

Nutzung dezentraler Wärmequellen mittels Wärmepumpe zur Fernwärmeeinspeisung

Abwärmenutzung bei Gebäudekühlung

Alexander ARNITZ⁽¹⁾, David KREUTZWIESNER⁽¹⁾, René RIEBERER⁽¹⁾, Christian DANKSAGMÜLLER⁽²⁾, Burkhardt HÖLZL⁽²⁾, Martin HÖLLER⁽²⁾

⁽¹⁾Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Inffeldgasse 25/B, 8010 Graz, Österreich (alexander.arnitz@tugraz.at, +43 316 873 7801)

⁽²⁾Wien Energie GmbH, Thomas-Klestil-Platz 14, 1030 Wien, Österreich
(christian.danksagmueller@wienenergie.at, +43 1 4004 36762)

Kurzfassung:

Das in dieser Arbeit vorgestellte Konzept zur Nutzung einer dezentralen Wärmequelle mittels Wärmepumpe (Heizleistung 330 kW) zur Fernwärmeeinspeisung konnte erfolgreich in Betrieb genommen werden und wird seit 13.08.2018 für die Klimatisierung eines Bürogebäudes sowie zur Wärmeeinspeisung in das Fernwärmeprimärnetz der Wien Energie GmbH verwendet. Eine Herausforderung bei der Integration der Wärmepumpe war die Umsetzung einer geeigneten Betriebsstrategie, welche sowohl die Klimatisierung des Bürogebäudes als auch die Wärmeeinspeisung in das Fernwärmennetz bei der jeweils gewünschten Temperatur sicherstellt. Weitere Varianten zur hydraulischen Einbindung der Wärmepumpe in das Fernwärmennetz wurden im Rahmen einer Variantenstudie untersucht und in Hinblick auf die Versorgungssicherheit mit den gewünschten Temperaturen und die zu erwartenden Investitionsausgaben bewertet. Die Ergebnisse aus einer Wirtschaftlichkeitsanalyse zeigen, dass eine schnelle Amortisation vor allem bei einer großen Anzahl an Vollaststunden, niedrigen Investitionsausgaben und einem niedrigen Strompreis erreicht wird.

Keywords: Vorlaufeinspeisung, Gebäudeklimatisierung, Hydraulik

1 Einleitung

Die Nutzung von dezentraler, CO₂-freier Abwärme in Fernwärmennetzen kann einen Beitrag zur Dekarbonisierung der Fernwärmeverzeugung und zur Reduzierung des Energiebedarfs zum Betrieb von Kühltürmen leisten. Die Verwendung von Wärmepumpen ermöglicht die Nutzung von dezentralen Wärmequellen, welche aufgrund der Temperatur sonst nicht für Fernwärmezwecke verwendet werden können. In dieser Arbeit wird ein Konzept einer realisierten Wärmepumpe vorgestellt, welche als Wärmequelle Abwärme aus der Klimatisierung eines Bürogebäudes nutzt und gleichzeitig Wärme in den Vorlauf des Wiener Fernwärmeprimärnetzes einspeist. Der Inhalt dieses Beitrages basiert auf den Ergebnissen der Masterarbeit von Kreutzwiesner (2018), welche am Institut für Wärmetechnik an der TU Graz erstellt wurde.

2 Methodik

Ausgehend von einer Kundenanfrage für die Klimatisierung eines innerstädtischen Gebäudes durch die Wien Energie GmbH entstand die innovative Idee zur Installation einer

Wärmepumpe, welche die Klimatisierung bei gleichzeitiger Nutzung der entstehenden Wärme zur Fernwärmeeinspeisung erlaubt. Die Wärmepumpe wurde anschließend von der Wien Energie GmbH auf eine von Ihrem Kunden geforderte Kälteleistung ausgelegt und von der Firma Frigopol Kälteanlagen GmbH gefertigt. Die mit der installierten Messtechnik aufgezeichneten Monitoring-Daten wurden anschließend von Kreutzwiesner (2018) im Rahmen seiner Masterarbeit ausgewertet und analysiert.

2.1 Beschreibung der realisierten Anlage

Die installierte Anlage besteht aus der Wärmepumpe, dem hydraulischen Anschluss an das Fernwärmennetz und dem hydraulischen Anschluss an das Gebäude. Wobei der Anschluss der Wärmepumpe an das Gebäude ähnlich ausgeführt ist wie bei der Verwendung von konventionellen Kälteanlagen. Die Herausforderung liegt bei diesem Klimatisierungskonzept im hydraulischen Anschluss der Wärmepumpe an das Fernwärmennetz.

2.1.1 Hydraulischer Anschluss der Wärmepumpe

Abbildung 1 zeigt den realisierten hydraulischen Anschluss der Wärmepumpe an das Bürogebäude und an das Fernwärmennetz. Die Wärme aus der Gebäudeklimatisierung wird über den Kaltwasserkreis dem Verdampfer der Wärmepumpe zugeführt. Durch die Verwendung eines Wasserspeichers mit einem Volumen von 8 m^3 ist der Kaltwasservolumenstrom zur Versorgung der im Gebäude installierten Klimatisierungseinrichtungen (Deckenkühlung, Fan-Coils) vom Kaltwasservolumenstrom durch den Verdampfer entkoppelt. Der Volumenstrom durch den Verdampfer wird im Betrieb der Wärmepumpe konstant gehalten. Die Temperatur des Kaltwassers am Austritt aus dem Verdampfer wird dabei durch Anpassung der Wärmepumpenleistung auf einen gewünschten Sollwert von 7°C geregelt. Die Temperatur am Eintritt in den Verdampfer kann durch ein zusätzlich installiertes 3-Wege-Mischventil beeinflusst werden, um eine mögliche Überlastung des Kompressors bei zu hohen Kaltwassertemperaturen zu verhindern.

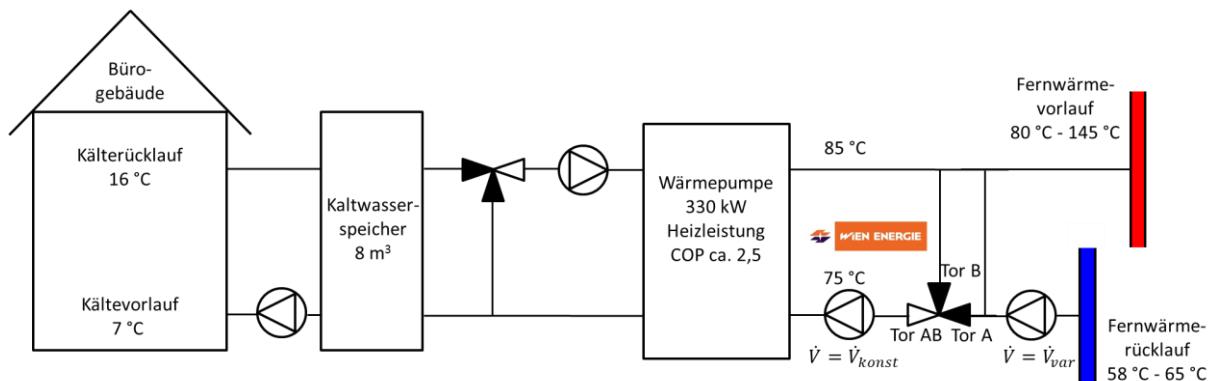


Abbildung 1: Hydraulischer Anschluss der Wärmepumpe an das Bürogebäude und an das Fernwärmennetz

Die vom Kondensator der Wärmepumpe abzuführende Wärme wird in das Fernwärmeprimärnetz der Wien Energie GmbH eingespeist. Der Fernwärmewasservolumenstrom durch den Kondensator ist auf einen konstanten Wert eingestellt, um bei der Nennheizleistung von 330 kW eine Spreizung von 10 K zu erreichen. Die Austrittstemperatur des Fernwärmewassers aus dem Kondensator soll einen Wert von

ca. 85 °C erreichen, wobei dieser Wert nur indirekt über die Eintrittstemperatur beeinflusst werden kann und mit einem installierten 3-Wege-Mischventil auf einen Wert von 75 °C geregelt wird. Der vom Fernwärmerücklauf abgezweigte Volumenstrom kann wegen einer hydraulischen Weiche vom Volumenstrom durch den Kondensator abweichen. Wobei zu berücksichtigen ist, dass es zu einer zusätzlichen Beimischung kommt, wenn der variable Volumenstrom aus dem Fernwärmennetz kleiner ist als der durch das Tor A des Mischventils angesaugte Volumenstrom (vgl. Abbildung 1). Der vom Fernwärmerücklauf angesaugte Volumenstrom kann daher ebenfalls zur Regelung der Eintrittstemperatur des Fernwärmewassers in den Kondensator verwendet werden.

2.1.2 Wärmepumpenkreislauf

In Abbildung 2 ist das Kreislaufschema der installierten Wärmepumpe dargestellt. Die Wärmepumpe wurde von der Firma Frigopol Kälteanlagen GmbH geliefert. Bei der Wärmepumpe handelt es sich um eine zweistufige Wärmepumpe bestehend aus der Niedertemperatur-Stufe (NT-Stufe), welche mit dem Kältemittel R-1234ze(E) gefüllt ist, und der Hochtemperatur-Stufe (HT-Stufe), welche mit dem Kältemittel R-245fa gefüllt ist. Die HT-Stufe besteht zusätzlich aus zwei getrennten parallel angeordneten Wärmepumpenkreisen, die je nach geforderter Kälteleistung entweder einzeln oder parallel betrieben werden. Die NT-Stufe und die HT-Stufe sind über einen Kaskadenwärmeübertrager verbunden. Abbildung 2 zeigt zusätzlich die Temperatur- und Druckmessstellen in den Wärmepumpenkreisläufen.

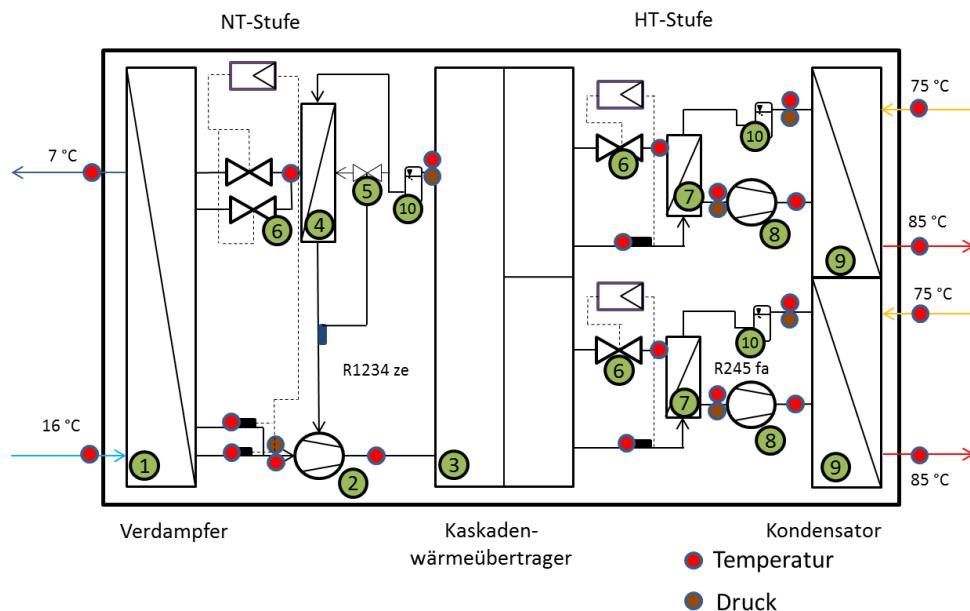


Abbildung 2: Kreislaufschema der installierten Wärmepumpe (Kreutzwiesner, 2018)

Die NT-Stufe ist als Economizer-Schaltung ausgeführt und verwendet einen Schraubenkompressor (Pos. 2 in Abbildung 2). Die Drehzahl des Schraubenkompressors der NT-Stufe wird zur Anpassung der Kälteleistung bzw. der Regelung der Kaltwasseraustrittstemperatur verwendet. In der NT-Stufe sind zwei parallele Kältemitteldrosseln (Pos. 6 in Abbildung 2) installiert, welche zur Regelung der Überhitzung des Kältemittels am Austritt aus dem Verdampfer (Pos. 1 in Abbildung 2) verwendet werden.

In der NT-Stufe wird das Kältemittel im Kaskadenwärmeübertrager (Pos. 3 in Abbildung 2) kondensiert und anschließend in einen Hochdrucksammelbehälter (Pos. 10 in Abbildung 2) geführt. Der flüssige Kältemittelmassenstrom am Austritt aus dem Hochdrucksammelbehälter wird anschließend mit einem thermostatischen Expansionsventil (Pos. 5 in Abbildung 2) so aufgeteilt, dass beim Teilmassenstrom, welcher auf Mitteldruck in den Kompressor geführt wird, im Economizer (Pos. 4 in Abbildung 2) eine bestimmte Überhitzung erreicht wird. Der restliche flüssige Kältemittelmassenstrom wird dadurch im Economizer unterkühlt.

Die beiden parallelen HT-Stufen sind gleich ausgeführt und verwenden ebenfalls Schraubenkompressoren (Pos. 8 in Abbildung 2). Der Betrieb der beiden parallelen HT-Stufen sowie die Drehzahlen dieser Schraubenkompressoren werden so vorgegeben, dass ein konstanter Hochdruck in der NT-Stufe erreicht wird. Die Kältemitteldrossel (Pos. 6 in Abbildung 2) regelt die Überhitzung am Austritt des Verdampfers, wobei der Kältemitteldampf anschließend im internen Wärmeübertrager (Pos. 7 in Abbildung 2) weiter überhitzt wird und das flüssige Kältemittel am Austritt aus dem Hochdrucksammelbehälter (Pos. 10 in Abbildung 2) unterkühlt wird.

2.2 Variantenstudie

Im Rahmen der Variantenstudie werden Alternativen für den hydraulischen Anschluss der Wärmepumpe an das Fernwärmennetz untersucht. Dazu wurden von Kreutzwiesner (2018) zusätzlich zur realisierten Variante die in Abbildung 3 dargestellten hydraulischen Schaltungen erarbeitet.

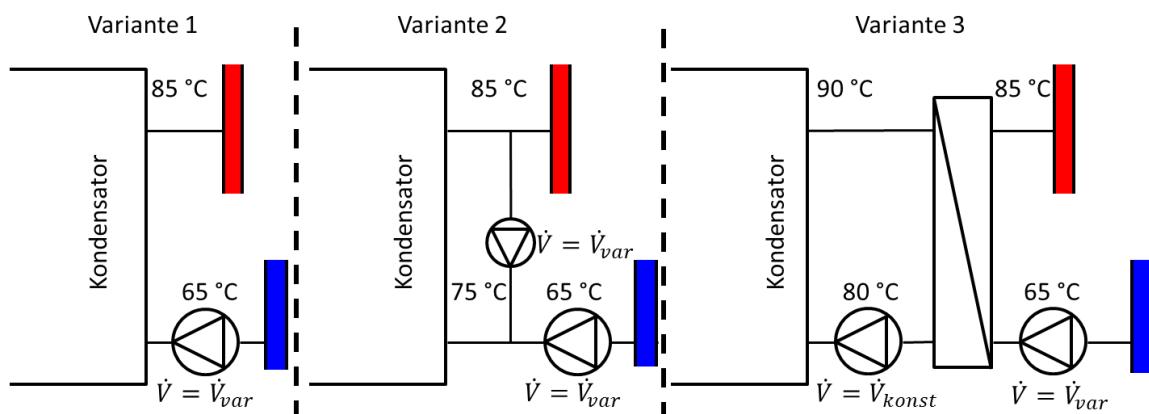


Abbildung 3: Varianten für den hydraulischen Anschluss der Wärmepumpe an das Fernwärmennetz (in Anlehnung an Kreutzwiesner, 2018)

In Variante 1 wird das Fernwärmewasser mittels Pumpe aus dem Rücklauf angesaugt. Die Eintrittstemperatur des Fernwärmewassers in den Kondensator kann bei dieser Variante nicht beeinflusst werden. Die Austrittstemperatur des Fernwärmewassers kann durch Veränderung des Fördervolumenstromes der Pumpe beeinflusst werden. Diese Variante benötigt die geringste Anzahl an Komponenten hat jedoch den Nachteil, dass der Volumenstrom durch den Kondensator variabel ist, was von Wärmepumpenherstellern teilweise nicht unterstützt wird. Eine Herausforderung bei dieser Variante ist die Anpassung des Volumenstromes an schwankende Rücklauftemperaturen.

Variante 2 ist ähnlich zu der in Abbildung 1 dargestellten Variante. Die Eintrittstemperatur des Fernwärmewassers in den Kondensator kann durch Beimischung beeinflusst werden. Wird vom Hersteller ein konstanter Volumenstrom durch den Kondensator gefordert, ist der Betrieb der beiden Pumpen aufeinander abzustimmen. Wenn die Wärmepumpe einen variablen Volumenstrom durch den Kondensator erlaubt, kann die Austrittstemperatur des Fernwärmewassers aus dem Kondensator durch den Volumenstrom beeinflusst werden. Diese Variante erfordert eine größere Anzahl an Komponenten als Variante 1, im Vergleich zu der in Abbildung 1 dargestellten Variante kann die Pumpe, wenn sie in der installiert wird, kleiner ausgeführt werden.

Bei Variante 3 ist ein zusätzlicher Wärmeübertrager installiert, wodurch eine physische Trennung des Kondensators vom Fernwärmennetz erreicht wird. Die physische Trennung ermöglicht die Verwendung kostengünstigerer Komponenten im Kondensatorkreis (z.B. hinsichtlich der erforderlichen Nenndruckstufe). Der Volumenstrom durch den Kondensator kann konstant gehalten werden und die Eintrittstemperatur des Wassers im Kondensatorkreis kann durch einen variablen Ansaugvolumenstrom aus dem Rücklauf des Fernwärmennetzes beeinflusst werden. Durch die zusätzliche Grädigkeit im Wärmeübertrager muss die Wärmepumpe jedoch eine höhere Kondensatoraustrittstemperatur erreichen, was den COP reduziert.

2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Aus Vertraulichkeitsgründen basiert die Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht auf den tatsächlich angefallenen Investitionsausgaben und Betriebskosten für die realisierte Anlage sondern auf Ansätzen aus der Literatur für den Wärmepumpenpreis und auf im Rahmen der Masterarbeit (Kreutzwiesner, 2018) eingeholten Angeboten für einzelne Komponenten. Die angeführten Daten stehen somit nicht direkt mit der Wien Energie GmbH in Zusammenhang.

2.3.1 Investitionsausgaben der Wärmepumpe

Für die Berechnung des Wärmepumpenpreises wurde ein von Wolf (2017) ermittelter Ansatz zur Berechnung der auf die Nennkälteleistung bezogenen spezifischen Investitionsausgaben von Kompressionswärmepumpen verwendet. Wolf (2017) empfiehlt des Weiteren bei zweistufigen Wärmepumpen einen Korrekturfaktor von 1,2 bis 1,4 und für die Berücksichtigung von Planung und Installation einen Faktor von 1,25.

Bei der untersuchten Wärmepumpe handelt es sich um eine zweistufige Ausführung (HT- und NT-Stufe) mit zwei parallelen Kreisläufen in der HT-Stufe. Für die Berücksichtigung, dass die Wärmepumpe aus drei Kreisläufen besteht wurde von Kreutzwiesner (2018) ein Korrekturfaktor von $1,3 \cdot 1,2 = 1,56$ verwendet und der Faktor für die Planungs- und Investitionsausgaben wurde aufgrund des hohen Innovationsgrades auf 1,25 festgelegt. Die mit diesem Ansatz berechneten Investitionsausgaben ergeben für die realisierte Wärmepumpe (mit 330 kW Heizleistung) ca. EUR 150.000.

2.3.2 Ausgaben für den Anschluss der Wärmepumpe

Um die Ausgaben für den hydraulischen Anschluss zu ermitteln, wurden von Kreutzwiesner (2018) für die wesentlichen Komponenten (Speicher, Pumpen, Ventile, Wärmeübertrager, Rohrleitungen und Sicherheitseinrichtungen) Angebote eingeholt und die

Investitionsausgaben für die Kaltwasserseite und die drei Varianten (vgl. Abbildung 3) der Fernwärmeseite ermittelt. Zusätzlich sind im Block Sonstiges zusätzliche Ausgaben für z.B. Stromzähler, Trafo, Druckhalteamaturen, Fernwärmeleitung zum Gebäude, ... enthalten. Die ermittelten Investitionsausgaben sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Investitionsausgaben der Hydraulik für die Kaltwasserseite und die unterschiedlichen Varianten der Fernwärmeseite (Kreutzwiesner, 2018)

Block	Investitionsausgaben für 200 kW in EUR
Kaltwasserseite mit Speicher	39.768
Fernwärmeseite Variante 1	98.303
Fernwärmeseite Variante 2	110.720
Fernwärmeseite Variante 3	103.427
Sonstiges	206.000

Dabei zeigt sich, dass die Hydraulik für den Anschluss der Wärmepumpe an das Fernwärmennetz deutlich kostspieliger ist als der Anschluss der Wärmepumpe an das Bürogebäude. Wesentlicher Kostentreiber ist die – zur Einspeisung der Wärme erforderliche – Pumpe, welche die Druckdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf des Fernwärmennetzes überwinden muss. Zusätzlich sind Absperrarmaturen zum Fernwärmennetz erforderlich, welche zusätzliche Investitionsausgaben verursachen.

2.3.3 Betriebskosten, Wärme- und Kältepries

Zum Betrieb der Wärmepumpe ist elektrische Antriebsenergie für die Kompressoren, die elektrischen Kältemitteldrosseln sowie die Steuerung der gesamten Wärmepumpe erforderlich. Zusätzlich wird der Bedarf an elektrischer Antriebsenergie durch den Betrieb der hydraulischen Pumpen und Mischventile der Kaltwasser- und Fernwärmeseite um ca. 10 % erhöht. Daran hat die Einspeisepumpe in das Fernwärmennetz, welche die Druckdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf des Fernwärmennetzes überwinden muss, den größten Anteil. Der elektrische Energiebedarf der gesamten Wärmepumpenanlage und der gesamten Energiezentrale wurde mit elektrischen Energiemengenzählern erfasst. Die Betriebskosten für die gesamte Anlage werden vor allem vom Strompreis, welcher von der Netzebene abhängt, beeinflusst. Bei dezentralen Anlagen hängt die Netzebene vom Standort ab. Kreutzwiesner (2018) hat in seinen Berechnungen einen Strompreis von 0,11 EUR/kWh zu Grunde gelegt.

Die von der Wärmepumpe in das Fernwärmennetz eingespeiste Wärme ist ein Nutzen für den Betreiber des Fernwärmennetzes. Wärme, die in das Fernwärmennetz eingespeist wird, ist aus Sicht des Fernwärmennetzbetreibers mit den Produktionskosten oder Zukaufkosten der übrigen in das Fernwärmennetz eingespeisten Wärme zu vergleichen, welche geringer sind als der Verkaufspreis der Fernwärme. Der Wert der eingespeisten Wärme wurde von Kreutzwiesner (2018) mit 0,02 EUR/kWh angenommen.

Vorrangiger Zweck der Wärmepumpeninstallation ist die Klimatisierung eines Gebäudes. Der Preis für die Bereitstellung von Kälte ist üblicherweise höher als der Preis für die Bereitstellung von Wärme. Für die Klimatisierung eines Gebäudes mit einer konventionellen, d.h. luftgekühlten, Kälteanlage wurde von Kreutzwiesner (2018) ein Wert von 0,18 EUR/kWh angenommen. Zusätzlich ist bei der Installation einer Kälteanlage vom Kunden häufig ein Baukostenzuschuss zu leisten, welcher von Kreutzwiesner (2018) mit 20 % angesetzt wurde.

Da die ausgeführte Anlage kostenintensiver ist als eine herkömmliche Kälteanlage, wurde von Kreutzwiesner (2018) ein zusätzlicher Aufpreis auf den Kältepreis vorgesehen, welcher mit 0,05 EUR/kWh angenommen wurde.

3 Ergebnisse

Die Analyse des in diesem Beitrag vorgestellten Konzepts für die dezentrale Abwärmenutzung mittels Wärmepumpe zur Fernwärmeeinspeisung erfolgt basierend auf den Messergebnissen, welche im Betrieb der realisierten Wärmepumpe aufgenommen wurden. Im Anschluss wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angestellt, die das Potential dieses Konzeptes bei veränderten Randbedingungen zeigen soll.

3.1 Messergebnisse

Zusätzlich zur messtechnischen Erfassung des Wärmepumpenbetriebs, welcher im Zeitraum vom 13.08.2018 bis zum 30.10.2018 zur Klimatisierung des Gebäudes notwendig war, wurden am 19.09.2018 Versuche durchgeführt, um das Verhalten der Wärmepumpe bei stationären Betriebsbedingungen zu untersuchen.

3.1.1 Effizienz und Leistung der Wärmepumpe

Abbildung 4 zeigt den bei stationären Betriebsbedingungen erreichten COP der Wärmepumpe (Verhältnis aus im Verdampfer der NT-Stufe aufgenommenen Wärmeleistung zur der Wärmepumpe zugeführten elektrischen Leistung) über der Fernwärmewasser-eintrittstemperatur in den Kondensator bei Kaltwassereintrittstemperaturen von 11 °C und 14 °C. Bei den Betriebspunkten mit einer Kaltwassereintrittstemperatur von 14 °C wurde der Kompressor der NT-Stufe bei maximaler Drehzahl betrieben und es waren beide Kompressoren der parallelen Kreise der HT-Stufe in Betrieb. Bei den Betriebspunkten mit einer Kaltwassereintrittstemperatur von 11 °C wurde der Kompressor der NT-Stufe bei ungefähr der Hälfte der maximalen Drehzahl betrieben und in der HT-Stufe war lediglich einer der beiden Kreisläufe in Betrieb. Der COP fällt bei steigender Fernwärmewasser-eintrittstemperatur von 2,75 bei einer Temperatur von ca. 65 °C auf 2,4 bei einer Temperatur von ca. 76 °C.

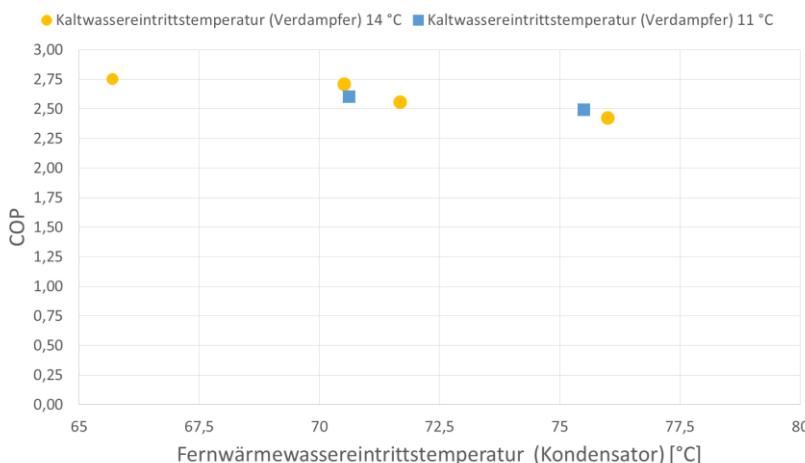


Abbildung 4: COP der Wärmepumpe über der Fernwärmewassereintrittstemperatur in den Kondensator (in Anlehnung an Kreutzwiesner, 2018)

Abbildung 5 zeigt die bei den gleichen stationären Betriebsbedingungen wie bei der Analyse des COP's erreichte Kondensatorleistung der Wärmepumpe. Die Kondensatorleistung ist von der Fernwärmewassereintrittstemperatur in den Kondensator nahezu unabhängig und wird maßgeblich von der Kaltwassereintrittstemperatur bzw. Kälteleistung beeinflusst. Die Veränderung der Kondensatorleistung bei veränderter Kaltwassereintrittstemperatur ergibt sich in erster Linie wegen der verringerten Drehzahl des Kompressors der NT-Stufe an diesem Betriebspunkt. Zusätzlich wird der vom Kompressor geförderte Kältemittelmassenstroms, aufgrund der geringeren Dichte des Kältemittels am Eintritt in den Kompressor, verringert.

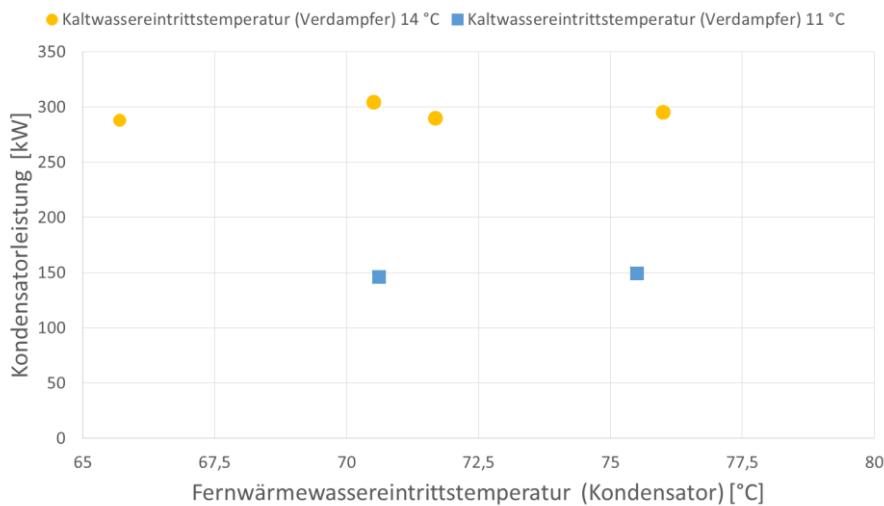


Abbildung 5: Kondensatorleistung der Wärmepumpe über der Fernwärmewassereintrittstemperatur in den Kondensator (in Anlehnung an Kreuzwiesner, 2018)

3.1.2 Zu- und abgeführte Energie im Betriebszeitraum

Abbildung 6 zeigt die zu- und abgeführte Energie in den einzelnen Kalenderwochen im Betriebszeitraum. Zusätzlich ist der Verlauf der Außentemperatur nach Accuweather (2018) auf der rechten Ordinate dargestellt.

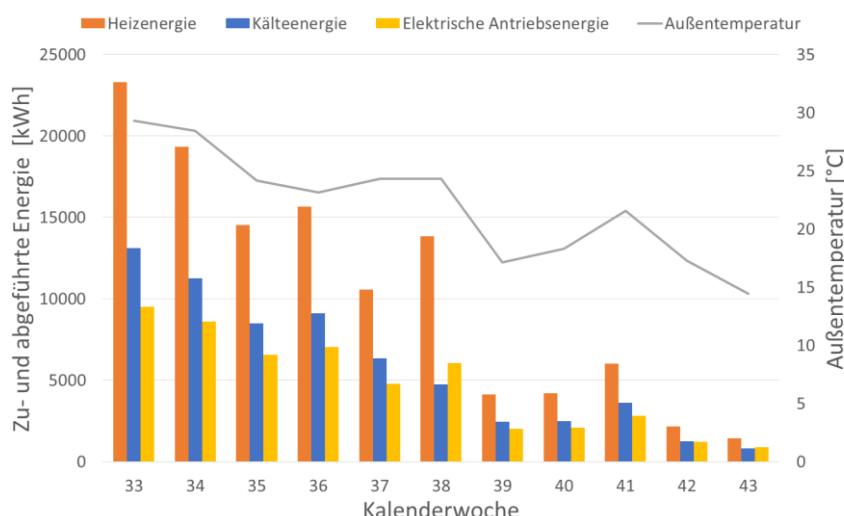


Abbildung 6: Der Wärmepumpe zu- und abgeführte Energie der einzelnen Kalenderwochen im Betriebszeitraum (in Anlehnung an Kreuzwiesner, 2018)

Bei niedriger Außentemperatur ist vom Gebäude weniger Wärme (mittels Verdampfer) abzuführen. Insgesamt wurden im betrachteten Zeitraum 63,6 MWh Wärme aus dem Gebäude abgeführt, 115,1 MWh Wärme dem Fernwärmennetz zugeführt und 51,5 MWh elektrische Antriebsenergie der Wärmepumpe zugeführt. Mit diesen gemessenen Energien kann ein „Performance Faktor“ für den betrachteten Zeitraum berechnet werden (Verhältnis aus im Verdampfer der NT-Stufe aufgenommener Heizenergie zur der Wärmepumpe zugeführten elektrischen Antriebsenergie), welcher einen Wert von 2,24 ergibt. Der kleinere Performance Faktor im Vergleich zum COP (vgl. Abbildung 4) ist vor allem auf ein häufiges Takt der Wärmepumpe zurückzuführen. Wenn der zusätzliche Energieverbrauch für die hydraulischen Pumpen und Ventile berücksichtigt wird reduziert sich der mit der realisierten Anlage erreichte Performance Faktor auf ca. 2.

3.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Um die Wirtschaftlichkeit dieses Kälteversorgungskonzepts zu bewerten, wurde die statische Amortisationszeit für die gesamte Anlage bei einem Anschluss der Wärmepumpe an das Fernwärmennetz nach Variante 1 berechnet. Dies ergibt mit den in Kapitel 2.3 beschriebenen Ausgaben und bei Berücksichtigung eines Baukostenzuschusses von 20 % durch den Kunden Investitionsausgaben von 395.257 EUR. Mit den in Kapitel 2.3.3 angeführten Preisen für Strom, Kälte und Wärme, einem angenommenen COP von 2,5 und einem angenommenen Kältebedarf von 130 MWh pro Jahr (das entspricht ca. 650 Volllaststunden) ergibt sich eine Amortisationszeit von 16,2 Jahren.

Da diese Amortisationszeit für wirtschaftlich sinnvolle Investitionen zu hoch ist, wurde eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich einer Variation der Volllaststunden, des Strompreises, des Fernwärmepreises, des Kälteaufpreises, des COP's und der Investitionsausgaben durchgeführt, um das Potential dieses Kälteversorgungskonzepts für zukünftige Anwendungen abzuschätzen. Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 7 dargestellt.

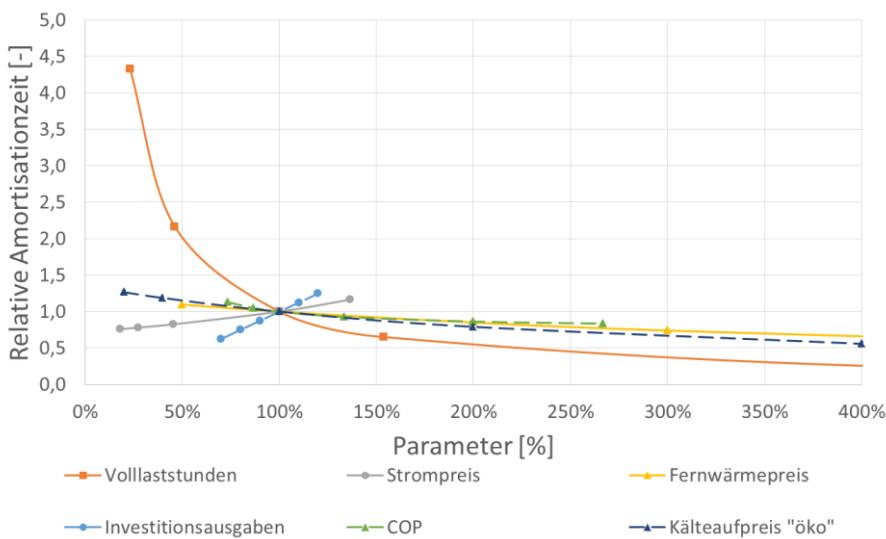


Abbildung 7: Sensitivitätsanalyse für die Amortisationszeit des Kälteversorgungskonzepts (in Anlehnung an Kreutzwiesner, 2018)

Die Amortisationszeit kann wesentlich verbessert werden, wenn die Volllaststunden erhöht werden. Zum Beispiel ergibt sich bei einer Erhöhung der Volllaststunden auf 8760 Stunden pro Jahr eine Amortisationszeit von 1,2 Jahren. Eine Reduktion der Investitionsausgaben wirkt sich ebenfalls positiv aus und kann vor allem dann umgesetzt werden, wenn eine niedrigere Vorlauftemperatur im Fernwärmennetz vorhanden ist, da dann auch eine einstufige Wärmepumpe verwendet werden kann. Eine weitere Reduktion der Amortisationszeit kann durch einen niedrigen Strompreis erreicht werden, welcher jedoch vor allem vom vorhandenen Stromanschluss abhängt. Der Fernwärmepreis, der Kälteaufpreis und auch der COP haben nur ein geringes Verbesserungspotential.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein neues Konzept für die Nutzung dezentraler Abwärmequellen zur Fernwärmeeinspeisung mittels Wärmepumpe vorgestellt. Die untersuchte Anlage wurde von der Wien Energie GmbH realisiert und in Betrieb genommen. Im stationären Betrieb wird ein COP von 2,4 bis 2,75 erreicht. Der für den betrachteten Betriebszeitraum ermittelte Performance Faktor reduziert sich aufgrund häufig auftretender Ein- und Ausschaltvorgängen sowie durch die Berücksichtigung des elektrischen Energiebedarfs zum Betrieb der hydraulischen Pumpen auf ca. 2. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde die Amortisationszeit für eine optimierte Anlagenvariante berechnet und gezeigt, dass für eine wirtschaftlich sinnvolle Amortisationszeit vor allem die Volllaststunden erhöht werden müssen.

Literatur

- Accuweather, 2018, <https://www.accuweather.com/de/at/vienna/31868/august-weather/31868>, 09.11.2018
- Kreutzwiesner, D., 2018, Bewertung einer Wärmepumpe im Wiener Fernwärmennetz, Masterarbeit, Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz
- Wolf, S., 2017, Integration von Wärmepumpen in industrielle Produktionssysteme – Potenziale und Instrumente zur Potenzialerschließung, Dissertation, Universität Stuttgart