



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

Pinch-Analyse 2008

Projekt: Unternehmen aus der Süswarenbranche

SCHLUSSBERICHT

Ausgearbeitet durch

Daniel Meier, Encontrol GmbH

Bremgartenstrasse 2, 5443 Niederrohrdorf, daniel.meier@encontrol.ch, www.encontrol.ch

Mitarbeit durch

Urs Flükiger, Patrick Mayer, Weisskopf & Partner GmbH

Impressum

Datum: 31. August 2008

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: 102'552

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	3
2 Ziele der Arbeit	3
3 Vorgehensweise	3
4 Ergebnisse Grobanalyse	4
4.1 Kernaussagen Grobanalyse	4
5 Durchführung Pinch-Analyse	5
5.1 Analyse Produktionsprozess	5
5.2 Beschreibung des Produktionsprozesses.....	5
5.3 Analyse Infrastrukturanlagen	6
5.4 Beschreibung der Infrastrukturanlagen.....	6
5.5 Teilprozesse mit Angabe von Temperaturen und Mengen.....	7
5.6 Überprüfung der Prozessanforderungen	7
5.7 Anwendung Pinch-Software.....	7
5.8 Überprüfung der Machbarkeit der Wärmetauscher	9
6 Ergebnisse Pinch-Analyse.....	9
6.1 Ideales Wärmetauschernetzwerk	9
6.2 Prozessanforderung erfüllt oder nicht ?.....	9
7 Massnahmenliste inkl. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	10
7.1 Massnahmen Übersicht	10
7.2 Massnahme MS1 – Rauchgasrekuperator Linie 4	10
7.3 Massnahme MS2 – neue Kälteerzeugung.....	11
7.4 Massnahme MS3 – Speisewasservorwärmung mit Abwärme	12
7.5 Massnahme MS4 –Abwärmennutzung Druckluftkompressor.....	13
7.6 Massnahme MS5 –neues Lüftungskonzept Linien 1 - 3.....	14
7.7 Massnahme MS6 - neuer Gaskessel in Heizzentrale Büro	14
7.8 Massnahme MS7 – Stilllegung Dampfleitungen	15
7.9 Massnahme MS8 – Raumheizung Kantine mit WW anstatt Dampf.....	15
7.10 Massnahme MS9 – Raumheizung Verladeraum mit Abwärme.....	16
8 Erkenntnisse bei der Anwendung der Pinch-Methode	16
9 Schlussfolgerungen	17

Verzeichnis der Grafiken

Grafik 1	Energieflussdiagramm	4
Grafik 2	Composite Curves.....	8
Grafik 3	Ideales Wärmetauscher-Netzwerk.....	8
Grafik 4	Übersicht Massnahmen	10
Grafik 5	Rauchgas-Rekuperator Linie 4	10
Grafik 6	neue Kälteerzeugung, Kälteverbraucher	11
Grafik 7	Abwärmenutzung neue Kältemaschine für Speisewasservorwärmung.....	12
Grafik 8	neues Lüftungskonzept Linien 1 - 3.....	14

Zusammenfassung

Nach der erfolgreichen Durchführung von 5 Pilotprojekten hat das *Bundesamt für Energie* ein weiteres Folgeprojekt in der Süsswarenindustrie gefördert.

Das empfohlene Unternehmen war im Zusammenhang mit dem Bau einer neuen Produktionslinie interessiert, mögliche Optimierungsmassnahmen zu berücksichtigen, die sich aus der Analyse der bestehenden Produktionslinien ergeben. Die Arbeiten wurden zwischen April und August 2008 ausgeführt.

Aus der Analyse des Produktionsprozesses und der Analyse der zugehörigen Infrastrukturanlagen Dampferzeugung und -verteilung, Warmwassererzeugung und -verteilung, Kälteerzeugung und Druckluftherzeugung konnten Massnahmen abgeleitet werden, die zu einem realistischen Einsparpotenzial von 1'000 MWh +/- 25% führen. Das sind rund 14% des bisherigen Verbrauches.

Die Kosten für die Energieoptimierungsmassnahmen belaufen sich auf rund CHF 256'000.-. Die Einsparungen betragen bei einem Erdgaspreis von 7.5 Rp./kWh rund CHF 76'000.- pro Jahr. Das ergibt eine einfache Payback-Zeit von 3.4 Jahren.

Zusätzlich zu den Energieoptimierungsmassnahmen wurden im Zusammenhang mit dem Neubau der Produktionslinie 4 weitere Teilprojekte spezifiziert, wie zum Beispiel der Ersatz der Kältemaschinen oder das neue Lüftungskonzept für die Produktionsräume der Linien 1 – 3.

1 Ausgangslage

Das Unternehmen aus der Süsswarenbranche hat sich hinsichtlich des geplanten Ausbaus und einer damit verbundenen Optimierung der bestehenden Anlagen für die Durchführung einer Pinch-Analyse interessiert. Das *Bundesamt für Energie* hat diese Analyse im Rahmen des Programmes *Prozess- und Betriebsoptimierung Industrie und Dienstleistungen* finanziell unterstützt.

Encontrol GmbH Daniel Meier, Energieingenieur und Moderator bei der *Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW)* hat dieses Pilotprojekt mit Unterstützung von Urs Flükiger, Energieingenieur der *Weisskopf & Partner GmbH* umgesetzt.

2 Ziele der Arbeit

Hauptziele der Pinch-Analyse sind:

- Anwenden der vereinfachten und standardisierten Anwendung der Pinch-Methode.
- Erarbeiten von Massnahmenvorschlägen mit Angaben bzgl. Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zur Optimierung bestehender Anlagen einerseits und als Pflichtenheft für den Bau der neuen Produktionslinie andererseits.

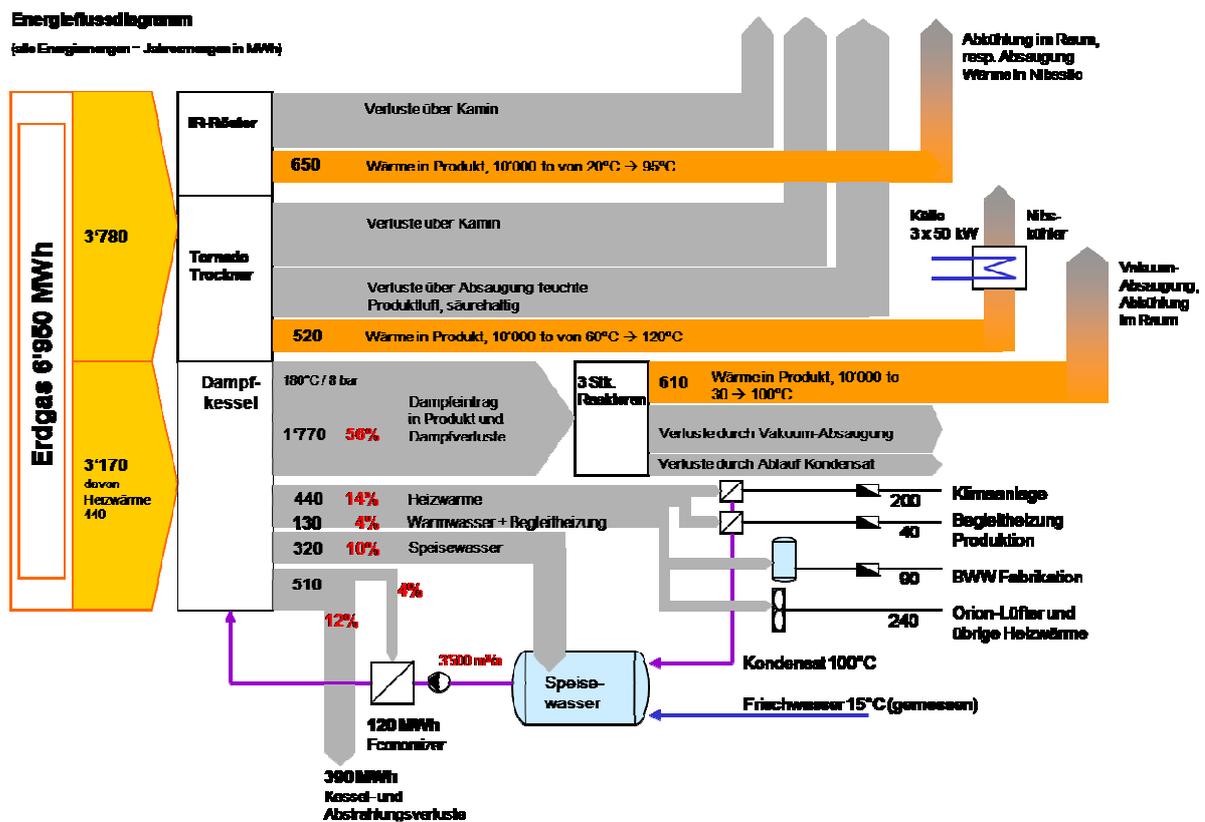
3 Vorgehensweise

Zur Erreichung der Ziele wurde folgender Lösungsweg gewählt:

- Durchführung einer **Grobanalyse im Herbst 2007**, bestehend aus
 - Analyse der Energieverbraucher und der Energieflüsse
 - Energieflussdiagramm
 - Analyse Produktionsprozess
 - Abschätzungen bzgl. Einsparpotenzialen sowie Machbarkeit und Nutzen einer Pinch-Analyse
- **Go-Entscheid** Pinch-Analyse durch GL
- Durchführung der **Pinch-Analyse April – August 2008**, bestehend aus

- Umfangreiche Analyse der bestehenden Produktions- und Infrastrukturanlagen
- Definieren von Teilprozessen mit Angabe von Temperaturen und Mengen
- Überprüfung und Definition der Prozessanforderungen dieser Produktionsprozesse
- Anwendung Pinch-Software, Erstellen des Netzwerkes
- Überprüfung der Machbarkeit der Wärmetauscher, Vornahme von Korrekturen
- Ausarbeitung und Beschreibung möglicher Massnahmen im Zusammenhang mit dem geplanten Bau der neuen Produktionslinie
- Definitive Massnahmenliste inkl. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Erstellen des Projektberichts mit Massnahmenblätter

4 Ergebnisse Grobanalyse



Grafik 1 Energieflussdiagramm

Die im Energieflussdiagramm angegebenen Mengen sind mit Ausnahme des gemessenen Erdgasverbrauches für die Dampferzeugung und des gemessenen Erdgasverbrauches für den Prozess berechnet oder abgeschätzt. Einzelne Wärmezähler wurden erst nachträglich eingebaut.

4.1 Kernaussagen Grobanalyse

- Der Produktionsprozess von Kakaomasse erfordert die Bereitstellung von Erdgas und Dampf. Auf beides kann nicht verzichtet werden.
- Ein Grossteil der dem Prozess zugeführten Wärmeenergie wird als Verlustwärme auf teilweise hohem Temperaturniveau an die Umgebung abgegeben.
- Im ersten Teil der Grobanalyse wurden nur die Infrastrukturanlagen untersucht und Massnahmen abgeleitet. Aufgrund der neuen Erkenntnisse der im zweiten Teil vorgenommenen Analyse des Produktionsprozesses erwiesen sich die zuvor ermittelten Massnahmen teilweise als falsch.

- Die Grobanalyse hat schliesslich ergeben, dass der gesamte Heizwärmebedarf, der Brauchwarmwasser-Bedarf und ein Grossteil der Frischwasser-Vorwärmung für das Speisewasser durch Abwärme aus dem Produktionsprozess mit wirtschaftlichen Massnahmen gedeckt werden könnte.
- Da diese Aussagen aber aufgrund fehlender Pläne und Energiemengen noch immer relativ unsicher sind, wurde der Geschäftsleitung die Durchführung einer Pinch-Analyse vorgeschlagen mit dem Ziel, die Istsituation genau aufzunehmen und mit der Pinch-Methode wirtschaftliche Prozessabwärmepotenziale zu identifizieren.
- Beim Produktionsprozess handelt es sich grundsätzlich um einen kontinuierlichen Prozess.

5 Durchführung Pinch-Analyse

5.1 Analyse Produktionsprozess

- Prinzipschema Prozess s. Anhang A
- Inputtabelle Pinch-Software s. Anhang B ¹

5.2 Beschreibung des Produktionsprozesses

Infrarottrockner

- 10'000 Tonnen Bohnen werden pro Jahr getrocknet und dabei erhitzt.
- Es wird eine geringe Menge Wasser prozessbedingt beigefügt und verdampft.
- Die Abluft des Infrarottrockners wird ungenutzt abgegeben.

Brecher

- Im Brecher wird die Schale gelöst. Die Menge reduziert sich um 12%, d.h. noch 53 to pro Tag.

Nibssilo

- In 4 Nibssilos à 5 Tonnen werden die Nibs zwischengelagert.
- Die Nibs kühlen sich durch Luftabsaugung ab.

Vorbehälter

- In einem 1'000 kg Vorbehälter werden die Nibs für den nachfolgenden Batchprozess vorgelagert.

Reaktor

- In 3 Reaktoren werden zukünftig täglich 53 Tonnen Nibs sterilisiert.
- Die Reaktoren haben einen Doppelmantel, welcher mit Dampf beheizt wird, damit die Nibs nicht abkühlen. Der Dampf kondensiert, das Kondensat wird ungenutzt in den Abfluss geführt. Die Menge ist nach Augenscheinnahme gering.
- Am Ende des Batchprozesses werden die Nibs mit einer Vakuumpumpe aus dem Reaktor gesaugt. Sie kühlen sich dabei ab.

Tornado-Röster

- Im erdgasbeheizten Tornado-Röster werden die Nibs erhitzt und die Luftfeuchtigkeit reduziert.
- Die Nibs durchlaufen einen von aussen erhitzten Innenzylinder im Röster. Die den Zylinder umgebende Heissluft rotiert im Umluftbetrieb mit einem unbekanntem Aussenluftanteil. heisse Abluft wird über ein Kamin abgeführt.
- Die säurehaltige und feuchte Abluft aus dem Innenraum des Zylinders wird ebenfalls abgesaugt und an die Umgebung abgegeben.

¹ Die Inputtabelle und Anhang B ist aus Vertraulichkeitsgründen diesem Bericht nicht beigefügt.

Nibskühler

- Die Nibs werden anschliessend im Nibskühler mit Luft abgekühlt.
- Die notwendige Kühlleistung beträgt zwischen 40 und 50 kW. Die Kälte wird über das Kältenetz zugeführt.
- Die verfügbare Kälteleistung beträgt im Moment nur 75 kWth. Falls die drei Nibskühler alle gleichzeitig die maximale Kühlleistung benötigen, reicht diese nicht mehr aus.

Mühle

- Die abgekühlten Nibs werden in der elektrisch betriebenen Mühle gemahlen und dabei trotz Kühlung mit Grundwasser erhitzt.
- Das Grundwasser erwärmt sich und wird in den Abfluss geleitet.

Tanks / Massenlager

- Über einen 150l Zwischenspeicher gelangt die Kakaomasse nun in das Massenlager bestehend aus 8 Tanks à 18 Tonnen. Die Tanks sind unbeheizt, die Masse kühlt sich ab.
- Ein kleiner Teil der Kakaomasse gelangt in die Tanks und von dort zum Temper, wo die Masse mit Brauchwarmwasser erwärmt, abgekühlt und verfestigt wird. Die 4 Tanks verfügen über eine Mantelheizung.

5.3 Analyse Infrastrukturanlagen

- | | |
|---|-------------------------------|
| → Prinzipschema Dampf | s. Anhang C |
| → Prinzipschema Lüftung / Klimaschrank Spedition | s. Anhang D |
| → Prinzipschema Lüftung / Klimaschrank Verladeraum | s. Anhang E (wird demontiert) |
| → Prinzipschema Lüftungsanlage Brecherei | s. Anhang F |
| → Prinzipschema Lüftungsanlage Bohnensilo | s. Anhang G |
| → Prinzipschema Lüftungsanlage Kommandoraum | s. Anhang H |
| → Prinzipschema Grundwassernutzung zur Kälteerzeugung | s. Anhang I |
| → Prinzipschema Druckluft | s. Anhang J |

5.4 Beschreibung der Infrastrukturanlagen

Dampfkessel – Anhang C

- Ein Gaskessel (2'080 kW, Jg. 81) erzeugt Dampf für den Produktionsprozess. Dampf wird aber auch noch eingesetzt zu Raumheizungszwecken und für die Erwärmung von Brauchwarmwasser. Der Erdgasverbrauch im Jahr 2007 beträgt 250'000 m³.

Lüftung / Klimaschrank Spedition – Anhang D

- Die Spedition wird zur Erhaltung der Produktqualität und Transportfähigkeit im Sommer gekühlt (luftgekühlter Rückkühler, Kälteleistung 49 kW) und im Winter beheizt (Heizleistung 36 kW). Zuluftvolumenstrom max. 16'370 m³/h, davon 15'000 m³/h Umluft und 1'370 m³/h Aussenluftanteil.

Lüftung / Klimaschrank Verladeraum – Anhang E

- Dieses Gerät wurde in der Zwischenzeit demontiert

Lüftung Brecherei – Anhang F

- Zur Entfernung der Schalen wird die Brecherei belüftet. Eingebaut sind ein Kältereister (Kälteleistung 20 kW) und ein Heizregister (Heizleistung 17 kW). Zuluftvolumenstrom 8'000 m³/h, davon 6'000 m³/h Abluft und 2'000 m³/h Aussenluftanteil.

Lüftung Bohnensilo – Anhang G

- Zur Vermeidung der Kondensationsgefahr wird die Abluft in den Bohnensilos abgesaugt und die Zuluft mit einer separaten Kältemaschine gekühlt (Kälteleistung 16 kW), Zuluftmenge 2'200 m³/h.

Lüftung Kommandoraum – Anhang H

- Zur Abfuhr der grossen Abwärmemenge wird Abluft abgesaugt und mit einer separaten Kältemaschine gekühlte Zuluft (Kälteleistung 16.3 kW) zugeführt.

Grundwassernutzung zur Kälteerzeugung – Anhang I

- Mit einer Kältemaschine (2 Verdichter, Kälteleistung Total 167 kW) wird das Kältenetz gespeist. Die kondensationsseitig anfallende Abwärme wird ins Grundwasser abgegeben. Das Kältenetz speist die Lüftungsanlagen für die Brecherei, den Verladerraum, den Kommandoraum, das Bohnsilo, den Temper, die Nibskühlung und die Mühlen.

Druckluft – Anhang J

- Zwei Druckluftkompressoren (37 kWel, Jg. 2003 und 55 kWel, Jg. 1988) speisen das Druckluftnetz mit 7 bar und 95 l/s.

5.5 Teilprozesse mit Angabe von Temperaturen und Mengen

Sämtliche Teilprozesse des Produktionsprozesses sowie die Infrastrukturprozesse sind in der Inputtabelle aufgelistet. Diese Tabelle ist in diesem Bericht aus Vertraulichkeitsgründen nicht enthalten.

5.6 Überprüfung der Prozessanforderungen

Die Prozessanforderungen wurden unter Berücksichtigung der Leistungsangaben der geplanten neuen Produktionslinie überprüft und hinterfragt.

Im Zusammenhang mit dem in Erwägung gezogenen Bau eines Rauchgas-Rekuperators im Rauchgasrohr des Tornadorösters wurde die *Terag AG* mit der Messung der Abwärmemenge beauftragt.

Die Ergebnisse lagen zum Zeitpunkt der Anwendung der Pinch-Software nicht vor.

5.7 Anwendung Pinch-Software

5.7.1 Wärmeübertragungskoeffizienten

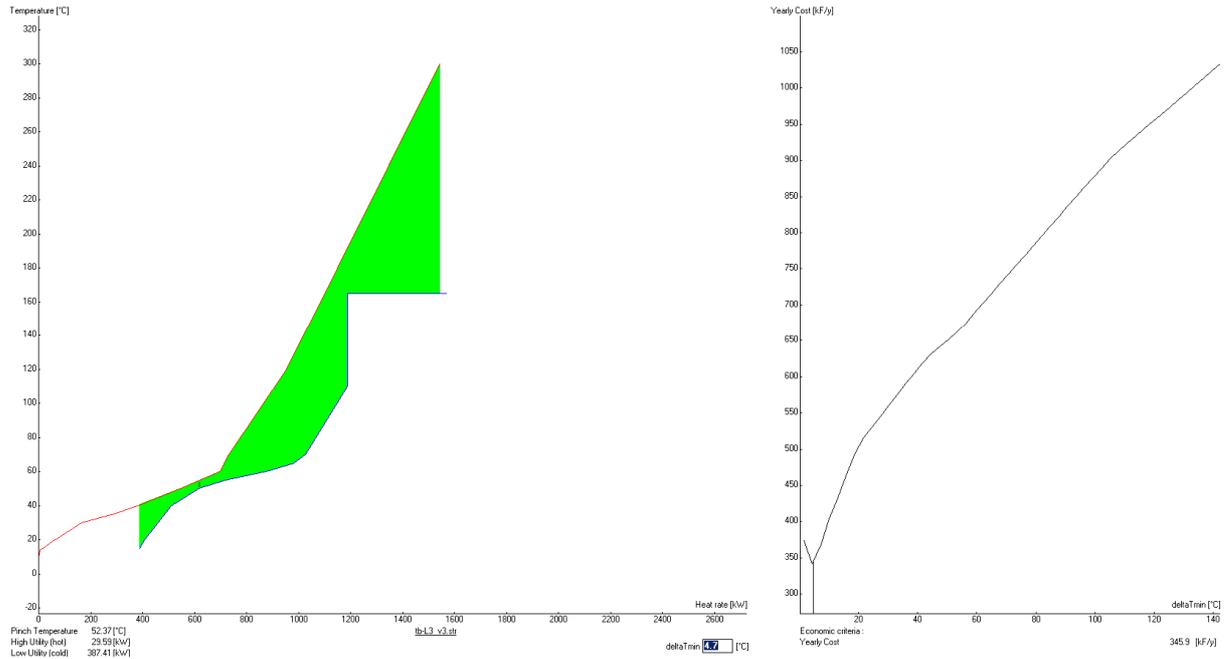
• Luft	50	W/m ² K
• Glycol	1'000	W/m ² K
• Wasser	2'000	W/m ² K
• Dampf	5'000	W/m ² K
• Kondensation	10'000	W/m ² K

5.7.2 Wirtschaftlichkeitsparameter

Bei der Anwendung der Pinch-Software wurden folgende Wirtschaftlichkeitsparameter verwendet:

• Wärmepreis	10.0 Rp./kWh	
• Kältepreis	5.0 Rp./kWh	
• Strompreis	8.0 Rp./kWh	
• Zinssatz	4%	
• Abschreibungszeit	15 Jahre	
• Wirtschaftlichkeitsparameter Wärmetauscher		
◦ A	Fixkosten	Fr. 0.-
◦ m	Elastizität	0.71
◦ Cr	Referenz-Kosten	Fr. 93'000.-
◦ Sr	Referenz-Tauscherfläche	100 m ²
◦ S	effektive Tauscherfläche	in m ²
◦	Wärmetauscherkosten $C = A + Cr(S/Sr)^m$	

5.7.3 Composite Curves

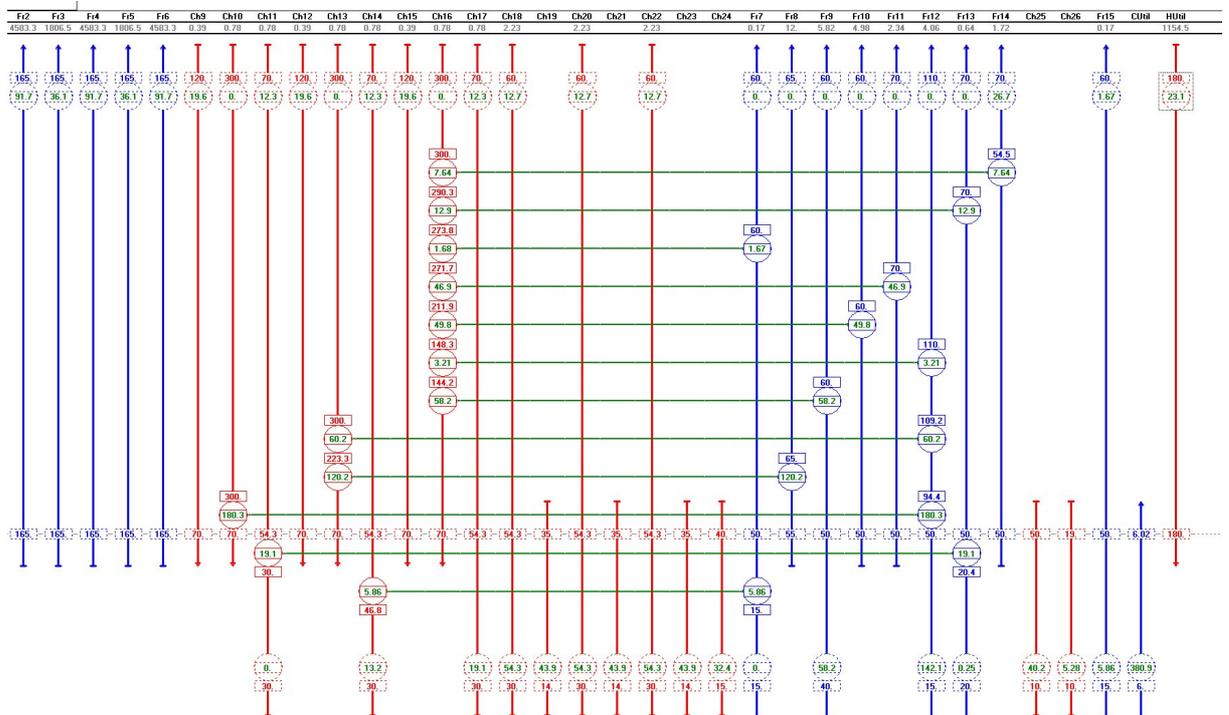


Grafik 2 Composite Curves

Interpretation Grafik 2

Die untere blaue Kurve stellt die aufzuheizenden Prozesse dar, die obere rote Kurve stellt die abzukühlenden Prozesse dar.

5.7.4 Wärmetauscher-Netzwerk



Grafik 3 Ideales Wärmetauscher-Netzwerk

Dieses ideale Wärmetauschernetzwerk geht davon aus, dass in den Rauchgasrohren der Tornado-Röster der Linien 1 bis 3 diverse Wärmetauscher platziert werden und die Abwärme an verschiedene Wärmesenken abgegeben wird.

Als wesentliche Erkenntnis hat die Pinch-Analyse aufgezeigt, dass die Abwärme nicht nur auf tiefem Temperaturniveau, sondern auch auf hohem Temperaturniveau zur Dampferzeugung und somit zur Substitution von Erdgas verwendet werden kann.

5.8 Überprüfung der Machbarkeit der Wärmetauscher

Das vorgeschlagene ideale Wärmetauscher-Netzwerk ist in der Praxis nicht realisierbar. Es gibt im Rauchrohr der Röster höchstens für einen Wärmetauscher genügend Platz.

In der Folge konzentrierten sich die weiteren Untersuchungen auf die Machbarkeit und Dimensionierung **je eines** Wärmetauschers im Rauchrohr der Linie 3 und der Linie 4 sowie auf die Festlegung der richtigen Wärmesenke und auf die Suche nach weiteren konventionellen Massnahmen im Infrastrukturbereich.

6 Ergebnisse Pinch-Analyse

Die Pinch-Analyse hat folgende Erkenntnisse gebracht:

6.1 Ideales Wärmetauschernetzwerk

- | | |
|--|------------------|
| • Wärmebedarf mit idealem Wärmetauscher-Netzwerk | 4'550 MWh |
| • tatsächlicher Wärmeenergieverbrauch im Jahr 2007 | 7'400 MWh |
| • theoretisches maximales Einsparpotenzial | 2'850 MWh |

6.2 Prozessanforderung erfüllt oder nicht ?

Parallel zur Anwendung der Pinch-Software und zur Bestimmung und Berechnung der umsetzbaren Massnahmen hat die *Terag AG* eine Messung der Wärmeverluste im Rauchrohr des Tornado-Rösters der Linie 3 vorgenommen.

In einer ersten Analyse der Messresultate ist die *Terag AG* von einem erheblichen Luftüberschuss ausgegangen. Die Messwerte liessen vermuten, dass dem Brenner zu viel Verbrennungsluft zugeführt wird, wodurch sich die Abgasverluste ebenfalls erhöhen. Das theoretische Einsparpotenzial an Erdgas durch Reduktion der Verbrennungsluftmenge wurde auf 250 – 500 MWh abgeschätzt.

Eine zweite Analyse zusammen mit dem Anlagenhersteller (Verfahreningenieur) brachte das Ergebnis, dass die eingestellten Luftmengen prozessbedingt richtig sind, und dass deshalb praktisch kein Einsparpotenzial durch Luftmengenreduktion besteht. In der Folge hat die *Terag AG* den Rekuperator entsprechend ausgelegt (s. Massnahmenliste).

Die Prozessanforderungen sind erfüllt.

7 Massnahmenliste inkl. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

7.1 Massnahmen Übersicht

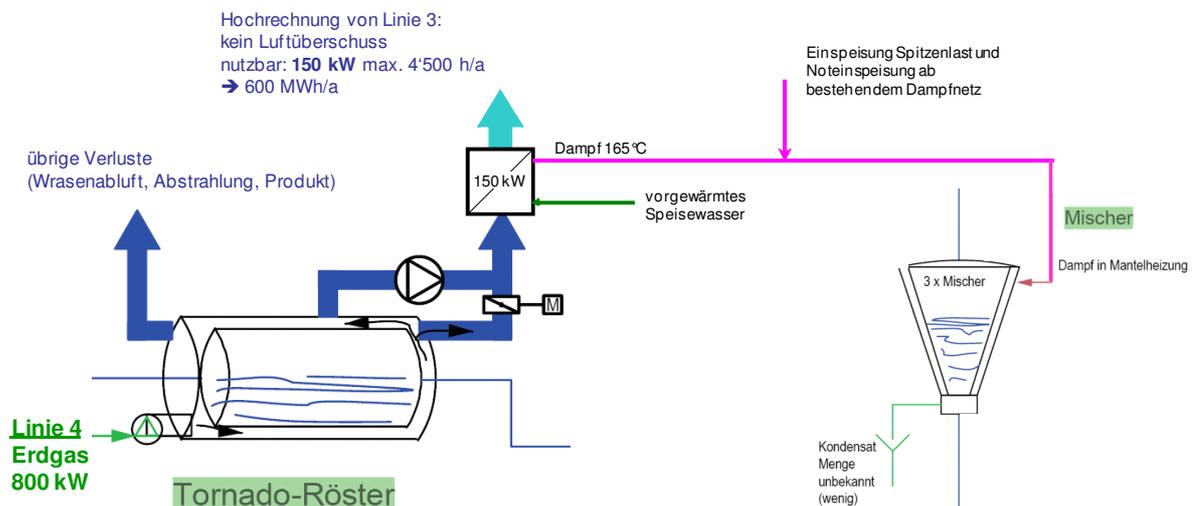
Die nachfolgend aufgeführten Massnahmen sind das Resultat der Bereinigung mit der Geschäftsleitung und der Produktionsleitung. Die Erkenntnis, dass die Verbrennungsluftmenge am Röster reduziert werden kann und dass dadurch weniger Abwärme zur Verfügung steht als mittels Pinch-Analyse berechnet wurde, hat zu einer Veränderung des Massnahmenkataloges geführt.

Die nachfolgend aufgeführten Massnahmen sind aktuell.

Projekt-Nr.	Gebäude oder Standort	Bereich	Beschreibung Massnahme	Inv. Kosten [Fr. o. MWSSt]	Einsparung Dampf [MWh/a]	Nutzen [Fr.]	K/N [-]
MS0	Tornado-Röster alle Linien	Prozess	Reduktion der Verbrennungsluftmenge	0	unbekannt	unbekannt	
MS1	Tornado-Röster Linie 4	Prozess	Rauchgas-Rekuperator in Linie 4 zur Dampferzeugung	136'000	600	45'000	3.0
MS2	Kältezentrale	Kälte	Neue Kälteerzeugung als Folge des Neubaus der Linie 4	380'000	---	---	---
MS3	Kältezentrale	Abwärmee-nutzung	Speisewasservorwärmung mit Abwärme	50'000	120	9'000	5.6
MS4	Kompressorraum	Abwärmee-nutzung	Abwärmee-nutzung Druckluftkompressor für BWW-Speicher / Tank 6	20'000	50	3'750	5.3
MS5	Arbeitsräume	Lüftung	neues Lüftungskonzept Linie 1 - 3 infolge zu warmer Arbeitsräume, Zugerscheinungen, schlechte Arbeitsbedingungen	85'000	---	---	---
MS6	Heizzentrale Büro	Gaskessel	Bau eines neuen Gaskessels inkl. Speicher als Ersatz Dmapfanschluss	80'000	---	---	---
MS7	Verteilung	Dampf	Stilllegung Dampfleitungen	20'000	180	13'500	1.5
MS8	Kantine	Heizung	Raumheizung Kantine mit WW anstatt Dampf	20'000	15	1'125	17.8
MS9	Verladerraum	Abwärme	Raumheizung Verladerraum mit Abwärme	10'000	50	3'750	2.7
TOTAL Investitionskosten Energieoptimierungsmassnahmen				256'000	1'015	76'125	3.4
TOTAL Investitionskosten Ausbauten / Sanierungen				545'000	---	---	---

Grafik 4 Übersicht Massnahmen

7.2 Massnahme MS1 – Rauchgasrekuperator Linie 4



Grafik 5 Rauchgas-Rekuperator Linie 4

Ziel

Durch den Einbau eines Rauchgas-Rekuperators in das Rauchgasrohr des Tornado-Rösters Linie 4 kann Abwärme genutzt werden zur Erzeugung von Dampf (150°C, 5 bar) für den Mischer der Linie 4.

Zur Spitzenlastabdeckung kann Dampf aus dem bestehenden Dampfnetz nachgespeist werden.

Energiebilanz

- Erdgasverbrauch 2007 für Mischer 2'100 MWh
- Erdgasverbrauch 2009 für Mischer (bei 16'000 to/a) 3'070 MWh
- mutmassliches jährliches Einsparpotenzial mit Rekuperator (bei 16'000 to/a) 600 MWh
- maximales jährliches Einsparpotenzial (bei 16'000 to/a) CHF 45'000.-

Falls die Kakaomassenproduktion von 11'000 to auf 16'000 to erhöht wird, dann beträgt das maximale Einsparpotenzial durch diese Massnahme rund 600 MWh/a resp. 53'000 m³ Erdgas (bei 110 mbar resp. 11.4 kWh/m³). Das entspricht bei einem Gaspreis von 7.5 Rp./kWh rund CHF 45'000.-.

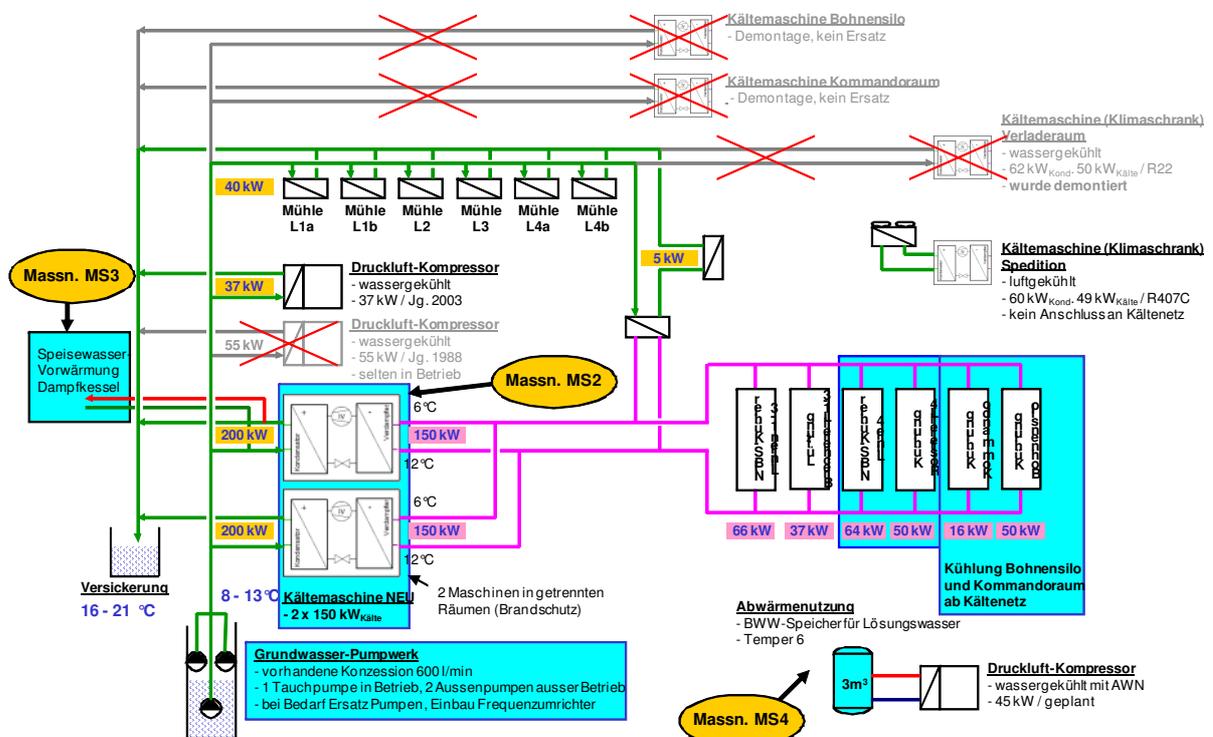
Voraussetzungen

- Technische Machbarkeit Wärmetauscher ist i.O.
- max. benötigte Abwärmeleistung für alle 4 Mischer ca. 800 kW
- max. verfügbare Abwärmeleistung (Basis: Auslegung Terag) **150 kW**
- max. benötigte Dampfmenge (bei 16'000 to/a) 3'070 MWh
- mutmassliches Einsparpotenzial mit Rekuperator bei 4'500 h 600 MWh

Investitionskosten (Kostenschätzung Terag +/- 20%)

- Rauchgas-Rekuperator → Dampf 150°C, 5 bar (Offerte Terag) 136 k
- Dampfleitungen zu Mischer 4, Dampfanschluss best. Netz inkl.
- Elektroinstallationen, Steuerung, Planung inkl.

7.3 Massnahme MS2 – neue Kälteerzeugung



Grafik 6 neue Kälteerzeugung, Kälteverbraucher

Ziel

Der zusätzliche Kältebedarf für die Linie 4 muss mit einer Erhöhung der Fördermengen der Grundwasserpumpen sowie mit neuen Kältemaschinen abgedeckt werden. Der Kältebedarf - zur Hauptsache als Folge des Baus der Linie 4 - verdoppelt sich gegenüber heute.

Mit der Sanierung der Kälteerzeugung soll auch das Kälteverteilnetz optimiert und verschiedene bisher mit eigenen Kältemaschinen gespeiste Kälteverbraucher an das Kälteverteilnetz angeschlossen werden.

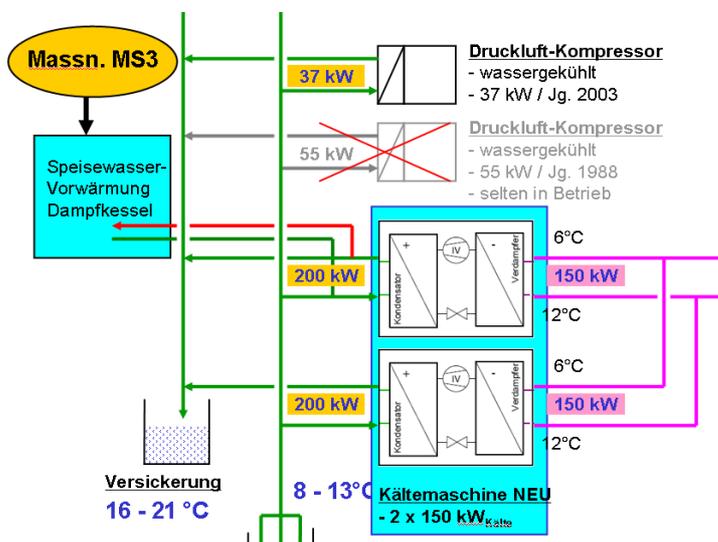
Anlagenkonzept

- 2 neue zweistufige Kältemaschinen à 150 kW (Redundanz), getrennte Standorte als Folge der Brandschutzvorgaben
- bisheriger Verbraucher: NIBS-Kühler Linien 1 - 3, 66 kW reicht heute aus
- bisheriger Verbraucher: Lüftung Brecherei Linien 1 – 3, 37 kW
- neuer Verbraucher: NIBS-Kühler Linien 4, 64 kW
- neuer Verbraucher: Raumkühlung Rösterei Linie 4 (nur im Sommer), 50 kW
- neuer Verbraucher: Kältereister in bestehender Lüftungsanlage Kommandoraum, 16 kW
- neuer Verbraucher: Kältereister in bestehender Lüftungsanlage Bohnensilo, 50 kW
- Ausserbetriebnahme 2 Kältemaschinen Kommandoraum und Bohnensilo (Kältemittel R22 nicht mehr zugelassen), Demontage Grundwasserkühlleitungen

Investitionskosten (Kostenschätzung Axima +/- 20%)

- | | |
|--|--------------|
| • 2 Kältemaschinen à 150 kW Kälteleistung, Grundwasser-Kühlung an zwei verschiedenen Standorten inkl. Verbindungsleitung und neuer Kälteverteiler für die bestehenden Gruppen inkl. Dämmung Armaflex roh | 140 k |
| • Kaltwassernetz zu NIBS-Kühler Linie 4 | 45 k |
| • Kaltwassernetz zu Kältereister in Lüftungsanlage Rösterei Linie 4 | 40 k |
| • Kaltwassernetz und Kältereister in Lüftungsanlage Kommandoraum | 28 k |
| • Kaltwassernetz und Kältereister in Lüftungsanlage Bohnensilo | 40 k |
| • Demontage Kältemaschinen Kommandoraum inkl. Grundwasserkühlleitungen | 10 k |
| • Demontage Kältemaschinen Bohnensilo inkl. Grundwasserkühlleitungen | 10 k |
| • Regulierung MSR, Schaltschrank, Planung | 55 k |
| • Total | 380 k |

7.4 Massnahme MS3 – Speisewasservorwärmung mit Abwärme



Grafik 7 Abwärmenutzung neue Kältemaschine für Speisewasservorwärmung

Ziel

Da auf den Bau des Rekuperators Linie 3 verzichtet wird, soll das für die Dampferzeugung mit dem Dampfkessel und mit dem Rekuperator der Linie 4 benötigte und zentral aufbereitete Speisewasser mit Abwärme der neu zu bauenden Kältemaschine KM2 (150 kW Kälteleistung) vorgewärmt werden. Diese Massnahme ist neu. Es sind keine Investitionskosten bekannt. Im Rahmen eines Folgeprojektes werden die Kosten ermittelt und die Ausführungsplanung gestartet.

Anlagen- und Betriebskonzept

- Speisewasser zur Dampferzeugung wird ganzjährig benötigt, die mit der Kältemaschine KM2 erzeugte Kälte ebenfalls. Es kann somit mit einer hohen Volllaststundenzahl gerechnet werden.
- Die Kondensationstemperatur der Kältemaschinen soll so gewählt werden, dass ein kostenmässiges Optimum erzielt werden zwischen Erdgaseinsparung durch Speisewasservorwärmung und Wirkungsgradverschlechterung der Kältemaschine bei zunehmender Kondensationstemperatur.

Berechnung Einsparpotenzial

- Produktionsmenge 2007: 10'900 to → 2009: 16'000 to
- Speisewassermenge 2007 (gemessen): 2'900 m³ → 2009 (hochgerechnet): 4'200 m³
- Vorwärmung von 4'200 m³ Speisewassers von 15°C auf 40°C → **120 MWh**
- Durchschnittlich benötigte Abwärmeleistung bei 6'000 h = 20 kW

Investitionskosten

- Schätzung CHF 50'000.-

7.5 Massnahme MS4 –Abwärmenutzung Druckluftkompressor

Ziel

Die bestehenden beiden Druckluft-Kompressoren sind wassergekühlt (Grundwasser). Der für Linie 4 neu anzuschaffende Druckluftkompressor muss ebenfalls wassergekühlt sein, die Abwärme ist jedoch zur Vorwärmung des Lösungswassers auf 50°C und zur Beheizung von Tank 6 zu verwenden. Das Unternehmen beauftragt ein Ingenieurbüro mit der Auslegung und Ausführungsplanung dieser Massnahme.

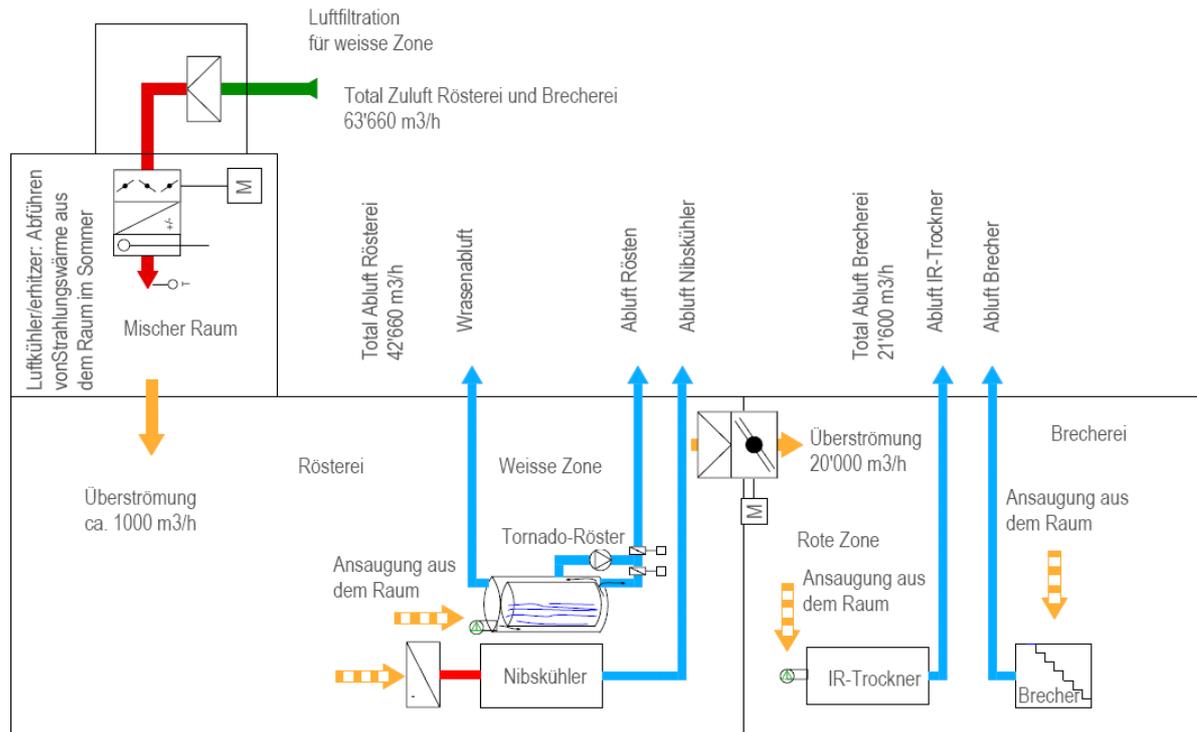
Konzept und Einsparpotenzial

- neuer wassergekühlter Druckluft-Kompressor Linie 4 (Annahme: max. 45 kW_{el})
- nutzbare Abwärmeleistung bei Volllastung ca. 70% = 35 kW
- benötigte Heizleistung für Erwärmung von 500 l/h Lösungswasser von 10°C auf 50°C = 23 kW
- mittels Vorrangschaltung ist dafür zu sorgen, dass der neue Kompressor mit 1. Priorität läuft
- Nutzung der Abwärme zur Beheizung eines neuen 3 m³ grossen BWW-Speichers, dessen Wasser als Lösungswasser für alle Linien 1 – 4 verwendet werden kann. Der Speicherinhalt reicht für 6 Stunden aus. Der Speicher wird mit einem Elektroeinsatz (24 kW) für die Spitzenabdeckung oder zu Redundanz Zwecken ausgerüstet.
- zukünftig eingesparte Wärmemenge gemäss Wasseruhr und Hochrechnung
 $1'100 \text{ m}^3 \times 40 \text{ }^\circ\text{C} \times 1.16 = \mathbf{50 \text{ MWh/a}}$
- Die Abwärme ist zusätzlich zur Beheizung des „Tank 6“ zu verwenden.

Investitionskosten

- Schätzung CHF 20'000.-

7.6 Massnahme MS5 –neues Lüftungskonzept Linien 1 - 3



Grafik 8 neues Lüftungskonzept Linien 1 - 3

Ziel

Die Produktionsräume Rösterei und Brecherei der Linien 1 – 3 sind im Sommer viel zu warm und es herrscht in den Arbeitsräumen aufgrund unausgeglichener Luftmengenverhältnissen zwischen Zu- und Abluftventilatoren Zug.

Konzept

Im Rahmen der Pinch-Analyse wurde ein Massnahmenvorschlag ausgearbeitet für den Bau einer Zuluftöffnung durch ein auf dem Dach installiertes Monoblockgehäuse (mit Filter, mit Klappen, ohne Heizregister, ohne Kälteregister).

Die Abluftventilatoren von Nibs-Kühler, Tornado-Röster, Trockner und Brecher saugen durch diese Öffnung frische Aussenluft an. Der Luftaustausch sorgt auch im Sommer für einen genügenden Kühleffekt (s. Grafik 8).

Investitionskosten

- gemäss detaillierter Offerte *Weisskopf & Partner GmbH*

CHF 85'000.-

7.7 Massnahme MS6 - neuer Gaskessel in Heizzentrale Büro

Ziel

Die bestehende alte Heizungsunterverteilung im Untergeschoss des Bürogebäudes wird mit Dampf über einen defekten Dampfumformer betrieben. Der Dampfumformer muss zwingend ersetzt werden. Anstelle eines neuen Dampfumformers soll nun ein Gasanschluss und ein neuer Gaskessel installiert werden.

Ursprünglich war vorgesehen, die Dampfleitung in die Heizzentrale Büro aufzuheben und stattdessen die Räume mit Abwärme aus den Rauchgas-Rekuperatoren zu beheizen. Die Investitionskosten und

das Einsparpotenzial wurden im Rahmen der Pinch-Analyse ermittelt. Mit der Erkenntnis, dass das Abwärmepotenzial der Rauchgas-Rekuperatoren geringer ist als erwartet, dass deshalb der Rekuperator Linie 3 nicht realisiert werden kann, und dass der Rekuperator der Linie 4 weniger Abwärme liefert als angenommen, war diese Massnahme nicht mehr wirtschaftlich.

Damit kann die Dampfleitung aufgehoben (so weit wie möglich deinstalliert) werden. Die Dampfverluste reduzieren sich.

Eckdaten Raumheizung

- Nutzwärmebedarf berechnet über EBF, ca. $1'400 \text{ m}^2 \times 140 \text{ kWh/m}^2 = \text{ca. } 200 \text{ MWh/a}$
- Leistung bei 2'000 Vollbetriebsstunden: 100 kW
- Energiebedarf BWW gemessen mit Wasseruhr (57 m³ in 8 Monaten → 85 m³/a) → 4.4 MWh/a
- Leistungsbedarf BWW bei 4'000 Vollbetriebsstunden = 1 kW

Investitionskosten

- Schätzung (nur Kessel / Leitungen, keine Sanierung Zentrale) CHF 80'000.-

7.8 Massnahme MS7 – Stilllegung Dampfleitungen

Ziel

Folgende Dampfleitungen resp. Warmwasserleitungen sind komplett abzustellen. Falls das Abstellen nicht möglich ist, sind fallweise geeignete Massnahmen zu suchen (z.B. Nutzung von Abwärme oder Beheizung ab Pumpen-Warmwassernetz). Es ist aber zwingend auf die Verwendung von Dampf zu verzichten.

Massnahmen und Einsparpotenzial

- Schieber schliessen zu Wärmeverbraucher ab Dampfumformer im Keller der Produktion: ORION-Lüfter, Heizkörper WC, Gebläseraum, Tank 6 (dieser wird später mit Abwärme vom neuen Druckluftkompressor beheizt), Temper kann nicht unterbrochen werden
→ eingesparte Wärmemenge gemäss Wärmezähler **≤ 50 MWh/a**
- Schieber schliessen zu Dampfumformer für Tanks im Keller der Produktion:
→ eingesparte Wärmemenge gemäss Wärmezähler **≤ 30 MWh/a**
- Schieber schliessen Dampfleitung in Heizzentrale Büro
- Schieber schliessen Dampfleitung zu ORION-Lüfter in Werkstatt, Schreinerei, Schalenlager
- Schieber schliessen Dampfleitung zu Mantelheizung Öltank
→ Einsparungen (inkl. Dampfverteilverluste), **Schätzung ca. 100 – 200 MWh/a**

Investitionskosten

- Schätzung (Reserven für Zusatzmassnahmen) CHF 20'000.-

7.9 Massnahme MS8 – Raumheizung Kantine mit WW anstatt Dampf

Ziel

Die Kantine wird heute mit Dampf beheizt. Ein Abstellen dieser Heizung ist nicht möglich (Kälte, Feuchtigkeit), wie Tests gezeigt haben. Anstelle von Dampf soll normales Heizungswasser durch die bestehenden Leitungen gepumpt werden. Dazu ist ab einem der bestehenden Dampfumformer (z.B. derjenige für den Temper) eine der stillgelegten Heizgruppen zu verwenden. Zusätzlich müssen nicht isolierte Leitungsstücke isoliert werden.

Einsparpotenzial

- Das Einsparpotenzial wird durch Reduktion der Abstrahlverluste auf 10 – 20 MWh/a geschätzt.

Investitionskosten

- Schätzung (neue Heizungsgruppe, Dämmung) CHF 20'000.-

7.10 Massnahme MS9 – Raumheizung Verladeraum mit Abwärme

Ziel

Im Verladeraum wird durch bestehende Leitungen Kakaomasse gepumpt. Die Leitungen sind mit elektrischen Begleitheizungen ausgerüstet, nicht aber die Ventile (6 Stück). Diese Ventile müssen im Winter auf ca. 35°C beheizt werden. Dazu wurde bisher ein Heizregister in der demontierten Lüftungsanlage verwendet.

Anstelle des Baus einer Elektroheizung für die Ventile soll warme Abluft vom darunter liegenden Tanklager über einen isolierten Luftkanal in den Verladeraum geführt und dort an die Ventile geblasen werden.

Einsparpotenzial

- Das Einsparpotenzial wird auf ca. **50 MWh/a** geschätzt.

Investitionskosten

- Schätzung (Kernbohrung, Luftkanal, Lüftungsmotor) CHF 10'000.-

8 Erkenntnisse bei der Anwendung der Pinch-Methode

Bei der Anwendung der Pinch-Methode ergaben sich folgende Erkenntnisse:

Analyse parallel zur Planung der neuen Produktionslinie

Die Pinch-Analyse erfolgte terminlich parallel zur Planung der neuen Produktionslinie 4. Gewisse Anlagenkomponenten waren bereits bestellt. Dies erwies sich nicht als Nachteil, da sich die Hauptmassnahme auf den Bau des Rauchgas-Rekuperators konzentrierte und dieser noch rechtzeitig im Ausführungsprojekt berücksichtigt werden kann.

Pinch-Design anstatt Pinch-Analyse

Die Analyse erfolgte auf der Basis der bestehenden Produktionslinie 3. Die Ergebnisse der Pinch-Analyse (d.h. das vorgeschlagene Wärmetauscher-Netzwerk) musste auf die neue geplante Produktionslinie 4 übertragen werden. Dieser Schritt ist gut gelungen.

Veränderte Prozessanforderung verursacht einen Umbau des Massnahmenkataloges

Erst am Schluss der Pinch-Analyse, d.h. zu Handen der Schlussitzung, lagen die Messergebnisse einer Überprüfung einer Prozessanforderung vor. Es wurde festgestellt, dass die Verbrennungsluftmenge im Tornado-Röster einen 3-fachen Luftüberschuss bei einer hohen Umluftmenge aufweist. Eine Reduktion der Verbrennungsluftmenge führt zu einem geringen Minderverbrauch an Erdgas. Gleichzeitig wird das Abwärmennutzungspotenzial des Rekuperators leicht reduziert.

Pinch-Software

Die Anwendung der Pinch-Software hat zu keinen neuen Schwierigkeiten geführt.

9 Schlussfolgerungen

Über die nicht in direktem Zusammenhang mit dem eigentlichen Produktionsprozess stehenden Infrastrukturprozesse wie Kälteerzeugung, Lüftung, Dampferzeugung, Druckluftherzeugung, Warmwassererzeugung, sowie Verteilung der Energien über Dampf-, Wasser- und Kälteleitungen standen ursprünglich nur wenige oder gar keine Unterlagen zur Verfügung. Firmeninterne Kenntnisse fehlten weitgehend.

Vor Beginn der Pinch-Analyse veranlasste das Unternehmen deshalb die Durchführung einer Grobanalyse mit der Erkenntnis, dass die richtigen Massnahmen nur mit einer vertieften Prozess- und Hilfsprozessanalyse zu erkennen sind. Die Geschäftsleitung erklärte sich einverstanden mit der Durchführung einer Pinch-Analyse.

Im Rahmen dieser Pinch-Analyse wurden nun der Produktionsprozess und diverse konventionelle Infrastrukturanlagen untersucht und schematisch dargestellt (s. Anhang).

Die Arbeiten haben zu folgenden Hauptkenntnissen geführt:

- Den grössten Aufwand dieser Pinch-Analyse verursachte trotz vorhandenen Ergebnissen aus der Grobanalyse die Analyse und Dokumentation der Infrastrukturanlagen.
- Der Produktionsprozess selber (trocknen, rösten) ist sehr gut bekannt. Seit über 20 Jahren liegt die Produktionsverantwortung beim Produktionsleiter, welcher mit ausgezeichneten Degustationskenntnissen eine konstante und den hohen Ansprüchen genügende Qualität des Endproduktes erreicht. Die Messung der technischen Prozessanforderungen (Mengen und Temperaturen) ist dabei von untergeordneter Bedeutung, da die Degustationspräzision des Produktleiters die Messgenauigkeit deutlich übertrifft.
- Diese Erkenntnis beruht auf der Tatsache, dass es im Rahmen einer Überprüfung einer bestimmten Prozessanforderung nicht möglich gewesen ist, bei allen drei Produktionslinien durch Einstellen gleicher Prozessparameter dieselbe Produktqualität zu erreichen. Zur Durchführung dieser Versuche war die Teilnahme eines Verfahreningenieurs erforderlich (in diesem Falle der Lieferant der untersuchten Anlage), welcher über detaillierte theoretische Kenntnisse der Anlage verfügte.
- Daraus lässt sich für weitere Pinch-Projekte ableiten, dass zur Analyse des Prozesses rein praktische Verfahrenkenntnisse nicht ausreichen, sondern dass nur mit Hilfe eines Verfahreningenieurs mit technischen Hintergrundkenntnissen aussagekräftige und vor allem der Realität entsprechende Erkenntnisse gewonnen werden können.
- Im Laufe dieser Pinch-Analyse wurden aufgrund falscher Interpretationen mehrmals die falschen Schlussfolgerungen gezogen. Erst die eingehende Untersuchung des oben beschriebenen Prozesses unter Mitarbeit des Verfahreningenieurs führte zu den vorliegenden Ergebnissen.

