

Pinch-Analyse 2015

Amcor Flexibles Kreuzlingen AG

- ausgeführt durch DM Energieberatung AG
- mit finanzieller Unterstützung durch das Bundesamt für Energie (BFE)
- November 2014 bis Juli 2015



Zusammenfassung

Die Amcor Flexibles Kreuzlingen AG ist Teil der internationalen Verpackungsgruppe Amcor und bedruckt flexible Pharmaverpackungen. In 13 Druckmaschinen verschiedener Grösse wird die auf die Folie aufgebrachte Farbe mit heisser Luft (40..350°C) getrocknet. Die mit Lösungsmitteln beladene Abluft wird anschliessend dem Thermoreaktor zur regenerativen Nachverbrennung (RNV) zugeführt.

Die Wärmeversorgung der Druckmaschinen erfolgt - mit Ausnahme einiger elektrisch beheizter Maschinen - durch ein Thermoöl- und ein Warmwasser-Netz. In beiden Netzen wird bereits heute Abwärme des Thermoreaktors genutzt. Aufgrund des grossen Luftdurchsatzes der Druckmaschinen ergibt sich eine starke Klimaabhängigkeit des Wärmeverbrauches, insbesondere im Warmwasser-Netz.

Für das System von Thermoöl-Netz, Warmwasser-Netz, Hallenzuluft und Thermoreaktor wurde eine Prozessanalyse mit dem PinCH-Tool 2.0 durchgeführt. Für das Abwärmeangebot des Thermoreaktors konnten anhand von Messdaten zwei Betriebszustände (Hochlast / Schwachlast) unterschieden werden. Die Klimaabhängigkeit auf der Verbraucherseite wurde mit 3 Betriebszuständen (Sommer, Winter & Übergangszeit) abgebildet. Insgesamt wurden so 6 „operating cases“ im sog. „supertargeting“ betrachtet.

Gemäss Pinch-Analyse beträgt die Abwärmenutzung mit dem wirtschaftlich optimalen Wärmetauscher-Netzwerk 14.6 GWh/a. Mit den zwei bestehenden und grosszügig dimensionierten Wärmetauschern am Thermoreaktor werden allerdings bereits heute 13.2 GWh/a Abwärme genutzt. Bezieht man jedoch die bestehenden Wärmetauscher in die Betrachtung mit ein, erhöht sich die optimale Abwärmenutzung auf 17.4 GWh/a.

Durch den Bau eines Niedertemperatur-Wärmenetzes kann mit einem zusätzlichen Wärmetauscher Abwärme aus dem Reingas des Thermoreaktors für die Erwärmung der Hallenzuluft genutzt werden. Die Abwärmenutzung des bestehenden WW-Wärmetauschers wird durch die Absenkung der Rücklauftemperaturen im Warmwasser-Netz erheblich vergrössert.

Zusammenfassung

Ebenfalls geprüft wurde die Anbindung von elektrisch beheizten Druckmaschinen an die zentrale Wärmeversorgung, was sich als unwirtschaftlich erwiesen hat. Stattdessen wird empfohlen mit dezentralen Luft/Luft-Wärmetauschen die angesaugte Frischluft einzelner Maschinen direkt mit deren heisser Abluft vorzuwärmen.

Weiter haben sich aus der Prozess-Analyse Massnahmen zur Verbrauchsminderung von Erdgas ergeben. Dazu gehören die Betriebsoptimierung von Lüftungsanlagen, das Dämmen von Thermoöl- und Warmwasserleitungen, die Reduktion von Wärmeverlusten am Thermoöl-Notkühler (WT4) und die Optimierung der Druckluft-Abwärmenutzung. Elektrische Energie wird durch die Optimierung der Kälteerzeugung und den Ersatz von konventionellen Leuchtstoffröhren durch LED-Röhren eingespart. Ebenfalls empfehlen wir den Ersatz eines Teils der elektrischen Antriebe und Pumpen, wobei dies nur unter Einbezug des Restwertes wirtschaftlich möglich ist. Die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Massnahmen ergeben eine Reduktion des Erdgasverbrauches von 90% und des Stromverbrauches von 10%.

Inhaltübersicht

Zusammenfassung

- 1. Ausgangslage**
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
3. Grundlagen / Sankey
4. Pinch Modellierung Druckmaschinen
5. Pinch Modellierung Thermoreaktor
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. Zusammenfassung der Resultate

Ausgangslage

Energie-Potenzialanalyse Juli 2014: 5 Massnahmen im Bereich Abwärmenutzung und Thermoreaktor identifiziert

Massnahme	Einsparpotenzial
• Absenkung Rücklauftemperatur zum Wärmetauscher 2	1'790 MWh _o
• dritter Wärmetauscher für Zuluftvorwärmung	5'200 MWh _o
• Nutzung Rauchgaswärme der Thermoölkessel	250 MWh _o
• Abwärmenutzung bei den Druckluftkompressoren	580 MWh _o
• Temperaturabsenkung beim Thermoreaktor (sog. CT-System)	165 MWh _o

Oktober 2014: Start eines Pinch-Projekts mit drei Teilbereichen:

- Paket 1: Betriebsoptimierung Lüftungen und Warmwasserverteilung
- Paket 2: Optimierung der Abwärmenutzung mit Pinch-Methode
- Paket 3: Analyse Elektroverbraucher

Inhaltübersicht

Zusammenfassung

1. Ausgangslage
- 2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete**
3. Grundlagen / Sankey
4. Pinch Modellierung Thermoreaktor
5. Pinch Modellierung Druckmaschinen
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. Zusammenfassung der Resultate

Resultate Paket 1

Die Analyse der Wärmeverteilung ist in einem separaten Bericht dokumentiert. Diverse Massnahmen wurden bereits umgesetzt (eliminieren von Bypässen in der Wärmeverteilung)

Die Lüftungsanalyse erfolgte mit einem durch uns entwickelten Excel-Tool. Die Massnahmen und Resultate sind in diesem Tool pro Lüftung dokumentiert.

Massnahmen Wärmeverteilung & Lüftungsanlagen		Investition	Einsparung	PB
1	Wärmedämmung Leitungen & Armaturen - Warmwasser- und Thermoölleitungen - Einsparung Erdgas: 660 MWh _a	38 kCHF	41 kCHF	0.9 a
2	Wärmeverluste WT4 verringern - Einsparung Erdgas: 440 MWh _a	20 kCHF	27 kCHF	0.7 a
3	Betriebsoptimierung Lüftungsanlagen - Einsparung Elektrizität: 310 MWh/a - Einsparung Erdgas: 1'750 MWh _a	124 kCHF	144 kCHF	0.9 a
4	Druckluft-Abwärmenutzung FG5 - Stilllegung Zuluftanlage zum Umformerraum (Standort DL-Kompressoren) - Einsparung Elektrizität: 60 MWh/a - Einsparung Erdgas: 810 MWh _a	150 kCHF	57 kCHF	2.7 a
TOTAL (Einsparung Erdgas 3'660 MWh, Elektrizität 370 MWh)		332 kCHF	269 kCHF	1.2 a

Paket 2: Optimierung AWN mit Pinch-Methode

Schwerpunkt der Pinch-Analyse: Verifikation der durch die Potenzial-Analyse eruierten Massnahmenideen. Diese betreffen in erster Linie den Thermoreaktor (Regenerative Nachverbrennung, RNV) mit den zwei bestehenden Wärmetauschern (WT1 für Thermoöl, WT2 für Warmwasser).

Schritt 1: Modellierung der aufzuheizenden Luftströme in den Druckmaschinen

- Ziel: Massenströme, Temperaturen und Laufzeiten für PinCH-Tool modellieren
- Resultierende Wärmemengen mit den Daten der vorhandenen Wärmezähler abgleichen.

Schritt 2: Modellierung der RNV für verschiedene Betriebszustände

- Ziel: Massenströme, Temperaturen und Laufzeiten für PinCH-Tool modellieren
- Energiebilanz der RNV verifizieren
- Potenzial für Betriebsoptimierung der RNV bestimmen
- Resultierende Wärmemengen mit den Daten der vorhandenen Wärmezähler abgleichen.

Paket 2: Resultate Pinch-Analyse

Pinch-Massnahmen		Investition	Einsparung	PB
1	Bypässe im Warmwasser-Netz eliminieren - Absenkung Temperatur Hauptrücklauf WW 89°C → 83°C - Mehrertrag WT2: 990 MWh/a	100 kCHF	65 kCHF	1.5 a
2	WW Pumpe zu LC223 mit FU ausstatten - Absenkung Temperatur Hauptrücklauf WW 83°C → 79°C - Mehrertrag WT2: 660 MWh/a	30 kCHF	43 kCHF	0.7 a
3	Vorlauftemperatur WW zu LC223/LC225 reduzieren - Absenkung Temperatur Hauptrücklauf WW 79°C → 72°C - Mehrertrag WT2: 1'160 MWh/a - Verlagerung von WW auf TÖ: 940 MWh/a	5 kCHF	68 kCHF	0.1 a
4	Einbau WT3 & Niedertemperatur-Netz - Lüftungsanlagen FG16S, FG17, FG16N & FG3 über NT-Netz speisen - Ertrag WT3: 4'000 MWh/a	530 kCHF	262 kCHF	2.0 a
5	LC225 mit UEG-Regelung ausstatten - Reduktion Frischluft- / Abluftvolumenströme - Einsparpotenzial TÖ: 4'100 MWh/a (> heutiger Erdgasverbrauch K1 & K2) - Einsparpotenzial WW: 1'900 MWh/a	400 kCHF	289 kCHF	1.4 a
6	Wärmerückgewinnung LM211, EM214, FM216, LC217 - Einsparung Elektrizität 730 MWh/a	151 kCHF	83 kCHF	1.8 a
TOTAL (Einsparpotenzial Erdgas 11'800 MWh/a, Elektrizität 730 MWh)		1'216 kCHF	810 kCHF	1.5 a

Paket 3: Analyse Elektroverbraucher

Die Analyse der Elektroverbraucher hat zu einer Vielzahl von Massnahmen geführt, welche in einer separaten Massnahmenliste dokumentiert sind.

Massnahmen Elektroverbraucher

		Investition	Einsparung	PB
1	Massnahmen Priorität 1 - Anheben Kaltwassertemperatur Kühlung Ceramis EB600 - Reinigung Trockenkühler Schaltraumkühlung FG16 - Zeitschaltuhr Laugenwaschmaschine FG18	3 kCHF	6.7 kCHF	0.4 a
2	Massnahmen Priorität 2 - Ersatz Kältemaschine Schaltraumkühlung FG16 - Ersatz T8-Röhren durch LED-Röhren FG15 - Ersatz T8-Röhren durch LED-Röhren FG16	76 kCHF	25 kCHF	3.0 a
3	Massnahmen Priorität 3 - Drehzahlregelung Trockenkühler Ceramis EB600	8 kCHF	1.6 kCHF	5.0 a
TOTAL (Einsparpotenzial Elektrizität 300 MWh)		87 kCHF	34 kCHF	2.6 a

Paket 3: Analyse Elektroverbraucher

Beim Ersatz von elektrischen Antrieben ergeben sich nur unter Berücksichtigung des Restwertes wirtschaftlich umsetzbare Einsparpotenziale.

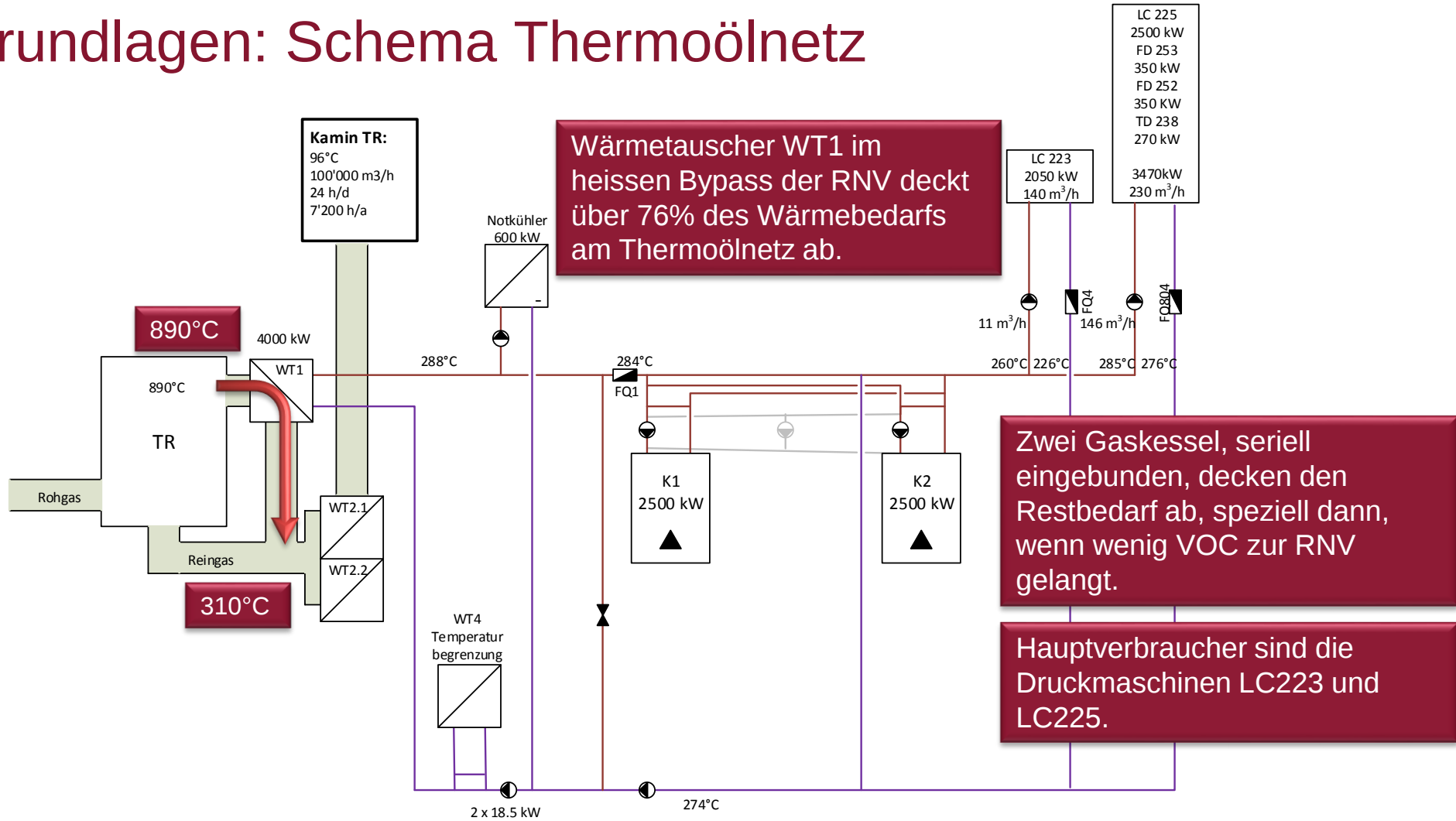
Ersatz von elektrischen Antrieben		Investition	Einsparung	PB
1	Massnahmen Priorität 1 - kein hochwirtschaftliches Potenzial durch Ersatz von Antrieben	0 kCHF	0 kCHF	0 a
2	Massnahmen Priorität 2 - Ersatz Motor & FU Reingasventilator Thermoreaktor (FG16) - Ersatz Motor & FU Abluftventilatoren LC223 (FG16) - Ersatz Motoren & FU Abluftventilatoren LC211, EM214, LC216, LC217 & TD236 (FG3) - Ersatz Heizungsumwälzpumpen in Unterverteilungen - Einsparung Elektrizität: 324 MWh/a	236 kCHF	37 kCHF	6.4 a
3	Massnahmen Priorität 3 - Ersatz Motor & FU Thermoölpumpen LC223 (FG16) - Ersatz Motor & FU Thermoölpumpen LC225 (FG16) - Ersatz Motor Thermoölpumpen Kessel 1 & 2 (FG16) - Ersatz Heizungsumwälzpumpen Hauptverteilung (FG16) - Einsparung Elektrizität: 166 MWh/a	220 kCHF	19 kCHF	11.5 a
TOTAL (Einsparpotenzial Elektrizität 490 MWh)		456 kCHF	56 kCHF	8.1 a

Inhaltübersicht

Zusammenfassung

1. Ausgangslage
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
- 3. Grundlagen / Energieflussdiagramme**
4. Pinch Modellierung Druckmaschinen
5. Pinch Modellierung Thermoreaktor
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. Zusammenfassung der Resultate

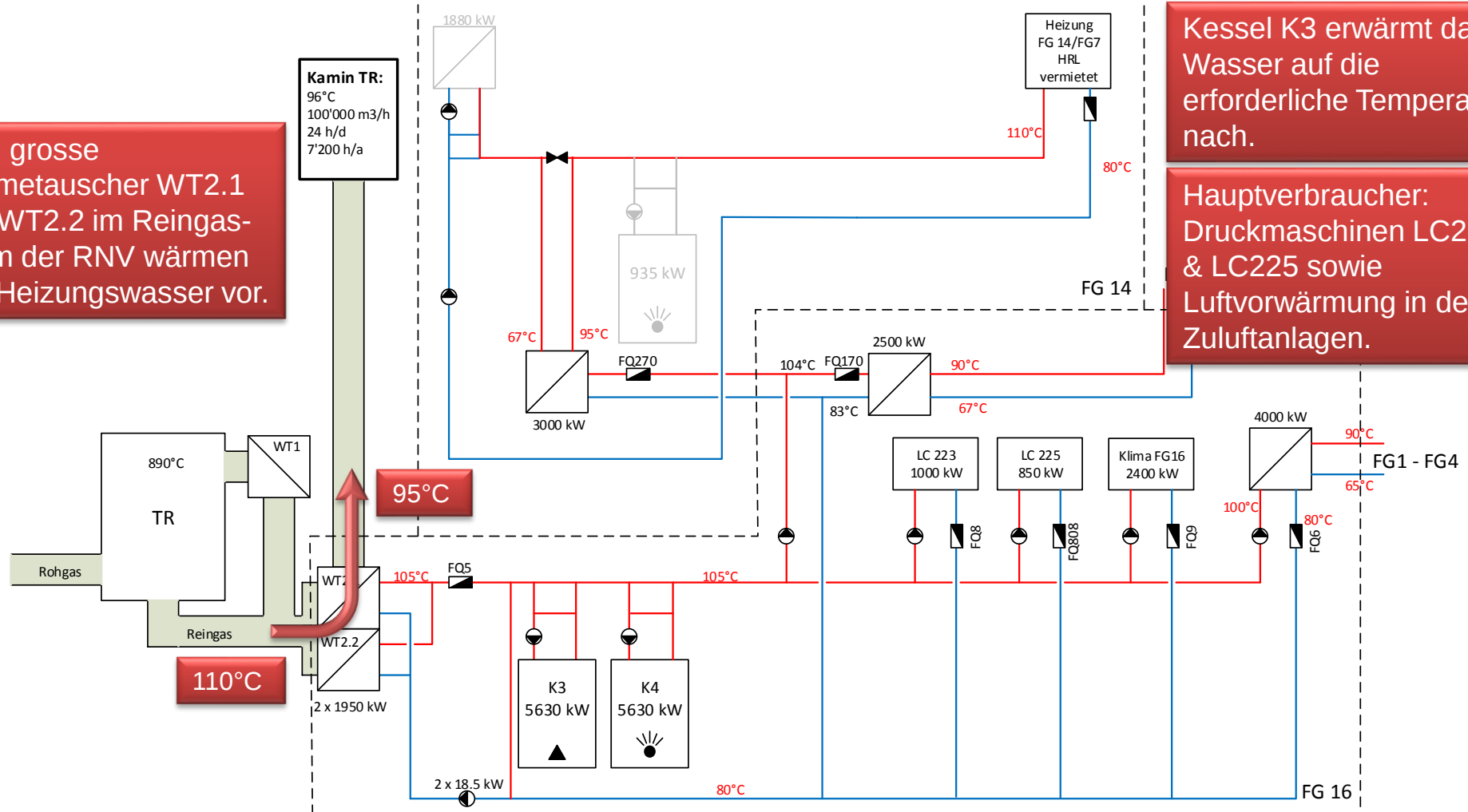
Grundlagen: Schema Thermoölnetz



Schema Warmwassernetz

Zwei grosse Wärmetauscher WT2.1 und WT2.2 im Reingasstrom der RNV wärmen das Heizungswasser vor.

Kamin TR:
96°C
100'000 m³/h
24 h/d
7'200 h/a



Kessel K3 erwärmt das Wasser auf die erforderliche Temperatur nach.

Hauptverbraucher: Druckmaschinen LC223 & LC225 sowie Luftvorwärmung in den Zuluftanlagen.

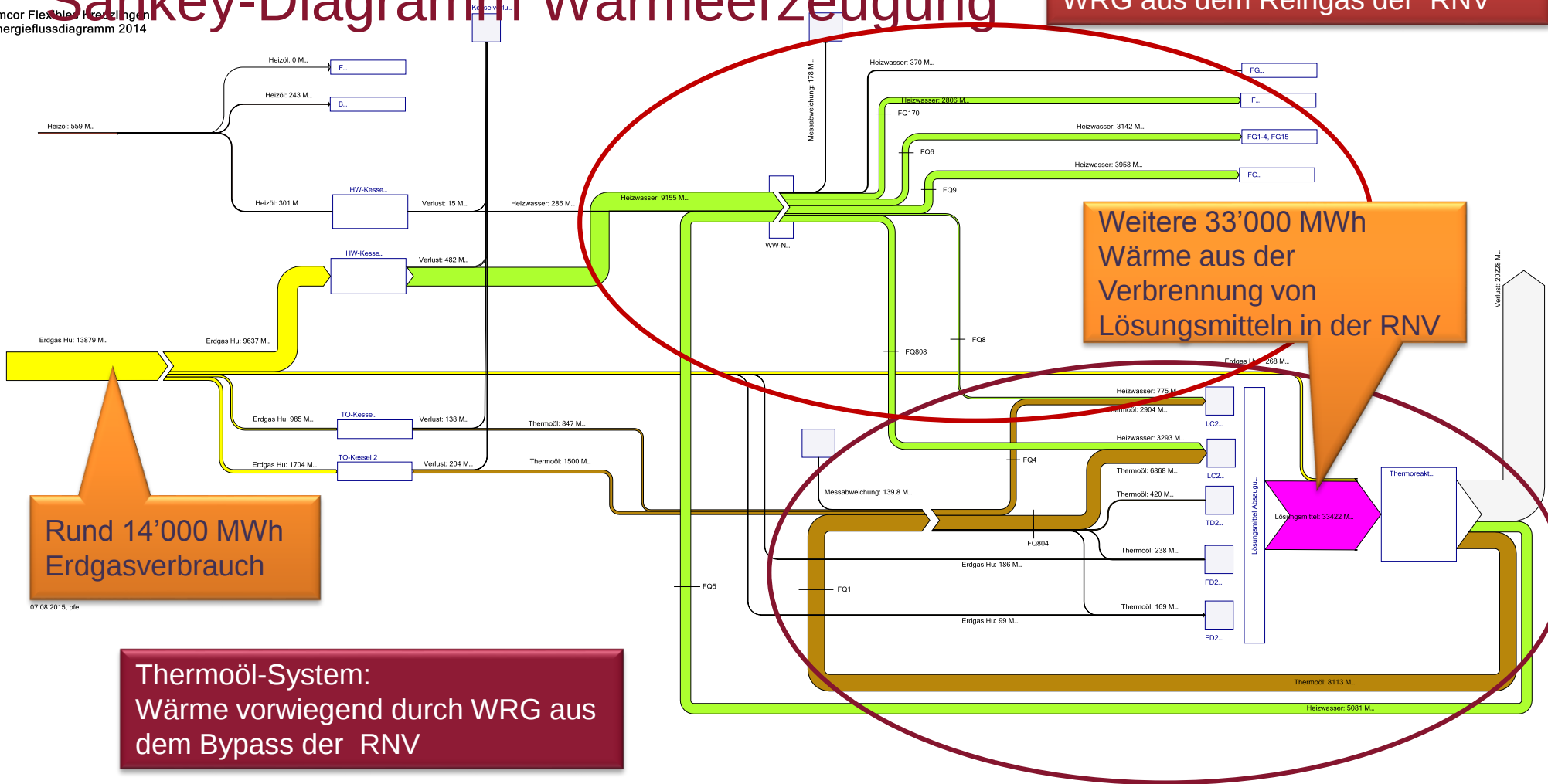
Sankey-Diagramm Wärmeerzeugung

Heisswasser-System:
Wärme ab Gaskessel, mit Anteil
WRG aus dem Reingas der RNV

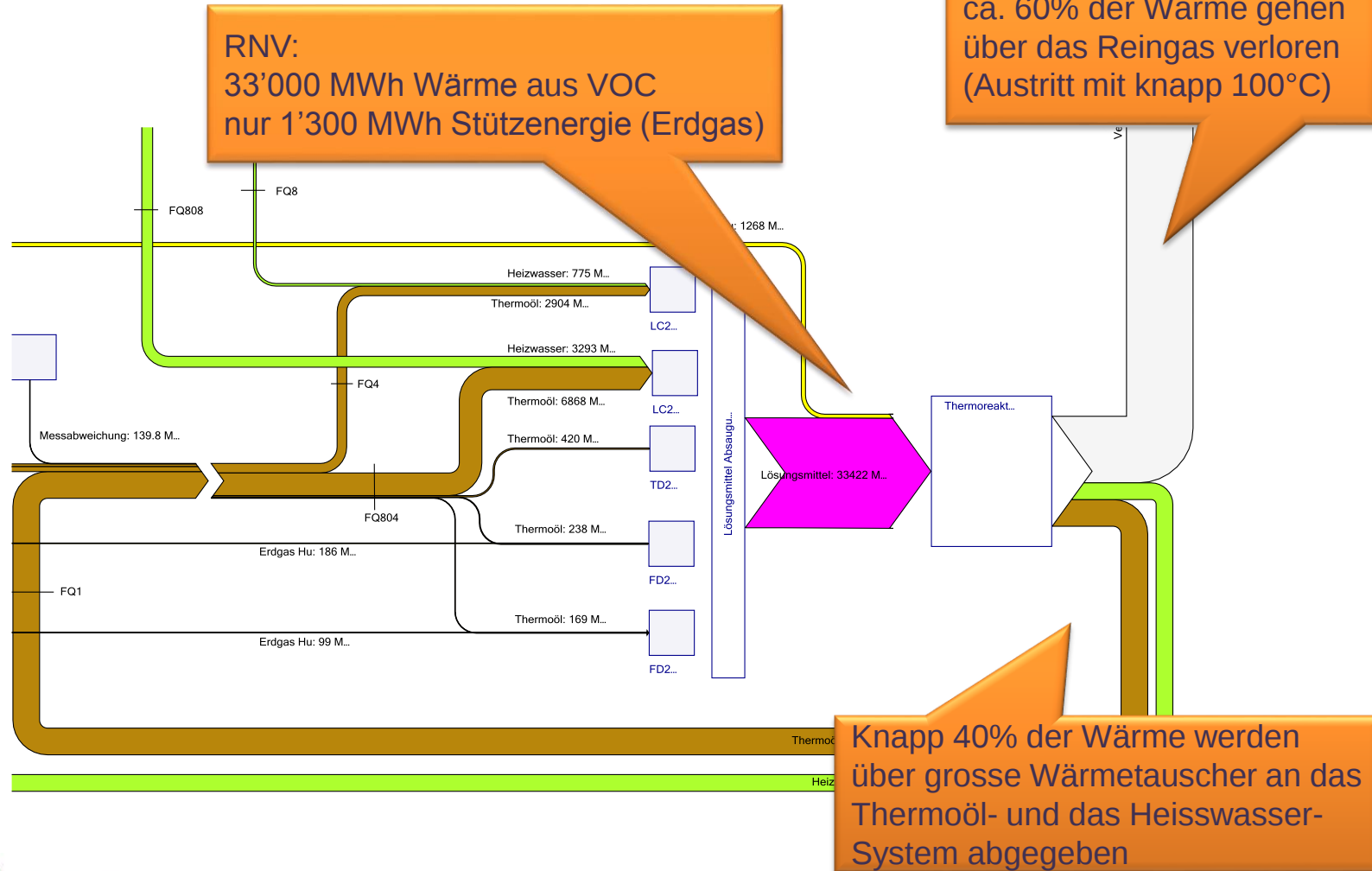
**Weitere 33'000 MWh
Wärme aus der
Verbrennung von
Lösungsmitteln in der RNV**

**Rund 14'000 MWh
Erdgasverbrauch**

Thermoöl-System:
Wärme vorwiegend durch WRG aus
dem Bypass der RNV

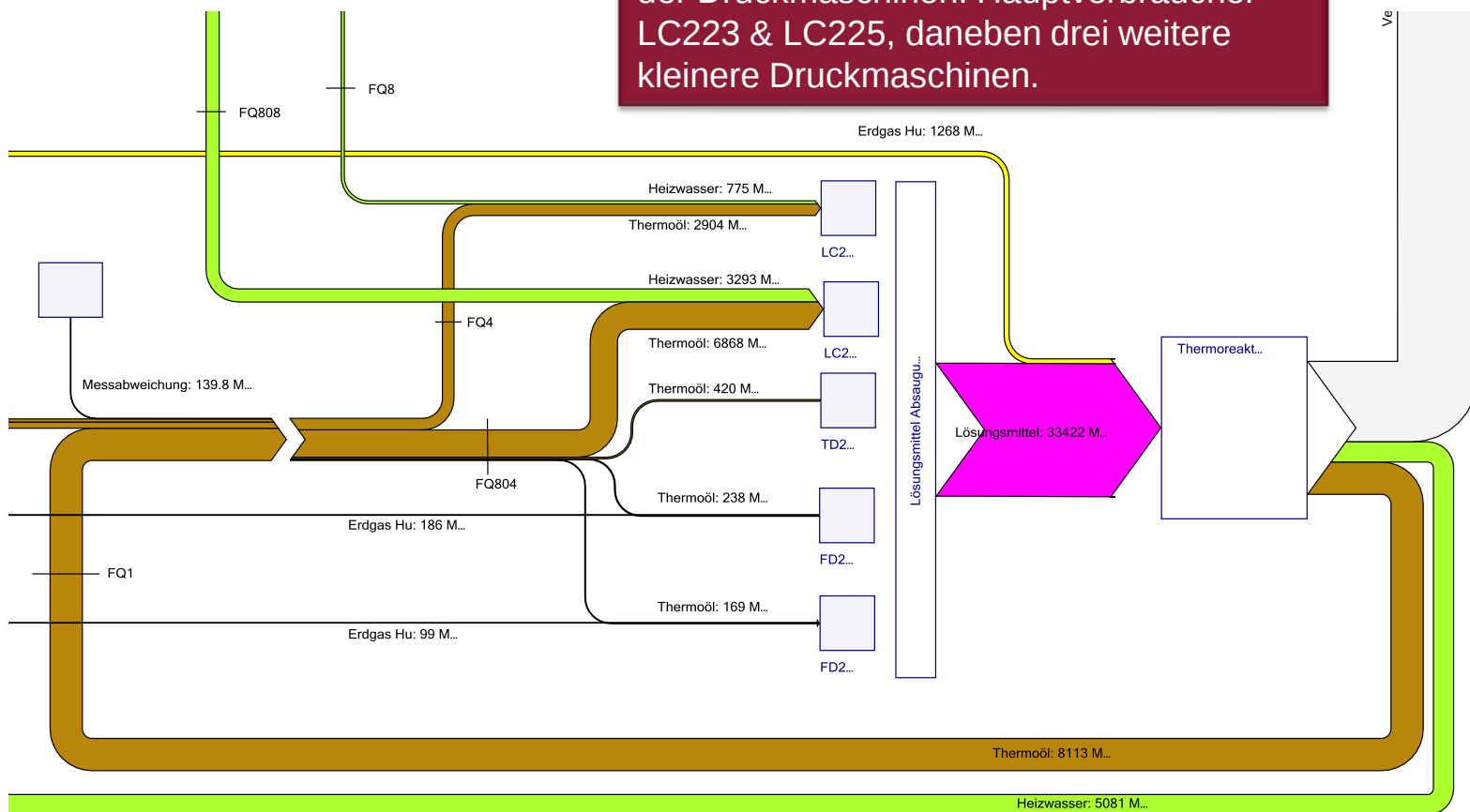


Sankey-Diagramm Thermoreaktor (RNV)



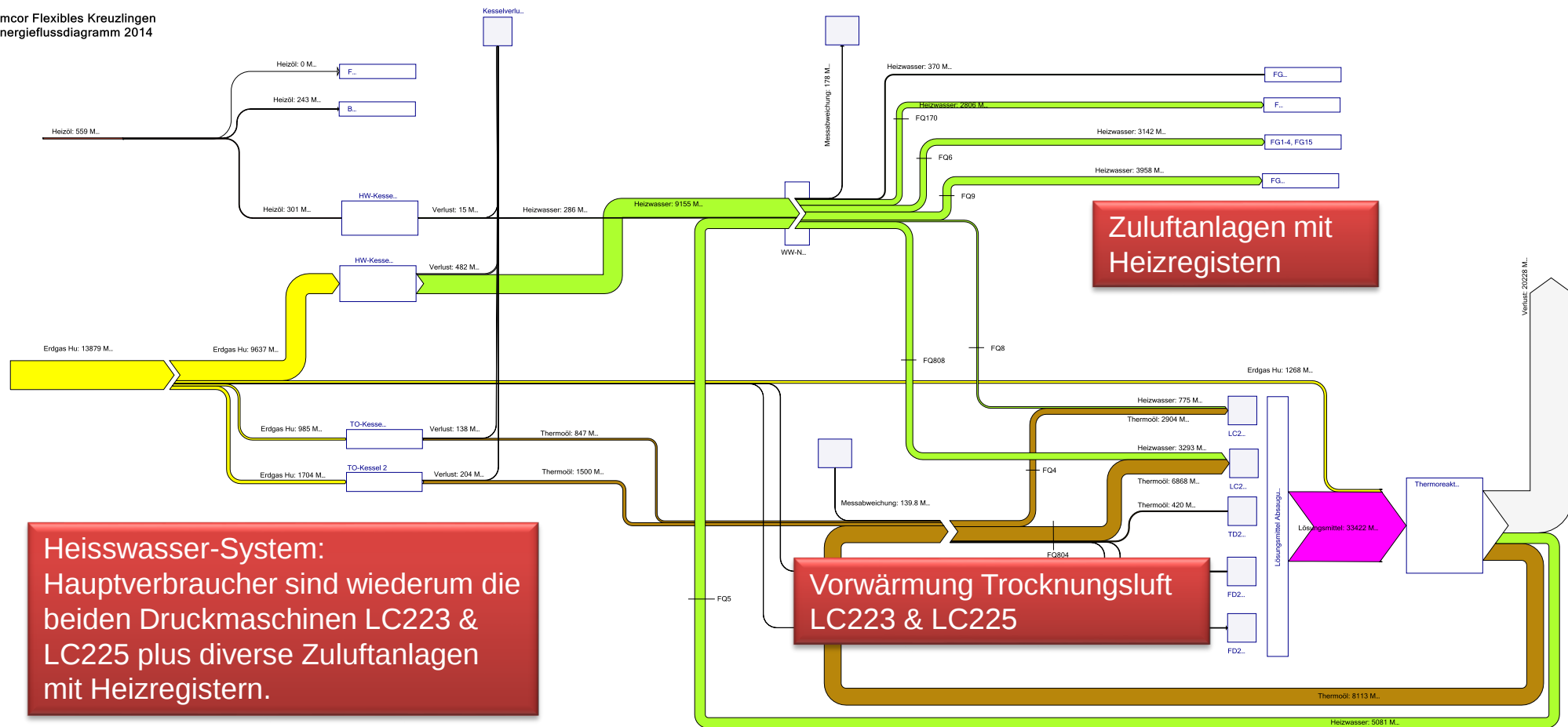
Sankey-Diagramm Thermoöl-System

Verwendung des Thermoöls zur Beheizung der Druckmaschinen. Hauptverbraucher LC223 & LC225, daneben drei weitere kleinere Druckmaschinen.

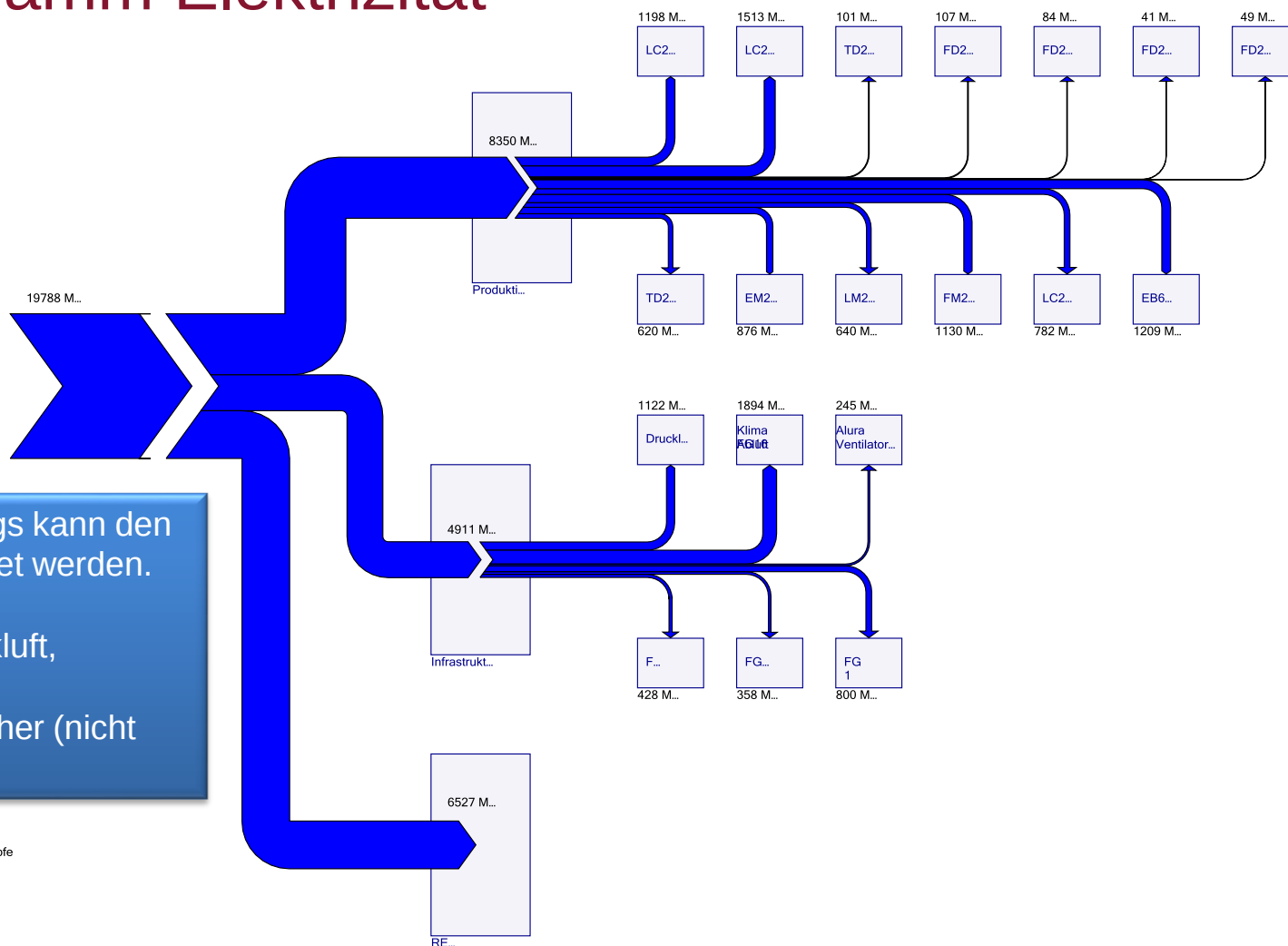


Sankey-Diagramm Wärmeerzeugung

Amcor Flexibles Kreuzlingen
Energieflussdiagramm 2014



Sankey-Diagramm Elektrizität



Rund 40% des Strombezugs kann den Druckmaschinen zugeordnet werden. Weitere 25% entfallen auf Infrastrukturanlagen (Druckluft, Ventilatoren). 35% sind weitere Verbraucher (nicht genauer zugeordnet).

18.05.2015, pfe

Verbrauchsschwerpunkte Wärme

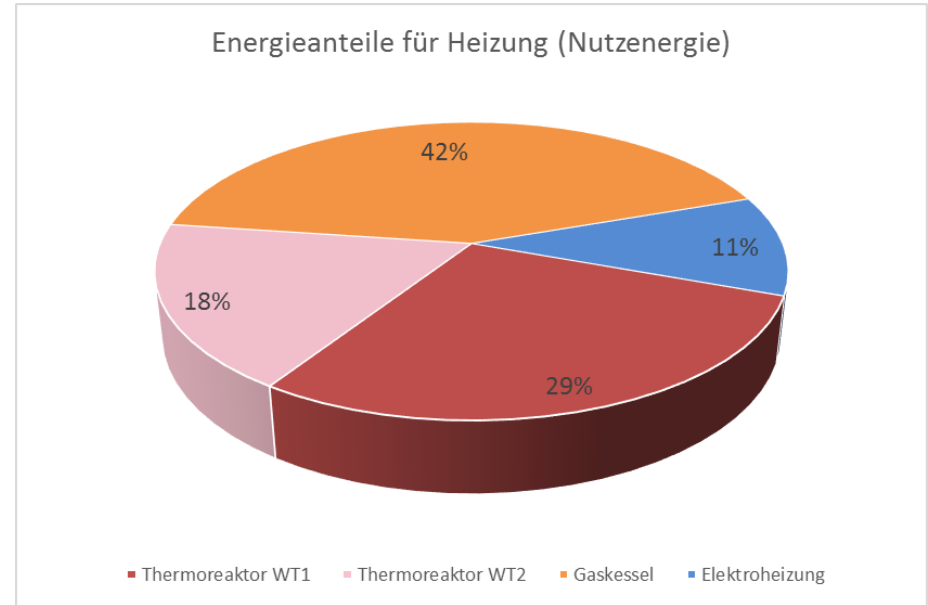
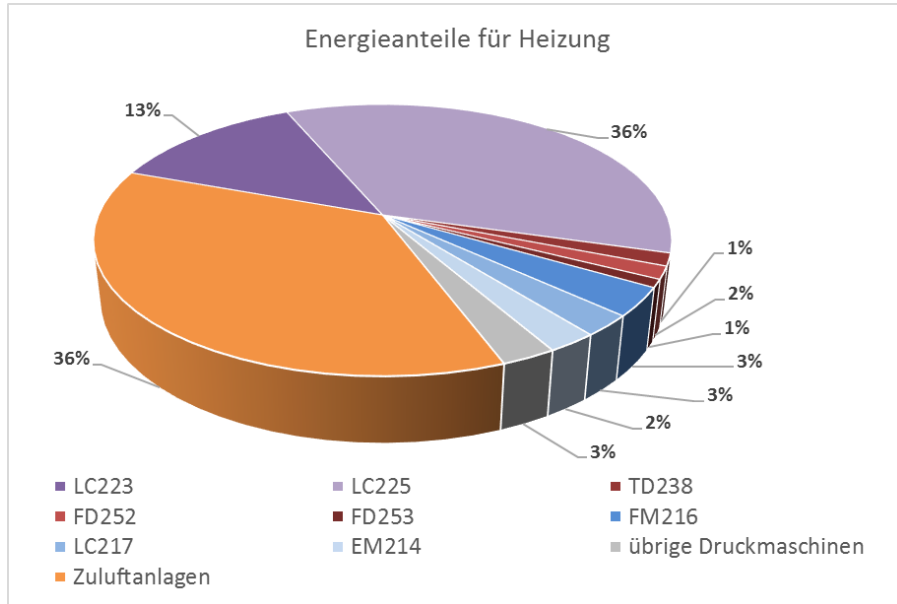
Verbrauchsschwerpunkte:

- Heizung der Trocknungsluft für die Druckmaschinen LC223 & LC225
total Heizwärme 13'900 MWh
- Lufterwärmung in Zuluftanlagen 10'300 MWh
- Elektrische Heizung von Trocknungsluft bei diversen Druckmaschinen
total Strombezug 3'100 MWh

Ein beträchtlicher Anteil dieser Wärme wird heute schon über zwei Wärmetauscher aus dem Wärmeüberschuss des Thermoreaktors abgedeckt:

- Vorwärmung Thermoöl mit Wärme aus dem heissen Bypass des Thermoreaktors (WT1) 8'100 MWh
- Vorwärmung Warmwasser mit dem Reingas (WT2) 5'100 MWh
- Nachwärmung Thermoöl und Warmwasser mit Erdgas 11'000 MWh

Verbrauchsschwerpunkte Wärme



Total Energiebedarf für Heizungen 28'000 MWh/a.

Davon 49% für die beiden Druckmaschinen LC223 & LC225.

36% für Lufterwärmung in Zuluftanlagen.

Wärmeerzeugung zu 47% mit dem Thermoreaktor, 42% Erdgas, 11% elektrisch.

Inhaltübersicht

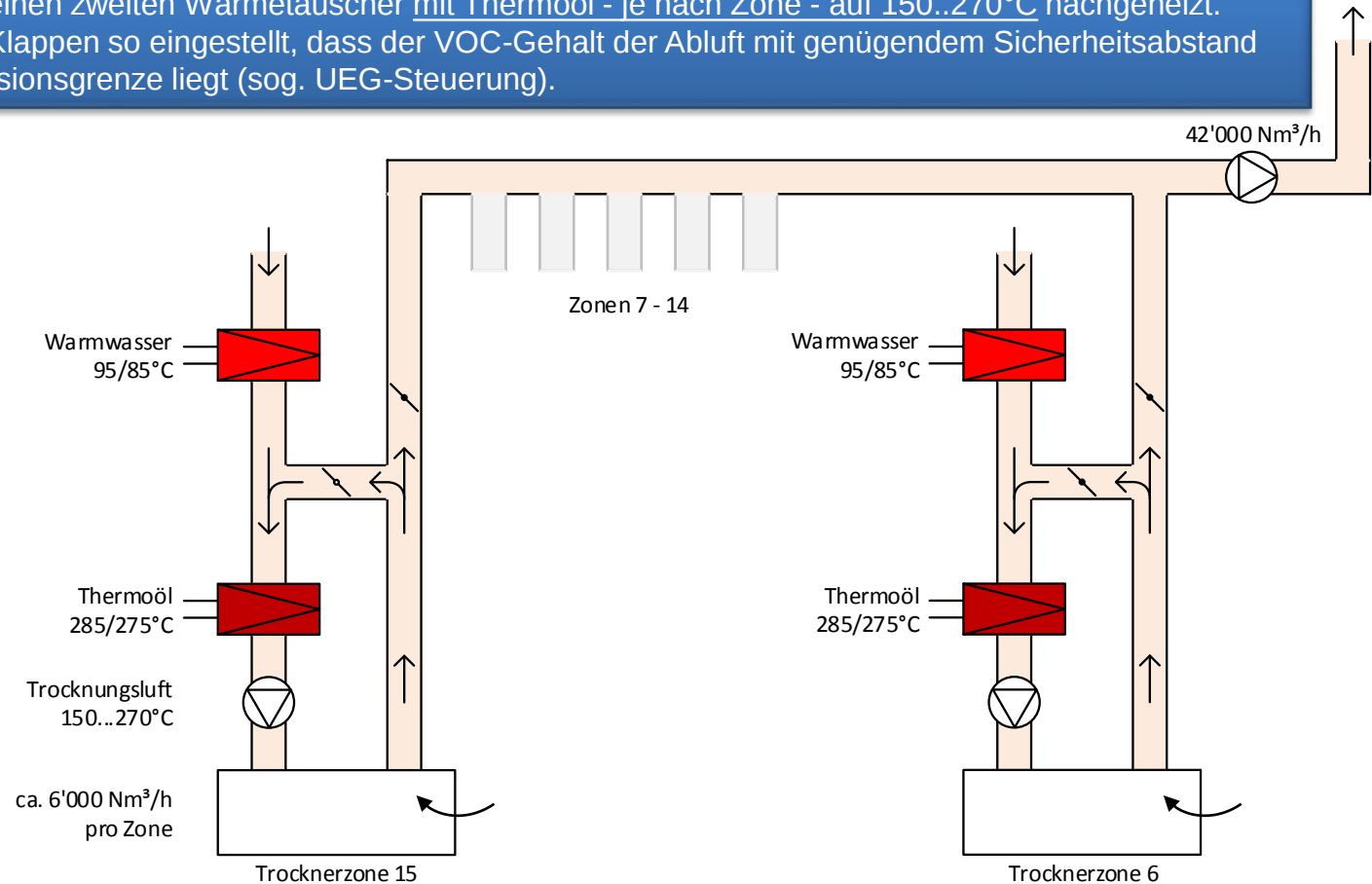
Zusammenfassung

1. Ausgangslage
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
3. Grundlagen / Sankey
- 4. Pinch Modellierung Druckmaschinen**
5. Pinch Modellierung Thermoreaktor
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. Zusammenfassung der Resultate

Modellierung Druckmaschinen

LC223 & LC225:

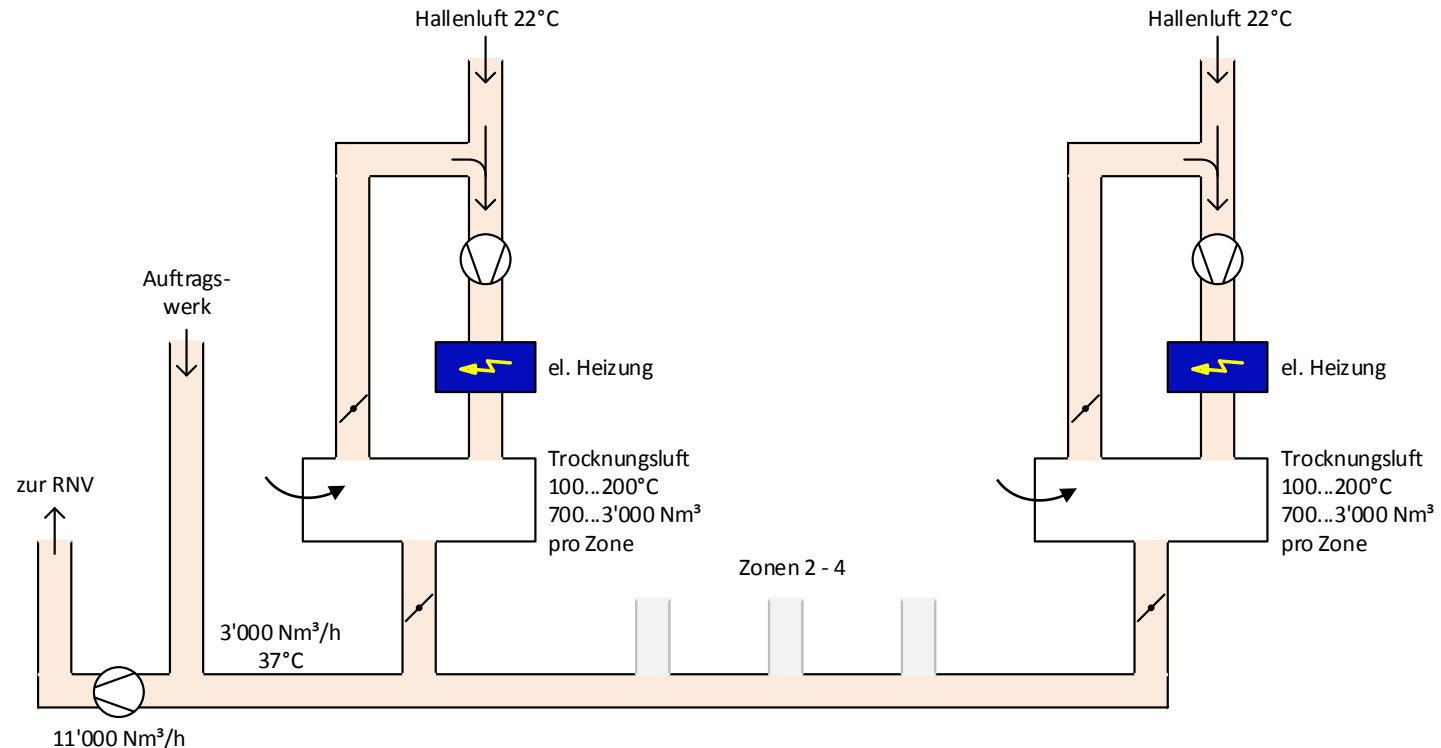
- Hallenluft wird über einen ersten Wärmetauscher mit Warmwasser auf 40..55°C vorgewärmt.
- Im Umluftbetrieb wird über einen zweiten Wärmetauscher mit Thermoöl - je nach Zone - auf 150..270°C nachgeheizt.
- Die Abluftmenge wird über Klappen so eingestellt, dass der VOC-Gehalt der Abluft mit genügendem Sicherheitsabstand unterhalb der unteren Explosionsgrenze liegt (sog. UEG-Steuerung).



Modellierung Druckmaschinen

Elektrisch geheizte Anlagen:

- Hallenluft wird ohne Vorwärmung der Umluft zugemischt.
- Bei einzelnen Anlagen wird die Luft kontrolliert über einen Kanal zugeführt, bei anderen direkt aus der Halle angesaugt.
- Im Umluftbetrieb wird die Luft mit elektrischen Lufterhitzern - je nach Zone - auf 40..350°C erwärmt.
- Die Abluftmenge wird über Klappen so eingestellt, dass der VOC-Gehalt der Abluft mit genügendem Sicherheitsabstand unterhalb der Explosionsgrenze liegt (sog. UEG-Steuerung).



Modellierung Druckmaschinen

Datenbasis pro Druckmaschine:

- Wärmeverbrauch gemessener Jahresverbrauch & Trendkurven
- Stromverbrauch gemessener Jahresverbrauch
- Betriebszeiten gemessener Jahresbetrieb
- Temperaturen gemäss Produktionsrezepten
- Volumenströme gemäss Messprotokollen der Maschineneinstellung & einzelne Nachmessungen durch Amcor

Vorgehen:

- berechnen der thermischen Leistung pro Trockner-Zone aus Volumenstrom & Temperatur
→ Unterscheidung zwischen Warmwasser & Thermoöl
- berechnen des jährlichen Energieverbrauches aus thermischer Leistung & Betriebszeit
- plausibilisieren mit gemessenem Wärmeverbrauch für Warmwasser & Thermoöl

Erkenntnisse:

- Für die Modellierung der Druckmaschinen reicht die Betrachtung der Luftströme aus.
→ Erwärmen der Folie von geringer Relevanz (< 1% Wärme)
→ Verdampfen der Lösungsmittel von geringer Relevanz (< 3% Wärme)
- Falschlucht welche über die Trockner-Hauben angesaugt wird ist nicht vernachlässigbar!
- Bezüglich der maximal zulässigen Lösungsmittelkonzentration (25% bzw. 50% UEG) herrscht bei allen Maschinen ein erheblicher Luftüberschuss.

Inhaltübersicht

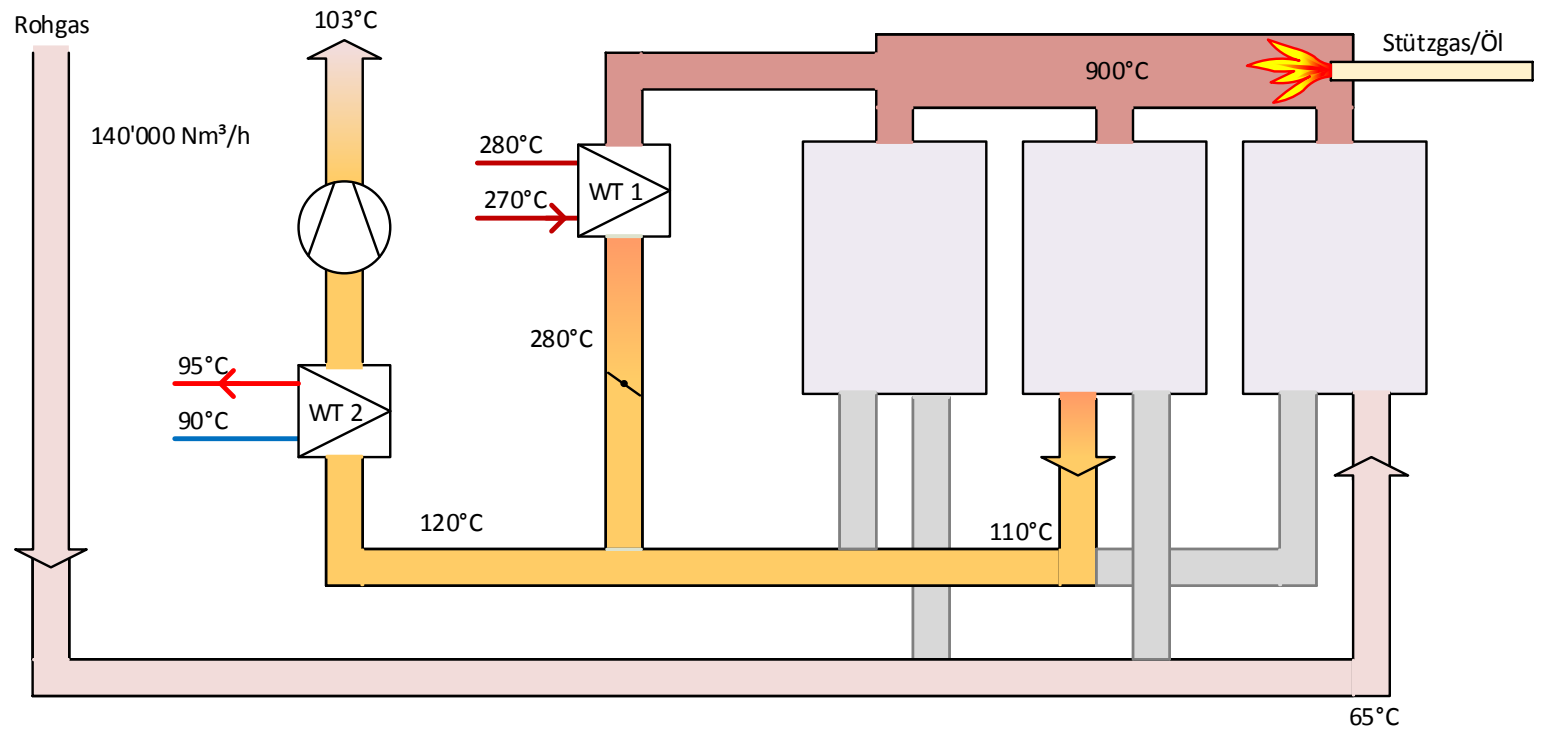
Zusammenfassung

1. Ausgangslage
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
3. Grundlagen / Sankey
4. Pinch Modellierung Druckmaschinen
- 5. Pinch Modellierung Thermoreaktor**
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. Zusammenfassung der Resultate

Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Thermoreaktor mit bestehender Abwärmenutzung:

- im heissen Bypass (WT1)
- Im Reingas (WT2)



Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Basis für die Modellierung der RNV sind Trenddaten aus dem Leitsystem der Amcor für den Zeitraum 30. April bis 19. Mai 2014, Auflösung 5 Minuten.

Die Datei enthält Messpunkte des Thermoreaktors, des Thermoöl-, sowie des Heisswasser-Systems. Es sind diverse Wärmezähler vorhanden:

- Wärmetauscher WT1 für Thermoöl
- Wärmetauscher WT2 für Warmwasser
- Warmwasser für LC223 und LC225 (pro Maschine)
- Warmwasser für 4 weitere Verbrauchergruppen (vor allem Zulufltheizung)
- Thermoöl für LC223 und übrige Druckmaschinen

Für die weitere Analyse wurde der Zeitraum eingeschränkt auf die zwei Kalenderwochen vom 3. Mai bis 16. Mai 2014. In diesem Zeitraum lief die RNV an einem Wochenende durch, an einem war sie ausser Betrieb. Das entspricht laut Hr. Baumgärtner dem Jahresmittel.

Auffälligkeiten/Korrekturen:

- Der Erdgasverbrauch für die Stützfeuerung ist nicht in den Trenddaten enthalten. Der Zähler wird einmal täglich von Hand abgelesen.
→ Energiebilanz der RNV kann nicht korrekt auf Stundenbasis berechnet werden.
- Wärmezähler FQ04 (Thermoöl für Druckmaschine LC223) geht beim Wert 1'000 kW in Begrenzung.
→ Korrektur anhand von Durchflussmenge und Temperaturdifferenz Vorlauf/Rücklauf.
- Die Wärmezähler FQ1 & FQ4 verwenden eine spezifische Wärmekapazität von 0,78 kWh/(m³K) für Thermoöl. Korrekt wäre 0.6 kWh/(m³K). Messwerte müssen um -23% reduziert werden.
Diese Erkenntnis konnte erst nach Abschluss aller Analysen verifiziert werden. Sankey und Massnahmenwirkungen wurden angepasst, die Analyse mit dem PinCH-Tool wurde nicht überarbeitet.

Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Auffälligkeiten/Korrekturen:

- Volumenstrom des heissen Bypass wird nicht gemessen. Berechnung aus den gemessenen Temperaturen und der Wärmeabgabe von Wärmetauscher WT1. D.h. implizite Annahme, dass die ganze Wärme aus dem Bypass genutzt wird¹.
- Der Temperatursensor des Reingases vor WT2 ist nahe beim Einlass des heissen Bypass platziert. Die gemessene Temperatur ist unrealistisch hoch, die Gasströme von Bypass und Reingas aus dem unteren Teil der Behälter sind hier noch nicht gut durchmischt.
→ Berechnung der Mischtemperatur aus der Leistung von Wärmetauscher WT2 und dem gemessenen Rohgasvolumenstrom. D.h. implizite Annahme, dass die ganze Wärme aus dem Rohgas genutzt wird.
- Hochrechnung der Verbrauchswerte aus den Trenddaten für 2 Wochen auf ein Kalenderjahr stimmt nur teilweise mit den Jahreswerten der Zähler überein.
 - Wärmezähler WT1 und WT2: gute Übereinstimmung, Abweichung 10% resp. 5%
 - Berechnete VOC-Menge: Abweichung um 22%, d.h. mittlere Lösemittelmenge im Rohgas gemäss VOC-Bilanz ist um 22% höher, als anhand der Trenddaten aus der Messperiode hochgerechnete Menge².
 - Energiebilanz der RNV (auf Tagesbasis) ist anhand der Trenddaten schlüssig. Bei 22% mehr VOC im Rohgas müssten in der RNV 7'000 MWh Wärme verloren gehen. Das entspricht einer mittleren Verlustleistung von über 800 kW.
- Keine Korrektur vorgenommen. Pinch-Modellierung mit den vorhandenen Trenddaten.
Empfehlung: VOC-Messung der RNV überprüfen lassen. Energiebilanz bereinigen.

¹Annahme ist realistisch, Notkühlung über WT4 ist nie in Betrieb.

²VOC-Mengen aus VOC-Bilanz Amcor (basierend auf den FID-Messungen der einzelnen Druckmaschinen):

KW18 2014: 71 Tonnen

KW19 2014: 80 Tonnen

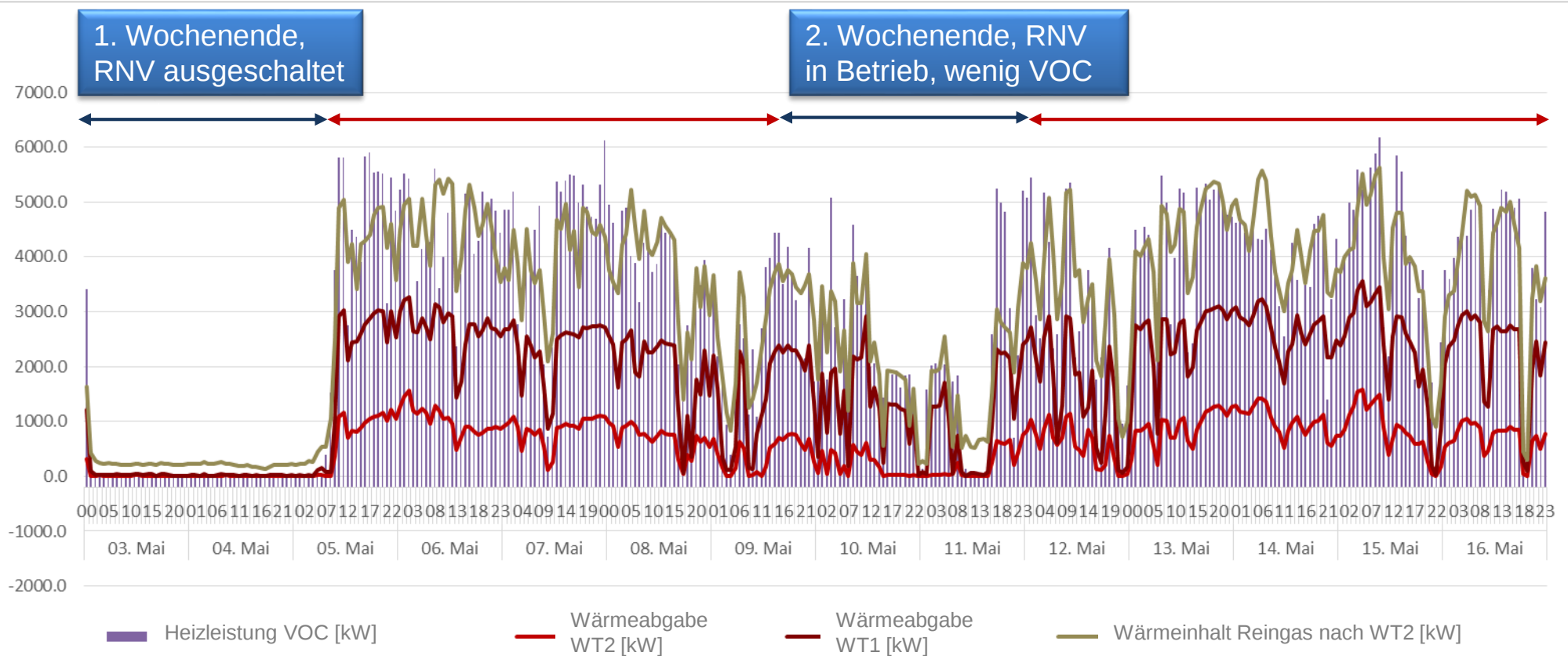
Total 151 Tonnen in 336 Stunden

Total 3'800 Tonnen in 8'400 Stunden (→ offizielle VOC-Bilanz Amcor).

Aus den Trenddaten KW18 & KW19 ergibt sich nur eine Menge von 118 Tonnen in 336 h, also 22% weniger.

Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Montag bis Freitag stark wechselnde Verhältnisse je nach Anzahl Druckmaschinen, die in Betrieb sind.

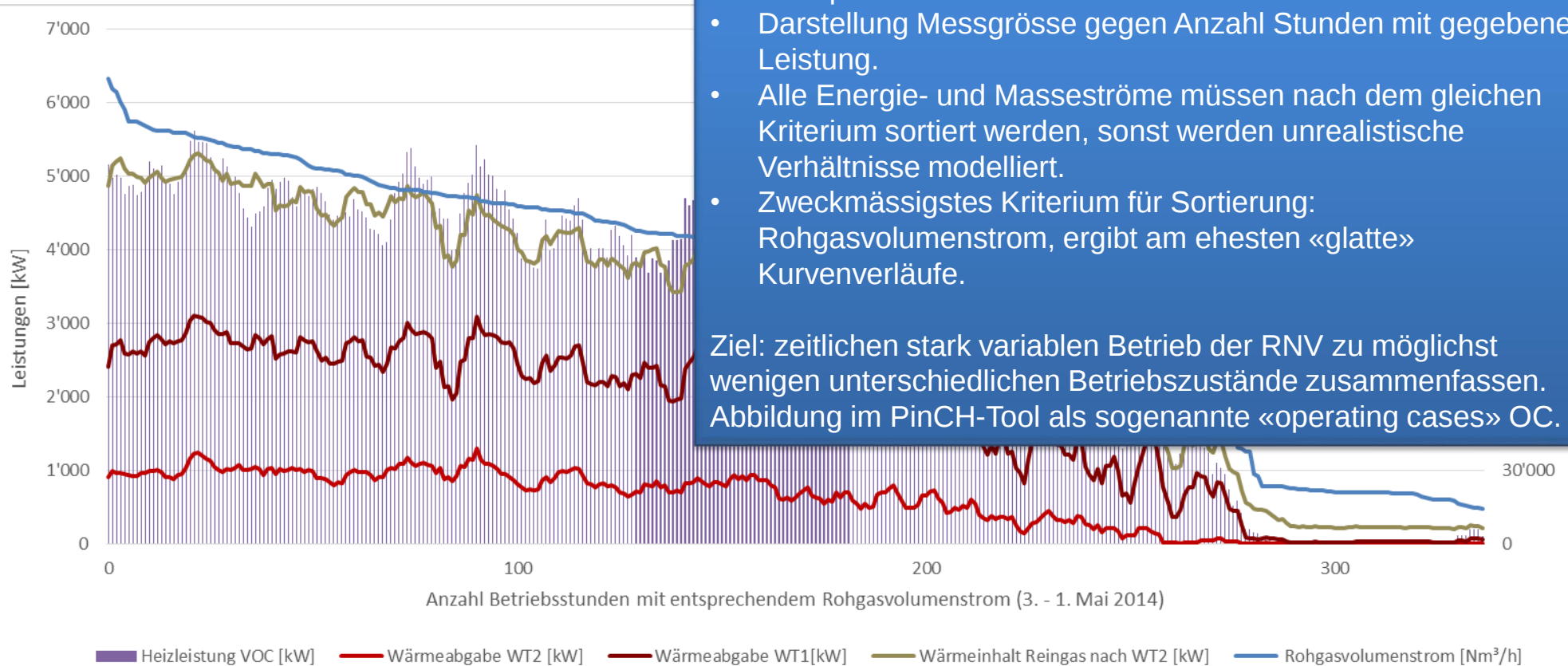


Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Weitere Modellierung über geordnete Lastgangkurven:

- Messpunkte werden nach Grösse sortiert.
- Darstellung Messgrösse gegen Anzahl Stunden mit gegebener Leistung.
- Alle Energie- und Masseströme müssen nach dem gleichen Kriterium sortiert werden, sonst werden unrealistische Verhältnisse modelliert.
- Zweckmässigstes Kriterium für Sortierung: Rohgasvolumenstrom, ergibt am ehesten «glatte» Kurvenverläufe.

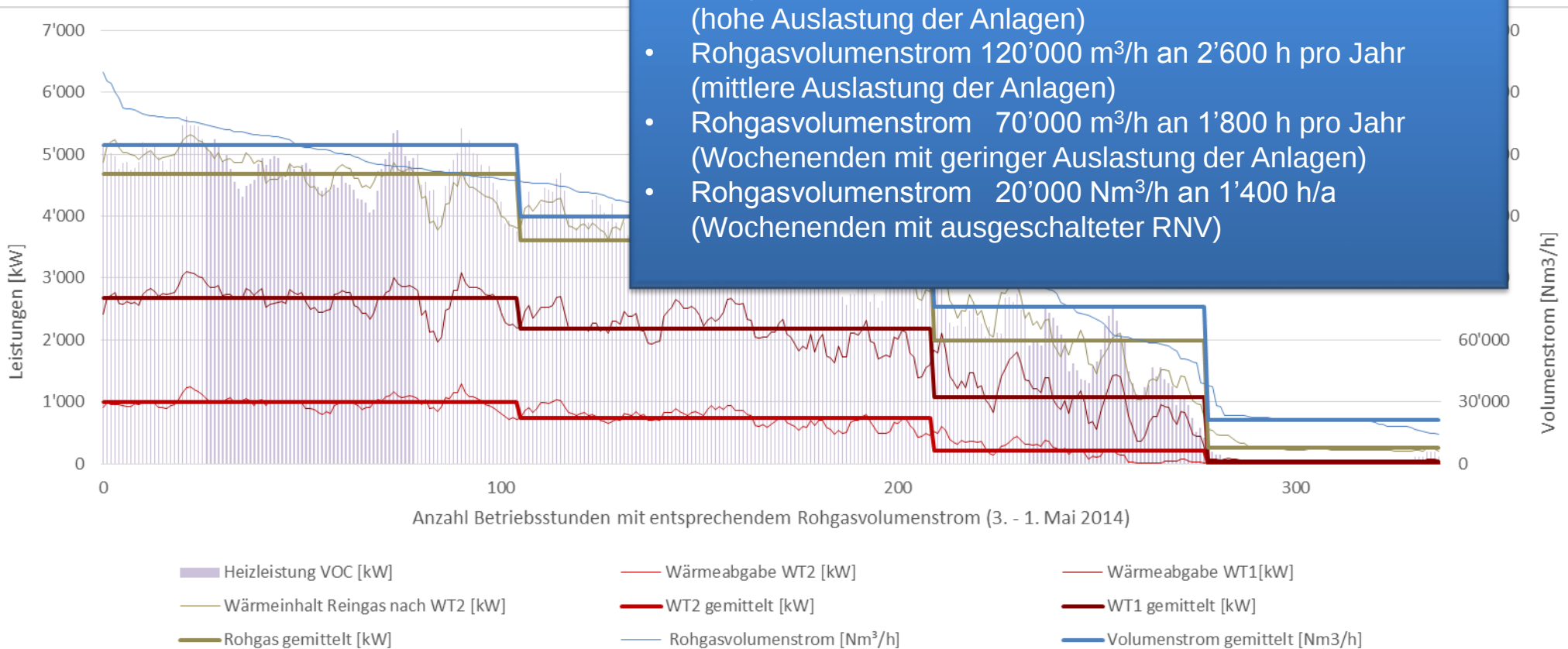
Ziel: zeitlichen stark variablen Betrieb der RNV zu möglichst wenigen unterschiedlichen Betriebszustände zusammenfassen. Abbildung im PinCH-Tool als sogenannte «operating cases» OC.



Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Modellierung RNV mit 4 Betriebszuständen:

- Rohgasvolumenstrom 160'000 m³/h an 2'600 h pro Jahr (hohe Auslastung der Anlagen)
- Rohgasvolumenstrom 120'000 m³/h an 2'600 h pro Jahr (mittlere Auslastung der Anlagen)
- Rohgasvolumenstrom 70'000 m³/h an 1'800 h pro Jahr (Wochenenden mit geringer Auslastung der Anlagen)
- Rohgasvolumenstrom 20'000 Nm³/h an 1'400 h/a (Wochenenden mit ausgeschalteter RNV)



Modellierung Thermoreaktor (RNV)

Anlage	Prozess	Stoff	spez. Wärme- kapazität [kJ/(kg.K)]	Menge	Temperatur		Soft	Massenfluss		Leistung	Betriebs- zeit	Jahres- verbrauch	AWN- Potenzial	Bemerkungen
					Anfang [°C]	Ende [°C]		[kg/h]	[kg/s]					
Produktionsprozesse hohe Auslastung												32'309	38'495	
RNV	Rohgas	Luft	1.01	159'000 Nm3/h	67									
RNV	Bypass	Luft	1.01	7'800 Nm3/h	896									
RNV	Reingas	Luft	1.01	159'000 Nm3/h	120									
Thermoölsystem	Heizung Druckwerke	Thermoöl	2.56	217 m3/h	270									
Heisswasser	Heizung Druckwerke	Wasser	4.19	73 m3/h	89									
mittlere Auslastung														
RNV	Rohgas	Luft	1.01	121'000 Nm3/h	67									
RNV	Bypass	Luft	1.01	6'800 Nm3/h	896									
RNV	Reingas	Luft	1.01	121'000 Nm3/h	116									
Thermoölsystem	Heizung Druckwerke	Thermoöl	2.56	237 m3/h	273									
Heisswasser	Heizung Druckwerke	Wasser	4.19	58 m3/h	89									
geringe Auslastung (Wochenende)														
RNV	Rohgas	Luft	1.01	68'000 Nm3/h	60									
RNV	Bypass	Luft	1.01	3'800 Nm3/h	853									
RNV	Reingas	Luft	1.01	68'000 Nm3/h	101									
Thermoölsystem	Heizung Druckwerke	Thermoöl	2.56	270 m3/h	276	283		229'466	63.741	1'140	1'800	2'052		
Heisswasser	Heizung Druckwerke	Wasser	4.19	69 m3/h	91	96		68'784	19.11	400	1'800	720		
Aus (Wochenende)														
RNV	Rohgas	Luft	1.01	20'000 Nm3/h	19	19	x	25'800	7.17	0	1'400			warum läuft der Ventilator noch? Rohgas vorwärmen sinnvoll?
RNV	Bypass	Luft	1.01	190 Nm3/h	504	136	x	245	0.068	25	1'400			kühlt die Behälter aus, nicht als Abwärmequelle modellieren, besser Ventilator ausschalten
RNV	Reingas	Luft	1.01	20'000 Nm3/h	48	48	x	25'800	7.167	0	1'400			Austrittstemperatur 48°C
Thermoölsystem	Heizung Druckwerke	Thermoöl	2.56	248 m3/h	282	283		211'350	58.708	150	1'400			
Heisswasser	Heizung Druckwerke	Wasser	4.19	34 m3/h	88	89		34'392	9.55	40	1'400			
Total														

Relevante Ströme für die Pinch-Analyse:

- Heisser Bypass → Abwärmequelle
- Reingas → Abwärmequelle
- Rohgas als sogenannter Soft-Stream. Kann allenfalls mit Abwärme nachgewärmt werden. Ist aber nicht zwingend.
- Thermoöl → aufzuheizender Strom
- Heisswasser → aufzuheizender Strom

Für eine vollständige Modellierung wird von jedem Strom die Starttemperatur, Endtemperatur und der Massenfluss benötigt. Zudem die Betriebsdauer für jeden Operating Case.

Relevante Ströme für die Pinch-Analyse:

- Heisser Bypass → Abwärmequelle
- Reingas → Abwärmequelle
- Rohgas als sogenannter Soft-Stream. Kann allenfalls mit Abwärme nachgewärmt werden. Ist aber nicht zwingend.
- Thermoöl → aufzuheizender Strom
- Heisswasser → aufzuheizender Strom

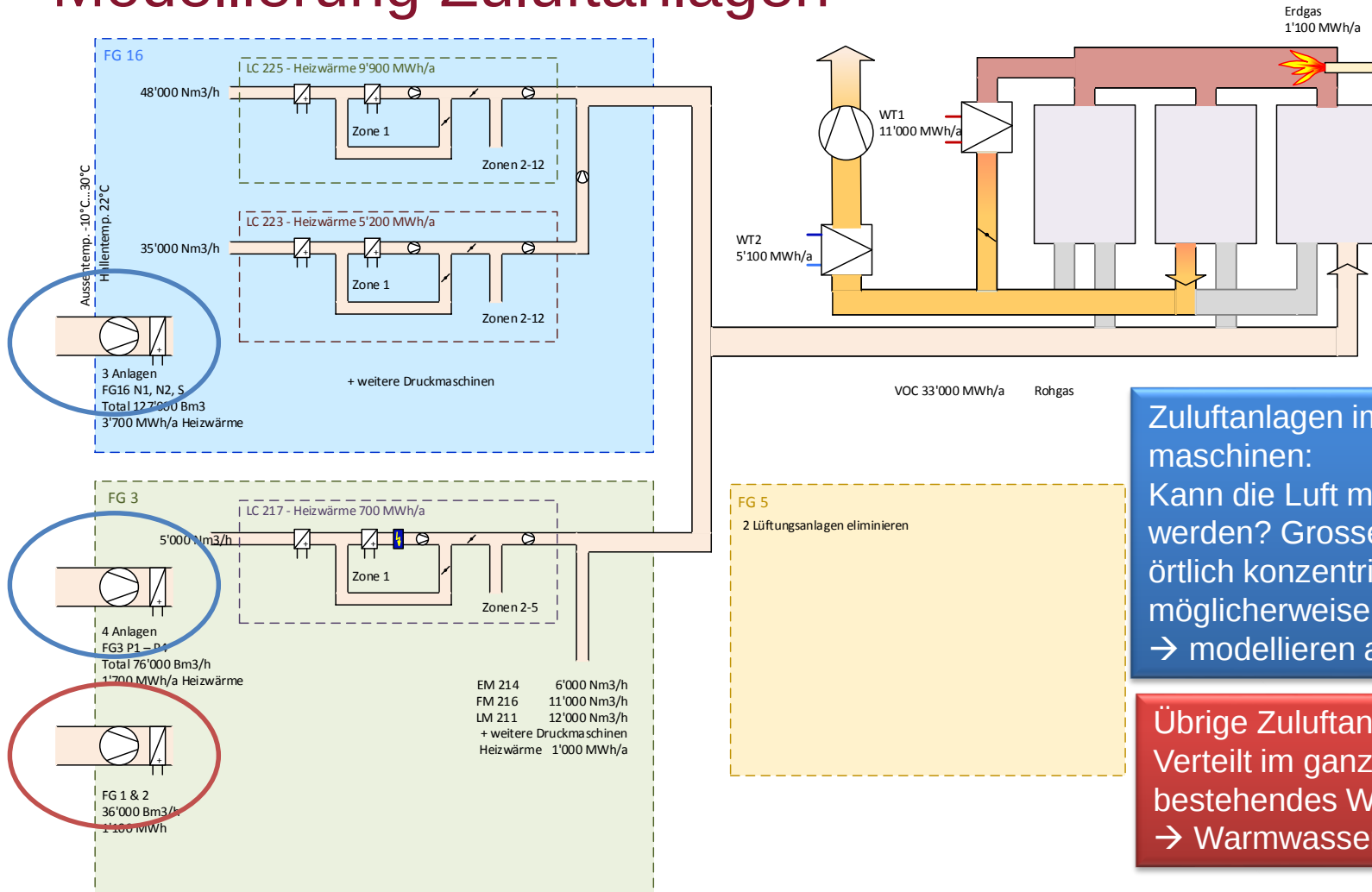
Für eine vollständige Modellierung wird von jedem Strom die Starttemperatur, Endtemperatur und der Massenfluss benötigt. Zudem die Betriebsdauer für jeden Operating Case.

Inhaltübersicht

Zusammenfassung

1. Ausgangslage
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
3. Grundlagen / Sankey
4. Pinch Modellierung Thermoreaktor
5. Pinch Modellierung Druckmaschinen
- 6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen**
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. Zusammenfassung der Resultate

Modellierung Zuluftanlagen



Zuluftanlagen im Bereich der Druckmaschinen:

Kann die Luft mit Abwärme vorgewärmt werden? Grosse Luftmengen, Anlagen örtlich konzentriert. Investition lohnt sich möglicherweise.

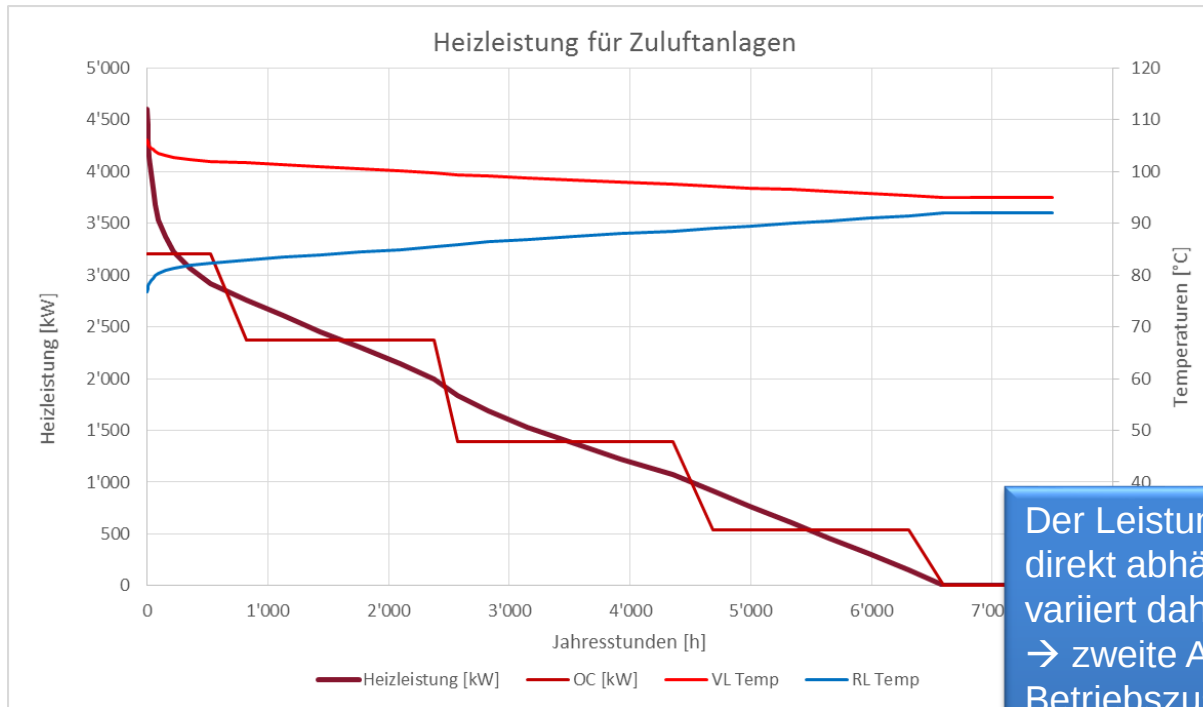
→ modellieren als kalten Luftstrom

Übrige Zuluftanlagen:

Verteilt im ganzen Areal. Weiterhin über bestehendes Warmwassernetz heizen.

→ Warmwasserstrom modellieren

Modellierung Zuluftanlagen



Der Leistungsbedarf zum Aufheizen der Aussenluft ist direkt abhängig von der Aussentemperatur und variiert daher über ein Kalenderjahr sehr stark.
→ zweite Abhängigkeit, zusätzlich zu den Betriebszuständen der RNV.

Modellierung in vier Leistungsstufen je nach Aussentemperatur. Auch die Vor- und Rücklauftemperaturen im Warmwassernetz hängen von der Aussentemperatur ab.

Modellierung Zuluftanlagen

Vereinfachung:

RNV auf zwei Zustände reduzieren

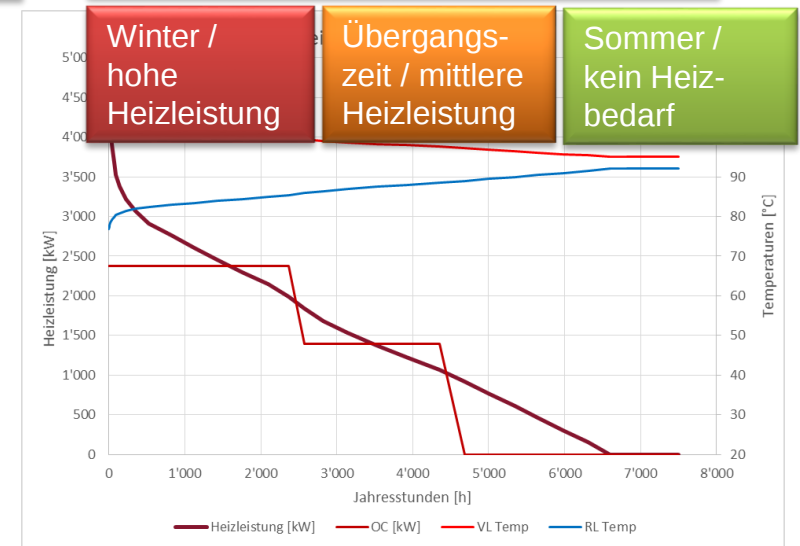
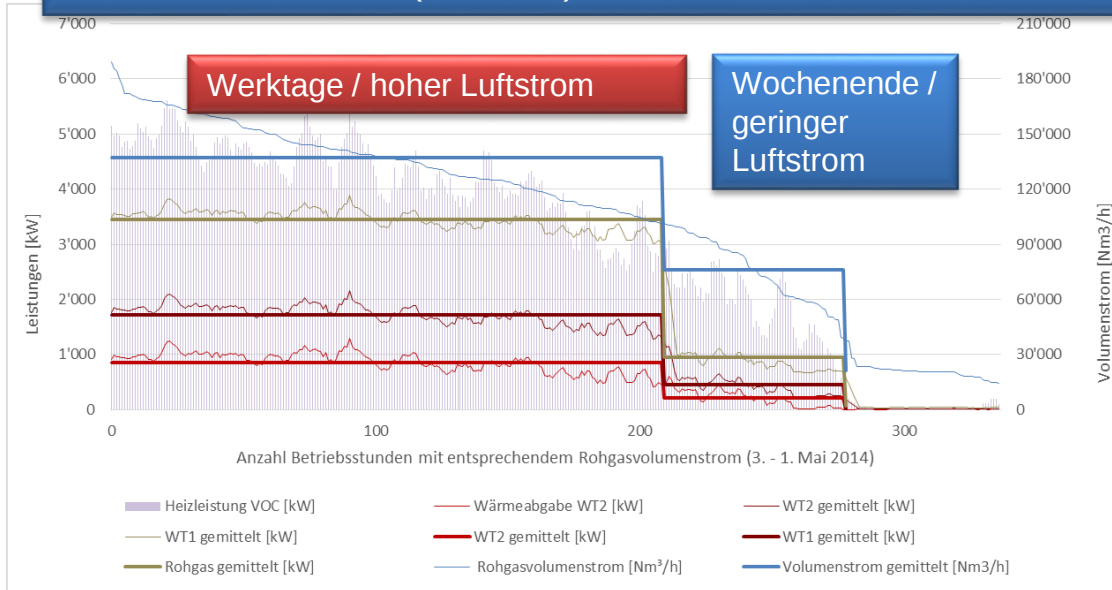
1. Hoher Luftstrom (Werktage)
2. Niedriger Luftstrom (Wochenende mit reduziertem Betrieb)

Zuluft auf drei Zustände reduzieren

1. Hohe Heizleistung (Winter)
2. Mittlere Heizleistung (Übergangszeit)
3. Kein Heizbedarf (Sommer)

Total 6 Betriebszustände

Werktag, Winter
Werktag, Übergangszeit
Werktag, Sommer
Wochenende, Winter
Wochenende, Übergangszeit
Wochenende, Sommer



Modellierung Zuluftanlagen

Anlage	Prozess	Stoff	spez. Wärme- kapazität [kJ/(kg.K)]	Menge	Temperatur	Soft	Massenfluss	Leistung	Betriebs- zeit	Jahres- verbrauch	AWN- Potenzial	Bemerkungen		
Erweiterung gegenüber erster PinCH-Modellierung: Wärmebedarf der Zuluftanlagen berücksichtigt.														
Weitere Ströme:														
- Abwärme Druckluftkompressoren (als Wasserstrom modelliert) - Abgaswärme Thermoöl-Kessel (als Luftstrom modelliert) - Abgaswärme Warmwasser-Kessel (als Luftstrom modelliert)														
Abhängig vom Betrieb der Druckmaschinen														
RNV	Rohgas	Luft	1.01	140'000 Nm3/h	60	120	x	91'590	25.44	1'539	1'700	2'616		
RNV	Bypass	Luft	1.01	7'300 Nm3/h	856	22	x	5'160	1.433	1'205	1'700		2'048	Temperatur nach WT1 257°C
RNV	Reingas unten	Luft	1.01	132'700 Nm3/h	92	22	x	91'590	25.44	1'795	1'700		3'052	Austrittstemperatur heute 94°C
Thermoölsystem	Heizung Druckwerke	Thermoöl	2.56	219 m3/h	276	283		241'543	67.095	1'200	1'700	2'040		
Heisswasser	Heizung Druckwerke	Wasser	4.19	51 m3/h	86	97		32'047	8.90	410	1'700	697		RL-Temperatur abgesenkt (BO Heizgruppe LC223)
Druckluft-Abwärme	Wasserkühlung	Wasser	4.19	3 m3/h	70	55	x	4'047	1.124	71	1'700		120	Laufzeit eigentlich 2'500 h; gekürzt um weitere OC zu vermeiden. Bei allfälliger Massnahmenberechnung berücksichtigen.
Thermoölkessel	Abgaswärme	Luft	1.01	1'100 Nm3/h	300	10	x	1'419	0.394	115	1'700		196	Feuchte 124 g/kg, ergibt 251 kW Leistung (mit Kondensation); zeitgleich mit Schwachlast der RNV modellieren
Aussentemperaturabhängige Ströme														
Heizleistung hoch														
Zuluftanlagen	Aussenluft zu Druckmaschinen	Luft	1.01	203'000 Bm3/h	3	18		252'617	70.17	1'061	2'400	2'546		
Heisswasser	Heizung Zuluft	Wasser	4.19	46 m3/h	75	90		46'349	12.87	809	2'400	1'941		Leistung abgemindert um Heizleistung AUL Druckmaschinen und um 1'900 MWh x 67% für BO FG5 VL abgesenkt auf 90°C, RL auf 75°C
WW-Kessel	Abgaswärme	Luft	1.01	33'000 Nm3/h	152	10	x	2'193	0.61	88	2'400	210		Feuchte 124 g/kg, ergibt 278 kW (mit Kondensation), kann 2'400 h durchgehend modelliert werden
Heizleistung mittel														
Zuluftanlagen	Aussenluft zu Druckmaschinen	Luft	1.01	33'000 Nm3/h	9	18		252'617	70.17	637	2'000	1'273		
Heisswasser	Heizung Zuluft	Wasser	4.19	26 m3/h	75	90		25'789	7.16	450	2'000	900		Leistung abgemindert um Heizleistung AUL Druckmaschinen und um 1'900 MWh x 33% für BO FG5 VL abgesenkt auf 90°C, RL auf 75°C
WW-Kessel	Abgaswärme	Luft	1.01	1'350 Nm3/h	137	10	x	1'742	0.48	62	2'000	125		Feuchte 124 g/kg, ergibt 210 kW (mit Kondensation)
Total														

Erweiterung gegenüber erster PinCH-Modellierung:
Wärmebedarf der Zuluftanlagen berücksichtigt.

Weitere Ströme:

- Abwärme Druckluftkompressoren (als Wasserstrom modelliert)
- Abgaswärme Thermoöl-Kessel (als Luftstrom modelliert)
- Abgaswärme Warmwasser-Kessel (als Luftstrom modelliert)

Abhängig vom
Betrieb der
Druckmaschinen

Abhängig von der
Aussentemperatur

Inhaltübersicht

Zusammenfassung

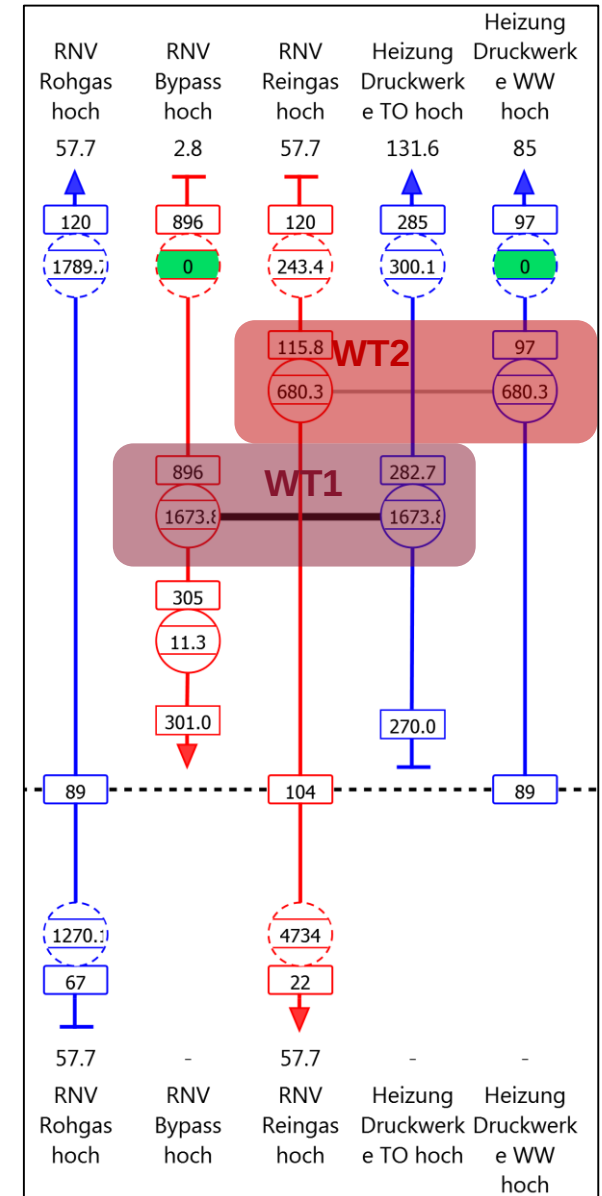
1. Ausgangslage
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
3. Grundlagen / Sankey
4. Pinch Modellierung Thermoreaktor
5. Pinch Modellierung Druckmaschinen
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
- 7. Analyse mit PinCH-Tool**
8. Zusammenfassung der Resultate

Analyse Thermoreaktor (RNV)

Die bestehenden Wärmetauscher WT1 und WT2 können mit dem PinCH-Tool verifiziert werden. Die mit dem Tool berechneten Leistungen und Energiemengen stimmen mit den über Wärmezähler erfassten Werten überein.

Erkenntnisse:

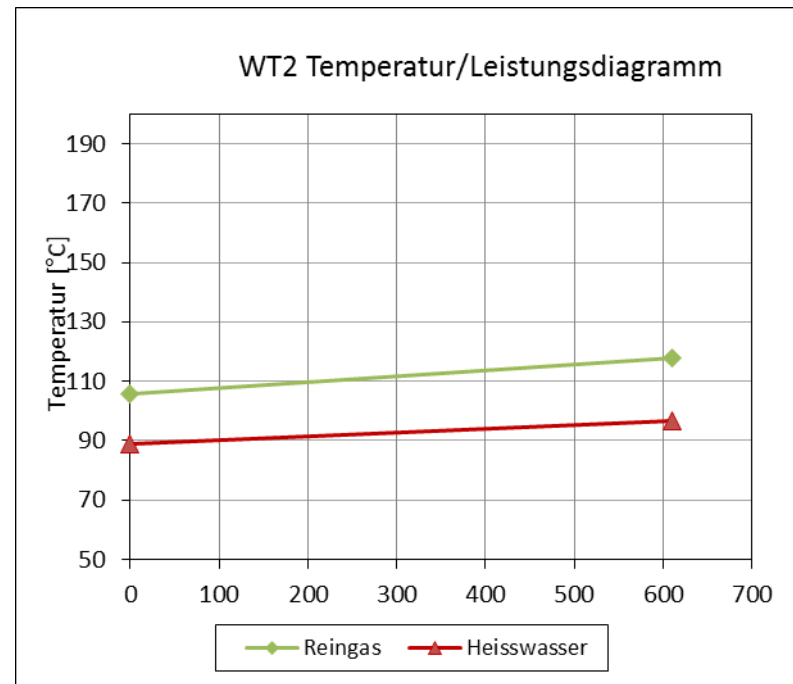
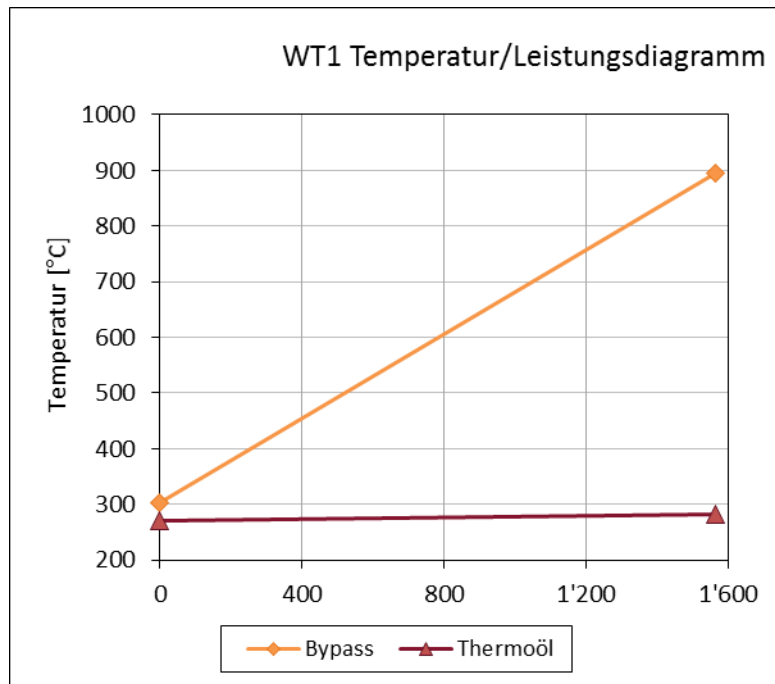
- WT1 ist mit heutigen Wirtschaftlichkeitskriterien um 40% überdimensioniert. D.h. mit 40% weniger Fläche könnten 96% der Energie übertragen werden.
→ WT1 ist in Ordnung, so belassen.
- WT2 würde mit heutigen Wirtschaftlichkeitskriterien nicht mehr gebaut. Die Investitionskosten pro kW übertragene Wärme sind 3 x höher als bei WT1.
→ WT2 sollte mit tieferen Rücklauftemperaturen betrieben werden.
- Der Luftstrom des Bypass hat am Austritt von WT1 immer noch 300°C und bietet sich an für eine weitere Abwärmenutzung. Nach der Zumischung zum übrigen Reingas beträgt die Mischtemperatur nur noch knapp 120°C, was eigentlich zu niedrig ist für eine kostengünstige Wärmeabgabe an das heutige Heisswassernetz.

 $\dot{H}$ [kW]

Analyse Thermoreaktor (RNV)

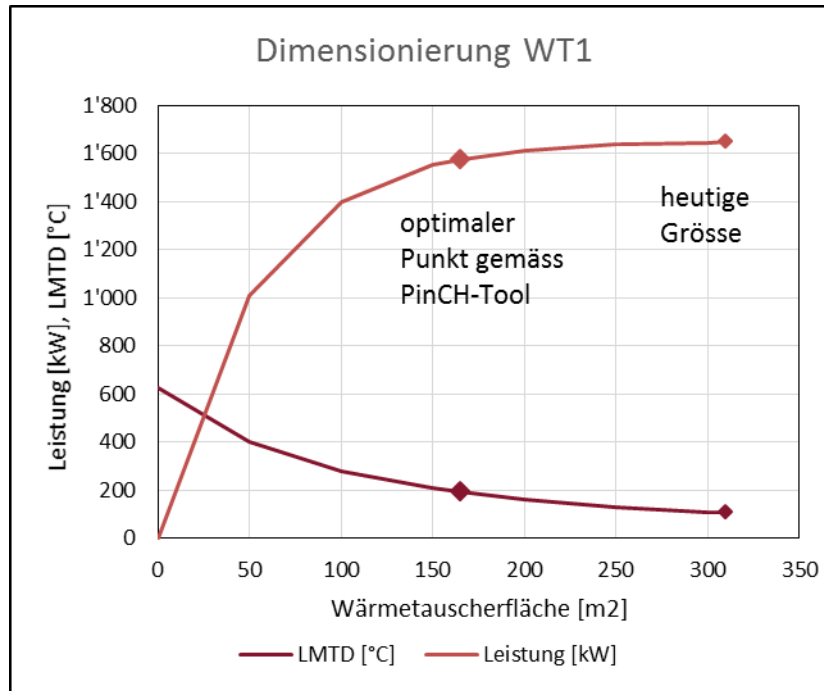
WT1 hat sehr grosse Temperaturdifferenz zwischen abzukühlendem und aufzuheizendem Strom
→ geringer Flächenbedarf, niedrige Kosten, gute Wirtschaftlichkeit

WT2 hat eine (für einen Luft-/Wasser-Wärmetauscher) kleine Temperaturdifferenz zwischen abzukühlendem und aufzuheizendem Strom
→ hoher Flächenbedarf, hohe Kosten, schlechte Wirtschaftlichkeit



Analyse Thermoreaktor (RNV)

Optimale Auslegung für WT1 gemäss PinCH-Tool:
174 m² anstatt der heutigen 310 m².



Pinch-Analyse Gesamtsystem

Daten der verschiedenen Operating Cases mit Separate Design

OC Data ☒ Sep.Design ☐ Conv.Design ☐ Reseq.Design ☐ Optimize																
	Operating Case/ Time Slice	Time Schedule [h]	ΔT_{min} [K]	Pinch T [°C]	Heat Recovery [kW]	Hot Util [kW]	Cold Util [kW]	Area [m²]	Nunits	Yearly Cost [CHF/y]	Operating Cost [CHF/y]	Total Inv. Cost [CHF]	Heat Recovery Inv. Cost [CHF]	HU Inv. Cost [CHF]	CU Inv. Cost [CHF]	ECUs Remaining Inv. Cost [CHF]
	CC OC 1	0 - 1800	78.31	106.2	3'061.4	4'012.7	3'774.6	3'309.18	11	831'725	462'266	1'158'180	1'158'180	0	0	0
	CC OC 2	1800 - 3300	143.96	81.0	1'969.5	4'318.8	4'798.3	2'851.36	10	513'150	414'604	308'922	308'922	0	0	0
	CC OC 3	3300 - 5200	43.58	88.8	2'081.8	3'116.1	4'476.3	2'747.87	7	471'877	378'923	291'393	291'393	0	0	0
	CC OC 4	5200 - 5800	94.85	50.4	1'240.2	3'795.1	2'375.8	1'936.27	13	421'297	145'733	863'836	863'836			
	CC OC 5	5800 - 6300	295.25	156.6	801.4	3'448.2	2'746.5	1'630.05	11	175'543	110'343	204'390	204'390			
	CC OC 6	6300 - 6900	240.11	180.1	807.4	2'351.9	2'530.9	1'449.91	8	126'200	90'312	112'500	112'500			
	SeparateDesign				-	-	-	13'924.64	60	2'539'793	1'602'181	2'939'221	2'939'221			
	ConventionalDesign				-	-	-	4'651.85	10	2'485'847	1'602'181	2'770'112				
	ResequenceDesign				-	-	-	0.00	0	0	0	0				

OC1: Werktag, Wint

OC2: Werktag, Über

OC3: Werktag, Som

OC4: Wochenende,

OC5: Wochenende,

OC1: Werktag, Winter
OC2: Werktag, Übergangszeit
OC3: Werktag, Sommer
OC4: Wochenende, Winter
OC5: Wochenende, Übergangszeit
OC6: Wochenende, Sommer

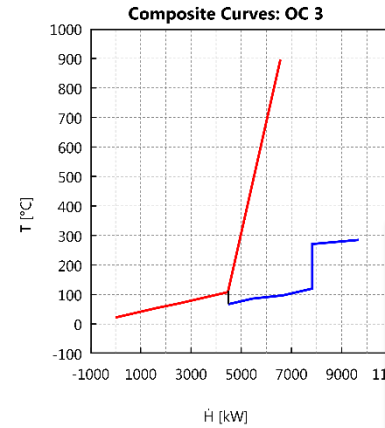
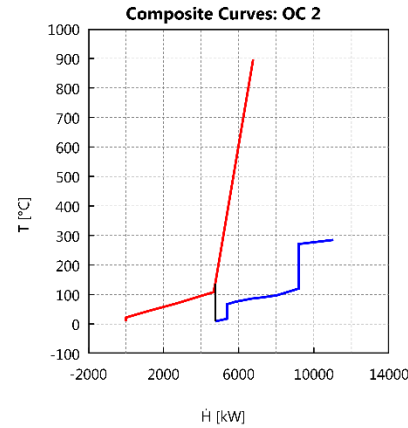
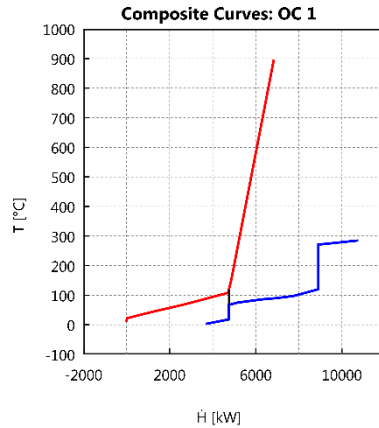
Daten der verschiedenen Operating Cases mit Conventional Design

Dank Mehrfachnutzung der Wärmetauscher in verschiedenen OC ergeben sich tiefere ΔT_{min} und höhere Einsparpotenziale.

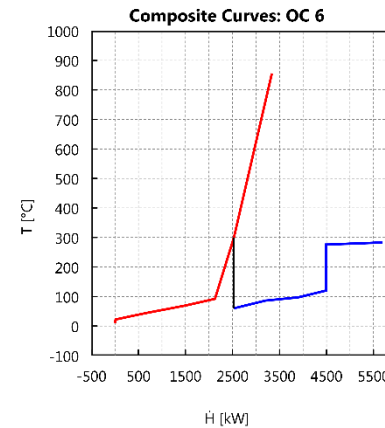
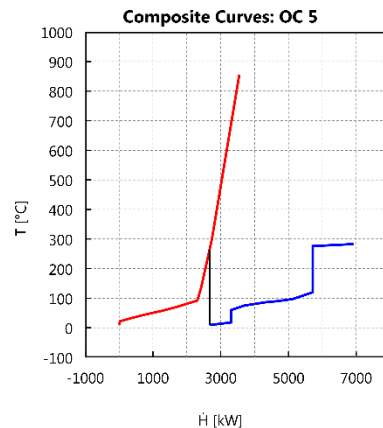
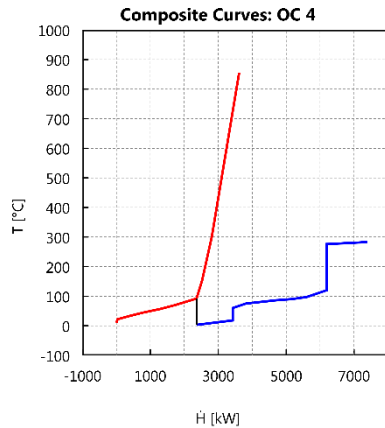
OC Data ☐ Sep.Design ☒ Conv.Design ☐ Reseq.Design ☐ Optimize																	
		Operating Case/ Time Slice	Time Schedule [h]	ΔTmin [K]	Pinch T [°C]	Heat Recovery [kW]	Hot Util [kW]	Cold Util [kW]	Area [m²]	Nunits	Yearly Cost [CHF/y]	Operating Cost [CHF/y]	Total Inv. Cost [CHF]	Heat Recovery Inv. Cost [CHF]	HU Inv. Cost [CHF]	CU Inv. Cost [CHF]	ECUs Remaining Inv. Cost [CHF]
		CC OC 1	0 - 1800	52.06	93.0	3'150.7	3'923.4	3'685.2	3'350.38								
		CC OC 2	1800 - 3300	128.02	73.0	2'011.7	4'276.5	4'756.1	2'853.88								
		CC OC 3	3300 - 5200	46.23	90.1	2'074.8	3'123.2	4'483.4	2'743.38								
		CC OC 4	5200 - 5800	89.07	47.5	1'255.8	3'779.6	2'360.2	1'936.37								
		CC OC 5	5800 - 6300	254.47	136.2	878.3	3'371.2	2'669.5	1'630.83								
		CC OC 6	6300 - 6900	240.11	180.1	807.4	2'351.9	2'530.9	1'449.91								
		SeparateDesign				-	-	-	13'924.64	60	2'539'793	1'602'181	2'939'221	2'939'221	0	0	0
		ConventionalDesign				-	-	-	4'717.35	10	2'478'110	1'585'628	2'797'749				
		ResequenceDesign				-	-	-	0.00	0	0	0	0				

Pinch-Analyse Gesamtsystem

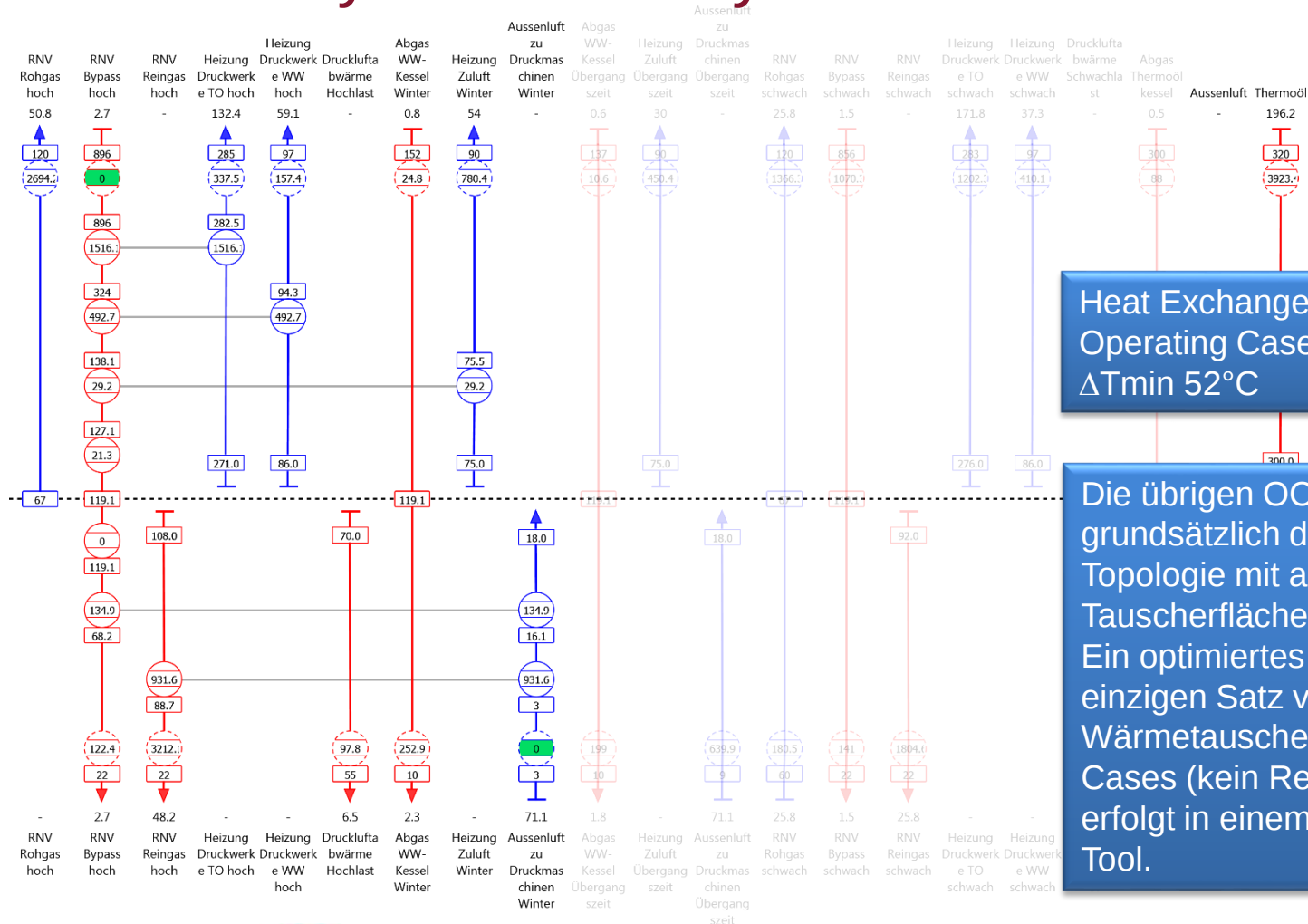
Composite Curves für die sechs Operation Cases



OC1: Werktag, Winter
OC2: Werktag, Übergangszeit
OC3: Werktag, Sommer
OC4: Wochenende, Winter
OC5: Wochenende, Übergangszeit
OC6: Wochenende, Sommer



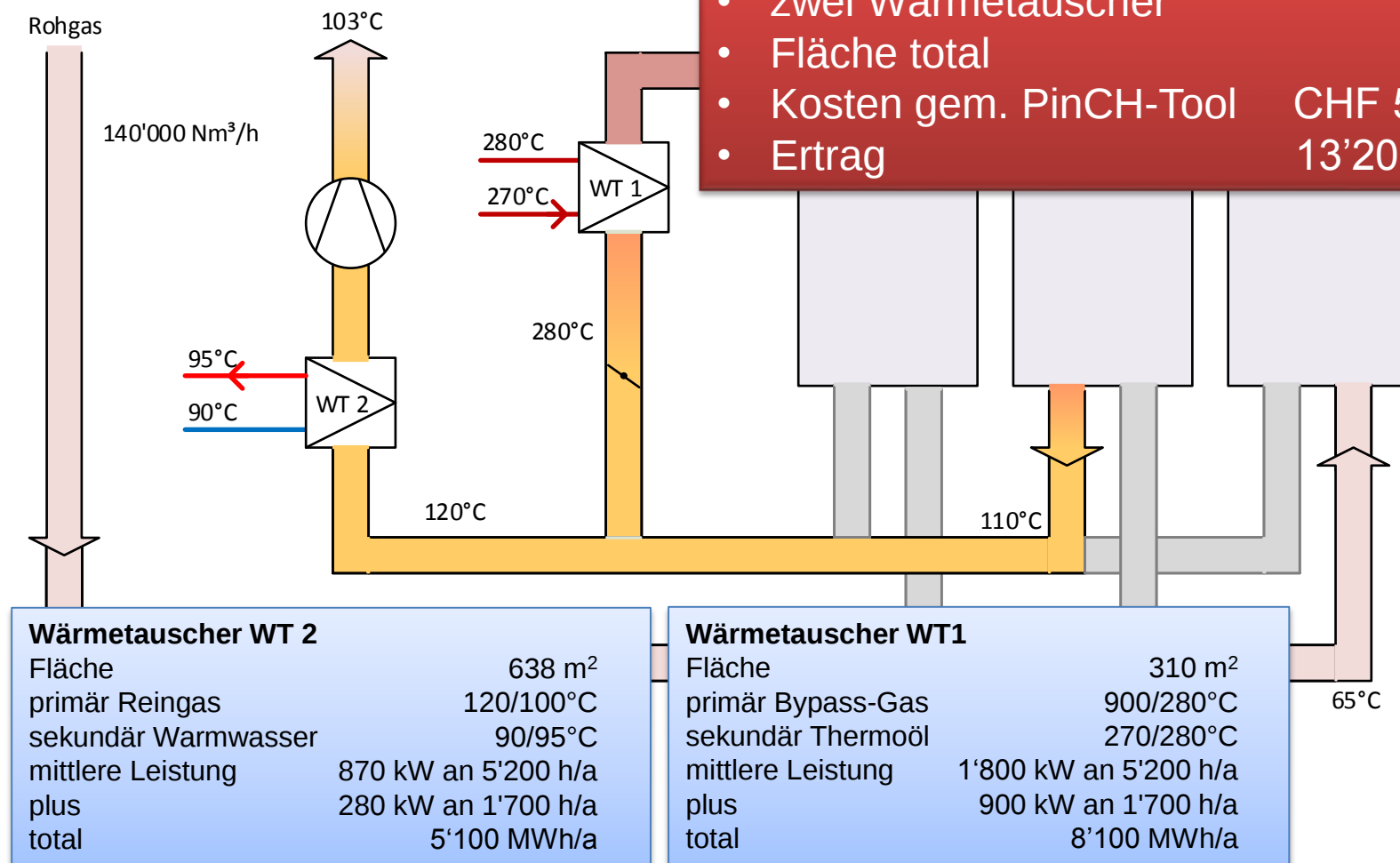
Pinch-Analyse Gesamtsystem



Heat Exchanger Network für
Operating Case 1, Werktag, Winter
 $\Delta T_{min} 52^{\circ}C$

Die übrigen OC ergeben
grundsätzlich die gleiche HEX-
Topologie mit anderen
Tauscherflächen und Leistungen.
Ein optimiertes Design für einen
einzigsten Satz von
Wärmetauschern für alle Operating
Cases (kein Resequencing-Design)
erfolgt in einem separaten Excel-
Tool.

Resultate Pinch-Analyse



Resultate Pinch-Analyse

Erster Optimierungsschritt: Rücklauftemperaturen im Warmwasser absenken.

Ertrag WT2 steigt um	800 MWh
WT1 unverändert	
Ertrag total	14'000 MWh

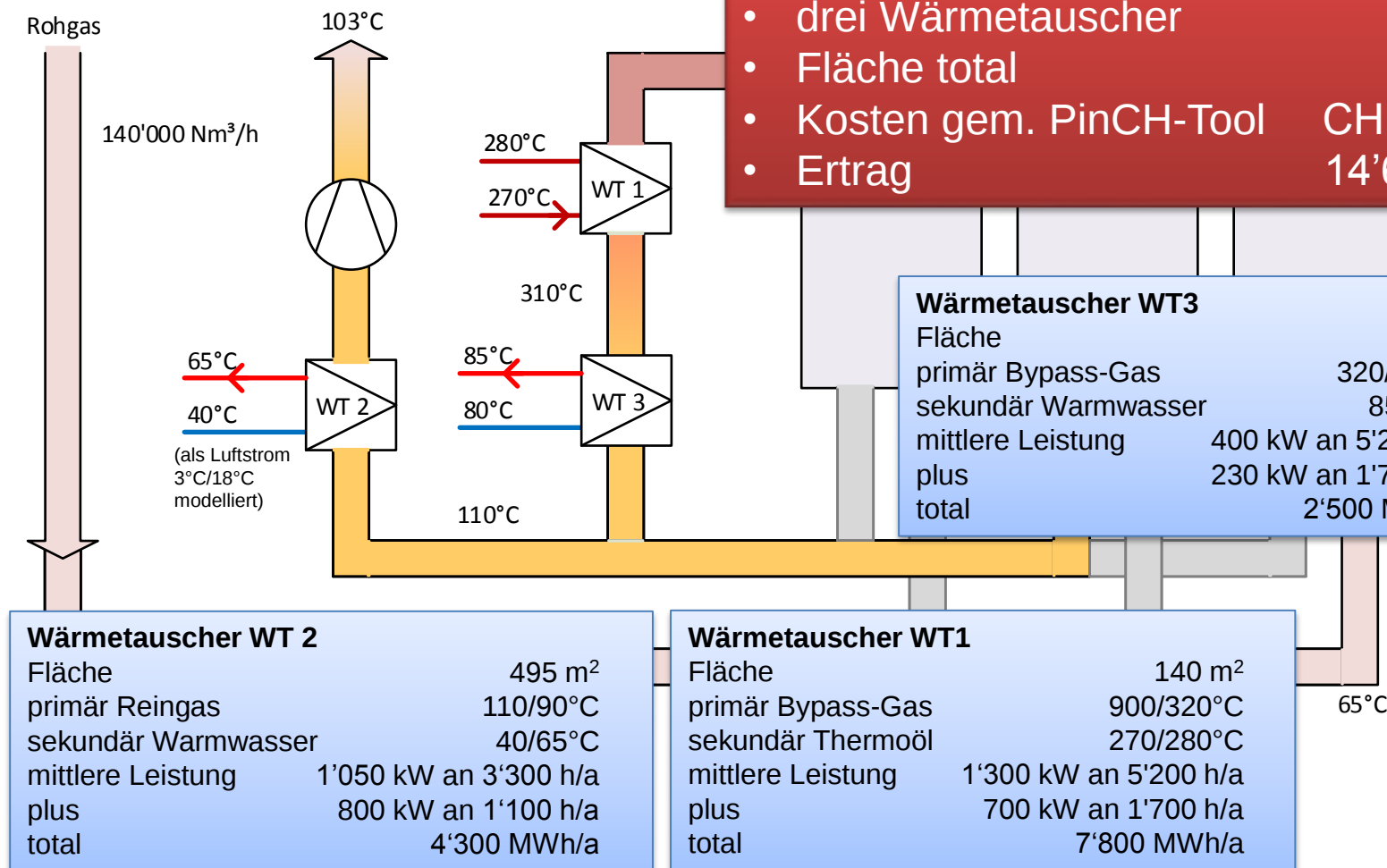
Wärmetauscher WT 2

Fläche	638 m ²
primär Reingas	120/100°C
sekundär Warmwasser	85/90°C
mittlere Leistung	1'000 kW an 5'200 h/a
plus	390 kW an 1'700 h/a
total	5'900 MWh/a

Wärmetauscher WT1

Fläche	310 m ²
primär Bypass-Gas	900/280°C
sekundär Thermoöl	270/280°C
mittlere Leistung	1'800 kW an 5'200 h/a
plus	900 kW an 1'700 h/a
total	8'100 MWh/a

Resultate Pinch-Analyse



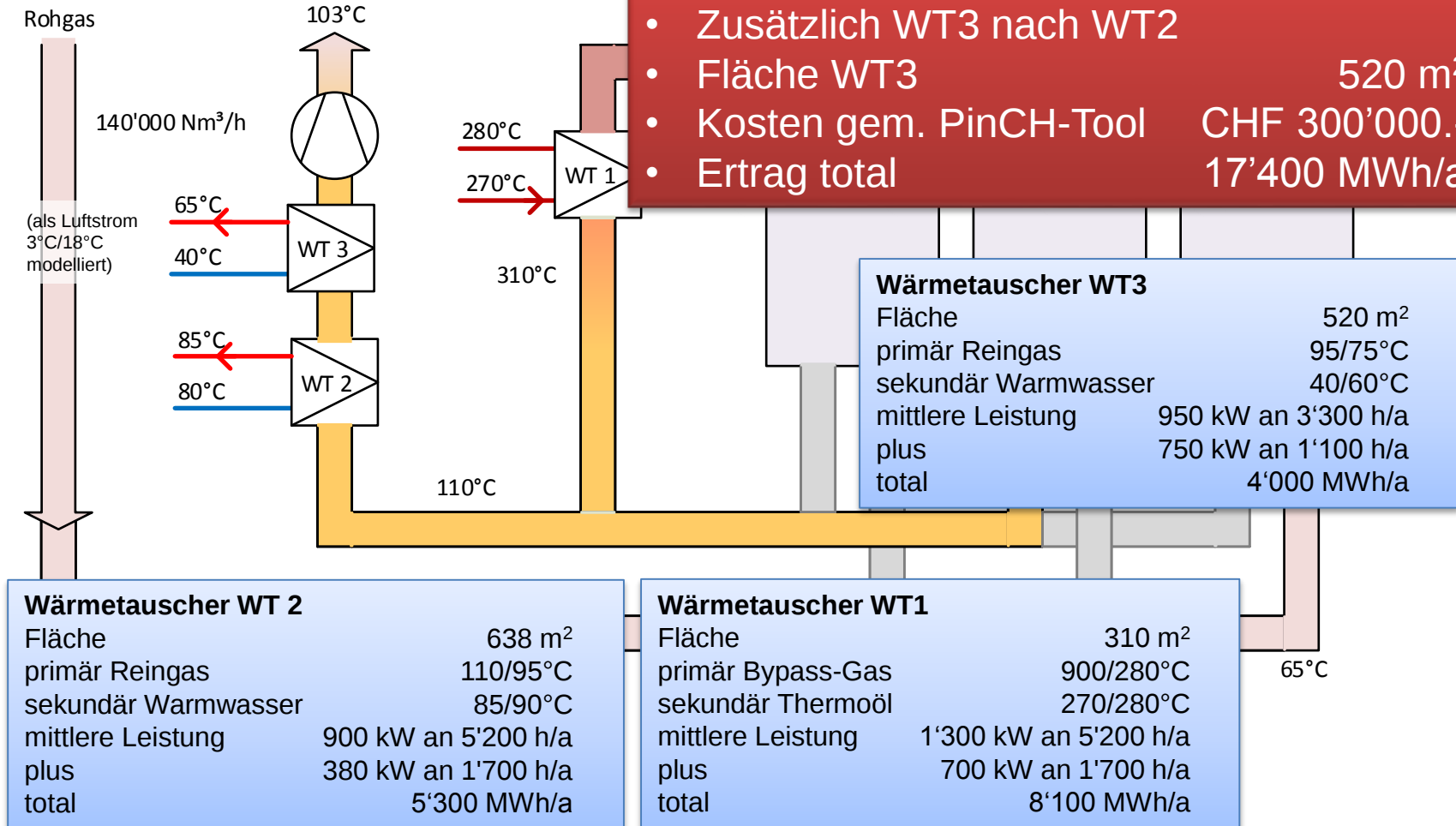
Optimale AWN gemäss Pinch-Methode:
(bestehende Wärmetauscher für Analyse eliminieren)

- drei Wärmetauscher
- Fläche total 730 m²
- Kosten gem. PinCH-Tool CHF 500'000.-
- Ertrag 14'600 MWh/a

Resultate Pinch-Analyse

Optimale AWN unter Weiterverwendung der heutigen WT1 und WT2:

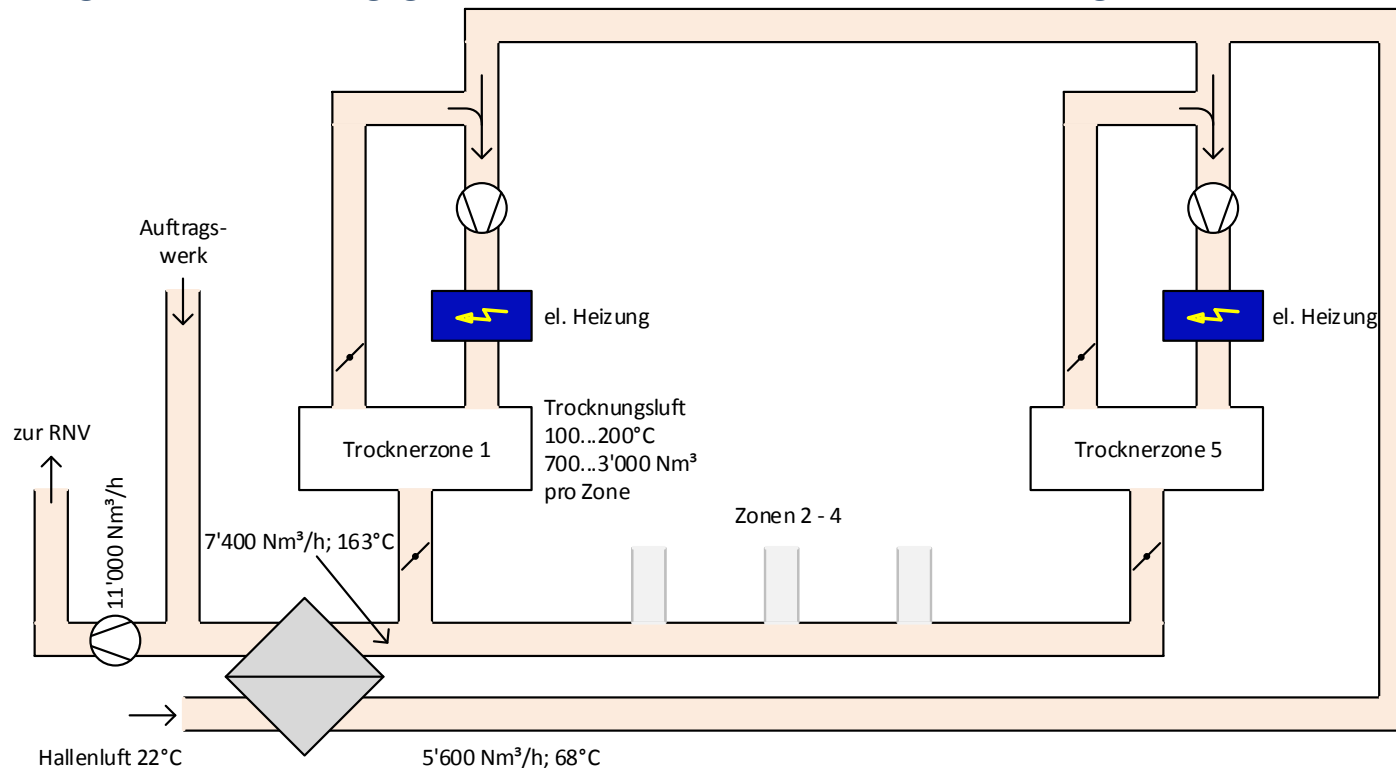
- Zusätzlich WT3 nach WT2
- Fläche WT3 520 m²
- Kosten gem. PinCH-Tool CHF 300'000.-
- Ertrag total 17'400 MWh/a



Resultate Pinch-Analyse

Für elektrisch beheizte Druckmaschinen mit kontrollierter Frischluftzufuhr lohnt sich die Installation einer dezentralen Wärmerückgewinnung.

Die Umsetzung ist unabhängig von anderen Massnahmen möglich!



Inhaltübersicht

Zusammenfassung

1. Ausgangslage
2. Resultate der einzelnen Arbeitspakete
3. Grundlagen / Sankey
4. Pinch Modellierung Druckmaschinen
5. Pinch Modellierung Thermoreaktor
6. Pinch Modellierung Zuluftanlagen
7. Analyse mit PinCH-Tool
8. **Zusammenfassung der Resultate**

Energieverbrauch 2013 Einsparpotenzial [%]

• Elektrizität	20'195 MWh	1'886 MWh	9 %
• Erdgas	17'252 MWh	15'462 MWh	90 %
• Kosten	3'507 kCHF	1'168 kCHF	33 %
• CO ₂ -Emissionen	3'484 t	3'123 t	90 %

30 Massnahmen Investition = CHF 2.1 Mio

Payback = 1.8 Jahre

CO₂-Emissionsfaktoren / Preise:

- Elektrizität CH-Verbrauchsmix	= 0 kg/MWh	11.5 Rp./kWh
- Erdgas	= 202 kg/MWh	6.2 Rp./kWh

Zusammenfassung Resultate

Massnahme	Investition [CHF]	Einsparung Erdgas [MWh _u]	Einsparung Elektrizität [MWh]	Kosten- einsparung [CHF]	Kosten- /Nutzen- verhältnis
Optimierung Wärmeverteilung	58'000.-	1'100	0	67'800.-	0.9 Jahre
Optimierung Lüftungsanlagen	274'000.-	2'562	369	200'200.-	1.4 Jahre
Pinch-Massnahmen	1'216'000.-	11'800	732	810'000.-	1.5 Jahre
Optimierung Elektroverbraucher	87'000.-	-	295	33'800.-	2.6 Jahre
Ersatz elektrische Antriebe	456'400.-	-	490	56'200.-	8.1 Jahre
Total	2'091'400.-	15'462	1'886	1'168'100.-	1.8 Jahre