sind, ist hier aufgrund der Beispielrechnungen in Kap. 3.2 eine konsequente Überdimensionierung wahrscheinlich. Um eine Überversorgung der Heizkreise zu reduzieren, sollten diese auf maximal 4 m Förderhöhe eingestellt sein.

### Heizkreis Neues Rathaus

- (1) **Ausbau der Vordruckpumpe:** Um die Überströmungen in der Umlenkschaltung des FBH-Heizkreises abzustellen, muss diese in eine Beimischschaltung umgebaut werden. Dazu muss lediglich die Vordruckpumpe in der Hauptverteilung ausgebaut werden. Dass die Wärmeversorgung und die Temperaturregelung auf diese Art trotzdem funktionieren, haben testweise Abschaltungen der Vordruckpumpe gezeigt.
- (2) **Austausch Regelventil:** Das Dreiwegeverteilverventil im FBH-Heizkreis muss wegen des besseren Regelverhaltens durch ein Dreiwegemischventil ersetzt werden. Gleiches gilt für die beiden Heizregister, sollten diese benutzt werden.
- (3) **Verhindern von Fehlströmungen:** Um bei der Abschaltung der Vordruckpumpe Fehlströmungen zu vermeiden, ist es notwendig, dass in die momentan inaktiven Heizregisterheizkreise Rückschlagklappen eingebaut werden. Eine einfachere Variante, wenn die RLT-Anlage weiterhin nicht genutzt werden soll, ist die händische Absperrung der Kugelhähne (siehe Abbildung 2-W).
- (4) **Absenkung der FBH-Heizkurve:** Da eine raumweise Regelung der FBH nicht möglich ist, sollte versucht werden, durch ein Absenken der Heizkurve eine optimale und behagliche Wärmeverteilung zu erreichen.
- (5) **Hydraulischer Abgleich:** Zusammen mit der Neujustierung der Heizkurve muss über die Durchflussregelung an den Etagen-Unterverteilungen der FBH (Abbildung 1-E) ein hydraulischer Abgleich erfolgen, um eine gleichmäßigere Wärmeverteilung zu bekommen.

### Boilerladekreis Rathaus

Nicht nur die negativen Auswirkungen auf die Hydraulik und die Sekundärrücklauftemperatur, sondern auch die Gesamtenergiebilanz lassen den einzigen Schluss zu, dass eine zentrale Warmwasserbereitung energetisch nicht sinnvoll ist. Weil die Wärmeverluste die Nutzenergie aufgrund langer Leitungswege und des geringen WW-Bedarfs um ein Vielfaches übersteigen, sind dezentrale Frischwasserstationen nur hinsichtlich der Legionellenproblematik eine Verbesserung, nicht aber in energetischer Hinsicht. Eine dezentrale elektrische Brauchwassererwärmung ist daher eine sinnvolle Lösung:

- Keine stagnierenden TWW-Leitungen

- Energieeinsparung, da die WW-Temperatur unter 60 °C gehalten werden kann
- Reduzierung der Bereitschaftsverluste bei vorübergehender Nichtbenutzung einzelner Waschbecken durch gezieltes Abschalten der Boiler
- Keine elektrischen Pumpenergiekosten
- Wirtschaftlich günstigste Lösung (siehe Kap. 3.3)

### 3.2. Auslegung der Pumpen

Bis auf den Musikschulheizkreis wurde keine Pumpe seit der Inbetriebnahme 1991 ausgetauscht. In Hinblick auf die Energieeffizienz, der Möglichkeit selbstständiger Drehzahlregelung moderner Kreiselpumpen und des einhergehenden besseren hydraulischen Verhaltens ist ein Austausch sinnvoll. Ferner sind ausnahmslos alle Pumpen in dieser Anlage zu groß dimensioniert. Im Anhang Teil 2 sind die Datenblätter der Bestandspumpen aufgelistet. Man stellt fest, dass die Betriebspunkte meist nicht zur errechneten Anlagenkennlinie passen, sondern sich bei minimalem Volumenstrom relativ hohe Förderhöhen einstellen – das Gegenteil sollte der Fall sein. Der Grund dafür ist, dass durch das Schließen von Regelventilen der Heizkörper im Teillastfall, sich die aufgenommene Pumpenleistung in Druckenergie umwandelt und sich dadurch der Betriebspunkt verfälschen kann.<sup>19</sup> Bei drehzahlregulierten Pumpen ist eine Überdimensionierung ebenfalls nicht zielführend. Bei Minimalbetrieb läuft die Pumpe zum einen mit einem schlechten Wirkungsgrad - die spezifische Stromaufnahme ist daher unnötig hoch - und zum anderen außerhalb des optimalen Regelbereichs. Außerdem reagiert eine große Pumpe nur auf größere Druckschwankungen im Netz. Der Vorteil einer Feinabstimmung auf verschiedene Anlagenkennlinien durch die Drehzahlregelung wird dadurch zunichte gemacht.<sup>20</sup>

Um eine Pumpe in einer Bestandsanlage auszulegen muss also eine überschlägige Rohrnetzrechnung durchgeführt werden, um die benötigte Förderhöhe zu erhalten. Anders als bei einer Neukonzeption einer Anlage, sind im Bestand jedoch viele Faktoren unbekannt. Für diese müssen Annahmen getroffen werden, die sich auf überschlägige Berechnungen stützen oder auf Erfahrungswerte. Gerade nach Gebäudesanierungen kann es sein,

---

<sup>19</sup> K. Jagnow und D. Wolff: „Überblick Heizungsregelung und Hydraulik“, Manuskript für „Der Energieberater“, Köln: Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 2003-2009.

<sup>20</sup> Dipl.-Ing. Wolfram Meyer: „Sinn und Unsinn geregelter Pumpen“, FACH.JOURNAL 2004/05: S. 134-136.

dass aufgrund der daraus resultierenden Überdimensionierung einzelner Heizkörper, der längste Rohrstrang nicht mehr den höchsten Druckverlust hat, sondern ein anderer.<sup>21</sup>

Für den Heizkreis des Alten Rathauses erhält man bei einer überschlägigen Druckverlustberechnungen Druckgefälle ( $R$ ) zwischen 40 und 90 Pa/m, je nach Lastverhalten (Anhang Teil 2). Aufgrund von Unsicherheiten durch die getroffenen Annahmen, soll bei der Auslegung der Pumpen eher konservativ gerechnet werden. Weil der Druckverlust bei höheren Volumenströmen zunimmt, sollen für den Zuschlagsfaktor „ $Z$ “ (für Ventile, Rückschlagklappen und sonstige Armaturen) und für  $R$  ein Sicherheitszuschlag für den Volllastfall gegeben werden. Zusätzlich muss jede Heizkreispumpe auch den Druckverlust des Plattenwärmtauschlers von 5 kPa der WÜS überwinden können (siehe Datenblatt, Anhang Teil 2).

### Rathaus Altbau

#### Teillastbetrieb

$$R = 40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 37 \text{ m} = 74 \text{ m}$$

$$Z = 1,5$$

$$dp \text{ WÜS} = 5 \text{ kPa} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 74 \text{ m} * 1,5\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{0,94 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

#### Volllastbetrieb

$$R = 100 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 37 \text{ m} = 74 \text{ m}$$

$$Z = 2,2$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(100 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 74 \text{ m} * 2,2\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{2,1 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Die Datenblätter der Bestands- und Austauschpumpe sind im Anhang Teil 2 zu finden.

### Musikschule

#### Teillastbetrieb

$$R = 40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 55 \text{ m} = 110 \text{ m}$$

$$Z = 1,5$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 110 \text{ m} * 1,5\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{1,2 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

#### Volllastbetrieb

$$R = 100 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 55 \text{ m} = 110 \text{ m}$$

$$Z = 2,2$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(100 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 110 \text{ m} * 2,2\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{2,9 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

<sup>21</sup> Jagnow, Halpers, Timm, Sobirey: „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“.

Die bestehende Pumpe ist mit 8 m max. Förderhöhe und über 12 m<sup>3</sup>/h Volumenstrom überdimensioniert. Das Datenblatt der Austauschpumpe ist im Anhang Teil 2 aufgelistet.

### Turnhalle/Hausmeister

Teillastbetrieb

$$R = 40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 65 \text{ m} = 130 \text{ m}$$

$$Z = 1,5$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 130 \text{ m} * 1,5\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{1,5 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{0,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Volllastbetrieb

$$R = 110 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 65 \text{ m} = 130 \text{ m}$$

$$Z = 2,2$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(110 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 130 \text{ m} * 2,2\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{3,6 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{3,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Die Datenblätter der Bestands- und Austauschpumpe sind im Anhang Teil 2 zu finden.

### Grundschule

Versorgungsleitung der Heizzentrale (Druckverlustberechnung, siehe Anhang Teil 2):

Teillastbetrieb

$$dp = 7,25 \text{ mbar} = 725 \text{ Pa}$$

$$l = 2 * 60 \text{ m} = 120 \text{ m}$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{(725 + 5.000) \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{0,57 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{3,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Volllastbetrieb

$$dp = 23,83 \text{ mbar} = 2.383 \text{ Pa}$$

$$l = 2 * 60 \text{ m} = 120 \text{ m}$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{(2.383 + 5.000) \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{0,74 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{6,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Bei Ausbau der – nicht notwendigen – Vordruckpumpe müssen die Heizkreispumpen in der Unterverteilung diesen zusätzlichen Druckabfall überwinden. Da mit 10 oder 12 m maximaler Förderhöhe alle Pumpen sehr groß dimensioniert sind, stellt dies kein Problem dar.

### Boilerladekreis Grundschule

$$R_{\text{Boiler}} = 130 \text{ mbar} = 13.000 \text{ Pa} \text{ (siehe Datenblatt, Anhang Teil 2)}$$

$$Z = 1,2 \text{ (Regelventil)}$$

$$H_{\text{Boiler}} = \frac{(13.000 \text{ Pa} * 1,2)}{10.000} = 1,6 \text{ mWS}$$

$$H_{\text{Gesamt}} = (1,6 + 0,57) \text{ mWS} = \mathbf{2,17 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{2,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Neues Rathaus

Versorgungsleitung zur Unterverteilung:

Teillastbetrieb

$$R = 10 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 30 \text{ m} = 60 \text{ m}$$

$$Z = 1,2$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(10 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 60 \text{ m} * 1,2\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{0,57 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{0,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Volllastbetrieb

$$R = 30 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l = 2 * 30 \text{ m} = 60 \text{ m}$$

$$Z = 1,8$$

$$dp \text{ WÜS} = 5.000 \text{ Pa}$$

$$H = \frac{\left(30 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 60 \text{ m} * 1,8\right) + 5.000 \text{ Pa}}{10.000} = \mathbf{0,8 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{1,0 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Wie bei der Grundschulversorgungsleitung muss bei Ausbau der Vordruckpumpe dieser Druckabfall von den Heizkreispumpen von FBH und Heizkörperheizkreis überwunden werden.

Fußbodenheizkreis:

Teillastbetrieb

$$R_{V.leitung} = 40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l_{V.leitung} = 2 * 35 \text{ m} = 70 \text{ m}$$

$$Z = 1,5$$

$$R_{FBH} = 80 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l_{FBH} = 260 \text{ m}$$

$$H_{FBH} = \frac{\left(40 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 70 \text{ m} * 1,5\right) \text{ Pa} + \left(80 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 260 \text{ m}\right) \text{ Pa}}{10.000} =$$

$$2,5 \text{ mWS}$$

$$H_{Gesamt} = (2,5 + 0,57) \text{ mWS} = \mathbf{3,1 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{1,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Volllastbetrieb

$$R_{V.leitung} = 90 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l_{V.leitung} = 2 * 35 \text{ m} = 70 \text{ m}$$

$$Z = 2,2$$

$$R_{FBH} = 150 \frac{\text{Pa}}{\text{m}}$$

$$l_{FBH} = 260 \text{ m}$$

$$H_{FBH} = \frac{\left(90 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 70 \text{ m} * 2,2\right) \text{ Pa} + \left(150 \frac{\text{Pa}}{\text{m}} * 260 \text{ m}\right) \text{ Pa}}{10.000} =$$

$$5,3 \text{ mWS}$$

$$H_{Gesamt} = (5,3 + 0,8) \text{ mWS} = \mathbf{6,1 \text{ mWS}}$$

$$\dot{V} = \mathbf{4,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$

Aufgrund der Überdimensionierung der Bestandspumpe lohnt es sich aus energetischer Sicht, diese Pumpe auszutauschen (Datenblätter Bestands- und Austauschpumpe Anhang Teil 2). Eine kurze Wirtschaftlichkeitsrechnung wird im Kap. 3.3 gemacht.

Das Schweizer „Bundesamt für Energie BFE“ hat eine Dimensionierungshilfe für Umwälzpumpen im Bestand herausgegeben. Darin finden sich u. a. Richtwerte zur Ermittlung der erforderlichen Förderhöhe:

Heizkreis	Förderhöhe in mWS
Fußbodenheizung	1,5 - 3
Radiatorheizgruppen	1
Große Radiatorheizgruppen	Bis 2

*Tabelle 3-1: Richtwerte zur Ermittlung der Förderhöhe<sup>22</sup>*

Aufgrund der Größe der Radiatorheizgruppen und langen Leitungswege, ergeben sich im Rathaus etwas größere Förderhöhen zwischen 2 und 3,6 mWS. Auf dieser Basis können nun einzelne Pumpen in der Heizungsverteilung der Grundschule überprüft und ausgelegt werden. Aufgrund der Größe der Grundschulheizkreise kann dabei angenommen werden, dass die erforderlichen Volumenströme und Förderhöhen im Schnitt geringer ausfallen, als in Rathaus, Turnhalle und Musikschule. Beim Austausch einer Pumpe ist ferner darauf zu achten, dass ein möglichst kleiner Querschnitt gewählt wird (DN25). Die großen Leitungsquerschnitte verleiten zum Einbau größerer Pumpen (DN40, DN50), deren optimaler Regelbereich zwischen 8 und 20 m<sup>3</sup>/h liegt, also einem Vielfachen der vorhandenen Volumenströme.

---

<sup>22</sup> EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE: „Umwälzpumpen Dimensionierungshilfe“, 12/2015.

### 3.3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Abschließend soll nun ein kurzer Blick auf die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Maßnahmen geworfen werden. Bei Sanierungen, Umbauten und Anpassungen einer technischen Anlage spielt, neben Energieeffizienz und Wartungsaufwand, v. a. die Finanzierung eine Rolle. Eine gängige Methode zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit solcher Umbaumaßnahmen ist die Amortisationsrechnung, mit der ermittelt wird, nach welcher Zeit die Investition durch die dadurch eingesparten Energiekosten ausgeglichen wird.

Die folgende Rechnung (Tabelle 3-II) zeigt, dass sich der Austausch der alten, unregulierten Pumpen sehr schnell amortisiert und so viel Geld und Energie eingespart werden kann.

	<b>Bestandspumpe</b> Wilo DOP 50/100r	<b>Austauschpumpe</b> Wilo Stratos MAXO 25/0,5-4
<i>Pumpenleistung</i>	170 W	20 W
<i>Betriebsstunden pro Jahr (mit Abschaltbetrieb)</i>	4.000 h	4.000 h
<i>Stromverbrauch pro Jahr</i>	680 kWh	80 kWh
<i>Strompreis</i>	0,3 €/kWh	0,3 €/kWh
<i>Stromkosten pro Jahr</i>	204 €	24 €
<i>Preis (inkl. Umbau und BAFA-Förderung; geschätzt)</i>		400 €
<i>Stromeinsparung pro Jahr</i>		<b>600 kWh</b>
<i>Einsparung €/a</i>		<b>180 €</b>
<i>Amortisationsdauer</i>		<b>2,2 Jahre</b>

Tabelle 3-II: Amortisationszeit eines Pumpentauschs (Altes Rathaus)

Auch eine überdimensionierte geregelte Pumpe kann ein Energiefresser sein, da sie nicht in ihrem optimalen Wirkungsgradbereich arbeitet. In Tabelle 3-III ist dazu beispielhaft die Pumpe des FBH-Heizkreises in der Unterverteilung des Neuen Rathauses aufgeführt.

	<b>Bestandspumpe</b> Magna 50-100 F	<b>Austauschpumpe</b> Magna3 32-80
<i>Pumpenleistung</i>	150 W	60 W
<i>Betriebsstunden pro Jahr</i>	6.000 h	6.000 h
<i>Stromverbrauch pro Jahr</i>	900 kWh/a	360 kWh/a
<i>Strompreis</i>	0,3 €/kWh	0,3 €/kWh
<i>Stromkosten pro Jahr</i>	270 €	108 €
<i>Preis (inkl. Umbau und BAFA-Förderung; geschätzt)</i>		400 €
<i>Stromeinsparung pro Jahr</i>		<b>540 kWh</b>
<i>Einsparung €/a</i>		<b>162 €</b>
<i>Amortisationsdauer</i>		<b>2,5 Jahre</b>

Tabelle 3-III: Amortisation und Energieeinsparung Pumpenaustausch FBH-Heizkreis

Man sieht: das energetische und finanzielle Einsparungspotenzial durch einen Pumpentausch ist enorm. Besonders in der Hauptverteilung, wo überflüssige Pumpen in Betrieb sind, können pro Jahr Stromkosten im unteren vierstelligen Bereich eingespart werden:

<b>Heizkreis</b>	<b>Bestandspumpe</b>			<b>Neue Pumpe</b>		
	<b>kW</b>	<b>h/a</b>	<b>kWh/a</b>	<b>kW</b>	<b>h/a</b>	<b>kWh/a</b>
<i>Altes Rathaus</i>	0,17	4.000	680	0,03	4.000	120
<i>Musikschule</i>	0,08	4.000	320	0,04	4.000	160
<i>Turnh/Hausm</i>	0,38	4.000	1.520	0,06	4.000	240
<i>Grundschule</i>	0,38	8.000	3.040	0	0	0
<i>Neues Rathaus</i>	0,25	6.000	1.500	0	0	0
<i>Boiler und Zirk.</i>	Siehe Tabelle 3-V					
<b>Summe</b>			<b>7.060</b>			<b>520</b>
<i>Stromkosten</i>			0,3 €/kWh			0,3 €/kWh
<b>Betrag/a</b>			<b>2.118 €</b>			<b>156 €</b>

Tabelle 3-IV: Einsparungspotenzial Stromkosten gesamt

In Kap. 2.3.6 hat sich herausgestellt, dass in der Warmwasserbereitung aus energetischer Sicht das mit Abstand größte Potenzial für Optimierungen steckt, deswegen soll dieser Heizkreis isoliert betrachtet werden. Als konkrete Maßnahme wurde ein Umstieg auf eine elektrische, dezentrale Wassererwärmung vorgeschlagen. Nach der technischen Betrachtung sollen dieser Stelle nun auch noch die Verbrauchskosten gegenübergestellt werden:

<b>Energiekosten</b>			
	<b>kWh/a</b>	<b>€/kWh</b>	<b>€/a</b>
<i>Fernwärme</i>	80.000	0,08	6.400
<i>Strom Boilerlade- und Zirk.pumpe</i>	1.125	0,3	338
<i>SUMME</i>			6.738
<i>Strom für elektrische WW-Bereitung</i>	2.000	0,3	600
<b><i>Einsparung</i></b>			<b>6.026</b>

Tabelle 3-V: Energiekosten Warmwasserbereitung

Durch Umsetzung dieser Maßnahmen könnte der Stromverbrauch im Rathaus dementsprechend um rund 5.500 kWh und der Wärmebedarf um 80 MWh gesenkt werden. Die jährlichen Energiekosten reduzieren sich dadurch um mindestens 8.000 €.

### III) Zusammenfassung

Bei energetischen Sanierungen in Bestandsgebäuden liegt der Fokus meist auf der Verringerung der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle. Die zwingende Anpassung der - meist veralteten - Gebäudetechnik an die neuen Betriebszustände wird im Anschluss aber oft vernachlässigt. Ebenso werden beim Anschluss von bestehenden Heizungsanlagen an ein Fernwärmenetz zwingend notwendige Änderungen in der Hydraulik (Überströmer) oder Anpassungen in der Regelung nicht durchgeführt. Das Resultat sind hohe Rücklauftemperaturen und unruhige Regelverhalten mit kurzfristigen Spitzenlasten. Die Erkenntnisse und Ergebnisse dieser Arbeit sollen dabei helfen, die Optimierung von weiteren Bestandsanlagen zu vereinfachen. Eine Untersuchung und Bewertung eines Heizungssystems kann z. B. nach folgenden Schritten durchgeführt werden:

- Analyse der Fernwärmeübergabestation: Eine schlechte Grädigkeit des Wärmetauschers durch Verschmutzungen kann die Rücklauftemperatur und auch die gesamte Sekundäranlage erheblich beeinflussen
- Betrachtung der analogen Thermometer an den Heizkreisen: Durch sie können erste Aussagen zu einzelnen Kreisen und deren Einfluss auf die RL-Temperatur gemacht werden
- Skizzieren eines Hydraulikschemas; Überprüfen von baulich bedingten Überströmungen (Bypässe, Umlenkschaltungen etc.)
- Suchen nach Hinweisen auf Fehlströmungen, z. B. durch fehlende oder defekte Rückschlagklappen oder inaktive Heizkreise, durch die Wasser zirkulieren kann
- Bestandsaufnahme der Pumpen: Alte, unregelte Pumpen müssen in jedem Fall ausgetauscht werden. Auch zu große drehzahlregelte Pumpen sollten getauscht werden (> DN40 oder > 6m Förderhöhe sind mit hoher Wahrscheinlichkeit überdimensioniert), um Stromkosten zu sparen und Fehlströmungen über andere Heizkreise zu vermeiden. Moderne Pumpen haben zudem eine integrierte Volumenstrom- und Temperaturmessung und ermöglichen damit eine laufende Analyse der Betriebszustände
- Abschalt- bzw. Absenkezeiten überprüfen: Gleichzeitigkeit, z.B. eine Anforderung aller Kreise um 6 Uhr, sollte vermieden werden, um Leistungsspitzen zu reduzieren

- Sind die Heizkurven einzelner Kreise höher eingestellt, als der VL der WÜS, müssen diese aufeinander abgestimmt werden. Einer Senkung der Heizkurve sollte dabei der Vorzug gegeben werden. Meist ist diese ohnehin zu hoch eingestellt und nicht auf die zu beheizenden Räume abgestimmt. Dabei können u. U. Befragungen der Belegschaft über zu warme oder zu kalte Raumtemperaturen helfen.
- Sind die Einstellungsmöglichkeiten der Bestandsregelung begrenzt, sollte ein Tausch in Erwägung gezogen werden. Am besten ist dabei eine Abstimmung auf die Regelung der Fernwärme. Zudem sollten die Mischventile außerhalb der Heizzeiten durch die Steuerung automatisch auf „ZU“ gestellt werden, um Fehlzirkulationen zu vermeiden. Mit einer modernen Leittechnik kann außerdem der Betrieb der Anlage besser überwacht werden, was eine laufende Optimierung erleichtert.
- Analyse der WW-Bereitung: Wie hoch ist der Bedarf und wie hoch ist der tatsächliche Energieeinsatz? Werden die geforderten Temperaturen auch an den entfernten Zapfstellen erreicht? Ist der Warmwasserbereiter richtig dimensioniert und eingestellt (möglichst große Spreizung des Heizmittels)? Wird regelmäßig entkalkt und gewartet, um einen optimalen Wärmeübergang auf das TWW zu ermöglichen? Bei geringem Warmwasserbedarf und langen Leitungswegen sollte unbedingt überprüft werden, ob eine dezentrale elektrische Brauchwassererwärmung sinnvoll ist.
- Nach den Optimierungsmaßnahmen muss überprüft werden, ob die weit entfernten Heizkörper noch ausreichend versorgt werden. Ansonsten muss zuerst ein hydraulischer Abgleich durchgeführt werden, bevor die Heizkurve oder die Pumpenleistung erhöht werden
- Die Anlage muss regelmäßig gewartet werden, dazu gehören: Heizkörper und Hochpunkte entlüften, Anlagendruck und Wasserqualität überprüfen sowie Einstellungen in der Regelung dokumentieren und überprüfen.

Mit diesen Maßnahmen kann mit verhältnismäßig geringem Aufwand eine deutlich effizientere Fernwärmenutzung erreicht werden. Gerade bei großen Heizungsanlagen über 100 kW Leistung wird, nach dem bereits erfolgten Anschluss an das Fernwärmenetz, durch diesen zweiten Schritt ein weiterer wichtiger Beitrag zu einer nachhaltigen Nutzung der Geothermie und zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen geleistet.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-A: Rathaus mit Nebengebäuden, Quelle: Google Maps 2020 .....	5
Abbildung 1-B Altes Rathaus (rechts) und Neues Rathaus.....	5
Abbildung 1-C: Fernwärmeübergabestation mit isoliertem Plattenwärmetauscher (blau) .	6
Abbildung 1-D: Hauptheizungsverteiler .....	8
Abbildung 1-E: Unterverteilung "MAGRA-Tubo" .....	9
Abbildung 2-A: Volllast an kalten Tagen mit Rücklauftemperaturbegrenzung.....	12
Abbildung 2-B: Rücklauf und Durchfluss primär mit Temperaturbegrenzung bei 63°C .....	14
Abbildung 2-C: Rücklauftemperatur primär/sekundär ohne Begrenzung .....	15
Abbildung 2-D: Leistungsabgabe primär mit RL-Temperaturbegrenzung.....	15
Abbildung 2-E: Leistungsabgabe primär ohne RL-Temperaturbegrenzung .....	15
Abbildung 2-F: Rot: eingestellte Heizkurve Rathaus Altbau, Musikschule und Turnhalle/Hausmeister, Quelle: Buderus. Herstellerunterlagen. Regelsystem 3000 Serviceunterlage 2.02. 919659-2/91 .....	18
Abbildung 2-G: Anordnung Temp.fühler .....	18
Abbildung 2-H: Kennlinie Dreiwegemischventil VXF21.40-19 Quelle: Siemens Building Technologies, Dreiwegventile PN6 mit Flanschanschluss VXF21.. 2013-09-06 .....	19
Abbildung 2-I: Temperaturverlauf Altes Rathaus .....	19
Abbildung 2-J: Temperaturüberlagerungen im Heizkreis Musikschule.....	20
Abbildung 2-K: Änderung des Heizkreisverhaltens durch Einfluss von Parallelkreisen .....	21
Abbildung 2-L: Temperaturverlauf Turnhalle/Hausmeister .....	22
Abbildung 2-M: Abhängigkeit des RL Turnh/Hausm vom Gesamtrücklauf.....	22
Abbildung 2-N: Normalströmung (links) und Fehlströmung (rechts).....	23
Abbildung 2-O: Heizkurven Grundschule .....	24
Abbildung 2-P: Bestandsregelung Grundschule; links die Regelventileinstellung "AUF" ...	25

Abbildung 2-Q: Vor- und Rücklauf Grundschule.....	26
Abbildung 2-R: Korrelation der VL-Temperaturen im Boilerlade- und Grundschulkreis ....	27
Abbildung 2-S: Heizkurve für FBH und Heizkörper Neues Rathaus.....	28
Abbildung 2-T: Temperaturen Heizkreis "Neues Rathaus" und Einfluss des Boilers .....	29
Abbildung 2-U: Einfluss der Fehlströmungen auf die Kreise 4 und 5 .....	29
Abbildung 2-V: Beeinflussung des 5. Heizkreises durch Fehlströmungen .....	29
Abbildung 2-W: Verhinderung von Fehlströmungen durch Absperren der Ventile .....	30
Abbildung 2-X: Funktionsweise Einspritzschaltung mit Dreiwegeventil .....	30
Abbildung 2-Y: Temperaturen im Boilerladekreis .....	31
Abbildung 2-Z: Hydraulischer Zusammenhang der Heizkreise 4, 5 und 6.....	33
Abbildung 3-A: Glättung der Durchflussspitzen durch Vermeiden von gleichzeitigem Einschalten der Heizkreise .....	37

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-I: Daten Plattenwärmetauscher der WÜS .....	7
Tabelle 2-I: Wärmebedarf Rathaus 2019.....	11
Tabelle 2-II: Betriebszeiten der Heizkreispumpen.....	17
Tabelle 2-III: Jährliche Energiebilanz WW-Bereitung .....	34
Tabelle 3-I: Richtwerte zur Ermittlung der Förderhöhe .....	47
Tabelle 3-II: Amortisationszeit eines Pumpentauschs (Altes Rathaus) .....	48
Tabelle 3-III: Amortisation und Energieeinsparung Pumpenaustausch FBH-Heizkreis.....	49
Tabelle 3-IV: Einsparungspotenzial Stromkosten gesamt.....	49
Tabelle 3-V: Energiekosten Warmwasserbereitung .....	50

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesumweltministerium (BMU): Klimaschutz in Zahlen, Ausgabe 2019, 1. Auflage:  
[https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz\\_zahlen\\_2019\\_broschuere\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2019_broschuere_bf.pdf) [zuletzt abgerufen am 20.01.2020]
- [2] IEP-Innovative Energie für Pullach GmbH: [www.iep-pullach.de/unternehmen#daten-fakten](http://www.iep-pullach.de/unternehmen#daten-fakten)  
[zuletzt abgerufen am 22.03.2020]
- [3] IEP Innovative Energie für Pullach GmbH: [https://iep-pullach.de/wp-content/uploads/2020/04/202001\\_Technische-Anschlussbedingungen\\_Anpassung.pdf](https://iep-pullach.de/wp-content/uploads/2020/04/202001_Technische-Anschlussbedingungen_Anpassung.pdf) [zuletzt abgerufen am 25.04.2020]
- [4] Recknagel, Sprenger, Albers: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, 79. Auflage  
2019/20, Augsburg: ITM InnoTech Medien GmbH, 2018 – ISBN: 978-3-96143-077-2
- [5] Umweltbundesamt/Arbeitsgemeinschaften, Projekt Temperaturbereinigung,  
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#mehr-haushalte-grossere-wohnflaechen-energieverbrauch-pro-wohnflaechen-sinkt> [zuletzt abgerufen am 15.02.2020]
- [6] W. Burkhardt/R. Kraus, „Projektierung von Warmwasserheizungen“, 8. Auflage, München:  
Oldenburg Industrieverlag GmbH; 2011 – ISBN: 978-3-8356-3259-2
- [7] Buderus, Herstellerunterlagen, „Regelsystem 3000 Serviceunterlage 2.02“, 919659-2/91
- [8] Siemens Building Technologies, Herstellerunterlagen, „Dreiwegventile PN6 mit Flanschanschluss VXF21..“, 2013-09-06
- [9] VBS Pullach: <https://www.vbs-pullach.de/wasserversorgung/> [zuletzt abgerufen am 20.04.2020]
- [10] Vgl. Dr.-Ing. Christian Bichler, Seminar Hydraulik, Sommersemester 2020 (Hochschule München).
- [11] Siemens Schweiz AG: „Hydraulik in der Gebäudetechnik“, Stand 07/2019
- [12] K. Jagnow, C. Halpers, T. Timm, M. Sobirey: „Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand“,  
Artikel für TGA-Fachplaner 2003/2004.
- [13] K. Jagnow und D. Wolff: „Wärmeleistungsbedarf für Trinkwarmwasser“, Manuskript für „Der  
Energieberater“, Köln: Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 2003-2009.
- [14] K. Jagnow und D. Wolff: „Überblick Heizungsregelung und Hydraulik“, Manuskript für „Der  
Energieberater“, Köln: Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 2003-2009.
- [15] Dipl.-Ing. Wolfram Meyer: „Sinn und Unsinn geregelter Pumpen“, FACH.JOURNAL 2004/05: S.  
134-136

[16] EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE: „Umwälzpumpen Dimensionierungshilfe“, 12/2015.

#### Weiterführende Links

[http://www.delta-g.de/cms/de/archiv\\_veroeffentlichungen/regelung\\_hydraulik.html](http://www.delta-g.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/regelung_hydraulik.html)

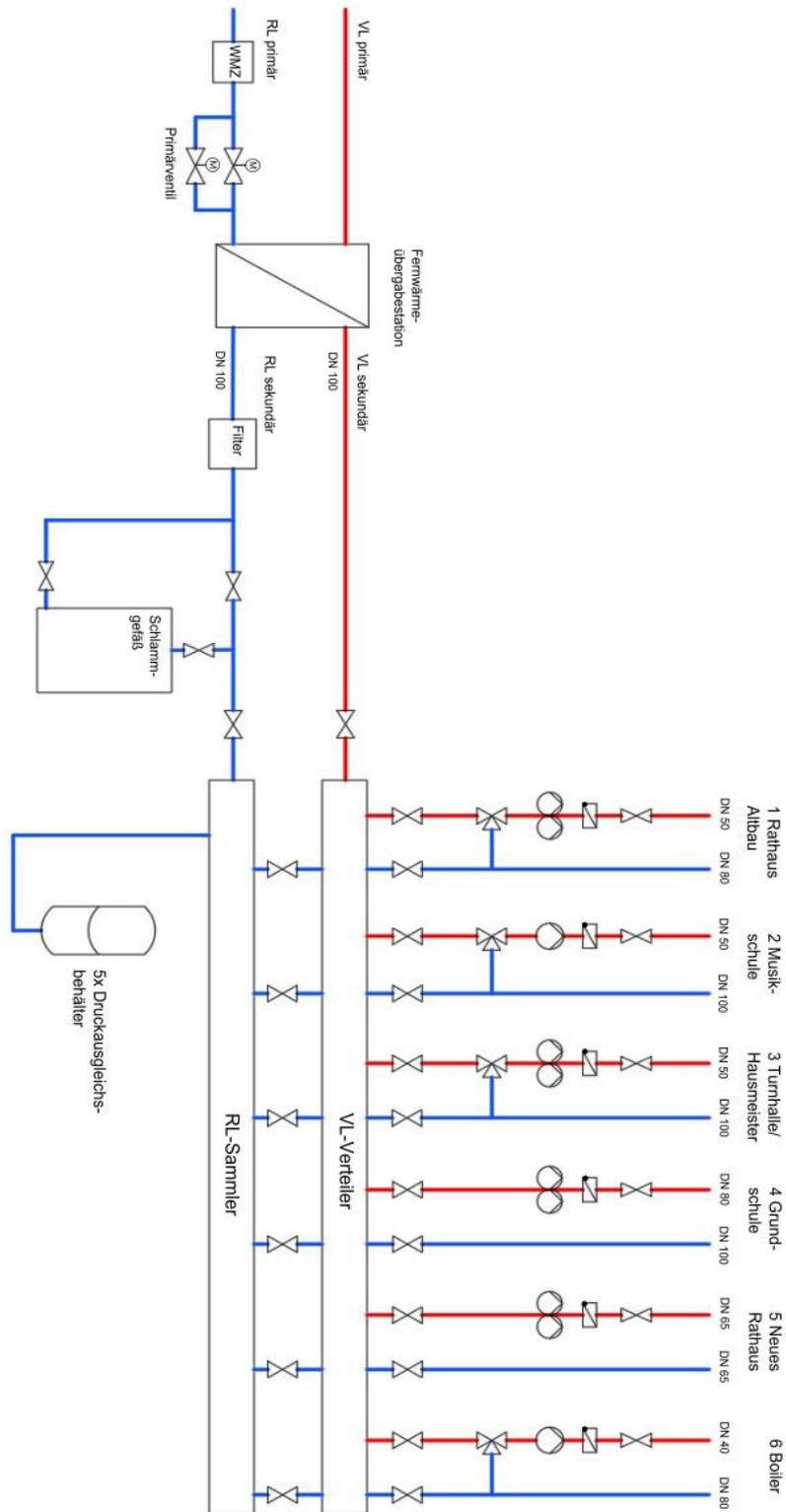
[http://www.delta-g.de/cms/de/archiv\\_veroeffentlichungen/ueberblick\\_technik.html](http://www.delta-g.de/cms/de/archiv_veroeffentlichungen/ueberblick_technik.html)

<https://www.haustechnikverstehen.de/auslegung-einer-heizungspumpe-mit-beispiel-rechnung/>

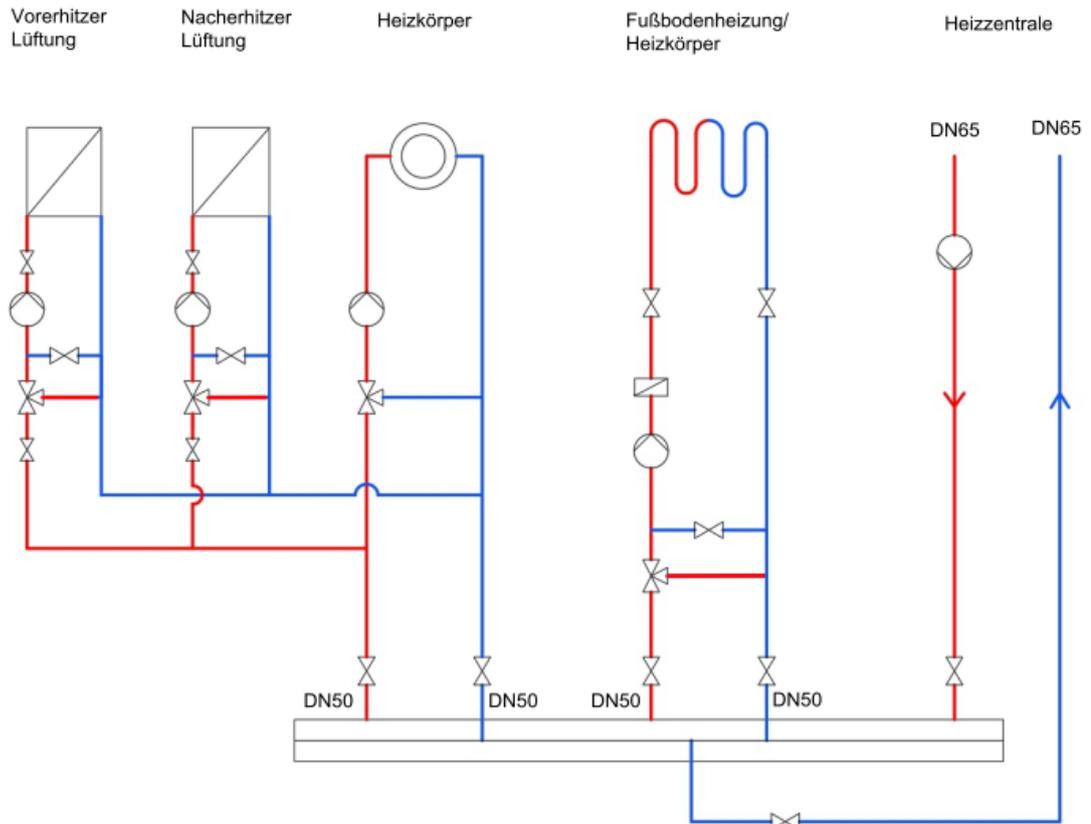
[http://www.bosy-online.de/offener\\_Verteiler.htm](http://www.bosy-online.de/offener_Verteiler.htm)

# Anhang

## Anhang Teil 1: Bilder, Schemata und Pläne



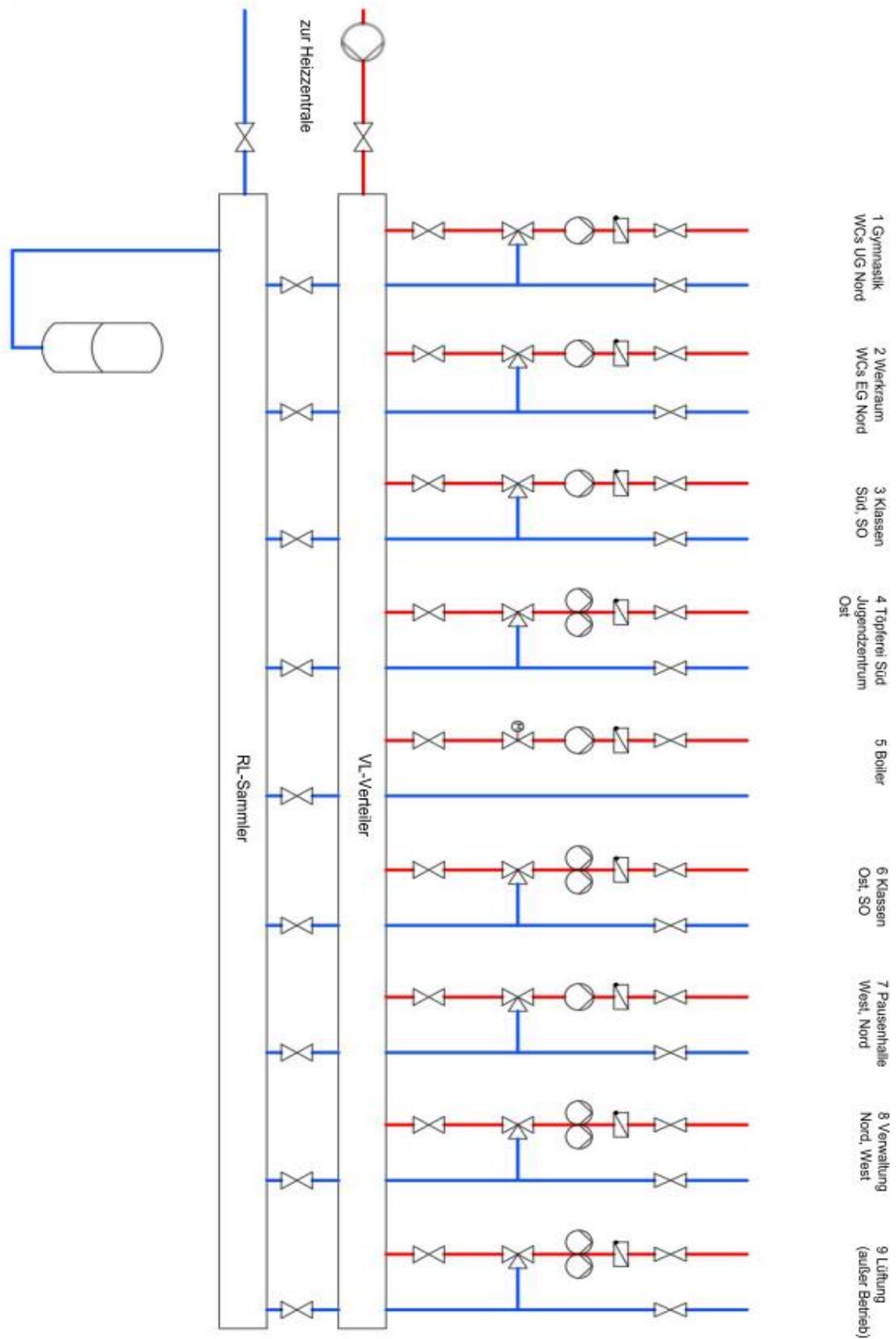
Schema Hauptheizungsverteiler im Rathaus



Schema Unterverteilung Neues Rathaus

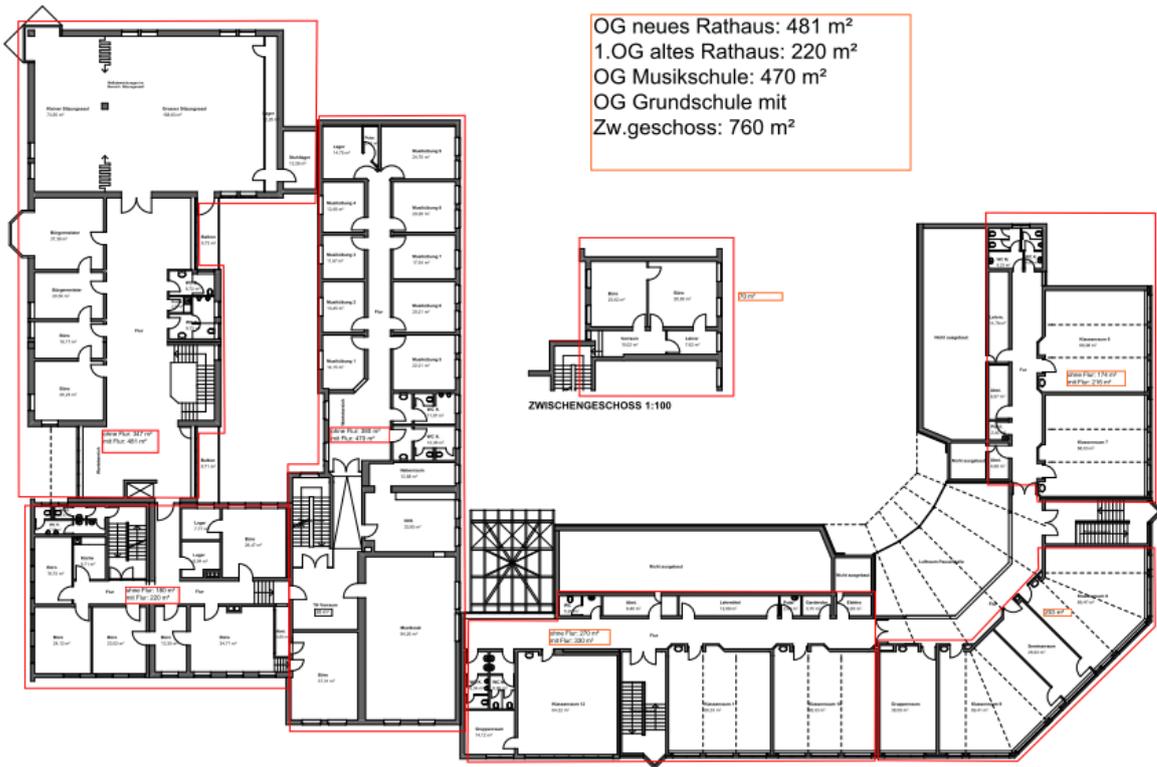


Unterverteilung Neues Rathaus

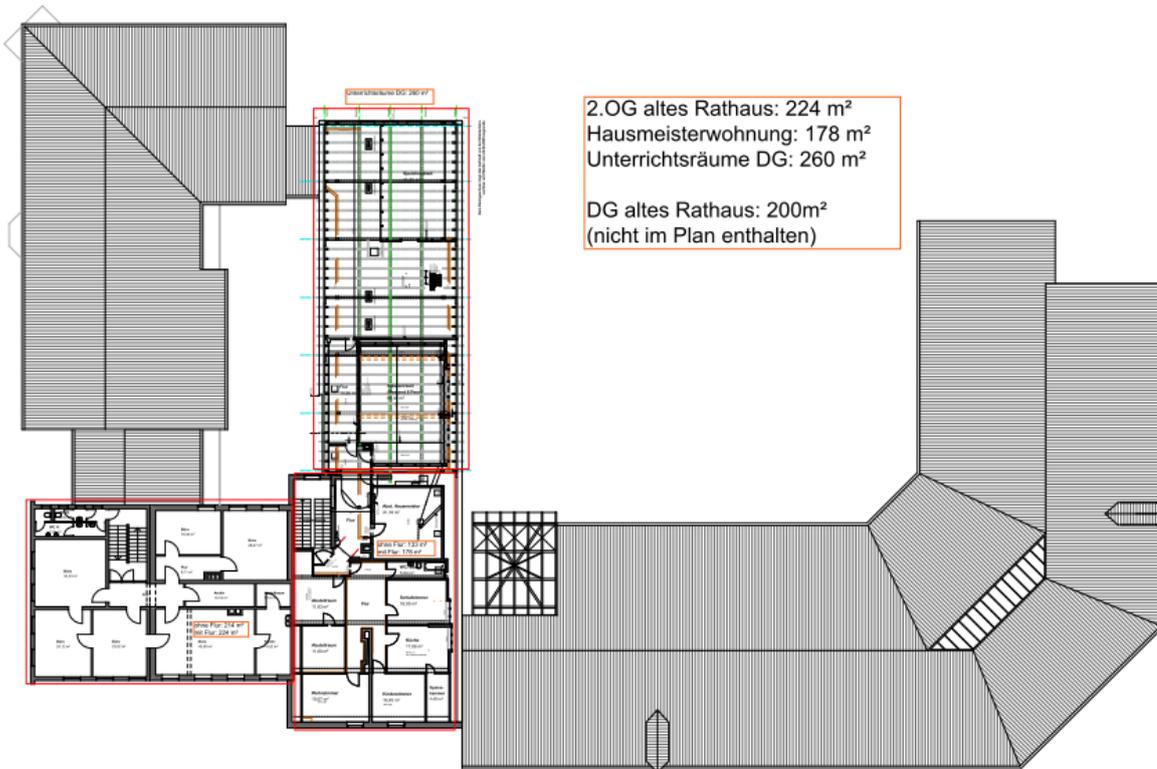


Schema Unterverteilung Grundschule





OBERGESCHOSS 1:100



## Anhang Teil 2: Datenblätter Wärmeübertrager und Umwälzpumpen

## Wärmeübertrager der Übergabestation

## Gelöteter Plattenwärmeübertrager



## Technische Spezifikation

Typ : CB76-150H (32361 7150 1)  
 Pos. :

Datum : 23.03.2020

		Warme Seite S4S3	Kalte Seite S2S1
Medium		Wasser	Wasser
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	977.5	980.8
Spezifische Wärmekapazität	kJ/(kg*K)	4.18	4.17
Therm. Wärmeleitfähigkeit	W/(m*K)	0.661	0.655
Viskosität Eintritt	cP	0.333	0.472
Viskosität Austritt	cP	0.451	0.397
Massenstrom	kg/h	6365	12210
Eintrittstemperatur	°C	85.0	59.0
Austrittstemperatur	°C	62.0	71.0
Druckverlust	kPa	1.26	4.44
Wärmeleistung	kW	170.0	
Logarithm. Temperaturdifferenz	K	7.1	
Strömungsrichtung der Medien		Gegenstrom	
Anzahl der Wege		1	1
MaterialPlatte/ Lot		Alloy 316 / Cu	
AnschlussS1 (Kalt-Aus)		Außengewinde/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
AnschlussS2 (Kalt-Ein)		Außengewinde/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
AnschlussS3 (Warm-Aus)		Außengewinde/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
AnschlussS4 (Warm-Ein)		Außengewinde/ 2" ISO 228/1-G (B23) Alloy 316	
Druckgeräterichtlinie		PED	
Auslegungsdruckbei125.0 °C	Bar	34.0	34.0
Auslegungsdruckbei225.0 °C	Bar	30.0	30.0
Auslegungstemperatur	°C	-196.0/225.0	
Länge x Breite x Höhe	mm	486 x 191 x 618	
Leer- / Betriebsgewicht	kg	76.1 / 112	
Priceincl Extras RCPL:		0 EUR	

Die exakte Funktion des Wärmeübertragers setzt die Genauigkeit der vom Kunden genannten Daten voraus.

Maximalleistung: ca. 700 kW

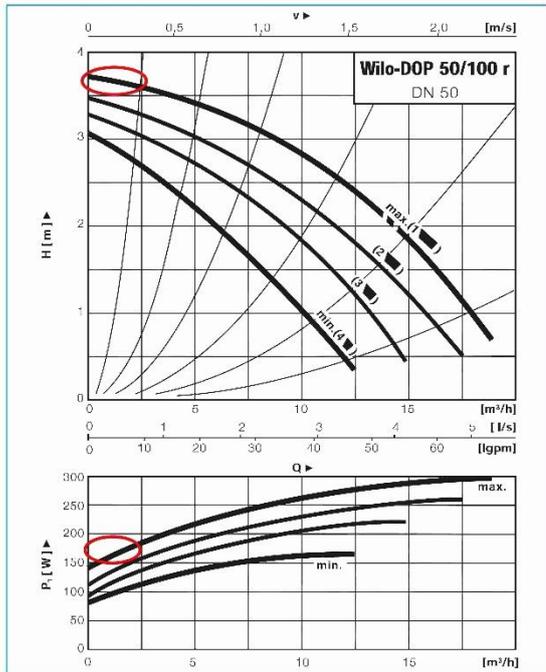
Datenblatt Wärmeübertrager der Fernwärmeübergabestation bei Betriebstemperaturen

Quelle: Auslegung durch aquotec GmbH, Österreich

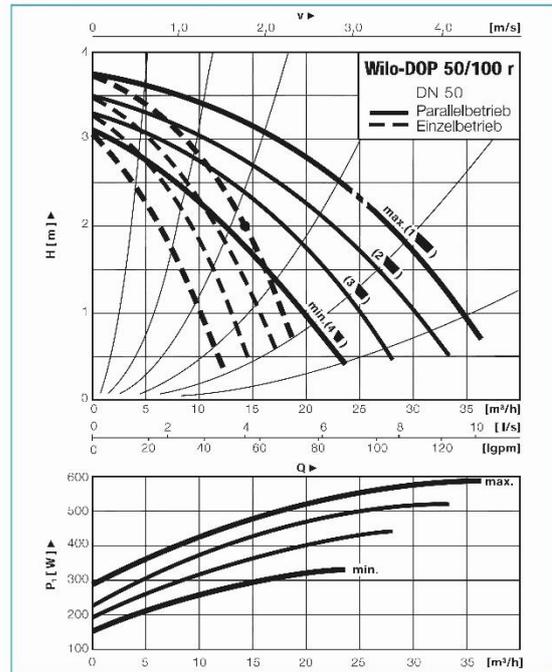
## Umwälzpumpe Altes Rathaus

### Wilo-DOP 50/100 r

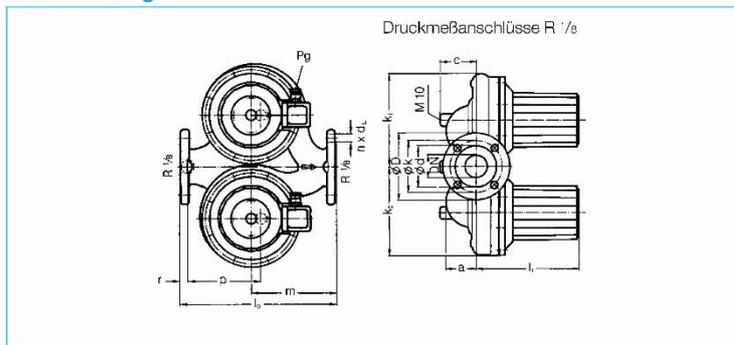
#### Kennlinien – Einzelbetrieb



#### Kennlinien – Parallelbetrieb



#### Maßzeichnung

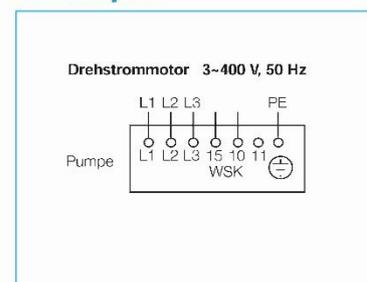


#### Flanschmaße

Flansch PN 6 – DIN 2531				
DN	D	d	k	n x d <sub>L</sub>
	mm			
50	140	90	110	4 x 14
Flansch PN 16 – DIN 2533				
50	165	102	125	4 x 18

n = Anzahl der Bohrungen

#### Klemmenplan



#### Maße – Gewichte

Wilo-DOP	DN	l <sub>0</sub>	m	l <sub>1</sub>	c	a	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	l	p	r	Pg	Flansch PN		Gew. ca. kg PN
													6	10/16	
DOP 50/100 r	50	280	150	209	-	70	168	157	-	-	-	13,5	X	X	27/28

#### Motordaten

Drehstrommotor (DM), 4-polig – 3 ~ 400 V/3 ~ 230 V<sup>1)</sup>, 50 Hz

Wilo-DOP	Nennleistung P <sub>2</sub> max. W	Stufe/Drehzahl n 1/min	Leistungsaufn. P <sub>1</sub> W	Strom I		Motor-schutz
				3~400 V	3~230 V <sup>1)</sup>	
DOP 50/100 r	135	1 1350	140 – 290	0,9	1,56	2)
	102	2 1300	115 – 260	0,75	1,3	
	70	3 1200	95 – 220	0,6	1,04	
	48	4 1100	80 – 165	0,45	0,78	

1) Sondermotor

2) Wilo-C-SK (nur bei 3 ~ 400 V und Medientemperatur bis max. 110 °C geeignet), Wilo-SK 602, Wilo-SK 622, Wilo-AS- und CR-Systeme  
Typenschilddaten beachten! Strom I: Einstellwert: für bauseitigen Motorschutzschalter

Datenblatt Bestandspumpe mit Betriebspunkt (Einstellung auf Stufe 1 „max“)

Quelle: Auf Anfrage bei WiloLine Gebäudetechnik, Customer Service, Sales Region Dach, wilo-line@wilo.com

Berechnungsnummer:	1	2	3	4
Fördermedium:	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.
Volumenstrom in m³/h:	1,000	1,500	2,000	2,000
Dichte in kg/m³:	998,200	998,200	998,200	998,200
Dyn.Viskos. in 10 <sup>-6</sup> kg/ms:	1002,000	1002,000	1002,000	1002,000
Rohrkennzeichn.(Benutzer):				
Rohrleitungselement/Anzahl:	kreisförmig/1	kreisförmig/1	kreisförmig/1	kreisförmig/1
Elementabmessungen:	Rohrdurchmesser D in mm: 25,0	Rohrdurchmesser D in mm: 35,0	Rohrdurchmesser D in mm: 40,0	Rohrdurchmesser D in mm: 50,0
	Rohrlänge L in m: 14,000	Rohrlänge L in m: 20,000	Rohrlänge L in m: 20,000	Rohrlänge L in m: 20,000
Strömungsgeschw.in m/s:	0,566	0,433	0,442	0,283
Reynolds-Zahl:	1,40E+0004	1,51E+0004	1,76E+0004	1,40E+0004
Strömungsgeschw.2 in m/s:				
Reynolds-Zahl 2:				
Strömungsform:	turbulent	turbulent	turbulent	turbulent
Rohrrauigkeit in mm:	0,100	0,100	0,100	0,100
Rohrreibungszahl:	0,035	0,033	0,031	0,032
Zeta-Wert:	19,326	18,591	15,607	12,642
Zeta-Wert abzw.Rohr:				
Druckv.abzw.Rohr mbar:				
Druckverlust in mbar:	30,887	17,402	15,225	5,051
Druckverlust in bar:	0,031	0,017	0,015	0,005

Summe der Druckverluste 68,565 mbar oder 0,069 bar

### Überschlägige Druckverlustberechnung bei Vollast: R=90 Pa/m

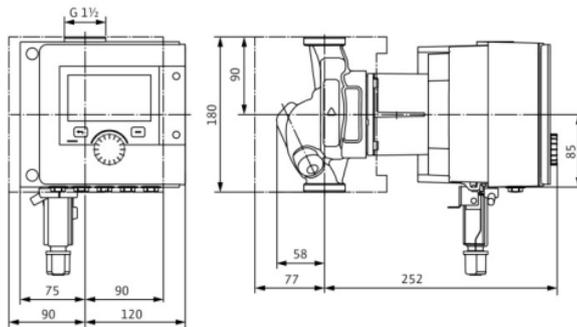
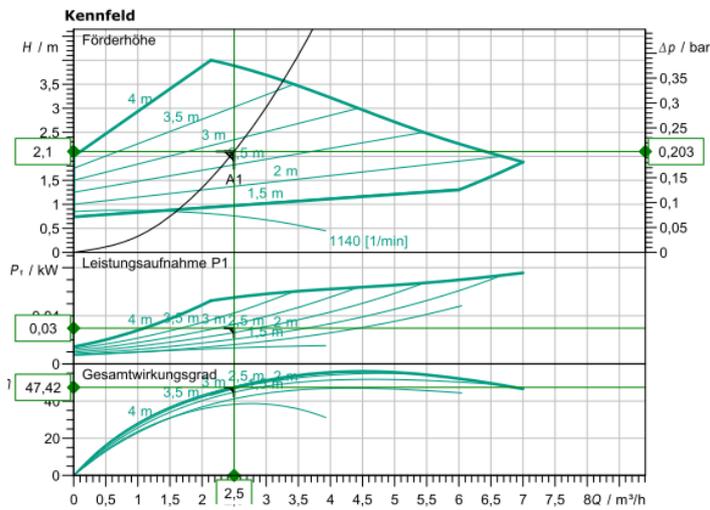
Berechnungsnummer:	1	2	3	4
Fördermedium:	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.
Volumenstrom in m³/h:	0,700	0,700	0,700	0,700
Dichte in kg/m³:	998,200	998,200	998,200	998,200
Dyn.Viskos. in 10 <sup>-6</sup> kg/ms:	1002,000	1002,000	1002,000	1002,000
Rohrkennzeichn.(Benutzer):				
Rohrleitungselement/Anzahl:	kreisförmig/1	kreisförmig/1	kreisförmig/1	kreisförmig/1
Elementabmessungen:	Rohrdurchmesser D in mm: 50,0	Rohrdurchmesser D in mm: 40,0	Rohrdurchmesser D in mm: 35,0	Rohrdurchmesser D in mm: 25,0
	Rohrlänge L in m: 20,000			
Strömungsgeschw.in m/s:	0,099	0,155	0,202	0,396
Reynolds-Zahl:	4933	6166	7047	9865
Strömungsgeschw.2 in m/s:				
Reynolds-Zahl 2:				
Strömungsform:	turbulent	turbulent	turbulent	turbulent
Rohrrauigkeit in mm:	0,100	0,100	0,100	0,100
Rohrreibungszahl:	0,040	0,038	0,037	0,036
Zeta-Wert:	15,876	19,079	21,403	29,174
Zeta-Wert abzw.Rohr:				
Druckv.abzw.Rohr mbar:				
Druckverlust in mbar:	0,777	2,280	4,363	22,847
Druckverlust in bar:	0,001	0,002	0,004	0,023

Summe der Druckverluste 30,267 mbar oder 0,030 bar

### Überschlägige Druckverlustberechnung bei Teillast: R=40 Pa/m

Quelle: Programm für Druckverlustberechnung „Druckverlust 5.0“, [<http://www.druckverlust.de/Online-Rechner/dp.php>]

Datum 26.04.2020



**Betriebsdatenvorgabe**

Förderstrom	2,50 m³/h
Förderhöhe	2,10 m
Fördermedium	Wasser 100 %
Medientemperatur	60,00 °C
Dichte	983,20 kg/m³
Kinematische Viskosität	0,47 mm²/s

**Hydraulische Daten (Betriebspunkt)**

Förderstrom	2,50 m³/h
Förderhöhe	2,10 m
Leistungsaufnahme P1	0,03 kW

**Produktdaten**

Nassläufer-Premium-Smart-Pumpe	
Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10	
Betriebsart	dp-v
Max. Betriebsdruck	10 bar
Medientemperatur	-10 °C ... +110 °C
Max. Umgebungstemperatur	40 °C

**Motordaten pro Motor/Pumpe**

Motorbauart	EC-Motor
Energieeffizienzindex (EEI)	≤ 0,18
Netzanschluss	1~ 230 V / 50 Hz
Zulässige Spannungstoleranz	±10 %
Max. Drehzahl	2550
Leistungsaufnahme P1(max)	0,08 kW
Stromaufnahme	0,58 A
Schutzart	IPX4D
Isolationsklasse	F
Störaussendung	EN 61800-3;2004+A1;20
Störfestigkeit	EN 61800-3;2004+A1;20
Kabelverschraubung	

**Anschlussmaße**

Saugseitiger Rohranschluß	G 1½, PN10
Druckseitiger Rohranschluß	G 1½, PN10
Baulänge	180 mm

**Werkstoffe**

Pumpengehäuse	EN-GJL-200
Laufgrad	PPS-GF40
Welle	1.4122
Lager	Kohlegraphit

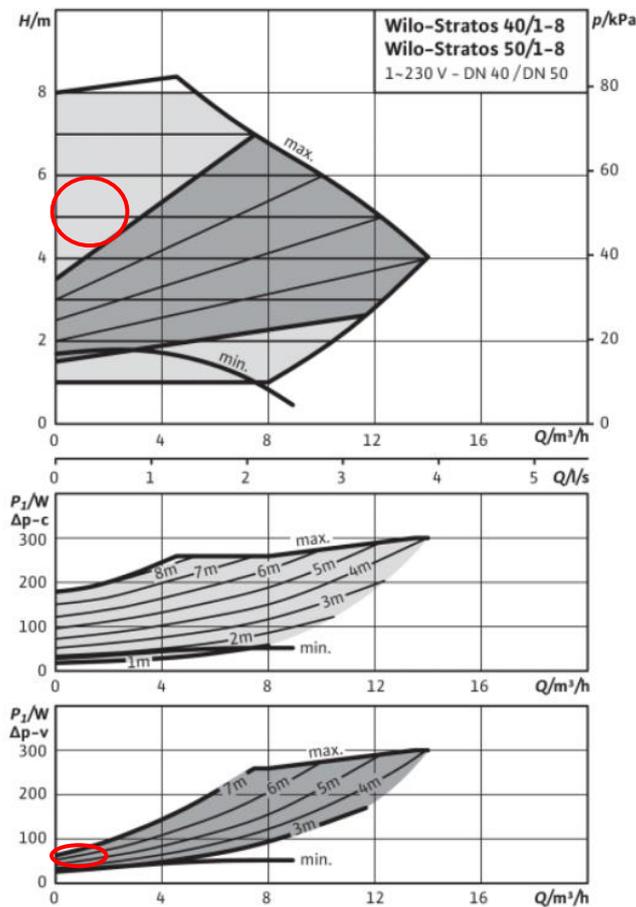
**Bestellinformationen**

Gewicht netto ca.	7,2 kg
Artikelnummer	2186183

Empfohlene Austauschpumpe Wilo Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10 (Altes Rathaus) mit Auslegungspunkt

Quelle: Auslegung durch: <https://wilo-select.com/ApplRange.aspx> [zuletzt abgerufen am 1.04.2020]

Umwälzpumpe Musikschule



Hydraulische Daten

Maximaler Betriebsdruck $P_N$	10 bar
Förderhöhe max. $H$	8.00 m
Fördermenge max. $Q$	17 m³/h
Mindestzulaufrhöhe bei 50 °C	3
Mindestzulaufrhöhe bei 95 °C	10
Mindestzulaufrhöhe bei 110 °C	16
Min. Medientemperatur $T_{min}$	-10 °C
Max. Medientemperatur $T_{max}$	110 °C
Min. Umgebungstemperatur $T_{min}$	-10 °C
Max. Umgebungstemperatur $T_{max}$	40 °C

Werkstoffe

Pumpengehäuse	EN-GJL-250
Laufrad	PPS-GF40
Welle	1.4122
Lager	Kohlegraphit

Motordaten

Energieeffizienzindex (EEI)	0.20
Netzanschluss	1~230 V ±10%, 50/60 Hz
Strom (min) $I_{min}$	0.22 A
Strom (max) $I_{max}$	1.37 A
Drehzahl min. $n_{min}$	1400 rpm
Drehzahl max. $n_{max}$	4800 rpm
Leistungsaufnahme $P_{1, min}$	12.0 W
Leistungsaufnahme $P_{1, max}$	300.0 W
Störaussendung	EN 61800-3:2004+A1:2012 / Wohnbereich (C1)
Störfestigkeit	EN 61800-3:2004+A1:2012 / Industriebereich (C2)
Kabelverschraubung	1 x PG7
Isolationsklasse	F
Schutzart	IPX4D

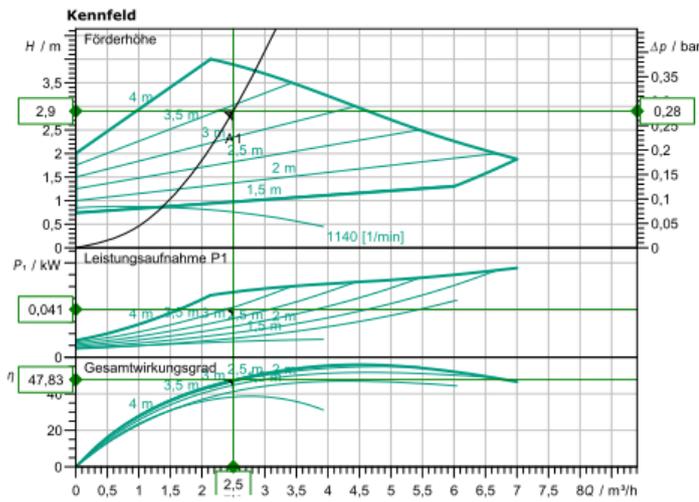
Einbaumaße

Druckseitiger Rohranschluß	DN 40
Saugseitiger Rohranschluß	DN 40
Baulänge $l_0$	220 mm

Datenblatt Bestandspumpe WIL0-Stratos 40/1-8 mit Betriebspunkt

Quelle: [https://wilo.com/de/de/Katalog/Wilo-Stratos\\_30.html](https://wilo.com/de/de/Katalog/Wilo-Stratos_30.html) [zuletzt abgerufen am 20.02.2020]

Datum 26.04.2020



**Betriebsdatenvorgabe**

Förderstrom	2,50 m³/h
Förderhöhe	2,90 m
Fördermedium	Wasser 100 %
Medientemperatur	60,00 °C
Dichte	983,20 kg/m³
Kinematische Viskosität	0,47 mm²/s

**Hydraulische Daten (Betriebspunkt)**

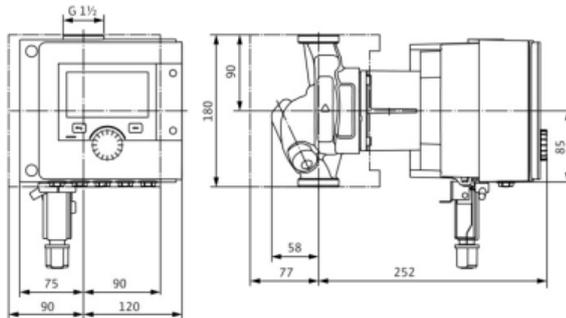
Förderstrom	2,50 m³/h
Förderhöhe	2,90 m
Leistungsaufnahme P1	0,04 kW

**Produktdaten**

Nassläufer-Premium-Smart-Pumpe	
Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10	
Betriebsart	dp-v
Max. Betriebsdruck	10 bar
Medientemperatur	-10 °C ... +110 °C
Max. Umgebungstemperatur	40 °C

**Motordaten pro Motor/Pumpe**

Motorbauart	EC-Motor
Energieeffizienzindex (EEI)	≤ 0,18
Netzanschluss	1~ 230 V / 50 Hz
Zulässige Spannungstoleranz	±10 %
Max. Drehzahl	2550
Leistungsaufnahme P1(max)	0,08 kW
Stromaufnahme	0,58 A
Schutzart	IPX4D
Isolationsklasse	F
Störaussendung	EN 61800-3;2004+A1;20
Störfestigkeit	EN 61800-3;2004+A1;20
Kabelverschraubung	



**Anschlussmaße**

Saugseitiger Rohranschluß	G 1 1/2, PN10
Druckseitiger Rohranschluß	G 1 1/2, PN10
Baulänge	180 mm

**Werkstoffe**

Pumpengehäuse	EN-GJL-200
Laufrad	PPS-GF40
Welle	1.4122
Lager	Kohlegraphit

**Bestellinformationen**

Gewicht netto ca.	7,2 kg
Artikelnummer	2186183

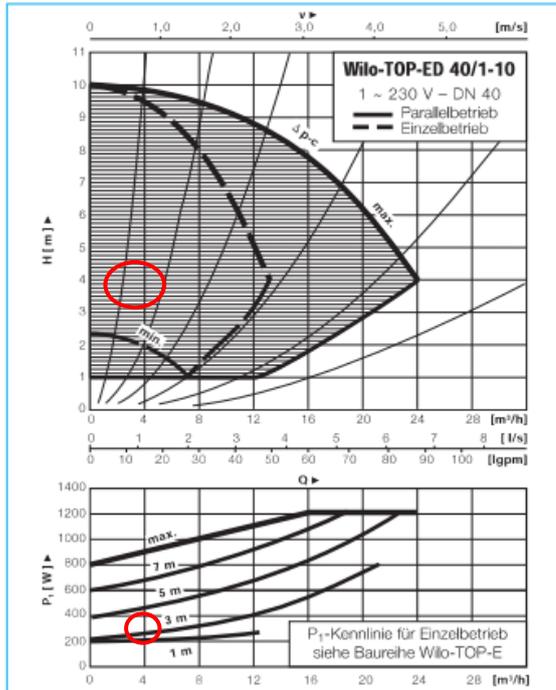
Empfohlene Austauschpumpe Wilo Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10 (Musikschule) mit Auslegungspunkt

Quelle: Auslegung durch: <https://wilo-select.com/ApplRange.aspx> [zuletzt abgerufen am 1.04.2020]

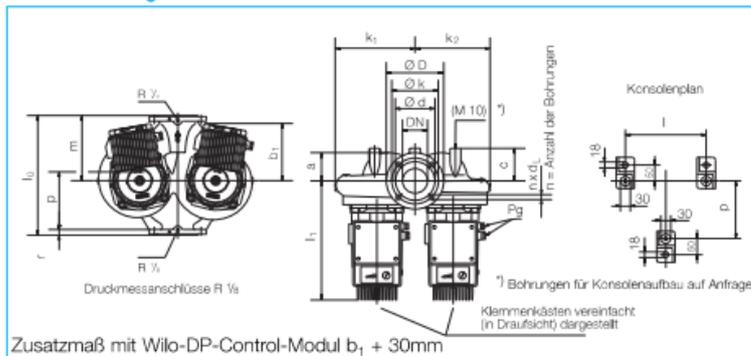
## Umwälzpumpe Turnhalle/Hausmeister

### Wilo-TOP-ED 40/1-10

#### Kennlinien $\Delta p-c$ (constant)



#### Maßzeichnung



#### Maße – Gewichte

Wilo-TOP-ED	DN	l <sub>0</sub>	m	l <sub>1</sub>	c	a	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	l	p	r	b <sub>1</sub>	Flansch PN	Gew. ca. kg PN
TOP-ED 40/1-10	40	250	135	301	75	64	157	154	225	132	18	152	X X	33/35

#### Motordaten

Wechselstromanschluß (EM), 2-polig – 1 – 230 V, 50 Hz

Wilo-TOP-ED	Nennleistung P <sub>2</sub> max. W	Drehzahl n 1/min	Leistungsaufn. P <sub>1</sub> W	Strom I A	Motor-schutz	PG-Verschraubung (pro Motor)
TOP-ED 40/1-10	350	950 – 2750	100 – 600	0,8 – 4,9	1)	1 x 11 1 x 13,5

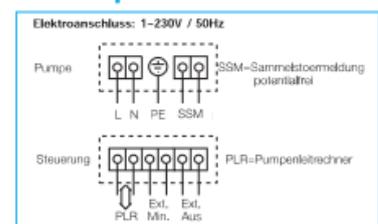
1) Integrierter Motorvollschutz im Klemmkasten für alle Differenzdruck-Einstellungen

#### Flanschmaße

Flansch PN 6 – DIN 2531				
DN	D	d	k	n x d <sub>t</sub>
	mm			
40	130	80	100	4 x 14
Flansch PN 16 – DIN 2533				
40	150	88	110	4 x 18

n = Anzahl der Bohrungen

#### Klemmenplan

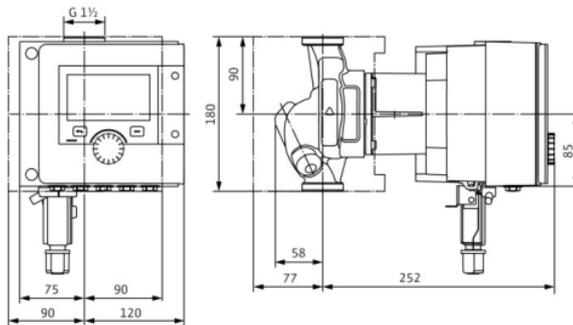
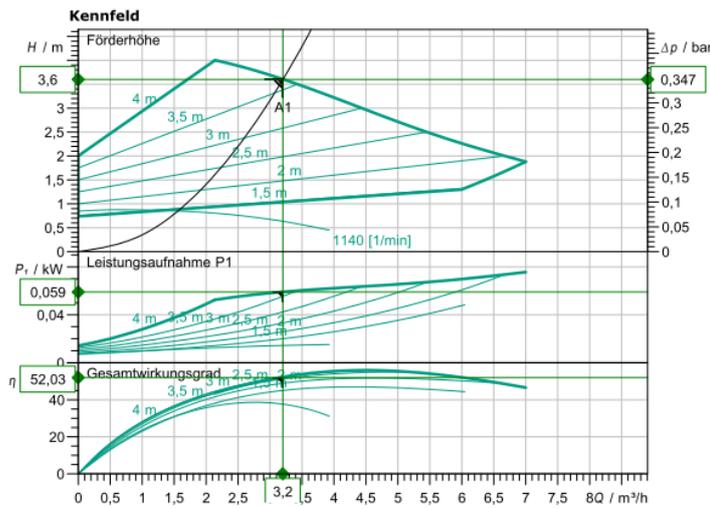


Belastbarkeit des potentialfreien Öffners für die Sammelstörmeldung 1 A, 250 V ~

## Datenblatt Bestandspumpe WILO-TOP-ED 40/1-10 mit Betriebspunkt

Quelle: Auf Anfrage bei WiloLine Gebäudetechnik, Customer Service, Sales Region Dach, wilo-line@wilo.com

Datum 26.04.2020



**Betriebsdatenvorgabe**

Förderstrom	3,20 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	3,60 m
Fördermedium	Wasser 100 %
Medientemperatur	60,00 °C
Dichte	983,20 kg/m <sup>3</sup>
Kinematische Viskosität	0,47 mm <sup>2</sup> /s

**Hydraulische Daten (Betriebspunkt)**

Förderstrom	3,20 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	3,60 m
Leistungsaufnahme P1	0,06 kW

**Produktdaten**

Nassläufer-Premium-Smart-Pumpe	
Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10	
Betriebsart	dp-v
Max. Betriebsdruck	10 bar
Medientemperatur	-10 °C ... +110 °C
Max. Umgebungstemperatur	40 °C

**Motordaten pro Motor/Pumpe**

Motorbauart	EC-Motor
Energieeffizienzindex (EEI)	≤ 0,18
Netzanschluss	1~ 230 V / 50 Hz
Zulässige Spannungstoleranz	±10 %
Max. Drehzahl	2550
Leistungsaufnahme P1(max)	0,08 kW
Stromaufnahme	0,58 A
Schutzart	IPX4D
Isolationsklasse	F
Störaussendung	EN 61800-3;2004+A1;20
Störfestigkeit	EN 61800-3;2004+A1;20
Kabelverschraubung	

**Anschlussmaße**

Saugseitiger Rohranschluß	G 1 1/2, PN10
Druckseitiger Rohranschluß	G 1 1/2, PN10
Baulänge	180 mm

**Werkstoffe**

Pumpengehäuse	EN-GJL-200
Laufgrad	PPS-GF40
Welle	1.4122
Lager	Kohlegraphit

**Bestellinformationen**

Gewicht netto ca.	7,2 kg
Artikelnummer	2186183

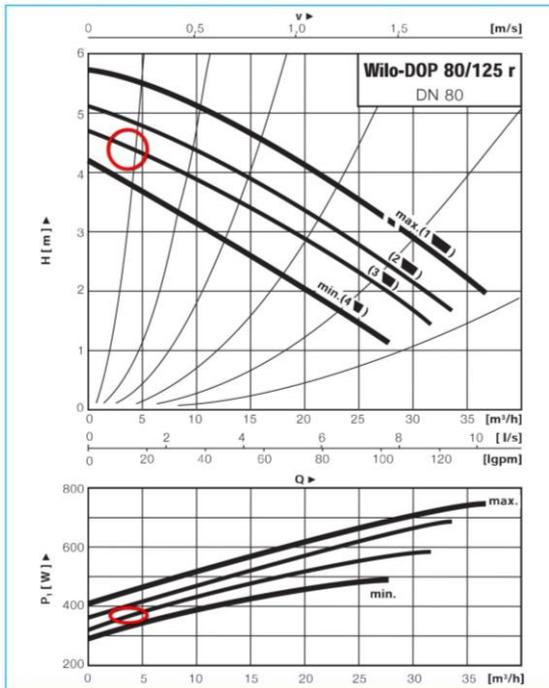
Empfohlene Austauschpumpe Wilo Stratos MAXO 25/0,5-4 PN10 (Turnhalle/Hausmeister) mit Auslegungspunkt.

Quelle: Auslegung durch: <https://wilo-select.com/AppRange.aspx> [zuletzt abgerufen am 1.04.2020]

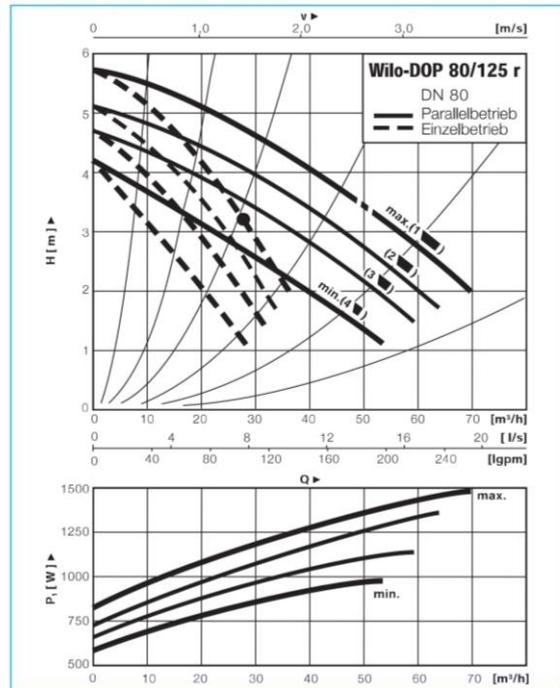
## Umwälzpumpe Grundschule

### Wilco-DOP 80/125 r

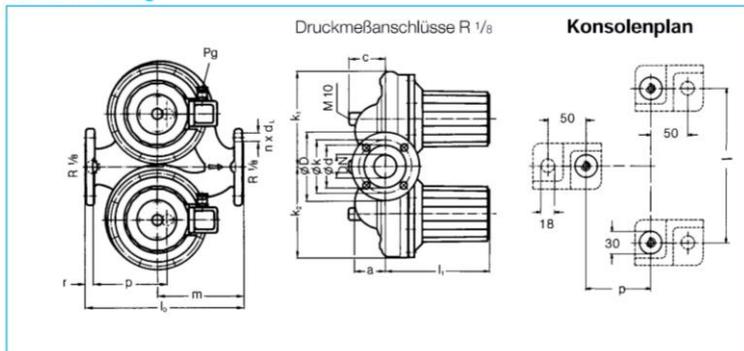
#### Kennlinien – Einzelbetrieb



#### Kennlinien – Parallelbetrieb



#### Maßzeichnung

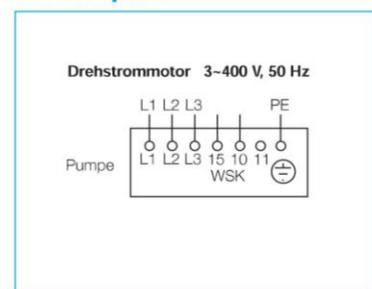


#### Flanschmaße

Flansch PN 6 – DIN 2531				
DN	D	d	k	n x d <sub>t</sub>
	mm			
80	190	128	150	4 x 18
Flansch PN 16 – DIN 2533				
80	200	138	160	8 x 18

n = Anzahl der Bohrungen

#### Klemmenplan



#### Maße – Gewichte

Wilco-DOP	DN	l <sub>0</sub>	m	l <sub>1</sub>	c	a	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	l	p	r	Pg	Flansch PN		Gew. ca. kg PN
	mm														6 10/16 6/10
DOP 80/125 r	80	360	192	269	115	-	252	232	240	180	18	13,5	X	X	62/64

#### Motordaten

Drehstrommotor (DM), 4-polig – 3 – 400 V/3 – 230 V<sup>1)</sup>, 50 Hz

Wilco-DOP	Nennleistung P <sub>2</sub> max. W	Stufe/Drehzahl n 1/min	Leistungsaufn. P <sub>1</sub> W	Strom I		Motorschutz
				3–400 V	3–230 V <sup>2)</sup>	
DOP 80/125 r	430	1 ▀ 1350	405 – 745	2,2	3,8	2)
	350	2 ▀ 1300	360 – 685	1,9	3,3	
	270	3 ▀ 1150	320 – 585	1,5	2,6	
	200	4 ▀ 1050	290 – 490	1,2	2,1	

1) Sondermotor

2) Wilco-C-SK (nur bei 3 – 400 V und Medientemperatur bis max. 110 °C geeignet), Wilco-SK 602, Wilco-SK 622, Wilco-AS- und CR-Systeme  
Typenschilddaten beachten! Strom I: Einstellwert für bauseitigen Motorschutzschalter

Datenblatt Pumpe Heizkreis „Grundschule“ mit Betriebspunkt (Einstellung auf Stufe 3)

Quelle: Auf Anfrage bei WiloLine Gebäudetechnik, Customer Service, Sales Region Dach, wilo-line@wilo.com

Berechnungsnummer:	1	2	3	4
Fördermedium:	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.
Volumenstrom in m³/h:	3,000	3,000	3,000	3,000
Dichte in kg/m³:	998,200	998,200	998,200	998,200
Dyn.Viskos. in 10 <sup>-6</sup> kg/ms:	1002,000	1002,000	1002,000	1002,000
Rohrkennzeichn.(Benutzer):				
Rohrleitungselement/Anzahl:	kreisförmig/1	Kreiskrümmen/10	Rückschlagklappe/1	Schieber/4
Elementabmessungen:	Rohrdurchmesser D in mm: 80	Rohrdurchmesser D in mm: 80	Rohrdurchmesser D in mm: 80	Rohrdurchmesser D in mm: 80
	Rohrlänge L in m: 120,000	Radius R in mm: 100,000		Höhe H in mm: 70,000
		Winkel w in Grad: 90,000		
		Die Rohroberfläche ist: rauh		
Strömungsgeschw.in m/s:	0,166	0,166	0,166	0,166
Reynolds-Zahl:	1,32E+0004	1,32E+0004	1,32E+0004	1,32E+0004
Strömungsgeschw.2 in m/s:				
Reynolds-Zahl 2:				
Strömungsform:	turbulent	turbulent	turbulent	turbulent
Rohrrauigkeit in mm:	0,100			
Rohrreibungszahl:	0,031			
Zeta-Wert:	46,226	0,458	1,700	0,088
Zeta-Wert abzw.Rohr:				
Druckv.abzw.Rohr mbar:				
Druckverlust in mbar:	6,341	0,628	0,233	0,048
Druckverlust in bar:	0,006	0,001	0,000	0,000

Summe der Druckverluste 7,250 mbar oder 0,007 bar

### Druckverlustberechnung Versorgungsleitung Grundschule bei 3 m³/h

Berechnungsnummer:	1	2	3	4
Fördermedium:	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.	Wasser/flü.
Volumenstrom in m³/h:	6,000	6,000	6,000	6,000
Dichte in kg/m³:	998,200	998,200	998,200	998,200
Dyn.Viskos. in 10 <sup>-6</sup> kg/ms:	1002,000	1002,000	1002,000	1002,000
Rohrkennzeichn.(Benutzer):				
Rohrleitungselement/Anzahl:	kreisförmig/1	Kreiskrümmen/4	Rückschlagklappe/1	Schieber/4
Elementabmessungen:	Rohrdurchmesser D in mm: 80	Rohrdurchmesser D in mm: 80	Rohrdurchmesser D in mm: 80	Rohrdurchmesser D in mm: 80
	Rohrlänge L in m: 120,000	Radius R in mm: 100,000		Höhe H in mm: 70,000
		Winkel w in Grad: 90,000		
		Die Rohroberfläche ist: glatt		
Strömungsgeschw.in m/s:	0,332	0,332	0,332	0,332
Reynolds-Zahl:	2,64E+0004	2,64E+0004	2,64E+0004	2,64E+0004
Strömungsgeschw.2 in m/s:				
Reynolds-Zahl 2:				
Strömungsform:	turbulent	turbulent	turbulent	turbulent
Rohrrauigkeit in mm:	0,100			
Rohrreibungszahl:	0,027			
Zeta-Wert:	40,598	0,193	1,700	0,088
Zeta-Wert abzw.Rohr:				
Druckv.abzw.Rohr mbar:				
Druckverlust in mbar:	22,277	0,423	0,933	0,192
Druckverlust in bar:	0,022	0,000	0,001	0,000

Summe der Druckverluste 23,825 mbar oder 0,024 bar

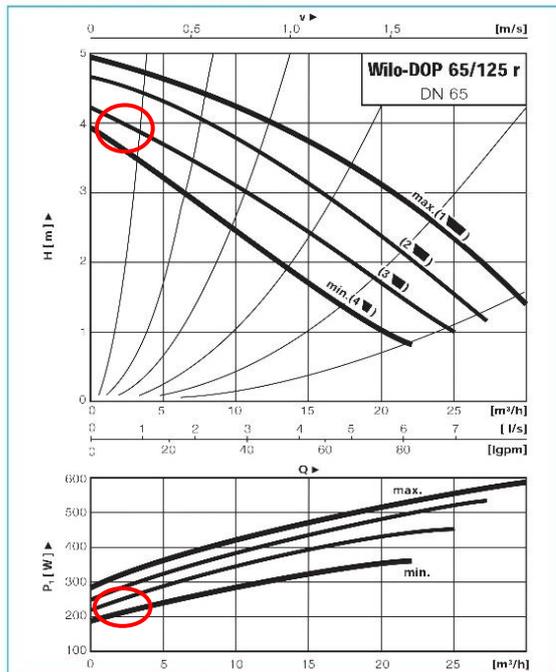
### Druckverlustberechnung Versorgungsleitung Grundschule bei 6 m³/h

Quelle: Programm für Druckverlustberechnung „Druckverlust 5.0“, [<http://www.druckverlust.de/Online-Rechner/dp.php>]

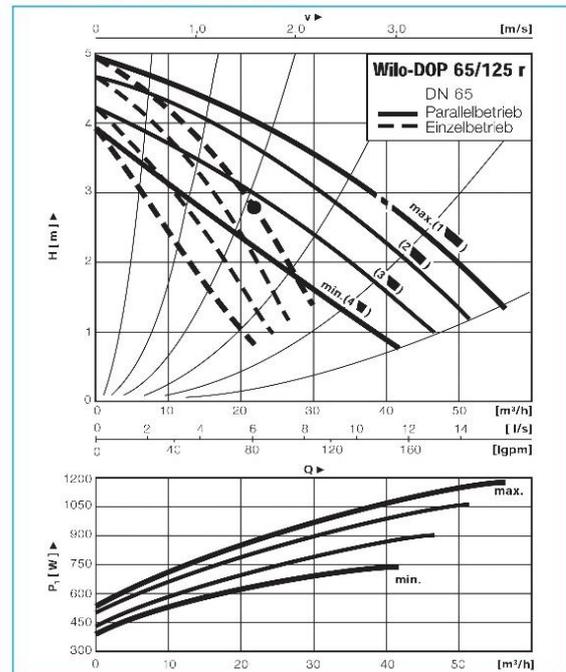
## Umwälzpumpe Neues Rathaus

### Wilco-DOP 65/125 r

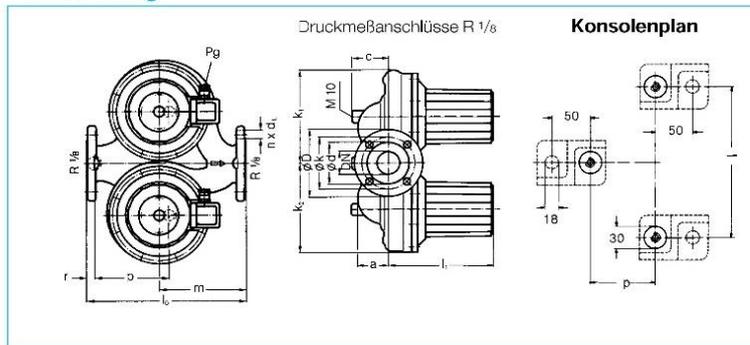
#### Kennlinien – Einzelbetrieb



#### Kennlinien – Parallelbetrieb



#### Maßzeichnung



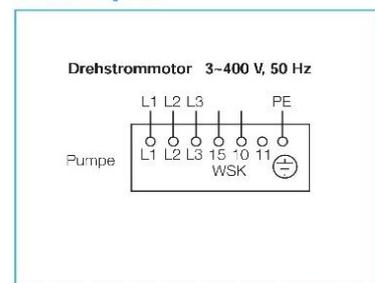
#### Flanschmaße

DN	Flansch PN 6 – DIN 2531			Stück x mm
	D	d	k	
65	160	110	130	4 x 14

Flansch PN 16 – DIN 2533				Stück x mm
DN	D	d	k	
65	185	122	145	4 x 18

n = Anzahl der Bohrungen

#### Klemmenplan



#### Maße – Gewichte

Wilco-DOP	DN	l <sub>0</sub>	m	l <sub>1</sub>	c	a	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub>	l	p	r	Pg	Flansch PN		Gew. ca. kg PN
													6	10/16	
DOP 65/125 r	65	340	185	265	105	-	239	222	225	162	18	13,5	X	X	58/59

#### Motordaten

Drehstrommotor (DM), 4-polig – 3 ~ 400 V/3 ~ 230 V<sup>1)</sup>, 50 Hz

Wilco-DOP	Nennleistung P <sub>2</sub> max. W	Stufe/Drehzahl n 1/min	Leistungsaufn. P <sub>1</sub> W	Strom I		Motorschutz
				3~400 V	3~230 V <sup>2)</sup>	
DOP 65/125 r	265	1 1400	280-580	1,6	2,8	2)
	235	2 1300	255-530	1,3	2,25	
	185	3 1200	220-450	1,1	1,9	
	130	4 1100	190-370	0,8	1,4	

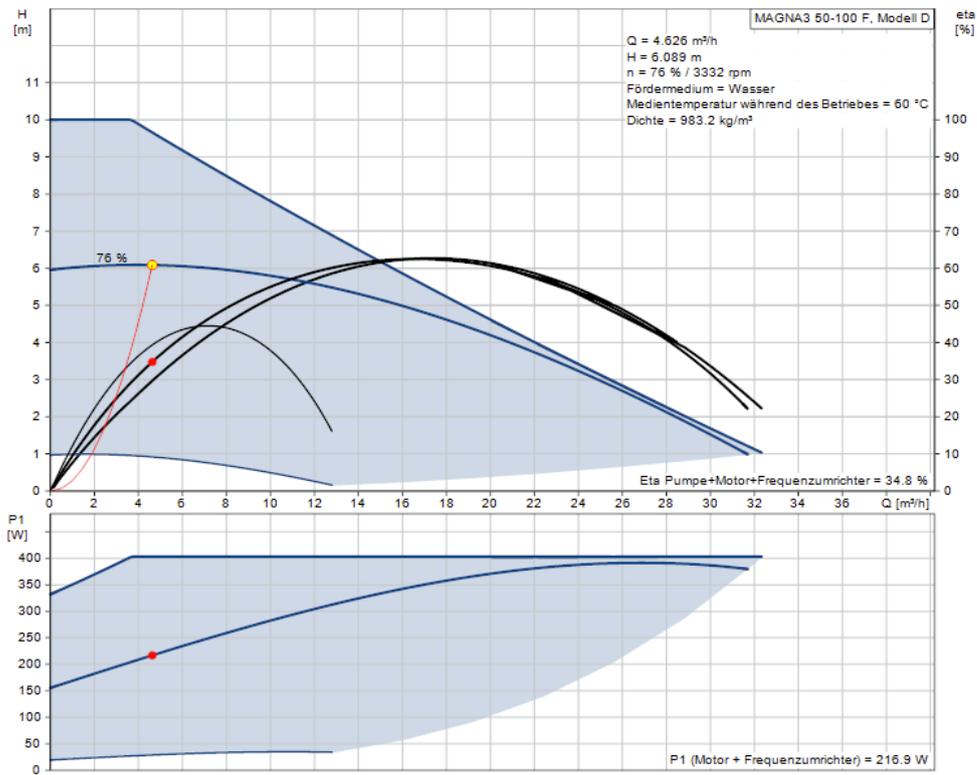
1) Sondemotor

2) Wilco-C-SK (nur bei 3 ~ 400 V und Medientemperatur bis max. 110 °C geeignet), Wilco-SK 602, Wilco-SK 622, Wilco-AS- und CR-Systeme  
 Typenschilddaten beachten! Strom I: Einstellwert für bauseitigen Motorschutzschalter

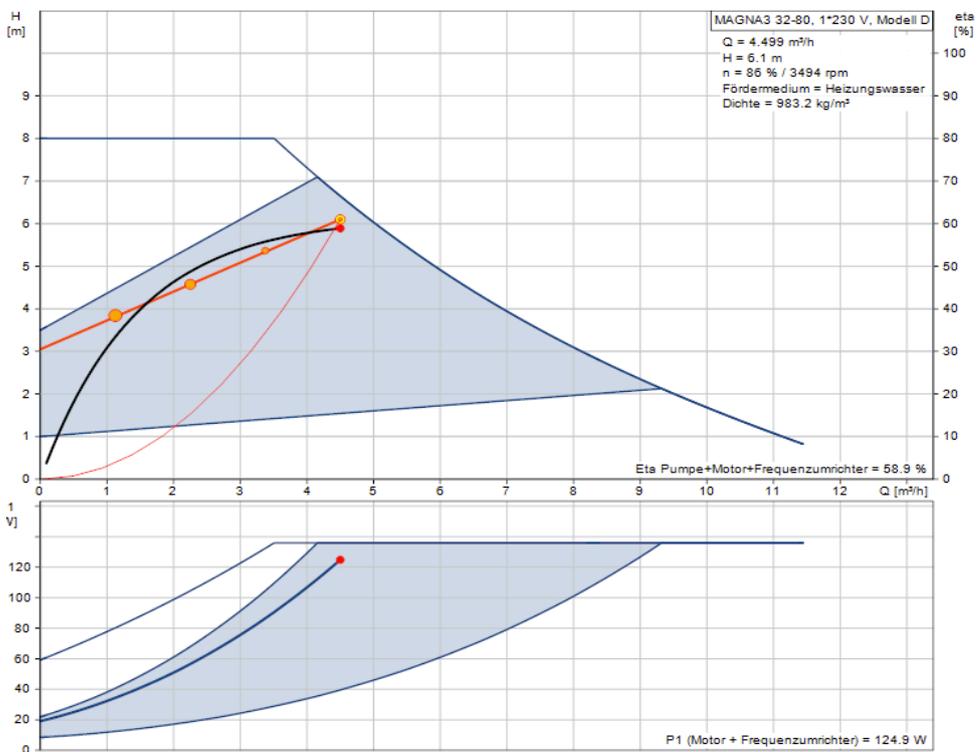
## Datenblatt Bestandspumpe (Einstellung auf Stufe 3)

Quelle: Auf Anfrage bei WiloLine Gebäudetechnik, Customer Service, Sales Region Dach, wilo-line@wilo.com

**FBH-Heizkreis**



Bestandspumpe FBH-Heizkreis MAGNA 50-100 F mit BP unter Volllast



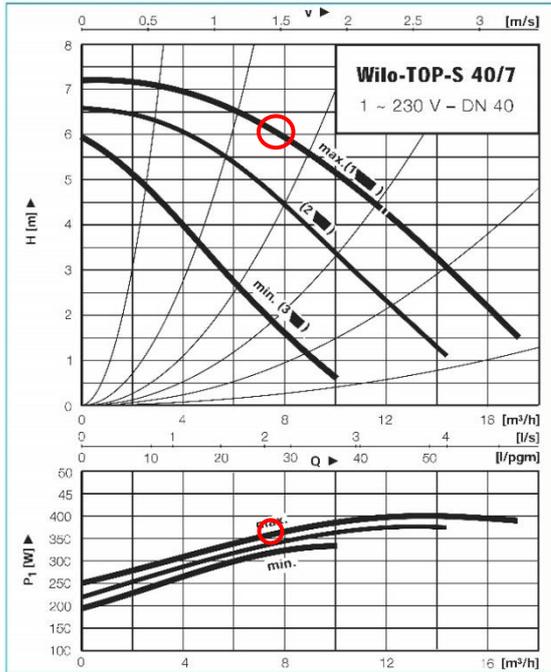
Empfohlene Austauschpumpe MAGNA3 32-80 mit besserem Wirkungsgrad

Quelle: <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=GWS&qcid=887232498>  
 [zuletzt abgerufen am 15.04.2020]

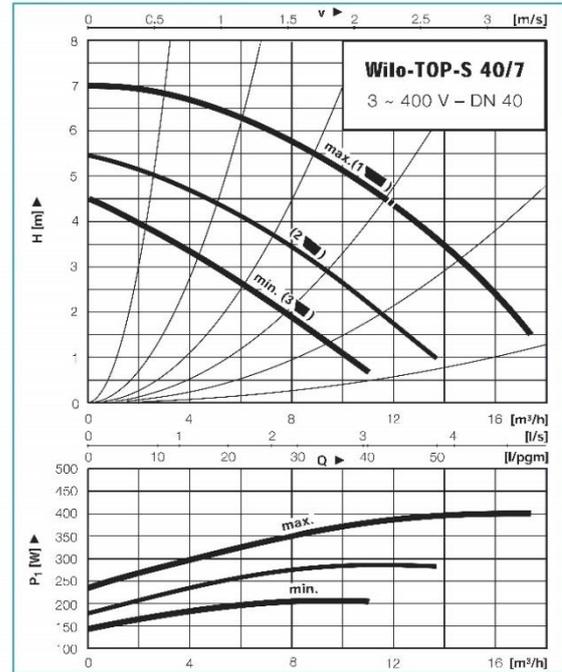
## Umwälzpumpe Boiler

### Wilo-TOP-S 40/7

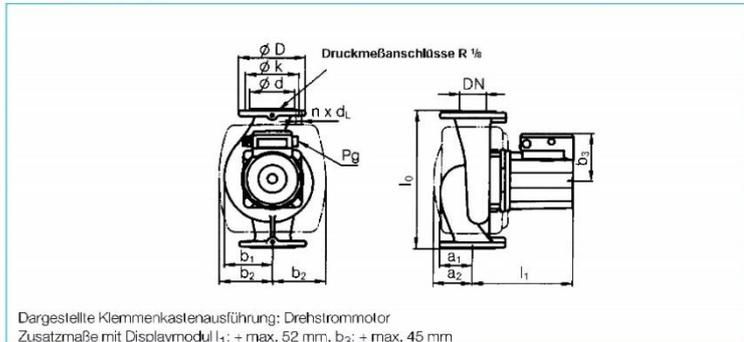
#### Kennlinien Wechselstrom



#### Kennlinien Drehstrom



#### Maßzeichnung



#### Flanschmaße

Flansch PN 6 – DIN 2531					
DN	D	d	k	n x d <sub>L</sub>	
	mm			Stück x mm	
40	130	80	100	4 x 14	
Flansch PN 16 – DIN 2533					
40	150	88	110	4 x 18	

n = Anzahl der Bohrungen

#### Klemmenplan

**Wechselstrommotor** 1 ~ 230 V, 50 Hz  
**Schaltbild**

**Drehstrommotor** 3 ~ 400 V, 50 Hz  
 3 ~ 230 V, 50 Hz<sup>1)</sup>  
**Schaltbild**

#### Maße – Gewichte

Wilo-TOP-S	DN	G	l <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	b	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub> <sup>*)</sup>	Flansch PN		Gew. ca. kg
										6	10/16	
TOP-S 40/7	40	-	250	44	72	192	77	97	105	X	X	10/11

#### Motordaten

Wechselstrommotor (EM), 2-polig – 1 ~ 230 V, 50 Hz

Wilo-TOP-S	Nennleistung P <sub>2</sub> max. W	Stufe/Drehzahl n 1/min	Leistungsaufn. P <sub>1</sub> W	Strom I A	Kondensator µF/VCB	PG Verschraubung
TOP-S 40/7	180	1 ▣ 2500 2 ▣ 2150 3 ▣ 1600	250–390 220–380 200–325	1,90 1,85 1,60	8/400	1 x 13,5

#### Motordaten

Drehstrommotor (DM), 2-polig – 3 ~ 400 V / 3 ~ 230 V<sup>1)</sup>, 50 Hz

Wilo-TOP-S	Nennleistung P <sub>2</sub> max. W	Stufe/Drehzahl n 1/min	Leistungsaufn. P <sub>1</sub> W	Strom I A		PG Verschraubung
				3–400 V	3–230 V <sup>1)</sup>	
TOP-S 40/7	180	1 ▣ 2550 2 ▣ 2000 3 ▣ 1650	235–400 185–285 150–205	0,75 0,49 0,35	1,31 0,85 0,60	1 x 13,5

Datenblatt Boilerladepumpe (Bestand) mit BP (Einstellung auf Stufe 1 „max“)

Quelle: Auf Anfrage bei WiloLine Gebäudetechnik, Customer Service, Sales Region Dach, wilo-line@wilo.com

Speicher Typ	BS	122	152	202	301	401
Inhalt	[Liter]	120	150	200	300	400
Energieeffizienzklasse						
Warmhalteverlust (mit Isolierung)	[Watt]	65	74	83	92	102
Durchmesser o. Isolierung	[mm]	500	500	500	550	600
Durchmesser mit Isolierung	[mm]	700	700	700	750	800
Isolierung	[mm]	100	100	100	100	100
Höhe mit Isolierung	[mm]	864	1022	1282	1645	1725
Kippmaß	[mm]	850	1000	1250	1620	1690
Heizfläche	[m <sup>2</sup> ]	0,7	1,0	1,4	1,4	1,7
Wasserinhalt WT	[Liter]	4,5	6,3	8,8	8,8	10,7
Volumenstrom WT	[m <sup>3</sup> /h]	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1
Druckverlust WT	[mbar]	30	50	70	80	130
NL – Zahl** nach DIN 4708		1,9	2,5	4,8	11	13

Datenblatt Boiler der Firma Huch GmbH: „Brauchwasserspeicher BS“ (2019)

(vergleichbarer Typ in Rathaus oder Grundschule)

Quelle: Huch GmbH Behälterbau und Verwaltungsgesellschaft, Herstellerunterlagen: „Brauchwasserspeicher BS“, Stand 10/2019

## Verfassererklärung

### Verfassererklärung

gemäß § 35 Abs. 7 RaPo

Marxer, Quirin  
(Familienname, Vorname)

München, 30.04.2020  
(Ort, Datum)

33290715  
(Matrikelnummer)

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine andere als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Qu. Marxer', is written over a horizontal line.

(Unterschrift)