

Masterarbeit

WÄRMEPUMPEN FÜR DIE FERNWÄRMEERZEUGUNG DER SALZBURG AG

PRÜFUNG DER EINSETZBARKEIT EINER WÄRMEPUMPEN- TECHNOLOGIE IM FERNWÄRME-VERBUNDNETZ SALZBURG

erstellt für die

Salzburg AG

in Zusammenarbeit mit dem

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik

Vorgelegt von:

Thomas Peter Herbst, BSc

m1135109

Betreuer:

DI (FH) Sebastian Schuller, MBA

Dipl.-Ing. Dr.mont. Andreas Hammer

Salzburg, April 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Ort/Datum

Unterschrift

KURZFASSUNG

Ziel dieser Masterarbeit ist die Prüfung der Einsatzbarkeit einer Wärmepumpentechnologie im Fernwärmenetz der Salzburg AG, mit der Absicht die Fernwärmeaufbringung zu Dekarbonisieren. Dabei soll der Anteil an industriellen Hochtemperatur-Wärmepumpen unter gezielter Nutzung von Wärme-/Abwärmequelle gesteigert und auf zukünftige Entwicklungen des Energiemarktes reagiert werden. Durch die Nutzung von Abwärme kann die Energieeffizienz von Industriebetrieben und Kraftwerken gesteigert, der Einsatz von Energieträgern sowie den damit verbundenen Kosten reduziert und ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

Zu Beginn wurde nach einer Darstellung des theoretischen Hintergrunds, der aktuelle Stand der Technik zu Hochtemperatur-Wärmepumpen erhoben. Ebenfalls befasste man sich mit der Studie von Referenzanlagen, um aktuelle Einsatzgebiete und Anlagenkonfigurationen zu ermitteln. Es wurde schnell ersichtlich, dass die Technologie für den geplanten Anwendungsfall verfügbar ist. Somit konnte mit weiteren Untersuchungen zu Einsatzstrategien von Wärmepumpen, Gesetzen und Verordnungen (z.B. Kältemittelverordnung) sowie Fördermöglichkeiten fortgefahren werden.

Es folgte eine Evaluierung zur aktuellen Situation der Energieversorgung/Energieaufbringung im Bereich der Salzburg AG mit einer Zusammenstellung aller Erzeugungsanlagen und Einspeisepunkten in das Fernwärmeverbundnetz Salzburg-Hallein, sowie aktuellen Informationen zu Lastflüssen und Engpässen.

Danach wurden sämtliche potentielle Standorte sowie Wärme- und industrielle Abwärmequellen, welche für eine mögliche Hochtemperatur-Wärmepumpenanwendung im Handlungsfeld der Salzburg AG in Frage kämen, in einer Standort-Technologie Matrix zusammengefasst und bewertet. Bei erfolgversprechenden Standorten erfolgte eine genaue Erhebung des Wärmepotentials mit einer Bewertung auf technische Umsetzbarkeit. Für die ausgewählten Fälle wurden Konzepte mit technischen und wirtschaftlichen Berechnungen erstellt, welche in einer Gegenüberstellung als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden konnten.

Nach diesen Berechnungen stellten sich drei Wärmequellen für eine Wärmepumpenanwendung und drei Wärmequellen für eine reine Abwärmenutzung ohne Wärmepumpe als wirtschaftlich sinnvoll heraus. Für alle diese Wärmequellen ist laut aktuellen Ergebnissen und Informationen eine weiterführende Detailuntersuchung empfehlenswert, da diese je nach Quelle einen wichtigen Betrag zur Effizienzsteigerung der Kraftwerke bzw. zur Dekarbonisierung in der Fernwärmeaufbringung leisten würden.

ABSTRACT

The aim of this master thesis is to examine the applicability of a heat pump technology in the district heating network of the Salzburg AG, with the prior intention of decarbonizing the heat generation. As a result the amount of industrial high-temperature heat pumps should be increased under specific use of heat-/waste heat sources. The project should also be part of progression to be able to react to future developments in the energy market. By the use of waste heat, it is possible to increase the energy efficiency of industrial plants and power plants, to reduce the use of energy sources and their associated costs and achieve an important contribution to climate protection.

At the beginning, the current state of the art on high-temperature heat pumps was determined from the theoretical background. Afterwards reference plants were considered in order to determine current application areas and plant configurations. It quickly became apparent that the technology is available for the intended application. Due to this issue, further investigations regarding the using strategies of heat pumps, laws and regulations (for example, the refrigerant regulation) as well as the possibilities of grants could be pursued.

Furthermore this was followed by an evaluation of the current situation of the energy supply with a compilation of all production plants and feed points into the district heating network Salzburg-Hallein, as well as current information about energy flows and bottlenecks.

After that, all potential locations, together with heat and industrial waste heat sources, which would be suitable for a possible high-temperature heat pump application in the field of action of the Salzburg AG, were combined and rated in a location-technology matrix. For locations with good prospects, an exact investigation of the heat potential with an assessment of the technical feasibility was followed. Concepts with technical and economic calculations were prepared for the selected cases, which could be used as a basis for a specific decision.

According to these calculations, three heat sources for a heat pump application and three heat sources for pure waste heat utilization without heat pump were found to be economically meaningful. According to these current results and information, a further detailed investigation is recommended for all of these heat sources, since these would make an important contribution to increase the efficiency of the power plants or rather to decarbonise the district heating generation.

INHALTSVERZEICHNIS

Nomenklatur	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation/Gründe für eine Wärmepumpennutzung	1
2 Aufgabenstellung	3
2.1 Problemstellung	3
2.2 Zielsetzung	3
2.3 Vorgehensweise	3
3 Theoretischer Hintergrund – Stand der Technik	4
3.1 Grundlagen Wärmepumpen	4
3.1.1 Kompressionswärmepumpen	7
3.1.2 Mehrstufige Kompressionswärmepumpen	8
3.1.3 Absorptionswärmepumpe	9
3.1.4 Integration von Wärmepumpen in Fernwärmenetze	10
3.1.5 Wärmepumpen Kennzahlen [3] S. 51–54	12
3.2 Hochtemperatur-Wärmepumpen	16
3.2.1 Technologieüberblick - Stand der Technik	17
3.2.2 Zusammenfassung zum Stand der Technik von Hochtemp.-Wärmepumpen	18
3.2.3 Referenzanlagen	22
3.3 Lastmanagement / Einsatzstrategien von Wärmepumpen	24
3.3.1 Zusammenfassung Lastmanagement/Einsatzstrategien Wärmepumpen	28
3.4 Gesetze und Verordnungen	29
3.4.1 Kältemittelverordnung	31
3.5 Fördermöglichkeiten	34

4	Aktuelle Situation der Energieversorgung	36
4.1	Kraftwerkspark der Salzburg AG	36
4.1.1	Einsatzplanung der Kraftwerke	38
4.2	Fernwärmenetz der Salzburg AG	38
4.2.1	Benötigte Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes.....	41
5	Erhebung vorhandener Abwärmequellen	42
5.1	Standortbestimmung	42
5.2	Abwärmepotentiale	44
5.2.1	HKW-Mitte.....	47
5.2.2	HKW-Nord	56
5.2.3	BMHKW-Siezenheim	63
5.2.4	Industrielle Abwärme - Schweighofer Fiber Hallein	66
5.2.5	Industrielle Abwärme - Kaindl.....	67
5.2.6	Wasserkraftwerk Hallein	70
5.2.7	Wasserkraftwerk Urstein	73
5.2.8	Wasserkraftwerk Lehen	76
5.2.9	Wasserkraftwerk Rott	79
5.2.10	Sonde Obermoos.....	81
5.2.11	Grundwasser	82
5.2.12	Abwasser	83
5.2.13	Übersicht	86
6	Erstellung möglicher Konzepte mit technischen und wirtschaftlichen Berechnungen	89
6.1	Wärmepumpen Anlagenkosten.....	89
6.2	Investitionskosten.....	90
6.3	Wirtschaftliche Berechnung	92
7	Ergebnisse	95
7.1	Übersicht der Konzepte	95
7.1.1	Anmerkung zu den Ergebnissen.....	96

7.2 Empfehlung.....	97
7.3 Chancen/Risiken der Wärmepumpenanwendungen	98
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	99
9 Literaturverzeichnis	102
10 Anhang	106
10.1 Stromerzeugung Wasserkraftwerke	106
10.2 Diagramme/Verläufe Wasserkraftwerk Lehen	108

NOMENKLATUR

Abkürzungen

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMHKW	Biomasseheizkraftwerk
BW	Barwert
Elektr.	Elektrisch
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
FW	Fernwärme
GuD	Gas- & Dampfkraftwerk
GWP	Global warming potential / Treibhauspotential
HFKW	Halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HFO	Fluorolefinwasserstoffe / Hydrofluoroolefin
HKW	Heizkraftwerk
HL	Heizleistung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
ODP	Ozone depletion potential / Ozonabbaupotential
ORC	Organic Rankine Cycle
REA	Rauchgasentschwefelungsanlage
Therm.	Thermisch
UFO	Umformerstation
WP	Wärmepumpe

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Aufbau einer mechanisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe (a) und einer thermisch angetriebenen Absorptionswärmepumpe	5
Abbildung 2: Kreisprozess einer reversiblen Wärmepumpe zwischen 2 Temperaturniveaus [3] S. 52 . 5	
Abbildung 3: realer Kreisprozess einer Wärmepumpe - Kaltdampfprozess [6].....	6
Abbildung 4: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer elektrisch betriebenen Kompressionswärmepumpe [3] S.51.....	7
Abbildung 5: Anlagenschema einer 1-stufigen, einer Economizer- und einer 2-stufigen Kompr.-WP [3] S. 58.....	8
Abbildung 6: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer thermisch betriebenen Absorptionswärmepumpe vgl. [3] S. 77.....	9
Abbildung 7: Direkteinspeisung von Abwärmequellen [7] S. 61.....	10
Abbildung 8: Einspeisung mit Hilfe einer Wärmepumpe [7] S. 62.....	10
Abbildung 9: Einspeisung mit Wärmepumpe und thermischer Nacherhitzung [7] S. 62	11
Abbildung 10: Systemkonfiguration Wärmepumpe mit Bypass [8]	11
Abbildung 11: Leistungszahl ϵ als Funktion der Temperaturdifferenz [6] S. 180.....	13
Abbildung 12: Reversibler Wärmepumpprozess bei unterschiedlicher Quelltemperatur aber selbem Temperaturhub [3] S. 53.....	14
Abbildung 13: Smart Grid System [21] S. 20	25
Abbildung 14: Wärmepumpen im Verbund mit thermischen Speicher [22] S. 11	25
Abbildung 15: Lastmanagement durch Wärmepumpe/ Speicher Verbundsystem [23] S. 10.....	26
Abbildung 16: Lastverschiebung in Abhängigkeit von Preissignal [18]	27
Abbildung 17: Phase Down Szenario F-Gase Verordnung [31] S. 5	32
Abbildung 18: Fernwärmeverbundnetz Salzburg-Hallein Übersicht [38] & [39] S. 3.....	39
Abbildung 19: Fernwärmenetz Salzburg Detailansicht inkl. Erzeuger [40]	40
Abbildung 20: Außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur FW-Netz Salzburg AG [41]	41
Abbildung 21: Temperaturverlauf Salzachwasser (KW Lehen)	45
Abbildung 22: Prinzipschaltbild HKW-Mitte [46]	47
Abbildung 23: Jahresdauerlinien HKW-Mitte Nebenkühlkreis	48
Abbildung 24: Jahresdauerlinien HKW-Mitte Abhitzekessel.....	48
Abbildung 25: Rauchgaskanal SÖK (links) mit möglichem Wärmepumpenstandort (rechts).....	49
Abbildung 26: Jahresdauerlinien HKW-Mitte SÖK/GKM.....	49
Abbildung 27: Schema Rauchgasabkühlung HKW-Mitte EBSILON.....	51
Abbildung 28: Schema Rauchgaskondensation HKW-Mitte EBSILON.....	53
Abbildung 29: Schema Rauchgaskondensation inkl. Wärmepumpe HKW-Mitte EBSILON.....	54
Abbildung 30: Temperaturaufzeichnungen Nebenkühlkreis (25/32 °C) HKW-Nord	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 31: R&I-Fließschema Nebenkühlkreislauf HKW-Nord	57
Abbildung 32: redundant ausgeführte Nebenkühlkreispumpen (li.) und Kältemaschinen (re., a.B.) ..	57
Abbildung 33: Rauchgasschema HKW-Nord	58
Abbildung 34: Jahresdauerlinien HKW-Nord	59
Abbildung 35: Schema Rauchgaskondensation HKW-Nord EBSILON	60
Abbildung 36: BMHKW-Siezenheim Anlagenschema [49]	63
Abbildung 37: Schema Rauchgaskondensation BMHKW-Siezenheim EBSILON	64
Abbildung 38: Schema Rauchgaskondensation Kaindl (Spanplattenlinie) EBSILON	68
Abbildung 39: Kühlwasserleitung Wasserkraftwerk Hallein	70
Abbildung 40: Trafokühlung Wasserkraftwerk Hallein	70
Abbildung 41: Geländeplan Wasserkraftwerk Hallein	71
Abbildung 42: Reserveschaltanlage Wasserkraftwerk Hallein.....	71
Abbildung 43: mögliche Anschlussstelle für Wärmepumpe im Wasserkraftwerk Urstein	74
Abbildung 44: Umwälzpumpen Kühlkreislauf Wasserkraftwerk Lehen.....	76
Abbildung 45: Schema Kühlkreislauf Wasserkraftwerk Lehen.....	76
Abbildung 46: Platzmöglichkeit für eine weitere Schaltzelle	77
Abbildung 47: Schaltanlage Wasserkraftwerk Rott.....	79
Abbildung 48: Grundwasser Messstellen Stadt Salzburg.....	82
Abbildung 49: Übersicht Reinhaltverband Großraum Salzburg	84
Abbildung 50: spezifische Wärmepumpenkosten in Abhängigkeit der Wärmequelltemperatur.....	90
Abbildung 51: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Hallein	106
Abbildung 52: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Urstein	106
Abbildung 53: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Lehen	107
Abbildung 54: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Rott	107
Abbildung 55: sortierte Temperaturverläufe Kühlkreislauf Wasserkraftwerk Lehen	108
Abbildung 56: Temperaturverläufe Wasserkraftwerk Lehen.....	108
Abbildung 57: Jahresdauerlinien KW Lehen.....	108

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Herstellerliste industrieller Hochtemperatur-Wärmepumpen	17
Tabelle 2: Herstellerinformationen/Meinungen Forschungsinstitute	18
Tabelle 3: Referenzanlagen	23
Tabelle 4: Gesetze und Verordnungen.....	29
Tabelle 5: Kältemittelübersicht für industrielle Hochtemperaturwärmepumpen.....	33
Tabelle 6: Fördermöglichkeiten	34
Tabelle 7: Kraftwerke/Erzeuger im Fernwärmenetz Salzburg [36]	36
Tabelle 8: Wärmepumpen der Salzburg AG [37].....	37
Tabelle 9: Standort-Technologie-Matrix	43
Tabelle 10: Randbedingungen Simulation HKW-Mitte	50
Tabelle 11: Ergebnisübersicht HKW-Mitte	55
Tabelle 12: Randbedingungen Simulation HKW-Nord	60
Tabelle 13: Ergebnisübersicht HKW-Nord.....	62
Tabelle 14: Randbedingungen Simulation Rauchgaskondensation BMHKW-Siezenheim	64
Tabelle 15: Ergebnisübersicht BMHKW-Siezenheim	65
Tabelle 16: Randbedingungen Simulation Kaindl.....	68
Tabelle 17: Ergebnisübersicht industrielle Abwärme Kaindl.....	69
Tabelle 18: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Hallein.....	72
Tabelle 19: Kühlwassertemperaturen Wasserkraftwerk Urstein.....	73
Tabelle 20: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Urstein	75
Tabelle 21: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Lehen	78
Tabelle 22: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Rott.....	80
Tabelle 23: Ergebnisübersicht Abwasser.....	85
Tabelle 24: Ergebnisübersicht Gesamttabelle.....	86
Tabelle 25: Übersicht relevanter Abwärmequellen	88
Tabelle 26: Investitionskosten der Projekte.....	91
Tabelle 27: ausgeschiedene Projekte	92
Tabelle 28: allgemeine Annahmen der wirtschaftlichen Berechnung	92
Tabelle 29: Gewinn- und Verlustrechnung.....	93
Tabelle 30: Discounted Free Cash Flow.....	93
Tabelle 31: Auszug aus Berechnungstabelle für Projekt HKW-Nord Kühlwasserkreislauf.....	94
Tabelle 32: Ergebnisübersicht wirtschaftliche Berechnungen	95
Tabelle 33: Übersichtstabelle ausgewählter Standorte	100
Tabelle 34: Übersichtstabelle aussichtsreicher Wärmequellen	101

1 EINLEITUNG

1.1 Motivation/Gründe für eine Wärmepumpennutzung

Der starke Ausbau von fluktuierenden erneuerbaren Erzeugern (Wind und Photovoltaik) führt immer öfter zu einem Stromüberangebot in den elektrischen Netzen. Um die Stabilität der Netze nicht zu gefährden, muss bei einem Stromüberangebot die elektrische Erzeugungsleistung im Netz reduziert, d.h. auch Ökostromanlagen abgeschaltet werden. Durch die Zuschaltung einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe kann der Stromverbrauch erhöht werden, dadurch eine Abschaltung von Ökostromanlagen vermieden und ein Beitrag zur Netzstabilisierung geleistet werden. Eine Wärmepumpe wandelt den Überschussstrom unter Mitwirkung einer Abwärmequelle mit höchstem Wirkungsgrad in Fernwärme um, die bei Bedarf in einem Fernwärmespeicher zwischengespeichert und anschließend an die Fernwärmekunden geliefert werden kann. Mit der Umwandlung in Wärme wird die fossile Wärmeproduktion substituiert und damit fossile Brennstoffe und Emissionen eingespart. Zudem lassen sich durch die Wärmepumpentechnik Niedertemperatur-Abwärmeströme unter 100°C nutzen, welche aktuell die Prozesse ungenutzt oder als Kühlverluste verlassen.

Für die Salzburg AG als regionalen Energie- und Infrastrukturanbieter in Salzburg stellt sich folgende Ausgangssituation:

- Reduktionsziele der Republik Österreich im Rahmen der EU-Ziele 20/20/20
- Energie- und Treibhausgasreduktionsziele sowie Ausbauziele der erneuerbaren Energieträger des Landes Salzburg (Mehrheitseigentümer der Salzburg AG) im Rahmen des Masterplans Energie 2020.
- Stadt Salzburg (Miteigentümer der Salzburg AG) ist Luftsanierungsgebiet (NO_x).
- Ziel der Salzburg AG ist es, den erneuerbaren Anteil in der Fernwärmeaufbringung zu steigern (Dekarbonisierung).

Um für die o.a. Klima- und Energieziele von Republik, Land Salzburg und der Stadt Salzburg einen Beitrag zu leisten, kann eine elektrisch betriebene Wärmepumpenanlage einen wesentlichen Beitrag leisten. Ziel ist die generelle Dekarbonisierung in der Fernwärmeaufbringung, welche durch eine Steigerung des erneuerbaren Anteils erreicht werden soll.

Durch die Korrelation von Stromüberschuss und sinkenden Strompreisen im Tagesverlauf könnte sich eine Win-Win-Win Situation für die Stromnetzstabilität, die Betreiber der

volatilen Ökostromanlagen und die Betreiber von elektrisch betriebenen Wärmepumpenanlagen ergeben. [1]

Die Wärmepumpe wird außerdem als Technologie zur Schließung der Lücke zwischen Strom- und Wärmemarkt angesehen, die derzeit nur mit Power to Heat 1.0 (Elektrokessel/Tauchsieder) Anwendung findet. Darüber hinaus könnten Wärmepumpen durch ihr Lastverschiebepotential in Zusammenhang mit thermischen Speichern als intelligente Komponenten in Smart-Grid Netzen integriert werden, um eine zeitliche Entkopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch zu schaffen.

2 AUFGABENSTELLUNG

2.1 Problemstellung

Durch Veränderungen am Energiemarkt (sinkende Erlöse beim Produkt Strom) und dem teilweise hohen Überschuss an erneuerbarem Strom, kam es zu einer Kehrtwende in der konventionellen Stromerzeugung. Vor einigen Jahren wurde noch intensiv daran gearbeitet die Stromerzeugung zu forcieren und jede Wärme-/Abwärmequelle durch geeignete Prozesse (ORC-Organic Rankine Cycle) für die Stromerzeugung zu nutzen. Aktuell liegt der Focus im Power-to-Heat Segment, sprich in der Nutzung von Strom für die Wärmeerzeugung (mit Einsatz von überschüssigem Strom in Elektrokesseln, oder durch Zusatz einer weiteren Niedertemperatur-Wärmequelle in Kombination mit einer Wärmepumpe).

2.2 Zielsetzung

Aus diesen Gründen soll in dieser Arbeit geprüft werden, ob eine Einsetzbarkeit von elektrisch betriebenen Wärmepumpen im Fernwärmenetz der Salzburg AG gegeben ist, um die Wärmeaufbringung in der Fernwärme zu dekarbonisieren. Dies soll durch gezielte Nutzung von Wärme-/Abwärmequellen mit Hochtemperatur-Wärmepumpen erfolgen. Des Weiteren soll geprüft werden, ob durch eine Wärmepumpenanwendung auf zukünftige Entwicklungen am Energiemarkt (wie z.B.: Regelenergiemarkt) reagiert werden kann.

Diese Arbeit soll ebenfalls einen weiteren Schritt zur Umsetzung der Unternehmensziele der Salzburg AG, den erneuerbaren Anteil in der Fernwärmeaufbringung zu steigern, darstellen.

2.3 Vorgehensweise

Im Zuge der Arbeit sollen sämtliche Wärme- sowie industrielle Abwärmequellen im Raum Salzburg und Salzburg-Umgebung für die Anwendung einer Wärmepumpentechnologie aufgezeigt und betrachtet werden. Nach einer energetischen sowie technischen Bewertung über eine mögliche Umsetzbarkeit, erfolgt eine Auswahl relevanter Abwärmequellen, welche besonders genau betrachtet werden sollen.

Für ausgewählte Fälle sollen mögliche Konzepte mit technischen und wirtschaftlichen Berechnungen erstellt werden, welche in einer Gegenüberstellung als Entscheidungsgrundlage für weitere Investitionen herangezogen werden können.

Aufgrund der aktuellen Fernwärmenetzesituation bzw. -topologie ist als Vorgabe für die notwendige Vorlauf-/Einspeisetemperatur min. 90°C anzusetzen.

3 THEORETISCHER HINTERGRUND – STAND DER TECHNIK

3.1 Grundlagen Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe ist eine Anlage, die Wärme mit niedriger Temperatur aus der Wärmequelle aufnimmt, diese durch Einsatz von exergetisch-höherwertiger Energie auf ein höheres Temperaturniveau anhebt und somit die Wärme mit höherer Temperatur wieder an die Wärmesenke abgibt.

Die Wärmepumpe nimmt also Wärme aus einem Reservoir niedrigerer Temperatur auf und hebt sie auf ein höheres Temperaturniveau, wodurch effektive Nutzwärme für Heizprozesse zur Verfügung gestellt wird. Da die Wärmeenergie aus dem Reservoir niedriger Temperatur bzw. unter Umgebungstemperatur nicht direkt genutzt werden kann, spricht man auch von „Anergie“.

Die Zufuhr der höherwertigeren Energie (Exergie) kann durch elektrische, mechanische oder thermische Energie erfolgen, wodurch sich die Wärmepumpentechnologie in folgende Arten einteilen lässt:

- Kompressionswärmepumpen (ein- und mehrstufig)
- Absorptionswärmepumpen/Wärmetransformatoren
- Rotationswärmepumpen
- „Hybrid-Wärmepumpe“
- Brüdenverdichter
- Thermoakustische Wärmepumpen

Elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen sind auch oft unter der Bezeichnung „Power to Heat 2.0“, also der Umwandlung von Strom in Wärme, zu finden.

Als Wärmequellen dienen grundsätzlich folgende Gegebenheiten, da diese zumeist kostenlos zur Verfügung stehen oder ohnehin nicht direkt ohne Wärmepumpeneinsatz genutzt werden können:

- Grundwasser
- Seewasser/Oberflächenwasser/Flusswasser
- Abwasser/Kanäle
- Industrielle Abwärme (Niedertemperatur)
- Tunnel und Einhausungen
- Pfähle und Sonden (Geothermie)
- Außen- und Abluft
- Fernwärme (Rücklauf bzw. kalte-Fernwärme)

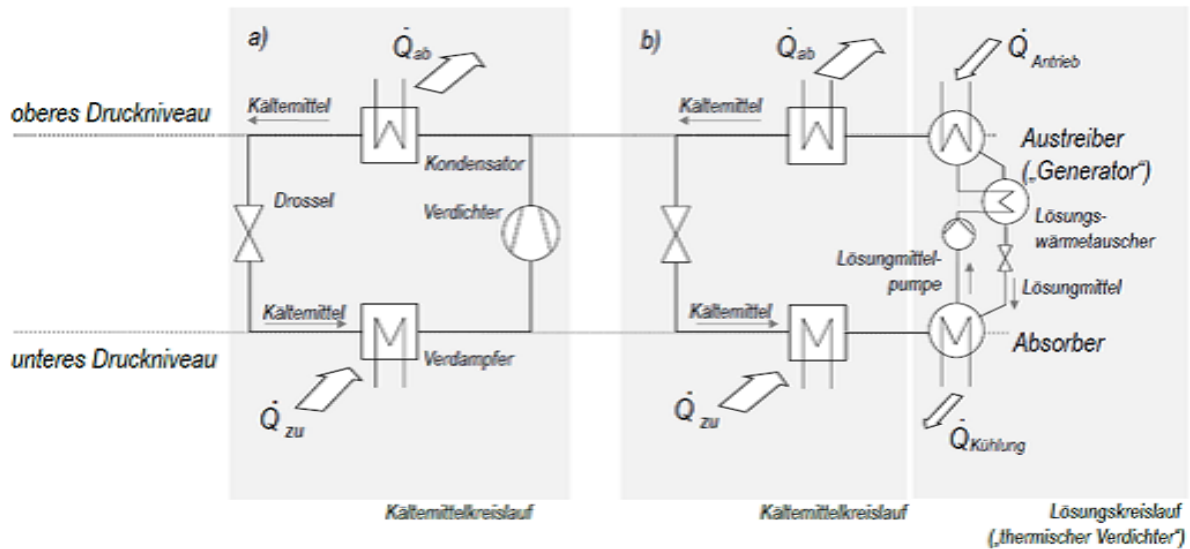


Abbildung 1: Aufbau einer mechanisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe (a) und einer thermisch angetriebenen Absorptionswärmepumpe (b) [2] S. 387

Die Grundlage jeder Wärmepumpe ist der sogenannte linksläufige Kaltdampfprozess, welcher weitgehend einem umgekehrten Clausius-Rankine-Prozess entspricht, der in Dampfkraftwerken als Vergleichsprozess genutzt wird. Der grundsätzliche Aufbau mit allen notwendigen Bauteilen einer Wärmepumpe ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die generelle Funktionsweise einer Wärmepumpe kann wie in Abbildung 2 ersichtlich, folgendermaßen beschrieben werden:

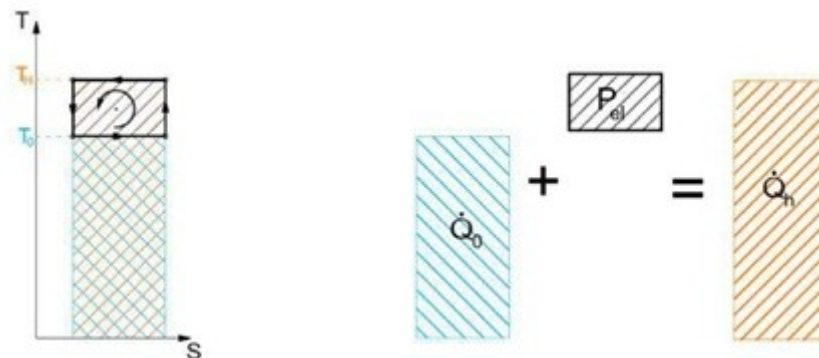


Abbildung 2: Kreisprozess einer reversiblen Wärmepumpe zwischen 2 Temperaturniveaus [3] S. 52

„Im Inneren eines geschlossenen Kreislaufs der Anlage zirkuliert ein Arbeitsmittel/Kältemittel, das einer Wärmequelle im Verdampfer (Wärmetauscher) Wärme entzieht (Wärmequelle), wodurch dieses vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht. Das Arbeitsmittel gelangt dann in einen meist von einem Elektromotor angetriebenen Kompressor (Verdichter), in dem der Druck erhöht wird. Zugleich erhöht sich durch die Verdichtung die Temperatur so weit, dass die der Wärmequelle entzogene Wärme

im so genannten Verflüssiger/Kondensator bei nun höherer Temperatur an das Heizmedium (Wärmesenke) abgegeben werden kann. Durch diese Wärmeabgabe wird das Arbeitsmittel wieder flüssig. Im Expansionsventil wird es auf geringeren Druck entspannt. Dadurch sinkt der Siedepunkt und das Arbeitsmittel kann beim neuerlichen Verdampfen wieder Wärme aufnehmen“ [4] zitiert nach [5] S. 14

Aufgrund der Irreversibilität weicht der reale Kreisprozess jedoch etwas vom idealen Verhalten ab. Der reale Kreisprozess ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

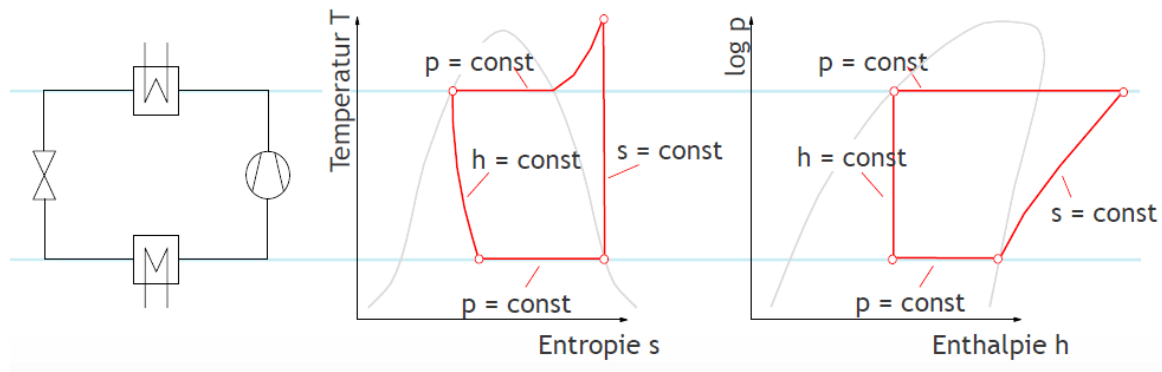


Abbildung 3: realer Kreisprozess einer Wärmepumpe - Kaltdampfprozess [6]

Ein weiterer Vorteil der sich bei der Wärmepumpennutzung ergeben kann, ist der „Bi-Generation“ Betrieb, also die gleichzeitige Nutzung von Wärme und Kälte, da diese zwangsläufig immer gleichzeitig anfallen. Man entzieht also dem zu kühlenden Objekt Wärme und verwendet diese Wärme zur Beheizung eines weiteren Objekts. Es kann somit durch eine einzige Anlage gleichzeitig Prozesswärme und –kälte bereitgestellt werden. [3]S. 85

Ein solcher Betrieb, der Kälte und Wärme in einer Maschine zur Verfügung stellt und nutzt, weist teilweise bedeutend bessere Gesamtwirkungsgrade auf, als eine getrennte Erzeugung von Wärme und Kälte in zwei unterschiedlichen Anlagen und kann mit dem $COP_{\text{integriert}}$ beschrieben werden. Näheres dazu in Kapitel 3.1.5.2.

3.1.1 Kompressionswärmepumpen

Die Kompressionswärmepumpe stellt die am weitesten verbreitete Wärmepumpentechnik dar. Bei der Kompressionswärmepumpe erfolgt die Anhebung der Temperatur, sprich die Verdichtung des Kältemittels, durch Zufuhr exergetisch-höherwertiger mechanischer Antriebsenergie, meist elektrischer Energie. Man spricht von mechanischer Verdichtung.

Die Nutzwärme Q_h ist also die Summe aus der Energie der Wärmequelle Q_0 und der elektrischen Energie W_{el} ($= P_{el} \cdot t$).

Man kann durch die Wärmepumpentechnologie somit z.B. aus einem Teil Strom (Aufwand für Antriebsenergie) und 3 Teilen Energie der Wärmequelle, 4 Teile Heizwärmeenergie „erzeugen“, was einem COP (coefficient of performance) von 4 entspricht. Die Beschreibung des COP (Leistungszahl) ist in Kapitel 3.1.5.1 zu finden.

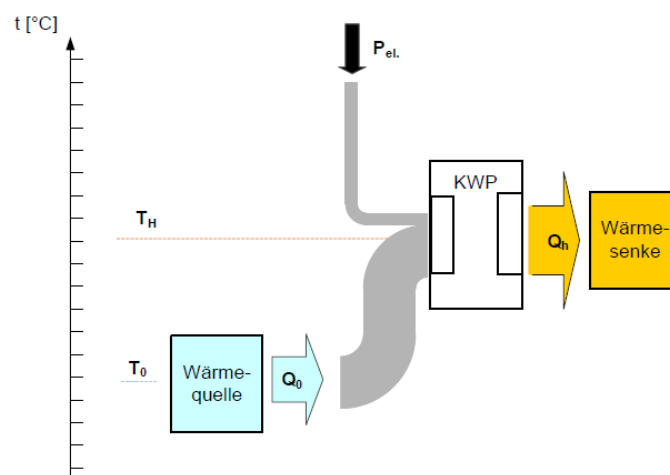


Abbildung 4: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer elektrisch betriebenen Kompressionswärmepumpe
[3]S. 51

3.1.2 Mehrstufige Kompressionswärmepumpen

Für den Einsatz von Wärmepumpen in Hochtemperaturanwendungen (ab ca. 90°C) ist es zumeist notwendig, Wärmepumpen mehrstufig auszuführen. Diese mehrstufige Ausführung ermöglicht einerseits die Verwendung unterschiedlicher Kältemittel, die auf die Temperatur- und Druckniveaus angepasst sind und andererseits resultiert daraus eine „Carnotisierung“ des Kreisprozesses, wodurch die Effizienz verbessert wird. Beispiele für mögliche mehrstufige Anwendungen sind in Abbildung 5 dargestellt.

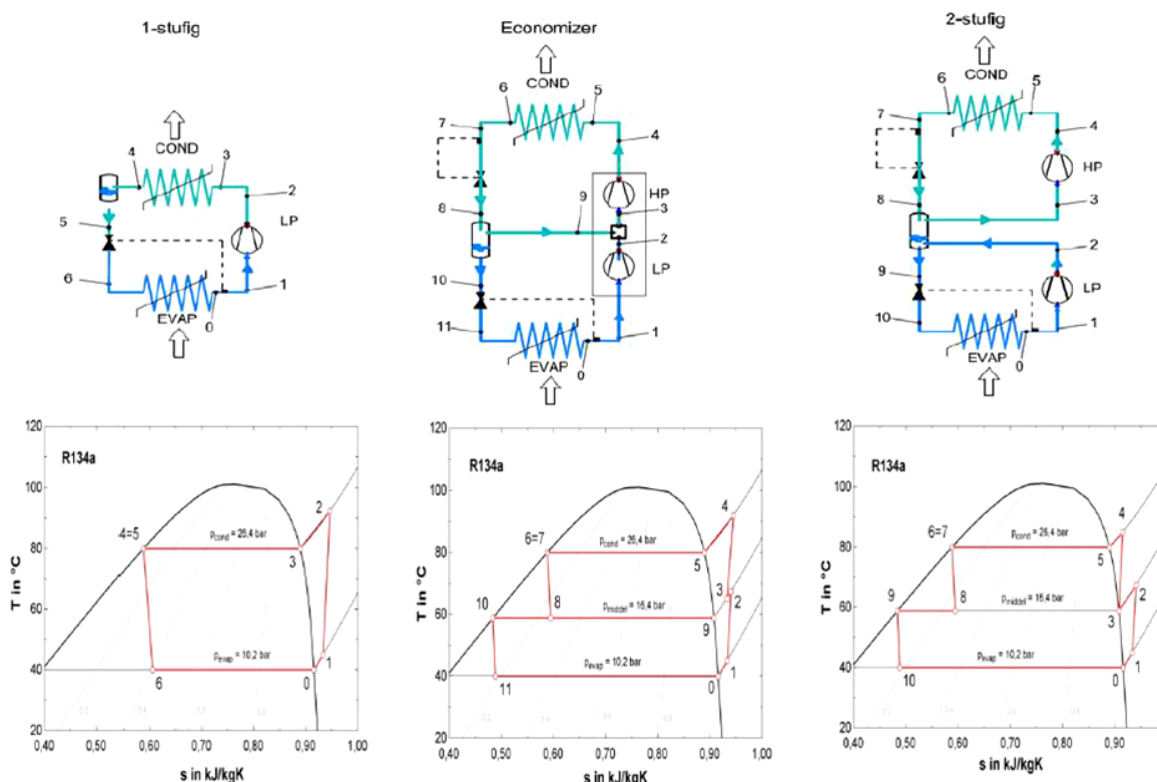


Abbildung 5: Anlagenschema einer 1-stufigen, einer Economizer- und einer 2-stufigen Kompr.-WP [3] S. 58

Neben den mehrstufigen Wärmepumpen werden zur Verbesserung der Effizienz zusätzliche interne Wärmetauscher in den Wärmepumpenprozess integriert, wodurch die Wärmeabgabe durch komplexe Verschaltungen der Bauteile verbessert wird. Solche Schaltungen findet man häufig unter der Bezeichnung „Schaltungen mit Sauggasüberhitzung“.

3.1.3 Absorptionswärmepumpe

Bei der Absorptionswärmepumpe wird als Antriebsenergie für den Kälteprozess nicht elektrische Energie in Form eines mechanischen Verdichters, sondern Wärme für die Verdichtung des Kältemittels genutzt.

Da die für die thermische Verdichtung notwendige Energie eine ausreichend hohe Temperatur benötigt (zumeist Dampf über 120°C), ist der Einsatz von Absorptionswärmepumpen nur eingeschränkt möglich.

Des Weiteren verursachen Absorptionswärmepumpen deutlich höhere Investitionskosten als Kompressionswärmepumpen, wodurch der Einsatz solcher Anlagen im Vergleich zu mit Strom betriebenen Anlagen eher gering ist.

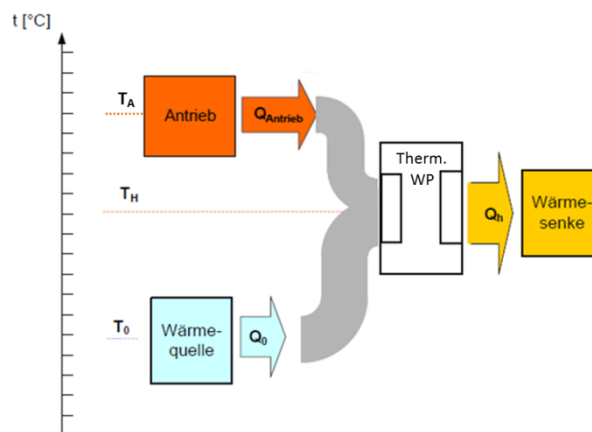


Abbildung 6: Prinzip-Darstellung der Energieflüsse einer thermisch betriebenen Absorptionswärmepumpe
vgl. [3] S. 77

3.1.4 Integration von Wärmepumpen in Fernwärmenetze

Folgende Darstellungen sollen die Einbindemöglichkeiten/Integrationsmöglichkeiten von Wärmepumpen/Abwärmequellen in Fernwärmenetze anhand von Kompressionswärmepumpen beispielhaft darstellen.

3.1.4.1 Direkteinspeisung

Ist die Temperatur der Abwärmequelle ausreichend hoch, sprich über der Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes, kann die Wärme über einen Wärmetauscher direkt in das Netz eingespeist werden. Es gilt jedoch eine notwendige Temperaturdifferenz (Grädigkeit) zu beachten, welche von der Wärmetauschertechnologie selbst und der verwendeten Medien abhängig ist.

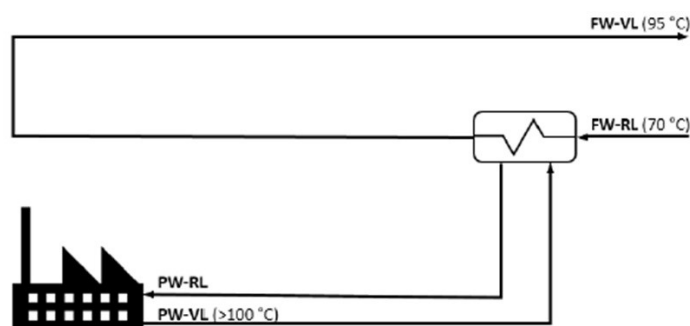


Abbildung 7: Direkteinspeisung von Abwärmequellen [7] S. 61

3.1.4.2 Systemkonfiguration Wärmepumpe

Wenn die Temperatur der Abwärme-/Wärmequelle unter der Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes liegt, ist ein Einsatz einer Wärmepumpe nötig, welche die Temperatur des Abwärmstroms auf die benötigte Temperatur der Wärmesenke anhebt.

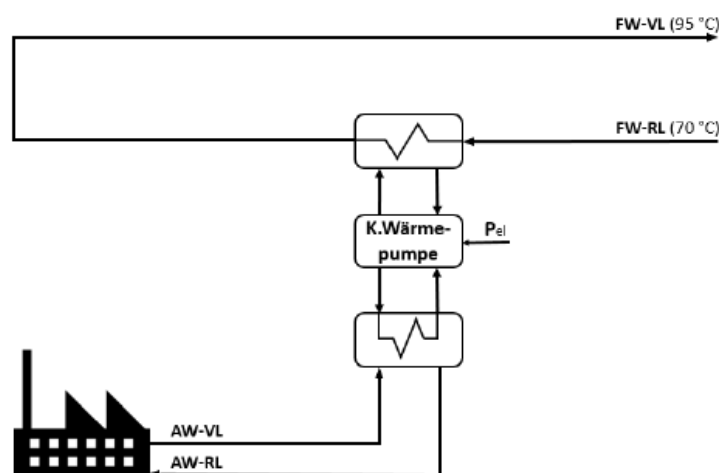


Abbildung 8: Einspeisung mit Hilfe einer Wärmepumpe [7] S. 62

3.1.4.3 Systemkonfiguration Wärmepumpe mit thermischer Nacherhitzung

Sollte der Temperaturhub zwischen Quelle und Senke für die Wärmepumpe zu groß sein, kann der Fernwärmerücklauf mit Hilfe der Wärmepumpe vorgewärmt und in weiterer Folge durch eine thermische Nacherhitzung auf die benötigte Vorlauftemperatur erhitzt werden.

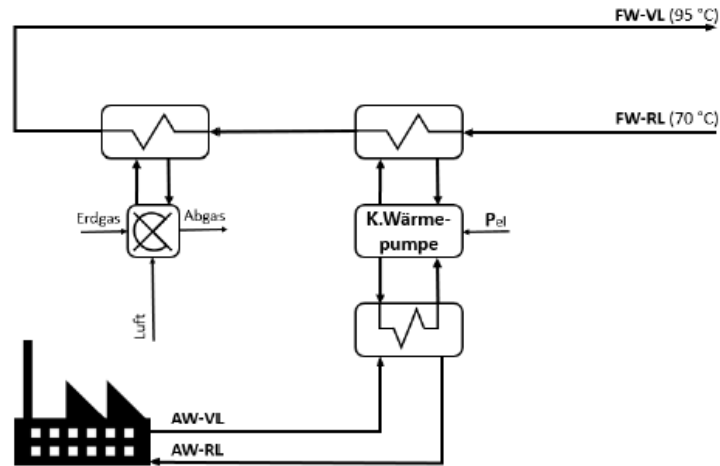


Abbildung 9: Einspeisung mit Wärmepumpe und thermischer Nacherhitzung [7] S. 62

Eine solche Systemkonfiguration wird häufig verwendet, wenn: [7] S. 62

- Die Quelltemperatur extrem niedrig ist
- Die Investitionskosten für die Anlage minimiert werden sollen (siehe 3.2)
- Technologische Grenzen der Wärmepumpe oder der Kältemittel erreicht werden
- Variable FW-Vorlauftemperaturen (Wärmesenke) notwendig sind

3.1.4.4 Systemkonfiguration Wärmepumpe mit Bypass

Dabei entzieht die Wärmepumpe dem Fernwärmerücklauf bereits Wärme. In einem Hauptwärmetauscher wird anschließend der zuvor abgekühlte Rücklauf wieder erhitzt. Die Wärmepumpe und die eventuelle thermische Nacherhitzung sorgen für die geforderte Fernwärmeverlauftemperatur. Diese Konfiguration wird häufig in Geothermie-Anwendungen verwendet. [8]

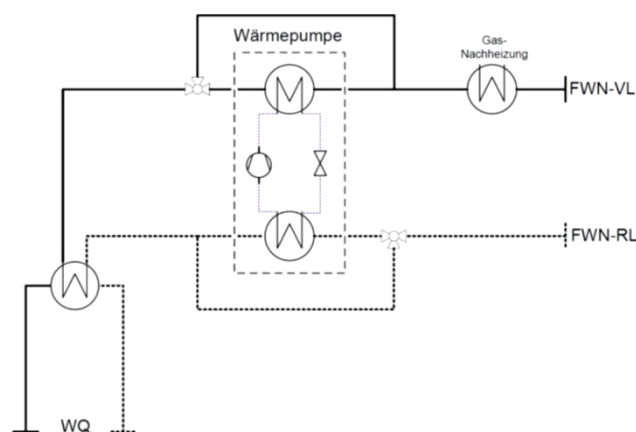


Abbildung 10: Systemkonfiguration Wärmepumpe mit Bypass [8]

3.1.5 Wärmepumpen Kennzahlen [3] S. 51–54

3.1.5.1 Leistungszahl/COP

Für die Beurteilung der Effizienz und in weiterer Folge der Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, wird das Verhältnis der abgegebenen Wärmeleistung bzw. nutzbare Wärme zu eingesetzter Antriebsleistung bzw. aufgewendete Energie gebildet.

Bei elektrisch betriebenen Kompressionswärmepumpen spricht man hierbei von der **Leistungszahl ε** bzw. dem **COP-Wert** (coefficient of performance).

Der COP bzw. die Leistungszahl ist somit ein Maß für die Effizienz/den „thermischen Wirkungsgrad“ der Wärmepumpe für einen bestimmten Betriebspunkt der Anlage.

$$\varepsilon = \mathbf{COP} = \frac{Q_{ab}}{P_{zu,verd}} \quad (3-1)$$

ε / COP ... Leistungszahl/coefficient of performance

Q_{ab} ... abgegebene Wärmeleistung

$P_{zu,verd}$... eingesetzte Antriebsleistung

Eine Angabe des COP's einer Wärmepumpenanlage ohne Betriebspunktparameter wie Temperaturen usw. ist bedeutungslos.

Gemäß aktueller Zertifizierungsnorm DIN EN 14511 werden beim COP neben dem elektrischen Leistungsbedarf des Verdichters $P_{zu,verd}$ auch die Hilfsantriebe als Aufwand berücksichtigt.

$$\varepsilon = \mathbf{COP} = \frac{Q_{ab}}{P_{zu,verd} + P_{zu,hilf}} \quad (3-2)$$

Q_{ab} ... abgegebene Wärmeleistung

$P_{zu,verd}$... eingesetzte Antriebsleistung

$P_{zu,hilf}$... eingesetzte Hilfs-Antriebsleistung

Da die Wärmepumpe nach dem Kaltdampfprozess arbeitet, kann der theoretische COP (reversible COP_{rev}), auch über die Temperaturniveaus des Prozesses wie folgt definiert werden, welcher gleichzeitig dem Kehrwert des Carnot-Wirkungsgrads η_c entspricht:

$$\varepsilon_{rev} = \mathbf{COP}_{rev} = \frac{1}{\eta_c} = \frac{T_H}{T_H - T_0} = 1 - \frac{T_H}{T_0} = \frac{\Delta T + T_0}{\Delta T} \quad \text{mit } \Delta T = (T_H - T_0) \quad (3-3)$$

$\epsilon_{\text{rev}} / \text{COP}_{\text{rev}}$... reversible Leistungszahl / reversible coefficient of performance

η_c ... Carnot-Wirkungsgrad

T_H ... absolute Temperatur Wärmesenke [K]

T_0 ... absolute Temperatur Wärmequelle [K]

ΔT ... Temperaturdifferenz [K]

Die Abhängigkeit der Leistungszahl ϵ von der Temperaturdifferenz/dem Temperaturhub ist in Abbildung 11 graphisch dargestellt.

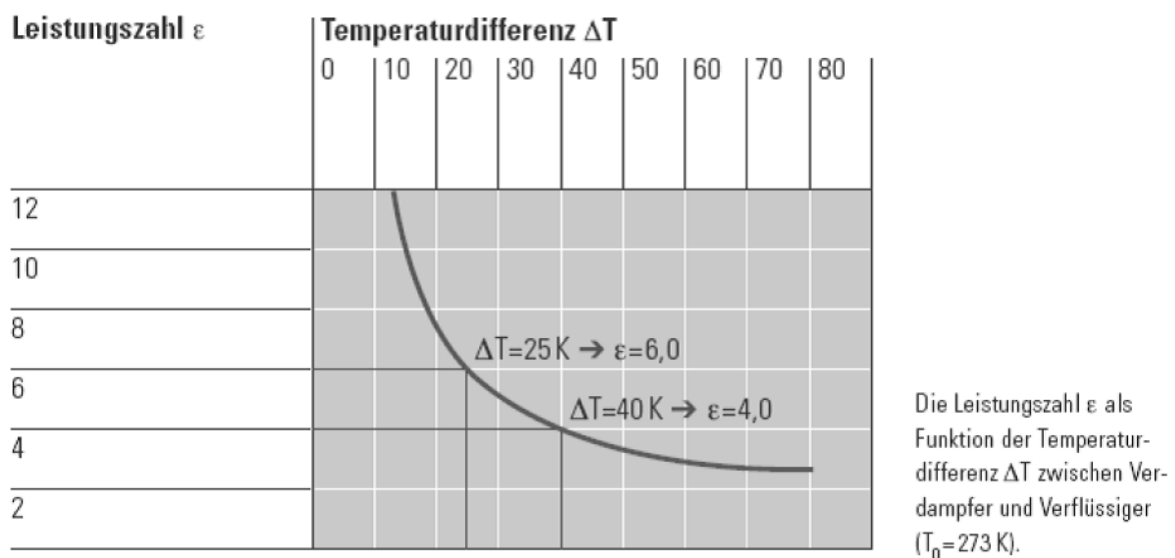


Abbildung 11: Leistungszahl ϵ als Funktion der Temperaturdifferenz [6] S. 180

Des Weiteren gilt es zu beachten, dass die Wirtschaftlichkeit sowie die Effizienz (COP) nicht nur vom Temperaturhub (Temperaturdifferenz Quelle und Senke) sondern auch sehr stark von der Temperatur der Wärmequelle beeinflusst wird.

D.h. je höher die Wärmequelltemperatur und je geringer der Temperaturhub (Temperaturdifferenz) ist, desto höher ist der COP der Wärmepumpe und somit das wirtschaftliche Ergebnis.

In Abbildung 12 wird ein reversibler Prozess einer Kompressionswärmepumpe zwischen zwei Temperaturniveaus im T/s –Diagramm für zwei unterschiedliche Anwendungen bei gleichem Temperaturhub dargestellt. Die COP-Werte sind ebenfalls angeführt.

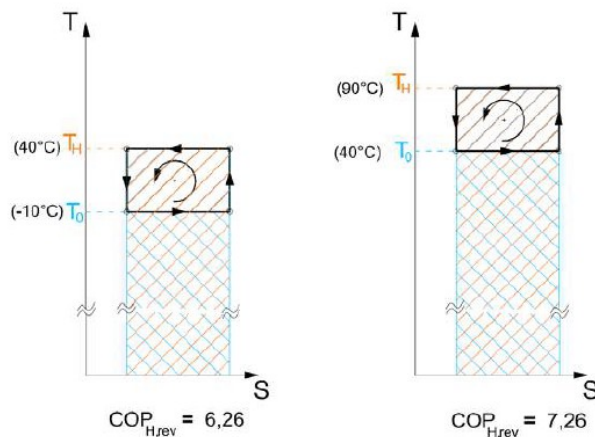


Abbildung 12: Reversibler Wärmepumpprozess bei unterschiedlicher Quelltemperatur aber selbem Temperaturhub [3] S. 53

Da der reversible Idealprozess (COP_{rev}) nicht erreicht werden kann, wird der praktische COP durch Multiplikation des reversiblen COP mit dem exergetischen Güte- bzw. Wirkungsgrad der Anlage bestimmt.

$$COP = COP_{rev} * \eta_{ex} \quad (3-4)$$

COP ... coefficient of performance

COP_{rev} ... reversibler coefficient of performance

η_{ex} ... exergetischer Wärmepumpengütegrad
(0,45 - 0,55)

η_{ex} selbst hängt vom eingesetzten Arbeitsmittel, dem Wärmepumpenprozess und der exergetischen Effizienz jeder einzelnen Komponente der Wärmepumpe ab.

3.1.5.2 $COP_{integriert}$

Der $COP_{integriert}$ wird bei Anlagen angegeben, welche gleichzeitig die „erzeugte“ Wärme sowie die Kälte nutzen.

$$COP_{integriert} = \frac{Q_{Wärme} + Q_{Kälte}}{Q_{Antrieb}} \quad (3-5)$$

$Q_{Wärme}$... abgegebene Heizwärme pro Periode

$Q_{Kälte}$... abgegebene Kälte pro Periode

$Q_{Antrieb}$... zugeführte Antriebsenergie pro Periode

3.1.5.3 Jahresarbeitszahl

Da die Leistungszahl (COP) einer Wärmepumpe nur für einen bestimmten stationären Betriebspunkt definiert werden kann (Momentaufnahme), die Betriebsbedingungen der Wärmepumpe je nach Anwendungsfall jedoch starken Schwankungen unterliegen können, wird für den Effizienzvergleich verschiedener Wärmepumpen innerhalb einer festgelegten Periode die sogenannte Jahresarbeitszahl JAZ (β) bzw. der SPF (Seasonal Performance Factor) definiert.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) entspricht also dem Verhältnis von gelieferter Wärme zu eingesetzter elektrischer Energie während eines Jahres bzw. einer definierten Periode.

$$\beta = JAZ = SPF = \frac{\text{abgegeben Heizwärme pro Periode}}{\text{aufgenommene Antriebsenergie pro Periode}} = \frac{Q_{ab}}{W_{zu}} \quad (3-6)$$

β ... Jahresarbeitszahl

Q_{ab} ... abgegebene Heizwärme pro Periode

W_{zu} ... aufgenommene Antriebsenergie pro Periode

Der Vorteil der Jahresarbeitszahl ist, dass diese auch Teillast-, Anfahr- und Stillstandsverluste der Anlage während der Messperiode berücksichtigt. Der COP stellt im Vergleich dazu, wie vorher beschrieben, lediglich eine Momentaufnahme während eines bestimmten Betriebspunktes dar.

3.2 Hochtemperatur-Wärmepumpen

Unter der Bezeichnung „Hochtemperatur-Wärmepumpen“ versteht man zumeist Anlagen mit großen Leistungen (ab 100kW) und hohen Nutzttemperaturen (ab 80°C) welche vorwiegend in industriellen Prozessen und Gewerben zur Anwendung kommen. Eine genaue Einteilung nach Leistung und Temperatur kann nicht erfolgen, da die Einteilung nach Hersteller und Branche stark variiert.

Hauptaugenmerk liegt bei der Nutzung von Hochtemperatur-Wärmepumpen meistens in der innerbetrieblichen Nutzung von Abwärme und der Bereitstellung von Wärme für Fernwärmenetze, wobei die Einsatzgebiete stetig erweitert werden.

In Literatur sind solche Anlagen auch häufig unter den Bezeichnungen „Industriewärmepumpen“ oder „Großwärmepumpen“ zu finden und fallen bei vielen Herstellern in den Bereich der Sonderanlagenfertigung, weil es je nach Anwendungsfall individuellen Lösungen bedarf. [3] S. 49

Standardlösungen können zumeist nur bis ca. 80°C angeboten werden, welche auch deutlich kostengünstiger sind. Sofern es also nicht zwangsläufig gefordert wird Vorlauftemperaturen über 80°C direkt mit der Wärmepumpe zu erzeugen, ist eine Vorwärmung des Rücklaufs mittels Wärmepumpe und anschließender (ev. fossiler) Erhitzung auf die geforderte Vorlauftemperatur, eine durchaus zu überlegende Anlagenkonfiguration, welche Primärbrennstoff und somit CO₂-Emissionen reduziert.

In nachfolgender Tabelle 1 ist der aktuelle Stand der Technik in einer Übersichtstabelle dargestellt. Erfüllt ein Produkt eines Herstellers die geforderte Vorlauftemperatur von mind. 90°C, so ist diese mit einem grünen Häkchen gekennzeichnet, ansonsten mit einem roten Kreuz. Die Wärmepumpen sind vorrangig nach Temperatur und Leistung sortiert.

3.2.1 Technologieüberblick - Stand der Technik

Tabelle 1: Herstellerliste industrieller Hochtemperatur-Wärmepumpen

Nr.	Technologie	Hersteller	Bezeichnung	Kältemittel	max. VL-Temp. [°C]	Technologie-reife	Leistung [kW]	
F.1	Komp.	DTI-Danish Techn. Institute	-	-	✓ 180	Forschung	-	
F.2	Komp.	AIT-Austrian Institut of Techn.	-	-	✓ 170	Forschung	90	
F.3	Komp.	Viking Heat Engines	HeatBooster	-	✓ 150	Forschung	-	
F.4	Komp.	Johnson Controls / YORK	-	-	✓ 135	Forschung	-	
K.1	Komp.	Friotherm	Uniturbo 50FY	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✓ 120	am Markt	20.000
K.2	Komp.	Johnson Controls / YORK	Oil Free Centrifugal HP	R-245fa	1,1,1,3,3-Pentafluorpropan	✓ 115	am Markt	1.800
K.3	Komp.	Dürr theamea	HHR 2000	R-744	Kohlenstoffdioxid CO2	✓ 110	am Markt	2.200
K.4	Komp.	Bosch	HHR	R-744	Kohlenstoffdioxid CO2	✓ 110	am Markt	1.100
K.5	Komp.	Ochsner	IWWHSS 750 R2R3	1. Stufe R-134a / 2. Stufe ÖKO 1		✓ 105	am Markt	1.500
K.6	Komp.	Star Refrigeration	Neatpump	R-717	Ammoniak	✓ 95	am Markt	8.000
K.7	Komp.	Cofely	L1 KH	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✓ 95	am Markt	700
K.8	Komp.	Frigoteam	VHH HP-T	R-600	n-Butan	✓ 95	am Markt	300
K.9	Komp.	Thermax	TYPE I	-	-	✓ 90	am Markt	40.000
K.10	Komp.	Johnson Controls / YORK	Titan OM HP	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✓ 90	am Markt	20.000
K.11	Komp.	Advansor	compHEAT L / XL	R-744	Kohlenstoffdioxid CO2	✓ 90	am Markt	2.000
K.12	Komp.	Viessmann	Vitocal 350-HT Pro	R-1234ze	1,3,3,3-Tetrafluorpropan	✓ 90	am Markt	2.000
K.13	Komp.	Johnson Controls / YORK	HeatPAC	R-717	Ammoniak	✓ 90	am Markt	1.800
K.14	Komp.	Oilon Scancool	Oilon ChillHeat P 450	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✓ 90	am Markt	450
K.15	Komp.	Kobelco	HEM-90A	Mischung aus R-245fa und R-134a		✓ 90	am Markt	176
K.16	Komp.	Viessmann	-	R-718	Wasser	✓ 90	Forschung	-
K.17	Komp.	CTA	CTAexklusiv	je nach Anwendung (Standard: R-134a)		✗ 83	am Markt	4.000
K.18	Komp.	GEA Refrigeration	Grasso FX P	R-717	Ammoniak	✗ 82	am Markt	15.000
K.19	Komp.	SmartHeat	Titan Z	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✗ 80	am Markt	2.500
K.20	Komp.	Combitherm	-	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✗ 75	am Markt	5.000
K.21	Komp.	Energie Totaal Projecten	ETP-HWD-6600	-	-	✗ 70	am Markt	3.150
K.22	Komp.	KKT CHILLERS	MAGMA	-	-	✗ 70	am Markt	1.000
K.23	Komp.	Viessmann	Vitocal 350-G Pro	-	-	✗ 65	am Markt	2.000
K.24	Komp.	Frigopol	FHTHP 1300	R-134a bzw. R-245fa		✗ 65	am Markt	1.265
K.25	Komp.	ENGIE Refrigeration	Quantum	R-134a oder R-1234ze		✗ 60	am Markt	2.500
K.26	Komp.	Climaventa	FOCS2-W /H 1301 - 9604	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✗ 60	am Markt	2.400
K.27	Komp.	Uponor	GEOZENT Profi	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✗ 60	am Markt	2.000
K.28	Komp.	Frigopol	FHTHP 1000	R-236fa	1,1,1,3,3,3-Hexafluorpropan	✗ 60	am Markt	1.130
K.29	Komp.	Kapag AG	-	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	✗ 60	am Markt	800
K.30	Komp.	Heliotherm	-	-	-	✗ 60	am Markt	134
K.31	Komp.	IBK-Refrigeration	-	-	-	-	am Markt	-
R.1	Rotat.	ECOP	Rotation Heat Pump K7	spezielle Mischung aus Edelgasen		✓ 150	Versuchsanl.	700

Nr.	Technologie	Hersteller	Bezeichnung	Kältemittel / Lösungsmittel	max. VL-Temp. [°C]	Technologie-reife	Leistung [kW]
A.1	Abs.	Thermax	TYPE II	-	✓ 160	am Markt	10.000
A.2	Abs.	Hybrid Energy AS	-	Mischung aus NH3 und H2O	✓ 120	am Markt	2.000
A.3	Abs.	Johnson Controls / YORK	YHAP-C	R-718 Wasser	✓ 95	am Markt	40.000
A.4	Abs.	CNIM	INVEN HEAT	Wasser/Lithiumbromid	✓ 95	am Markt	20.000
A.5	Abs.	Johnson Controls / YORK	-	Wasser/Lithiumbromid	✓ 90	am Markt	2.300
A.6	Abs.	Shuangliang Eco-Energy	-	Wasser/Lithiumbromid	✓ 90	am Markt	-

Legende	
Komp.	Kompressionswärmepumpe
Rotat.	Rotationswärmepumpe
Abs.	Absorptionswärmepumpe

Stand: 10. November 2016

3.2.2 Zusammenfassung zum Stand der Technik von Hochtemperatur-Wärmepumpen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Technologie für Wärmepumpenanwendungen mit großen Leistungen (MW-Bereich) bis zu 120 °C am Markt verfügbar ist. Es wird außerdem intensiv an der Forschung im Bereich der Wärmepumpentechnologie sowie der Weiterentwicklung neuer Kältemittel gearbeitet.

Aufgrund der spezifischen Anforderungen und unterschiedlichen Ausgangssituationen der Wärmequellen und -senken können allerdings keine standardisierten Lösungen angeboten werden. Für jeden Anwendungsfall muss ein Konzept erstellt werden, welches individuell zu betrachten und zu prüfen ist. Aufgrund dieser Rahmenbedingungen erfolgen die Auswahl einer geeigneten Anlage, sowie des Kältemittels.

Je nach Temperaturhub und Art des Kältemittels, muss die Wärmepumpe als ein- oder mehrstufiger Prozess ausgeführt werden. Beim Einsatz gewisser Kältemittel müssen zahlreiche Vorschriften hinsichtlich Sicherheit und Umweltschutz beachtet werden, welche in Kapitel 3.4.1 Kältemittelverordnung genauer angeführt sind.

Als wichtigste Faktoren für einen wirtschaftlichen Betrieb von industriellen Hochtemperatur-Wärmepumpen, werden folgende angesehen:

- möglichst „kostenlose“ Wärmequelle
- günstige Antriebsenergie, d.h. bei Kompressionswärmepumpen: Direktanbindung an Kraftwerke um Stromnetzgebühren zu vermeiden.

Sind diese Faktoren nicht gegeben, rechnet sich eine industrielle Wärmepumpenanwendung in den meisten Fällen nicht. [1]

3.2.2.1 Herstellerinformationen / Meinungen Forschungsinstitute

In Tabelle 2 sind aktuelle Resümees/Trends renommierter Wärmepumpenhersteller und Forschungsinstitute zusammengefasst:

Tabelle 2: Herstellerinformationen/Meinungen Forschungsinstitute

FRIOTHERM

(Hersteller)

*„Für Turbo-Wärmepumpen/Kombianlagen im Leistungsbereich **2 bis 25 MW** gibt es seit über 30 Jahren positive Betriebserfahrungen bei Heißwasser - Austrittstemperaturen von bis zu über **90 °C**.“ [9] S. 36*

*„**Turbokompressoranlagen** sind im Betrieb sicher und liefern bewiesene **Verfügbarkeiten von über 99%** im Betrieb. [9] S. 36 Sie ermöglichen des Weiteren die anforderungskonforme Abdeckung von Bedarfsschwankungen.“ [10] S. 39*

VIESSMANN

(Hersteller)

[11] S. 39

Systemlösungen mit Wärmepumpen werden aufgrund des zunehmend volatilen Strommarktes mit regenerativen Einspeisern und den daraus resultierenden stark schwankenden Strompreisen immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Durch diese Systemlösungen mit Wärmepumpen sollen sich folgende Vorteile ergeben:

- „Entkopplung von temporärer Verfügbarkeit und Preisen“
- „Zwischenspeicherung von Energie (Wärme und Strom)“
- „Einspeisung überschüssiger elektrischer Energie“

Erreicht werden soll dies durch die Vernetzung von dezentralen Erzeugern und Verbrauchern zu virtuellen Kraftwerken (z.B. BHKW und Wärmepumpen zusammen mit Speichern).

Durch diese **Smart-Grid Fähigkeit**, also integrierten Systemen aus Energieerzeugern und Speicherkapazitäten sowie der Vernetzung vieler Anlagen, soll auch zukünftig die volle **Versorgungssicherheit bei volatilen Strommärkten** gewährleistet sein.

Zudem erlauben **neue Kältemittel** und **Fortschritte** in der **Verdichtertechnologie** immer **größere Maschinen** bei immer **größeren Temperaturhüben** und **attraktiven COP**.

ECOP

(Hersteller)

Durch die neue Technologie der **Rotationswärmepumpe** sollten sich folgende Vorteile ergeben: [12] S. 78

- „Temperaturen zwischen **-20 °C** und **+150 °C** sind mit einer Maschine realisierbar (-100 °C bis +200 °C in Zukunft)“
- „Flexibel einsetzbar (wie ein Wärmetauscher)“
- „Verwendung eines umweltfreundlichen (**GWP=0**), nicht brennbaren und nicht toxischem Arbeitsmittel“
- „Wärmeleistungen bis zu **2 MW** (6 MW in Zukunft)“
- „ECOP Wärmepumpe als Schwungradspeicher verwendbar“

IEA HPP Annex 35

Anwendungs-
möglichkeiten für
industrielle
Wärmepumpen

„Lt. den Recherchen im Rahmen dieses Vorhabens könnte theoretisch ca. **30 % des Wärmebedarfs der Industrie mit Hochtemperaturen-WP** mit Nutzttemperaturen bis **100 °C** abgedeckt werden.“ [3] S. 159

**WÄRMEPUMPE
AUSTRIA**

(Interessenvertreter der
österreich.
Wärmepumpenbranche)

[13] S. 83

- „**Wärmepumpen als intelligente Komponenten** im elektrischen „**Smart-Grid**“. (Strom als Leitenergie am Wärmemarkt „Power to Heat“)"
- „Heizen und Kühlen mit einer Technologie“
- „**Wärmepumpe als Wärmeerzeuger in Fernwärmenetzen**“
- „Integration von Wärmepumpen in industrielle Prozesse“

**AIT-Austrian
Institute of Techn.**

(Forschungsinstitution)

[14] S. 30

- „Wärmepumpen können einen signifikanten Beitrag zu **CO₂ Reduktion in Fernwärmenetzen** leisten“
- „**T_{kond} = 105 °C** reicht aus, um die **größte CO₂ Emissions-einsparung** zu erzielen“
- „**Strom/Gaspreisverhältnis** hat einen wesentlichen **Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit**“
- „**Flüsse** sind auch in alpinen Regionen als **Wärmequelle** für Wärmepumpen geeignet (mögliche Vereisung am Verdampfer erfordert innovative Maßnahmen und neue Regelkonzepte)“ [15] S. 28
- „Labor- und Pilotanlagen zeigen, dass mit **verfügbaren Kältemitteln** ein Betriebsbereich von **T_e bis 90 °C** und **T_c bis 150 °C** möglich ist. In **Zukunft vielleicht noch höher.**“

**Klima Energie
Fonds Fernwärme**

„**22% aller Wohnungen** in Österreich werden heute mit **Fern- und Nahwärme versorgt**. Trend steigend.“ [16] S. 3

„Die Nutzung von Abwärme steigert die Energieeffizienz von Industriebetrieben, reduziert den Einsatz von Energieträgern sowie die damit verbundenen Kosten und leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz“

„Wärmepumpen könnten eine der **Flexibilisierungsoptionen** zum Ausgleich des **schwankenden Stromangebots** aus Wind und Solarenergie sein, deren Anteil in künftigen Energieversorgungssystemen zunehmen wird.“

„**Fernwärmenetze sind riesige** vorhandene und damit **kostenlose Wärmespeicher.**“ [16] S. 5

Fraunhofer ISE	<u>Rolle von Großwärmepumpen im Energienetz:</u>
Institut für Solare Energiesysteme	<ul style="list-style-type: none">– Wärmenetze mit zentralem Speicher und vielen Wärmequellen (Wärmepumpe eher zum „Füllen“ von Speichern mit Ökostrom)– „<i>Hohes EE-Stromdargebot: Wärmepumpe → sonst KWK</i>“ [17]S.36– „<i>Fluktuierende Erneuerbare Energien (Sonne, Wind) werden dominante Energieträger</i>“– „<i>Die Bedeutung von elektrischem Strom wird steigen</i>“– „<i>Einsatz von Groß-Wärmepumpen in Wärmenetzen, Nichtwohngebäuden und Industrieprozessen</i>“– „<i>Wesentlicher Beitrag von Großwärmepumpen zu Regelenergie im Verbund mit KWK bzw. Gasturbinen</i>“– „<i>Netzdienlicher Betrieb erfordert Einsatz von technischen Speichern</i>“
[17] S. 43	

3.2.2.2 Aktuelle Forschung / Studien zum Thema industrielle Wärmepumpe

Folgende Forschungsprojekte befinden sich derzeit unter der Leitung des BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) in Ausarbeitung, welche unter dem Link www.nachhaltigwirtschaften.at abgerufen werden können:

IEA HPP **Annex 42**: Wärmepumpen in intelligenten Energienetzen nachhaltiger Städte (Smart Grids)

Start: Mai 2013

Ende: **Juli 2016** geplant. → derzeit noch laufend

IEA HPP **Annex 47**: Wärmepumpen in Fernwärme- und -kälte-Systemen

Start: 01.01.2015

Ende: 31.12.2017

IEA HPP **Annex 48**: Industrielle Wärmepumpen II (Temp. bis 150 °C)

Start: April 2016

Ende: April 2019

3.2.3 Referenzanlagen

In nachfolgender Tabelle 3 sind Referenzanlagen angeführt, welche eine Hochtemperatur-Wärmepumpe im oberen Leistungsbereich nutzen. Die angeführten Projekte werden nicht zwangsläufig für die Fernwärmenutzung eingesetzt. Es sind somit sämtliche Großwärmepumpen nach Temperatur und Leistungsbereich für diverse Anwendungsgebiete angeführt, da als Wärmesenke jede Wärmeanwendung dienen kann.

Die Übersichtstabelle enthält überwiegend nur elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen und wenig Absorptionswärmepumpen, da man sich in diesem Projekt vorwiegend auf die Nutzung solcher Anlagen konzentriert. Dies resultiert einerseits aus fehlenden Hochtemperatur-Abwärmequellen im Untersuchungsgebiet und andererseits aufgrund der Teilnahmefähigkeit von Kompressionswärmepumpen am Regelenergiemarkt bzw. ihrer Smart Grid Fähigkeit.

Tabelle 3: Referenzanlagen

Nr. Projekt / Standort	Standort	Wärmequelle	Technologie	Hersteller	Bezeichnung	VL-Temperatur [°C]	Leistung [kW]	Bemerkung
1 Wärmepumpe Marienhütte / Energie Graz	Österreich / Graz	Abwärme aus Kühlwasserkreislauf	Komp.	Friotherm		95	8.000	seit Mai 2016
2 Flughafen Köln/Bonn	Deutschland	KWK-Abwärme in Heizkraftwerk	Abs.			95	5.200	
3		Abwärme Ammoniak Kältemaschine	Komp.	Ochsner	IWH 350 RP3	95	375	
4 Viken Fernwärme AS	Norwegen / Oslo	Abwasser	Komp.	Friotherm	Unitop® 50FY	90	18.400	
5 Wärmepumpe Drammen	Norwegen / Drammen	Meerwasser (40m Tiefe / 8-9°C)	Komp.	Star Refrigeration		90	13.500	
6 Spanplattenproduzent Fa. Egger	Österreich / St.Johann	Rauchgaskondensationswärme	Abs.			90	13.200	
7 Université de Bourgogne	Frankreich / Dijon	Serverraumkühlung	Komp.	Ochsner	IWHSS 430 R2 R3	90	420	
8 Großwärmepumpen Créteil	Frankreich / Créteil	Geothermie (Thermalwasser)	Komp.			89	4.400	
9 Kakola Kombianlage	Finnland / Turku	behandeltes Abwasser	Komp.	Friotherm		85	40.000	
10 Kronopolj	Deutschland	industr. Abwärme	Komp.	GEA		83	4.500	
11 Sarsborg II FW	Norwegen	industr. Abwärme	Komp.	GEA		82	3.000	
12 Värtaan Ropsten	Schweden / Stockholm	Meerwasser	Komp.	Friotherm	Unitop® 50FY	80	180.000	6*30 MW
13 Rolfsbukta	Norwegen	Meerwasser indirekt	Komp.	Friotherm		80	16.000	
14 Biomasseheizkraftwerk Schweighofer Fiber	Österreich / Hallein	Rauchgaskondensationswärme	Abs.	/ Absorption GmbH / CNIM		80	7.500	
15 Hefeproduzent JÄSTBOLLAGET	Schweden / Stockholm	Abwärme	Komp.	Termoekonomi		80	6.000	
16 Suomenoja Heat Pump Station	Finnland / Espoo Fortum	behandeltes Abwasser	Komp.	Friotherm		78	48.000	
17 FX & FW-Versorgung	Schweden / Stockholm	Meerwasser	Komp.	Friotherm	SUZLER UNITOP® 33CY	78	26.700	Winter
18 Nimrod power station	Schweden	Meerwasser	Komp.	Friotherm	4 Unitop® 33/28CPY	78	26.700	
19 Sandvika Anlage	Norwegen	Roh-Abwasser (10°C)	Komp.	Friotherm		78	21.000	3 Anlagen
20 FW-Versorgung	Aschach – Hartkirchen (OO)	Transformatorabwärme	Komp.	Ochsner	IWH 240 ER3	75	1.000	
21 Fernwärme Wien	Österreich / Wien	Fernwärme Rücklauf	Komp.	Friotherm	Unitop 28	75	255	
22 SYSAV waste-to-energy plant	Schweden / Malmö	Rauchgasabwärme	Komp.	Friotherm	Unitop® 33/28	70	19.000	
23 Dalian-Xinghai	China	Meerwasser	Komp.	Friotherm		65	8.300	
24 Lackieranlage SSI Schäfer	Deutschland / Neunkirchen		Komp.	KKT chillers		65	700	
25 Katni Vala	Finnland	Meerwasser	Komp.	Friotherm	5 Unitop® 50FY	62	90.000	
26 Lotte World Tower	Südkorea / Seoul	Erdwärmesonden und Flusswasser	Komp.	Viessmann		57	22.200	
27 STADTwerke Amstetten	Österreich / Amstetten	Roh-Abwasser	Komp.	Ochsner		45	228	
28 IKEA Berlin-Lichtenberg	Deutschland	Abwasser Drucksystem	Komp.	Ochsner	3 x IWHSS20ER2	40	1.500	
29 Shoppingcenter Atrio	Österreich / Villach	Erdwärmepfähle (800 Stk.)	Komp.			-	7.200	Niebertemperaturw.
30 Insselspital	Schweiz / Bern		Komp.	Viessmann		-	1.789	
31 Marstal Solar District Heating / SUNSTORE 4	Dänemark	Solarenergie	Komp.	Advansor		-	1.500	
32 Kälte-Fernwärme	Schweiz / Resort Walensee	Grundwasser (10°C)	Komp.			-	1.420	
33 Eishalle Liebenau	Österreich / Graz	Abwärme Kälteanlage Eishalle	Komp.			-	700	Inbetriebnahme August 2016
34 Kläranlage ARA Gössendorf	Österreich / Graz	Abwasser	Komp.			-	7000-14000	Inbetriebnahme ab 2018
35 Großwärmespeicher Linz AG	Österreich / Linz	Abwärme Industrie	Planung von 2.Groß-WP in Verbund mit Speicher			98	85.000	Planung

3.3 Lastmanagement / Einsatzstrategien von Wärmepumpen

Das Grundproblem mit dem man sich heute durch den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energiesystemen hauptsächlich befasst, ist die Trennung von Erzeugung und Verbrauch. Strom wird nicht immer genau dann benötigt, wenn er zur Verfügung steht und umgekehrt.

Durch schwer zu planende Verbrauchs- und Erzeugungsprognosen kann es in gewissen Situationen zu einem Überangebot bzw. Engpass an Elektrizität kommen, es kommt zu einem Ungleichgewicht im Stromnetz.

Üblicherweise erfolgt die Anpassung der Leistung und Frequenz im Netz durch Großkraftwerke und -verbraucher. Im Falle eines Überangebotes an elektrischem Strom kann es zu Abschaltungen von erneuerbaren Erzeugern kommen, um das Stromnetz zu stabilisieren, d.h. einen Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch herzustellen.

Aufgrund der aktuellen Energiepolitik soll diese Aufgabe zukünftig von erneuerbaren Energiequellen und flexiblen kleinen dezentralen Energieanlagen übernommen werden. [18]S.1

Um nun trotzdem zu vermeiden, dass erneuerbare Erzeuger vom Netz genommen werden, bedarf es intelligenten Systemen, welche unter der Bezeichnung „Smart Grids“ zusammengefasst werden.

Unter Smart Grids versteht man definitionsgemäß intelligente Stromnetze, welche durch ein abgestimmtes Management mittels zeitnaher und bidirektionaler Kommunikation zwischen

- Netzkomponenten
- Erzeugern
- Speichern
- Verbrauchern

einen energie- und kosteneffizienten Systembetrieb für zukünftige Anforderungen unterstützen. [19]

In anderen Worten ist ein Smart Grid ein intelligentes Stromnetz, welches die kommunikative Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, elektrischen Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen der Elektrizitätsversorgung umfasst. [20]

Dieses Zusammenspiel der einzelnen Segmente kann als zusammenhängendes und interagierendes System veranschaulicht werden (Abbildung 13).

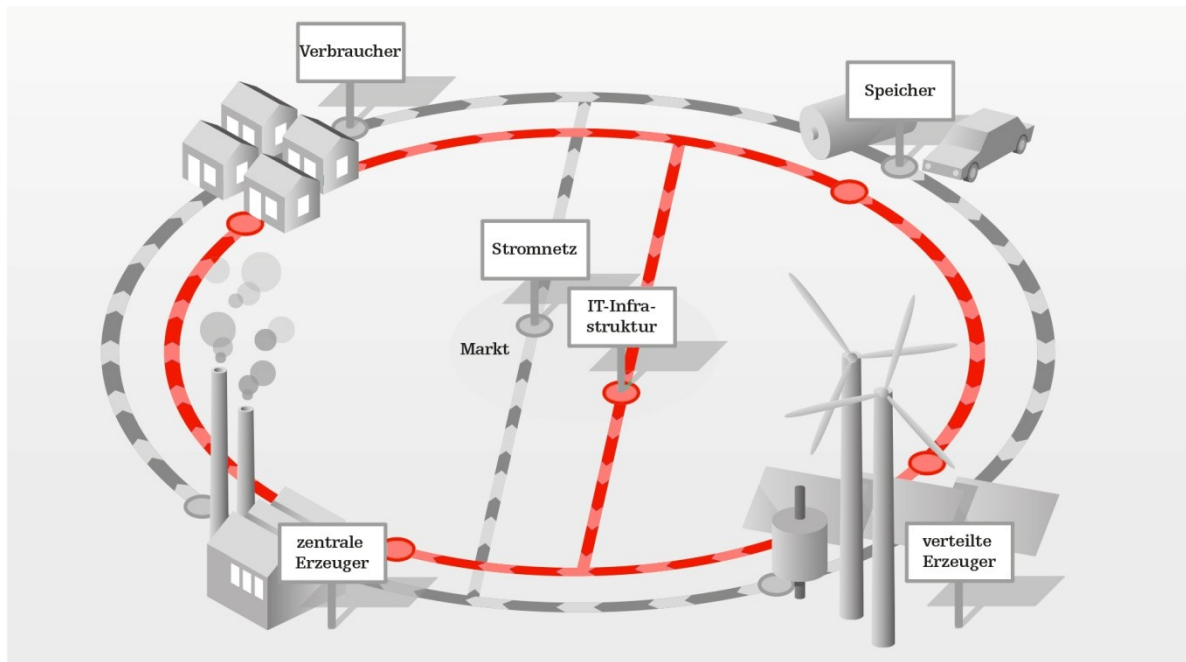


Abbildung 13: Smart Grid System [21] S. 20

Es wird derzeit immer häufiger versucht Wärmepumpen durch ihr Lastverschiebepotential in Zusammenhang mit thermischen Speichern in Smart-Grid Netze zu integrieren, d.h. eine zeitliche Entkopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch zu schaffen (Abbildung 14).

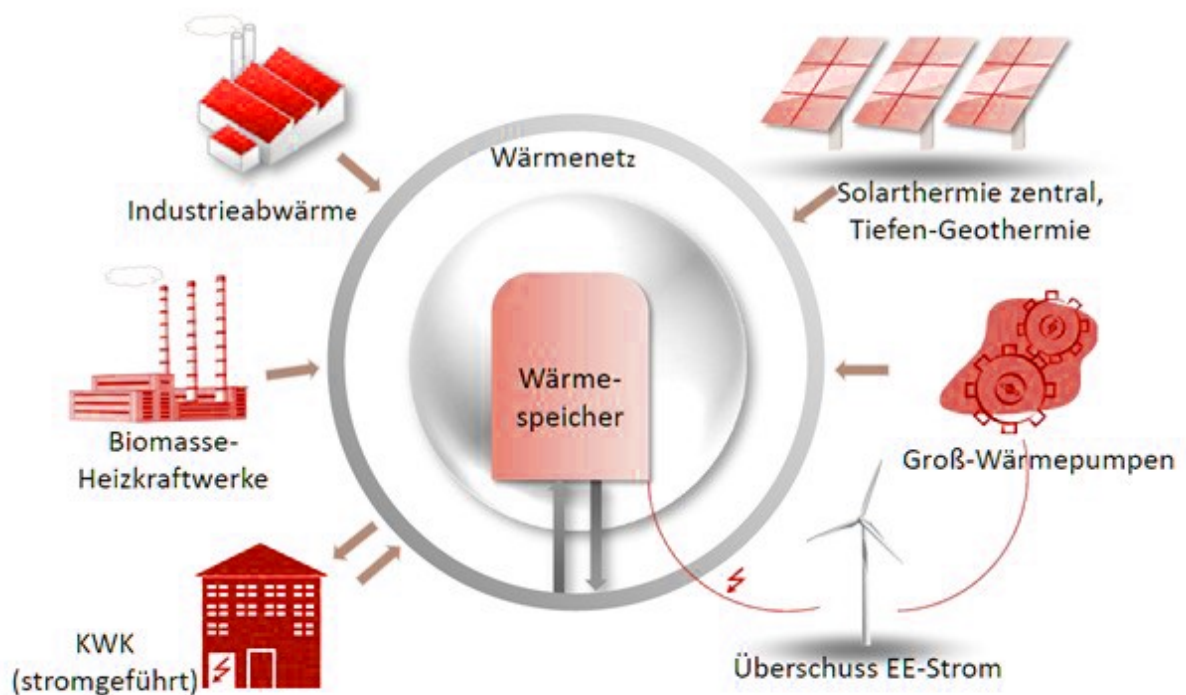


Abbildung 14: Wärmepumpen im Verbund mit thermischen Speicher [22] S. 11

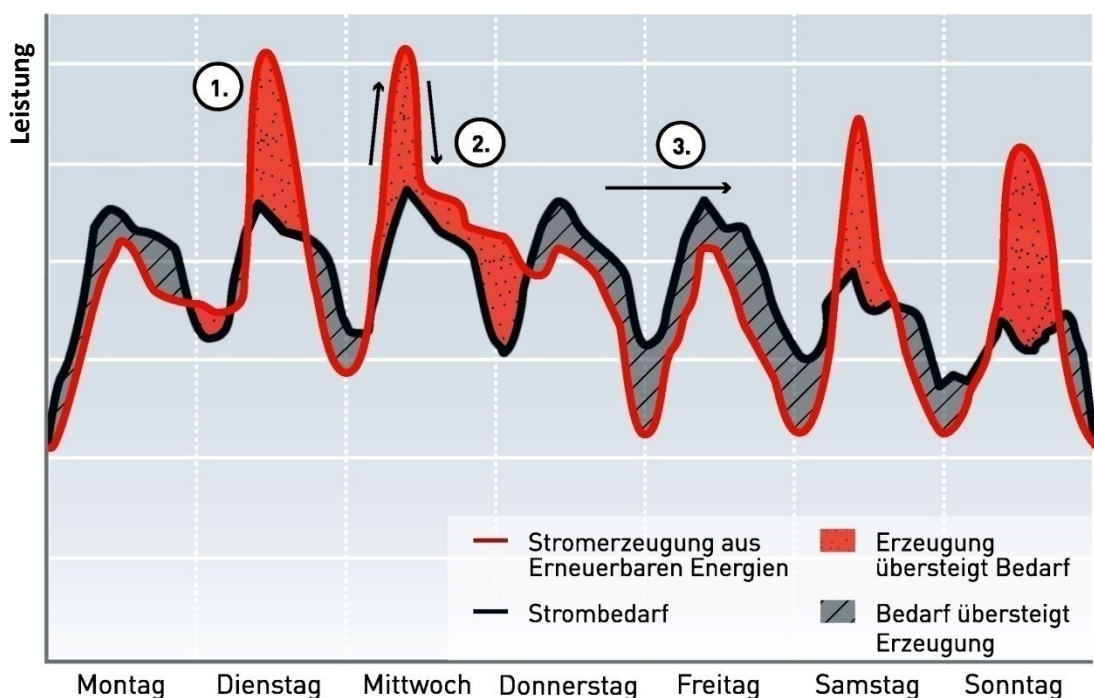


Abbildung 15: Lastmanagement durch Wärmepumpe/Speicher Verbundsystem [23] S. 10

Abbildung 15 zeigt ein Beispiel für eine solche Entkopplung und wurde in der Zeitschrift „Renews Spezial“ der Agentur für erneuerbare Energien in Berlin wie folgt beschrieben: [23]S. 10

1. Wenn die Stromerzeugung den Strombedarf übersteigt, d.h. die Stromproduktion durch erneuerbare Energien steigt z.B. durch erhöhte Sonneneinstrahlung (PV) extrem an, kommt es zu einer Überproduktion. Wärmepumpen können überschüssigen Strom aufnehmen und die erzeugte Wärme in Speicher einspeisen.
2. Durch externe Witterungsbedingungen unterliegen erneuerbare Energien extremen Schwankungen und sind schwer berechenbar. Einspeisung kann rasch ansteigen oder abnehmen.
3. Wenn der Strombedarf die Erzeugung übersteigt, müssen variable Stromverbraucher wie Wärmepumpen usw. vom Netz gehen um ein Stromgleichgewicht zu erreichen. Wärmeversorgung erfolgt in dieser Zeit durch thermische Speicher.

Es ist allerdings bekannt, dass Hochtemperatur-Wärmepumpen mit größeren Leistungen (MW-Bereich) sehr empfindlich auf Betriebsparameteränderungen reagieren, was zumeist eine Verringerung des COP mit sich zieht. In einem Bericht über eine Wärmepumpen-Pilotanlage für Fernwärme der Wien Energie wird über folgende Betriebserfahrungen berichtet:

Hochtemperatur-Wärmepumpen reagieren äußerst sensibel auf Temperatur-, Durchfluss- und Lastschwankungen. Um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten, mussten Parameteränderungen in der Wärmepumpenregelung erfolgen. Eine übergeordnete Regelung muss zusätzlich Eintrittstemperaturen des Verdampfers und des Kondensators regeln. Generell war beschränktes Teillastverhalten feststellbar (Regelbarkeit nur in Stufen 50%, 75% und 100%). Änderungen des nutzbaren Temperaturbereichs waren nur durch eine Veränderung der Kältemittelfüllmenge erreichbar. [24] S. 7

Aufgrund der aktuellen Regelungen am europäischen Strommarkt, kann das Lastverschiebepotential der Wärmepumpe auch dazu genutzt werden, um auf Preisänderungen am Elektrizitätsmarkt zu reagieren (Abbildung 16). [18] S. 1

Der Strompreis ist im weiteren Sinne bereits ein Resultat der Netzsituation (Gleichgewicht zwischen Erzeugung & Verbrauch).

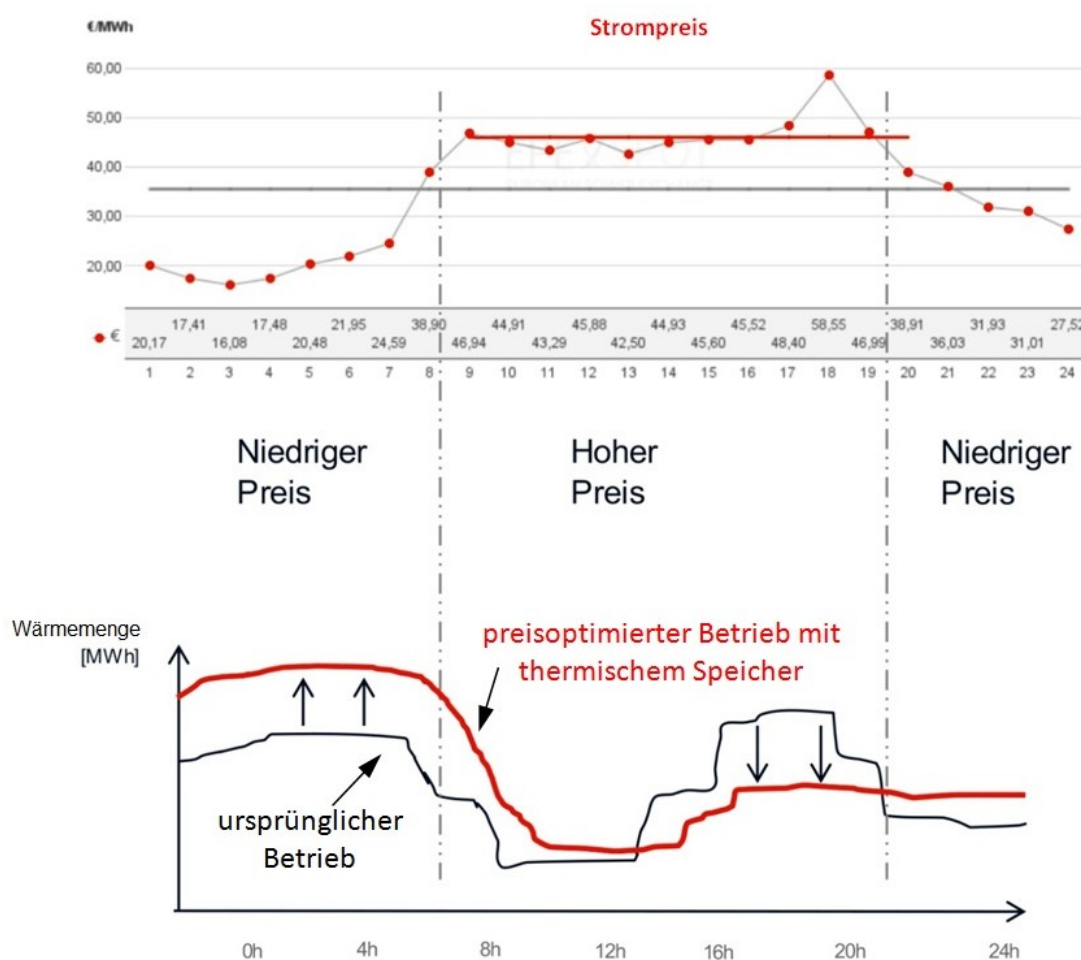


Abbildung 16: Lastverschiebung in Abhängigkeit von Preissignal [18]

In einem Forschungsbericht des Austrian Institut of Technology wurde ermittelt, dass die Betriebskosten einer Wärmepumpenanlage unter Berücksichtigung eines dynamischen Preissignals signifikant reduziert werden können, dies allerdings mit einer Reduktion der Effizienz der Wärmepumpe verbunden war. [18]

In einem weiteren Bericht zu Lastverschiebung wurde versucht, eine Wärmepumpe mit einem externen Signal zu steuern, welches die Glättung der Residuallast zum Ziel hatte. Die Residuallast ist die Nachfrageleistung (Last) abzüglich der volatilen Einspeisung. In dieser Studie wurde allerdings ein Mehrbedarf an elektrischer Energie durch die externe Regelung festgestellt, welche durch eine Effizienzminderung der Wärmepumpe selbst, die Anhebung der Pufferspeichertemperatur und den somit resultierenden höheren Wärmeverlusten des Speichers verursacht wurden. [25] zitiert nach [26]

Aus Gründen der Empfindlichkeit bzw. der Regelbarkeit von industriellen Hochtemperatur-Wärmepumpen kann allerdings nicht sichergestellt werden, ob solche Anlagen mit größeren Leistungen für diese Regelstrategien geeignet sind, da nahezu alle Versuche auf kleineren Wärmepumpen (10 kW-Bereich) für Einfamilienhäuser basieren.

3.3.1 Zusammenfassung Lastmanagement/Einsatzstrategien Wärmepumpen

Zusammenfassend kann erwähnt werden, dass die Lastverschiebung mit Wärmepumpen in Zusammenhang mit thermischen Speichern bzw. die Nutzung von zeitvariablen Strompreisen als Regler-Eingangssignal bei kleinen Anlagen möglich und sinnvoll ist und sich dadurch folgende Vorteile ergeben könnten:

- Wärmepumpen als intelligente Komponenten im elektrischen „Smart-Grid“ System als Flexibilitätsoption am fluktuierenden Energiemarkt-Zeitliche Entkopplung zwischen Erzeugung und Verbrauch
- Reduktion von regionalen Netzengpässen [27]
- Nutzung von ansonsten abgeregeltem Strom aus erneuerbaren Energiequellen [27]
- Reduktion der Betriebskosten

Jedoch gibt es auch einige Herausforderung, die zu bedenken sind:

- Empfindlichkeit der Effizienz (COP) gegenüber schnellen Betriebszustandsänderungen
- komplexe Steuerung bzw. Einbindung/Vernetzung in das „Smart Grid“ System
- Abhängigkeit von speziellen Tarifen je Lastfall bzw. stark schwankender Strompreise

Bei Hochtemperatur-Wärmepumpen im MW-Bereich und hohen Vorlauftemperaturen wird hinsichtlich Effizienz und Einhaltung des COP's allerdings noch ein konstanter Betriebszustand gefordert, womit von Einsätzen am Regenergiemarkt derzeit eher abgeraten wird.

Aus diesen genannten Gründen ist es zwingend notwendig, für jeden Anwendungsfall eine eigene Untersuchung des gesamten Energiesystems/-verbunds anzustellen, um Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Anlage treffen zu können.

3.4 Gesetze und Verordnungen

Beim Betrieb von industriellen Hochtemperaturwärmepumpen gilt es einige gesetzliche Rahmenbedingungen zu beachten, welche in Tabelle 4 zusammengefasst sind.

Tabelle 4: Gesetze und Verordnungen

Wasserrecht WRG 1959 idgF	<p>Auszug aus dem Leitfaden Grundwasser-Wärmepumpen vom Land Salzburg, bei Verwendung von Erd- oder Wasserwärmepumpen: [28] S. 4</p> <p><i>„Anlagen, die mit einer Gewässerbenutzung verbunden sind, unterliegen einer wasserrechtlichen Bewilligungspflicht. Bei Anlagen zur thermischen Nutzung des Grundwassers sind folgende Bewilligungstatbestände gegeben:</i></p> <ul style="list-style-type: none">– <i>Gemäß §§ 9 und 10 ist zur Erschließung oder Benutzung des Grundwassers und zu den damit im Zusammenhang stehenden Eingriffen in den Grundwasserhaushalt sowie zur Errichtung oder Änderung der hierfür dienenden Anlagen die Bewilligung der Wasserrechtsbehörde erforderlich.</i>– <i>Gemäß § 32 sind Einwirkungen auf Gewässer (z.B. durch Temperaturänderung) nur nach wasserrechtlicher Bewilligung zulässig.</i> <p><u>Zuständige Behörde</u> <i>Anlagen mit einer maximalen Entnahmeleistung bis zu 5 l/s fallen in die Zuständigkeit der Bezirkshauptmannschaften. Größere Entnahmeleistungen fallen in die Zuständigkeit des Landes.“</i></p>
Mineralrohstoffgesetz (MinroG), BGBl. I 38/1999 i. d. g. F.	<p>Dieses Gesetz gilt es ausschließlich bei Tiefenbohrungen für die Nutzung der Geothermie zu beachten:</p> <ul style="list-style-type: none">– ab Tiefe von mehr als 300 m erforderlich.– Zuständige Behörde ist die Montanbehörde, Sektion IV Energie und Bergbau im Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ).

Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz 2000

(UVP-G 2000)
BGBl. 697/1999 i.

Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen zu prüfen, ob das geplante Bauvorhaben (Errichtung neuer Anlagen oder Änderungen bestehender Anlagen) UVP-pflichtig ist.

Speziell im Hinblick auf Änderungen von bestehenden UVP-pflichtigen Anlagen wie z.B.: thermischen Kraftwerken, oder Eingriffe in die Wasserwirtschaft.

Im Besonderen wird es nur wasserwirtschaftliche Vorhaben (Nutzung oder Umleitung von Grundwässern und Gewässern), oder Änderungen an thermischen Kraftwerken betreffen, welche eine Brennstoffwärmeleistung über 100 MW aufweisen.

Gewerbeordnung 1994

(GewO 1994)

Einholung der Betriebsanlagengenehmigung.

Naturschutzgesetz

Zu betrachten, sofern durch das geplante Vorhaben Eingriffe oder Auswirkungen auf den Naturschutz entstehen könnten.

Kältemittelverordnung

Beschreibung siehe Punkt 3.4.1

3.4.1 Kältemittelverordnung

Mit 09.06.2014 ist die (neue) F-Gase Verordnung, die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006, in Kraft getreten und hat mit 01.01.2015 Gültigkeit erlangt. [29]

Mit dieser EU-Verordnung, die unter anderem für Unternehmen gilt, welche fluorierte Treibhausgase herstellen, verwenden, rückgewinnen, zerstören, oder mit F-Gasen befüllte Einrichtungen betreiben, werden Kältemittelfüllmengen nicht mehr in kg, sondern nach ihrem Treibhauspotential (GWP – global warming potential) gewichtet.

Das Ziel der Verordnung ist, Emissionen von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in der EU bis zum Jahr 2030 durch diverse Einschränkungen deutlich zu verringern. Die Verordnung sieht eine Verschärfung der Einsatzbedingungen von herkömmlichen fluorierten Kältemitteln vor, einschließlich der schrittweisen Beschränkung der am Markt verfügbaren Produkte und Mengen.

So müssen sich z.B. Betreiber von Anlagen, welche F-Gase in einer Menge von mindestens 5 Tonnen CO₂-Äquivalent enthalten, regelmäßigen Dichtheitskontrollen unterziehen. Typische Anlagen sind:

- Ortsfeste Kälteanlagen, ortsfeste Klimaanlage, ortsfeste Wärmepumpen
- Ortsfeste Brandschutzeinrichtungen
- Organic-Rankine-Kreisläufe (ORC-Anlagen)

Dabei ist die Häufigkeit der Dichtheitskontrollen, von der Menge an fluorierten Treibhausgasen in der Anlage, welche als CO₂-Äquivalente angegeben werden und vom Vorhandensein eines Leckage-Erkennungssystems abhängig. Kontrollintervalle können somit zwischen 3- und 24 Monate betragen. Ein Leckage-Erkennungssystem ist ab einer Menge von 500 Tonnen CO₂-Äquivalenten zwingend vorgeschrieben.

Wenn für den Anlagenbetreiber durch die Verordnung regelmäßige Dichtheitskontrollen vorgeschrieben sind, muss dieser ebenfalls Aufzeichnungen zu dieser Einrichtung führen. Inhalte der Aufzeichnungen sind in der Verordnung näher festgelegt.

Bei der Beauftragung zur Durchführung von Dichtheitskontrollen muss darauf geachtet werden, dass eventuelle Auftragnehmer für die jeweilige Tätigkeit zertifiziert sein müssen! [30]

3.4.1.1 Verbote von Kältemitteln

Im Zuge der Verordnung wurde ein „Phase Down Szenario“ (Reduktionsplan) beschlossen, welcher den Einsatz von Kältemittel mit zu hohem GWP zukünftig stufenweise verbietet (Abbildung 17).

Waren 2015 noch Kältemittel mit einem GWP von 2500 erlaubt, dürfen 2030 nur mehr Kältemittel mit einem GWP < 500 zum Einsatz kommen.

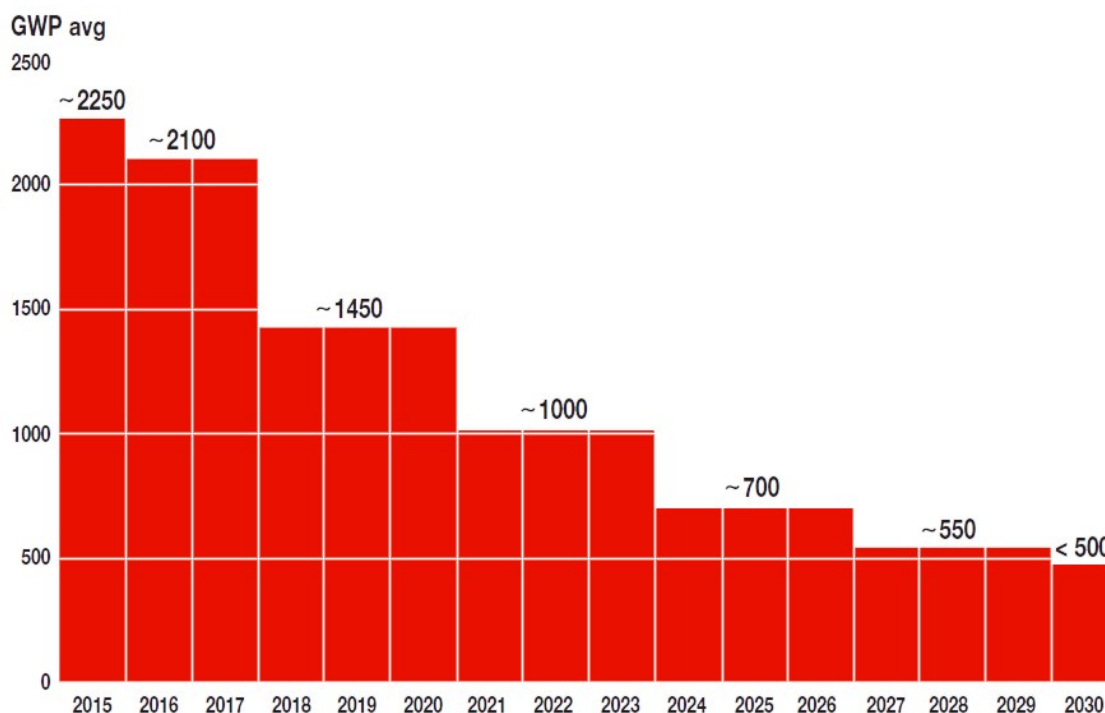


Abbildung 17: Phase Down Szenario F-Gase Verordnung [31] S. 5

Es gelten allerdings zahlreiche Ausnahmen für die gewerbliche Anwendung. So wird z.B. das meist verwendete Kältemittel R-134a in Kühl- und Gefriergeräten ab 2022 verboten sein. In der gewerblichen Verwendung darf es allerdings im primären Kältemittelkreislauf von mehrteiligen Kälteanlagen mit Leistungen über 40 kW begrenzt verwendet werden. [31] S. 6

Aus diesem Grund sind Forscher zurzeit auf der Suche nach langfristig einsetzbaren System-Alternativen. Derzeit werden als Alternativen zu den fluorierten Kältemittel Stoffe verwendet, die teilweise eine hohe Brennbarkeit oder Toxizität aufweisen. (Kohlenwasserstoffe, Ammoniak).

Zu diesem Segment der natürlichen Kältemittel, welche kein Fluor enthalten, zählt neben NH₃ und Isobutan auch CO₂, welches eine vielversprechende langfristige Perspektive darstellen könnte.

Der Vorteil bei der Verwendung dieser natürlichen Kältemittel liegt darin, dass diese weitaus geringere GWP-Werte aufweisen und somit Betreiber solcher Anlagen nicht das volle

Ausmaß an Beschränkungen oder Auflagen wie Meldepflicht und Dichtheitsprüfungen zu erwarten hätten. Natürliche Kältemittel werden jedoch ebenfalls, wie in Anhang IV der Verordnung angeführt, nach Ihrem GWP eingestuft und bewertet, bleiben aber durch den geringen Summen-GWP-Wert auch bei höheren Füllmengen zumeist unter gewissen Grenzwerten. [32]

Natürliche Kältemittel fallen in die Kategorie „Zugelassene Kältemittel unter Vorbehalt der Einhaltung der Sicherheitsanforderungen“ und unterliegen keiner Bewilligungs- und Meldepflicht. Ab einer Füllmenge von 3 kg muss jedoch ein Wartungsheft geführt werden.

Durch die physikalischen Eigenschaften der Kältemittel sind die Einsatzmöglichkeiten im Bezug auf hohe Vorlauftemperaturen, hohe Wärmehübe, oder geringe Quelltemperaturen teilweise deutlich beschränkt. In gewissen Fällen ist es deshalb unumgänglich eine Wärmepumpenanlage mehrstufig auszuführen.

In Tabelle 5 sind die wichtigsten Kältemittel und deren Eigenschaften angeführt, welche laut vorigen Recherchen derzeit in Industrie- und Hochtemperaturwärmepumpen eingesetzt werden:

Tabelle 5: Kältemittelübersicht für industrielle Hochtemperaturwärmepumpen

Gruppe	Kältemittel	GWP	ODP	brennbar	toxisch	Rechtlicher Status	
FKW/HFKW	R-134a	1,1,1,2-Tetrafluorethan	1430	0	nein	nein	Kältemittel für begrenzte Anwendungen in neuen Anlagen und Geräten. BEWILLIGUNGSPFLICHT
	R-245fa	1,1,1,3,3-Pentafluorpropan	1030	0	nein	nein	
HFO	R-1234ze	1,3,3,3-Tetrafluorpropan	7	0	nein	nein	Zugelassene Kältemittel unter Vorbehalt der Einhaltung der Sicherheitsanforderungen keine Bewilligungs- und Meldepflicht
	ÖKO 1	-	-	-	nein	-	
natürliche Kältemittel	R-744	Kohlenstoffdioxid CO ₂	1	0	nein	bedingt (geringe Giftigkeit)	
	R-717	Ammoniak	0	0	ja (gering entflammbar)	ja	
	R-600	n-Butan	3	0	ja (hochentz.)	nein	
	R-718	Wasser	0	0	nein	nein	-

Für FKW/HFKW-Anlagen (Fluorkohlenwasserstoffe bzw. halogenierte FKW) mit mehr als 3 kg Kältemittel gelten Meldepflicht, Dichtigkeitsprüfungen und es muss ein Wartungsheft geführt werden. Für HFO-Anlagen (Fluorolefinwasserstoffe) und Anlagen mit natürlichen Kältemittel mit mehr als 3 kg Kältemittel ist lediglich ein Wartungsheft zu führen. Natürliche Kältemittel sind für Neuanlagen, Erweiterungen und Umbauten anzustreben.

3.5 Fördermöglichkeiten

Förderungen von industriellen Wärmepumpen werden in Österreich allgemein durch die Umweltförderung des BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) abgewickelt, wobei die Kommunalkredit Public Consulting (KPC) die durchführende Organisation darstellt (www.umweltfoerderung.at).

Förderungen, welche den in dieser Arbeit betreffenden Bereich umfassen, können in drei Bereiche unterteilt werden und sind in Tabelle 6 genauer beschrieben:

- Abwärmeauskopplung
- Fernwärmeanschluss
- Wärmepumpe

Wichtige Zusatzinformation: Die Förderung wird nur für Anlagen gewährt, welche nicht am CO₂-Emissionshandel teilnehmen! Die Kombination der Umweltförderung im Inland mit weiteren Landesförderungen ist jedoch möglich.

Tabelle 6: Fördermöglichkeiten

Abwärmeauskopplung [33]	<p><i>„Gefördert werden Anlagen zur Auskopplung von Abwärme aus Industrie- und Gewerbetrieben, die Einspeisung von Abwärme in neue und bestehenden Netze sowie die Wärmeverteilung zu den Abnehmern und die Nutzbarmachung der Abwärme durch Wärmepumpen.</i></p> <p><i>Die Förderung beträgt in Abhängigkeit von der Art der Anlage bis zu 35% der förderungsfähigen Investitionsmehrkosten.“</i></p> <p><i>Förderungsobergrenze: 4,5 Mio. Euro</i></p> <p><i><u>Förderungsfähige Anlagen(teile):</u></i></p> <ul style="list-style-type: none">– <i>„Auskoppelungsanlage mit Wärmetauscher“</i>– <i>„Fernwärmeleitungen (Transportleitung) und Verteilzentrale“</i>– <i>„Verteilnetz mit Übergabestationen“</i>– <i>„Zentrale und dezentrale Wärmepumpen zur Temperaturerhöhung“</i>– <i>„weitere, für den Betrieb relevante Anlagenteile“</i>
Fernwärmeanschluss [34]	<p><i>„Gefördert werden alle Anlagenteile innerhalb der Grundstücksgrenze und im Eigentum des Förderwerbers für einen Fernwärmeanschluss mit einer Leistung ≥ 400 kW.</i></p> <p><i>Einreichen können alle Betriebe, sonstige unternehmerisch tätige</i></p>

Organisationen sowie Vereine und konfessionelle Einrichtungen.

Die **Förderung** beträgt in Abhängigkeit von der Art der Anlage **bis zu 30% der förderungsfähigen Investitionsmehrkosten.**“

Förderungsfähige Anlagen(teile):

- „Übergabestation“
 - „Einbindung ins Heizungssystem“
 - „Rohrleitungen, Pumpen, Ventil“,
 - „Speicher, Boiler“
 - „Grabungsarbeiten“
 - „weitere, für den Betrieb relevante Anlagenteile“
-

Wärmepumpen

[35]

„Gefördert werden **elektrisch betriebene Wärmepumpen**, die für die **Erzeugung von Heizwärme** oder **Warmwasser** verwendet werden.

Einreichen können alle Betriebe, sonstige unternehmerisch tätige Organisationen sowie Vereine und konfessionelle Einrichtungen.

Die **Förderung** beträgt **bis zu 20% der förderungsfähigen Investitionsmehrkosten.**

Für die **Förderung von Anlagen $\geq 400\text{ kW}$ thermisch** ist die **erzielte CO₂-Einsparung entscheidend!**“

Achtung: „Zeitpunkt der Antragstellung ist von der Leistung der Wärmepumpe abhängig.“

Förderungsfähige Anlagenteile und Kosten

Hauptkomponenten:

- „Wärmepumpe“
- „Wärmequellenanlage (Erdwärmekollektor, Grundwasserbrunnen, Tiefenbohrung)“
- „Pufferspeicher“

Nebenkomponenten (im Ausmaß von maximal 30% der Kosten der Hauptkomponenten):

- „Primärseitige hydraulische Installation“
 - „Anlagenregelung“
 - „Elektrische Installation“
 - „Montagekosten“
 - „Planungskosten“
 - „weitere, für den Betrieb relevante Anlagenteile und Kosten“
-

4 AKTUELLE SITUATION DER ENERGIEVERSORGUNG

4.1 Kraftwerkspark der Salzburg AG

Die Versorgung des Wärmenetzes der Salzburg AG erfolgt derzeit mit einer Vielzahl von zentralen & dezentralen Wärmequellen. Zur Abdeckung der Grund- und Mittellast werden eine GuD-Anlage (GuD-Gas und Dampf), Erdgas-KWK-Anlagen (KWK-Kraft Wärme Kopplung) und Biomasse-KWK-Anlagen herangezogen. Unterstützt werden diese bereits heute durch Auskopplung von industrieller Abwärme, wie z.B. die der Unternehmen Kaindl und Schweighofer Fiber. Um die ebenfalls auftretende FW-Spitzenlast (FW-Fernwärme) abdecken zu können, wird primär ein FW-Speicher eingesetzt. Der noch offene Spitzenbedarf wird mit Erdgaskesselanlagen sowie Elektrodenkesselanlagen (Power2Heat) abgedeckt.

Tabelle 7 zeigt eine Liste der derzeit im Einsatz befindlichen Kraftwerke, Abwärmeanlagen sowie Wärmespeicher zur Aufbringung der notwendigen Wärmeenergie für das FW-Verbundnetz Salzburg-Hallein. Die Summenengpassleistungen betragen ca. 386 MW_{therm.} und ca. 100 MW_{elektr.}. Die maximal benötigte Leistung betrug 2016 ca. 280 MW_{therm.}.

Im FW-Verbundnetz Salzburg-Hallein liegt der Anteil an erneuerbaren Erzeugern (Biomasse) inkl. Abwärmenutzung, bezogen auf die Leistung, aktuell bei rund 8% (therm.). Im Bezug auf die Erzeugungsmenge beträgt der erneuerbare Anteil rund 25%.

Tabelle 7: Kraftwerke / Erzeuger im Fernwärmenetz Salzburg [36]

Bezeichnung	Typ	Brennstoff	Inbetriebnahme	Leistung	
				MW _{therm.}	MW _{elektr.}
Heizkraftwerk Salzburg Mitte	HKW/KWK mit GuD-Anlage	<u>Gasturbine:</u> Erdgas	2001	127,0	54,7
		<u>Schwerölkessel:</u> Heizöl schwer oder Erdgas			29,0
	Gas-Kesselanlage	Erdgas	2011	18,0	-
Heizkraftwerk Salzburg Nord	HKW/KWK	Heizöl schwer oder Erdgas	1994	49,5	13,5
	Heizöl leicht Kesselanlage	Heizöl leicht	1994	30,0	-
Biomasse-Heizkraftwerk Siezenheim	Biomasse-HKW/KWK	feste Biomasse	2004	7,8	1,5
Biogas-Blockheizkraftwerk Hallein	Biogas-BHKW/KWK	aufbereitetes Biogas	2006	1,1	1,0
Heizwerk Elsbethen	Gas-Kesselanlage	Erdgas	2007	17,3	-
Heizwerk Hallein	Gas-Kesselanlage	Erdgas	1991	10,6	-
Heizwerk Schwarzenbergkaserne	Gas-Kesselanlage	Erdgas	2009	17,0	-
Power2Heat Mitte	Power to Heat	-	2015	15,0	-
Power2Heat Nord	Power to Heat	-	2016	15,0	-
Abwärmeanlage Schweighofer Fiber	Abwärmeanlage	-	2001	12,0	-
Abwärmeanlage Kaindl	Abwärmeanlage	-	1970	6,0	-
Fernwärmespeicher HKW Nord	Wärmespeicher	-	2011	60,0	-
Summenengpassleistung				386,3	99,7

Gegenwärtig befinden sich zwei industrielle Wärmepumpen im Einsatz der Salzburg AG. Am Standort Schweighofer Fiber in Hallein wird die größte Wärmepumpe (Absorptionswärmepumpe) mit einer thermischen Leistung von ca. 7 MW betrieben. Die einzige elektrisch betriebene Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von rund 1 MW, die sich derzeit im Einsatz der Salzburg AG befindet, ist im Ökoenergiepark Bergheim verbaut und dient zur Anhebung der Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes. Mit dem Ökoenergiepark wird aber rein das Fernwärmenetz Bergheim versorgt, welches nicht mit dem Verbundnetz Salzburg-Hallein verbunden ist.

Allgemeine Informationen und Daten zu den beiden Wärmepumpen sind in Tabelle 8 angeführt:

Tabelle 8: Wärmepumpen der Salzburg AG [37]

Wärmepumpe Abwärmeanlage Schweighofer Fiber Hallein

Wärmepumpenart:	Absorptionswärmepumpe / thermische angetriebene Wärmepumpe
Hersteller:	Weir-Entropie (Nachfolgend Inven GmbH, jetzt CNIM Group)
Leistung:	7 MW _{therm.}
Temperaturniveau:	Quelle 60/40 °C, Senke 60/90 °C
COP:	ca. 1,8
Wärmequelle:	Rauchgaskondensation nach BM-HKW und BHKW BM-HKW/BHKW: Biomasse-Heizkraftwerk (Dampf) und Biogas-Blockheizkraftwerk
Brennstoffwärmeleistung:	30 MW _{therm.} und 2,6 MW _{therm.}
Wärmesenke:	FW-Verbundnetz Hallein-Salzburg

Wärmepumpe Ökoenergiepark Bergheim

Wärmepumpenart:	Kompressionswärmepumpe / elektrisch angetriebene Wärmepumpe
Hersteller:	Cofely
Leistung:	1 MW _{therm.}
Temperaturniveau:	Quelle 50/30 °C, Senke 50/60 °C
COP:	ca. 5,5
Wärmequelle:	Rauchgaskondensation nach BM-HW und BHKW BM-KW/BHKW: Biomasse-Heizwerk (Warmwasser) und Biogas-Blockheizkraftwerk
Brennstoffwärmeleistung:	3,5 MW _{therm.} und 1 MW _{therm.}
Wärmesenke:	FW-Netz Bergheim (Rücklauf-Temperaturerhöhung für Biomasse-Kesselanlage)

4.1.1 Einsatzplanung der Kraftwerke

Der Einsatz der Kraftwerke erfolgt grundsätzlich nach Merit-Order (die Anlage mit den niedrigsten Grenzkosten hat Vorrang). Weiters werden die stündlichen Brennstoff- und Strompreise für den Einsatz herangezogen. Diese Planung erfolgt im Voraus für die nächsten 7 Kalendertage, wobei es in der Intraday-Planung noch zu Anpassungen kommen kann.

4.2 Fernwärmenetz der Salzburg AG

Das Fernwärmenetz der Salzburg AG umfasst derzeit ein Leitungsverbundnetz (Salzburg-Hallein) mit einer Länge von rund 230km, welches ca. 22.000 Kundenanlagen mit Wärme versorgt. Im Jahr 2011 wurde die Umstellung des bestehenden Dampfnetzes auf die Heißwassernutzung abgeschlossen. Es wird also aktuell ein „altes“ für Dampf ausgelegtes Wärmenetz mit Heißwasser betrieben, wodurch es zahlreiche Faktoren wie Rohrdurchmesser, Isolierung usw. gibt, welche im Betrieb gegenüber einem neu verlegten FW-Netz Nachteile haben.

Das Leitungsverbundnetz kann in 4 Bereiche/Netzteile eingeteilt werden, welche über bidirektionale Wärmetauscherstationen (UFO - Umformerstation) hydraulisch entkoppelt sind: [38]

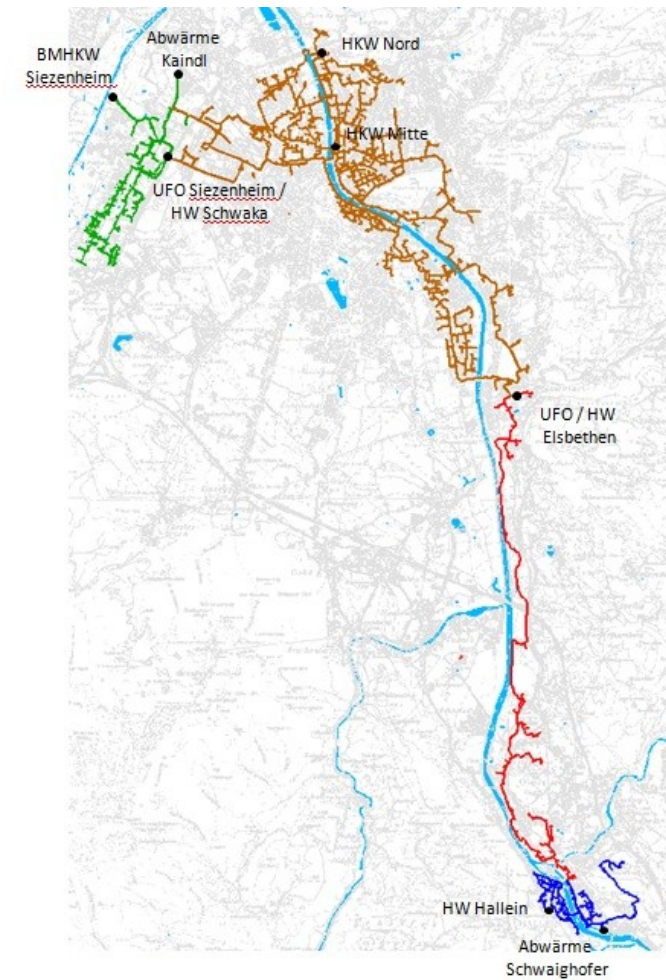
- Wärmenetz Salzburg Stadt (HL ca. 250 MW bei -15 °C)
- Westnetz (Siezenheim) (HL ca. 26 MW bei -15 °C)
- Wärmeschiene Hallein (HL ca. 19 MW bei -15 °C)
- Wärmenetz Hallein (HL ca. 21 MW bei -15 °C)

Die hydraulische Entkopplung ist aufgrund des zu überwindenden Höhenunterschieds und der daraus resultierenden Druckdifferenz zwingend notwendig.

Das zentrale Wärmenetz Salzburg Stadt stellt dabei bei weitem den größten Anteil mit einer Heizleistung (HL) von ca. 250 MW dar. Über die genannten „UFO Stationen“ (Umformer Stationen) kann sowohl Wärme von den Netzen ins Stadtnetz eingespeist, als auch Wärme vom Stadtnetz in die nachgeschalteten Netze übertragen werden. [7] S. 119

Die Wärmeschiene Salzburg-Hallein stellt bereits jetzt durch die aktuelle Einspeisesituation einen Engpass dar. D.h. die Leitung ist bzgl. ihrer übertragbaren Leistung ausgelastet. Ein zusätzlicher Wärmetransport weiterer Einspeiser von Hallein nach Salzburg und umgekehrt ist ohne Änderungen der Parameter (VL/RL-Temperaturen, Neubau usw.) somit nahezu ausgeschlossen.

Die tatsächlichen Größenverhältnisse des Verbundnetzes, sowie eine kurze Übersicht der wichtigsten Daten, sind in Abbildung 18 ersichtlich. Eine vereinfachte Abbildung des Fernwärmenetzes inkl. Erzeugeranlagen ist in Abbildung 19 dargestellt.



Eckdaten

- 22.000 Kunden
- 230 km FW-Leitungen

8 Einspeisepunkte

- Erdgas KWK + Power to Heat (HKW Mitte und Nord)
- Industrielle Abwärme (Schweighofer Fiber, Kaindl)
- Biomasse KWK (BMHKW Siezenheim)
- Spitzenlastkessel

Absatzentwicklung Salzburg Gesamt

- 2006: 580 GWh
- 2008: 635 GWh
- 2012: 760 GWh
- 2015: 760 GWh

Erzeugungsleistung

Engpassleistung:

- rd. 380 MW th.
- rd. 100 MW el.

Anteil Biom.-& Abwärme:

- rd. 27 MW th.

Anteil Power2Heat:

- rd. 30MW th.

■ Westnetz ■ Wärmenetz Salzburg Stadt ■ Wärmeschiene Hallein ■ Wärmenetz Hallein

Abbildung 18: Fernwärmeverbundnetz Salzburg-Hallein Übersicht [38] & [39] S. 3

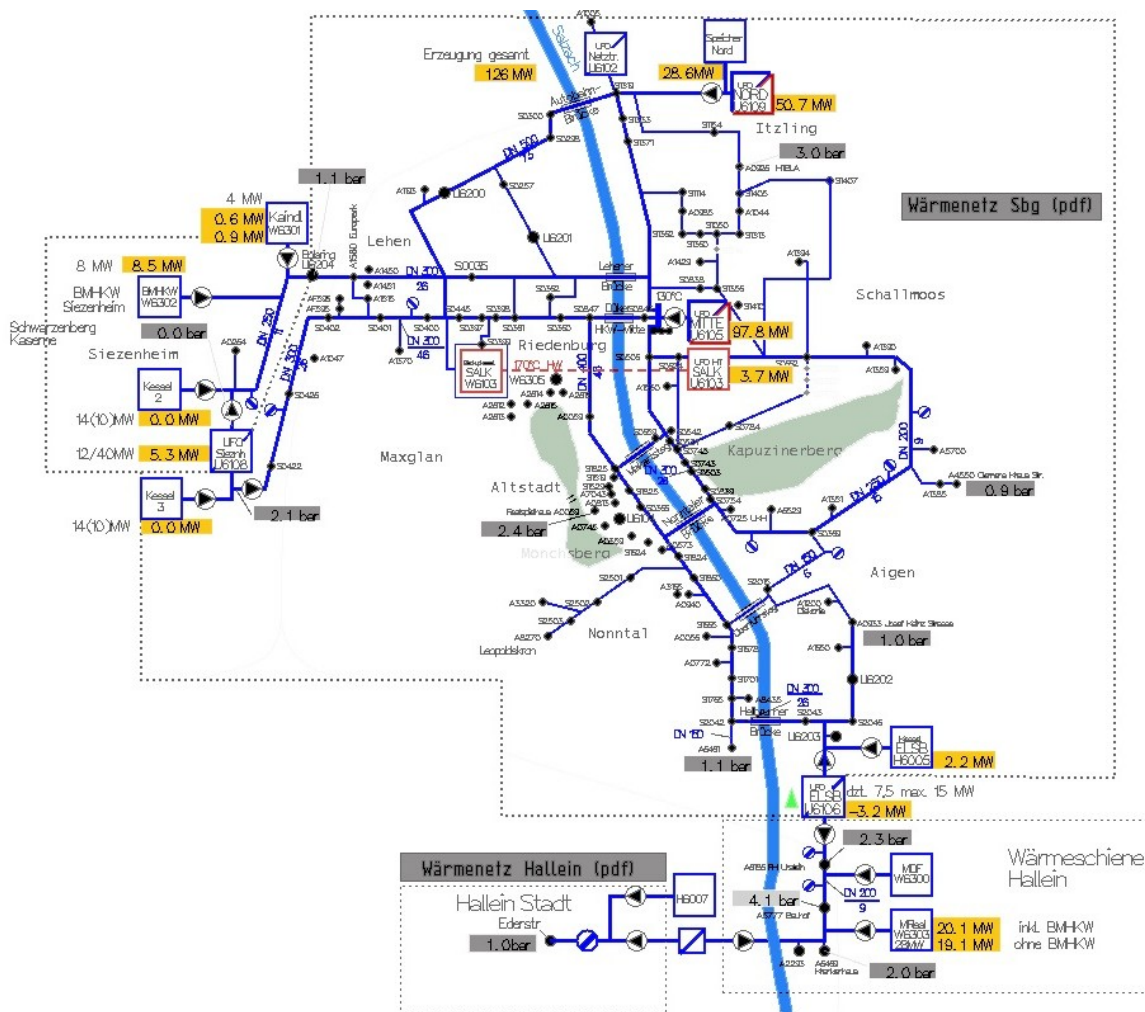


Abbildung 19: Fernwärmenetz Salzburg Detailansicht inkl. Erzeuger [40]

4.2.1 Benötigte Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes

Aufgrund der gegebenen Leitungsverhältnisse (Länge, Durchmesser, übertragene Energiemenge usw.) gibt es einen optimalen Betriebspunkt bzgl. der Vorlauftemperatur und der Umwälzmenge, um die benötigte Leistung zu übertragen und das Wärmenetz wirtschaftlich betreiben zu können.

Eine Absenkung der Vorlauftemperatur zur Reduzierung der Wärmeverluste würde zwangsläufig zu einer erhöhten Pumpleistung führen, da die Druckverluste / Rohrreibungsverluste nicht linear sondern quadratisch mit der Durchflussgeschwindigkeit ansteigen. Bei Änderungen im Leitungsnetz muss der optimale Betriebspunkt in jedem Fall wieder neu bestimmt werden. [41]

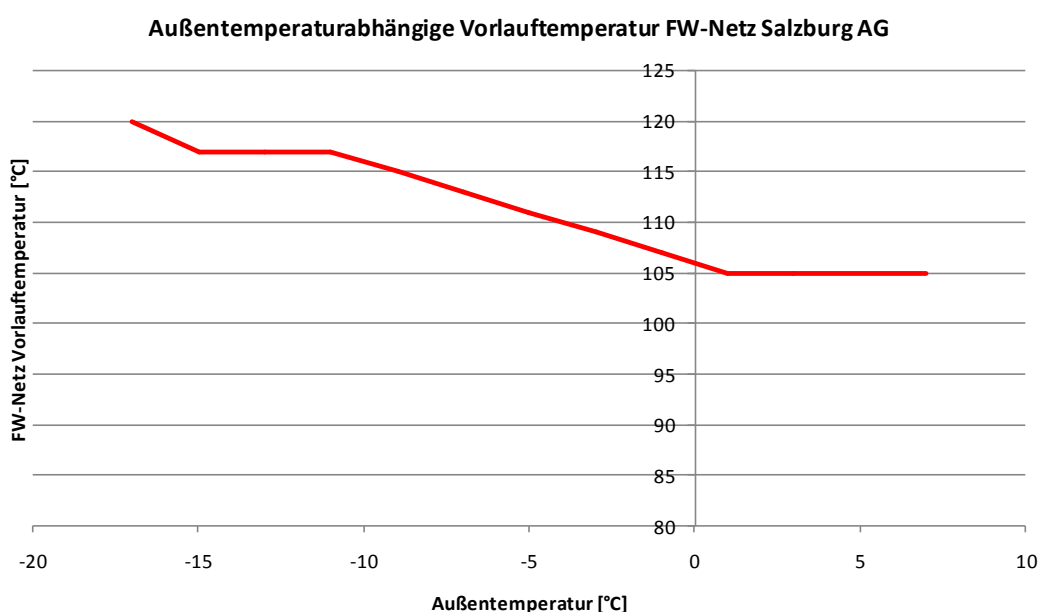


Abbildung 20: Außentemperaturabhängige Vorlauftemperatur FW-Netz Salzburg AG [41]

Abbildung 20 stellt die derzeit optimierten außentemperaturabhängigen Einspeise- bzw. Vorlauftemperaturen im gleitend-konstanten Betrieb dar, welche von 105 °C bei +1 °C Außentemperatur bis zu 120 °C bei -17 °C Außentemperatur variieren.

Diese teils hohen Einspeisetemperaturen werden von den Kunden nicht in vollem Ausmaß benötigt, sind jedoch aufgrund der aktuellen Netztopographie zur Gewährleistung einer Vollversorgung notwendig. [42]

5 ERHEBUNG VORHANDENER ABWÄRMEQUELLEN

5.1 Standortbestimmung

Zu Beginn wurden im ersten Schritt sämtliche potentielle Standorte und Wärmequellen, welche für eine mögliche Hochtemperatur-Wärmepumpenanwendung im Handlungsfeld der Salzburg AG in Frage kämen, in einer Standort-Technologie Matrix zusammengefasst.

In diese Matrix-Bewertung wurden sowohl die Situation der möglichen Abwärmequellen, das Potential der Fernwärmeeinspeisung als auch intern bekannte technische, wirtschaftliche und Umfeld-Aspekte berücksichtigt.




Durch diese Bewertung konnten bereits einige Anlagen als potentielle Standorte ausgeschlossen werden. Bei den positiv bewerteten Anlagen erfolgte jeweils eine genauere Betrachtung des Standortes mit Lokalaugenscheinen, sowie einer Erhebung des vorhandenen Abwärme- /Wärmepotentials.

Im Jahr 2015 wurde zusammen mit unterschiedlichen Projektpartnern (Land Salzburg, Ingenieurbüros) eine Studie über externe Abwärmepotentiale im Raum Hallein-Salzburg erstellt. Für zwei Standorte wurden in dieser Studie genauere Berechnungen hinsichtlich der Wärmegestehungskosten bei Einsatz einer Wärmepumpe zur Nutzung der Abwärme durchgeführt.

Des Weiteren wurden die Netzsituation, bzw. der Netzengpass Wärmeschiene Salzburg-Hallein, sowie zukünftige Wärmebedarfsdichten und Nachfragepotentiale für die Fernwärme modelliert.

Die Ergebnisse dieser Abwärmestudie konnten somit direkt in die Matrix eingearbeitet werden und als Datengrundlage und Informationsbasis für diese Arbeit herangezogen werden.

Die potentiellen Standorte wurden nach folgender Reihung anhand der möglichen Wärmequellen eingestuft:

-  Wärmepumpenbetrieb möglich
-  Wärmepumpenbetrieb mit gewissen Rahmenbedingungen möglich – Gegebenheiten prüfen
-  Wärmepumpenbetrieb ausgeschlossen

Die Ergebnisse mit spezifischen Bemerkungen dieser Bewertung sind in Tabelle 9 festgehalten.

Tabelle 9: Standort-Technologie-Matrix

Stand: 02.12.2016		potentielle Standorte				
		HKW-Mitte	HKW-Nord mit Direktleitung Lehen	HZW- Elsbethen	HZW- Schwarzenberg-kaserne	HZW- Hallein
Wärmequellen	Abwärme	Gespräch Roider/Meixner Ölabwärme Gas- & Dampfturbine? Abwärme Blocktrafo (Nebenkühlkreislauf)?	Gespräch Roider/Meixner	Abhängig von Geländeverbauung Rainerkaserne (Red Bull Zentrale), eventuell Kälteanforderung?	keine Abwärme verfügbar	keine Abwärme verfügbar
	RL Fernwärme	Hat direkt bei KW keinen Sinn, da Netzverluste nicht reduziert werden. Wenn dann auf Kundenseite!	Hat direkt bei KW keinen Sinn, da Netzverluste nicht reduziert werden. Wenn dann auf Kundenseite! Möglich wenn Einspeisung von weiterer Quelle - Geothermie?	Schiene Kapazitätserweiterung; Platzbedarf und Wirtschaftlichkeit	Rücklaufoptimierung bei Kunden stattgefunden - RL Temp. deshalb gering	Wärmetransport nur in Richtung Hallein-Stadt, denkbar in Heizhaus Hallein
	Kühlwasser (Kraftwerk)	zu geringes Temperaturniveau -> Betrachtung Nebenkühlkreislauf	Gespräch Roider/Meixner			
	Rauchgaskondensation	Gespräch Roider/Meixner	Gespräch Roider/Meixner			
	Flusswasser	Nein, Kühlwasser höheres Potential	technisch und wirtschaftlich zu aufwendiges Bauwerk			technisch und wirtschaftlich zu aufwendiges Bauwerk
	Grundwasser	Termin Huemer, Amt für öffentliche Arbeit (Dr. Krömer)	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	nähe Wasserschutzgebiet	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern
	Geothermie Tiefenbohrung (oberflächennahe)	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen. mögliche Wärmeentnahme vermutlich zu gering, wegen min. Zulauftemp. 12° bei ARA Siggerwiesen	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen. mögliche Wärmeentnahme vermutlich zu gering, wegen min. Zulauftemp. 12° bei ARA Siggerwiesen	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.
	Abwasser					
	Kälteanlagen					
Wärmequellen	Abwärme	keine Abwärme verfügbar	Ökühlung Trafo vermutlich zu gering?	Wärmetransport nur in Richtung Hallein - Hinterseer	Kaindl mit Direktleitung aus Rott	Alpenmilch mit Direktleitung KW Lehen
	RL Fernwärme	Absenkung RL-Temperatur - Hinterseer				Status Prüfen, bzgl. Produktionsumstellung Lamprechtshausen. Stimmen Angaben aus Abwärmestudie?
	Kühlwasser (Kraftwerk)			Wärmetransport nur in Richtung Hallein		
	Rauchgaskondensation	Netzanschluss FW prüfen - Hinterseer		Wärmetransport nur in Richtung Hallein		
	Flusswasser		technisch und wirtschaftlich zu aufwendiges Bauwerk	Wärmetransport nur in Richtung Hallein		
	Grundwasser	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern
	Geothermie Tiefenbohrung (oberflächennahe)	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.
	Abwasser		mögliche Wärmeentnahme vermutlich zu gering, wegen min. Zulauftemp. 12° bei ARA Siggerwiesen	Früherer Wärmepumpenstandort? Hinterseer		
	Kälteanlagen					
Wärmequellen	Abwärme	Abwärme aus Lager-, Generator- und tlw. Trafo-Kühlsystemen	Abwärme aus Lager-, Generator- und tlw. Trafo-Kühlsystemen	Abwärme aus Lager-, Generator- und tlw. Trafo-Kühlsystemen	Abwärme aus Lager-, Generator- und tlw. Trafo-Kühlsystemen	
	RL Fernwärme					
	Kühlwasser (Kraftwerk)					
	Rauchgaskondensation					
	Flusswasser	Prüfung Flusswasserentnahme, Auswirkung auf Wärmetauscher, Termin mit Zillner	Prüfung Flusswasserentnahme, Auswirkung auf Wärmetauscher, Termin mit Zillner	Bericht zu Power-to-Heat vorhanden. Möglichkeit gegeben.	?	
	Grundwasser	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern
	Geothermie Tiefenbohrung (oberflächennahe)	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.
	Abwasser					
	Kälteanlagen					Derzeitige Verwendung von Wärme aus Kälteanlage? Holz Vertrieb
Wärmequellen	Abwärme		Abwärme aus BHKW verfügbar, zusätzliche Leitung ggü. Standort Nord, Netz derzeit nicht ausgebaut			
	RL Fernwärme					
	Kühlwasser (Kraftwerk)					
	Rauchgaskondensation					
	Flusswasser		technisch und wirtschaftlich zu aufwendiges Bauwerk			
	Grundwasser	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern	Aktuellere Grundwasserkarten mit Tiefe und Entnahmemenge anfordern
	Geothermie Tiefenbohrung (oberflächennahe)	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Potential und Probebohrung vorhanden	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.	Aufgrund aktueller Berichte zum Projekt Hafnerstraße wirtschaftlich ausgeschlossen.
	Abwasser		nach ARA. Ca. 12°C vorhanden, nur mit zusätzlicher Wärmequelle Siggerwiesen			
	Kälteanlagen	Prüfung der aktuellen unternehmenspolitischen Situation? Wärme wäre vorhanden, derzeit aber keine Wärmerückgewinnung installiert.				Wegen fehlender FW-Leitung ausgeschlossen

5.2 Abwärmepotentiale

Anhand der Bewertung in der Standort-Technologie Matrix erfolgte bei folgenden Standorten eine genauer Untersuchung:

- HKW-Mitte
- HKW-Nord
- BMHKW-Siezenheim
- Schweighofer Fiber Hallein
- Kaindl
- Wasserkraftwerk Hallein
- Wasserkraftwerk Urstein
- Wasserkraftwerk Lehen
- Wasserkraftwerk Rott
- Sonde Obermoos
- Grundwasser
- Abwasserkanal

In den folgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der Besprechungen/Begehungen zusammengefasst. Im Zuge dieser Besprechungen wurde versucht Abwärmequellen aus den Prozessen, für eine Hochtemperatur-Wärmepumpennutzung, zu identifizieren und zu bewerten.

Die Wärmequelle „Flusswasser“ wurde aufgrund der technisch und wirtschaftlich sehr aufwendigen Bauwerke und den teils höheren Wärmepotentialen weiterer Quellen an betrachteten Standorten nicht weiter verfolgt. Zudem weist die Salzach teils beträchtliche Temperaturschwankungen auf (Sommer 15°C/Winter 0,5°C), welche am KW Lehen aufgezeichnet wurden (siehe Abbildung 21). Zum einen ist die geplante Wärmeproduktion genau gegenläufig zu dieser Schwankung und zum anderen beträgt die Flusstemperatur in den Wintermonaten, in denen die Wärmepumpen hauptsächlich im Einsatz wären, durchschnittlich nur 0,5 bis 4°C. Dadurch ist die Wärmeentnahme stark beschränkt, da es bei weiterer Abkühlung des Wassers zu Vereisungen am Wärmetauscher kommen könnte. Die starken saisonalen Temperaturschwankungen führen ebenfalls zu Problemen mit dem Kältemittel. Es müsste im Sommer ein anderes Kältemittel als im Winter verwendet werden, was die Betriebskosten und die Umweltbelastung enorm steigern würde. Außerdem müsste durch die Wärmepumpe ein enormer Temperaturhub aufgebracht werden, was einen geringen COP zur Folge hätte. Überdies würde enorm viel Platz für Wärmetauscher (ca. 2x2m pro 100kW Wärmeleistung) benötigt werden. Aufgrund dieser Faktoren und der

Vereisungs- und Verschmutzungsgefahr der Wärmetauscher wird von den Herstellern hierzu eher abgeraten. [43]

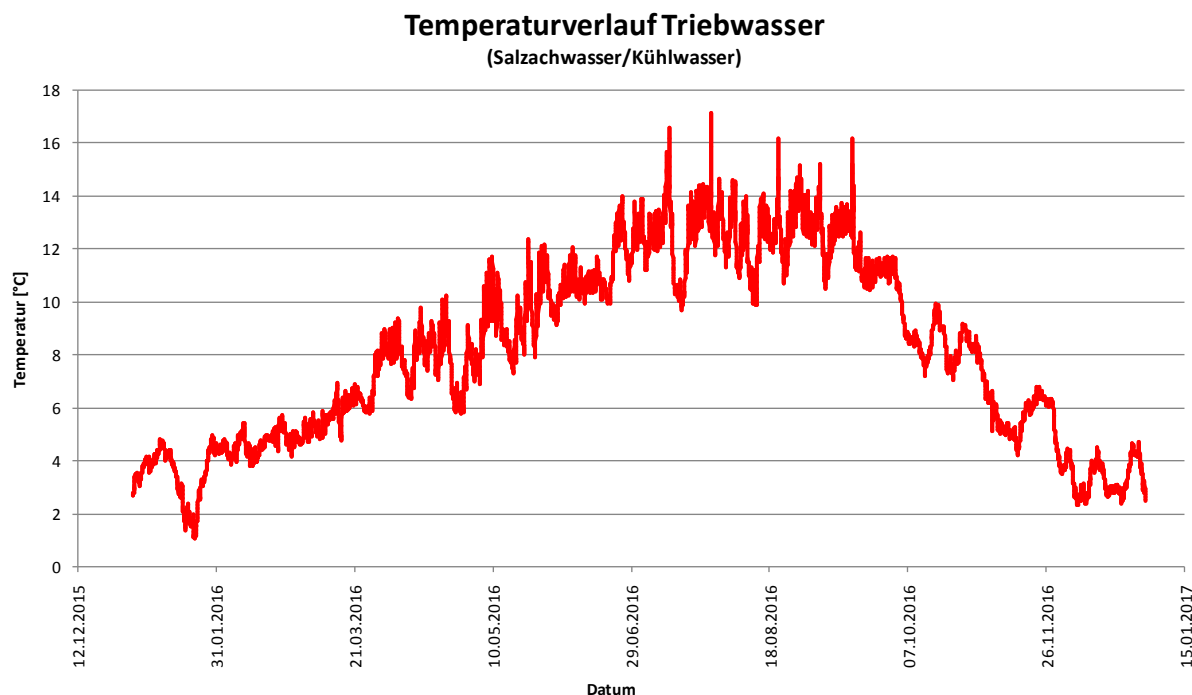


Abbildung 21: Temperaturverlauf Salzachwasser (KW Lehen)

Ein weiteres bekanntes Problem der Salzach ist, dass diese „scharfkantige“ Gletscherkristalle (Gletscherschliff) führt, welche eine enorm abrasive Wirkung aufweisen. Dies führt aktuell zu zahlreichen Problemen und hohem Verschleiß bei Rechen und Filteranlagen von Wasserkraftwerken und Kühlanlagen von Kraftwerken.

Aufgrund aktueller Berichte zum Bauprojekt Hafnerstraße (Bezirk Straßgang), welches das Thema Erdwärmesonden mit Regeneration zum Ziel hat, konnte die Wärmequelle „Geothermie/Tiefenbohrung“ ebenfalls aus wirtschaftlichen Gründen ausgeschossen werden. [44]

Simulationsprogramm EBSILON Professional:

Für die Standorte HKW-Mitte, HKW-Nord, BMHKW Siezenheim und Kaindl wurden die Abwärmequellen Rauchgaskondensation bzw. Rauchgasabkühlung mit Hilfe des Programms „EBSILON Professional“ simuliert.

Das Programm EBSILON Professional ist eine Simulationssoftware des Unternehmens STEAG Energy Services GmbH zur Modellierung und Simulation von thermodynamischen Prozessen/Kreisprozessen und dient hauptsächlich der Anlagenplanung, -auslegung sowie -optimierung im Kraftwerksbereich.

Haupteinsatzzweck dieser Software liegt in der Erstellung von neuen Kraftwerkskreisläufen sowie der Abbildung bestehender Kraftwerke zum Zweck des Performance Monitoring (Leistungsüberwachung, Wirkungsgradüberwachung, Bewertung der Effizienz im Teillastverhalten). Durch die Möglichkeit Bauteile individuell anzuordnen, können unter anderem auch Gasturbinen, Kälteanlagen und solarthermische Kraftwerke simuliert werden. [45]

Alle weiteren Berechnungen zu Kühlkreisläufen mit Wasser als Wärmemedium wurden wie in Kapitel 5.2.1.2 mit Formel (5-1) berechnet.

Als Ergebnistabellenformat wurde zur besseren Vergleichbarkeit ein Tabellenformat in Anlehnung zu jenem der Abwärmestudie [7] verwendet.

5.2.1 HKW-Mitte

5.2.1.1 Beschreibung Abwärmesituation HKW-Mitte

Am HKW-Mitte gibt es drei Anlagen, welche von der Rauchgasseite einzeln betrachtet werden müssen, da diese getrennte Rauchgasrohre besitzen. Die Haupt- & Nebenkühlkreise sind jedoch in einer Anlage gebündelt.

- Gasturbine mit Abhitze-kessel (AHK)
- Schwerölkessel/Gaskessel-Mitte (SÖK/GKM)
- Steamblock

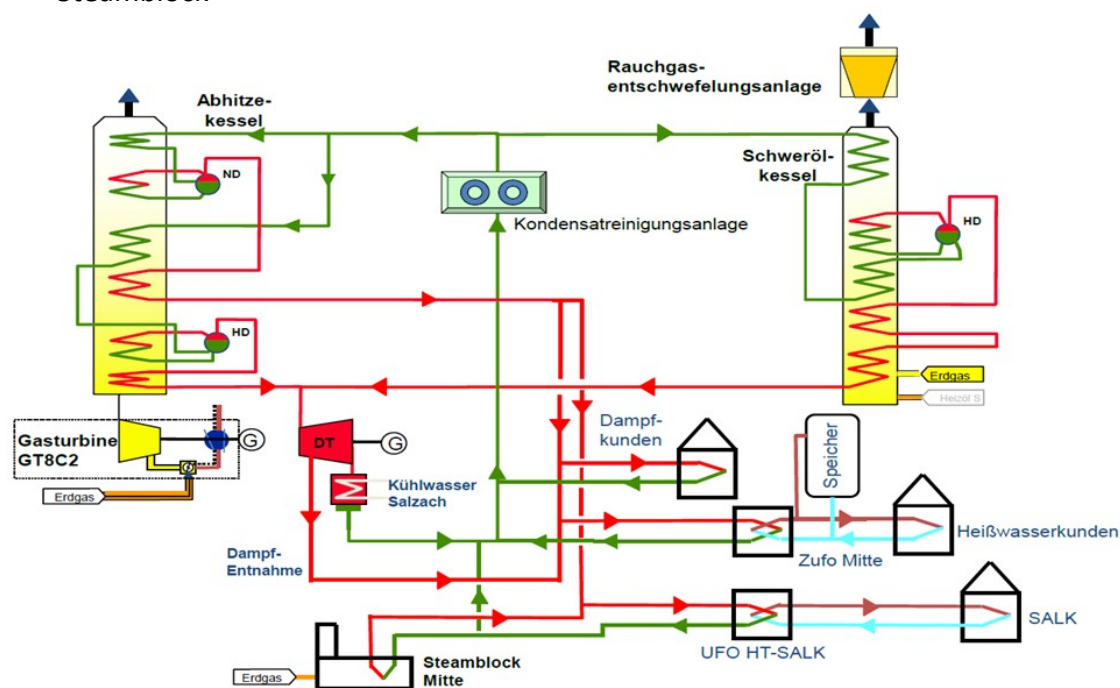


Abbildung 22: Prinzipschaltbild HKW-Mitte [46]

Hauptkühlkreis (Kühlwasser):

Dieser erscheint trotz den hohen Massenströmen aufgrund der geringen Temperaturniveaus weniger gut geeignet als der Nebenkühlwasserkreislauf. Massenstrom Hauptkühlkreis ca. $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einem Temperaturniveau im Bereich von $8-10^\circ\text{C}$.

Nebenkühlkreis (Abwärme Gas- & Dampfturbine inkl. Blocktrafo):

Die Abwärmen fallen alle gebündelt im Nebenkühlkreislauf an. Dieser würde sich vermutlich besser für eine Wärmepumpennutzung eignen als der Hauptkühlkreis, da bedeutend höhere Temperaturen (ca. 25°C) vorliegen.

Die Jahresdauerlinien des Nebenkühlkreises sind nachfolgend in Abbildung 23 dargestellt.

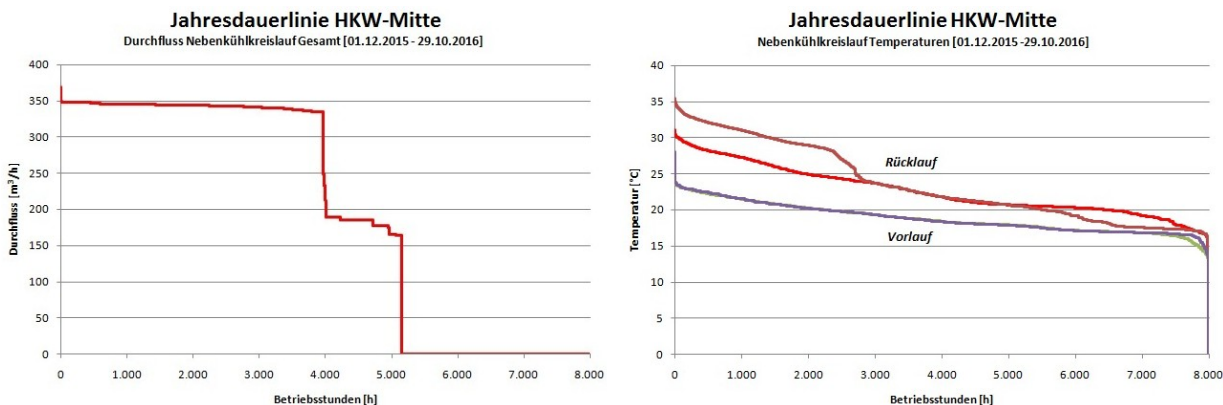


Abbildung 23: Jahresdauerlinien HKW-Mitte Nebenkühlkreis

Die Hauptverbraucher des Nebenkühlkreises werden hauptsächlich durch die Gasturbine des Abhitzekeessels bestimmt, wodurch für den Nebenkühlkreislauf die Betriebsstunden pro Jahr der Gasturbine angenommen werden können. Die Vorgabe des Betriebs lautet die Gasturbine zukünftig mit 3.000 h pro Jahr zu betreiben. Lt. Betriebsführung ist die Gasturbine im Schnitt dabei mit ca. 95 % Last in Betrieb, wodurch der Kühlkreislauf in den 3.000 h immer mit Volllast betrieben wird. [47]

Rauchgas Abhitzekeessel (AHK):

Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen darf das Rauchgas bei Gasbetrieb den Kamin bei allen drei Anlagen nicht unter 100 °C verlassen. Aufgrund kompakter Bauweise und engen Platzverhältnissen, ist im AHK aktuell nur mehr eine Höhe von ca. 600 mm am oberen Ende zwischen letzter Niederdruckschleife und Schalldämpfer verfügbar, in welcher ein neuer Abgaswärmetauscher installiert werden könnte. Zudem ist der Abhitzekeessel hängend gelagert, wodurch eine Erweiterung mit zusätzlichen Wärmetauschern mit enorm hohem Aufwand verbunden wäre.

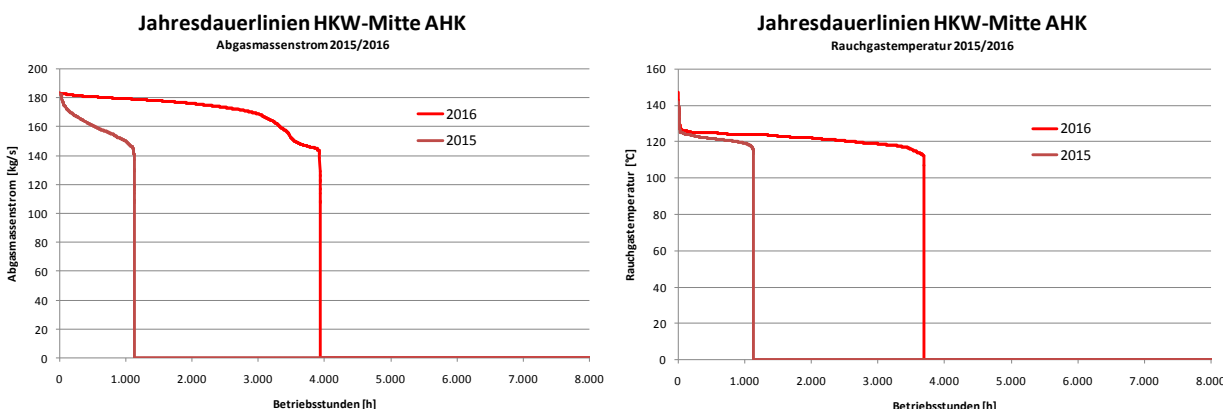


Abbildung 24: Jahresdauerlinien HKW-Mitte Abhitzekeessel

Abbildung 24 zeigt die Jahresdauerlinien des AHK der Jahre 2015/2016. Wie bereits beschrieben werden für die Gasturbine bzw. den Abhitzekeessel aber zukünftig 3.000 Betriebsstunden pro Jahr angenommen.

Rauchgas SÖK/GKM:

Da der Schwerölkessel - SÖK nun mit Erdgas betrieben wird, trägt er die Bezeichnung GKM (Gaskessel Mitte). Bei Betrieb mit Schweröl müsste die Temperatur vor dem Eintritt in die REA (Rauchgasentschwefelungsanlage) mind. 150 °C betragen, damit der REA-Prozess funktioniert. Aufgrund der äußerst geringen Einsatzzeit von Schweröl (seit 2010 null Stunden in Betrieb), kann dieser Betriebsfall allerdings vernachlässigt werden. Der SÖK kann daher aktuell rein für Erdgasbetrieb betrachtet werden.

Als möglicher Standort für einen zusätzlichen Wärmetauscher wäre nur das Ende des Rauchgasrohres denkbar, welches einen Durchmesser von ca. 2 m aufweist. Vorteilhaft wäre dabei, dass direkt neben dem Rauchgasrohr eine Platzmöglichkeit für einen Wärmepumpenstandort vorhanden wäre, wodurch die Rohrleitungslängen gering gehalten werden könnten.



Abbildung 25: Rauchgaskanal SÖK (links) mit möglichem Wärmepumpenstandort (rechts)

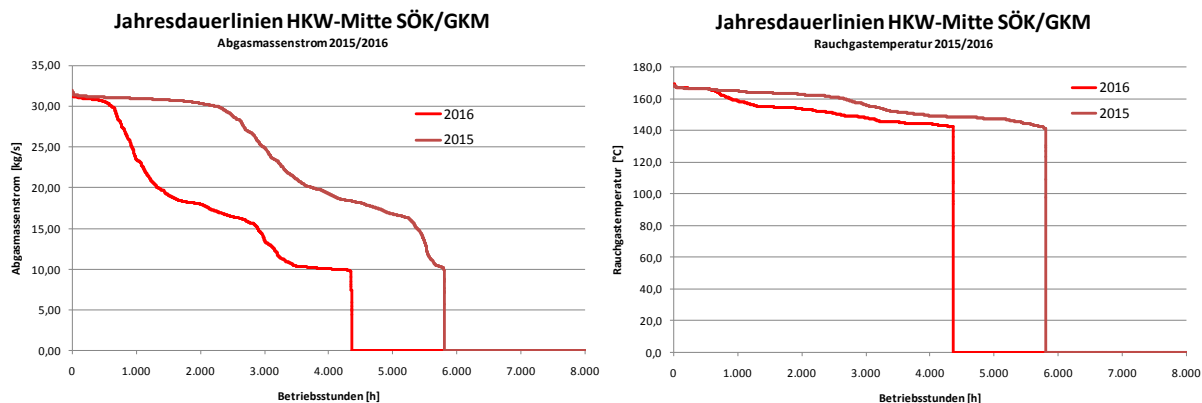


Abbildung 26: Jahresdauerlinien HKW-Mitte SÖK/GKM

Für eine erste Leistungsabschätzung wurden der Abgasmassenstrommittelwert mit 20 kg/s, sowie eine mittlere Rauchgastemperatur von 154 °C angenommen. Die gemittelte Betriebszeit aus 2015/2016 beträgt 5000 h.

Weitere standortspezifische Annahmen für die Simulation:

Abgasfeuchte: Am Standort gibt es keine Abgasfeuchtemessung.

Erdgasfeuchte: lt. Aussage von Hr. Kettl (Salzburg AG) ist das Erdgas als absolut trocken einzustufen. Erdgas hat im Gasnetz einen Taupunkt bei ca. -10°C.

Es sind somit rein die jeweilige Feuchte der Verbrennungsluft sowie der bei der Verbrennung entstehende Wasseranteil für den Feuchteanteil im Rauchgas ausschlaggebend.

Simulation Rauchgasabkühlung:

In Abbildung 27 ist das verwendete Schema der Simulation der Rauchgasabkühlung im HKW-Mitte Abhitzeessel (AHK) zu sehen. Alle weiteren Rauchgasabkühlungen wurden nach demselben Modell simuliert. Dabei wurde das Modell derart entwickelt, dass die Verbrennung entsprechend gesteuert wird, um nach dem Abhitzeessel jene Rauchgasparameter vorzufinden, welche laut aktuellen Emissionsdaten bzw. TÜV-Berichten am Ende des Abgaskanals auftreten. An dieser Stelle würde eine Wärmerückgewinnung angebracht werden, damit nutzbare Abwärmeenergie ausgekoppelt werden könnte.

Es gilt zu beachten, dass der „Punkt“ in den Angaben der Schemen des Programms EBSILON ein „Komma“ darstellt. Das heißt z.B. der Wert 152.000 MW entspricht tatsächlich 152 MW.

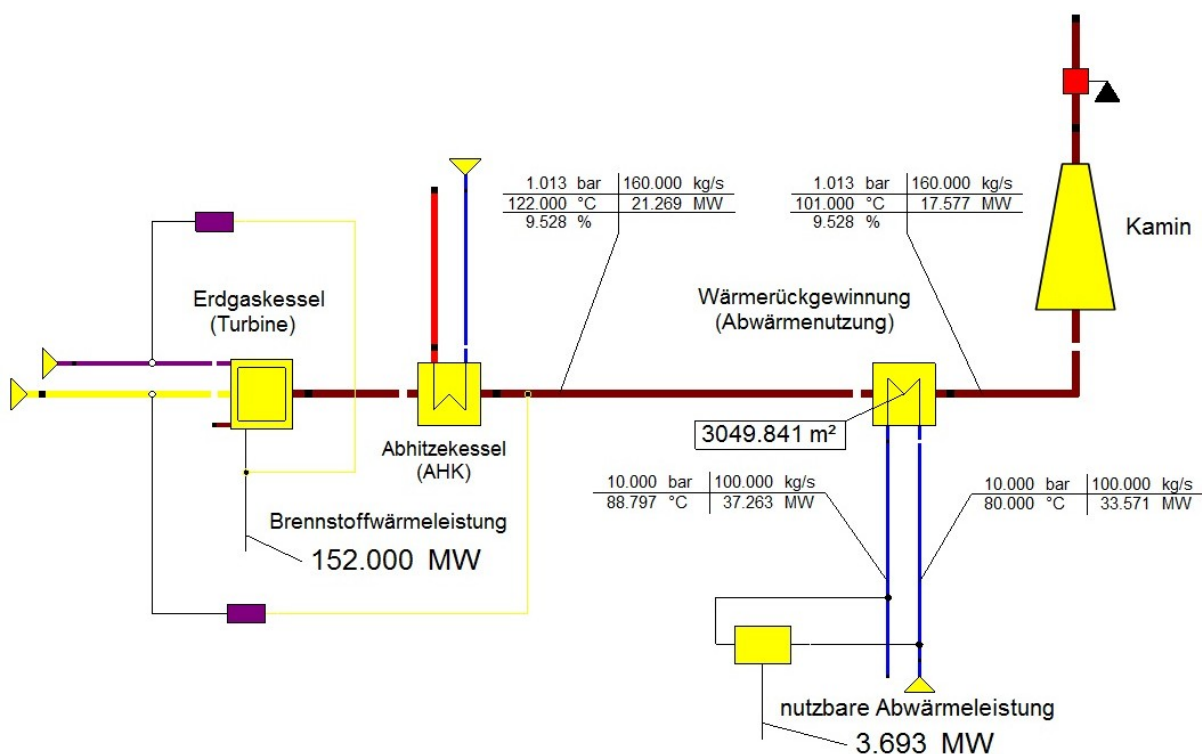


Abbildung 27: Schema Rauchgasabkühlung HKW-Mitte EBSILON

Simulation Rauchgaskondensation:

Der große Vorteil in der Rauchgaskondensation liegt darin, dass man die latente Wärme (Kondensationswärme) des Wasserdampfes im Rauchgas zurückgewinnen kann, welche im Vergleich zur reinen Abkühlung enorm hoch ist (ca. 2260 [kJ/kg]). Normalerweise kann diese nicht genutzt werden, da die Rücklauftemperatur der Fernwärme über dem Taupunkt des Rauchgases liegt. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann das Rauchgas allerdings unter den Taupunkt abgekühlt werden und die Kondensationswärme so zugänglich gemacht werden. Diese hohe Wärmemenge liegt aber aufgrund der Kondensationstemperatur von ca. 50-60°C bei niedrigeren Temperaturen als bei einer reinen Rauchgasabkühlung (ca. 100°C) vor, wodurch die Wärmepumpe einen höheren Temperaturhub bewältigen muss.

Ein genereller Nachteil der Rauchgaskondensation ist, dass die Wärmetauscher durch die Abkühlung unter den Säuretaupunkt aus korrosionsbeständigen Materialien gefertigt sein müssen, was zusätzlich Kosten verursacht. Ein weiterer Nachteil an gewissen Standorten ergibt sich dadurch, dass man das Rauchgas aufgrund gesetzlicher Bestimmungen wieder auf eine gesetzliche Mindesttemperatur erwärmen muss, wodurch die auskoppelbare Leistung sinkt und ein weiterer großer Wärmetauscher benötigt wird. Aufgrund der geringeren Abgastemperaturen ist das Rauchgas nach der Kondensation überwiegend zu 100 % gesättigt (rel. Luftfeuchtigkeit 100%), wodurch am Kamin eine Dampffahne sichtbar werden kann. Dies muss möglicherweise je nach Standort (Flughafennähe, Tourismus) mit einer Entschwadungsanlage vermieden werden.

Da der Wasserdampfanteil im Rauchgas bei der Rauchgaskondensation die Hauptenergiemenge darstellt, ist die nutzbare Wärmemenge stark von der kondensierbaren Wasserdampfmenge bzw. dem im Abgas verbleibendem Wassergehalt nach der Kondensation abhängig. Wesentliche Faktoren die dies bestimmen sind die minimale Abkühltemperatur des Rauchgases sowie die Größe der Wärmetauscherflächen. Infolge der hohen Kondensationsenthalpie des Wasserdampfes reagiert die Simulation äußerst sensibel auf kleine Parameteränderungen, welche enorme Auswirkungen auf die Abwärmeleistungen sowie Wärmetauscherflächen haben. Aus diesem Grund kann für sämtliche Rauchgaskondensationen nur eine Abschätzung über die nutzbare Abwärme getroffen werden, da keine exakten Abgasfeuchtedaten verfügbar sind und die Kondensationstemperatur durch die Wärmepumpe bzw. dem jeweiligen Fabrikat eines Herstellers beeinflusst wird. Infolgedessen können die dargestellten Abwärmeleistungen in den Simulationsbildern etwas von den Tabellenwerten abweichen. Dies resultiert daraus, dass die Werte aufgrund fehlender Daten einem Mittelwert aus Simulationen unterschiedlichen Abgasfeuchten entsprechen. Zum einen wurde hierfür die

Erdgasverbrennung direkt simuliert, zum anderen wurde nur eine Abgaszusammensetzung aus typischen Erdgasverbrennungen angenommen.

Da die Wasserkondensationsmengen in diesen Leistungsbereichen nicht unerheblich sind, müssen bei der Rauchgaskondensation zusätzlich der Umgang sowie die möglichen Kosten einer Kondensataufbereitung berücksichtigt werden, sollten diese nicht unbehandelt abgeleitet werden dürfen.

Ferner muss auch die Korrosionsbeständigkeit aller Anlagenteile, welche mit Kondensat in Berührung kommen geprüft werden, um Schäden zu vermeiden.

In Abbildung 28 ist das verwendete Schema der Simulation einer Rauchgaskondensation mit anschließender Erwärmung des Rauchgases für den Standort HKW-Mitte (Abhitzkessel) dargestellt. Wiederum wurde die Verbrennung so gesteuert, um die aktuellen Emissionswerte des Rauchgases am Ende des Abhitzkessels zu erhalten.

Die verwendete Rauchgasführung kann in der Realität nicht erreicht werden, da der Rauchgasstrom nicht geändert werden kann. Die Erwärmung des Rauchgases müsste durch einen separaten Wärmetauscher, welcher z.B. mit Dampf gespeist wird, erfolgen. Aus energetischer Sicht ist diese Anordnung für eine erste Abschätzung der auskoppelbaren Leistung jedoch verwendbar.

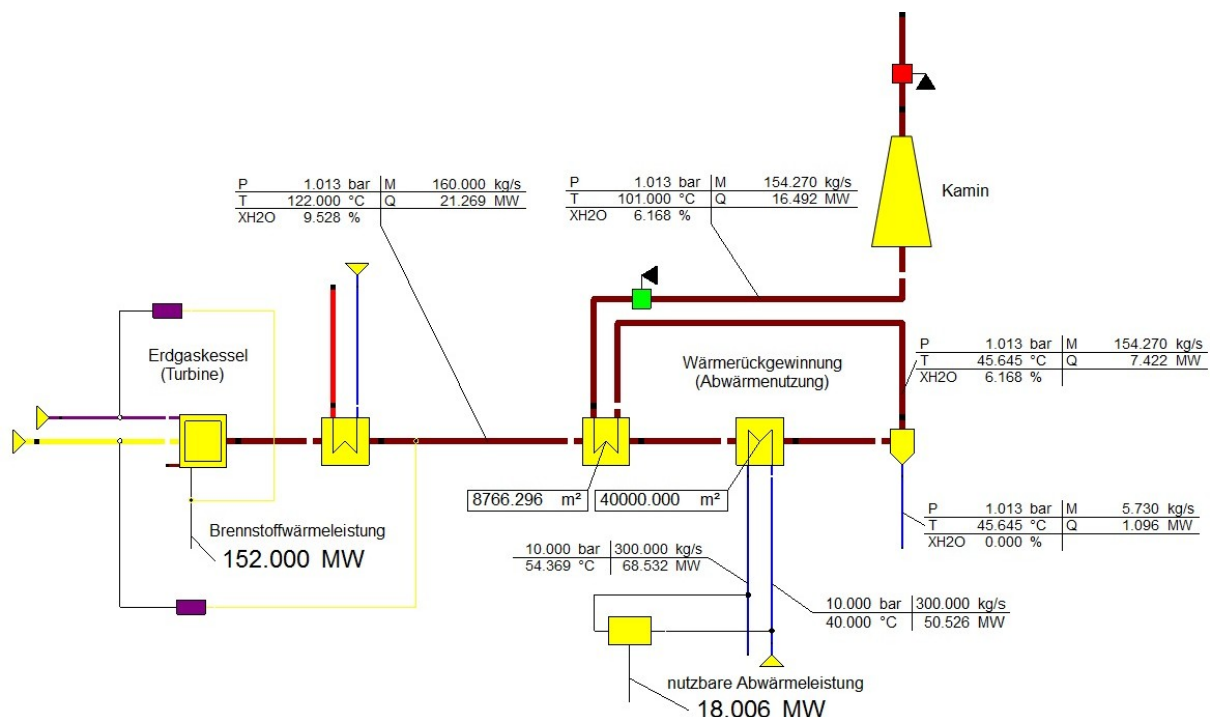


Abbildung 28: Schema Rauchgaskondensation HKW-Mitte EBSILON

Die Wärmepumpe selbst wurde nicht detailgetreu simuliert, da es zu viele unbekannte Parameter und Faktoren hinsichtlich verwendetem Kältemittel, Verdichterbauart,

Wärmetauscher, Temperaturniveaus, usw. gibt, um einen aussagekräftigen COP bestimmen zu können. Es wurde also die nutzbare Abwärmeleistung mit den dazugehörigen Temperaturniveaus als Schnittstelle für die Auslegung einer geeigneten Wärmepumpe eines Herstellers definiert. Eine Simulation inkl. Wärmepumpe könnte wie in Abbildung 29 dargestellt aussehen:

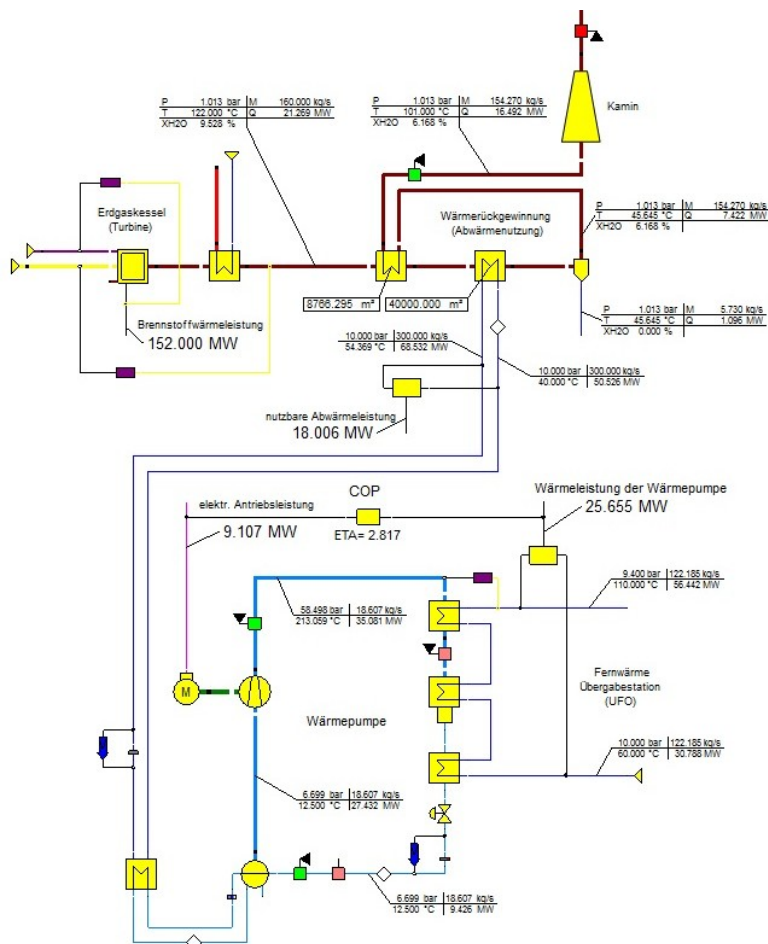


Abbildung 29: Schema Rauchgaskondensation inkl. Wärmepumpe HKW-Mitte EBSILON

5.2.1.4 Ergebnisübersicht HKW-Mitte

Aufgrund des Standortes und der Fernwärmesituation könnten die Abwärmequellen des HKW-Mitte für folgende Einsatzstrategien verwendet werden:

- Rücklaufanhebung direkt auf 95 °C mit Einspeisung in Fernwärmenetz-VL
- Rücklaufanhebung nur auf ca. 80 °C mit fossiler Nacherwärmung [Dies hätte den Vorteil, dass mehr Maschinen (Standardlösungen) mit besseren COP's und geringeren Investitionskosten zur Verfügung stehen würden]

Eine solche Rücklaufanhebung bietet nur an zentralen Kraftwerksstandorten einen Vorteil. An Netzausläufen wäre dies kontraproduktiv, da die Rücklaufleitungen schlecht isoliert sind und hohe Wärmeverluste aufweisen.

Tabelle 11: Ergebnisübersicht HKW-Mitte

Bezeichnung Wärmequelle	HKW-Mitte										Steamblock 18 MW-Gaskessel	
	Kühlkreis Gesamt	Nebenkühlkreis Gesamt (Kaltwasserseite)	Nebenkühlkreis Gesamt (Warmwasserseite)	GT-Generator (Nebenkühlkreis)	Rauchgasabkühlung (Erdgas AHK)	Rauchgaskondensation (Erdgas AHK)	Rauchgasabkühlung (Erdgas SÖK/GKM)	Rauchgaskondensation (Erdgas SÖK/GKM)	Rauchgasabkühlung (Erdgas Steamblock)	Rauchgaskondensation (Erdgas Steamblock)		
durchschnittliche Brennstoffwärmeleistung (BWL Gas)	[MW]	-	-	-	152	152	56	56	11	11		
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	offen	geschlossen	geschlossen	offen	offen	offen	offen	offen	offen		
Medium	[-]	Wasser	Wasser	Wasser	Abgas	Abgas	Abgas	Abgas	Abgas	Abgas		
durchschnittlicher Volumenstrom	[m³/h]	2000	300	343	450.000 Nm³/h	450.000 Nm³/h	55.000 Nm³/h	55.000 Nm³/h	10.000 Nm³/h	10.000 Nm³/h		
durchschnittliche Temperaturniveau	[°C]	8	16 / 8	27 / 20	160 kg/s	160 kg/s	20 kg/s	20 kg/s	3,5 kg/s	3,5 kg/s		
durchschnittliche Temperaturdifferenz	[°C]	-	8	7	122 / 101	122 / 101	154 / 101	154 / 101	114 / 101	114 / 101		
WP Quelltemperatur	[°C]	5	10	20	21	21	53	53	13	13		
durchschnittliche Wärmeleistung	[kW]	-	2.787	2.788	3.500	> 10.000	1.150	> 4.000	50	> 500		
Anteil-WRG an BWL	[%]	-	-	-	2,3	> 6,6	2,1	> 7,1	0,5	> 4,5		
Kondensatfall bei Abkühlung auf 40°C	[m³/h]	-	6.000	-	-	> 11	-	> 4	-	> 1		
benötigte Wärmeaustauscherfläche	[m²]	-	6.000	6.000	3.000	> 40000	650	> 3.000	40	1.000		
durchschnittliche Wärmeleistung bei Abkühlung auf 5 °C	[kW]	6.967	4.180	-	-	-	-	-	-	-		
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	4.500	3.000	3.000	3.000	3.000	5.000	5.000	5.500	5.500		
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	-	8,4	8,4	10,5	> 30	5,8	> 20	0,3	> 2,7		
geschätzte Abwärmeenergie bei Abkühlung auf 5 °C	[GWh/a]	31,4	12,5	-	-	-	-	-	-	-		
Zeitliche Verfügbarkeit (ganztägig, Sommer/Winter, Tagesverlauf, etc.)	[-]	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter		
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	3	3	3	4	5	3	5	4	5		
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Rücklaufanhebung auf 95 °C mit direkter Einspeisung ins Fernwärmenetz oder Rücklaufanhebung auf 80 °C (WP-Standardlösungen) mit anschließender fossiler Nacherwärmung.										
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf										
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		JA										
Stromnetzanschluss vorhanden		Je nach Leistung und Größe spezifisch abklären. Platzmöglichkeiten stark begrenzt!										
FW-Anbindung vorhanden		JA										
FW-Leitung Potential vorhanden		JA										

5.2.2 HKW-Nord

5.2.2.1 Beschreibung Abwärmesituation HKW-Nord

Abwärmepotentiale sind generell nur in Block 1 vorhanden, da in Block 2 keine Kühlung erfolgt (reiner Spitzenlastkessel). Im Block 1 wird der Dampf aus der Dampfturbine in die Umformerstation übertragen wo der Dampf kondensiert. Von dort wird das Kondensat wieder zurück in den Kraftwerksprozess geleitet. Im HKW-Nord ist die gesamte Kühlung in einem Kreislauf zusammengefasst.

Kühlkreis:

Die Kühlung der Abwärme aus diversen Kühlanlagen des Kühlkreises (Ölkühler, Trafokühlung usw.) erfolgt derzeit mit Brunnenwasser, welches ursprünglich nur als Notkühlsystem vorgesehen war. Geplant und verbaut sind drei Kältemaschinen, welche dem Kühlkreislauf Wärme entziehen und damit das Speisewasser vorwärmen sollten (Kondensatvorwärmer).

Aufgrund falscher Dimensionierung mussten die Kälteanlagen immer mit zu hoher Leistung betrieben werden (120% der Nennleistung) um die gewünschte Kühlung zu erreichen, was zu häufigen Defekten der Anlage führte. Die Kälteanlagen sind derzeit nicht mehr in Verwendung, d.h. die gesamte Kühlung geschieht über die Notkühlung. Die gesamte Abwärme des Nebenkühlkreises geht derzeit somit an die Umwelt verloren. Das Ersetzen dieser Wärmepumpen durch Neue, wäre aufgrund der vorhandenen Anlagenteile (Wärmetauscher, etc.) am einfachsten durchführbar. Durch den gleichzeitigen Bedarf an Wärme (Speisewasservorwärmung bzw. Fernwärmenetz & Speicher) und Kälte (Kühlung der Maschinen) am Standort, würde sich die Wärmepumpe optimal für den bereits geplanten „Bi-Generations“ Betrieb eignen.

Die Umwälzung des Kühlwassers erfolgt mit redundant ausgeführten parallelen starr geregelten Pumpen (je 2 abwechselnd im Einsatz). Der Vorlauf des Nebenkühlkreises wird über den Durchfluss des Brunnenwassers auf 25 °C geregelt, wodurch sich im Betrieb ein Rücklauf von 32 °C einstellt. Die Umwälzmenge je Pumpe beträgt lt. Typenschild 85 m³/h. Theoretisch müssten also 170 m³/h umgewälzt werden. Aufgrund zahlreicher Drosselventile an den diversen Kühlstellen/Verbraucher im Kühlkreislauf, lässt sich der tatsächliche Volumenstrom jedoch nicht feststellen. Aus diesem Grund wurde „kaltwasserseitig“ ein Ultraschall-Durchflussmesser montiert. Mit Hilfe dieser Daten und den vorhandenen Temperaturaufzeichnungen, konnte die Leistung des Kühlkreises berechnet werden.

In Abbildung 30 sind die Temperaturschwankungen der „Warmwasserseite“ des Kühlkreislaufs dargestellt, welche während des Betriebs relativ konstant sind. Der Betrieb selbst ist direkt an den Betrieb des Kraftwerks (Block 1) gekoppelt.

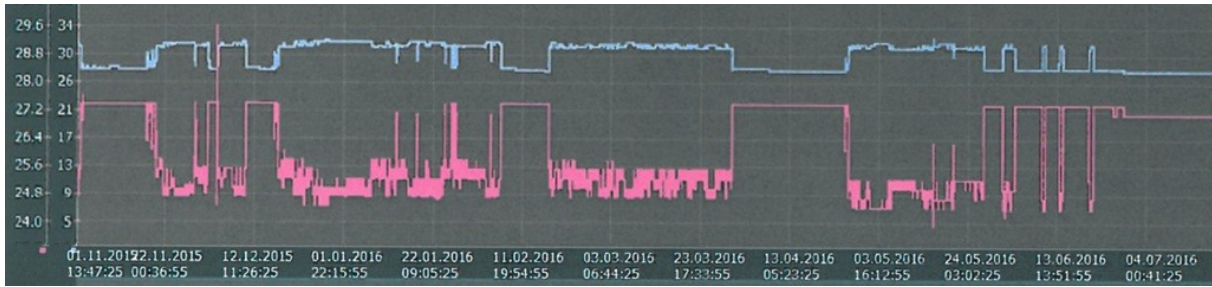


Abbildung 30: Temperaturaufzeichnungen Nebenkühlkreis (25/32°C) HKW-Nord

- Kältemaschinen (Außer Betrieb)
- Redundant ausgeführte Umwälzpumpen
- Temperaturmessstellen
- Brunnen-/ Notkühlung (aktuell für Kühlung verwendet)
- Speiswasservorwärmung (Außer Betrieb da Kältemaschinen nicht in Betrieb sind)

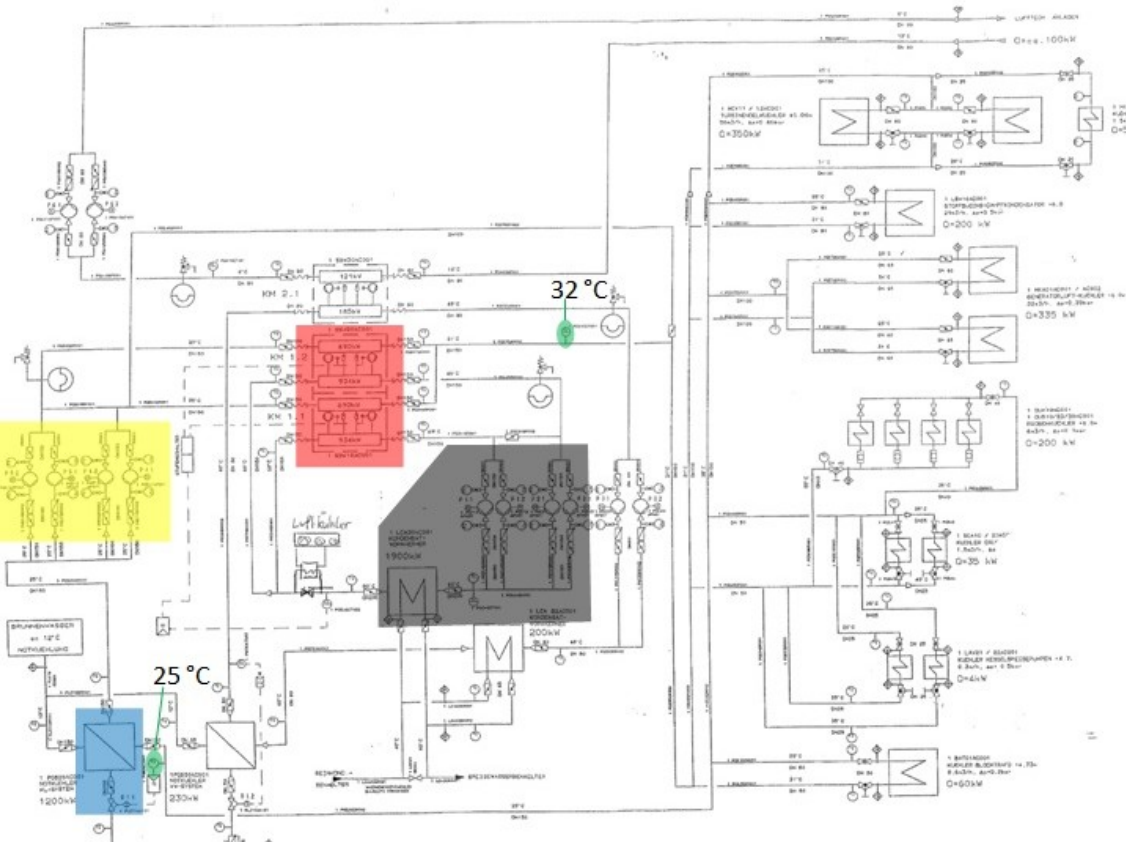


Abbildung 31: R&I-Fließschema Nebenkühlkreislauf HKW-Nord



Abbildung 32: redundant ausgeführte Nebenkühlkreisumpen (li.) und Kältemaschinen (re., außer Betrieb)

Rauchgas:

Die aktuelle Rauchgastemperatur am Kaminende beträgt ca. 160 °C. Aufgrund gesetzlicher Verpflichtungen muss die notwendige Temperatur bei Schwerölbetrieb mit REA (Rauchgasentschwefelungsanlage) in etwa 93 °C betragen. Die REA ist wie im HKW-Mitte nur im Schwerölbetrieb notwendig. Die Anlage wurde das letzte Mal 2003 mit Schweröl betrieben und wird nach jetzigem Stand der Dinge vermutlich auch nie mehr mit Schweröl zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund kann für die Beurteilung rein der Erdgasbetrieb betrachtet werden, bei welchem eine gesetzliche Mindesttemperatur von 85 °C einzuhalten ist. [48]

Der Abgasvolumenstrom im Erdgasbetrieb variiert je nach Leistung zwischen 28.000 und 60.000 Nm³/h, wobei der Betrieb als sehr stabil einzustufen ist. Aktuell ist im Rauchgasbypass ein Flansch für einen Einbau eines Wärmetauschers vorgesehen. Dieser könnte als möglicher Einbauort für einen Wärmepumpenwärmetauscher genutzt werden. Der Rauchgasbypass wird aktuell nicht betrieben, da es aufgrund der hohen Temperaturen zu Problemen mit den Lagern des Saugzuggebläses gekommen ist. Sollte an der vorgesehenen Stelle ein Wärmetauscher installiert werden, könnte dieses Gebläse vermutlich wieder verwendet werden.

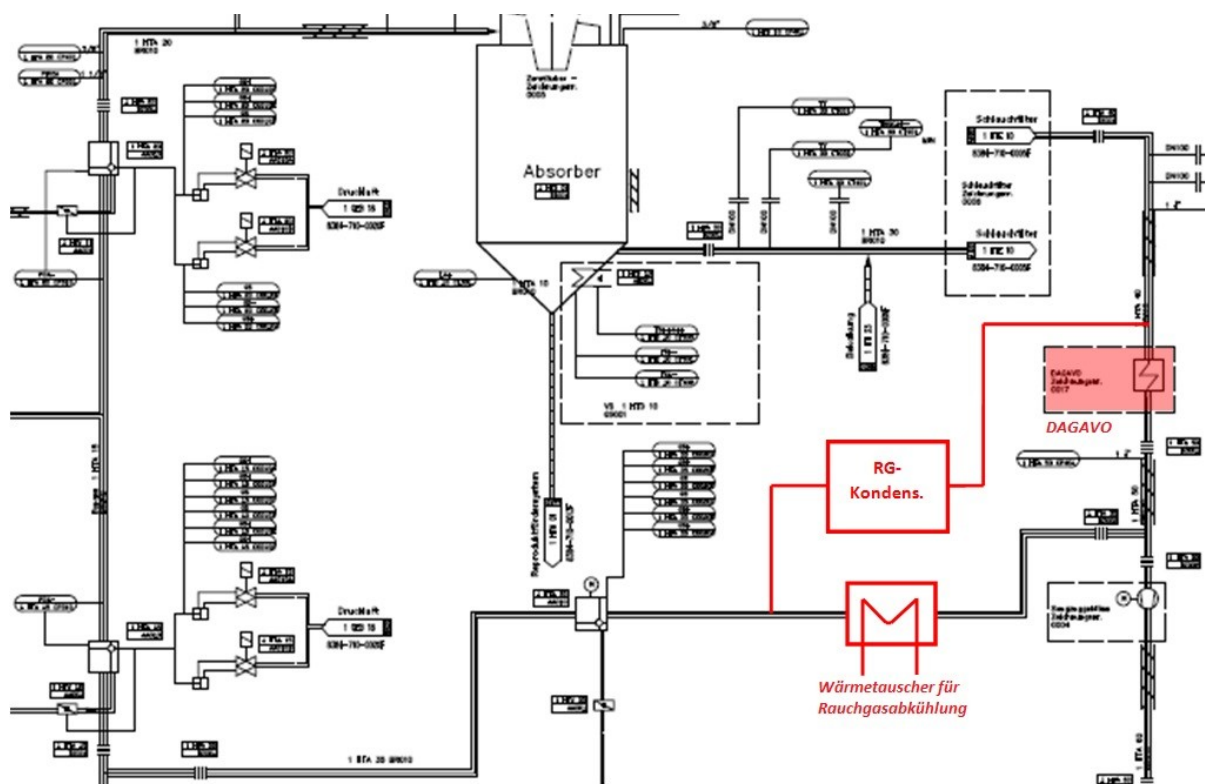


Abbildung 33: Rauchgasschema HKW-Nord

Bei einer Installation einer Rauchgaskondensationsanlage müsste zusätzlich ein dampfbetriebener Wärmetauscher vorgesehen werden, um das Rauchgas nach der Kondensation (ca. 45-50°C) wieder auf die gesetzliche Mindesttemperatur von 85°C zu erwärmen. Beim Betrieb der REA übernimmt diese Funktion der mit Dampf betriebene Wärmetauscher „DAGAVO“ (Dampf-GAs-VORwärmer), wie in Abbildung 33 dargestellt. Dieser „DAGAVO“ könnte für eine Erwärmung des Rauchgases im Falle einer Rauchgaskondensation ebenfalls verwendet werden. Ob diese Wiedererwärmung zur Vermeidung einer Schwadenbildung ausreicht, gilt es in einer Detailplanung zu prüfen.

Die Betriebsdauer wird für das HKW-Nord mit 4.000 Betriebsstunden pro Jahr angenommen und kann auch durch die Jahresdauerlinien bestätigt werden. Im linken Diagramm ist die Brennstoffwärmeleistung dargestellt, welche mit dem Volumenstrom gekoppelt ist. Im rechten Diagramm ist die Rauchgastemperatur zu finden.

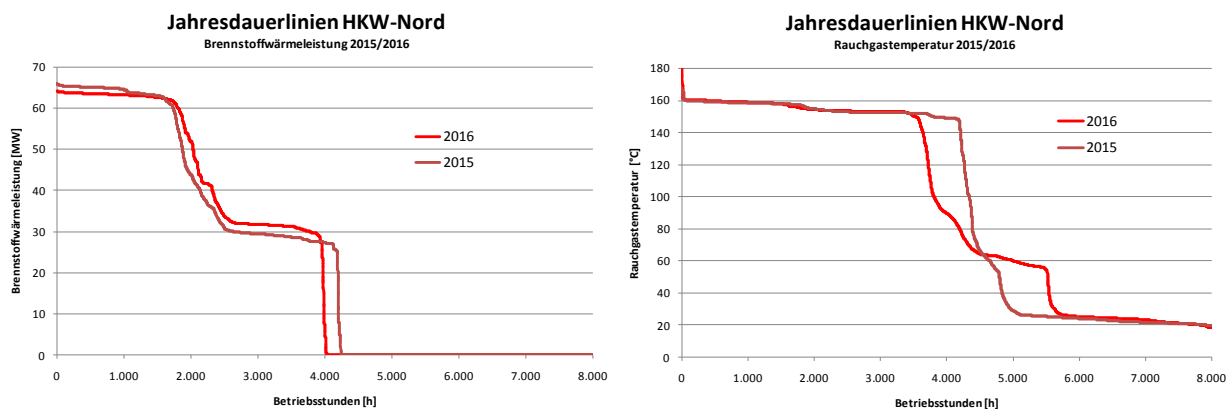


Abbildung 34: Jahresdauerlinien HKW-Nord

Für eine erste Leistungsabschätzung in dieser Arbeit sollte eine mittlere Brennstoffwärmeleistung von 45 MW (Jahresmittelwert aus Emissionsdaten) angenommen werden.

Platzmöglichkeit:

Derzeit sind die beiden Kälteanlagen, welche aber nicht in Betrieb sind, noch im Gebäude verbaut. Diese Platzmöglichkeit könnte sich für einen neuen Wärmepumpenstandort anbieten. Außerdem wäre am freien Gelände ebenfalls Platz vorhanden.

Fernwärmeanbindung:

Die Wärme könnte aufgrund des Standortes entweder zur Speisewasservorwärmung verwendet, oder in das Fernwärmenetz bzw. direkt in den 30.000 m³ großen Wärmespeicher geführt werden.

5.2.2.2 Simulation der Rauchgasabkühlung/-kondensation HKW-Nord

Das verwendete Simulationsmodell für die Rauchgaskondensation im HKW-Nord ist in Abbildung 35 dargestellt. Standortspezifische Randbedingungen sind wiederum in Tabelle 12 angeführt.

Tabelle 12: Randbedingungen Simulation HKW-Nord

HKW-Nord Randbedingungen EBSILON		
<u>Luft:</u>	Lufttemperatur	5 [°C]
	Luftdruck	970 [mbar]
<u>Erdgas:</u>	Erdgastemperatur	17 [°C]
	Erdgasdruck	4 [bar]
<u>Dampf-Parameter:</u>	Temperatur	180 [°C]
	Druck	3 [bar]
<u>Rauchgasparameter:</u>	Kaminabgastemperatur (gesetzliche Beschränkung)	85 [°C]
<u>Allgemeine Parameter der Rauchgaskondensation:</u>	Rauchgaskondensationstemp. VL (Wärmepumpe Verdampfer VL)	40 [°C]

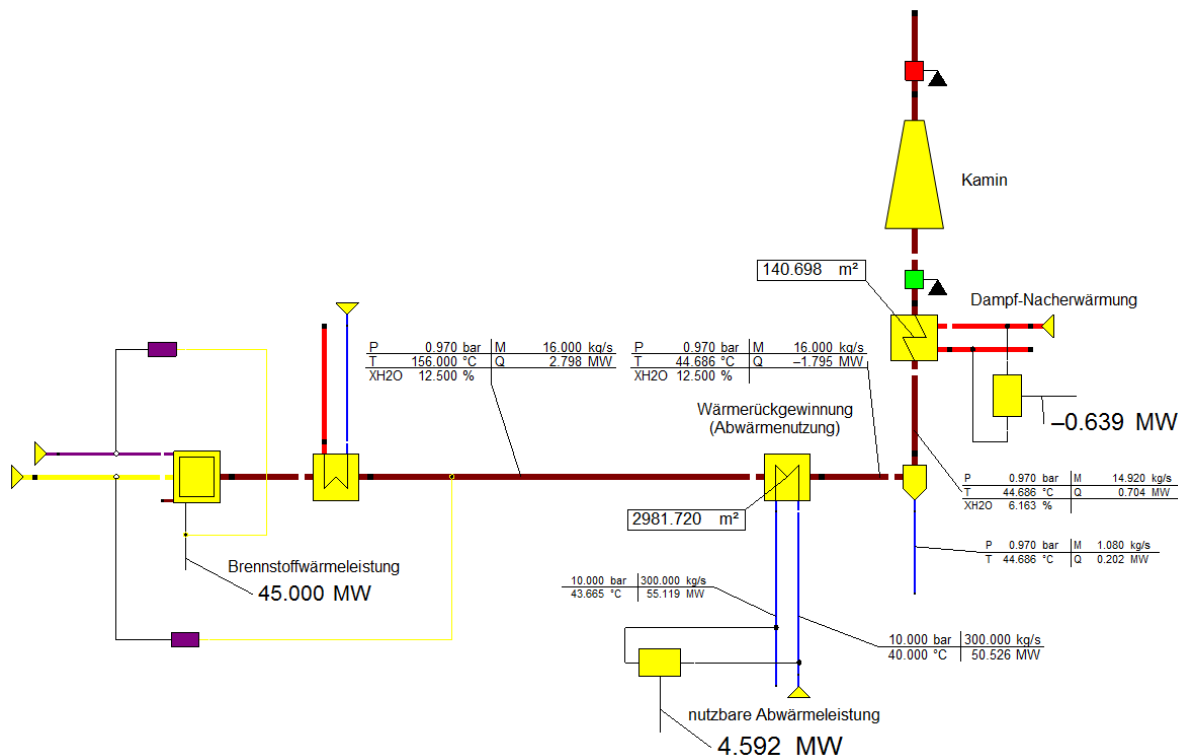


Abbildung 35: Schema Rauchgaskondensation HKW-Nord EBSILON

5.2.2.3 Ergebnisübersicht HKW-Nord

Aufgrund des Standortes und der Fernwärmesituation könnten die Abwärmequellen wie im HKW-Mitte für folgende Einsatzstrategien verwendet werden:

- Rücklaufanhebung direkt auf 95 °C mit Einspeisung in Fernwärmenetz-VL bzw. dem Wärmespeicher
- Rücklaufanhebung nur auf ca. 80 °C mit fossiler Nacherwärmung [Dies hätte den Vorteil, dass mehr Maschinen (Standardlösungen) mit besseren COP's und geringeren Investitionskosten zur Verfügung stehen würden]

Die Notkühler des Kühlkreislaufs sind auf eine max. Kühlleistung von 1.200 kW ausgelegt. Die errechnete max. benötigte Kühlleistung beträgt aktuell rund 750 kW. Für das Kühlwasser (Stadtwasser) fallen aktuell zusätzliche Kosten an. Würde die Kühlung durch eine Wärmepumpe ersetzt werden, könnten diese Kosten eingespart werden.

Je nach Abkühltemperatur der Rauchgasabkühlung könnte diese aufgrund der hohen Temperaturen auch ohne Wärmepumpe zum Einsatz kommen. Wird nur ein Wärmetauscher ohne Wärmepumpe verwendet, kann max. bis 95 °C abgekühlt werden, wodurch sich eine Abwärmeleistung von ca. 1.000 kW ergeben würde.

Bei einer Rauchgaskondensation könnte der „DAGAVO“ aufgrund seiner Leistung für die gesetzliche Wiedererwärmung des Rauchgases verwendet werden.

Tabelle 13: Ergebnisübersicht HKW-Nord

		HKW-Nord			
		Erdgas KWK-Anlage (Block 1)			
Bezeichnung Wärmequelle		Kühlkreislauf (Kaltwasserseite)	Kühlkreislauf (Warmwasserseite)	Rauchgasabkühlung (Erdgas)	Rauchgaskondensation (Erdgas)
durchschnittliche Brennstoffwärmeleistung (BWL Gas)	[MW]	45	45	45	45
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	offen	geschlossen	offen	offen
Medium	[-]	Wasser	Wasser	Abgas	Abgas
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]	43	92	45.000 Nm ³ /h 16 kg/s	45.000 Nm ³ /h 16 kg/s
durchschnittliche Temperaturniveaus	[°C]	24 / 9	32 / 25	156 / 85	156 / 85
durchschnittliche Temperaturdifferenz	[°C]	15	7	71	71
WP Quelltemperatur	[°C]	15	25	80	40
durchschnittliche Wärmeleistung	[kW]	749	749	1.280	> 4.500
Anteil-WRG an BWL	[%]	1,7	1,7	2,8	> 10
Kondensatanfall bei Abkühlung auf 40°C	[m ³ /h]	-	-	-	4
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	3000	3.000	1.100	> 3.000
durchschnittliche Wärmeleistung bei Abkühlung auf 5 °C	[kW]	949	-	-	-
benötigte Wärmeleistung zur Wiedererwärmung des Rauchgases	[kW]	-	-	-	600
benötigte Wärmetauscherfläche für Wiedererwärmung (Dampf-WT)	[m ²]	-	-	-	140
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	4.000	4.000	4.000	4.000
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	3,0	3,0	5,1	18,0
geschätzte Abwärmeenergie bei Abkühlung auf 5 °C	[GWh/a]	3,8	-	-	-
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter	Frühling / Herbst / Winter
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	2	1	2	3
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Abkühlung des Nebenkühlkreise mit Vorwärmung des Speisewassers oder Abkühlung der Abwärmequellen mit direkter Einspeisung in FW-Netz VL oder Speicher.			
Wärmesenke		Speisewasservorwärmung oder Einspeisung in FW-Netz Vorlauf oder direkt in Wärmespeicher			
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		JA / derzeitiger Kälteanlagenstandort oder am freien Gelände.			
Stromnetzanbindung vorhanden		JA			
FW-Anbindung vorhanden		JA / inkl. Wärmespeicher			
FW-Leitung Potential vorhanden		JA			

5.2.3 BMHKW-Siezenheim

5.2.3.1 Beschreibung Abwärmesituation BMHKW-Siezenheim

Für das BMHKW-Siezenheim (Biomasseheizkraftwerk) ist eine Wärmerückgewinnung/Rauchgaskondensationsanlage mit Wärmepumpe angedacht.

Der Wassergehalt des Brennstoffs variiert abhängig von den Außenbedingungen, da keine überdachte Lagerhalle vorhanden ist. Bei der Anlieferung weist der Brennstoff ca. 50 % Wassergehalt auf. Durch Abdampfverluste sinkt der Wassergehalt in etwa auf 25 % ab.

Die Rücklauftemperatur aus dem Fernwärmenetz beträgt ca. 60-70 °C.

Derzeit wird im "Projekt 2.2" der Bau eines neuen BMHKW in Siezenheim betrachtet. Ob diese Anlage die alte Anlage ersetzt oder beide in Betrieb bleiben, hängt stark vom Wärmebedarf und der später vorherrschenden FW-Netzsituation ab.

Derzeitiger Planungsstand:

Da die Ökostromförderung der alten Anlage in ca. 3 Jahren ausläuft, ist geplant, beide Anlagen (neu & alt) mit einer Wärmerückgewinnung inkl. Hochtemperatur-Wärmepumpe auszustatten. Somit wäre der Zweck der alten Anlage, neben der Wärmeproduktion, rein die Erzeugung von günstiger und ökologischer Antriebsenergie (elektr. Strom) für die Wärmepumpen. Der tatsächliche Ausbau und Betrieb der Anlage wird je nach Netzsituation und Investitionskosten ermittelt.

Die Einbindung der Wärmepumpe in die Bestandsanlage ist nach dem E-Filter angedacht, um eine Taupunktsunterschreitung in den vorigen Anlagenteilen zu vermeiden. Eine mögliche Einbindung der Wärmepumpe (WRG) könnte wie in Abbildung 36 dargestellt erfolgen.

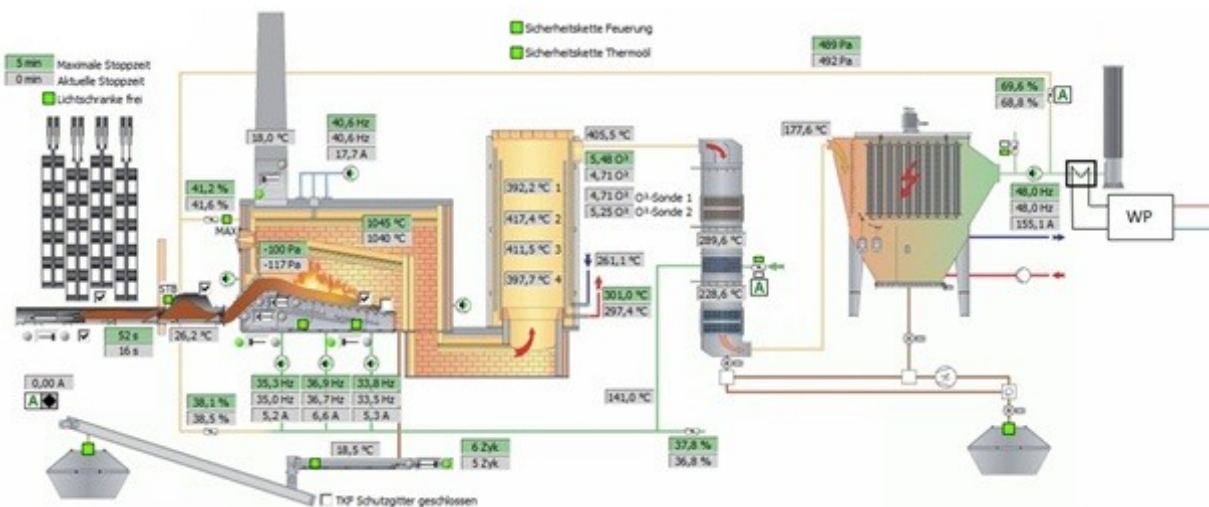


Abbildung 36: BMHKW-Siezenheim Anlagenschema [49]

5.2.3.2 Berechnung/Simulation der Rauchgaskondensation BMHKW-Siezenheim

Aufgrund der maximalen typisierten Brennstoffwärmeleistung von 9,9 MW (BWL < 10 MW), gibt es bei dieser Anlage keine Emissionsmessung. Es mussten die Ergebnisse/Mittelwerte der TÜV-Messungen für die Simulation der Rauchgaskondensation herangezogen werden.

Derzeit beträgt die Abgastemperatur im Winter 160°C und im Sommer 170°C. Aufgrund eines neuen Luftvorwärmers (LUFO), welcher in der Revision im Mai 2017 installiert wird, sinkt die Abgastemperatur, wodurch zukünftig mit ca. 150°C gerechnet werden kann. (Säuretaupunkt soll nicht unterschritten werden, der ca. bei 130-140°C liegt)

Tabelle 14: Randbedingungen Simulation Rauchgaskondensation BMHKW-Siezenheim

BMHKW-Siezenheim Randbedingungen Rauchgaskondensation EBSILON

<u>Rauchgasparameter:</u>	Abgasstrom	6,8 [kg/s]
	Abgastemperatur	150 [°C]
	Min. Kaminabgastemperatur	keine gesetzl. Vorschrift
<u>Allgemeine Parameter der Rauchgaskondensation:</u>	Rauchgaskondensationstemp. VL (Wärmepumpe Verdampfer VL)	40 [°C]

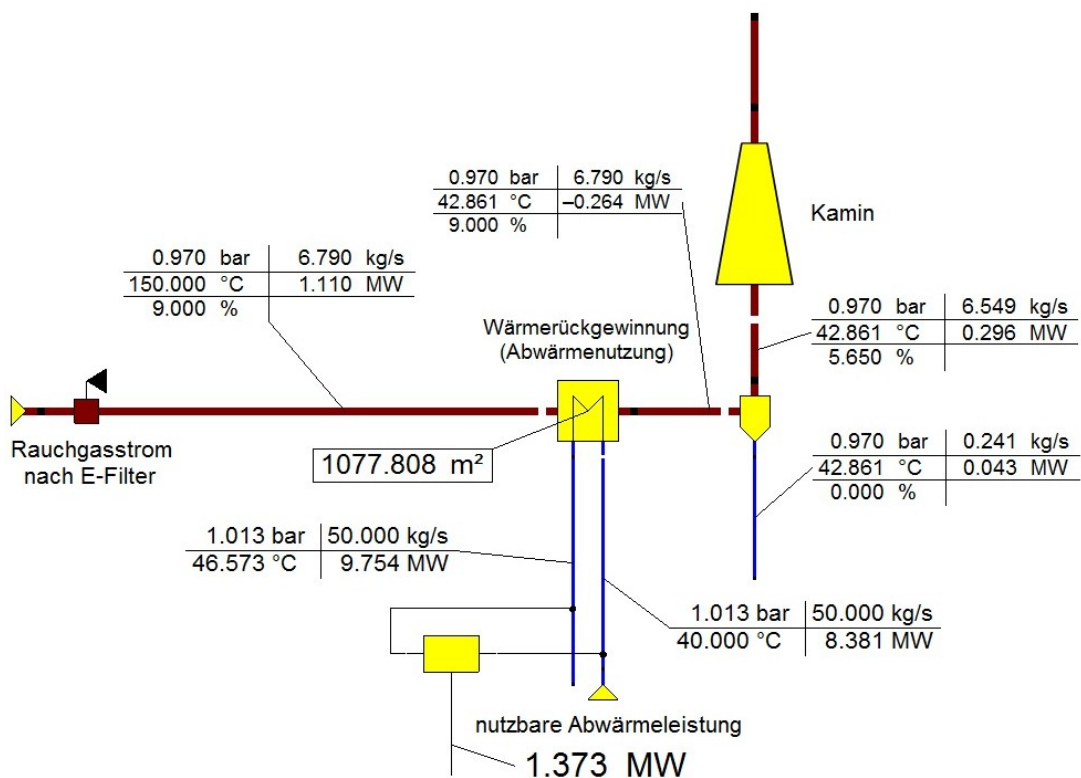


Abbildung 37: Schema Rauchgaskondensation BMHKW-Siezenheim EBSILON

5.2.3.3 Ergebnisübersicht BMHKW-Siezenheim

Aufgrund des Standortes und der Fernwärmesituation könnte die Wärmerückgewinnung des BMHKW-Siezenheim für folgende Einsatzstrategien verwendet werden:

- Rücklaufanhebung direkt auf 95 °C mit Einspeisung in Fernwärmenetz-VL
- Rücklaufanhebung nur auf ca. 80 °C mit biogener Nacherwärmung [Dies hätte den Vorteil, dass mehr Maschinen (Standardlösungen) mit besseren COP's und geringeren Investitionskosten zur Verfügung stehen würden]

Die angegebenen Betriebsstunden pro Jahr (ca. 8.200 h) können laut Betriebsführung als Volllaststunden angesetzt werden. [50]

Tabelle 15: Ergebnisübersicht BMHKW-Siezenheim

		BMHKW-Siezenheim
		Biomasse KWK-Anlage
Bezeichnung Wärmequelle		Rauchgaskondensation
max. Brennstoffwärmeleistung (BWL Biomasse)	[MW]	9,9
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	offen
Medium	[-]	Abgas
durchschnittlicher Volumenstrom	[Nm ³ /h]	19.100
	[kg/s]	6,8
absolute Feuchte (bei Abluft)	[g/kg]	90
durchschnittliche Temperatur	[°C]	150
WP Quelltemperatur	[°C]	40
durchschnittliche Wärmeleistung	[kW]	1.350
Anteil-WRG an BWL	[%]	13,6
Kondensatanfall bei Abkühlung auf 40°C	[m ³ /h]	0,9
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	1.000
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	8.200-8.400
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	11,1
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	Stillstand ca. 7-14 Tage zumeist im Juni
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	3

geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Rücklaufanhebung auf 95 °C mit direkter Einspeisung ins Fernwärmenetz oder Rücklaufanhebung auf 80 °C (WP-Standardlösungen) mit anschließender biogener Nacherwärmung.
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf

Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		Derzeit keine Platzmöglichkeit im Gebäude vorhanden. Ideen zu möglichem Umbau vorhanden.
Stromnetzanbindung vorhanden		JA
FW-Anbindung vorhanden		JA
FW-Leitung Potential vorhanden		Abhängig von Ausbau der zweiten Anlage sowie weiteren Einspeisern und der Erweiterung des Westnetzes.

5.2.4 Industrielle Abwärme - Schweighofer Fiber Hallein

5.2.4.1 Beschreibung Abwärmesituation Schweighofer Fiber

Aktuell ist an diesem Standort bereits eine Absorptionswärmepumpe mit einer Leistung von 7,5 MW im Einsatz.

Darüberhinaus würde aus diversen weiteren Wärmequellen ein enormes Niedertemperatur-Abwärmepotential zur Verfügung stehen (Gesamt > 30 MW).

Das FW-Netz Hallein benötigt derzeit keine weitere Kapazitätserhöhung (98% Wärmebedarf abgedeckt). Somit müsste die Abwärme durch eine sehr lange Leitung (Wärmeschiene Hallein) in das Fernwärmenetz Salzburg transportiert werden. Da diese Leitung kapazitätsmäßig allerdings derzeit bereits ausgelastet ist, müsste diese erweitert bzw. neu gebaut werden.

Die Investitionen einer solchen Leitung sind aber bei den derzeitigen Energiepreisen in keinem Falle wirtschaftlich. [51]

Somit scheidet die Abwärmequelle Hallein (Schweighofer Fiber) derzeit, trotz des enormen Potentials, aufgrund des Standortes aus der weiteren Betrachtung als Abwärmequelle für eine Wärmepumpenanwendung aus.

Genauere Betrachtungen wurden diesbezüglich bereits durchgeführt, welche in der Abwärmestudie [7] auf S.138 zu finden sind (Abwärmepotentiale im Zentralraum Hallein-Salzburg).

5.2.5 Industrielle Abwärme - Kaindl

5.2.5.1 Beschreibung Abwärmesituation Kaindl

Im Betrieb Kaindl gibt es mit der MDF-Platte & der Spanplatte zwei Produktionslinien. Die Energieaufbringung erfolgt derzeit zu ca. 70% über Biomasse und zu 30% über Erdgas. Aktuell werden ca. 3-4 MW Abwärme (RL 65 °C / VL 95 °C) aus der Spanplattenlinie in das FW-Westnetz der Salzburg AG eingespeist. Grundsätzlich werden alle vorhandenen Abwärmeströme betriebsintern genutzt, alle Niedertemperaturströme werden emittiert. Eine „einfache“ Möglichkeit die ausgekoppelte Leistung über die aktuelle Fernwärmeanbindung zu erhöhen wäre, die Fernwärme-Rücklauf Temperatur zu senken bzw. die Vorlauf Temperatur zu erhöhen. Dies wäre anlagentechnisch möglich, allerdings müsste dazu geprüft werden, wie weit die Vorlauf Temperatur/Leistung im Westnetz der Salzburg AG erhöht werden könnte. An einer Rücklaufabkühlung durch Erneuerung von Kundenstationen wird derzeit bereits gearbeitet.

In der Abwärmestudie [7] (12/2015) wurde noch weiteres Abwärmepotential im Industriebetrieb festgestellt. Daraufhin wurde angedacht, Niedertemperatur mit Hilfe einer Wärmepumpe auszukoppeln. Die Wärmepumpe sollte mittels Strom-Direktanbindung über das Laufwasserkraftwerk Rott mit Ökostrom versorgt werden. Nach genauer Betrachtung des KW Rott musste der Gedanke einer Direktversorgung aber verworfen werden, da das KW Rott zu wenig Leistung aufweist und noch eine Einspeisevergütung nach „EEG“ bis 2024 in Deutschland vorliegt (Näheres siehe 5.2.9).

Im Zuge einer weiteren Besprechung konnte festgestellt werden, dass die Niedertemperatur-Abwärmepotentiale weiter verfügbar sind. Einzig ein Projekt zur Nutzung der Kompressorabwärme wird aktuell bereits umgesetzt.

Die Abwärmesituation der **MDF-Linie** kann wie folgt zusammengefasst werden:

Eine Aufstockung des Kamins ist aufgrund der Flughafennähe (Radarstörung) nicht möglich. Die Wärmetauscher für eine Abwärmenutzung müssten im Venturibecken des Biowäschers in der Rauchgasreinigung untergebracht werden. Eine Unterbringung direkt im Venturibecken könnte aufgrund der Wärmetauscherbelegung durch das „faserhaltige“ Wasser kritisch sein. Um eine Wärmetauscherbelegungen zu vermeiden, müsste das Wasser eventuell über weitere Filteranlagen geführt werden, bevor es mit den Wärmetauschern in Kontakt kommen kann. Offen ist, welche Leistung aus dem Wasser des Venturibeckens genutzt werden kann (geringe Austauschfläche zwischen Abgas und Wasser). Die Temperatur des Venturibeckens liegt laut Schätzungen der Betriebsführung im Bereich von

50°C. Eine Temperaturmessung des Venturibeckens lt. Tagesaktueller manueller Messung ergab ca. 43°C.

Die Abwärmesituation der **Spanplattenlinie** kann wie folgt zusammengefasst werden:

Über die Spanplattenlinie erfolgt derzeit die Auskopplung von 3-4MW in das Fernwärmenetz. Eine Vergrößerung des aktuellen Wärmetauschers wäre grundsätzlich denkbar und möglich. Eine weitere Möglichkeit wäre eine Rücklaufabkühlung mittels Wärmepumpe. Dadurch könnte die bestehende Spreizung der Fernwärmeauskopplung und somit die Leistung erhöht werden (größtenteils nur im Sommer).

Bei beiden Linien gilt es bei weiterer Nachrüstung einer Wärmerückgewinnungsanlage (Rauchgaskondensation) folgende Punkte zu beachten:

- die Kosten für die Abwasserreinigung der anfallenden Kondesatmenge
- die Auswirkung der weiteren Abluftabkühlung, welche einen schlechteren Abzug im Kamin und somit Auswirkungen auf die Umgebung zur Folge hätte (aktuell muss Abluft der MDF-Linie um ca. 8-10°C nachgeheizt werden)

5.2.5.2 Simulation der Rauchgaskondensation Kaindl

Tabelle 16: Randbedingungen Simulation Kaindl

Kaindl Randbedingungen EBSILON		
<u>Rauchgasparameter:</u>	Kaminabgastemperatur (aktuelle keine Beschränkungen gegeben)	- [°C]
<u>Allgemeine Parameter der Rauchgaskondensation:</u>	Rauchgaskondensationstemp. VL (Wärmepumpe Verdampfer VL)	40 [°C]

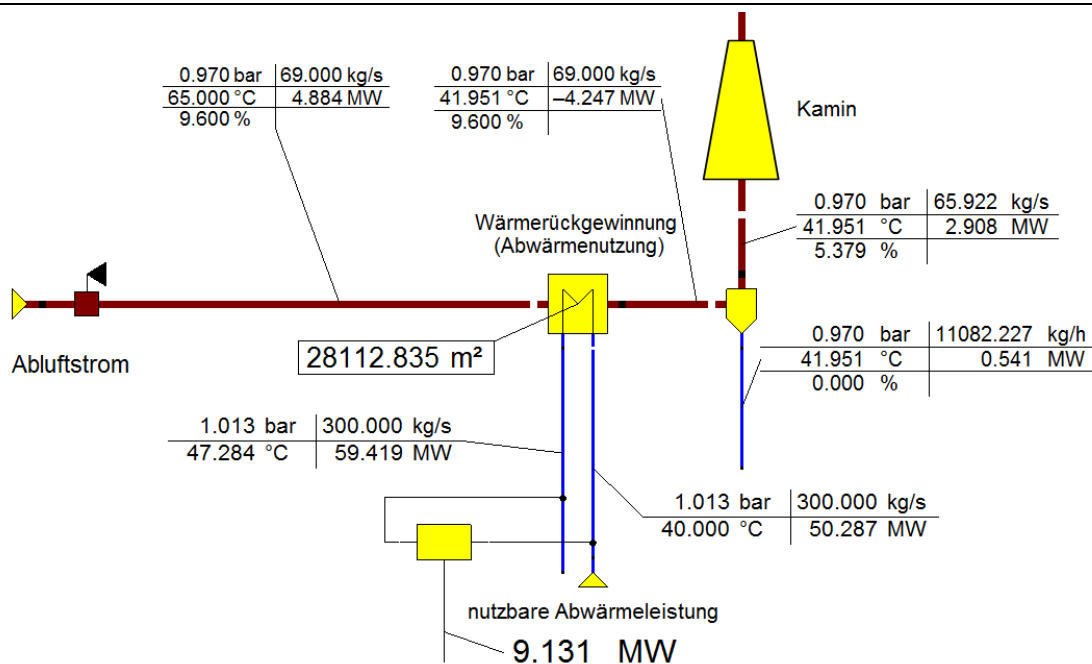


Abbildung 38: Schema Rauchgaskondensation Kaindl (Spanplattenlinie) EBSILON

5.2.5.3 Ergebnisübersicht Kaindl

Tabelle 17: Ergebnisübersicht industrielle Abwärme Kaindl

		Kaindl			
		industrielle Abwärme			
Bezeichnung Wärmequelle		Abluft MDF Linie	Abluft Spanplatte	Abwasser	Kompressorabwärme
Allgemeine Informationen		aktuell keine Wärmeauskopplung vorhanden	aktuell Auskopplung von ca. 3 - 4 MW Fernwärme mit 95°C	Kondensat aus bestehender FW-Wärmerückgew.	6 Kompressoren
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	offen	offen	offen	Kompressorabwärme ca. 70°C. Wird selbst von Kaindl intern umgesetzt!
Medium	[-]	Abluft	Abluft	Abwasser	
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]	750.000	200.000	5	
durchschnittlicher Massenstrom	[kg/s]	260	69	1,4	
absolute Feuchte (bei Abluft)	[g/kg]	77	96	-	
relative Feuchte (bei Abluft)	[%]	90	54	-	
durchschnittliche Temperaturniveaus	[°C]	50	65	55	
WP Quelltemperatur	[°C]	45	60	45	
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	abhängig von Anbringungsort und Wärmemedium		250	
durchschnittliche Wärmeleistung bei Abkühlung auf 40 °C	[kW]	11.000	9.100	-	
Kondensatanfall bei Abkühlung auf 40°C	[m ³ /h]	14,5	11,1	-	
durchschnittliche Wärmeleistung bei Abkühlung auf 30 °C	[kW]	22.000	13.000	-	
Kondensatanfall bei Abkühlung auf 30°C	[m ³ /h]	29,2	15,8	-	
durchschnittliche Wärmeleistung bei Abkühlung auf 20 °C	[kW]	-	-	203	
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	7.500	7.500	7.500	
geschätzte Abwärmeenergie bei Abkühlung auf 40 °C	[GWh/a]	82,5	68,3	-	
geschätzte Abwärmeenergie bei Abkühlung auf 30 °C	[GWh/a]	165,0	97,5	-	
geschätzte Abwärmeenergie bei Abkühlung auf 20 °C	[GWh/a]	-	-	1,5	
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	ganzjährig	ganzjährig	ganzjährig	
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	5	5	3	
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Abwärmeentnahme aus Betrieb mit direkter Einspeisung in FW-Netz Vorlauf.			
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf			
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		Müsste je nach Leistung und Größe spezifisch abgeklärt werden.			
Stromnetzanbindung vorhanden		JA			
FW-Anbindung vorhanden		JA			
FW-Leitung Potential vorhanden		Neuberechnungen zu weiterem Potential aktuell in Bearbeitung.			

5.2.6 Wasserkraftwerk Hallein

5.2.6.1 Beschreibung Abwärmesituation Wasserkraftwerk Hallein

Generatorkühlung:

Die Kühlung der Generatoren erfolgt derzeit nur durch Luft. Hier wird wie im Wasserkraftwerk Urstein kein Potential als Wärmequelle für eine Wärmepumpe gesehen.

Kühlkreislauf:

Die Kühlung des Ölkreislaufs erfolgt aktuell nur über eine sehr dünne Leitung mit ca. 20 mm Durchmesser. Die bestehende größere Kühlanlage wurde aufgrund der nicht benötigten Kühlleistung schon vor Jahren ausgebaut. Somit besteht auch hier kein nutzbares Abwärmepotential.



Abbildung 39: Kühlwasserleitung Wasserkraftwerk Hallein

Trafokühlung:

Aufgrund zu hoher Trafotemperaturen im Sommer, wurde das Trafogebäude mit einer Luftkühlung ausgestattet. Diese läuft allerdings nur bei hohen Temperaturen im Sommer. Somit besteht auch hier kein nutzbares Abwärmepotential, da die Kühlung im Winter nicht betrieben wird.



Abbildung 40: Trafokühlung Wasserkraftwerk Hallein

Abwasserkanal Schweighofer Fiber:

Als mögliche Wärmequelle könnte der Abwasserkanal des Unternehmens Schweighofer Fiber angedacht werden. Dieser mündet direkt am Gelände des Wasserkraftwerks in die Salzach.

Platzmöglichkeit:

Derzeit ist im Gebäude keine Platzmöglichkeit für einen Wärmepumpenstandort vorhanden. Eine Platzmöglichkeit am freien Gelände ist jedoch gegeben.



Abbildung 41: Geländeplan Wasserkraftwerk Hallein

Schaltanlage:

Derzeit würde eine Reserveschaltanlage für eine Wärmepumpenversorgung zur Verfügung stehen. Es stünden max. ca. 3 MW_{el} zur Auskopplung zur Verfügung.



Abbildung 42: Reserveschaltanlage Wasserkraftwerk Hallein

Fernwärmeanbindung:

Das Fernwärmenetz Hallein führt in einigen 100 m am Wasserkraftwerk vorbei.

Stromerzeugung:

Ein genereller Nachteil bei der Nutzung von Wasserkraftwerken zur Versorgung von Wärmepumpen ist, dass die Stromerzeugung genau gegenläufig mit der Wärmeproduktion der Wärmepumpe ist. In den Wintermonaten, in denen die Wärmepumpe Wärme erzeugen soll, ist die Stromproduktion der Wasserkraftwerke aufgrund der geringeren Wassermenge niedrig. Dieses Problem tritt zwangsläufig auch bei den Wasserkraftwerken Urstein, Lehen und Rott auf. Die jeweiligen Verläufe der Stromerzeugung der letzten drei Jahre sind im Anhang zu finden.

5.2.6.2 Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Hallein

Tabelle 18: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Hallein

		Wasserkraftwerk Hallein	
Bezeichnung Wärmequelle		Abwärme aus Lager-, Generator- und tlw. Trafo-Kühlsystemen	Abwasserkanal Schweighofer Fiber
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	kein Potential vorhanden <small>(s. Begehungsprotokoll)</small>	offen
Medium	[-]		Abwasser
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]		400
durchschnittliche Temperatur	[°C]		30
WP Quelltemperatur	[°C]		15
durchschnittliche Wärmeleistung bei Abkühlung auf 20 °C	[kW]		4.644
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]		keine Angaben verfügbar
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]		
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]		
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]		
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Entnahme Wärme aus Abwasser und direkte Einspeisung in FW-Netz Vorlauf.	
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf	
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		Im Gebäude NEIN. Am freien Gelände JA.	
Stromnetzanbindung vorhanden		JA	
Schaltanlage vorhanden		JA / Reserveschaltanlage vorhanden (max. 3 MW Auskopplung möglich)	
FW-Anbindung vorhanden		Ja / Fernwärmenetz Hallein führt in einigen 100m vorbei.	
FW-Leitung Potential vorhanden		eher NEIN / Fernwärmenetz Hallein ausgelastet	

5.2.7 Wasserkraftwerk Urstein

5.2.7.1 Beschreibung Abwärmesituation Wasserkraftwerk Urstein

Generatorkühlung:

Die Kühlung der Generatoren erfolgt über ein Luft/Wasser Kühlsystem, welches indirekt über Triebwasser (Salzachwasser) gekühlt wird und somit sehr tiefe Temperaturen aufweist. Die geringe Zugänglichkeit zu den Wärmetauschern über einen Schacht in 6 m Tiefe und der geringe Platzbedarf, lassen die Generatorkühlung als Wärmequelle ausscheiden.

Kühlkreislauf:

Als weitere Wärmequelle könnte der gemeinsame Kühlkreis für die Trafokühlung und die Lagerölkühlung des Generators herangezogen werden. Es ist für jede der beiden Maschinen ein eigener Kühlkreislauf vorhanden. Es konnte generell festgestellt werden, dass die Kühlanlagen viel zu groß dimensioniert wurden, wodurch lt. Aussage der Betriebsleitung vermutlich beide Anlagen mit nur einem Kühlkreis gekühlt werden könnten. Die Kühlleistung pro Kühlkreislauf ist auf 146 kW ausgelegt.

Aus den Betriebsdaten konnten folgende Temperaturen ermittelt werden:

Tabelle 19: Kühlwassertemperaturen Wasserkraftwerk Urstein

Zeitraum	Kühlwasser-Vorlauftemp. [°C]	Kühlwasser-Rücklauftemp. [°C]
gemittelte Tagestemperatur 05.07.2016	16,5	21
gemittelte Tagestemperatur 05.10.2016	12,5	15
gemittelte Monatstemperatur 16.09.2016 bis 16.10.2016	13	17
gemittelte Monatstemperatur 31.10.2016 bis 30.11.2016	9	12,5

Der aktuelle Durchfluss am Begehungstag lag bei ca. 340 l/min. Mit einer durchschnittlichen Temperaturdifferenz von ca. 3,6°C aus obiger Tabelle, würde sich mit dem genannten Durchfluss eine Leistung von ca. 85 kW pro Kühlkreis ergeben.

Die Einbindung einer Wärmepumpe könnte am RL nach dem Blocktransformator erfolgen.

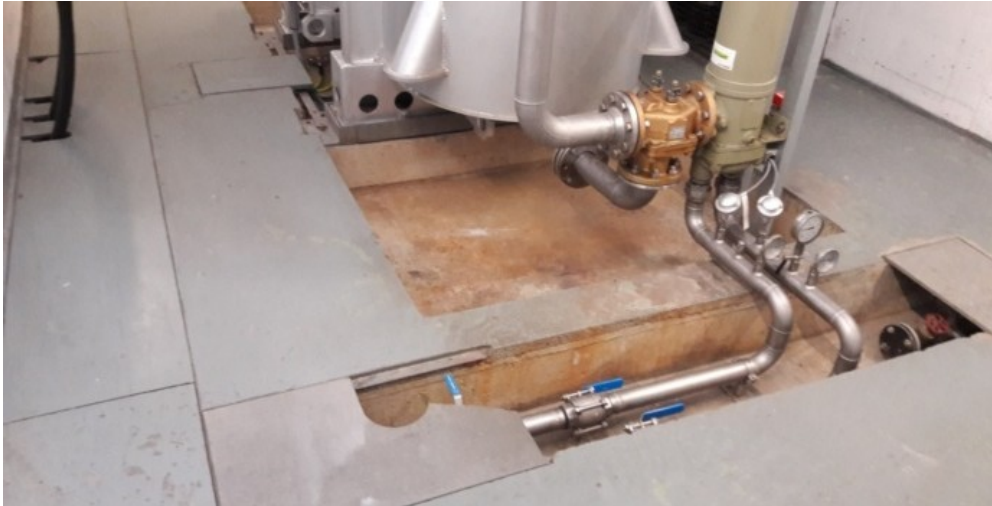


Abbildung 43: mögliche Anschlussstelle für Wärmepumpe im Wasserkraftwerk Urstein

Platzmöglichkeit:

Derzeit ist im Gebäude keine Platzmöglichkeit für einen Wärmepumpenstandort vorhanden. Eine Platzmöglichkeit am freien Gelände ist jedoch gegeben.

Schaltanlage:

Derzeit ist keine Schaltanlage für eine mögliche Wärmepumpenversorgung frei. Auch die Möglichkeit zur Erweiterung der Schaltanlage ist beschränkt.

Fernwärmeanbindung:

Die Wärmeschiene Hallein führt in einigen 100 m an dem Wasserkraftwerk vorbei.

5.2.7.2 Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Urstein

Tabelle 20: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Urstein

		Wasserkraftwerk Urstein	
Bezeichnung Wärmequelle		Abwärme aus Trafokühlung und Lagerölkühlung des Generators	Generatorkühlung (Luft/Wasser Kühlsystem)
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	geschlossen	schlecht zugänglich, sehr wenig (s. Begehungsprotokoll)
Medium	[-]	Wasser	
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]	20	
durchschnittliche Temperaturniveaus	[°C]	14 / 10	
durchschnittliche Temperaturdifferenz	[°C]	3,6	
WP Quelltemperatur	[°C]	10	
durchschnittliche Wärmeleistung je Maschine	[kW]	84	
durchschnittliche Wärmeleistung Gesamt	[kW]	167	
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	300	
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	7.400	
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	1,2	
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	ganzjährig	
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	3	
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Entnahme Wärme aus Kühlsystem und direkte Einspeisung in FW-Netz Vorlauf.	
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf	
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		Im Gebäude NEIN. Am freien Gelände JA.	
Stromnetzanbindung vorhanden		JA	
Schaltanlage vorhanden		NEIN, derzeit alles verbaut	
FW-Anbindung vorhanden		Wärmeschiene Hallein führt in einigen 100m Entfernung vorbei.	
FW-Leitung Potential vorhanden		NEIN / Wärmeschiene Hallein ausgelastet	

5.2.8 Wasserkraftwerk Lehen

5.2.8.1 Beschreibung Abwärmesituation Wasserkraftwerk Lehen

Kühlkreislauf:

Die Kühlung der Anlage (Generator & Getriebe) erfolgt über einen geschlossenen Kühlkreislauf mit einem Wärmetauscher im Triebwasser. Die Umwälzung des Kühlwassers erfolgt je Maschine mit zwei redundant ausgeführten frequenzgeregelten Pumpen, welche abwechselnd im Einsatz sind (Abbildung 44). Das Schema des Kühlkreislaufs ist in Abbildung 45 vereinfacht dargestellt.



Abbildung 44: Umwälzpumpen Kühlkreislauf Wasserkraftwerk Lehen

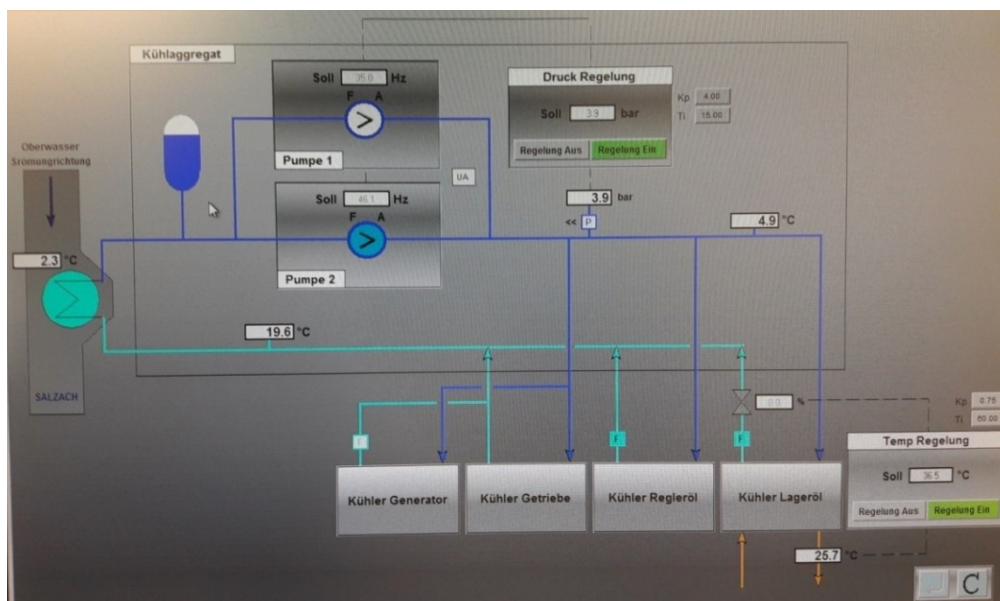


Abbildung 45: Schema Kühlkreislauf Wasserkraftwerk Lehen

Erhebung vorhandener Abwärmequellen

Die Temperaturaufzeichnungen (Vor- und Rücklauf jeder Maschine) der Kühlkreisläufe sind im Anhang zu finden.

Trafokühlung:

Die Transformatoren sind luftgekühlt, womit kein nutzbares Abwärmepotential zur Verfügung steht.

Platzmöglichkeit:

Derzeit ist weder im Gebäude noch im Eingangsbereich eine Platzmöglichkeit für eine Hochtemperatur-Wärmepumpe vorhanden. Die einzigen Möglichkeiten eine Wärmepumpe aufzustellen, wären in einem neuen Bauwerk am südöstlichen Ufergebiet oder in einer Art Zwischenstock im Maschinenhaus.

Schaltanlage:

Aktuell steht keine Schaltanlage für eine Wärmepumpenversorgung zur Verfügung. Es wäre aber Platz für die Erweiterung von einem weiteren Leistungsschaltfeld gegeben.



Abbildung 46: Platzmöglichkeit für eine weitere Schaltzelle

Fernwärmeanbindung:

Das Fernwärmenetz Salzburg führt am Wasserkraftwerk Lehen vorbei.

Stromerzeugung:

Die Jahresdauerlinien der Jahre 2014 bis 2016 der Stromerzeugung im KW Lehen sind im Anhang in Abbildung 57 dargestellt.

5.2.8.2 Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Lehen

Tabelle 21: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Lehen

		Wasserkraftwerk Lehen
Bezeichnung Wärmequelle		Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	geschlossen
Medium	[-]	Wasser
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]	41
durchschnittliche Temperaturniveaus	[°C]	22 / 16
durchschnittliche Temperaturdifferenz	[°C]	5,5
WP Quelltemperatur	[°C]	15
durchschnittliche Wärmeleistung je Maschine	[kW]	262
durchschnittliche Wärmeleistung Gesamt	[kW]	524
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	870
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	6.000
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	3,1
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	ganzjährig
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	3
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Entnahme Wärme aus Kühlsystem und direkte Einspeisung in FW-Netz Vorlauf.
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		Bedingt
Stromnetzanbindung vorhanden		JA
Schaltanlage vorhanden		NEIN, aber Platz für die Erweiterung von einem weiteren Leistungsschaltfeld ist gegeben.
FW-Anbindung vorhanden		JA
FW-Leitung Potential vorhanden		JA

5.2.9 Wasserkraftwerk Rott

5.2.9.1 Beschreibung Abwärmesituation Wasserkraftwerk Rott

Allgemeine Information:

Das Wasserkraftwerk Rott speist derzeit nur Strom in den deutschen Markt ein und wird auch nach deutschen Normen betrieben. Aufgrund der deutschen Ökostromförderung gilt es zu prüfen, wie lange diese Einspeisevergütung noch vertraglich gesichert ist.

Lt. Auskunft von Hrn. Johann Moser dürfte das KW Rott bis 2024 nicht für eine Wärmepumpennutzung relevant sein. Es wird bis dahin vermutlich nur als Einspeisung "nach EEG" (Erneuerbare-Energien-Gesetz) bzw. zur „Direktvermarktung" genutzt. Der Erlös beträgt dabei rund 74 EUR/MWh.

Trafokühlung:

Der Blocktrafo ist ebenfalls wie im Wasserkraftwerk Hallein nur mit einer Luftkühlung ausgestattet, welche nur bei hohen Temperaturen im Sommer in Betrieb ist. Somit besteht auch hier kein nutzbares Abwärmepotential.

Platzmöglichkeit:

Derzeit ist im Gebäude keine Platzmöglichkeit für einen Wärmepumpenstandort vorhanden. Eine Platzmöglichkeit am freien Gelände wäre jedoch gegeben.

Schaltanlage:

Derzeit steht keine Schaltanlage für eine Wärmepumpenversorgung zur Verfügung. Es wäre aber Platz für die Erweiterung von einem weiteren Leistungsschaltfeld gegeben.



Abbildung 47: Schaltanlage Wasserkraftwerk Rott

5.2.9.2 Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Rott

Tabelle 22: Ergebnisübersicht Wasserkraftwerk Rott

		Wasserkraftwerk Rott
Bezeichnung Wärmequelle		Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	geschlossen
Medium	[-]	Wasser
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]	30
durchschnittliche Temperaturniveaus	[°C]	30 / 25
durchschnittliche Temperaturdifferenz	[°C]	5
WP Quelltemperatur	[°C]	20
durchschnittliche Wärmeleistung je Maschine	[kW]	172
durchschnittliche Wärmeleistung Gesamt	[kW]	344
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	340
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	6.880
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	2,4
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	ganzjährig
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	3
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Entnahme Wärme aus Kühlsystem und direkte Einspeisung in FW-Netz Vorlauf.
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		Im Gebäude NEIN. Am freien Gelände JA.
Stromnetzanbindung vorhanden		JA
Schaltanlage vorhanden		NEIN, aber Platz für die Erweiterung von einem weiteren Leistungsschaltfeld ist gegeben.
FW-Anbindung vorhanden		NEIN
FW-Leitung Potential vorhanden		-

5.2.10 Sonde Obermoos

5.2.10.1 Beschreibung Sonde Obermoos

Bei der Sonde Obermoos handelt es sich um eine Thermalwasserbohrung (Geothermie), genauer um eine artesisch gespannte Thermalsole mit 6bar Kopfdruck nördlich des Untersberges, welche 1990 abgeteuft wurde. Die Sole kühlte bei damaligen Messungen beim Anstieg an die Oberfläche stark ab, wobei die Temperatur am Bohrlochmund nur noch ca. 22°C mit einem Überlauf von 0,1-0,2l/s betrug. In einer Tiefe von 2000-2469m betrug die Temperatur bei damaligen Messungen ca. 70°C.

Eine Bewilligung für die Entnahme und Nutzung der Quelle wurde 1993 aufgrund des Natrium-, Chlorid- & Sulfatgehalts nicht erteilt. Die Einleitkriterien in die Salzburger Kanalisation waren damals nicht gegeben.

Derzeit sind keine Daten zum tatsächlichen Potential und möglichen Entnahmemengen vorhanden! Ein aussagekräftiger Pumpversuch zu einer möglichen Entnahmerate wurde damals aufgrund zu hoher Kosten (Errichtung eines Beckens, usw.) nicht durchgeführt.

Für eine Abschätzung der Leistung wurden folgende Annahmen getroffen:

Entnahmerate: max. 10 [l/s]

Temperatur: 50 [°C] – wenn eine Wärmepumpe dauerhaft in Betrieb wäre, würde dies vermutlich zu einer Erwärmung der Steigleitung führen, wodurch die Temperatur am Bohrlochmund steigen würde! Es wird zusätzlich eine Abkühlung des Thermalwassers auf 10°C angenommen.

$$\dot{Q} = \dot{V} * \rho * c_p * \Delta T = \frac{10 \left[\frac{l}{s} \right]}{1000 \left[\frac{l}{m^3} \right]} * 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] * 4,18 \left[\frac{kJ}{kg K} \right] * (50 [^{\circ}C] - 10 [^{\circ}C]) = 1672 [kW]$$

Aufgrund einer geschätzten Leistung von ca. 1,5MW, könnte die Sonde Obermoos max. für eine örtliche Versorgung/lokale Insellösung verwendet werden. Aufgrund der hohen Entfernung und der geringen Leistung ist eine Verwendung für das Fernwärmeverbundnetz Salzburg/Hallein nicht gegeben.

Fraglich bleibt zudem, wie sich eine Wärmeentnahme auf die Quelle selbst auswirken würde, bzw. welche Kapazität der Grundwasserkörper hätte. Es wäre möglich, dass eine Wärmeentnahme zu einer stetigen Abkühlung der Quelle führen könnte.

5.2.11 Grundwasser

5.2.11.1 Beschreibung Situation Grundwasser

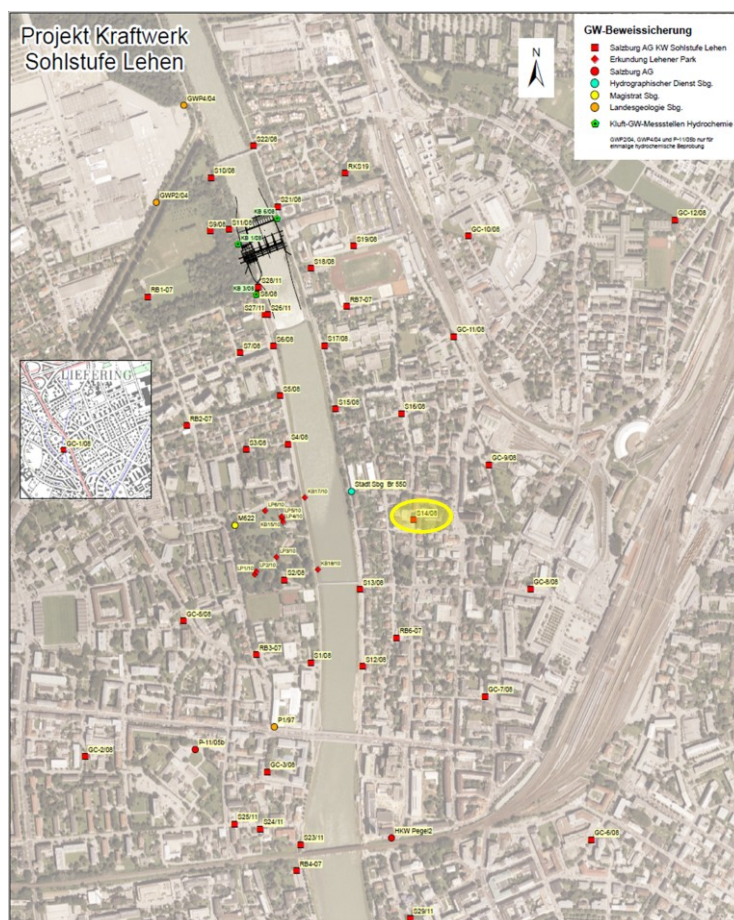
Die aktuellsten Informationen die lt. Land Salzburg zum Grundwasser der Stadt Salzburg vorhanden sind, sind Unterlagen aus dem Bau des Wasserkraftwerks Lehen 2013.

Beim Bau des Kraftwerks wurden sämtliche Grundwassertemperaturen untersucht, wobei eine Messstelle (Pegel S14/08), welche in Abbildung 48 gelb markiert wurde, sehr vielversprechend aussah.

Die generelle Durchschnittstemperatur der Pegel liegt bei ca. 10 bis 15 °C, wobei Pegel S14/08 eine Temperatur von ca. 19 °C aufwies (Datenstand 2014).

Es könnte theoretisch sein, dass die hohen Temperaturwerte einen Zusammenhang mit der damaligen Dampfleitung zwischen den Kraftwerksstandorten HKW-Mitte und HKW-Nord hatten. Diese Leitung wurde Ende 2013/Anfang 2014 stillgelegt. Die Überwachung des Pegels im Rahmen des Beweissicherungsprogramms endete aber ebenfalls 2014.

Eine Temperaturmessung am 08.02.2017 ergab 14 °C in einer Abstichtiefe von 4,07 m. Dieses Ergebnis konnte die obige Vermutung bestätigen. Aus diesem Grund wurde die Quelle Grundwasser vorerst nicht weiter betrachtet.



5.2.12 Abwasser

5.2.12.1 Beschreibung Situation Abwasser [52]

Bei der Salzburger Kanalisation handelt es sich um eine Mischkanalisation (Schmutz-, Fremd- und Regenwasser). Dadurch unterliegt der Betrieb starken Temperatur- & Mengenschwankungen, sowohl Jahreszeitlich als auch über den Tag.

Die durchschnittlichen Zulauftemperaturen [°C] in die Abwasserreinigungsanlage betragen:

	<u>2014</u>	<u>2015</u>
Sommer	16 bis 18	16 bis 18
Winter	11 bis 13	11 bis 13

Im Zeitraum des Winters, in welchem die Wärmepumpe für die FW-Versorgung essentiell wäre, kommt es allerdings teilweise zu Temperaturen unter 10°C (min. 7,5°C). Bei den kalten Temperaturen, kann wenig (1 bis 2°C) bis keine Wärme aus dem Abwasser entnommen werden, da für eine ordnungsgemäße Funktion der Kläranlage minimal 9 bis 10°C benötigt werden.

Der durchschnittliche Volumenstrom [l/s] im Sammler Schlachthof beträgt:

	<u>2014</u>	<u>2015</u>	<u>Mittelwert</u>
Sommer	1300	900	1100
Winter	800	650	725

Die Zulaufmengen schwanken sehr stark zwischen den Jahren. Im Jahr 2015 betrug die Gesamtmenge nur ca. 70% der Menge von 2014.

Generell problematisch wird der Bereich Wartung- und Instandhaltung sowie ein erhöhter Reinigungsaufwand in der Abwasserwärmenutzung gesehen. Es sind zum einen riesige Wärmetauscherflächen notwendig, welche aber nur im Bereich der Kanalsohle eingesetzt werden können, wodurch es zu beträchtlich langen Wärmetauschern kommen kann. Zum anderen gibt es immer wieder Probleme mit Verschmutzungen und Fettablagerungen, welche die Wärmeübertragung negativ beeinflussen und somit zu Leistungseinbußen führen. Der Sammelschacht befindet sich zudem meist in einer Tiefe von ca. 6 bis 8m, wodurch dieser nicht einfach zugänglich ist.

Bessere Lösung für Abwasserwärmenutzung:

Kleine Wärmerückgewinnungssysteme mit Wärmetauschern direkt an der Abwärmequelle (z.B. Wohnblöcke, Hotels,...) und getrennten Fäkal- und Grauwasserablauf. Dadurch könnten direkt die hohen Temperaturen von Dusche, Geschirrspüler und Waschmaschine genutzt werden, bevor sich diese mit kaltem Kanalwasser vermischen.

Erhebung vorhandener Abwärmequellen

Für den Bereich Abwasser wurden zwei Standorte betrachtet, der Sammler Schlachthof und der Ufersammler am HKW-Nord. Der Standort HKW-Nord würde sich anbieten, da hier bereits eine elektrische Versorgung und ein Fernwärmeanschluss samt Speicher vorhanden wären.

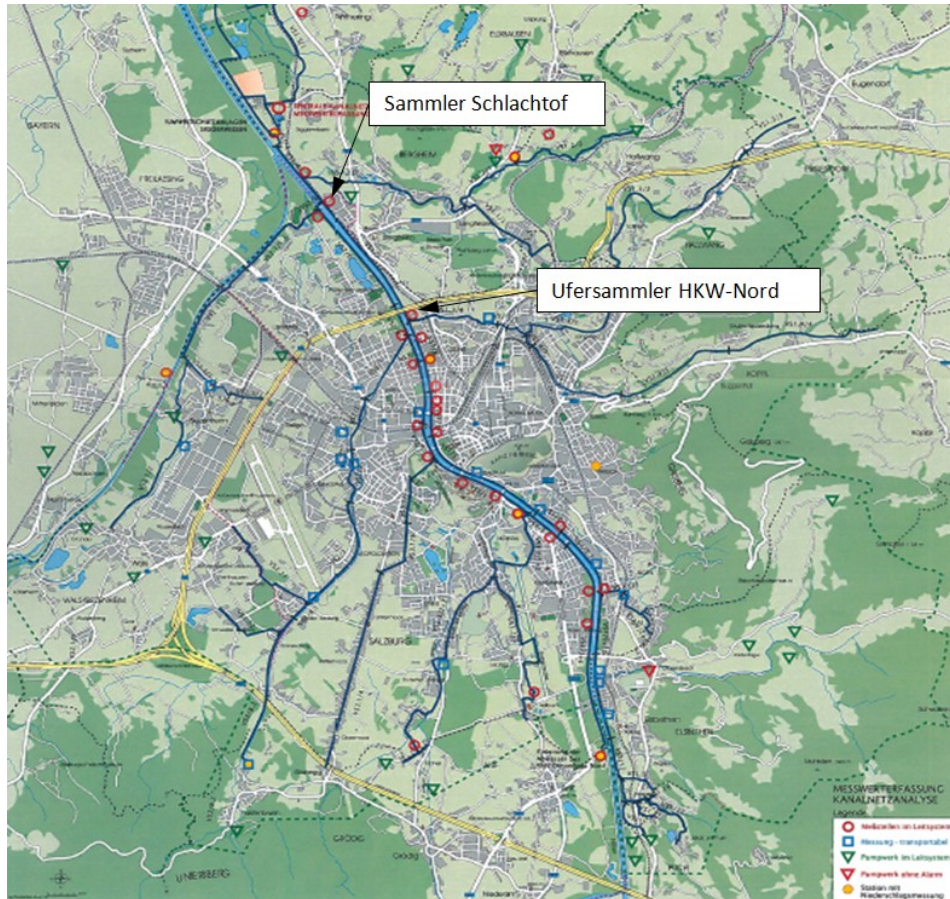


Abbildung 49: Übersicht Reinhalteverband Großraum Salzburg

5.2.12.2 Ergebnisübersicht Abwasser

Tabelle 23: Ergebnisübersicht Abwasser

		Abwasser	
		Abwasserkanal ARA	
Bezeichnung Wärmequelle		Sammler Schlachthof	Ufersammler HKW-Nord
Kühlkreislauf (offen, geschlossen)	[-]	offen	offen
Medium	[-]	Abwasser	Abwasser
durchschnittlicher Volumenstrom	[m ³ /h]	2.610	1.980
durchschnittliche Temperaturniveaus	[°C]	12 / 11	12 / 11
durchschnittliche Temperaturdifferenz	[°C]	1	1
WP Quelltemperatur	[°C]	8	8
durchschnittliche Wärmeleistung	[kW]	3.031	2.299
benötigte Wärmetauscherfläche	[m ²]	13.000	10.000
Betriebsstunden/Jahr	[h/a]	8.000	8.000
geschätzte Abwärmeenergie	[GWh/a]	24,2	18,4
Zeitliche Verfügbarkeit (ganzjährig, Sommer/Winter, Tages-verlauf, etc.)	[-]	ganzjährig	ganzjährig
Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	[-]	5	5
geplante Einsatzstrategie der HT-Wärmepumpe		Rücklaufanhebung auf 95 °C mit direkter Einspeisung ins Fernwärmenetz/Speicher oder Rücklaufanhebung auf 80 °C (WP-Standardlösungen) mit anschließender fossiler Nacherwärmung.	
Wärmesenke		Einspeisung in FW-Netz Vorlauf	
Platzmöglichkeit für WP-Vorhanden		JA	
Stromnetzanbindung vorhanden		NEIN	JA
Schaltanlage vorhanden		NEIN	
FW-Anbindung vorhanden		NEIN	JA
FW-Leitung Potential vorhanden		-	JA

5.2.13 Übersicht

Tabelle 24: Ergebnisübersicht Gesamttabelle

Bezeichnung Wärmequelle		durchschnittliche Temperaturmiveau	WP Quelltemperatur	durchschnittliche Wärmeleistung	Betriebsstunden / Jahr	geschätzte Abwärmeenergie	Komplexität/Aufwand der Wärmeauskopplung (1-5; 1 einfach; 5 sehr komplex/aufwändig)	Bemerkung / Ausscheidgrund
		[°C]	[°C]	[kW]	[h/a]	[GWh/a]	[]	
Industrielle Abwärme Schweighofer Fiber	Niedertemperaturabwärme Gesamt	-	-	>30.000	-	-	-	Engpasssituation Wärmeschleife Hallein
Industrielle Abwärme Kaindl	Abluft MDF Linie	50	45	>11.000	7.500	>82,5	5	Platzbedarf für Wärmetauscher nicht vorhanden / bzw. Rauchgaswärmung sehr aufwändig
HKW-Mitte	Rauchgaskondensation (Erdgas AHK)	122 / 101	40	>10.000	3.000	>30	5	
Industrielle Abwärme Kaindl	Abluft Spanplatte	65	60	>9.000	7.500	>67,5	5	
HKW-Mitte	Kühlkreis Gesamt	8	5	6.967	4.500	31,4	3	
Wasserkraftwerk Hallein	Abwasserkanal Schweighofer Fiber	30	15	4.644	-	-	5	Abwasser vorgeklärt, Schwebstoffe vorhanden, Engpasssituation Wärmeschleife Hallein
HKW-Nord	Rauchgaskondensation (Erdgas)	156 / 85	40	>4.500	4.000	18	3	
HKW-Mitte	Rauchgaskondensation (Erdgas SOK/GKM)	154 / 101	40	>4.000	5.000	>20	5	Platzbedarf für Wärmetauscher nicht vorhanden / bzw. Rauchgaswärmung sehr aufwändig
HKW-Mitte	Rauchgasabkühlung (Erdgas AHK)	122 / 101	85	3.500	3.000	10,5	4	ohne Wärmepumpe möglich
Abwasser	Sammler Schlaechthof	12 / 11	8	3.031	8.000	24,2	5	aufgrund von Schmutzfracht mit Ablagerungen/Ausfällungen, hohem Reinigungsaufwand und zu geringen Temperaturen im Winter
HKW-Mitte	Nebenkühlkreis Gesamt (Warmwasserseite)	27 / 20	20	2.788	3.000	8,4	3	
HKW-Mitte	Nebenkühlkreis Gesamt (Kaltwasserseite)	16 / 8	10	2.787	3.000	8,4	3	
Abwasser	Ufersammler HKW-Nord	12 / 11	8	2.299	8.000	18,4	5	aufgrund von Schmutzfracht mit Ablagerungen/Ausfällungen, hohem Reinigungsaufwand und zu geringen Temperaturen im Winter
HKW-Mitte	GT-Generator (Nebenkühlkreis)	35 / 18	25	2.290	3.000	6,9	3	
BMHKW-Siezenheim	Rauchgaskondensation	150	40	1.350	8.200-8.400	11,1	3	Bereits in Planung
HKW-Nord	Rauchgasabkühlung (Erdgas)	156 / 85	80	1.280	4.000	5,1	2	ev. ohne Wärmepumpe möglich
HKW-Mitte	Rauchgasabkühlung (Erdgas SOK/GKM)	154 / 101	85	1.150	5.000	5,8	3	ohne Wärmepumpe möglich
HKW-Nord	Kühlkreislauf (Warmwasserseite)	32 / 25	25	749	4.000	3,0	1	
HKW-Nord	Kühlkreislauf (Kaltwasserseite)	24 / 9	15	749	4.000	3,0	2	
Wasserkraftwerk Lehen	Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung	22 / 16	15	524	6.000	3,1	3	
HKW-Mitte Steamblock	Rauchgaskondensation (Erdgas)	114 / 101	40	>900	5.500	>2,7	5	Platzbedarf für Wärmetauscher nicht vorhanden / bzw. Rauchgaswärmung sehr aufwändig
Wasserkraftwerk Rott	Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung	30 / 25	20	344	6.880	2,4	3	bis 2024 nur als Einspeisung "nach EEG" (Erlös ca. 74 €/MWh)
Industrielle Abwärme Kaindl	Abwasser	55	45	203	7.500	1,5	3	zu geringe Leistung / mehr Potential von anderen Abwärmequellen am Standort
Wasserkraftwerk Urstein	Abwärme aus Trafikühlung und Lagerkühlung des Generators	14 / 10	300	167	7.400	1,2	3	zu geringe Leistung und Engpasssituation Wärmeschleife Salzburg-Hallein
HKW-Mitte Steamblock	Rauchgasabkühlung (Erdgas)	114 / 101	85	50	5.500	0,3	4	zu geringe Leistung
Grundwasser	Pegel S14/08	14	-	-	-	-	-	andere Quellen in Umgebung weisen höhere Temperaturen auf, mögliche Entnahmeraten unbekannt
Sonde Obermoos	Geothermie Thermalwasserbohrung	70 °C in 2.000 m Tiefe 22 °C am Bohrlochmund	-	-	-	-	-	Aufgrund Entfernung zum Fernwärmenetz und einer geschätzten Leistung von ca. 1,5 MW, nur als lokale Insellösung denkbar.

Tabelle 24 zeigt eine zusammenfassende Übersicht aller identifizierten und bewerteten Abwärmequellen. Anhand dieser Tabelle erfolgte eine Auswahl von relevanten Standorte und deren Abwärmequellen.

Die Bewertung erfolgte durch folgende Faktoren:

- Durchschnittliches Temperaturniveau
- Wärme-/Abwärmeleistung
- Komplexität
 - Platzverhältnisse
 - Aufwand der Wärmeauskopplung
 - Technische Realisierbarkeit
 - Fernwärmesituation

Bei allen grün hinterlegten Quellen könnte nach genauer Betrachtung aus technischer Sicht eine Wärmepumpenanwendung sinnvoll sein. Für diese wurden von einigen Herstellern Richtangebote angefordert.

Bei den zwei gelb hinterlegten Quellen des HKW-Mitte (Rauchgasabkühlung) wäre eine Abwärmenutzung theoretisch sogar ohne Wärmepumpe möglich. Aufgrund der ermittelten Abwärmepotentiale, werden diese beiden Quellen aber ebenfalls in der Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt.

Beim Abwasserkanal Schweighofer Fiber ist der Ausscheidgrund die Engpasssituation der Wärmeschiene Salzburg-Hallein sowie die generelle Abwasserproblematik. Alle rot markierten Quellen haben zu wenig Potential oder sind aus technischer Betrachtungsweise derzeit nicht umsetzbar.

Als Wärmesenke soll größtenteils das Fernwärmenetz Salzburg herangezogen werden. Für die Vorlauftemperatur werden 95-115°C, für die Rücklauftemperatur 65-70°C angenommen. Einzig bei den Kühlkreisen des HKW-Mitte und des HKW-Nord könnte eine Speisewasservorwärmung mit einer Vorlauftemperatur von nur rund 80°C in Frage kommen. Die Einspeisung selbst soll zur hydraulischen Entkopplung über Umformerstationen erfolgen. Ein genauer Überblick aller relevanten Quellen ist in Tabelle 25 dargestellt.

Erhebung vorhandener Abwärmequellen

Tabelle 25: Übersicht relevanter Abwärmequellen

Bezeichnung Wärmequelle	Medium	durchschnittlicher	durchschnittliche	durchschnittliche	Betriebsstunden	Konzept / Einsatzstrategie
		Volumenstrom	Temperaturniveau	Wärmeleistung		
		[m^3/h]	[$^{\circ}\text{C}$]	[kW]	[h/a]	
Rauchgasabkühlung AHK ohne WP (Erdgas)	Abgas	450.000 Nm^3/h 160 kg/s	122 / 101	3.500	3000	FW
Rauchgasabkühlung SÖK/GKM ohne WP (Erdgas)	Abgas	55.000 Nm^3/h 20 kg/s	154 / 101	1.150	5.000	FW
HKW-Mitte						
Kühlkreis Gesamt	Wasser	2.000 [m^3/h]	8	je nach Abkühlung mehr als 6.000 kW	4.500	FW / SP
Nebenkühlkreis Gesamt (Warmwasserseite)	Wasser	343 [m^3/h]	27 / 20	2.790	3.000	FW / SP
Nebenkühlkreis Gesamt (Kaltwasserseite) *	Wasser	300 [m^3/h]	16 / 8	je nach Abkühlung mehr als 2.790 kW	3.000	FW / SP
GT-Generator (Nebenkühlkreis)	Wasser	116 [m^3/h]	35 / 18	2.290	3.000	FW / SP
HKW-Nord						
Rauchgaskondensation (Erdgas)	Abgas	45.000 Nm^3/h 16 kg/s	156 / 50	je nach Abkühlung mehr als 4.500 kW	4.000	FW
Rauchgasabkühlung (Erdgas)	Abgas	45.000 Nm^3/h 16 kg/s	156 / 85	1.280	4.000	FW
Rauchgasabkühlung ohne WP (Erdgas)	Abgas	45.000 Nm^3/h 16 kg/s	156 / 95	1.000	4.000	FW
Kühlkreislauf (Warmwasserseite)	Wasser	92 [m^3/h]	32 / 25	749	4.000	SP
Kühlkreislauf (Kaltwasserseite) *	Wasser	43 [m^3/h]	24 / 9	je nach Abkühlung mehr als 749 kW	4.000	FW / SP
BMHKW- Siezenheim						
Rauchgaskondensation	Abgas	19.100 Nm^3/h 6,8 kg/s	150 / 50	je nach Abkühlung mehr als 1.350 kW	8200-8400	FW
Industrielle Abwärme Kaindl						
Rauchgaskondensation MDF-Linie	Abluft	750.000 Nm^3/h 260 kg/s	50	> 11.000	7.500	FW
Rauchgaskondensation Spanplatten-Linie	Abluft	200.000 Nm^3/h 69 kg/s	65	> 9.000	7.500	FW
Wasserkraftwerk Lehen						
Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung	Wasser	82 [m^3/h]	22 / 16	524	6.950	FW

* Wenn der Einsatzbereich des Kältemittels eine weitere Temperaturabsenkung zulässt, sollte diese betrachtet werden!

Bei den drei Quellen in grauer Schrift ist eine Abwärmenutzung ohne Wärmepumpe möglich. Je nach örtlicher Gegebenheit oder Betriebsweise können bei den Wärmequellen folgende mögliche Konzepte / Einsatzstrategien verfolgt werden:

- FW Wärmeeinspeisung mit min. 95 °C direkt in den FW-Netz Vorlauf
- SP Speisewasservorwärmung auf ca. 80 °C
- FW/SP Wärmeeinspeisung mit min. 95 °C direkt in den FW-Netz Vorlauf
oder Vorwärmung des Kessel-Speisewassers auf ca. 80 °C

6 ERSTELLUNG MÖGLICHER KONZEPTE MIT TECHNISCHEN UND WIRTSCHAFTLICHEN BERECHNUNGEN

Zur Erlösberechnung der Wärmepumpenanwendung wurden die Grenzkosten des bestehenden Kraftwerksportfolios und die Grenzkosten des um das Projekt erweiterten Portfolios ermittelt. Die Differenz der Grenzkosten (sogenannter Rohüberschuss) wurde als Erlös in der Wirtschaftlichkeitsrechnung verwendet.

In der Wirtschaftlichkeitsrechnung selbst wurden die Amortisationsdauer der Anlage, der Kapitalwert der Anlage nach der angenommenen Nutzungsdauer sowie der interne Zinsfuß des Projekts berechnet.

Den ersten Schritt stellte dafür eine Abschätzung der Investitionskosten dar, welche in der Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt wurden. Die Berechnung der oben genannten Parameter erfolgte im nächsten Abschnitt durch ein unternehmensinternes Wirtschaftlichkeitsmodell, welches mit komplexen Marktpreisszenarien und hinterlegten Energiepreisen rechnet, wodurch man Auskunft über die wirtschaftliche Einsatzfähigkeit eines neuen Projekts erhält.

Für die Abwärmequelle „industrielle Abwärme Kaindl“ konnte zu diesem Zeitpunkt aufgrund fehlender externer Daten kein Konzept bzw. keine wirtschaftliche Betrachtung angestellt werden.

6.1 Wärmepumpen Anlagenkosten

Nach genauer Prüfung der Herstellerangebote konnte festgestellt werden, dass es eine signifikante Abhängigkeit der spezifischen Wärmepumpenkosten (spez. Anlagenkosten) von der Wärmequelltemperatur gibt. Der Trend ist dahingehend, dass je höher die Quelltemperatur, desto günstiger die Wärmepumpenanlage selbst. Dieser Fakt erschwert neben einem schlechten COP die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit von Projekten mit niedrigen Quelltemperaturen. Eine graphische Darstellung ist hierzu in Abbildung 50 zu finden.

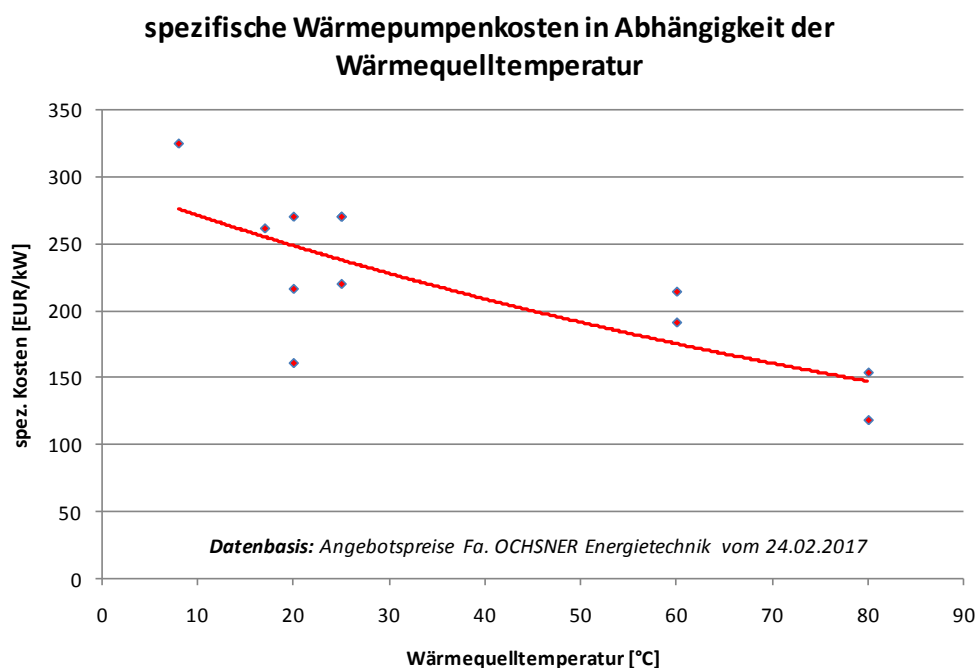


Abbildung 50: spezifische Wärmepumpenkosten in Abhängigkeit der Wärmequelltemperatur

6.2 Investitionskosten

Die Kostenschätzung erfolgte in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern der Salzburg AG, wobei auf Erfahrungswerte bereits umgesetzter Projekte zurückgegriffen werden konnte. Dabei wurde immer Rücksicht auf die technischen Gegebenheiten (Platzbedarf usw.) genommen, wodurch z.B. die Kosten für Rohrleitungen anhand der Distanzen und den spezifischen Kosten [EUR/m] ermittelt werden konnten. Die Kostenschätzung der Wärmepumpe selbst erfolgte nach Richtpreisen der Fa. Ochsner Energietechnik vom 24.02.2017.

Für jeden Standort wurden die Kosten für die WP-Anlage selbst, die thermische Infrastruktur, die elektrische Infrastruktur, die Einbindung in die Leittechnik sowie eine Änderung der baulichen Infrastruktur und Kosten für externe wie interne Leistungen bewertet. Für unvorhersehbare Ereignisse wurde aus Gründen des derzeitigen Planungsstandes zusätzlich ein Posten mit 20% der gesamten Investitionskosten angesetzt. Bei förderfähigen Anlagen, welche nicht am CO₂-Emissionshandel teilnehmen, konnte eine Förderung von 15% der Projektkosten angenommen werden. Die Ergebnisse mit detaillierten Angaben zu den einzelnen Kostenpositionen sind in Tabelle 26 angeführt.

Bei dieser ersten Vorsondierung der Angebote mit wirtschaftlichen und technischen Betrachtungen, mussten bereits einige Quellen infolge zu großem Platzbedarf der Wärmepumpen sowie schlechten COP's aufgrund zu geringen Temperaturen bzw. höheren Potentialen von Quellen am selben Standort aus der weiteren Untersuchung ausgeschlossen werden (Tabelle 27).

Tabelle 26: Investitionskosten der Projekte

Projektkosten Salzburg AG, Stand 25.04.2017	Einheit	HKW-Mitte				HKW-Nord				BMHKW-Siezenheim	Wasserkraftwerk Lehen
		Rauchgasabkühlung AHK ohne WP (Erdgas)	Rauchgasabkühlung SOK/GKM ohne WP (Erdgas)	Nebenkühlkreis Gesamt (Warmwasserseite)	Rauchgaskondensation (Erdgas)	Rauchgasabkühlung (Erdgas)	Rauchgasabkühlung ohne WP (Erdgas)	Kühlkreislauf (Warmwasserseite) Speisewasservorwärmung	Rauchgaskondensation	Vers. 2./WP im Maschinenhaus Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung	
Wärmepumpe		€ 0	€ 0	€ 858.000	€ 600.000	€ 205.000	€ 0	€ 190.000	€ 205.500	€ 200.000	
Thermische Infrastruktur (Pumpenlagern, Rohrleitungsbau)		€ 600.000	€ 445.000	€ 155.000	€ 820.000	€ 395.000	€ 346.000	€ 40.000	€ 640.000	€ 87.000	
Wärmetauscher Quelle (ECO)		€ 350.000	€ 400.000	€ 0	€ 600.000	€ 250.000	€ 250.000	€ 0	€ 300.000	€ 0	
Wärmetauscher Dampf		€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 220.000	€ 0	
Anbindung Dampf-WT		€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
Anbindung Quelle		€ 0	€ 0	€ 110.000	€ 70.000	€ 40.000	€ 0	€ 20.000	€ 120.000	€ 50.000	
Anbindung Senke		€ 250.000	€ 45.000	€ 45.000	€ 150.000	€ 105.000	€ 96.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 37.000	
Elektrische Infrastruktur (Trafo, Netz)		€ 0	€ 0	€ 400.000	€ 150.000	€ 150.000	€ 0	€ 30.000	€ 80.000	€ 180.000	
10kV Schaltanlage	[EUR]	€ 0	€ 0	€ 100.000	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 60.000	
Kabel im Gebäude		€ 0	€ 0	€ 100.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 0	€ 0	€ 0	€ 20.000	
Trafo		€ 0	€ 0	€ 40.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 0	€ 0	€ 20.000	€ 20.000	
Niederspannungsverkabelung		€ 0	€ 0	€ 100.000	€ 60.000	€ 60.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 30.000	€ 50.000	
Niederspannungsschaltanlage		€ 0	€ 0	€ 60.000	€ 50.000	€ 50.000	€ 0	€ 20.000	€ 30.000	€ 30.000	
Montage & Anklemmung		€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
Einbindung in Letzttechnik		€ 50.000	€ 50.000	€ 220.000	€ 30.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 20.000	€ 20.000	
Kondensatbehandlungsanlage		€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	
Bauliche Infrastruktur (Bestandsumbau, Statik)		€ 10.000	€ 10.000	€ 100.000	€ 100.000	€ 100.000	€ 50.000	€ 50.000	€ 75.000	€ 20.000	
Ext. Leistungen (Doku, Inbetriebnahme, Planungskosten, Behörde, usw.)		€ 65.000	€ 65.000	€ 200.000	€ 200.000	€ 150.000	€ 65.000	€ 50.000	€ 85.000	€ 50.000	
UV (20%)		€ 145.000	€ 115.000	€ 387.000	€ 380.000	€ 200.000	€ 95.000	€ 76.000	€ 221.100	€ 111.000	
Summe Investitionskosten	[EUR]	€ 870.000	€ 685.000	€ 2.320.000	€ 2.280.000	€ 1.220.000	€ 576.000	€ 456.000	€ 1.326.600	€ 668.000	
Eigenleistungen (ABA)		€ 90.000	€ 90.000	€ 140.000	105000	84000	84000	84000	80000	80000	
Summe Projektkosten	[EUR]	€ 960.000	€ 775.000	€ 2.460.000	€ 2.385.000	€ 1.325.000	€ 660.000	€ 540.000	€ 1.406.000	€ 748.000	
Förderung (15%)		€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	-€ 211.000	-€ 112.000	
Summe Projektkosten nach Förderung	[EUR]	€ 960.000	€ 775.000	€ 2.460.000	€ 2.385.000	€ 1.325.000	€ 660.000	€ 540.000	€ 1.195.000	€ 636.000	
Abwärmeleistung	[kW]	3.500	1.150	2.790	4.500	1.280	1.000	750	1.350	525	
elektr. Leistung	[kW]	-	-	1.300	1.350	175	-	380	405	240	
COP	[-]	-	-	3,1	4,3	8,4	-	3,0	4,3	2,9	
Heizleistung Gesamt	[kW]	3.500	1.150	4.090	5.850	1.455	1.000	1.130	1.755	765	
Betriebsstunden pro Jahr	[h/a]	3.000	5.000	3.000	4.000	4.000	4.000	4.000	8.200	6.000	
Wärmeoutput	[GWh/a]	10,5	5,8	12,3	23,4	5,8	4,0	4,5	14,4	4,6	
spez. Grenzkosten (ohne Investition)	[EUR/MWh]	-	-	19,8	14,5	7,9	-	20,9	20,3	19,5	
spez. Projektkosten pro kW Heizleistung	[EUR/kW]	274	674	601	408	911	660	478	801	978	
spez. Projektkosten nach Förderung pro kW Heizleistung	[EUR/kW]	274	674	601	408	911	660	478	681	831	

Tabelle 27: *ausgeschiedene Projekte*

Standort	Wärmequelle	Ausscheidgrund
HKW-Mitte	Kühlkreis Gesamt	Geringer COP und keine Platzmöglichkeit für Wärmepumpen mit vorgegebener Leistung vorhanden (je nach Hersteller ca. 4 Stk. WP = Bauwerk mit 20x15x5 m).
	Nebenkühlkreis Gesamt (Kaltwasserseite)	Wegen geringerem COP ausgeschlossen, Warmwasserseite bietet höheres Potential.
	GT-Generator (Nebenkühlkreis)	Wegen geringen Betriebsstunden und starker Abhängigkeit der Gasturbine ausgeschlossen, gesamter Nebenkühlkreis weist mehr Potential und Stabilität auf.
HKW-Nord	Kühlkreislauf (Kaltwasserseite)	Wegen geringerem COP und Kühlwasserverbrauch ausgeschlossen, Warmwasserseite bietet höheres Potential.

6.3 Wirtschaftliche Berechnung

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgte wie in Kapitel 6 beschrieben mit einem unternehmensinternen Wirtschaftlichkeitsmodell.

Für alle Anlagen/Wärmequellen konnten folgende einheitliche Annahmen getroffen werden:

Tabelle 28: *allgemeine Annahmen der wirtschaftlichen Berechnung*

Parameter	Wert	Einheit
mittlere Abschreibungsdauer	15	[a]
Inbetriebsetzungsjahr	2020	[-]
WACC	6	[%]
Steuersatz	25	[%]
Preisgleitung	1	[%]
Betriebskosten variabel	0,7	[EUR/MWh _{therm.}]
Marktpreisszenario	szenario Middle	[-]
Base-Strompreis (szenario Middle 2020)	44,20	[EUR/MWh]

Aufgrund der Komplexität und der großen Datenmengen kann die wirtschaftliche Berechnung in dieser Arbeit nicht detailliert erläutert werden. Die Berechnung kann jedoch folgenderweise kurz beschrieben werden:

Zu Beginn wurden neben den allgemeinen Annahmen aus Tabelle 28 zusätzlich die Investitionskosten, die Heizleistung der WP, die elektr. Leistung der Wärmepumpe, die Betriebsstunden pro Jahr sowie die fixen Betriebskosten jedes Projekts vorgegeben. Im

Berechnungsschema sind energiewirtschaftliche Preise für Kosten (Strom, Abwärme) und Erlöse (Wärme, Kühlwassereinsparungen, CO₂-Zertifikatreduktion etc.) hinterlegt, welche pro Jahr mit der angenommenen Preisleitung ansteigen und je nach Marktpreisszenario (high, middle oder low) unterschiedliche Basiswerte aufweisen. Das Marktpreisszenario „middle“ ist eine interne Prognose des Unternehmens, welche auf Jahresdurchschnittswerten der vergangenen 7 Jahre aufbaut. Bei allen fossilen Erzeugungsanlagen wurden Erlöse durch eine CO₂-Zertifikatreduktion einberechnet, da die erzeugte Wärmemenge durch die Wärmepumpe die fossile Erzeugung aus dem Erzeugungsportfolio verdrängen würde.

In der Berechnung selbst wurden die jährlichen Ergebnisse der „Gewinn- und Verlustrechnung“ (GuV) sowie der „discounted Cashflow“ Rechnung (Kapitalwertmethode) ermittelt. Aus den Ergebnissen des summierten abgezinsten Cashflows [Σ Disc. Free Cash Flow (DFCF)] konnten die Amortisationsdauer sowie der Kapitalwert des Projekts nach einem beliebigen Jahr ermittelt werden.

Nachfolgend ist der Berechnungsverlauf für das Projekt HKW-Nord Kühlwasserkreislauf (Berechnungsjahr 2021) beispielhaft dargestellt: (Tabelle 29 bis Tabelle 30)

Tabelle 29: Gewinn- und Verlustrechnung

Gewinn- und Verlustrechnung	
Erlöse Energiewirtschaft (Wärme,...)	€ 392.641
- Abschreibung für Abnutzung (AfA)	- € 36.000
- fixe Betriebskosten	- € 10.100
- variable Betriebskosten	- € 2.658
- Kosten Energiewirtschaft (Strom,...)	- € 90.930
Betriebserfolg EBIT	€ 252.952
- Steuern	- € 63.238
Gewinn/Verlust nach Steuern	€ 189.714

Tabelle 30: Discounted Free Cash Flow

Discounted Free Cash Flow	
Summe Einzahlungen	€ 392.641
- Summe Auszahlungen	- € 166.926
Free Cash Flow	€ 225.714
x BW-Faktor (BW-Barwert)	x 0,943
Discounted Free Cash Flow	€ 212.938

Die vollständige Berechnungstabelle mit allen wirtschaftlichen Ergebnissen zum Beispiel „HKW-Nord Kühlwasserkreislauf“ ist in Tabelle 31 angeführt.

Tabelle 31: Auszug aus Berechnungstabelle für Projekt HKW-Nord Kühlwasserkreislauf

		Gewinn und Verlustrechnung								
Jahr	Ind	Zinsen	Afa	Betriebskosten fix	Betriebskosten variabel	Kosten EWB	Erlöse EWB	EBIT	Steuer	GuV nach Steuer
		[EUR]	[EUR]	[EUR]	[EUR]	[EUR]	[EUR]	[EUR]	[EUR]	[EUR]
2020	1	0	-36.000	-10.000	-2.632,0	-90.030	388.794	250.132	-62.533	187.599
2021	2		-36.000	-10.100	-2.658	-90.930	392.641	252.952	-63.238	189.714
2022	3		-36.000	-10.201	-2.685	-91.839	396.526	255.801	-63.950	191.850
2023	4		-36.000	-10.303	-2.712	-92.758	400.449	258.677	-64.669	194.008
2024	5		-36.000	-10.406	-2.739	-93.685	404.412	261.582	-65.395	196.186
2025	6		-36.000	-10.510	-2.766	-94.622	408.414	264.516	-66.129	198.387
2026	7		-36.000	-10.615	-2.794	-95.568	412.456	267.479	-66.870	200.609
2027	8		-36.000	-10.721	-2.822	-96.524	416.538	270.471	-67.618	202.853
2028	9		-36.000	-10.829	-2.850	-97.489	420.661	273.493	-68.373	205.120
2029	10		-36.000	-10.937	-2.879	-98.464	424.825	276.545	-69.136	207.409
2030	11		-36.000	-11.046	-2.907	-99.449	429.030	279.628	-69.907	209.721
2031	12		-36.000	-11.157	-2.936	-100.443	433.277	282.741	-70.685	212.055
2032	13		-36.000	-11.268	-2.966	-101.448	437.566	285.885	-71.471	214.413
2033	14		-36.000	-11.381	-2.995	-102.462	441.898	289.060	-72.265	216.795
2034	15		-36.000	-11.495	-3.025	-103.487	446.273	292.266	-73.067	219.200
2035	16		0	-11.610	-3.056	-104.522	450.692	331.505	-82.876	248.629
2036	17		0	-11.726	-3.086	-105.567	455.154	334.776	-83.694	251.082
2037	18		0	-11.843	-3.117	-106.622	459.661	338.079	-84.520	253.559
2038	19		0	-11.961	-3.148	-107.689	464.213	341.415	-85.354	256.061
2039	20		0	-12.081	-3.180	-108.766	468.810	344.784	-86.196	258.588
2040	21		0	-12.202	-3.212	-109.853	473.453	348.186	-87.047	261.140
2041	22		0	-12.324	-3.244	-110.952	478.142	351.623	-87.906	263.717
2042	23		0	-12.447	-3.276	-112.061	482.878	355.093	-88.773	266.320
2043	24		0	-12.572	-3.309	-113.182	487.661	358.598	-89.650	268.949
2044	25		0	-12.697	-3.342	-114.314	492.491	362.138	-90.535	271.604
2045	26		0	-12.824	-3.375	-115.457	497.370	365.713	-91.428	274.285
2046	27		0	-12.953	-3.409	-116.611	502.297	369.324	-92.331	276.993
2047	28		0	-13.082	-3.443	-117.778	507.273	372.970	-93.242	279.727
2048	29		0	-13.213	-3.478	-118.955	512.298	376.652	-94.163	282.489
2049	30		0	-13.345	-3.512	-120.145	517.374	380.372	-95.093	285.279
2050	31		0	-13.478	-3.548	-121.346	522.500	384.128	-96.032	288.096

		Discounted Free Cash Flow						
Jahr	Ind	Summe Auszahlungen	Summe Einzahlung	Free Cash Flow FCF	BW Faktor	Disc. Free Cash Flow FCF	Σ Disc. Free Cash Flow DFCF	Amortisationszeit
		[EUR]	[EUR]	[EUR]		[EUR]	[EUR]	[a]
2020	1	-705.195	388.794	-316.401	1,000	-316.401	-316.401	0
2021	2	-166.926	392.641	225.714	0,943	212.938	-103.463	0
2022	3	-168.675	396.526	227.850	0,890	202.786	99.323	3
2023	4	-170.442	400.449	230.008	0,840	193.119	292.442	0
2024	5	-172.226	404.412	232.186	0,792	183.913	476.355	0
2025	6	-174.027	408.414	234.387	0,747	175.147	651.503	0
2026	7	-175.847	412.456	236.609	0,705	166.800	818.303	0
2027	8	-177.685	416.538	238.853	0,665	158.851	977.154	0
2028	9	-179.541	420.661	241.120	0,627	151.282	1.128.436	0
2029	10	-181.416	424.825	243.409	0,592	144.073	1.272.509	0
2030	11	-183.309	429.030	245.721	0,558	137.209	1.409.718	0
2031	12	-185.221	433.277	248.055	0,527	130.673	1.540.391	0
2032	13	-187.153	437.566	250.413	0,497	124.448	1.664.838	0
2033	14	-189.103	441.898	252.795	0,469	118.520	1.783.358	0
2034	15	-191.073	446.273	255.200	0,442	112.875	1.896.234	0
2035	16	-202.063	450.692	248.629	0,417	103.744	1.999.978	0
2036	17	-204.073	455.154	251.082	0,394	98.837	2.098.815	0
2037	18	-206.102	459.661	253.559	0,371	94.163	2.192.978	0
2038	19	-208.152	464.213	256.061	0,350	89.709	2.282.687	0
2039	20	-210.222	468.810	258.588	0,331	85.467	2.368.154	0
2040	21	-212.313	473.453	261.140	0,312	81.425	2.449.578	0
2041	22	-214.425	478.142	263.717	0,294	77.574	2.527.152	0
2042	23	-216.558	482.878	266.320	0,278	73.905	2.601.057	0
2043	24	-218.712	487.661	268.949	0,262	70.410	2.671.467	0
2044	25	-220.888	492.491	271.604	0,247	67.080	2.738.548	0
2045	26	-223.085	497.370	274.285	0,233	63.908	2.802.456	0
2046	27	-225.304	502.297	276.993	0,220	60.886	2.863.341	0
2047	28	-227.545	507.273	279.727	0,207	58.006	2.921.348	0
2048	29	-229.809	512.298	282.489	0,196	55.263	2.976.611	0
2049	30	-232.095	517.374	285.279	0,185	52.650	3.029.261	0
2050	31	-234.404	522.500	288.096	0,174	50.160	3.079.422	0

7 ERGEBNISSE

7.1 Übersicht der Konzepte

Die Ergebnisse der wirtschaftlichen Berechnungen sind zusammengefasst in Tabelle 32 zu finden. An den Standorten HKW-Mitte und HKW-Nord wurden bei den Untersuchungen Abwärmepotentiale ermittelt, welche auch ohne Wärmepumpe nutzbar wären. Die Ergebnisse dieser Quellen sind ebenfalls in grauer Schrift angeführt.

Tabelle 32: Ergebnisübersicht wirtschaftliche Berechnungen

Anlage	Wärmequelle	Konzept / Einsatzstrat.	Investitionskosten nach Förderung [EUR]	Förderung	Wärme-output [GWh/a]	Kapitalwert nach 15 BJ [EUR]	Amortisationsdauer [a]	interne Verzinsung [%]
HKW-Mitte	Rauchgasabkühlung AHK ohne WP (Erdgas)	FW	€ 960.000	⊗	10,5	€ 2.019.000	3,7	40,8%
	Rauchgasabkühlung SÖK/GKM ohne WP (Erdgas)	FW	€ 775.000	⊗	5,8	€ 844.000	5,8	23,5%
	Nebenkühlkreis Gesamt (Warmwasserseite)	FW / SP	€ 2.460.000	⊗	12,3	-€ 692.000	> 30	0,8%
HKW-Nord	Rauchgaskondensation (Erdgas)	FW	€ 2.385.000	⊗	23,4	€ 870.000	9,8	12,1%
	Rauchgasabkühlung (Erdgas)	FW	€ 1.325.000	⊗	5,8	-€ 13.500	15,3	5,8%
	Rauchgasabkühlung ohne WP (Erdgas)	FW	€ 660.000	⊗	4,0	€ 416.000	7,8	16,3%
	Kühlkreislauf (Warmwasserseite)	SP	€ 540.000	⊗	4,5	€ 1.896.000	2,5	72,2%
BMHKW-Siezenheim	Rauchgaskondensation	FW	€ 1.195.000	⊙	14,4	€ 13.000	14,8	6,2%
Wasserkraftwerk Lehen	Abwärme aus Generator- und Getriebekühlung	FW	€ 636.000	⊙	4,6	-€ 321.000	> 30	-4,2%

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass eine Wärmepumpenanwendung für die Fernwärmeerzeugung der Salzburg AG aktuell für die Anlagen HKW-Nord Rauchgaskondensation, HKW-Nord Kühlkreislauf und BMHKW-Siezenheim Rauchgaskondensation sinnvoll sein würde. Aufgrund der geschätzten weiteren Nutzungsdauer des BMHKW-Siezenheim, wird einer Investition mit rund 15 Jahren Amortisationsdauer aber kritisch entgegengesehen. Durch eine Umsetzung des Projekts Wärmequelle „Kühlkreislauf HKW-Nord“ könnten enorme Mengen Kühlwasser und somit Kosten eingespart werden. Das wirtschaftliche Ergebnis ist zudem bedeutend besser als bei den anderen Projekten mit Wärmepumpen, da die Infrastruktur für eine Wärmepumpenanwendung großteils vorhanden ist.

Sehr gute wirtschaftliche Ergebnisse würden sich ebenfalls durch Investitionen in eine reine Abwärmenutzung ohne Wärmepumpe ergeben. Eine solche Rauchgasabkühlung am Standort HKW-Mitte (AHK) würde lediglich eine Amortisationsdauer von ca. 3,7 Jahren aufweisen.

Demzufolge wäre aus den aktuellen Ergebnissen und Informationen eine weiterführende Detailuntersuchung an den folgenden drei Standorten sinnvoll:

- HKW-Mitte Rauchgasabkühlung AHK ohne WP
- HKW-Mitte Rauchgasabkühlung SÖK/GKM ohne WP
- HKW-Nord Rauchgaskondensation
- HKW-Nord Rauchgasabkühlung ohne WP
- HKW-Nord Kühlkreislauf
- BMHKW-Siezenheim Rauchgaskondensation

Die Wärmequelle „HKW-Mitte Nebenkühlkreislauf Gesamt“ scheidet aufgrund der hohen Investitionskosten aus der genaueren Betrachtung aus, da Wärmequelle und Wärmepumpenstandort zu weit voneinander entfernt sein würden, was zu immensen Rohrleitungskosten führen würde. Zudem müsste eine vollständig neue elektrische Anbindung geschaffen werden.

Der Ausscheidgrund des KW Lehen sind die vergleichsweise geringe Abwärmeleistung (hohe spez. Projektkosten je kW Heizleistung), der niedrige COP sowie die ungünstigen Platzverhältnisse für eine Wärmepumpe im Gebäude und am Gelände. Würde die Wärmepumpe in einem weiteren Gebäude am südöstlichen Ufer untergebracht werden, würden die Rohrleitungs- sowie elektrischen Leitungslängen und die Baukosten das Projekt kostenmäßig vollkommen ausscheiden lassen. Eine Unterbringung der Wärmepumpe im Maschinenhaus würde zwar die Investitionskosten senken, die Amortisationsdauer beträgt aber ebenfalls noch mehr als 30 Jahre.

7.1.1 Anmerkung zu den Ergebnissen

Durch die Errichtung einer Wärmerückgewinnungsanlage/Wärmepumpenanlage könnten die spez. Erzeugungskosten eines gesamten Kraftwerkstandortes in Summe sinken, wodurch das Kraftwerk ein anderes aus der Einsatzplanung/dem Erzeugungsportfolio lt. Merit-Order verdrängen und somit mehr Betriebsstunden erreichen könnte. Dies würde die Wirtschaftlichkeit einer Investition weiter verbessern und ist in einer späteren Detailplanung zu betrachten.

In der wirtschaftlichen Berechnung wurden keine stündlich aufgelösten Berechnungen mit erneuerbarem Stromangebot bzw. Regelenergiepreisen durchgeführt, da alle Wärmequellen starr an die Abwärme bzw. den Betrieb einer Erzeugungsanlage gekoppelt sind. Die jährliche Einsatzzeit eines neuen Projekts wurde aber über die vom Energiehandel vorgegebenen FW-Transferpreise berücksichtigt.

Die Preise für die Wärmepumpe der Wärmequelle HKW-Nord Kühlwasserkreislauf (Speisewasservorwärmung) werden vermutlich noch sinken, da eine Vorwärmung nur bis ca. 80°C erfolgen würde. Solche Anlagen sind Standardprodukte und fallen deshalb nicht in den

Bereich des Sonderanlagenbaus. In der wirtschaftlichen Berechnung wurde 1,50 [EUR/m³] für die Kühlwasserkosten angesetzt.

7.2 Empfehlung

HKW-Mitte:

Am meisten Potential wird im HKW-Mitte bei einer Rauchgasabkühlung des AHK ohne WP sowie dem SÖK/GKM ohne WP gesehen. Es ist jedoch zu beachten, dass eine Investition bzw. deren Wirtschaftlichkeit stark an die Betriebsstunden der Abwärmequellen (Erzeuger am Standort HKW-Mitte) gebunden ist. Die aktuellen Planungen und Prognosen (5 Jahre) zum Kraftwerkseinsatz wurden in die wirtschaftlichen Berechnungen einbezogen und fortgeschrieben. Es ist anzumerken, dass die geschätzte Restlebensdauer dieser Kraftwerksanlagen deutlich über den errechneten Amortisationszeitpunkten liegt. Daher wird empfohlen diese Projekte den Entscheidungsträgern für einen Detailplanungsbeschluss vorzulegen.

HKW-Nord:

Ebenfalls sehr vielversprechend wären eine Rauchgaskondensation bzw. Rauchgasabkühlung sowie eine Erneuerung der bestehenden Wärmepumpen zur Speisewasservorwärmung im HKW-Nord. Da die Infrastruktur für eine Wärmepumpenanwendung im Kühlkreislauf zur Speisewasservorwärmung großteils vorhanden ist, wäre eine sofortige Umsetzung dieses Projekts ratsam. Ein weiterer Vorteil wäre dabei, dass zur Speisewasservorwärmung (max. 80°C) günstigere Standardwärmepumpen verwendet werden könnten. Die zukünftige Wirtschaftlichkeit hängt allerdings sehr stark von den anfallenden Kühlwasserkosten ab.

Es wird ebenfalls empfohlen diese Projekte den Entscheidungsträgern für einen Detailplanungsbeschluss vorzulegen.

BMHKW-Siezenheim:

Aufgrund endender Nachfolgetarifförderung im Jahr 2024 des BMHKW-Siezenheim, der darauffolgend sinkenden Betriebsstunden und der ermittelten Amortisationsdauer der Investition, wird eine Installation bzw. eine weitere Untersuchung betreffend einer Rauchgaskondensationsanlage an diesem Standort nicht empfohlen.

Aufgrund der Ergebnisse im HKW-Mitte und HKW-Nord wäre die Prüfung einer Rauchgasabkühlung für das BMHKW-Siezenheim jedoch empfehlenswert. Aufgrund der geringeren Investitionen könnte eine Errichtung/der Betrieb einer solchen Anlage innerhalb der geplanten Restlebensdauer durchaus profitabel sein.

7.3 Chancen / Risiken der Wärmepumpenanwendungen

Chancen:

- Wärmepumpen leisten einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung klimapolitischer Ziele (Dekarbonisierung)
- Emissionsreduktion wie z.B. CO₂-Einsparung
- wirtschaftliche Form der Wärmeerzeugung bei Erhöhung und Ausweitung der Besteuerung fossiler Energieträger z.B. durch:
 - steigende CO₂- Zertifikatspreise
 - Einführung einer CO₂- Steuer auf fossile Brennstoffe
- Verringerung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern bzw. Energielieferanten
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit bei Erhöhung der Kühlwassernutzungskosten
- Senkung der spez. Wärmegehungskosten eines Kraftwerkstandortes durch die Installation einer Wärmepumpe (Verbesserung der Effizienz und Betriebsstundenerhöhung)
- Imagegewinn (Aufwertung der Kraftwerksanlage)
- Möglichkeit zur Verhandlung der minimalen gesetzlich vorgeschriebenen Rauchgastemperatur am Kaminaustritt bei Genehmigungsverfahren (Senkung der vorgeschriebenen Temperatur würde zu einer Reduktion der Rauchgaswiedererwärmungskosten führen)
- Verbesserung der elektrischen Versorgungssicherheit vom vorgelagerten Netz (zuschaltbare und abschaltbare Last)
- Änderung der Förderungsbestimmungen für am CO₂-Emissionshandel teilnehmende Anlagen/Standorte
- Erfahrungs- und Wissensaufbau über den Betrieb von Kompressionswärmepumpen für einen möglichen zukünftigen Ausbau

Risiken:

- Markttrennung Österreich-Deutschland hätte folgende Auswirkungen:
 - Prognostizierter steigender Strompreis (vorrangig in den Wintermonaten) würde die wirtschaftliche Betriebsweise der WP verschlechtern, aber eine mögliche erhöhte Stromproduktion (in AUT) würde die Betriebsstunden und somit die Wirtschaftlichkeit der WP an gewissen Standorten wiederum erhöhen.
- Abhängigkeit von einer Erzeugungsanlage und deren Laufzeit/Betriebsstunden (Wärmequellveränderung, Störungen, Anlagendefekte, Anlagenveränderungen)
- Fehlende Berechnung der Anforderungen einer Entschwadung (mögliche sichtbare Dampffahne bei Rauchgaskondensationsanlagen)

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Um einen Beitrag zum Ziel der Dekarbonisierung in der Fernwärmeaufbringung im Bereich der Salzburg AG zu leisten, befasste man sich mit der genauen Untersuchung von Abwärmeequellen und natürlichen Wärmequellen aus der Umwelt, welche für eine Wärmepumpenanwendung sinnvoll sein könnten.

Zu Beginn wurde nach einer Darstellung des theoretischen Hintergrunds, der aktuelle Stand der Technik zu Hochtemperatur-Wärmepumpen ermittelt. Ebenfalls befasste man sich mit der Studie von Referenzanlagen, um aktuelle Einsatzgebiete und Anlagenkonfigurationen zu ermitteln. Es wurde schnell ersichtlich, dass die Technologie für den geplanten Anwendungsfall verfügbar ist. Somit konnte mit weiteren Untersuchungen zu Einsatzstrategien (dem Lastmanagement) von Wärmepumpen, Gesetzen und Verordnungen (z.B. Kältemittelverordnung) sowie Fördermöglichkeiten fortgefahren werden.

Die Arbeit befasste sich hauptsächlich mit der Anwendbarkeit von elektrisch betriebenen Kompressionswärmepumpen, im Gegensatz zu möglichen Absorptionswärmepumpen, welches einerseits aus fehlenden Hochtemperatur-Abwärmeequellen im Untersuchungsgebiet und andererseits aufgrund der Teilnahmefähigkeit von Kompressionswärmepumpen am Regelenergiemarkt bzw. der Smart Grid Fähigkeit resultiert. In der Fragestellung bzgl. der Anwendbarkeit von Hochtemperatur-Wärmepumpen für den Regelenergieeinsatz konnte festgestellt werden, dass Wärmepumpen im MW-Bereich mit hohen Vorlauftemperaturen, angesichts geforderter „starrer“ Betriebszustände infolge der Effizienz, derzeit noch nicht am Regelenergiemarkt eingesetzt werden können.

Nach den theoretischen Betrachtungen wurden potentielle Standorte in einer Standort-Technologie Matrix zusammengefasst, bewertet und ausgewählt. Nach genauer Erhebung der Wärmepotentiale und einer Bewertung bzgl. technischer Umsetzbarkeit an potentiellen Standorten, wurden fünf Standorte in die nähere Auswahl genommen, für welche Konzepte mit technischen und wirtschaftlichen Berechnungen erstellt wurden. Eine Übersicht dieser Standorte ist in Tabelle 33 zu finden.






Einige Wärmequellen mussten nach genauen Untersuchungen und Bewertungen vorzeitig aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Die Wärmequelle „Flusswasser“ wurde aufgrund beträchtlicher Temperaturschwankungen, welche genau gegenläufig zur geplanten Wärmeproduktion auftreten und der geringen Wärmeentnahmemöglichkeit durch die tiefen Flusstemperaturen in den Wintermonaten, nicht weiter betrachtet.

Die Wärmequelle „Abwasser“ musste aufgrund von hohen Schmutzfrachten mit Ablagerungen/Ausfällungen, einem folglich hohen Reinigungsaufwand und zu geringen Temperaturen im Winter ebenfalls nach genauer Prüfung ausgeschlossen werden.

Aufgrund aktuell vorliegenden Berichten zu Bauprojekten mit dem Thema Erdwärmesonden, konnte die Wärmequelle „Geothermie/Tiefenbohrung“ ebenfalls aus wirtschaftlichen Gründen nicht ausführlich betrachtet werden.

Genauere Beschreibungen mit weiteren Erkenntnissen zu den ausgeschiedenen Wärmequellen sind in Kapitel 5.2 angeführt.

Tabelle 33: Übersichtstabelle ausgewählter Standorte

	<p>HKW-Mitte</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ 3.500 kW Rauchgasabkühlung AHK (Gasturbine) (ohne WP) ▣ 1.150 kW Rauchgasabkühlung SÖK/GKM (ohne WP) ▣ > 6.000 kW Hauptkühlkreis bei 8 °C ▣ 2.790 kW Nebenkühlkreislauf bei 25 °C
	<p>HKW-Nord</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ > 1.280 kW Rauchgasabkühlung (je nach Temp. auch ohne WP mögl.) ▣ > 4.500 kW Rauchgaskondensation ▣ 750 kW Kühlkreislauf bei 30 °C
	<p>BMHKW-Siezenheim</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ 1.350 kW Rauchgaskondensation
	<p>Industrielle Abwärme Kaindl</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ 11.000 kW Rauchgaskondensation MDF-Linie ▣ 9.100 kW Rauchgaskondensation Spanplatten-Linie
	<p>Wasserkraftwerk Lehen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▣ 520 kW Kühlkreislauf bei 20 °C

Aus den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsrechnungen war ersichtlich, dass sich aktuell drei Wärmequellen für eine Wärmepumpenanwendung und drei Wärmequellen für eine reine Abwärmenutzung ohne Wärmepumpe als wirtschaftlich sinnvoll herausstellen und somit für eine Umsetzung geeignet wären. Die Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 34 angeführt. Für fünf dieser Wärmequellen wird laut aktuellen Ergebnissen und Informationen eine weiterführende Detailuntersuchung empfohlen. Aufgrund endender Nachfolgetarifförderung im Jahr 2024 des BMHKW-Siezenheim werden sich unweigerlich Betriebsänderungen ergeben, wodurch von einer weiteren Untersuchung an diesem Standort abgeraten wird. Es würde sich aber anbieten, eine Rauchgasabkühlung am Standort

BMHKW-Siezenheim zu prüfen. Eine erste Abschätzung führte zum Ergebnis, dass die Amortisationsdauer einer solchen Rauchgasabkühlung im Bereich von 5-6 Jahren liegen würde.

Tabelle 34: Übersichtstabelle aussichtsreicher Wärmequellen

Anlage	Wärmequelle	Konzept / Einsatzstrat.	Investitionskosten nach Förderung [EUR]	Förderung	Wärme-output [GWh/a]	Kapitalwert nach 15 BJ [EUR]	Amortisationsdauer [a]	interne Verzinsung [%]
HKW-Mitte	Rauchgasabkühlung AHK ohne WP (Erdgas)	FW	€ 960.000	⊗	10,5	€ 2.019.000	3,7	40,8%
	Rauchgasabkühlung SÖK/GKM ohne WP	FW	€ 775.000	⊗	5,8	€ 844.000	5,8	23,5%
HKW-Nord	Rauchgaskondensation (Erdgas)	FW	€ 2.385.000	⊗	23,4	€ 870.000	9,8	12,1%
	Rauchgasabkühlung ohne WP (Erdgas)	FW	€ 660.000	⊗	4,0	€ 416.000	7,8	16,3%
	Kühlkreislauf (Warmwasserseite)	SP	€ 540.000	⊗	4,5	€ 1.896.000	2,5	72,2%
BMHKW-Siezenheim	Rauchgaskondensation	FW	€ 1.195.000	⊕	14,4	€ 13.000	14,8	6,2%

- FW Wärmeeinspeisung mit min. 95°C direkt in den FW-Netz Vorlauf
- SP Speisewasservorwärmung auf ca. 80°C
- schwarze Schrift Abwärmenutzung mit Wärmepumpe
- graue Schrift Abwärmenutzung ohne Wärmepumpe

Für die Abwärmequelle „industrielle Abwärme Kaindl“ konnte zu diesem Zeitpunkt aufgrund fehlender externer Daten kein Konzept bzw. keine wirtschaftliche Betrachtung angestellt werden.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse werden die empfohlenen Projekte aus Tabelle 34 den Entscheidungsträgern schnellstmöglich für einen Detailplanungsbeschluss vorgelegt. Darüberhinaus soll im BMHKW-Siezenheim die Wirtschaftlichkeit einer Rauchgasabkühlung anstatt der berechneten Rauchgaskondensationsanlage geprüft werden.

9 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] THOMAS HERBST: *Salzburg AG / Energiebereitstellung*. Interview mit DI (FH) Sebastian Schuller, MBA. Salzburg, Nov. 2016
- [2] PROF. DR.-ING. JÜRGEN KARL ; KARL, Jürgen: *Dezentrale Energiesysteme : Neue Technologien im liberalisierten Energiemarkt*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage // 3., überarb. und erw. Aufl. München : Oldenbourg Verlag; Oldenbourg, 2012 (Technik 10-2012)
- [3] AO.UNIV.-PROF. DR. RENÉ RIEBERER ; DI GERALD ZOTTER ; DI DAVID HANNL ; DI DR. HARALD MOSER ; DR. OLEKSANDER KOTENKO ; DI ANDREAS ZOTTEL ; DI DR. THOMAS FLECKL ; DI IVAN MALENKOVIC: *IEA Heat Pump Programme Annex 35: Anwendungsmöglichkeiten für industrielle Wärmepumpen*. Graz, Dezember 2014
- [4] ÖWAV-Regelblatt 207 : *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen*. Wien, 2009
- [5] DIPL.-ING. CHRISTOPH MUSER ; DIPL.-ING. DR. TECHN. PETRA DRUCKER ; O. UNIV.-PROF. DR. WOLFGANG M. SAMHABER ; MAG. MARTIN JUNG ; DR. ROBERT SPENDLINGWIMMER: *Machbarkeits-Vorstudie eines saisonalen Groß-Wärmespeichers für Linz : Abschlussbericht der Sondierung*. Mai 2015
- [6] UNIV.-PROF. DIPL.-ING. DR. TECHN. THOMAS KIENBERGER: *Thermische Energietechnik* (Teil. 4)
- [7] DR. HELMUT BERGER ALLPLAN GMBH ; DR. STEPHAN RICHTER GEF INGENIEUR AG ; DR. MARKUS BIBERACHER RSA ISPACE ; UNIV.-PROF. DR. TOBIAS PRÖLL UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN ; DR. BERNHARD KRONBERGER VOIGT+WIPP INDUSTRIAL RESEARCH GMBH: *ABWÄRMEPOTENZIALE IM ZENTRALRAUM HALLEIN-SALZBURG*. 21. Dezember 2015
- [8] JOHANNES NAGLER ; KARL PONWEISER: *Performance und Systemkonfigurationen von Wärmepumpen in der Fernwärme*. Wien, 2017
- [9] ULRICH PIETRUCHA ; LESZEK WOJTAN: *Fernwärme DIE KOMFORT-ENERGIE : Erfahrungen bei Fernkälte-und Kombianlagen-Projekten*. Biel-Bienne, 21. Januar 2016
- [10] LESZEK WOJTAN: *Große Kühltssysteme mit Wärmerückgewinnung auf hohem Temperaturniveau*. Nürnberg, 20-21.10.2015
- [11] DR. STEFAN IRMISCH: *Beispiele für Grosswärmepumpenanwendungen und Perspektiven der Weiterentwicklung*. Johannes Kepler Universität Linz, 16. April 2015
- [12] BERNHARD ADLER ; SEBASTIAN RIEPL: *Industrielle ECOP Wärmepumpe und Kältemaschine mit Edalgaskreislauf*. Johannes Kepler Universität Linz, 16. April 2015

- [13] VERBAND WÄRMEPUMPE AUSTRIA: *Großwärmepumpen / Erfahrungen und Perspektiven*. Johannes Kepler Universität Linz, 16. April 2015
- [14] THOMAS FLECKL ; VERONIKA WILK ; MICHAEL HARTL: *Effiziente Abwärmenutzung durch Hochtemperatur-wärmepumpen in der Industrie*. 06.09.2015
- [15] VERONIKA WILK ; BERND WINDHOLZ ; MICHAEL HARTL ; THOMAS FLECKL; AIT (Mitarb.): *Techno-ökonomische Analyse der Integration von flusswassergespeisten Großwärmepumpen in FW-Netzen*. 19.10.2015
- [16] KLIMA- UND ENERGIEFONDS: *Fernwärme: intelligent + erneuerbar : Science Brunch*. 12/2013
- [17] HANS-MARTIN HENNING: *Die Rolle von Groß-Wärmepumpen zur Erreichung von Klimaschutzziele im Zuge der Energiewende*. WÄRMETAGUNG St.Gallen 2016. 02.09.2016. – WÄRMETAGUNG St.Gallen 2016
- [18] LUKAS LEIMGRUBER ; TARA ESTERL ; TARIK FERHATBEGOVIC ; ANDREAS ZOTTL ; MARTIN KROTTENTHALER ; BERTRAM WEISS: *Wirtschaftliches Potential der Aggregation von Wärmepumpen in Österreich* (02.2016)
- [19] SMARTGRIDS AUSTRIA: *Smart Grids: Intelligente Stromnetze*. URL <http://www.smartgrids.at/smart-grids.html> – Überprüfungsdatum 2016-11-23
- [20] WIKIPEDIA: *Intelligentes Stromnetz -- Wikipedia, Die freie Enzyklopädie: Intelligentes Stromnetz -- Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. 2017. URL https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Intelligentes_Stromnetz&oldid=161314044
- [21] SMART GRIDS AUSTRIA: *Technologieroadmap Smart Grids Austria : Die Umsetzungsschritte zum Wandel des Stromsystems bis 2020* (April 2015) – Überprüfungsdatum 2016-11-23
- [22] CHRISTIAN MAAB / HAMBURG INSTITUT: *Fernwärme 3.0 : - Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik -*. Städtische Wärmenetze (Wien 2016-01-29)
- [23] HEDWIG GRADMANN ; ALENA MÜLLER: *Intelligente Verknüpfung von Strom- und Wärmemarkt : Die Wärmepumpe als Schlüsseltechnologie für Lastmanagement im Haushalt*. In: *Renews Spezial / Ausgabe 59 / November 2012* (Oktober 2012)
- [24] MARTIN HÖLLER / WIEN ENERGIE: *Einsatz von Wärmepumpen im Wiener Fernwärmenetz*. 2. Praxis- und Wissensforum Fernwärme/ Fernkälte (Wien 2016-11-15)
- [25] MIARA, M. ; GÜNTHER, D. ; LEITNER, Z. L. ; WAPLER, J.: *Simulation of an air-to-water heat pump system to evaluate the impact of demand-side-management measures on efficiency and load-shifting potential*. In: *Energy technology 2* (2014) No.1, S. 90–99

- [26] DR. MAREK MIARA: *Wärmepumpen im zukünftigen Strom- und Wärmesektor*. FVEE / Themen 2015 / Effizienzkomponenten Wärmepumpen, S. 80–84
- [27] TEKN. DR. DIETRICH SCHMIDT: *Integration hoher Anteile regenerativer Energien in den Wärmemarkt : Einfluss der energetischen Sanierung*. Berliner Energietage 12. April 2016, S. 10
- [28] LAND SALZBURG / AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG: *Leitfaden Grundwasser-Wärmepumpen*
- [29] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *VERORDNUNG (EU) Nr. 517/2014 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. April 2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006*
- [30] WIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH: *Fluorierte Treibhausgase: Neufassung der EU-Verordnung*. URL <https://www.wko.at/Content.Node/branchen/oe/Elektro-Gebaeude-Alarm-und-Kommunikationstechniker/Fluorierte-Treibhausgase.html>. – Aktualisierungsdatum: 2016-07-15 – Überprüfungsdatum 2016-11-22
- [31] BLITZER KÜHLMASCHINEN GMBH: *Neue F-Gaseverordnung - Konsequenzen - A-510-1*. 06.2014
- [32] DÜRR THERMEA GMBH: *Arbeits- und Entscheidungshilfen zur neuen F-Gase-Verordnung* – Überprüfungsdatum 2016-11-22
- [33] BMLFUW / BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: *Informationsblatt Abwärmeauskopplung*. Version 10/2016
- [34] BMLFUW / BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: *Informationsblatt Fernwärmeanschluss*. Version 07/2015
- [35] BMLFUW / BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT: *Informationsblatt Wärmepumpen*. Version 08/2016
- [36] SALZBURG AG: *Online Folder KRAFT-WÄRMEKOPPLUNG & ERNEUERBARE WÄRME & STROM*
- [37] FRANZ HINTERSEER, MSc: *Auszug von Anlagendaten der aktuell betriebenen Wärmepumpen bei der Salzburg AG*. 11.01.2017
- [38] DI (FH) DANIEL REITER: *Auszug Eckdaten der Netzteile vom Fernwärme-Verbundnetz Salzburg-Hallein*. 03.01.2017

- [39] DI (FH) SEBASTIAN SCHULLER, MBA: *Power2Heat Erfahrung in Planung und Betrieb : Projekt Potentiale, Wirtschaftlichkeit und Systemlösung für P2H*. Wien, 22. September 2016
- [40] DI (FH) SEBASTIAN SCHULLER, MBA: *Auszug Betriebsdaten Fernwärmenetz Salzburg AG*. 29.11.2016
- [41] DI (FH) SEBASTIAN SCHULLER, MBA: *Auszug Betriebsdaten Fernwärmenetz Salzburg AG : Sollwertvorgaben für ZUFO-Mitte / UFO-WT1-WT6*. 02.12.2016
- [42] DI (FH) SEBASTIAN SCHULLER, MBA: *Dampfnetzumstellung*. Interview mit Ing. Roider Salzburg AG. Salzburg (HKW Mitte), 22.01.08
- [43] COMBITHERM GMBH; Julian Hoffner (Mitarb.): *Angebot zu Wärmepumpe mit Wasserentnahme aus Salzach*. 14.04.2016
- [44] THOMAS HERBST: *Wirtschaftlichkeit von Geothermie/Tiefenbohrung*. Interview mit DI (FH) Sebastian Schuller, MBA. Salzburg, 24.11.2016
- [45] WIKIPEDIA: *EBSILON Professional -- Wikipedia, Die freie Enzyklopädie: EBSILON Professional -- Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. 2017. URL https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=EBSILON_Professional&oldid=161517646
- [46] DI (FH) SEBASTIAN SCHULLER, MBA: *Betriebsunterlagen Salzburg AG*
- [47] ING. ANDREAS MEIXNER: *Betriebsstunden HKW-Mitte*. e-mail. 2017-03-15. Thomas Herbst (Adressat)
- [48] ING. ANDREAS MEIXNER: *Betriebsdaten HKW-Nord*. 17.03.2017
- [49] FRANZ HINTERSEER, MSc: *Betriebsunterlagen Salzburg AG*
- [50] FRANZ HINTERSEER, MSc: *Betriebsstunden BMHKW-Siezenheim*. e-mail. 2017-03-15. Thomas Herbst (Adressat)
- [51] THOMAS HERBST: *Salzburg AG / Studie Neuerrichtung Wärmeschiene Salzburg-Hallein*. Interview mit DI (FH) Sebastian Schuller, MBA. Salzburg, Dez. 2016
- [52] DI GÜNTER MATOUSCH ; DI (HTL) REINHOLD REITER: *Auswertungsdaten RHV Salzburg 2014/2015*

10 ANHANG

10.1 Stromerzeugung Wasserkraftwerke

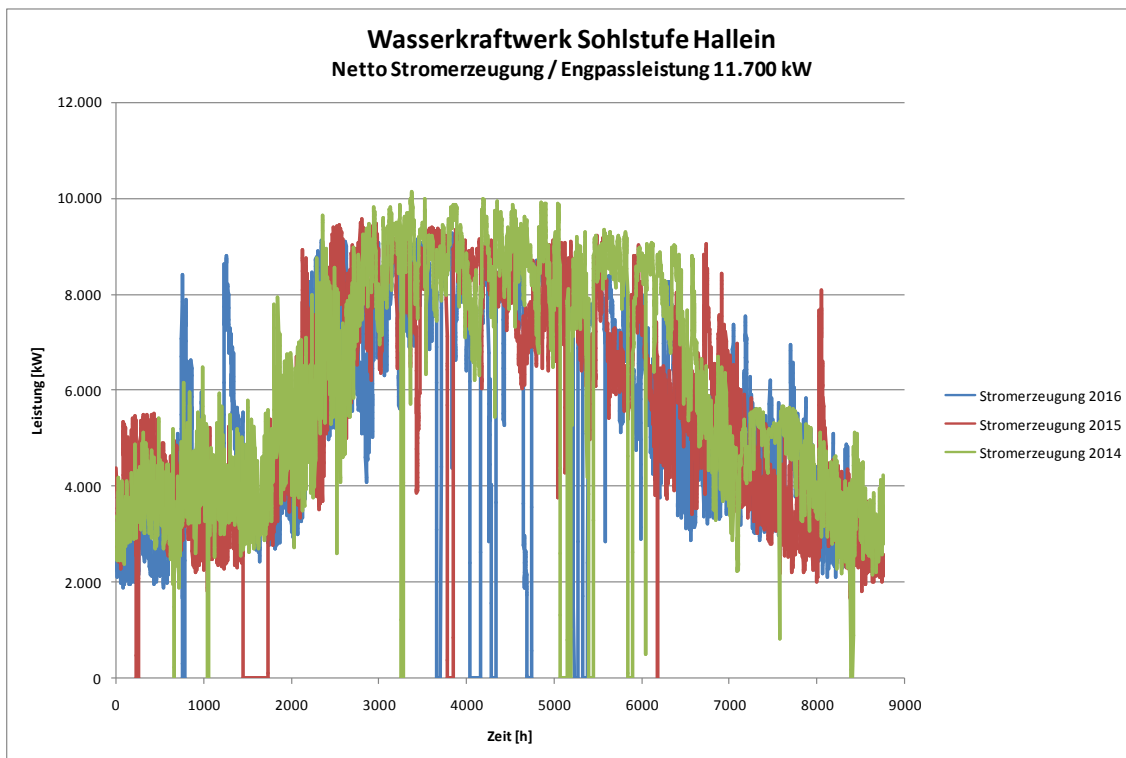


Abbildung 51: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Hallein

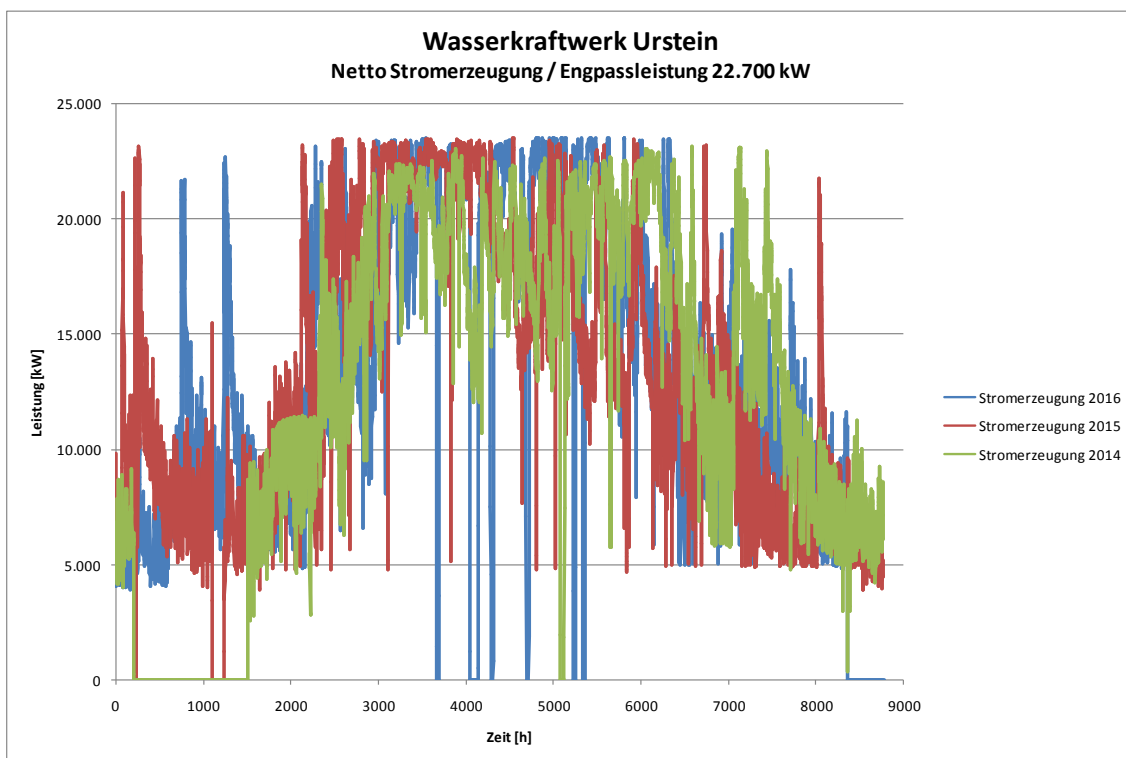


Abbildung 52: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Urstein

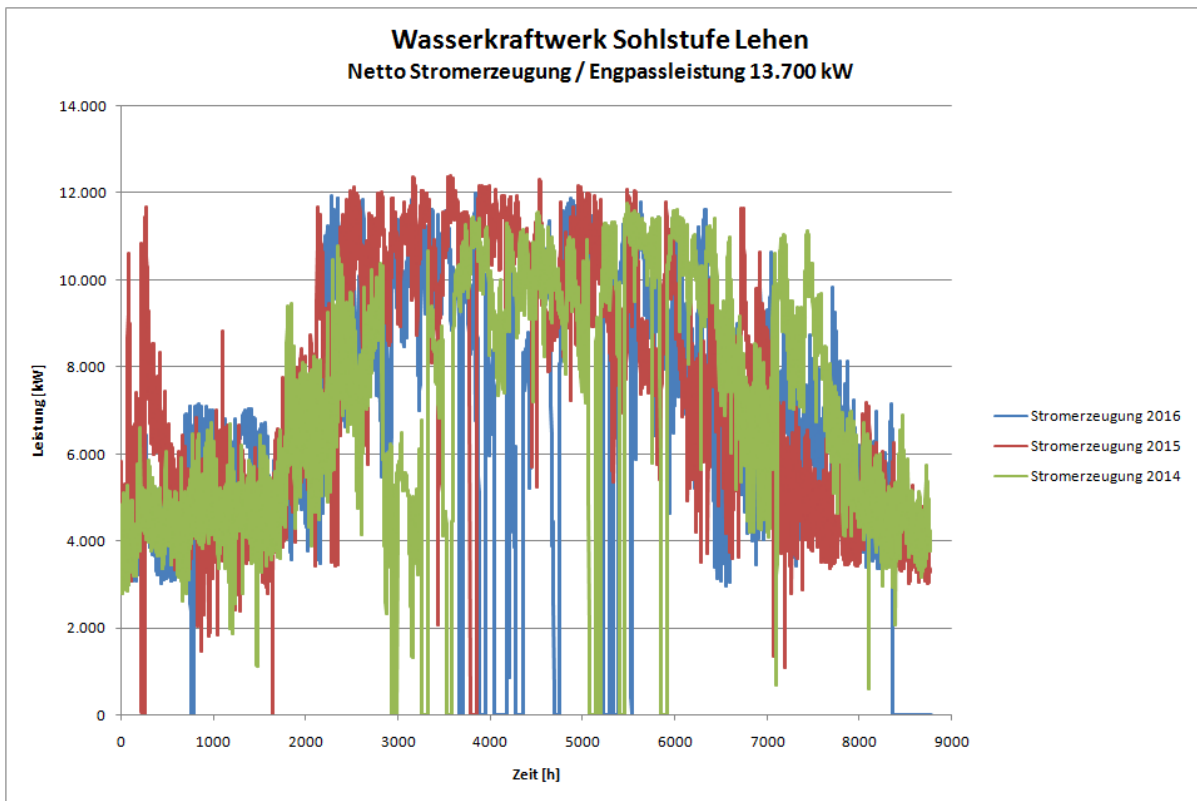


Abbildung 53: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Lehen

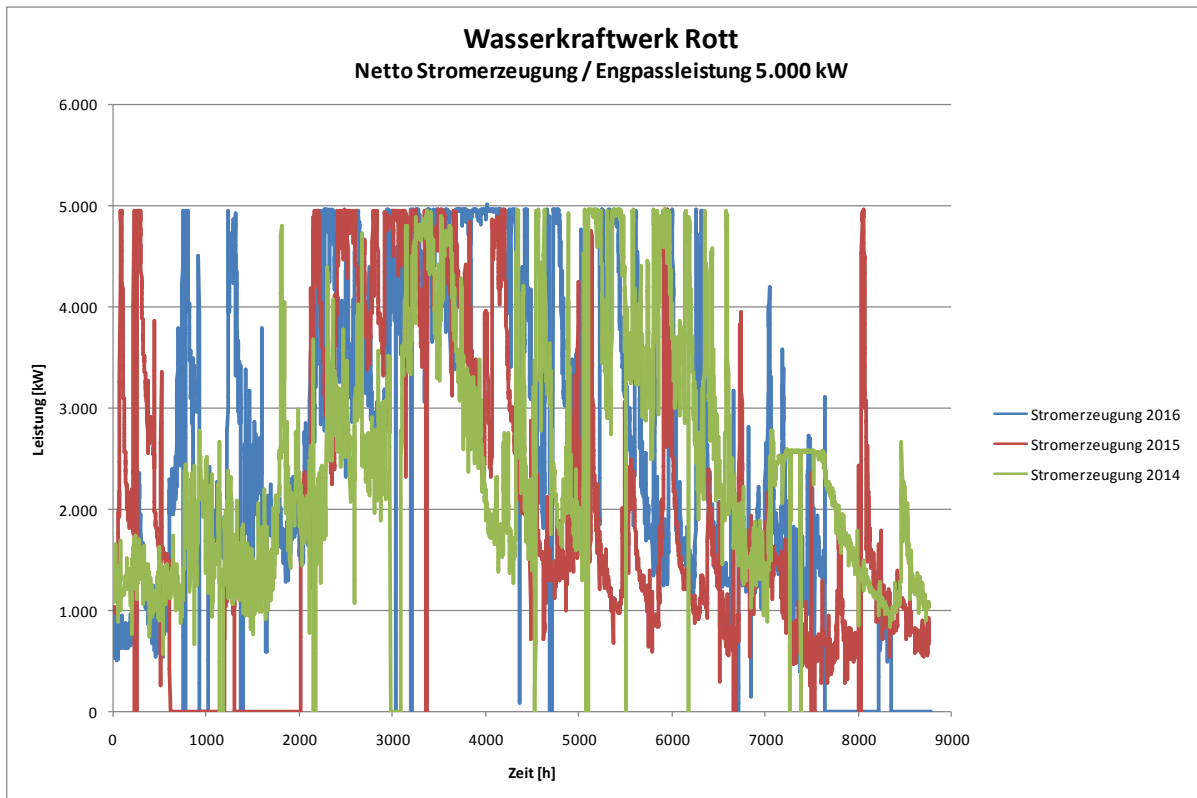


Abbildung 54: Stromerzeugung Wasserkraftwerk Rott

10.2 Diagramme/Verläufe Wasserkraftwerk Lehen

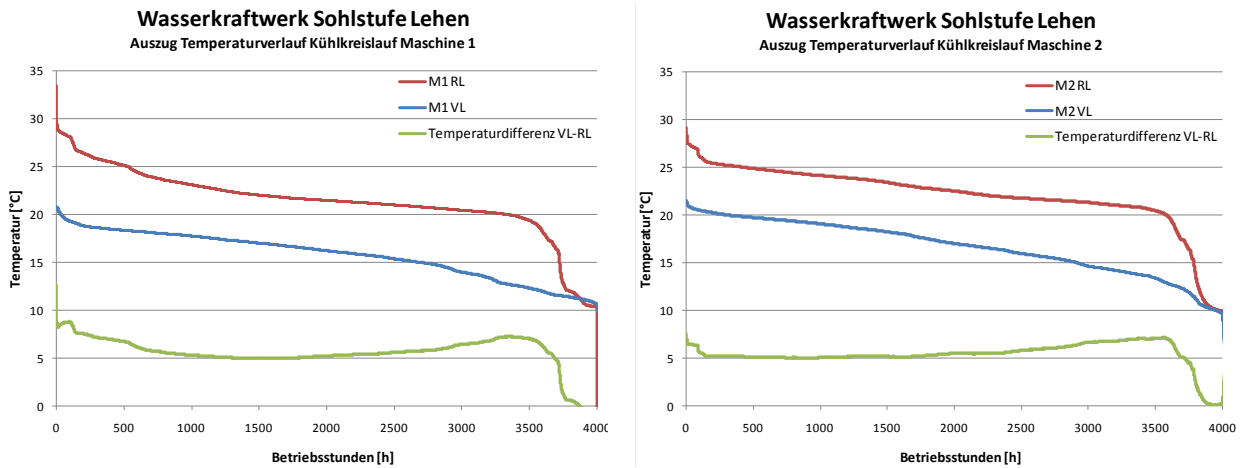


Abbildung 55: sortierte Temperaturverläufe Kühlkreislauf Wasserkraftwerk Lehen

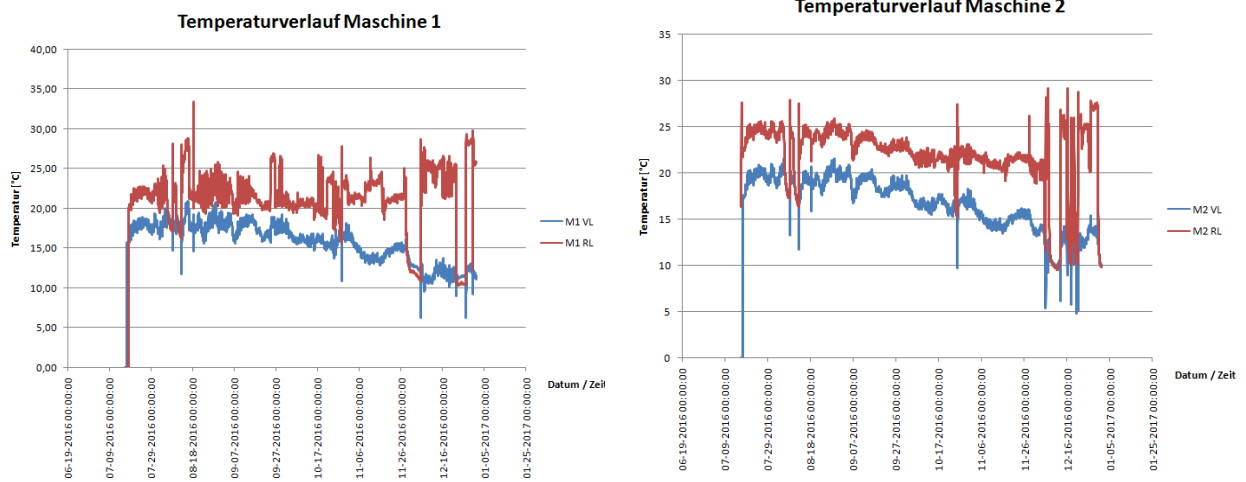


Abbildung 56: Temperaturverläufe Wasserkraftwerk Lehen

In Abbildung 55 sind die sortierten Temperaturverläufe der zeitlich geordneten Temperaturverläufe des Nebenkühlkreises (Abbildung 56) abgebildet. Aufgrund fehlender Daten konnte keine vollst. Jahresdauerlinien erstellt werden, sondern lediglich Auszüge.

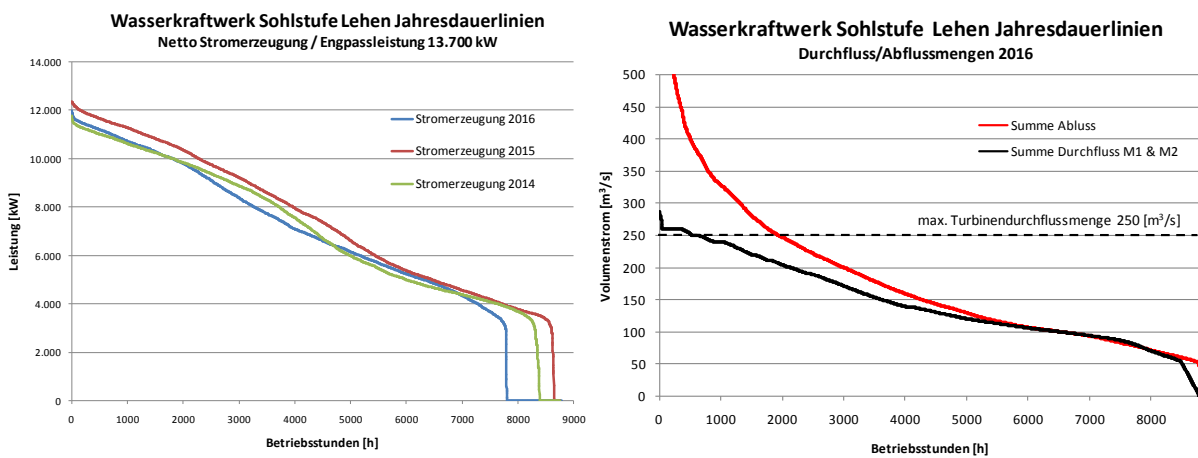


Abbildung 57: Jahresdauerlinien KW Lehen