



dm^e
consult

**Abschlussbericht
Erweiterung der Machbarkeitsstudie
Siedlung Eichkamp in Berlin
Bezirk Charlottenburg - Wilmersdorf**

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT UND DANKSAGUNG	4
2	ERFASSUNG KALKULATIONSBASIS	5
3	PROJEKTSKALIERUNG UND STUFENWEISE UMSETZUNG	6
3.1	Startszenario (73 Hausanschlüsse).....	6
3.1.1	Wärmenetz.....	6
3.1.2	Erzeugerkonstellation.....	8
3.1.3	Erzeugersimulationsergebnis.....	9
3.2	Bauabschnitt 1 (161 Hausanschlüsse).....	12
3.2.1	Wärmenetz.....	12
3.2.2	Erzeugerkonstellation.....	14
3.2.3	Erzeugersimulationsergebnis.....	15
4	WÄRMEPREISBERECHNUNG	19
4.1	Startszenario (73 Hausanschlüsse).....	19
4.1.1	Festlegung von Berechnungsparametern	20
4.1.2	Übersicht Jahresbilanzen.....	23
4.2	Wirtschaftlicher Vergleich der beiden Szenarien.....	25
5	HANDLUNGSANSÄTZE UND EMPFEHLUNG	27
6	REDAKTION	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Trassenplan des Start szenarios mit 73 HA	7
Abbildung 2: Erzeugerbilanz Start szenario mit 73 HA.....	10
Abbildung 3: Erzeugerlastgänge Start szenario mit 73 HA.....	11
Abbildung 4: Jahresverlauf der Speicherkapazität bei 300 m ³ für das Start szenario	11
Abbildung 5: Trassenplan von Bauabschnitt 1 mit 161 HA.....	13
Abbildung 6: Energiebilanz Bauabschnitt 1 mit 161 HA.....	16
Abbildung 7: Erzeugerlastgänge Bauabschnitt 1 mit 161 HA.....	17
Abbildung 8: Lastgang des Hotmobils.....	17
Abbildung 9: Jahresverlauf der Speicherkapazität bei 400 m ³ für Bauabschnitt 1	18
Abbildung 10: Verteilung des Jahreswärmebedarfs auf die Bedarfsgruppen	19
Abbildung 11: Erzeugerbilanz Start szenario mit 73 HA.....	20
Abbildung 12: Kumulierte Cashflows.....	25
Abbildung 13: Entwicklung Gewinn/Verlust	25

1 Vorwort und Danksagung

Die DME Consult GmbH hat im Jahr 2020 eine Machbarkeitsstudie für eine **klimafreundliche Wärmeversorgung innerhalb der Siedlung Eichkamp** in Berlin Charlottenburg erstellt und final im Januar 2021 an den Auftraggeber „Bezirksamt Berlin/Charlottenburg-Wilmersdorf“ übergeben.

In Ergänzung zu diesen Ausarbeitungen folgt die schrittweise weitere Umsetzung des Projektes unter Einbeziehung der vor Ort aktiven und relevanten Akteure. Auf Basis der vorab abgestimmten und vorgegebenen Aufgaben sowie den thematisch beschriebenen und abgegrenzten Leistungspaketen wurde das vorliegende Dokument erstellt.

Die vorliegende Ausarbeitung entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Aktionskreis Energie im Berliner Eichkampviertel sowie dem Bezirksamt Berlin/Charlottenburg-Wilmersdorf. Dabei gilt besonderer Dank dem AK Energie, der es geschafft hat, ein Projekt zu initiieren, welches nicht nur zukunftsfähig, sondern für Bestandsquartiere in ganz Deutschland richtungsweisend ist. Im Rahmen der Abstimmungen zwischen den Akteuren hat die Sanierungsmanagerin, Frau Sabine Drewes, sowohl die Interessen des AK Energie repräsentiert als auch zu einer harmonischen Zusammenarbeit aller Akteure beigetragen. Ebenso ist das Engagement von Herrn Gunnar Thöle vom Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf aus der Abteilung Stadtentwicklung, Bauen und Umwelt hervorzuheben. Er hat stets dieses zukunftsweisende Projekt mit Vorreitercharakter unterstützt und vorangebracht. Nur mit Hilfe der genannten Akteure und Personen war die hier vorliegende Ausarbeitung überhaupt möglich und hat die Perspektive, zeitnah in die Tat umgesetzt zu werden.

2 Erfassung Kalkulationsbasis

Als Basis der vertieften wirtschaftlichen Betrachtung des Vorhabens wurde im ersten Schritt die im Rahmen der ersten Ausführung erstellte externe Kalkulationsdokumentation vom Büro Lohrmann aufgenommen und in eine für den Auftraggeber verwendbare Kalkulations-Datei überführt (Reverse Engineering). Die somit neu erstellte Berechnungsdatei wurde dem Auftraggeber als offene Version zur weiteren Bearbeitung und Verwendung überstellt.

3 Projektskalierung und stufenweise Umsetzung

Zu Beginn der Arbeiten erfolgte die Aufnahme der zum aktuellen Projektstand gesicherten Wärmekunden und deren Raumverteilung im Quartier. Diese Raumverteilung ist in den nachfolgenden Planunterlagen visualisiert.

Im Anschluss erfolgte die geschärfte Erfassung sowie Einarbeitung der gesicherten Wärmeverbräuche in die bisherigen Verbrauchsberechnungen. Die Zuarbeit dazu in Richtung DME Consult erfolgte seitens der Akteure im Quartier.

3.1 Startscenario (73 Hausanschlüsse)

Für den Start des Ausbaus wurde die Option untersucht, den ersten Bauabschnitt von ursprünglichen 159 Hausanschlüssen auf 73 Hausanschlüsse zu skalieren. Mit inbegriffen sind dabei auch zwei ansässige Schulen und deren Wärmebedarf. Diese Skalierung wirkt sich entsprechend auf den Wärmebedarf und somit auch auf die Erzeugerkonstellation und -simulation aus.

Ergänzend zu den Ausarbeitungen der Erzeugerkonstellation wurden die Ergebnisse zur Förderfähigkeit mit dem BAFA auf Basis der neuen Bilanzzahlen abgestimmt.

3.1.1 Wärmenetz

In Anbetracht der neuen Situation wird das Wärmenetz in seiner Ausdehnung an die Raumverteilung der aktuell gesicherten Wärmekunden angepasst. Dabei wird ausdrücklich nichts an der Dimensionierung der Rohrleitungen aus der vorhergehenden Machbarkeitsstudie verändert, um das finale Ziel des Endausbaus nicht einzuschränken oder gar zu gefährden. Die für das Startscenario relevanten 73 Wärmekunden sowie die entsprechenden Trassenabschnitte sind in *Abbildung 1* in grün dargestellt.

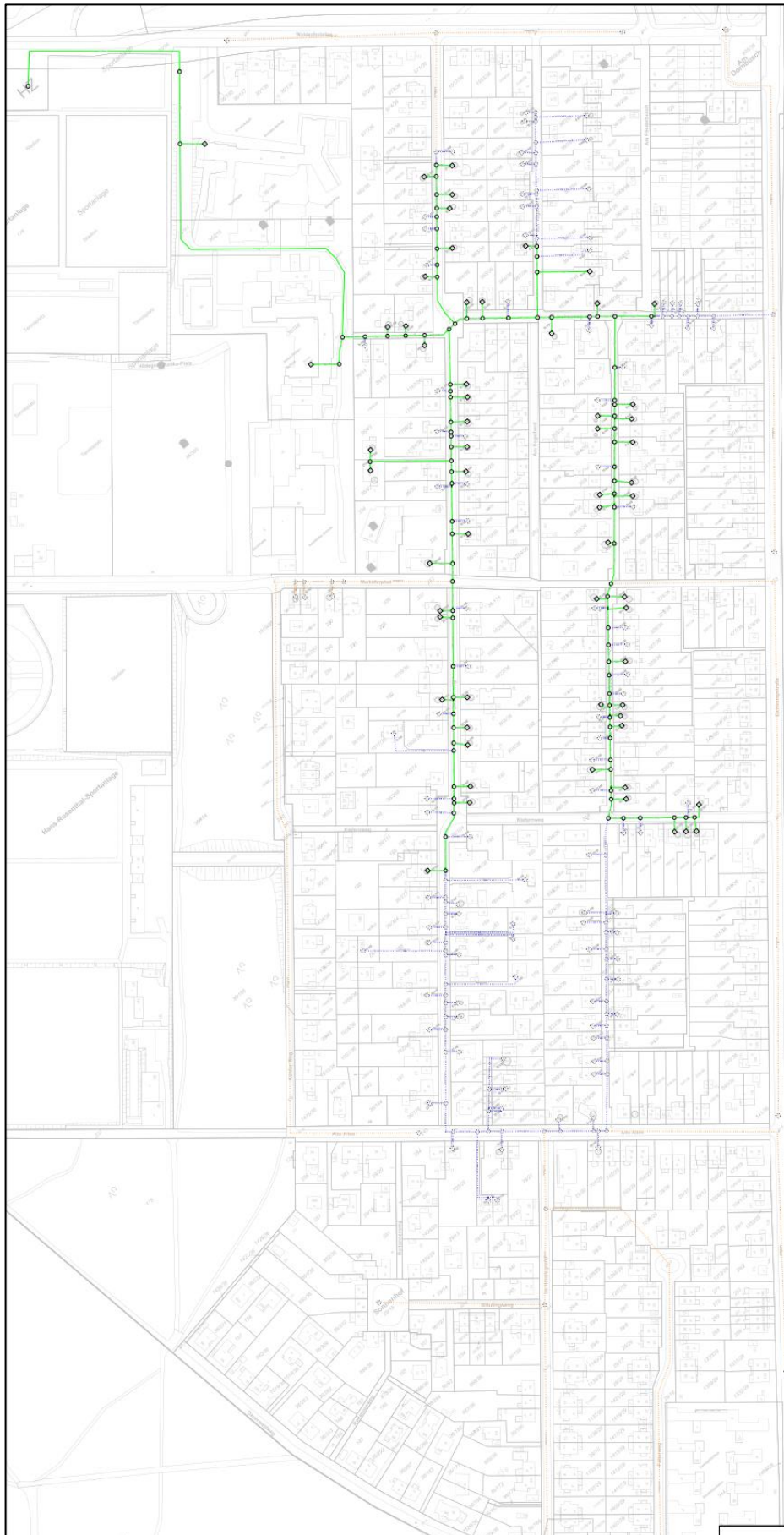


Abbildung 1: Trassenplan des Startzenarios mit 73 HA

3.1.2 Erzeugerkonstellation

Unter Berücksichtigung der zum jetzigen Zeitpunkt (bzw. Startzeitpunkt) vorhandenen Verbrauchssituation wird die Erzeugerleistung und die sich daraus ergebenden Anpassungen an die Anlagenkomponenten neu ermittelt. Ziel dabei ist ein „kaskadierendes“ Anlagenwachstum, welches mit den Zielen der Machbarkeitsstudie korrespondiert und diese im Endausbauszenario nicht gefährdet. Im Rahmen dieser Ausarbeitungen erfolgt eine Neuvalidierung der Energiebilanzen, insbesondere der Biomasse, und eine damit einhergehende Verbesserung der Erzeugerbilanz der Wärmepumpen zum Start des Projektes.

3.1.2.1 Wärmepumpen

Für die Deckung des Wärmebedarfs soll überwiegend innovative Energie, generiert durch drei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit jeweils 200 kW, zum Einsatz kommen. Diese drei Wärmepumpen mit insgesamt 600 kW thermischer Leistung können bereits ab einer Außentemperatur von -13 °C aus der angesaugten Außenluft Wärme für das Wärmenetz erzeugen und erreichen somit eine über das ganze Jahr gemittelte Jahresarbeitszahl von 2,86. Die Feinsteuerung der Wärmepumpen als Innovationsträger erfolgt mittels Frequenzumrichtern abhängig von Außentemperatur sowie Wärmeabnahme. Durch die Skalierung des Startausbauszenarios kann der Wärmebedarf überwiegend durch die Wärmepumpen gedeckt werden, was sich wiederum positiv auf die Förderfähigkeit des Projektes nach BEW auswirkt.

3.1.2.2 PV-Anlage und Batteriespeicher

Um den Innovationscharakter der Wärmepumpen weiter hervorzuheben, ist auf dem Dach der künftigen Energiezentrale sowie der Adolf-Eschke-Schule eine PV-Anlage mit 900 m² Gesamtfläche und einer Leistung von insgesamt 112,5 kWp geplant. Somit können die Wärmepumpen teilweise direkt mit erneuerbarem Strom aus der PV-Anlage betrieben werden und verzeichnen auf das Jahr gerechnet einen reduzierten Bezug aus dem vorgelagerten Stromnetz. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die Ökobilanz des Gesamtsystems aus, sondern auch auf die stark vom Strompreis abhängige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmepumpen. Der typische Erzeugerlastgang einer PV-Anlage verläuft jedoch antizyklisch zum Wärmeverbrauch. Tagsüber, wenn wenig Wärmeabnahme stattfindet, verzeichnet die Photovoltaik ihre Erzeugungsspitzen, während abends/nachts, wenn der Wärmebedarf hoch ist, kaum Strom generiert wird. Um dieser Herausforderung gerecht zu werden und die tagsüber erzeugte elektrische Energie in die Abend-/Nachtstunden zu überführen, wurde ein im Vergleich zu Machbarkeitsstudie neues Innovationselement in Form eines Batteriespeichers in das Konzept aufgenommen. Bei diesen Lithium-Ionen-Batteriespeichern ist jedoch eine jährliche Zyklusanzahl von mindestens 200 Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb. Dieser Umstand ist in den durch das Simulationsprogramm generierten Erzeugerlastgängen der Wärmepumpen jedoch nicht berücksichtigt, weshalb es hier Abstimmungsbedarf zwischen Erzeugerlastgängen und Batteriespeicherzyklen gibt. Um möglichst viele Be- und Entladezyklen des

Batteriespeichers zu ermöglichen, wurden die mit dem Simulationsprogramm erzeugten Lastgänge der Wärmepumpen manuell angepasst und befinden sich aktuell in der Abstimmung mit einem Batteriespeicherhersteller. Auf welche Weise der Einsatz eines elektrischen Speichers in Kombination mit der geplanten Photovoltaik-Anlage mit dem Lastverhalten der Wärmepumpen vereinbar ist, ist nach derzeitigem Kenntnisstand noch nicht abschließend zu beurteilen. Diese Abstimmung ist Teil des Detailengineerings und befindet sich in einem laufenden Prozess. Klar ist jedoch, dass diese Technologie-Kombination ein erhebliches Potenzial in der Eigenstromnutzung und somit Betriebskostensenkung der Wärmepumpen darstellt. Mit Hilfe eines Batteriespeichers können bei optimaler Abstimmung mit Wärmepumpen und PV-Anlage die zeitweise auftretenden Strombedarfs-spitzen der Wärmepumpen geglättet bzw. kompensiert werden.

3.1.2.3 Biomasse

Ergänzend zu der beschriebenen innovativen Energie der Wärmepumpen wird zur Spitzenlastabdeckung in den kalten Monaten die erneuerbare brennstoffbezogene Wärme eines 500 kW Biomassekessels hinzugezogen. Um auch hier so effizient wie möglich die aus Hackschnitzeln erzeugte Wärme zu nutzen, wird der Kessel durch eine Rauchgaskondensation komplettiert. Dieser zusätzliche Wärmetauscher entzieht den Abgasen des Kessels noch weitere Wärme und führt zu einer Leistungssteigerung von bis zu 8 %.

3.1.2.4 Pufferspeicher

Da die Wärmepumpen am effizientesten bei wärmeren Temperaturen laufen, wird teilweise überschüssige Wärme zu Zeitpunkten geringer Wärmeabnahme erzeugt. Zur Zwischenspeicherung dieser wertvollen thermischen Energie wurde in der Erzeugersimulation ein Pufferspeicher mit 300 m³ Fassungsvermögen ermittelt.

3.1.3 Erzeugersimulationsergebnis

Der Anteil der verschiedenen Energiequellen an der Wärmeversorgung der im ersten Bauabschnitt berücksichtigten 73 Hausanschlüsse ist in *Abbildung 2* grafisch dargestellt. Hieraus wird klar ersichtlich, dass die Wärmepumpen als innovative Wärmeerzeuger den Großteil des Wärmebedarfs mit insgesamt 67 % abdecken. Die übrigen 33 % der Wärme werden durch den Biomassekessel mit Wärmerückführung ergänzt.

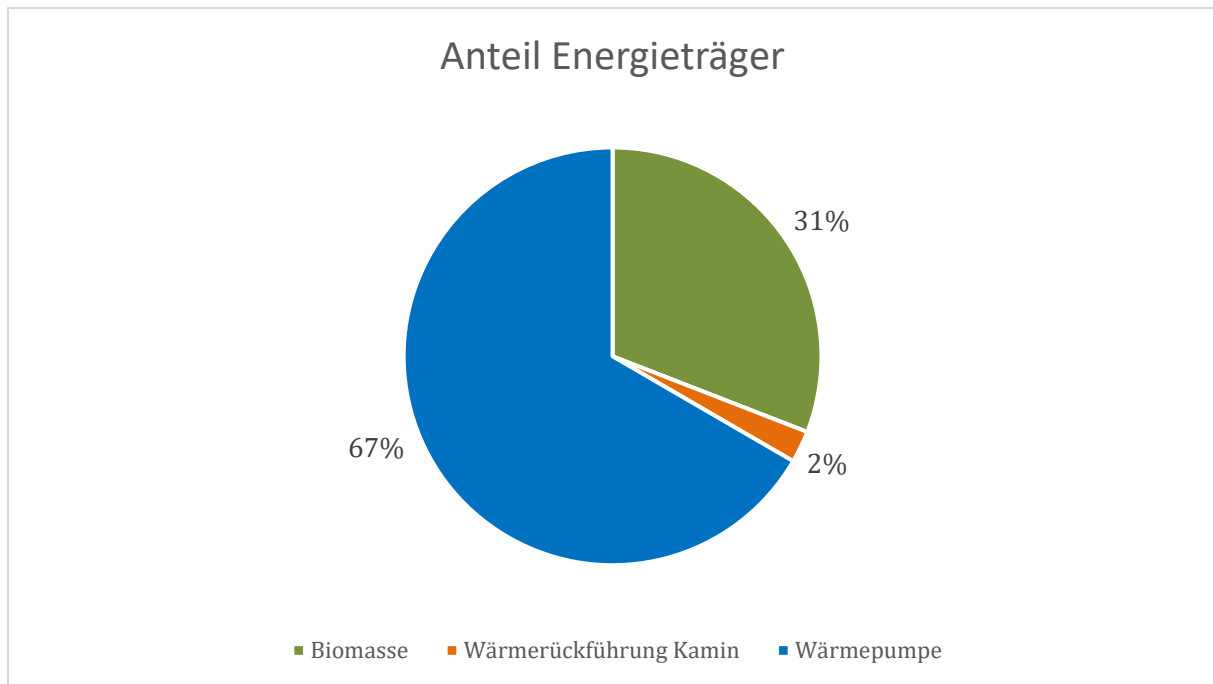


Abbildung 2: Erzeugerbilanz Startscenario mit 73 HA

Die monatlichen Energieerträge der einzelnen Erzeuger in kWh als Ergebnis der Simulation des Startscenarios mit 73 berücksichtigten Hausanschlüssen ist in *Tabelle 1* zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 1: Monatliche Erzeugerträge für das Startscenario mit 300 m³ Pufferspeichervolumen

	Wärmepumpe 1 200 kW	Wärmepumpe 2 200 kW	Wärmepumpe 3 200 kW	Biomassekessel 500 kW
Januar	72.240 kWh	63.137 kWh	510 kWh	206.355 kWh
Februar	57.570 kWh	49.930 kWh	45.582 kWh	142.835 kWh
März	67.309 kWh	51.784 kWh	0 kWh	143.710 kWh
April	72.572 kWh	52.505 kWh	19.278 kWh	0 kWh
Mai	46.845 kWh	3.888 kWh	0 kWh	0 kWh
Juni	34.642 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Juli	29.435 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
August	29.289 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
September	37.285 kWh	4.092 kWh	0 kWh	0 kWh
Oktober	65.013 kWh	46.681 kWh	3.263 kWh	0 kWh
November	68.993 kWh	58.177 kWh	26.276 kWh	61.515 kWh
Dezember	62.279 kWh	57.399 kWh	56.067 kWh	137.280 kWh

Die Lastgänge der einzelnen Erzeuger sind zur besseren Veranschaulichung in *Abbildung 3* grafisch abgebildet. Hier ist klar zu erkennen, dass der Biomassekessel lediglich in der Übergangszeit und im Winter, also in Zeiten mit besonders hohem Wärmebedarf, die Wärmeversorgung unterstützt. Im Sommer sind ausschließlich die Wärmepumpen für die Wärmeerzeugung vorgesehen und stellen somit eine durchgehend brennstofffreie Energieversorgung des Quartiers sicher.

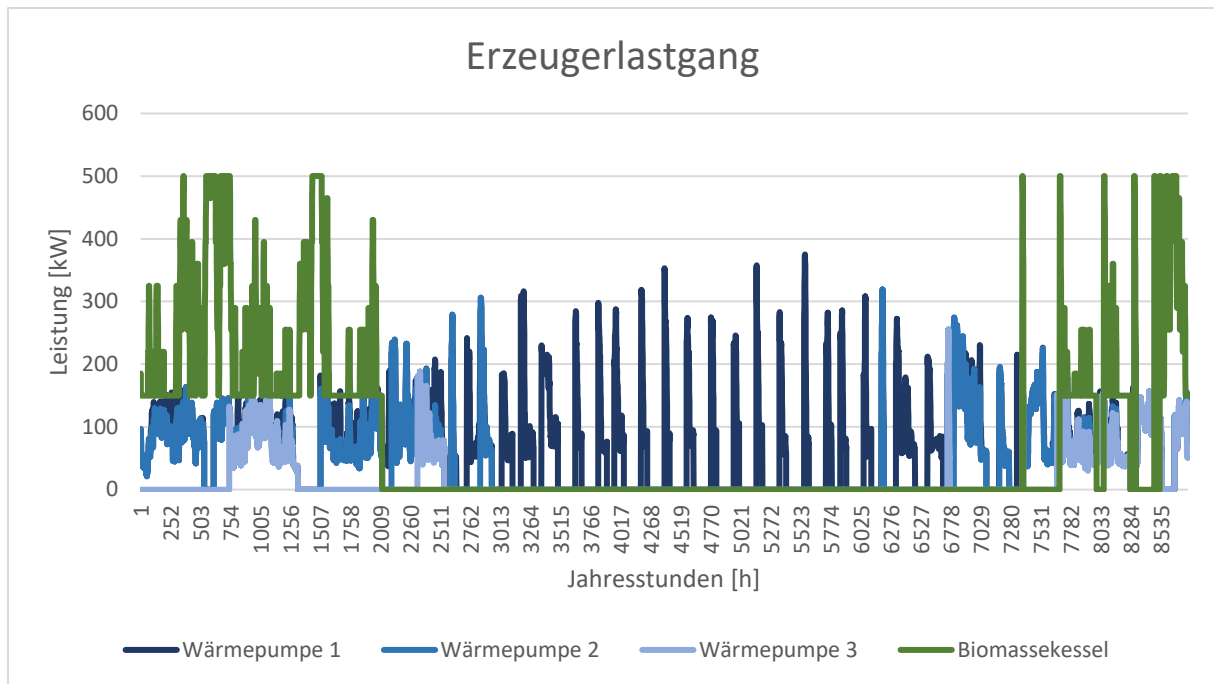


Abbildung 3: Erzeugerlastgänge Startscenario mit 73 HA

Ergänzend zu den Energieerzeugern muss auch die Möglichkeit der thermischen Energiespeicherung betrachtet werden. Der bereits unter *Abschnitt 3.1.2.4* angesprochene Pufferspeicher mit einer Kapazität von 300 m³ wurde ebenfalls in die Auslegung der Erzeuger mit einbezogen. Der simulierte Verlauf der im Speicher gespeicherten Wärmemenge in kWh ist in *Abbildung 4* veranschaulicht.

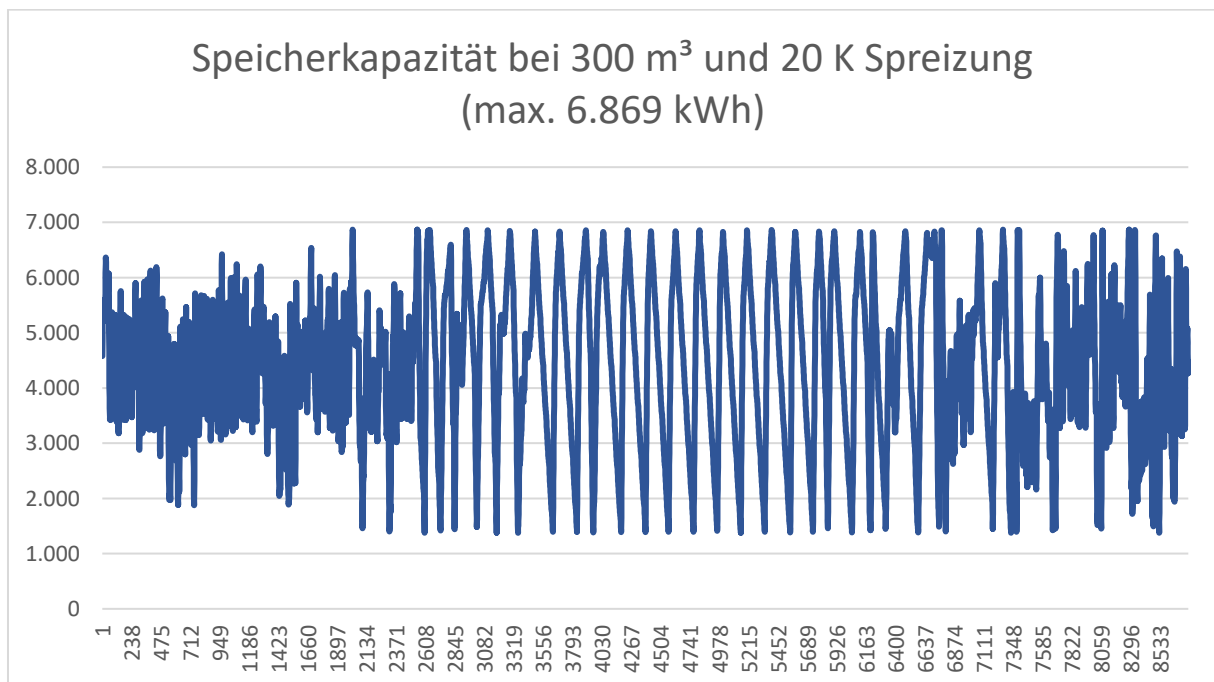


Abbildung 4: Jahresverlauf der Speicherkapazität bei 300 m³ für das Startscenario

3.2 Bauabschnitt 1 (161 Hausanschlüsse)

Als Alternative wurde für den Start des Ausbaus ergänzend die Option untersucht, im Rahmen des ersten Bauabschnitts die ursprüngliche Anzahl an Hausanschlüssen anzuschließen. Die Zahl der hier zu betrachtenden Hausanschlüsse wurde nach Abstimmung unter den Akteuren auf 161 festgelegt. Dabei sind die beiden Schulen in der Siedlung Eichkamp mitberücksichtigt. Der damit einhergehende höhere Wärmebedarf, verglichen mit dem Startscenario, wirkt sich entsprechend auch auf die Erzeugerkonstellation und -simulation aus.

Ergänzend zu den Ausarbeitungen der Erzeugerkonstellation werden die Ergebnisse zur Förderfähigkeit mit dem BAFA auf Basis der neuen Bilanzzahlen abgestimmt.

3.2.1 Wärmenetz

Das Wärmenetz wird in seiner Ausdehnung an die Raumverteilung der Wärmekunden angepasst. Dabei wird auch in diesem Szenario ausdrücklich nichts an der bisherigen Dimensionierung der Rohrleitungen verändert, um das finale Ziel des Endausbaus nicht einzuschränken oder zu gefährden. Die für den hier betrachteten Bauabschnitt 1 relevanten 161 Kunden und die entsprechenden Trassenabschnitte sind in *Abbildung 5* in orange dargestellt.



Abbildung 5: Trassenplan von Bauabschnitt 1 mit 161 HA

3.2.2 Erzeugerkonstellation

Unter Berücksichtigung der Verbrauchssituation bei 161 Hausanschlüssen werden die Erzeugerleistung und die sich daraus ergebenden Anpassungen an die Anlagenkomponenten neu ermittelt. Ziel ist auch hier ein „kaskadierendes“ Anlagenwachstum, welches mit den Zielen der Machbarkeitsstudie korrespondiert und diese im Endausbauszenario nicht gefährdet. Im Rahmen dieser Ausarbeitungen erfolgte eine Neuvalidierung der Energiebilanzen, insbesondere der Biomasse und der Wärmepumpen. Im Bereich der Spitzenlastabdeckung wurde eine im Vergleich zur vorangegangenen Machbarkeitsstudie wesentliche Änderung vorgenommen, die unter *Abschnitt 3.2.2.4* genauer erläutert wird.

3.2.2.1 Wärmepumpen

Für die Deckung des Wärmebedarfs sollen, wie bereits beim Startscenario beschrieben, drei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit jeweils 200 kW zum Einsatz kommen. Diese drei Wärmepumpen mit insgesamt 600 kW Leistung können bereits bei einer Außentemperatur von -13 °C aus der angesaugten Außenluft Wärme für das Wärmenetz generieren und erreichen somit eine über das ganze Jahr gemittelte Jahresarbeitszahl von 2,86. Die Feinsteuerung der Wärmepumpen als Innovationsträger erfolgt mittels Frequenzumrichtern abhängig von Außentemperatur sowie Wärmeabnahme.

3.2.2.2 PV-Anlage und Batteriespeicher

Wie bereits unter *3.1.2.2* beschrieben, ist auf dem Dach der künftigen Energiezentrale sowie der Adolf-Eschke-Schule eine PV-Anlage mit 900 m² Gesamtfläche und einer Leistung von insgesamt 112,5 kWp geplant. Dadurch lassen sich sowohl die Ökobilanz der Wärmepumpen verbessern als auch deren Betriebskosten reduzieren. Der typische Erzeugerlastgang einer PV-Anlage verläuft jedoch antizyklisch zum Wärmeverbrauch. Um dieser Herausforderung zu begegnen und die tagsüber erzeugte elektrische Energie in die Abend-/Nachtstunden zu überführen, wurde ein neues Innovationselement in Form eines Batteriespeichers in das Konzept aufgenommen. Bei diesen Lithium-Ionen-Batteriespeichern ist jedoch eine jährliche Zyklusanzahl von mindestens 200 Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, wurden die mit dem Simulationsprogramm erzeugten Lastgänge der Wärmepumpen manuell angepasst und befinden sich aktuell in der Abstimmung mit Batteriespeicherhersteller. Auf welche Weise der Einsatz eines Batteriespeichers in Kombination mit der angesetzten Photovoltaik-Anlage und dem Lastverhalten der Wärmepumpen vereinbar ist, ist nach derzeitigem Kenntnisstand noch nicht abschließend zu beurteilen. Diese Abstimmung ist Teil des Detailengineering und befindet sich in einem laufenden Prozess. Klar ist, dass diese Technologie-Kombination ein erhebliches Potenzial in der Eigenstromnutzung und somit Betriebskostensenkung der Wärmepumpen darstellt. Mit Hilfe eines elektrischen Speichers können bei optimaler Abstimmung mit Wärmepumpen und PV-Anlage die zeitweise auftretenden Strombedarfsspitzen der Wärmepumpen geglättet bzw. kompensiert werden.

3.2.2.3 Biomasse

Im Vergleich zum Startscenario mit nur 73 Hausanschlüssen ist bei 161 Hausanschlüssen eine Leistung von 700 kW erzeugt aus Biomasse notwendig. Dieser Hackschnitzelkessel dient vorrangig zur Redundanz und Spitzenlastabdeckung in den kalten Monaten. Um auch hier so effizient wie möglich die erneuerbare Wärme zu nutzen, wird der Kessel durch eine Rauchgaskondensation ergänzt. Dieser zusätzliche Wärmetauscher entzieht den Abgasen des Kessels noch weitere Wärme und führt zu einer Leistungssteigerung von bis zu 8 %.

3.2.2.4 Hotmobil

Anders als im Startscenario benötigt die Betrachtung bei 161 anzuschließenden Wärmekunden eine zusätzlichen Spitzenlastabdeckung. Hier wurde eine wesentliche Änderung im Vergleich zur ursprünglichen Studie vorgenommen. Den Schulen fällt in den wenigen Tagen der Spitzenlast eine Sonderrolle zu. Grundsätzlich werden von Seiten der Fernwärmeversorgung 310 kW Anschlussleistung für die Schulen zur Verfügung gestellt. Sobald das System im Winter eine Spitzenwärmeabnahme erfährt, werden die Schulen vom Netz abgekoppelt und verwenden den bereits in deren Keller vorhandenen Gaskessel zur Eigenversorgung. Wichtig hierbei ist, dass die Wärme des Gaskessels nicht in das Netz eingespeist wird und somit weiterhin eine 100-prozentig erneuerbare Wärmeversorgung der übrigen Kunden gewährleistet ist. Im Extremfall, also in besonders kalten Wintern, hat die Simulation gezeigt, dass eine Abschaltung der Schulen als Wärmesenke nicht ganz ausreicht, um die Spitzenlast zu kompensieren. Deshalb gibt es einen zusätzlichen Anschlusspunkt für ein Hotmobil an der Energiezentrale, welches im Bedarfsfall für insgesamt weniger als 2 Wochen im Jahr die Wärmespitzen abdeckt. Diese mobile Heizzentrale dient lediglich der Redundanz und Spitzenlastabdeckung und liefert laut der Erzeugersimulation lediglich 2,5 % des jährlichen Gesamtwärmebedarfs.

3.2.2.5 Pufferspeicher

Da die Wärmepumpen am effizientesten bei wärmeren Temperaturen laufen, wird teilweise überschüssige Wärme zu Zeitpunkten geringer Wärmeabnahme generiert. Zur Zwischenspeicherung dieser wertvollen nicht brennstoffbezogenen Energie wurde in der Erzeugersimulation für Bauabschnitt 1 ein Pufferspeicher mit 400 m³ Fassungsvermögen ermittelt.

3.2.3 Erzeugersimulationsergebnis

Der Anteil der verschiedenen Energiequellen an der Wärmeversorgung der im ersten Bauabschnitt berücksichtigten 161 Hausanschlüsse ist in *Abbildung 6* grafisch dargestellt. Hieraus wird klar ersichtlich, dass die Wärmepumpen als innovative Wärmeerzeuger den Großteil der Energieerzeugung mit insgesamt 65,5 % abdecken. Weitere 32 % der Wärme werden durch den Biomassekessel auf Basis von Hackschnitzeln ergänzt. Lediglich die letzten 2,5 % des Gesamtwärmebedarfs werden durch den Spitzenlasterzeuger, das Hotmobil, generiert.

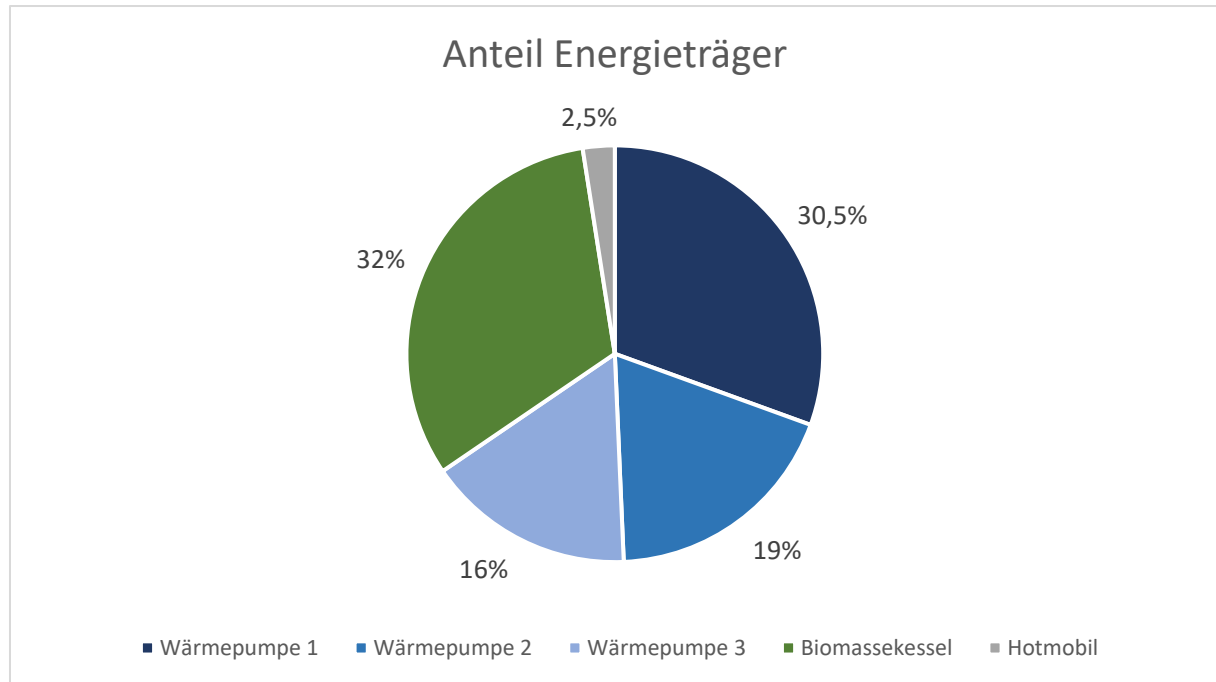


Abbildung 6: Energiebilanz Bauabschnitt 1 mit 161 HA

Die monatlichen Energieerträge der einzelnen Erzeuger in kWh als Ergebnis der Simulation zu Bauabschnitt 1 mit 161 berücksichtigten Hausanschlüssen ist in *Tabelle 2* tabellarisch dargestellt.

Tabelle 2: Monatliche Erzeugerträge für Bauabschnitt 1 mit 400 m³ Pufferspeichervolumen

	Wärmepumpe 1	Wärmepumpe 2	Wärmepumpe 3	Biomassekessel	Hotmobil
	200 kW	200 kW	200 kW	700 kW	310 kW
Januar	108.495 kWh	105.458 kWh	104.625 kWh	345.647 kWh	33.532 kWh
Februar	81.401 kWh	81.401 kWh	81.401 kWh	297.024 kWh	63.442 kWh
März	134.168 kWh	125.542 kWh	125.542 kWh	157.041 kWh	0 kWh
April	117.357 kWh	95.001 kWh	60.928 kWh	26.194 kWh	0 kWh
Mai	100.956 kWh	24.483 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Juni	81.814 kWh	6.455 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Juli	78.903 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
August	79.136 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0 kWh
September	86.387 kWh	10.377 kWh	4.707 kWh	0 kWh	0 kWh
Oktober	109.418 kWh	72.636 kWh	48.592 kWh	14.952 kWh	0 kWh
November	115.829 kWh	110.960 kWh	104.280 kWh	111.740 kWh	0 kWh
Dezember	103.290 kWh	103.290 kWh	103.290 kWh	303.486 kWh	0 kWh

Die Lastgänge der einzelnen Erzeuger sind zur besseren Veranschaulichung in *Abbildung 7* grafisch abgebildet. Hier ist klar zu erkennen, dass der Biomassekessel lediglich in der Übergangszeit und im Winter, also in Zeiten mit besonders hoher Wärmeabnahme die Wärmeversorgung unterstützt. Im Sommer sind ausschließlich die Wärmepumpen für die Wärmeerzeugung vorgesehen und stellen somit eine durchgehend brennstofffreie Energieversorgung des Quartiers sicher.

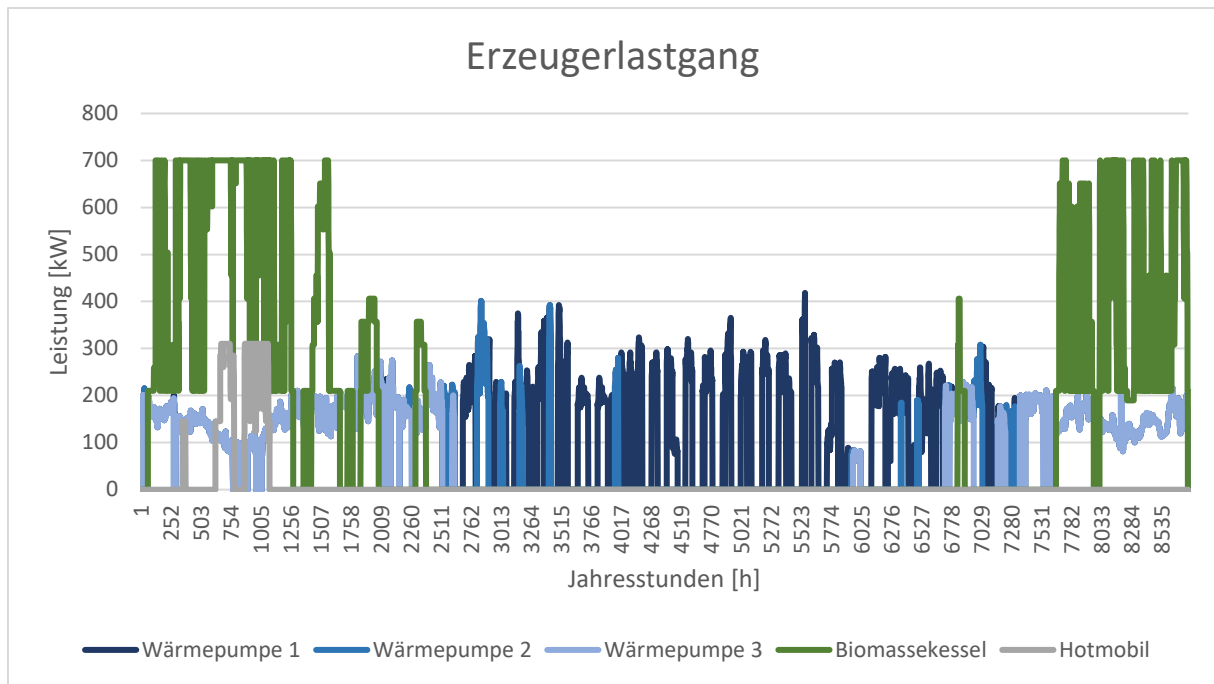


Abbildung 7: Erzeugerlastgänge Bauabschnitt 1 mit 161 HA

Zur Verdeutlichung der Rolle des Hotmobils, ist in *Abbildung 8* dessen Lastgang im Zeitraum von Mitte Januar bis Mitte Februar dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, dass dieser Erzeuger in besonders kalten Wintern ausschließlich in diesem kurzen Zeitraum an gerade einmal 18 Tagen Wärme in das Netz einspeist.

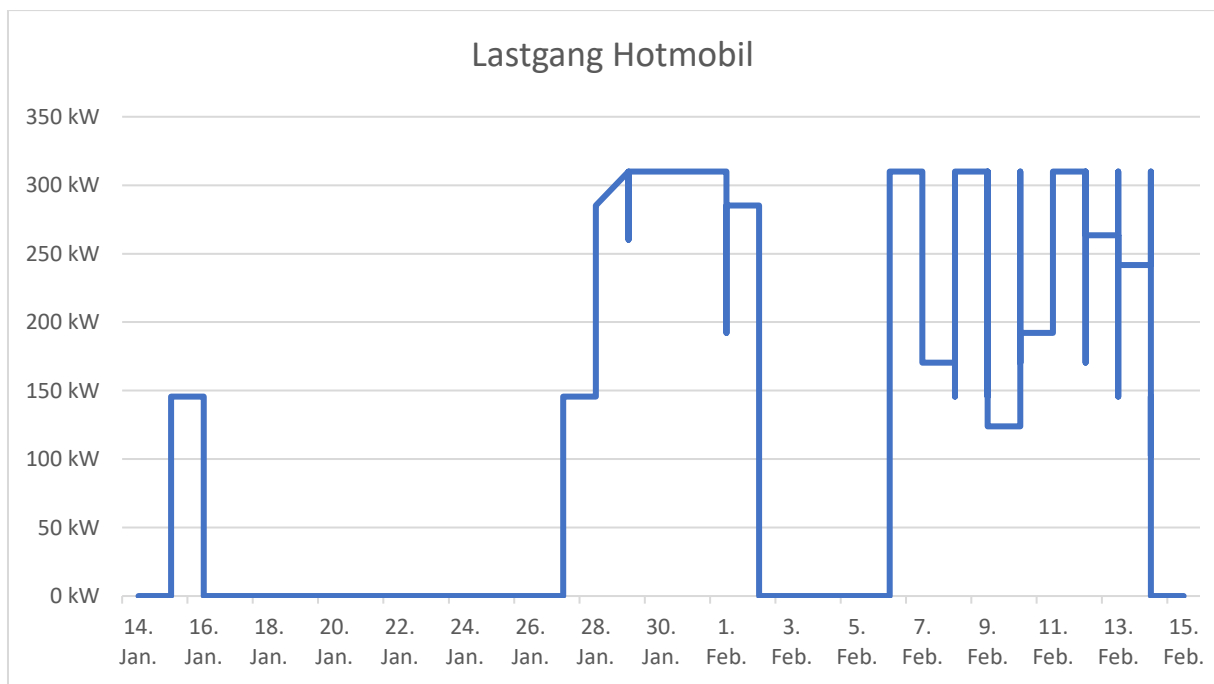


Abbildung 8: Lastgang des Hotmobils

Ergänzend zu den Energieerzeugern muss auch die Möglichkeit der Energiespeicherung betrachtet werden. Der bereits unter *Abschnitt 3.2.2.5* angesprochene Pufferspeicher mit

einem Speichervolumen von 400 m³ wurde ebenfalls in die Auslegung der Erzeuger mit einbezogen. Der simulierte Verlauf, der im Speichervolumen gespeicherten Wärmemenge in kWh, ist in *Abbildung 4* veranschaulicht.

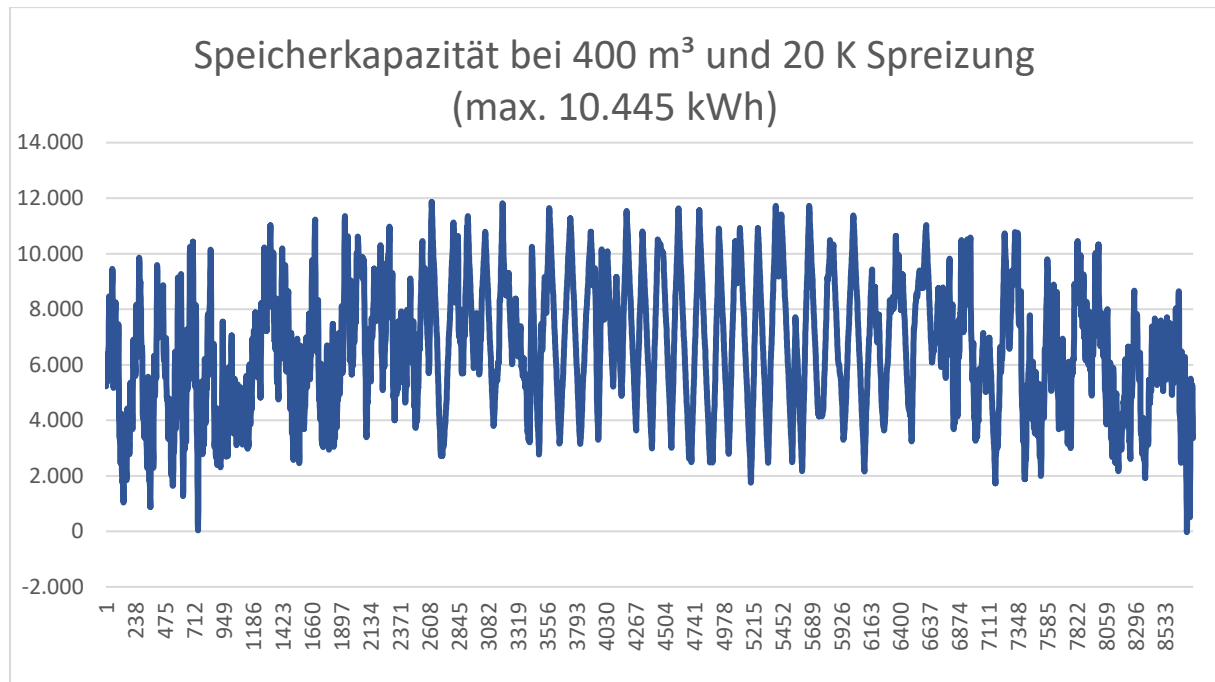


Abbildung 9: Jahresverlauf der Speicherkapazität bei 400 m³ für Bauabschnitt 1

4 Wärmepreisberechnung

4.1 Startscenario (73 Hausanschlüsse)

Nach Anpassung und Skalierung auf der Erzeuger- und Netzseite, wurden die sich daraus ergebenden Investitionskosten neu bewertet und in das Berechnungsmodell (wie unter Pkt. 1 beschrieben) integriert.

Auf dieser Basis wurde der Wärmepreis unter Berücksichtigung der Versorgung der Schulen neu evaluiert. Die einzelnen Wärmepreiselemente wurden bewertet und angepasst.

Abschließend wurden die sich ergebenden Vorteile in Richtung der Wärmekunden abgebildet und an die Akteure im Quartier sowie an den Auftraggeber übermittelt.

Eine Neuerung bei der hier durchgeführten Betrachtung des Wärmepreises stellt die neue Förderung der Stromkosten für Wärmepumpen des BEW dar.

Der in der weiteren Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigte Wärmebedarf schließt den Wärmebedarf der Schulen mit ein. Die Verteilung des Wärmebedarfs auf die in der Siedlung anzutreffenden Gebäudetypen ist in *Abbildung 10* veranschaulicht. Daraus geht hervor, dass Einfamilienhäuser den Großteil der Wärmekunden mit 69 % des Gesamtwärmebedarfs darstellen.

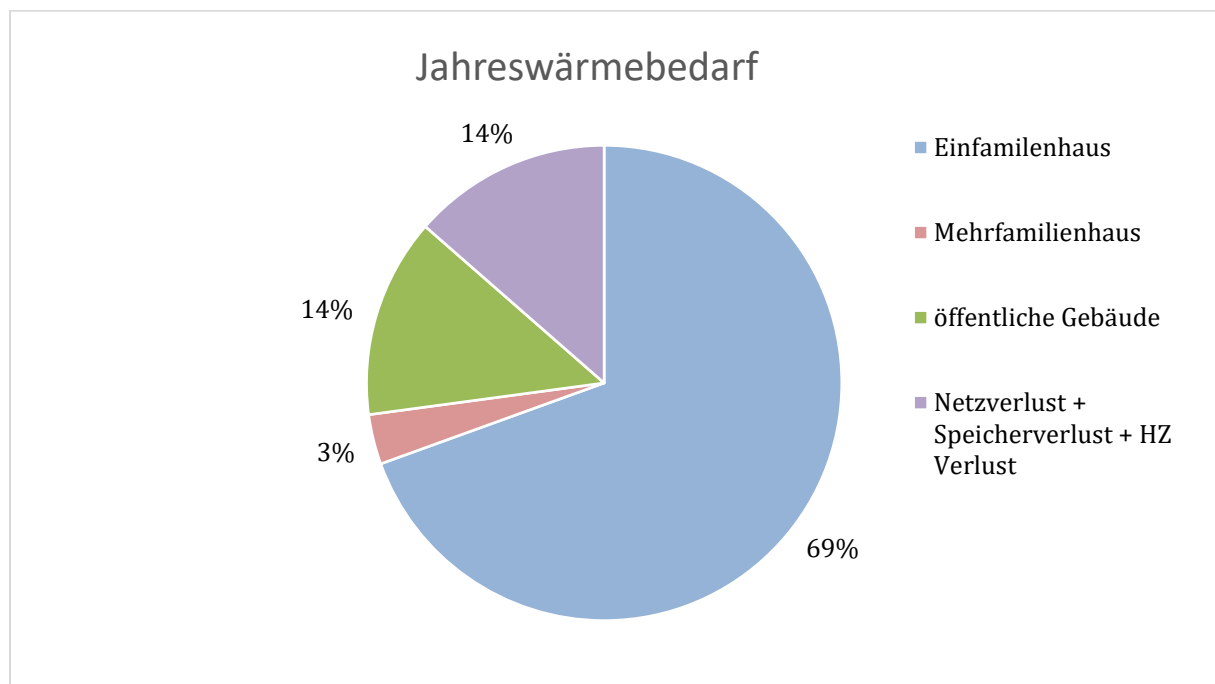


Abbildung 10: Verteilung des Jahreswärmebedarfs auf die Bedarfsgruppen

Die von insgesamt 73 Verbrauchern geforderte Wärme wird dabei zu 67 % durch die drei Wärmepumpen und zu 33 % durch den Biomassekessel mit Wärmerückgewinnung zur Verfügung gestellt (siehe *Abbildung 11*).

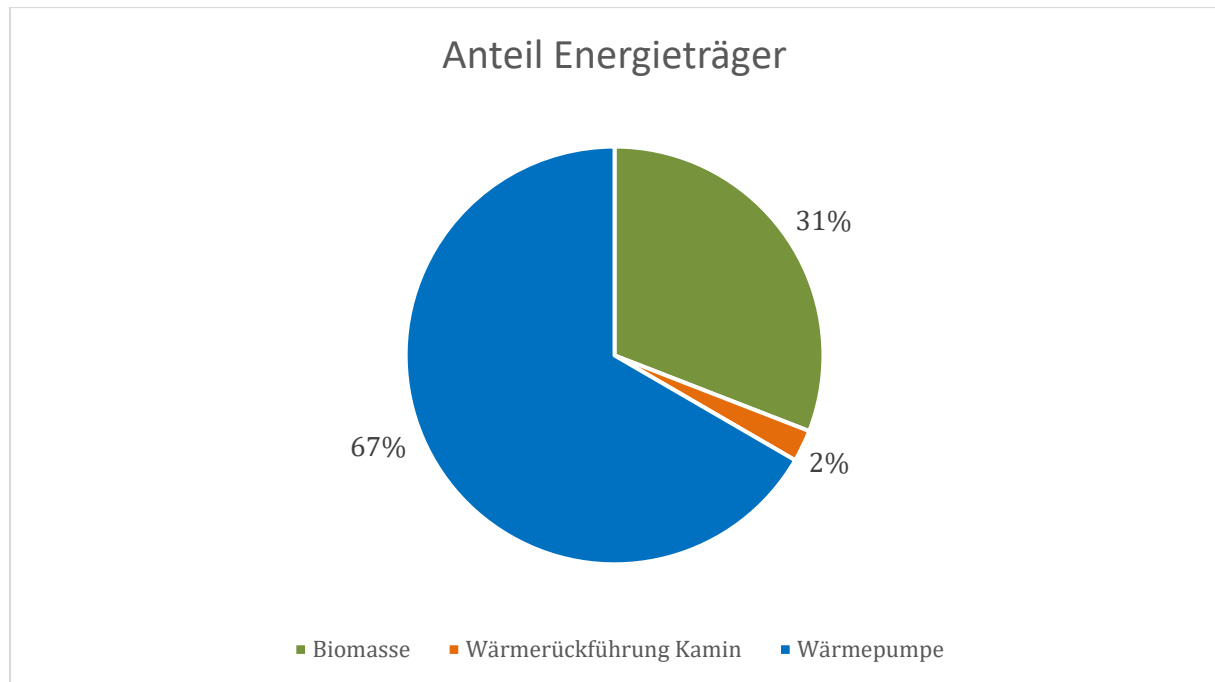


Abbildung 11: Erzeugerbilanz Startscenario mit 73 HA

4.1.1 Festlegung von Berechnungsparametern

Im Rahmen der Konzipierung der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden spezifische wirtschaftliche Parameter festgelegt.

4.1.1.1 Allgemeine Festlegungen

Methode	Die Wirtschaftlichkeitsberechnung richtet sich nach dem Verfahren der VDI 2067.
Kalkulationszeitraum	Der Betrachtungszeitraum aller Projektkomponenten wurde auf 20 Jahre, beginnend mit dem Jahr 2021, festgelegt.
Zinssatz	Als Zinssatz für den Bezug von Fremdkapital wurde ein Wert von 1,7 % angesetzt.
Inflation/Preissteigerung	Die stetige Preissteigerung durch die Inflation wird mit einem Prozentsatz von 2,0 % in die Berechnungen mit einbezogen. Dies wirkt sich auf die jährlichen betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten aus. Ebenso wird die Preissteigerung für Investitionskosten für Gebäude, Erzeuger und Trassen berücksichtigt.

Förderung	Zur finanziellen Unterstützung der Umsetzung des Projektes wird das neue Förderkonzept „Bundesförderung für effiziente Wärmenetze“ BEW herangezogen, welches eine investive Grundförderung von 40 % für Projekte dieser Art offeriert.
Zuschuss	Für den Bau der Hausanschlussstrassen werden Zuschüsse in Höhe von 12.000 € brutto je Hausanschluss veranschlagt.
Bezugsjahr	Das Jahr 2021 wird den Berechnungen als Basisjahr zugrunde gelegt.
Planungskosten	Die Planungskosten werden zu verschiedenen Anteilen auf die einzelnen Investitionsgüter verteilt. Die genauen Werte sind in <i>Absatz 4.1.1.2</i> nachzulesen.
Personalkosten	Für die Erzeuger mit einer notwendigen Bedienzeit werden Personalkosten in Höhe von 60 €/h angenommen.
Strompreis	In gemeinsamer Abstimmung wurde ein Strompreis (Mix aus PV und Netzstrom) für das Netz von 16 ct/kWh veranschlagt. Der Strompreis für den Betrieb der Wärmepumpe hingegen beträgt aufgrund der neuen Förderung der Betriebskosten des BEW 2,1 ct/kWh. Dieser Strompreis ist konservativ angelegt und maßgeblich abhängig von einer Umsetzung des BEW vor Projektbeginn.
CO ₂ -Bepreisung	Für das Jahr 2025 wurde von Seiten der Bundesregierung ein Preis von 55 €/t CO ₂ vorgegeben. Diese Bepreisung betrifft lediglich die Wärmeerzeugung durch fossile Energieerzeuger. Als Bezugsgröße wird hier gemäß GEMIS das CO ₂ -Äquivalent von Erdgas verwendet, welches 250 g/kWh beträgt. In der hier beschriebenen Variante ist Gas als Erzeugerbrennstoff nicht vorgesehen.
Verwaltungskosten	Zusätzlich zu den jährlichen betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten fallen jährlich Kosten in Höhe von 30.000 € an. Diese berechnen sich aus vier Arbeitskräften, die je auf 450 € - Basis angestellt werden inklusive der Nebenkosten. Die Summe deckt die Aufwendungen an Verwaltungskosten sowie den Jahresabschluss ab.

4.1.1.2 Spezifische Parameter von Trassen und Erzeugern

1. Trassen

- **Planungskosten Netz:** 7,50 %
- **Planungskosten Wärmeübergabestationen:** 22,00 %
- **Nutzungsdauer:** 40 Jahre
- **Kosten Hauptleitung:** 650 €/m
- **Kosten Nebenleitung:** 600 €/m
- **Kosten Hausanschluss:** 480 €/m
- **Laufende Kosten Trasse:** 750 €/km
- **Prozentsatz für laufende Kosten Wärmeübergabestationen:** 1,50 %
- **Fixkosten:** 1.000 €/a

2. Biomasse + Heizzentrale

- **Planungskosten:** 20,00 %
- **Nutzungsdauer Anlagenkomponenten:** 20 Jahre
- **Nutzungsdauer Heizzentrale:** 40 Jahre
- **Kosten Biomasse:** 0,027 €/kWh
- **Hilfsenergiebedarf:** 1,50 % der einzuspeisenden Wärme (inkl. Verluste)
- **Bedienungszeit:** 150 h/a
- **Prozentsatz für laufende Kosten TGA:** 1,00 %
- **Prozentsatz für laufende Kosten Leittechnik:** 1,00 %
- **Prozentsatz für laufende Kosten Heizzentrale:** 1,50 %
- **Sonstige Fixkosten:** 1,00 €/m² (obligatorische Pacht an Stadt)

3. Pufferspeicher:

- **Planungskosten:** 8,00 %
- **Nutzungsdauer:** 40 Jahre
- **Wärmeverlust Oberfläche:** 14,8 W/m²
- **Prozentsatz für laufende Kosten:** 1,50 %

4. Wärmepumpe:

- **Gemittelte Jahresarbeitszahl (JAZ):** 2,86
- **Nutzungsdauer:** 20 Jahre
- **Bedienungszeit:** 20 h/a
- **Prozentsatz für laufende Kosten:** 1,50 %
- **Sonstige Fixkosten:** 1.000 €

4.1.1.3 Kostenübersicht Trassen und Erzeuger

Die Kosten für Trassen und die verschiedenen Erzeuger sind in *Tabelle 3* aufgelistet.

Tabelle 3: Kosten Trassen und Erzeuger

	Investitionskosten	Förderung	Annuität	Wärmegestehungskosten
Trassen	1.824.487,00 €	729.794,80 €	44.101,33 €	
Biomasse	850.119,00 €	340.047,60 €	92.675,10 €	14 ct/kWh
Pufferspeicher	275.400,00 €	110.160,00 €	10.309,12 €	
Wärmepumpe	480.000,00 €	192.000,00 €	40.838,24 €	3,0 ct/kWh
Summe	3.430.006,00 €	1.372.002,40 €	187.923,79 €	9,30 ct/kWh

Die jährlichen Erlöse werden in *Tabelle 4* berechnet.

Tabelle 4: Erlöse

	Preise (netto)	Häuser/Bedarf	Einnahmen Σ Gesamt
Grundpreis Einfamilienhaus	335,00 €	68 Anschlüsse	22.780,00 €
Grundpreis Mehrfamilienhaus	395,00 €	2 Anschlüsse	790,00 €
Grundpreis öffentliche Gebäude (inkl. Schulen)	460,00 €	3 Anschlüsse	1.380,00 €
Messpreis / Leistungspreis (je kW)	55,00 €	1.422 kW	78.216,22 €
Arbeitspreis (je kWh)	0,071 €	1.813.164 kWh	128.734,64 €
Summe			231.900,86 €
Erlöse/ Jahr			12,79 ct/kWh

4.1.2 Übersicht Jahresbilanzen

Aus der Summe der Investitionskosten sowie den jährlichen Kosten ergeben sich die jährlichen Aufwendungen. Der aus der Jahresbilanz resultierende kumulierte Cashflow ist in *Abbildung 12* graphisch dargestellt.

Die Investitionskosten für die Erzeuger teilen sich auf die Jahre 2021 – 2023 auf. Dabei sind in den Kosten für die Heizzentrale die PV-Anlagen auf den Dächern der Heizzentrale und der Schule sowie ein Batteriespeicher enthalten. Die PV-Anlagen nehmen zusammen eine Fläche von ca. 900 m² ein und erbringen eine elektrische Leistung von max. 112,5 kWp. Aufgrund einer Besonderheit in der Berliner Förderlandschaft werden von den 75.000 € Investitionskosten für den Batteriespeicher 22.000 € durch das Stromspeicher-Förderprogramm Berlin abgedeckt.

Tabelle 5: Kosten für Erzeuger

Erzeuger	Kosten (Ohne Preissteigerung)		Kosten (Mit Preissteigerung)	
	Planung	Investitionen	Planung	Investitionen
Heizzentrale	161.200,00€	806.000,00 €	167.712,00€	838.563,00€
PV + Batterie- speicher	-	173.000,00 €	-	179.990,00€
Biomassekessel	141.687,00€	708.432,00€	147.411,00€	737.053,00 €
Pufferspeicher	20.400,00€	255.000,00€	20.808,00€	265.302,00 €
Wärmepumpe	-	480.000,00€	-	499.392,00 €

Bei der finanziellen Betrachtung der Trassen ist anzumerken, dass die Planungskosten zu 100 % auf das Jahr 2021 verbucht werden. Die Investitionskosten werden hingegen auf die Jahre 2023 und 2024 aufgeteilt. So wird angenommen, dass im Jahr 2023 etwa 25 % der Gesamtkosten der Wärmeübergabestationen sowie Hausanschlüsse und etwa 2/3 der Kosten für die Haupt- und Nebenleitungen anfallen. Im Jahr 2024 werden dann die restlichen Kosten verbucht. Insgesamt ist für das StartszENARIO mit 73 Hausanschlüssen eine Investitionssumme von 4,765 Mio. € angesetzt.

Auch bei den Erlösen durch die Trassen ist eine Differenzierung am Anfang des Betrachtungszeitraums erforderlich. Durch den Zeithorizont, über den sich die Baumaßnahmen erstrecken, ist erst mit einem Vollerlös im Jahr 2025 zu rechnen. Für das Vorjahr (2024) werden lediglich 50 % der Erlöse berücksichtigt. Im Jahr 2023 werden noch keine Erlöse einbezogen, da gemäß dem Zeitplan der Baumaßnahmen erst am Ende 2023 die ersten Verbraucher ans Netz angeschlossen werden und somit, wenn überhaupt, noch keine nennenswerten Erlöse erwirtschaftet werden.

Da es für die Planungskosten für die Trassen im Jahr 2021 keine Förderung gibt und auch noch keine Erlöse erwirtschaftet werden, ist die Jahresbilanz negativ. Im Verlauf der jährlichen Cashflows ist ein Sprung von 2022 auf 2023 zu verzeichnen, der durch den Beginn der Baumaßnahmen und die damit verbundenen Investitionen begründet ist (siehe *Abbildung 12*).

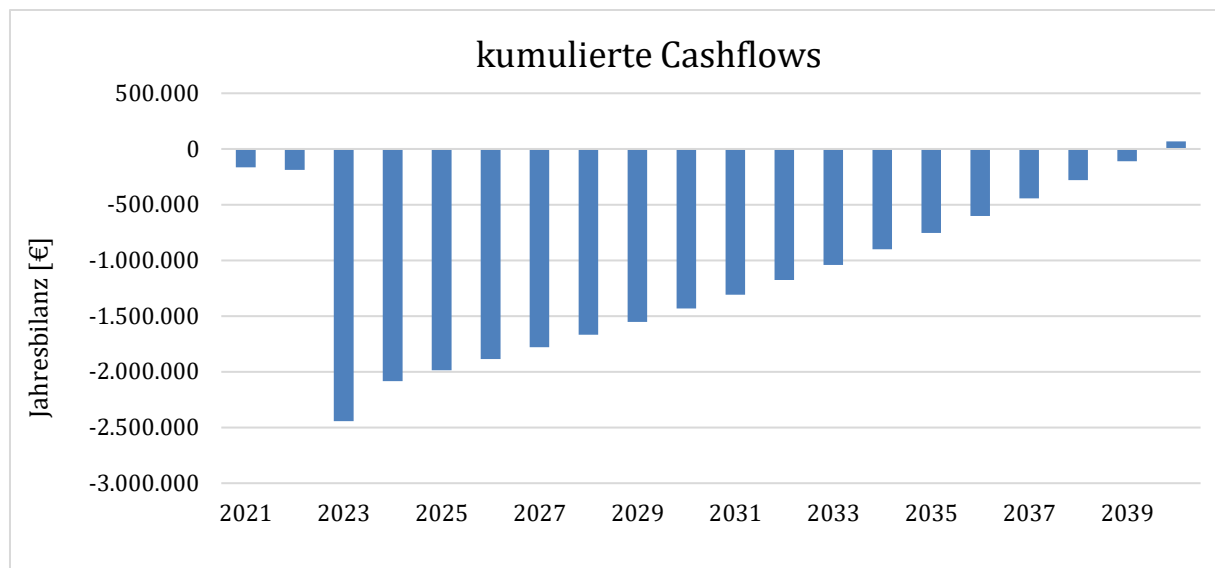


Abbildung 12: Kumulierte Cashflows

Ab dem Jahr 2038 befindet sich das Projekt in der Gewinnzone (siehe Abbildung 13). Die positive Gesamtbilanz des Projekts ist vor allem auch auf den Innovationsgrad zurückzuführen.

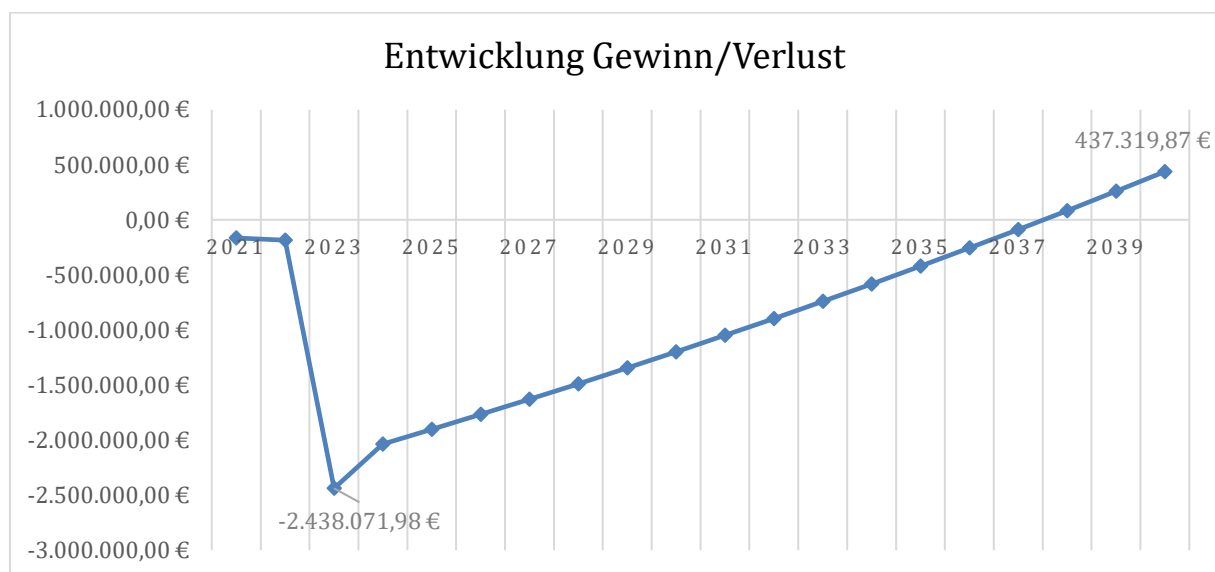


Abbildung 13: Entwicklung Gewinn/Verlust

4.2 Wirtschaftlicher Vergleich der beiden Szenarien

Die durch die DME durchgeführten Berechnungen basieren auf dem Verfahren der VDI 2067: Annuitätenmethode und stützen sich auf die Prämisse, dass jeder Anschlussnehmer einen Baukostenzuschuss von 12.000 € zu entrichten hat. Daraus ergibt sich für das Start-szenario mit 73 Hausanschlüssen eine Gesamtinvestitionssumme von 4,765 Mio. € und ein Wärmepreis von 12,79 ct/kWh netto bzw. 15,22 ct/kWh brutto (inklusive Mehrwertsteuer).

Folglich liegt das Ergebnis über der vom Auftraggeber definierten Höchstgrenze von 13,00 ct/kWh brutto. Darüber hinaus ist bei der Betrachtung der DME zu berücksichtigen, dass hier mit dem aktuellen Entwurf des BEW gerechnet wurde, was jedoch nicht abschließend in seinen Inhalten festgelegt ist.

Zur Validierung und weiterführenden Ausarbeitung eines wirtschaftlichen Wärmepreises, hat das Büro Sterr-Kölln & Partner (SKP) die zur Debatte stehenden Szenarien mit 73 bzw. 161 Hausanschlüssen wirtschaftlich beleuchtet. Die Ausarbeitungen von SKP basieren dabei ebenfalls innerhalb der Förderlandschaft des BEW. Ergänzend wurde ein Stressszenario auf Basis der im Modul 2 des aktuellen Förderprogramms WN 4.0 des BAFA vorgegebene Inhalte abgebildet. Grundlage der Ausarbeitungen sind die zur Verfügung gestellten Grundlagen der DME sowie die Annahme, dass von jedem Anschlussnehmer 12.000 € als Baukostenzuschuss übernommen werden. Daraus wurde von SKP ein im Vergleich zur Berechnung der DME höherer Wärmepreis von 14,12 ct/kWh netto und 16,80 ct/kWh brutto für 73 Hausanschlüsse berechnet.

Auch hier wird die vordefinierte Höchstgrenze von 13,00 ct/kWh brutto überschritten. Die Investitionskosten verteilen sich auf eine zu geringe Anzahl an Abnehmern bzw. auf eine zu geringe Wärmemenge, weshalb der gewünschte Wärmepreis nicht umsetzbar ist.

Demnach lässt sich abschließend zum Startscenario mit 73 Hausanschlüssen sagen, dass diese Variante unter den hier gegebenen Bedingungen nicht wirtschaftlich ist.

Begründet ist dieser Sachverhalt auch darin, dass im Rahmen des Startscenarios (73 Hausanschlüsse) ein wesentlicher Teil der „eh da Kosten“ durch eine geringere Anzahl von Wärmekunden getragen werden muss. Dazu gehört beispielsweise die Vordimensionierung des Netzes für den späteren Ausbau, das Gebäude der Energiezentrale sowie eine Vorhaltung von Pumpen und Druckhaltung für den späteren Ausbau. Den somit hohen Start-Investitionskosten stehen in der Anlaufphase entsprechend geringere Wärmeerträge gegenüber.

Bei näherer Betrachtung des zweiten Szenarios bzw. Bauabschnitt 1 mit 161 Hausanschlüssen wird ersichtlich, dass sich die Investitionskosten von 7,083 Mio. € hier auf 161 statt 73 Anschlussnehmer bzw. auf eine höhere Wärmemenge verteilen und somit ein niedrigerer Wärmepreis möglich ist. Unter der Voraussetzung, dass auch in dieser Betrachtung die Anschlussnehmer jeweils 12.000 € Baukostenzuschuss beitragen, wurde ein wirtschaftlicher Wärmepreis von 11,09 ct/kWh netto bzw. 13,20 ct/kWh brutto nach Mehrwertsteuer bei 161 Hausanschlüssen berechnet. Somit kann das angestrebte Ziel von 13,00 ct/kWh brutto durch eine Erhöhung der Anzahl an Anschlussnehmern von 73 auf 161 erfüllt werden.

5 Handlungsansätze und Empfehlung

Das Ziel dieser Anpassung der ursprünglichen Machbarkeitsstudie war es, unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Aspekte, eine innovative Energieversorgung des bestehenden Eichkampviertels zu entwickeln.

Bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit zeigt sich, dass der von der DME berechnete Wärmepreis bei dem Startscenario mit 73 Hausanschlüssen mit 15,22 ct/kWh brutto den vom Auftraggeber vorgegebenen Maximalwert von 13,00 ct/kWh brutto überschreitet. Laut den Berechnungen von SKP ergibt sich sogar ein noch höherer Wärmepreis von 16,80 ct/kWh brutto für 73 Hausanschlüsse. Demnach lässt sich klar definieren, dass das Startscenario mit 73 Hausanschlüssen nicht wirtschaftlich ist.

Im Vergleich dazu stellt sich für Bauabschnitt 1 mit 161 Wärmekunden ein Wärmepreis von 13,20 ct/kWh brutto ein, was im Bereich des vom Auftraggeber definierten Maximalpreises liegt und somit als wirtschaftlich anzusehen ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mindestens 150 Hausanschlüsse für einen wirtschaftlichen Wärmepreis erforderlich sind.

Die für 161 Hausanschlüsse durchgeführten Analysen und Berechnungen haben zu der folgenden Kombination von Erzeugern mit absteigender Priorisierung geführt:

- Drei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit jeweils 200 kW thermischer Leistung stellen mit der Versorgung über die PV-Anlage sowie dem angedachten Batteriespeicher den Innovationsfaktor dieses Projektes dar. Sie produzieren in den Sommermonaten und der Übergangszeit den Großteil der benötigten Wärmeenergie für das Quartier und können noch bei Temperaturen bis -13 °C der Umgebungsluft Wärme für das Wärmenetz entziehen.
- Der Biomassekessel mit einer Leistung von 700 kW nutzt die ökologische Energiequelle Hackschnitzel zur Wärmeerzeugung und ist ergänzend mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, um die Größtmögliche Wärme aus den Hackschnitzeln zu gewinnen. Der Kessel unterstützt die Wärmepumpen, wenn mehr Wärme verbraucht wird, als brennstofffrei zur Verfügung gestellt werden kann. Außerdem übernimmt er die Wärmeproduktion, wenn die Außentemperatur unter -13 °C beträgt und die Wärmepumpen nicht mehr laufen.
- Vier Pufferspeicher mit jeweils 100 m³ Speichervolumen unterstützen die angestrebte Innovativität und Ökonomie des Vorhabens. Gespeist werden die Speicher ausschließlich von Wärmepumpe und Biomassekessel, wenn die produzierte Wärme im Netz nicht abgenommen wird. Dadurch ermöglicht der insgesamt 400 m³ große Speicher, dass die Wärmepumpen Wärme zu Zeiten produzieren, in denen ihre Effizienz besonders hoch ist, auch wenn keine direkte Abnahme stattfindet.

- Um jedoch eine Ausfallsicherheit, Spitzenlastabdeckung und Reserve für das Netz zu gewährleisten, wird den Schulen eine Sonderrolle als variable Größe des Wärmeabsatzes zuteil. Grundsätzlich werden von Seiten der Fernwärmeversorgung 310 kW Anschlussleistung für die Schulen zur Verfügung gestellt. Sobald das System im Winter eine Spitzenwärmeabnahme erfährt, werden die Schulen vom Netz abgekoppelt und verwenden den bereits in deren Keller vorhandenen Gaskessel zur Eigenversorgung. Wichtig hierbei ist, dass die Wärme des Gaskessels nicht in das Netz eingespeist wird und somit weiterhin eine 100-prozentig erneuerbare Wärmeversorgung der übrigen Kunden gewährleistet ist. Im Extremfall, also in besonders kalten Wintern, hat die Simulation gezeigt, dass eine Abschaltung der Schulen als Wärmesenke nicht ganz ausreicht, um die Spitzenlast zu kompensieren. Deshalb gibt es einen zusätzlichen Anschlusspunkt für ein Hotmobil an der Energiezentrale, welches im Bedarfsfall die Wärmespitzen abdeckt. Diese mobile Heizzentrale dient lediglich der Redundanz und Spitzenlastabdeckung.

6 Redaktion

An diesem Bericht haben mitgewirkt:

Das Team der DME Consult GmbH in Rosenheim:

- Joanna Nalewajka - Projektleiterin
- Lisa Aicher - Projektingenieurin, Energieberaterin
- Nicole Piegsa - Projektingenieurin
- Dietmar Münnich - Geschäftsführer