

Projekttitle:

Ermittlung des aktuellen Heizwärmenergiebedarfs und dessen
Deckung mit Hilfe von Heizsystemen über Wärmepumpen

Projektkürzel	Heiz-Waermepumpen
----------------------	-------------------

Themenfeld:

Analyse der Heizwärme und der Energiegewinnung mittels
unterschiedlicher Wärmepumpentechnologien für den Raum
Nürnberg.

Kontaktdate der Projektbearbeiterin:

Name: Marina Brilz
Matrikel-Nr.: 2793837
Anschrift: Deutschland
90429 Nürnberg
Fürther Straße 185
E-Mail: brilzma62639@th-nuernberg.de
Mobil: +49 152 21984465

Korrekturleser: Stefan Remeli Unterschrift: _____

Datum: 18.12.2017 Unterschrift: _____

Inhalt

I.	Abbildungsverzeichnis	2
II.	Tabellenverzeichnis	2
1.	Inhaltliche Kurzbeschreibung	3
2.	Beschreibung des energietechnischen Gesamtprojekts	3
2.1.	Relevanz zur regenerativen Energiegewinnung	3
2.2.	Zielsetzung und Forschungsfragen des energietechnischen Projekts.....	5
3.	Wärmepumpen - Stand der Technik	6
3.1.	Funktionsprinzip der Wärmepumpen	6
3.2.	Unterschiedliche Systemvarianten von Wärmepumpen	7
3.3.	Vor- und Nachteile des Einsatzes von Wärmepumpen	9
4.	Analyse der gewählten Wärmepumpen	10
4.1.	Heizwärmeverbrauchsdaten	10
4.2.	Wärmepumpenauswahl	11
4.3.	Anzahl, Gütegrad, elektrische Leistung und monatlicher Kostenbeitrag	12
4.3.1.	Berechnung der Gesamtversorgung für den Raum Nürnberg	12
4.3.2.	Berechnung der Pumpenanzahl	12
4.3.3.	Gütegradbestimmung und Ermittlung der elektrischen Leistung	16
4.3.4.	Monatliche Auswertung der elektrischen Leistung.....	21
5.	Diskussion im Hinblick auf die Realisierung	23
6.	Fazit	23
7.	Literaturverzeichnis	24

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: WP-Anteile_Baugenehmigungen_2016_01 (Bundesverband Wärmepumpe).....	4
Abbildung 2: Strommix (Strom Report Zahlen Daten Fakten)	5
Abbildung 3: Heizungsarten_Waermepumpe_Funktion-Waermepumpe (Wie funktioniert eine Wärmepumpe? heizung.de)	6
Abbildung 4: Wie funktioniert eine Wär (Wie funktioniert eine Wärmepumpe? heizung.de)	8
Abbildung 5: Vaillant VWS 102/2 (B0/W35) – Anzahl im zeitlichen Verlauf.....	13
Abbildung 6: Vaillant VWS 102/2 (B5W55) – Anzahl im zeitlichen Verlauf	13
Abbildung 7: Vaillant VWS102/2 - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf.....	14
Abbildung 8: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A2/W35) – Anzahl im zeitlichen Verlauf.....	14
Abbildung 9: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A7/W35) – Anzahl im zeitlichen Verlauf.....	15
Abbildung 10: NOVELAN LA 31 WPR-Net - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf.....	15
Abbildung 11: Vaillant V102/2 (B0W35) - Leistungsaufnahme.....	17
Abbildung 12: Vaillant V102/2 (B5W55) - Leistungsaufnahme.....	17
Abbildung 13: Vaillant VWS102/2 - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf.....	18
Abbildung 14: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A2/W35) - Leistungsaufnahme	19
Abbildung 15: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A7/W35) - Leistungsaufnahme	20
Abbildung 16: NOVELAN LA 31 WPR-NET - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf	20
Abbildung 17: Gütegrad „NOVELAN - LA 31 - NET“ in Abhängigkeit der Temperatur	21
Abbildung 18: „Vaillant V102/2“ - Energieaufnahme im monatlichen Verlauf 2016	21
Abbildung 19: „NOVELAN LA 31 WPR-NET“ - Energieaufnahme im monatlichen Verlauf 2016	22

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vaillant VWS102/2 – Ausschnitt aus dem Datenblatt	16
Tabelle 2: NOVELAN LA 31-WPR-Net - Ausschnitt aus dem Datenblatt	18
Tabelle 3: Monatlichen Kosten pro Haushalt im Raum Nürnberg	22

1. Inhaltliche Kurzbeschreibung

Ziel dieser Arbeit ist es den Heizwärmebedarf des Jahres 2016 für die Haushalte der Stadt Nürnberg zu analysieren und diesen komplett mit Wärmepumpentechnologie zu decken. Dazu werden stündlich aufgenommene Datensätze der N-ERGIE herangezogen. Aus den gewonnenen Ergebnissen können Lösungsvorschläge für die Zukunft gewonnen werden.

Es werden zwei unterschiedliche Wärmepumpenanlagen miteinander verglichen. Zum einen eine Kleinanlage mit der Bezeichnung „Vaillant Geotherm plus VWS 102/2“. Aus den Datenblatt dieser Anlage wurden die Betriebscharakteristiken „B0/W35“ mit 10,4 kW Heizleistung und „B5/W55“ mit 11 kW Heizleistung ausgewählt. Zum anderen wird eine Großanlage, „NEVELAN LA 31-WPR-Net“ mit den Betriebscharakteristiken „A2/W35“ mit 31 kW Heizleistung und „A2/W35“ mit 35 kW Heizleistung, gegenübergestellt.

Mit den analysierten Heizwärmedaten wird die Anzahl der jeweiligen Pumpen unter Vollastbetrieb für den stündlichen Heizwärmebedarf errechnet, welche visuell im zeitlichen Verlauf dargestellt werden. Weiterhin wird über den Carnot Wirkungsgrad und den über die Hersteller angegebenen COP Wert, der Gütegrad der Anlagen bestimmt. Mit Hilfe der stündlich angegebenen Außentemperaturen und des errechneten Gütegrades wird der stündlich reale technische COP Wert ermittelt. Damit wird für die jeweiligen Stunden die aufzubringende elektrische Leistung berechnet. Diese wird ebenfalls in einem zeitlichen Verlauf veranschaulicht.

Um die Heizwärme als regenerativ zu deklarieren, ist es notwendig, dass die elektrische Energie aus erneuerbaren Energietechniken gewonnen wird.

Zum Schluss wird der elektrische Energieverbrauch grafisch im monatlichen Intervall dargestellt und der monatliche Kostenbetrag für einen durchschnittlichen Haushalt berechnet.

2. Beschreibung des energietechnischen Gesamtprojekts

In der Gesamtbeschreibung werden die Bedeutsamkeit der Energiewende kurz erläutert und das Ziel dieser Studienarbeit beschrieben.

2.1. Relevanz zur regenerativen Energiegewinnung

Eine exakte Zeitangabe, wie lange bzw. wie viele fossile Brennstoffe den Menschen noch zur Verfügung stehen werden, kann niemand genau vorhersagen. In einem Punkt sind sich Wissenschaftler und Fachleute einer Meinung - bald werden die Bergungsarbeiten der leicht zugänglichen fossilen Energieträger viel mehr Aufwand benötigen. In diesen Zusammenhang werden regenerative Energiesysteme für Industrienationen wie Deutschland immer interessanter.

Der typische Lebensstandard und Wohlstand einer Bevölkerung ist abhängig von der Konkurrenzfähigkeit des eigenen Landes im internationalen Wettbewerb. Um in diesem bestehen zu können, ist eine sichere, nachhaltige und stabile Energieversorgung von essentieller Bedeutung.

Im Vordergrund sind Heizkörper- und Trinkwassererwärmung in Privathaushalten die größten Energieverbraucher. Wärmepumpen können eine wirtschaftliche Alternative sein, wenn die örtlichen Gegebenheiten, wie zum Beispiel möglicher Aufstellort, zur Verfügung stehende Energiequelle,

vorhandenes Wärmeübergabesystem und die zu erwartenden Verbräuche berücksichtigt werden. (vgl. FAQ Wärmepumpen - Funktionsweise Wärmepumpen | VDI)

Das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe ist ähnlich dem eines Kühlschranks, lediglich ist hier das Ziel die Erwärmung anstatt der Kühlung des Raumes. Bei einem Kühlschrank wird den Lebensmitteln die Wärme entzogen und an die Umgebungsluft abgeführt. Im Gegensatz dazu wird bei der Wärmepumpe die Wärmeenergie der Umgebung auf niedrigem Temperaturniveau entzogen und mit Kompression eines Kältemittels auf eine höhere Temperatur transferiert. Diese Energie wird an das Heizsystem abgegeben. (vgl. FAQ Wärmepumpen - Funktionsweise Wärmepumpen | VDI)

Wie in Abbildung 1 gezeigt wird, sind bereits im Jahr 2016 für die Baugenehmigungen die Wärmepumpen mit 37,4% in Deutschland fest etabliert.

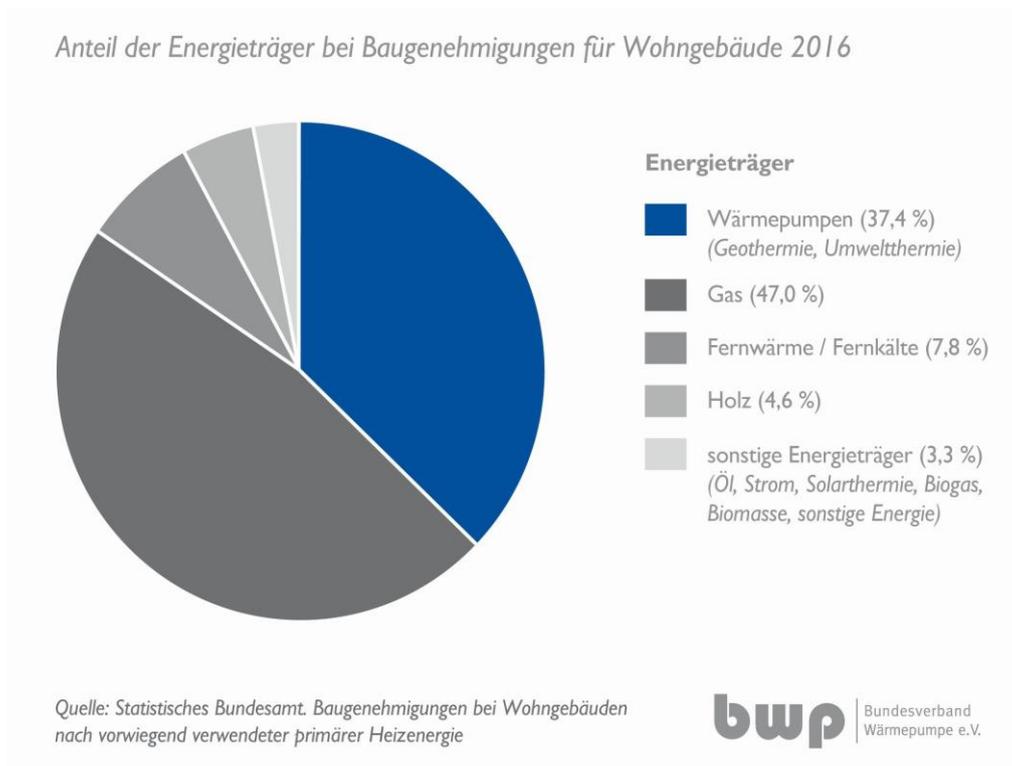


Abbildung 1: WP-Anteile_Baugenehmigungen_2016_01 (Bundesverband Wärmepumpe)

Inzwischen hat der erneuerbare Stromanteil in Deutschland, wie in Abbildung 2 zu sehen ist, mit 29,5% den größten Anteil. Doch nachhaltig ist die Stromerzeugung für die Bundesrepublik noch lange nicht. Bereits zum Jahr 2022 soll der Anteil von 13,1% der Kernenergie wegfallen. Diese Erzeugungslücke muss dann entweder mit importiertem Strom oder anderen Kraftwerkstypen gefüllt werden.

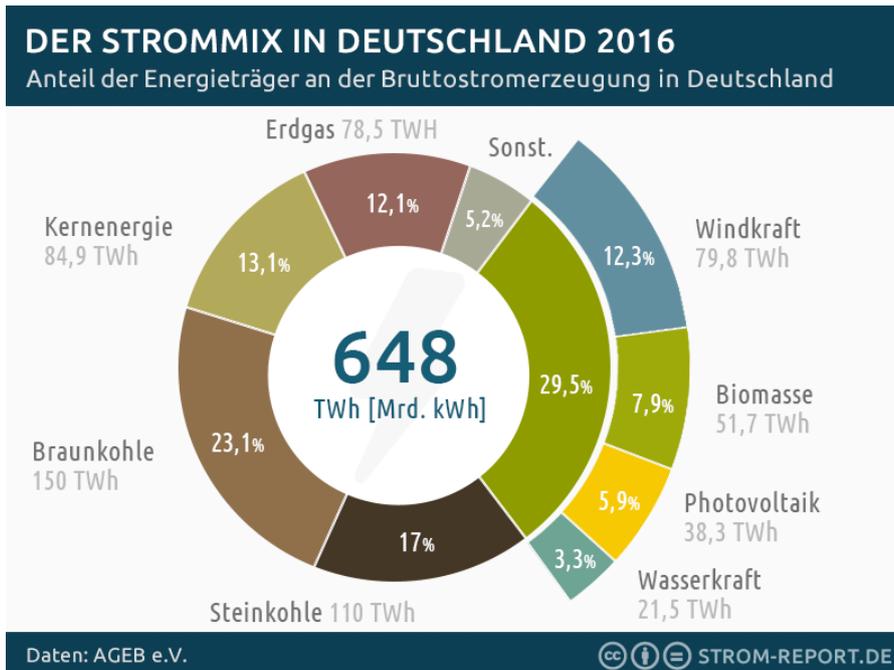


Abbildung 2: Strommix (Strom Report Zahlen Daten Fakten)

Damit das Konzept, den Raum Nürnberg mit Heizwärme mit Hilfe von Wärmepumpen zu versorgen funktionieren kann, muss die Stromerzeugung dafür ebenfalls nachhaltig erzeugt sein (z. B. durch Solar- oder Windenergie).

2.2. Zielsetzung und Forschungsfragen des energietechnischen Projekts

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird die Fragestellung bearbeitet, ob es möglich ist die Metropole Nürnberg mit Hilfe von Wärmepumpen mit Heizwärme zu versorgen.

Um diese Frage zu klären ist die Gesamtaufgabe in fünf Abschnitte aufgeteilt.

- Welche Technologien bieten sich vorteilhaft für eine Heizwärmebereitstellung in Nürnberg an?
- Welche Vor- und Nachteile ergeben sich bei Großanlagen an einem Wärmenetz gegenüber Kleinanlagen zu Einzelgebäuden
- Wie viele Wärmepumpen mit welcher zu installierenden elektrischen Nennleistung müssten eingesetzt werden, um den Heizwärmebedarf der Stadt Nürnberg zu decken?
- Welchen zusätzlichen Strombedarf würden die ausgewählten Wärmepumpen benötigen und wie wäre der zeitliche Verlauf des Strombedarfs?
- Kann dieses Modell der Wärmegewinnung mittels Wärmepumpen in einer Großstadt realisiert werden?

Auf Basis der Wärmeenergieverbrauchsdaten der N-ERGIE wird die benötigte Anzahl einer ausgesuchten Klein- und einer Großanlage ermittelt. Mit dieser Anzahl und den Daten wird der Gesamtstromverbrauch pro Stunde und Monat errechnet und grafisch für den jeweiligen Typ dargestellt.

Die resultierenden Daten und Ergebnisse diesbezüglich für den Raum Nürnberg werden auf der Homepage der TH-Nürnberg zur freien Einsicht bereitgestellt. Zusätzlich werden diese während der öffentlichen Energiekonferenz "Regenerative Selbstversorgung der Stadt Nürnberg unter Einbeziehung des Umlands" am 18.12.2017 bei der N-ERGIE vorgestellt.

3. Wärmepumpen - Stand der Technik

Im folgendem Kapitel wird die Funktionsweise, die unterschiedlichen Varianten, sowie die Vor- und Nachteile der Wärmepumpentechnologie vorgestellt.

3.1. Funktionsprinzip der Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe kann als Energietransporter bezeichnet werden, welcher die aus unterschiedlichsten Medien aufgenommene Wärmeenergie in den gewünschten Raum leitet.

„Andere Systeme wandeln Strom direkt in Wärme um. Eine Wärmepumpe nutzt den Strom hingegen, um Wärme aus dem Erdreich oder der Luft zu fördern. Diese Wärme wird anschließend zur Verfügung gestellt. Die Wärme stammt beispielsweise aus dem Erdreich, dem Grundwasser, der Luft oder aus Flüssen. In einer Wärmepumpe wird ein Kältemittel abwechselnd verflüssigt und verdampft. Das spezielle Kältemittel hat die besondere Eigenschaft, dass es bereits bei relativ niedrigen Temperaturen verdampft und Wärme aufnehmen kann. Auf einem höheren Temperaturniveau wird diese Energie wieder abgegeben und das Kältemittel kondensiert erneut.“ (Wie funktioniert eine Wärmepumpe? | heizung.de)

Das schematische Funktionsprinzip einer Wärmepumpe wird in der untenstehenden Abbildung 3 veranschaulicht. Dies wird anhand einer Luft-Wasser-Wärmepumpe erklärt.

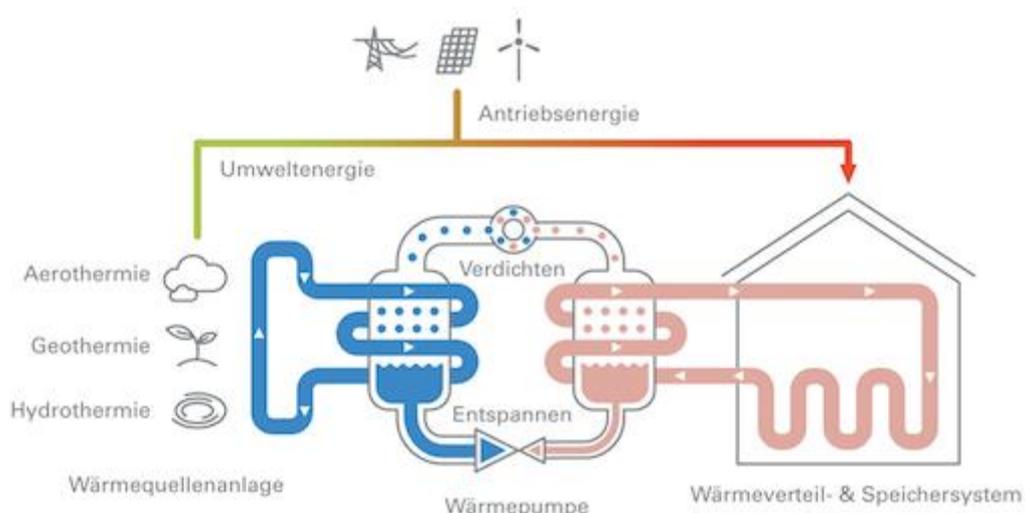


Abbildung 3: Heizungsarten_Waermepumpe_Funktion-Waermepumpe (Wie funktioniert eine Wärmepumpe? | heizung.de)

"Wird beispielsweise aus -10°C kalter Luft Energie entnommen, wird diese durch einen strombetriebenen Verdichtungsprozess auf eine Temperatur von 40°C erhöht. Dieser Vorgang wird durch das noch kältere Kältemittel in der Wärmepumpe ermöglicht, welches schon bei 10°C verdampft. Die Energie aus der Luft wird durch den Wärmetauscher auf das Kältemittel übertragen und nach vollständiger Verdampfung in einem Kolben komprimiert. Durch den Druck wird die Energie des Dampfes in Form von Wärme frei. Ein weiterer Wärmetauscher überträgt die so entstandene Wärme an das Heizsystem. Gleichzeitig wird durch einen Expansionsvorgang das Kältemittel wieder vollständig verflüssigt und in den Kreislauf zurückgeführt." (Wie funktioniert eine Wärmepumpe? | heizung.de)

3.2. Unterschiedliche Systemvarianten von Wärmepumpen

Der Wirkungsgrad von Wärmepumpen wird mithilfe der Leistungszahl (COP - „Coefficient of Performance“) beschrieben. Je niedriger die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizungsvorlauftemperatur, desto höher ist die Leistungszahl. Aufgrund dieser Umstände bieten sich großflächige Heizflächen wie Fußbodenheizungen oder Wandheizkörper an. Diese haben den Vorteil die benötigte Heizenergie bei niedrigeren Vorlauftemperaturen als gewöhnliche Heizsysteme an die Raumluft abzugeben.

Die Betriebsweise richtet sich nach den verschiedenen Randbedingungen.

So benötigen bivalente Systeme einen zusätzlichen Wärmeerzeuger für feste, flüssige oder gasförmige Stoffe. Daraus können Vorlauftemperaturen von mehr als 55°C erzeugt werden. Diese Variante wird oft zur Modernisierung bestehender Heizungsanlagen verwendet. Hierbei kann die Wärmepumpe nur als unterstützendes Element eingesetzt werden. Ausgelegt werden die Systeme auf etwa 50 % der maximalen Heizleistung. Bei den klimatischen Bedingungen in Deutschland können bis zu 85 % der benötigten Jahresheizwärme abgedeckt werden. Möglich ist das jedoch nur mit entsprechender Wärmedämmung.

Monovalente Systeme sind hingegen für die alleinige Versorgung ausgelegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Wärmeverteilsystem für einen Betrieb unterhalb der 55°C ausgelegt werden muss. (Primus, 1995)

Nachfolgend werden die verschiedenen Systeme etwas genauer beschrieben.

„Grundwasser weist idealerweise das ganze Jahr über eine konstante Temperatur auf. Diesen Vorteil macht sich die Grundwasser-Wärmepumpe zunutze. Sofern auf dem Grundstück ein stabiler Grundwasserspiegel vorhanden ist, wird ein so genannter Entnahmehrunnen installiert. Dieser gewinnt das Wasser, welches an die Wärmepumpe weitergeleitet wird. Die Pumpe entzieht dem Wasser die Wärme-Energie. Das abgekühlte Wasser wird in einem zweiten Brunnen, der sich mindestens 15 Meter entfernt vom ersten befindet, oder in einen Sickerschacht wieder ins Grundwasser abgegeben. Grundwasser-Wärmepumpen überzeugen mit einer hohen Leistungszahl und niedrigen Betriebskosten.“ (Heizen mit Erdwärme | Wärmepumpe | Kollektoren - Luzian Bouvier 2017)

„Als Erdwärme wird die natürliche Wärme, die im Boden gespeichert wird, bezeichnet. Bereits in einer Tiefe von 10 Metern herrscht eine relativ konstante Temperatur von 7 bis 10°C vor.

Dadurch kann eine Wärmepumpe das ganze Jahr über gleichmäßig arbeiten. Erdsonden, die mittels Tiefenbohrung installiert werden, sind eine hervorragende Methode, Wärme über das Erdreich zu beziehen. Dabei wird kaltes Wasser in die unteren Erdschichten transportiert und warmes Wasser wieder nach oben gepumpt. Um die Erdwärme dabei an die Oberfläche zu befördern, werden Tiefenbohrungen in 70 bis 150 Meter Tiefe durchgeführt. Erdwärmesonden punkten mit einem hohen Wirkungsgrad, niedrigen Betriebskosten, sind äußerst betriebssicher und nahezu wartungsfrei.“ (Heizen mit Erdwärme | Wärmepumpe | Kollektoren - Luzian Bouvier 2017)

„Erdwärmekollektoren gewinnen die Umgebungswärme für den Betrieb von Wärmepumpen. Dabei werden so genannte Flächenkollektoren horizontal in ca. 1,5 Meter Tiefe verlegt. Im Rohrsystem unter der Erdoberfläche zirkuliert unterirdisch die "Sole" - ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel. Dieses nimmt die Bodenwärme auf. Die Wärme gelangt über einen Tauscher in die Wärmepumpe, welche die Temperatur erhöht und dem Wasserkreislauf der Heizung zuführt. Die Leistung der Erdwärmekollektoren hängt nicht zuletzt von der Boden- oder der Kollektorenart ab. Generell arbeiten Erdwärmekollektoren äußerst wirkungsvoll und nahezu wartungsfrei.“ (Heizen mit Erdwärme | Wärmepumpe | Kollektoren - Luzian Bouvier 2017)

„Nicht nur die Erdwärme, sondern auch die Außenluft kann mithilfe einer Wärmepumpe zur Beheizung eines Gebäudes genutzt werden. Die Vorteile dieser Funktionsweise liegen auf der Hand: Die benötigten Geräte können beispielsweise auch im Freien an so gut wie jeder Stelle platziert werden und das Funktionsprinzip der Luft-Wärmepumpe ist relativ einfach: Die Außenluft wird über ein Ansaugmodul ins System gezogen und dort abgekühlt. Die Pumpe erhöht die Temperatur und leitet sie an den Wasserkreislauf der Heizung weiter. Zugleich verdampft das im System vorhandene Kühlmittel. Schlussendlich werden der Wärmeaustausch und der Kältekreislauf geschlossen. Moderne Luft-Wärmepumpen sind relativ wartungsfrei und arbeiten leise. Sie überzeugen mit einer hohen Wirkungsweise, niedrigen Anschaffungskosten und Effizienz.“ (Heizen mit Erdwärme | Wärmepumpe | Kollektoren - Luzian Bouvier 2017) In der untenstehenden Abbildung 4 werden unterschiedliche Pumpenvarianten visuell dargestellt.

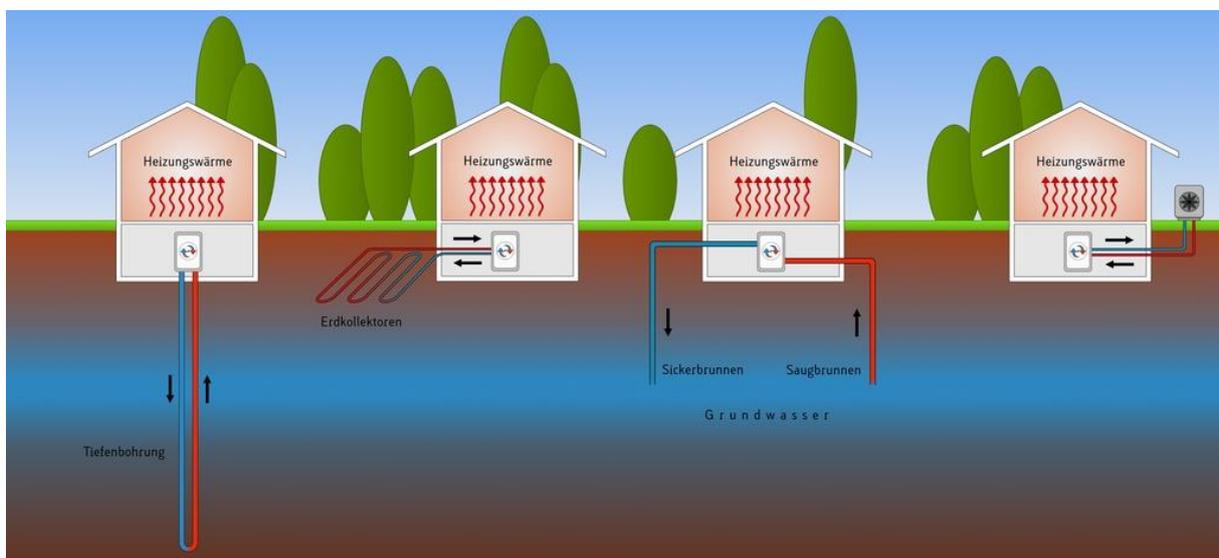


Abbildung 4: Wie funktioniert eine Wär (Wie funktioniert eine Wärmepumpe? | heizung.de)

3.3. Vor- und Nachteile des Einsatzes von Wärmepumpen

Vorteile

Gewiss steht die Umweltfreundlichkeit in der Wärmepumpentechnik im Vordergrund. „Doch warum ist eine Wärmepumpe überhaupt freundlich zur Umwelt? Wärmepumpen nutzen die in Luft, Wasser oder Erde gespeicherte Sonnenenergie, um sie mit Hilfe einer (strombetriebenen) Wärmepumpe auf ein für Heizzwecke nötiges Temperaturniveau zu bringen. Von dieser Zusatzenergie (Strom) ist aber nur ein Viertel nötig, um damit 100 Prozent Heizleistung zu generieren – ein Höchstmaß an Effizienz.“ (Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe)

Lebensdauer und Wartung einer Wärmepumpe

Fast alle Wärmepumpenvarianten haben eine lange Lebensdauer und die meisten davon sind wartungsfrei. Lediglich bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe sollte der Kältekreislauf in festgelegten Abständen überprüft und bei der Luft-Luft-Wärmepumpe der Filter regelmäßig ausgetauscht werden. Die Technik (Kühlschrankprinzip), welche schon seit Jahrzehnten existiert, enthält nur wenige mechanische Komponente. Der Verschleiß hält sich daher in Grenzen. (vgl. Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe)

Kein Schornstein und kein Schornsteinfeger

„Das regelmäßige Kehren und die jährliche Abgaskontrolle entfallen, da der Betrieb einer Wärmepumpe nicht auf dem Verbrennungsprinzip beruht. Wärmepumpen arbeiten mit Hilfe der Kompression und dabei entstehen keine Emissionen, was gleichzeitig auch den Schornstein überflüssig macht.“ (Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe)

Wertsteigerung der Immobilie

Eine energetische Sanierung und ein effizientes und kostengünstiges Heizsystem werden immer wichtiger in den Immobilien. „Eine Sanierung nach energetischen Gesichtspunkten mit einer Vollwärmedämmung kostet schnell doppelt so viel, wie die Installation einer Wärmepumpe. Dafür reduziert die Wärmedämmung die Heizkosten gerade einmal um maximal 40 Prozent, bei einer Erdwärmeheizung hingegen können bis zu 60 Prozent der Heizkosten eingespart werden.“ (Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe)

Nachteile

Wenn eine Wärmepumpe zu Heizzwecken oder zur Erwärmung eingesetzt werden soll beschränken sich die Nachteile weniger auf die Technik, sondern eher auf die Voraussetzungen der örtlichen Gegebenheiten und Genehmigungen, auch wenn aufwändige Umbaumaßnahmen nicht notwendig sind.

Örtlichen Gegebenheiten, Bodenbeschaffenheit und Platzmangel

Gerade Sole-Wasser-Wärmepumpen und Wasser-Wasser-Wärmepumpen, bei denen Erdwärme, bzw. Grundwasserwärme als Energiequelle dienen, sind stets von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Bei der Wasser-Wasser-Wärmepumpe muss ein ausreichend hoher Grundwasserspiegel in guter Qualität vorhanden sein, um einen reibungslosen Betrieb der Pumpe zu gewährleisten. Diese sind bis zu einer Brunnentiefe von etwa 20 Metern wirtschaftlich. Bei den Erdkollektoren ist ein relativ großer Flächenbedarf nötig um das horizontale Rohrsystem zu verlegen. Lediglich die Luft-Wasser-Wärmepumpe und die Luft-Luft-Wärmepumpe kommen ohne Genehmigung und mit nur geringem Platzaufwand aus. Dafür stellt letztere hohe Anforderungen an das Gebäude, da ein luftdichter Abschluss der Gebäudehülle, sowie ein spezielles Lüftungssystem für den Einsatz dieser Lüftungswärmetechnik notwendig ist. (vgl. Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe)

Schwankende Betriebskosten

„Ein gerne aufgeführter Kritikpunkt an der Wärmepumpentechnik ist der Stromverbrauch. Da Wärmepumpen nicht selber Strom erzeugen können, um die aus der Natur abgezapfte Wärme für das Heizsystem noch weiter zu temperieren, wird eine externe Energiequelle benötigt. Dieser Strom kommt natürlich aus der Steckdose und stammt in vielen Fällen vom Kraftwerk. Hierdurch werden Emissionen frei, die der Öko-Bilanz von Wärmepumpen nicht gerade zuträglich sind. Sie selbst stoßen zwar keine CO₂-Emissionen aus, da sie ohne einen Verbrennungsvorgang auskommen, doch gerade an kühlen Tagen wird mehr Strom verbraucht, da die Wärmequellen-Temperatur dann ebenfalls starken Schwankungen unterliegt. Wird hingegen ein Strom-Mix mit hohem Ökostromanteil eingesetzt oder die Wärmepumpe mit anderen erneuerbaren Energiequellen, zum Beispiel Solarkollektoren, gekoppelt, liegen Wirtschaftlichkeit und Ökobilanz deutlich über der von Gas- oder Ölheizungen.“ (Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe)

4. Analyse der gewählten Wärmepumpen

In diesem Abschnitt werden die Klein- und Großanlage beschrieben. Aus den Datensätzen der N-ERGIE wird die Heizwärmeversorgung der Stadt Nürnberg analysiert. Daraus wird die benötigte Anzahl und die dazugehörige elektrische Leistungsaufnahme berechnet. Abschließend werden die daraus entstehenden monatlichen Wärmekosten für den durchschnittlichen Haushalt angegeben.

4.1. Heizwärmeverbrauchsdaten

Die N-ERGIE Nürnberg stellte für die energietechnische Projektarbeit der TH-Nürnberg ihre Heizwärmedatensätze, für die von Ihnen versorgten 65.000 Haushalte, zur Verfügung. Diese Verbraucherdaten der Wärme aus dem Jahr 2016 wurden stündlich aufgenommen. Zusätzlich sind die dazugehörigen Außentemperaturen im stündlichen Takt gemessen und dokumentiert. Somit wurden insgesamt 8.784 Datensätze aufgenommen.

Die stündlich angegebene Heizwärmeversorgung der N-ERGIE wurde für die 279.056 Haushalte im Raum Nürnberg umgerechnet. Damit ist der jeweilig stündliche Heizwärmebedarf für Nürnberg ermittelt.

4.2. Wärmepumpenauswahl

Zwei ausgewählte Wärmepumpen werden gegenübergestellt und verglichen.

Kleinanlage

Ausgesucht wurde eine Luftwärmepumpe mit der Bezeichnung „Vaillant Geotherm plus VWS 102/2“, welche 2017 als Testsieger der Stiftung Warentest mit einem Qualitätsurteil von Gut (2,1) hervorging.

Je nach Anwendungswunsch, ist es bei dieser Wärmepumpe möglich sie anzupassen. Für das Heizen mit Hilfe der Fußbodenheizung wurde die Betriebscharakteristik „B0/W35“ mit einer Heizleistung von 10,4 kW ausgesucht. Dies bedeutet, dass die Wärmeenergie einer Sole (B) bei 0° C auf eine Wassertemperatur (W) von 35° C transformiert wird. Diese Temperatur ist typisch für eine Fußbodenheizung. Eine alternative Betriebscharakteristik dieser Wärmepumpe ist „B5/W55“. Hierbei wird die Energie einer Soletemperatur von 5° C auf eine Wassertemperatur von 55° C übertragen. Diese Temperatur ist für Radiator Heizungen kompatibel und entspricht einer Heizleistung von 11 kW.

„Die Vorteile der Wärmepumpe kommen auf zahlreichen Einsatzfeldern in Industrie, Gewerbe, Kommunalbauten und im mehrgeschossigen Wohnungsbau zum Tragen, gleichermaßen in Neubau und Sanierung. Besonders effizient sind Großwärmepumpen bei der Nutzung von Prozesswärme in der Industrie sowie der Abwärme von Kälte- und Lüftungsanlagen.“ (PR-Agentur-GroßeundPartner)

Großanlage

Gegenübergestellt wird die Großanlage „NOVELAN LA 31-WPR-Net Luft/Wasserpumpen“. Die unterschiedlichen Daten der Betriebscharakteristik werden aus dem Datenblatt entnommen. Ausgewählt wurde die Einstellung „A2/W35“ mit einer Heizleistung von 31 kW, welche ebenfalls für das Heizen mit Fußbodenheizung bevorzugt wird. Dies bedeutet sie wird mit der Luftwärmequelle (A) von 2°C und Wassertemperatur (W) bei 35° C betrieben. Die alternative aus den Datenblatt ist der Betrieb „A7/W35“ mit einer Heizleistung von 35 kW.

„Eine Luftwärmepumpe ist äußerst einfach zu installieren. Es sind keine Erdbohrungen nötig und besonders platzraubend sind sie auch nicht. Um bereits fertige Häuser mit regenerativer Heizluft zu versorgen, ist eine Luftwärmepumpe genau das Richtige. Der Nachteil ist, dass die Außenventilatoren relativ laut sind und in der Heizsaison ununterbrochen laufen. Daher sollte vor dem Kauf darauf geachtet werden, dass ein Produkt zu wählen, welches einen recht niedrigen Geräuschemissionspegel hat, um die Nachbarn nicht zu verärgern. Eine Luftwärmepumpe eignet sich auch nicht für alle Gebäude, da sie eine geringere

Leistungskapazität hat als andere Wärmepumpen.“ (Luftwärmepumpe Test & Erfahrung 2017
+++ Anbietervergleich +++)

„Die Luft Wasser Wärmepumpe hat viele Vorteile, aber auch einige Nachteile. Die Anschaffungskosten sind zwar im Vergleich zu Sole-Wasser und Wasser-Wasser Wärmepumpen niedriger, weil aufwendige Erschließungsarbeiten wegfallen. Aber die Luftwärmepumpe stößt an die Grenzen ihrer Wirtschaftlichkeit, wenn sie in monovalenter Betriebsweise schlecht oder nur mittelmäßig gedämmte Häuser mit Wärme versorgen muss. Auch bei extrem langen und kalten Wintern sinkt die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe.“ (Luft Wasser Wärmepumpe: Nachteile objektiver & subjektiver Natur)

4.3. Anzahl, Gütegrad, elektrische Leistung und monatlicher Kostenbeitrag

In dem folgenden Unterkapiteln werden die Rechnungen beschrieben und Ergebnisse grafisch abgebildet.

4.3.1. Berechnung der Gesamtversorgung für den Raum Nürnberg

Zur Berechnung der Gesamtwärmeversorgung, werden die von der N-ERGIE bereitgestellten Heizwärmeverbräuche der Teilgebiete addiert. Diese Datensätze sind nicht für die Öffentlichkeit vorgesehen. Dieses Ergebnis wird durch die versorgten 65.000 Haushalte dividiert und mit der Gesamtzahl von 280.000 der Haushalte im Raum Nürnberg multipliziert. Daraus ergibt sich der stündliche, hochgerechnete Wärmeenergiebedarf. Diese Werte werden für das Jahr aufaddiert. Das Ergebnis ist ein Jahresverbrauch von 4.300 GWh.

4.3.2. Berechnung der Pumpenanzahl

Rahmenbedingungen

Die Berechnungen erfolgen unter idealen Voraussetzungen, wie zum Beispiel, dass die Wärmepumpen unter Volllast betrieben werden und somit ihre komplette Heizleistung ausschöpfen. Weiterhin sind Ausfälle oder Wartungsarbeiten nicht berücksichtigt.

Pumpenanzahlberechnungen der Kleinanlage „Vaillant Geotherm plus VWS 102/2“

Diese Anlage kann in verschiedenen Anwendungsvarianten betrieben werden. Es sind die vorher genannten Einstellungen „B0/W35“ mit einer Heizleistung von 10,4 kW und „B5/W55“ mit einer Heizleistung von 11,0 kW möglich.

Die benötigte Anzahl der Wärmepumpen für die jeweilige Stunde ist der Quotient aus dem stündlichen Wärmeverbrauch der Stadt Nürnberg und der angegebenen Heizleistung einer Betriebscharakteristik der Wärmepumpe.

In den nachfolgenden Abbildungen 5 und 6 ist der zeitliche Verlauf gegenüber der Anzahl der Wärmepumpen aufgezeigt.

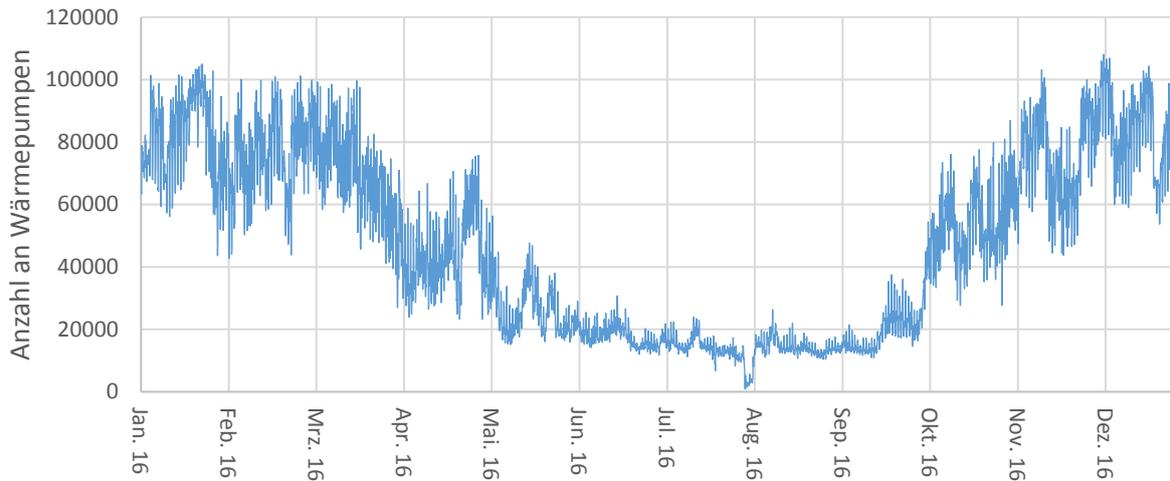


Abbildung 5: Vaillant VWS 102/2 (B0/W35) – Anzahl im zeitlichen Verlauf

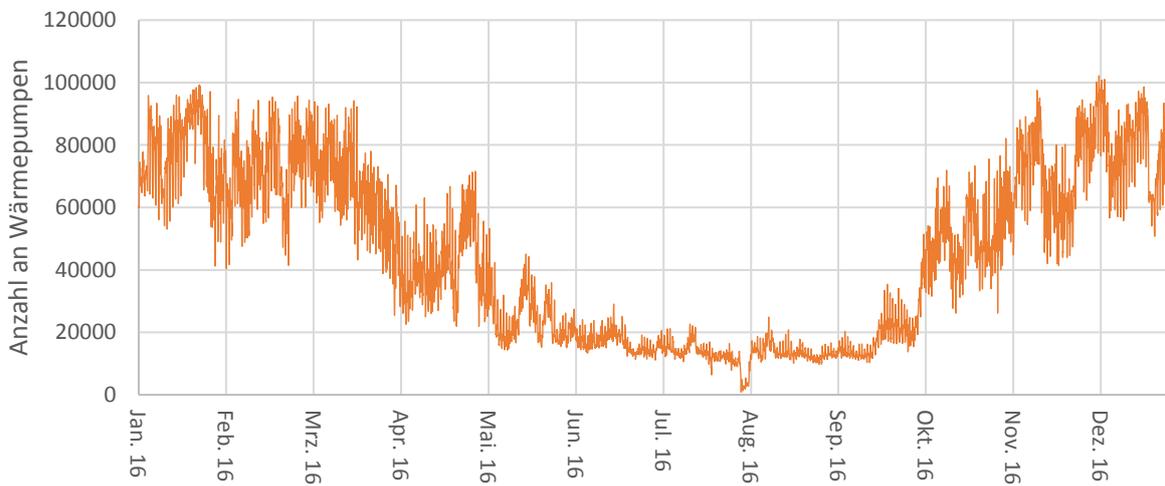


Abbildung 6: Vaillant VWS 102/2 (B5W55) – Anzahl im zeitlichen Verlauf

Da die Anzahl proportional zur benötigten Wärmeleistung ist, ergibt sich ein identischer Verlauf. Darum wird die Anzahl der Wärmepumpen absteigend sortiert und in einer geordneten Dauerlinie noch einmal gegenübergestellt wie in Abbildung 7 zu sehen ist.



Abbildung 7: Vaillant VWS102/2 - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf

Bei dem Verlauf der unterschiedlichen Betriebscharakteristiken ist zu erkennen, dass 3.200 Betriebsstunden im Jahr 2016 die Anzahl der Pumpen nahezu identisch ist. Weiterhin ist zu sehen, dass mindestens 10.000 Pumpen zu jeder Zeit aktiv sein müssen. Der Jahresdurchschnitt liegt bei der Anzahl von ca. 47.000 Pumpen.

Analog dazu die Großanlage „NOVELAN LA 31-WPR-Net Luft-Wasserwärmepumpe“

Diese Anlage hat ebenfalls unterschiedliche Einstellungsvarianten. Wenn der Betrieb auf „A7/W35“ eingestellt wird, hat diese eine Heizleistung von 31 kW. Auf „A7/W35“ wird eine Leistung von 35 kW erreicht.

In den untenstehenden Abbildungen 8 und 9 ist der zeitliche Verlauf der Anzahl der Wärmepumpen gegenübergestellt.

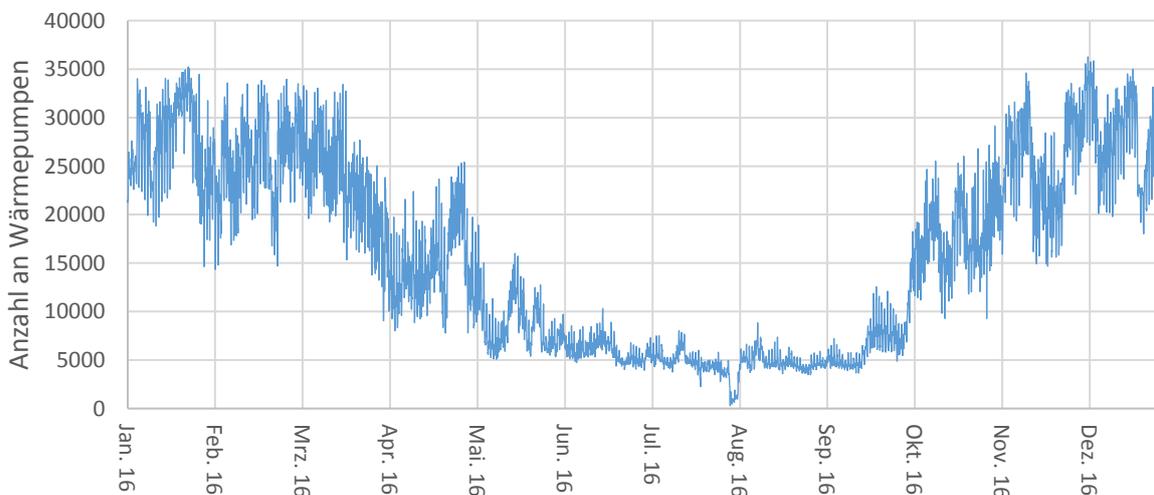


Abbildung 8: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A2/W35) – Anzahl im zeitlichen Verlauf

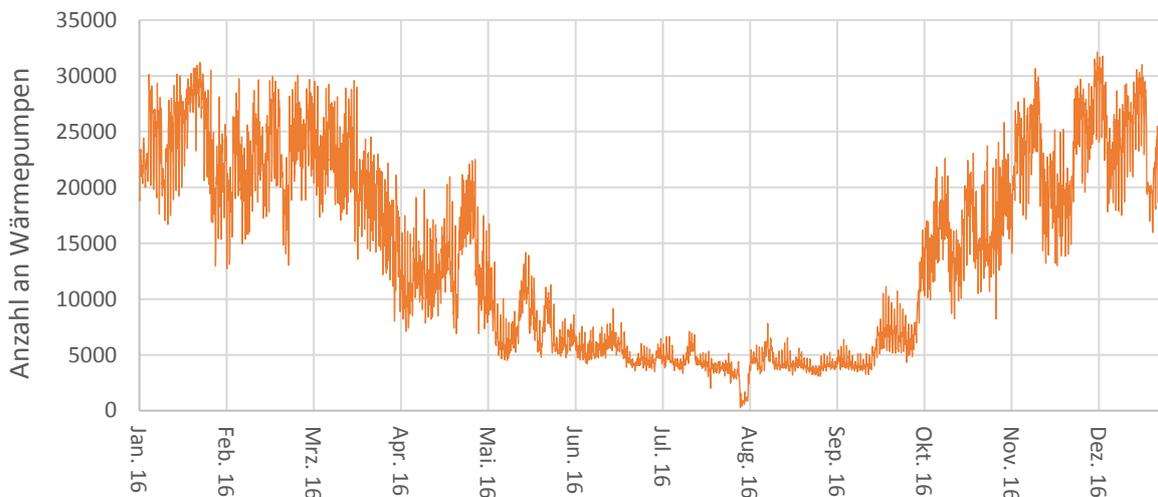


Abbildung 9: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A7/W35) – Anzahl im zeitlichen Verlauf

Der Verlauf der Großanlage ist identisch zu der Kleinanlage. Der Unterschied ist die absolute Anzahl an Wärmepumpen. Deswegen wird hier ebenfalls die Anzahl der Wärmepumpen absteigend sortiert und in einer geordneten Dauerlinie gegenübergestellt wie in der untenstehenden Abbildung 10 zu sehen ist.

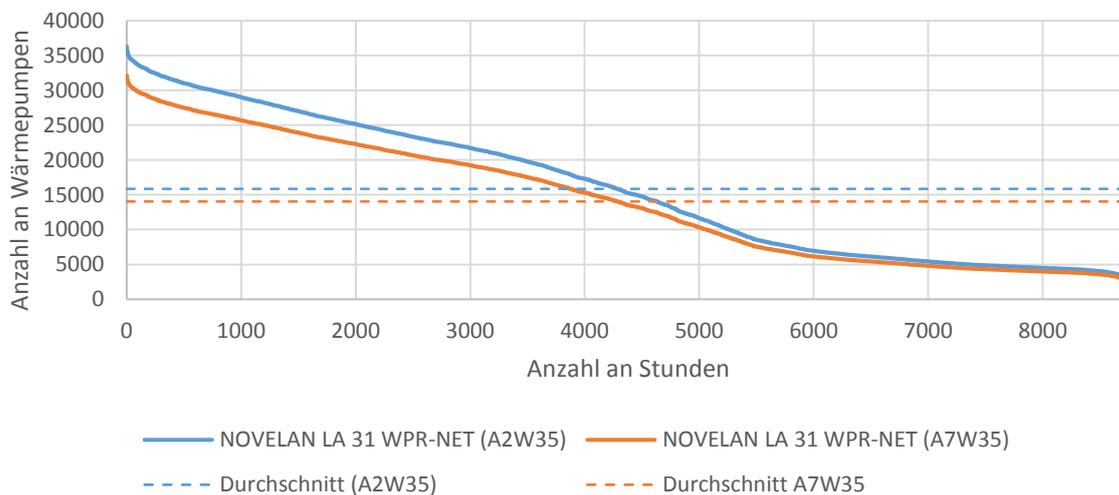


Abbildung 10: NOVELAN LA 31 WPR-Net - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf

Bei diesem Verlauf der Wärmepumpenanzahl der unterschiedlichen Betriebscharakteristiken ist zu erkennen, dass 2.700 Betriebsstunden im Jahr die Anzahl der Pumpen auch hier nahezu identisch ist. Daraufhin ist zu erkennen, dass mindestens 4.500 Pumpen zu jeder Zeit in Betrieb sein müssen. Der Jahresdurchschnitt liegt bei der Anzahl der Einstellung „A2/W35“ bei ca. 14.000 und „A7/W35“ bei ca. 16.000 Pumpen.

4.3.3. Gütegradbestimmung und Ermittlung der elektrischen Leistung

Bestimmung des idealen Carnot-Wirkungsgrades der Pumpe „Vaillant Geotherm plus VWS 102/2“

Einstellungsvariante „B0/W35“

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{(273,15 \text{ K} + 35 \text{ K})}{(273,15 \text{ K} + 35 \text{ K}) - (273,15 \text{ K} + 0 \text{ K})} = 8,80$$

Einstellungsvariante „B5/W55“

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{(273,15 \text{ K} + 55 \text{ K})}{(273,15 \text{ K} + 55 \text{ K}) - (273,15 \text{ K} + 5 \text{ K})} = 6,56$$

Tabelle 1: Vaillant VWS102/2 – Ausschnitt aus dem Datenblatt

Leistungsdaten Wärmepumpe		
B0W35 dT5		
- Heizleistung	kW	10,4
- Leistungsaufnahme	kW	2,4
- Leistungszahl/COP	-	4,4
B0W35 dT10		
- Heizleistung	kW	10,5
- Leistungsaufnahme	kW	2,3
- Leistungszahl/COP	-	4,6
B5W55		
- Heizleistung	kW	11,0
- Leistungsaufnahme	kW	3,4
- Leistungszahl/COP	-	3,2

Der vom Hersteller angegebenen COP Wert wird durch den $\text{COP}_{\text{Carnot}}$ dividiert, daraus erhält man den technische Gütegrad. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen dem theoretisch möglichen und den technisch umgesetzten Wirkungsgrad.

Einstellungsvariante „B0/W35“

$$\eta_{B0/W35} = \frac{\text{COP}_{\text{technisch}}}{\text{COP}_{\text{Carnot}}} = \frac{4,4}{8,8} = 0,5$$

Einstellungsvariante „B5/W55“

$$\eta_{B5/W55} = \frac{\text{COP}_{\text{technisch}}}{\text{COP}_{\text{Carnot}}} = \frac{3,2}{6,56} = 0,49$$

Der Gütegrad der ausgewählten Einstellungen unterscheidet sich kaum voneinander. Somit wird ein Gütegrad der Anlage von 0,5 angenommen.

Daraufhin wird der stündliche COP Wert zu der dazugehörigen vorgegebenen Außentemperatur des jeweiligen Betriebszustandes bestimmt und anschließend mit den Gütegrad multipliziert. Daraus ergibt sich für die jeweilige Stunde der technische COP Wert.

Um die benötigte elektrische Leistung zu ermitteln, wird der stündliche Heizbedarf durch den dazugehörigen technischen COP Wert dividiert.

Die notwendige elektrische Leistung für die Kleinanlage wird in den Abbildungen 11 und 12 im zeitlichen Verlauf gezeigt.

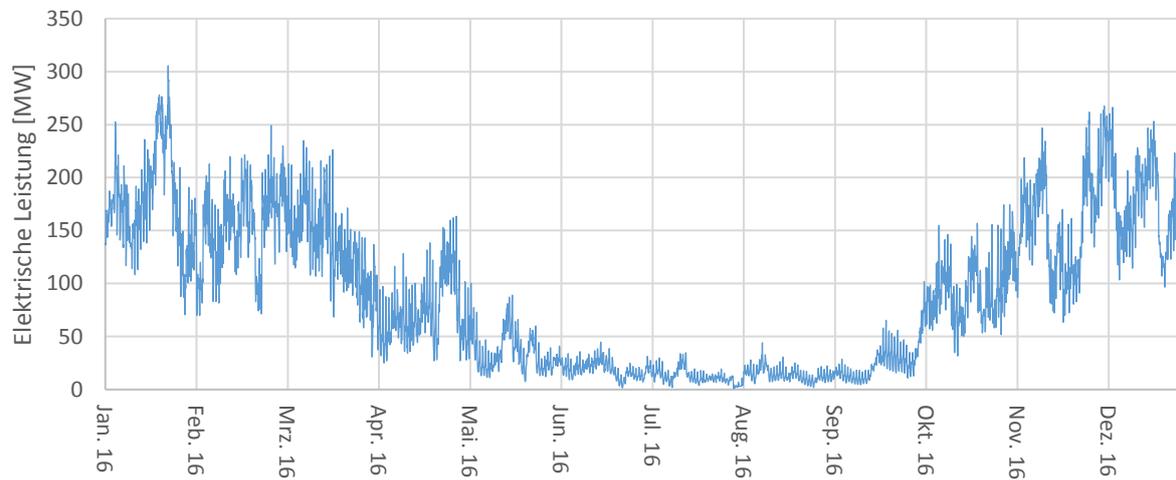


Abbildung 11: Vaillant V102/2 (B0W35) - Leistungsaufnahme

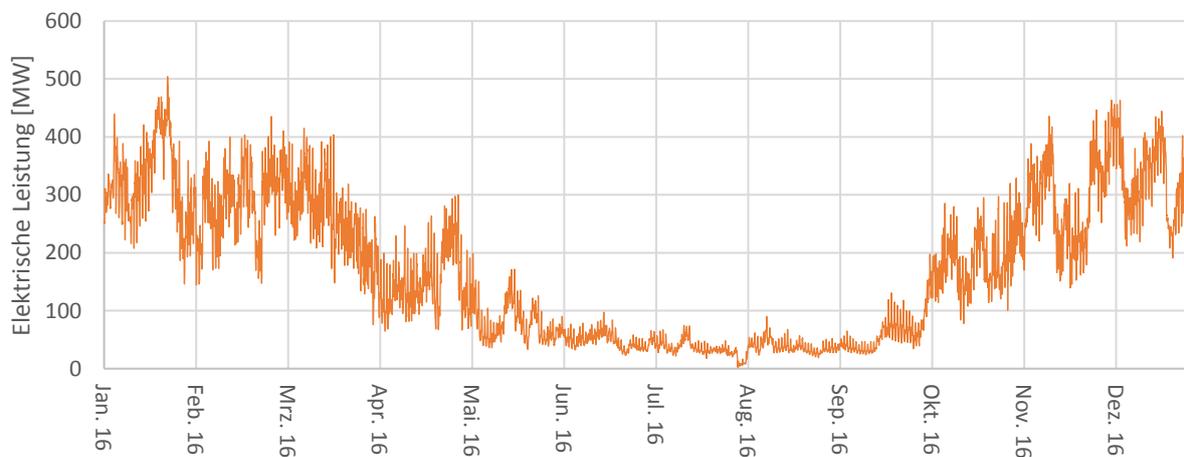


Abbildung 12: Vaillant V102/2 (B5W55) - Leistungsaufnahme

Da die elektrische Leistung proportional zu der benötigten Wärmeleistung ist, ist der Verlauf trotz des unterschiedlichen technischen COP Wertes nahezu identisch. Darum wird dieser absteigend sortiert und in einer geordneten Dauerlinie dargestellt welche in der Abbildung 13 dargestellt wird.

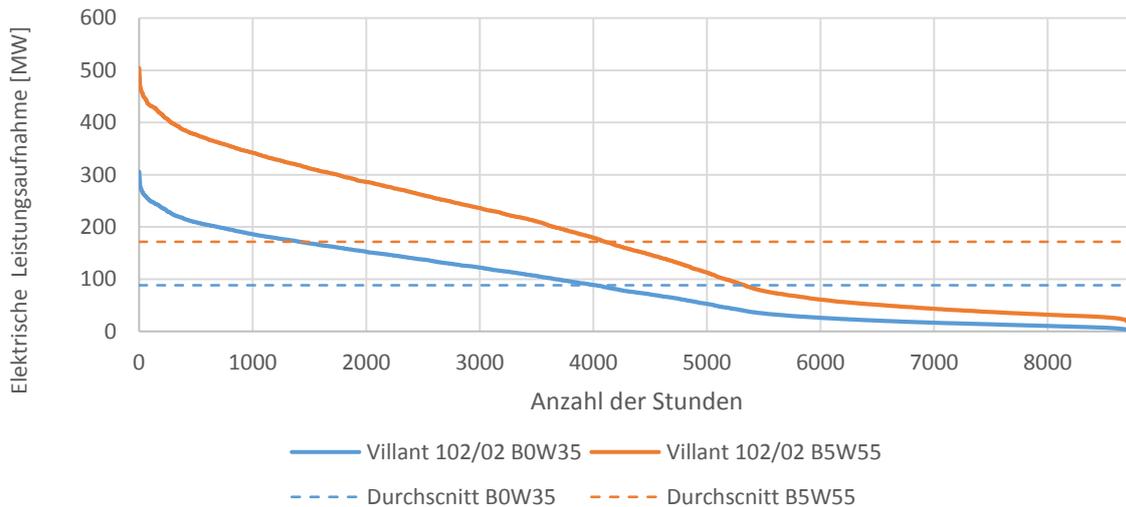


Abbildung 13: Vaillant VWS102/2 - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf

Hier ist zu erkennen, dass die Einstellung „B0/W35“ mit der Heizleistung von 10,4 kW einen geringeren Stromverbrauch aufzeigt. Die elektrische Durchschnittsleistung liegt bei ca. 90 MW. Daraufhin benötigt die Einstellung „B5/W55“ mit der Heizleistung von 11 kW deutlich mehr Leistung. Die elektrische Durchschnittsleistung liegt bei ca. 180 MW. Dieser Unterschied ist durch den höheren COP Wert bei kleineren Temperaturdifferenzen zu erklären.

Bestimmung des idealen Carnot-Wirkungsgrades der Pumpe „NOVELAN LA 31-WPR-Net“

Einstellungsvariante „A2/W35“

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{(273,15 \text{ K} + 35 \text{ K})}{(273,15 \text{ K} + 35 \text{ K}) - (273,15 \text{ K} + 2 \text{ K})} = 9,34$$

Einstellungsvariante „A7/W34“

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{(273,15 \text{ K} + 35 \text{ K})}{(273,15 \text{ K} + 35 \text{ K}) - (273,15 \text{ K} + 5 \text{ K})} = 11,01$$

Tabelle 2: NOVELAN LA 31-WPR-Net - Ausschnitt aus dem Datenblatt

T _j = -7°C	P _{dh}	23,8	kW	T _j = -7°C	COP _d	2,03	-
T _j = +2°C	P _{dh}	30,5	kW	T _j = +2°C	COP _d	3,02	-
T _j = +7°C	P _{dh}	19,1	kW	T _j = +7°C	COP _d	4,05	-
T _j = +12°C	P _{dh}	21,1	kW	T _j = +12°C	COP _d	4,92	-
T _j = Bivalenztemperatur	P _{dh}	23,8	kW	T _j = Bivalenztemperatur	COP _d	2,03	-
T _j = Betriebstemperaturgrenzwert	P _{dh}	21,5	kW	T _j = Betriebstemperaturgrenzwert	COP _d	1,76	-

Der vom Hersteller angegebenen COP Wert wird durch den COP_{Carnot} dividiert, daraus erhält man den technische Gütegrad.

Einstellungsvariante „A2/W35“

$$\eta_{A2/W35} = \frac{COP_{\text{technisch}}}{COP_{Carnot}} = \frac{3,02}{9,34} = 0,32$$

Einstellungsvariante „A7/W34“

$$\eta_{A7/W35} = \frac{COP_{\text{technisch}}}{COP_{Carnot}} = \frac{4,05}{11,01} = 0,37$$

Wie bereits bei der Kleinanlage wird der stündliche COP Wert zu der dazugehörigen vorgegebenen Außentemperatur des jeweiligen Betriebszustandes bestimmt und anschließend mit den jeweiligen Gütegrad multipliziert. Daraus erhält man den COP Wert für die jeweilige Stunde.

Damit die elektrische Leistung ermittelt werden kann, wird der stündliche Heizbedarf durch den dazugehörigen technischen COP Wert dividiert.

Die benötigte elektrische Leistung der Großanlage mit den verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten wird in den Abbildungen 14 und 15 im zeitlichen Verlauf aufgezeigt.

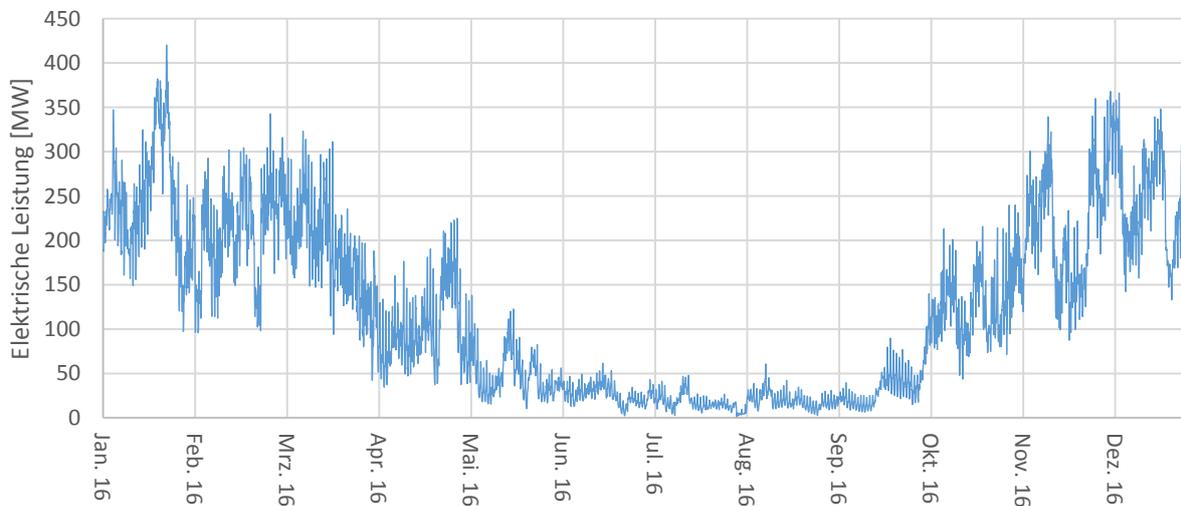


Abbildung 14: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A2/W35) - Leistungsaufnahme

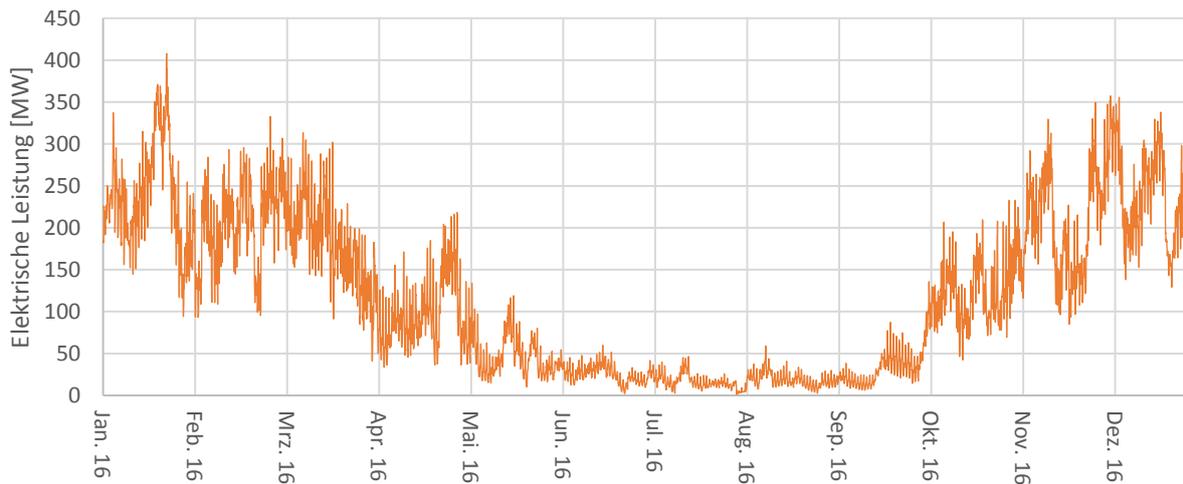


Abbildung 15: NOVELAN LA 31 WPR-NET (A7/W35) - Leistungsaufnahme

Da die elektrische Leistung proportional zu der benötigten Wärmeleistung ist, ist der Verlauf der beiden Einstellungsvarianten wieder nahezu identisch. Diesbezüglich wird dieser ebenfalls absteigend sortiert und in einer geordneten Dauerlinie dargestellt welche in der Abbildung 16 dargestellt wird.

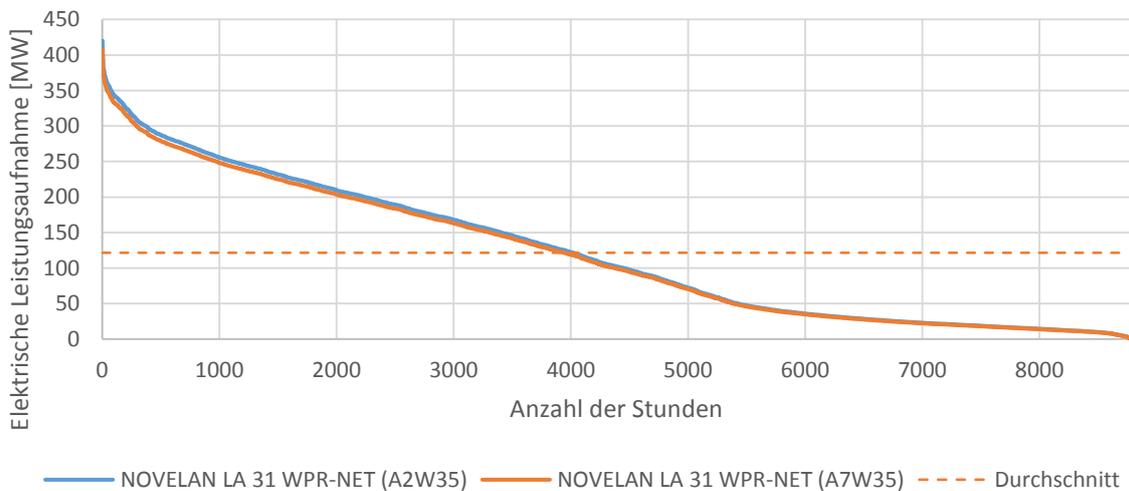


Abbildung 16: NOVELAN LA 31 WPR-NET - Geordnete Anzahl im zeitlichen Verlauf

Hier ist zu erkennen, dass die Variante „A7/W35“ mehr Heizleistung erzeugt. Somit ist eine geringere Anzahl nötig, aber dafür benötigt sie auch eine höhere elektrische Leistung. An sich unterscheiden sich die beiden Einstellungsvarianten kaum voneinander. Die mittlere elektrische Leistung liegt bei ca. 125 MW.

Wie erwähnt schwankt der Gütegrad der Großanlage schon bei relativ kleinen Unterschieden der Außentemperatur. Der technische COP aus den Daten des Herstellers (Tabelle 2) wird mit den COP Carnot zu den angegebenen Temperaturen gegenübergestellt. In Abbildung 17 ist zu sehen, dass der Gütegrad der Großanlage nicht konstant ist.

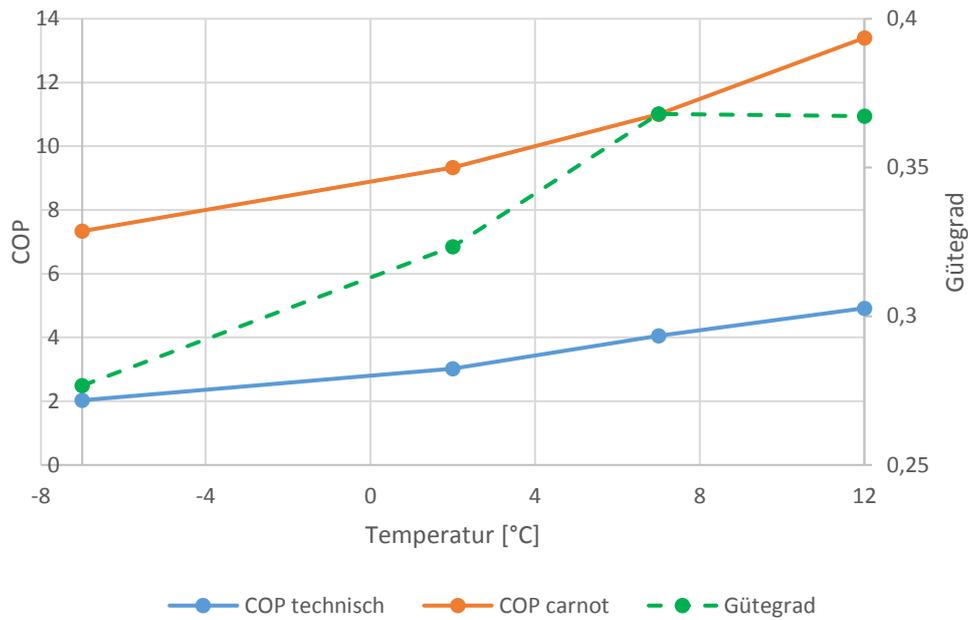


Abbildung 17: Gütegrad „NOVELAN - LA 31 - NET“ in Abhängigkeit der Temperatur

4.3.4. Monatliche Auswertung der elektrischen Leistung

In den Abbildungen 18 und 19 wird die im jeweiligen Monat benötigte elektrische Energie veranschaulicht.

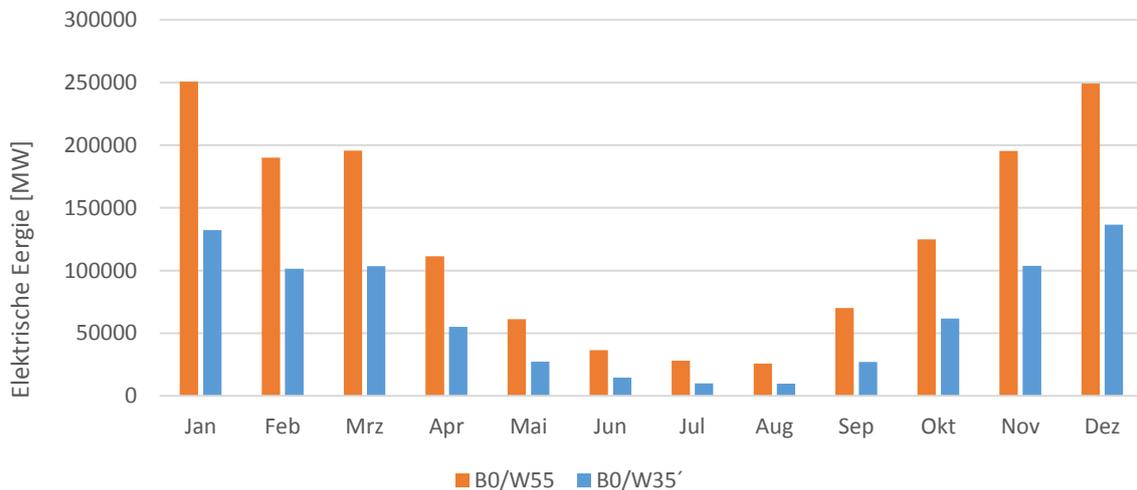


Abbildung 18: „Vaillant V102/2“ - Energieaufnahme im monatlichen Verlauf 2016

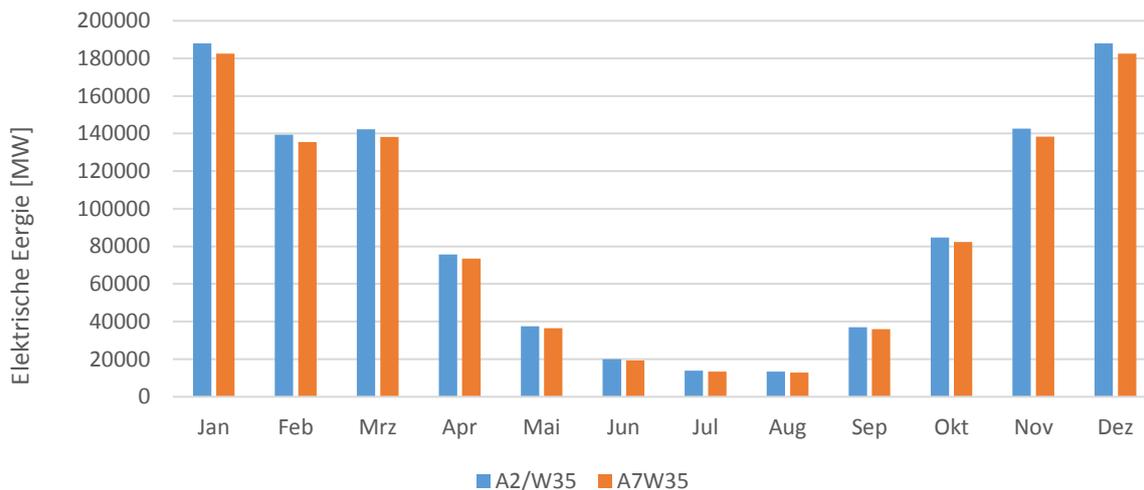


Abbildung 19: "NOVELAN LA 31 WPR-NET" - Energieaufnahme im monatlichen Verlauf 2016

Wie zu erwarten war, ist die benötigte elektrische Energie proportional zur Heizwärmeversorgung. Das heißt, wenn im Sommer die Haushalte weniger mit Heizwärme versorgt werden, wird gleichzeitig auch weniger Stromverbrauch für die Wärmepumpen benötigt. Analog zum Winter.

Kosten pro Haushalt für den jeweiligen Monat

Der monatlich zusätzliche elektrische Energieaufwand wird mit dem aktuellen Strompreis von 0,30 Cent pro Kilowattstunde berechnet. Dieser wird durch die Anzahl der Haushalte in Nürnberg dividiert. Dadurch ergeben sich die monatlichen durchschnittlichen Kosten pro Haushalt.

Die Kosten werden in der Tabelle 3 für alle vorgestellten Einstellungsvarianten gegenübergestellt.

Tabelle 3: Monatlichen Kosten pro Haushalt im Raum Nürnberg

	Vallant V102/2 B0W35	Vallant V102/2 B5W55	NOVELAN (A2W35)	NOVELAN (A7W35)
	€ im Monat	€ im Monat	€ im Monat	€ im Monat
Jan	142,30	269,59	202,09	196,21
Feb	109,04	204,29	149,93	145,57
März	111,25	210,35	152,96	148,51
Apr	59,15	119,62	81,33	78,96
Mai	29,36	65,85	40,37	39,20
Jun	15,58	39,20	21,43	20,80
Jul	10,83	30,05	14,89	14,46
Aug	10,43	27,81	14,34	13,93
Sep	28,95	75,28	39,81	38,65
Okt	66,26	134,09	91,10	88,45
Nov	111,45	210,05	153,24	148,78
Dez	146,93	267,99	202,03	196,15

5. Diskussion im Hinblick auf die Realisierung

Die Auswertung der Kleinanlage „Vaillant Geotherm plus VWS 102/2“ ergab, dass die Anzahl der benötigten Pumpen kaum von der gewählten Betriebscharakteristik abhängt („B0/W35“ mit der Heizleistung von 10,4 kW, und „B5/W55“ mit der Heizleistung von 11 kW) und der damit bevorzugten Heizsysteme (Fußbodenheizung oder Radiator Heizung). Die durchschnittlich benötigte Anzahl an Pumpen beträgt ca. 47.000 Stück. Auch wenn die Einstellung „B5/W55“ eine etwas geringere Anzahl der Pumpen benötigt um den Raum Nürnberg mit Heizwärme zu versorgen, wäre die benötigte elektrische Leistung ca. doppelt so hoch. Es müsste eine durchschnittliche Leistung von ca. 180 MW bei der Betriebscharakteristik „B5/W55“ zur Verfügung gestellt werden. im Gegensatz zur Einstellung „B0/W35“ mit einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von ca. 90 MW. Weiterhin sollte ihre Wärmequelle im Idealfall nicht unter 5° C sinken, ansonsten steigt ihr Bedarf an elektrischer Leistung.

Die Großanlage „NOVELAN LA 31 WPR-NET“ benötigt bei der Einstellung „A7/W35“ mit einer Heizleistung von 35 kW eine geringere durchschnittliche Anzahl von 14.000. Für den alternativen Betrieb „A2/W35“ mit einer Heizleistung von 31 kW, wird eine durchschnittliche Anzahl von ca. 16.000 Stück benötigt. Trotz des Unterschiedes in der Anzahl ist der Leistungsbedarf an Strom mit dem Durchschnitt von 125 MW fast identisch. Auch hier sollte die Wärmequelle berücksichtigt werden. Je weiter sie sinkt, desto mehr elektrischer Leistung wird benötigt.

Die Ergebnisse der Pumpenarten und deren Einstellungsvarianten beruhen auf Volllastbetrieb und als einziger Heizwärmelieferant, ohne Beachtung etwaiger Störungen. Wenn die Anzahl der Wärmepumpen der ausschlaggebende Faktor wäre, sollte die Wärmepumpe „NOVELAN LA 31 WPR - NET“ mit den bevorzugten Betrieb „A7/W35“ gewählt werden.

Sollte die Stromeinsparung im Vordergrund stehen, würde die Entscheidung auf die Wärmepumpe „Vaillant Geotherm plus VWS 102/2 (B0/W35)“ fallen. Ein weiterer Punkt für diese Wärmepumpe sind die am geringsten zusätzlich anfallenden monatlichen Betriebskosten.

6. Fazit

Rechnerisch ist die Realisierung den Raum Nürnberg mittels Wärmepumpen mit Heizwärme zu versorgen theoretisch möglich. In diesem energietechnischen Projekt sind die Ergebnisse unter Idealbedingungen betrachtet worden und mit der Voraussetzung, dass der dafür benötigte Strombedarf zu 100 % regenerativ erzeugt wurde. Das Potenzial und die Ausbaufähigkeit von Wärmepumpen ist vorhanden und die Einsatzmöglichkeiten werden stets erweitert, wie zum Beispiel aus dem Abwasser mit Wärmepumpen Wärme zurückzugewinnen. Weiterhin ist anzumerken, dass alle Randbedingungen (Genehmigungen, Bodenbeschaffenheit, etc.) beachtet werden müssen, um dieses Konzept in die Praxis umzusetzen. Somit kann nicht jede Wärmepumpe an jedem beliebigen Standort aufgestellt werden. Letztendlich zeigt sich die Rentabilität der Wärmepumpen anhand der Anschaffungs- und Betriebskosten, denn diese müssen die Haushalte selbst finanzieren. Der hohe Kostenaufwand könnte ein Hindernis (aber kein Grund!) sein, Nürnberg ausschließlich mit Heizwärme aus Wärmepumpen zu versorgen.

7. Literaturverzeichnis

Bundesverband Wärmepumpe.

FAQ Wärmepumpen - Funktionsweise Wärmepumpen | VDI. Online verfügbar unter <https://blog.vdi.de/2016/05/haeufig-gestellte-fragen-zum-einsatz-von-waermepumpen/>, zuletzt geprüft am 03.12.2017.

Heizen mit Erdwärme | Wärmepumpe | Kollektoren - Luzian Bouvier (2017). Online verfügbar unter <http://www.bouvier.at/heizen-mit-erdwaerme.html>, zuletzt aktualisiert am 03.12.2017, zuletzt geprüft am 03.12.2017.

Luft Wasser Wärmepumpe: Nachteile objektiver & subjektiver Natur. Online verfügbar unter <https://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/luftwaermepumpe/nachteile>, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

Luftwärmepumpe Test & Erfahrung 2017 +++ Anbietervergleich +++. Online verfügbar unter <http://photovoltaik.one/luftwaermepumpe>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.

PR-Agentur-GroßeundPartner: HEA-Prospekt-Großwaermepumpe-2011, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

Primus, Illo-Frank (1995): Massivabsorber. Die Wärmequelle für die Wärmepumpe. Düsseldorf: Beton-Verl.

strom report Zahlen Daten Fakten.

Vorteile einer Wärmepumpe - Pro und Kontra Wärmepumpe. Online verfügbar unter <https://www.heizsparer.de/heizung/heizungssysteme/waermepumpe/waermepumpe-vorteile>, zuletzt geprüft am 04.12.2017.

Wie funktioniert eine Wärmepumpe? | heizung.de. Online verfügbar unter <https://heizung.de/waermepumpe/funktionsweise/#Vorteile>, zuletzt geprüft am 03.12.2017.