Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung

In Zusammenarbeit mit der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)

PILOTPHASE PINCH-METHODIK 2006/07

PROJEKT: ZWEIFEL POMY-CHIPS AG

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Pascal Fotsch / Lemon Consult GmbH
Hofstrasse 1, 8032 Zürich
fotsch@lemonconsult.ch, www.lemonconsult.ch

Fachliche Begleitung

Raymond Morand / Helbling Beratung + Bauplanung AG

Figur 1 *Entfetter Linie 1 der Zweifel Pomy-Chips AG*

Impressum

Datum: 30.7.2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie,

Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung Industrie und Dienstleistungen
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00
www.bfe.admin.ch

BFE-Projektleiter: Bereichsleiter, martin.stettler@bfe.admin.ch

Projektnummer: 101775

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch unter EnergieSchweiz - Unternehmen - Prozessintegration PI

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung 3

1. Ausgangslage 4

2. Ziel der Arbeit 5

3. Lösungsweg 6
   3.1. Vorgehen 6

4. Grundlagen 7
   4.1. Prioritätenbildung 7
   4.2. Systemgrenzen / Fokus 8
   4.3. Betriebsfälle 10
   4.4. Datenerhebung 11
   4.5. Leistungs- und Massenbilanzen 12
   4.6. Sankey-Diagramme Prozess Linie 1 13
   4.7. Modellierung und Prozessanforderung 15
   4.8. Wirtschaftlichkeit 18

5. Ergebnisse Pinch-Analyse 19
   5.1. Pinch-Analyse 19
   5.2. MER-Netzwerk für den Betrieb Normal-Chips 20
   5.3. MER-Netzwerk für den Betrieb Cractiv-Chips 22
   5.4. MER-Netzwerk für den Betrieb Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen 23
   5.5. Massnahmen 24

6. Weitere Optimierungsmassnahmen 27
   6.1. Abwärmenutzung (AWN) Fritteusen-Brüden mit K1 & K2 27
   6.2. Entlastung Thermoölkessel durch Auskondensation (Trocknung) Brüde 29
   6.3. Energetischer Güteunterschied zwischen Linie 1 und Linie 2 32
   6.4. Energetischer Güteunterschied zwischen Normal-Chips und Cractiv-Chips 33
   6.5. Einsatz Biogas aus BARA 33
   6.6. Qualität der Drucklufterzeugung 34
   6.7. Einfluss Klappenstellung bei der Brüdenfassung Fritteuse 35

7. Resultate / Einsparungen 36

8. Empfehlung / Weiteres Vorgehen 37
8.1. Grundsatz 37
8.2. Vorgehen und Prioritätenbildung 37

9. Schlussfolgerungen 38

10. Referenzen 40

11. Anhang 41
11.1. Messungen 41
11.2. Resultate PinchLENI 42
11.3. Berechnungen Energieströme 45
11.4. Wirtschaftlichkeit 58
11.5. Energiediagramme 64
11.6. Fotos 68

Zusammenfassung

Anhand der prozessintegrativen Pinch-Analyse wurde in der Zweifel Pomy-Chips AG das vorhandene Energiesparpotential ermittelt. Dabei ist in Absprache mit der Firma der Fokus der Untersuchung auf die Frittier-Linie 1 gelegt worden. Insbesondere deshalb, weil dieser Prozess rund 64% des gesamten Wärmekonsums von 16'000 MWh ausmacht und die zweite bestehende Produktionslinie in Zukunft durch eine Neuanlage ersetzt wird.

Die untersuchten Betriebsfälle decken das gesamte Produktionsspektrum ab, damit die künftigen Massnahmen technisch und wirtschaftlich optimal funktionieren können. In der Anlagemodellierung wurden diejenigen Anlageteile, welche nicht wegzudenken sind, als feste Elemente angenommen. Die restlichen Elemente wurden durch die Methode bewusst in Frage gestellt, verändert oder ergänzt.

Die Untersuchung mit der Pinch-Methode und anschliessende Machbarkeitsprüfung der Massnahmen hat folgende Resultate generiert:

- Das Wärmepotential in den Rauchgasen ist so gross, dass bis auf den eigentlichen Frittierprozess sämtliche im Prozess vorhandenen Wärmesenken gedeckt werden könnten.

- Die heute vorhandene Brüdenvorwärmung mit Hilfe des Rauchgaswärmetauschers ist richtig konzipiert. Die vorhandenen Rauchgastemperaturen würden einen weiteren Temperaturhub zulassen. Aufgrund der engen Platzverhältnisse und der schlechten Wirtschaftlichkeit wird eine Leistungserhöhung nicht empfohlen.

- Der Einbau einer Verbrennungsluftvorwärmung und Nachspeiseoel-Vorwärmung mittels Rauchgaswärmetauscher ist prioritär bei der Planung der neuen Linie 2 zu berücksichtigen. Die Ergänzung der bestehenden Linie 1 ist mit 2. Priorität zu behandeln.

- Die ebenfalls nach Pinch-Methode resultierenden Tauschersysteme zwischen Rauchgasen und Entfetterlinie werden wegen betrieblichen Bedenken der Produktionsleitung für die Linie 1 nicht weiterverfolgt.

Unabhängig der einschränkenden Rahmenbedingungen für die Optimierung der Prozesslinie 1 sollen die gewonnen Erkenntnisse der Untersuchung beim Neudesign der Linie 2 unbedingt einbezogen werden.

Bei der Umsetzung der lohnenswerten Pinch-Massnahmen in Ergänzung mit weiteren Optimierungsmöglichkeiten zu Gesamtkosten von CHF 814'000.- resultiert eine Einsparung von 1'780 MWh fossiler Energie, also 11% des Gesamtbedarfes, und 96 MWh elektrischer Energie. Dabei würden jährlich 353 Tonnen CO_2 eingespart. Die Pay-Back-Zeit beläuft sich dabei auf gute 4.7 Jahre.

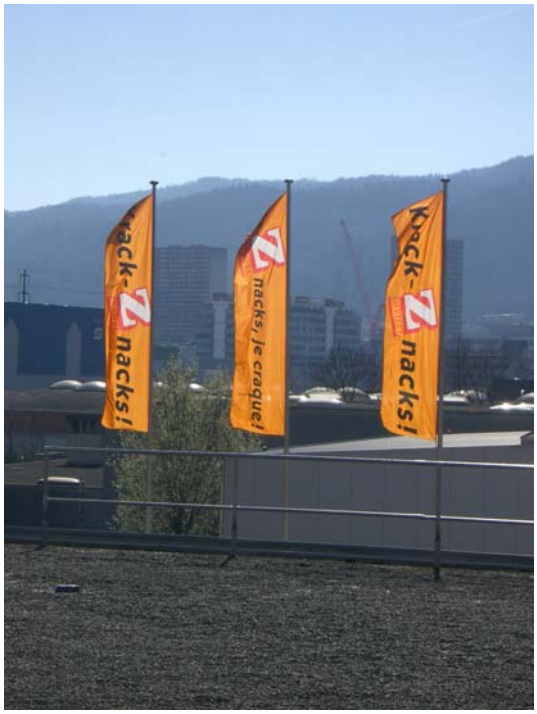
Die Analyse liefert somit elementare Bausteine, um die Zielsetzungen für eine CO_2-Abgabenbefreiung der Zweifel Pomy-Chips zu erreichen.

1. Ausgangslage

Die Pinch-Methode ist ein Prozessintegrationswerkzeug, welches bei der energetischen Verbesserung von energieintensiven thermischen Prozesssystemen zum Einsatz gelangt. Durch die Erfassung der warmen und kalten Prozessströme und geschickter Platzierung von Wärmeübertragern (Pinch-Point) innerhalb des Prozesssystems lässt sich der thermische Leistungsbedarf und Energieinput in Prozessanlagen systematisch minimieren. Die Pinch-Methode ist dort angezeigt, wo energieintensive und massenintensive Produkte mit hohem Energiekostenanteil in kontinuierlichen Prozessen produziert werden. In der Regel lässt sich heute die Prozessintegration mittels Pinch-Methode etwa ab CHF 300'000.-- Energiekosten für rein thermische Energie (Wärme/Kälte) in kurzer Zeit amortisieren.

Das *Bundesamt für Energie (BFE)* und die *Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)* unterstützt im Rahmen eines Pinch-Pilotversuches fünf Projekte, um die Vorzüge aber auch Einsatzgrenzen der Methodik aufzuzeigen. Leitziel ist es, die Methodik kostengünstiger zu gestalten, damit letztendlich auch kleinere Betriebe davon profitieren und die Amortisationszeiten verkürzt werden können.

Die *Zweifel Pomy-Chips AG* (nachfolgend *ZPC* genannt), welche im Fokus dieser vorliegenden Untersuchung steht, ist mit rund CHF 3'300'000.-- Energiekosten pro Jahr ein für die Pinch-Methode interessantes Unternehmen. Insbesondere deshalb, weil ca. 60% davon in Wärmeprozessen eingesetzt werden.



Figur 2 *Zweifel Pomy-Chips AG*

Der Schwerpunkt des Wärmeenergieeinsatzes liegt beim eigentlichen Kernprozess der Firma, dem Frittieren von Kartoffelscheiben zu Pommes-Chips.
Im Werk 1 in Spreitenbach werden heute zwei unterschiedlich aufgebaute Frittierlinien betrieben.

2. Ziel der Arbeit

Mit dem Einsatz der Pinch-Methode sollen der *ZPC* wirtschaftliche Optimierungsmassnahmen aufgezeigt werden, damit einerseits die Gesamtenergieeffizienz und andererseits der CO_2-Ausstoss verbessert werden können. Die Firma will durch die Umsetzung der daraus resultierenden Projekte die mit dem Bund vereinbarten Klimaschutzziele erreichen.

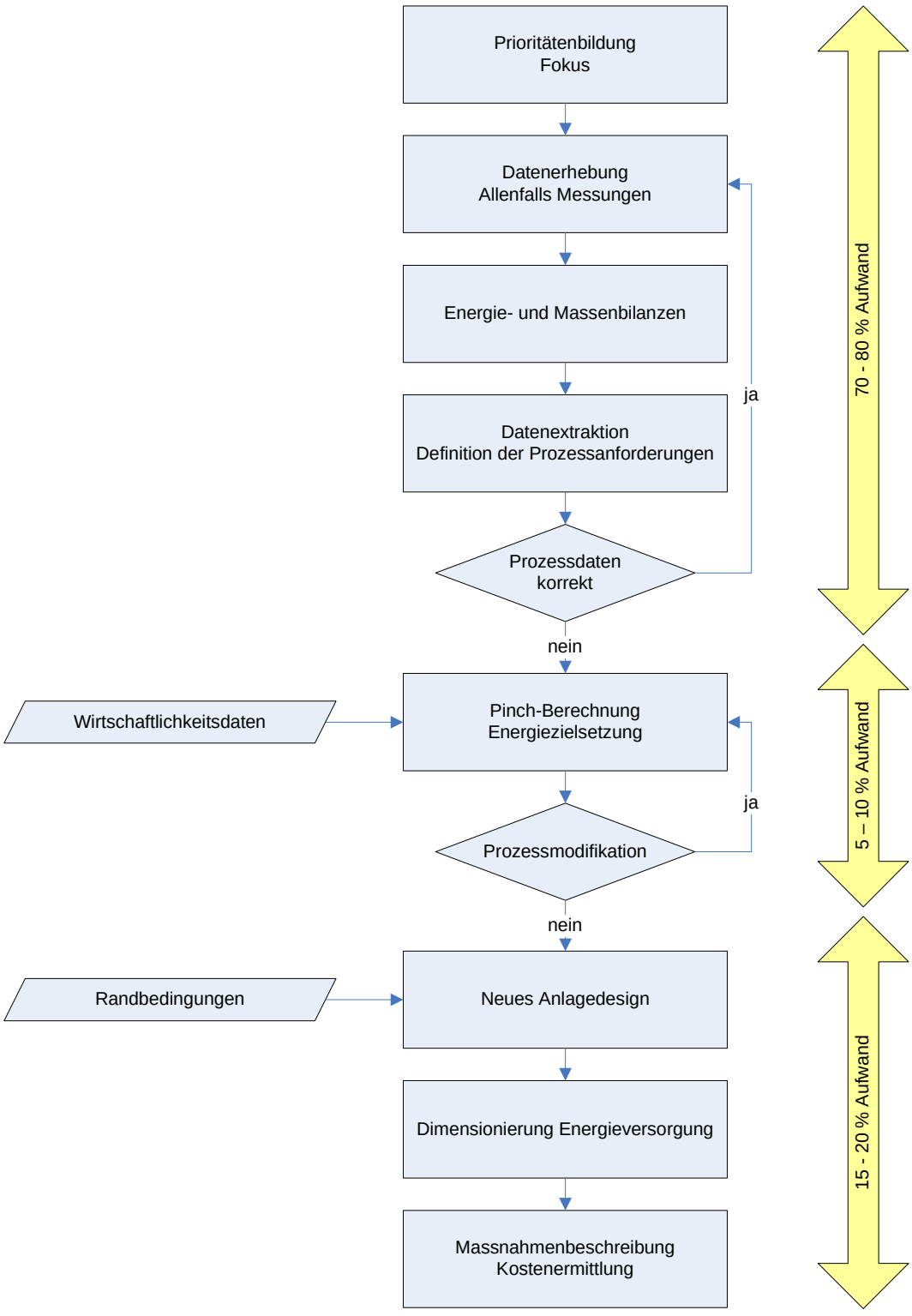
Die Pinch-Methode bildet einen alternativen Weg zur traditionellen Prozessanlayse, welche unter den Ingenieuren weitverbreitet ist. Dabei werden bei der traditionellen Prozessanalyse vielerorts interessante Wärmequellen mit naheliegenden Wärmesenken mit Tauschersystemem verknüpft ohne zu wissen, ob im Prozesssystem aus wirtschaftlich-physikalischer Sicht nicht noch interessantere Verknüpfungen bestehen.

Durch den integrativen und systematischen Ansatz der Pinch-Methode soll dieses Potential herausgeschält werden. In einem weiteren Schritt soll die technische Umsetzbarkeit und der Einfluss auf den heutigen Betrieb aller Vorschläge bewertet werden, damit in der Folge ein entsprechendes Vorgehenspapier erstellt werden kann.

Das Pilotprojekt soll neben den Vorzügen der Methodik auch die Einsatzgrenzen, Hürden und Besonderheiten der Pinch-Analyse aufzeigen, damit der künftige Einsatz optimiert werden kann.

3. Lösungsweg

3.1. Vorgehen

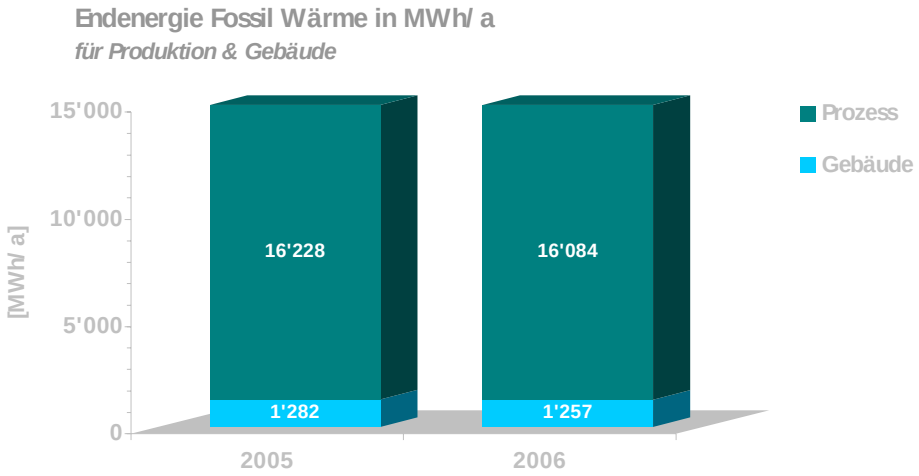


Figur 3 *Wesentliche Schritte der Pinch-Analyse [1]*

4. Grundlagen

4.1. Prioritätenbildung

Bei der Pinch-Methode wird konsequent nach dem Zwiebelschalenprinzip von Innen nach Aussen vorgegangen. Der Prozess steht dabei im Kern der Untersuchung. Danach werden das Wärmetauschernetz, die Wärmespeicherung und erst in einem letzten Schritt die Infrastrukturanlagen (Heizkessel, Kälteanlage, usw.) analysiert.



Figur 4 *Fossiler Energieeinsatz im Werk 1 der ZPC*

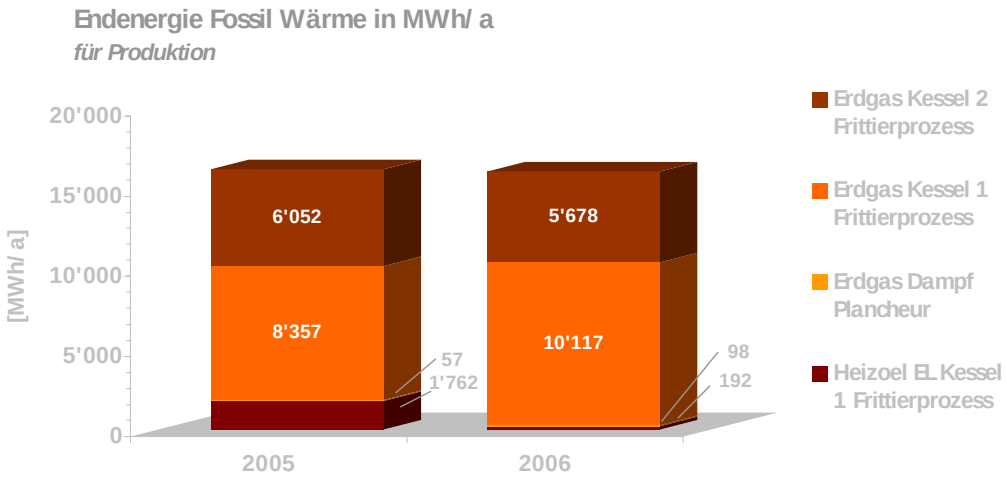
Aufgrund der oben aufgeführten Darstellung lässt sich eine Gewichtung einfach durchführen. Der Heizbetrieb der Gebäude macht weniger als 8% des Wärmeeinsatzes der Prozesse aus. Kälteenergie wird in der *ZPC* bei der Kartoffellagerung und der Raumklimatisierung (Büroflächen) eingesetzt. Diese macht jedoch nur etwas mehr als 1% des Gesamtenergiebedarfes aus.

Bei der Firma *ZPC* bilden die beiden Frittierlinien 1 und 2 mit den Thermoölkesseln die innerste Schicht des Modells. Aufgrund der heutigen Produktionszeiten und den entsprechenden Energieanteilen sowie eines allfälligen Neubaus der Linie 2 wurde gemeinsam mit der *ZPC* entschieden, dass die Produktionslinie 1 im Zentrum der Untersuchung steht. Dies obwohl die Linie 2 pro Kilogramm Output ca. 10 bis 12% mehr Energie verbraucht und dadurch der Bedarf an Optimierung eigentlich grösser ist.

Im Vergleich werden

- ca. 2'340 Stunden pro Jahr auf Linie 1
- ca. 1'090 Stunden pro Jahr auf Linie 2

produziert.



Figur 5 *Fossiler Energieeinsatz für die Prozesse*

Die Erkenntnisse aus der Analyse Linie 1 sollen aber zwingend in die Planung der neuen Linie 2 einfliessen.

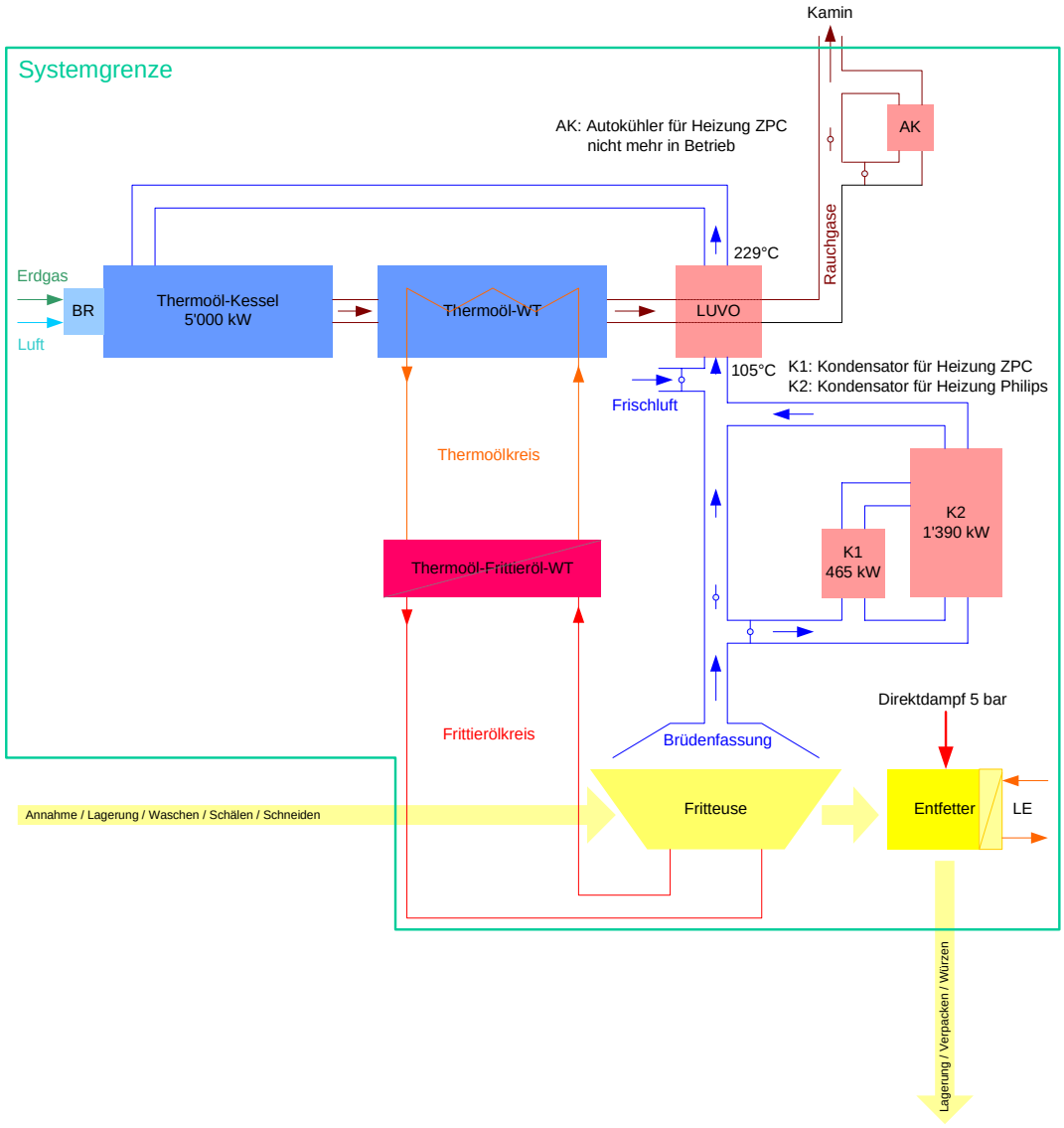
4.2. Systemgrenzen / Fokus

Die Pinch-Analyse wird gemäss obiger Prioritätenbildung über die nachfolgend beschriebene Anlage Linie 1 durchgeführt. Die vorgelagerte Kartoffelaufbereitung (Annahme-Lagerung-Reinigen-Waschen-Schälen-Schneiden) und die nachgelagerte Würzung resp. Verpackung wird nicht betrachtet, da diese Prozesse ohne massgebenden Wärme- und Kältekonsum betrieben werden.

Mit der Linie 1 werden zwei Hauptprodukte produziert. Einerseits werden sogenannte Normal-Chips (35 Gew.-% Ölgehalt) produziert und andererseits Cractiv-Chips (25 Gew.-% Ölgehalt) mit einer in Serie geschalteten Entfetterlinie hergestellt.

Die mittleren stündlichen Produktionsleistungen auf der Linie 1 (Bandwaage Input Fritteuse) betragen:

Normal:	5'000 kg/h
Cractiv:	4'000 kg/h



Figur 6 *Prinzipschema Fritteuse Linie 1 / Fokus der Pinch-Analyse*

Der im Frittierprozess wichtige Thermoölkessel liegt innerhalb der Betrachtungsgrenze, da die öl- und aromastoffhaltigen Brüden aus der Fritteuse infolge Geruchsproblemen in den Thermoölkessel zurückgeführt werden und dort verbrannt werden. Der Kessel wird somit entgegen dem Zwiebelschalenmodell bereits zusammen mit der Kernzone behandelt, da er einen wichtigen Bestandteil des Prozesses darstellt.

Der Entfetter ist nur während der Cractiv-Produktion in Betrieb. Er ist verantwortlich für die Reduktion des Oelgehaltes der Pommes-Chips.

Der LUVO (Luftvorwärmer resp. Brüdenvorwärmer) sorgt für einen Temperaturhub der Brüde von ca. 113°C bis 124°C. Der für die Nachverbrennung nötige Energieaufwand wird so um 275 kW bis 313 kW reduziert (Brüdenstrom mit $\dot{m} = 1.44 \frac{kg}{s}$ und $cp = 1.75 \frac{kJ}{kg \cdot K}$).

Die Kondensatoren K1 und K2 werden vorwiegend zu Raumheizzwecken eingesetzt. K2 versorgt via Fernleitung die Liegenschaften der ehemaligen Philips.

4.3. Betriebsfälle

Die Linie 1 wird grundsätzlich in 8 verschieden Betriebsfällen gefahren:

Normal-Chips

1 ohne Abwärmenutzung K1/K2 mit optimaler Trocknungsluftmenge

2 ohne Abwärmenutzung K1/K2 mit zu grosser Trocknungsluftmenge

3 mit Abwärmenutzung K1/K2 mit optimaler Trocknungsluftmenge

4 mit Abwärmenutzung K1/K2 mit zu grosser Trocknungsluftmenge

Cractiv-Chips

5 ohne Abwärmenutzung K1/K2 mit optimaler Trocknungsluftmenge

6 ohne Abwärmenutzung K1/K2 mit zu grosser Trocknungsluftmenge

7 mit Abwärmenutzung K1/K2 mit optimaler Trocknungsluftmenge

8 mit Abwärmenutzung K1/K2 mit zu grosser Trocknungsluftmenge

Klappe Brüdenfassung Fritteuse „offen“ -> zu grosse Trocknungsluftmenge

Klappe Brüdenfassung Fritteuse „zu“ -> optimale Trocknungsluftmenge

Die Fälle „mit Abwärmenutzung K1/K2“ UND/ODER „mit zu grosser Trocknungsluftmenge“ (2/3/4/6/7/8) werden im Rahmen der Pinch-Analyse ausgeklammert und separat unter Kapitel „Weitere Optimierungsmassnahmen“ abgehandelt.

Für die Pinch-Untersuchung bleiben somit die Fälle 1 und 5 übrig. Um zu verhindern, dass Optimierungsmassnahmen, welche aus der Pinch-Analyse resultieren, sich in den verschiedenen Betriebsfällen negativ beeinflussen, wird für die *ZPC* ein Fall „Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen“ definiert.

A Normal-Chips, ohne Abwärmenutzung, optimale Trocknungsluftmenge

B Cractiv-Chips, ohne Abwärmenutzung, optimale Trocknungsluftmenge

C Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen, ohne Abwärmenutzung, optimale Trockungsluftmenge

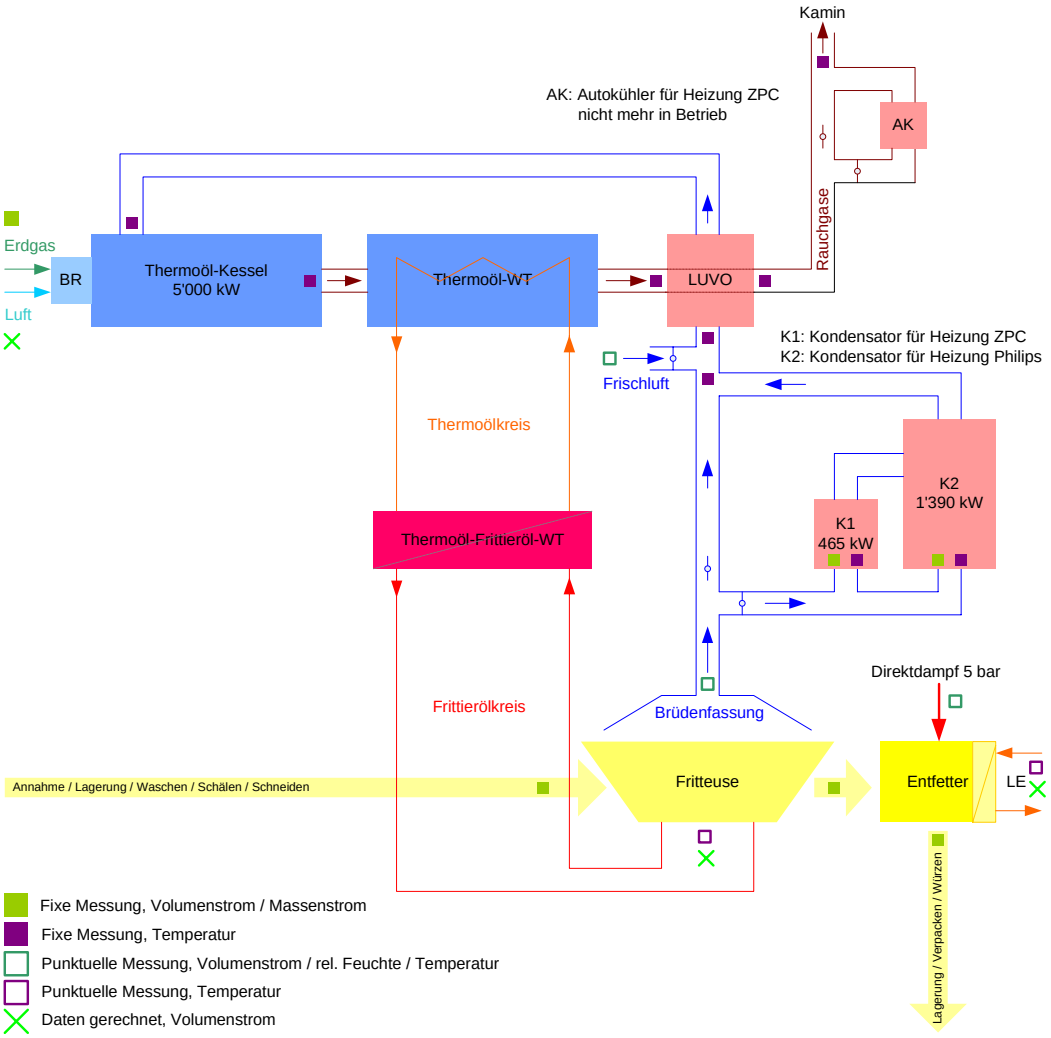
In der Folge werden die Fälle „A-Normal“, „B-Cractiv“ und „C-Normal unter Cractiv“ genannt.

4.4. Datenerhebung

Innerhalb des untersuchten Prozesses liegen folgende Messdaten vor, auf welche sich die Analyse abstützt:

- Gasverbrauch Thermoölkessel stündlich, täglich, monatlich, pro Jahr
- Temperaturen in Fritteuse, Entfetter, Brüden- und Abgasstrom
- Massenstrom und Massenanteile Produkt In & Out
- Leistungs-, Energie- und Temperaturwerte der beiden Kondensatoren K1 & K2 (seit Frühjahr 2007 in Betrieb)

Weitere Daten, wie der Volumen- resp. Massenstrom oder der Feuchtegehalt von Brüden, Abgasen, Trockungsluft Fritteuse und Verbrennungsluft Brenner müssen entweder gemessen oder rechnerisch ermittelt werden. Im Rahmen einer Messaktion wurden für die verschiedenen Betriebsfälle (siehe unter Kapitel Definition Betriebsfälle) die fehlenden Daten ermittelt. Die folgende Übersicht zeigt den Charakter der Datengrundlage:



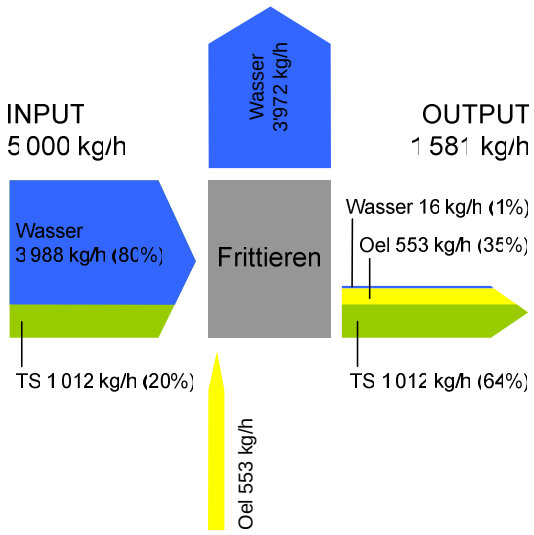
Figur 7 *Charakter der Datengrundlage (die gemessenen Daten der verschiedenen Betriebsfälle und die dafür eingesetzten Messgeräte sind im Anhang zu finden)*

Figur 8 *Temperatur- und Feuchtemessung Brüdenfassung der Fritteuse Linie 1*

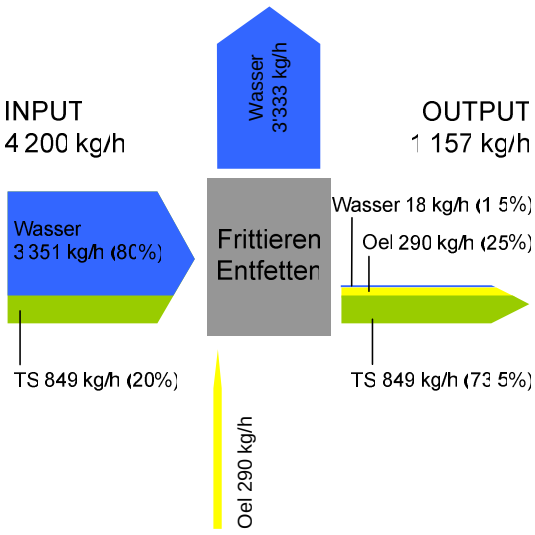
Figur 9 *Messeinrichtung für Volumenstrom- und Temperatur/Feuchte-Bestimmung*

4.5. Leistungs- und Massenbilanzen

Die Leistungsbilanz ist unter dem nachfolgenden Kapitel „Sankey-Diagramme Prozess Linie 1“ zu finden. Angaben zur Massenbilanz finden Sie im Anhang „Berechnungen Energieströme“. Der Prozess des Frittierens ist grösstenteils ein Trocknungsprozess. Der Energieaufwand ist deshalb hauptsächlich von der zu verdampfenden Menge Wassers abhängig. Die Verhältnisse bei den beiden Hauptprodukten sind folgend dargestellt.



Figur 10 *Massenbilanz Normal-Chips*

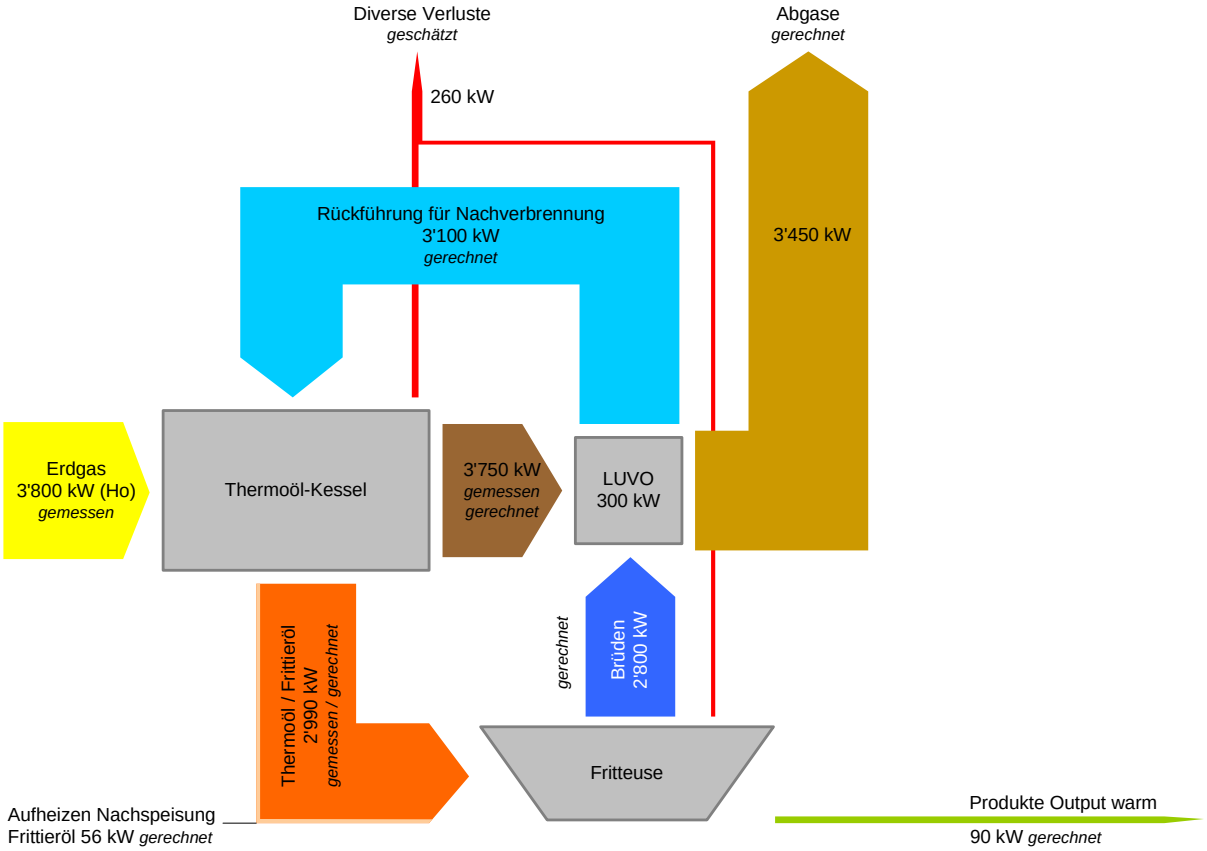


Figur 11 *Massenbilanz Cractiv-Chips*

4.6. Sankey-Diagramme Prozess Linie 1

Die relativ konstanten Betriebsverhältnisse und kontinuierlichen Abläufe im Prozess lassen eine Darstellung der Leistungen statt der Energien zu. Folgend sind für die beiden Hauptbetriebsfälle die Leistungs-Sankey-Diagramme dargestellt.

Die Leistungen sind allesamt inkl. Kondensationswärme des vorhandenen Wasserdampfes (Latentwärme) gerechnet.

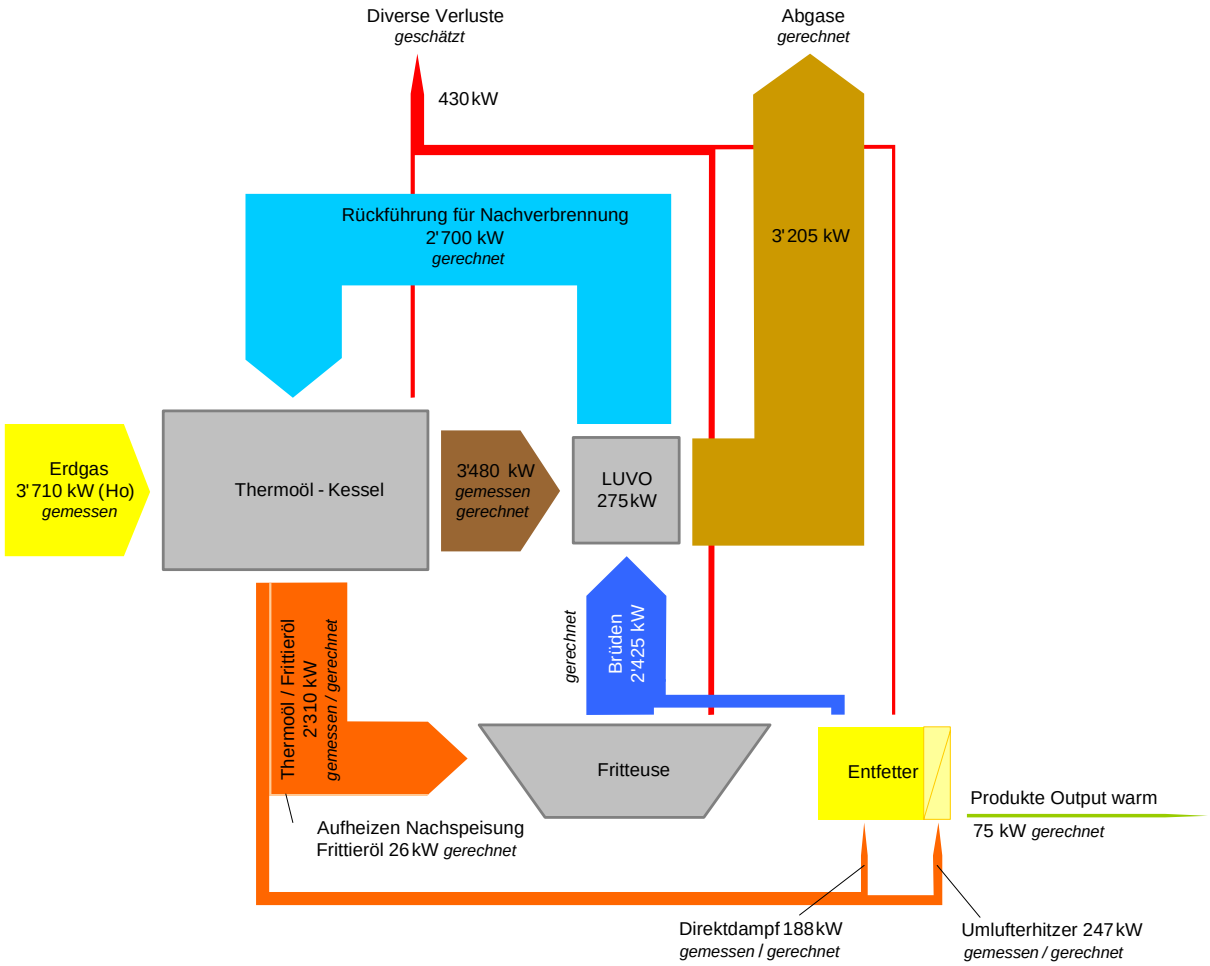


Figur 12 *Leistungs-Sankey-Diagramm Fritteuse Linie 1, Betriebsfall A-Normal-Chips*

Der Prozesswirkungsgrad für die Herstellung von Normal-Chips beträgt

$\boxed{\eta_{Ho} = 80\%}$ bezogen auf den orangen Energiestrom von 3'046 kW.

Die Verdampfung von 3'972 kg/h Wasser als Orientierung benötigt eine Leistung von ca. 2'494 kW ($4000\frac{kg}{h} \cdot 2.26\frac{MJ}{kg} \cdot \frac{1}{3'600\frac{s}{h}}$).



Figur 13 *Leistungs-Sankey-Diagramm Fritteuse Linie 1, Betriebsfall B-Cractiv-Chips*

Der Prozesswirkungsgrad für die Herstellung von Cractiv-Chips beträgt

$\eta_{Ho} = 75\%$ bezogen auf den orangen Energiestrom von 2'771 kW.

Wobei dieser Wirkungsgrad nicht direkt mit demjenigen der Normal-Chips-Produktion zu vergleichen ist, da bei der Entfettung neben dem Aufwärmen des Produktes und Verdampfen des Wassers auch noch andere Prozesse ablaufen, welche primär das Öl aus den Chips treiben sollen.

Zum Vergleich der energetischen Güte zwischen Normal-Chips und Cractiv-Chips finden Sie unter Kapitel „Energiekennzahlen" weitere Ausführungen.

4.7. Modellierung und Prozessanforderung

Die Modellierung und anschliessende Definition der Prozessanforderungen stellen zwei elementare Schritte der Pinch-Methode dar. Dabei geht es einerseits um die Loslösung von der bestehenden Anlage.

Heute vorhandene Abwärmenutzungssysteme und andere Verknüpfungen werden aus dem System entfernt, sodass letztendlich nur noch die notwendigen Prozessanforderungen als Basis der Analyse dienen. Bestehende Prozessdaten, wie Temperaturen, Massenströme, usw. wurden konsequent hinterfragt und falls nötig angepasst.

Wie so oft bestehen vor allem in der Bestimmung der Stoffdaten (c_p-Werte von Stoffgemischen) und der Massenströme die Hauptschwierigkeiten. Die Herleitung dieser Daten ist im Anhang „Berechnungen Energieströme“ zu finden.

Ein konsequenter Abgleich der Systemanforderung lohnt sich, da sonst das System auf der Basis von falschen Rahmenbedingungen optimiert wird.

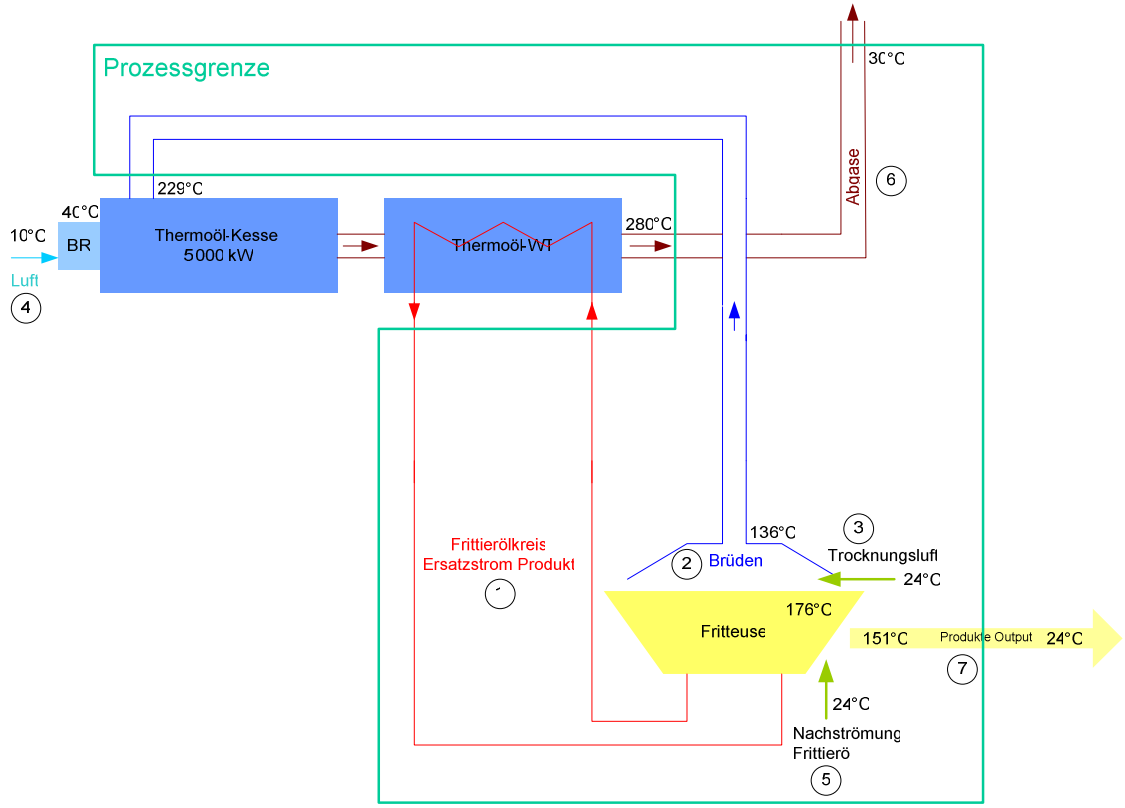
Gerade bei der Definition des Stromes Nr. 4, der Verbrennungsluft-Vorwärmung, hat sich dies bestätigt. Anfangs gab es widersprüchliche Aussagen zu den maximal zulässigen Vorwärmtemperaturen. Diese wurde nun vom Hersteller *Saacke* für den bestehenden Monoblock-Brenner aus materialtechnischen Gründen auf 40°C begrenzt.

Der Strom Nr. 3, Trocknungsluft, wird im System „neutral“ ($T_{IN}=T_{OUT}$) abgebildet, da seitens Kunde gewisse qualitative Bedenken betreffend einer allfälligen Luftvorwärmung bestehen. Vielmehr sollte dieser Luftstrom wegen negativen Einflüssen auf die Chipsqualität (Gefahr von Oxidation) auf einer minimalen Volumenstrommenge betrieben werden, was heute oft nicht der Fall ist (Grund: handgesteuerte Klappe bei der Brüdenfassung Fritteuse).

Der Haupt-Thermoöltauscher, welcher in den Rauchgasen des Kessels platziert ist, ist durch den Ersatzstrom Frittierölkreis im System (Strom 1) belassen worden. Entgegen dem Ansatz der Abstraktion wurde dieser bei der Modellierung nicht entfernt, da der bestehende Thermoölkessel und dessen Abgasnutzung exkl. LUVO akzeptiert wurde.

Hingegen wurden der LUVO und die drei Wärmetauscher AK/K1/K2 in der Definition der Prozesse beiseite gelassen.

Die Linie 1 der Firma *ZPC* wird für die beiden Betriebsarten „Normal“ und „Cractiv“ folgendermassen abstrahiert und mittels wenigen Prozessströmen definiert.



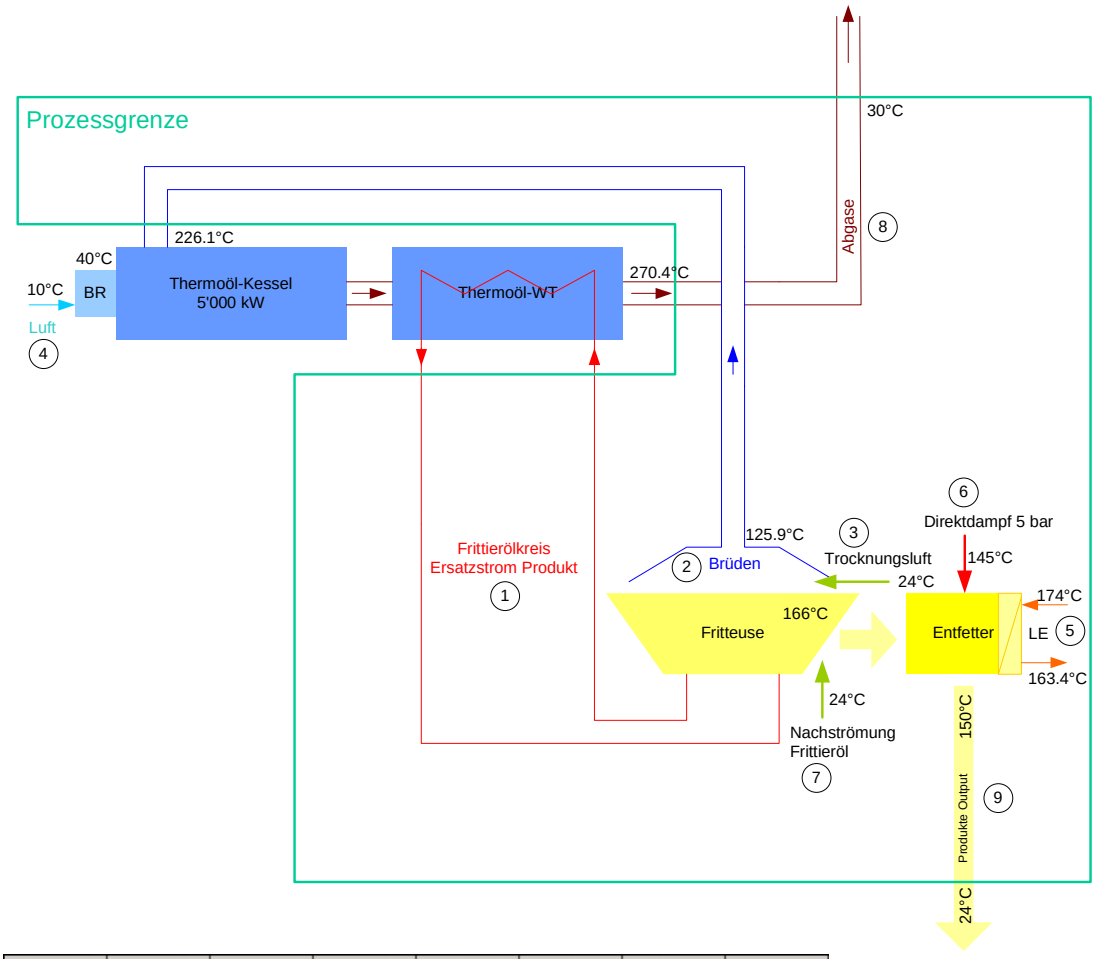
	Tin [°C]	Tout [°C]	kalt/warm	M flow [kg/s]	Cp [kJ/(kg K)]	Pressure [bar]	Alpha
1	161.4	176	Cold	86.4	2.405	1	400
2	136	229	Cold	1.436	1.75	1	400
3	24	24	Cold	0.351	1.038	1	100
4	10	40	Cold	1.49	1.018	1	100
5	24	176	Cold	0.154	2.405	1	400
6	280	30	Hot	2.98	4.97	1	400
7	151	24	Hot	0.44	1.8	1	3000
8	300	299	Hot	util	220000	10	30000
9	0	1	Cold	util	4.18	1	30000

Figur 14 *Modellierung Betrieb Normal-Chips inkl. Prozessanforderungen (Hinweis: die Zeilennummer der Tabelle entspricht den Nummermarkierungen im Schema)*

Wie unter Kapitel „Betriebsfälle“ aufgeführt gibt es zusätzlich den Fall „Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen“. Dieser soll die Kompatibilität der verschiedenen Fälle untereinander gewährleisten.

	Tin [°C]	Tout [°C]	kalt/warm	M flow [kg/s]	Cp [kJ/(kg K)]	Pressure [bar]	Alpha
1	154.7	166	Cold	87.1	2.375	1	400
2	125.9	226.1	Cold	1.448	1.69	1	400
3	24	24	Cold	0.46	1.042	1	100
4	10	40	Cold	1.456	1.018	1	100
5	24	166	Cold	0.077	2.375	1	400
6	270.4	30	Hot	2.96	4.83	1	400
7	150	24	Hot	0.32	1.71	1	3000
8	300	299	Hot	util	220000	10	30000
9	0	1	Cold	util	4.18	1	30000

Figur 15 *Prozessanforderungen für Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen (Hinweis: die Zeilennummer der Tabelle entspricht den Nummermarkierungen im Schema)*



	Tin [°C]	Tout [°C]	kalt/warm	M flow [kg/s]	Cp [kJ/(kg K)]	Pressure [bar]	Alpha
1	154.7	166	Cold	87.1	2.375	1	400
2	125.9	226.1	Cold	1.448	1.69	1	400
3	24	24	Cold	0.46	1.042	1	100
4	10	40	Cold	1.456	1.018	1	100
5	163.4	174	Cold	9.14	2.55	1	400
6	144.9	145.1	Cold	0.069	13623	1	5000
7	24	166	Cold	0.077	2.375	1	400
8	270.4	30	Hot	2.96	4.83	1	400
9	150	24	Hot	0.32	1.71	1	3000
10	300	299	Hot	util	220000	10	30000
11	0	1	Cold	util	4.18	1	30000

Figur 16 *Modellierung Betrieb Cractiv-Chips inkl. Prozessanforderungen (Hinweis: die Zeilennummer der Tabelle entspricht den Nummermarkierungen im Schema)*

4.8. Wirtschaftlichkeit

Für die Investitionskosten- und Betriebskostenrechnung wurden folgende Kennwerte eingesetzt. Diese sind mit der *ZPC* abgesprochen.

Kennwerte zur Wirtschaftlichkeitsrechnung	
Wärmeenergie	6.3 Rp./kWh, Gaspreis
Kälteenergie	3.7 Rp./kWh
Strompreis	10.5 Rp./kWh
Betriebsdauer Normal-Chips	1'470 h
Betriebsdauer Cractiv-Chips	870 h
Zinssatz	0% gemäss ZPC in Pinch-Analyse wurde 1% eingesetzt
Pay-Back-Zeit	2.5 a
Wartungssatz	3% der Investition

Figur 17 *Grundlagen Wirtschaftlichkeit für die Betriebsfälle Normal und Cractiv*

Die beiden Betriebsfälle unterscheiden sich einzig in der Betriebsdauer.

- 1'470 Vollbetriebsstunden Normal-Chips
- 870 Vollbetriebsstunden Normal-Chips

Die doch sehr geringe Vollbetriebsstundenzahl ist durch den mehrheitlich geführten Einschicht- resp. Zweischichtbetrieb zu begründen. Bei der Massnahmenentwicklung wird dies ein dämpfender Faktor bezüglich Gesamtwirtschaftlichkeit sein. Mehr dazu unter den Resultaten.

Spezielle Ausgangslage *ZPC*:

Gemäss Definition der ZPC wird der Zinssatz auf 0% festgelegt. Um eine angemessene Reserve einzubinden, haben wir den Verzinsungssatz auf 1% angehoben. Die Pay-Back-Zeit ist auf 2.5 Jahre festgelegt.

Die Energiekosten wurden anhand der Medienkosten-Abrechnung der *ZPC* des Jahres 2006 ermittelt.

5. Ergebnisse Pinch-Analyse

5.1. Pinch-Analyse

1. Aus Prozessanforderungen werden anhand der Software *PinchLENI3* [3] die Verbundkurven gebildet.
2. Zusammen mit den Wirtschaftlichkeitsdaten, welche bekannterweise aus dem Doppelpaket Investitionskosten & Betriebskosten bestehen, wird der Pinch-Point, also das physikalisch-wirtschaftliche Optimum kalkuliert.
3. Nach der definitiven Wahl des Pinch-Pointes wird mit Hilfe des Programmes das Netzwerk des modellierten Systems generiert.
4. Mit dem MER-Design (Maximum Energy Recovery), sprich dem Einbau von Wärmeaustauschsystemen wird nun das Minimum von zugeführter Wärme- und Kälteenergie gesucht.
5. In einem iterativen Prozess wird danach die Anzahl von Tauschern reduziert, damit einerseits die Komplexität und andererseits der Betriebaufwand der Anlage abnimmt, ohne dass ein wesentlicher Mehrverbrauch an Energie resultiert.

Die Verbundkurven mit dem Pinch-Point der 3 Betriebsfälle sind im Anhang „Resultate PinchLENI“ zu finden.

Die Pinch-Temperatur und das ΔT_{MIN} sind:

Für Normal-Chips Pinch-Temp 164.8°C / ΔT_{MIN} 6.7K

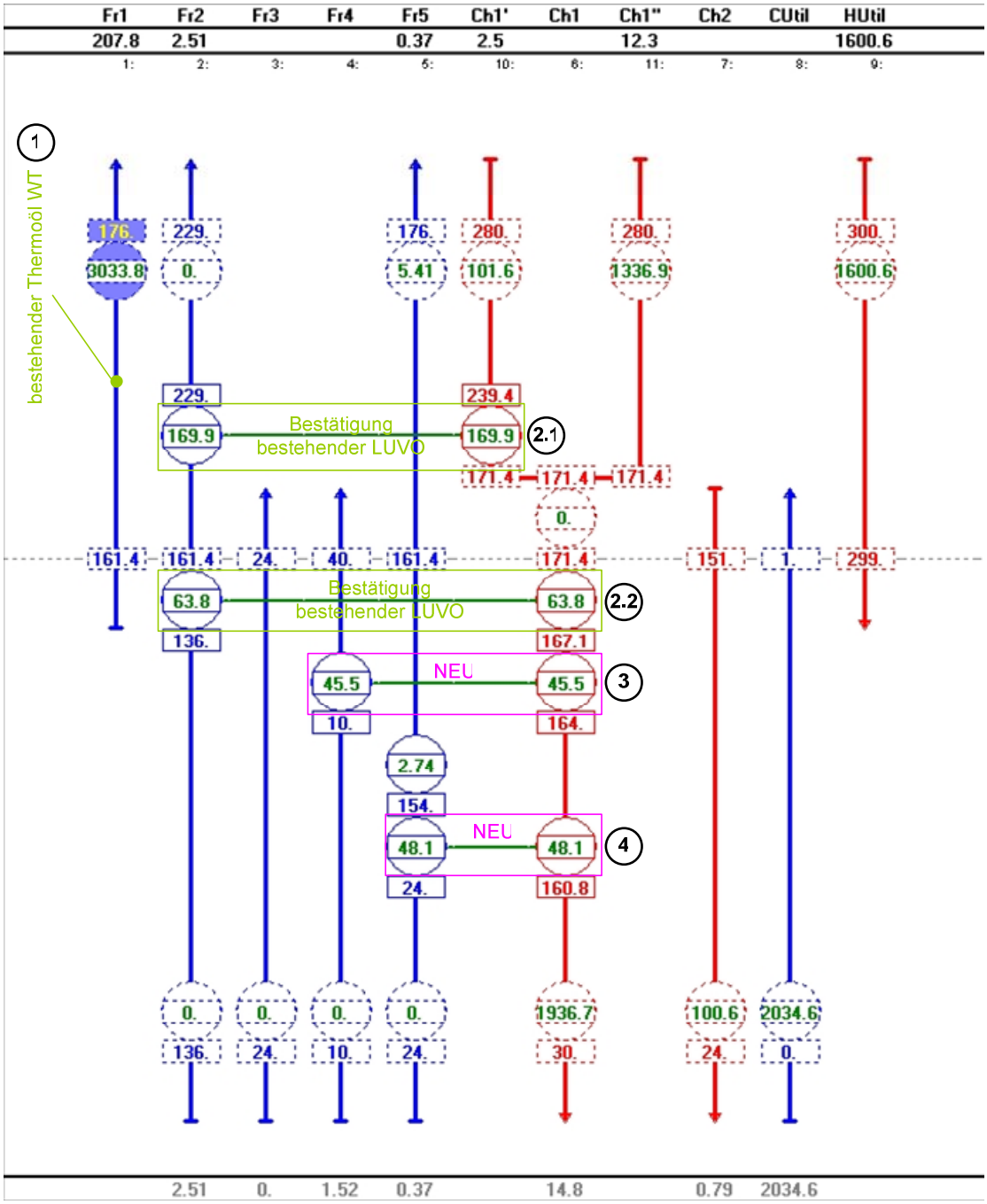
Für Cractiv-Chips Pinch-Temp 152.1°C / ΔT_{MIN} 14.4K

Für Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen Pinch-Temp 158°C / ΔT_{MIN} 6.5K

Für die 3 Betriebszuständen wird ein ΔT_{MIN} von 10K definiert und auf diesem Wert basierend das Netzwerk gebildet.

Sämtliche Originalnetzwerke, die auf einem ΔT_{MIN} von 10K ausgelegt sind, sind im Anhang „Resultate PinchLENI“ zu finden.

5.2. MER-Netzwerk für den Betrieb Normal-Chips



Figur 18 *MER-Design für Normal-Chips mit Veränderung gegenüber Zustand Heute*

Legende zur Figur 18:

1 Der bestehende Thermoöl-WT im Strom Frittieröl/Thermoöl (Fr1) wird nicht ins Design eingebunden, da dieser ein unveränderbarer Grundstein des heutigen Konzeptes darstellt.

2.1 Der Wärmetauscher Teil 1 zwischen dem Strom Abgase (CH1') und dem Strom Brüden (Fr2) bestätigt den bereits heute eingebauten LUVO.

2.2 Der Wärmetauscher Teil 2 zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Brüden (Fr2) bestätigt den bereits heute eingebauten LUVO.

3 Neuer Wärmetauscher zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Verbrennungsluft des Brenners (Fr4).

4 Neuer Wärmetauscher zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Vorwärmung Nachspeise-Öl (Fr5).

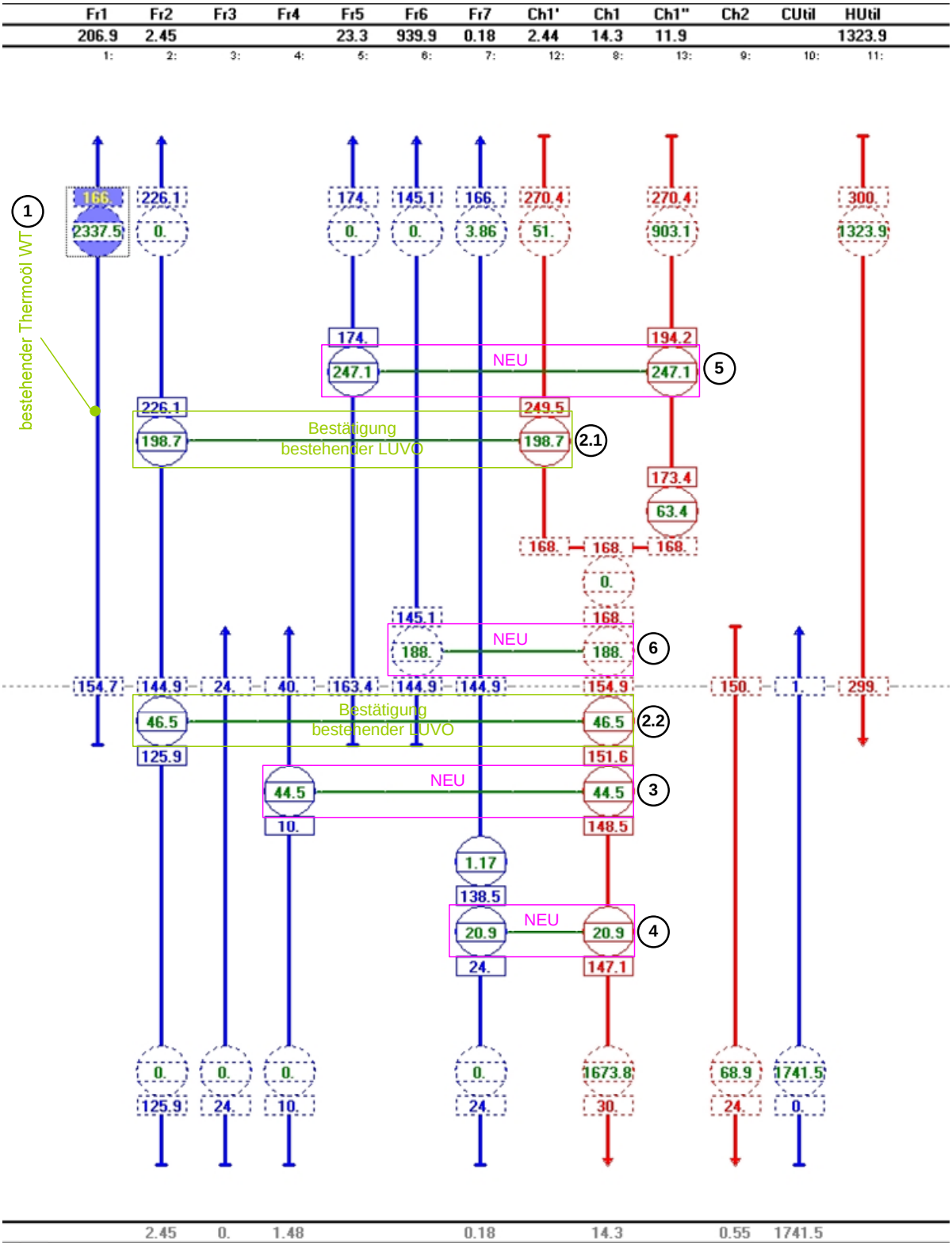
Gegenüber heute kann so der Wärmeleistungsbedarf um 93 kW reduziert werden, sofern die beiden neuen Wärmeaustauschsysteme realisiert werden können.

Bei 1'470 Vollbetriebsstunden im Normal-Betrieb entspricht dies einer Energiemenge von ca. 137'000 kWh pro Jahr (Heizöläquivalent: 13'780 Liter/a).

Kommentar zu 2.1/2.2:

Die vorhandene Abgastemperatur von 280°C (CH1', CH1") würde eine Brüdenvorwärmung gegen 260°C (Fr2) ermöglichen. Dass heisst, dass die LUVO-Leistung um weitere 100 kW gesteigert werden könnte. Da der LUVO bei der ZPC ein fester Bestandteil ist und dieser nur mit hohen Kostenfolgen erweitert werden könnte, sehen wir von einer Anpassung ab.

5.3. MER-Netzwerk für den Betrieb Cractiv-Chips



Figur 19 *MER-Design für Cractiv-Chips mit Veränderung gegenüber Zustand Heute*

Legende zur Figur 19:

1 Der bestehende Thermoöl-WT im Strom Frittieröl/Thermoöl (Fr1) wird nicht ins Design eingebunden, da dieser ein unveränderbarer Grundstein des heutigen Konzeptes darstellt.

2.1 Der Wärmetauscher Teil 1 zwischen dem Strom Abgase (CH1') und dem Strom Brüden (Fr2) bestätigt den bereits heute eingebauten LUVO.

2.2 Der Wärmetauscher Teil 2 zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Brüden (Fr2) bestätigt den bereits heute eingebauten LUVO.

3 Neuer Wärmetauscher zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Verbrennungsluft des Brenners (Fr4).

4 Neuer Wärmetauscher zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Vorwärmung Nachspeise-Öl (Fr7).

5 Neuer Wärmetauscher zwischen dem Strom Abgase (CH1'') und dem Strom Lufterhitzer Entfetter (Fr5).

6 Neuer Wärmetauscher zwischen dem Strom Abgase (CH1) und dem Strom Direktdampf Entfetter (Fr6).

Gegenüber heute kann so der Wärmeleistungsbedarf um 500 kW reduziert werden, sofern alle neuen Wärmeaustauschsysteme realisiert werden können.

Bei 870 Vollbetriebsstunden im Cractiv-Betrieb entspricht dies einer Energiemenge von ca. 435'000 kWh pro Jahr (Heizöläquivalent: 43'800 Liter/a).

Kommentar zu 2.1/2.2:

Die vorhandene Abgastemperatur von 270.4°C (CH1', CH1") würde eine Brüdenvorwärmung gegen 246°C (Fr2) ermöglichen. Dass heisst, dass die LUVO-Leistung um weitere 51 kW gesteigert werden könnte. Da der LUVO bei der ZPC ein fester Bestandteil ist und dieser nur mit hohen Kostenfolgen erweitert werden könnte, sehen wir von einer Anpassung ab.

5.4. MER-Netzwerk für den Betrieb Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen

Gegenüber den Normalbedingungen gibt es in diesem Betriebsfall Veränderungen in der Leistungsausbeute. Die Leistungseinsparung wird durch die reduzierten Mengenströme um 26 kW (-29%) kleiner.

5.5. Massnahmen

Die aus der Pinch-Analyse resultierenden Massnahmen (Einbau von 4 Wärmetauschern) sind zusammen mit der *ZPC* auf Ihre Chancen/Risiken geprüft worden.

Im Folgenden finden Sie das Fazit aus dem Gespräch der Projektverantwortlichen von *ZPC*:

> *Von den vorgeschlagenen Optimierungsmöglichkeiten erachten wir nur die Massnahmen Brennerluftvorwärmer und Oelvorwärmer der Nachspeisemenge Frittieröl für prüfenswert.*
>
> *Die Massnahmen betreffend Lufterhitzer und Dampferzeuger im Entfetter möchten wir trotz interessantem Optimierungspotential nicht weiterverfolgen. Hier sehen wir Probleme beim Anfahren und bei den Leistungsschwankungen des Brenners. Damit verbunden könnten wir die Produktqualität nicht garantieren.*
>
> *Zur Weiterbearbeitung haben wir uns deshalb für die beiden Projekte Brennerluftvorwärmung und Vorwärmung der Nachspeisemenge Frittieröl entschieden.*

In einem weiteren Schritt wurde zusammen mit *Herr P. Wüthrich* von der Firma *Terag Thermo-Energie AG*, einem ausgewiesenen Fachmann im Bereich Industrieanlagenplanung und -bau, die technische Realisierbarkeit und die Grobkosten der beiden von *ZPC* als prüfenswert eingestuften Massnahmen beurteilt.

Das Resultat dieser Beurteilung ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst. Dabei sind vorerst „nur“ die pinchspezifischen Massnahmen aufgeführt.

Die Kosten sind mit einer Genauigkeit von ±25% behaftet und exkl. MWSt. angegeben.

Unter Anhang „Wirtschaftlichkeit“ ist die Herleitung der Einsparungen dargestellt.

Spezieller Hinweis zur CO_2-Kosteneinsparung:

Da die *ZPC* mit dem Bund eine CO_2-Verpflichtung eingehen will, damit sie sich von der künftigen CO_2-Abgabe befreien lassen kann, sind einige Anstrengungen zur Reduktion des CO_2-Ausstosses notwendig. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung haben wir den Massnahmen die verhinderte Mehrbelastung von ca. CHF 78'000.- pro Jahr (Nettoverlust der *ZPC* bei einer reinen Zielvereinbarung auf der Abgabe-Basis von CHF 24.-/to CO_2) anteilmässig gutgeschrieben. Daher entspricht die CO_2-Kosteneinsparung nicht dem Produkt aus CO_2-Reduktion mal Abgabesatz, sondern ist entsprechend höher festgelegt.

CHF 78'000.-

davon 11% Pinch-Massnahmen (32 to Reduktion)	→ CHF 9’110.-
davon 47% K1/K2-Optimierung (129 to Reduktion)	→ CHF 36’720.-
davon 42% Rückkühler (113 to Reduktion)	→ CHF 32’170.-

Der Nettoverlust von CHF 78'000.- resultiert aus den Energieverbräuchen und der AHV-Lohnsumme gemäss CO_2-Abgaberechner BFE im Fall einer reinen Zielvereinbarung.

Massnahme	Beschrieb	Investition [CHF] *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	Chancen/Risiken Besonderheiten	Einsparung Fossil [kWh/a]	Mehraufwand Elektro [kWh/a]	CO_2-Einsparung [t/a]
Reaktivierung / Erneuerung des heute bestehenden Autokühlers	Ersatz des bestehenden Autokühlers im Abgasstrom nach LUVO durch neuen Glattrohrwärmetauscher aus Chromstahl	50'000	Einfache Reinigung infolge der Abgaszusammensetzung muss zwingend möglich sein			
Vorwärmung Nachspeisemenge Frittieröl Einbau Wärmetauscher	Einbau Doppelrohrtauscher aus Chromstahl in Fallstrang des Frittieröls vom Tagestank in den Bandfilter	70'000	Diskontinuierlicher Prozess der Nachspeisung mit Schalthysterese muss allenfalls in kontinuierlichen Prozess angepasst werden. Zur Zeit wird das Öl via Schwerkraft in den Bandfilter eingespiesen. Allenfalls ist durch die neue Drucksituation eine Pumpe nötig. Erhitzung auf max. 90°C möglich, da Wärmeträgermedium Wasser. Schmälerung Wirkung bereits berücksichtigt. Ertrag 48% kleiner!	54'560	-5'000	
Verbrennungsluft-Vorwärmung Einbau Wärmetauscher	Einbau eines Lufterhitzers (Wasser-Luft-Lamellentauscher) in direkter Nähe des Brenners	30'000	Max. Verbrennungslufttemperatur ist mit Saacke nochmals zu prüfen Einfluss auf Verbrennungswerte und Druckverhältnisse Ventilator berücksichtigen	105'600	-5'000	
Optimierung Hydraulik	Prüfen der Hydraulik, Anpassungen und Erweiterungen	40'000	Heutige Wassermengen haben zu Problemen beim Betrieb des Autokühler und letztendlich zu dessen Ausserbetriebnahme geführt.			
MSRL-Technik, Elektro	Regulierung / Steuerung Pumpen	15'000				
BFE-Pinch-Studie inkl. interner Aufwand ZPC von ca. 120 Stunden Anteil 60% Pinch	Grundlagenklärung, Messungen, Kalkulationen, Besprechungen, usw.	15'000				
Pinch Massnahmenpaket **Total inkl. 15% Reserve**		**250'000**		**160'160**	**-10'000**	**32**
Energie / CO_2 Einsparung [CHF] bei Rp. 6.3/kWh Erdgas bei Rp. 10.5/kWh Strom Anteil Einsparung bei CO_2-Verpflichtung				10'090	-1'050	9'110
Unterhaltskosten 3% der Invest. [CHF]					-7'500	
Kosteneinsparung bilanziert [CHF]					**10'650**	
Pay-Back-Zeit (statisch, da Zins 0%) [a]					**23.5**	

Figur 20 *Massnahmen Pinch-Analyse mit Angaben zur Wirtschaftlichkeit, Kalkulation im Anhang (131-145)*

Aufgrund der resultierenden hohen Pay-Back-Zeit von 23.5 Jahren kann der Einbau der Wärmetauschersysteme aus wirtschaftlicher Sicht nicht empfohlen werden.

Es ist jedoch möglich, dass die Massnahme im Zusammenhang mit weiteren Optimierungsvorschlägen mitberücksichtigt wird und allenfalls im Rahmen eines Gesamtkonzeptes integriert wird.

Unerlässlich ist aus unserer Sicht jedoch der Einbezug dieser Wärmetauschsysteme beim Neudesign der Linie 2.

Vermerk zum Neubau Linie 2:

Richtig gewählte Kessel-Brenner können Verbrennungsluft mit bis 200°C beimischen. Das Sparpotential ist gegenüber einer Temperaturlimite von 40°C um ein Vielfaches höher.

Die durch die ZPC zurückgestellten Wärmetauscher für den Entfetter-Betrieb (siehe Einleitung Kapitel Massnahmen) sollten bei der Planung der Linie 2 unbedingt mitbetrachtet werden.

Die Vorbehalte betreffend schwierigen dynamischen Verhältnisse beim Anfahren des Prozesses könnten wie folgt aufgelöst werden.

Anfahren mittels Wärmezufuhr ab Thermoölkessel oder Alternativ-Wärmeerzeugung. Nach Erreichung der Betriebstemperatur Ablösung durch Wärmetausch-System in den Rauchgasen. Die Leistung der Rauchgase reicht um ein Mehrfaches aus, damit dieses System betrieben werden kann.

6. Weitere Optimierungsmassnahmen

Im Rahmen der Pinch-Analyse wurden weitere Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ermittelt. Diese sind im Folgenden beschrieben:

6.1. Abwärmenutzung (AWN) Fritteusen-Brüden mit K1 & K2

Die heute bereits vorhandenen Kondensatoren K1 & K2 im Brüdenstrom der Fritteusen dienen zur Wärmeauskopplung für die Gebäudeheizung und Warmwassererzeugung.

K1: Kondensator für Werk 1 der ZPC mit 465 kW Nennleistung

K2: Kondensator für Fernwärme ehemals Philipsgebäude mit 1’390 kW Nennleistung

Der Betrieb der Kondensatoren wird heute manuell vom Produktionspersonal, also ohne übergeordnetes MSRL-System, kontrolliert. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass der Einsatz der Systeme unstetig und ohne klare Rahmenbedingungen erfolgte. Dadurch wurde der Nutzen der Abwärmeauskopplung stark geschmälert.

Die schwankenden Fernwärmeverkäufe an das Nachbarwerk und der regelmässige Betrieb des Stützkessels vom Werk 1 bestätigen dies.

Mit einem übergeordneten Kessel- und AWN-Management, welches auch direkt in die Steuerung der Wärmeerzeugung des ehemals Philipsgebäude eingreift, soll der Nutzen der beiden Kondensatoren markant gesteigert werden. Parallel dazu sollen in den Gebäuden ausserhalb des Betriebs die Raumheizung konsequent abgesenkt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung bringt eine Pay-Back-Zeit von 1.3 Jahren hervor. Siehe Berechnung auf der folgenden Seite.

Basierend auf der hervorragenden Wirtschaftlichkeit soll diese Massnahme mit hoher Priorität behandelt werden.

Zusätzlich sollen die auf dem Dach (Aussen) geführten Heizleitungen von den Kondensatoren zu den Wärmeverbrauchern angemessen gedämmt werden. Die zur Verbesserung des Wärmeüberganges eingesetzte Besprühung der Kondensatoren soll nur während dem Betrieb K1/K2 betrieben werden (Pumpe EIN wenn K1/K2 Betrieb, Pumpe AUS wenn K1/K2 nicht im Einsatz).

Massnahme	Beschrieb	Investition [CHF] *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	Chancen/Risiken Besonderheiten	Einsparung Fossil [kWh/a]	Mehraufwand Elektro [kWh/a]	CO_2-Einsparung [t/a]
Übergeordnete MSRL-Technik Optimierung bestehender Betrieb K1/K2	Regulierung / Steuerung Pumpen Übergeordnetes Anlagemanagement über Prozesse und Infrastrukturanlagen (Raumwärme/Warmwasser)	80'000	Die heutige Handsteuerung birgt ein grosses Sparpotential. Der Nutzen von K1/K2 kann deutlich gesteigert werden. Kommunikation zwischen ZPC und ehemals Philipsgebäude nötig.	650'000		
BFE-Pinch-Studie inkl. interner Aufwand ZPC von ca. 120 Stunden Anteil 20% Pinch	Grundlagenklärung, Messungen, Kalkulationen, Besprechungen, usw.	5'000				
K1 & K2 Optimierungspaket **Total inkl. 15% Reserve**		**98'000**		**650'000**	**0**	**129**
Energie / CO_2 Einsparung [CHF] bei Rp. 6.3/kWh Erdgas bei Rp. 10.5/kWh Strom bei CHF 24.-/t CO_2				39'060	0	36'720
Unterhaltskosten 3% der Invest. [CHF]					-2'940	
Kosteneinsparung bilanziert [CHF]					**72'840**	
Pay-Back-Zeit (statisch, da Zins 0%) [a]					**1.3**	

Figur 21 *Massnahme Optimierung K1 & K2 mit Angaben zur Wirtschaftlichkeit, Kalkulation im Anhang (146-151)*

6.2. Entlastung Thermoölkessel durch Auskondensation (Trocknung) Brüde

Prozessabluft mit einem sehr hohen Wasseranteil, wie sie bei der *ZPC* nach der Fritteuse vorkommt, kann als quasi Brüde bezeichnet werden. Die Erhitzung dieses Mediums im Thermoölkessel zur Beseitigung der Gerüche braucht gemäss h-x-Diagramm mehr Energie, wie die Erhitzung von kühlerer und getrockneter Luft. Der Einsatz der Kondensatoren K1/K2 ist gerechtfertigt, jedoch heute nur während der Heizperiode im Betrieb.

Gemäss Aussage von *Relutherm Energie- und Umwelttechnik GmbH (Unternehmen der Saacke-Gruppe)*, Deutschland, wird der Wirkungsgrad des Thermoölkessels trotz vorhandenem LUVO durch die Rückführung des Brüdenstroms um ca. 10% reduziert.

Bei einem Gasinput von 3'800 kW entspricht dies einer Mehrbelastung des Kessels von 380 kW. Zusammen mit den 300 kW des LUVO's werden zur Brüdenerhitzung 680 kW benötigt. Daraus kann zusammen mit den Stromkennwerten der Brüde die geforderte Brüdentemperatur von ca. 408°C abgeleitet werden.

Rechnungsbeispiel *ZPC* bei einem Massenstrom trocken von 1'246 kg/h:

> Brüde von 136°C mit 3'150 g/kg absoluter Feuchte auf 408°C erhitzen braucht eine Wärmeleistung von 680 kW (A).
>
> Abgekühlte und getrocknete Luft von 50°C mit 90 g/kg absoluter Feuchte auf 408°C erhitzen braucht eine Wärmeleistung von 150 kW (B).

Unter Berücksichtigung der LUVO-Deckung von 300 kW (C) würden die notwendigen Leistungen folgendermassen aussehen:

Zusätzlich nötige Erhitzung nasser Fritteusenabluftstrom „Brüde“: 380 kW (A)-(C)

Zusätzlich nötige Erhitzung getrockneter Fritteusenabluftstrom: 0 kW (B)-(C)

Die Trocknung der Brüde bringt also eine Leistungseinsparung von ca. 380 kW.

Dazu ist ein trockenes Rückkühlwerk mit einer Leistung von beinahe 3 MW nötig, welches mit Umgebungsluftkonditionen (AT: 32°C) ca. 3.8 m^3/h Wasser aus dem Brüdenstrom nimmt. Das Kondensat wird in die Entwässerung des Werkes geleitet und belastet entsprechend das Abwassersystem der Firma. Dieses Rückkühlwerk wird ergänzend zum Heizbetrieb der Brüdenkondensatoren K1/K2 betrieben. Gemäss Abschätzung können so ca. 570 MWh/a Erdgas eingespart werden.

Durch die hohe Kondensationstemperatur resultiert eine deutlich kleinere Rückkühlfläche, als bei der sonst üblichen Kälteanwendung. Es wird eine Fläche von ca. 80 m^2 (10 x 8 m) benötigt.

Die Einsparungen sind aus der folgenden Tabelle zu entnehmen. Detaillierte Berechnung siehe Anhang „Wirtschaftlichkeit“

Massnahme	Beschrieb	Investition [CHF] *Material* *Arbeit* *Planung* *IBS*	Chancen/Risiken Besonderheiten	Einsparung Fossil [kWh/a]	Mehraufwand Elektro [kWh/a]	CO_2-Einsparung [t/a]
Ergänzung Sommerbetrieb K1/K2 durch Bau eines trockenen Rückkühlers	Ein trockenes Rückkühlwerk soll den Wassergehalt der Fritteusenbrüde ausserhalb der Heizperiode auskondensieren. Dadurch wird der Thermoölkessel entlastet.	160'000	Messungen Brüdenstrom bergen noch gewisse Unsicherheiten. Detaillierte Auswertungen der neuen Energiezählung (Wärme K1/K2, Erdgas Thermoölkessel, Kondesatmenge) sollen Sparpotential bestätigen. Durch die Auskondensation fallen grosse Abwassermengen mit hohen Temperaturen an. Der Umgang und den Einfluss auf die Abwasserrechnung ist zu prüfen.	570'000	-52'500	
BFE-Pinch-Studie inkl. interner Aufwand ZPC von ca. 120 Stunden Anteil 20% Pinch	Grundlagenklärung, Messungen, Kalkulationen, Besprechungen, usw.	5'000				
K1 & K2 Optimierungspaket Total inkl. 15% Reserve		**190'000**		**570'000**	**-52'500**	**113**
Energie / CO_2 Einsparung [CHF] bei Rp. 6.3/kWh Erdgas bei Rp. 10.5/kWh Strom bei CHF 24.-/t CO_2				35'910	-5'513	32'170
Unterhaltskosten 3% der Invest. [CHF]					-5'700	
Kosteneinsparung bilanziert [CHF]					**56'868**	
Pay-Back-Zeit (statisch, da Zins 0%) [a]						**3.3**

Figur 22 *Massnahme Rückkühlwerk zur Brüdenkondensation mit Angaben zur Wirtschaftlichkeit, Kalkulation im Anhang (152-168)*

Die Massnahme hat mit einer Pay-Back-Zeit von 3.3 Jahren eine viel versprechende Wirtschaftlichkeit.

Die Plausibilität der Einsparung muss zwingend vor Auslösung des Vorprojektes geprüft werden.

Mit den seit Frühjahr 2007 vorhandenen Messeinrichtungen bei den Kondensatoren K1/K2 (Wärmemessung), den stündlichen Gasverbrauchsdaten und der Bestimmung der Kondensationsmengen in K1/K2 kann die Wirkung der Massnahme in verschiedenen Betriebsfällen überprüft werden. Speziell geeignet sind kalte Wintertage.

Ausserdem muss die Statik des Flachdaches bei einer Platzierung des Rückkühlwerkes geprüft werden. Die Anlageteile haben ein Gesamtgewicht von ca. 6'000 kg.

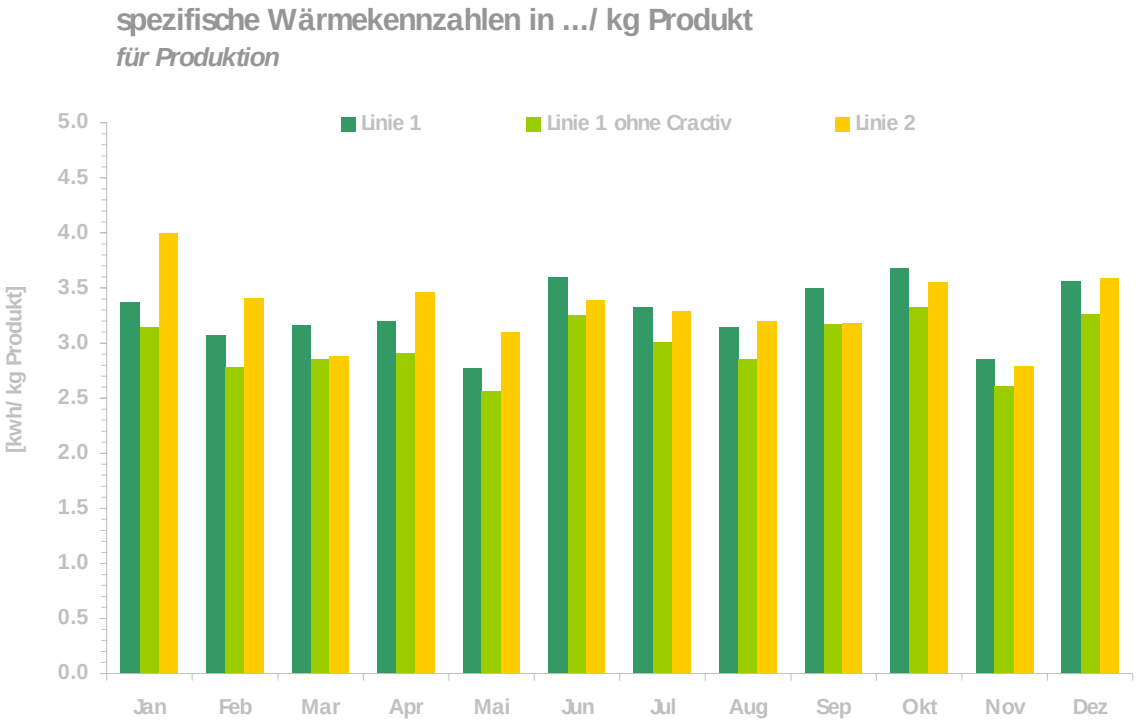
Im Zusammenhang mit der Neuplanung Linie 2 soll dieser Optimierungsvorschlag auf jeden Fall beim Projektteam eingebracht werden.

Je mehr Wasser aus den Brüden ausgeschieden wird, desto höher die Einsparung. Das Auskondensieren des Wasserdampfes im Brüdenstrom zwischen Fritteuse und Thermoölkessel ist also erwünscht. Ein Nachdämmen dieses Abschnittes würde aus energetischer Betrachtung keinen Sinn machen, sofern so Wasser auskondensiert werden kann.

6.3. Energetischer Güteunterschied zwischen Linie 1 und Linie 2

Die Auswertung der spezifischen Energieverbrauchszahlen pro Kilogramm Output zeigt zwischen den beiden heute eingesetzten Linien 1 und 2 einen prägnanten Unterschied auf. Dabei wurde die Linie 1 um den Cractiv-Betrieb bereinigt, damit die beiden Linien miteinander verglichen werden können.

Wärmeenergieeinsatz pro kg Output	
Linie 1	2.95 kWh/kg
Linie 2	3.29 kWh/kg



Figur 23 *monatlicher Verlauf des spezifischen Wärmeeinsatzes von Linie 1 und Linie 2*

Der Mehrverbrauch von 12% der Linie 2 kann verschiedene Ursachen haben:

- Chargengrösse (häufige Umstellungen wirken sich nachteilig auf den Energieverbrauch aus)
- Konstruktion der Anlage (Dämmqualität, vorhandene Fehlströme Luft, usw.)
- Behandlung der Brüden (Wärmeauskoppelung)
- Bedienung

Wie gross die einzelnen Ursachen sind, haben wir in diesem Fall nicht evaluiert. Wiederum sind die Erkenntnisse in der Neuplanung Linie 2 einzubeziehen.

6.4. Energetischer Güteunterschied zwischen Normal-Chips und Cractiv-Chips

Die Auswertung der spezifischen Energieverbrauchszahlen pro Kilogramm Output zeigt zwischen den beiden Produktearten Normal-Chips und Cractiv-Chips einen grossen Unterschied auf.

Wärmeenergieeinsatz pro kg Output	
Normal-Chips	2.95 kWh/kg
Cractiv-Chips	3.95 kWh/kg

Der Mehrverbrauch von 33% der Cractiv-Chips hat verschiedene Ursachen:

- Klare verfahrenstechnische Unterschiede (Entfettung mit Direktdampf und Umlufterhitzer)
- Zusätzliche Prozessschritte führen zu mehr Verlusten

Wie gross die einzelnen Ursachen sind, wurde nicht evaluiert.

Der doch sehr deutliche Mehrverbrauch bei der Produktion von Cractiv-Chips sollte bei der strategischen Planung der Produkteplatzierung am Markt zwingend miteinbezogen werden.

6.5. Einsatz Biogas aus BARA

Die im Jahr 2006 erzeugte Biogasmenge von 57'100 m^3/a entspricht einer Wärmemenge von rund 360'000 kWh/a (Heizwert Biogas: 6.3 kWh/Nm^3). Das Biogas wird heute primär zur thermischen Stützung des Bioprozesses und zur Beheizung des BARA-Gebäudes eingesetzt. Überschüsse werden abgefackelt. Bei zu kleinen Mengen Biogas wird die BARA über eine Stützheizung ab dem Gaskessel Werk 1 (normaler Heizkessel) gewährleistet.

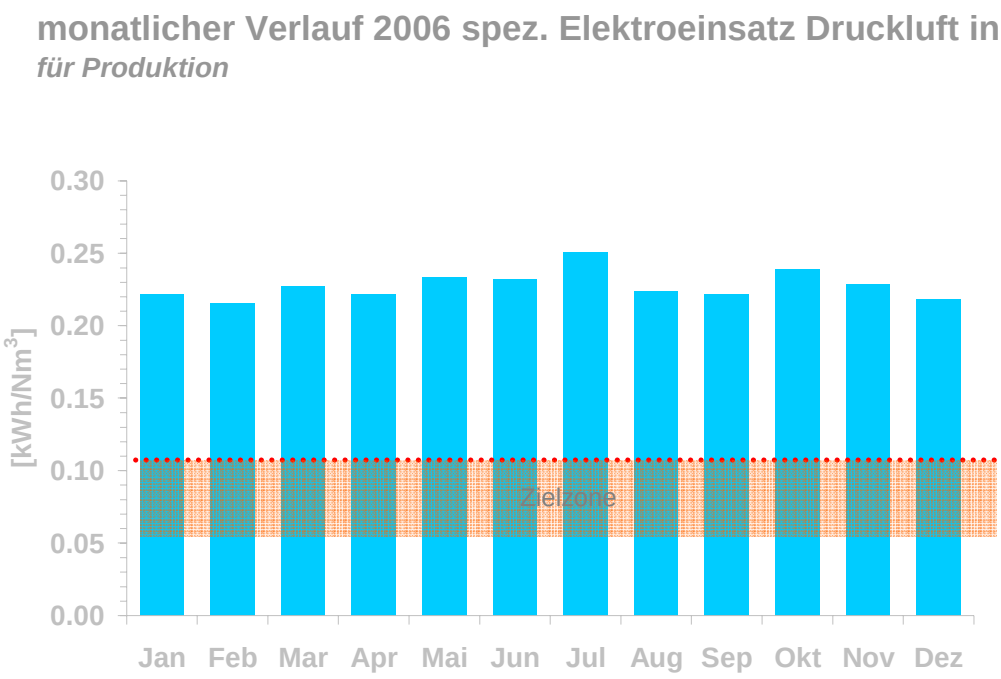
In Zukunft soll das Biogas für den Betrieb des Thermoölkessels verwendet werden und der Betrieb der BARA über die Abwärme aus dem Frittierprozess (Wärmeauskoppelung K1/K2) sichergestellt werden.

Die heute vorhandenen Brenner können gemäss Abklärungen *ZPC* problemlos Biogas verbrennen.

In einem nächsten Schritt wird durch *ZPC* ein Projekt zur Umsetzung der Biogas-Einspeisung im Thermoölkessel gestartet und eine Studie zur zusätzlichen Vergasung der Kartoffel-Rohabfälle (heute Futtermittel) ausgelöst.

6.6. Qualität der Drucklufterzeugung

Auswertungen der elektrischen Verbrauchsdaten der bestehenden Kompressorenanlage und der erzeugten Menge Druckluft in Nm^3 haben folgendes Bild ergeben.



Figur 24 *Auswertung Güte Drucklufterzeugung*

Die Effizienz der über 30-jährigen Labyrinth-Verdichter liegt deutlich über den heute möglichen Benchmarks. Ein Sparpotential von 50% und mehr ist mit einer neuen ölfreien Kompressorenanlage (bsp. *Alup*, *Atlas Copco*, und weitere.) durchaus möglich.

Mit Hilfe einer Druckluft-Datenbank (Benchmarking) von www.druckluft.ch können weitere branchenspezifische Erkenntnisse zur Güte der eigenen Druckluftanlage (Erzeugung, Konditionierung, Verteilung, Anwendung) gebildet werden. Die Teilnahme lohnt sich.

Elektrokonsum HEUTE	288’700 kWh/a (9% des Gesamtbedarfes Strom)
Elektrokonsum MORGEN	130’000 kWh/a (4% des Gesamtbedarfes Strom)
Sparpotential Elektro	158’700 kWh/a (5% des Gesamtbedarfes Strom)

Vor dem Ersatz der Kompressoren sind unbedingt die Netzgüte und die Druckanforderungen zu konsolidieren (Luftverluste senken, Betriebsdruck senken).

Ausserdem ist die Abwärmenutzung der Maschinenkühlung für die Brauchwarmwassererzeugung, Frittierölvorwärmung, Reinigungswasser, usw. unbedingt in die Gesamtkonzeptüberlegungen einzubinden.

6.7. Einfluss Klappenstellung bei der Brüdenfassung Fritteuse

Anhand Messungen von verschiedenen Betriebszuständen konnte nachgewiesen werden, dass eine ungünstige Klappenstellung (Klappe tendenziell offen) bei der Brüdenfassung der Fritteuse einen negativen Einfluss auf den Energieeinsatz beim Frittieren hat. Hervorgerufen wird dies durch die zusätzliche Aufheizung der erzeugten Falschluft.

Der Mehraufwand beläuft sich gegenüber einer idealen Stellung (Klappe so gestellt, dass ein leichter Dampfaustritt bei den Fritteuseöffnungen entsteht) auf 5%.

Sofern während einem Produktionstag der Linie 1 (8 Stunden 5 t/h Normal-Chips) die Klappe ungünstig bedient wird, resultiert so ein absoluter Mehrverbrauch von bis zu 520 Nm^3 Erdgas (530 lt Heizoel) resp. 5'360 kWhu.

Eine Sensibilisierung des Produktionspersonals lohnt sich also nicht nur aus Qualitätsgründen (Fehlluft führt zu Oxidationsproblemen) sondern auch aus Effizienzüberlegungen.

Allenfalls lässt sich die Klappenstellung mit geeigneten Sensoren automatisieren. Dieser Schritt ist auf jeden Fall durch *ZPC* zu prüfen.

7. Resultate / Einsparungen

Massnahme	Investition [CHF]	Einsparung Fossil [kWh/a]	Einsparung Elektro [kWh/a]	Mehraufwand Elektro [kWh/a]	Einsparung CO_2 [t/a]	Unterhalt Aufwand [CHF/a]	Einsparung Energiekosten [CHF/a]	Pay-Back [a]	Vermerk
Pinch-Optimierung Einbau Wärmetauscher-System	250'000	160'160	0	-10'000	32	-7'500	18'150	23.5	A
Betriebsoptimierung Abwärmenutzung K1/K2	98'000	650'000	0	0	129	-2'940	75'780	1.3	A
Optimierung Brüdenrückführung mit Rückkühlwerk	190'000	570'000	0	-52'500	113	-5'700	62'568	3.3	A
Ersatz Druckluftkompressoren	108'000		158'700	0	0	-3'200	16'700	8.0	B
Anpassung Biogas für Einsatz Thermoölkessel	168'000	400'000	0	0	79	-5'000	26'000	8.0	B
Total	**814'000**	**1'780'160**	**158'700**	**-62'500**	**352**	**-24'340**	**199'198**	**4.7**	

Grundlagen	Vermerk
Wirtschaftlichkeit stat. berechnet, da Kapitalzins 0% Unterhaltskosten 3% der Invest.	A	Einsparung CO_2-Abgabe-Entlasung durch Verpflichtung eingerechnet. Basis ist der Abgabesatz von CHF 24.-/t C
Energie / CO_2 bei Rp. 6.3/kWh Erdgas bei Rp. 10.5/kWh Strom bei CHF 24.-/t CO_2	B	Die Investition (rot markiert) wurde basierend auf einer für Infrastrukturanlagen vertretbaren Pay-Back-Zeit von 8 Jahren zusammen mit den jährlichen Kosteneinsparungen hochgerechnet. Es handelt sich also um eine Maximalinvestition, bei welcher die Massnahme gerade noch wirtschaftlich ist.

Figur 25 *Gesamtübersicht der geprüften Massnahmen*

8. Empfehlung / Weiteres Vorgehen

8.1. Grundsatz

Bei den künftigen Verbesserungen sind unbedingt folgende Grundsätze zu beachten:

- Bestehende Komponenten nutzen
- Betriebsoptimierungen kommen vor Neuanlagen
- Anlagenkonzepte nach dem Grundsatz KISS – keep it simple and stupid
- Erkenntnisse unbedingt bei Planung Linie 2 einbeziehen (Verbrennungsluft- und Ölvorwärmung, Brüdenkondensation mit Rückkühlern)

8.2. Vorgehen und Prioritätenbildung

Projekt-Nr.	Projekt- und Massnahmenbeschrieb	Priorität
1	Klare Anweisungen an die Anlagenverantwortlichen betreffend Betrieb K1/K2 und Brüdenklappe	1
2	Projekt „Betriebsoptimierung Abwärmenutzung K1/K2“, MSRL-Automatisierung mit Betriebsmanagement der Kessel und Abwärmenutzung für ZPC und ehemals Philipsgebäude, lancieren	1
3	Projekt „Biogas-Einspeisung für Thermoölkessel Linie 1“ lancieren	1
4	Einbezug von Projekt-Nr. 8 und Projekt-Nr. 7 bei der Planung Neubau Linie 2, insbesondere die Verbrennungsluftvorwärmung (bei neuen Brennern bis 200°C)	1
5	Projekt „Ersatz Druckluftkompressoren“ in Kombination Leckagen-Behebung und Betriebsdrucksenkung lancieren	2
6	Umsetzung diverser kleineren Optimierungsmassnahmen (Pumpenbetrieb Besprühung K1/K2 & Pumpe Heizstützung BARA, Leitungsdämmungen K1/K2)	2
7	Wirkung des Projektes „Optimierung Brüdenrückführung mit trockenem Rückkühlwerk“ durch Auswertung Messdaten Heizbetrieb K1/K2 prüfen	2
8	Projekt „Pinch-Optimierung“, Einbau der neuen Wärmetauschersysteme Verbrennungsluft & Oelvorwärmung inkl. “Reaktivierung” Autokühler, lancieren	2
9	Automatisierung Brüdenklappe der Fritteuse, Ersatz Handbetrieb	3
10	Falls die Resulate des Projekt-Nr. 7 positiv sind, Projekt „Optimierung Brüdenrückführung mit trockenem Rückkühlwerk“ starten	

9. Schlussfolgerungen

Der Einsatz der Pinch-Analyse bei der Firma Zweifel Pomy-Chips hat sich nach meiner Beurteilung in mancher Hinsicht gelohnt. Einerseits wurde der Prozess in einer Tiefe analysiert, welche bei einer klassischen Prozessoptimierung resp. einer Energieanalyse selten angewandt wird. Andererseits wurde der Prozess und dessen Anforderungen ganz grundsätzlich hinterfragt. Gerade auch deshalb sollte die Methode beim Neudesign von Prozessen zur Anwendung kommen. Die Chancen für eine effiziente Anlage sind selten besser.

Es ist gut möglich, dass nach der Pinch-Analyse vom bestehenden Konzept kein Stein mehr auf dem anderen steht. Die Kunst ist es dann, das technisch und wirtschaftlich Sinnvolle herauszuschälen und den Kunden nicht vor den Kopf zu stossen, in dem der heutige Prozess komplett umgestellt wird.

Das Fundament für eine erfolgreiche Pinch-Analyse wird zweifelsohne bei der Systemabgrenzung und Prozessmodellierung inkl. Festlegung der Prozessanforderung gelegt. Hier wird nach Wichtig und Unwichtig sortiert. Letztendlich soll das Grundgerüst des Prozesses resp. der Prozesse offen liegen. Kritische Fragen wie „Braucht es hier wirklich 100°C oder würden 80°C nicht reichen?“ oder „Muss hier wirklich so viel Trocknungsluft eingesetzt werden?“ sind nötig.

Durch die vorgegebene Definition der Prozessströme entsteht automatisch eine unmittelbare Nähe zur Physik. Man kommt an der Definition der Stoffdaten nicht herum. Aber gerade darin besteht bei den Betrieben und Planern vielfach ein Vakuum. Wo finde ich die Stoffdaten von Frittieröl? Wie verhält sich die Dichte und spezifische Wärmekapazität von Thermoöl? Wie finde ich ein h-x-Diagramm bis 300°C und 2'000 g/kg absoluter Feuchte?

Für mich war diese Gründlichkeit etwas Faszinierendes, stellte mich aber auch auf den Prüfstand.

Lieber möchte man direkt auf die Optimierungsmassnahmen lossteuern und möglichst rasch Resultate vorweisen. Nicht zuletzt, um die Bedürfnisse des Kunden zu erfüllen. Das stille Analysieren und Modellieren während 60% bis 70% der gesamten Projektdauer entspricht meistens nicht dem üblichen Muster. Nein, vielmehr müssen möglichst rasch Resultate her.

Langjährige Erfahrung in der Methodik hilft diesen Schritt rasch zu durchschreiten und danach mit dem Kunden die technische Machbarkeit der Pinch-Lösungen zu diskutieren.

Die potentiellen Kunden müssen betreffend Pinch-Ansatz Vertrauen gewinnen. Speziell dazu sind Projekte wie dieses wichtig. Von der Komplexität und Vielfältigkeit der Prozesse gäbe es sicher noch besser geeignete Produktionen, wie die der *ZPC*. Dadurch, dass im Werk nicht explizit gekühlt wird und der Frittierprozess keine Vielfalt von Temperatursequenzen beinhaltet, werden die Vorzüge der Methodik etwas abgeschwächt. Prozesse bei den verschiedenste Temperaturniveaus vorkommen und sowohl geheizt wie abgekühlt wird, bieten verstärkt Anwendung für die Pinch-Analyse. Prozesse also, wie Pasteurisieren, Sterilisieren, Kühltunnels, Dampftunnels, Trocknungsprozesse, usw.

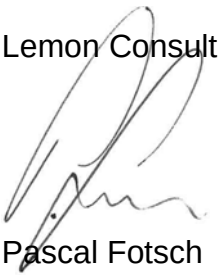
Trotzdem konnten bei der Zweifel Pomy-Chips AG interessante Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, die direkt aber auch indirekt mit der Pinch-Methodik zu tun haben und schlussendlich dazu führen, dass die Effizienz besser wird.

Es konnte auch dargestellt werden, dass heute vorhandene Anlageteile, wie der LUVO (Brüdenvorwärmung mit Rauchgas), richtig eingesetzt werden und somit gut investiert wurden. Aufgrund der Pinch-Analyse konnte auch aufgezeigt werden, dass der LUVO noch leistungsstärker hätte dimensioniert werden können und somit die Brüden noch auf ein höheres Niveau hätte gehoben werden können.

Basierend auf den bei ZPC gemachten Erfahrungen, wünschte ich mir, dass ich im Rahmen von künftigen Prozessanalysen die Pinch-Methodik gezielt einsetzen kann und mit deren integrativen Stärken weiteren Produktionsbetrieben zu besserer Energieeffizienz verhelfen kann.

An dieser Stelle danke ich dem ganzen ZPC-Team, Herrn R. Morand als Fachexperte, dem Bundesamt für Energie und der Energie-Agentur der Wirtschaft für das Vertrauen und die professionelle Unterstützung.

Lemon Consult GmbH



Pascal Fotsch

10. Referenzen

[1] R. Morand, R. Bendel, Dr. Robert O. Brunner, H.P. Pfenninger: ***Prozessintegration mit der Pinch-Methode***, Handbuch zum BFE-Einführungskurs, Auflage 2006, Oktober 2006

[2] A. Zimmer: ***Formelsammlung der Verbrennunglehre***, Fachhochschule Köln, WS1998-1999

[3] F. Staine*: **Logiciel PinchLENI*** – Version 2.2, Windows, BFE & EPFL, 1995-1999

11. Anhang

11.1. Messungen

Messausrüstung:

- Volumenstrombestimmung in Brüden- und Luftströmen mit Prandtlstaurohr und Testo 445 (Hinweis: Der hohe Wassergehalt und Ölanteil in der Brüde erfordert ein häufiges Reinigen der Messsonde)
- Temperatur, rel. Feuchtigkeit in Brüden mit hochtemperaturbeständiger Temperatur/Feuchte-Sonde und Testo 445 (Hinweis: Durch die aufgrund der Brüdenzusammensetzung erforderliche Filterkappe erhält die Sonde eine höhere Trägheit)
- Temperaturdifferenzen in Wasser- und Oelleitungen (VL/RL) mit kontaktlosem Infrarot-Messgerät von Raytec

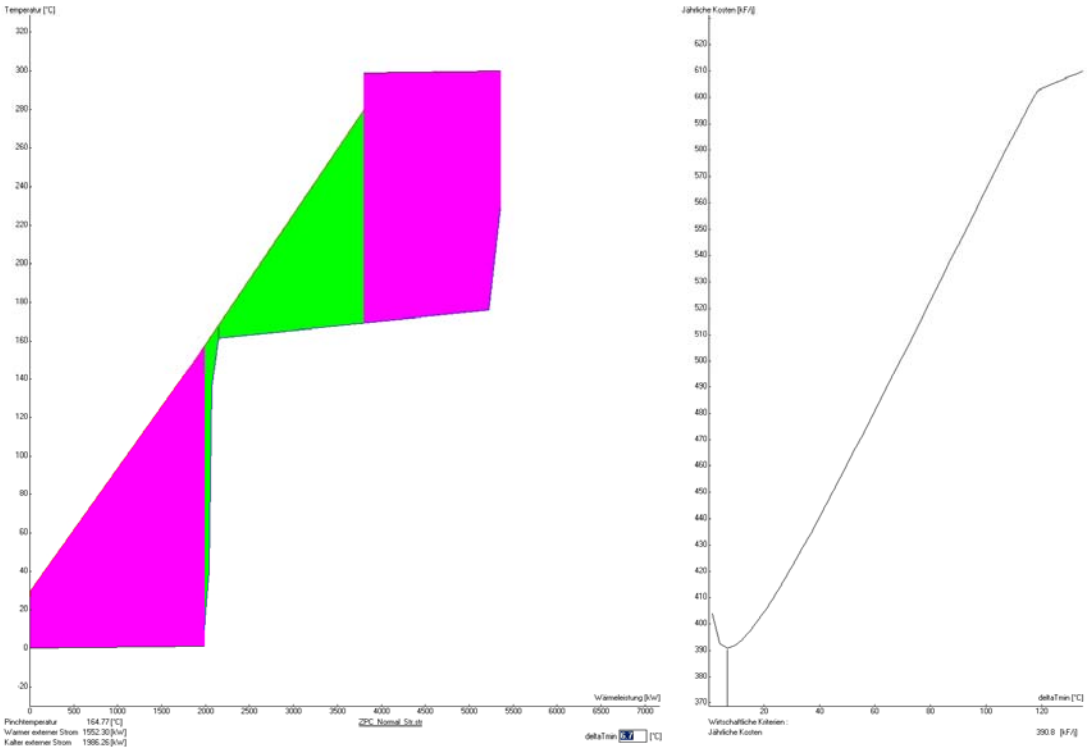
Hinweis:

Für die Bestimmung der absoluten Feuchte im Brüdenstrom, wurden verschiedene Messverfahren geprüft. Einerseits die Taupunktbestimmung mit dem Spiegelmessverfahren und andererseits eine Wassermengenbestimmung mittels definiertem Volumenstrom und Gewichtszunahme eines Silikagels.

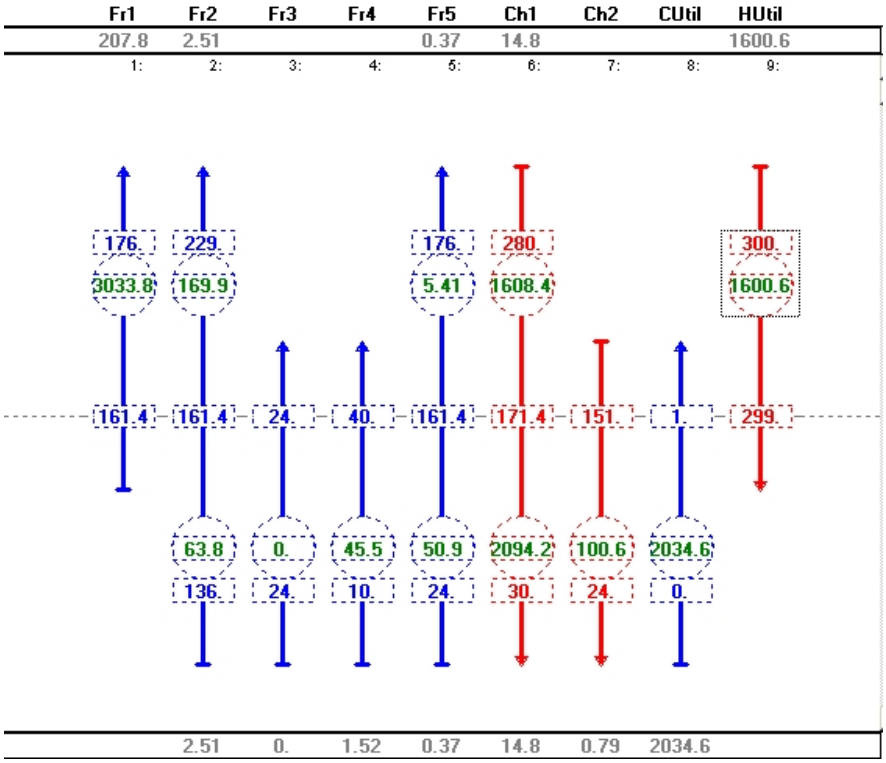
Beide Verfahren haben in Medienströmen mit grossem Wasseranteil und Verunreinigungen (Oele, Fette, usw.) entscheidenden Nachteile. Aufwändige Filtereinrichtungen wären nötig, welche die Messgüte verschlechtern. Ausserdem überschreiten die beiden Methoden mit solch hohem Wassergehalt die Grenze des Machbaren.

11.2. Resultate PinchLENI

A-Normal-Chips

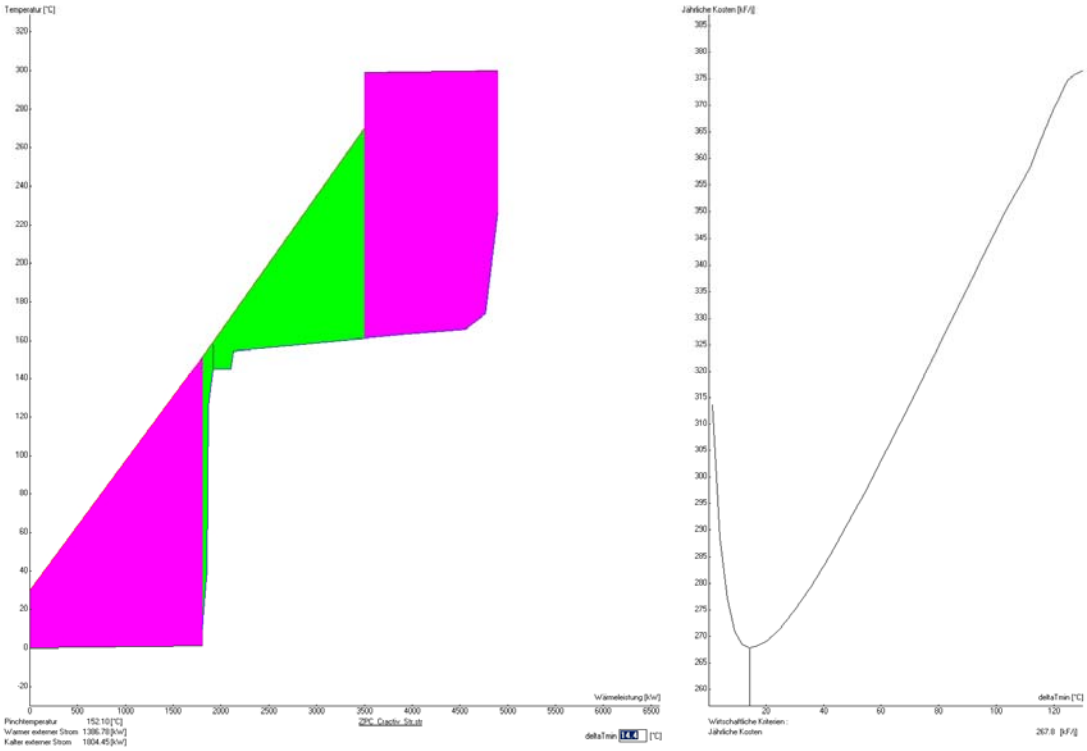


Figur 26 *Verbundkurve Normal-Chips mit eingefärbten Utilities*

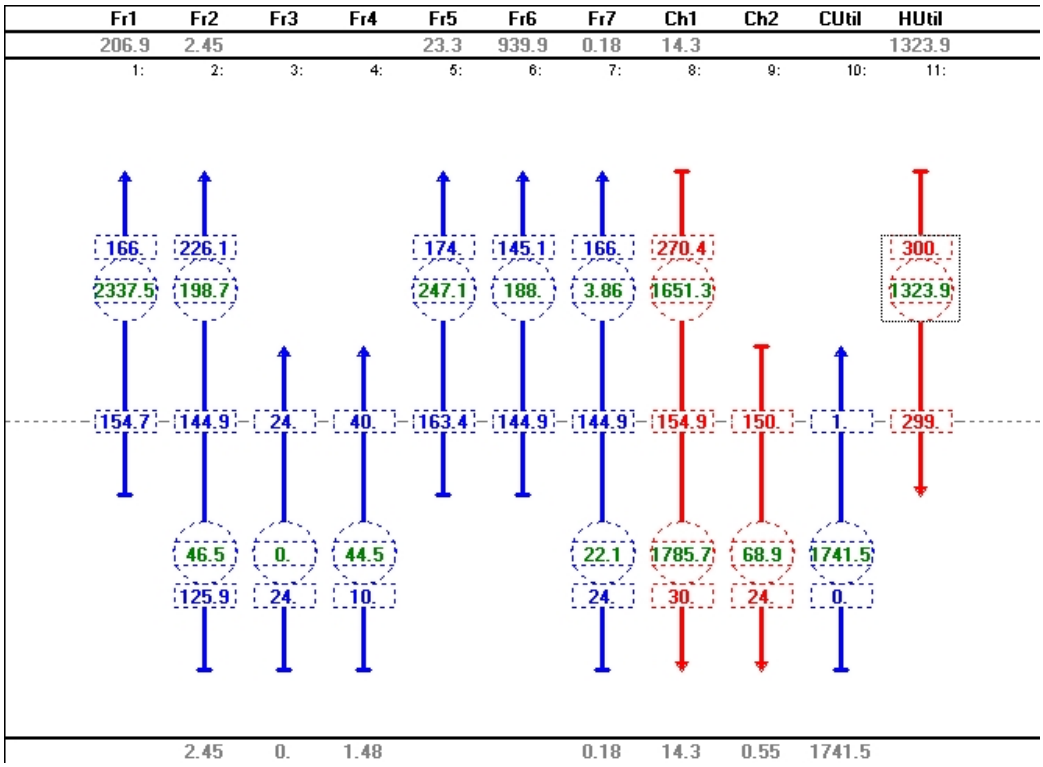


Figur 27 *Originalnetzwerk Normal-Chips*

B-Cractiv-Chips

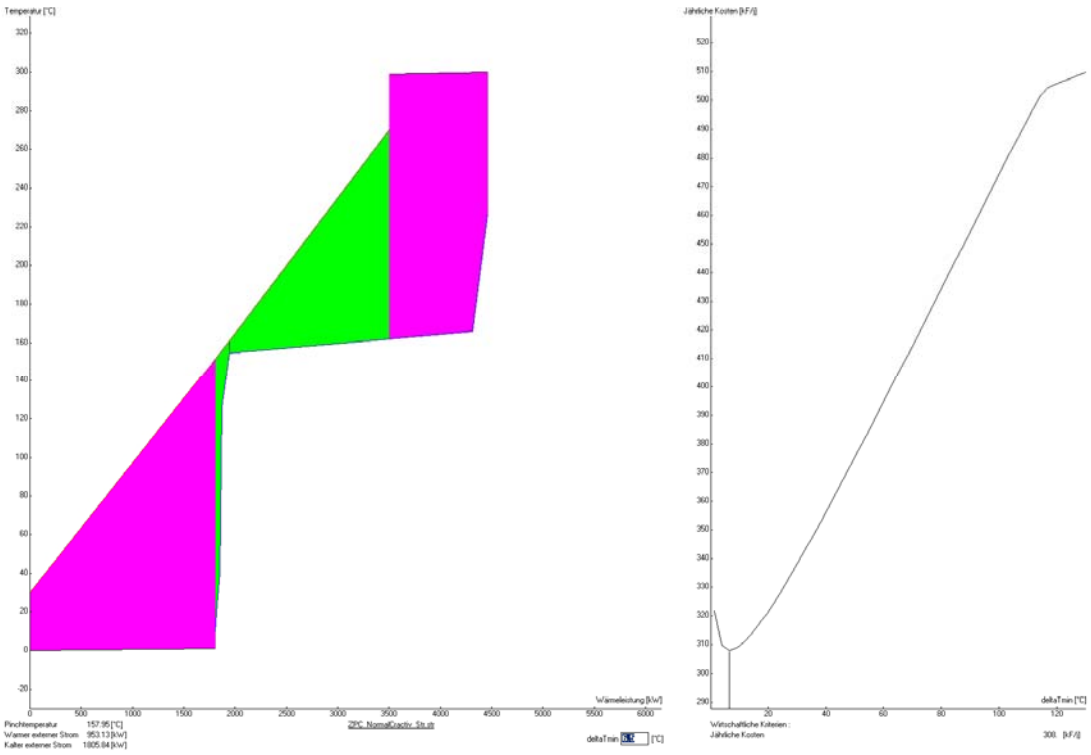


Figur 28 *Verbundkurve Cractiv-Chips mit eingefärbten Utilities*

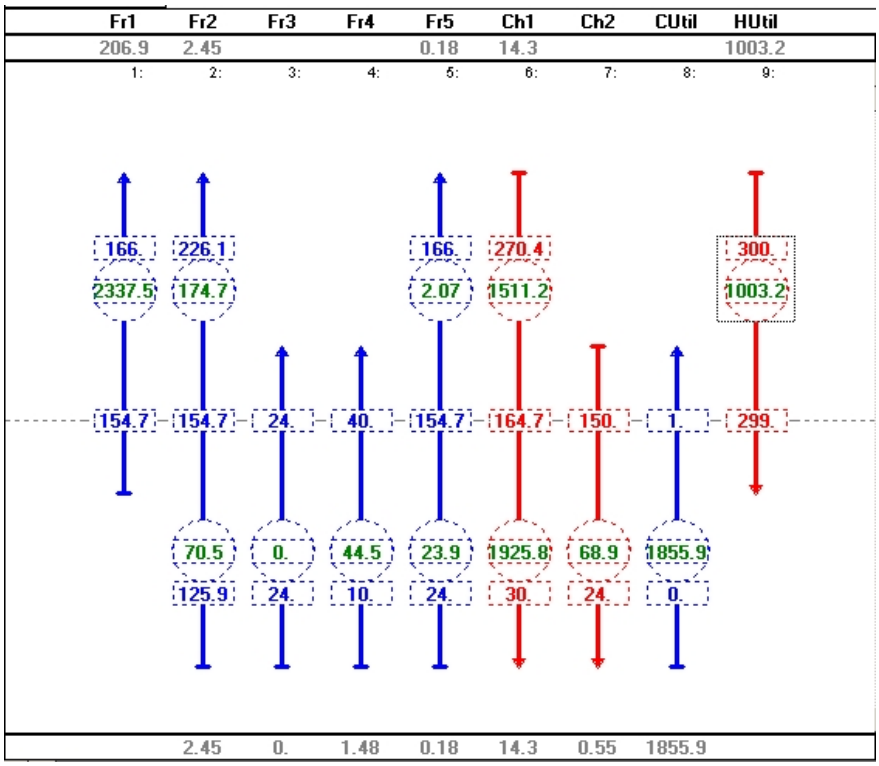


Figur 29 *Originalnetzwerk Cractiv-Chips*

C-Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen



Figur 30 *Verbundkurve Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen mit eingefärbten Utilities*



Figur 31 *Originalnetzwerk Normal-Chips unter Cractiv-Bedingungen*

11.3. Berechnungen Energieströme

A-Normal-Chips

Aufzuheizende Ströme

Frittieröl (Ersatzstrom für Produkt)

$$c_p(160°C) = 2.405\frac{kJ}{kg \cdot K}(Sonnenblumenöl) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{Fritt} = \dot{V}_{normGas} \cdot H_o \cdot \eta_{Ho} = 334\frac{Nm^3}{h} \cdot 11.38\frac{kWh}{Nm^3} \cdot 0.8 = 3'040kW \quad (2)$$

$$\dot{m}_{Fritt} = 311'005\frac{kg}{h} = 86.4\frac{kg}{s} \quad (3)$$

$$T_{OUT} = 176°C \quad (4)$$

$$T_{IN} = (4) - \frac{(2)}{(1) \cdot (3)} = 161.4°C \quad (5)$$

Brüdenstrom

$$V_{Feucht} = 8'490\frac{m^3}{h}(gemessen) \text{ bei } \rho = 609\frac{g}{m^3} \quad (6)$$

$$\dot{m}_{Feucht} = 5'170\frac{kg}{h} = 1.436\frac{kg}{s} \text{ aus (6)} \quad (7)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 3'924\frac{kg}{h} \text{ aus Massenbilanz Normal-Chips} \quad (8)$$

$$\dot{m}_{Trocken} = (7) - (8) = 1'246\frac{kg}{h} \quad (9)$$

$$c_{pH_2O}(136°C) = 1.98\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (10)$$

$$c_{pLuft}(136°C) = 1.017\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (11)$$

$$T_{OUT} = 229°C \quad (12)$$

$$T_{IN} = 136°C \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{Brüde} = ((8) \cdot (10) + (9) \cdot (11)) \cdot ((12) - (13)) = 233kW \quad (14)$$

$$c_{pFeuchtErsatz}(136°C) = \frac{(14)}{(7) \cdot ((12) - (13))} = 1.75\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (15)$$

Trocknungsluft

$$\dot{m}_{Trocken} = (9) = 1'246\frac{kg}{h} = 0.346\frac{kg}{s} \quad (16)$$

$$\dot{m}_{Feucht} = (16) + 17.3\frac{kg}{h} = 1'263\frac{kg}{h} = 0.351\frac{kg}{s} \quad (17)$$

$$c_{pFeucht}(24°C) = 1.038\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (18)$$

$$T_{OUT} = 24°C \quad (19)$$

$$T_{IN} = 24°C \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{Trocknungsluft} = (17) \cdot (18) \cdot ((19) - (20)) = 0kW \quad (21)$$

Verbrennungsluft

$$\dot{V}_{normGas} = 334\frac{Nm^3}{h} \quad (22)$$

Mindestluftbedarf bei Erdgas $9.9\frac{m^3}{m^3 Brennstoff}$ bei $\lambda = 1$ (23)

Bei $\lambda = 1.4$ → $13.86\frac{m^3}{m^3 Brennstoff}$ (24)

$$\dot{V}_{Verbrennungsluft} = (22) \cdot (24) = 4'629\frac{Nm^3}{h} \quad (25)$$

$$\dot{m}_{Verbrennungsluft} = (25) \cdot 1.16\frac{kg}{Nm^3} = 5'370\frac{kg}{h} = 1.49\frac{kg}{s} \quad (26)$$

$$c_{pVerbrennungsluft}(24°C) = 1.018\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (27)$$

$T_{OUT} = 40°C$ max. zulässige Temperatur für bestehenden Brenner (28)

$$T_{IN} = 10°C \quad (29)$$

$$\dot{Q}_{Verbrennungsluft} = (26) \cdot (27) \cdot ((28) - (29)) = 46kW \quad (30)$$

Nachspeisung Frittieröl

$$c_p(160°C) = 2.405 \frac{kJ}{kg \cdot K} (Sonnenblumenöl) \quad (31)$$

$$\dot{m}_{Ersatzöl} = 553 \frac{kg}{h} = 0.154 \frac{kg}{s} \quad (32)$$

$$T_{OUT} = 176°C \quad (33)$$

$$T_{IN} = 24°C \quad (34)$$

$$\dot{Q}_{Nachspeisung} = (31) \cdot (32) \cdot ((33) - (34)) = 56kW \quad (35)$$

Abzukühlende Ströme

Produkteoutput (frittierte, warme Chips)

$c_{pChipsout} = 1.8 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ mit unten stehender Tabelle gerechnet (36)

Massenanteile und c_p für Normal-Chips bei Austritt Fritteuse

Stoff	$c_p \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$\dot{m} \left[\frac{kg}{h} \right]$
Fett 0.6%	1.67	10
Stärke 57.4%	1.42	907
Eisweiss 6%	1.55	95
Wasser 1%	4.182	16
Sonnenblumenöl 35%	2.405	553

Figur 32 *spezifische Wärmekapazitäten und Massenanteile Normal-Chips Output*

$\dot{m}_{Chipsout} = 1'581 \frac{kg}{h} = 0.44 \frac{kg}{s}$ (37)

$T_{IN} = 151°C$ (38)

$T_{OUT} = 24°C$ (39)

$\dot{Q}_{Chipsout} = (36) \cdot (37) \cdot ((38) - (39)) = 101kW$ (40)

Abgase

Basierend auf dem Massenerhaltungssatz gilt $\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT}$ (41)

$\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{Brüde} + \dot{m}_{Gas} + \dot{m}_{Verbrennungsluft} = 3 \frac{kg}{s}$ (42)

Eine Teilmenge Wasser (ca. $60 \frac{kg}{h}$) wird auf der Brüden-Abgas-Strecke auskondensiert.

$\dot{m}_{Abgase} = (42) - \dot{m}_{Kondensat} = 2.98 \frac{kg}{s}$ (43)

Massenanteile und c_p für den Abgasstrom. Die verbrennungstechnischen Werte wurden aus der Schrift [2] übernommen.

Stoff	$c_p\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$	$\dot{m}\left[\frac{kg}{h}\right]$
CO_2 aus Erdgas stöch. mit $\lambda = 1.4$	0.95	693
N_2 aus Erdgas stöch. mit $\lambda = 1.4$	1.05	3’257
H_20 aus Erdgas stöch. mit $\lambda = 1.4$	1.92	547
H_20 aus Verbr.Luft stöch. mit $\lambda = 1.4$	1.92	31
H_20 aus Brüden	1.92	3’924
Luftüberschuss von 0.4	1.02	1’525
Trockungsluft	1.02	1’246
$c_{pAbgase}$ mit Massenanteilen gewichtet	1.38	

Figur 33 *spezifische Wärmekapazitäten und Massenanteile Kesselabgase TOE-1, Normal*

$T_{IN} = 280°C$ (44)

$T_{OUT} = 30°C$ sinnvolle Umgebungsbedingung (45)

$$\dot{Q}_{AbgaseSens} = 1.38\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (43) \cdot ((44) - (45)) = 1'028kW$$

aus Massenbilanz Normal-Chips (46)

$\dot{m}_{H_2OAbgase} = 4'502\frac{kg}{h}$ aus obiger Tabelle (47)

$\dot{m}_{AbgaseTrocken} = 6'721\frac{kg}{h}$ aus obiger Tabelle (48)

$$x_{Abgase} = \frac{(47)}{(48)} = 670\frac{g}{kg}$$ (49)

$x_{Umgebung} = 29\frac{g}{kg}$ bei $\cdot 30°C$ (gesättigter Zustand, r.F. 100%) (50)

$$\Delta x = (49) - (50) = 641\frac{g}{kg}$$ (51)

$$\dot{m}_{Kondensat} = (51) \cdot (48) = 4'308\frac{kg}{h} = 1.2\frac{kg}{s}$$ (52)

$$\dot{Q}_{AbgaseLatent} = (h'' - h') \cdot (52) = 2.26\frac{MJ}{kg} \cdot 1.2\frac{kg}{s} = 2'704kW$$ (53)

$$\dot{Q}_{Verbrennungsluft\,(10°C\ -\ 30°C)} = (T_{IN} - T_{OUT}) \cdot ((\dot{m}_{VerbrennungsluftTrocken} \cdot c_{pVerbrennungsluftTrocken}) + (\dot{m}_{VerbrennungsluftH_2O} \cdot c_{pVerbrennungsluftH_2O})) =$$

$$20K \cdot ((5'339\frac{kg}{h} \cdot 1.004\frac{kJ}{kg \cdot K}) + (31\frac{kg}{h} \cdot 1.858\frac{kJ}{kg \cdot K})) = 30kW \quad (54)$$

$$\dot{Q}_{Abgase} = (46) + (53) - (54) = 3'702kW \quad (55)$$

$$c_{pAbgaseErsatz} = \frac{(550)}{(43) \cdot ((44) - (45))} = 4.97\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (56)$$

B-Cractiv-Chips

Aufzuheizende Ströme

Frittieröl (Ersatzstrom für Produkt)

$$c_p(150°C) = 2.375\frac{kJ}{kg \cdot K}(Sonnenblumenöl) \quad (57)$$

$$\dot{Q}_{Fritt} = \dot{V}_{normGas} \cdot H_o \cdot \eta_{Ho} = 326\frac{Nm^3}{h} \cdot 11.38\frac{kWh}{Nm^3} \cdot 0.63 = 2'337kW \quad (58)$$

$$\dot{m}_{Fritt} = 313'560\frac{kg}{h} = 87.1\frac{kg}{s} \quad (59)$$

$$T_{OUT} = 166°C \quad (60)$$

$$T_{IN} = (60) - \frac{(58)}{(57) \cdot (59)} = 154.7°C \quad (61)$$

Brüdenstrom

$$V_{Feucht} = 7'610\frac{m^3}{h}(gemessen) \text{ bei } \rho = 684.9\frac{g}{m^3} \quad (62)$$

$$\dot{m}_{Feucht} = 5'212\frac{kg}{h} = 1.448\frac{kg}{s} \text{ aus (62)} \quad (63)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 3'580\frac{kg}{h} \text{ aus Massenbilanz Cractiv-Chips} \quad (64)$$

$$\dot{m}_{Trocken} = (63) - (64) = 1'632\frac{kg}{h} \quad (65)$$

$$c_{pH_2O}(126°C) = 1.99\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (66)$$

$$c_{pLuft}(126°C) = 1.042\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (67)$$

$$T_{OUT} = 226.1°C \quad (68)$$

$$T_{IN} = 125.9°C \quad (69)$$

$$\dot{Q}_{Brüde} = ((64) \cdot (66) + (65) \cdot (67)) \cdot ((68) - (69)) = 245.6kW \quad (70)$$

$$c_{pFeuchtErsatz}(126°C) = \frac{(70)}{(63) \cdot ((68) - (69))} = 1.69\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (71)$$

Trocknungsluft

$$\dot{m}_{Trocken} = (65) = 1'632\frac{kg}{h} = 0.453\frac{kg}{s} \quad (72)$$

$$\dot{m}_{Feucht} = (65) + 22.7\frac{kg}{h} = 1'655\frac{kg}{h} = 0.46\frac{kg}{s} \quad (73)$$

$$c_{pFeucht}(24°C) = 1.042\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (74)$$

$$T_{OUT} = 24°C \quad (75)$$

$$T_{IN} = 24°C \quad (76)$$

$$\dot{Q}_{Trocknungsluft} = (73) \cdot (74) \cdot ((75) - (76)) = 0kW \quad (77)$$

Verbrennungsluft

$$\dot{V}_{normGas} = 326\frac{Nm^3}{h} \quad (78)$$

Mindestluftbedarf bei Erdgas $9.9\frac{m^3}{m^3 Brennstoff}$ bei $\lambda = 1$ (79)

Bei $\lambda = 1.4$ → $13.86\frac{m^3}{m^3 Brennstoff}$ (80)

$$\dot{V}_{Verbrennungsluft} = (78) \cdot (80) = 4'518\frac{Nm^3}{h} \quad (81)$$

$$\dot{m}_{Verbrennungsluft} = (81) \cdot 1.16\frac{kg}{Nm^3} = 5'241\frac{kg}{h} = 1.456\frac{kg}{s} \quad (82)$$

$$c_{pVerbrennungsluft}(24°C) = 1.018\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad (83)$$

$T_{OUT} = 40°C$ max. zulässige Temperatur für bestehenden Brenner (84)

$$T_{IN} = 10°C \quad (85)$$

$$\dot{Q}_{Verbrennungsluft} = (82) \cdot (83) \cdot ((84) - (85)) = 44.5kW \quad (86)$$

Lufterhitzer Entfetter

$$c_p(300°C) = 2.55\frac{kJ}{kg \cdot K}(MarlothermSH) \quad (87)$$

$$\dot{m}_{Thermoöl} = 32'904\frac{kg}{h} = 9{,}14\frac{kg}{s} \quad (88)$$

$$T_{OUT} = 174°C \quad (89)$$

$$T_{IN} = 163.4°C \quad (90)$$

$$\dot{Q}_{Nachspeisung} = (87) \cdot (88) \cdot ((89) - (90)) = 247kW \quad (91)$$

Direktdampf Entfetter

$$\dot{m}_{Speisewasser} = 248.4\frac{kg}{h} = 0.069\frac{kg}{s} \quad (92)$$

$$T_{OUT} = 145.1°C \quad (93)$$

$$T_{IN} = 144.9°C \quad (94)$$

$$\dot{Q}_{AbgaseSens1}(10°C - 100°C) = 4.182\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (92) \cdot (100°C - 10°C) = 25.9kW \quad (95)$$

$$\dot{Q}_{AbgaseSens2}(100°C - 145°C) = 1.98\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (92) \cdot (145°C - 100°C) = 6.1kW \quad (96)$$

$$\dot{Q}_{AbgaseLatent} = (h'' - h') \cdot (92) = 2.26\frac{MJ}{kg} \cdot 0.069\frac{kg}{s} = 155.9kW \quad (97)$$

$$\dot{Q}_{Direktdampf} = (95) + (96) + (97) = 188kW \quad (98)$$

$$c_{pDirektdampfErsatz} = \frac{(98)}{(92) \cdot 0.2K} = 13'623\frac{kJ}{kg \cdot K} \quad c_p \text{ für Dampf bei } 145°C \quad (99)$$

Nachspeisung Frittieröl

$$c_p(150°C) = 2.375 \frac{kJ}{kg \cdot K} (Sonnenblumenöl) \quad (100)$$

$$\dot{m}_{Ersatzöl} = 276 \frac{kg}{h} = 0.077 \frac{kg}{s} \quad (101)$$

$$T_{OUT} = 166°C \quad (102)$$

$$T_{IN} = 24°C \quad (103)$$

$$\dot{Q}_{Nachspeisung} = (100) \cdot (101) \cdot ((102) - (103)) = 26kW \quad (104)$$

Abzukühlende Ströme

Produkteoutput (frittierte, warme Chips)

$c_{pChipsout} = 1.71 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ mit unten stehender Tabelle gerechnet (105)

Massenanteile und c_p für Cractiv-Chips bei Austritt Entfetter

Stoff	$c_p \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$	$\dot{m} \left[\frac{kg}{h} \right]$
Fett 0.6%	1.67	8
Stärke 65.9%	1.42	762
Eisweiss 7%	1.55	80
Wasser 1.5%	4.182	17.9
Sonnenblumenöl 25%	2.375	290

Figur 34 *spezifische Wärmekapazitäten und Massenanteile Cractiv-Chips Output*

$\dot{m}_{Chipsout} = 1'157 \frac{kg}{h} = 0.32 \frac{kg}{s}$ (106)

$T_{IN} = 150°C$ (107)

$T_{OUT} = 24°C$ (108)

$\dot{Q}_{Chipsout} = (105) \cdot (106) \cdot ((107) - (108)) = 69kW$ (109)

Abgase

Basierend auf dem Massenerhaltungssatz gilt $\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{OUT}$ (110)

$$\dot{m}_{IN} = \dot{m}_{Brüde} + \dot{m}_{Gas} + \dot{m}_{Verbrennungsluft} = 2.98\frac{kg}{s} \quad (111)$$

Eine Teilmenge Wasser (ca. $60\frac{kg}{h}$) wird auf der Brüden-Abgas-Strecke auskondensiert.

$$\dot{m}_{Abgase} = (111) - \dot{m}_{Kondensat} = 2.96\frac{kg}{s} \quad (112)$$

Massenanteile und c_p für den Abgasstrom. Die verbrennungstechnischen Werte wurden aus der Schrift [2] übernommen.

Stoff	$c_p\left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]$	$\dot{m}\left[\frac{kg}{h}\right]$
CO_2 aus Erdgas stöch. mit $\lambda = 1.4$	0.95	675
N_2 aus Erdgas stöch. mit $\lambda = 1.4$	1.05	3’180
H_20 aus Erdgas stöch. mit $\lambda = 1.4$	1.92	534
H_20 aus Verbr.Luft stöch. mit $\lambda = 1.4$	1.92	31
H_20 aus Direktdampf	1.92	284
H_20 aus Brüden	1.92	3’332
Luftüberschuss von 0.4	1.02	1’498
Trockungsluft	1.02	1’632
$c_{pAbgase}$ mit Massenanteilen gewichtet	1.36	

Figur 35 *spezifische Wärmekapazitäten und Massenanteile Kesselabgase TOE-1, Cractiv*

$T_{IN} = 270.4°C$ (113)

$T_{OUT} = 30°C$ sinnvolle Umgebungsbedingung (114)

$$\dot{Q}_{AbgaseSens} = 1.36\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (112) \cdot ((113) - (114)) = 968kW$$

aus Massenbilanz Cractiv-Chips (115)

$\dot{m}_{H_2OAbgase} = 4'181\frac{kg}{h}$ aus obiger Tabelle (116)

$$\dot{m}_{AbgaseTrocken} = 6'985\frac{kg}{h} \text{ aus obiger Tabelle} \quad (117)$$

$$x_{Abgase} = \frac{(116)}{(117)} = 599\frac{g}{kg} \quad (118)$$

$$x_{Umgebung} = 29\frac{g}{kg} \text{ bei } 30°C \text{ (gesättigter Zustand, r.F. 100\%)} \quad (119)$$

$$\Delta x = (118) - (119) = 570\frac{g}{kg} \quad (120)$$

$$\dot{m}_{Kondensat} = (120)\cdot(117) = 3'981\frac{kg}{h} = 1.1\frac{kg}{s} \quad (121)$$

$$\dot{Q}_{AbgaseLatent} = (h''-h')\cdot(121) = 2.26\frac{MJ}{kg}\cdot 1.1\frac{kg}{s} = 2'499kW \quad (122)$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{Verbrennungsluft\,(10°C\ -\ 30°C)} = \quad & (T_{IN} - T_{OUT})\cdot((\dot{m}_{VerbrennungsluftTrocken}\cdot c_{pVerbrennungsluftTrocken}) + \\ & (\dot{m}_{VerbrennungsluftH_2O}\cdot c_{pVerbrennungsluftH_2O})) = \\ & 20K\cdot((5'209\frac{kg}{h}\cdot 1.004\frac{kJ}{kg\cdot K}) + \\ & (31\frac{kg}{h}\cdot 1.858\frac{kJ}{kg\cdot K})) = 29kW\end{aligned} \quad (123)$$

$$\dot{Q}_{Abgase} = (115) + (122) - (123) = 3'438kW \quad (124)$$

$$c_{pAbgaseErsatz} = \frac{(124)}{(112)\cdot((113)-(114))} = 4.83\frac{kJ}{kg\cdot K} \quad (125)$$

Frittierölrücklauf von Entfetter zur Fritteuse

$$c_p(160°C) = 2.405\frac{kJ}{kg\cdot K}(Sonnenblumenöl) \quad (126)$$

$$\dot{m}_{Ölrücklauf} = 155\frac{kg}{h} = 0.043\frac{kg}{s} \quad (127)$$

$$T_{OUT} = 153°C \quad (128)$$

$$T_{IN} = 166°C \quad (129)$$

$$\dot{Q}_{Ölrücklauf} = (127)\cdot(127)\cdot((129)-(128)) = 1.4kW \quad (130)$$

Dieser Strom wird aufgrund der sehr geringen Leistung bei den Prozessanforderungen nicht berücksichtigt.

11.4. Wirtschaftlichkeit

Investitionen

Die Investitionen sind mit einer Genauigkeit von ±25% ermittelt. Speziell an der Situation bei der *ZPC* ist die Definition des Kapitalzinses. Dieser wird bewusst auf 0% festgelegt.

Betriebskosten (Energie- und Unterhalt) und Abgaben

Der Berechung der Kosteneinsparung seitens CO_2-Abgabe wurde folgendes zu Grunde gelegt:

Damit die ZPC eine Abgabenbefreiung erreichen kann, muss mit dem Bund eine Verpflichtung zu CO2-Reduktionen abgeschlossen werden. Dazu sind zwingend wirksame Projekte umzusetzen, um die festgelegten Ziele zu erreichen. Die Befreiung hat für die Firma *ZPC* folgende Kostenauswirkung:

Abgabesatz CHF 12.-/t ca. CHF 38’000.- pro Jahr

Abgabesatz CHF 24.-/t ca. CHF 78'000.- pro Jahr

Abgabesatz CHF 36.-/t ca. CHF 119'000.- pro Jahr

In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung haben wir die 2. Stufe mit CHF 78’000.- pro Jahr einfliessen lassen und diesen Betrag anteilmässig auf die beschriebenen Massnahmen aufgeteilt.

Die Fernwärme an das ehemalige Philipsgebäude wird aufgrund des Liefervertrages nur mit 80% des Wärmepreises Erdgas gerechnet.

Generell wurde auf eine Berücksichtigung von Energiepreisteuerungen verzichtet, da dies auf reinen Mutmassungen basieren würden.

Berechnung der Einsparungen Pinch-Massnahmen

Wärmetauscher Oelvorwärmung von 24°C auf 90°C

Leistungsgewinn Normal-Chips gemäss Pinch-Methode 48.1 kW bei Erwärmung von 24°C auf 154°C

Bei 1'470 Vollbetriebsstunden

$$Q_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 154°C) = 48.1kW \cdot 1'470\frac{h}{a} = 70'707\frac{kWh}{a} \quad (131)$$

$$Q_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C) = \frac{70'707\frac{kWh}{a}}{(154°C - 24°C)} \cdot (90°C - 24°C) = 35'897\frac{kWh}{a} \quad (132)$$

$$E_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C) = \frac{Q_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C)}{\eta_{Kessel}} = \frac{35'897\frac{kWh}{a}}{0.85} = 42'230\frac{kWh}{a} \quad (133)$$

Leistungsgewinn Cractiv-Chips gemäss Pinch-Methode 20.9 kW bei Erwärmung von 24°C auf 138.5°C

Bei 870 Vollbetriebsstunden

$$Q_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 138.5°C) = 20.9kW \cdot 870\frac{h}{a} = 18'183\frac{kWh}{a} \quad (134)$$

$$Q_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C) = \frac{18'183\frac{kWh}{a}}{(138.5°C - 24°C)} \cdot (90°C - 24°C) = 10'481\frac{kWh}{a} \quad (135)$$

$$E_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C) = \frac{Q_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C)}{\eta_{Kessel}} = \frac{10'481\frac{kWh}{a}}{0.85} = 12'330\frac{kWh}{a} \quad (136)$$

$$E_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C) = (135) + (136) = 54'560\frac{kWh}{a} \quad (137)$$

$$Einsparung_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 90°C) = 0.063\frac{CHF}{kWh} \cdot (137) = CHF\,3'437.20 \quad (138)$$

Wärmetauscher Verbrennungsluftvorwärmung von 10°C auf 40°C

Leistungsgewinn Normal-Chips gemäss Pinch-Methode 45.5 kW bei Erwärmung von 10°C auf 40°C

Bei 1'470 Vollbetriebsstunden

$$Q_{Verbrennungsluftvorwärmung}(10°C \rightarrow 40°C) = 45.5kW \cdot 1'470\frac{h}{a} = 66'885\frac{kWh}{a} \quad (139)$$

$$E_{Verbrennungsluftvorwärmung}(24°C \rightarrow 40°C) =$$
$$Q_{Verbrennungsluftvorwärmung}(24°C \rightarrow 40°C) = 66'885\frac{kWh}{a} \quad (140)$$

Leistungsgewinn Cractiv-Chips gemäss Pinch-Methode 44.5 kW bei Erwärmung von 10°C auf 40°C

Bei 870 Vollbetriebsstunden

$$Q_{Verbrennungsluftvorwärmung}(10°C \rightarrow 40°C) = 44.5kW \cdot 870\frac{h}{a} = 38'715\frac{kWh}{a} \quad (141)$$

$$E_{Verbrennungsluftvorwärmung}(24°C \rightarrow 40°C) =$$
$$Q_{Verbrennungsluftvorwärmung}(24°C \rightarrow 40°C) = 38'715\frac{kWh}{a} \quad (142)$$

$$E_{Verbrennungsluftvorwärmung}(24°C \rightarrow 40°C) = (140) + (142) = 105'600\frac{kWh}{a} \quad (143)$$

$$Einsparung_{Oelvorwärmung}(24°C \rightarrow 40°C) = 0.063\frac{CHF}{kWh} \cdot (143) = CHF\,6'652.80 \quad (144)$$

$$Gaseinsparung_{Pinch\ -\ Massnahmen} = (138) + (144) = CHF\,10'090.- \quad (145)$$

Berechnung der Einsparungen weiterer Optimierungsmassnahmen

Berechnung Massnahme Betriebsoptimierung K1/K2

Der Stützkessel der Firma ZPC hat heute einen Wärmeverbrauch von 1'270 MWh/a für Heizung, Warmwasser und BARA-Prozess. Durch eine übergeordnete Steuerung könnte vor allem der Wärmebedarf während der Produktionszeit (Tageszeit während der Arbeitswoche) durch die Wärmeauskoppelung aus K1 konsequent gedeckt werden. Parallel dazu müssen ausserhalb des Werkbetriebes die Raumheizungen strikte abgesenkt werden.

Annahme 40% Sparpotential aufgrund des Jahresenergieverlaufes Stützkessel und ersten Auswertungen der Messungen Wärmeauskoppelung K1 bei konsequentem Betrieb.

$$E_{K1\,-\,Optimierung} = 1'270\frac{MWh}{a}\cdot 0.4 = 500\frac{MWh}{a} \tag{146}$$

$$Einsparung_{K1\,-\,Optimierung} = (146)\cdot 0.063\frac{CHF}{kWh} = CHF\,31'500.- \tag{147}$$

Die Auswertung des Fernwärmeverkauf an das ehemalige Philips-Gebäude im EnAW-Monitoring hat Differenzen von gegen 200 MWh/a zwischen guten und schlechten Verkaufsjahren ergeben. Dies ist massgebend auf die schlechte Betriebsführung von K2 und dessen Einbindung in die Wärmeerzeugungsanlage bei Philips zurückzuführen. Der Kostenreduktionsfaktor von 0.8 basiert darauf, dass dem externen Wärmebezüger jeweils nur 80% des aktuellen Gaspreises verrechnet wird.

$$E_{K2\,-\,Optimierung} = 200\frac{MWh}{a}\cdot 0.75 = 150\frac{MWh}{a} \tag{148}$$

$$Einsparung_{K2\,-\,Optimierung} = (148)\cdot 0.063\frac{CHF}{kWh}\cdot 0.8 = CHF\,7'560.- \tag{149}$$

$$E_{K1\,\&\,K2\,-\,Optimierung} = (146)+(148) = 650\frac{MWh}{a} \tag{150}$$

$$Gaseinsparung_{K1\,\&\,K2\,-\,Optimierung} = (147)+(149) = CHF\,39'060.- \tag{151}$$

Berechnung Massnahme Entlastung Thermoölkessel durch Auskondensation der (Trocknung) Brüde

Mit dem Rückkühlwerk muss ca. 2'950 kW Wärme an die Umgebung abgegeben werden, um 3'830 kg/h Wasser zu kondensieren.

Von den Total 2'340 Betriebsstunden der Linie 1 wird während ca. 670 h Wärme bei den Kondensatoren K1/K2 ausgekoppelt. Das Rückkühlwerk könnte also während 1'670 h betrieben werden. Diese Stundenzahl basiert bereits auf der Optimierung des K1/K2-Betriebes (Mehrnutzung Abwärme), um Doppelzählungen bei den Einsparungen zu verhindern.

Anfallende Wärme aus der Kondensation

$\dot{m}_{H_2O} = 3'924 \frac{kg}{h}$ aus Massenbilanz Normal-Chips (152)

$\dot{m}_{Trocken} = 1'246 \frac{kg}{h}$ (153)

$c_{pH_2O}(136°C) = 1.98 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ (154)

$c_{pLuft}(136°C) = 1.017 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ (155)

$T_{Start} = 136°C$ (156)

$T_{Ziel} = 50°C$ (157)

$\dot{Q}_{Sensibel} = ((152) \cdot (154) + (153) \cdot (155)) \cdot ((156) - (157)) = 216kW$ (158)

$\dot{Q}_{Latent} = 2.26 \frac{MJ}{kg} \cdot 3'830 \frac{kg}{h} * \frac{1}{3.6} = 2'404kW$ (159)

$\dot{Q}_{Rückkühlung} = (158) + (159) = 2'620kW$ (160)

$E_{Rückkühlung} = (160) \cdot 2'340 \frac{h}{a} = 6'131 \frac{MWh}{a}$ (161)

Mit K1/K2 nach Optimierung genutzt

Philips ca. 750 MWh/a / ZPC Intern ca. 1’000 MWh/a

$$E_{K1\ \&\ K2} = 1'750\frac{MWh}{a} \tag{162}$$

$$E_{Potential} = (160) - (161) = 4'381\frac{MWh}{a} \tag{163}$$

→ Vollbetriebsstunden des Rückkühlwerkes

$$t_{Vollbetrieb} = \frac{(162)}{(159)} = 1'672\frac{h}{a} \tag{164}$$

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird mit einer Betriebsdauer von 1'500 h gerechnet

Einsparung Endenergie am Thermoölkessel bei 380 kW Leistungsentlastung

$$E_{Rückkühlwerk} = 380kW \cdot 1'500\frac{h}{a} = 570\frac{MWh}{a} \tag{165}$$

Mehraufwand Elektro durch Betrieb Rückkühlwerk (Ventilatoren, Pumpen)
3x 10.8 kW Ventilatoren und ca. 2.6 kW Pumpen

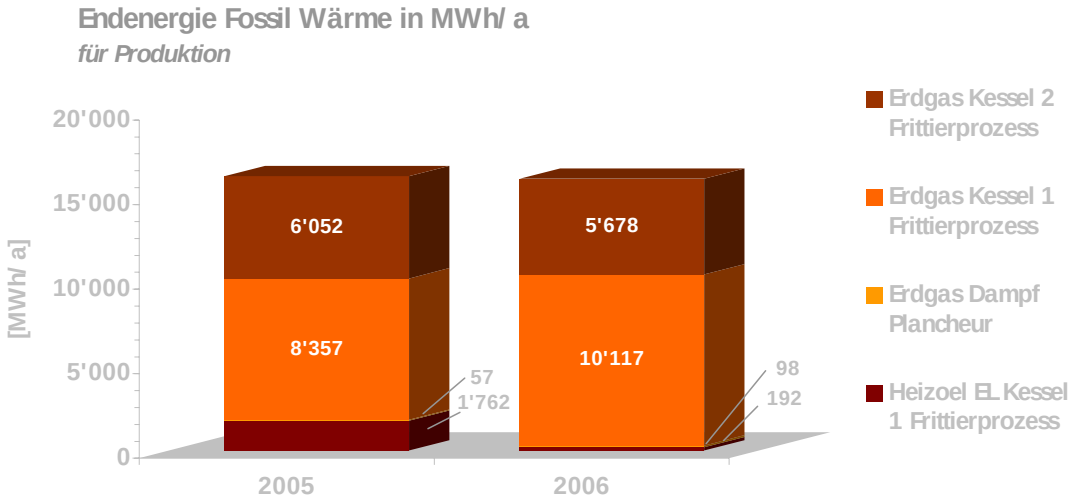
$$E_{Elektro} = 35kW \cdot 1'500\frac{h}{a} = -52.5\frac{MWh}{a} \tag{166}$$

Daraus resultiert ein ETV (**E**lektro**t**hermischer **V**erstärkungsfaktor) von 10.8

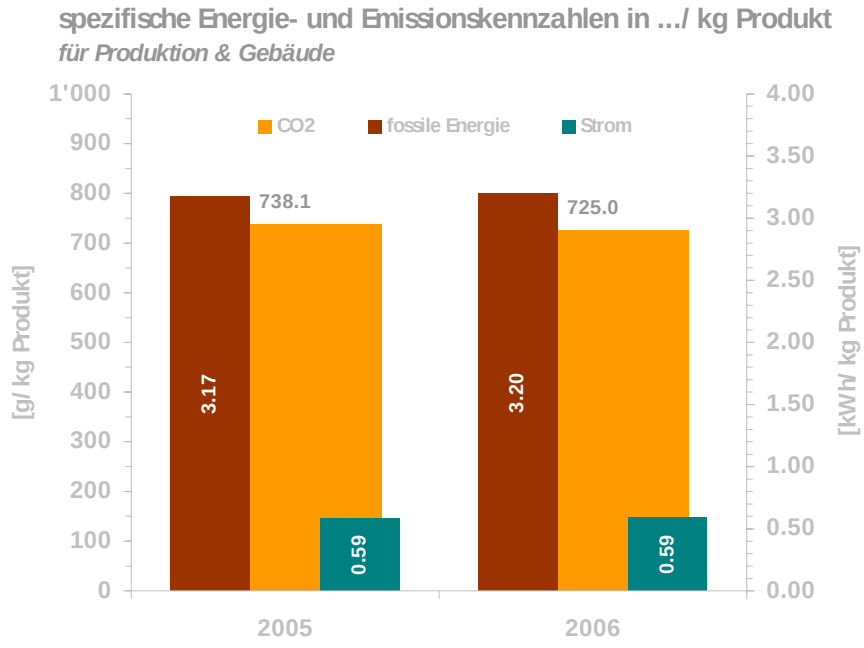
$$Gaseinsparung_{Rückkühler} = 0.063\frac{CHF}{kWh} \cdot (164) = CHF\ 35'910.- \tag{167}$$

$$Elektromehrverbrauch_{Rückkühler} = 0.105\frac{CHF}{kWh} \cdot (165) = CHF\ 5'512.50 \tag{168}$$

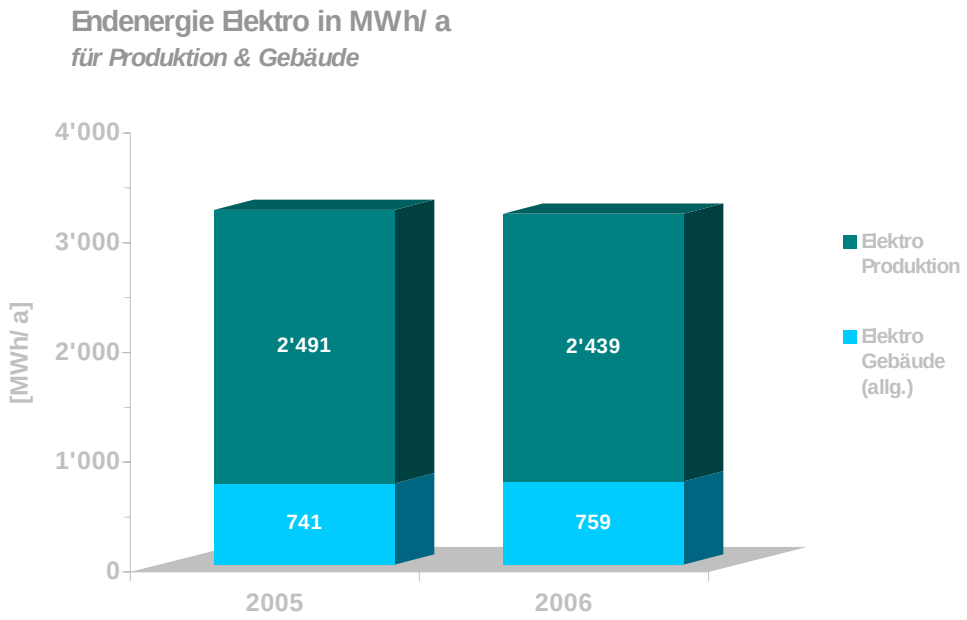
11.5. Energiediagramme



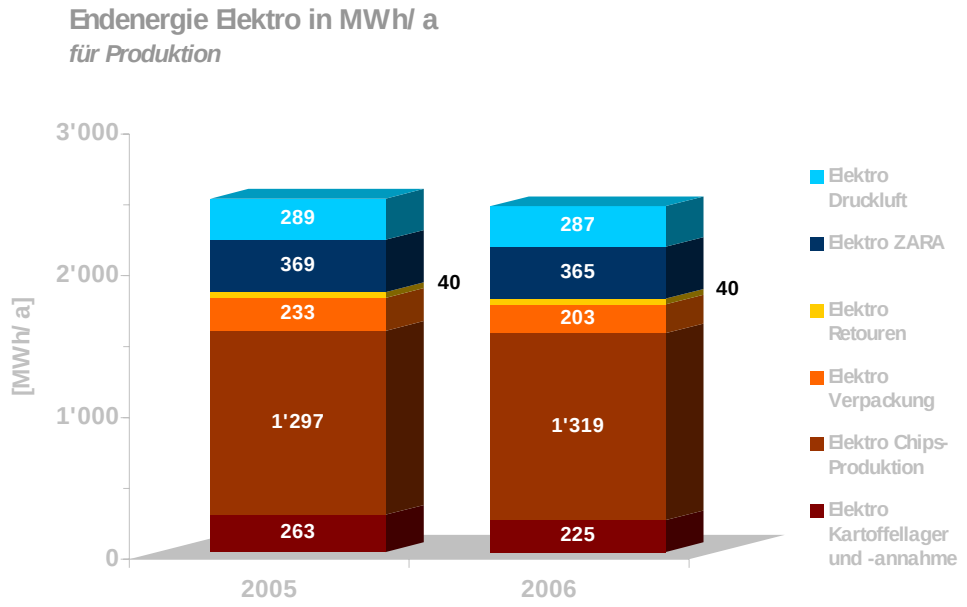
Figur 36 *Endenergie fossile Brennstoffe Prozesse / 2005, 2006*



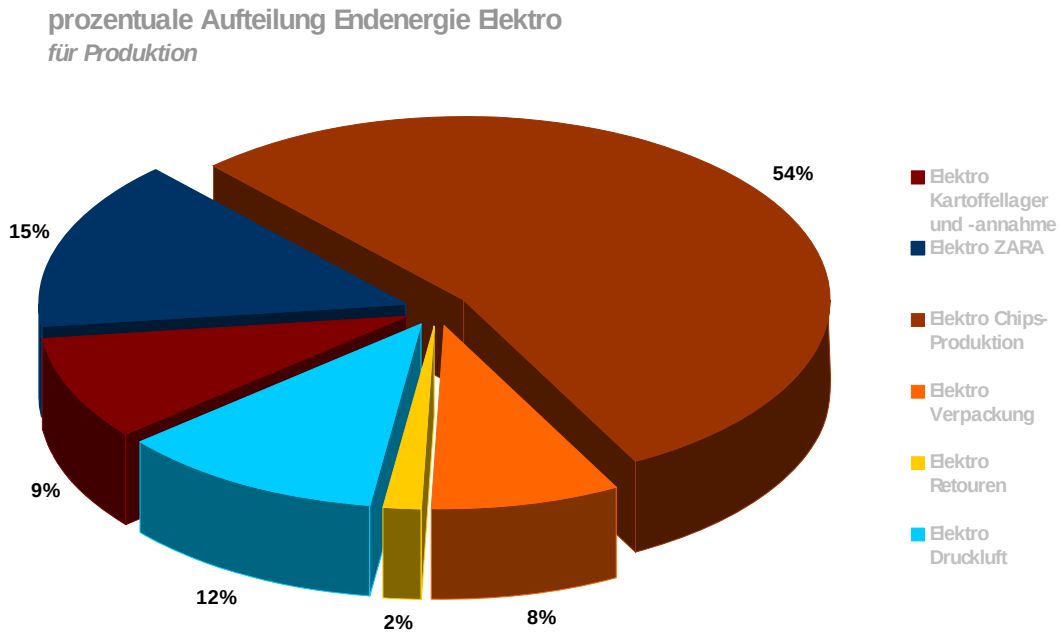
Figur 37 *Spezifische Kennzahlen / 2005, 2006*



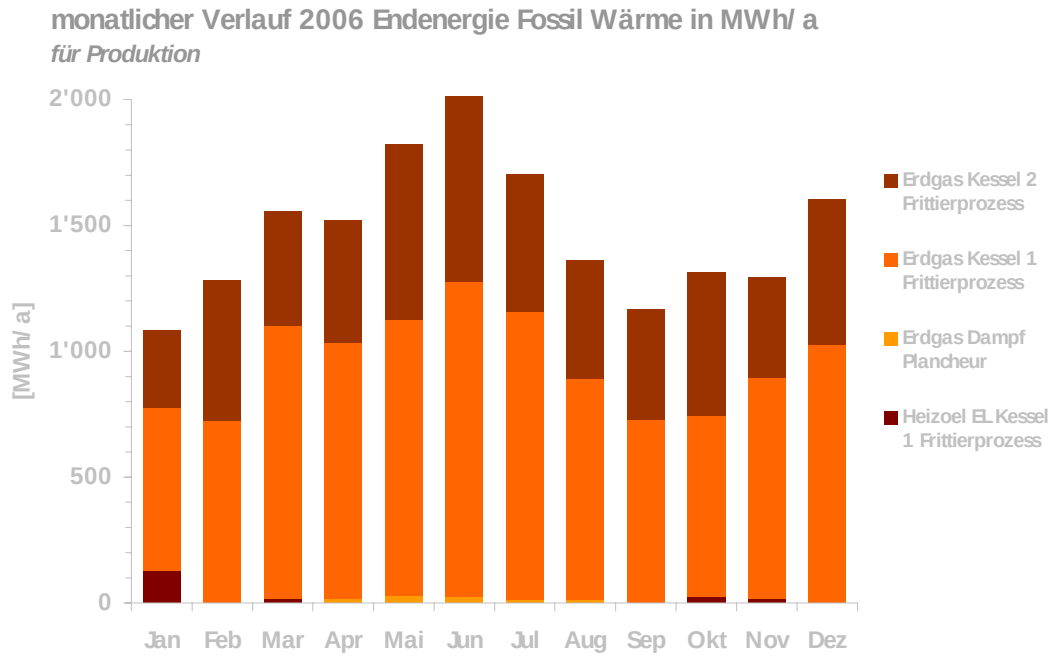
Figur 38 *Endenergie Elektro / 2005, 2006*



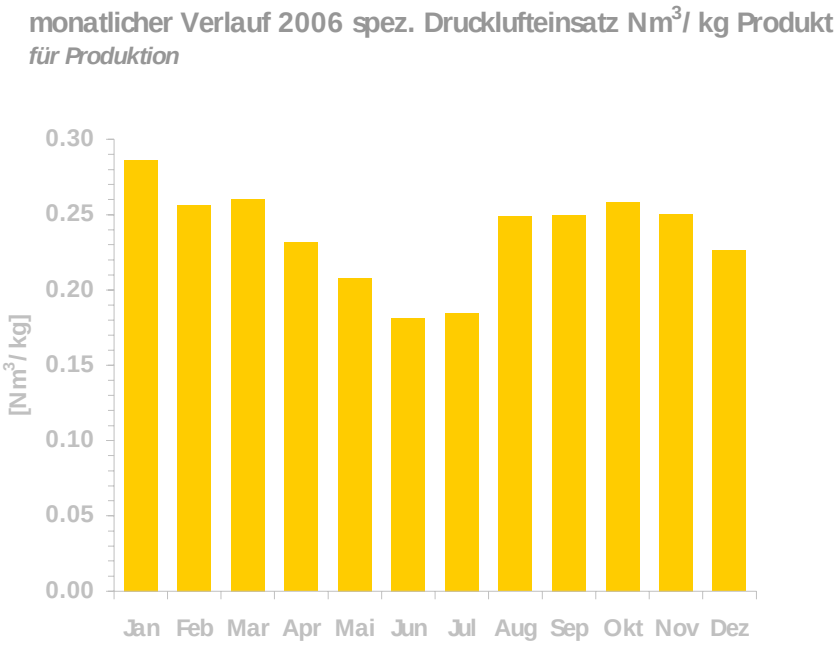
Figur 39 *Verbrauchsanteile absolut, Elektro Produktion / 2005, 2006*



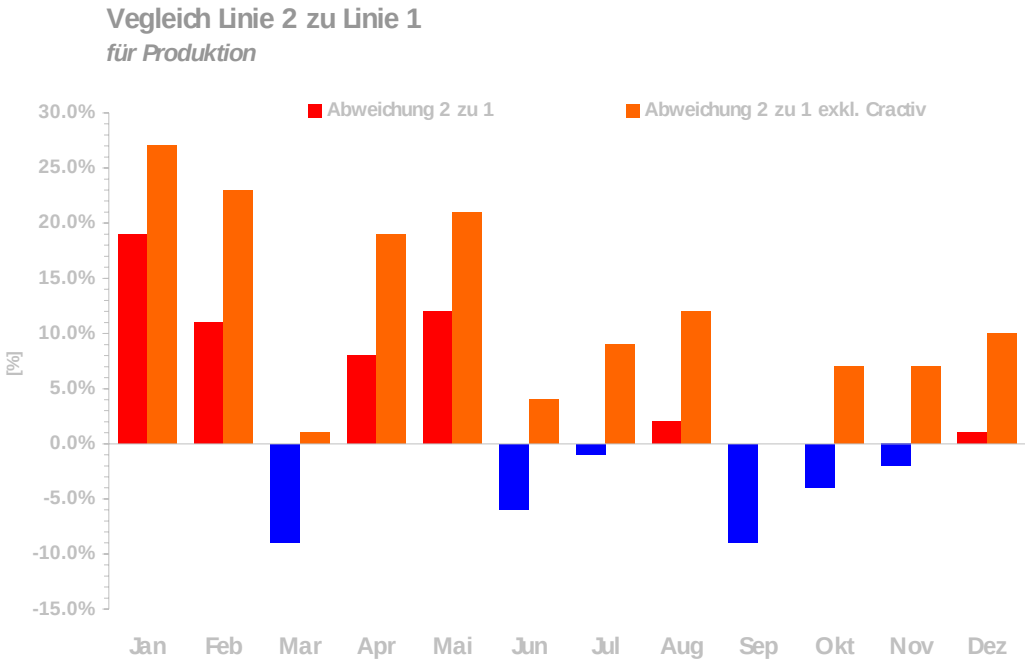
Figur 40 *Verbrauchsanteile prozentual, Elektro Produktion / 2005, 2006*



Figur 41 *Endenergie fossile Brennstoffe Prozesse / monatlich*



Figur 42 *Spezifischer Drucklufteinsatz pro Kilogramm Produkt*



Figur 43 *Vergleich Effizienz Wärmeenergie Linie 2 zu Linie 1*

11.6. Fotos

Figur 44 *Brüdensammlung Fritteuse Linie 1*

Figur 46 *Inaktiver Wärmetauscher in Abgasstrecke*

Figur 45 *Thermoölkessel TOE1 mit Monoblockbrenner*

Figur 47 *Abgasventilator auf -4mbar geregelt*

Figur 48 *Wasserdampffahne am Kamin Kessel TOE1*

Figur 50 *Tagestank Frittieröl Linie 1*

Figur 49 *Kondensatabscheider in Brüdenstrom*