



Planungsgesellschaft
für Energieeffizienz

Machbarkeitsstudie Nahwärmenetz - Gemeinde Senden
Schulzentrum Senden

November 2018

Impressum

Erstellt von:

Bode Planungsgesellschaft
für Energieeffizienz m.b.H.
Kesslerweg 20
48155 Münster



Planungsgesellschaft
für Energieeffizienz

Ansprechpartner:

Jan Ortmann, M.Eng.
Tel: 0251 674487-18
E-Mail: ortmann@bode.ms

Erstellt für:

Gemeinde Senden
Münsterstr. 30
48308, Senden

Ansprechpartner/in:

Petra Volmerg
Tel: 02597 699-318
E-Mail: p.volmerg@senden-westfalen.de

Gefördert durch das INTERREG-V-Projekt

“Wärme in der Euregio – fokussieren und modernisieren” (WiEfm).

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
1 Aufgabenstellung.....	1
1.1 Innovativer Ansatz intermittierender Betrieb.....	1
1.2 Feste Biomasse oder Biomethan.....	1
1.3 Dezentral oder zentral.....	2
2 Ist-Zustand.....	3
2.1 Topographische Randbedingungen.....	3
2.2 Wärmeabnehmer.....	4
2.2.1 Joseph-Haydn-Gymnasium.....	4
2.2.2 Mariengrundschule.....	5
2.2.3 Edith-Stein Gemeinschaftshauptschule.....	6
2.2.4 Geschwister-Scholl-Realschule.....	7
2.3 Energieverbräuche im Bestand.....	8
3 Wärmeübergabe.....	13
4 Nahwärmenetz.....	15
4.1 Heizzentrale Bürgerpark (Netz A).....	15
4.2 Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium (Netz B).....	17
4.2.1 Wärmeabnahmeliniendichte.....	18
4.3 Betriebsvariante 1 – Intermittierendes Nahwärmenetz.....	20
4.3.1 Netz A – Intermittierender Betrieb.....	23
4.3.2 Netz B – Intermittierender Betrieb.....	38
4.4 Betriebsvariante 2 – Nicht intermittierendes Nahwärmenetz.....	47
4.4.1 Netz A – Nicht intermittierender Betrieb.....	47
4.4.2 Netz B – Nicht intermittierender Betrieb.....	54
4.5 Zusammenfassung / Gegenüberstellung der Netze.....	62
5 Wärmeerzeugung.....	67
5.1 Holzhackschnitzelkessel und Biomethankessel – Netz A.....	67
5.2 Biomethankessel und BHKW – Netz B.....	68

Inhaltsverzeichnis

5.3	Eigenstromnutzung	69
6	Emissionen.....	70
6.1	Emissionen Bestandsanlagen	72
6.2	Emissionen Netz A.....	72
6.3	Emissionen Netz B.....	74
7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	76
7.1	Investitionskosten.....	76
7.2	Brennstoffkosten	78
7.3	Zusammenfassung Wirtschaftlichkeit	85
8	Fördermittel.....	91
9	Fazit	93
10	Empfehlung	95

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sattelitenaufnahme der vier Schulen (Quelle: Google Earth)	3
Abbildung 2: 3D-Darstellung - Joseph-Haydn-Gymnasium.....	4
Abbildung 3 - 3D-Darstellung der Mariengrundschule.....	5
Abbildung 4 - 3D-Darstellung der Edith-Stein Gemeinschaftshauptschule.....	6
Abbildung 5: 3D-Darstellung der Realschule	7
Abbildung 6: Klimabereinigter Gesamterdgasbezug	9
Abbildung 7: Indirekter (oben) und direkter (unten) Netzanschluss.....	13
Abbildung 8: Leitungsführung des Nahwärmenetzes – Heizzentrale Parkplatz Bürgerpark ..	15
Abbildung 9 - Leitungsführung des Nahwärmenetzes – Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium.....	17
Abbildung 10 - Wärmeabnahmeliniendichte der Netze	19
Abbildung 11 - Netzverluste in Abhängigkeit von der Wärmebelegungsichte (Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.)	19
Abbildung 12 - Verlauf Wärmebedarf und Netzverluste (Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.)	20
Abbildung 13: Schema des Hausanschlusses beim intermittierenden Betrieb	21
Abbildung 14: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-37/5,0 (Quelle: Wilo Datenblatt)	27
Abbildung 15: Jahreslastgang der Pumpenleistung	28
Abbildung 16: Verlauf des Ladezyklus im Betrieb	30
Abbildung 17: Monatsübersicht der Ladezyklen im intermittierenden Betrieb	31
Abbildung 18: Ladezyklen der Pufferspeicher bei -15 °C Außentemperatur.....	32
Abbildung 19: Wärmeverlust der Rohleitungen in Teilstrecke TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten	34
Abbildung 20: Lastgang der Heizkessel.....	36
Abbildung 21: Jahresdauerlinien der zwei Heizkessel	37
Abbildung 22: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-37/5,0 (Quelle: Wilo).....	40
Abbildung 23: Jahreslastgang der Pumpenleistung	40
Abbildung 24: Wärmeverlust der Rohleitungen in TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten	43
Abbildung 25: Lastgang der Heizungsanlagen	44
Abbildung 26: Jahresdauerlinien der Wärmeerzeuger	45
Abbildung 27: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-12/1,2-R1-R1 (Quelle: Wilo)	49
Abbildung 28: Jahreslastgang der Pumpenleistung	49
Abbildung 29: Wärmeverlust der Rohleitungen in TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten	51
Abbildung 30: Lastgang der Heizungsanlagen	52
Abbildung 31: Jahresdauerlinien der Heizkessel	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 32: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-12/1,2-R1-R1	55
Abbildung 33: Jahreslastgang der Pumpenleistung	56
Abbildung 34: Wärmeverlust der Rohleitungen in TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten	58
Abbildung 35: Lastgang der Heizkessel – Netz B nicht intermittierend	59
Abbildung 36: Jahresdauerlinien der Wärmeerzeuger	60
Abbildung 37 - Energiebedarf Nahwärmenetz A – Heizzentrale Bürgerpark	62
Abbildung 38 - Energiebedarf Nahwärmenetz B – Heizzentrale Gymnasium.....	63
Abbildung 39 - Energiebedarf Netzbetrieb Netz A	64
Abbildung 40 - Energiebedarf Netzbetrieb Netz B	64
Abbildung 41 - Energiebedarf Nahwärmenetz ohne Netz und Anlagenverlusten	65
Abbildung 42 - Energiemenge BHKW.....	65
Abbildung 43 – Energiebedarf Nahwärmenetz und dezentrale Wärmeerzeuger	66
Abbildung 44 – Holzhackschnitzelheizung und Biomethankessel (schematische Darstellung)	67
Abbildung 45 - Biomethankessel und BHKW mit direkter Eigenstromnutzungen	68
Abbildung 46 - Biomethankessel und BHKW mit Eigenstromnutzungen über eigenes Niederspannungsnetz.....	69
Abbildung 47 – CO ₂ -Äquivalent Energieträger (GEMIS Wärmebereitstellung BHKW / Hackschnitzel).....	70
Abbildung 48 - Sonstige Emissionsfaktoren nach GEMIS.....	71
Abbildung 49 - CO ₂ -Äquivalente Bestandsanlagen (bezogen auf mittleren Verbrauch)	72
Abbildung 50 – THG-Emissionen Netz A.....	72
Abbildung 51 - Sonstige Emissionen Netz A.....	73
Abbildung 52 – THG-Emissionen Netz B.....	74
Abbildung 53 - Sonstige Emissionen Netz B.....	75
Abbildung 54 - Materialkosten Nahwärmenetze.....	76
Abbildung 55 - Brennstoffkosten der Energieträger	78
Abbildung 56 - Brennstoffkosten der intermittierenden Betriebsweise Netz A.....	78
Abbildung 57 - Brennstoffkosten der nicht intermittierenden Betriebsweise Netz A	79
Abbildung 58 –Brennstoffkosten der intermittierenden Betriebsweise Netz B	80
Abbildung 59 - Brennstoffkosten der nicht intermittierenden Betriebsweise Netz B	80
Abbildung 60 - Fördermittel EEG intermittierender Betrieb	81
Abbildung 61 - Fördermittel EEG nicht intermittierender Betrieb	81
Abbildung 62 - Fördermittel KWKG intermittierender Betrieb	82
Abbildung 63 - Fördermittel KWKG nicht intermittierender Betrieb.....	83
Abbildung 64 - Brennstoffkosten intermittierendes Netz inkl. Fördermittel BHKW-Strom	84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 65 - Brennstoffkosten nicht intermittierendes Netz inkl. Fördermittel BHKW-Strom	84
Abbildung 66 - Investitionskosten Nahwärmenetz A und B mit Wärmeerzeuger gegenüber Dezentraler Wärmeerzeuger	85
Abbildung 67 - Betriebskosten Netz A - inkl. Pumpen, Netzverluste, Wartung und Instandhaltungskosten.....	86
Abbildung 68 - Betriebskosten Netz B - inkl. Pumpen, Netzverluste, Wartung und Instandhaltungskosten.....	86
Abbildung 69 - Kapitalwerte Biomethan (+Holzhackschnitzel in Netz A)	88
Abbildung 70 - Kapitalwerte Erdgas (+Holzhackschnitzel in Netz A).....	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Erdgasbezüge der Schulen von 2013 - 2015	8
Tabelle 2: Gradtagzahlen der Jahre 2013 – 2015.....	8
Tabelle 3: Klimabereinigte Gasbezüge von 2013 - 2015 in kWh.....	9
Tabelle 4: Übersicht der Heizungsrelevanten Daten der Schulen	10
Tabelle 5: Beschreibung der Teilstrecken - Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium	16
Tabelle 6 Beschreibung der Teilstrecken - Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium	18
Tabelle 7: Heizlasten je Teilstrecke	25
Tabelle 8: Heizlasten je Teilstrecke, Angaben in kW	25
Tabelle 9: Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken	26
Tabelle 10: Dimensionierung der Pufferspeicher	29
Tabelle 11: Wärmeverluste je Rohrstrecke (Teilstrecke TS)	33
Tabelle 12: Heizlasten je Teilstrecke	38
Tabelle 13: Rohrtypen und Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken.....	39
Tabelle 14: Wärmeverluste je Rohrstrecke	41
Tabelle 15: Heizlasten je Teilstrecke	47
Tabelle 16: Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken	48
Tabelle 17: Wärmeverluste je Rohrstrecke	50
Tabelle 18: Heizlasten je Teilstrecke	54
Tabelle 19: Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken	55
Tabelle 20: Wärmeverluste je Rohrstrecke	57
Tabelle 21 - KWKG Fördersätze.....	91

1 Aufgabenstellung

In den verschiedenen Schulen der Gemeinde Senden befinden sich vorwiegend ältere oder defekte Heizungsanlagen, deren Sanierung in naher Zukunft bevorsteht. Deshalb soll diese Machbarkeitsstudie als Grundlage der Entscheidungsfindung zur Realisierung eines Nahwärmenetzes, unter Berücksichtigung von betriebstechnischen, ökologischen und ökonomischen Faktoren dienen. Dazu werden die verschiedenen Nahwärmenetze, deren Betriebsvarianten und zentralen Wärmeerzeuger der bisherigen, dezentralen Wärmeerzeugung in den anschließenden Gebäuden gegenübergestellt. Dabei werden die Lastgänge der zu untersuchenden Nahwärmenetze mit einer zeitlichen Auflösung von 10 Minuten über ein Jahr simuliert und für die Auslegung des Nahwärmenetzes berücksichtigt.

1.1 Innovativer Ansatz intermittierender Betrieb

Üblicherweise wird das hydraulische System in der Wärmeversorgung eher über- als unterdimensioniert, um störende Strömungsgeräusche und hohe Stromverbräuche durch Pumpen zu vermeiden. In langen Nahwärmeleitungen ist eine Überdimensionierung jedoch kontraproduktiv, da die spezifischen Verluste sowie die Investitionen in das Netz bei zu großen Rohrnennweiten höher sind. In dieser Machbarkeitsstudie wird untersucht, wie sich die erhöhten Reibungsverluste und in Folge der höhere Pumpenstrombedarf zu Hochlastzeiten und die geringeren Verluste und Kosten durch eine kleinere Dimensionierung sich zueinander verhalten. Die kleinere Dimensionierung wird unter anderem dadurch erreicht, dass bei hoher Heizlast die Gebäude mit dezentralen großen Wärmespeichern abwechselnd in Gruppen versorgt werden.

1.2 Feste Biomasse oder Biomethan

Aufgrund der räumlichen Bedingungen vor Ort, ist die Suche nach einem Standort für die Heizzentrale nicht trivial. Durch den Einschluss von Gewässern und Parks wird die Positionierung eingegrenzt, da nicht alle Standorte von Transportern für feste Biomasse angefahren werden können. Andere Standorte müssten erst aufwendig erschlossen werden, um Erdgas oder Biomethan einzusetzen. In dieser Machbarkeitsstudie werden zwei alternative Netze untersucht, eines mit Fokus auf Biomethan, das zweite mit Fokus auf feste Biomasse, und energetisch sowie wirtschaftlich miteinander verglichen.

1.3 Dezentral oder zentral

Um einen Vergleich mit der konventionellen Lösung zu erhalten, wird außerdem eine dezentrale Lösung dem Status quo entsprechend mit neuen Gasbrennwertkesseln berechnet.

2 Ist-Zustand

Für die Erstellung der Machbarkeitsstudie des Nahwärmenetzes, werden im Vorfeld die örtlichen Gegebenheiten untersucht. Dazu wurden die Daten der bestehenden Anlagentechnik in den anzuschließenden Schulgebäuden vor Ort aufgenommen. Geplant ist es, einen thermischen Verbund zwischen vier Schulen und einer Kindertagesstätte möglichst energieeffizient zu realisieren. Diese wurden aus den Bestandsplänen jeweils als 3D-Gebäudemodell gezeichnet.

2.1 Topographische Randbedingungen

Die Schulen befinden sich in der Gemeinde Senden. Dies ist eine Kommune des Kreises Coesfeld in Nordrhein-Westfalen mit ca. 20.500 Einwohner. Die Gebäude liegen in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander. Die folgende Abbildung 1 stellt eine Sattelitenaufnahme des Bezirks um die Schulen dar.



Abbildung 1: Sattelitenaufnahme der vier Schulen (Quelle: Google Earth)

Ist-Zustand

In der Abbildung 1 ist die Anordnung der Schulen zu erkennen. Diese verlaufen parallel zur Stever, ein Fluss, der durch Senden verläuft. Zwischen den Schulen sind ein Verwaltungsgebäude der Katholischen Pfarrgemeinde sowie eine Kindertagesstätte vorzufinden.

Die vier Schulen, Joseph-Haydn-Gymnasium, Marienschule, Edith-Stein-Hauptschule sowie die Geschwister-Scholl Realschule wurden vor Ort energetisch erfasst und mit einem Simulationsprogramm bewertet. Im Folgenden wird der Ist-Zustand der Energieversorgung der verschiedenen Schulgebäude der Gemeinde Senden und das jeweilige energetische Gebäudeniveau sowie deren Energiebedarf und Wärmeleistung der bestehenden Anlagentechnik beschrieben.

2.2 Wärmeabnehmer

Die Wärmeabnehmer des Nahwärmenetzes sind mehrere Schulen und eine Kindertagesstätte, welche sich innerhalb eines Radius von rund 130 Metern innerhalb der Gemeinde Senden befinden. Die Öffnungszeichnungen der meisten Schulen können von den folgenden Uhrzeiten bis abends, 22 Uhr aufgrund von Veranstaltungen und Seminaren abweichen.

2.2.1 Joseph-Haydn-Gymnasium

Die am südlichsten gelegene Schule ist das Joseph-Haydn-Gymnasium, welches 1994 erbaut wurde und eine über drei Etagen verteilte Grundfläche von 6.351 m² aufweist.



Abbildung 2: 3D-Darstellung - Joseph-Haydn-Gymnasium

Die in Abbildung 2 dargestellte Schule besteht aus einem hohen Mittelteil, mit daran angrenzenden, zweigeschossigen Flachdachbauten. Das Schrägdach des Mittelteils ist nördlich ausgerichtet und im oberen Teil mit Fenstern versehen. Die Schulräume und Flure der Schule

Ist-Zustand

werden über mehrere Lichtkuppeln mit Tageslicht versorgt. Die Öffnungszeiten sind aufgrund von Ganztagsschulangeboten Wochentags von 8:00 Uhr bis ca. 16:00 Uhr. An den Wochenenden ist keine reguläre Öffnungszeit. Veranstaltungen oder ähnliches bilden die Ausnahme.

Das Gebäude wurde in zwei Bauabschnitten mit der Verwaltung und den angrenzenden Flügeln im Baujahr 1993 und einem zweiten Bauabschnitt im Jahr 1996 errichtet. Die Qualität der Gebäudehülle befindet sich auf dem energetischen Niveau des jeweiligen Baujahres. In der nächsten Zeit sind die Sanierung des Flachdaches sowie die Installation einer 60 kWp-Photovoltaik-Anlage geplant.

2.2.2 Mariengrundschule

Die in Abbildung 3 dargestellte Mariengrundschule grenzt nördlich an das Joseph-Haydn-Gymnasium.

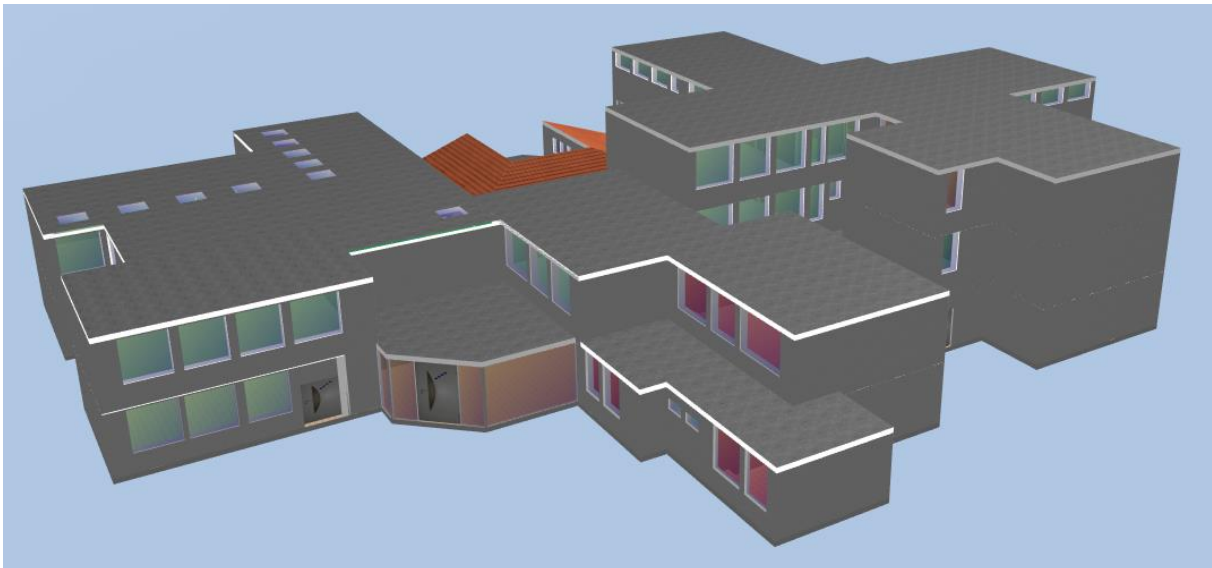


Abbildung 3 - 3D-Darstellung der Mariengrundschule

Das gesamte Dach der Grundschule besteht, mit Ausnahme der Aula im Anbau, aus einzelnen Flachdächern. Diese weisen unterschiedliche Höhen vor und sind komplett begehbar. Die Fenster sind in den letzten Jahren komplett saniert worden. Der erste Abschnitt des Gebäudes wurde 1972 errichtet. Es setzt sich aus fünf Bauabschnitten der Jahre 1972, 1976, 1992, 1994 und 1997 mit einer Nettogrundfläche von 2.329 m² zusammen. Auch in der Marienschule wird von Montag bis Freitag Ganztagsunterricht für die Schüler angeboten, wodurch sich dieselben Öffnungszeiten wie am Gymnasium von 8:00 Uhr bis 16:00 Uhr ergeben.

2.2.3 Edith-Stein Gemeinschaftshauptschule

Nordöstlich der Mariengrundschule liegt in ca. 120 Metern Entfernung die Edith-Stein Gemeinschaftshauptschule. Diese ist 1958 erbaut worden. Die folgende Abbildung 4 stellt die Gemeinschaftshauptschule dar.

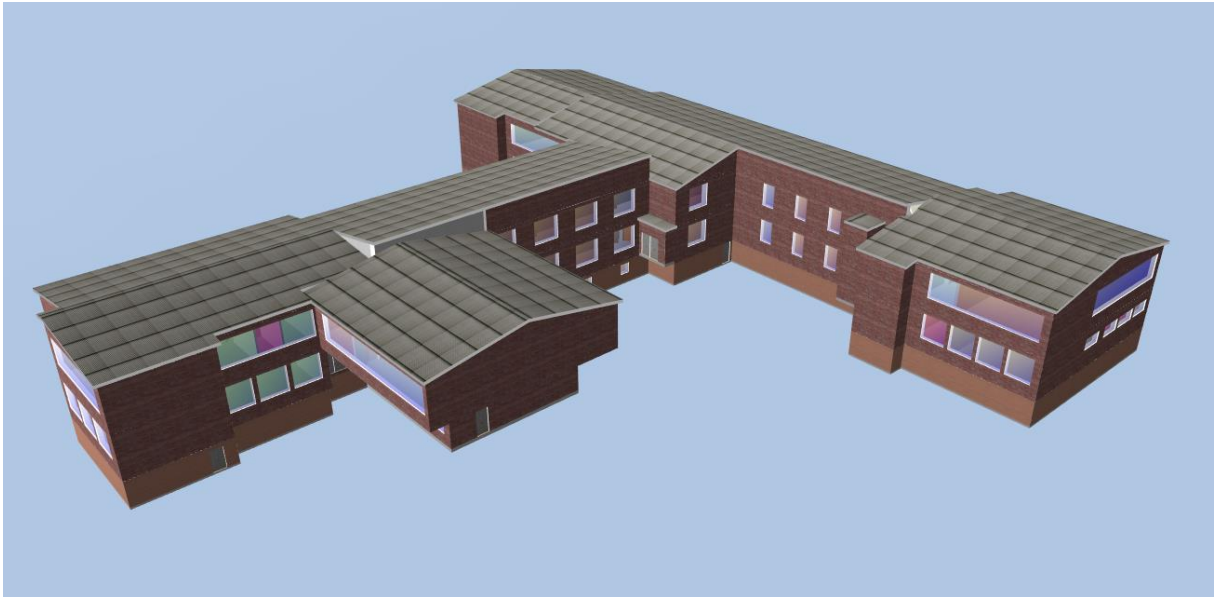


Abbildung 4 - 3D-Darstellung der Edith-Stein Gemeinschaftshauptschule

Die Edith-Stein-Schule weist einen anderen Baustil als das Gymnasium oder die Grundschule auf. Das Gebäude ist vollständig unterkellert, ist durchgehend dreigeschossig und das Satteldach verläuft über der Gebäudeachse. Der mittlere Teil des Gebäudes hat ein Schrägdach mit südlicher Ausrichtung. Der Baumbestand an der südlichen Seite des Gebäudes verschattet Teile des Daches.

Das Gebäude wurde im Jahr 1958 errichtet und in den Jahren 1971 und 1998 erweitert. Einer der Kessel ist defekt und wurde außer Betrieb genommen. Die Elektronik des bestehenden Kessels bereitet Probleme und die Regelung ist defekt. Ein hydraulischer Abgleich wurde bei der bestehenden Wärmeverteilung durchgeführt.

Die Unterrichtszeiten sind Montag bis Freitag, von 8:00 Uhr bis 16 Uhr vorgegeben. Die Nettogrundfläche wurde bei dieser Schule auf 2.565 m² ermittelt. Seit der Eröffnung des Gebäudes im Jahr 1958 wurden in den 1980er Jahren energetische Sanierungen realisiert.

2.2.4 Geschwister-Scholl-Realschule

Die letzte der vier Schulen befindet sich ca. 30 Meter nordwestlich der Gemeinschaftshauptschule. Die Geschwister-Scholl-Realschule wurde 1967 errichtet und in den Jahren 1976 durch den nordöstlichen, 1982 um den südöstlichen sowie 2001 um den südwestlichen Anbau erweitert. Des Weiteren wurde die Verwaltung im Jahr 2001 aufgestockt. Auch diese Schule wurde seit der Eröffnung nicht wesentlich energetisch saniert. Die Nettogrundfläche von 3.365 m² verteilt sich über einzelne Flachdachgebäudeteile, welche sich über zwei Vollgeschosse erstrecken und teilweise unterkellert sind.



Abbildung 5: 3D-Darstellung der Realschule

In Abbildung 5 sind das Flachdach der Schule, sowie die Darstellung einzelner Gebäudeteile gut zu erkennen. Die Dachfläche enthält vereinzelt Dachfensterkuppeln. Das Gebäude wird für den Schulbetrieb, Montag bis Freitag von 8:00 Uhr bis 16:00 Uhr genutzt. Auch hier finden keine wesentlichen Aktivitäten am Wochenende statt.

Durch Veranstaltungen außerhalb des regulären Stundenplans, kann es vereinzelt zu Nutzungszeiten der Schulen bis 22:00 Uhr kommen

Für die Kindertagesstätte, welche sich südlich der Geschwister-Scholl-Realschule liegt, liegen keine detaillierteren Daten vor. Sie wird mit einer Heizlast von 60 kW angenommen.

2.3 Energieverbräuche im Bestand

Die Erdgasbezüge der beschriebenen Schulen wurden den aktuellen Energieverbrauchsausweisen der Schulen entnommen und für die weitere Berechnung verwendet. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 - Erdgasbezüge der Schulen von 2013 - 2015

Schule	2013	2014	2015	Einheit
Joseph-Haydn Gymnasium	592.898	409.624	452.663	kWh
Marienschule	345.871	246.704	277.410	kWh
Edith-Stein-Schule (Gemeinschaftshauptschule)	345.514	223.794	232.735	kWh
Geschwister-Scholl Realschule	604.410	482.753	491.647	kWh
Summe	1.888.693	1.362.875	1.454.455	kWh

Aus den in Tabelle 1 aufgeführten Gasbezügen der betrachteten Schulen über die Jahre 2013 bis 2015 geht hervor, dass die Geschwister-Scholl Realschule in jedem Betrachtungsjahr die höchsten Erdgasbezüge aufweist. Das Jahr 2013 weist in Summe aller Schulen die höchsten Erdgasbezüge auf. Da 2013 das kälteste Jahr des Betrachtungszeitraums ist, werden die Energiebezüge nach Wetterdaten bereinigt (vgl. höchste Gradtagzahl in Tabelle 2).

Die Gradtagzahlen und die daraus resultierenden Klimakorrekturefaktoren sind in Tabelle 2 dargestellt. Gradtagzahlen werden unter anderem nach der VDI 2067 errechnet. Dabei werden die Differenzen zwischen der Rauminnentemperatur (20 °C) und den jeweiligen Tagesmittelwert der Außentemperatur über einem Jahr berechnet und aufsummiert. Die Berechnung startet ab einer Heizgrenztemperatur von 15 °C Außentemperatur. Fällt die Tagesmitteltemperatur unter diesen angegebenen Wert, werden die Differenzen aufsummiert. Als Formel wird dies wie folgt berücksichtigt.

$$G_{t_{20/15}} = \sum (t_i - t_a) \quad (3.1)$$

Die aus der Gradtagzahl errechneten Jahreswerte von 2013 bis 2015 werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 2: Gradtagzahlen der Jahre 2013 – 2015

Jahr	2013	2014	2015
Gradtagzahl [\sum/a]	3.634	2.954	3.257
Klimakorrekturefaktor	1	0,813	0,896

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass 2013 im Vergleich zu den zwei weiteren Jahren das kälteste Jahr war, was wiederum aus der größten Gradtagzahl der drei Jahre resultiert. Der Klimakorrekturenfaktor ergibt sich aus der Division der Jahre zum Bezugsjahr 2013. Dies ist ein prozentualer Faktor, welcher anschließend mit dem Jahresbezug (hier 2013) multipliziert wird um einen Energiebezug zu errechnen, wenn die Jahre 2014 und 2015 den gleichen Temperaturverlauf wie das Referenzjahr 2013 vorgewiesen hätten. Eine Differenz zwischen dem korrigierten und dem tatsächlichen Wert stellt anschließend eine Einsparung oder Mehrbezug in Bezug auf das Referenzjahr dar. Die berechneten Werte werden in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Klimabereinigte Gasbezüge von 2013 - 2015 in kWh

Schule	2013	2014	2015	Einheit
Joseph-Haydn-Gymnasium	592.898	482.026	531.237	kWh
Marienschule	345.871	281.193	309.900	kWh
Edith-Stein-Schule (Gemeinschaftshauptschule)	345.514	280.903	309.581	kWh
Geschwister-Scholl Realschule	604.410	491.385	541.551	kWh
Summe	1.888.693	1.535.507	1.692.269	kWh

Mit Hilfe der klimabereinigten Daten können die Gasbezüge entsprechend verglichen werden. Es ist erkennbar, dass die Gasbezüge nach der Klimabereinigung starke Schwankungen aufweisen. In den Jahren 2014 und 2015 wurde durchgehend ein geringerer Erdgasbezug gegenüber dem Jahr 2013 festgestellt.

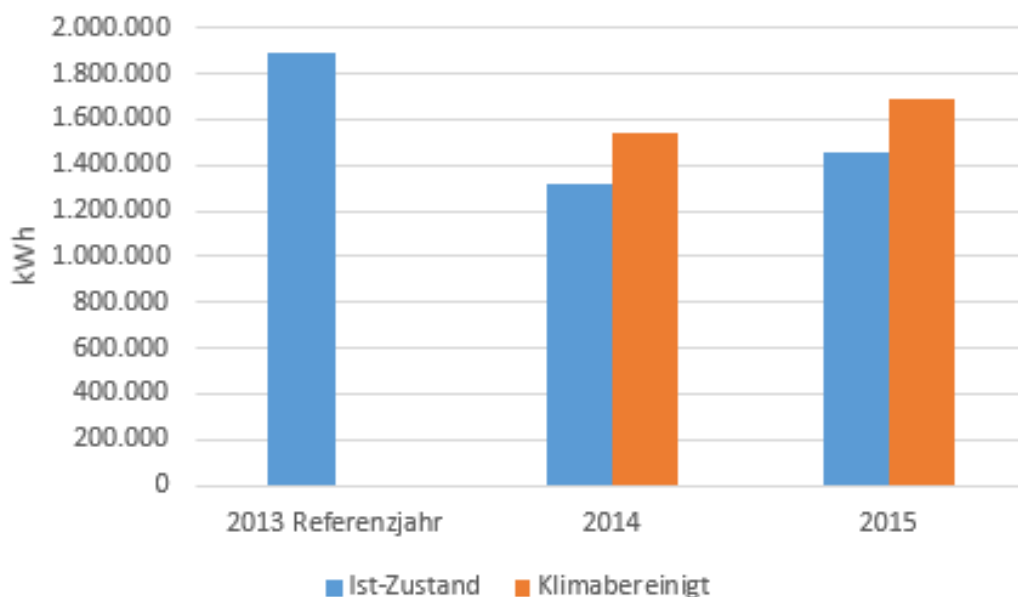


Abbildung 6: Klimabereinigter Gesamterdgasbezug

Abbildung 6 stellt den Erdgasbezug mit den klimabereinigten Bezügen grafisch dar. Unterschiede sind deutlich zu erkennen. Die klimabereinigten Erdgasbezüge ergeben sich aus den Erdgasverbräuchen bei gleichen Wetterbedingungen im Referenzjahr 2013. Daraus geht hervor, dass sich das Benutzerverhalten oder die Peripherie des Gebäudes verändert hat. Nach dem Jahr 2013 wurden energetische Sanierungen an den Flachdächern einiger Schulen durchgeführt, sodass diese zusammen mit Verhaltensänderungen zu den Einsparungen geführt haben. In Summe wurden jedes Jahr in Bezug auf 2013 über 220.000 kWh eingespart. Zu beachten ist, dass die Daten sich stets auf das Jahr 2013 beziehen. Da die Gasbezüge in den Jahren 2014 und 2015 stets ähnlich Abweichungen vorweisen, sind keine Änderungen festzustellen.

Zur Aufschlüsselung der Energiebezüge werden die installierten Heizungskessel nach DIN EN 15378 NA (Vereinfachtes Verfahren) energetisch bewertet. Auch die Schulen werden mit Hilfe einer Software dreidimensional erfasst und anschließend die Gebäudeheizlast nach DIN EN 12831 zu berechnen. Die folgende Tabelle 4 stellt eine Übersicht der ermittelten Daten dar.

Tabelle 4: Übersicht der Heizungsrelevanten Daten der Schulen

Schule	Joseph Haydn Gymnasium	Marienschule	Edith-Stein- Schule (Hauptschule)	Geschwister- Scholl Realschule
Heizkessel 1	Gas-Brennwert	Gas-Heizwert	Gas-Heizwert	Gas-Heizwert
	315 kW	120 kW	250 kW	230 kW
	Baujahr: 2014	Baujahr: 1996	Baujahr: 1989	Baujahr: 2000
	Bewertung ² : D	Bewertung: E	Bewertung: E-F	Bewertung: E-F
Heizkessel 2	Gas-Brennwert	Gas-Heizwert	Defekt und vom Netz getrennt	Gas-Heizwert
	280 kW	120 kW		180 kW
	Baujahr: 1991	Baujahr: 1996		Baujahr: 1980
	Bewertung: n.v.	Bewertung: E		Bewertung: E-F
Heizlast¹ kW	171	130	195	276
Hydraulischer Abgleich	Nein	Ja	Ja	Nein
Systemtemperatu- ren VL/RL in °C	65/50	60/40	70/60	65/55

[¹] nach DIN EN 12831 berechnet je Gebäude

[²] nach DIN EN 15378 NA je Gebäude

Tabelle 4 stellt die Heizungssysteme, Systemeinstellungen und deren Energiebezüge dar. Es wird deutlich, dass die Heizungsanlagen in fast allen Schulen, ausgenommen der Gasbrennwertanlage des Gymnasiums, über 20 Jahre in Betrieb sind. Zu erwähnen ist, dass alle Heizungssysteme mit Ausnahme der Mariengrundschule erheblich überdimensioniert sind, um

Ist-Zustand

Redundanzen vorzuhalten. So sind diese entsprechend ausgelegt, dass die Beheizung im Falle eines Ausfalls einer Heizungsanlage nicht zum Erliegen kommt.

Des Weiteren ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die maximale Heizlast für die minimale Außentemperatur von -12°C nach DIN EN 12831 bestimmt wird. Die ermittelte Heizlast ist also bereits mit Sicherheiten gegenüber dem Normalbetrieb der Heizungsanlagen beaufschlagt und wurde trotzdem für den Redundanzfall überdimensioniert.

Da ein Defekt in der Elektronik, sowie ein technischer Defekt im Brenner der zweiten Kesselanlage der Edith-Stein-Schule vorliegt, haben sich die Betreiber dazu entschieden, die Heizlast über einen Kessel zu decken. In diesem Fall liegt keine Sicherheit bei einem Ausfall vor und die Anlage läuft dauerhaft auf maximaler Leistung.

Die Bewertung der Kesselanlage nach dem vereinfachten Verfahren der DIN EN 15738 NA sieht die Bewertung der Wärme- und Warmwassererzeugung über ein Punktesystem vor. Dabei ergibt sich das Verbesserungspotential der Kesselanlage aus den ermittelten Gesamtpunkten der Anlage. Je höher die ermittelten Punkte, desto höher ist dabei das Verbesserungspotential der Anlage und desto schlechter schneidet die Anlage auf der Bewertungsskala ab. Die Punkte werden in den Kategorien Wärmeerzeugung, Warmwasserbereitung, Wärme- und Warmwasserverteilung, Wärmeübergabe und Erneuerbare Energien vergeben. Zudem werden Verluste berücksichtigt. Die Anlagenverluste ergeben sich aus Abstrahlungsverlusten des Kessels, Ventilationsverlusten durch den Kamin, schlechte Dämmung an Rohren und Bauteilen, sowie die Berücksichtigung des hydraulischen Abgleichs.

Bezüglich der Hydraulik ist in der Mariengrundschule und in der Edith-Stein-Schule ein hydraulischer Abgleich vorgenommen worden. Die Vorlauftemperatur liegt bei 60°C und hält eine Temperaturspreizung von 20 Kelvin zum Rücklauf. Bei den anderen Schulen wurde noch kein hydraulischer Abgleich durchgeführt. Aber auch in diesen Bereichen werden konstante Vorlauftemperaturen von 65°C gehalten. Die Beheizung aller Gebäude verläuft, außer im Gymnasium, ausschließlich über Heizkörper. Dort werden einzelne Räumlichkeiten im Erdgeschoss mit einer Fußbodenheizung auf dem entsprechenden Temperaturniveau gehalten. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt für die erforderlichen Zapfstellen dezentral elektrisch. Somit sind die Heizungsanlagen ausschließlich zur Beheizung der Räumlichkeiten notwendig.

Die ermittelten Punkte der Bewertungskategorien Wärmeerzeuger, Wärme- und Warmwasserverteilung beeinflussen also die Anlagenbewertung zwischen den einzelnen Schulen. Dabei ergeben sich nach Tabelle 4 für die Geschwister-Scholl Realschule und die Edith-Stein-Schule, bedingt durch den Einsatz von erdgasbetriebenen Standardheizkesseln mit einer Nennwärmeleistung von 230 kW für den Grundlast- und 180 kW für den Spitzenlastkessel sowie für die Edith-Stein-Schule mit einem Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 250 kW,

Ist-Zustand

sowie die ineffiziente Wärme- und Warmwasserverteilung, eine Anlagenbewertung zwischen Klasse E und F. Zum Vergleich liegt nach DIN EN 12831 berechnete Heizlast der Geschwister-Scholl Realschule bei ca. 276 kW und die berechnete Heizlast der Edith-Stein-Schule bei 195 kW.

Durch die Verwendung eines Niedertemperaturkessels mit einer Nennwärmeleistung von 120 kW aus dem Baujahr 1996, wird durch die Minderung des Verbesserungspotentials im Bereich der Wärmeerzeugung eine Verbesserung der Anlagenbewertung der Mariengrundschule auf Stufe E ermöglicht. Bei der Ermittlung der Heizlast nach DIN EN 12831 ergibt eine Heizlast von 129,5 kW.

Das Joseph-Haydn-Gymnasium hat durch den installierten Gas-Brennwertkessel mit einer Nennwärmeleistung von 314,5 kW das niedrigste Verbesserungspotential der Wärmeerzeugung sowie durch die Rohrleitungsdämmung das niedrigste Verbesserungspotential im Bereich der Wärme- und Warmwasserverteilung. Dadurch ergibt sich eine Anlagenbewertung der Klasse D. Die nach DIN EN 12831 ermittelte Heizlast liegt bei 171 kW.

3 Wärmeübergabe

Um eine Wärmeübergabe in den Gebäuden zu realisieren, werden sogenannte Hausübergabestationen in den Gebäuden eingeplant. Die Bauart für Nahwärmenetze gleicht der von Fernwärmenetzen unter Beachtung der Auslegungstemperaturen, da klassische Fernwärmenetze mit einem deutlich höheren Temperaturniveau betrieben werden als moderne Nahwärmenetze. Dies spiegelt sich bei Nahwärmenetzen in der größeren Dimensionierung der Anlagenteile wieder. Allgemein kann der hydraulische Anschluss über zwei Methoden erfolgen.

1. Indirekter Systemanschluss, mit Systemtrennung
2. Direkter Systemanschluss, ohne Systemtrennung

Die beiden Beispiele sind in der folgenden Abbildung 7 dargestellt

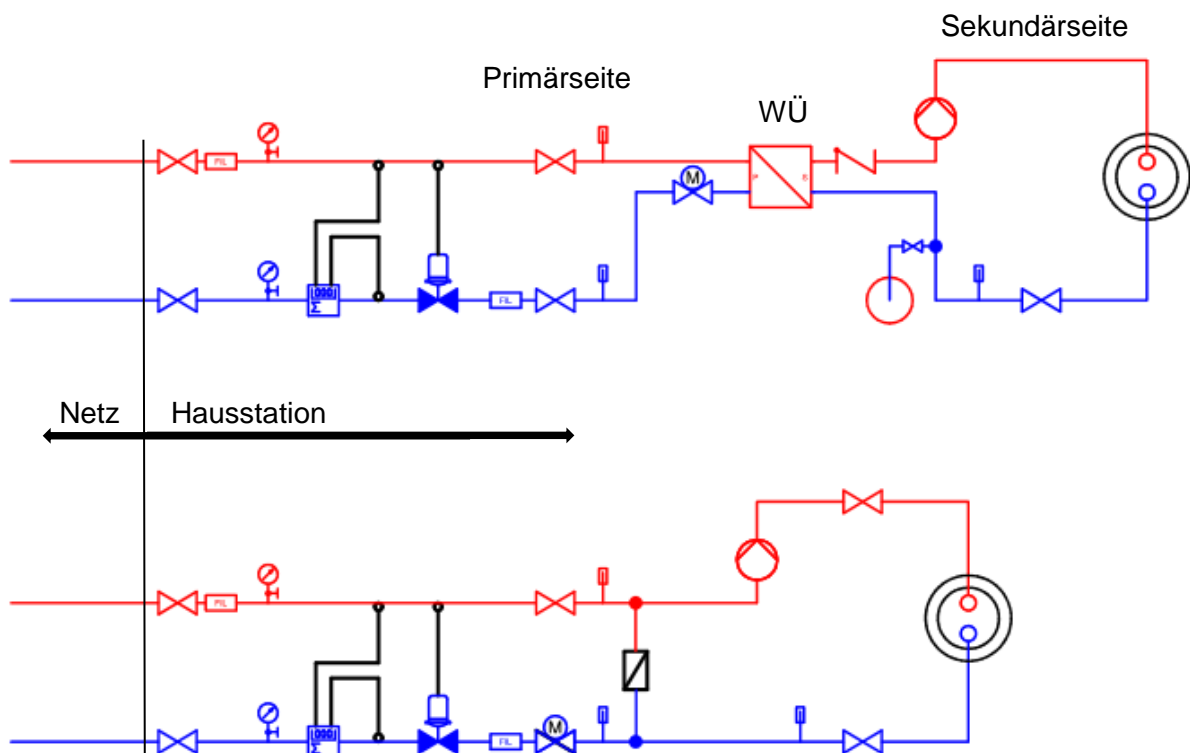


Abbildung 7: Indirekter (oben) und direkter (unten) Netzanschluss

Im oberen Teil der Abbildung 7 ist der schematische Anschluss des indirekten Systemanschlusses dargestellt. Der Wärmeübertrager stellt eine Schnittstelle zwischen Primär- und Sekundärseite des Netzes dar. Auf der Primärseite befindet sich das Leitungsnetz des Nahwärmesystems (Hausanschlussleitung), auf der Sekundärseite ist die Hausanlage vorzufinden.

Die Hausstation startet ab den ersten Absperrorganen. Bis zum Wärmeübertrager folgen Manometer, Wärmemengenzähler, Differenzdruckregler, Schmutzfänger, Thermometer und Regelventile. Sekundärseitig sind Standardeinbauteile einer Heizungsanlage vorzufinden, wie

Wärmeübergabe

z.B. Ausdehnungsgefäß, Pumpe oder Sicherheitsgruppe. Je nach Dimensionierung der Anlage, können diese Stationen kompakt als Einheit vorgefunden werden.

Der untere Teil der Abbildung 7 stellt den direkten Anschluss eines Nahwärmenetzes dar. Dieser weist weniger Bauteile auf als ein indirekter Anschluss vor. Einzig die Bauteile zur Wärmemengenerfassung und Regelung der Heizungsleistung entsprechen dem des indirekten Anschlusses. Dies führt dazu, dass diese Anschlussart aus Kostengründen im Nahwärmenetz-bereichen favorisiert wird.

4 Nahwärmenetz

Aufgrund der in Kapitel 2 dargestellten, geringen Entfernungen zwischen den einzelnen Gebäuden sowie deren relativ hohen Wärmebedarf, werden im Folgenden verschiedene Netzauslegungen und -typen sowie Betriebsweisen der Nahwärmeversorgung untersucht.

4.1 Heizzentrale Bürgerpark (Netz A)

Ein möglicher Standort der Heizzentrale ist in Abbildung 8 am Parkplatz im Bürgerpark dargestellt. Daraus ergibt sich das in der Abbildung eingezeichnete Netz A.

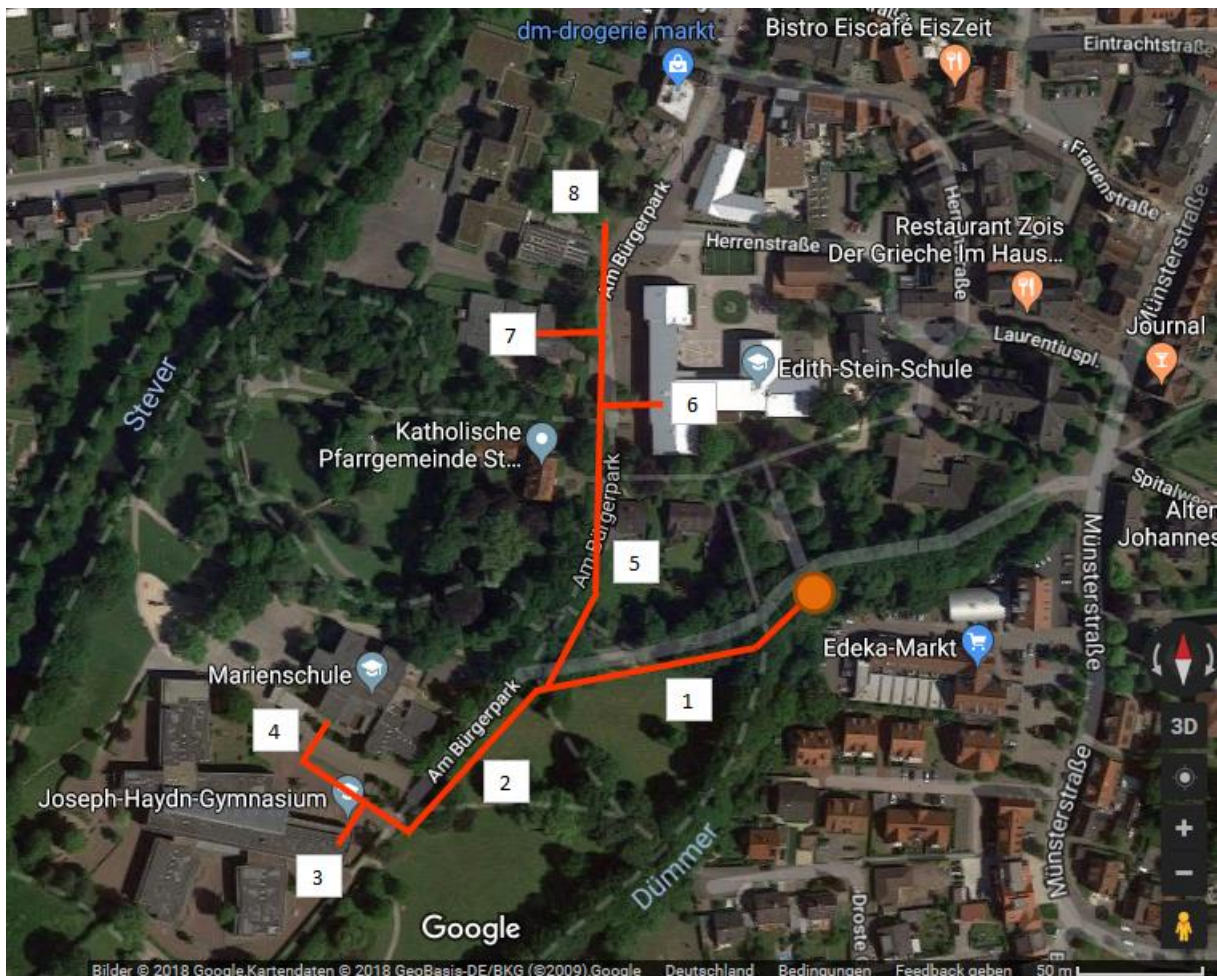


Abbildung 8: Leitungsführung des Nahwärmenetzes – Heizzentrale Parkplatz Bürgerpark

Die Abbildung 8 zeigt den Verlauf des Nahwärmenetzes für diesen Standort der Heizzentrale. Das Leitungsnetz ist in einzelne Teilstrecken unterteilt. Diese dienen im Folgenden der Übersicht.

Der Standort des Wärmeerzeugers ist durch einen orangenen Kreis gekennzeichnet. Diese Platzierung resultiert aus der Gegebenheit, dass an diesem Ort Biomasse (Hackschnitzel) angeliefert werden kann, da sich in unmittelbarer Nähe ein kleiner Parkplatz befindet und eine

Nahwärmenetz

befestigte Straße zu dieser Örtlichkeit führt. Zudem ist es nach Angaben der Westnetz GmbH und der Gelsenwasser AG dort möglich, einen elektrischen Anschluss, sowie die Versorgung mit Erdgas zu realisieren. Zusätzlich soll der bestehende Gas-Brennwertkessel des Joseph-Haydn-Gymnasiums aus dem Baujahr 2014 das Nahwärmenetz mit Wärme versorgen.

Vom Wärmerzeuger aus führt das Nahwärmenetz über Teilstück 1 bis zum T-Stück zwischen Teilstück 2 und 5. Teilstück 2 verläuft dabei in südlicher Richtung bis zur Anbindung von Teilstück 3, welches das Joseph-Haydn-Gymnasium mit dem Nahwärmenetz verbindet. Von diesem T-Stück aus wird das Nahwärmenetz über Teilstück 4 zur Mariengrundschule geführt. In nördlicher Richtung wird das Nahwärmenetz über Teilstück 5 bis zum T-Stück, welches Teilstück 6 anbindet und die Edith-Stein-Realschule versorgt, geführt. Des Weiteren ist an dieses T-Stück, Teilstück 5 angebunden, welches die katholische Tagesreinrichtung St. Laurentius über ein weiteres T-Stück mit dem Nahwärmenetz verbindet. Von diesem T-Stück führt Teilstück 8 bis zum nächsten T-Stück, welches die Geschwister-Scholl-Realschule mit dem Nahwärmenetz verbindet. Das Nahwärmenetz soll aus einzelnen Kunststoffleitungen inkl. Dämmschale realisiert werden. Aus der dargestellten Leitungsführung ergeben sich folgende Längenangaben und Einbauteile/Armaturen (siehe Tabelle 5):

Tabelle 5: Beschreibung der Teilstrecken - Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium

Teilstrecke	Länge [m]	Einbauteile	Armaturen
1	110		Kesselanschluss
2	100	T-Stück (Durchgang)	
3	20	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
4	50	T-Stück (Durchgang)	Hausanschluss
5	120	T-Stück (Abgang)	
6	25	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
7	25	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
8	110	T-Stück (Durchgang)	Hausanschluss

In Tabelle 5 sind die Längen der einzelnen Teilstrecken mit deren Einbauteilen und Armaturen aufgeführt. Das Netz hat eine Gesamtlänge von 560 Metern.

4.2 Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium (Netz B)

Ein alternativer Standort der Heizzentrale ist der Standort im Bereich des Joseph-Haydn-Gymnasiums. Dieser bietet die Möglichkeit Leitungswege zu reduzieren und die relativ neue, bestehende Gas-Brennwertheizung im Josef-Haydn-Gymnasium direkt mit einzubinden.

Im Abbildung 9 sind das Leitungsnetz sowie deren Teilstrecken zwischen den Anschlusspunkten dargestellt. Der Umfang des Leitungsnetzes reduziert sich durch den Wegfall der Teilstrecke zum Parkplatz im Bürgerpark. Der Standort der Heizzentrale ist durch einen orangenen Kreis gekennzeichnet.



Abbildung 9 - Leitungsführung des Nahwärmenetzes – Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium

Bei der Platzierung der Heizzentrale im Bereich der Schulen ist eine Anlieferung von Biomasse nicht ohne weiteres möglich, weshalb dieses bei der Auswahl der Wärmeerzeugung berücksichtigt werden muss. Die Wärmeerzeuger sollen deshalb mit Biomethan versorgt werden, welches dazu an anderer Stelle in das öffentliche Erdgasnetz eingespeist wird.

Nahwärmenetz

Die Anbindung der Heizzentrale an das Erdgas und aus einzelnen Kunststoffleitungen inkl. Dämmschale realisiert werden. Aus der dargestellten Leitungsführung ergeben sich die in Tabelle 6 dargestellten Längenangaben, Einbauteile und Armaturen:

Tabelle 6 Beschreibung der Teilstrecken - Heizzentrale Joseph-Haydn-Gymnasium

Teilstrecke	Länge [m]	Einbauteile	Armaturen
1	50		Kesselanschluss
2	25	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
3	30	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
4	20	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
5	220	T-Stück (Durchgang)	
6	25	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
7	25	T-Stück (Abgang)	Hausanschluss
8	110	T-Stück (Durchgang)	Hausanschluss

Bei der Nahwärmenetzvariante, welche die Platzierung der Heizzentrale im Bereich des Joseph-Haydn-Gymnasiums vorsieht (Netz B), entfällt das Teilstück des Nahwärmenetzes, welches zum Parkplatz des Bürgerparks führt. Dadurch verringert sich die Länge des Nahwärmenetzes im Vergleich zu Netz A um etwa 55 m auf 505 m. Die Reihenfolge der Teilstücke wird entsprechend der Position der Heizzentrale angepasst. Dadurch wird die Heizzentrale über Teilstrecke 1 per T-Stück an das Netz angebunden. Von diesem Teilstück wird über Teilstrecke 2 die Mariengrundschule und über Teilstrecke 3 ein weiteres T-Stück und Teilstrecke 4 das Joseph-Haydn-Gymnasium angebunden. Teilstück 5 führt bis zu dem T-Stück, welches über Teilstück 7 die katholische Tageseinrichtung St. Laurentius anbindet. Ebenfalls ist das Teilstück 6 über ein T-Stück angebunden, welches die Edith-Stein-Schule ans Nahwärmenetz anbindet. Über Teilstück 8 wird die Geschwister-Scholl-Realschule mit dem Nahwärmenetz verbunden.

4.2.1 Wärmeabnahmeliniendichte

Unter Berücksichtigung der geringsten, aus den Erdgasbezügen resultierenden Energieverbräuchen aus den Jahren 2013 bis 2015 wurde zusammen mit der jeweiligen Netzlänge die Wärmeabnahmeliniendichte von Netz A und B ermittelt. Diese ist in Abbildung 10 dargestellt.

Nahwärmenetz

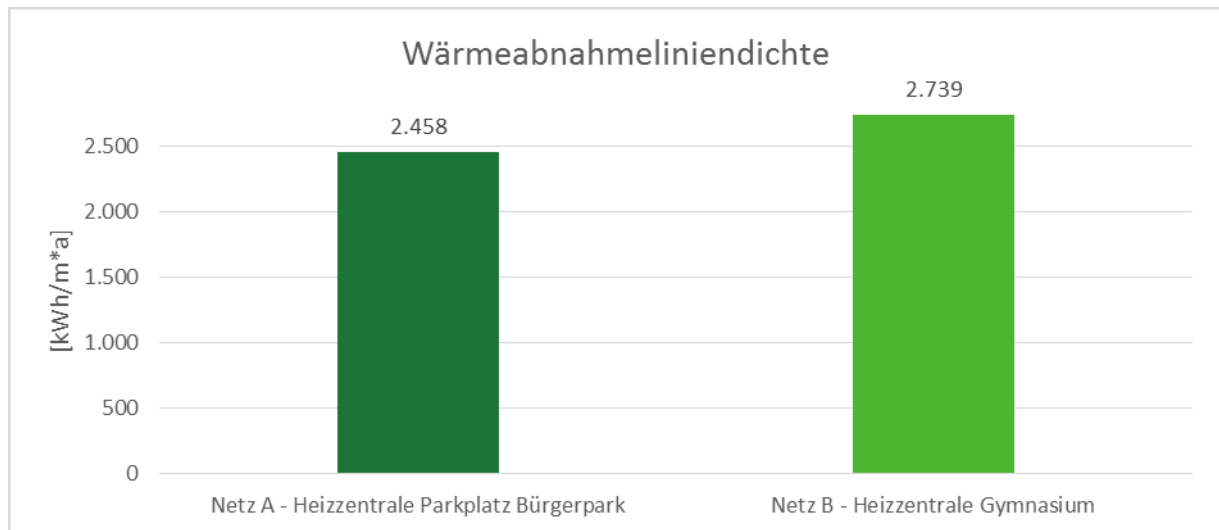


Abbildung 10 - Wärmeabnahmeliniendichte der Netze

Die Wärmeabnahmeliniendichte bzw. Wärmebedarfsdichte beschreibt die Wärmemenge, die pro Meter Nahwärmenetz abgenommen wird. Je höher die Wärmeabnahmeliniendichte, desto effizienter kann ein Nahwärmenetz betrieben werden. Sie stellt also das Verhältnis der abgenommenen Wärmemenge zur Leitungslänge und der davon abhängigen Wärmeverluste pro Jahr dar.

Bei einer niedrigen Wärmebedarfsdichte von unter $1,5 \text{ MWh}/\text{m}^*\text{a}$ bzw. $1.500 \text{ kWh}/\text{m}^*\text{a}$ steigt der prozentuale Anteil der Wärmeverluste des Netzes stark an, wie das exemplarische Schaubild in Abbildung 11 aufzeigt. Aus diesem Grund sollte die Wärmebedarfsdichte bzw. Wärmeabnahmeliniendichte einen Wert von über $1.500 \text{ kWh}/\text{m}^*\text{a}$ aufweisen.

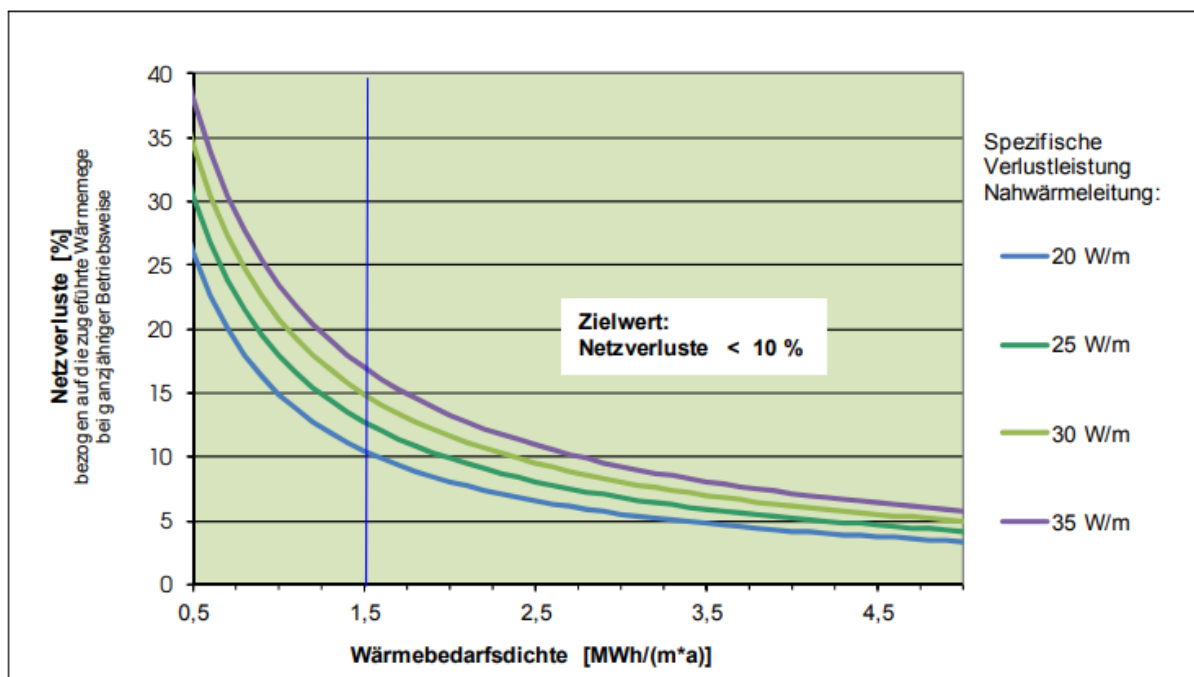


Abbildung 11 - Netzverluste in Abhängigkeit von der Wärmebelegungsdichte (Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.)

Nahwärmenetz

Die Netzverluste sollten dabei nicht über 10 % ansteigen, da hierdurch in die Anteile der Netzwärmeverluste in den Übergangsmonaten mit geringerem Wärmebedarf stark ansteigen würden. Dieses ist an einem Beispiel der C.A.R.M.E.N. e.V. in der Abbildung 12 dargestellt.

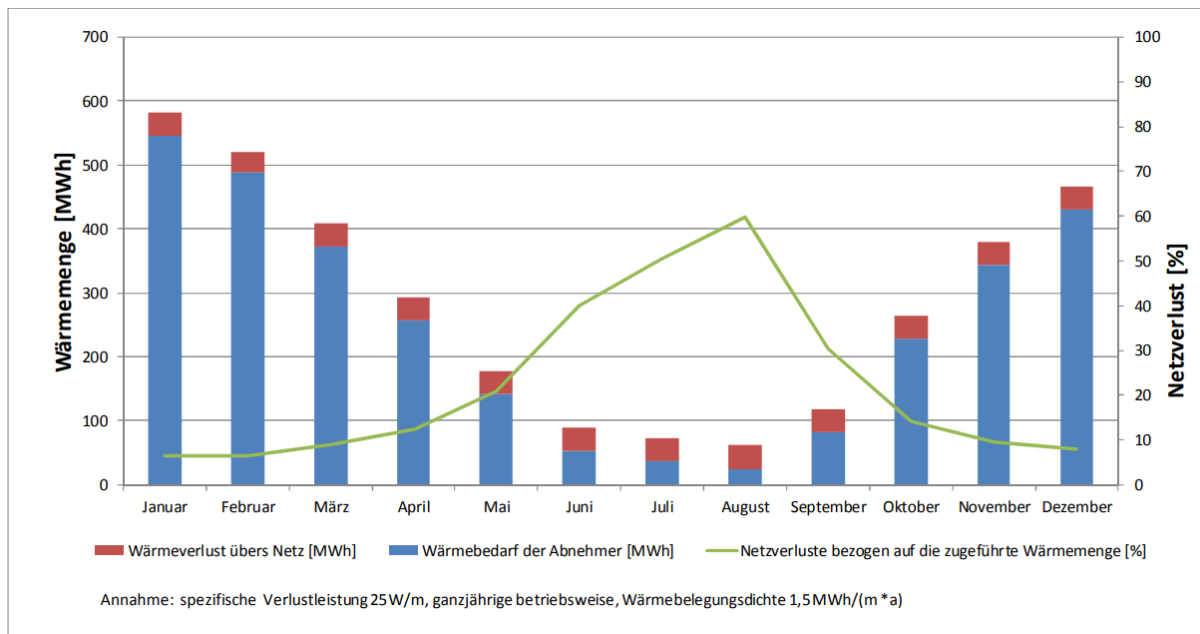


Abbildung 12 - Verlauf Wärmebedarf und Netzverluste (Quelle: C.A.R.M.E.N. e.V.)

Entgegen der beispielhaften Darstellung in Abbildung 12 ist in den geplanten Netzvarianten A und B des Nahwärmenetzes das Netz in den Sommermonaten, wegen fehlenden Wärmebedarfs nicht in Betrieb, sodass dort keine Wärmeverluste über die Rohrleitung auftreten.

Daraus ergibt sich für die Netzvariante A, bei der sich der Standort des Wärmeerzeugers am Parkplatz des Bürgerparks befindet, eine Wärmeabnahmeliniendichte von 2.458 kWh/(m*a) (vgl. Abbildung 10). Dieser Wert ist bedingt durch die im Vergleich zu Netz B (505 m Länge) rund 55 m längere Nahwärmetrasse der Netzvariante A (560 m Länge). Dagegen ergibt sich für das Netz B eine Wärmeabnahmeliniendichte von 2.739 kWh/(m*a). Die Wärmeabnahmeliniendichte liegt somit in einem Bereich, in welchem die Wärmeverluste der Rohrleitungen mit unter 10 % der Gesamtwärmemenge, keinen überproportionalen Anteil an der bereitzustellenden Wärmemenge einnehmen.

4.3 Betriebsvariante 1 – Intermittierendes Nahwärmenetz

Ein intermittierendes Nahwärmenetz wird unter anderen Bedingungen als ein standardisiertes Nahwärmenetz betrieben. Beim Konzept des intermittierenden Nahwärmenetzes versorgt die Heizungszentrale lediglich zwei der angeschlossenen Schulen zeitgleich mit thermischer Energie. In den in dem Zeitraum unversorgten Gebäuden werden Pufferspeicher zur Überbrückung von unversorgten Zeiten genutzt. Dabei werden alle Wärmeabnehmer direkt mit dem Nahwärmenetz verbunden und jeweils ein paralleler geschalteter Pufferspeicher vorgesehen.

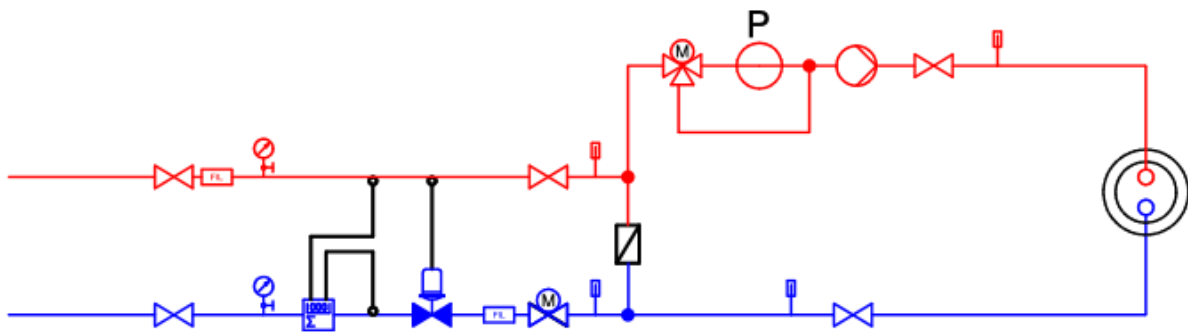


Abbildung 13: Schema des Hausanschlusses beim intermittierenden Betrieb

Die Abbildung 13 stellt den Hausanschluss der anzuschließenden Gebäude schematisch dar. Zu erkennen ist das 3-Wege-Ventil im Vorlauf des Systems. Dieses Ventil steuert die Be- und Entladung des Pufferspeichers (im Schema als Kreis mit „P“ gekennzeichnet). Wenn die Anforderung des Systems den Pufferspeicher laden soll, öffnet das Ventil den Durchgang zum Pufferspeicher. Sobald dieser seine Kapazität erreicht hat, schließt das Motorstellventil im Rücklauf. In dieser Zeit verläuft der Vorgang parallel an einer anderen Schule. Die zwei geladenen Pufferspeicher der Schulen verlaufen gegenläufig und schließen die Versorgung. Dabei ist zu beachten, dass die Versorgungstemperatur des Nahwärmenetzes im intermittierenden Betrieb auf 80 °C ansteigt. Die Rücklauftemperatur bleibt weiterhin bei 40 °C.

Die Sekundärseite des Netzes wird weiterhin nach der Außentemperatur geregelt und maximal mit einer Vorlauftemperatur von 60 °C versorgt. Somit ergibt sich ein Temperaturunterschied von 20 Kelvin zwischen dem Heizungsnetz der Schule und dem Pufferspeicher, wodurch sich die Ladekapazität definiert. Mit einem entsprechenden Puffervolumen wäre somit die Überbrückung der Heizlast möglich. Die Heizzentrale wird nach der Heizlast der zwei größten Schulen und einer Zusatzleistung von 35 % ausgelegt, um auch bei Volllast einen intermittierenden Betriebszustand zu ermöglichen. Würde die Heizleistung auf die zwei maximalen Heizlasten ausgelegt werden, käme es im Auslegungsfall (-12 °C) zu einer Unterversorgung, da die Pufferspeicher genauso schnell entladen, wie sie beladen werden und dadurch die anderen zwei Schulen nicht versorgt werden könnten.

Sollte es dennoch zu einer Komplettentladung des Pufferspeichers kommen, so wird dieser priorisiert und entsprechend geladen. Dafür muss die Beladung des Pufferspeichers, mit der in diesem Zeitpunkt größten prozentual zur Heizlast stehenden Kapazität, abgeschaltet und der „leere“ Puffer beladen werden. Bevor die Heizungszentrale abgeschaltet wird, da alle Speicher eine gewisse Kapazität enthalten, prüft das System ob sich ein Speicher unterhalb von 40 % der Ladekapazität im Auslegungszustand ($V_{L_{Netz}} = 80 \text{ °C}$; $V_{L_{Schule}} = 60 \text{ °C}$) befindet. Sollte

dies der Fall sein, lädt die Heizungszentrale diesen Puffer, bevor die Anlage sich ausschaltet. Dieser Vorgang soll die Taktung der zukünftigen Heizungsanlage reduzieren.

Wie bereits erwähnt soll die Heizleistung der Kessel die Heizlast der zwei größten Abnehmer mit zusätzlichem Sicherheitsaufschlag von 35 % betragen. Da aufgrund der unterschiedlichen Heizlasten der Gebäude ein leistungstechnisches Ungleichgewicht im System vorliegt, soll die maximale Leistung jedes Gebäudes begrenzt werden. Somit soll die eigene Heizleistung jedes Gebäudes einen Faktor erstellen, um die Leistung des Kessels gleichmäßig zu verteilen. Dies soll verhindern, dass die Gebäude mit geringer Heizlast überdimensioniert und die Gebäude mit hoher Heizlast möglicherweise unterversorgt werden.

Der intermittierende Betrieb startet, sobald die momentane Heizlast aller Gebäude über die Auslegungszahl der Heizungszentrale, ohne den Sicherheitsaufschlag von 35 %, ansteigt. Unterhalb dieser Heizlast wird das Heizungsnetz mit Vorlauftemperaturen nach den Heizkurven der Schulen betrieben. Zur Betrachtung des intermittierenden Nahwärmenetzes soll die Leitung unterdimensioniert werden. Dies hat zur Folge, dass die Strömungsgeschwindigkeiten zunehmen. Da bei den Armaturen und Ventilen innerhalb des Gebäudes gewisse Strömungsgeschwindigkeiten nicht überschritten werden sollten, werden die Nennweiten innerhalb des Gebäudes so ausgelegt, dass eine Strömungsgeschwindigkeit von ca. 1,5 m/s entsteht. Die Reduzierung der Nennweiten im Nahwärmenetz verringert den Wärmeverlust des Rohres und die Anschaffungskosten. Daraus resultieren höhere Reibungsverluste im Rohr, die eventuell durch eine leistungsstärkere Pumpe ausgeglichen werden. Innerhalb des Nahwärmenetzes werden die Nennweiten so ausgelegt, dass eine Strömungsgeschwindigkeit von maximal 4 m/s eintritt.

Die Schulen sollen je nach Abhängigkeit der Außentemperatur eine entsprechende Vorlauftemperatur im eigenen Netz fahren. Die Heizgrenztemperatur liegt bei 17 °C. Oberhalb dieser Außentemperatur wird die Versorgung komplett abgeschaltet. Unterhalb startet die Versorgung mit einer Vorlauftemperatur von 50 °C. Die Spreizung von Vor- und Rücklauftemperatur soll auch in dieser Zeit 20 Kelvin betragen. Des Weiteren werden die Schulen nach Schließung in einen reduzierten Betrieb weiter beheizt. Dabei wird die Innenraumtemperatur um 5 Kelvin reduziert. Auch an Wochenenden und in den kühlen Ferienzeiten soll diese Reduzierung stattfinden. Dieser Betrieb soll so lange gehalten werden, bis die Versorgungsleistung von den zwei größten Abnehmern in Höhe von 471 kW¹ erreicht wird. Wenn dieser Wert überschritten wird, startet der intermittierende Betrieb. Sollte es im reduzierten Betriebszustand zum intermittierenden Betrieb kommen, wird dieser mit einer reduzierten Vorlauftemperatur betrieben.

¹ Summe der nach DIN EN 12831 berechneten Heizlast der Edith-Stein-Schule (Hauptschule) und der Geschwister-Scholl Realschule

Nahwärmenetz

Dies bedeutet, dass dem Heizungsnetz eine eigene Heizkurve hinterlegt wird, welche die reduzierte Heizlast aufgreift.

4.3.1 Netz A – Intermittierender Betrieb

4.3.1.1 Auslegung Rohrnetz

Die zu verwendende Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich aus der Formel:

$$\dot{Q} = \dot{m} * c_p * \Delta t \quad (3.2)$$

\dot{Q}	-	Änderung der Wärmeenergie	[J]
\dot{m}	-	Masse	[kg]
c_p	-	Spezifische Wärmekapazität	[J/kg*K]
Δt	-	Temperaturänderung	[K]

Zur Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit ist der Rohrrinnendurchmesser notwendig. Unter dessen Berücksichtigung und der nach der Strömungsgeschwindigkeit umgestellte Formel (3.2) ergibt sich:

$$v = \frac{\dot{Q}}{c_p * \Delta t * \rho} * \frac{4}{\pi * d^2} \quad (3.3)$$

v	-	Strömungsgeschwindigkeit	[m/s]
\dot{Q}	-	Änderung der Wärmeenergie	[kW]
c_p	-	Spezifische Wärmekapazität	[J/kg*K]
Δt	-	Temperaturdifferenz	[K]
ρ	-	Dichte des Wassers	[kg/m ³]
d	-	Rohrdurchmesser	[m]

Um die Strömungsgeschwindigkeit zu berechnen, müssen die Leistung, Vor- und Rücklauf-temperaturen, und der Rohrrinnendurchmesser definiert werden. Zur Leistungsdimensionierung jeder Teilstrecke ist es sinnvoll, an den Verbrauchern zu starten.

Nahwärmenetz

Zur Ermittlung der maximalen Heizlasten innerhalb der Teilstrecken müssen die Heizlasten in den Gebäuden betrachtet werden. In der Konzeptvorstellung Kapitel 3.2 wurde erwähnt, dass die Heizlasten unterschiedlich verteilt werden. Die maximale Heizlast lässt sich im intermittierenden Betrieb berechnen, indem die Heizlast des Gebäudes mit der im Netz verfügbar kleinsten Heizlast verglichen wird, mit dem die Schule zeitgleich versorgt werden kann. Die Heizlasten der Teilstrecken berechnen sich nach der Formel (3.4).

$$\dot{Q}_{Heiz.TS} = \frac{\dot{Q}_{Heiz.Geb.}}{\dot{Q}_{Heiz.Geb.} + \dot{Q}_{min}} * (\dot{Q}_{max1} + \dot{Q}_{max2}) * (1 + f_{sicher}) \quad (3.4)$$

mit:

$\dot{Q}_{Heiz.TS}$	-	Heizlast in der Teilstrecke	[kW]
$\dot{Q}_{Heiz.Geb.}$	-	Heizlast des Gebäudes (nach DIN EN 12831)	[kW]
\dot{Q}_{min}	-	kleinste verfügbare Heizlast	[kW]
\dot{Q}_{max1}	-	größte Gesamtheizlast im Netz	[kW]
\dot{Q}_{max2}	-	zweitgrößte Gesamtheizlast im Netz	[kW]
f_{sicher}	-	prozentualer Faktor zur Überdimensionierung (hier 35 %)	

Zur Übersicht und Verwendung der Formel (3.4) werden Beispielsweise die Leistung in der Teilstrecke 4 (Mariengrundschule) und der Teilstrecke 7 zur Geschwister-Scholl Realschule berechnet.

Bsp. 1, Mariengrundschule:

$$\dot{Q}_{Heiz.TS-4} = \frac{130 \text{ kW}}{130 \text{ kW} + 171 \text{ kW}} * (276 \text{ kW} + 195 \text{ kW}) * (1 + 0,35)$$

$$\dot{Q}_{Heiz.TS-4} = 275,8 \text{ kW}$$

Da die Mariengrundschule die kleinste berechnete Heizlast vorweist (130 kW, vgl. Tabelle 4 Seite 10), ermittelt sich die Versorgungsleistung in der Teilstrecke 3 mit dem nächst kleineren Verbraucher, dem Joseph-Haydn Gymnasium mit 171 kW Heizlast. Der sich daraus ergebene Faktor bildet den prozentualen Anteil an der Gesamtheizlast des Kesselhauses. Anders verläuft die maximale Versorgungsleistung bei der Realschule.

Nahwärmenetz

Bsp. 1, G.S.-Realschule:

$$\dot{Q}_{\text{Heiz.TS-7}} = \frac{276 \text{ kW}}{276 \text{ kW} + 130 \text{ kW}} * (276 \text{ kW} + 195 \text{ kW}) * (1 + 0,35)$$

$$\dot{Q}_{\text{Heiz.TS-7}} = 432,3 \text{ kW}$$

Die Realschule weist die höchste Heizlast vor. Wenn der intermittierende Betrieb einsetzt, kann der Wert nur maximal werden, wenn diese zeitgleich mit der kleinsten Heizlast im Netz versorgt wird. Aus diesem Grund wird ein Faktor aus der Grundschule und der Realschule gebildet und mit der Gesamtheizlast multipliziert. Eine Gesamtübersicht der Heizlasten und der Versorgungsleistungen innerhalb der Teilstrecken gibt die Tabelle 7 wieder.

Tabelle 7: Heizlasten je Teilstrecke

Teilstrecke	Heizlast je Gebäude [kW]	max. Heizlast je Teilstrecke [kW]
8	276	522
7	60	193
6	195	486
5	-	636
4	130	435
3	171	470
2	-	636
1	-	636

Aus der Tabelle 7 geht hervor, wie hoch die Leistungen innerhalb der Teilstrecken verteilt sind. Zu beachten ist, dass die Summe der Teilstrecken auf die maximale Heizlast von 636 kW begrenzt ist. Auch wenn die Realschule (TS7) und die Gemeinschaftshauptschule (TS6) zeitgleich versorgt werden, verändert sich deren Versorgungsleistung. Je nach Verbraucherpaar variieren die Leistungen im Netz, abgesehen von Teilstrecke 1. Diese befördert im intermittierenden Betrieb dauerhaft die maximale Leistung, da diese die Versorgungszuleitung des Netzes ist. Tabelle 8 gibt einen Überblick der zu versorgenden Heizlast bei jedem Verbraucherpaar.

Tabelle 8: Heizlasten je Teilstrecke, Angaben in kW

Schule	Grundschule	Gymnasium	Hauptschule	Realschule
Grundschule	-	275	255	204
Gymnasium	361	-	297	243
Hauptschule	382	339	-	263
Realschule	432	393	374	-

Nahwärmenetz

Aus dieser Tabelle 8 wird deutlich, dass im intermittierenden Betrieb beispielsweise das Gymnasium mit 361 kW versorgt werden kann, aber auch mit einer Minimalleistung von 243 kW. Wenn die Grundschule über den Pufferspeicher versorgt wird, wird das Gymnasium mit 275 kW versorgt. Dennoch sind in allen Fällen die Heizlasten entsprechend hoch, um Pufferspeicher in den Schulen zu laden. Auf die Dimensionierung der Pufferspeicher wird im späteren eingegangen.

Die Kindertagesstätte, welche über Teilstück 7 in das Nahwärmenetz eingebunden wird, wird mit einer Heizlast von 60 kW angenommen. Nachdem die Heizlasten jedes Verbrauchers ermittelt wurden und für die Teilstrecken ebenfalls eine definierte Heizlast vorliegt, kann eine maximale Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden. Dazu werden für die intermittierende Betriebsweise die weiteren Parameter wie die Vor- und Rücklauftemperatur mit 80/40 °C angenommen und die Durchmesser der Rohrleitungen entsprechend gewählt, sodass eine Strömungsgeschwindigkeit von maximal 4 m/s entsteht.

Für weitere Berechnungen wurden herstellerspezifische Daten (Fabrikat Rehau, Typ: Rauthermex SDR 11) verwendet. Aus diesen Daten wurden für die folgenden Berechnungen wie z. B die Wärmeverluste oder die Druckverluste die Informationen aus dem Herstellerblatt verwendet. Aufgrund des Innendurchmessers der entsprechenden Rohrleitung kann durch Änderung der Rohrnennweite die Strömungsgeschwindigkeit angepasst werden, sodass die Strömungsgeschwindigkeiten den Vorgaben entsprechen. Mit Hilfe dieser Grundlagen haben sich die folgenden Rohrdurchmesser ergeben (Tabelle 9).

Tabelle 9: Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken

Teilstrecke	Rohrtyp	DN	d _i [mm]	v [m/s]
1	Uno 75	60	61	3,5
2	Uno 63	50	51	3,43
3	Uno 63	50	51	3,43
4	Uno 50	40	41	3,42
5	Uno 63	50	51	3,39
6	Uno 40	32	33	4,17
7	Uno 20	20	21	2,27
8	Uno 63	50	51	3,39

Tabelle 9 stellt die berechnete Strömungsgeschwindigkeit im intermittierenden Betrieb dar. Dabei wurden die Daten in Formel [3] eingefügt. Um die maximale Strömungsgeschwindigkeit zu erhalten, wurden die Geschwindigkeit in der Rücklaufleitung berechnet und somit die eine Dichte für Wasser bei 40 °C mit 992,21 kg/m³ gewählt. Dabei ist zu beachten, dass die Geschwindigkeiten in der Tabelle 9 im intermittierenden Betrieb stattfinden. Unterhalb von

471 kW stellt das Nahwärmenetz die Versorgungstemperaturen auf max. 60/40 °C ein. Daraus resultiert eine kleinere Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur von 20 Kelvin. Dies hat zur Folge, dass andere Strömungsgeschwindigkeiten entstehen und berücksichtigt werden müssen. Zudem bestehen ebenfalls andere Strömungsgeschwindigkeiten im reduzierten Betrieb des Heizungsnetzes.

4.3.1.2 Pumpenauslegung

Zur Auslegung der Pumpleistung wird die maximale Förderhöhe des Systems ermittelt. Die Förderhöhe ergibt sich über die Druck- und Rohrreibungsverluste, Einzelwiderstände (Bögen, Winkel, Filter etc.) und liegt in diesem Fall bei 9,54 m. Mit dieser Angabe lässt sich der maximal zu fördernden Volumenstrom von 10,53 m³/h aus dem spezifischen Massenstrom, welcher sich aus der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf, der spezifischen Wärmekapazität von Wasser und der spezifischen Heizlast ermitteln (Formel 3.2). Mit diesen Angaben kann eine Pumpe ausgewählt werden. Für die folgenden Berechnungen wird eine Trockenläuferpumpe gewählt, da diese die erhöhten Anforderungen erfüllt. Die Pumpenkennlinie der ausgewählten Pumpe ist Abbildung 14 in dargestellt.

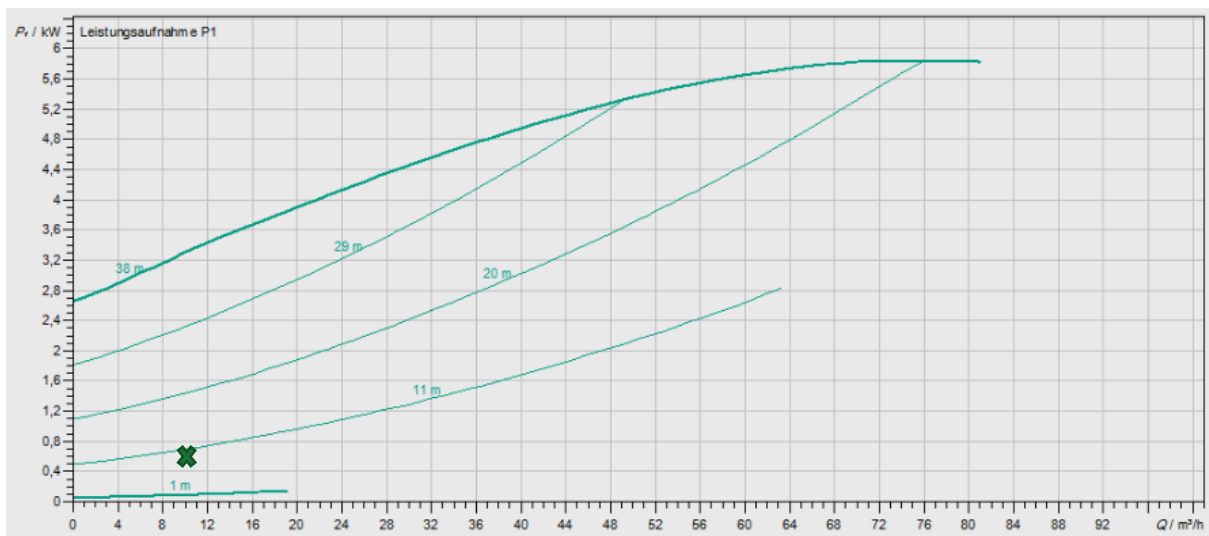


Abbildung 14: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-37/5,0 (Quelle: Wilo Datenblatt)

Im geplanten Bauvorhaben soll die Pumpe Δp -c betrieben werden. Die Pumpe erreicht somit bei einem Volumenstrom von 10,53 m³/h eine konstante Förderhöhe von 9,54 m. Die Energieeinsparungen erfolgen über die Anpassungen des Volumenstroms. Je nach Bedarf variieren der Volumenstrom und die elektrische Stromaufnahme damit ebenfalls.

Für die weitere Berechnung werden 10 Minuten-Werte des Systems betrachtet. Somit wurden 52.560 Datenpunkte über ein Jahr erfasst. Mit Hilfe dieser Datenpunkte lässt sich ein sehr

genauer Jahreslastgang der Pumpleistung erstellen. Abbildung 14 stellt den Energiebezug zum Volumenstrom dar.

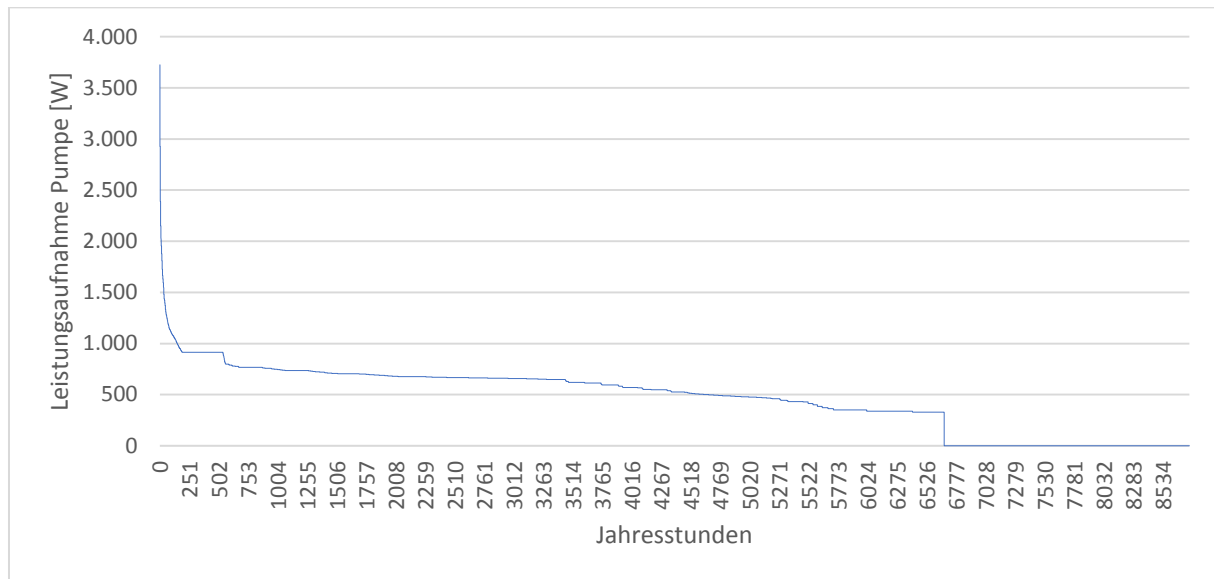


Abbildung 15: Jahreslastgang der Pumpenleistung

Abbildung 15 stellt den Jahreslastgang der Pumpe dar. Bewertet wird dieser über 8.760 Stunden. Zu erkennen ist, dass die maximale jährliche elektrische Leistungsaufnahme und somit der Anteil mit den höchsten Strömungsgeschwindigkeiten vernachlässigbar gering sind. Diese liegen ca. 180 Stunden im Jahr vor (Leistung größer 915 Watt). Dennoch bleiben diese in der Berechnung berücksichtigt. Die Pumpe moduliert außerhalb der Spitzenlastzeiten über das Jahr verteilt zwischen 900 Watt und 328 Watt für ca. 5.600 Stunden. Somit entsteht eine Gesamtlaufzeit der Pumpe von 5.780 h/a. Innerhalb dieses Zeitraumes bezieht die ausgewählte Pumpe eine elektrische Leistung von 4.076 kWh.

4.3.1.3 Auslegung der Pufferspeicher

Zur Auslegung der Pufferspeicher wurden herstellereigene Daten hinterlegt. Diese ermöglichen das genaue Puffervolumen, die Aufstellfläche und den Wärmeverlust zu berücksichtigen. Zur Berechnung der Speicherkapazität wurden die maximalen Vorlauftemperaturen (80 °C Netz- und 60 °C Gebäudevorlauftemperatur) gewählt, woraus sich eine Temperaturerhöhung von 20 Kelvin ergibt. Multipliziert mit der spezifischen Wärmekapazität von Wasser und der Speichermasse des Pufferspeichers lässt sich die Ladekapazität bestimmen. Die Tabelle 10 gibt Informationen über die gewählten Puffergrößen und deren maximalen Ladekapazität innerhalb der Schulen.

Tabelle 10: Dimensionierung der Pufferspeicher

Verbraucher	Puffervolumen [Liter]	Ladepazität [kWh]	Max. Ladezeit [min]	Entladedauer [min]
Joseph-Haydn-Gymnasium	10.000	227	185	80
Marienschule, Grundschule	10.000	227	189	105
Edith-Stein-Hauptschule	8.000	182	160	56
Geschwister-Scholl-Real-schule	8.000	182	112	40

Aufgrund von Plausibilität und Platzbedarf innerhalb der Schulen wurden die o.g. Dimensionierungen von Pufferspeichern gewählt. Mit einer Temperaturspreizung von 20 Kelvin ergeben sich die entsprechenden Ladepazitäten. Die maximale Ladezeit der Pufferspeicher berechnet sich aus dem Fall, dass die kleinste Leistung im intermittierenden Betrieb vorliegt. Die Leistungen sind der Tabelle 8 auf Seite 25 zu entnehmen. Zu beachten ist, dass die versorgte Leistung von der im Auslegungsfall vorliegenden Heizlast subtrahiert wird. Daraus ergibt sich beispielsweise eine Ladeleistung der Grundschule von 73,6 kW (203,6 kW bis 130 kW).

Die benötigte Ladezeit ergibt sich aus der Ladeleistung und der maximalen Pufferkapazität. Zur Berechnung der Entladedauer wurde der Fall ähnlich behandelt. Dabei wurde die maximale Heizlast von der Ladepazität des vollen Pufferspeichers dividiert. Der anschließende Faktor wurde auf Minuten umgerechnet. Zu erkennen ist, dass die Entladezeiten geringer sind als die Ladezeiten des Pufferspeichers. Dies liegt daran, dass die Berechnungen aus Tabelle 10 auf Maximalwerte beruhen. Daraus folgt, dass die Schulen immer parallel mit der maximalen Heizlast des größten Verbrauchers betrieben werden. Da dieser Fall nur in Ausnahmen besteht, entstehen kürzere Ladezeiten des Pufferspeichers. Einen Verlauf der Ladezyklen stellt die Abbildung 16 dar.

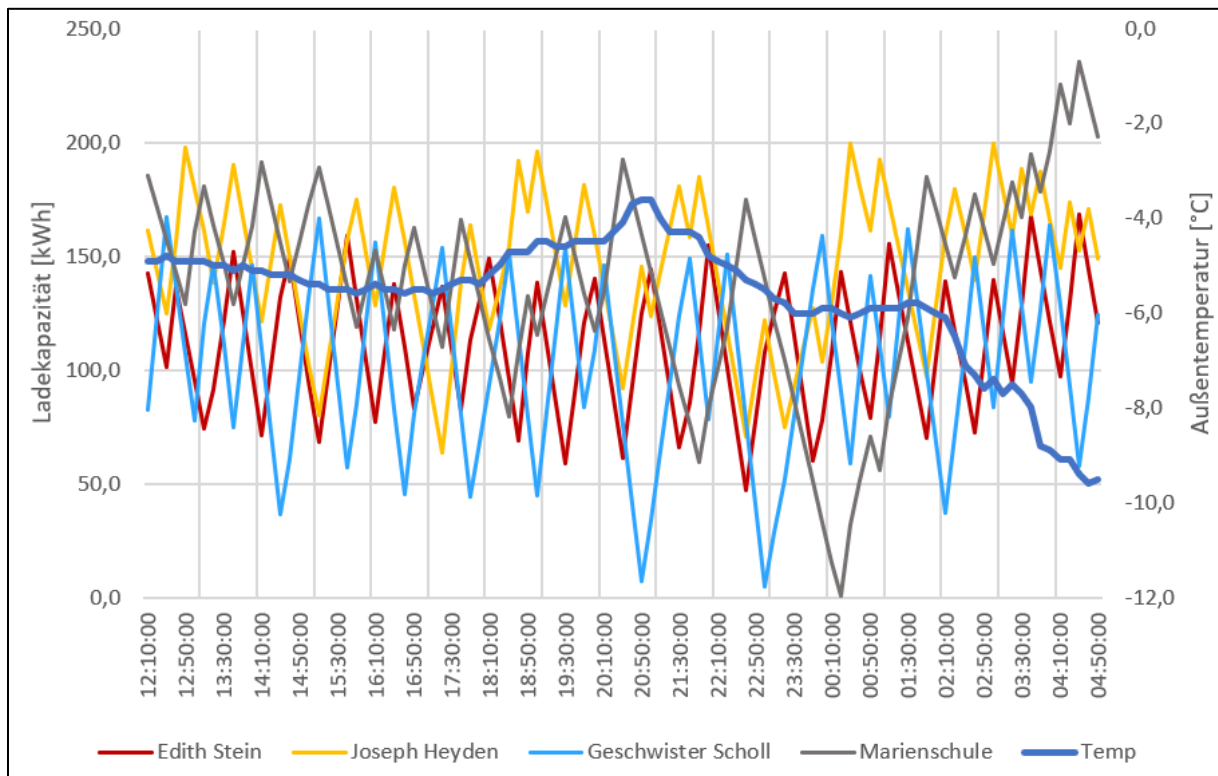


Abbildung 16: Verlauf des Ladezyklus im Betrieb

Abbildung 16 stellt den Ladezyklus der Pufferspeicher während des intermittierenden Betriebes bei einer Temperatur unter -4 °C dar. Zur Veranschaulichung wurde ein Wintertag aus dem Januar 2010 gewählt. Die Berechnungen beruhen auf der gleichen Datenbasis der Pumpenauslegung. Zur Veranschaulichung der Grafik wurden alle Betriebszustände im 10-minütigen Takt berechnet. Dies bietet eine möglichst detaillierte Darstellung der Ladezyklen. Daraus geht hervor, dass die Pufferspeicher der Geschwister-Scholl-Schule und Mariengrundscheule zeitweise an das Kapazitätslimit geraten. Sobald diese die volle Entladung vorweisen, wird die Priorität des Ladezyklus erhöht, sodass diese Speicher vorerst beladen werden. Nach vollständiger Beladung verläuft der intermittierende Betrieb problemlos weiter.

Eine Gesamtübersicht über den Monat Januar 2010 gibt Abbildung 17 wieder.

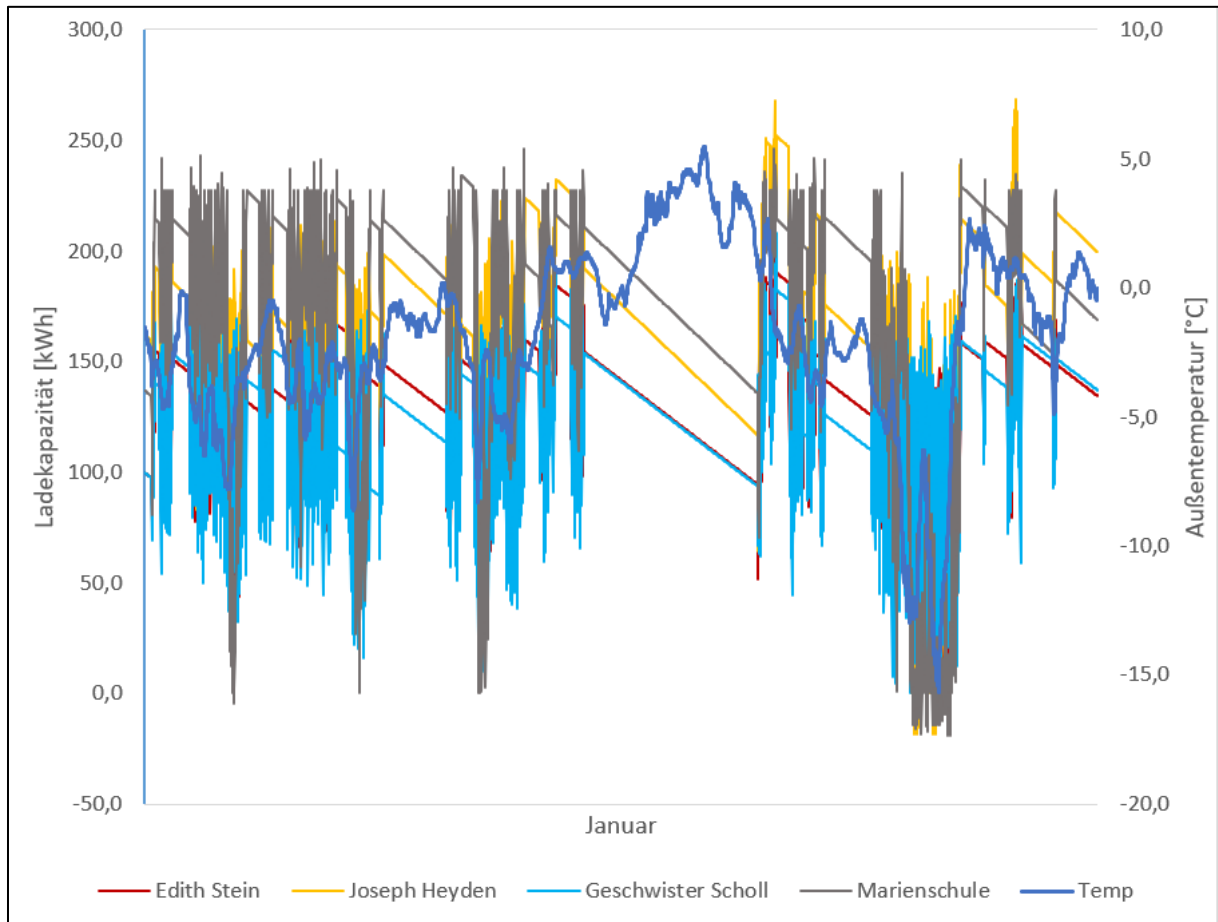


Abbildung 17: Monatsübersicht der Ladezyklen im intermittierenden Betrieb

Abbildung 17 zeigt den Verlauf der Ladezyklen innerhalb des kältesten Monats 2010 (Januar). Unter Berücksichtigung der Vorlauftemperatur geht hervor, dass die Kapazitäten der Speicher bei Temperaturen ab -5 °C stellenweise den Betrieb ausreizen. Gegen Ende des Monats lagen Außentemperaturen unter -15 °C vor und die Kapazitäten werden stark strapaziert. Auf diesen Spezialfall wird in einer weiteren Abbildung 18 detailliert eingegangen. Des Weiteren sind die Abstände des intermittierenden Betriebes gut erkennbar, da in der Zeit, in der eine konstant fallende Kapazität vorliegt, der intermittierende Betrieb abgeschaltet ist. Dies liegt daran, dass entweder eine reduzierte Versorgung (Nachtabsenkung, Wochenende, etc.) oder eine reduzierte Gesamtheizlast ($< 471\text{ kW}$) vorliegt und nur die Wärmeverluste des Speichers wirken. Zur Veranschaulichung der Zyklusverläufe bei den Temperaturen wurde Abbildung 18 erstellt.

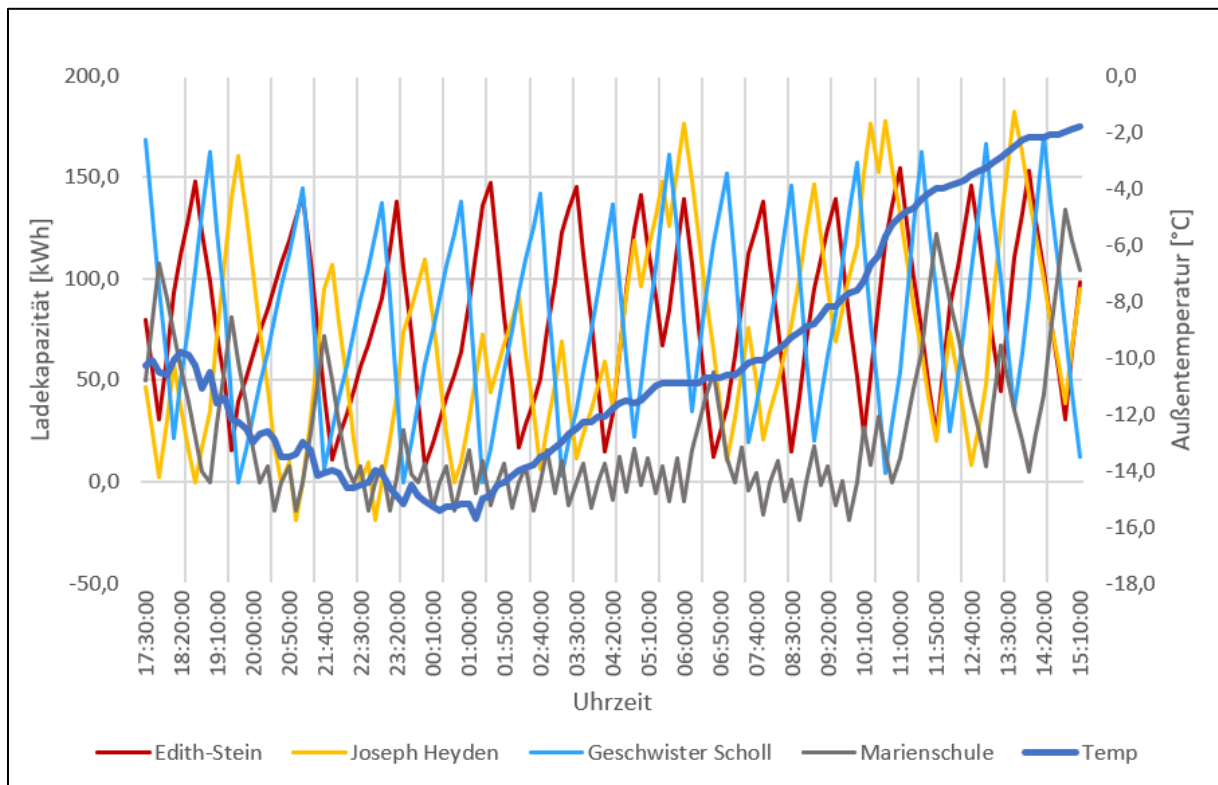


Abbildung 18: Ladezyklen der Pufferspeicher bei -15 °C Außentemperatur

Abbildung 18 stellt den Verlauf der Ladezyklen am 26.01.2010 bei Außentemperaturen von -15 °C dar. Zu erkennen ist, dass die Kapazitäten der Mariengrundschole nicht gehalten werden können. Dies ist auf die aktuelle Modulierung zurück zu führen, da andere Pufferspeicher ebenfalls regelmäßig in den kritischen Bereich geraten. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass keine Beeinträchtigung der Rauminnentemperaturen vorliegt, da dieser kritische Bereich innerhalb von 7,5 Stunden stattgefunden hat (22:30 Uhr bis 6:00 Uhr) und der Pufferspeicher der Marienschule am untersten Niveau arbeitet. Zu beachten ist, dass sobald die Kapazität des Pufferspeichers nicht mehr vorhanden ist, immer noch eine Temperatur von ca. 60°C im Pufferspeicher vorliegt. Dieses Temperaturniveau könnte für kurzzeitige Überlastungszeiten als sekundärer Puffer dienen. Zudem weist das Gebäude eine gewisse Trägheit auf, wodurch kurzzeitige Versorgungslücken im Raum bezüglich der Innentemperatur unbeachtet bleiben.

Des Weiteren lässt sich aus dem Verlauf der steigenden Außentemperatur die Versorgungssicherheit feststellen. Ab einer Außentemperatur von ca. -11 °C erhöhen sich die Kapazitäten in den Pufferspeichern und um ca. 11:00 Uhr liegt ein sicherer Betrieb vor, da die Kapazität oberhalb der Nulllinie liegt.

Insgesamt kann aufgrund der berechneten Daten beim intermittierenden Nahwärmenetz der Netzvariante A ein sicherer Betrieb gewährleistet werden. Auch hier ist zu beachten, dass Ausnahmesituationen (unterhalb der Auslegungstemperatur) zu Engpässen in der Versorgung

führen können. Dennoch liegen diese Zeiten der Unterversorgung bei wenigen Stunden und entsprechend zu nächtlichen Uhrzeiten vor. Zudem besteht bei diesem System die Möglichkeit der Zuschaltung einer Redundanz, um kälteste Zeiten zu überbrücken.

Im Weiteren müssen für das Nahwärmenetz noch weitere Bauteile ausgelegt werden. Dazu gehören die Installation des Kessels sowie die Druckhaltung des Systems. Diese Themen werden in den kommenden Kapiteln beschrieben.

4.3.1.4 Wärmeverluste der Nahwärmeleitung

Im Folgenden wird auf den Wärmeverlust der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes eingegangen. Um eine Aussage über die Wärmeverluste des Rohres treffen zu können, muss die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen, gedämmten Leitungen in Erfahrung gebracht werden. Anhand des Datenblattes des Herstellers (Rehau Rauthermex Uno) wurden die nennweitenspezifischen Daten verwendet (Tabelle 11).

Tabelle 11: Wärmeverluste je Rohrstrecke (Teilstrecke TS)

TS	Rohrleitung	Temperatur [°C]	Rohrtyp	Wärmedurchgangskoeffizient [W/mK]	Wärmeverlust [W/m]
1	Vorlauf	80	UNO 75/162	0,162	12,31
	Rücklauf	40	UNO 75/162	0,162	5,83
2	Vorlauf	80	UNO 63/142 **	0,154	11,7
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,170	6,12
3	Vorlauf	80	UNO 63/142 **	0,154	11,7
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,170	6,12
4	Vorlauf	80	UNO 50/126 **	0,136	10,34
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
5	Vorlauf	80	UNO 63/142 **	0,154	11,7
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,170	6,12
6	Vorlauf	80	UNO 40/126 **	0,111	8,44
	Rücklauf	40	UNO 40/91	0,151	5,44
7	Vorlauf	80	UNO 25/91	0,169	7,52
	Rücklauf	40	UNO 25/91	0,169	3,56
8	Vorlauf	80	UNO 63/142 **	0,154	11,7
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,170	6,12

Da zur Wärmeverlustberechnungen alle Rohrstrecken berücksichtigt werden müssen und in Vor- und Rücklauf mit unterschiedlichen Temperaturen betrieben werden, soll Tabelle 11 einen

Nahwärmenetz

Überblick über die maximalen Wärmeverluste je Rohrleitung geben. Zur Berechnungsgrundlage wurde die kälteste Bodentemperatur von 4 °C in einem Meter Tiefe am Flughafen Münster Osnabrück aus Daten des Deutschen Wetterdienstes gewählt. Zudem wurde der Vorlauf der Leitungen mit einer stärkeren Dämmschicht ausgewählt, um die hochtemperierte Vorlaufleitung von 80 °C besser vor Wärmeverlusten zu schützen. Insgesamt werden maximale Wärmeverluste von 12,31 W/m ermittelt. Zu beachten ist, dass die errechneten Werte während des intermittierenden Betriebes vorliegen. Die folgende Abbildung 19 zeigt die Temperaturschwankungen im Vor- bzw. Rücklauf im Netz.

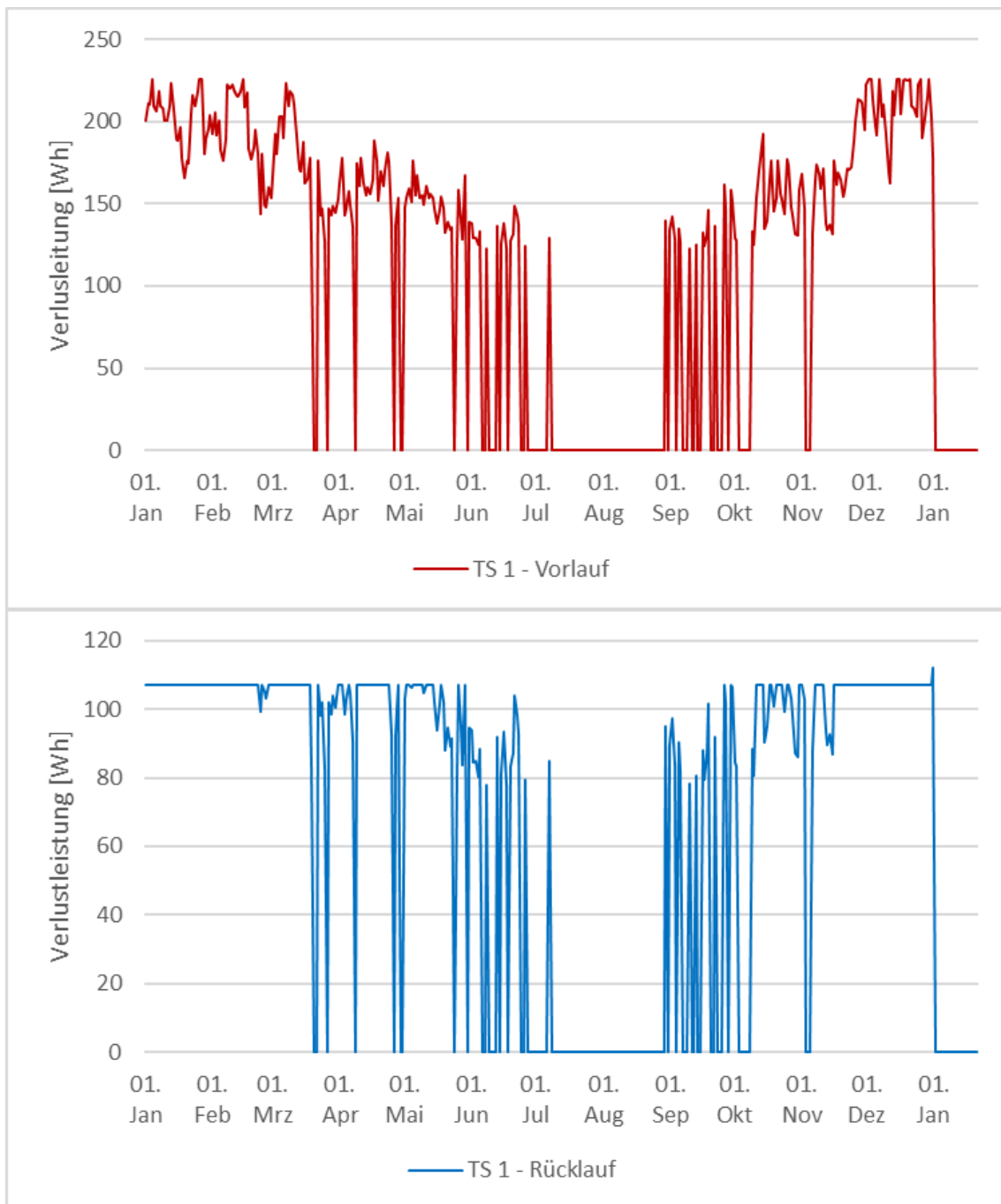


Abbildung 19: Wärmeverlust der Rohrleitungen in Teilstrecke TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten

Die Abbildung 19 stellt den Wärmeverlust der Leitungen über ein Jahr dar. Aus dem Verlauf der Kurven kann der Gesamtverlust dieser Rohrstrecke ermittelt werden. Zu erkennen ist die schwankende Temperatur im Vorlauf. Da die Erdreichtemperatur konstant mit 4°C angenommen wurde, sind entsprechende Leitungstemperaturen ersichtlich. Demgegenüber hält die Rücklaufleitung von Januar bis März eine nahezu konstante Temperatur. Da an diesem Zeitraum der maximale Wärmeverlust vorliegt, kann von einer Rücklaufmittemperatur mit 40 °C ausgegangen werden. Zur Übersicht wurde nur der Wärmeverlust der Teilstrecke 1 visuell dargestellt. Die weiteren Teilstrecken würden einen ähnlichen Verlauf mit andern Verlustleistungen vorweisen. Insgesamt kann über diese Werte ein Jahresverlust von 46.340 kWh ermittelt werden. Mit Hilfe dieses Wertes kann die notwendige Wärmebereitstellung berechnet werden.

Des Weiteren kann der Wärmeverlust prozentual zum Gesamtsystem berechnet werden. Wenn die Wärmeverluste durch die Wärmebereitstellung dividiert werden, berechnet sich der prozentuale Wärmeverlust der Leitungen. Nach der Berechnung des Wärmeverlustes der Rohrleitung liegen die entsprechenden Daten für den endgültigen Energiebezug vor.

4.3.1.5 Installation des Kessels

Damit das gesamte Heizungsnetz auch mit entsprechender Wärme versorgt werden kann, wird auf die Wärmeerzeugung im Kesselhaus eingegangen. Beim Standort der Heizzentrale am Parkplatz Bürgerpark ist der Betrieb der Wärmeerzeuger des Nahwärmenetzes mit Holzhackschnitzeln als Brennstoff vorgesehen. Der Gas-Brennwertkessel des Joseph-Haydn-Gymnasiums aus dem Baujahr 2014 soll weiterbetrieben werden und ebenfalls ins Nahwärmenetz einspeisen.

Bei der Auslegung der Heizkessel wird der Lastgang des intermittierenden Betriebes an Teilstück 1 des Nahwärmenetzes betrachtet und nach der maximal anfallenden Heizlast ausgelegt. Die maximal auftretende Heizlast liegt in diesem Fall bei 636 kW.

Das Anlagenkonzept sieht einen Holzhackschnitzelkessel mit einer Nennleistung von 390 kW vor. Da dieser Biomassekessel nur bis zu einer anteiligen Nennleistung von 30% modulieren kann, übernimmt der bestehende 285 kW Gas-Brennwertkessel des Gymnasiums Heizlasten unter 117 kW und deckt Spitzenlasten über 390 kW mit ab.

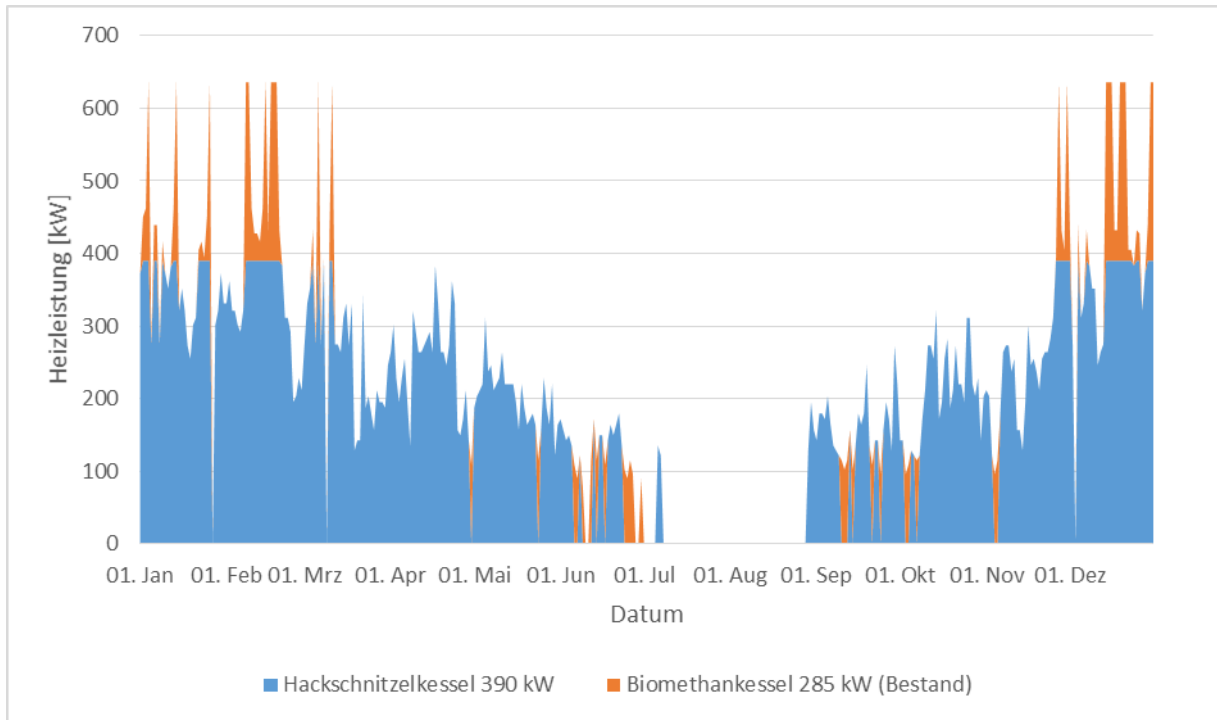


Abbildung 20: Lastgang der Heizkessel

Abbildung 20 bezieht sich auf den berechneten Verlauf der Heizungsanlagen zur Deckung der Heizlasten im Netz. Die blaue Fläche entspricht dem Lastgang des Holzhackschnitzelkessels mit 390 kW. Beispielsweise werden die maximalen Spitzen von 636 kW, in welchen der Holzhackschnitzel im Volllastbetrieb ist und der Biomethankessel bis zur Spitzenlast von 636 kW unterstützt, in den Wintermonaten regelmäßig benötigt. Am orangenen Verlauf um den 1. Juli ist deutlich erkennbar, dass dieser Kessel ebenfalls Heizlasten unterhalb des Modulationsbereiches des Holzhackschnitzelkessels übernimmt. An dieser Stelle bleibt die Heizlast unter 117 kW, sodass der 390 kW Kessel abgeschaltet bleibt. Aus der Abbildung 20 ist auch die Sommerferienzeit gut zu erkennen. In diesem Zeitraum ist die Heizungsanlage abgeschaltet.

Um eine Aussage über die Laufzeiten der Heizungsanlagen treffen zu können, wurde mit Hilfe des Lastgangs in Abbildung 21 eine Jahresdauerlinie erzeugt.

Nahwärmenetz

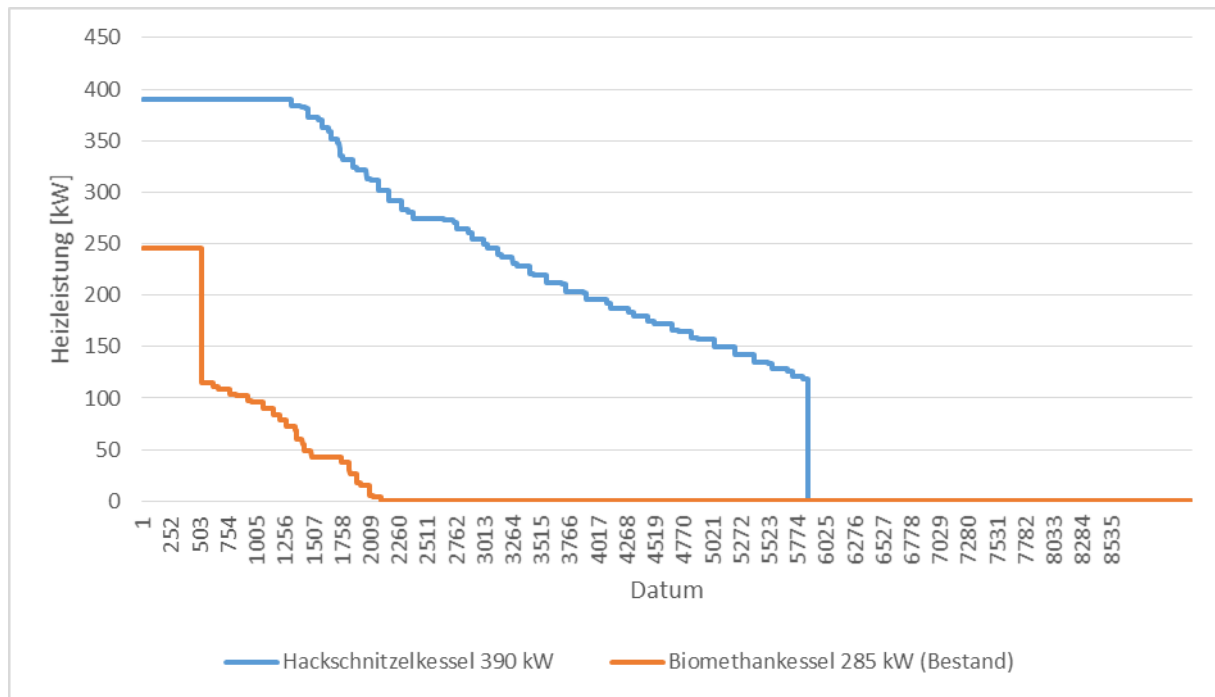


Abbildung 21: Jahresdauerlinien der zwei Heizkessel

Die Jahresdauerlinien der einzelnen Kessel sind der Abbildung 21 zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass die Maximalleistung im Netz von 636 kW rund 507 Stunden vorliegt. Erkennbar ist dies an der horizontal verlaufenden Teilstrecke je Ganglinie. In Summe bilden diese die Spitzenlast. Des Weiteren werden durch den 285 kW Kessel 2.104 Stunden Heizlasten bis 285 kW abgedeckt. Der 390 kW Kessel hingegen weist eine Laufzeit von 5.886 Stunden bei Heizlasten zwischen 117 und 390 kW vor, da dieser nur bis 30% moduliert.

Aus dem Lastgang des intermittierenden Netzes ergeben sich bei insgesamt 6.674 Stunden auftretender Heizlasten ein erforderlicher Wärmebedarf von 1.554.530 kWh für den 390 kW Holzhackschnitzelkessel und von 231.033 kWh/a für den 285 kW Biomethankessel. Werden die Wärmeverluste der Nahwärmeleitungen von 46.340 kWh/a anteilig berücksichtigt, ergibt sich bei einem angenommenen thermischen Wirkungsgrad des Holzhackschnitzelkessels von 94 % und des Biomethankessels von 98 % eine gesamte, simulierte, zugeführte Energiemenge von 1.932.336 kWh/a. Diese setzt sich aus 1.690.566 kWh/a Holzhackschnitzel und 241.770 kWh/a Biomethan zusammen.

4.3.2 Netz B – Intermittierender Betrieb

4.3.2.1 Auslegung Rohrnetz

Die Auslegung des Rohrnetzes erfolgt wie in Abschnitt 4.3.1.1 beschrieben.

Im Vergleich zu den weiteren Wärmeabnehmern weist die Realschule die höchste Heizlast auf. Wenn der intermittierende Betrieb einsetzt, kann der Wert nur maximal werden, wenn diese zeitgleich mit der kleinsten Heizlast im Netz versorgt wird. Aus diesem Grund wird die Summe der Heizlasten aus der Grundschule und der Realschule gebildet und mit der Gesamtheizlast multipliziert. Eine Gesamtübersicht der Heizlasten und der Versorgungsleistungen innerhalb der Teilstrecken gibt die Tabelle 12 wieder.

Tabelle 12: Heizlasten je Teilstrecke

Teilstrecke	Heizlast je Gebäude [kW]	max. Heizlast je Teilstrecke [kW]
8	276	522
7	60	200
6	195	486
5	-	636
4	171	471
3	-	636
2	130	435
1	-	636

Aus der Tabelle 12 geht hervor, wie hoch die Leistungen innerhalb der Teilstrecken verteilt sind. Zu beachten ist, dass die Summe der Teilstrecken auf die maximale Heizlast von 636 kW begrenzt ist. Auch wenn die Realschule (TS7) und die Hauptschule (TS6) zeitgleich versorgt werden, verändert sich deren Versorgungsleistung. Je nach Verbraucherpaar variieren die Leistungen im Netz, abgesehen von Teilstrecke 1. Diese befördert im intermittierenden Betrieb dauerhaft die maximale Leistung, da diese die Versorgungszuleitung des Netzes ist. Die Kindertagesstätte, welche über Teilstück 7 in das Nahwärmenetz eingebunden wird, wird mit einer Heizlast von 60 kW angenommen. Die Heizlasten je Teilstrecke verhalten sich wie in Tabelle 8 auf Seite 25 beschrieben.

Nachdem die Heizlasten jeder Verbraucher ermittelt wurden und die Teilstrecken ebenfalls eine definierte Heizlast vorliegen, kann eine maximale Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden. Dazu werden die weiteren Parameter wie die Vor- und Rücklauftemperatur mit 80/40 °C angenommen und die Durchmesser der Rohrleitungen entsprechend gewählt, so dass eine Strömungsgeschwindigkeit von maximal 4 m/s entsteht. Für weitere Berechnungen wurden Herstellerspezifische Daten (Fabrikat Rehau, Typ: Rauthermex SDR 11) verwendet.

Aus diesen Daten werden für die folgenden Berechnungen wie z. B die Wärmeverluste oder die Druckverluste die Informationen aus des Herstellers verwendet. Aufgrund des Innendurchmessers der entsprechenden Rohrleitung kann durch Änderung der Rohrenweite die Strömungsgeschwindigkeit angepasst werden, sodass die Strömungsgeschwindigkeiten den Vorgaben entsprechen. Mit Hilfe dieser Grundlagen haben sich die folgenden Rohrdurchmesser ergeben (Tabelle 13).

Tabelle 13: Rohrtypen und Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken

Teilstrecke	Rohrtyp	DN	d _i [mm]	v [m/s]
1	Uno 75	60	61	3,13
2	Uno 50	40	41	4,54
3	Uno 50	40	41	4,54
4	Uno 50	40	41	3,06
5	Uno 63	50	51	3,19
6	Uno 40	40	32	4,01
7	Uno 20	20	21	2,27
8	Uno 63	50	51	3,19

Tabelle 13 stellt die berechnete Strömungsgeschwindigkeit im intermittierenden Betrieb dar. Dabei wurden die Daten in Formel [3.3] auf Seite 23 eingefügt. Um die maximale Strömungsgeschwindigkeit zu erhalten, wurden die Geschwindigkeit in der Rücklaufleitung berechnet und somit die eine Dichte für Wasser bei 40 °C mit 992,21 kg/m³ gewählt. Dabei ist zu beachten, dass die Geschwindigkeiten in der Tabelle 13 im intermittierenden Betrieb stattfinden. Unterhalb von 471 kW stellt das Nahwärmenetz die Versorgungstemperaturen auf max. 60/40 °C ein. Daraus resultiert eine kleinere Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur von 20 Kelvin. Dies hat zur Folge, dass andere Strömungsgeschwindigkeiten entstehen und berücksichtigt werden müssen. Zudem bestehen ebenfalls andere Strömungsgeschwindigkeiten im reduzierten Betrieb des Heizungsnetzes.

4.3.2.2 Pumpenauslegung

Zur Auslegung der Pumpleistung wird die maximale Förderhöhe des Systems gewählt. Die Förderhöhe liegt in diesem Fall bei 13,03 m. Mit dieser Angabe den maximal zu fördernden Volumenstrom von 33,85 m³/h kann eine Pumpe ausgewählt werden. Für die folgenden Berechnungen wurde eine Trockenläuferpumpe gewählt, da diese die erhöhten Anforderungen erfüllt. Die folgende Abbildung 22 stellt die Leistungsaufnahme der Pumpe in Relation zur Förderhöhe und dem Volumenstrom dar.

Nahwärmenetz

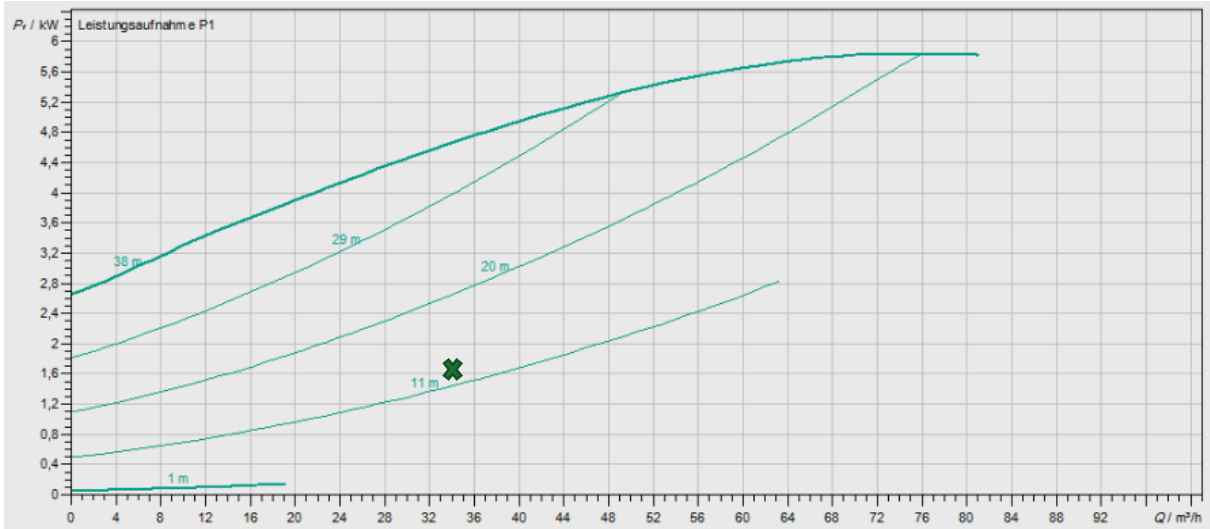


Abbildung 22: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-37/5,0 (Quelle: Wilo)

Im geplanten Bauvorhaben soll die Pumpe Δp -c betrieben werden. Die Pumpe erreicht somit bei einem Volumenstrom von 33,85 m³/h eine Förderhöhe von 13,03 m. Die Energieeinsparungen erfolgen über die Anpassungen des Volumenstroms. Je nach Bedarf variieren dieser und die elektrische Stromaufnahme ebenfalls. Für die weitere Berechnung wurden 10 Minuten-Werte des Systems betrachtet. Somit wurden 52.560 Datenpunkte erfasst. Mit Hilfe dieser Datenpunkt ließ sich ein sehr genauer Jahreslastgang der Pumpleistung erstellen. Abbildung 22 stellt den Energiebezug zum Volumenstrom dar.

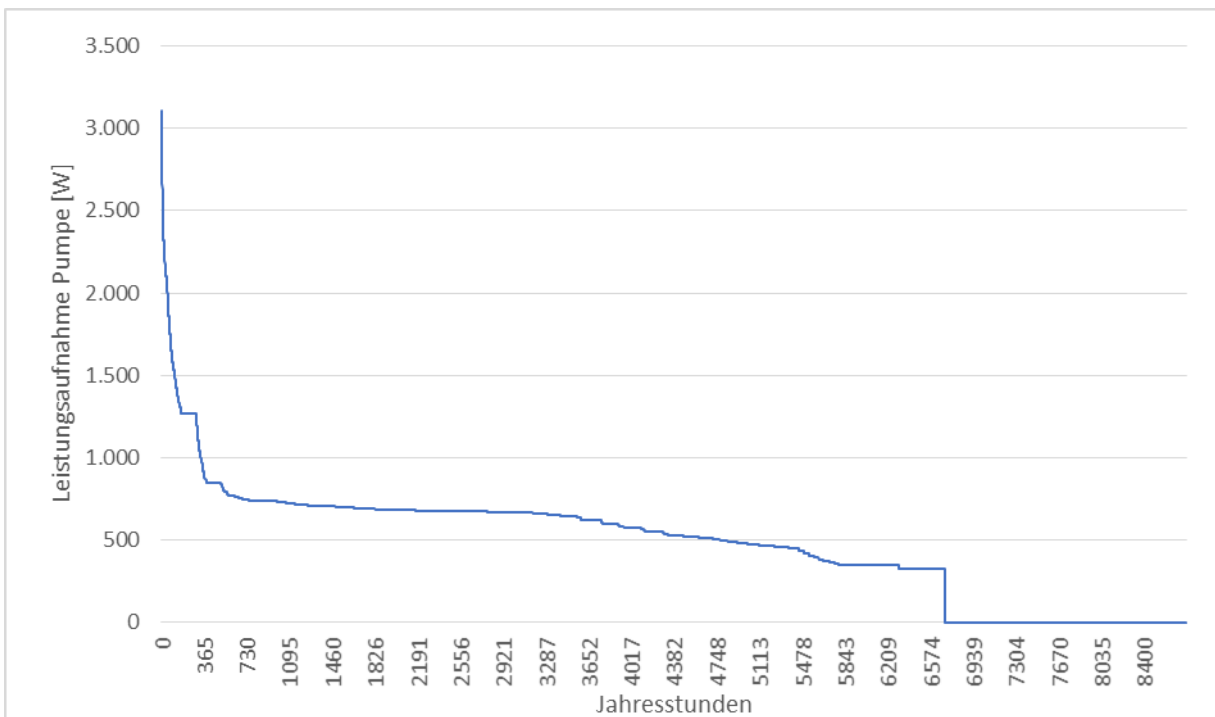


Abbildung 23: Jahreslastgang der Pumpenleistung

Abbildung 23 stellt den Jahreslastgang der Pumpe dar. Bewertet wird dieser über 8.760 Stunden. Zu erkennen ist, dass die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten und somit größte elektrische Leistungsaufnahme vernachlässigbar gering sind. Diese liegen ca. 300 Stunden im Jahr vor (Leistung größer 1.200 Watt). Dennoch bleiben diese in der Berechnung berücksichtigt. Die elektrische Last zwischen 320 Watt und 1.200 Watt wird von der Pumpe bei der vorliegenden Anlagenkonstellation ca. 6.393 Stunden bei modulierender Betriebsweise benötigt. Damit kommt die Pumpe auf 6.693 jährliche Betriebsstunden. Innerhalb dieses Zeitraumes bezieht die ausgewählte Pumpe eine elektrische Energie von 3.910 kWh.

4.3.2.3 Auslegung der Pufferspeicher

Die Auslegung der Pufferspeicher erfolgt für die Gebäude unverändert, wie in Kapitel 4.3.1.3 beschrieben.

4.3.2.4 Wärmeverluste der Nahwärmeleitung

Im Folgenden wird auf den Wärmeverlust der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes eingegangen. Um Aussage über die Wärmeverluste des Rohres treffen zu können, muss die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen, fertig gedämmten Leitungen in Erfahrung gebracht werden. Anhand des Datenblattes des Herstellers wurden die nennweitenspezifischen Daten verwendet (Tabelle 14).

Tabelle 14: Wärmeverluste je Rohrstrecke

TS	Rohrleitung	Temperatur [°C]	Rohrtyp	U-Wert [W/mK]	Wärmeverlust [W/m]
1	Vorlauf	80	UNO 75/162	0,162	12,31
	Rücklauf	40	UNO 75/162	0,162	5,83
2	Vorlauf	80	UNO 50/126 **	0,136	10,34
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
3	Vorlauf	80	UNO 50/126 **	0,136	10,34
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
4	Vorlauf	80	UNO 50/126 **	0,136	10,34
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
5	Vorlauf	80	UNO 50/126 **	0,154	11,7
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,17	6,12
6	Vorlauf	80	UNO 40/126 **	0,111	8,44
	Rücklauf	40	UNO 40/91	0,151	5,44

TS	Rohrleitung	Temperatur [°C]	Rohrtyp	U-Wert [W/mK]	Wärmeverlust [W/m]
7	Vorlauf	80	UNO 25/91	0,169	7,52
	Rücklauf	40	UNO 25/91	0,169	3,56
8	Vorlauf	80	UNO 50/126 **	0,154	11,7
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,170	6,12

Da zur Wärmeverlustberechnungen alle Rohrstrecken berücksichtigt werden müssen und in den Rohren (Vor- und Rücklauf) andere Temperaturen betrieben werden, soll Tabelle 14 einen Überblick über die maximalen Wärmeverluste je Rohrleitung geben. Zur Berechnungsgrundlage wurde die kälteste Bodentemperatur von 4 °C in einem Meter Tiefe am Flughafen Münster Osnabrück auf Grundlage von Daten des Deutschen Wetterdienstes gewählt. Zudem wurde der Vorlauf der Leitungen mit einer stärkeren Dämmschicht ausgewählt, um die hochtemperierte Leitung von 80 °C besser vor Wärmeverlusten zu schützen. Insgesamt werden maximale Wärmeverluste von 12,31 W/m ermittelt. Zu beachten ist, dass die errechneten Werte während des intermittierenden Betriebes vorliegen.

Die folgende Abbildung 24 (Seite 43) zeigt die Temperaturschwankungen im Vor- bzw. Rücklauf im Netz. Die Abbildung stellt den Wärmeverlust der Leitungen über ein Jahr dar. Aus dem Verlauf der Kurven kann der Gesamtverlust dieser Rohrstrecke definiert werden. Zu erkennen ist die schwankende Temperatur im Vorlauf. Da die Erdreichtemperatur konstant mit 4°C angenommen wurde, sind entsprechende Leitungstemperaturen ersichtlich. Demgegenüber hält die Rücklaufleitung von Januar bis März eine nahezu konstante Temperatur. Da an diesem Zeitraum der maximale Wärmeverlust vorliegt, kann von einer Rücklauftemperatur mit 40 °C ausgegangen werden. Zur Übersicht wurde nur die Teilstrecke 1 visuell dargestellt. Die weiteren Teilstrecken würden einen ähnlichen Verlauf mit andern Verlustleistungen vorweisen. Insgesamt kann über diese Werte ein Jahresverlust von 41.286 kWh ermittelt werden.

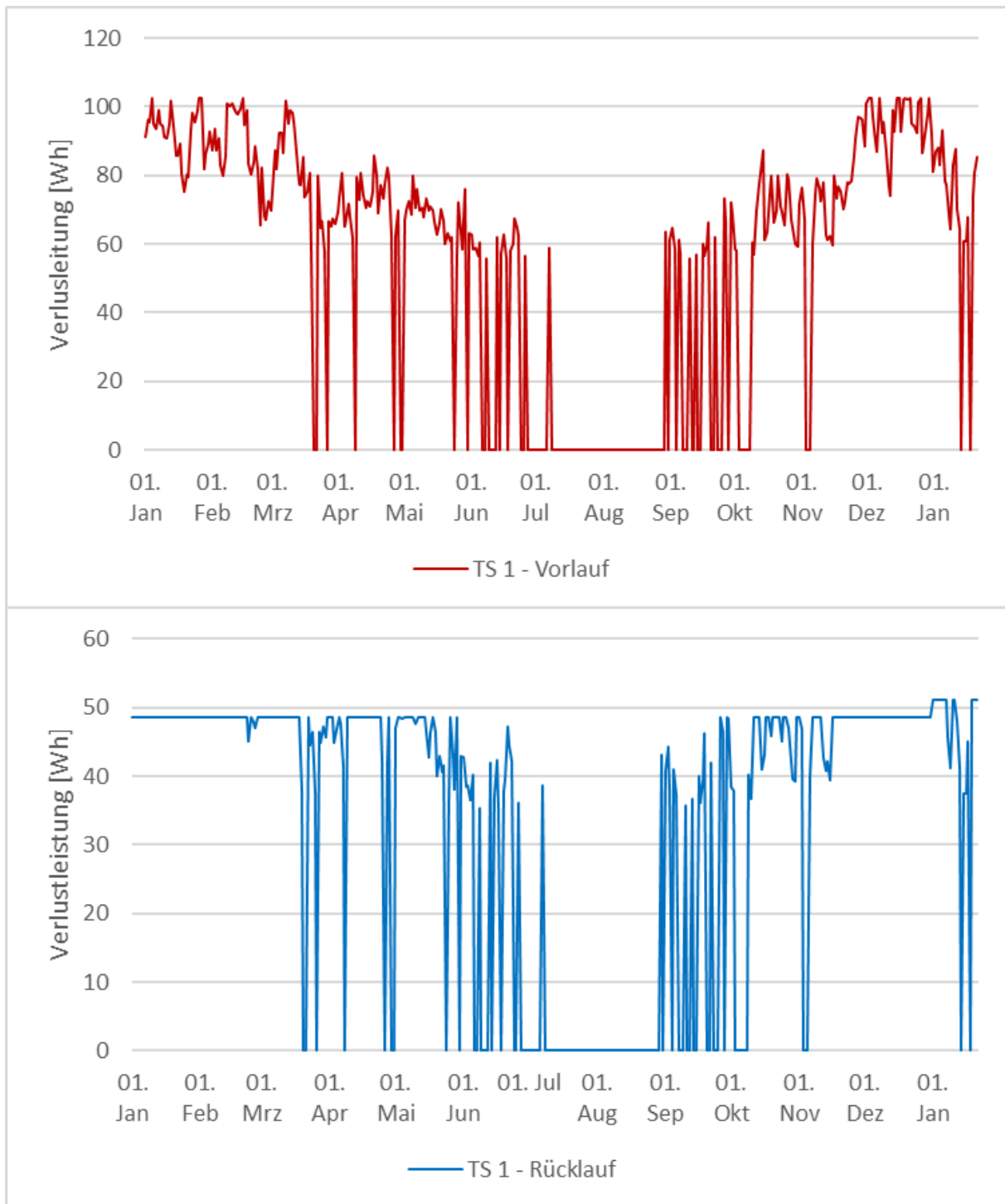


Abbildung 24: Wärmeverlust der Rohleitungen in TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten

4.3.2.5 Installation des Kessels

Damit das gesamte Heizungsnetz auch mit entsprechender Wärme versorgt werden kann, wird im nächsten Schritt auf die Wärmeerzeugung im Kesselhaus eingegangen. Beim Standort

Nahwärmenetz

der Heizzentrale am Joseph-Haydn-Gymnasium ist der Betrieb der Wärmeerzeuger des Nahwärmenetzes mit dem Brennstoff Biomethan vorgesehen. Bei der Auslegung der Heizkessel wird der Lastgang des intermittierenden Betriebes an Teilstück 1 des Nahwärmenetzes betrachtet und nach der maximal anfallenden Heizlast ausgelegt. Die maximal auftretende Heizlast liegt in diesem Fall bei 636 kW.

Da für das Anlagenkonzept neben einem Biomethan-BHKW im Grundlastbetrieb auch der Weiterbetrieb des bestehenden 285 kW Gas-Brennwertkessels in der Heizzentrale des Gymnasiums aus dem Baujahr 2014 mit Biomethan angenommen wird, muss der neu zu installierende Gas-Heizungskessel eine Nennwärmeleistung von mindestens 370 kW erreichen, damit die Redundanz bei einem Ausfall des BHKW gewährleistet ist.

Das BHKW wird mit einer thermischen Leistung von 83 kW angenommen und kommt bei dem ermittelten Lastprofil und einer nicht modulierenden Betriebsweise auf 6.599 jährliche Vollnutzungsstunden.

Dabei werden die drei Wärmeerzeuger so betrieben, dass das Blockheizkraftwerk bei Heizlasten bis 83 kW als letztes abschaltet. Heizlasten über 83 kW werden zunächst vom 370 kW Gas-Brennwertkessel bis zum Erreichen seiner maximalen Nennleistung und anschließend, anteilig vom 285 kW Gas-Brennwertkessel übernommen. Dieser Kessel und das BHKW werden bei Vorlauf- und Rücklauftemperaturen von 80 und 60°C betrieben.

Die folgende Abbildung 25 bietet einen Überblick bezüglich des berechneten Lastganges der Heizungsanlagen.

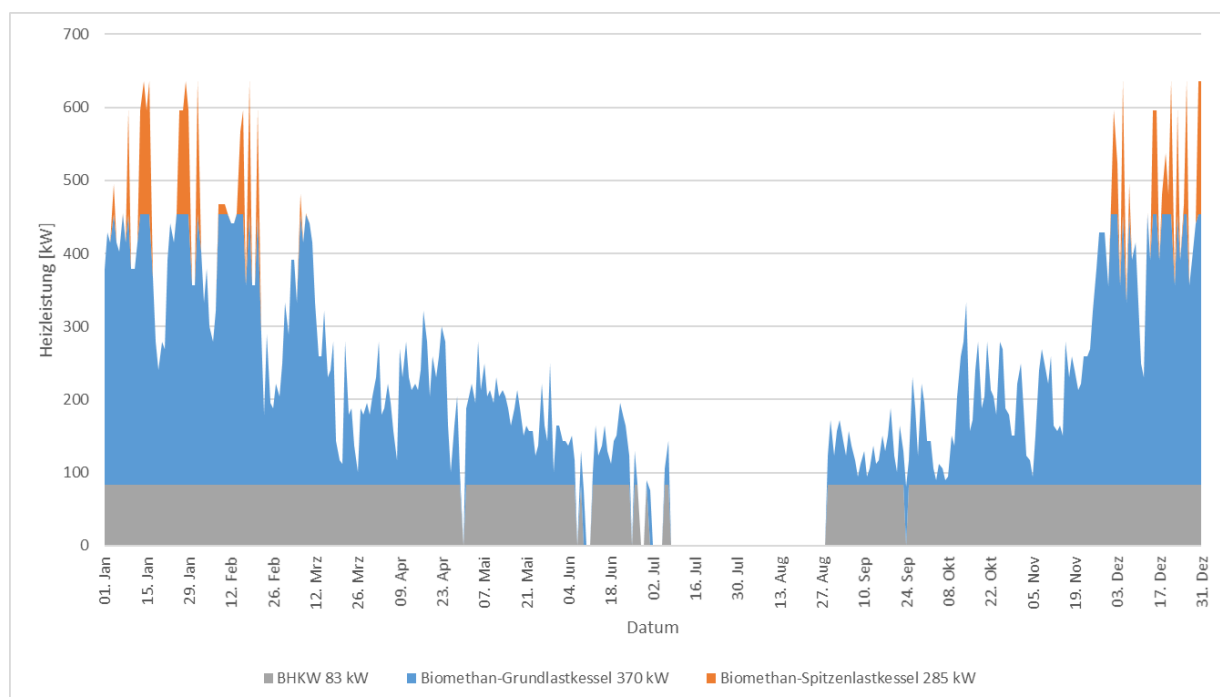


Abbildung 25: Lastgang der Heizungsanlagen

Nahwärmenetz

Die Abbildung 25 bezieht sich auf den berechneten Verlauf der Heizungsanlagen zur Deckung der Heizlasten im Netz. Der blaue Verlauf entspricht dem Lastgang des Gas-Brennwertkessels mit 370 kW. Der graue Verlauf kennzeichnet das BHKW welches bei Volllast stets 83 kW thermische Energie bereitstellt. Der orangene Verlauf stellt den zweiten 285 kW Gas-Brennwertkessel dar, welcher sich dazu schaltet, wenn die Leistung des ersten Gas-Brennwertkessels und des BHKW nicht mehr ausreichen um die benötigte Heizlast des Netzes zu decken. Aus Abbildung 25 ist auch die Sommerferienzeit gut zu erkennen. In diesem Zeitraum ist die Heizungsanlage abgeschaltet. Die Lastspitzen von 636 kW können in Parallelschaltung der zwei Kessel bei auch bei Ausfall des BHKW gedeckt werden.

Um eine Aussage über die Laufzeiten der Heizungsanlagen treffen zu können, wurde mit Hilfe des Lastgangs in Abbildung 26 eine Jahresdauerlinie erzeugt.

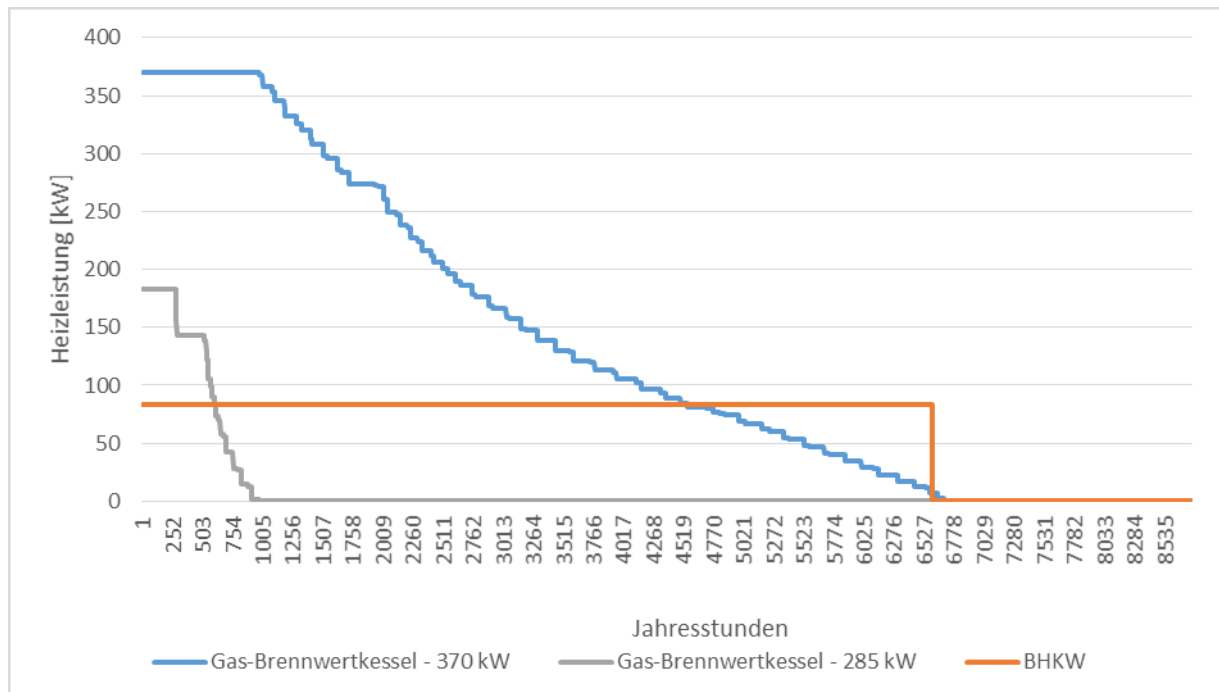


Abbildung 26: Jahresdauerlinien der Wärmeerzeuger

Die Jahresdauerlinien der einzelnen Kessel sind der Abbildung 26 zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass die Maximalleistung im Netz von 636 kW rund 270 Stunden vorliegt. Erkennbar ist dies an der horizontal verlaufenden Teilstrecke des 285 kW Gas-Brennwert-Kessels. Für die Wärmeerzeuger ergibt sich eine Gesamtbetriebszeit von 6.599 Stunden pro Jahr.

Aus dem Lastgang des intermittierenden Netzes ergeben sich bei 7.182 Stunden auftretender Heizlasten, eine erforderliche Wärmemenge von 1.815.840 kWh für die Versorgung des Nahwärmenetzes. Werden die Wärmeverluste der Nahwärmeleitungen von 41.286 kWh/a anteilig berücksichtigt, ergeben sich bei angenommenen thermischen Wirkungsgrad der Gas-Brennwertkessel und des BHKW von 98 % und 57 % eine zugeführte Energiemenge von

Nahwärmenetz

2.122.129 kWh/a erfordert. Dabei werden 1.214.597 kWh/a durch den 370 kW Gas-Brennwertkessel, 106.610 kWh/a durch den 285 kW Gas-Brennwertkessel und 800.922 kWh/a Brennstoff durch das BHKW in thermische Energie umgewandelt und es werden ca. 275.000 kWh/a an elektrischer Energie bereitgestellt.

4.4 Betriebsvariante 2 – Nicht intermittierendes Nahwärmenetz

Diese Betriebsvariante 2 soll den gleichen Verlauf wie das jeweilige intermittierende Netz A oder B vorweisen. Die Änderungen liegen in der Betriebsweise des Netzes. Dies soll mit einer konstanten Temperatur von 65/40 °C betrieben werden. Ein intermittierender Betrieb liegt nicht vor und auf die Installation von dezentralen Pufferspeichern wird rechnerisch verzichtet. Das Leitungsnetz wird nicht wie in der intermittierenden Variante im Bereich von Vor- und Rücklauf unterschiedlich gedämmt, sondern in einfacher Dämmstärke eingeplant. Die Strömungsgeschwindigkeit im Netz soll 2 m/s nicht überschreiten.

Die Netzvariante 2 wird auf den Heizbedarf der jeweiligen Schulen ausgelegt. Der Betrieb der Netzvariante erfolgt ohne Pufferspeicher, ein intermittierender Betrieb ist hier also nicht vorgesehen.

4.4.1 Netz A – Nicht intermittierender Betrieb

4.4.1.1 Auslegung Rohrnetz

Die Betriebsvariante 2 wird auf den Heizbedarf der jeweiligen Schulen ausgelegt. Der Betrieb der Netzvariante erfolgt ohne Pufferspeicher, ein intermittierender Betrieb ist nicht vorgesehen. Die Realschule weist weiterhin die höchste Heizlast auf. Eine Gesamtübersicht der Heizlasten und der Versorgungsleistungen innerhalb der Teilstrecken gibt die Tabelle 15 wieder.

Tabelle 15: Heizlasten je Teilstrecke

Teilstrecke	Heizlast je Gebäude [kW]	max. Heizlast je Teilstrecke [kW]
8	276	276
7	60	60
6	195	195
5	-	531
4	130	130
3	171	171
2	-	301
1	-	832

Aus der Tabelle 15 geht hervor, wie hoch die Leistungen innerhalb der Teilstrecken verteilt sind. Zu beachten ist, dass die Summe der Teilstrecken auf die maximale Heizlast von 832 kW begrenzt ist.

Nachdem die Heizlasten jedes Verbrauchers ermittelt wurden und für die Teilstrecken ebenfalls definierte Heizlasten vorliegen, kann die maximale Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden. Dazu werden die weiteren Parameter wie die Vor- und Rücklaufemperatur mit 65/40 °C angenommen und die Durchmesser der Rohrleitungen entsprechend gewählt, sodass eine Strömungsgeschwindigkeit von maximal 2 m/s entsteht. Für weitere Berechnungen wurden Herstellerspezifische Daten der Firma Rehau verwendet. Aus diesen Daten wurden für die folgenden Berechnungen der Wärmeverluste oder die Druckverluste die Informationen aus dem Herstellerdatenblatt verwendet. Aufgrund des Innendurchmessers der entsprechenden Rohrleitung kann durch Änderung der Rohrnennweite die Strömungsgeschwindigkeit angepasst werden, sodass die Strömungsgeschwindigkeiten den Vorgaben entsprechen. Mit Hilfe dieser Grundlagen haben sich die in Tabelle 16 dargestellten Rohrdurchmesser ergeben.

Tabelle 16: Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken

Teilstrecke	Rohrtyp	DN	d _i [mm]	v [m/s]
1	Uno 90	70	74	1,77
2	Uno 63	50	51	1,42
3	Uno 40	32	33	2
4	Uno 40	32	33	1,52
5	Uno 63	50	51	2,22
6	Uno 50	40	41	1,46
7	Uno 20	20	21	2,27
8	Uno 50	40	41	2,06

Tabelle 16 stellt die berechnete Strömungsgeschwindigkeit Betrieb dar. Um die maximale Strömungsgeschwindigkeit zu erhalten, wurden die Geschwindigkeit in der Rücklaufleitung berechnet und somit die eine Dichte für Wasser bei 40 °C mit 992,21 kg/m³ gewählt.

4.4.1.2 Pumpenauslegung

Zur Auslegung der Pumpleistung wird die maximale Förderhöhe des Systems gewählt. Die Förderhöhe liegt in diesem Fall bei 4,28 m. Mit dieser Angabe den maximal zu fördernden Volumenstrom von 27,58 m³/h kann eine Pumpe ausgewählt werden. Für die folgenden Berechnungen wurde eine Trockenläuferpumpe gewählt, da diese die erhöhten Anforderungen erfüllt. Die folgende Abbildung 27 stellt die Leistungsaufnahme der Pumpe in Relation zur Förderhöhe und dem Volumenstrom dar.

Nahwärmenetz

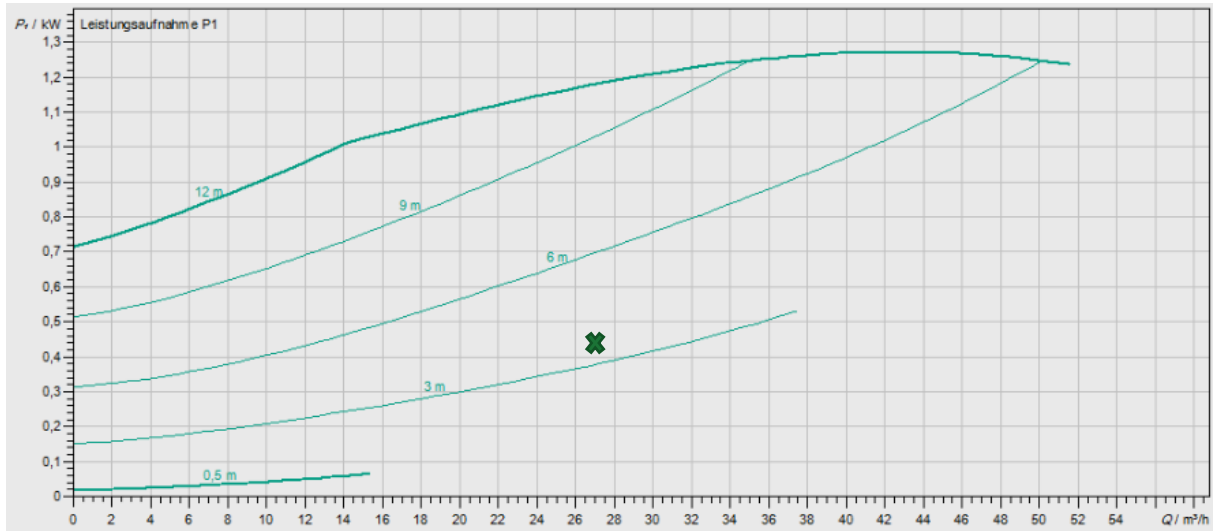


Abbildung 27: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-12/1,2-R1-R1 (Quelle: Wilo)

Im geplanten Bauvorhaben soll die Pumpe Δp -c betrieben werden. Dies bedeutet, dass die Pumpe bei einem Volumenstrom von 27,58 m^3/h die konstante Förderhöhe von 4,28 m hält. Die Energieeinsparungen erfolgen über die Anpassungen des Volumenstroms. Je nach Bedarf variieren dieser und die elektrische Stromaufnahme ebenfalls. Für die weitere Berechnung wurden im beigefügten Excel-Dokument 10 Minuten-Werte des Systems betrachtet. Somit wurden 52.560 Datenpunkte erfasst. Mit Hilfe dieser Datenpunkt ließ sich ein sehr genauer Jahreslastgang der Pumpleistung erstellen. Abbildung 27 stellt den Energiebezug zum Volumenstrom dar.

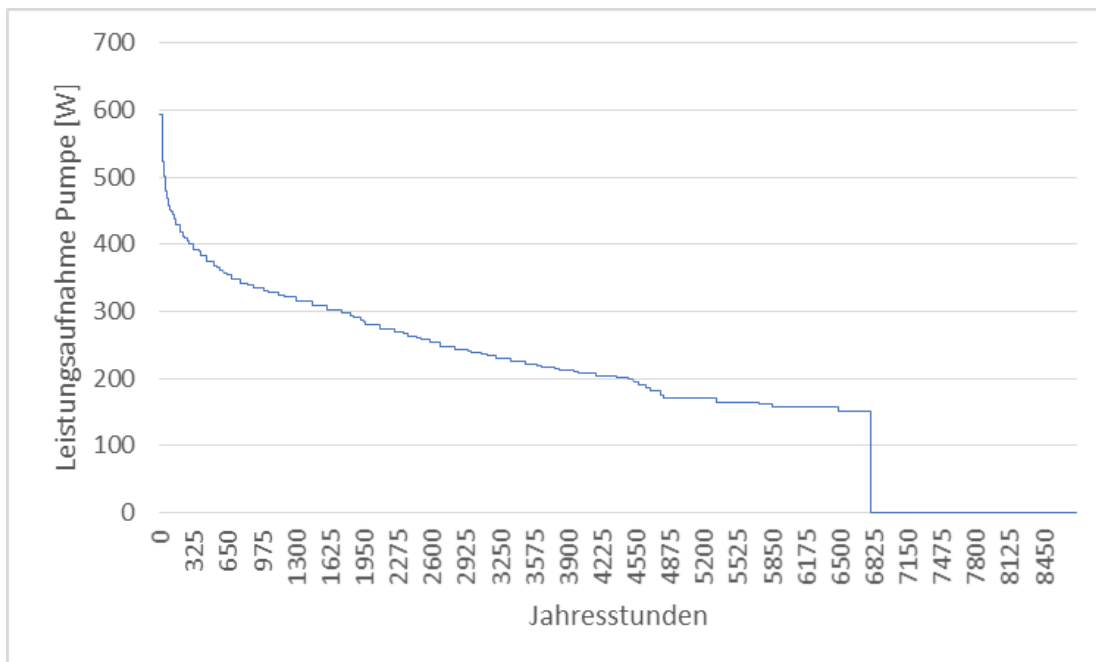


Abbildung 28: Jahreslastgang der Pumpenleistung

Abbildung 28 stellt den Jahreslastgang der Pumpe dar. Bewertet wird dieser über 8.760 Stunden. Zu erkennen ist, dass die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten und somit größte

elektrische Leistungsaufnahme vernachlässigbar gering sind. Diese liegen 67 Stunden im Jahr vor (Leistung größer 450 Watt). Dennoch bleiben diese in der Berechnung berücksichtigt. Die elektrische Stromaufnahme zwischen 150 Watt und 450 Watt liegt für die Pumpe bei der vorliegenden Anlagenkonstellation 5.825 Stunden pro Jahr vor. Somit entsteht eine Gesamtlauzeit der Pumpe von ca. 6.800 h/a. Innerhalb dieses Zeitraumes bezieht die ausgewählte Pumpe eine Energie von 1.662 kWh/a.

4.4.1.3 Wärmeverluste der Nahwärmeleitung

Im Folgenden wird auf den Wärmeverlust der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes eingegangen. Um Aussage über die Wärmeverluste des Rohres treffen zu können, muss die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen, gedämmten Leitungen in Erfahrung gebracht werden. Anhand des Datenblattes des Herstellers wurden die nennweittenspezifischen Daten verwendet (Tabelle 17).

Tabelle 17: Wärmeverluste je Rohrstrecke

TS	Rohrleitung	Temperatur [°C]	Rohrtyp	U-Wert [W/mK]	Wärmeverlust [W/m]
1	Vorlauf	65	UNO 90/162	0,206	12,57
	Rücklauf	40	UNO 90/162	0,206	7,42
2	Vorlauf	65	UNO 63/126	0,17	10,37
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,17	6,12
3	Vorlauf	65	UNO 40/91	0,151	9,21
	Rücklauf	40	UNO 40/91	0,151	5,44
4	Vorlauf	65	UNO 40/91	0,151	9,21
	Rücklauf	40	UNO 40/91	0,151	5,44
5	Vorlauf	65	UNO 63/126	0,17	10,37
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,17	6,12
6	Vorlauf	65	UNO 50/111	0,155	9,46
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
7	Vorlauf	80	UNO 25/91	0,169	7,52
	Rücklauf	40	UNO 25/91	0,169	3,56
8	Vorlauf	65	UNO 50/111	0,155	9,46
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58

Da zur Wärmeverlustberechnungen alle Rohrstrecken berücksichtigt werden, müssen und in den Rohren (Vor- und Rücklauf) unterschiedliche Temperaturen betrieben werden, soll Tabelle 17 einen Überblick über die maximalen Wärmeverluste je Rohrleitung geben. Zur Berechnungsgrundlage wurde die kälteste Bodentemperatur von 4 °C in einem Meter Tiefe am Flug-

Nahwärmenetz

hafen Münster Osnabrück aus Daten des Deutschen Wetterdienstes gewählt. Insgesamt werden maximale Wärmeverluste von 12,57 W/m ermittelt. Die folgende Abbildung 29 zeigt die Temperaturschwankungen im Vor- bzw. Rücklauf im Netz.

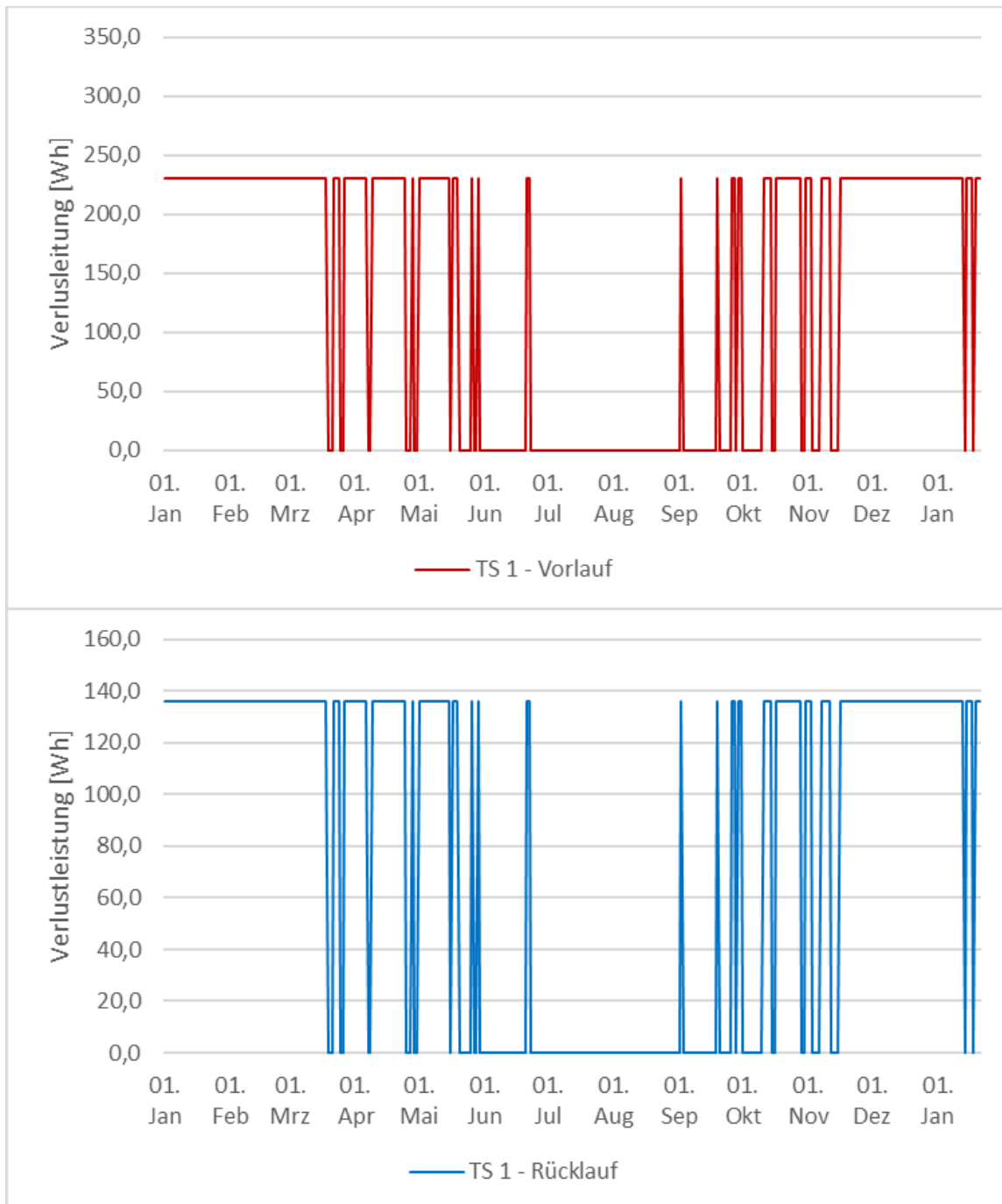


Abbildung 29: Wärmeverlust der Rohleitungen in TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten

Die Abbildung 29 stellt den Wärmeverlust der Leitungen über ein Jahr dar. Aus dem Verlauf der Kurven kann der Gesamtverlust dieser Rohrstrecke definiert werden. Zu erkennen ist eine schwankende Temperatur im Vorlauf zwischen April und Juni sowie September und November. Da die Erdreichtemperatur konstant mit 4°C angenommen wurde, sind entsprechende Leitungstemperaturen ersichtlich. Demgegenüber hält die Rücklaufleitung von Januar bis März

eine nahezu konstante Temperatur. Da an diesem Zeitraum der maximale Wärmeverlust vorliegt, kann von einer Rücklaufemperatur mit 40 °C ausgegangen werden. Zur Übersicht wurde nur die Teilstrecke 1 visuell dargestellt. Die weiteren Teilstrecken würden einen ähnlichen Verlauf mit andern Verlustleistungen vorweisen. Insgesamt kann über diese Werte ein Jahresverlust von 45.488 kWh ermittelt werden.

4.4.1.4 Installation des Kessels

Damit das gesamte Heizungsnetz auch mit entsprechender Wärme versorgt werden kann, wird im nächsten Schritt auf die Wärmeerzeugung im Kesselhaus eingegangen. Beim Standort der Heizzentrale am Parkplatz Bürgerpark ist der Betrieb der Wärmeerzeuger des Nahwärmenetzes mit Holzhackschnitzeln als Brennstoff vorgesehen. Bei der Auslegung der Heizkessel wird der Lastgang des nicht intermittierenden Betriebes an Teilstück 1 des Nahwärmenetzes betrachtet und nach der maximal anfallenden Heizlast ausgelegt. Die maximal auftretende Heizlast liegt in diesem Fall bei 832 kW.

Das Anlagenkonzept sieht einen Grundlast Biomassekessel mit einer Nennleistung von 540 kW und einen Biomethan-Spitzenlastkessel mit 285 kW vor, welcher auch die Heizlasten abdeckt die unter der kleinsten 30%-Modulationsstufe des Grundlastkessels von 162 kW liegen. Bei Heizlasten über 540 kW sind entsprechend beide Kessel im Einsatz. Der Biomethan-Spitzenlastkessel ist der mit Biomethan weiterbetriebene Gas-Brennwertkessel des Gymnasiums. Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt den Lastgang der Heizungsanlagen über ein Jahr.

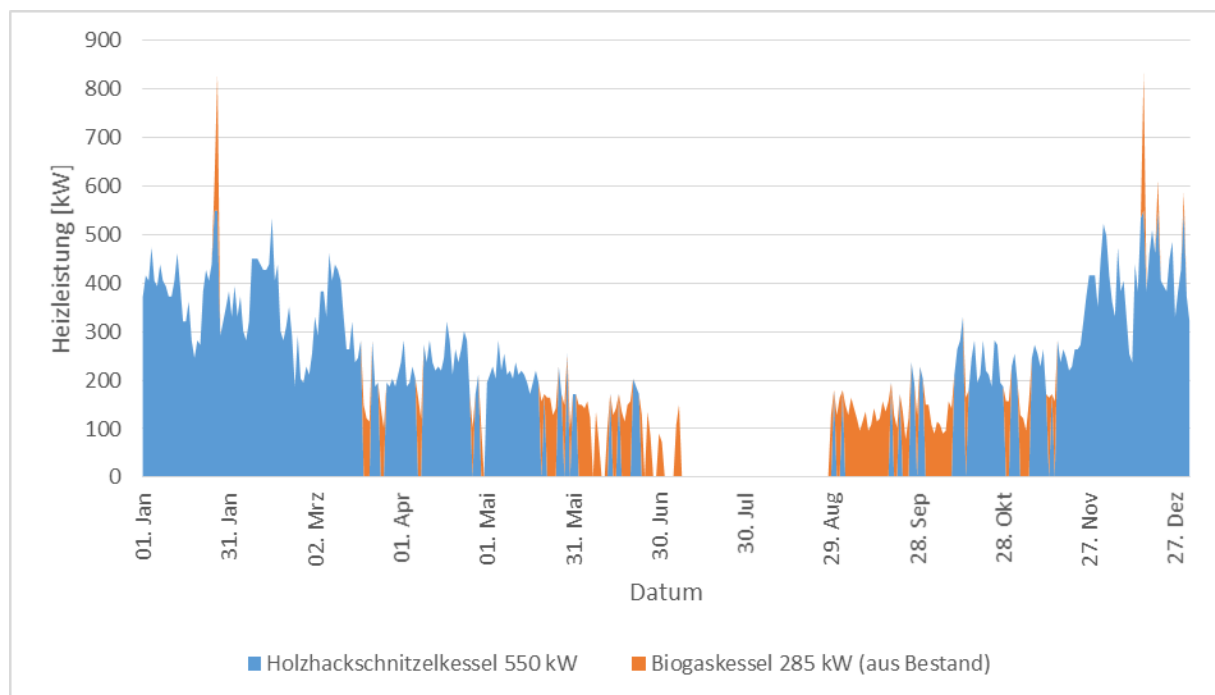


Abbildung 30: Lastgang der Heizungsanlagen

Abbildung 30 bezieht sich auf den berechneten Verlauf der Heizungsanlagen zur Deckung der Heizlasten im Netz. Der blaue Verlauf entspricht dem Lastgang des 550 kW Holzhackschnitzelkessels. Die Modulationsbereiche unter 165 kW werden vom 285 kW Biomethankessel gedeckt, was am um den 6. Oktober am orangenen Verlauf zu erkennen ist. Zu Spitzenlastzeiten wird der 285 kW Kessel ebenfalls genutzt, was unter anderem an den Lastspitzen um den 29. Januar zu erkennen ist. Aus der Abbildung 30 ist auch die Sommerferienzeit gut zu erkennen. In diesem Zeitraum ist die Heizungsanlage abgeschaltet.

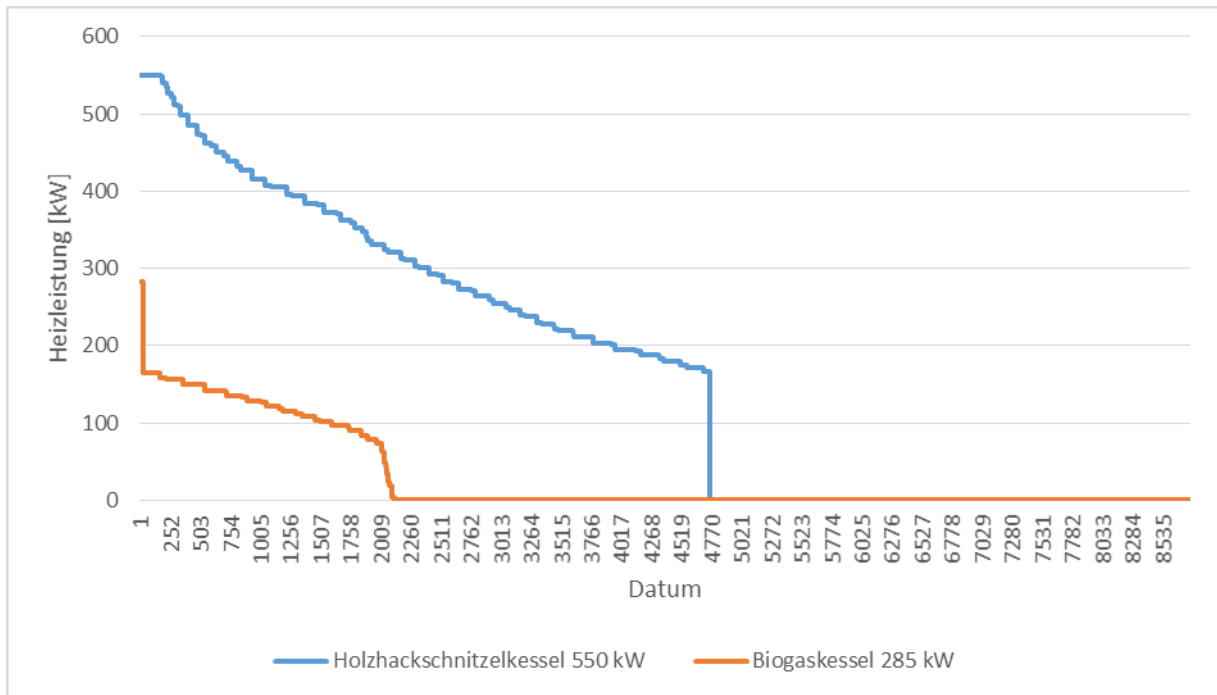


Abbildung 31: Jahresdauerlinien der Heizkessel

Die Jahresdauerlinien der einzelnen Kessel sind der Abbildung 31 zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass die Spitzenlast im Netz von 832 kW rund 26 Stunden vorliegt. Erkennbar ist dies an der horizontal verlaufenden Teilstrecke je Ganglinie des Biogaskessels. In Summe bilden diese die Spitzenlast. Der 550 kW Kessel stellt 4.760 Stunden pro Jahr Energie zur Abdeckung von unterschiedlichen Heizlasten zwischen 165 und 550 kW zur Verfügung. Von dem Biomethan-Spitzenlastkessel werden Heizlasten in 2.124 Stunden pro Jahr, Heizlasten unter 165 kW und über 550 kW mit abgedeckt. Dabei ergibt sich eine erforderliche Wärmemenge von 1.770.495 kWh für die Versorgung des Nahwärmenetzes.

Dazu werden durch den 550 kW Grundlastkessel 1.512.394 kWh/a und durch den 285 kW Biomethankessel 258.100 kWh/a zur Verfügung gestellt. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad des Biomassekessels von 94 % und des Biomethankessels von 98 %, ergibt sich unter der anteiligen Berücksichtigung der Wärmeverluste des Rohrnetzes von 45.488 kWh/a ein Energiebedarf an Biomethan von 270.026 kWh/a und 1.553.583 kWh/a an Holzhackschnitzeln, also insgesamt ein Energiebedarf von 1.823.609 kWh/a.

4.4.2 Netz B – Nicht intermittierender Betrieb

4.4.2.1 Auslegung Rohrnetz

Die Netzvariante B wird auf den Heizbedarf der jeweiligen Schulen ausgelegt. Der Betrieb der Netzvariante erfolgt ohne Pufferspeicher, ein intermittierender Betrieb ist nicht vorgesehen. Die Realschule weist auch hier die höchste Heizlast auf. Eine Gesamtübersicht der Heizlasten und der Versorgungsleistungen innerhalb der Teilstrecken gibt Tabelle 18 wieder.

Tabelle 18: Heizlasten je Teilstrecke

Teilstrecke	Heizlast je Gebäude [kW]	max. Heizlast je Teilstrecke [kW]
8	276	276
7	60	60
6	195	195
5	-	531
4	171	171
3	-	752
2	130	130
1	-	832

Aus der Tabelle 18 geht hervor, wie die Leistungen innerhalb der Teilstrecken verteilt sind. Zu beachten ist, dass die Summe der Teilstrecken auf die maximale Heizlast von 832 kW begrenzt ist.

Nachdem die Heizlasten jeder Verbraucher ermittelt wurden und die Teilstrecken ebenfalls eine definierte Heizlast vorliegen, kann eine maximale Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden. Dazu werden die weiteren Parameter wie die Vor- und Rücklauftemperatur mit 65/40 °C angenommen und die Durchmesser der Rohrleitungen entsprechend gewählt, so dass eine Strömungsgeschwindigkeit von maximal 2 m/s entsteht.

Für weitere Berechnungen wurden Herstellerspezifische Daten der Firma Rehau verwendet. Aus diesen Daten wurden für die folgenden Berechnungen wie z. B die Wärmeverluste oder die Druckverluste die Informationen aus dem Herstellerdatenblatt verwendet. Aufgrund des Innendurchmessers der entsprechenden Rohrleitung kann durch Änderung der Rohrnennweite die Strömungsgeschwindigkeit angepasst werden, sodass die Strömungsgeschwindigkeiten den Vorgaben entsprechen. Mit Hilfe dieser Grundlagen haben sich die folgenden Rohrdurchmesser ergeben (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Strömungsgeschwindigkeiten in den Teilstrecken

Teilstrecke	Rohrtyp	DN	d _i [mm]	v [m/s]
1	Uno 90	70	74	1,77
2	Uno 50	40	41	2,25
3	Uno 40	32	33	2,0
4	Uno 40	32	33	1,52
5	Uno 75	60	61	1,55
6	Uno 50	40	41	1,46
7	Uno 20	20	21	2,27
8	Uno 63	50	51	1,3

Tabelle 19 stellt die berechnete Strömungsgeschwindigkeit im nicht intermittierenden Betrieb ohne Pufferspeicher dar. Dabei wurden die Daten in Formel [3.3] Seite 23 eingefügt.

4.4.2 Pumpenauslegung

Zur Auslegung der Pumpleistung wird die maximale Förderhöhe des Systems ermittelt. Diese liegt in diesem Fall bei 3,19 m. Mit dieser Angabe und dem maximal zu fördernden Volumenstrom von 29,72 m³/h kann eine Pumpe ausgewählt werden. Für die folgenden Berechnungen wurde eine Trockenläuferpumpe gewählt, da diese die erhöhten Anforderungen erfüllt. Die folgende Abbildung 32 stellt die Leistungsaufnahme der Pumpe in Relation zur Förderhöhe und dem Volumenstrom dar.

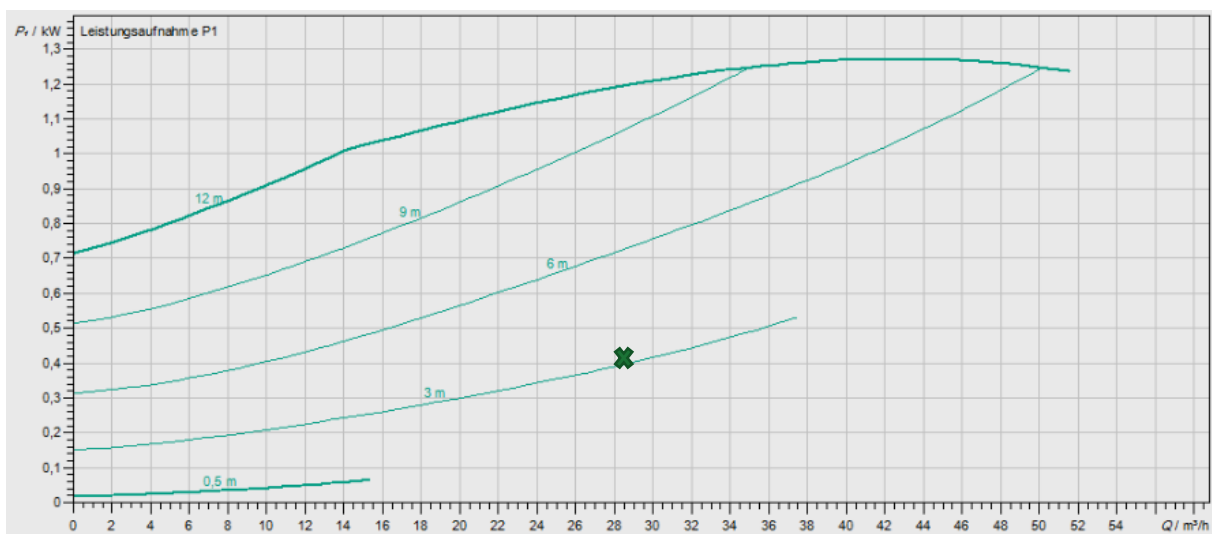


Abbildung 32: P/Q Pumpenkennlinie der Stratos GIGA B 50/1-12/1,2-R1-R1

Abbildung 32 stellt den Energiebezug zum Volumenstrom dar. Im geplanten Bauvorhaben soll die Pumpe Δp -c betrieben werden. Dies bedeutet, dass die Pumpe die konstante Förderhöhe von 3,19 m erreicht. Die Energieeinsparungen erfolgen über die Anpassungen des Volumenstroms. Je nach Bedarf variieren dieser und die elektrische Stromaufnahme ebenfalls. Für die weitere Berechnung wurden 10 Minuten-Werte des Systems betrachtet. Somit wurden 52.560 Datenpunkte erfasst. Mit Hilfe dieser Datenpunkt ließ sich ein genauer Jahreslastgang der Pumpleistung erstellen.

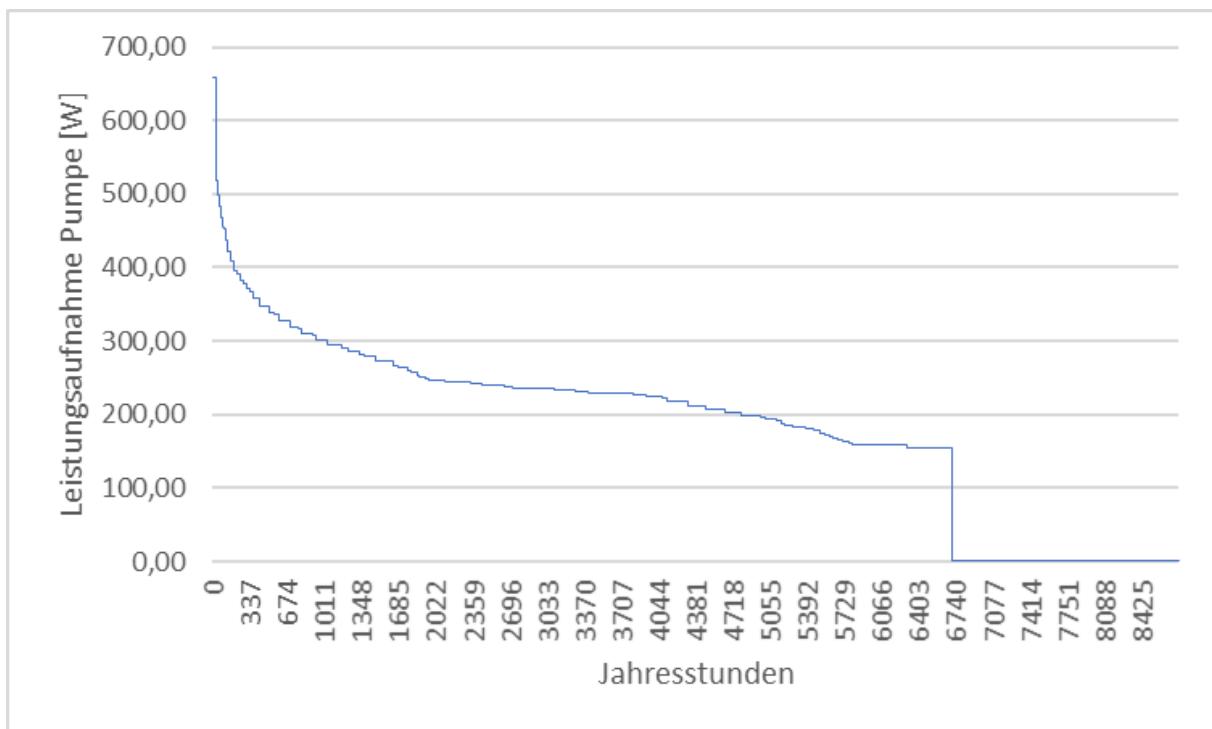


Abbildung 33: Jahreslastgang der Pumpenleistung

Abbildung 33 stellt den Jahreslastgang der Pumpe dar. Bewertet wird dieser über 8.760 Jahresstunden. Die elektrische Stromaufnahme liegt während der jährlichen Betriebszeit von 6.705 Stunden zwischen 658 Watt und 155 Watt. Innerhalb dieses Zeitraumes bezieht die ausgewählte Pumpe eine elektrische Leistung von 1.468 kWh/a.

4.4.2.3 Wärmeverluste der Nahwärmeleitung

Im Folgenden wird auf den Wärmeverlust der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes eingegangen. Um Aussage über die Wärmeverluste des Rohres treffen zu können, muss die Wärmeleitfähigkeit der einzelnen, fertig gedämmten Leitungen in Erfahrung gebracht werden. Anhand

des Datenblattes des Herstellers wurden die nennweittenspezifischen Daten verwendet (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Wärmeverluste je Rohrstrücke

TS	Rohrleitung	Temperatur [°C]	Rohrtyp	Wärmeleitfähigkeit [λ]	Wärmeverlust [W/m]
1	Vorlauf	65	UNO 90/162	0,206	12,57
	Rücklauf	40	UNO 90/162	0,206	7,42
2	Vorlauf	65	UNO 50/111	0,155	9,46
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
3	Vorlauf	65	UNO 40/91	0,151	9,21
	Rücklauf	40	UNO 40/91	0,151	5,44
4	Vorlauf	65	UNO 40/91	0,151	9,21
	Rücklauf	40	UNO 40/91	0,151	5,44
5	Vorlauf	65	UNO 75/162	0,162	9,88
	Rücklauf	40	UNO 75/162	0,162	5,83
6	Vorlauf	65	UNO 50/111	0,155	9,46
	Rücklauf	40	UNO 50/111	0,155	5,58
7	Vorlauf	65	UNO 25/91	0,169	7,52
	Rücklauf	40	UNO 25/91	0,169	3,56
8	Vorlauf	65	UNO 63/126	0,17	10,37
	Rücklauf	40	UNO 63/126	0,17	6,12

Da zur Wärmeverlustberechnungen alle Rohrstrücken berücksichtigt werden müssen und in den Rohren (Vor- und Rücklauf) andere Temperaturen betrieben werden, soll Tabelle 20 einen Überblick über die maximalen Wärmeverluste je Rohrleitung geben. Zur Berechnungsgrundlage wurde die kälteste Bodentemperatur von 4 °C in einem Meter Tiefe am Flughafen Münster Osnabrück aus Daten des Deutschen Wetterdienstes gewählt. Für Vor- und Rücklauf werden Leitungen mit gleicher Nennweite demselben U-Wert verwendet, da die Temperaturspreizung bei einer Vorlauftemperatur von 65 °C geringer ausfällt als beim intermittierenden Netz. Insgesamt werden maximale Wärmeverluste von 12,57 W/m ermittelt.

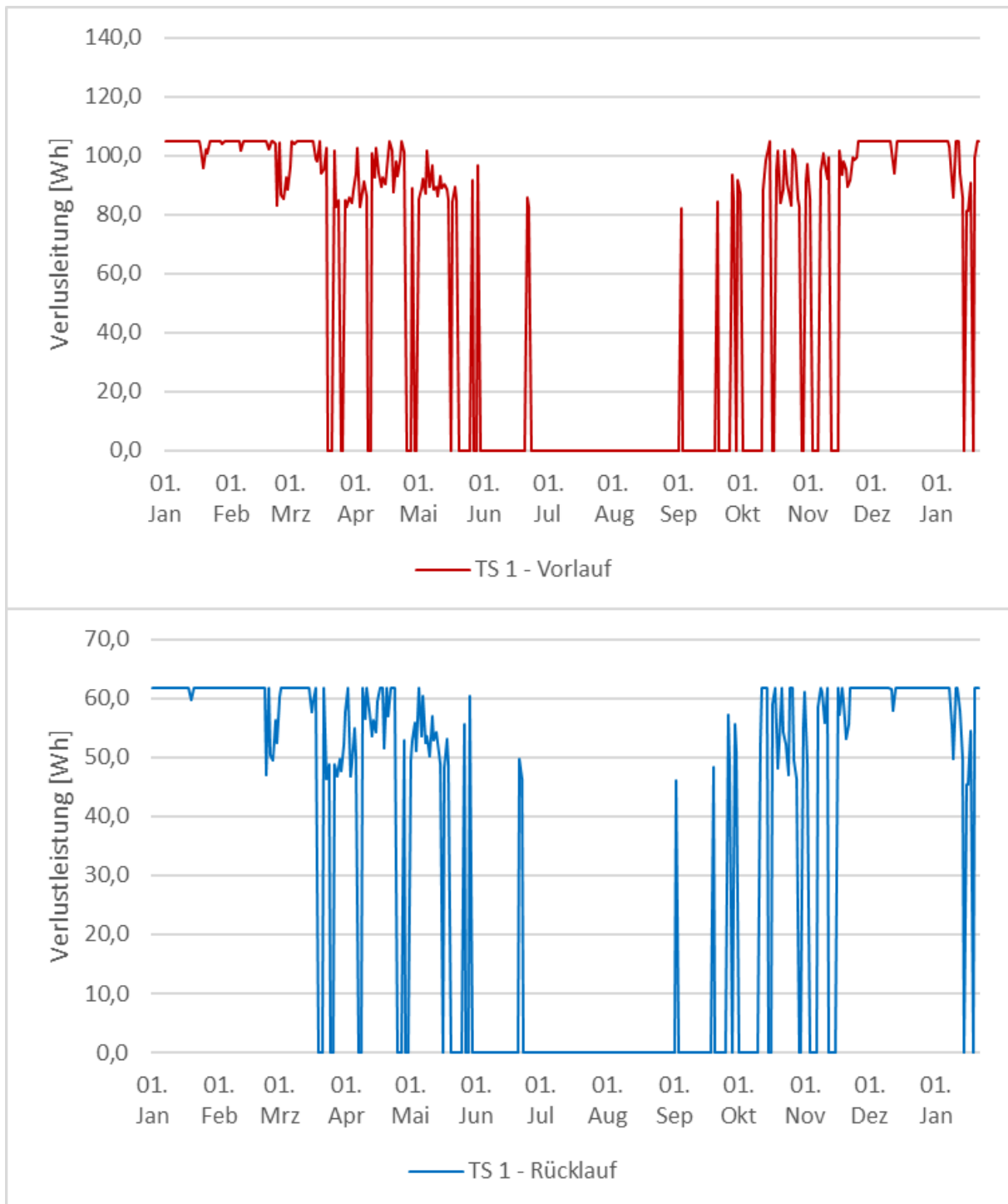


Abbildung 34: Wärmeverlust der Rohleitungen in TS 1; Vorlauf oben, Rücklauf unten

Die Abbildung 34 stellt den Wärmeverlust der Leitungen über ein Jahr dar. Aus dem Verlauf der Kurven kann der Gesamtverlust dieser Rohrstrecke definiert werden. Zu erkennen ist die schwankende Temperatur im Vorlauf. Da die Erdreichtemperatur konstant mit 4 °C angenommen wird, sind entsprechende Leitungstemperaturen ersichtlich. Demgegenüber hält die Rücklaufleitung von Januar bis März eine nahezu konstante Temperatur. Da an diesem Zeitraum der maximale Wärmeverlust vorliegt, kann von einer Rücklaufmittemperatur mit 40 °C ausgegangen werden. Zur Übersicht wurde nur die Teilstrecke 1 visuell dargestellt. Die weiteren

Teilstrecken würden einen ähnlichen Verlauf mit andern Verlustleistungen vorweisen. Insgesamt kann über diese Werte ein Jahresverlust von 37.366 kWh ermittelt werden.

4.4.2.4 Installation des Kessels

Damit das gesamte Heizungsnetz auch mit entsprechender Wärme versorgt werden kann, wird im nächsten Schritt auf die Wärmeerzeugung im Kesselhaus eingegangen. Beim Standort der Heizzentrale am Joseph-Haydn-Gymnasium ist der Betrieb der Wärmeerzeuger des Nahwärmenetzes mit dem Brennstoff Biomethan vorgesehen. Bei der Auslegung der Heizkessel wird der Lastgang des nicht intermittierenden Betriebes an Teilstück 1 des Nahwärmenetzes betrachtet und nach der maximal anfallenden Heizlast ausgelegt. Die maximal auftretende Heizlast liegt in diesem Fall bei 832 kW.

Da für das Anlagenkonzept neben einem 83 kW Biomethan-BHKW im Grundlastbetrieb auch der Weiterbetrieb des bestehenden 285 kW Gas-Brennwertkessels mit dem Baujahr 2014 mit Biomethan angenommen wird, wird der neu zu installierende Gas-Heizungskessel mit einer Nennwärmeleistung von 480 kW ausgelegt. Das BHKW wird mit einer thermischen Leistung von 83 kW kommt bei dem ermittelten Lastprofil und einer nicht modulierenden Betriebsweise auf 6.611 jährliche Vollnutzungsstunden.

Dabei werden die drei Wärmeerzeuger so betrieben, dass das Blockheizkraftwerk bei geringen Heizlasten als letztes abschaltet. Der 480 kW Gas-Brennwertkessel übernimmt zusammen mit dem BHKW die Abdeckung der anfallenden Heizlasten. Wenn deren Nennleistung nicht mehr ausreicht, schaltet sich der 285 kW Gas-Brennwertkessel als Spitzenlastkessel hinzu.

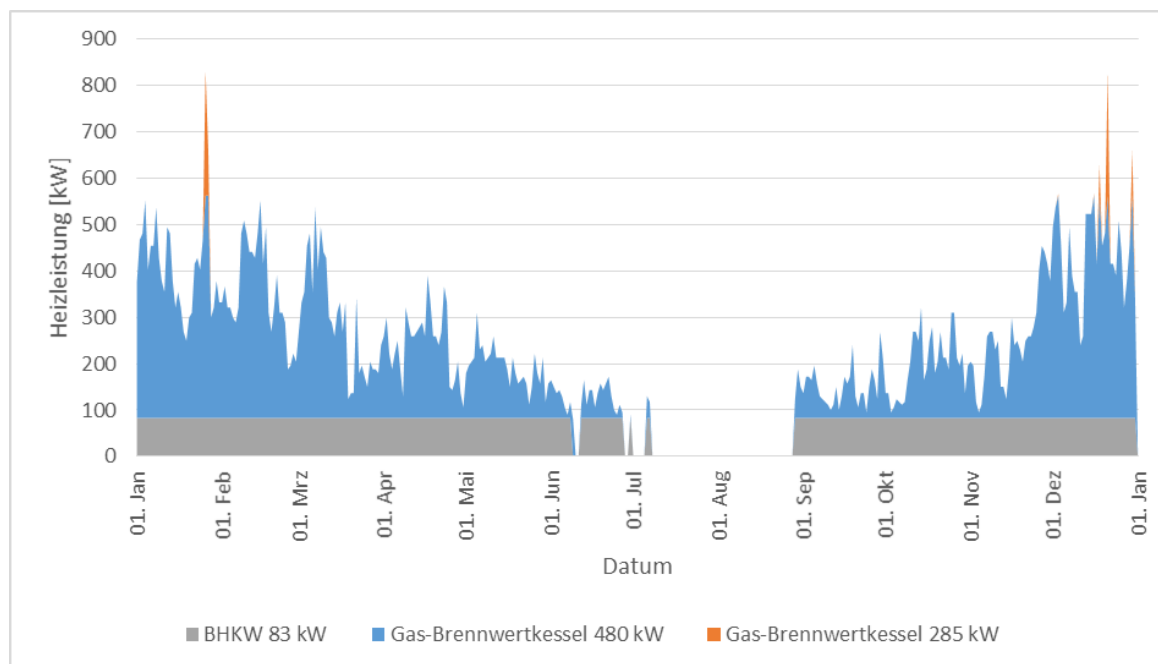


Abbildung 35: Lastgang der Heizkessel – Netz B nicht intermittierend

Nahwärmenetz

Abbildung 35 stellt den berechneten Verlauf der Heizungsanlagen zur Deckung der Heizlasten im Netz dar. Der blaue Verlauf entspricht dem Lastgang des großen Heizkessels mit 480 kW. Daran ist der Modulationsbereich deutlich zu erkennen. Innerhalb der Heizperiode treten häufiger Heizlasten im Spitzenlastbereich auf, welche durch alle vorhandenen Wärmeerzeuger gemeinsam abgedeckt werden müssen. Dies ist zum Beispiel Ende Januar der Fall. Aus der Abbildung 35 ist auch die Sommerferienzeit gut zu erkennen. In diesem Zeitraum ist die Heizungsanlage abgeschaltet.

Um eine Aussage über die Laufzeiten der Heizungsanlagen treffen zu können, wurde mit Hilfe des Lastgangs in Abbildung 36 eine Jahresdauerlinie erzeugt.

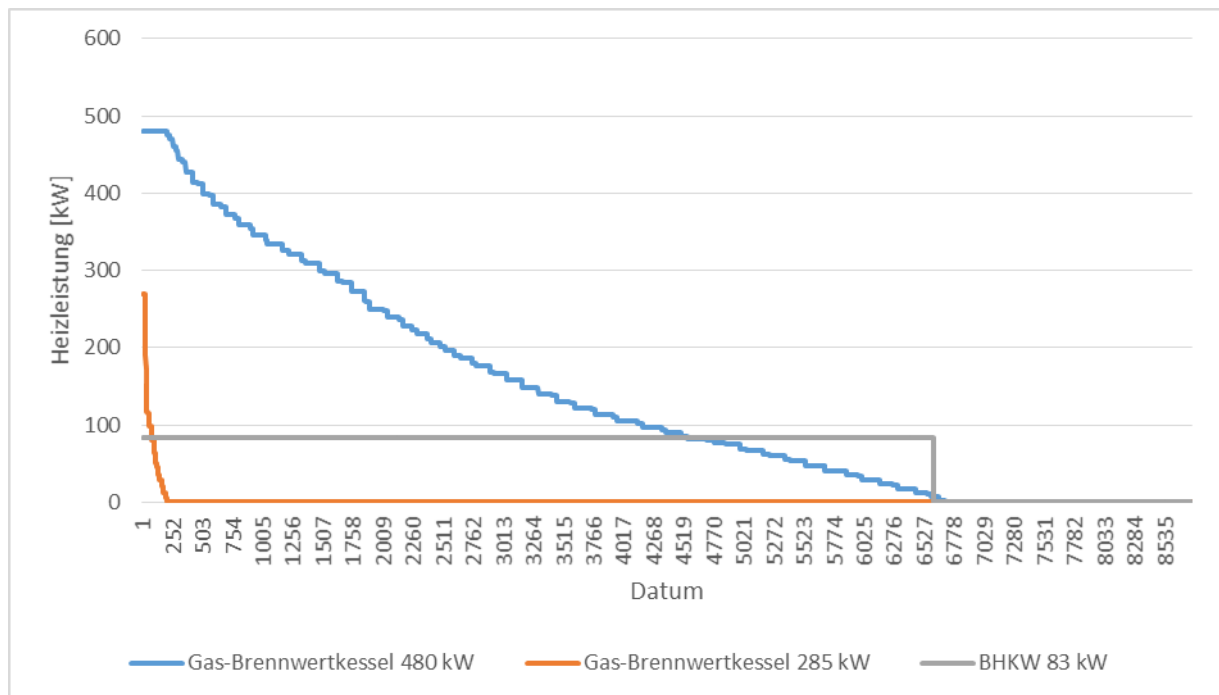


Abbildung 36: Jahresdauerlinien der Wärmeerzeuger

Die Jahresdauerlinien der einzelnen Kessel sind der Abbildung 36 zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass die Maximalleistung im Netz von 832 kW rund 26 Stunden vorliegt. Das BHKW erreicht 6.611 jährliche Volllaststunden. Der 285 kW Kessel und der 480 kW Kessel werden jährlich 200 und 6.706 Stunden bei unterschiedlicher Last betrieben.

Insgesamt erfolgt durch die Berücksichtigung aller Werte eine notwendige Energiebereitstellung an das Netz von 1.769.480 kWh im Jahr. Dabei werden 1.202.836 kWh/a durch den 480 kW Kessel, 17.917 kWh/a durch den 285 kW Kessel und 548.726 kWh/a durch das BHKW bereitgestellt.

Werden die Wärmeverluste der Nahwärmeleitungen von 36.924 kWh/a anteilig auf die Wärmeerzeuger verteilt, ergeben sich bei angenommenen thermischen Wirkungsgrad der Gas-Brennwertkessel und des BHKW von 98 % und 57 % eine zugeführte Energiemenge von

Nahwärmenetz

2.048.297 kWh/a, welche sich in Anteile von 1.228.744 kWh/a (480 kW Kessel), 18.303 kWh/a (285 kW Kessel) und 801.249 kWh/a (BHKW) aufteilen. Dabei werden durch das BHKW ca. 276.000 kWh an elektrischer Energie bereitgestellt.

4.5 Zusammenfassung / Gegenüberstellung der Netze

Im Vergleich zwischen der intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweise zeigt sich, dass im Gegensatz zur intermittierenden Betriebsweise die Regelungstechnik der nicht intermittierenden Betriebsvariante weniger aufwändig ist. Die Pumpen können durch die größeren Nennweiten der Rohre und den damit verbundenen geringeren Reibungs- und Druckverlusten über die Rohre deutlich kleiner dimensioniert werden. Die größeren Nennweiten der Rohre führen gleichzeitig zu höheren Materialkosten und über die größere Rohroberfläche zu höheren Anforderungen an die Rohrdämmung.

Der Heizenergiebedarf der dezentralen Wärmeerzeuger wird aus dem Energiebedarf der an das Nahwärmenetz angeschlossenen Gebäude ermittelt. Dieser ergibt sich aus dem Wärmebedarf des Nahwärmenetzes, abzüglich des Wärmeverlusts der Rohrleitungen des Netzes sowie ohne Berücksichtigung des Energiebedarfs der Heizungspumpen des Nahwärmenetzes. Da es sich bei den dezentralen Bestandskesseln innerhalb der ans Nahwärmenetz anzuschließenden Gebäude überwiegend um mit einem Alter über 20 Jahren handelt, wird bei der Ermittlung des Wärmebedarfs ein altersbedingter Aufschlag des Wärmebedarfs von 10 % aufgrund von Wärmestrahlungsverlusten der Kessel, Überdimensionierungen, fehlender oder schlechter Dämmung und nicht optimal eingeregelter Anlagenhydraulik, berücksichtigt. Damit ergibt sich ein Energiebedarf der dezentralen Bestandskessel zur Deckung des Wärmebedarfs der Gebäude von 1.928.400 kWh/a.

Der für den Netzbetrieb erforderliche, elektrische Energiebedarf der Pumpen sowie der für den Ausgleich der thermischen Netzverluste erforderliche thermische Energiebedarf für Netz A, mit dem Wärmeerzeuger am Parkplatz Bürgerpark und dessen Betriebsvarianten, sind in Abbildung 37 dargestellt.

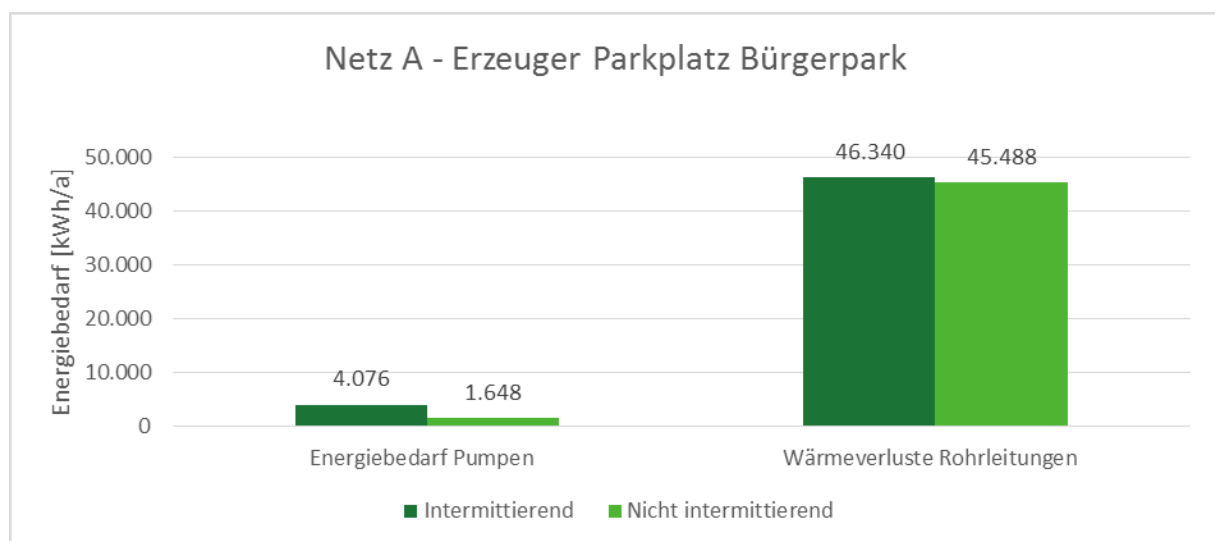


Abbildung 37 - Energiebedarf Nahwärmenetz A – Heizzentrale Bürgerpark

Nahwärmenetz

Aus Abbildung 37 geht hervor, dass für den intermittierenden Betrieb des Netzes, der Energiebedarf der Pumpen mit 4.076 kWh/a, deutlich über dem Energiebedarf des nicht intermittierenden Netzes mit 1.648 kWh/a liegt. Dieses begründet sich aus den durch den gegenüber dem nicht intermittierenden Netz geringeren Rohrnennweiten und den daraus resultierenden, größeren Förderhöhen und Volumenströme der Umwälzpumpen. Durch die höheren Vorlauftemperaturen von 80 °C des intermittierenden Netzes, ergeben sich mit 46.340 kWh/a etwas höhere Wärmeverluste über die Rohrleitungen als im nicht intermittierenden Netz, welches mit 65 °C Vorlauftemperatur betrieben wird. Die geringeren Nennweiten des intermittierenden Netzes gegenüber dem nicht intermittierenden Netz haben in diesem Fall einen geringeren Einfluss auf die Wärmeverluste als die Vorlauftemperaturen.

Bei Netz B, welches die Wärmeerzeuger am Joseph-Haydn-Gymnasium platziert, ergeben sich bei dem elektrischen Energiebedarf der Pumpen von 1.468 kWh/a beim nicht intermittierenden Netzbetrieb geringere Einsparungen gegenüber Netz A, bedingt durch das 55 m kürzere Rohrnetz. Beim intermittierenden Betrieb ergeben sich mit 3.910 kWh/a ebenfalls geringe Einsparungen gegenüber Netz A. Die Rohrwärmeverluste der intermittierenden Betriebsvariante in Netz B liegen mit 41.286 kWh/a ca.12 % unter denen von Netz A und die der nicht intermittierenden Betriebsvariante mit 37.366 kWh/a ca. 22 % unter denen von Netz A (Abbildung 38).

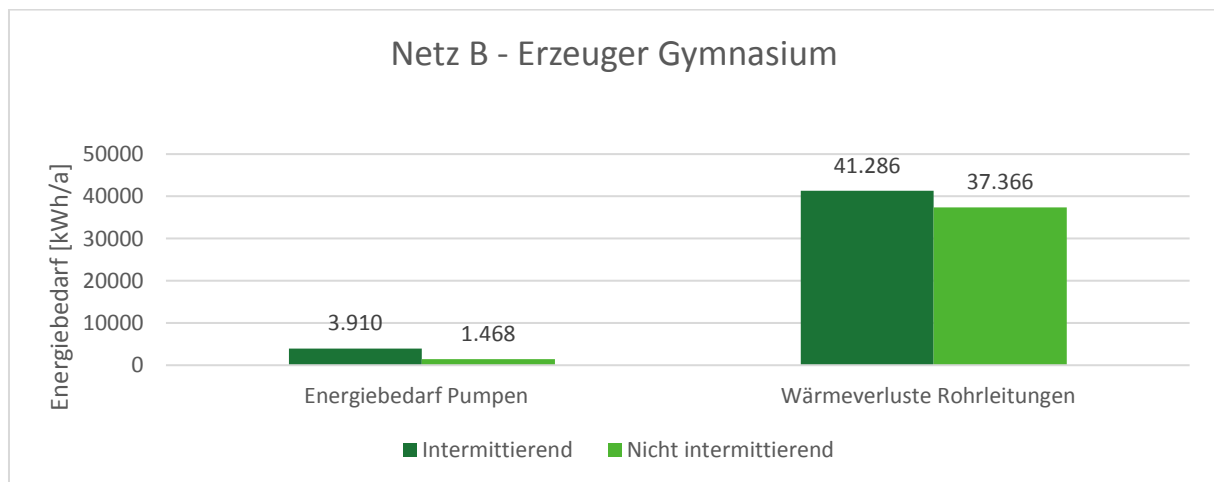


Abbildung 38 - Energiebedarf Nahwärmenetz B – Heizzentrale Gymnasium

In der direkten Gegenüberstellung des kombinierten Energiebedarfs für Pumpen und Ausgleich der Rohrwärmeverluste, ergeben sich für die intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweisen in Netz A und Netz B die in Abbildung 39 und Abbildung 40 dargestellten Werte.

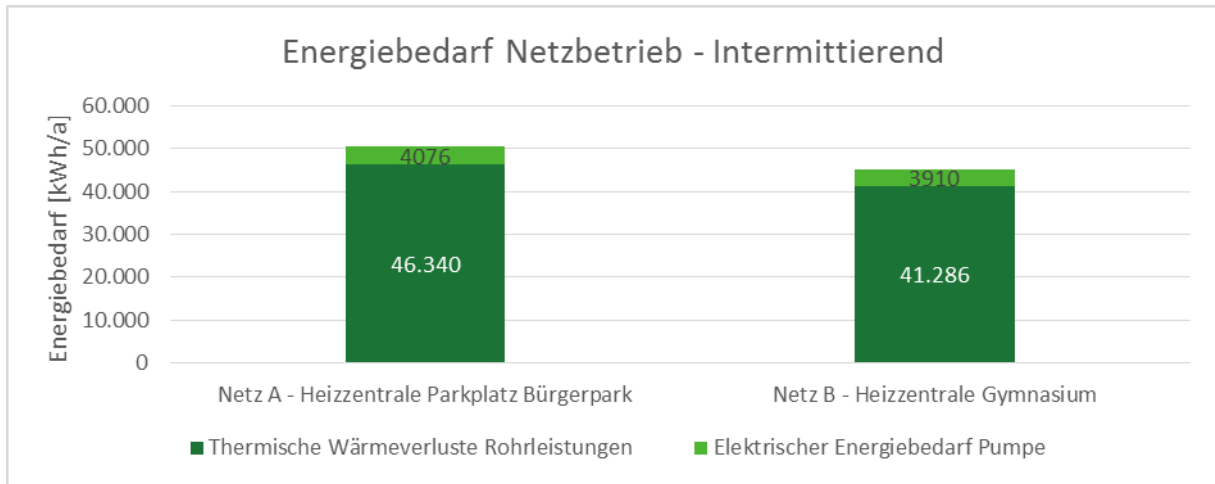


Abbildung 39 - Energiebedarf Netzbetrieb Netz A

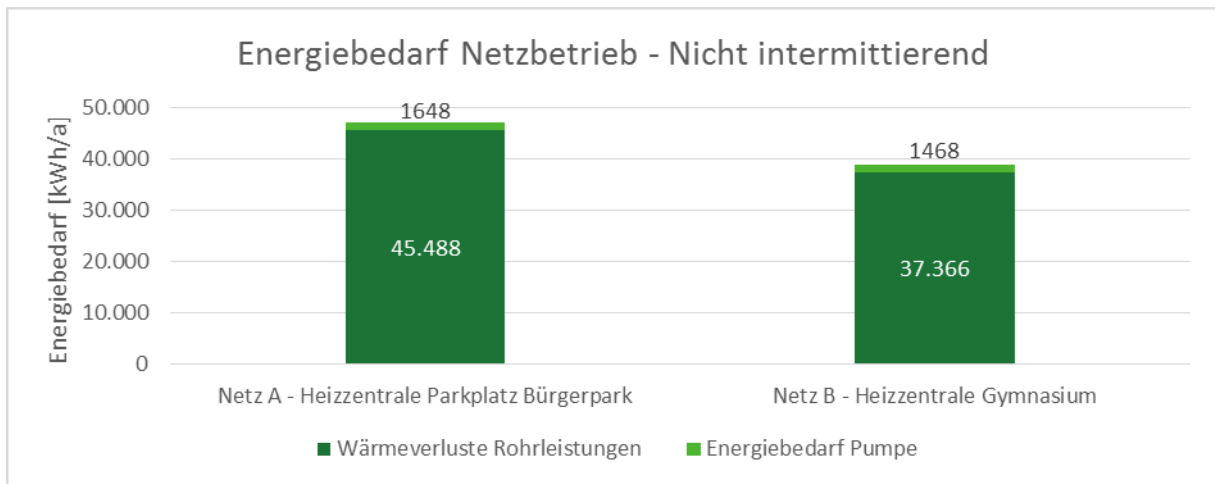


Abbildung 40 - Energiebedarf Netzbetrieb Netz B

In Abbildung 39 und Abbildung 40 lässt sich erkennen, dass im Gesamtvergleich des Energiebedarfs der Netze und Betriebsarten die nicht intermittierende Betriebsvariante in Netz A und Netz B jeweils den geringeren Energiebedarf aufweisen. In Netz A liegt der Energiebedarf der nicht intermittierenden Betriebsweise ca. 7 % unter dem der intermittierenden Betriebsweise und in Netz B liegt der Energiebedarf der nicht intermittierenden Betriebsweise ca. 16 % unter der intermittierenden Betriebsweise.

Der Wärmebedarf der verschiedenen Netze und Netzbetriebsarten ist in Abbildung 41 ohne Netzverluste und wirkungsgradbedingte Verluste der Wärmeerzeuger dargestellt.

Nahwärmenetz

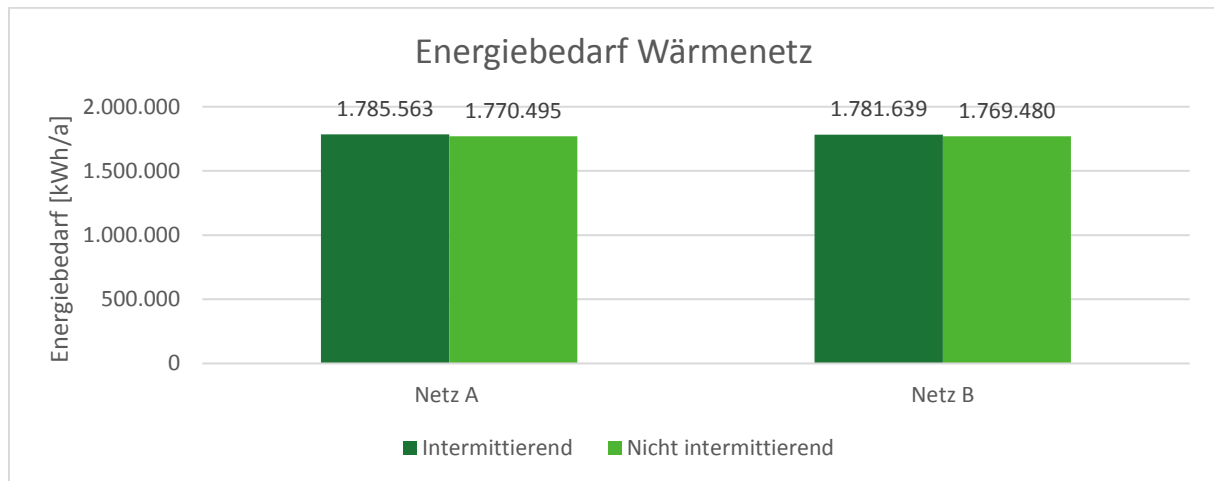


Abbildung 41 - Energiebedarf Nahwärmenetz ohne Netz und Anlagenverlusten

Der etwas geringere Energiebedarf des kürzeren Netzes B ist durch die geringere Leitungslänge und die damit geringeren Wärmeverluste bedingt. Damit liegen der Energiebedarf von Netz B in der intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweise unter dem jeweiligen Energiebedarf von Netz A.

In Abbildung 42 sind durch das BHKW bereitgestellten thermischen und elektrischen Energiemengen dargestellt. Das BHKW hat einen Gesamtwirkungsgrad von 91,5 %, der thermische Wirkungsgrad liegt bei 57 % und der elektrische Wirkungsgrad bei 34,5 %.

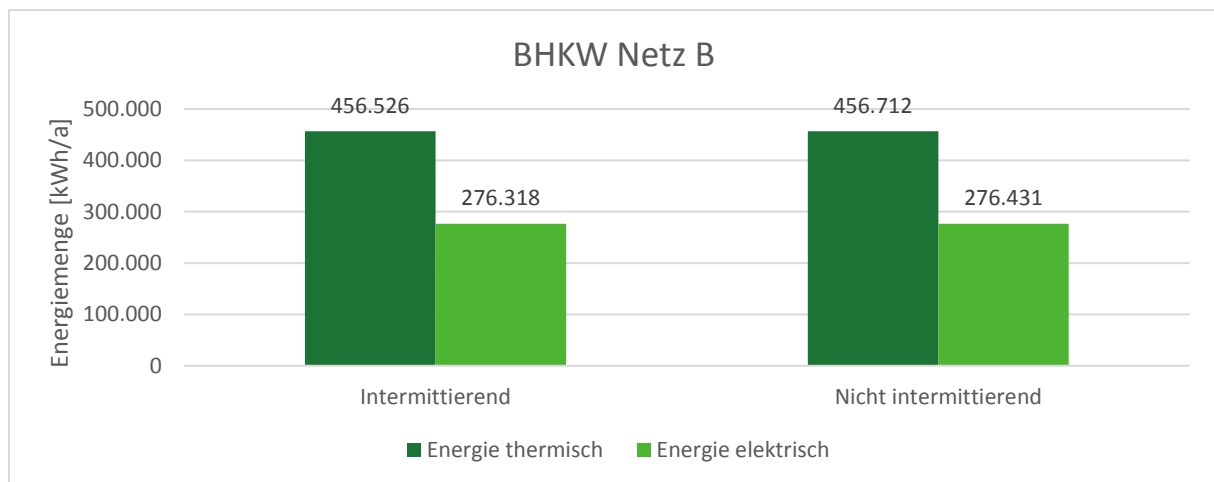


Abbildung 42 - Energiemenge BHKW

Im Vergleich zu den bestehenden, dezentralen Wärmeerzeugern, welche einen Energiebedarf von 1.983.959 kWh/a aufweisen, ergeben sich durch die Wärmeversorgung über die verschiedenen Netz- und Betriebsvarianten des Nahwärmenetzes, die in Abbildung 43 dargestellten Einsparungen des gesamten Brennstoffbedarfs.

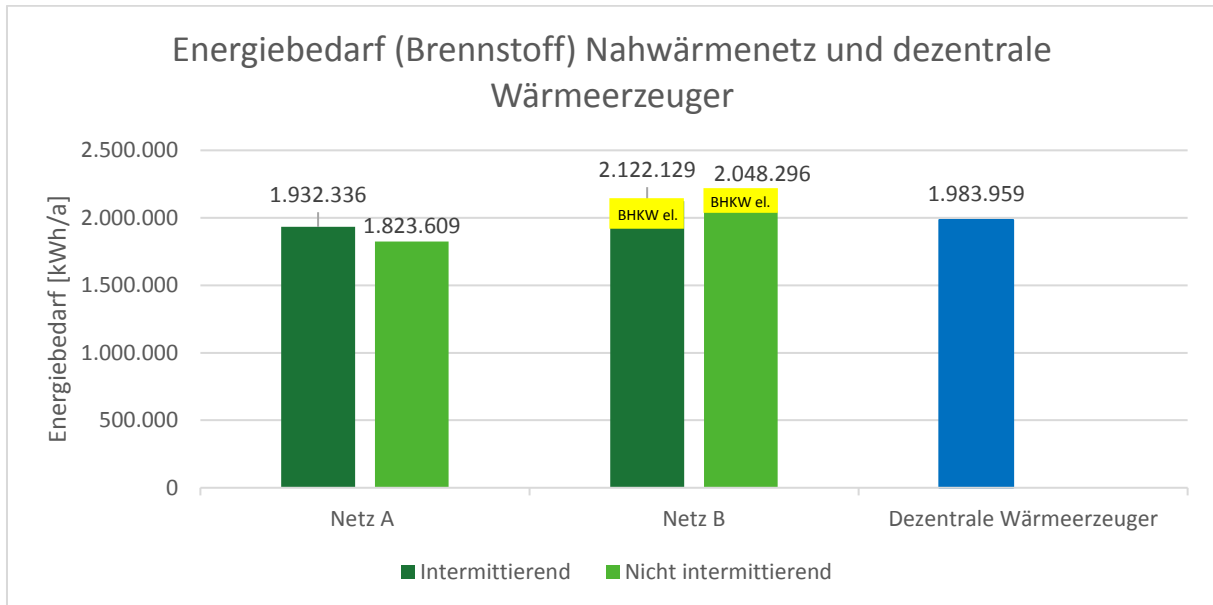


Abbildung 43 – Energiebedarf Nahwärmenetz und dezentrale Wärmeerzeuger

Während die intermittierende Betriebsvariante des Netzes A, bedingt durch die hohen Wärmeverluste der Rohrleitungen (Abbildung 37), eine geringe Einsparung gegenüber den dezentralen Wärmeerzeugern von 51.628 kWh/a aufweist, kann das Netz A in der nicht intermittierenden Betriebsweise ca. 160.350 kWh/a gegenüber den bestehenden Wärmeerzeugern einsparen. Der Betrieb des Netzes B ermöglicht durch den Brennstoffanteil, welcher in elektrische Energie umgewandelt wird, zunächst gegenüber den dezentralen Wärmeerzeugern keine Einsparung bei der zur Deckung des Energiebedarfs benötigten Brennstoffmenge.

5 Wärmeerzeugung

5.1 Holzhackschnitzelkessel und Biomethankessel – Netz A

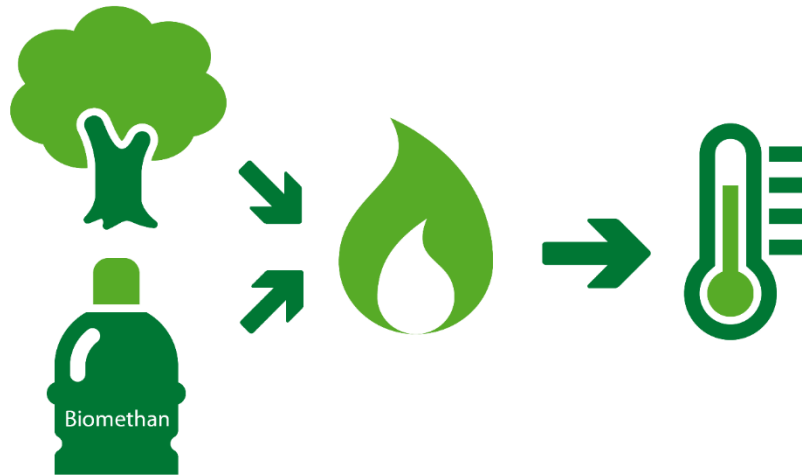


Abbildung 44 – Holzhackschnitzelheizung und Biomethankessel (schematische Darstellung)

Der Holzhackschnitzelkessel wird aufgrund der Anlieferinfrastruktur, ausschließlich in Netz A mit dem Standort am Parkplatz Bürgerpark eingesetzt. Dabei wird er vom Bestands-Gas-Brennwertkessel im Joseph-Haydn-Gymnasium mit einer Nennwärmeleistung von 285 kW unterstützt.

Bei der intermittierenden Betriebsweise des Netzes wird die Wärme für das Nahwärmenetz über 390 kW Holzhackschnitzelheizkessel bereitgestellt. Die Deckung der Spitzenlast erfolgt über einen bestehenden 285 kW Biomethankessel, welcher seine Wärme dezentral im Bereich des Gymnasiums einspeist. Verteilung des Bedarfs auf Wärmeerzeuger

Der Wärmebedarf des Nahwärmenetzes wird dabei zu 87 % von der Holzhackschnitzelheizung und zu 13 % durch den Spitzenlastkessel gedeckt.

Das Netz A in der nicht intermittierenden Betriebsweise wird von einem 540 kW Holzhackschnitzelkessel und einem 285 kW Biomethan-Spitzenlastkessel versorgt. Dabei übernimmt der Holzhackschnitzel 87 % der Wärmebereitstellung und der Spitzenlastkessel 13 %.

5.2 Biomethankessel und BHKW – Netz B

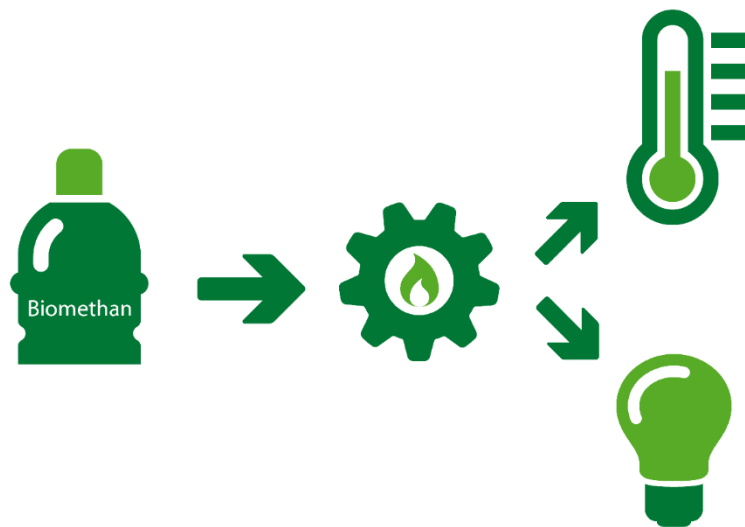


Abbildung 45 - Biomethankessel und BHKW mit direkter Eigenstromnutzung

Die Wärmebereitstellung über Biomethan-Brennwertkessel und Biomethan-BHKW erfolgt in Netz B, mit dem Standort am Joseph-Haydn-Gymnasium.

Bei der intermittierenden Betriebsweise des Netzes wird die Wärme für das Nahwärmenetz über den bestehenden 285 kW Biomethan-Brennwertkessel sowie einen 370 kW Biomethan-Brennwertkessel und ein Biomethan-BHKW mit einer thermischen Leistung von 83 kW bereitgestellt. Dabei läuft das BHKW bei Heizlasten ab 83 kW durch und als erstes vom 370 kW im Grundlast- und anschließend vom 285 kW Biomethan-Brennwertkessel Spitzenlastbereich ergänzt.

Der Wärmebedarf des Nahwärmenetzes wird dabei zu 70,5 % von den Biomethan-Brennwertkesseln und zu 29,5 % durch das Biomethan-BHKW gedeckt.

Das Netz in der nicht intermittierenden Betriebsweise wird von einem 480 kW Biomethan-Brennwertkessel, dem bestehenden Biomethan-Brennwertkessel mit 285 kW und einem Biomethan-BHKW mit 83 kW thermischer Leistung versorgt. Dabei werden die Grundlast vom 480 kW Biomethan-Brennwertkessel und dem Biomethan-BHKW gedeckt. Der 285 kW Kessel übernimmt Spitzenlasten und Lasten die außerhalb der Modulationsbereiche des 480 kW Kessels und des 83 kW BHKW liegen. Der Wärmebedarf des Nahwärmenetzes wird zu 68 % vom 480 kW Biomethan-Brennwertkessel, zu 1 % vom 285 kW Biomethan-Brennwertkessel und zu 31 % durch das Biomethan-BHKW gedeckt.

Die bereitgestellte elektrische Energie wird dabei in den Gebäuden in direkter Nachbarschaft zum BHKW genutzt oder ins Stromnetz eingespeist.

5.3 Eigenstromnutzung

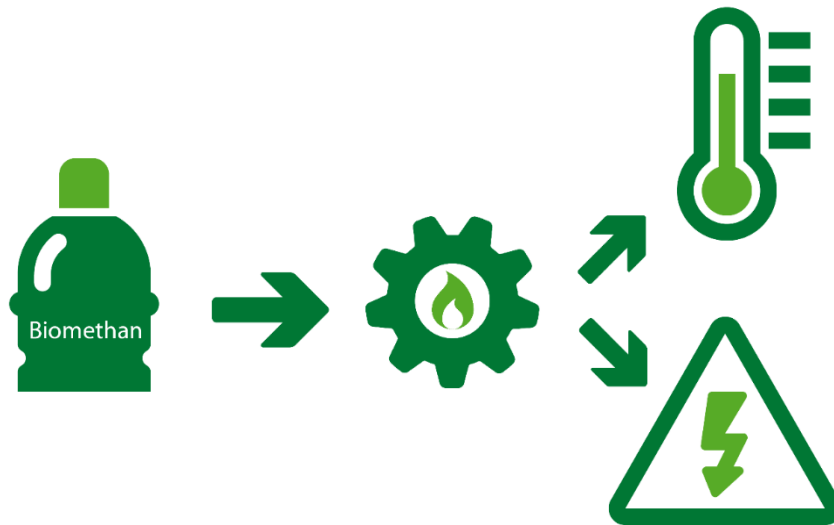


Abbildung 46 - Biomethankessel und BHKW mit Eigenstromnutzug über eigenes Niederspannungsnetz

In Netz B werden durch das Biomethan-BHKW bei der intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweise, elektrische Energie in Höhe von ca. 280 MWh/a bereitgestellt. Neben der direkten Eigenstromnutzung und der Einspeisung der nicht genutzten elektrischen Energie in das öffentliche Stromnetz, kann über Alternativen zur Steigerung der Eigenstromnutzung nachgedacht werden.

Dabei kann die Errichtung eines lokalen Niederspannungsnetzes, welches parallel zu den Leitungen des Nahwärmenetzes zu den wärmeabnehmenden Gebäuden verlegt werden kann, die Eigenstromnutzung des Biomethan-BHKW steigern.

6 Emissionen

Der Betrieb des Nahwärmenetzes bedingt bei der Energieumwandlung unterschiedliche Emissionen der Wärmeerzeuger, welche in die Atmosphäre abgegeben werden. Diese besitzen ein unterschiedlich hohes CO₂-Äquivalent. Das CO₂-Äquivalent der jeweiligen Anlagentechnik und deren Brennstoff wurde nach GEMIS 4.9.5.0 ermittelt. Es berücksichtigt neben den CO₂-Emissionen auch die Methan (CH₄)-, Lachgas (N₂O), Perfluorethan (C₂F₆) und –methan (CF₄) - Emissionen der Anlagentechnik des Nahwärmenetzes unter Berücksichtigung der Prozesskette des Energieträgers.

Mithilfe des Energiebedarfs des Nahwärmenetzes (Abbildung 41, Seite 65) ergibt sich aus dem Emissionsfaktor des CO₂-Äquivalents des Energieträgers, das jeweilige CO₂-Äquivalent in kg/a. Die Emissionsfaktoren des jeweiligen CO₂-Äquivalents sind in Abbildung 47 dargestellt. Dieser liegt für den Energieträger Erdgas mit 0,1736 kg/kWh höher als bei dem Energieträger Biomethan mit 0,0283 kg/kWh. Holzhackschnitzel haben mit 0,0223 kg/kWh im Vergleich den niedrigsten Emissionsfaktor des CO₂-Äquivalents (Abbildung 47).

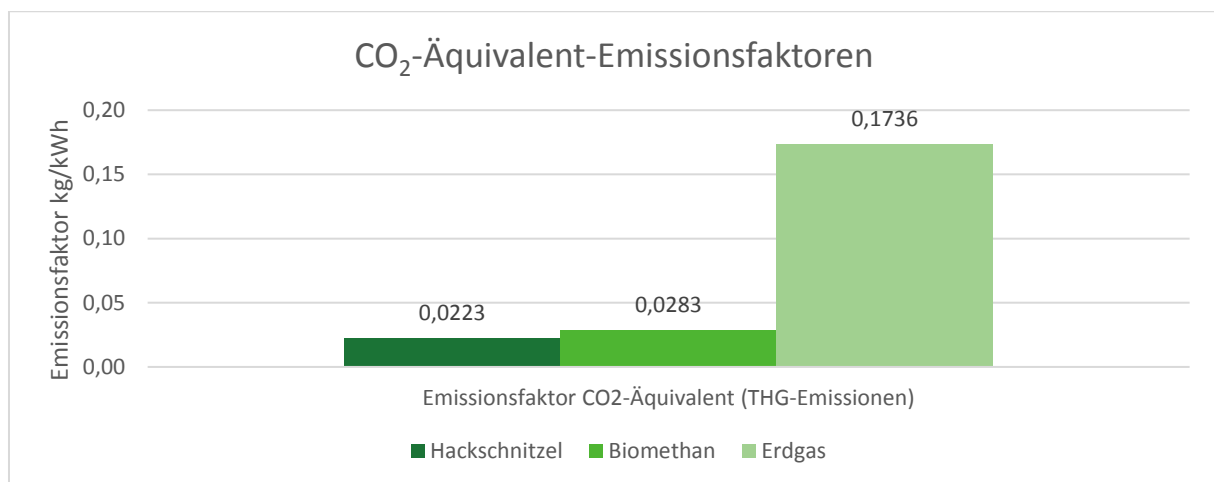


Abbildung 47 – CO₂-Äquivalent Energieträger (GEMIS Wärmebereitstellung BHKW / Hackschnitzel)

Neben dem CO₂-Äquivalent werden weitere Emissionen wie Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Staubemissionen betrachtet (Abbildung 48). Hierbei ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Während sich für den Energieträger Holzhackschnitzel die höchsten SO₂-Emissionen ergeben, sind diese für das Erdgas, bei mittleren Emissionen des Biogases, am geringsten. Für das Biomethan ergeben sich bei den NO_x die höchsten Emissionen, während diese beim Erdgas am geringsten ausfallen. Die Stickoxidemissionen der Holzhackschnitzel liegen nur knapp unter denen des Biomethans. Bei den Staubemissionen ist der Emissionsfaktor bei den Holzhackschnitzeln am höchsten und nimmt über das Biomethan bis hin zum Erdgas, mit dem niedrigsten Staubemissionsfaktor, ab (Abbildung 48).

Emissionen

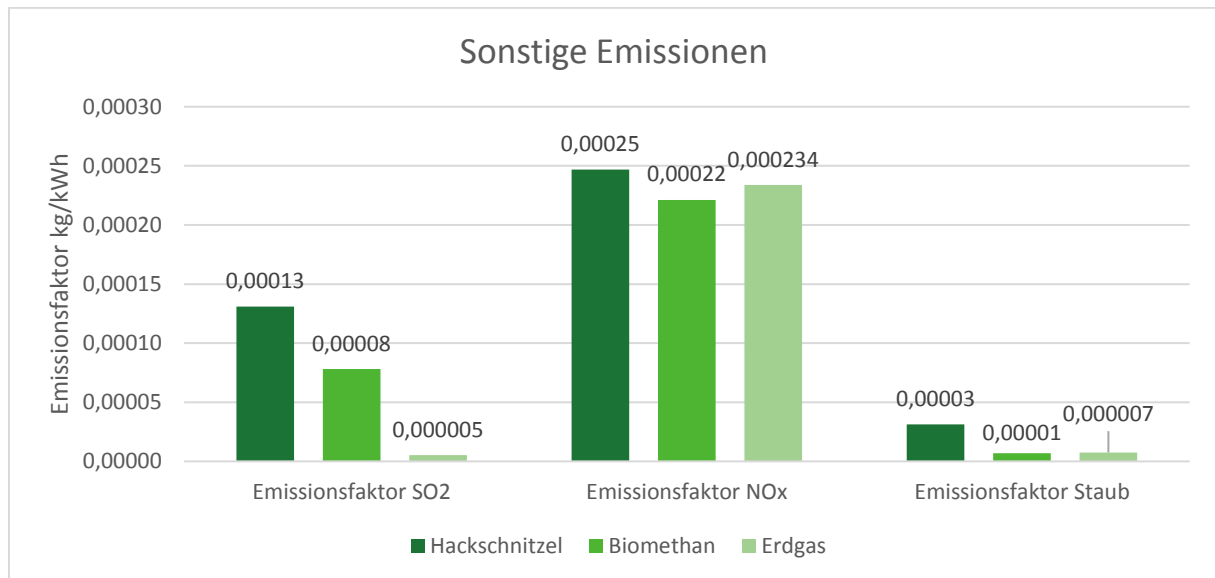


Abbildung 48 - Sonstige Emissionsfaktoren nach GEMIS

Für Netz A im intermittierenden Betriebszustand ergibt sich bei der Ermittlung unter Zuhilfenahme des Energiebedarfs des Nahwärmenetzes und der Emissionsfaktoren des CO₂-Äquivalents, im intermittierenden oder nicht intermittierenden Betriebszustand, das jeweilige CO₂-Äquivalent. Dieses liegt bei Netz A im intermittierenden Zustand bei der Verwendung von Biomethan durch den Gas-Brennwertkessel, bei 44.527 kg/a und im nicht intermittierenden Betriebszustand bei 42.275 kg/a. Bei der Verwendung von Erdgas liegen die CO₂-Äquivalenten-Emissionen (THG-Emissionen) jeweils bei 79.634 und 81.486 kg/a (Abbildung 50).

6.1 Emissionen Bestandsanlagen

Betrachtet man die mit Erdgas betriebenen Wärmeerzeuger im Bestand, ergibt sich aus den klimabereinigten Verbrauchsdaten der Jahre 2013 bis 2015 ein mittlerer Erdgasverbrauch von ca. 1.705.500 kWh/a. Daraus ergeben sich, bei Berücksichtigung des CO₂-Äquivalentfaktors für Erdgas des Nahwärmenetzes, im Bestand ca. 296.007 kg/a CO₂-Äquivalente-Emissionen (Abbildung 49).

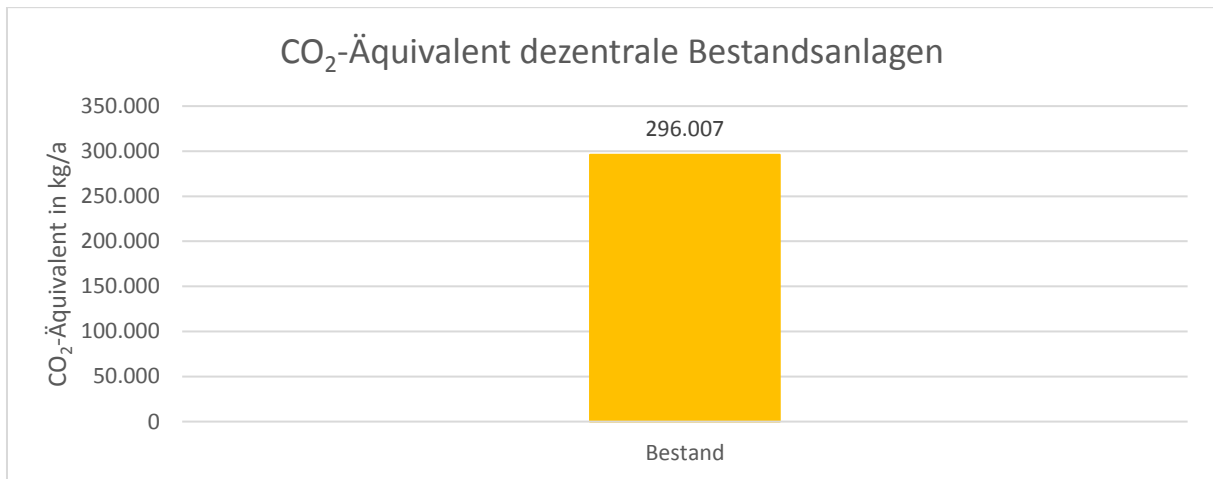


Abbildung 49 - CO₂-Äquivalente Bestandsanlagen (bezogen auf mittleren Verbrauch)

6.2 Emissionen Netz A

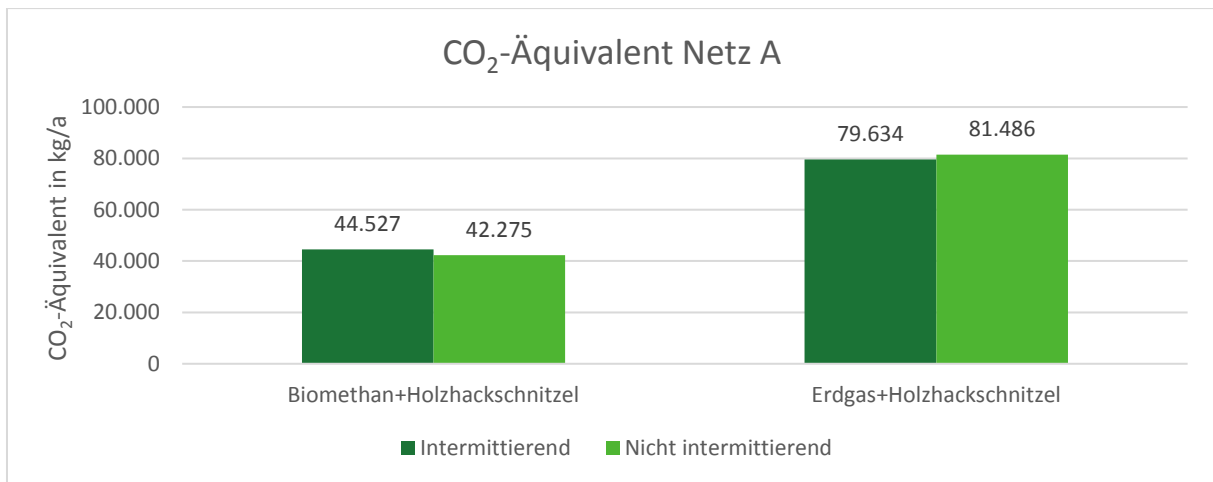


Abbildung 50 – THG-Emissionen Netz A

Da im intermittierenden Betrieb mehr Anteile des Jahreswärmebedarfs außerhalb des Modulationsbereiches des Holzhackschnitzelkessels liegen, wird im intermittierenden Betriebszustand anteilig mehr Biomethan als Holzhackschnitzel zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt. Dadurch kommt es im intermittierenden Betriebszustand, bedingt durch den höheren Anteil an Biomethan, gegenüber dem nicht intermittierenden Netz zu höheren CO₂-Emissionen. Da der Anteil an Holzhackschnitzeln in der nicht intermittierenden Betriebsweise geringer

Emissionen

ist, ergibt sich hier bei dem Betrieb mit Erdgas aufgrund des höheren Emissionsfaktors ein höheres CO₂-Äquivalent von Erdgas.

Die weiteren Emissionen SO₂, NO_x und Staub des Netzes A liegen im intermittierenden Betriebszustand bei der Verwendung von Holzhackschnitzeln und Biomethan als Energieträger jeweils knapp über denen des nicht intermittierenden Netzes. Bei der Verwendung von Erdgas und Holzhackschnitzeln liegen die SO₂ Emissionen im nicht intermittierenden Betrieb etwas niedriger als im intermittierenden Betrieb. Die NO_x-Emissionen und Staubemissionen liegen im intermittierenden Betrieb in beiden Betriebsarten etwas höher. Da im Netz A sowohl bei der Verwendung von Biomethan als auch von Erdgas weiterhin der Holzhackschnitzelkessel, welcher den größten Anteil an den Staubemissionen hat, in Betrieb ist, unterscheiden sich die Staubemissionen zwischen den Energieträgern Bio- und Erdgas kaum (Abbildung 51).

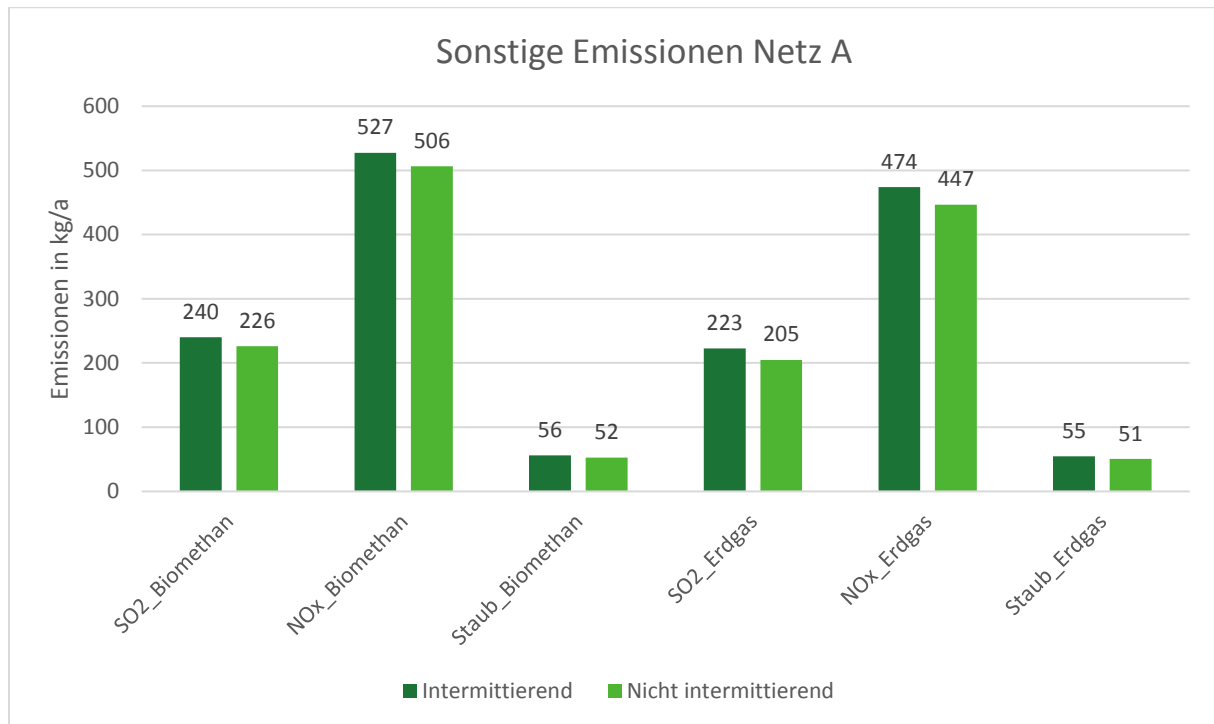


Abbildung 51 - Sonstige Emissionen Netz A

6.3 Emissionen Netz B

Aufgrund des höheren Energiebedarfs sowie dem Verzicht auf den Energieträger Holzhack- schnitzel ergeben sich für alle Betriebsvarianten in Netz B höhere THG-Emissionen gegenüber Netz A. Diese liegen bei der Verwendung des fossilen Energieträgers Erdgas, deutlich höher als bei der Verwendung von aufbereitetem Biomethan, welches aus nachwachsenden Roh- stoffen oder Gülle stammt (Abbildung 52).

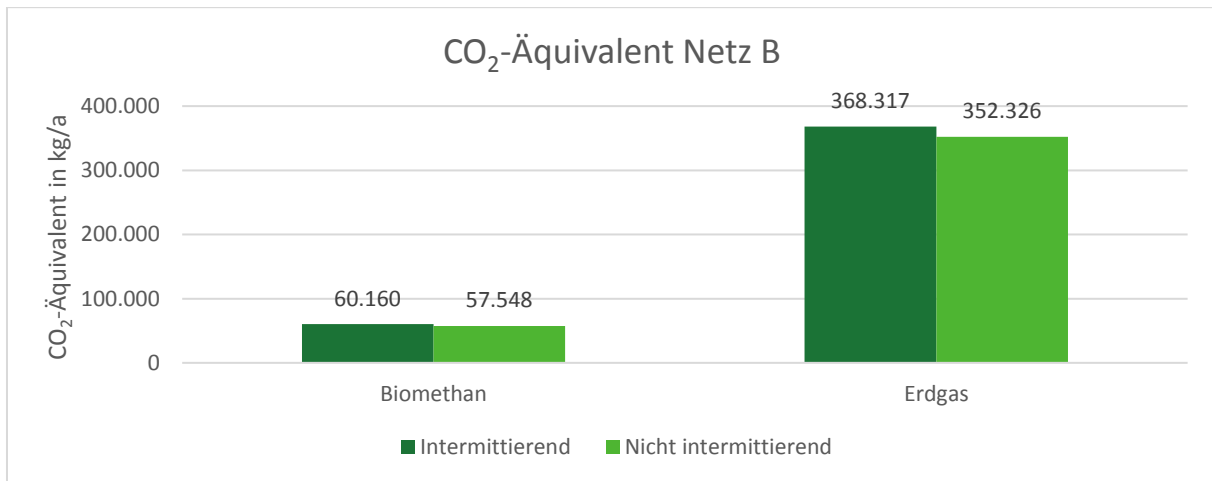


Abbildung 52 – THG-Emissionen Netz B

Die sonstigen auftretenden Emissionen unterscheiden sich in Netz B zwischen der intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweise kaum (siehe Abbildung 53). Im Bereich der NO_x-Emissionen liegen die Emissionen des intermittierenden Netzes beim Biomethan mit 469 kg/a knapp über den Emissionen des nicht intermittierenden Netzes mit 449 kg/a liegt. Bei der Verwendung von Erdgas sind die NO_x-Emissionen insgesamt in einer ähnlichen Höhe wie bei der Verwendung von aufbereitetem Biomethan. Das Verhältnis zwischen intermittierender und nicht intermittierender Betriebsweise verhält sich wie bei der Verwendung von Biomethan. Die SO₂ und Staubemissionen liegen bei der Verwendung von Erdgas im selben Bereich wie bei der Verwendung von Biomethan als Energieträger.

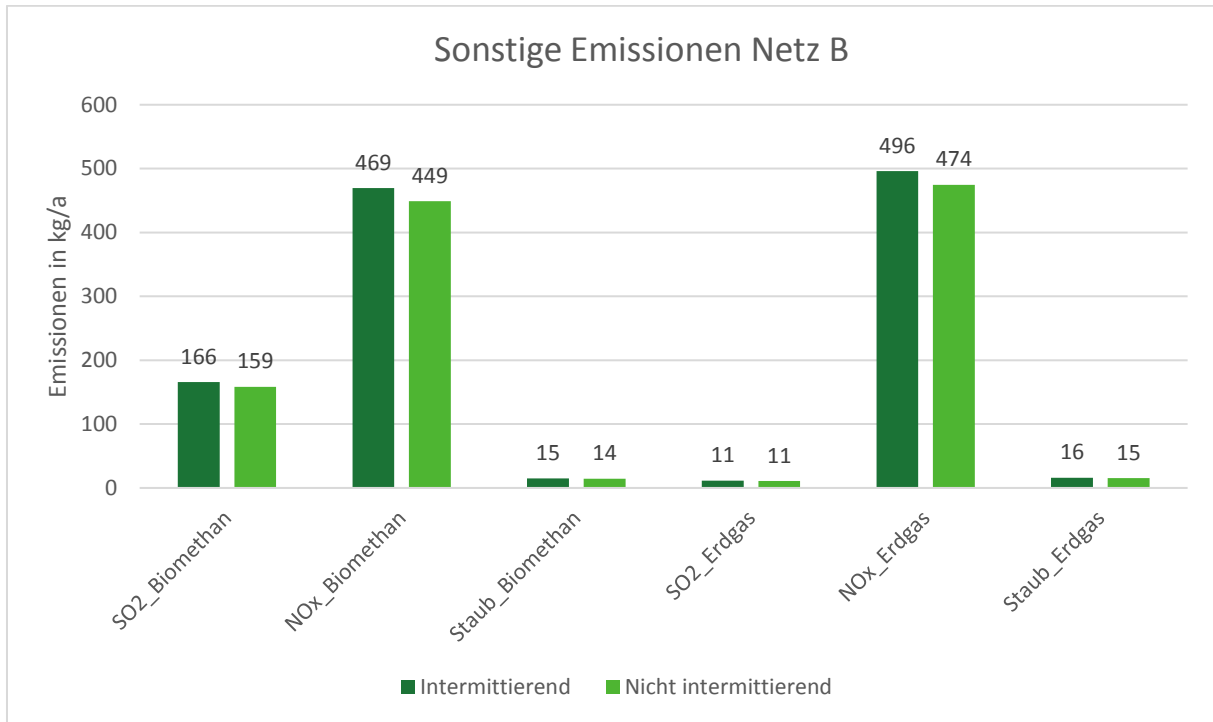


Abbildung 53 - Sonstige Emissionen Netz B

Insgesamt zeigt sich bei der Betrachtung der unterschiedlichen Emissionen der Netz- und Betriebsvarianten, dass die Wärmebereitstellung für das Nahwärmenetz über regenerative Energieträger wie Biomethan oder Holzackschnitzel, gegenüber fossilen Energieträgern wie Erdgas, grundsätzlich geringere THG-Emissionen aufweist. Unter Betrachtung der sonstigen Emissionen wird beim Vergleich von Netz A (Abbildung 51 Seite 73), welches einen Teil des Wärmebedarfs des Nahwärmebedarfs über Holzackschnitzel abdeckt, zu Netz B (Abbildung 53), in dem ausschließlich gasförmige Energieträger verbrannt werden, deutlich, dass höhere Staub und SO₂-Emissionen auftreten. Bei der Gegenüberstellung der anteiligen Verwendung der Energieträger Biomethan und Erdgas im Netz B zeigt sich, dass die SO₂-Emissionen bei der Verwendung von Biomethan, gegenüber Erdgas bei Berücksichtigung der gesamten Transport- und Aufbereitungskette bis zur Verbrennung höher sind (Abbildung 53).

7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollen die Investitions- und Betriebskosten der beiden Nahwärmenetze gegenübergestellt und mit den dezentralen Wärmeerzeugern im Bestand verglichen werden. Alle berücksichtigten und ermittelten Kosten sind Netto-Kosten oder Preise ohne Berücksichtigung der jeweiligen Umsatzsteuer.

7.1 Investitionskosten

Die Materialkosten der beiden Nahwärmenetze A und B setzen sich aus den Gesamtkosten des Nahwärmenetzes sowie den Investitionskosten in die Wärmeerzeuger zusammen. Bei der intermittierenden Betriebsweise wurden die Investitionskosten der Pufferspeicher pauschal mit 20.000 € berücksichtigt, da diese je nach örtlichen Gegebenheiten individuell ausgelegt werden müssen. Die Material- und Installationskosten für die Varianten der Nahwärmenetze sind in Abbildung 54 dargestellt.

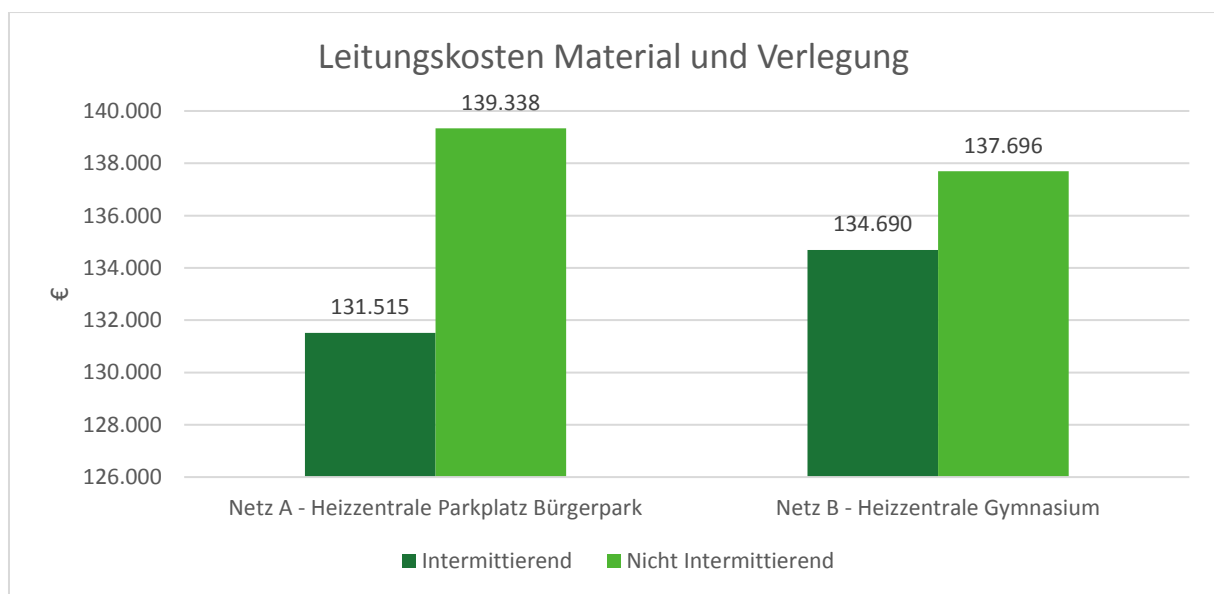


Abbildung 54 - Materialkosten Nahwärmenetze

Aus der Abbildung 54 wird deutlich, dass die Materialkosten beim nicht intermittierenden Netz über denen des intermittierenden Netzes liegen. Diese höheren Kosten entstehen hauptsächlich durch die größeren Leitungsquerschnitte des nicht intermittierenden Netzes, welche zu höheren Materialkosten führen. Die durch die höheren Vorlauftemperaturen bedingten, höheren Dämmschichtdicken des intermittierenden Netzes spielen gegenüber den höheren Querschnitten des nicht intermittierenden Netzes eine untergeordnete Rolle. Durch die intermittierende Betriebsart können Materialkosten eingespart werden, da das Netz auf diese Weise mit kleineren Rohrnenweiten betrieben werden kann. Demgegenüber steigen aufgrund der geringen Nennweiten die Energieverbräuche der Pumpen (vgl. Abbildung 38, Seite 63).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die in Abbildung 37 für Netz A dargestellten, durch die intermittierende Betriebsweise um 2.428 kWh/a erhöhten Energieverbräuche der Pumpen gegenüber dem nicht intermittierenden Netz, führen bei einem angenommenem Strompreis von 0,25 €/kWh zu um 607 €/a verringerte Stromkosten und ermöglichen in Netz A um 7.873 € geringere Materialkosten der Rohrleitungen. Bei Netz B sind die elektrischen Energiekosten der Pumpe gegenüber dem nicht intermittierenden Netz um 611 €/a erhöht und verringern die Materialkosten des intermittierenden Nahwärmenetzes um 3.006 €.

7.2 Brennstoffkosten

Die Brennstoffkosten der verschiedenen Anlagenkombinationen zur Wärmebereitstellung des Nahwärmenetzes sind im Folgenden für Netz A und Netz B jeweils im intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebszustand dargestellt. Da in Netz A eine Anlagenkombination mit verschiedenen Brennstoffen genutzt wird, ergeben sich hier unterschiedliche Möglichkeiten der auftretenden Brennstoffkosten. In Abbildung 55 sind die Brennstoffkosten des jeweils eingesetzten Energieträgers angegeben.

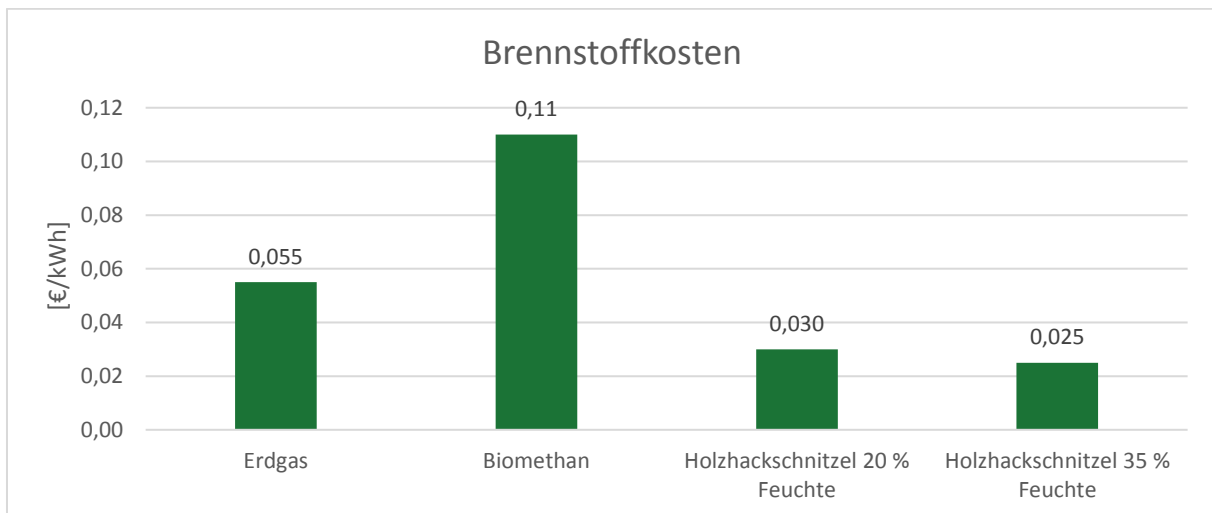


Abbildung 55 - Brennstoffkosten der Energieträger

Bei der Ermittlung der Brennstoffkosten in Netz A, welches den Wärmebedarf des Nahwärmenetzes über einen Holzackschnitzelkessel sowie ein Biomethan-Brennwertkessel abdeckt, werden die anteiligen Preise der Energieträger Holzackschnitzel, Biomethan und Erdgas herangezogen (Abbildung 55). Mit dem in Abbildung 41 auf Seite 65 dargestellten jährlichen Energiebedarf der Wärmeerzeuger, ergeben sich die jeweiligen jährlichen berechneten Brennstoffkosten. Diese sind für das intermittierende Netz A in Abbildung 56 dargestellt.

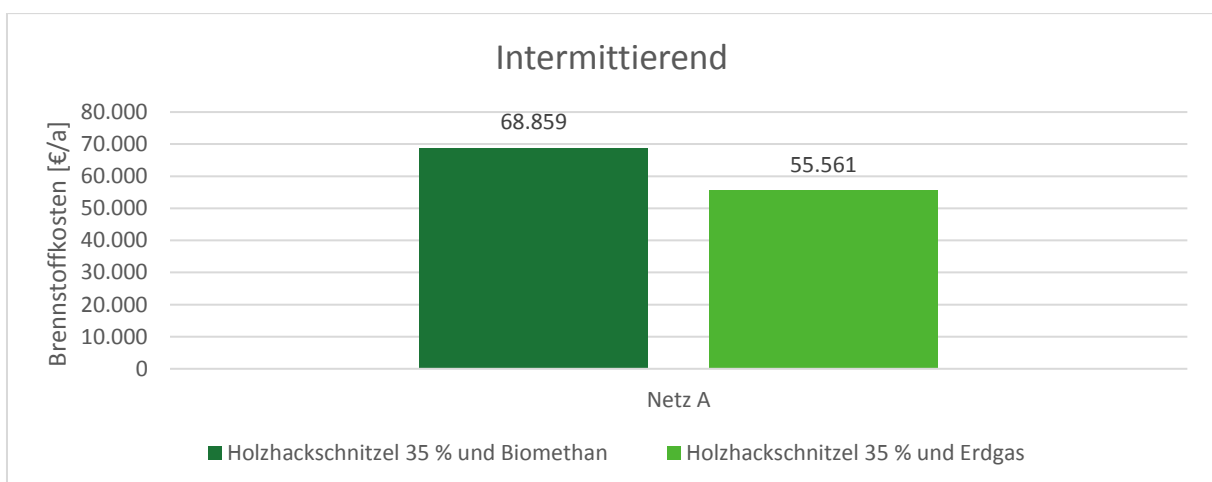


Abbildung 56 - Brennstoffkosten der intermittierenden Betriebsweise Netz A

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die intermittierende Betriebsweise ergeben sich die höchsten Brennstoffkosten von ca. 68.859 €/a bei der Verwendung von Holzhackschnitzeln mit einer Restfeuchte von 35 % und der Verwendung von Biomethan. Wird der bestehenden Gas-Brennwertkessel beim gleichzeitigen Einsatz von Holzhackschnitzeln mit Erdgas betrieben, ergeben sich jährlichen Brennstoffkosten von 55.561 €/a.

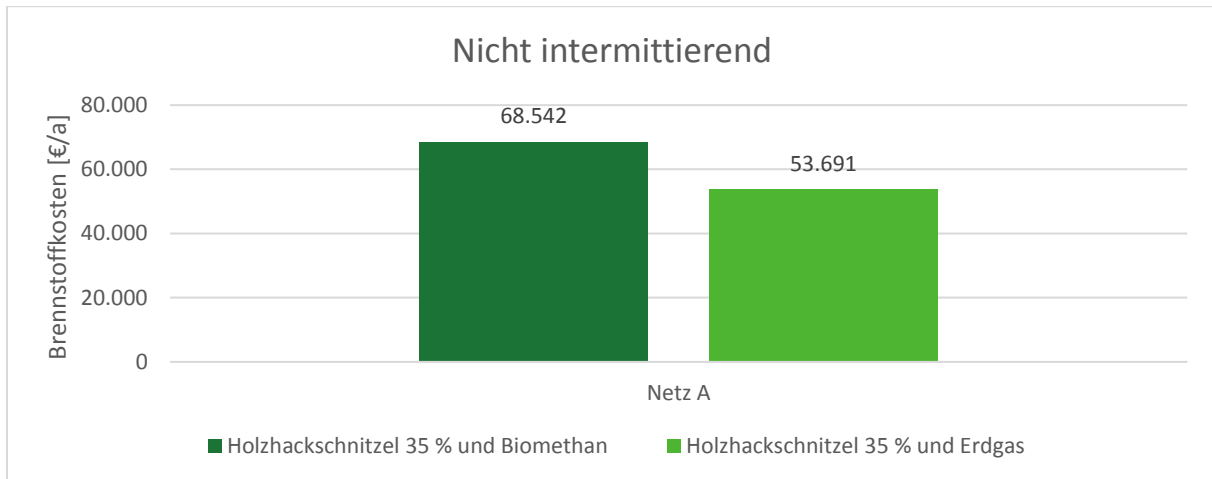


Abbildung 57 - Brennstoffkosten der nicht intermittierenden Betriebsweise Netz A

Bei der nicht intermittierenden Betriebsweise ergeben sich nach Abbildung 57 gegenüber der intermittierenden Betriebsweise geringere Kosten für die erforderlichen Brennstoffmengen. Diese liegen bei den Holzhackschnitzeln mit einer Feuchte von 35% und dem Einsatz von Biomethan bei 68.542 €. Beim Einsatz von Erdgas in Kombination mit Holzhackschnitzeln ergeben sich Brennstoffkosten in Höhe von 53.691 €/a.

Für Netz B werden die Brennstoffkosten ebenfalls ermittelt. Da in dieser Anlagenvariante keine Holzhackschnitzelkessel vorgesehen sind, kann die gesamte Heizungsanlage mit Biomethan oder Erdgas betrieben werden. Die Brennstoffkosten werden einheitlich für die intermittierende und nicht intermittierende Betriebsweise ermittelt.

In der intermittierenden Betriebsweise ergeben sich für Netz B bei der Verwendung von Biomethan Brennstoffkosten in Höhe von ca. 233.434 €/a, welche sich durch die Verwendung des Energieträgers Erdgas auf ca. 116.717 €/a reduzieren (Abbildung 58).

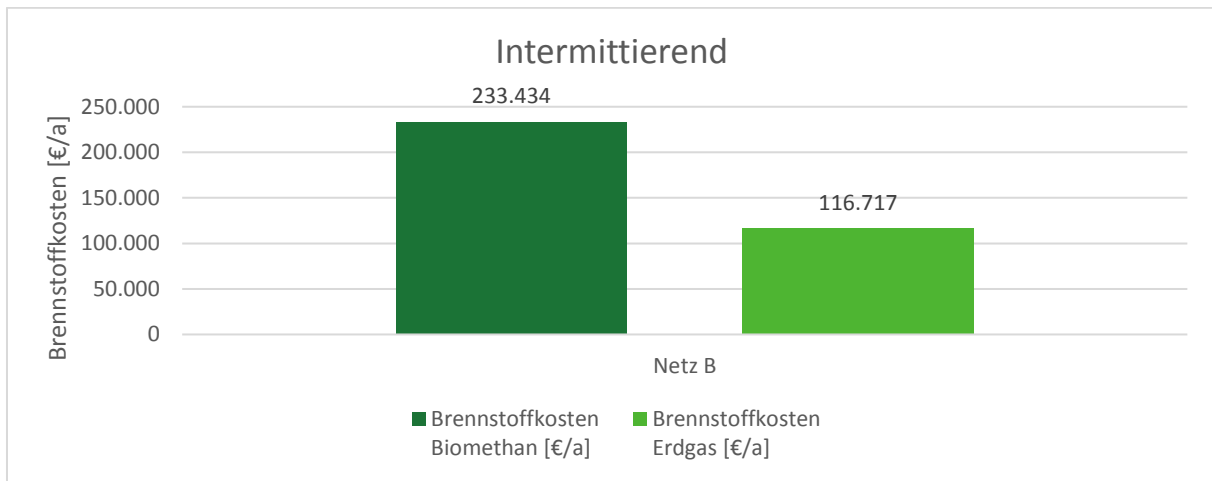


Abbildung 58 – Brennstoffkosten der intermittierenden Betriebsweise Netz B

Die Brennstoffkosten der nicht intermittierenden Betriebsweise des Netzes B sind in Abbildung 59 dargestellt. Diese liegen bei der Verwendung von Biomethan bei ca. 225.313 €/a und bei der Verwendung von Erdgas bei ca. 112.656 €/a.

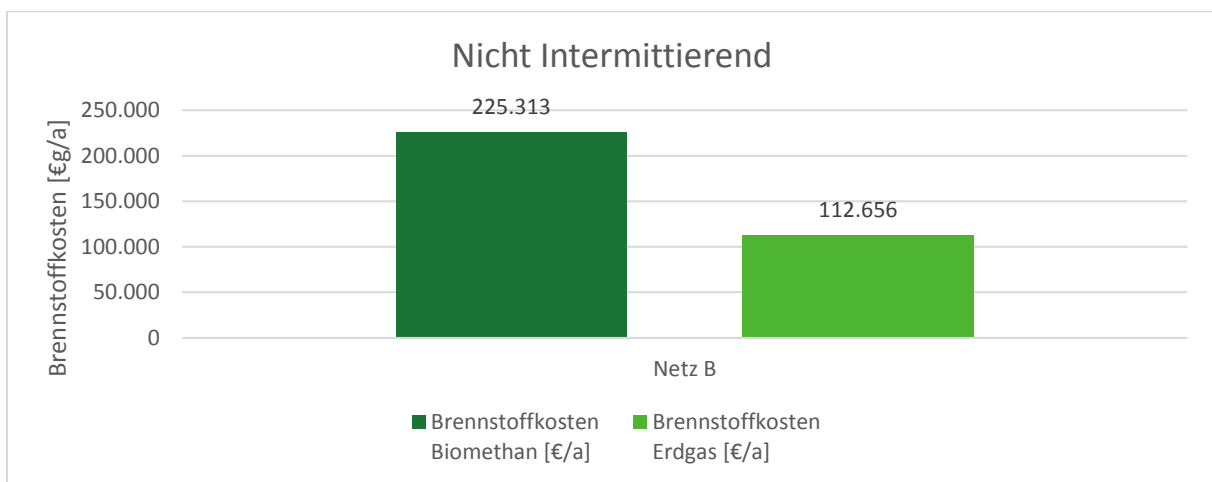


Abbildung 59 - Brennstoffkosten der nicht intermittierenden Betriebsweise Netz B

Bei den Brennstoffkosten im Netz B sind die gesamten Brennstoffkosten in Abbildung 58 und Abbildung 59 dargestellt. Wird der Anteil der durch das BHKW bereitgestellten elektrischen Energie beachtet, müssen die durch Einspeisevergütung oder Eigenstromnutzung erreichten Einsparungen oder Vergütungen der elektrischen Energie, mit den Brennstoffkosten für Biomethan oder Erdgas, in Abhängigkeit von den jeweiligen Vergütungen nach EEG oder KWKG, verrechnet werden.

Unter Berücksichtigung der Einspeisevergütung und Eigenstromnutzung nach EEG und KWKG für die durch das BHKW bereit gestellte elektrische Energie, ergeben sich bei der Eigenstromnutzung durch das Gymnasium oder der Nutzung der elektrischen Energie in allen, an das Nahwärmenetz angeschlossenen Gebäuden, unterschiedlich hohe Summen an Fördermitteln (Informationen zu Fördermitteln siehe Kapitel 8).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Folgenden werden in Abbildung 60 und Abbildung 61 auf die Fördermittel für die durch das BHKW bereitgestellte, elektrische Energie dargestellt. Diese setzen sich jeweils aus der Einspeisevergütung nach EEG in Höhe von 13,32 Cent/kWh sowie 40 % der zu zahlenden EEG-Umlage in Höhe von 2,72 Cent/kWh zusammen (Stand 04.07.2018). Dabei soll zum einen die Eigenstromnutzung durch das Gymnasium, an dem sich das BHKW befindet und zum anderen die Versorgung aller ans Nahwärmenetz angebotenen Schulen über ein lokales Niederspannungsnetz erfolgen.

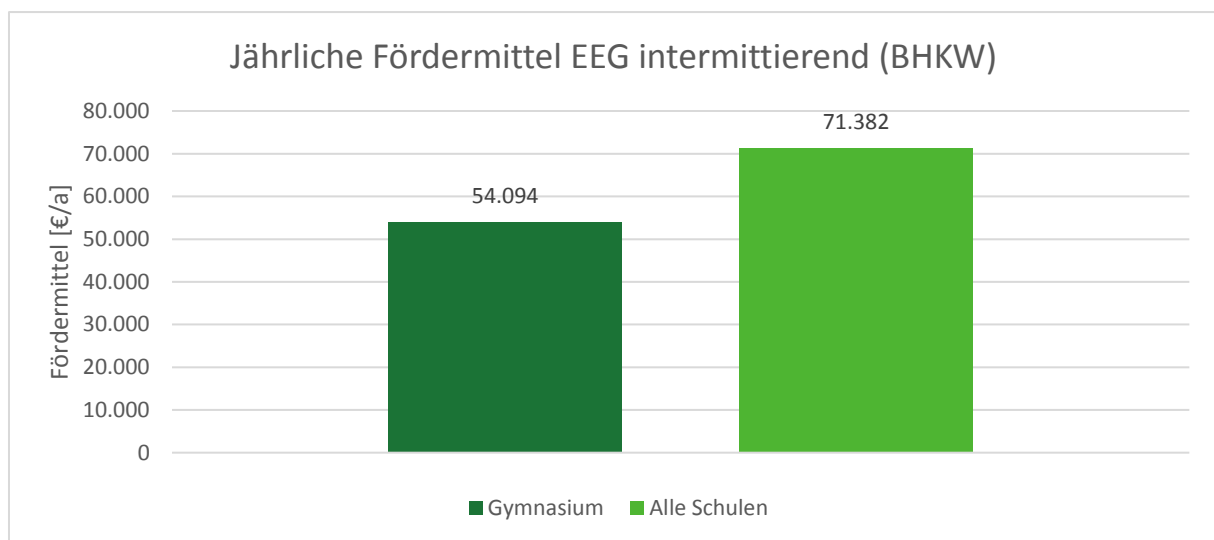


Abbildung 60 - Fördermittel EEG intermittierender Betrieb

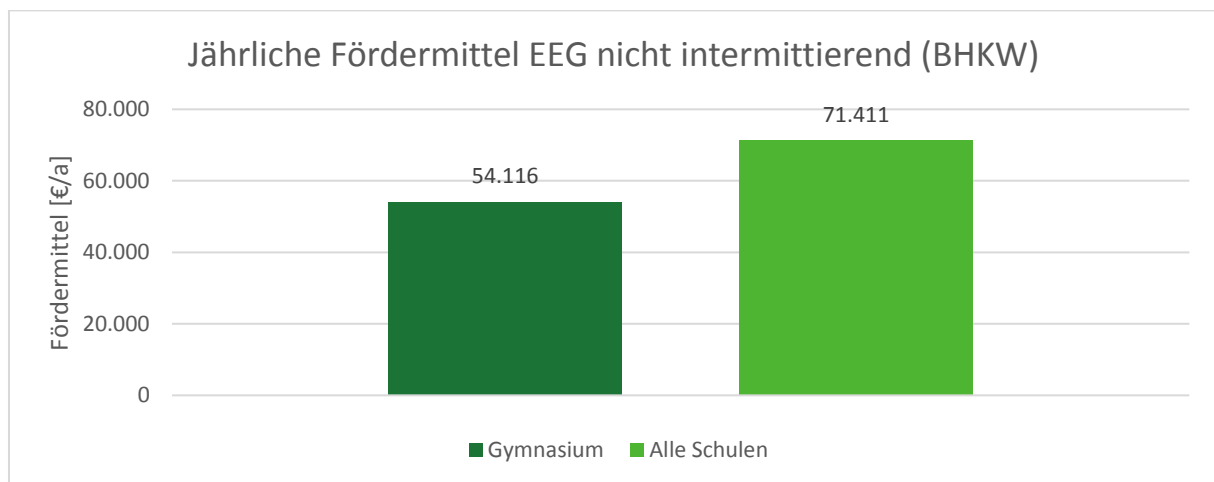


Abbildung 61 - Fördermittel EEG nicht intermittierender Betrieb

Es wird davon ausgegangen, dass jede Kilowattstunde, die nicht ins Netz eingespeist und für die Eigenstromnutzung verwendet wird, gegenüber dem Strombezug aus dem Netz 0,25 €/kWh, abzüglich der zu zahlenden EEG-Umlage von 2,72 Cent/kWh und zuzüglich dem Börsenpreis für KWK-Grundlaststrom von 3,55 Cent/kWh, also 25,8332 Cent/kWh gegenüber dem Netzbezug von Strom in Höhe der selbst genutzten Strommenge einspart. Dabei ergeben

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

sich bei der Förderung der mit Biomethan betriebenen Anlagen bei der Eigenstromnutzung durch das Gymnasium bei der intermittierenden Betriebsweise, jährliche Fördermittel in Höhe von ca. 54.094 €/a (siehe Abbildung 59).

Der Anteil der durch das BHKW zur Verfügung gestellten elektrischen Energiemenge an der Eigenstromnutzung liegt in diesem Fall bei 50 %. Der Anteil der Fördermittel der Netzeinspeisung liegt bei ca. 18.403 €/a. Bei der Versorgung aller Schulen mit elektrischer Energie des BHKW steigt die Eigenstromnutzung auf 100 % an, da der mittlere elektrische Energiebezug der letzten Jahre mit ca. 252.300 kWh/a über den durch das BHKW bereitgestellten 184.000 kWh/a liegt, das Nahwärmenetz nur in den Sommerferien außer Betrieb ist und das BHKW erst ab thermischen Lasten unter 83 kW abschaltet. Da bei der Netzeinspeisung für Strom bei der Förderung nach EEG ein niedrigerer Fördersatz erzielt werden kann, ergeben sich bei der Eigenstromnutzung über ein lokales Niederspannungsnetz, höhere Fördermittel. Diese liegen in diesem Fall bei ca. 71.382 €/a. Die Einspeisevergütung nach EEG wird über eine Dauer von 20 Jahren ausgezahlt.

In Abbildung 62 und Abbildung 63 sind die Fördermittel für das mit Erdgas betriebene BHKW dargestellt.

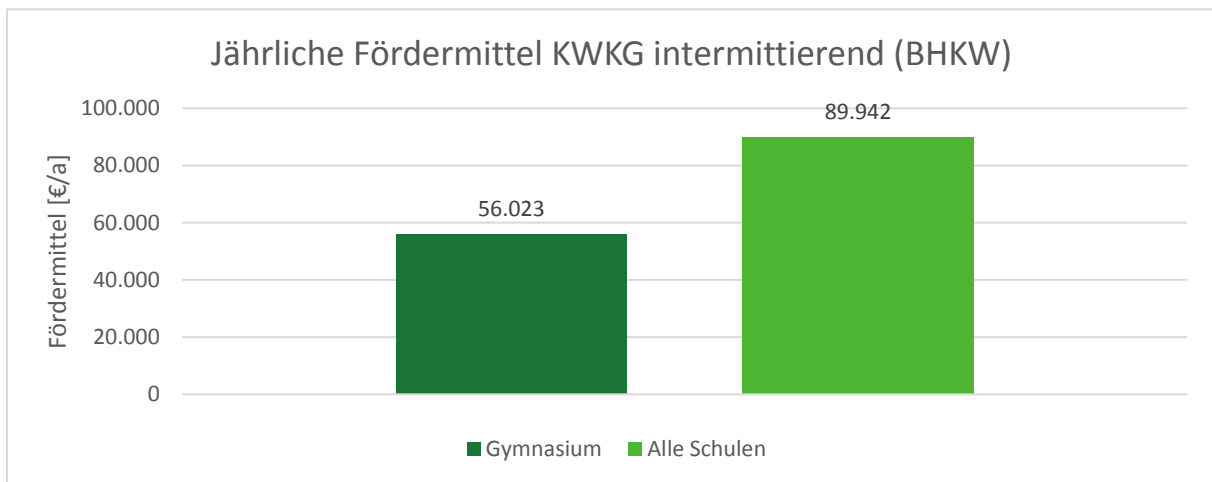


Abbildung 62 - Fördermittel KWKG intermittierender Betrieb

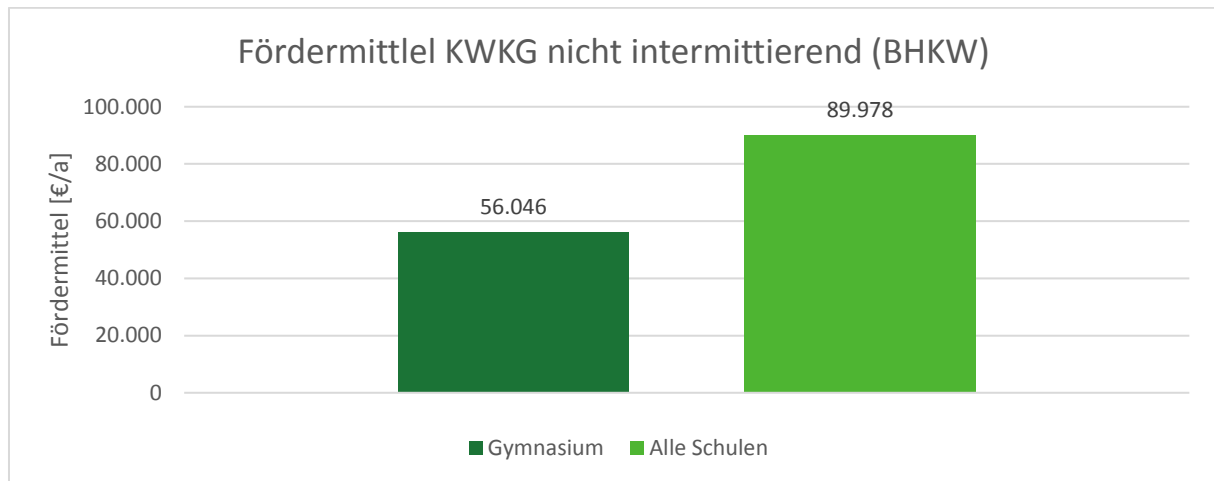


Abbildung 63 - Fördermittel KWKG nicht intermittierender Betrieb

Durch den Einsatz von fossilen Energieträgern ist keine Förderung nach dem EEG möglich, weshalb hier eine Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) gewählt wird. Dabei wird das BHKW entsprechend der in Kapitel 8 dargestellten Eckdaten gefördert. Dabei ist zu beachten, dass die Förderung hier nur für 60.000 Vollbenutzungsstunden der Anlage möglich ist. Bei 6.500 Vollbenutzungsstunden pro Jahr würde die Förderung nach ca. 9 Jahren auslaufen. Hierbei ergeben sich bei der intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweise, unter der Betrachtung der ersten 60.000 Vollbenutzungsstunden, bei der Versorgung aller Schulen, höhere jährliche Fördermittel als bei der Versorgung des Gymnasiums, da bei der Förderung nach KWKG die Eigenstromnutzung, zusätzlich zu den eingesparten 0,25 €/kWh für aus dem Netz zu beziehender elektrischer Energie, mit 0,04 €/kWh vergütet wird. Des Weiteren kann auch hier für die eingespeiste elektrische Energie ein Börsenstrompreis von 3,55 Cent/kWh berücksichtigt werden.

Unter der Berücksichtigung der Fördermittel für die bereitgestellte elektrische Energie des BHKW ergeben sich die in den folgenden Abbildung 64 und Abbildung 65 dargestellten reduzierten Brennstoffkosten der jeweiligen Anlagenvariante im jeweiligen Betriebszustand des Nahwärmenetzes. Diese reduzieren sich beim Betrieb des BHKW mit Biomethan (EEG-Förderung) im intermittierenden Betriebszustand, bei der Eigenstromnutzung im Gymnasium auf ca. 179.000 €/a und bei der Eigenstromnutzung in allen Schulen auf ca. 162.000 €/a. Bei der Verwendung von Erdgas (KWKG-Förderung) als Energieträger ergeben sich an dieser Stelle niedrigere Brennstoffkosten von ca. 60.694 €/a und ca. 26.776 €/a (Abbildung 64).

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

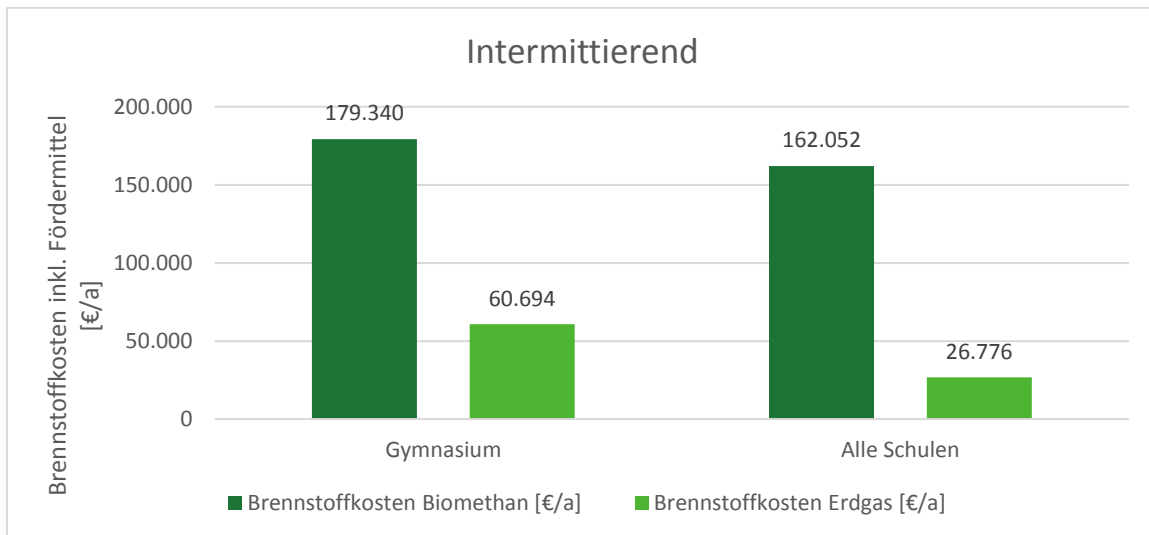


Abbildung 64 - Brennstoffkosten intermittierendes Netz inkl. Fördermittel BHKW-Strom

Bei der nicht intermittierenden Betriebsweise in Abbildung 65 liegen die Brennstoffkosten für das mit Biomethan betriebene BHKW, welches das Gymnasium mit elektrischer Energie versorgt bei ca. 171.000 €/a und bei der Versorgung aller Schulen bei ca. 154.000 €/a. Beim Einsatz von Erdgas als Brennstoff ergeben sich entsprechend Brennstoffkosten von ca. 56.600 €/a und ca. 22.600 €/a bei der Versorgung aller Schulen mit elektrischer Energie des BHKW.

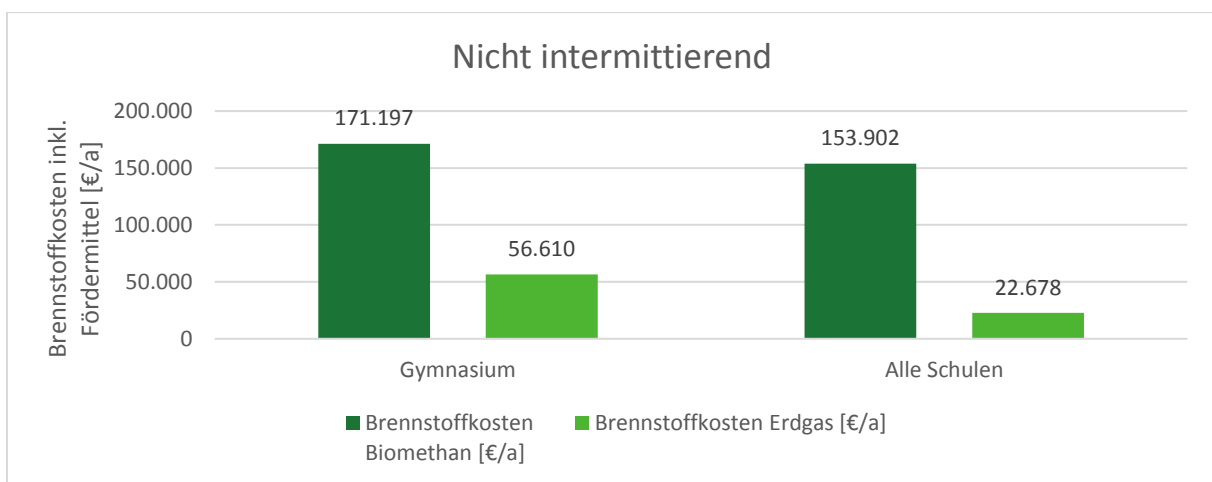


Abbildung 65 - Brennstoffkosten nicht intermittierendes Netz inkl. Fördermittel BHKW-Strom

7.3 Zusammenfassung Wirtschaftlichkeit

Bei der Verwendung von Biomethan liegen die in Abbildung 64 und Abbildung 65 auf Seite 84 dargestellten Brennstoffkosten zum Betrieb des Nahwärmenetzes unter Berücksichtigung der Fördermittels der durch das BHKW bereitgestellten elektrischer Energie weiterhin über den Brennstoffkosten des Netzes A, welches aufgrund des Einsatzes von Holzhackschnitzeln mit geringeren Brennstoffpreisen gegenüber Biomethan, auch ohne Fördermittel die niedrigsten Brennstoffkosten aufweist (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 57, Seite 78).

Bei der Gegenüberstellung der Investitions- und Betriebskosten des Nahwärmenetzes mit der dezentralen Wärmeerzeugung zeigt sich, dass die Investitionskosten für das Nahwärmenetz inklusive der Erneuerung der Wärmeerzeuger über den Investitionskosten liegen, welche für die Erneuerung der dezentralen Wärmeerzeuger anfallen. Bei den Investitionskosten handelt es sich um Netto-Listenpreise des Herstellers zum Zeitpunkt der Preisermittlung. Diese unterliegen je nach Hersteller einer gewissen Abweichung (Abbildung 66).

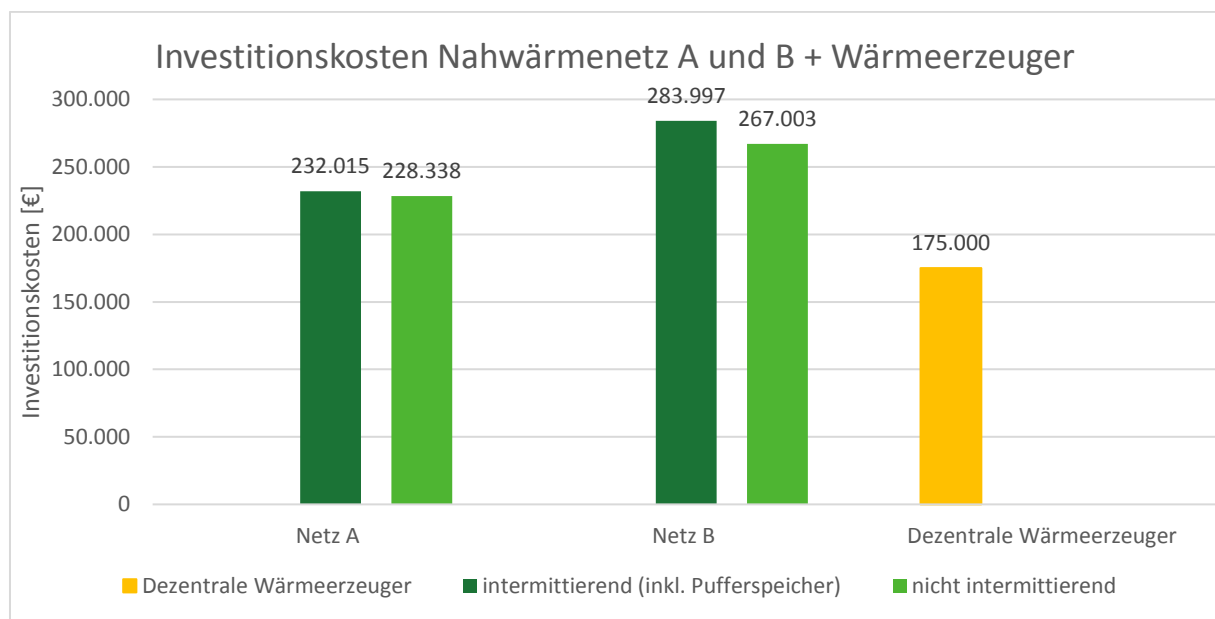


Abbildung 66 - Investitionskosten Nahwärmenetz A und B mit Wärmeerzeuger gegenüber Dezentraler Wärmeerzeuger

Neben den Investitionskosten werden die Betriebskosten des Nahwärmenetzes, welche die Wärmeverluste über das Nahwärmenetz, den Brennstoffbedarf der Wärmeerzeuger, sowie anfallenden Kosten für Bedienung, Wartung und Instandsetzung ermittelt (Abbildung 67 und Abbildung 68).

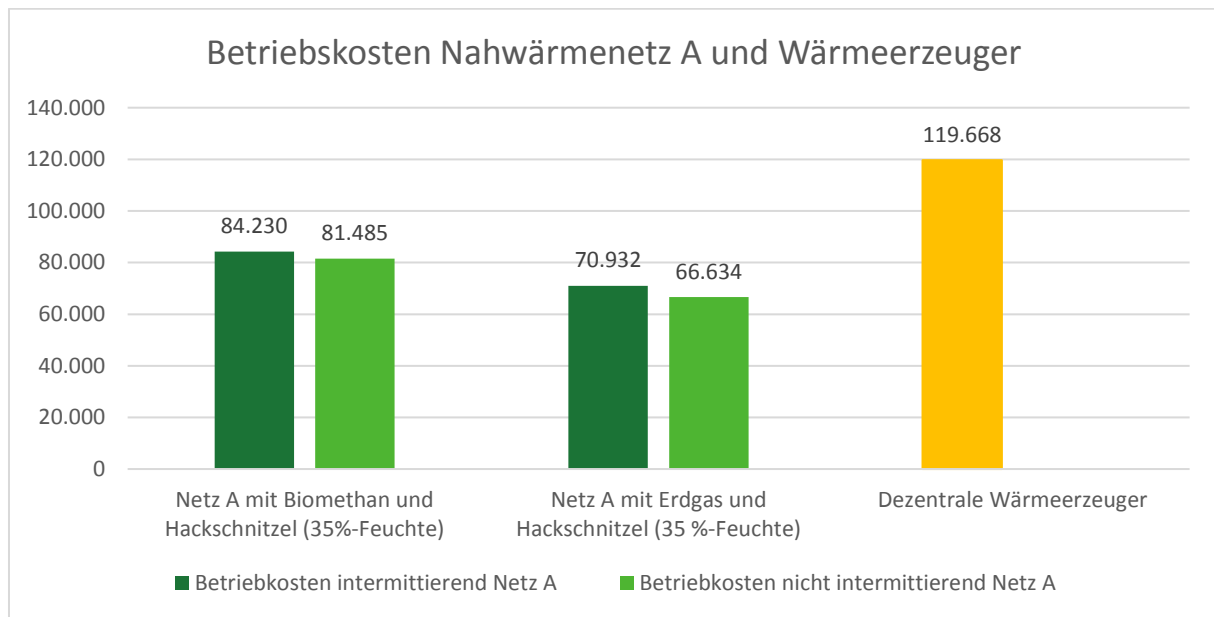


Abbildung 67 - Betriebskosten Netz A - inkl. Pumpen, Netzverluste, Wartung und Instandhaltungskosten

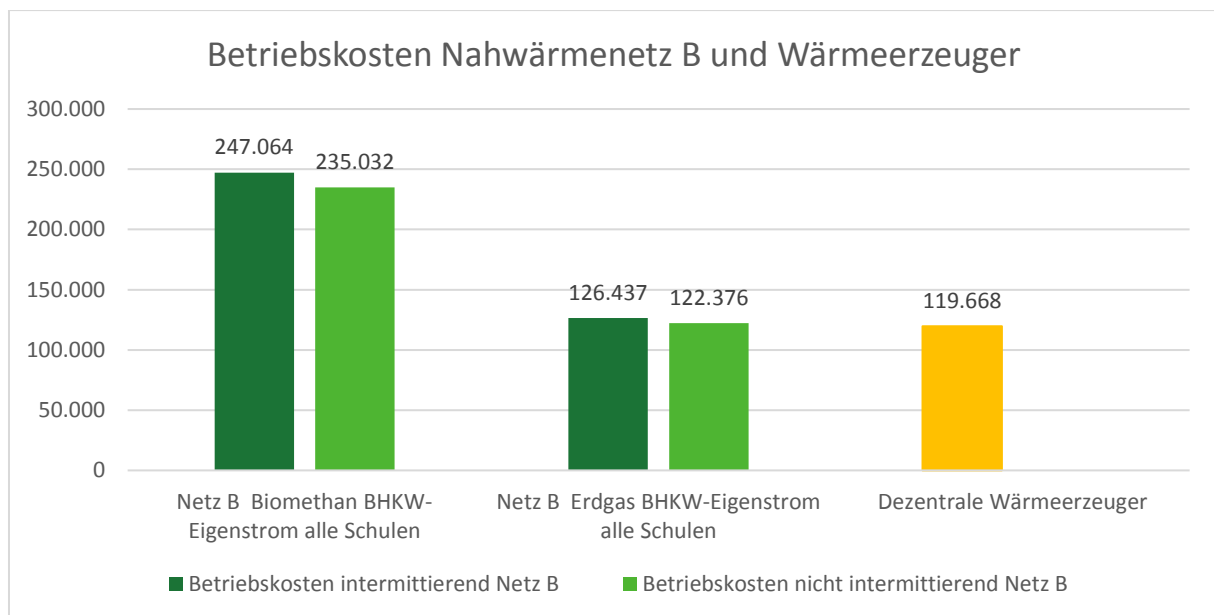


Abbildung 68 - Betriebskosten Netz B - inkl. Pumpen, Netzverluste, Wartung und Instandhaltungskosten

In Abbildung 67 und Abbildung 68 sind die auf dem berechneten Wärmebedarf basierenden, jährlichen Betriebskosten der verschiedenen Netze A und B sowie deren Betriebsvarianten den Kosten der dezentralen Wärmeerzeuger im Bestand (inkl. Ersatzinvestitionen) gegenübergestellt. In den Betriebskosten werden die Kosten der Energiebezüge der Wärmeerzeuger sowie die Betriebs- und Wartungskosten der Anlagentechnik nach VDI 2067 berücksichtigt.

Bei der Betrachtung von Netz A zeigt sich, dass die Betriebskosten bei der Verwendung der Energieträger Biomethan und Holz hackschnitzel im intermittierenden Betriebszustand mit ca. 84.000 €/a und im nicht intermittierenden Betriebszustand mit ca. 71.000 €/a deutlich unter

den Betriebskosten der bestehenden, dezentralen Anlagentechnik liegen. Die Verwendung von Erdgas senkt die Betriebskosten in den beiden Betriebszuständen auf ca. 81.000 €/a und 67.000 €/a.

In Netz B zeigt sich, dass die Verwendung von Biomethan bzw. Erdgas, deren Kosten über denen von Holzhackschnitzeln liegt, einen großen Einfluss auf die Betriebskosten des Nahwärmenetzes haben (vgl. Abbildung 55, Seite 78). Bei der Verwendung von Biomethan liegen die jährlichen Betriebskosten in beiden Betriebsarten des Netzes, deutlich über den Betriebskosten der dezentralen Wärmeerzeuger. Einen Anteil daran hat auch der Betrieb des BHKW, welches durch die Bereitstellung von elektrischer Energie weniger Anteile an thermischer Energie bereitstellen kann, wodurch ein Mehrbedarf an Brennstoff nötig wird, welcher in elektrische Energie umgewandelt wird. Durch die Verwendung von Erdgas als Energieträger sinken diese nahezu auf das Niveau der dezentralen Wärmeerzeuger ab.

Unter Berücksichtigung der kapitalgebundenen (Investitionskosten), bedarfsgebundenen (Brennstoffkosten) und betriebsgebundenen (Wartung & Instandsetzung nach VDI 2067) jährlichen Netto-Kosten der jeweiligen Anlagenvariante, wurden unter Annahme eines Kalkulationszinssatzes von 0,5 % die kumulierten, abgezinsten Einzahlungsüberschüsse und somit der Kapitalwert der jeweiligen Anlage über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren berechnet (siehe Abbildung 69 und Abbildung 70). Dabei wurde bei den Bestandsanlagen eine Sanierung der bestehenden Wärmeerzeuger in den nächsten 10 Jahren, sowie der Austausch der bestehenden Anlage im Gymnasium in 16 Jahren berücksichtigt.

Bei der angewendeten Kapitalwertmethode beinhalten die Investitionskosten der Sanierungsvarianten jeweils die Investitionskosten in die erforderlichen Wärmeerzeuger und die Kosten für die Errichtung des Nahwärmenetzes, welche den Kosten der Sanierung der Bestandsanlagen gegenübergestellt werden. Dabei werden bei den Varianten in Netz B die Einnahmen über die Nutzung und Einspeisevergütung der bereitgestellten elektrischen Energie des BHKW berücksichtigt. Dieses wird in Abbildung 69 und Abbildung 70 durch den Abstand des Kapitalwertes gegenüber der Bestandsanlage deutlich.

Bei jeder Anlagenvariante werden die Einsparungen gegenüber der Bestandsanlage, welche mit demselben Energieträger betrieben wird, eingezogen. Bei der Verwendung von Erdgas und Biomethan in Kombination mit oder ohne Kombination von Holzhackschnitzeln ergeben sich innerhalb des Betrachtungszeitraumes keine positiven Einzahlungsüberschüsse. Keine der Anlagenvarianten trägt also die eigenen Investitionskosten über die Einsparungen innerhalb des Betrachtungszeitraumes. Dabei hat die bestehende Anlage beim Betrieb mit Biomethan aufgrund der vergleichsweise hohen Brennstoffkosten des Biomethans die negativsten Einzahlungsüberschüsse. Darauf folgen die Betriebsarten in Netz B, welche aufgrund der

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

durch das BHKW bereitgestellten und vergüteten elektrischen Energie weniger negative Einzahlungsüberschüsse haben. Die geringen Unterschiede zwischen dem intermittierenden und nicht intermittierendem Netz B kommen durch die Investitionskosten der Pufferspeicher des instemittierenden Netzes zustande. Der Einfluss der Einspeisevergütung oder Eigenstromnutzung des BHKW ist aufgrund der gegenüber der Gesamtwärmeerzeugung relativ geringen elektrischen Anschlussleistung des BHKW von ca. 50 kW niedrig. Die Netzvariante amortisiert sich nicht im betrachteten Zeitraum, erzielt aber Einsparungen gegenüber der Bestandsanlage. Die Einsparungen in Netz A fallen, bedingt durch den Einsatz des im Vergleich günstigsten Energieträgers Holzhackschnitzel mit 0,03 €/kWh, deutlich weniger negativ aus als die Betriebsvarianten in Netz B und erzielt eine deutliche Einsparung gegenüber der Bestandsanlage (Abbildung 69).

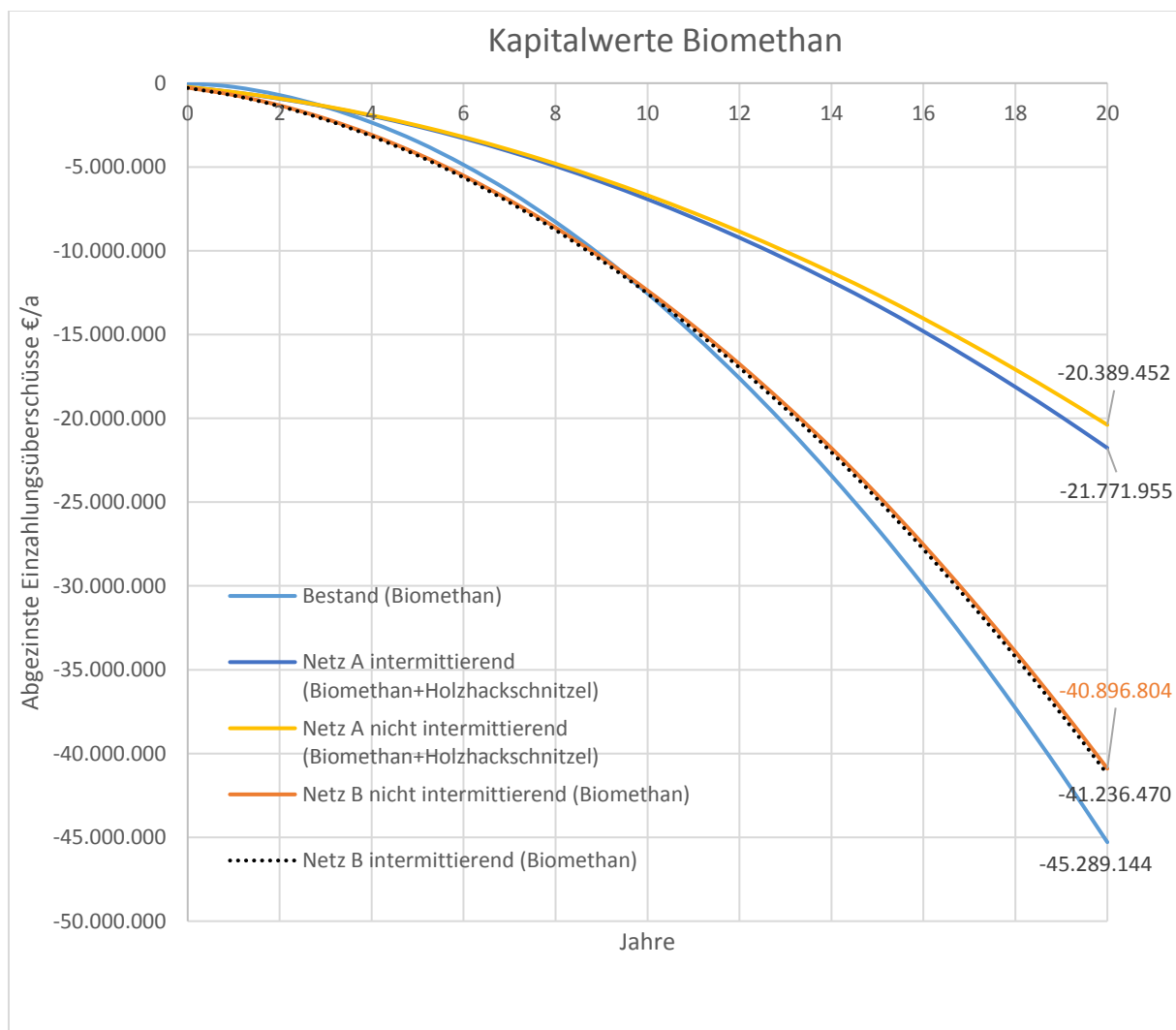


Abbildung 69 - Kapitalwerte Biomethan (+Holzhackschnitzel in Netz A)

Im Gegensatz zum Energieträger Biomethan mit 0,11 €/kWh bietet der Einsatz des Energieträgers Erdgas mit 0,055 €/kWh deutlich geringere Energie- und damit bedarfsgebundene Kosten. Dieses wird in der Abbildung 70 deutlich.

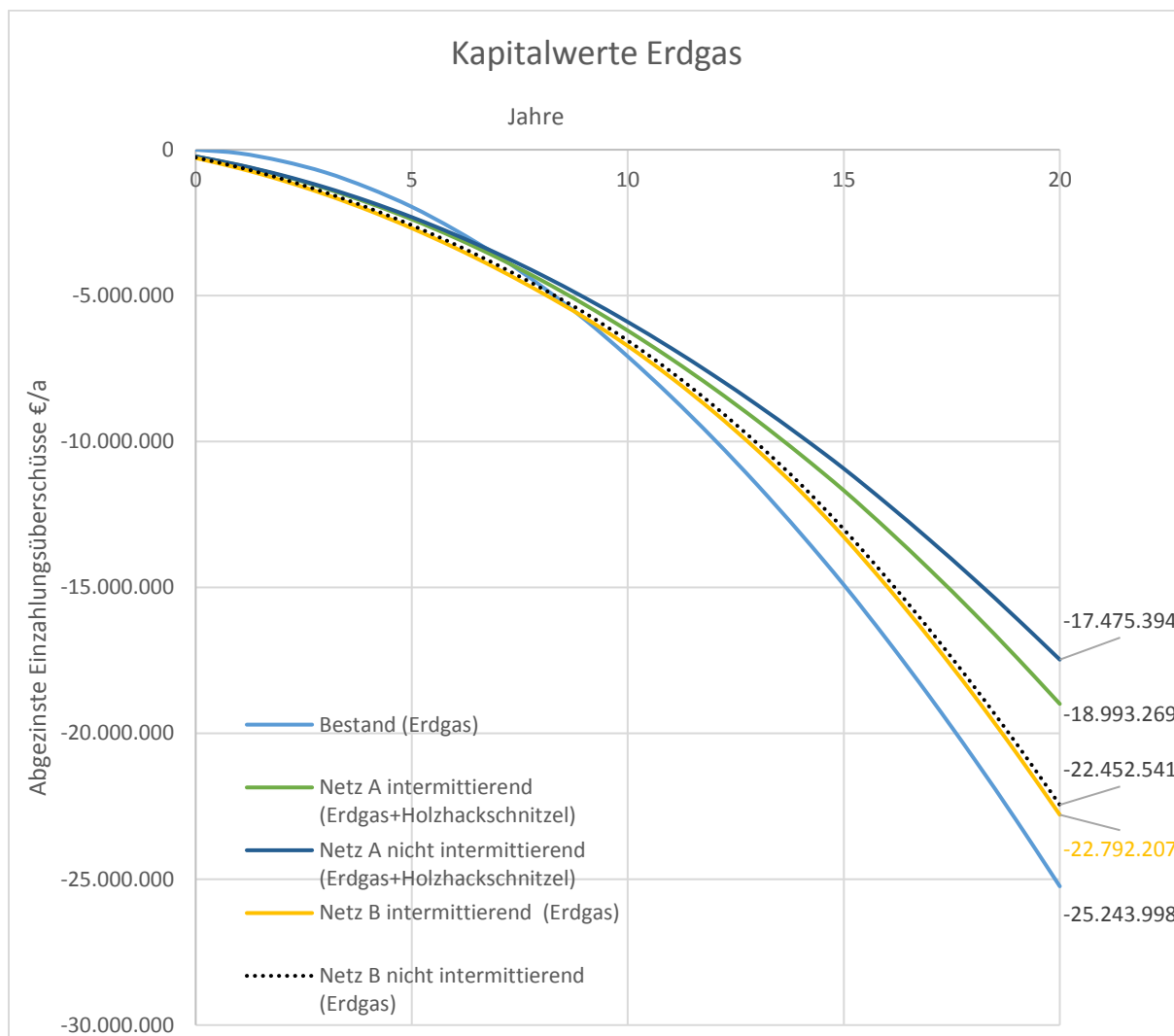


Abbildung 70 - Kapitalwerte Erdgas (+Holzhackschnitzel in Netz A)

Durch den Wegfall der Förderung des BHKW-Stroms nach KWKG ab 60.000 Vollnutzungsstunden ergeben sich für Netz B im intermittierenden Betrieb nach ca. 9 Jahren deutlich negativere Kapitalwerte. Der Einsatz von Erdgas führt in der Bestandsanlage zu weniger negativen Kapitalwerten als bei der Verwendung von Biomethan. Diese sind im Netz B weniger negativ als bei der bestehenden Anlage. Dieses ist durch die anfallenden Reinvestitionskosten für den Ersatz der dezentralen Wärmeerzeuger im Bestand über die nächsten Jahre bedingt. Die geringen Unterschiede zwischen dem intermittierenden und nicht intermittierendem Netz B kommen auch hier durch die Investitionskosten der Pufferspeicher des instemittierenden Netzes zustande. Im Vergleich bietet die Kombination aus Erdgas und Holz hackschnitzeln im Gegensatz zu allen weiteren betrachteten Varianten, die am wenigsten negativen Einzahlungsüberschüsse innerhalb des Betrachtungszeitraums. Dies ist bedingt durch die jeweils sehr niedrigen Energiekosten der eingesetzten Energieträger Erdgas und Holz hackschnitzel mit

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

0,055 €/kWh und 0,03 €/kWh. Dadurch ergeben sich in der intermittierenden und nicht intermittierenden Betriebsweise von Netz A bei der Verwendung von Erdgas, nach etwa 7 Jahren weniger negative Einzahlungsüberschüsse als bei der Bestandsanlage.

8 Fördermittel

Durch die Nutzung von Biomethan als Energieträger ergibt sich die Möglichkeit den ins Netz eingespeisten Strom nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergüten zu lassen. Dazu muss das BHKW im Sinne der Biomasseverordnung (BiomasseV) mit Biomasse betrieben werden.

EEG

Das EEG 2017 (Stand 17.07.2017) garantiert für Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 150 kW über 20 Jahre eine Einspeisevergütung für in das öffentliche Netz eingespeisten Strom von 13,32 Ct/kWh. Für den selbst genutzten Strom aus der Umwandlung von Biomasse, muss nach §61b EEG (Stand 21.06.2018) eine EEG-Umlage in Höhe von 40% der aktuellen EEG Umlage, also 2,717 Cent/kWh gezahlt werden.

KWKG

Neben der Einspeisevergütung nach EEG gibt es weiterhin die Möglichkeit den vom BHKW generierten Strom nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) fördern zu lassen, wobei eine Förderung nach EEG dann nicht mehr möglich ist. Die Fördersätze nach KWKG sind in Tabelle 21 dargestellt.

Tabelle 21 - KWKG Fördersätze

Installierte elektrische Leistung	≤ 50 kW	≤ 100 kW	≤ 250 kW
Förderung Stromeinspeisung [Ct/kWh]	8	6	5
Förderung Eigenstromnutzung [Ct/kWh]	4	3	0
Dauer	60.000	30.000	30.000

Des Weiteren wird der eingespeiste KWK-Strom vom Netzbetreiber mit dem Preis für Grundlaststrom des letzten Quartals der Leipziger Strombörse EEX vergütet. Dieser liegt im ersten Quartal 2018 bei 3,55 Cent/kWh. Womit die Förderung nach EEG deutlich attraktivere Fördermöglichkeit ist.

Bei Mini-KWK Anlagen besteht zusätzlich die Möglichkeit einen Investitionszuschuss beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zu erhalten. Dieses ist bis zu einer Anlagengröße von 20 kW_{el} möglich. Wobei der Investitionszuschuss hier 3.500 € beträgt. Des Weiteren besteht bei besonders effizienten Anlagen die Möglichkeit eine Bonusförderung von 25 – 60% des Investitionszuschusses zu erhalten.

KfW-Förderung von Nahwärmenetzen und Hausübergabestationen (271)

Im Rahmen des Marktanzreizprogramms (MAP) bietet die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) eine Finanzierung von Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt. Gefördert wird im KfW-Programm Erneuerbare Energien "Premium" mit der Programmnummer 271/281 unter anderem die Errichtung und die Erweiterung eines Wärmenetzes inkl. der Hausübergabestationen.

Voraussetzungen

- Bereitstellung von Wärme aus Erneuerbaren Energien
- im Mittel über das gesamte Netz einen Mindestwärmeabsatz von 500 kWh pro Jahr und Meter Trasse
- nicht über das KWK-G förderfähig

Dabei muss die verteilte Wärme eine der folgenden Bedingungen einhalten:

Die Wärme stammt

- zu mindestens 20 % aus Solarwärme, sofern ansonsten fast ausschließlich Wärme aus hocheffizienten KWK-Anlagen, aus Wärmepumpen oder aus industrieller oder gewerblicher Abwärme,
- zu mindestens 50 % mit Wärme aus erneuerbaren Energien, bei überwiegender Versorgung von Bestandsgebäuden und mindestens zu 60 % bei überwiegender Versorgung von Neubauten
- zu mindestens 50 % aus Wärmepumpen, bei überwiegender Versorgung von Neubauten 60 %
- zu mindestens 50 % aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme, bei überwiegender Versorgung von Neubauten 60 % oder
- zu mindestens 50 %, bei überwiegender Versorgung von Neubauten 60 % aus einer Kombination der in den Buchstaben a bis d genannten Maßnahmen und ansonsten fast ausschließlich aus hocheffizienter KWK.

Höhe der Förderung

Es handelt sich um einen zinsgünstigen Kredit, mit dem bis zu 100% der förderfähigen Nettoinvestitionskosten gefördert werden können.

Tilgungszuschuss bei förderfähigem Wärmenetz

60 EUR je neu errichtetem Meter, höchstens jedoch 1 Mio. Euro

1.800 EUR für Hausübergabestationen von Bestandsgebäuden, wenn die Investitionen vom Investor und Betreiber des Wärmenetzes durchgeführt werden und kein kommunaler Anschlusszwang besteht.

Der maximale Tilgungszuschuss erhöht sich auf 1,5 Mio. EUR, sofern Wärme aus Tiefengeothermieanlagen in das Wärmenetz eingespeist wird.

9 Fazit

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Netz- und Betriebsvarianten bringen durch die unterschiedliche Anlagentechnik und Auslegungsparameter hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte verschiedene Vor- und Nachteile.

Aufgrund unterschiedlicher Netzverläufe und Positionierung der Wärmeerzeuger zwischen Netz A und B ergeben sich bedingt durch die individuellen Nennweiten der Teilstücke Unterschiede in den jeweiligen Netzverlusten.

Bei Netz A wird der größte Anteil des Wärmebedarfs des Nahwärmenetzes über einen Holzhackschnitzelkessel im Bürgerpark gedeckt, während der relativ neue Gas-Brennwertkessel im Joseph-Haydn-Gymnasium (Bj.2014) mit in das Nahwärmenetz eingebunden werden soll. Dieser soll Erdgas oder Biomethan als Energieträger nutzen.

Die Wärmeerzeugung in Netz B soll über den bestehenden Gas-Brennwertkessel des Joseph-Haydn-Gymnasiums, welcher in Zukunft als Spitzenlastkessel dienen soll, sowie einen neuen Gas-Brennwertkessel und ein BHKW, welches zur Deckung der Wärmegrundlast dient, erfolgen. Die Gas-Kessel und das BHKW können mit Erdgas oder Biomethan beheizt werden und die durch das BHKW bereitgestellte elektrische Energie wird direkt im Joseph-Haydn-Gymnasium genutzt oder ins Versorgungsnetz eingespeist.

Beide Netze (A und B) können in zwei verschiedenen Betriebsarten (intermittierend oder nicht intermittierend) betrieben werden. Dabei wird in der intermittierenden Betriebsweise jedes Gebäude mit einem Pufferspeicher ausgestattet. Es werden jeweils immer zwei Pufferspeicher parallel geladen und zeitgleich zwei Pufferspeicher entladen. Damit reduziert sich die maximal im Netz erforderliche Heizlast und damit die bereitzustellende Leistung. Während das Netz in der intermittierenden Betriebsweise mit höheren Fließgeschwindigkeiten betrieben werden kann, welche geringere Nennweiten der Rohre erlauben, führt dieses gleichzeitig zu einem erhöhten Strombedarf der Umwälzpumpen. Die geringeren Rohrweiten verringern die Investitionskosten in das Nahwärmenetz durch geringere Materialkosten der Rohre und den Wärmeverlust durch eine kleinere Rohroberfläche. Gleichzeitig fallen hier durch die geringeren Nennweiten des Nahwärmenetzes erhöhte Energieverbräuche der Pumpen durch die veränderten Druckverhältnisse an.

Grundsätzlich fallen bei der Netzvariante B geringere Wärmeverluste über das Nahwärmenetz an, da dieses 55 Meter kürzer ist als Netz A.

Unter ökonomischen Gesichtspunkten ist bei der Betrachtung der Investitionskosten die Verwendung von dezentralen Wärmeerzeugern zunächst die kostengünstigere Variante. Allerdings wird bei der Betrachtung der Betriebskosten des Netzes deutlich, dass diese im Netz A

Fazit

anfallenden Brennstoff-, Betriebs- und Wartungskosten deutlich unter denen der dezentralen Wärmeerzeuger liegen. Des Weiteren bietet der Einsatz von Holzhackschnitzeln in Netz A, bedingt durch die von allen betrachteten Energieträgern geringsten Kosten pro kWh, in allen Betriebsvarianten die geringsten Betriebskosten, welche in Kombination mit dem Einsatz von Erdgas eine niedrige Amortisationszeit der Anlagentechnik ermöglicht. Diese Variante führt gleichzeitig durch einen hohen Anteil an Holzhackschnitzeln zu den geringsten Treibhausgasemissionen-Emissionen (THG) aller Varianten.

Bei der Betrachtung von Netz B wird deutlich, dass durch den Einsatz von Biomethan, welches vergleichsweise hohe Kosten pro kWh aufweist, höhere Betriebskosten als bei den dezentralen Wärmeerzeugern im Bestand auftreten. Diese Kosten werden zum Teil durch die Fördermittel (Einspeisevergütung) der erzeugten elektrischen Energie aufgefangen. Hierbei lassen sich die höchsten Erträge über eine hohe Eigenstromnutzung erreichen, welche durch ein lokales Niederspannungsnetz zwischen den Gebäuden maximiert werden kann. Bei der Verwendung von Erdgas liegen die Betriebskosten im Netz B auf dem Niveau der dezentralen Wärmeerzeuger im Bestand. Dieses hängt unter anderem mit dem Einsatz des BHKW zusammen, welches aufgrund der Bereitstellung von elektrischer Energie geringere thermische Wirkungsgrade bei gleichzeitig hohen jährlichen Laufzeiten aufweist. Bei der Verwendung von Biomethan wirkt sich der niedrige thermische Wirkungsgrad eines auf den Wärmebedarf ausgelegten BHKW bei dieser Betrachtung zusätzlich auf die hohen Betriebskosten aus. Die THG-Emissionen fallen gegenüber dem Energieträger Holzhackschnitzel, bei der Verwendung von Biomethan etwas höher und bei der Verwendung von Erdgas deutlich höher als in Netz A aus.

Insgesamt kann die Errichtung eines Nahwärmenetzes durch die Auswahl der optimalsten Variante der Gemeinde Senden die Möglichkeit einer ökonomischen und ökologisch optimierten Wärmeversorgung Ihrer kommunalen Liegenschaften bieten. Der Einsatz von regenerativen Brennstoffen wie Biomethan oder Holzhackschnitzeln in einem Nahwärmenetz führt zusätzlich in allen betrachteten Varianten zu geringeren Treibhausgasemissionen, was einen Beitrag zur Verringerung des anthropogenen Treibhauseffektes leisten und somit zur Verlangsamung des Klimawandels beitragen kann.

10 Empfehlung

Unter der Berücksichtigung aller ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkte bietet die Netzvariante A in der nicht intermittierenden Betriebsweise die insgesamt geringsten Betriebskosten sowie gleichzeitig die geringsten THG-Emissionen aller Netz- und Betriebsvarianten. Dieses kommt hauptsächlich durch die vergleichsweise geringen Brennstoffkosten sowie die geringen THG-Emissionen der Holzhackschnitzel zustande. Gleichzeitig werden bei der Kombination der Energieträger Erdgas und Holzhackschnitzel in Netz A in allen Betriebsarten die niedrigsten Kosten über die Anlagenlebensdauer erreicht.