
Energieanalyse mit der Pinch-Methode KVA Buchs AG

Schlussbericht

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

Erstellt für:

KVA Buchs AG

Herr Harald Wanger
Gesamtleiter
Im Lostorf 11

5033 Buchs

Rytec AG
Alte Bahnhofstrasse 5
3110 Münsingen

Projektverantwortung: Urban Frei (Rytec)
Projektleitung: Curdin Christen (Rytec)
Projektbegleitung: Simon Bachmann (Helbling)

Münsingen, 9. September 2014 rev. 18. September 2014

Ziel des Studie

- In der KVA Buchs AG 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 Buchs AG erfasst und basierend darauf Massnahmen inkl. Investitionskostenschätzungen und den erzeugten Erlösen berechnet.

Resultate thermisches System

- Mit Hilfe der Pinch-Analyse konnte aufgezeigt werden, dass in der KVA Buchs AG noch ein wirtschaftliches Potential von ca. 31 GWh_{th}/a vorhanden ist.
- Es wird empfohlen, die Massnahmen mit Priorität 1 umzusetzen, welche bei einem dynamischen Payback von 9 Jahren Einsparungen von ca. 480 kCHF/a erzeugen. Darin enthalten ist auch die Nutzung von Wärme für die Belieferung eines neuen Fernwärmenetzes.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage/Zielsetzung	4
2. Ist-Analyse	5
3. Pinch-Analyse	17
4. Massnahmen	19
5. Massnahmenübersicht	35
6. Schlussfolgerung	36
7. Empfehlungen	37
Anhang	39

Ausgangslage

- Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) wurden auf diversen Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA) Analysen des Energiesystems durchgeführt.
- Da bei diesen Analysen noch Potential aufgezeigt werden konnte, wurde für die KVA Buchs AG eine weitere Analyse mitunterstützt.

Die folgenden Ziele werden mit dieser Studie verfolgt:

- Analyse der Wärmekaskaden und darauf basierend Erarbeitung von Einsparmassnahmen
- Massnahmen zur Reduktion der Abwärmeverluste und des Eigenbedarfs
- Aufzeigen der aus den Massnahmen resultierenden zukünftigen höheren Strom- oder Fernwärmeproduktion
- Erarbeiten eines Energiestrategieplans: Zeitliche oder schrittweise Abfolge sinnvoller Massnahmen
- Durch Umsetzung und Darstellung von innovativen Energieoptimierungsmassnahmen Pflegen eines positiven Images des fortschrittlichen, effizienten Umgangs mit Energie

Allgemeine Beschreibung

- Die KVA Buchs verbrennt in zwei Ofenlinien (OL1, OL2) pro Jahr knapp 115'000 Tonnen Abfall.
- Im Jahr 2013 ging die OL2 neu in Betrieb. Anstelle eines 22 bara Dampfkessels verfügt diese nun über einen 41 bara Kessel, wodurch die Stromproduktion deutlich gesteigert werden konnte.
- Der Frischdampf mit 39 bara Druck (HD-Dampf) wird über eine 11 MW Kondensationsturbine auf 0.1 bara entspannt und über zwei Luftkondensatoren (LuKo) kondensiert.
- Die Fernwärme mit max. 18 MW wird mittels Dampf aus der 22 bara Entnahme beliefert. Interne Verbraucher werden über die 3 bara Wanderanzapfung gespeist.
- Im Jahr 2013 wurden 56.4 GWh Strom produziert und 75.7 GWh Wärme geliefert.



Ist- Analyse

Wasser-Dampf-System (1/3)



- Da der Normalbetrieb aufgrund des Neubaus erst seit 2014 läuft, sind die folgenden Werte Mittelwerte aus der Datenerhebung vom 1. Januar 2014 – 30. April 2014
- Für die Wiederaufwärmung der Rauchgase vor dem Katalysator wird Sattdampf aus der Kesseltrommel genommen. Dafür wird jeweils nur von einer Linie Dampf genutzt (hauptsächlich von der OL1).

Dampfproduktion

- OL1: 30.8 t/h, davon 3.8 t/h Sattdampf zur DeNOx
- OL2: 32.4 t/h, kaum Sattdampf, da dieser grösstenteils von OL1 für beide Linien geliefert wird

Massenbilanz Dampfsystem

- Die gesamte Massenbilanz ist im Anhang A ersichtlich
- Das Speisewasser der OL2 wird nach der Abzweigung des Speisewassers für die Dampfeinspritzung gemessen. Die Einspritzmenge wurde rechnerisch ermittelt.

Ist-Analyse

Wasser-Dampf-System (2/3)

Hauptkondensat

- Die im LuKo anfallenden Kondensat werden zuerst im Hauptkondensattank und von dort zurück in den Speisewasserbehälter geleitet.
- Zusätzlich fallen im Hauptkondensattank die Mengen vom Hotwell an, in den das Kondensat des Niederdruckvorwärmers sowie des Dampfstrahlers fliesst.
- Über die Kondensatmengen liegen keine genauen Messungen vor. Die Mengen wurden durch Bilanzierung ermittelt.
- Die Kondensate werden in einem ersten Schritt mit dem für die Dampfstrahler verwendeten Dampf vorgewärmt und anschliessend durch den Niederdruckvorwärmer auf knapp 100°C erwärmt.

Nebenkondensat

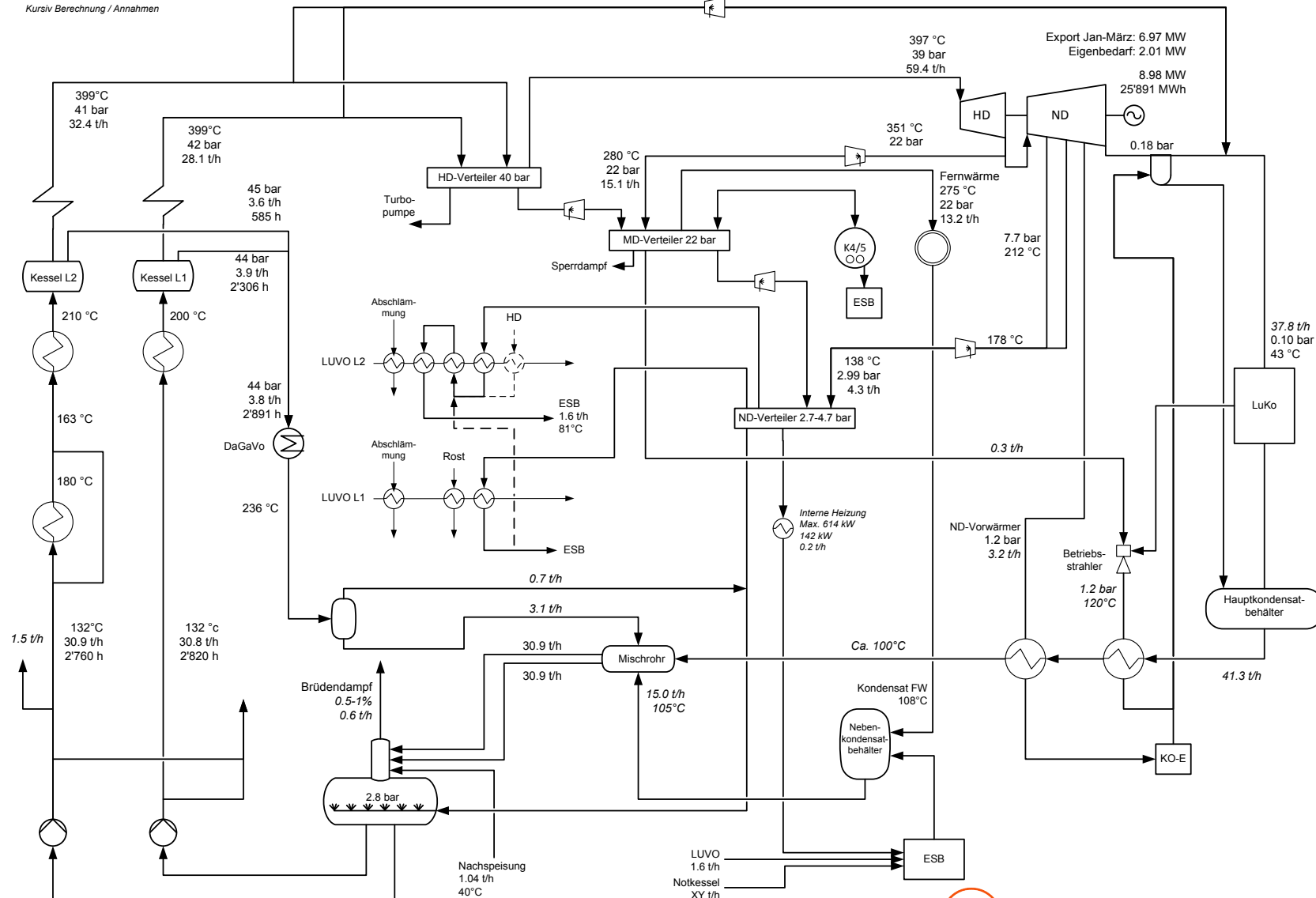
- Die Kondensate der Fernwärme und der Luftvorwärmung sowie die Abgeschlämmte Menge aus den Notheizkessel werden über den Nebenkondensatbehälter via einem Mischrohr dem Hauptkondensat zugeführt.
- Die Kondensate aus dem HD-Vorwärmer der DeNOx werden in einem separaten Kondensatbehälter entspannt und dann über das Mischrohr ins Speisewassergefäss geleitet. Die Nachverdampfung wird dem Dampf für die Speisewasservorwärmung zugemischt.

Speisewasser

- Das Speisewasser der OL1 wird mit 130°C via einem internen ECO in die Kesseltrommel gefördert. Anschliessend wird das Wasser verdampft und auf 400°C überhitzt.
- Bei der OL2 wird ein Teilstrom des Speisewassers zuerst über einen externen ECO vorgewärmt und danach mit dem Rest über den internen ECO aufgewärmt. Anschliessend wird das Wasser ebenfalls verdampft und auf 400°C überhitzt.

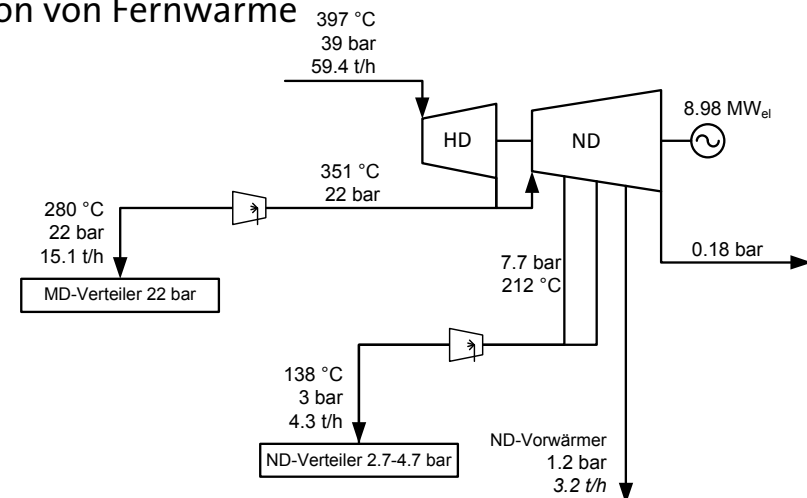
Ist-Analyse Wasser-Dampf-System (3/3)

Kursiv Berechnung / Annahmen



Turbine

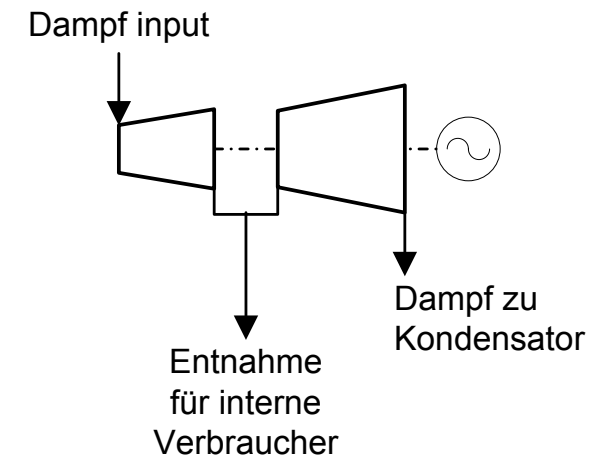
- Die Turbine hat eine Entnahme bei 22 bara und eine Wanderanzapfung bei der der Dampf auf 3 bara geregelt wird.
- Das Stromkabel zum Netzanschluss ist heute auf seine Leistung hin bei 9.9 MVA gesperrt. D.h. die Stromproduktion muss bei hoher Dampfproduktion durch Anheben des Abdampfdruckes gedrosselt werden.
- Durch die Implementierung von neuen Wärmerückgewinnungsmassnahmen kann es dazu kommen, dass die Turbine bzw. das Stromkabel die Leistungsgrenze erreicht. Um dies zu verhindern, sind folgende Massnahmen denkbar:
 - ⇒ Erhöhung der Leistung des Stromkabels
 - ⇒ Nutzung der zusätzlichen Abwärme zur Produktion von Fernwärme
 - ⇒ Reduktion des Abfalldurchsatzes
- Gemäss Auslegung hat die Turbine einen Isentropen Wirkungsgrad von 80%.
- Der LuKo kann bei 13.9°C Aussentemperatur den wirtschaftlich tiefsten Abdampfdruck von 0.08 bara zur Verfügung stellen.



Ist-Analyse

Definition des Wärmepreises

- Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Massnahme zur Einsparung oder Mehrproduktion von Dampf, muss der Wert des Dampfes ermittelt werden.
- Dieser ergibt sich durch die entsprechende Mehrproduktion an Elektrizität.
- Zur Berechnung des Wärmepreises wurde von einem konstanten Strompreis ausgegangen.



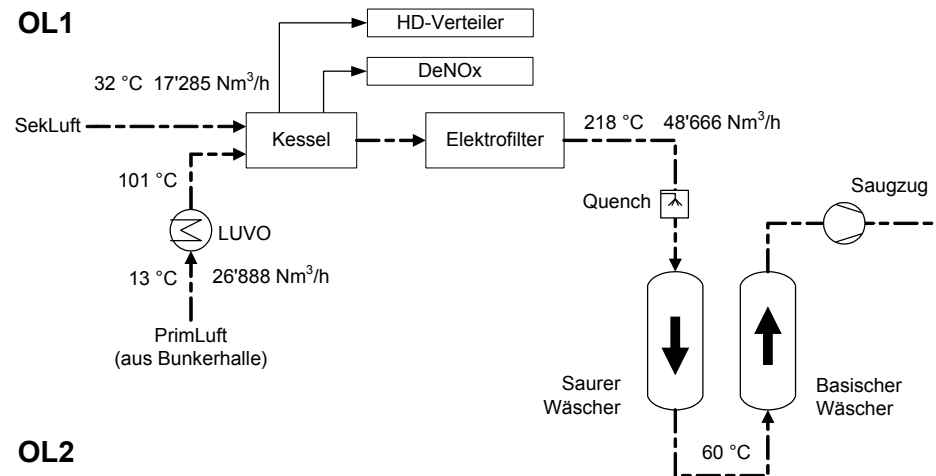
Ist-Analyse

Rauchgaslinie (1/2)

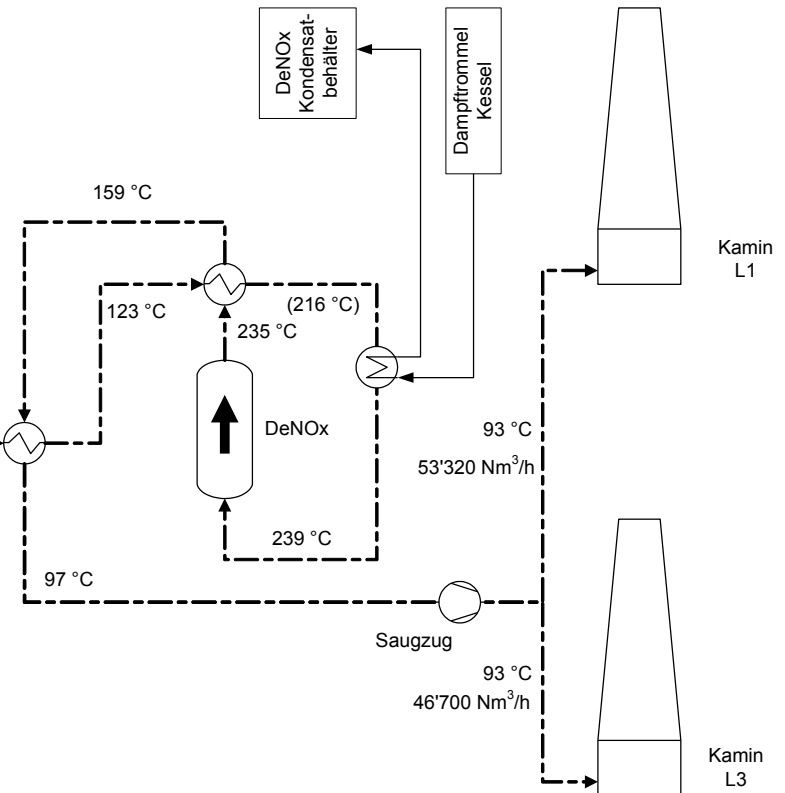
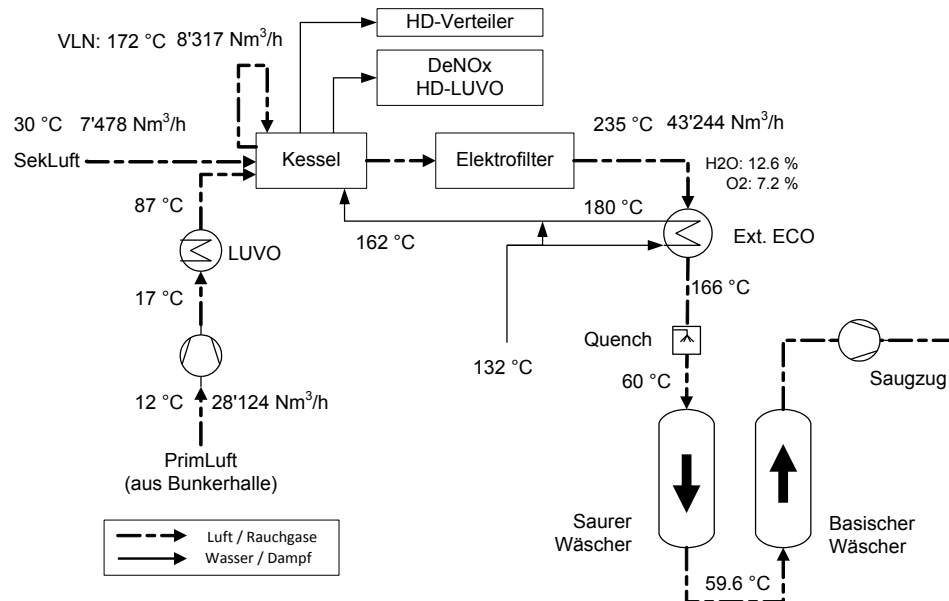
- Die beiden Ofenlinien unterscheiden sich in gewissen Bereichen (Schema siehe nächste Seite).
- In der OL1 werden die Rauchgase nach dem Elektrofilter von 218°C auf 60°C gequench und gelangen danach in den Wäscher.
- Bei der OL2 ist zwischen Elektrofilter und Quench noch ein externer ECO geschaltet, wodurch die Rauchgase auf 166°C abgekühlt werden, bevor sie in die Quench und schlussendlich in den Wäscher gelangen.
- Die OL2 wurde erst im Jahre 2013 neu in Betrieb genommen. Diese ist nach dem Stand der Technik gebaut und verfügt über eine mehrstufige Primärluftvorwärmung sowie dem neuen Very Low NOx- Verfahren. Nebst der Verringerung der NOx-Werte kann dadurch auch der Luftüberschuss gesenkt werden, womit die Rauchgasreinigung weniger belastet wird.
- Nach den Wäschern werden die beiden Rauchgaslinien zusammengeführt und über zwei Kreuzstromwärmeübertrager auf ca. 200°C aufgewärmt. Anschliessend wird die Rauchgastemperatur für den DeNOx mittels Sattdampf auf 238°C erhöht. Die aus der DeNOx austretenden Rauchgase werden wiederum über die Kreuzstromwärmeübertrager abgekühlt und gelangen mit ca. 93°C in den Kamin, welcher aus Kunststoff besteht.

Ist-Analyse Rauchgaslinien (2/2)

OL1



OL2



Ist-Analyse

Primär- und Sekundärluft

OL1

- Die Primärluft wird aus der Bunkerhallendecke angesaugt und die Temperatur über eine dreistufige Vorwärmung auf 101°C erhöht. Die erste Stufe nutzt das abgeschlammte Wasser aus der Kesseltrommel, wobei dies laut Betreiber eine zu vernachlässigende Menge sei. Die zweite Stufe nutzt die Abwärme aus der Schurrenkühlung und die Dritte wird mit 3 bara Dampf betrieben.
- Eine HD-Dampf-Vorwärmung wurde wegen nichtgebrauch wieder ausgebaut.
- Die Sekundärluft wird vom Kesselhausdach abgesogen und direkt in die Feuerung zugeführt

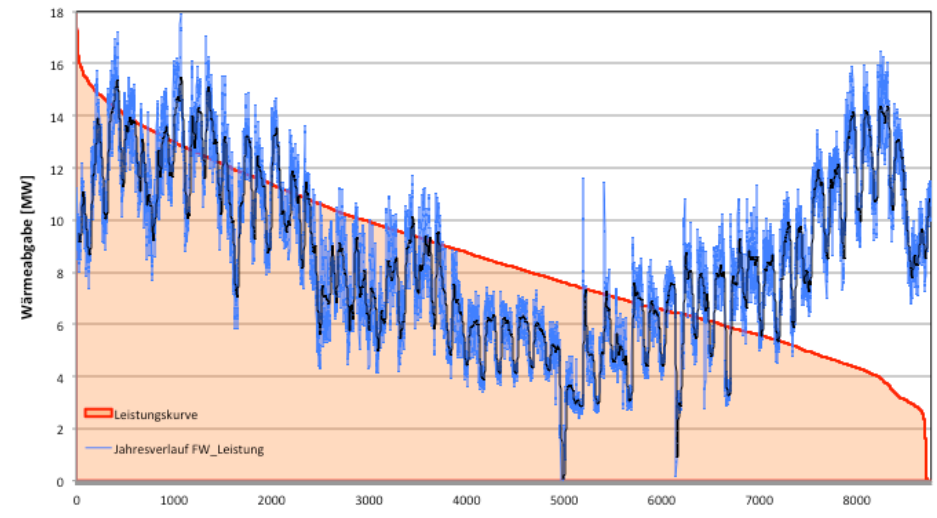
OL2

- Die Primärluft wird ebenfalls aus der Bunkerhalle abgesogen und über eine dreistufige Vorwärmung auf 87°C erwärmt. Die erste Stufe erfolgt ebenfalls durch das abgeschlammte Wasser aus der Kesseltrommel, in der zweiten und dritten Stufe wird 3 bar Dampf verwendet wobei das Kondensat bis 81°C unterkühlt wird. In dieser Stufe werden auch die Kondensate der OL1 hinzugenommen und unterkühlt.
- Eine HD-Dampf-Vorwärmung ist installiert, jedoch wegen nichtgebrauch ausser Betrieb.
- Die Sekundärluft wird ebenfalls vom Kesselhausdach abgesogen und direkt in die Feuerung zugeführt
- Durch das VLN-Verfahren werden die Rauchgase beim Schlackenabwurf abgesogen und über der Sekundärluftzuführung wieder in den Feuerraum eingedüst.

Ist Analyse

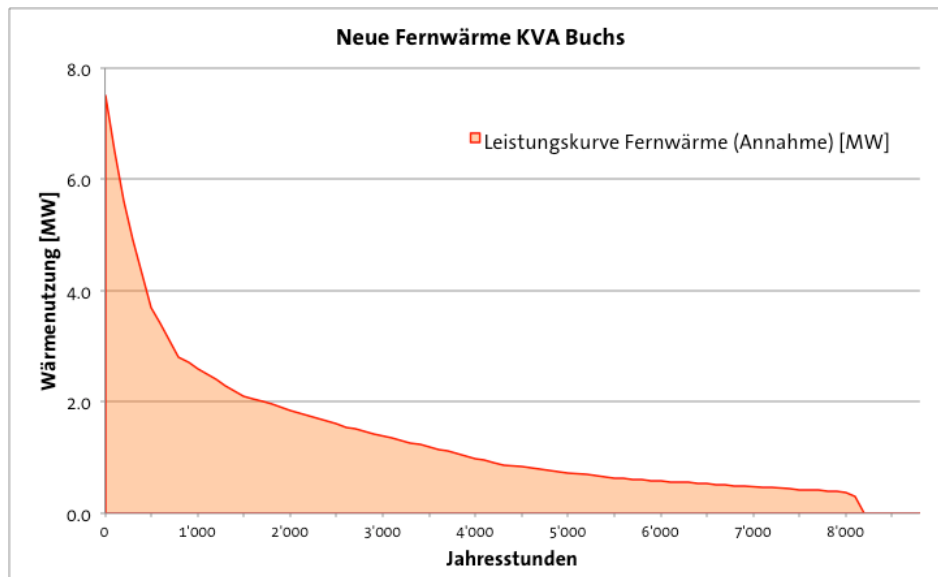
Fernwärme (1/2)

- Die Fernwärme wird mit Dampf bei 22 bara und 275°C beliefert.
- Die Leistung ist auf 18 MW ausgelegt.
- Am Ende der Dampfleitung steht noch eine Heisswasserauskopplung mit max. 7 MW.
- Die Rücklauftemperatur des Kondensats aus der Fernwärme liegt im Schnitt bei 108°C.
- Das Netz hat eine Länge von 6'000 m.
- An die Leitung sind diverse Kunden angeschlossen, welche Dampf wie auch Warmwasser benötigen.
- Zur Sicherheit stehen bei der KVA zwei Ölbeheizte Reservekessel mit je 16 t/h Dampfproduktion.
- Die Kurve rechts zeigt den Wärmeverlauf übers Jahr und die Entsprechende Leistungskurve. Die Leistung von 3 MW über das ganze Jahr zeigt, dass ein relativer grosser Teil für Prozessverbraucher genutzt wird.



Ist-Analyse Fernwärme (2/2)

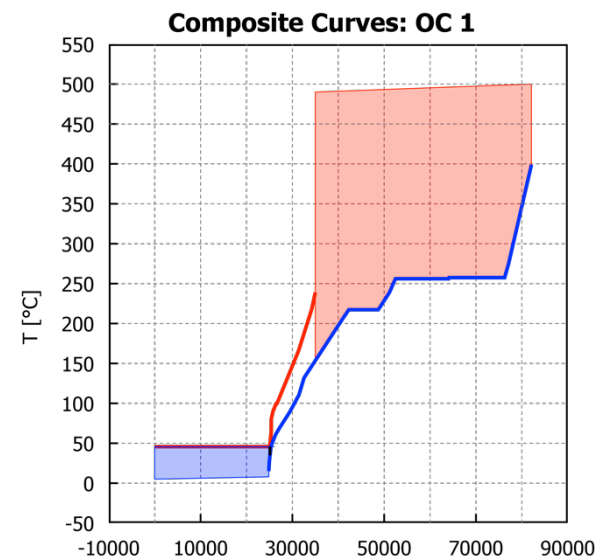
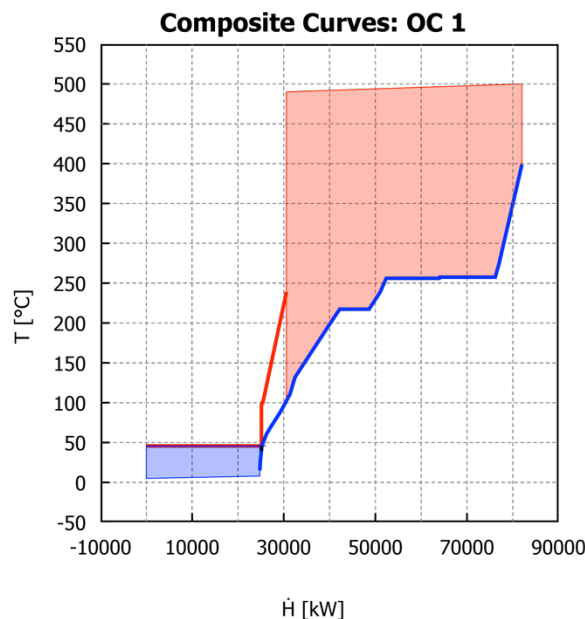
- Die KVA Buchs überlegt sich ihr Fernwärmenetz zu erweitern.
- Die maximale Leistung beträgt 7.5 MW mit angenommenen 1'600 Volllaststunden, was einen Jahresbedarf von 12'000 MWh ergibt.
- Bei den Vor- und Rücklauftemperaturen geht man von 90°C/60°C aus.
 - ⇒ Es sollte bei der Auslegung des Netzes darauf geachtet werden, dass die Temperaturen so tief wie möglich sind (Vorlauftemperatur wenn möglich unter 60°C).
 - ⇒ Dadurch könnte mehr Energie von tieftemperaturigen Abwärmequellen genutzt werden.
- Die nachfolgende Grafik zeigt eine angenommene Leistungskurve mit 7.5 MW und 12'000 MWh/a.





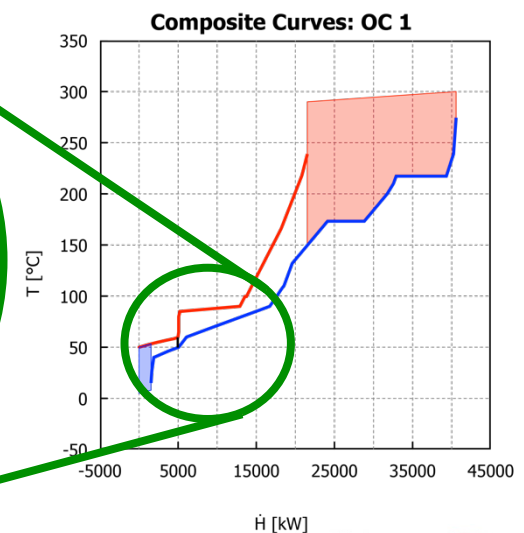
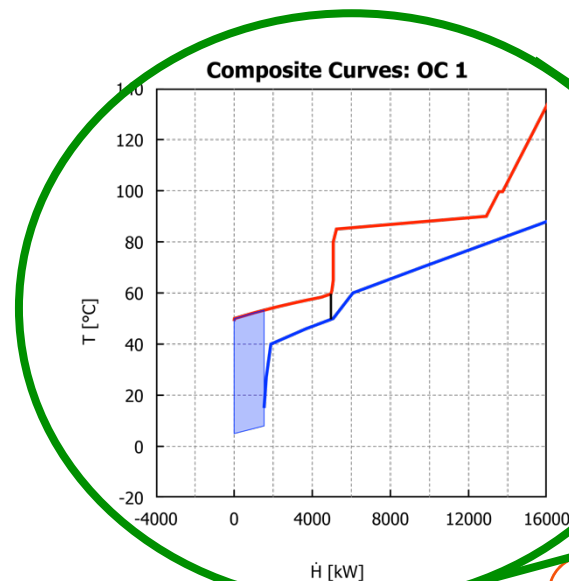
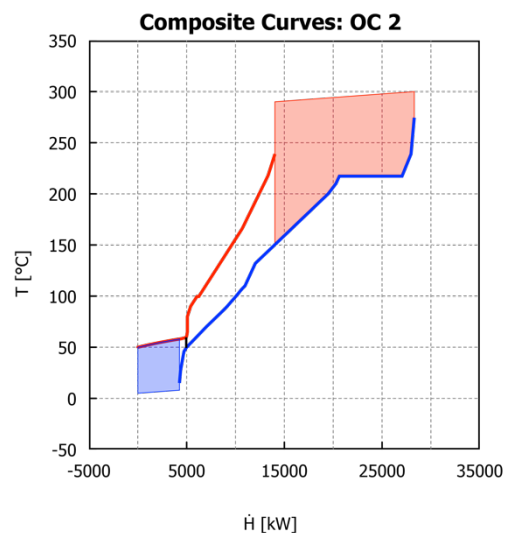
Pinch-Analyse (1/2)

- Die untenstehenden Grafiken zeigen die Composite Curves der KVA Buchs (AG), d.h. die Summe aufzuheizender und alle abzukühlender Ströme im System. Die Rauchgase wurden erst ab dem Austritt Elektrofilter mitberücksichtigt.
- Die minimale Temperaturdifferenz liegt bei 6°C bei einer Pinch-Temperatur von 43°C.
- Die Linke Grafik zeigt das heutige System. Dabei ist der rot markierte Bereich die „Hot Utility“, die Wärmezuführung durch die Rauchgase. Die blau markierten „Cold Utility“ sind zum grössten Teil die Kondensation des Abdampfes am Luftkondensator.
- Bei der Grafik rechts wurden als heisse Ströme noch zusätzlich die Wärme im Rauchgas vor dem Quench und vor dem Kamin, sowie der Ölkühler berücksichtigt, welche heute noch nicht genutzt werden. Dadurch steigt die mögliche Wärmerückgewinnung um gut 4 MW auf 10.1 MW an.



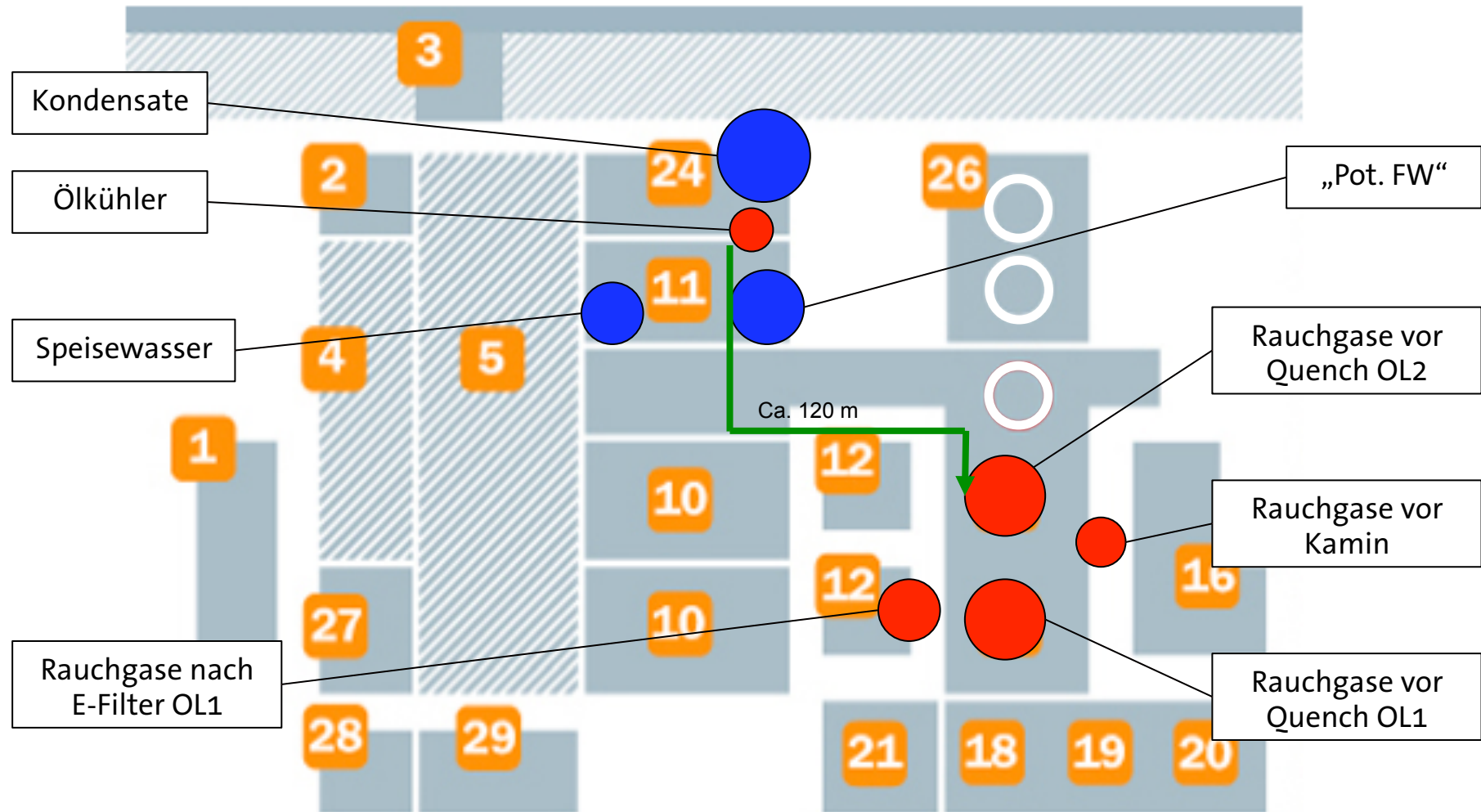
Pinch-Analyse (2/2)

- Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Composite Curve der gesamten Anlage mit zusätzlicher Nutzung der latenten Wärme aus dem Wäscher (links) und Erhöhung des Temperaturniveaus mittels Absorptionswärmepumpe (Mitte und rechts).
- Dabei wurde die Nutzung der Wärme für eine mögliche Fernwärme mit 7.5 MW Leistung während 1'600 h/a mitberücksichtigt. In der linken Grafik ist der Zustand ohne die Fernwärmelieferung abgebildet und in der rechten mit Wärmelieferung.
- Die Analyse zeigt, dass der energetische Engpass des Systems während der Wärmelieferung mit Wärmepumpe bei ca. 55°C liegt.



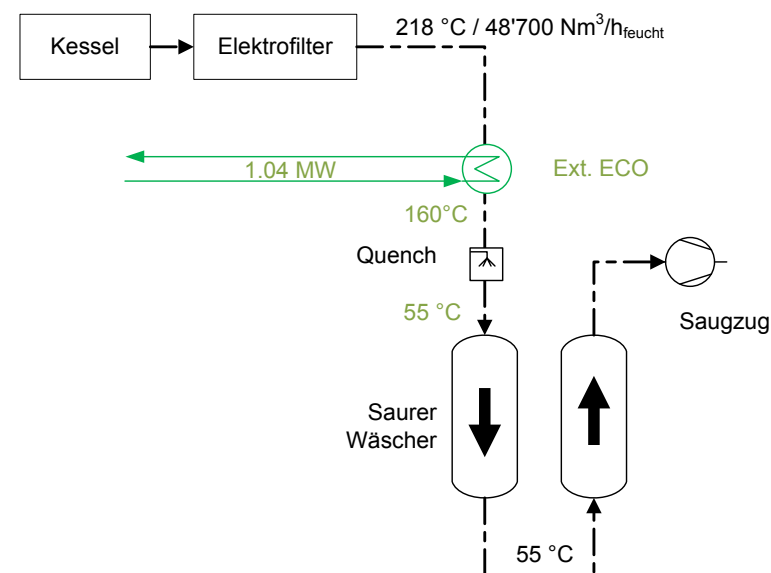
Massnahmen Potentialkarte

- Die nachfolgende Grafik zeigt die Standorte Wärmequellen und -Senken auf dem Areal



M1: Möglichkeiten Externer ECO

- Bei der Linie 1 werden die Rauchgase nach dem E-Filter von 218°C auf 60°C gequench.
- Diese Massnahme sieht vor die Wärme, ähnlich wie bereits in Linie 2, in einem externen ECO zurückzugewinnen.
- Der ECO müsste auf dem Dach nach dem Austritt vom E-Filter aufgestellt werden, die Platzverhältnisse würden dies zulassen.
- Daraus ergeben sich 2 Möglichkeiten diese Wärme zu nutzen (siehe folgende Seiten).



Speisewasservorwärmung:

$P_{\max}$: 1.04 MW
 T_{in} : 132°C
 T_{out} : 162°C

Einsparung:
 12 CHF/MWh

Kondensatvorwärmung:

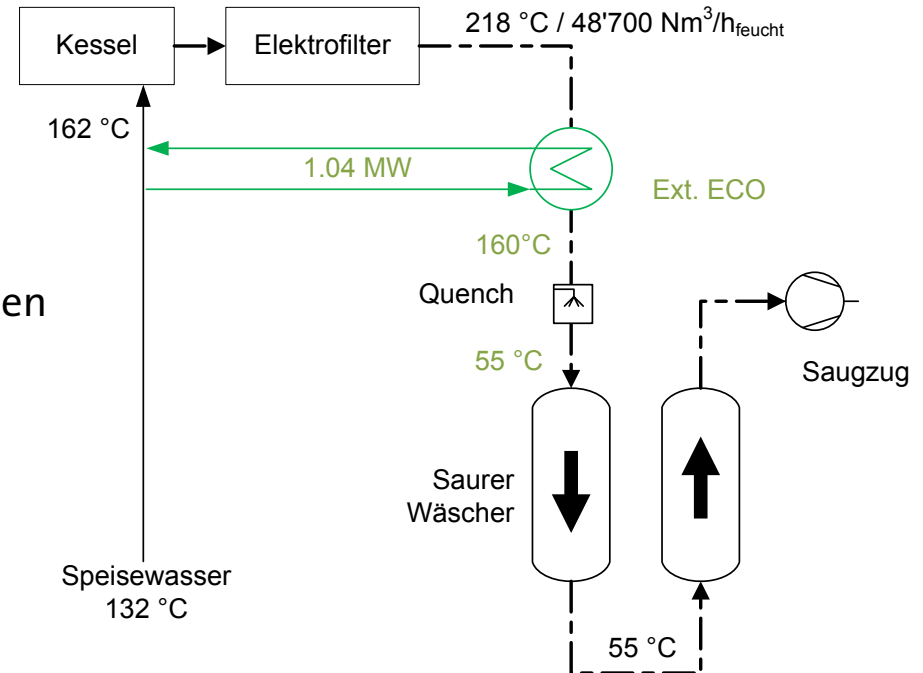
$P_{\max}$: 1.04 MW
 T_{in} : 55°C
 T_{out} : 105°C

Einsparung:
 4.5 CHF/MWh

M1a: Externer ECO OL1 für Speisewasser

Erklärung Massnahmenansatz:

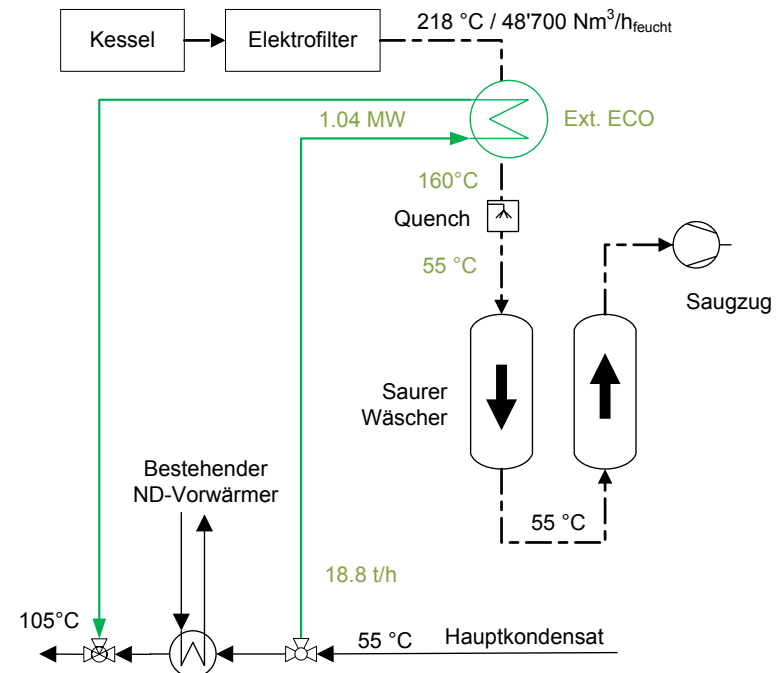
- Das Speisewasser wird über einen externen ECO von 132°C auf 162°C vorgewärmt.
- Dadurch könnte auf der Line 1 ca. 1.4 t/h zusätzlicher Frischdampf produziert werden.
- Damit liessen sich weitere 280 kW elektrischen Strom produzieren.
- Zu klären: wie kann die Beschränkung der Turbinenleistung aufgehoben werden.



M1b: Externer ECO OL1 für Kondensatvorwärmung

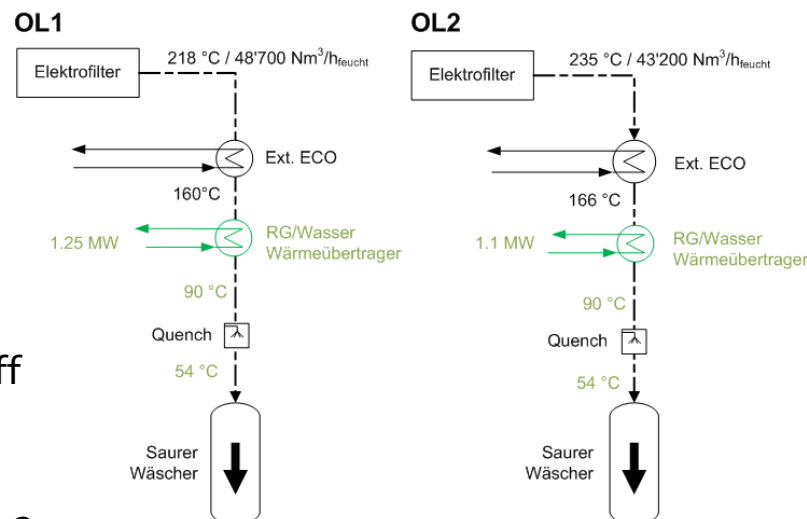
Erklärung Massnahmenansatz:

- Ähnlich wie in Massnahme 1a wird hier das Kondensat durch den Externen Eco vorgewärmt.
- Für die Vorwärmung wird nur ein Teilstrom des Kondensats über den ECO geleitet.
- Der Rest wird wie bisher über den ND-Vorwärmer aufgewärmt.
- Trotz der tieferen Investitionen, ist diese Massnahme deutlich unrentabler, da nur Dampf mit einem Preis von 4.5 CHF/MWh eingespart werden kann.



M2: Möglichkeiten WRG vor Quench

- Nach Umsetzung von M1a könnten die Rauchgase bei beiden Linien noch von 160°C bis auf ca. 90°C abgekühlt werden.
- Da die Temperaturen im Rauchgas zu tief sind kommt eine weitere Speisewasservorwärmung nicht mehr in Frage
- Für diese Massnahme müsste ein mit Fluorkunststoff beschichteter Wärmeübertrager nach dem externen Eco eingebaut werden.
- Bei der Linie 1 könnten 1.25 MW_{th} und bei der Linien 2 ca. 1.2 MW_{th} zurückgewonnen werden.
- Daraus ergeben sich wieder zwei Möglichkeiten die Wärme zu nutzen (siehe folgende Seiten).



Kondensatvorwärmung:

$P_{\max}$: 1.04 MW
 T_{in} : 55°C
 T_{out} : 105°C

Einsparung:
 4.5 CHF/MWh

Fernwärme und Kondensat:

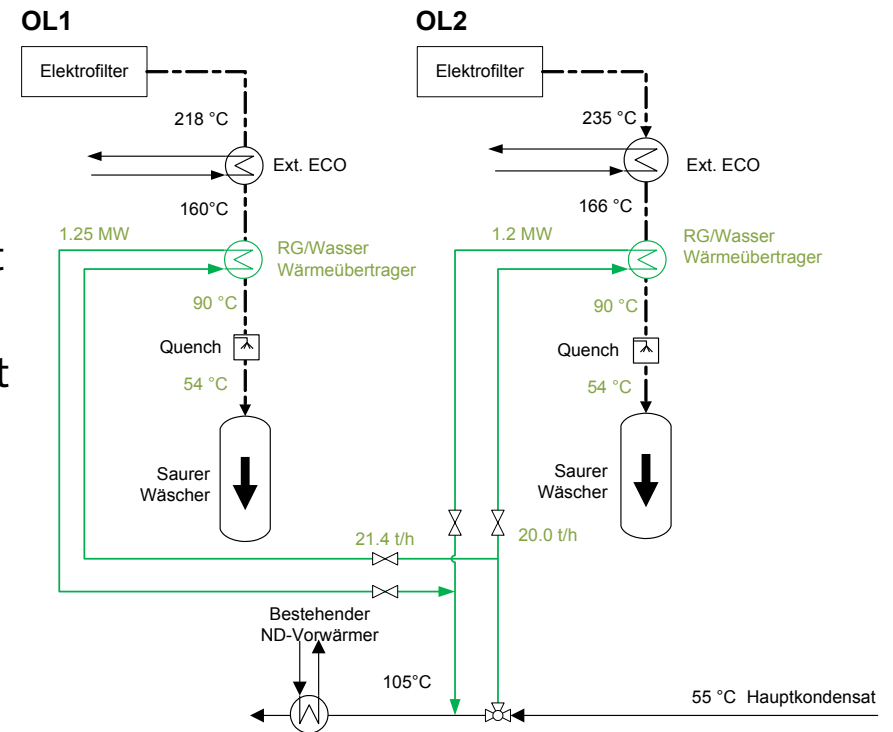
$P_{\max}$: 1.04 MW
 T_{in} : 65°C
 T_{out} : 95°C

Einsparung:
 4.5 bzw. 35 CHF/MW

M2a: Nutzung beider OL nur für Kondensat

Erklärung der Massnahme:

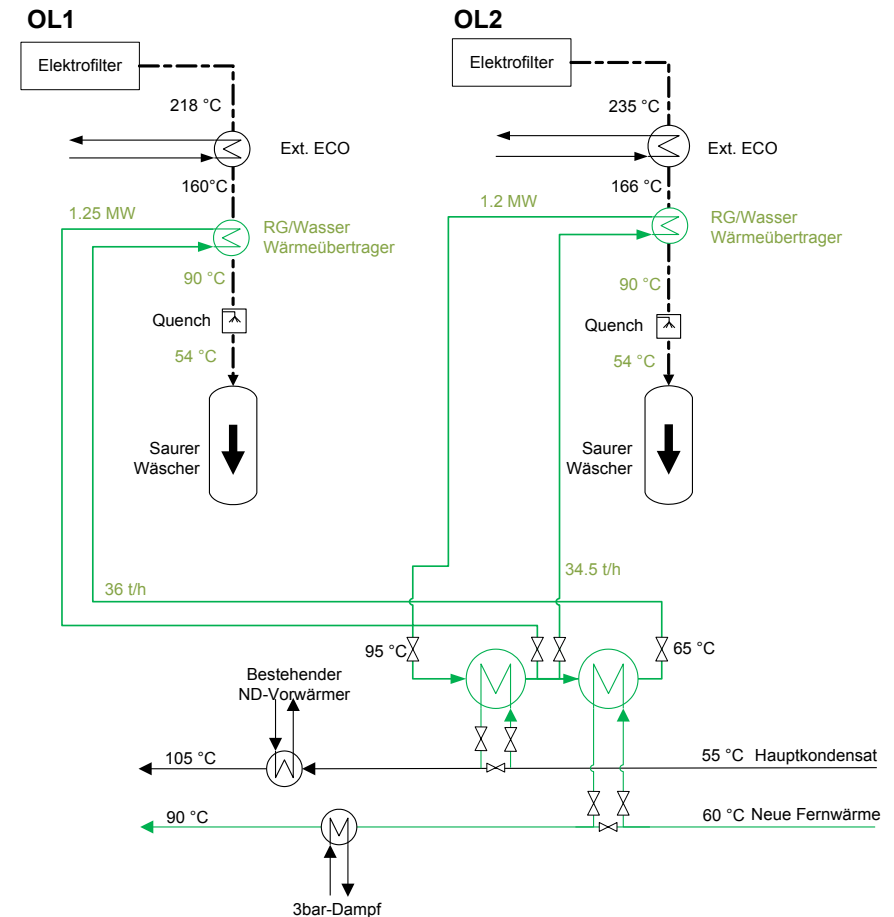
- Das Hauptkondensat wird über die Wärmeübertrager beider Linie vorgewärmt.
- Die Leistung reicht um das gesamte Kondensat auf 105°C zu erwärmen.
- Bei bedarf könnte das Kondensat weiterhin mit dem ND-Vorwärmer auf die gewünschte Temperatur gebracht werden.
- Die Einsparung ergibt sich durch den geringeren Verbrauch an ND-Dampf.



M2b: Nutzung beider OL für FW sowie Kondensat

Erklärung der Massnahme:

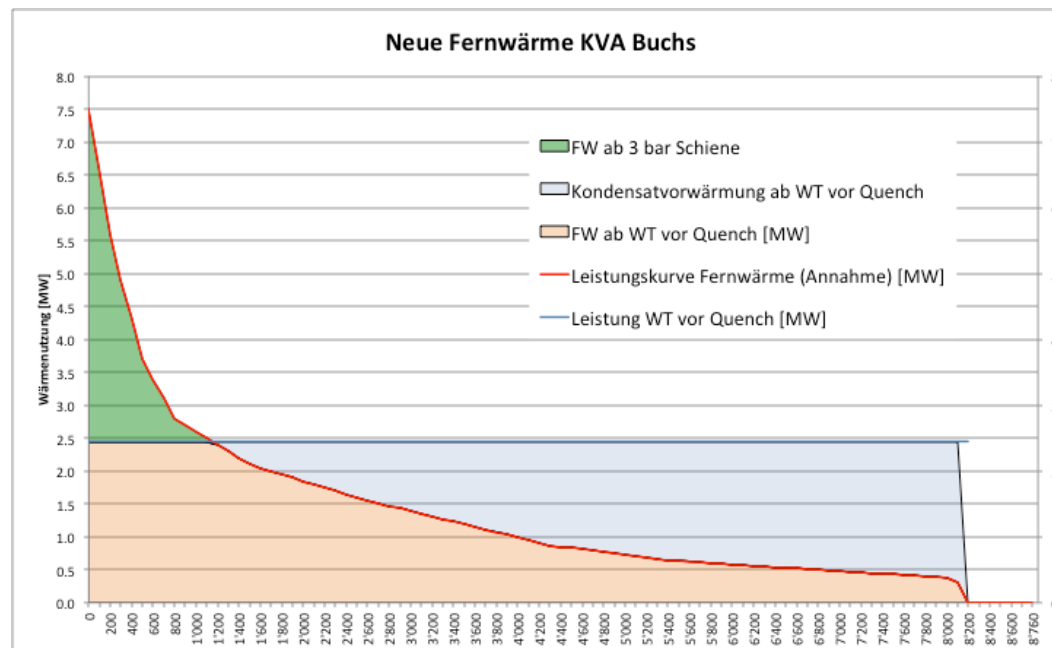
- In einem getrennten Wasserkreislauf wird dieses von 65°C auf 95°C über die beiden Wärmeübertrager aufgewärmt.
- Die kann für eine mögliche Fernwärme wie auch für die Kondensatvorwärmung genutzt werden.
- Eine Bandlast von $2.45 \text{ MW}_{\text{th}}$ würde über die Wärmerückgewinnung abgedeckt.
- Die Spitzenlast müsste zusätzlich von der 3 bar Schiene versorgt werden.



M2b: Nutzung beider OL für FW sowie Kondensat

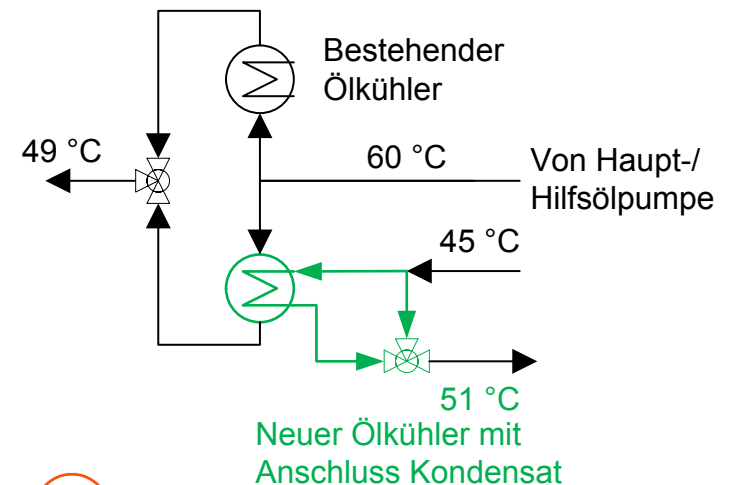
Wärmebereitstellung:

- Die nachfolgende Grafik zeigt, wie die 12'000 MWh/a Wärme für die Fernwärme beliefert werden könnte.
- Ca. 10'000 MWh würden durch die 2.45 MW aus der Wärmerückgewinnung abgedeckt
- Nur noch 2'000 MWh müssten mittels 3 bar Dampf beliefert werden. Dafür bräuchte es jedoch bei einem Bedarf von 7.5 MW 8.3 t/h 3 bar Dampf.
- Für die Kondensatvorwärmung stehen nochmals 10'000 MWh/a zur Verfügung



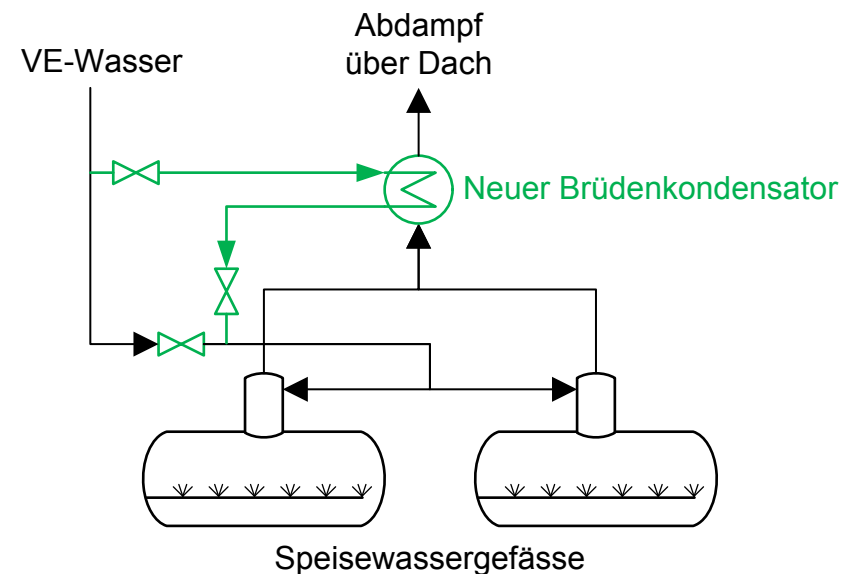
M3: Ölkühler

- Die Abwärme aus den Ölkühlern wird heute über ein Rückkühlsystem auf dem Dach abgeführt. Die Wärme wird nicht genutzt und für die Ventilatoren der Rückkühlung wird Strom benötigt.
- Die Massnahme sieht vor, das Öl zuerst durch die Kondensate zu kühlen, dadurch die Wärme zu nutzen und den Stromverbrauch im Rückkühler zu reduzieren. Da die Rücklauftemperatur des Öls ca. 49°C betragen sollte, muss das Kondensat am Ort mit der tiefsten Temperatur abgegriffen werden, d.h. direkt nach dem Hauptkondensatgefäss. Dies ist auch von der Lokalität her sinnvoll (das Kondensatgefäss befindet sich in unmittelbarer Nähe zum bestehenden Ölkühler)
- Dazu muss ein zusätzlicher Öl/Wasserwärmeübertrager sowie die Rohrleitung vom Hauptkondensatgefäss zum Ölkühler mit entsprechender Regelung installiert werden.



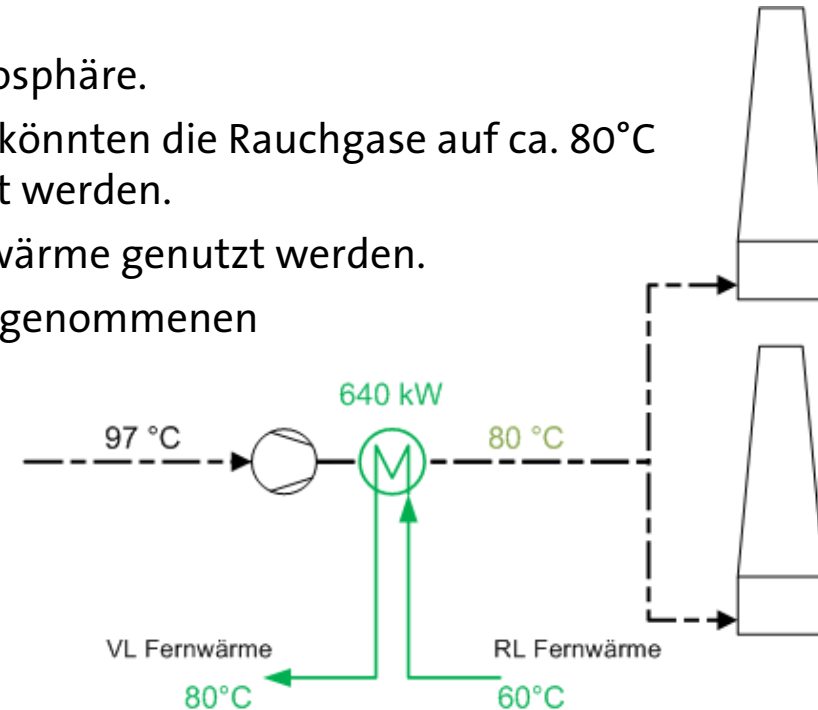
M4: Fegedampf

- Der Fegedampf wird heute gemäss der Messung vom 3.7.2014 mit einer Leistung von ca. 37 kW übers Dach abgeblasen. Die abgeblasene Menge liegt mit 0.1% der Kondensatmenge in einem tiefen Bereich.
- Trotzdem könnte die Energie durch Einbau eines Brüdenwärmetauschers zur Vorwärmung des Speisewassers oder des Nachspeisewassers zurückgewonnen werden. Aufgrund der tiefen Leistung sind die spezifischen Investitionskosten jedoch relativ hoch.



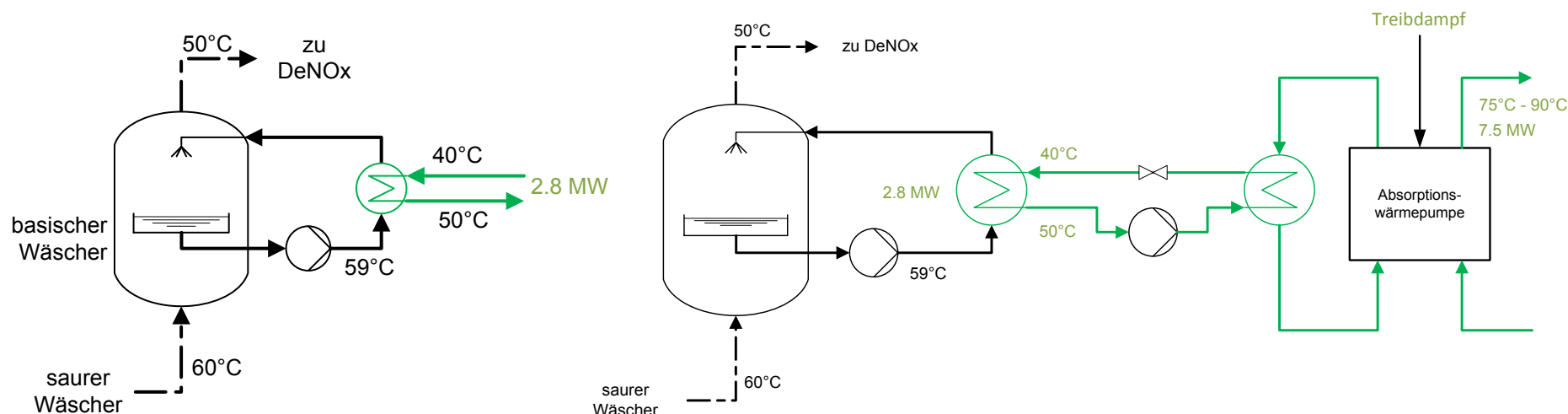
M5: Wärmerückgewinnung Kamin

- Die Reingase gehen heute mit 97°C in die Atmosphäre.
- Mit einem Reingas/Wasser-Wärmeübertrager könnten die Rauchgase auf ca. 80°C abgekühlt und dadurch um die 640 kW genutzt werden.
- Diese Wärme könnte als Bandlast für die Fernwärme genutzt werden.
- Durch die geringe Leistung könnten mit der angenommenen Fernwärmekurve 7'600 Volllaststunden gefahren werden.
- Diese Massnahme steht jedoch in Konkurrenz Massnahme 2b.



M6: Wärmerückgewinnung Wäscher

- Wärmerückgewinnung aus dem basischen Wäscherkreislauf.
- Bei direkter Nutzung könnten max. ca. 2.8 MW bzw. 2 MW bei 50°C genutzt werden.
- Mittels Absorptionswärmepumpe können ca. 7.5 MW gewonnen werden. Dafür müsste aber eine Treibdampfmenge von 4.7 MW eingesetzt werden.
- Mittels 3 bar Treibdampf erreicht man eine Temperatur von 75°C. Ab 9 bar Treibdampf kommt man auf 90°C.



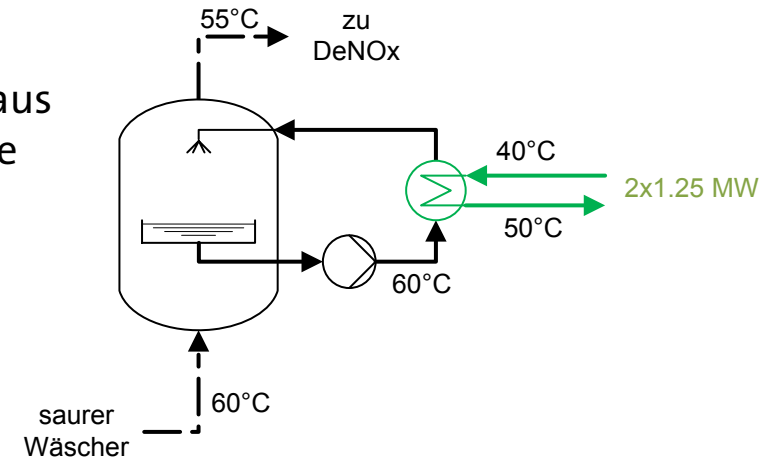
M6a Wärmerückgewinnung Wäscher und Wärmepumpe

- Zur Steigerung der Fernwärmeleistung aus Abwärme kann eine Wärmepumpe verwendet werden, welche die latente Wärme aus den Wäschern nutzt.
- Der resultierende Wärmepreis liegt bei allen drei Möglichkeiten über dem DampfpPreis. Es kann jedoch mehr Leistung abgegeben werden, falls die Dampfmenge limitiert ist.

M6b: Wärmerückgewinnung Wäscher

Erklärung Massnahme

- Diese Massnahme sieht die direkte Wärmenutzung aus dem basischen Wäscherkreislauf ohne Wärmepumpe vor.
- Die Abdeckung des Fernwärmebedarfs entspricht derjenigen von M2b.
- Im Unterschied zur Massnahme M2b müsste die Fernwärme mit einer Vor- und Rücklauftemperatur von 50°C/40°C betrieben werden.
- Die Kondensatvorwärmung ist gegenüber M2b nicht mehr mitberücksichtigt, da das Temperaturniveau dafür zu tief ist.



Auswirkung von M1, M2 und M6: Temperaturabsenkung im Wäscher

- Durch die vorgeschlagene Massnahme 1 und 2 (Abkühlung Rauchgase vor Quench) würde sich die Temperatur und der Taupunkt im Wäscher reduzieren. Das gleiche gilt für die Massnahme 6 (Wärmerückgewinnung im Wäscher).
- Durch die tiefere Austrittstemperatur wäre zu erwarten, dass bei der Wiederaufwärmung vor der DeNOx mehr Heizleistung benötigt wird. Dies ist jedoch nicht der Fall, weil sich durch das Auskondensieren von Wasser der Massenstrom reduziert.
- Das untenstehende Beispiel zeigt exemplarisch die Veränderungen im Rauchgas, wenn die Temperatur im Wäscher auf 55 °C gesenkt wird. Der Massenstrom wird reduziert und die benötigte Heizleistung bis 240°C sinkt trotz tieferer Anfangstemperatur leicht ab.
- Durch den tieferen Massenstrom wird sich zusätzlich eine leichte Einsparung im Stromverbrauch des Saugzuges ergeben. Jedoch muss auch das zusätzlich auskondensierte Wasser aufbereitet werden.

Wäscher	Ist	Neu	
Massenstrom trocken	50'000	50'000	kg/h
Feuchte	166	122	g/kg
Massenstrom total	58'300	56'100	kg/h
Temperatur nach Wäscher	60	55	°C
Temperatur vor DeNOx	240	240	°C
Benötigte Heizleistung	3337	3220	kW

Abkühlung im Wäscher

T bestehend	60	°C
T neu	55	°C
Abgegebene Wärme	1600	kW

Nicht weiter verfolgte Massnahmen

- Auf der KVA Buchs AG stehen noch weitere Verbraucher im Betrieb, welche ein gewisses Abwärmepotential zuliessen.
- Durckluftkompressoren:
 - ⇒ Diese Abwärme wird heute bereits genutzt: sie wird dem Notwassertank für die Rauchgaswäscher zugeführt, welcher ausserhalb am Kamin aufgestellt ist. Dadurch muss das Wasser im Tank nicht separat aufgewärmt werden und die Wärme der Kompressoren nicht aktiv rückgekühlt werden.
- HLK im Bürogebäude:
 - ⇒ Zum Zeitpunkt der Studie waren neue Klimageräte für die Büroräume bereits geplant und ausgeschrieben worden. Somit wurden diese Verbraucher nicht weiter berücksichtigt.
- Verluste Notkessel

Massnahmentabelle

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

Nr.	Massnahme	Investition [kCHF]	Nettoeinsparung [kCHF/a]	Einsparung [MWh/a]	Mindeereinsp. [kCHF/a]	Payback [a]	Beschreibung	Priorität* [-]	NPV (y10) [kCHF]	NPV (y15) [kCHF]
1a	Externer Eco OL1 Speisewasser	880	91.18	8'500	11	10.8	Kühlung der Rauchgase nach dem E-Filter der Linie 1. Aufwärmung der Speisewasser vor dem Eintritt in den Kessel. Investitionskosten für Wärmeübertrager und Rohrleitungen.	1	-60	293
1b	Externer Eco OL1 Kondensate	645	28.87	8'500	9	29.8	Kühlung der Rauchgase nach dem E-Filter der Linie 1. Aufwärmung des Hauptkondensats vor dem Eintritt in den Speisewasserbehälter. Investitionskosten für Wärmeübertrager und Rohrleitungen.	3	-385	-274
2a	Quench RG/Wasser Wärmerückgewinnung Kondensate	2'185	73.85	20'100	17	45.0	Nach dem Externen ECO nochmalige Kühlung der Rauchgase bevor diese gequench werden. Aufwärmung des Hauptkondensats. Investitionskosten für beide Linien inkl. Wärmeübertrager und Rohrleitungen.	3	-1521	-1235
2b	Quench RG/RG Wärmerückgewinnung FW und Kondensate	2'810	380.38	20'100	17	8.1	Nach dem Externen ECO nochmalige Kühlung der Rauchgase bevor diese gequench werden. Nutzung der Wärme für die Fernwärme oder die Aufwärmung des Hauptkondensats. Investitionskosten für beide Linien inkl. RG/Wasser Wärmeübertrager, Wasser/Wasser Wärmeübertrager, Spitzenlast Dampf/Wasser Wärmeübertrager und Rohrleitungen.	1	610	2085
3	Ölkühler	95	11.59	2'000	-3	9.0	Kühlung des Schmieröls der Turbogruppe durch die Kondensate und dadurch Verminderung des zur Kondensatvorwärmung benötigten Dampfes. Investitionskosten und Einsparungen inkl. Rohrleitungen und Wärmetauscher.	1	9	54
4	Fegedampf	60	2.61	300	-	31.0	Aufwärmung des Nachspeisewassers oder des Kondensats durch Kondensation des Brühdampfes. Investitionskosten für Wärmeübertrager und Rohrleitungen	3	-37	-26
5	Kamin RG/Wasser Wärmerückgewinnung	1'120	166.62	5'200	15	7.3	Kühlung der Rauchgase vor dem Kamin. Nutzung der Wärme für die Fernwärme oder Hauptkondensat.	2	378	1024
6a	Quench RG/Wasser Wärmetauscher mit WP	870	n/a	11'500	-	n/a	Nutzung der Abwärme aus dem Wäscherkreislauf und Erhöhung der Temperatur mittels Wärmepumpe zur Steigerung der Fernwärmeleistung. Die Investition sind für den Wärmetauscher Wärmepumpe und Rohrleitungen.	(2)	n/a	n/a
6b	Quench RG/Wasser Wärmetauscher	920	347.84	10'000	2	2.7	Direkte Nutzung der Abwärme aus dem Wäscherkreislauf zur Steigerung der Fernwärmeleistung. Die Investition sind für den Wärmetauscher, Spitzenlast Dampf/Wasser-Wärmeübertrager und Rohrleitungen.	(1)	n/a	n/a

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

Nr.	Massnahme	Investition [kCHF]	Nettoeinsparung [kCHF/a]	Einsparung [MWh/a]	Mindeereinsp. [kCHF/a]	Payback [a]	Beschreibung	Priorität* [-]	NPV (y10) [kCHF]	NPV (y15) [kCHF]
	Massnahmen mit Priorität 1	3'785	483	30'600		8.6	Massnahmen Nr. 1a, 2b, 3,		559	2432
	Massnahmen mit Priorität 1 + 2	5'775	650	47'300		9.9	Massnahmen Nr. 1a, 2b, 3, 5		68	2586

- Die Analyse des thermischen Systems in der KVA Buchs AG hat gezeigt, dass noch ein Potential an Abwärme von ca. 30 GWh/a wirtschaftlich erschlossen werden kann.
- Als grösste Abwärmequelle stehen die Rauchgase vor dem Wäscher zur Verfügung. Die Erschliessung erfordert jedoch teilweise Wärmeübertrager mit säurebeständiger Auskleidung. Auf der Seite der Wärmesenke stehen einerseits das Speisewasser der Linie 1 sowie die Kondensate oder eine neu ausgebaute Fernwärme.
- Die KVA ist durch den Neubau der Linie 2 bereits weitestgehend optimiert. Insbesondere bei der älteren Linie 1 wäre noch zusätzliches Wärmenutzungspotential vorhanden.
- Die durch die Massnahmen erzielten finanziellen Einsparungen sind direkt vom Strompreis abhängig. Daher sind bei den aktuell tiefen Strompreisen die Payback-Zeiten eher lang. Der Wärmeverkauf in die Fernwärme wird voraussichtlich nicht vom Strompreis abhängen und erzielt daher attraktivere Renditen.
- Schwierigkeit der Verwertung der eingesparten Energie:
 1. Die Stromerzeugungsanlage (Turbine/Generator/Trafo/Leitung) ist bereits heute am Limit
 2. Mittelfristig rechnet die KVA Buchs mit einem geringen Abfallrückgang und damit einem Teillastbetrieb. Es müsste geprüft werden ob die dann noch verfügbare Wärmemenge die vorgeschlagenen Massnahmen noch amortisiert.
 3. Der Fernwärmeausbau wird erst angedacht und damit ist der Abnehmer für die Warmwasserauskopplung noch nicht vorhanden.

Empfehlungen

- Wirtschaftlichkeitsberechnung auf einen **realistischen Teillastbetrieb** anpassen (Ab wann? Wie viel noch? Wie viel würden die M1/2 & M6 noch bringen?)
- Möglichkeiten ausloten im Bereich der **Stromerzeugungsoptimierung**: höheres Schluckvermögen, Verstärkung der Elektrokabel etc.
- Zur **Steigerung der Stromproduktion** empfiehlt es sich die Wärmerückgewinnung zur Speisewasservorwärmung in der Linie 1 umzusetzen.
- Falls ein **neues Fernwärmenetz** gebaut wird, sollte die Rückgewinnung der Wärme vor der Quench nach der externen Speisewasservorwärmung mitberücksichtigt werden.
- Hinweis: Das Temperaturniveau einer neuen Fernwärme sollte bereits in der Planung auf einem tiefen Niveau ausgelegt werden. Temperaturen unter 50°C könnten sehr günstig durch das Wäscherwasser (M6b ohne Wärmepumpe) bereitgestellt werden.
- Messung des Dampfverbrauchs zum Warmhalten des Hilfskessels bzw. Risiko- und Reaktionszeitenüberlegungen, ob die ständige Betriebsbereitschaft BEIDER Kessel noch erforderlich ist.

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

Massenbilanz

	Input [t/h]	Output [t/h]	
Kessel 1 + 2			
SPW Kessel 1	30.82		Mit Einspritzkühlung
SPW Kessel 2	30.85		Ohne Einspritzkühlung
zu HD-Verteiler 1		28.12	
zu HD-Verteiler 2		32.39	
DeNOx 1		-	
DeNOx 2		3.84	
HD LUVO		-	Nicht in Betrieb
Einspritzkühlung OL2	1.46		eigene Berechnung
Differenz	-1.22		
HD-Verteiler			
Kessel 1	32.39		
Kessel 2	28.12		
MD-Verteiler		-	
ND-Verteiler		-	
LUKO 1		-	
LUKO 2		-	
Turbopumpe		-	kaum in Betrieb
Turbine 1		59.38	
Differenz	1.13		
MD-Verteiler			
HD-Verteiler	-		Ausser Betrieb
TG1 MD-Anzapfung	15.09		
ND-Verteiler 1		-	
Fernwärme		13.18	Jahresmittelwert
Sperrdampf		-	keine Angaben
Injektor		0.30	keine Messungen!!!
Hilfsdampfkessel		-	keine Angaben
Differenz	1.61		
ND-Verteiler			
HD-Verteiler	-		
MD-Verteiler	-		
TG1 ND-Entnahme	4.26		
LuVo OL1	-		
LuVo OL2		1.63	
Spw Behälter		1.90	nicht bekannt
Gebäudeheizung		0.22	keine Messung Annahme 2000 Voll-h
Differenz	0.51		

	Input [t/h]	Output [t/h]	
Turbine 1			
HD-Verteiler	59.38		
MD-Entnahme		15.09	
Wanderanzapfung		4.26	
ND-Anzapfung		2.70	
LUKO 1		13.26	keine Messung
Differenz	24.07		
SPW-Behälter 1 + 2			
Hauptkond. Tank 1	41.30		
Nebenkond. Tank 1	15.03		LUVO, Notkessel, FW, interne Heizung
Wasser Nachspeisung	1.04		
ND-Dampf SPW-Beh. 1+2	1.84		
Kondensat DeNOX	3.84	-	
Kessel 1		30.83	
Kessel 2		30.85	
Fegedampf		0.60	Annahme
Einspritzkühlung MD ND-Dampf		1.22	Eigene Berechnung
Einspritzkühlung OL2 Überhitzer		1.46	Eigene Berechnung
Differenz	-1.90		
Nebenkond. Tank 1			
Fernwärme	13.18		
LuVo OL1	-		Kondensat geht zu LuVo OL2
LuVo OL2	1.63		
Abschlämmung Notkessel			
Gebäudeheizung	0.22		keine Messung
SPW-Behälter 1		15.03	Bilanz aus Input, keine Messung
Differenz	-		

Anhang B

Stromtabelle

Name	Hot/Cold	°C Tin	°C Tout	kg/s Flow	kJ/kgK Cp	kJ/kg Phase Change	W/(m²K) Alpha	bar Pressure	Fluid	g/kg Humidity Ratio	kW/K CP	KW
Hauptkondensat	Cold	46.00	110.00	11.47	4.199		2'000.00	4.00	Water		48.17	3'082.76
Nebenkondensatbehaelter Kondensate	Cold	105.00	110.00	4.18	2.020		2'000.00	1.00	Water		8.44	42.18
Abdampf	Hot	x1	x0	10.50		2'392.39	1'000.00	0.10	Water		0.00	25'120.04
Nachspeisung	Cold	40.00	110.00	0.29	4.200		2'000.00	4.00	Water		1.21	84.92
Fegedampf	Hot	134.00	20.00	0.02	23.174			3.00	Water		0.37	-42.27
ECO OL1	Cold	132.00	200.00	6.89	4.350		2'000.00	50.00	Water		29.96	2'037.25
Verdampfung+Uberhitzung OL1	Cold	200.00	399.00	6.89	11.810			44.00	Water		81.34	16'186.73
Verdampfung+Uberhitzung OL1 Winter	Cold	200.00	399.00	6.41	11.810			44.00	Water		75.68	15'060.52
Verdampfung+Uberhitzung OL1 Sommer	Cold	200.00	399.00	7.28	11.810			44.00	Water		85.98	17'110.29
ECO OL2 (intern&extern)	Cold	132.00	210.00	7.23	4.369		2'000.00	50.00	Water		31.60	2'464.61
Verdampfung+Ueberhitzung OL2	Cold	210.00	399.00	7.23	12.187			45.00	Water		88.13	16'656.38
Verdampfung+Ueberhitzung OL2 Winter	Cold	200.00	399.00	6.42	11.810			44.00	Water		75.88	15'099.61
Verdampfung+Uberhitzung OL2 Sommer	Cold	200.00	399.00	7.30	11.810			44.00	Water		86.20	17'154.71
PrimLuft OL1	Cold	15.00	101.00	9.01	1.015		50.00	1.01	HumidAir	0.006	9.14	786.20
PrimLuft OL2	Cold	27.00	87.00	9.03	1.015		50.00	1.01	HumidAir	0.006	9.17	550.24
Kessel - E-Filter OL1	Hot	1'380.00	218.00	15.04	1.190		100.00	1.01	HumidAir	0.100	17.90	-20'798.63
EFilter - Waescher L1	Hot	218.00	90.00	15.04	1.190		50.00	1.01	HumidAir	0.100	17.90	-2'291.07
WRG im Waescher L1	Hot	61.00	50.00	15.04	16.723			0.95	HumidAir	0.162	251.57	-2'767.26
Kessel - ECO extern OL2	Hot	1'380.00	166.00	13.37	1.190		100.00	1.01	HumidAir	0.100	15.91	-19'308.97
EFilter - Waescher L2	Hot	166.00	90.00	13.37	1.190		100.00	1.01	HumidAir	0.100	15.91	-1'208.80
WRG im Waescher L2	Hot	59.00	50.00	13.37	16.858			0.95	HumidAir	0.150	225.36	-2'028.22
E-Filter - Waescher OL1	Hot	218.00	90.00	15.04	1.190		100.00	1.01	HumidAir	0.100	17.90	-2'291.07
ECO extern - Waescher OL2	Hot	166.00	90.00	13.37	1.190		100.00	1.01	HumidAir	0.100	15.91	-1'208.80
Waescher OL1 und OL2 - DeNOx	Cold	61.00	239.00	28.45	1.305		100.00	1.01	HumidAir	0.162	37.12	6'608.05
DeNOx-Kamin OL1 und OL2	Hot	239.00	97.00	28.45	1.305		100.00	1.01	HumidAir	0.162	37.12	-5'271.59
DeNOx-Kamin RCC OL1 OL2	Hot	97.00	80.00	28.45	1.305		100.00	1.01	HumidAir	0.162	37.12	-631.11
Waescher-DeNOx OL1 OL2 (mit WRG im Waescher)	Cold	50.00	239.00	28.45	1.164		100.00	1.01	Simple		33.11	6'257.26
DeNOx-Kamin RCC OL1 OL2 (WRG Waescher)	Hot	97.00	80.00	28.45	1.164		100.00	1.01	HumidAir	0.086	33.11	-562.82
Dampf FW	Cold	108.00	274.50	3.43	15.022			22.00	Water		51.54	8'581.89
Dampf FW Winter	Cold	108.00	277.00	4.31	14.834			22.10	Water		63.96	10'808.92
Dampf FW Sommer	Cold	112.00	273.00	2.57	15.406			22.06	Water		39.52	6'362.16
Gebaeude	Cold	70.00	90.00	1.69	4.195		1'500.00	3.00	Water		7.10	141.98
Gebaeudeheizung Winter	Cold	70.00	90.00	2.37	4.195		1'500.00	3.00	Water		9.94	198.78
Gebaeudeheizung Sommer	Cold	70.00	90.00	1.02	4.195		1'500.00	3.00	Water		4.26	85.19
Abluft Generatorkuehler L1	Hot	70.00	40.00	4.41	1.015		100.00	1.01	HumidAir	0.006	4.47	-134.21
Rueckkeuhlung TG	Hot	65.00	49.00	9.39	1.850		1'000.00	1.00	Simple		17.37	-277.92
Betriebsejektoren	Hot	120.00	89.00	0.08	75.540			1.00	Water		6.29	-195.14
Neue FW90	Cold	60.00	90.00	11.75	4.200		1'000.00	1.00	Simple		49.33	1'480.00
DeNOx-Kamin OL1 und OL2 (Feuchte angepasst)	Hot	239.00	97.00	28.45	1.164		100.00	1.01	HumidAir	0.086	33.11	-4'701.17
Neue FW55	Cold	45.00	55.00	35.24	4.200		1'000.00	1.00	Simple		148.00	1'480.00
WP Kalte Seite	Cold	40.00	50.00	13.15	4.220		1'000.00	1.00	Simple		55.50	555.00
WP Dampfverbrauch	Cold	173.23	173.23	0.45		2'074.35	1'000.00	9.00	Simple		0.00	925.00
WP Warme Seite	Hot	90.00	85.00	35.07	8.441		1'000.00	1.00	Simple		296.00	-1'480.00
WP max Kalte Seite	Cold	40.00	50.00	66.35	4.220		1'000.00	1.00	Simple		280.00	2'800.00
WP max Dampfverbrauch	Cold	173.23	173.23	2.27		2'074.35	1'000.00	9.00	Simple		0.00	4'700.00
WP max Warme Seite	Hot	90.00	85.00	355.42	4.220		1'000.00	1.00	Simple		1'500.00	-7'500.00
WP max Neue FW90	Cold	60.00	90.00	59.53	4.200		1'000.00	1.00	Simple		250.00	7'500.00