



KVA Turgi - Pinch Detailanalyse Schlussbericht

Dieses Projekt wurde mit finanzieller Unterstützung durch das Bundesamt für Energie durchgeführt. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt!

Erstellt für:

KVA Turgi
Herr Peter Ender
5300 Turgi

Helbling Beratung + Bauplanung AG
Hohlstrasse 614
CH 8048 Zürich
Fon +41 44 438 18 11
Fax +41 44 438 18 10
Mail info-hbp@helbling.ch

Projektverantwortung: Raymond Morand (Helbling)
Projektleitung: Simon Bachmann (Helbling)
Projektbegleitung: Curdin Christen (Rytec)

Zürich, 17. März 2014

Management Summary

Zielsetzung:

- In der KVA Turgi wurde eine Energieanalyse mit der Pinch-Methode durchgeführt, welche als Ziel hatte, weiteres Abwärmepotential aufzudecken und Massnahmen zu dessen wirtschaftlicher Erschliessung aufzuzeigen.
- Dazu wurde das gesamte thermische System der KVA Turgi erfasst und basierend darauf Massnahmen inkl. Investitionskostenschätzungen und den erzeugten Erlösen berechnet.

Resultate:

- Durch die Analyse konnte aufgezeigt werden, dass noch ein Potential an Abwärme von ca. 27 GWh/a wirtschaftlich erschlossen werden kann.
- Es wird empfohlen, die Massnahmen mit Priorität 1 umzusetzen, welche bei einem dynamischen Payback von 11 Jahren Einsparungen von ca. 220 kCHF/a erzeugen. Zudem wird empfohlen, die Fernwärmeabgabe durch die KVA zu steigern, indem mehr Leistung an das Fernwärmenetz angeschlossen wird und allfällige Bezugsspitzen durch einen Spitzenlastkessel abgedeckt werden.
- Vor der Umsetzung der Massnahmen sollte die Strategie bezüglich CO₂-Abgaben für KVAs abgewartet werden, welche die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen beeinflussen wird.

Inhalt

1. Ausgangslage / Zielsetzung	4
2. Grundlagen	5
3. Ist-Analyse	6
4. Pinch-Analyse	14
5. Massnahmen	15
6. Übersicht Massnahmen	27
7. Schlussfolgerung	28
8. Empfehlungen	30
Anhang	32

Ausgangslage / Zielsetzung

Ausgangslage:

- Im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) wurde bei der KVA Turgi eine Grobanalyse des Energiesystems durchgeführt, welche zeigte, dass noch Potential zur Steigerung der Effizienz vorhanden ist.
- Aufgrund dessen wurde beschlossen eine detaillierte Pinch-Analyse durchzuführen.

Mit der Studie werden die folgenden Zielsetzungen verfolgt:

- Analyse der Wärmekaskade und darauf basierend Erarbeitung von Einsparmassnahmen
- Massnahmen zur Reduktion der Abwärmeverluste und des Eigenbedarfs an Wärme
- Aufzeigen der aus den Massnahmen resultierenden zukünftigen höheren Strom- und Fernwärmeproduktion
- Abschätzung des Nutzens einer Wärmepumpe zur Verwendung von tieftemperaturiger Abwärme
- Durch Umsetzung und Darstellung von innovativen Energieoptimierungsmassnahmen Pflegen eines positiven Images des fortschrittlichen, effizienten Umgangs mit Energie



Grundlagen

Strompreis

- Durchschnitt: 51.0 CHF/MWh_{el}

Preis Fernwärme

Der Wärmepreis berechnet sich aus der Stromminderproduktion und schwankt somit mit dem Strompreis

- Heizer 1: 3.9 CHF/MWh_{th}
- Heizer 2: 10.6 CHF/MWh_{th}
- Heizer 3: 9.3 CHF/MWh_{th}

Preis Wasser

- Demineralisiertes Wasser: 5.0 CHF/m³
- Trinkwasser: 1.7 CHF/m³
- Abwasser: 1.0 CHF/m³

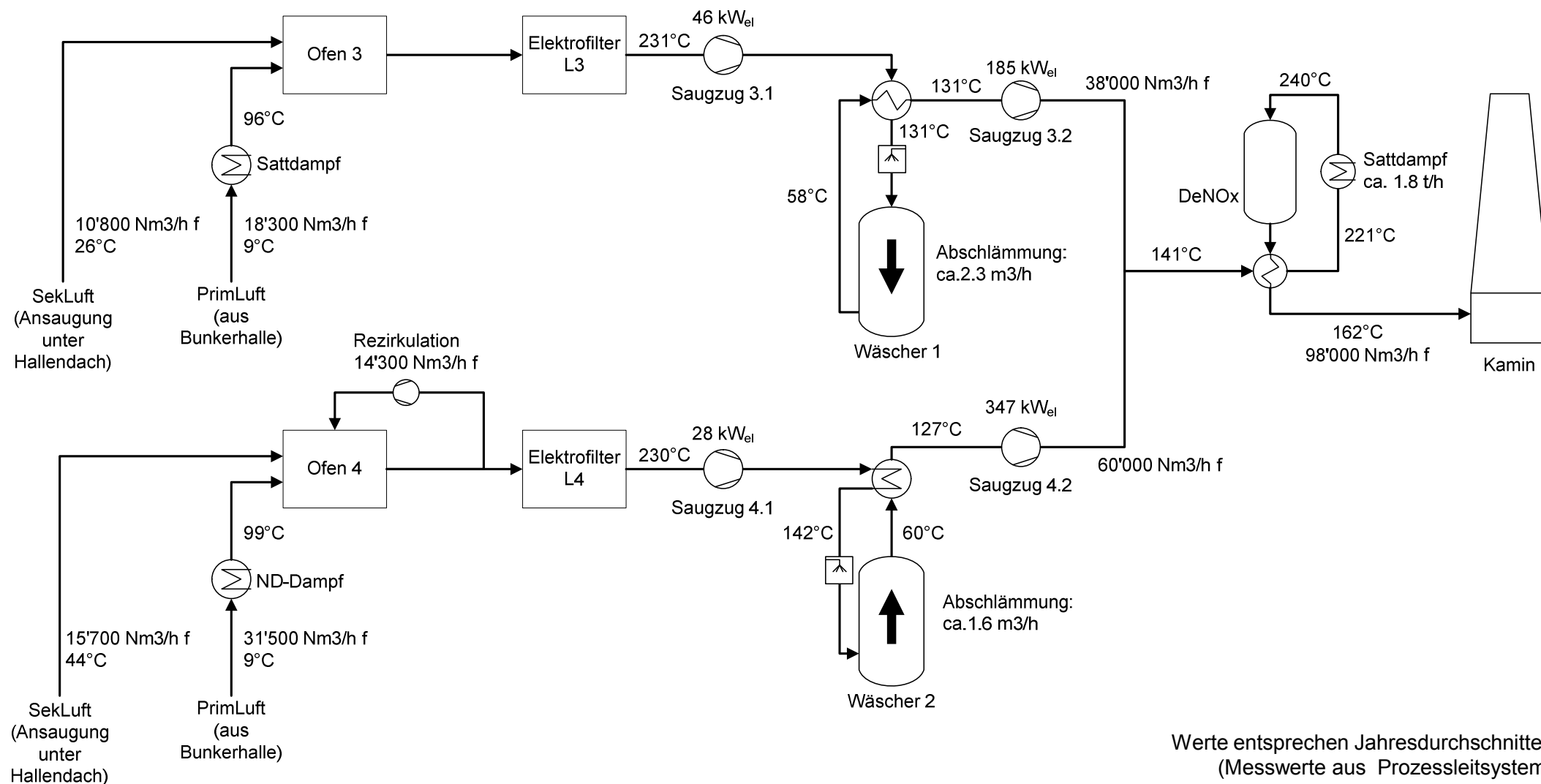
Wirtschaftliche Daten

- Kapitalzins: 1%
- Max. Payback: 5a (bei umweltrelevanten Massnahmen u.U. auch mehr)

Ist Analyse Rauchgassystem (1/2)

- Die KVA Turgi befindet sich in der Gemeinde Turgi ca. 4 km nordwestlich von Baden (AG), direkt am Ufer der Limmat. Es werden pro Jahr ca. 120'000 Tonnen Abfälle angeliefert und in den Ofenlinien 3 und 4 verfeuert.
- Die KVA Turgi besteht aus den Ofenlinien 3 und 4 (OL3 und OL4), welche jeweils einen eigenen Elektrofilter und einen Wäscher haben. Nach den Wäschern werden die Rauchgaslinien zusammengeführt und über eine gemeinsame DeNOx in den Kamin gefahren (Schema siehe nächste Seite).
- Der gesamte Rauchgasvolumenstrom am Kamin beträgt ca. 98'000 Nm³/h (feucht). Die Rauchgasmenge pro Linie wird nicht gemessen. Aufgrund der Leistungen in den Saugzügen, den Primärluft- und Abfallmengen wird davon ausgegangen, dass die Rauchgase zu 39% aus der Ofenlinie 3 und zu 61% aus der Ofenlinie 4 stammen.
- Die Rauchgase werden im Normalbetrieb über einen einzigen Stahlkamin abgeführt. Es besteht ein zweiter, gummierter Kamin, welcher jedoch nur die Hälfte der Rauchgasmenge schlucken könnte und auf eine maximale Temperatur von 60°C ausgelegt ist.
- Die Saugzüge der beiden Ofenlinien sind weitgehend am Anschlag. Beim allfälligen Einbau von weiteren Widerständen in der Rauchgaslinie muss mit einem Umbau der Saugzüge gerechnet werden.
- Die Primärluft wird in beiden Ofenlinien auf knapp 100°C vorgewärmt. Bei Ofenlinie 3 geschieht dies mit Frischdampf aus der Kesseltrommel, bei Ofenlinie 4 wird Dampf aus dem ND-Kollektor genutzt.
- Die Sekundärluft wird an der Hallendecke angesaugt und bedarf keiner weiteren Vorwärmung.

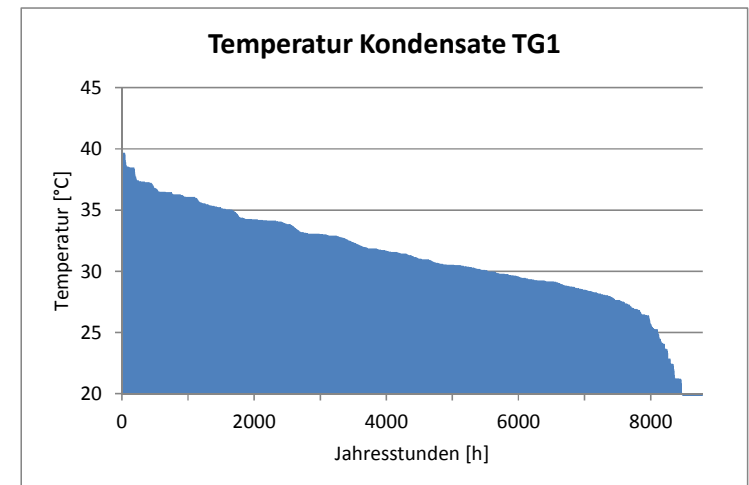
Ist Analyse Rauchgassystem (2/2)



Werte entsprechen Jahresdurchschnitten (Messwerte aus Prozessleitsystem)

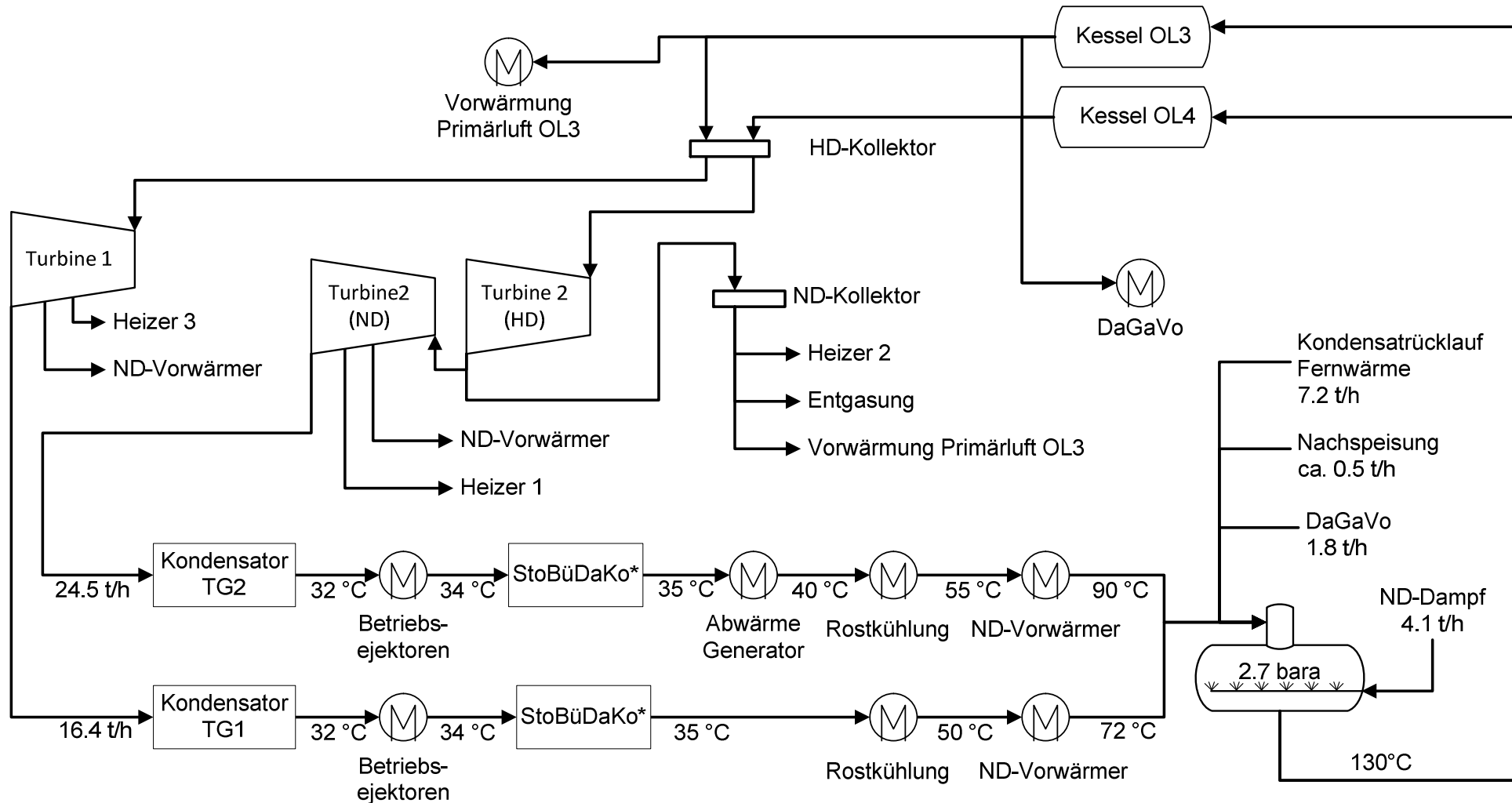
Ist Analyse Dampfsystem (1/2)

- Die Stromerzeugung geschieht über zwei separate Turbogruppen (TG1 und TG2), welche über einen mit Flusswasser gekühlten Kondensator verfügen (Schema siehe nächste Seite). Dadurch können sehr tiefe Kondensationsdrücke erreicht werden, was sich in einer hohen Stromeffizienz widerspiegelt.
- Die Kondensate werden als erstes durch den Abdampf der Betriebsejektoren, der Stopfbüchsendampfkondensatoren und bei TG2 noch durch die Abwärme aus dem Generator vorgewärmt. Danach gelangen die Kondensate in die WRG aus der Rostkühlung, um anschliessend in den ND-Vorwärmern auf ca. 72°C (TG1) bzw. ca. 90°C (TG2) vorgewärmt zu werden.
- Die Kondensatmengen nach den Kondensatoren schwanken über das Jahr entsprechend der in den Heizern benötigten Dampfmenge. Die Kondensate aus den Heizern, sowie aus der DeNOx-Rauchgasaufwärmung (Dampf-Gas-Vorwärmer, DaGaVo) werden direkt zurück ins Speisewassergefäss geleitet.
- Die Entgasung geschieht in einem einzigen Speisewassergefäss bei 130°C.
- Der für den DaGaVo benötigte Dampf wird direkt aus den Kesseltrommeln entnommen. Aus der Trommel von OL3 wird zudem Dampf für die Primärluftvorwärmung bezogen.
- Der überhitzte Frischdampf geht über die HD-Kollektoren, welche normalerweise getrennt sind, auf die beiden Turbinen. Die weiteren Dampfverbraucher werden über mehrere Anzapfungen der Turbinen versorgt.
- Nebenstehende Grafik zeigt eine Jahresdauerlinie der Kondensattemperatur von TG1 (kompletter Temperaturverlauf beider Linien siehe Anhang A und B).



Ist Analyse Dampfsystem (2/2)

- Die im Schema eingezeichnete Werte entsprechen den Jahresdurchschnitten im Betrieb.



*Stopfbüchsen-Dampfkondensator

Ist Analyse

Wärmepreise und Druckstufen

- Der Preis für KVA-intern genutzte Wärme berechnet sich durch die Stromminderproduktion, welche sich durch Entnahme der entsprechenden Dampfmengen aus dem Expansionsprozess ergibt.
- Dieser Preis wird auch an die Fernwärme Siggenthal weitergegeben. Die Ersatzkennziffern (bzw. der Wärmepreis) für über die Heizer abgegebene Wärme wurden in dieser Studie als Vorgabe übernommen (Heizer 1 bis 3). Heizer 2 bezieht den Dampf aus dem ND-Kollektor und hat somit dieselbe Wertigkeit wie dieser.
- Für den ND-Vorwärmer von TG1 wurde der gleiche Wärmepreis wie für Heizer 1 verwendet. Der Wärmepreis für den ND-Vorwärmer von TG 2 wurde aus der theoretischen Berechnung übernommen.
- Der Wärmepreis ist an den Strompreis gekoppelt. Dies hat zur Folge, dass monetäre Einsparungen, welche sich durch Massnahmen im thermischen Bereich ergeben, ebenfalls den Schwankungen des Strompreises ausgesetzt sind.

TG1	Dampfdruck	Preis Wärme
	bara	CHF/MWh _{th}
Input	39.00	15.5
Heizer 3 (2.Stufe)	4.50	9.3
Heizer 3 (1.Stufe)	1.90	
ND-Vorw	0.58	3.9
Kondensator	0.05	
Referenz	1.00	

TG2	Dampfdruck	Preis Wärme
	bara	CHF/MWh _{th}
Input	39.00	15.7
zu ND-Kollektor	3.80	10.6
ND-Vorw	1.01	7.4
Heizer 1	0.64	3.9
Kondensator	0.04	
Referenz	1.00	

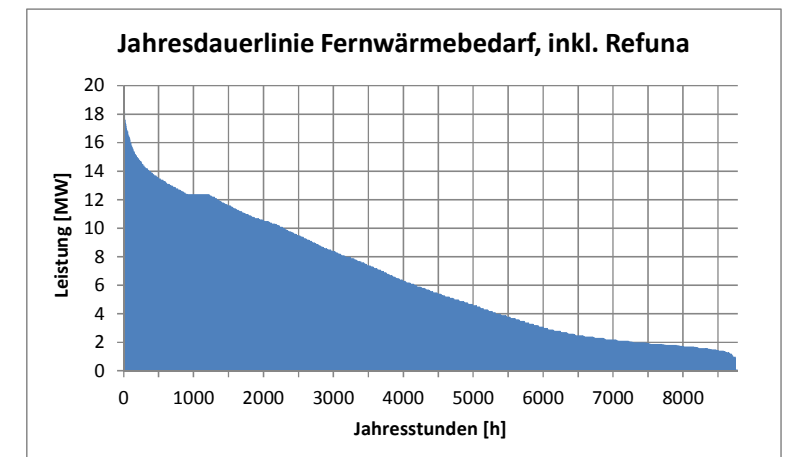
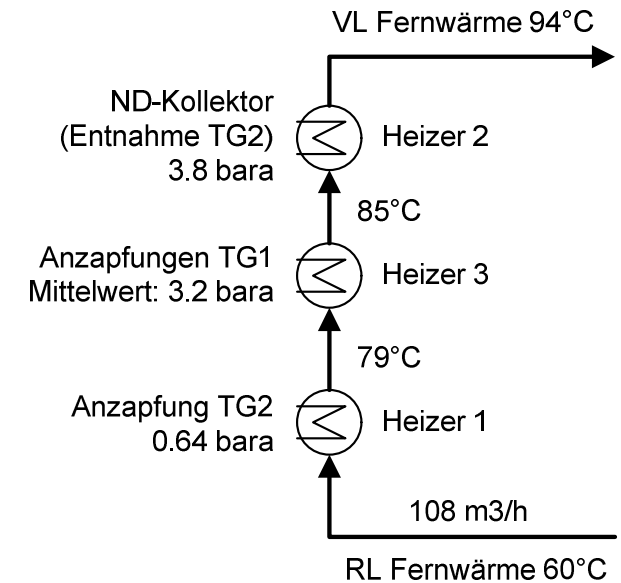
Wärmepreis aus Messung

Wärmepreis aus Berechnung

Wärmepreise beim aktuellen Strompreis
von 51 CHF/MWh_{el}

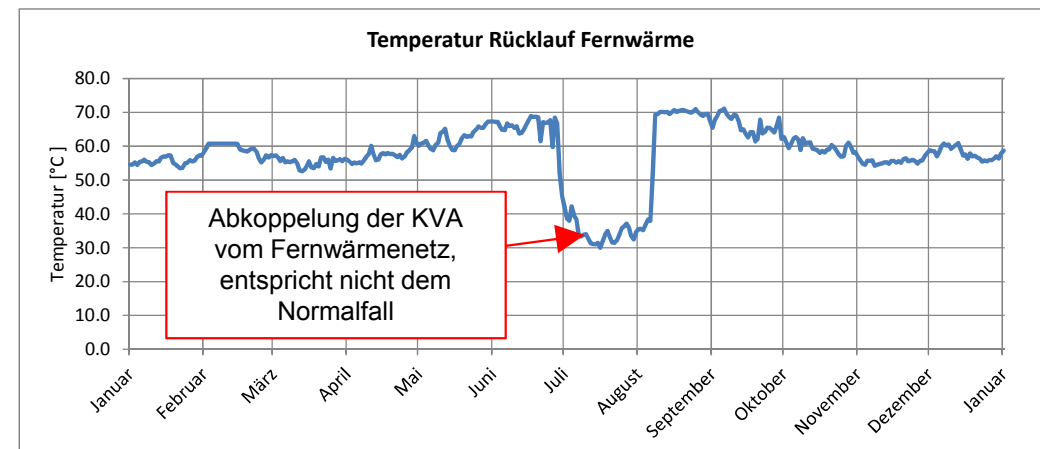
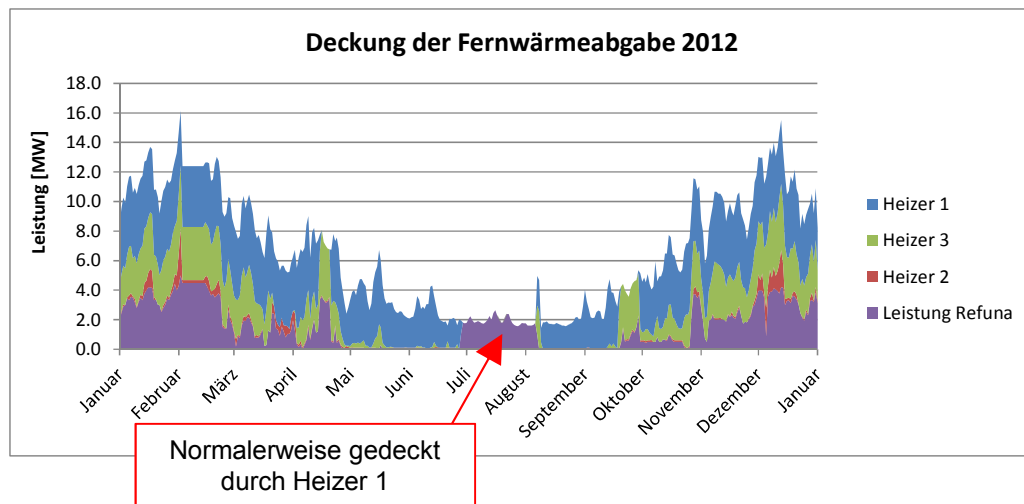
Ist Analyse Fernwärme (1/2)

- Das Fernwärmenetz ist im Besitz der Fernwärme Siggenthal AG und bezieht die Wärme aus der KVA zum Preis der Stromminderproduktion, welche durch die Abgabe der Wärme verursacht wird. Es besteht zudem die Möglichkeit, Wärme aus Fernwärmenetz REFUNA zu beziehen.
- Das Fernwärmenetz Siggenthal ist mit der Auslastung am Limit. Falls neue Bezüger angeschlossen werden, muss mehr Heizleistung installiert werden, was Massnahmen zur Abwärmenutzung in der KVA interessant machen könnte. Ausserdem besteht ein Projekt, welches den Anschluss des Fernwärmenetzes Baden Nord an die KVA Turgi vorsieht.
- Die Fernwärme wird heute über drei Heizer in Serie gespeist. Die Heizer sind bezüglich der Temperaturkaskade bereits heute sehr optimiert geschaltet. Dies wurde ermöglicht, durch eine Auslegung des Fernwärmerücklaufs auf eine tiefe Temperatur (Jahresschnitt: 57°C).
- Heizer 1, welcher die Grundlast abdeckt, wird durch eine Anzapfung von TG2 auf sehr tiefem Druckniveau gespeist. Danach wird Heizer 3 zugeschaltet, welcher durch zwei Anzapfung auf verschiedenen Druckstufen von TG1 versorgt wird. Zur Abdeckung von Spitzenlasten wird als letzte Stufe Heizer 2 zugeschaltet.

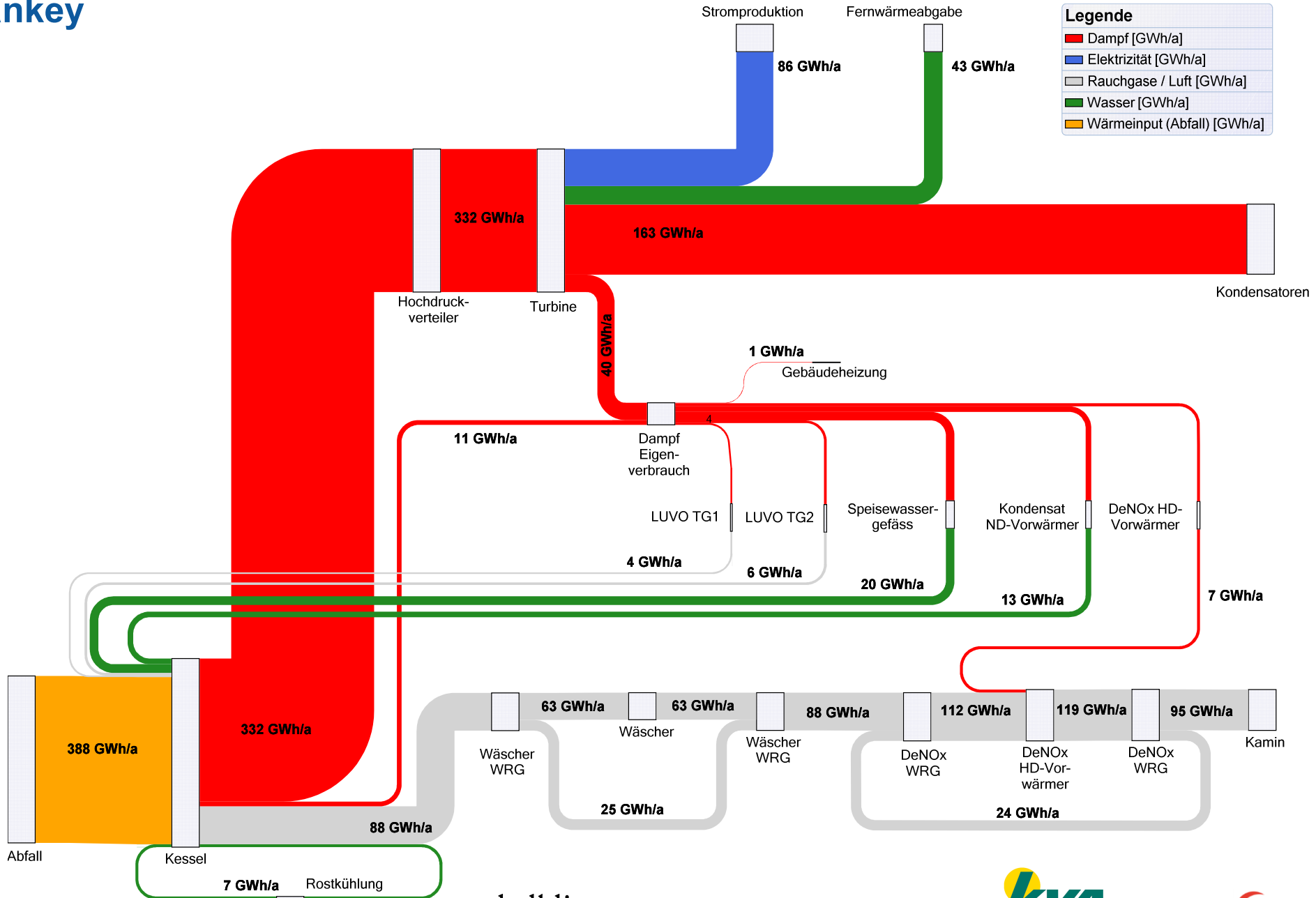


Ist Analyse Fernwärme (2/2)

- Im Jahr 2012 wurden vom Fernwärmenetz Siggenthal insgesamt ca. 57.5 GWh Wärme abgegeben, wovon 43.7 GWh aus der KVA Turgi und 13.8 GWh aus dem REFUNA Netz stammten. Im Normalfall ist die Abgabe durch die KVA Turgi um den Teil höher, welcher von Juli bis August durch die REFUNA abgedeckt wurde (siehe linke Grafik).
- Die Grafik links zeigt die Verteilung der Heizlast im Jahr 2012, priorisiert nach der Wertigkeit der Wärme der einzelnen Heizer. Bei Abdeckung einer gewissen Bandlast durch eine neue Wärmerückgewinnung würde voraussichtlich zuerst der Bezug aus dem REFUNA-Netz reduziert, danach die Last von Heizer 2 etc. Dadurch ergibt sich die grösstmögliche Einsparung.
- Die Grafik rechts zeigt die Rücklauftemperatur der Fernwärme im Jahr 2012. Die Temperatur steigt im Sommer bis auf knapp 70°C an, während sie im Winter bis auf ca. 55°C absinkt.

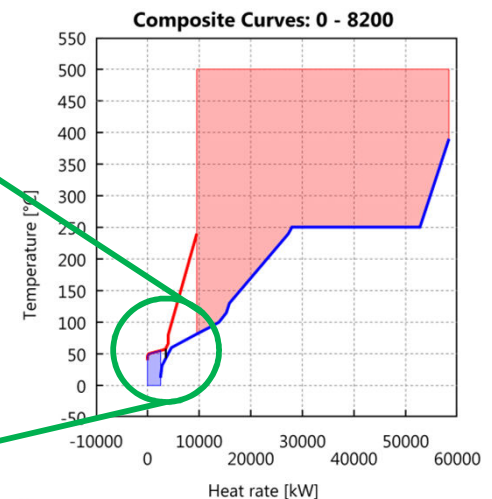
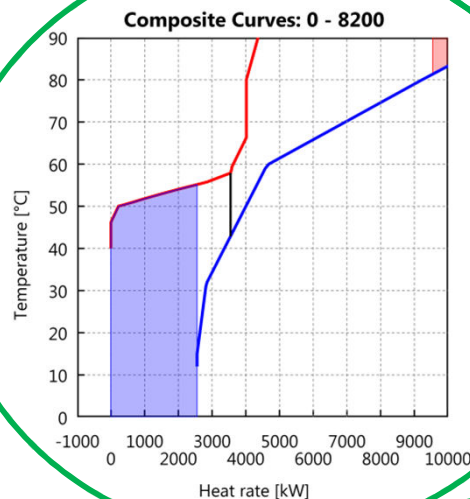
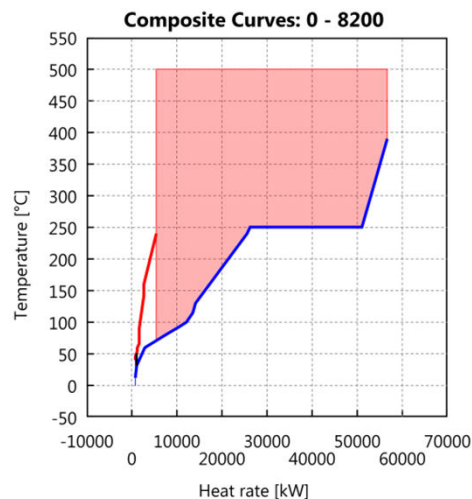


Ist Analyse Sankey



Pinch Analyse

- Die untenstehenden Grafiken zeigen die Composite Curves der KVA Turgi, d.h. die Summe der aufzuheizenden und alle abzukühlenden Ströme im System.
- Die linke Grafik zeigt das heutige System. Bei den Grafiken rechts wurden als heisse Ströme noch zusätzlich die latente Wärme im Wäscher, die Rauchgase vor dem Kamin sowie die Rauchgase vor der Quench von Wäscher 2 berücksichtigt. Dadurch steigt die mögliche Wärmerückgewinnung um ca. 3 MW an.
- Die Pinch-Analyse zeigt, dass der energetische Engpass des Systems am unteren Ende der Temperaturkaskade bei ca. 50°C liegt. Dies bedeutet, dass zur Steigerung der Wärmerückgewinnung die Ströme in diesem Bereich berücksichtigt werden müssen. Auf das System KVA Turgi bezogen sind dies die latente Wärme im Wäscher, die Rauchgase vor dem Kamin, die Rostkühlung, die Kondensatvorwärmung und die Primärluftvorwärmung.



Massnahme 1

Wärmerückgewinnung im Wäscher - Kondensate

Erklärung Massnahmenansatz

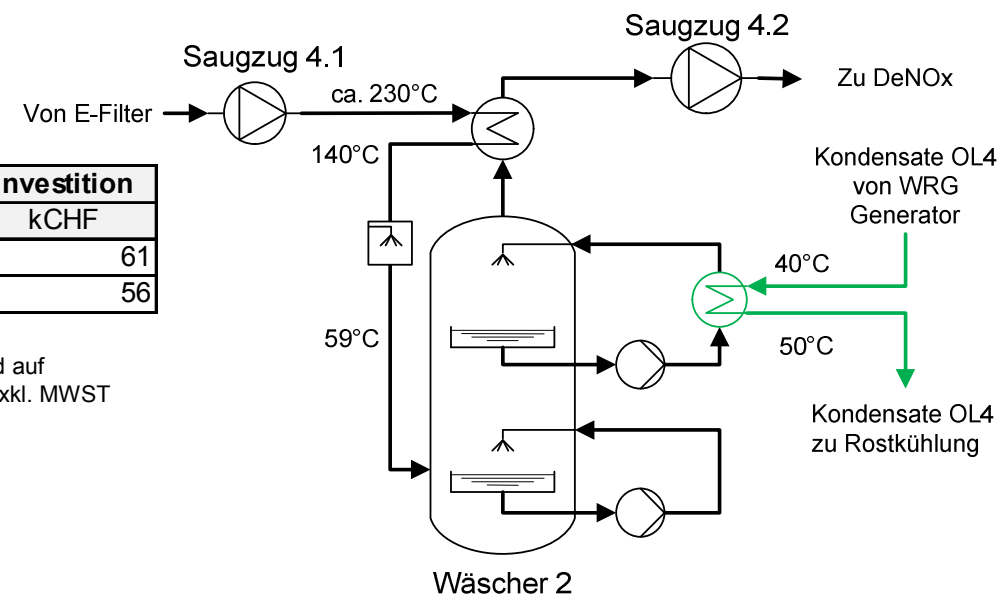
- Zur Rückgewinnung der latenten Wärme aus dem Wäscher wird aus dem Ringjetkreislauf Wärme entzogen. Dadurch wird die Temperatur im Wäscher gesenkt und ein Teil der latenten Wärme in den Rauchgasen an das Ringjetwasser abgegeben (Konsequenz auf die Rauchgastemperatur siehe übernächste Seite).
- Die Massnahme sieht vor, die Kondensate beider Linien separat den Wäschern zuzuführen. Bei OL4 kommen die Kondensate von der WRG Generator (40°C), bei OL3 vom StoBüDaKo (35°C).
- Nach Aufnahme der Wärme werden die Kondensate zur Rostkühlung weitergeleitet. Die Temperatur im Rostkühlkreislauf steigt dadurch um ca. 10°C an.
- Um sicherzustellen, dass bei einer Leckage des Wärmetauschers kein Wäscherwasser in die Kondensate gelangt, muss der Druck auf der Kondensatseite höher sein.
- Die Investitionen und Erlöse sind für beide Linien, d.h. 2x Rohrleitung hin und zurück, 2 Wärmetauscher

	Leistung	Betr.h	Wärmepreis	Erlös	Investition
	kW	h/a	CHF/MWh	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher					
Kond OL3	284	8200	3.9	9	61
Kond OL4	286	8200	7.4	17	56

	Erlös	Investition
	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher	26	117
Rohrleitungen Wasser		215
Saugzug	5	
Total	31	332

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, excl. MWST

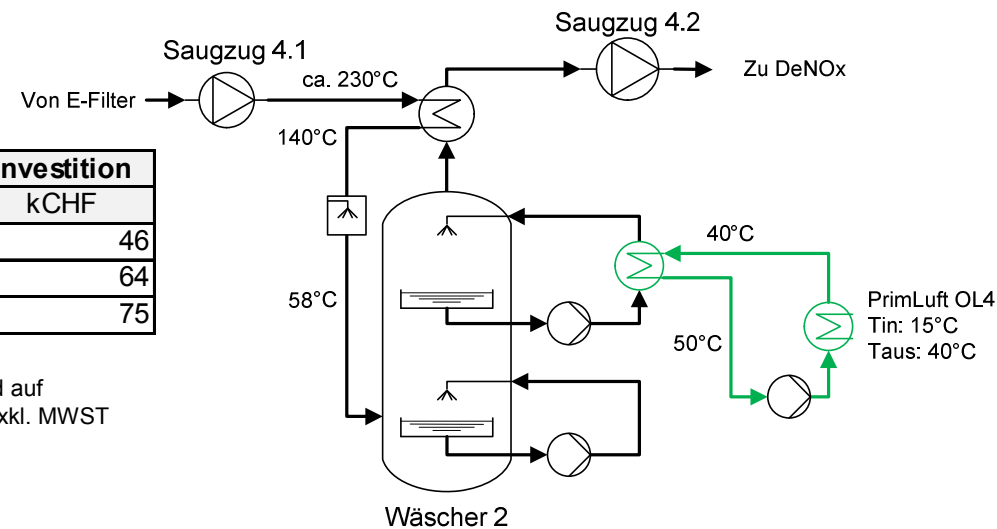
Payback statisch	10.7 a
-------------------------	--------



Massnahme 2 Wärmerückgewinnung im Wäscher – Primärluft

Erklärung Massnahmenansatz

- In der gleichen Art wie bei Massnahme 1 wird die latente Wärme aus den Rauchgasen im Wäscher genutzt.
- In diesem Fall wird die Wärme auf einen Zwischenkreislauf übertragen, welcher zur Vorwärmung der Primärluft auf 40°C genutzt wird.
- Die Investitionen und Erlöse sind für beide Linien errechnet, d.h. 2x Rohrleitung hin und zurück, 2 Wasser/Wasser-Wärmetauscher und 2 Wasser/Luft-Wärmetauscher.
- Im Vergleich zu Massnahme 1 sind die Einsparungen höher obwohl die zurückgewonnene Leistung kleiner ist, weil die spezifischen Einsparungen bei der Primärluft massiv höher sind (Einsparung von Frischdampf bzw. ND-Dampf).
- Die aus den Wäschern zurückgewinnbare Wärme ist genug hoch, dass sowohl Massnahme 1 als auch Massnahme 2 gleichzeitig realisiert werden kann. Dadurch würden die Investitionskosten leicht reduziert, weil pro Linie nur ein Zwischenkreislauf benötigt würde. Zur Optimierung der Investitionskosten könnte das System auch auf einen einzigen Zwischenkreislauf reduziert werden, wodurch ein Teil der Investitionskosten für die Rohrleitungen wegfallen würde.



	Leistung	Betr.h	Wärmepreis	Erlös	Investition
	kW	h/a	CHF/MWh	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher					
PrimLuft OL3	152	8200	15.5	19	46
PrimLuft OL4	260	8200	10.6	23	64
WT Zwischenkreislauf	412	8200			75

	Erlös	Investition
	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher	42	185
Rohrleitungen Wasser		205
Saugzug	5	
Total	47	390

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Payback statisch	8.4 a
------------------	-------

Massnahmen 1 und 2

Konsequenz der Abkühlung der Rauchgase

Änderungen im Rauchgasstrom

- Durch die tiefere Temperatur im Wäscher sinkt die Taupunkttemperatur im Rauchgas. Dadurch wird die absolute Feuchte am Ausgang des Wäschers ebenfalls reduziert.
- Die Tabelle rechts zeigt exemplarisch den Vergleich des Ist-Zustands zu einer Temperatursenkung im Wäscher um 3°C. Dies entspricht einer Leistungsentnahme aus dem Wäscherwasser von ca. 1 MW_{th}.
- Im neuen Fall muss der Rauchgasstrom um 3°C mehr aufgeheizt werden. Trotzdem steigt die benötigte Heizleistung nicht an, da der Massenstrom im Vergleich zur Ist-Situation tiefer ist.
- Durch den tieferen Wassergehalt ergibt sich im Saugzug ein um ca. 2% tieferer Volumenstrom und dadurch eine leichte Einsparung an Strom von ca. 4.7 kCHF/a (Tabelle ganz unten).
- Was hier nicht berücksichtigt ist, sind die tieferen Druckverluste, welche sich durch den tieferen Volumenstrom in den nachfolgenden Aggregaten ergeben (Rauchgasleitungen, Gas/Gas Wärmetauscher vor DeNO_x, DaGaVo, DeNO_x).

Wäscher OL4	Ist	Neu	
trocken	60'000	60'000	kg/h
feuchte	138.6	117.0	g/kg
total	68'316	67'020	kg/h
Tin	58.5	55.5	°C
Tout	140	140	°C
Benötigte Wärme	1731	1736	kW
Vol.strom SGZ	85'911	83'482	m3/h

Abkühlung im Wäscher OL2

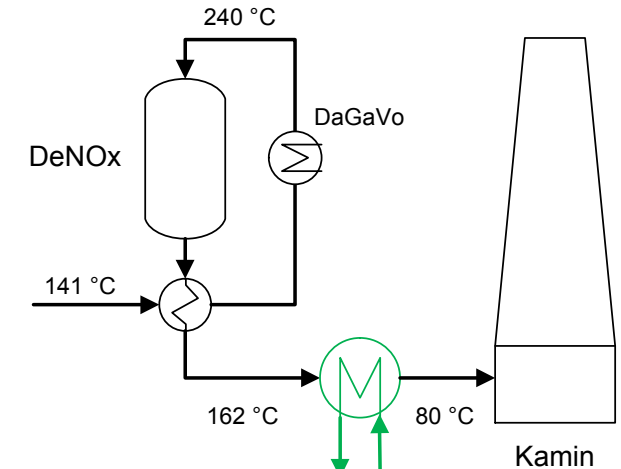
T bestehend	58.5	°C
T neu	55.5	°C
Abgegebene Wärme	996	kW

Einsparung Saugzug 4.2

Druckverlust	0.100	bar
delta Volumenstrom	0.67	m3/s
Wirkungsgrad	0.6	-
Pel	11.2	kW
Strompreis	51	CHF/MWh
Jahresstunden	8200	h/a
Einsparung	4'703	CHF/a

Massnahme 3 Rauchgas vor Kamin – Mögliche Bezüger

- Die Massnahme sieht vor, aus den Rauchgasen vor dem Kamin die Wärme zu entziehen und so eine Rauchgastemperatur im Kamin von ca. 80°C zu erreichen.
- Um dies zu ermöglichen, muss der Kamin ausgekleidet werden. Abklärungen haben ergeben, dass trotz der tieferen Temperatur der Zug im Kamin genug hoch bleibt. Es muss jedoch ggf. eine neue Ausbreitungsrechnung gemacht werden.
- Aus der bestehenden Anlage und der Kombination der Leistungen ergeben sich 3 mögliche Varianten (siehe folgende Seiten).



Primärluft OL3

P_{\max} : 0.5 MW
 T_{in} : 15°C
 T_{out} : 90°C

Einsparung:
 15.5 CHF/MWh

Primärluft 4

P_{\max} : 0.8 MW
 T_{in} : 15°C
 T_{out} : 90°C

Einsparung:
 10.6 CHF/MWh

Fernwärme

P_{\max} : 2.8 MW
 T_{in} : 60°C
 T_{out} : 100°C

Einsparung:
 H1: 3.9 CHF/MWh
 H2: 10.6 CHF/MWh
 H3: 9.3 CHF/MWh

Kondensate

P_{\max} : 2.8 MW
 T_{in} : 50°C
 T_{out} : 90°C

Einsparung:
 ND-Vorw TG1: 3.9 CHF/MWh
 ND-Vorw TG2: 7.4 CHF/MWh
 Spw-Gef: 10.6 CHF/MWh

Massnahme 3a

Rauchgas vor Kamin – Fernwärme (1/2)

Erklärung Massnahmenansatz

- Der Rücklauf der Fernwärme wird über den Rauchgas/Wasser-Wärmetauscher gefahren, zur Regulierung der Fernwärmeleistung wird ein By-Pass installiert.
- Der Wärmerückgewinnung nachgeschaltet bleibt dieselbe Schaltung wie heute über Heizer 1, 3 und 2 bestehen.
- Die Bandlast wird neu über die Wärmerückgewinnung abgedeckt und die Anschlussleistung des Fernwärmenetzes wird um 2.8 MW erhöht.
- Die Einsparung und damit der mittlere Wärmepreis ergeben sich durch das Abschalten der Heizer gemäss der Wertigkeit des verwendeten Dampfes (siehe nächste Seite).

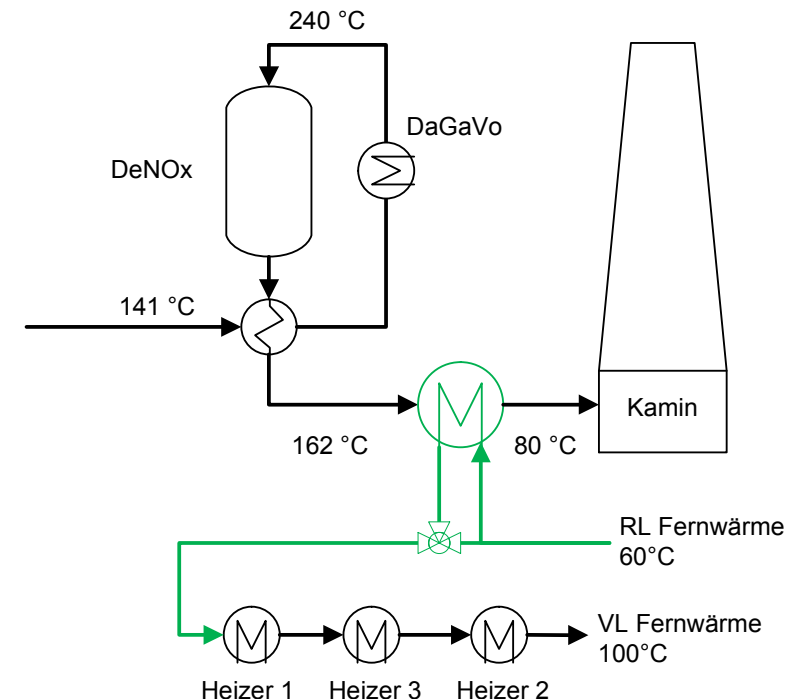
	Leistung	Betr.h	Wärmepreis	Erlös	Investition
Bezüger	kW	h/a	CHF/MWh	kCHF/a	kCHF
WT Kamin	2'857	8'200	6.6	154	1'198

	Erlös	Investition
	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher	154	1'198
Rohrleitung	-2	160
Kamin		500
Saugzug	-27	80

Total	125	1'938
--------------	-----	-------

Payback statisch	15.5 a
-------------------------	--------

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

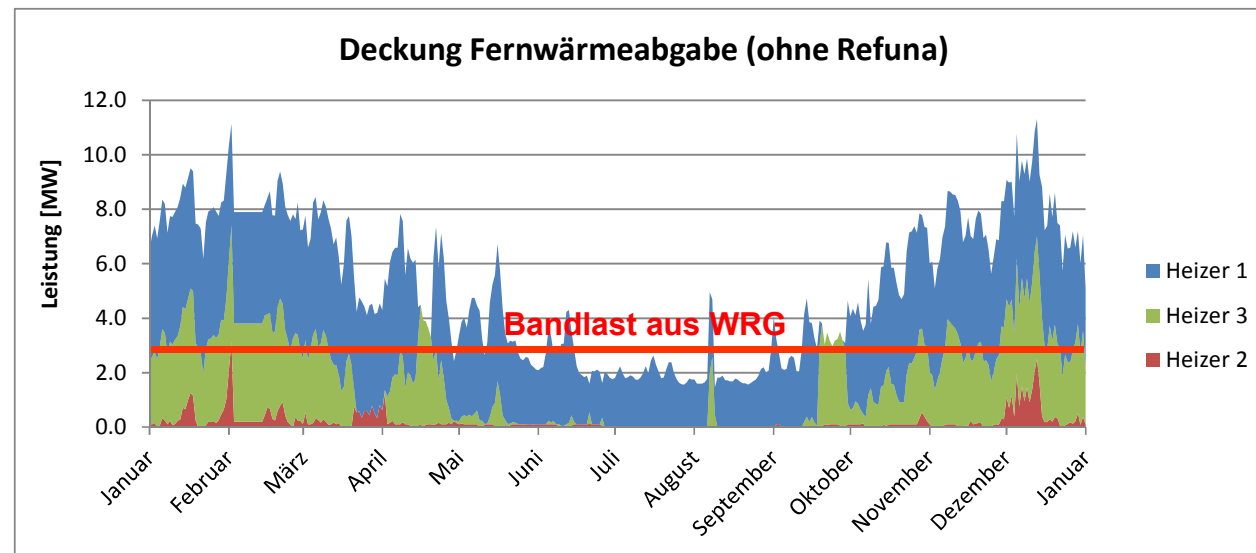


Massnahme 3a

Rauchgas vor Kamin – Fernwärme (2/2)

Einsparung

- Durch die Massnahme wird eine Bandlast von 2.8 MW erzeugt. Zur Berechnung der Einsparung wurde nur die von der KVA abgegebene Wärme berücksichtigt, unter Umständen kann auch die Leistung der REFUNA zurückgefahren und auf diese Weise eine grössere Einsparung erzielt werden.
- Durch die neue Bandlast sollte gemäss der Wertigkeit des verwendeten Dampfes zuerst Heizer 2, danach Heizer 3 und als letztes Heizer 1 zurückgefahren werden.
- Es entsteht zudem weitere Anschlussleistung im Fernwärmenetz und damit auch die Möglichkeit den Preis der zusätzlichen Leistung neu zu verhandeln.



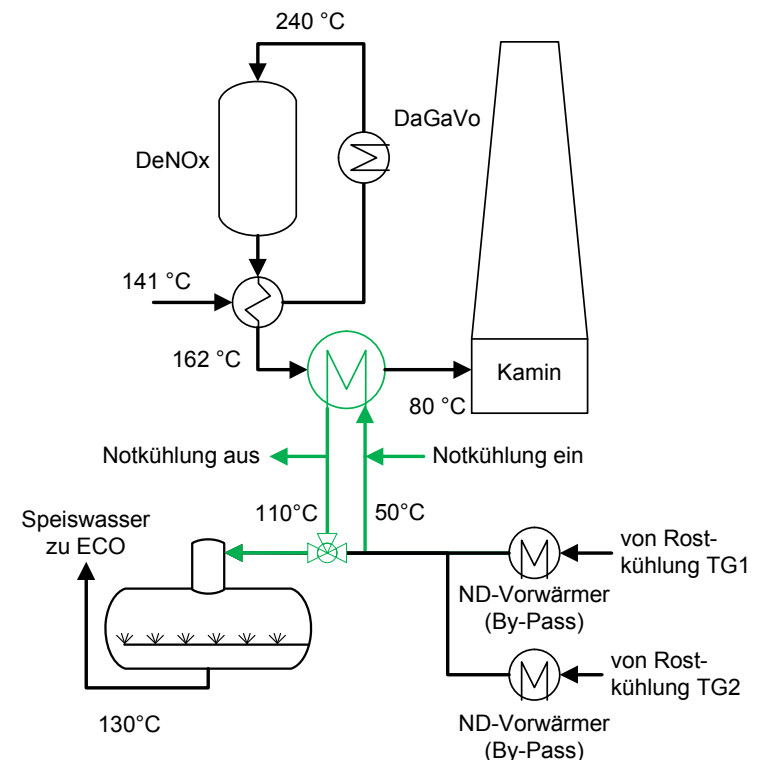
	Preis	Einsparung	Einsparung
	CHF/MWh	GWh/a	kCHF/a
Heizer 1	3.9	10.4	40
Heizer 2	10.6	1.8	19
Heizer 3	9.3	10.2	94
Total	6.9	22.3	154

Massnahme 3b

Rauchgas vor Kamin – Kondensate

Erklärung Massnahmenansatz

- Die Gesamte Leistung aus den Rauchgasen wird auf die Kondensate abgeben, welche ohne Vorwärmung in den ND-Vorwärmern direkt in den Rauchgas/Wasser-Wärmetauscher geleitet werden.
- Die Einsparung setzt sich zusammen aus der Minderleistung der ND-Vorwärmer sowie der Minderleistung im Entgaser. Daraus ergibt sich ein Mischpreis von 8.6 CHF/MWh.
- Im Optimalfall werden die ND-Vorwärmer so geregelt, dass die Kondensattemperatur vor dem Speisewassergefäss 110°C beträgt. Ggf. können im Sommerbetrieb (mehr Kondensatrücklauf über TG) manuell zugeschaltet werden.
- Um Verdampfung des Wassers im Wärmetauscher zu vermeiden, muss ein genügend hoher Druck auf der Wasserseite gehalten werden und ein kontinuierlicher Durchfluss gewährleistet sein. Ggf. muss eine Notkühlung mit Frischwasser installiert werden.
- Der mittlere Wärmepreis ergibt sich durch das Abschalten der beiden ND-Vorwärmer und der Einsparung an Dampf im Speisewassergefäss.



	Leistung	Betr.h	Wärmepreis	Erlös	Investition
Bezüger	kW	h/a	CHF/MWh	kCHF/a	kCHF
WT Kamin	2'857	8'200	8.6	201	1'269

	Erlös	Investition
	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher	201	1'269
Rohrleitung		140
Kamin		500
Saugzug	-27	80
Total	174	1'909

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Payback statisch	10.9	a
------------------	------	---

Massnahme 3c

Rauchgas vor Kamin – Kondensate und Primärluft

Erklärung Massnahmenansatz

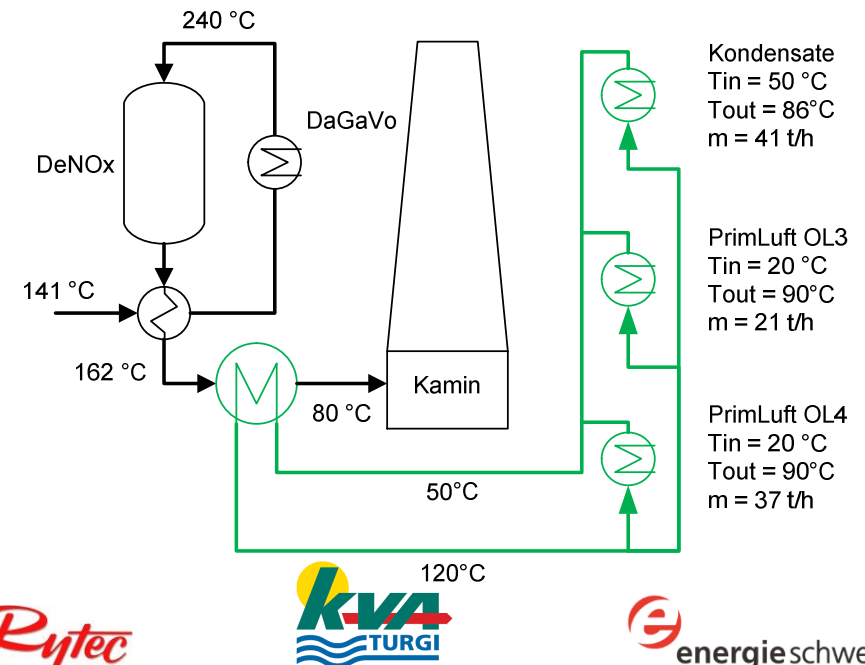
- Diese Massnahme sieht vor, die Wärme aus den Rauchgasen sowohl zur Vorwärmung der Kondensate als auch zur Vorwärmung der Primärluft zu nutzen, weil dort die spezifischen Einsparungen am höchsten sind.
- Dafür wird ein Zwischenkreislauf notwendig, welcher die Wärme auf die verschiedenen Bezüger verteilt. Die Primärluft der beiden Linien wird auf 90°C vorgewärmt. Zur Regelung der Temperatur der Primärluft und zum Anfahren kann der Zwischenkreislauf vor den Wasser/Luft-Wärmetauschern noch mit Dampf nachgeheizt werden.
- Die restliche verfügbare Leistung wird als Ersatz der ND-Vorwärmer auf die Kondensate abgegeben. Die Kondensate werden auf diese Weise auf ca. 86°C vorgewärmt, bevor sie in das Speisewassergefäss gelangen (Mischtemperatur nach ND-Vorwärmer heute ca. 83°C).
- Im Vergleich zu Massnahme 3b wird trotz der höheren spezifischen Einsparung in der Primärluft ein tieferer Payback erzielt.

Bezüger	Leistung kW	Betr.h h/a	Wärmepreis CHF/MWh	Erlös kCHF/a	Investition kCHF
WT Kamin	2'857	8'200		-	1'298
WT Kondensate	1'699	8'200	6.9	96	74
WT PrimLuft OL3	424	8'200	15.5	54	61
WT PrimLuft OL4	734	8'200	10.6	64	86

	Erlös kCHF/a	Investition kCHF
Wärmetauscher	214	1'519
Rohrleitung		210
Kamin		500
Saugzug	-27	80
Total	187	2'229

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Payback statisch	11.9 a
------------------	--------



Massnahme 4 Wärmerückgewinnung vor Quench

Erklärung Massnahmenansatz

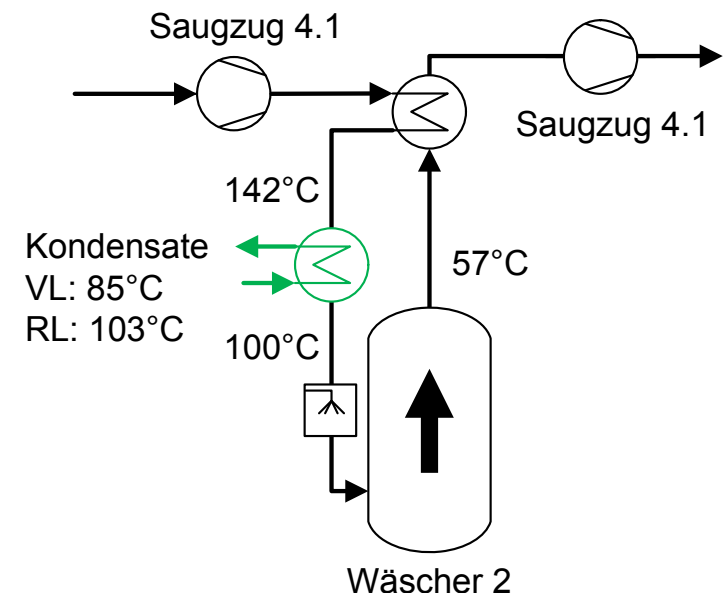
- Die Massnahme besteht darin, dass vor der Quench des Wäschers 2 die Rauchgase von heute ca. 142°C auf 100°C abgekühlt werden. Dadurch können die von den ND-Vorwärmern kommenden Kondensate auf ca. 103°C vorgewärmt werden, was eine Einsparung an ND-Dampf im Speisewassergefäss bringt.
- Die Platzverhältnisse im Rauchgaskanal vor der Quench sind relativ eng, es ist deshalb nicht klar ob die Massnahme vom Platzbedarf her umsetzbar ist. Der vorgesehene Wärmetauscher hätte eine Dimension von ca. 3.5m x 2.0m x 1.5m.
- Es entsteht ein zusätzlicher Druckverlust von ca. 5mbar, welcher durch den Saugzug kompensiert werden muss.
- Die Rauchgastemperatur im Wäscher sinkt durch die Massnahme um ca. 3°C, was in Konkurrenz zu Massnahmen 1 und 2 steht.
- Bei Wäscher 1 kann diese Massnahme aus Platzgründen nicht umgesetzt werden.

	Leistung	Betr.h	Wärmepreis	Erlös	Investition
Bezüger	kW	h/a	CHF/MWh	kCHF/a	kCHF
WT Kamin	849	8'200	10.6	74	829

	Erlös	Investition
	kCHF/a	kCHF
Wärmetauscher	74	829
Rohrleitung	-2	140
Saugzug	-8	-
Total	64	969

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Payback statisch	15.2	a
------------------	------	---



Massnahme 5 Wärmepumpe (1/2)

- Zum Ausbau der Fernwärmeleistung kann eine Wärmepumpe eingebaut werden, welche analog zu Massnahme 1 die latente Wärme aus den Wäschern nutzt. In der Tabelle unten sind dazu drei Lösungsansätze ersichtlich mit den entsprechenden Wärmegestehungskosten.
- Es ist zu beachten, dass die erreichbaren Temperaturen bei 80°C, bzw. bei 90°C liegen, je nach dem welcher Typ von Wärmepumpe eingebaut wird.
- Die Wärmegestehungskosten beziehen sich auf die abgegebene Wärme. Die Vollastbetriebsstunden sind zur Abdeckung von Spitzenlasten gerechnet, da die Wärme teurer ist als die der drei Heizer.

Absorptionswärmepumpe mit Mitteldruckdampf

Wärme vom Wäscher	2000	kW
COP	1.63	-
Wärmeleistung	5165	kW
max. Temperatur	90	°C

Dampfdruck	9	bara
Preis Dampf	15.5	CHF/MWh
Vollastbetriebsstunden	1000	h/a
Investitionskosten	1'150	kCHF

Abschreibungsdauer	10	a
Wärmegestehungskosten	31.8	CHF/MWh

Amortisation Investition	22.3	CHF/MWh
Wärmekosten	9.5	CHF/MWh

Wärmepumpe	450	kCHF
Wärmetauscher 2 MW	240	kCHF
Verrohrung	260	kCHF
Weitere	200	kCHF

Absorptionswärmepumpe mit Niederdruckdampf

Wärme vom Wäscher	2000	kW
COP	1.63	-
Wärmeleistung	5165	kW
max. Temperatur	80	°C

Dampfdruck	4	bara
Preis Dampf	10.6	CHF/MWh
Vollastbetriebsstunden	1000	h/a
Investitionskosten	1'150	kCHF

Abschreibungsdauer	10	a
Wärmegestehungskosten	28.8	CHF/MWh

Amortisation Investition	22.3	CHF/MWh
Wärmekosten	6.5	CHF/MWh

Wärmepumpe	450	kCHF
Wärmetauscher 2 MW	240	kCHF
Verrohrung	260	kCHF
Weitere	200	kCHF

Konventionelle Wärmepumpe (strombetrieben)

Wärme vom Wäscher	2000	kW
COP	4.17	-
Wärmeleistung	2515	kW
max. Temperatur	90	°C

Stromverbrauch	603	kW
Preis Strom	51.0	CHF/MWh
Vollastbetriebsstunden	1000	h/a
Investitionskosten	2'040	kCHF

Abschreibungsdauer	10	a
Wärmegestehungskosten	91.6	CHF/MWh

Amortisation Investition	81.1	CHF/MWh
Wärmekosten	10.4	CHF/MWh

Wärmepumpe	1'340	kCHF
Wärmetauscher 2 MW	240	kCHF
Verrohrung	260	kCHF
Weitere	200	kCHF

Massnahme 5

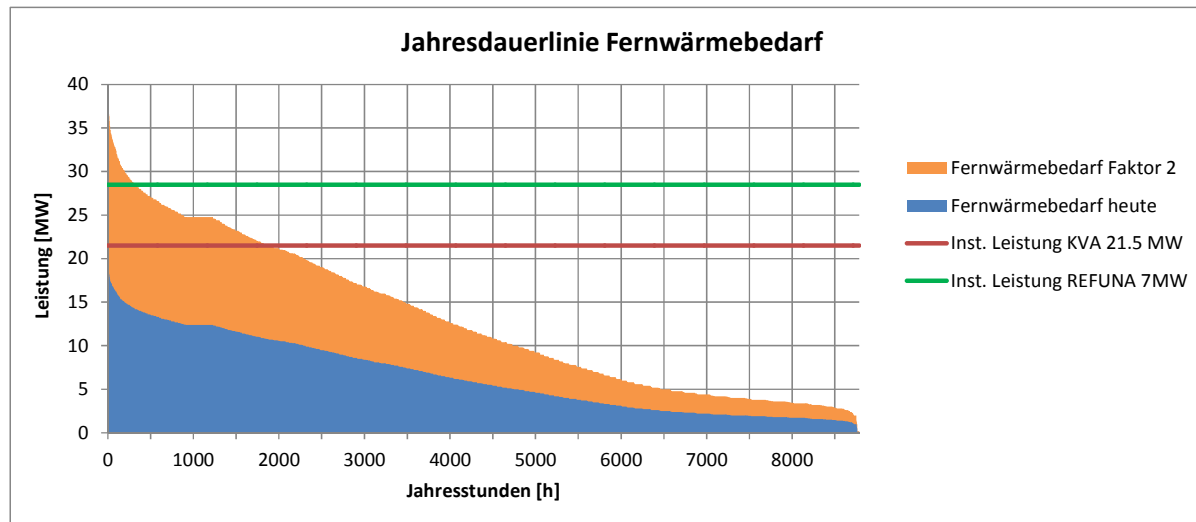
Wärmepumpe (2/2)

- Es bestehen grundsätzlich zwei mögliche Wärmepumpentypen. Die Absorptionswärmepumpe braucht Dampf als Antriebsmittel, während die konventionelle Wärmepumpe mit Strom betrieben wird. Die Preise für die Wärmepumpen basieren auf Richtpreisofferten.
- Die Absorptions-WP, welche mit Mitteldruckdampf betrieben wird, kommt auf einen Wärmegestehungspreis von ca. 15 CHF/MWh_{th}, welcher zum grössten Teil aus den Kosten für den Dampf besteht. Es wird eine Vorlauftemperatur von 90°C erreicht. Die Wärmepumpe benötigt dazu Dampf bei 9 bara, welcher aus der HD-Schiene entspannt werden muss. Zudem kann so keine Leistungssteigerung auf der Fernwärmeseite erreicht werden, weil bei Abruf der heute installierten Fernwärmeleistung die Turbinen bereits am Minimum laufen (Es kann nicht mehr Dampf entnommen oder der Turbine weniger Dampf zugeführt werden.)
- Die zweite Variante sieht eine Wärmepumpe vor, welche Niederdruckdampf (4 bara) betrieben wird. Hier kann nur noch eine Vorlauftemperatur des Fernwärmewasser von 80°C erreicht werden, allerdings fallen die Wärmegestehungskosten mit ca. 12 CHF/MWh_{th} bereits wesentlich tiefer aus. Der 4 bara Dampf könnte aus der Anzapfung TG1 bezogen werden (Anstelle von Heizer 3) und würde dadurch die Leistung von Heizer 3 um einen Faktor 1.6 steigern (von heute 6.5 auf ca. 10.4 MW). Die Wärmepumpe müsste wegen der zu erreichenden Temperatur vor Heizer 1 als erstes Glied in der Kaskade zur Aufwärmung des Fernwärmewassers eingebaut werden. Von der Regelung her müsste jedoch Heizer 1 die Bandlast abdecken, weil dort die Wärmekosten massiv tiefer sind.
- Zum Vergleich wurde eine 3. Variante gerechnet, welche eine strombetriebene Wärmepumpe vorsieht. Hier sind sowohl die Investitionskosten wie auch die Betriebskosten massiv höher, letztere wegen Verwendung von höherwertiger Elektrizität und wegen des grossen Temperaturhubes einem mittelmässigen COP.

Massnahme 6

Erhöhung Bandlast Wärmeabgabe

- Zur verstärkten Ausnutzung der Wärme aus der KVA wäre es sinnvoll, die angeschlossene Leistung im Fernwärmenetz zu erhöhen. Dies kann entweder durch den Anschluss weiterer Verbraucher im bestehenden Fernwärmenetz oder durch einen Zusammenschluss mit der Fernwärme Baden Nord erfolgen.
- Das im Diagramm gezeigte Szenario geht von einem Fernwärmebedarf aus, welcher doppelt so hoch ist wie heute, sich jedoch über das Jahr gleich verteilt (Anstieg von 57 GWh/a auf 115 GWh/a).
- Zur Abdeckung der Spitzenlasten und zur Redundanz muss bei einer Erhöhung der Anschlussleistung ggf. ein zusätzlicher fossiler Kessel gebaut werden. Wie im Diagramm ersichtlich, würde dieser Kessel trotz massiv höherer Fernwärmeabgabe praktisch nicht genutzt werden. Deshalb wäre auch ein Szenario denkbar, in welchem die angeschlossene Leistung noch mehr als um einen Faktor 2 erhöht wird (Grafiken siehe Anhang C).
- Diese Massnahme würde insbesondere die Auslastung des Fernwärmenetzes und damit dessen Amortisation verbessern, und im Falle der Einführung von CO₂-Abgaben eine massive Einsparung erzeugen.



Deckung	KVA [GWh/a]	REFUNA [GWh/a]	Spitzenlastkessel [GWh/a]
Heute	57	-	-
Faktor 1.5	85	1	0
Faktor 2.0	107	7	1
Faktor 2.5	120	16	7

Übersicht Massnahmen

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Nr.	Massnahme	Investition [kCHF]	Nettoeinsparung [kCHF/a]	Einsparung [MWh/a]	Mindereinsp. [kCHF/a]	Payback [a]	Beschreibung	Priorität* [-]	NPV (y10) [kCHF]	NPV (y15) [kCHF]
1	WRG Wäscher - Kondensate	330	30	4'700	-	11.7	Nutzung der latenten Wärme in den Rauchgasen der beiden Wäscher zur Vorwärmung der Kondensate. Einbindung der Massnahme jeweils vor dem Wärmetauscher Rostkühlung/Kondensate und dadurch Erhöhung der Temperatur im Rostkühlkreislauf um ca. 10°C. Die Einsparungen und Investitionen sind für beide Linien, mit getrennter Führung der Kondensate zu den Wäschern.	2	-45	85
2	WRG Wäscher - Primärluft	390	45	3'400	-	9.1	Nutzung der latenten Wärme in den Rauchgasen der beiden Wäscher zur Vorwärmung der Primärluft. Die Einsparungen und Investitionen sind für beide Linien gerechnet, mit 2 getrennten Zwischenkreisläufen.	1	35	235
3a	RG Kamin - Fernwärme	1'900	125	23'400	29	16.6	Wärmerückgewinnung aus den Rauchgasen vor dem Kamin zur Vorwärmung des Rücklaufs im Fernwärmenetz. Dazu muss im Rauchgaskanal ein beschichteter Wärmetauscher installiert und der Kamin wegen der tiefen Rauchgastemperaturen ausgekleidet werden. Aufgrund des Anstiegs des Druckverlustes im Rauchgaskanal, muss der bereits am Anschlag laufenden Saugzug wahrscheinlich angepasst werden. Zudem wird durch den höheren Druckverlust eine Mindereinsparung verursacht.	3	n/a	n/a
3b	RG Kamin - Kondensate	1'900	175	23'400	27	11.6	Gleiches Prinzip wie Massnahme 3a, jedoch mit Nutzung der Wärme zur Vorwärmung der Kondensate auf ca. 110°C. Dadurch können die ND-Vorwärmer abgeschaltet werden und es wird zudem weniger Dampf im Speisewassergefäss benötigt.	1	-245	525
3c	RG Kamin - Kondensate, PrimLuft	2'200	185	23'400	27	12.7	Gleiches Prinzip wie Massnahme 3b, jedoch wird ein Zwischenkreislauf installiert, welcher sowohl Wärme auf die Kondensate wie auch auf die Primärluft abgibt. Die Kondensate können auf diese Weise auf 86°C vorgewärmt werden (Mischtemperatur heute 83°C). Der heute zur Vorwärmung der Primärluft benötigte Dampf kann praktisch vollständig ersetzt werden.	2	-450	365
4	WRG vor Quench Wäscher 2	1'000	65	7'000	10	16.8	Einbau eines Rauchgas/Wasser-Wärmetauschers im Rauchgaskanal vor der Quench von Wäscher 2. Nutzung der Wärme zur Vorwärmung der Kondensate nach den ND-Vorwärmern. Dadurch ergibt sich eine Einsparung an ND-Dampf im Speisewassergefäss.	2	-385	-100
5	Wärmepumpe	1'200	n/a	n/a	n/a	n/a	Erhöhung der möglichen Fernwärmeleistung durch Verwendung einer Absorptionswärmepumpe, welche die latente Wärme aus den Rauchgasen in den Wäschern nutzt und mit ND-Dampf betrieben wird. Eine wesentliche Limitierung dieser Massnahme ist die maximal mögliche Vorlauftemperatur von 80°C.	3	n/a	n/a
6	Bandlast Fernwärme	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Erhöhung der Anschlussleistung im Fernwärmenetz und dadurch gesteigerte Wärmeabgabe durch die KVA. Zur Redundanz und zur Abdeckung von Spitzen kann ein zusätzlicher Spitzenlastkessel zugebaut werden. Die Einsparung hängt ab vom CO2-Preis oder ggf. von einer Neuverhandlung des Fernwärmepreises.	1	n/a	n/a

Kostenschätzung : +/- 25% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Nr.	Massnahme	Investition [kCHF]	Nettoeinsparung [kCHF/a]	Einsparung [MWh/a]	Mindereinsp. [kCHF/a]	Payback [a]	Beschreibung	Priorität* [-]	NPV (y10) [kCHF]	NPV (y15) [kCHF]
	Massnahmen Priorität 1	2'300	220	26'800	27	11.1	Massnahme 2, 3b		-220	750
	Massnahmen Priorität 1+2	3'600	270	38'500	39	14.4	Massnahme 1, 2, 3a, 4		-1040	140

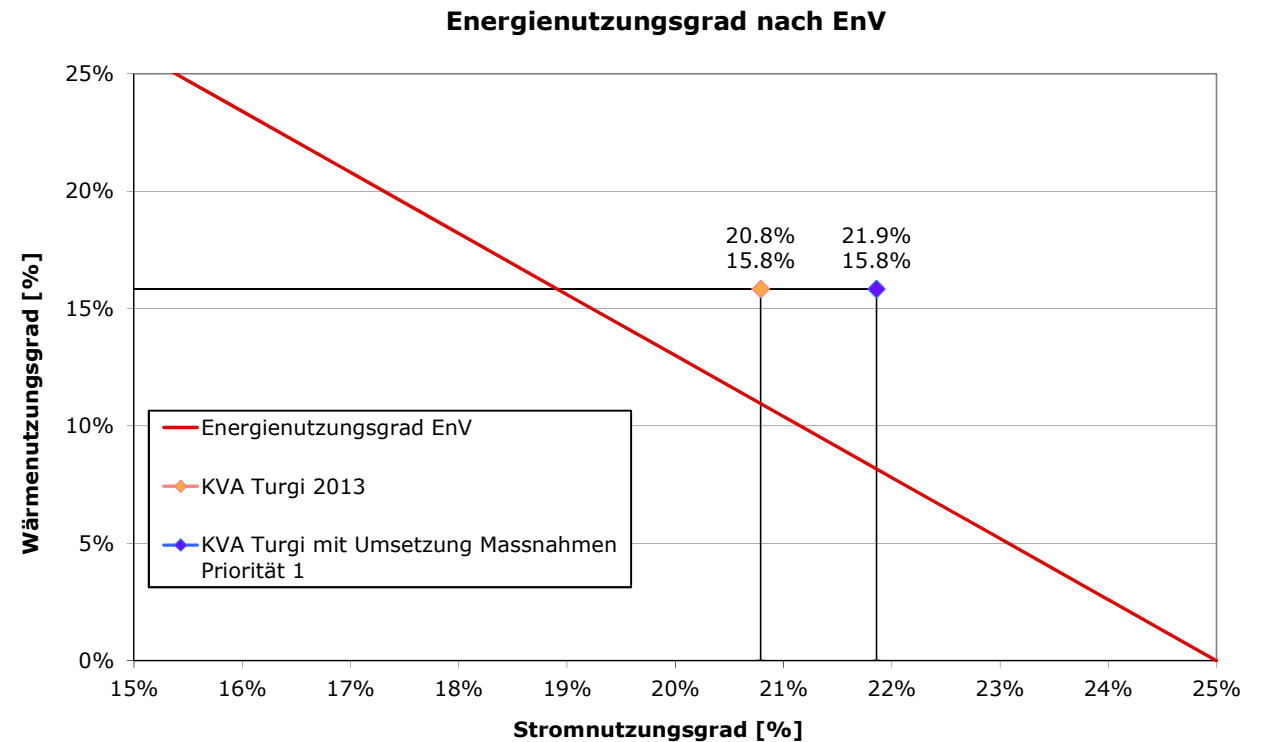
Schlussfolgerung (1/2)

- Die Analyse des thermischen Systems in der KVA Turgi hat gezeigt, dass noch ein Potential an Abwärme von ca. 27 GWh/a wirtschaftlich erschlossen werden kann. Als grösste Abwärmequelle stehen die Rauchgase vor dem Kamin zur Verfügung, deren Erschliessung jedoch eine Auskleidung des Kamins notwendig macht. Auf der Seite der Wärmesenken stehen insbesondere die Kondensate und die Fernwärme zur Verfügung, welche sich bei den generierten Einsparungen etwa auf gleichem Niveau bewegen.
- Die KVA Turgi kann bezüglich der Temperaturkaskade als bereits sehr optimiert bezeichnet werden, was sich in den tiefen Dampfdrücken zur Versorgung der Wärmeverbraucher (Kondensate und Fernwärme) offenbart. Durch die gute Kaskade sind auch die Wärmepreise sehr tief, welche sich im Bereich von 3.9 bis 15.7 CHF/MWh_{th} bewegen. Durch die tiefen Wärmepreise ergeben sich Paybacks eher in einem hohen Bereich von z.T. über 10 Jahren.
- Wird in Zukunft der CO₂-Ausstoss in der Bilanz berücksichtigt, werden sich die Paybacks je nach CO₂-Preis stark vermindern. Dies hätte zur Folge, dass die Massnahmen zugunsten der Fernwärme umgesetzt werden sollten, da eine Strommehrproduktion nicht zu anrechenbaren Einsparungen an CO₂ führt.
- Die durch die Massnahmen generierten Einsparungen und deren Paybacks sind an den Strompreis gekoppelt. Ein Anstieg oder ein Rückgang des Strompreises hätte die entsprechenden Konsequenzen auf die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen (Strompreissteigerung erhöht die Wirtschaftlichkeit und umgekehrt).

Schlussfolgerung (2/2)

- Die untenstehende Grafik zeigt die Entwicklung des Energienutzungsgrades durch die Umsetzung der Massnahmen mit Priorität 1.
- Bei einer Steigerung der Fernwärmeabgabe durch Erhöhen der angeschlossenen Leistung könnte der Wärmenutzungsgrad stark gesteigert werden, dies jedoch teilweise zu Lasten des Stromnutzungsgrades.

	2013	mit Massnahmen Prio. 1
R1 nach AbfRRL	0.74	0.76
ENE	0.59	0.62



Empfehlungen

- Es wird empfohlen, in erster Linie die Bandlast in der Fernwärme zu steigern, indem die angeschlossene Leistung erhöht und zur Abdeckung der Spitzen bzw. zur Redundanz ein weiterer Spitzenlastkessel zugebaut wird. Auf Seiten der KVA sind durch diese Massnahme keine Umbauten des Rauchgassystems nötig und die Fernwärmeabgabe kann trotzdem erheblich gesteigert werden.
- Zur Steigerung der Wärmeleistung wird empfohlen, die Wärmerückgewinnung in den Rauchgasen vor dem Kamin umzusetzen. Welche der drei Varianten von Massnahme 3 umgesetzt werden soll hängt von weiteren Einflussfaktoren ab:
 - Müssen in Zukunft CO₂ –Abgaben bezahlt werden, wird Massnahme 3a in Kombination mit einer höheren Fernwärmeabgabe die wirtschaftlichste Variante sein.
 - Variante 3b hat ansonsten den tieferen Payback und ist unbeeinflusst von zukünftigen CO₂-Abgaben.
 - Variante 3c könnte interessant sein in Kombination mit Massnahme 2. Dies würde in einer zweistufigen Vorwärmung der Primärluft resultieren (50°C und 120°C Register) und durch den gemeinsamen Umbau die Investitionskosten reduzieren.
- Die Umsetzung der Massnahmen 1 und 2 zusammen würde ebenfalls die Investitionskosten reduzieren, weil ein grosser Teil der Rohrleitungen nur einfach ausgeführt werden müsste.
- Der Einsatz einer Wärmepumpe macht nur Sinn falls die installierte Leistung erhöht werden muss und steht damit in Konkurrenz zu einem Spitzenlastkessel. Durch die sehr tiefen Kosten des Treibdampfes ergeben sich Wärmegestehungskosten aus der Wärmepumpe, welche wesentlich tiefer sind als bei fossil erzeugter Wärme.

Ihre Ansprechpartner:

helbling



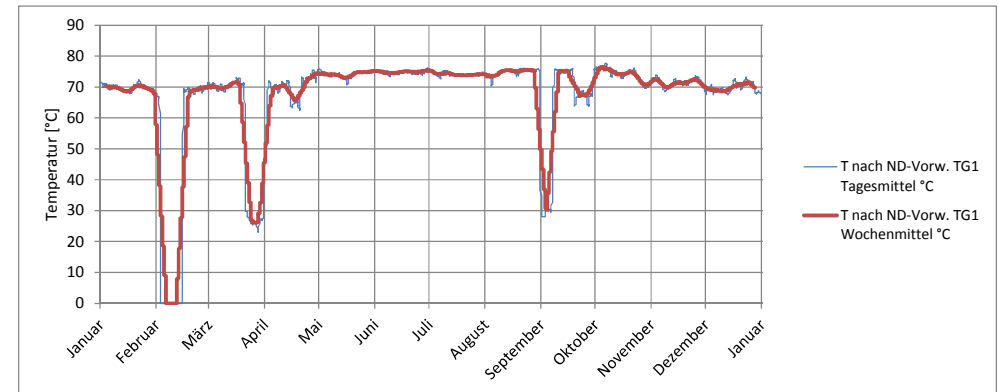
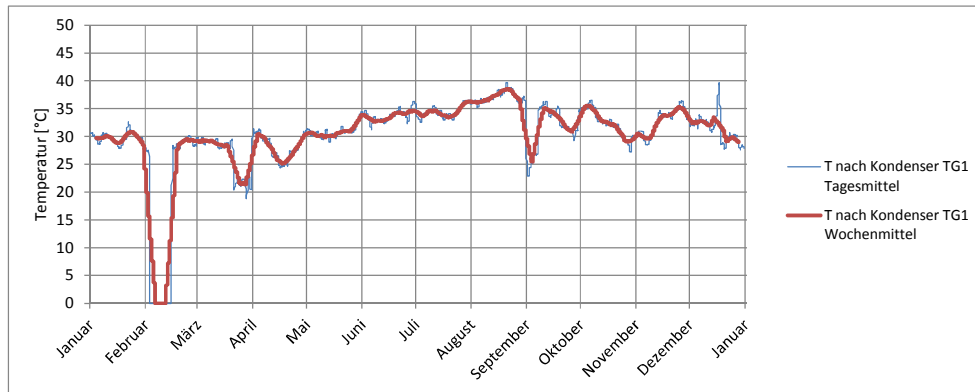
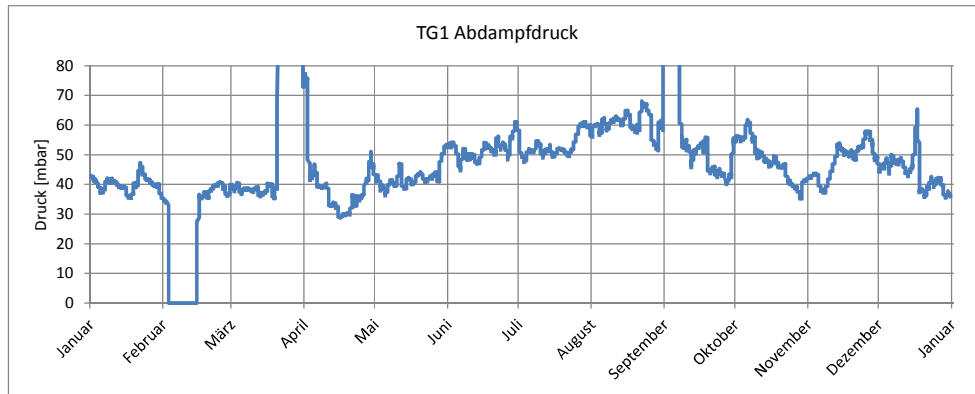
Raymond Morand
raymond.morand@helbling.ch
Fon +41 44 438 18 66

Rytec

Urban Frei
urban.frei@rytec.ch
Fon +41 31 724 33 33

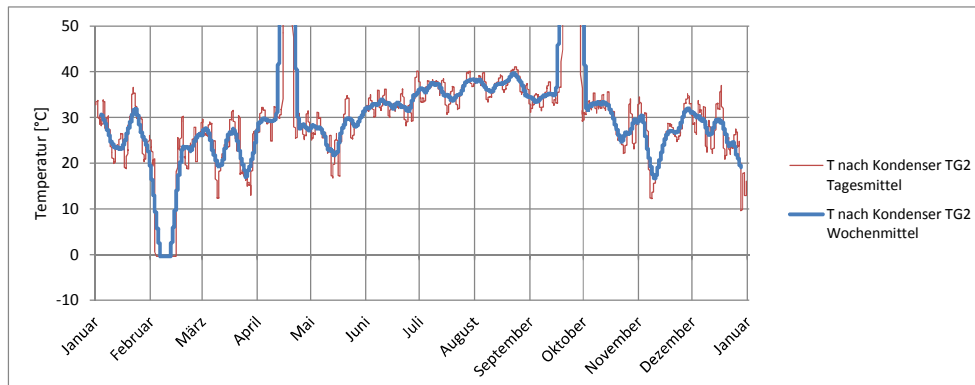
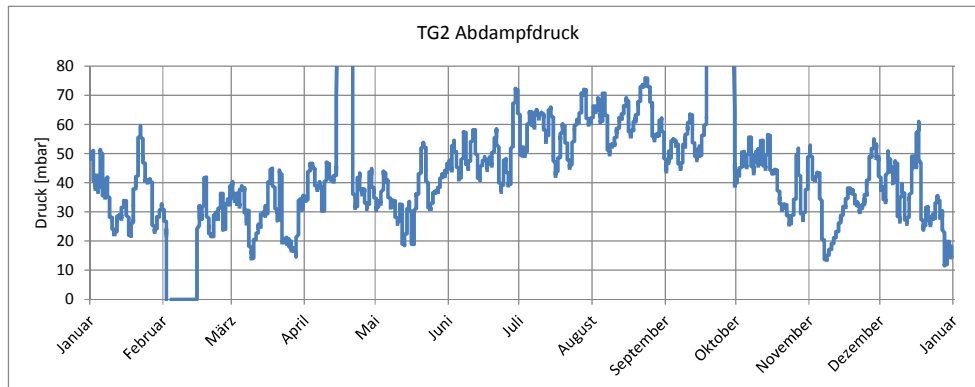
Anhang A Kondensate TG1

■ Kondensattemperatur und Temperatur nach ND-Vorwärmer TG1



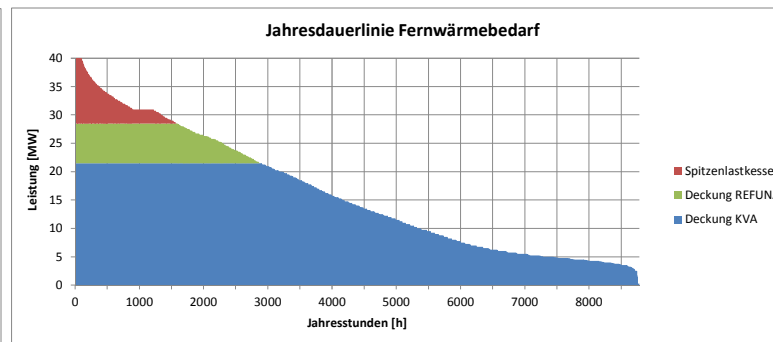
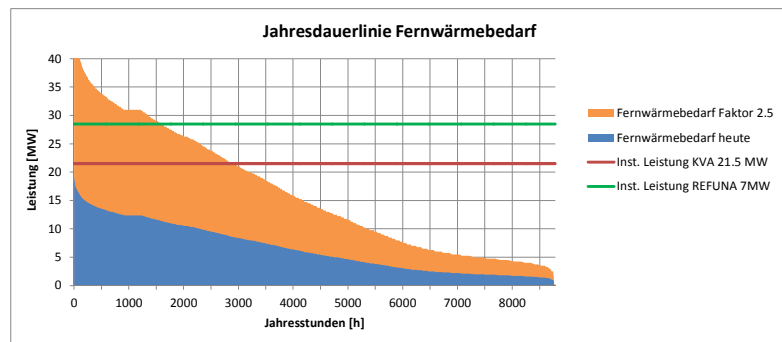
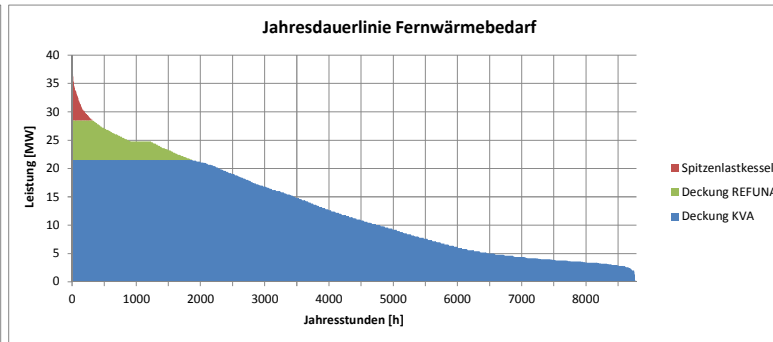
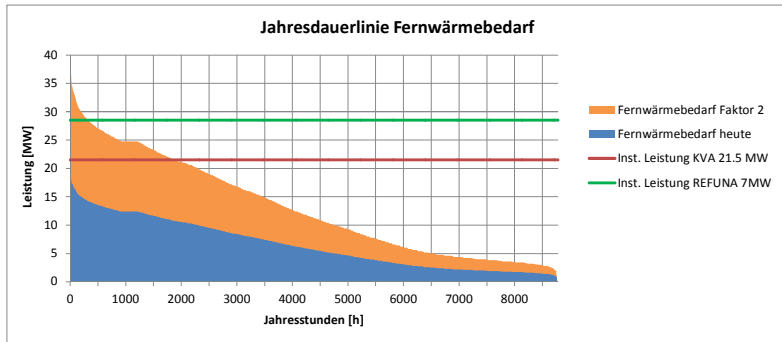
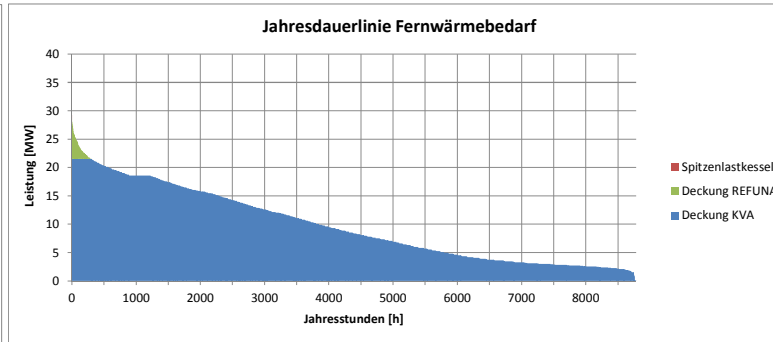
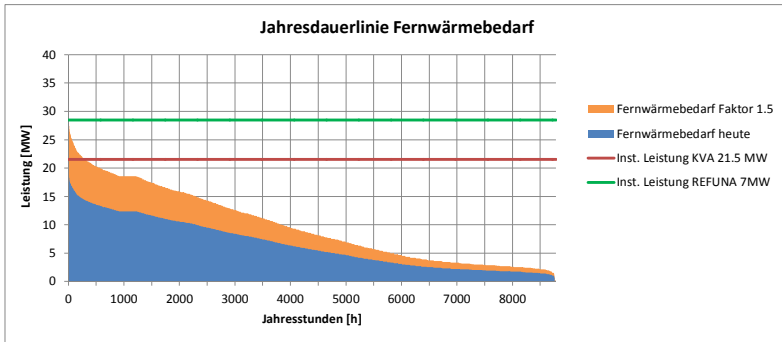
Anhang B Kondensate TG2

- Kondensattemperatur und Temperatur nach ND-Vorwärmer TG2
- Die Kondensattemperaturen nach dem Kondensator sind berechnet aufgrund des Abdampfdrucks.
- Zur Temperatur nach dem ND-Vorwärmer ist keine Messung vorhanden, es wurde manuell ein Wert von 90°C abgelesen.



Anhang C

Szenarien zur Steigerung der Anschlussleistung im Fernwärmenetz



Deckung	KVA [GWh/a]	REFUNA [GWh/a]	Spitzenlastkessel [GWh/a]
Heute	57	-	-
Faktor 1.5	85	1	0
Faktor 2.0	107	7	1
Faktor 2.5	120	16	7