



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 Industrie (PBO)

GESAMTENERGIEANALYSE MIT DER PINCH-METHODE

PERLEN PAPIER AG

ENERGIE- UND PRODUKTIONSKOSTEN- SENKUNG

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Florian Brunner; florian.brunner@helbling.ch

Raymond Morand; raymond.morand@helbling.ch

Helbling Beratung + Bauplanung AG

Hohlstrasse 614, 8048 Zürich

www.helbling.ch



Impressum

Datum: 18. Juni 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung Industrie (PBO)

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: 102198

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch (Rubrik Unternehmen)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Ausgangslage	3
1.1 Vorgeschichte	3
1.2 Perlen Papier AG	3
2 Ziel der Arbeit	4
3 Lösungsweg.....	5
3.1 Übersicht.....	5
3.2 Vorgehen Schritt für Schritt.....	6
3.3 Definition von Ersatzströmen.....	6
4 Ergebnisse.....	7
4.1 Verwendete Grundlagen.....	7
4.2 Ist-Analyse	7
4.3 Energiebilanz	9
4.4 Optimierungskonzept (Fossile Energieträger, Strom) des Werks	11
4.5 Pinch-Analyse	12
4.6 Massnahmen	14
4.7 Resultate.....	20
4.8 Empfehlungen, weiteres Vorgehen	20
5 Schlussfolgerungen	21
Anhang.....	22
A Modellierung der Prozesse: Eingabetabellen	
B Composite Curves mit Heizwassererwärmung	
C MER-Netzwerk (Stand 1. Studie)	
D Prinzipschemata aller Massnahmen	
E Auslegung der Wärmetauscher der neuen Massnahmen	
F Definition energetischer Optimierungsgrad	
G Energieflussdiagramm (Sankey)	

Verzeichnis der Grafiken

Grafik 1	<i>Beschreibung des Lösungswegs von der Ist-Situation bis zur Umsetzung</i>	5
Grafik 2	<i>Papierherstellungsprozess (thermisch relevanter Teil).....</i>	6
Grafik 3	<i>Sankey-Diagramm für das Jahr 2006</i>	10
Grafik 4	<i>Pinch-Analyse ohne Heizwassererwärmung</i>	12
Grafik 5	<i>Ausschnitt aus einem Netzwerk.....</i>	13

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	<i>Berechnungsgrundlagen: Wirtschaftsdaten und Auslegungszustände</i>	7
Tabelle 2	<i>Primärenergieverbrauch im Jahr 2006.....</i>	9
Tabelle 3	<i>Massnahmentabelle.....</i>	15
Tabelle 4	<i>Investitionen und Einsparungen nach Prioritäten</i>	20

Zusammenfassung

In der Perlen Papier AG werden pro Jahr rund 175'000 Tonnen LWC-Papier und 132'000 Tonnen Zeitungspapier produziert. Der Primärenergieverbrauch beträgt dabei 482 GWh_{el} Strom (ohne PECO = Perlen Converting), 58 GWh_{th} Erdgas (Hu), 168 GWh_{th} Heizöl S sowie ca. 164 GWh_{th} aus der Verbrennung von Reststoffen. Durch die hohen Preissteigerungen der fossilen Energieträger und des Stroms machen die Energiekosten mit 22 Mio. CHF (kalkulatorisch) alleine für den thermischen Energiebedarf einen hohen Teil der Gesamtkosten der Produktion aus. Einsparungen des Wärmebedarfs wirken sich direkt auf den kosten- und CO₂-relevanten Verbrauch von Schweröl und Erdgas aus.

Die beiden Papiermaschinen PM 4 und PM 5 benötigen zusammen rund 70 % der Wärmeenergie, die durch obige Primärenergieressourcen zur Verfügung gestellt wird. Der Primärstrom wird zu 48 % von den Papiermaschinen und zu 40 % von der TMP-Anlage verbraucht. Die Altpapieraufbereitungsanlage benötigt etwa 10 % des Primärstroms und braucht geringe Mengen an Wärmeenergie.

Die Studie wurde mit der systematischen Methode der Pinch-Analyse durchgeführt. Die Pinch-Methode ist das wichtigste und bisher am weitesten entwickelte Instrument der Prozessintegration. Sie ermöglicht, ausgehend von Prozessanforderungen, die Berechnung des physikalisch notwendigen minimalen Energieeinsatzes der Prozesse. Sie diene als Arbeitsinstrument zur Auslegung der vorgeschlagenen Änderungsmassnahmen.

Es wurden Prozesse mit einem thermischen Leistungsbedarf von insgesamt 37.2 MW_{th} untersucht. Der theoretisch benötigte minimale Leistungsbedarf an Primärenergie (Erdgas, Heizöl, Reststoffe) wurde unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit auf 20.2 MW_{th} berechnet.

Die vorgeschlagenen Massnahmen erreichen zusammen 76 % (alle Massnahmen) bzw. 55 % (bis und mit Priorität 3) der Energieeinsparung verglichen mit dem durch die Pinch-Analyse berechneten theoretischen Maximum. Die Massnahmen der Priorität 1 bis 3 erreichen zusammen einen Payback von 1.9 Jahren. Sie ermöglichen Einsparungen von ca. 1.4 Mio. CHF pro Jahr bei Investitionen von 2.7 Mio. CHF. Dies entspricht Energieeinsparungen von etwa 11.2 MW_{th} oder 22.0 GWh_{th}/a. Die 22.0 GWh_{th} entsprechen rund 6 % des gesamten thermischen Energiebedarfs der Perlen (alle Anlagen) respektive 10 % des Verbrauchs von Schweröl und Erdgas. Da sich die Energieeinsparungen direkt auf Schweröl und Erdgas auswirken (Rückstände werden weiterhin in gleichen Mengen verbrannt), kann die CO₂-Emission um 5'600 t pro Jahr verringert werden. Da die Anlagen der Perlen Papier AG energetisch schon auf einem hohen Stand sind, ist dieses Resultat als wesentliche Verbesserung zu werten.

Die gefundenen Hauptmassnahmen sind klassische Wärmerückgewinnungen gemäss den Pinch-Grundsätzen. Abwärme auf hohem (tiefen) Temperaturniveau wird für Wärmebezüger auf hohem (tiefem) Temperaturniveau verwendet, kontinuierliche Prozesse (Produktion) werden vor Prozessen mit niedriger Betriebszeit (Hallenheizung) prioritär behandelt. Die meisten Massnahmen wurden im Bereich der zwei Papiermaschinen gefunden, die zusammen einen Grossteil der thermischen Energie der Perlen Papier AG benötigen. Die beiden grössten Massnahmen mit einem gemeinsamen Einsparpotential von etwa 1 Mio CHF pro Jahr sind beide anlagenübergreifend. Die eine nutzt das Abwasser aus der TMP-Anlage für Prozesswasser, die andere die Turbair-Abluft zur Speisewasservorwärmung.

Die Pinch-Analyse bei der Perlen Papier AG hat gezeigt, dass für eine energetisch optimale Lösung in einem Grossbetrieb sowohl der Anlagenbauer als auch der Energieingenieur unabdingbar sind. Der Anlagenbauer kann vor allem in Bezug auf den Auslegungszustand und den aktuellen Betriebszustand der Anlagen wertvolle Informationen zur Optimierung beisteuern. Der Energieingenieur und die Pinch-Studie können durch die gemeinsame Betrachtung aller Anlagen versteckte Potentiale aufdecken, die über die Anlagengrenze hinausgehen.

Es wird eine baldige Umsetzung der Prioritäten 1, 2 und 3 empfohlen. Die Massnahmen der Priorität 4 sollen genauer abgeklärt werden, denn deren Wirtschaftlichkeit könnte in Zukunft durch stark steigende Energiepreise noch verbessert werden.

Die vorliegende Studie wurde vom Bundesamtes für Energie (BFE) im Rahmen des Pinch-Programms finanziell unterstützt. Wir danken dem BFE dafür.

1 Ausgangslage

1.1 Vorgeschichte

Diesem Bericht geht eine Pinch-Studie voraus, die Mitte 2007 durchgeführt wurde. Das Ziel der Studie war eine gesamthafte energetische Optimierung aller Anlagen der Perlen Papier AG. Die berechneten und vorgeschlagenen Massnahmen reichten von regenerativer Speisewasservorwärmung (Turbaire-Abluft) über die Vergrösserung bestehender Wärmetauscher (Haubenzuluft/-Abluft) zu der Inbetriebnahme neuer Wärmetauscher (Schwebetrockner/Haubenzuluft) und bis zu Prozessoptimierungen (Erwärmung des Spritzwassers zur Erhöhung des TS-Gehaltes des Papiers vor der Haubentrocknung). Die insgesamt 20 Massnahmen wurden der Perlen Papier AG vorgelegt, welche in der Folge einen Anlagenbauer mit einem Vorprojekt beauftragte.

Wegen zum Teil ungenauer Volumenstrommessungen als auch nicht ausreichender Verifizierungen der Messungen haben sich jedoch einige Massnahmen als unmöglich bzw. unwirtschaftlich herausgestellt. Da viele der Massnahmen als Massnahmenpakete vorgeschlagen wurden, war damit eine optimale Wärmerückgewinnung aus gesamtheitlicher Anlagensicht nicht mehr gegeben.

Im Januar 2008 wurden deshalb die Pinch-Berechnungen mit der bereinigten Datengrundlage nochmals durchgeführt. Da in der Zwischenzeit entschieden wurde, die PM 5 innerhalb von 2 Jahren ausser Betrieb zu nehmen, waren an dieser Papiermaschine nur noch Optimierungsmassnahmen mit sehr geringen Investitionskosten gefragt. Grössere Optimierungen wie Zuluft/Abluft-Wärmetauscher wurden wegen zu hohem Kapitalaufwand hinfällig. Die Überarbeitung konzentrierte sich also auf die Anlagen PM 4, TMP und ALPA und die Dampfversorgung und wurde in intensiver Zusammenarbeit mit dem Anlagenbauer erarbeitet, um Ideen und Vorschläge sofort diskutieren zu können.

Es haben sich zum Teil wieder ähnliche Wärmerückgewinnungsmassnahmen ergeben, zum Teil wurden aber auch neue Stromkombinationen gefunden. Der vorliegende Bericht zeigt die Resultate der zweiten Studie und erklärt den Ablauf der Pinch-Studie und die Resultate, ohne auf die gefundenen Massnahmen in der ersten Studie genauer einzugehen.

1.2 Perlen Papier AG

In der Perlen Papier AG werden pro Jahr rund 175'000 Tonnen LWC-Papier und 132'000 Tonnen Zeitungspapier produziert. Pro Jahr sind dazu 134'000 Tonnen Deinked Pulp (DIP) und 107'000 Tonnen Thermomechanical Pulp (TMP) nötig, welche ebenfalls im Werk hergestellt werden. Der Primärenergieverbrauch beträgt dabei 482 GWh_{el} Strom (ohne PECO), 58 GWh_{th} Erdgas (Hu), 168 GWh_{th} Heizöl S sowie ca. 164 GWh_{th} aus der Verbrennung von Reststoffen. Durch die hohen Preissteigerungen der fossilen Energieträger und des Stroms machen die Energiekosten mit 22 Mio. CHF (kalkulatorisch) alleine für den thermischen Energiebedarf einen hohen Teil der Gesamtkosten der Produktion aus. Einsparungen des Wärmebedarfs wirken sich direkt auf den kosten- und CO₂-relevanten Verbrauch von Schweröl und Erdgas aus.

Die Energiekosten (Elektrizität, Heizöl S und Erdgas) weisen einen bedeutenden Anteil an den Gesamtproduktionskosten auf. Durch die massiv steigenden Einkaufspreise für fossile Brennstoffe stieg dieser Prozentsatz stark an. Diese Kosten zu optimieren wird zur noch wichtigeren Aufgabe im Unternehmen.

Hauptenergieverbraucher sind die zwei Papiermaschinen PM4 und PM5 sowie die vor- und nachgelagerten Prozesse TMP (Thermomechanical Pulp) und ALPA (Altpapieraufbereitung).

Die Energieerzeugungs- und Umwandlungsanlagen sind teilweise älter und müssen im Konzeptaufbau überprüft werden.

Bereits heute sind verschiedene Abwärmerückgewinnungsmassnahmen umgesetzt. Eine systematische Analyse über das Gesamtwerk jedoch fehlt. Entsprechend war nicht bekannt, wie hoch die Sparpotenziale waren und wie sie konsequent erschlossen werden könnten.

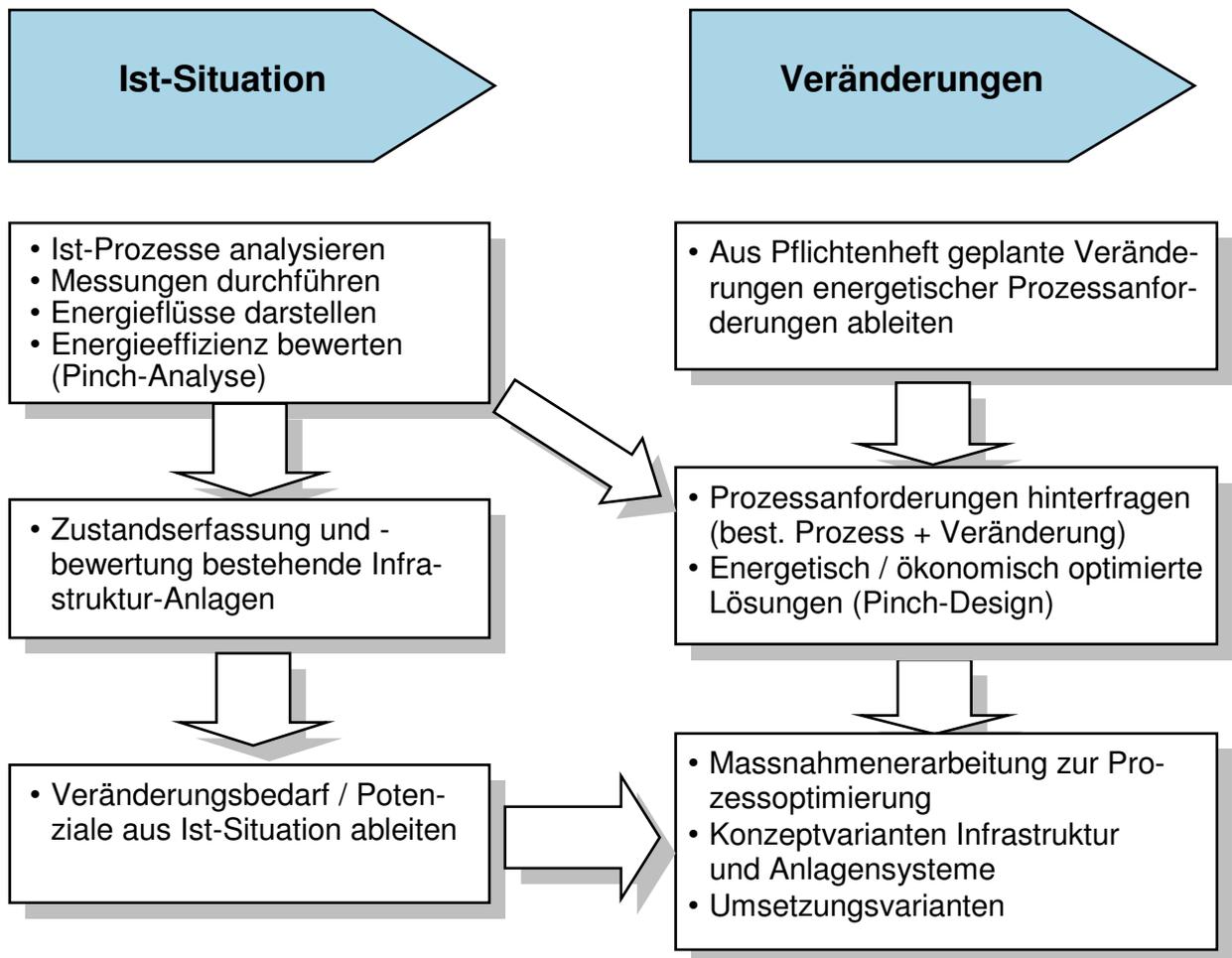
2 Ziel der Arbeit

Im Auftrag sind die folgenden Zielsetzungen der Studie festgehalten:

- Aufzeigen der Energieeinsparpotenziale in den wichtigsten energierelevanten Prozessen unter Einsatz der Methodik der Pinch-Analyse.
- Erarbeitung von Massnahmen zur Erschliessung dieser Potenziale mit Darstellung der Wirkung und überschlägiger Berechnung der Wirtschaftlichkeit.
- Erarbeitung einer zukünftigen Energieverbrauchsentwicklung unter Berücksichtigung der Realisation der Massnahmen (eventuell in Etappen). Diese Entwicklung soll auch als Basis für die Variantenbildung und die Variantenentscheide in einer allfälligen Erneuerung der energetischen Infrastruktur dienen.
- Leistung eines Beitrages zur Reduktion der CO₂-Emissionen, d.h. Erfüllung der Vorgaben zur Befreiung von der CO₂-Lenkungsabgabe.

3 Lösungsweg

3.1 Übersicht



Grafik 1 Beschreibung des Lösungswegs von der Ist-Situation bis zur Umsetzung

3.2 Vorgehen Schritt für Schritt

Nachfolgend wird das Vorgehen im Einzelnen beschrieben:

1. Definition der Betriebsfälle
2. Datenaufnahme von Produktion und Infrastruktur inkl. aller Prozesse der Papierherstellung.
3. Messung von wichtigen Zu- und Abluftströmen, insbesondere der Papiermaschinen.
4. Aufbau von Energie- und Massenbilanzen, Sankey-Diagramm (Energieflussbild).
5. Energiemodellierung der Prozessbedingungen, Definition von Ersatzströmen (siehe Kap. 3.3).
6. Hinterfragen der Prozessbedingungen und Definition der Prozessanforderungen zusammen mit den Prozessspezialisten der Kundenfirma.
7. Pinch-Berechnungen inkl. Wirtschaftlichkeitsdaten, mehrfaches iteratives Vorgehen.
8. Berechnung der ersten Pinchkurven (Composite Curves).
9. Erstes Netzwerkdesign bzw. MER-Netzwerk (MER = Maximum Energy Recovery) zeigt die theoretisch optimale Nutzung aller Abwärmeströme; Einige der Massnahmen sind in der Praxis nicht umsetzbar (Distanz von Anlage zu Anlage, ungenügende Platzverhältnisse, zu hohe apparative Komplexität der Wärmetauscher). Die Abklärung der Machbarkeit wird in Zusammenarbeit mit dem Kunden und dem Anlagenbauer gemacht.
10. Fortfolgende Netzwerkdesigns, die auf erstem Netzwerk aufbauen und insbesondere die Umsetzbarkeit und die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen berücksichtigen. Mit jeder Massnahme, die nicht umgesetzt werden kann, wird die nächstbessere Lösung gesucht – so lange, bis die Anlagenverbesserungen als Gesamtkonzept sowohl wirtschaftlich als auch technisch optimal sind.

3.3 Definition von Ersatzströmen

Ersatzströme mussten nur im Bereich der Vor- und Nachtrockenpartie (VTP resp. NTP s. Grafik 2) gebildet werden. Als Energieträgermedium wurden die Papierzu- und -abluftröme gewählt (Ersatzstrom) statt Papier selber, da ersteres Medium die Trockenpartien mit Energie versorgt, Feuchte abführt und wärmetechnisch einfach austauschbar ist.



TS = Trockensubstanz

Grafik 2 Papierherstellungsprozess (thermisch relevanter Teil)

4 Ergebnisse

4.1 Verwendete Grundlagen

Wärmepreis als Dampf (Grenzkosten)	ca. 7 Rp./kWh _{th} (Erdgas, Öl, Reststoffe)
Wasserpreis // Abwasserpreis	0.95 Fr./100 m ³ // 18.0 Fr./100 m ³
Kapitalzinssatz	5.0 % p.a.
Teuerung aus Wärme // Strom	3.0 % p.a. (letzte 15a) // 5.0 % p.a.
Investitionskriterium Produktionsanlagen	5.0 a (max. Payback)
Amortisationszeit Produktionsanlagen (min.)	5.0 a
Berechnungsfall für Dimensionierung (PM4 // PM5)	Zeitungsdruck 43 g/m ² // LWC: 45 g/m ²
Trockengehalte vor / nach Trockenpartie (PM4 // PM5)	50 % / 96 % // 52 % / 91.5 %
Betriebszeiten	8'300 h/a
Papierproduktion 2006 (90 % TS) (PM4 // PM5)	175'000 t/a // 132'000 t/a
Laufzeit Thermokompressor PM4 (Vollastbetriebsstd.)	2000 h/a

Tabelle 1 Berechnungsgrundlagen: Wirtschaftsdaten und Auslegungszustände

Folgende Unterlagen wurden für diese Studie verwendet:

- Zuluft- und Ablufttemperaturmessungen (Firma Voith) sowie Messungen der Perlen Papier AG.
- Diverse Schemata, Pläne, Offerten, Datensammlungen, Angaben der Versorgungsunternehmen, zur Verfügung gestellt durch die Perlen Papier AG.
- Diverse Auskünfte durch Personal der einzelnen Bereiche und Informationen von den Anlagenbauern (Voith).

4.2 Ist-Analyse

Papiermaschinen: Potenziale und Beurteilung

- In der PM 5 ist die bestehende Wärmerückgewinnung bereits relativ gut. So wird zum Beispiel das Prozesswasser vollständig durch Wärmerückgewinnung aufgewärmt. Die PM 5 wurde in einer ersten Rechnung noch in die Optimierung miteinbezogen, es wurde aber im Verlaufe der Studie entschieden, die PM 5 in den nächsten 2 Jahren durch eine die neue Papiermaschine PM 7 zu ersetzen. Diese Voraussetzung macht praktisch alle apparativen Veränderungen im Bereiche der PM 5 unwirtschaftlich.
- In der PM 4 wurde nachträglich ein Thermokompressor eingebaut, der den Zylindern zusätzliche Energie zur Trocknung liefert. Diese zusätzliche Energie in der Haube wurde durch eine dritte Haubenabluft abgeführt. Heute wird die Haubenabluft 3 wegen ungünstiger Platzverhältnisse nicht als Abwärmegeber genutzt.
- Durch die Haubenabluft 3 geht auch den bestehenden Wärmerückgewinnungsanlagen (in der Haubenabluft 1 und 2) Energie verloren. Der Taupunkt in der Abluft ist zu tief und die Wärmetauscher funktionieren nur suboptimal.
- Der Wärmetauscher Turbair-Abluft/Siebwasser in der PM 4 ist verstopft und wird gegenwärtig nicht genutzt.
- Der Schwebetrockner in der PM 4 wurde bis jetzt unter anderem wegen seiner hohen Ablufttemperaturen (160 °C bis 400 °C) noch nicht in Wärmerückgewinnungsmassnahmen eingebunden.
- Durch Anschluss der Stoffaufbereitungshalle an die Hallenheizung der PM 4 wurde der Bedarf der Hallenheizung erhöht. Der zusätzliche Bedarf könnte durch Wärmerückgewinnungsmassnahmen gedeckt werden.

- Trotz oben erwähnter Punkte ist auch in der PM 4 die Wärmerückgewinnung bereits relativ gut und hoch integriert. Die Haubenabluft (1+2) wird über 3 WRG-Stufen genutzt und das Prozesswasser wird zu einem grossen Teil mit Abwärme erwärmt.

Dampfproduktion, Kondensat

- PM 4: Durch Einsatz des Thermokompressors ist teilweise die Kondensattemperatur im Kondensatsammelbehälter zu hoch. Eine Rücklauftemperatur von 85 °C ist gewünscht.
- Kesselhaus: das Speisewasser hat nach dem Mischbett eine relativ tiefe Temperatur (64 °C) und wird vollständig mit Dampf aufgewärmt.

TMP-Anlage

- Die feuchte Abluft der Doppelsiebpressen und der Keileindicker in der TMP hat die Hallendecke korrodiert und wird in der Zukunft zum Schutz der Decke kanalisiert abgeführt. Eine energetische Nutzung der Abluft ist jedoch nicht sinnvoll, da die Massenflüsse relativ gering sind und das Wasser in der Abluft zu einem grossen Teil bereits kondensiert ist.
- Die beiden Refiner (Hackschnitzelmahlung) in der TMP sind die grössten Stromverbraucher der Perlen Papier AG. Sie laufen meist bei lediglich 75 % ihrer Nennleistung, der Antrieb erfolgt jedoch mit Synchronmotoren (da eine konstante Drehzahl prozesstechnisch vorausgesetzt ist). Der Antriebsmotor des grossen Refiners hat einen Wirkungsgrad von 98 % und einen Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) von 0.9. Beim kleineren Refiner betragen die Werte 97 % und ebenfalls 0.9. Eine Verbesserung ist derzeit nicht möglich.
- Das Abwasser der TMP hat mit 70 °C (vor dem Puffertank) eine sehr hohe Temperatur und ist u.a. für die hohen Abwassertemperaturen verantwortlich. Eine Absenkung der Abwassertemperatur wäre wünschenswert, und würde eine allfällige Erweiterung der Kühlleistung im Kühlturm verhindern.
- Mit Hilfe der beiden Refiner wird in der TMP Prozessdampf erzeugt. Dieser Prozessdampf wird in Frischdampf umgewandelt und der Dampfversorgung zugespiessen. Er wird daher nicht als zusätzlicher Abwärmestrom betrachtet, sondern als vorhandener Versorgungsstrom.

Motoren

- Der weitaus grösste Teil der Antriebsmotoren mit einer Leistung $>100 \text{ kW}_{\text{el}}$ ist mit Frequenzumrichtern versehen. Das Energiesparpotential der restlichen Motoren wird von Perlen auf weniger als 0.1 % geschätzt. Es werden seit einigen Jahren nur noch Motoren der Effizienzklasse 1 angeschafft. Eine Bewertung bezüglich Effizienzklasse und Antrieb der grossen Motoren ($>100 \text{ kW}_{\text{el}}$) hat kein Potential gezeigt, das wirtschaftlich umgesetzt werden könnte.

Laufende Optimierungsprojekte:

- Isolation des Schweröltanks (Betriebstank).

Geplante Projekte:

- Bau der neuen Papiermaschine PM 7.
- Stilllegung der PM 5 in etwa 2 Jahren.

4.3 Energiebilanz

In Tabelle 2 ist der Verbrauch der Energielieferanten Schweröl/Erdgas/Reststoffe und Strom für das Jahr 2006 dargestellt.

Die Unterscheidung zwischen Primärenergie und Aufteilung nach Energiearten ist notwendig, da mit Dampfturbinen Strom und in der TMP mit Strom quasi als Abfallprodukt Dampf produziert wird.

Jahr 2006	Fossil/Entsorgung	Strom	Einheit
Primärenergie*	380'000	482'000	MWh/a
Schweröl	168'000		MWh/a
Erdgas (Hu)	58'000		MWh/a
Rückstände	164'000		MWh/a
spezifisch	1.24	1.57	MWh/t
als Leistung	45.8	58.1	MW
Kosten (kalkulatorisch)	22 Mio		CHF/a
Anteil Energieverbraucher	in % Primärenergie	in % Primärenergie	
PM 4 (PM 4 Turbair)	38	32 (4)	%
PM 5 (PM 5 Turbair)	32	16 (2)	%
TMP (Refiner 1 + 2)	1	40 (39)	%
ALPA	4	10	%
Speisewassererwärmung	8		%
Schweröltankbeheizung	4		%
Verluste RÜVA und Kesselhaus	13	1	%

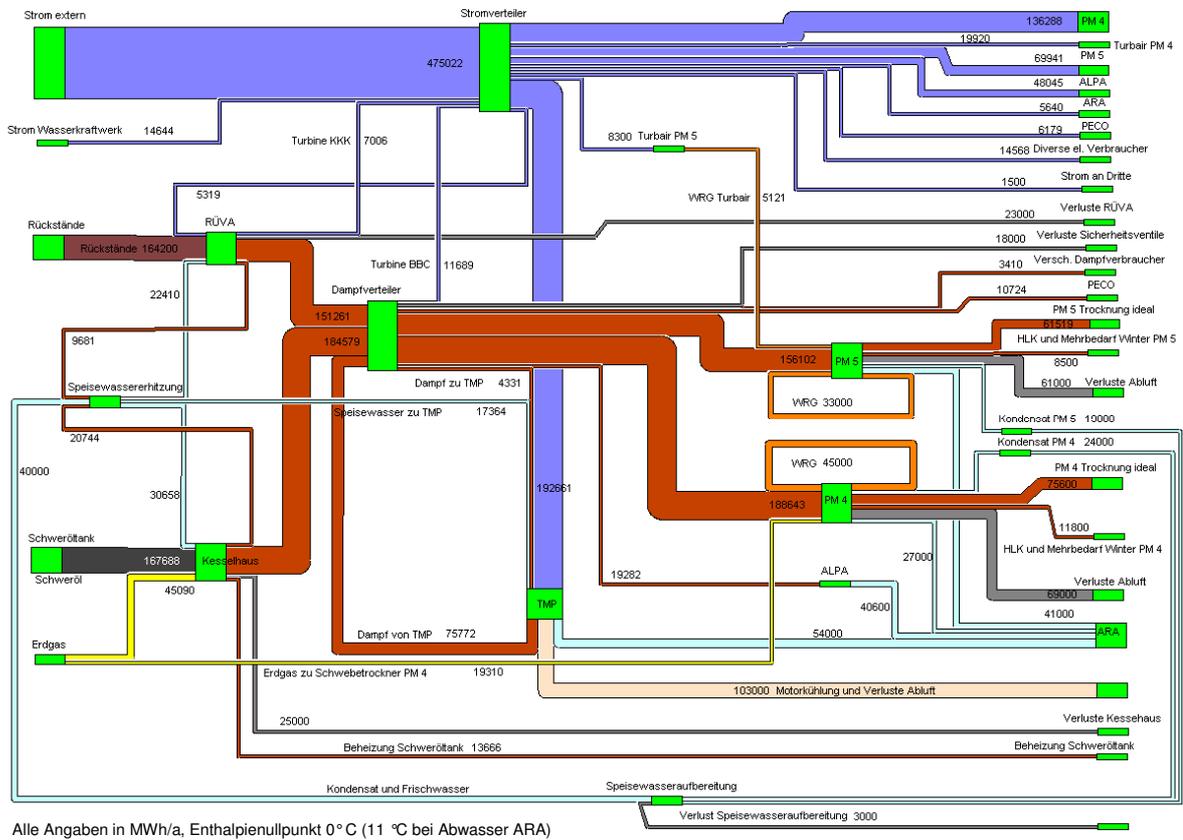
* Abzüglich Bedarf PECO und Stromabgabe an Dritte

Tabelle 2 Primärenergieverbrauch im Jahr 2006

Die Energieversorgungsanlagen basieren auf 4 Primärenergieträgern (Elektrizität, Erdgas, Schweröl und Reststoffe, wobei der teuerste Energieträger Elektrizität dominant ist (rund 56 %). Der hohe Stromverbrauch ergibt sich vor allem durch die TMP (Refiner), die rund 40% (39%) des gesamten Primärstroms benötigt (benötigen). Die beiden Papiermaschinen verbrauchen rund 32 % (PM 4), respektive 16 % (PM 5) des Primärstroms.

Energiebilanz für das Jahr 2006

Im Sankey-Diagramm (Energieflussbild, siehe Grafik 3) sind alle relevanten Energieflüsse und deren Kreisläufe abgebildet. In Anhang H ist Grafik 3 vergrößert dargestellt.



Grafik 3 Sankey-Diagramm für das Jahr 2006

Die beiden grössten Dampfverbraucher sind die Papiermaschinen, wo auch die grössten Wärmerückgewinnungspotentiale und somit Einsparungen an thermischer Energie erwartet werden.

Der hohe Stromverbrauch in der TMP geht fast ausschliesslich auf die beiden Refiner zurück, deren Betrieb aber eng an die Produktionsanforderungen geknüpft ist. Wie bereits im Kapitel 4.2 erwähnt ist aber eine Verbesserung der Refiner-Effizienz derzeit nicht möglich.

In der TMP gehen jährlich knapp 90'000 m³ Wasser mit über 70 °C verloren und können nicht mehr genutzt werden, da die TMP keinen Wärmebedarf unter 70 °C hat. Eine Nutzung in der ALPA wäre denkbar, wurde jedoch aufgrund hoher apparativer Komplexität und Folgekosten verworfen.

4.4 Optimierungskonzept (Fossile Energieträger, Strom) des Werks

Die Suche nach Massnahmen zur Reduktion des Primärenergiebedarfs kann in 5 Prioritäten geordnet werden.

Ziel ist eine Erdgas-/Schweröl-/Stromeinsparung durch:

1. Kondensatkühlung auf 85 °C und Optimierung der Speisewasseraufbereitung.
2. Prozessoptimierung im Produktionsbereich wie z.B. höhere Entwässerungsrate an der Sieb-
presse / Abrissreduktion durch höhere Wasservorlauftemperaturen.
3. Reduktion des Wärmebedarfs durch direkte Wärmerückgewinnung am Verbraucher, wie z.B.
Maschinenzuluft-/abluft-Wärmetauscher in den Papiermaschinen.
4. Reduktion des Stromverbrauches durch apparative Optimierungsmassnahmen bei den einzel-
nen Verbrauchern v.a. bei Motoren, Ventilatoren, Pumpen. Perlen hat eine Bewertung der Mo-
toren ($>100 \text{ kW}_{el}$) durchgeführt und es wurde kein Potential gefunden, das wirtschaftlich
umgesetzt werden könnte. Bereits heute ist der grösste Teil der Antriebsmotoren $>100 \text{ kW}_{el}$
mit Frequenzumrichtern versehen, das Energiesparpotential der restlichen Motoren wird von
Perlen auf weniger als 0.1 % geschätzt.
5. Reduktion des Primärenergiebedarfs im Bereich der Hallenheizung durch geeignete Abwär-
megeber, die nicht wirtschaftlicher in kontinuierlichen Prozessen genutzt werden können.
6. Restnutzung der feuchten Abluft unter 50 °C mit neuen Technologien wie Organic Rankine
Cycle Technik (ORC). Die ORC könnte trotz nur tiefen einstelligen prozentualen Wirkungsgra-
den aufgrund der sehr hohen nutzbaren Restenergiemengen von weit über 10 MW_{th} interes-
sant sein.

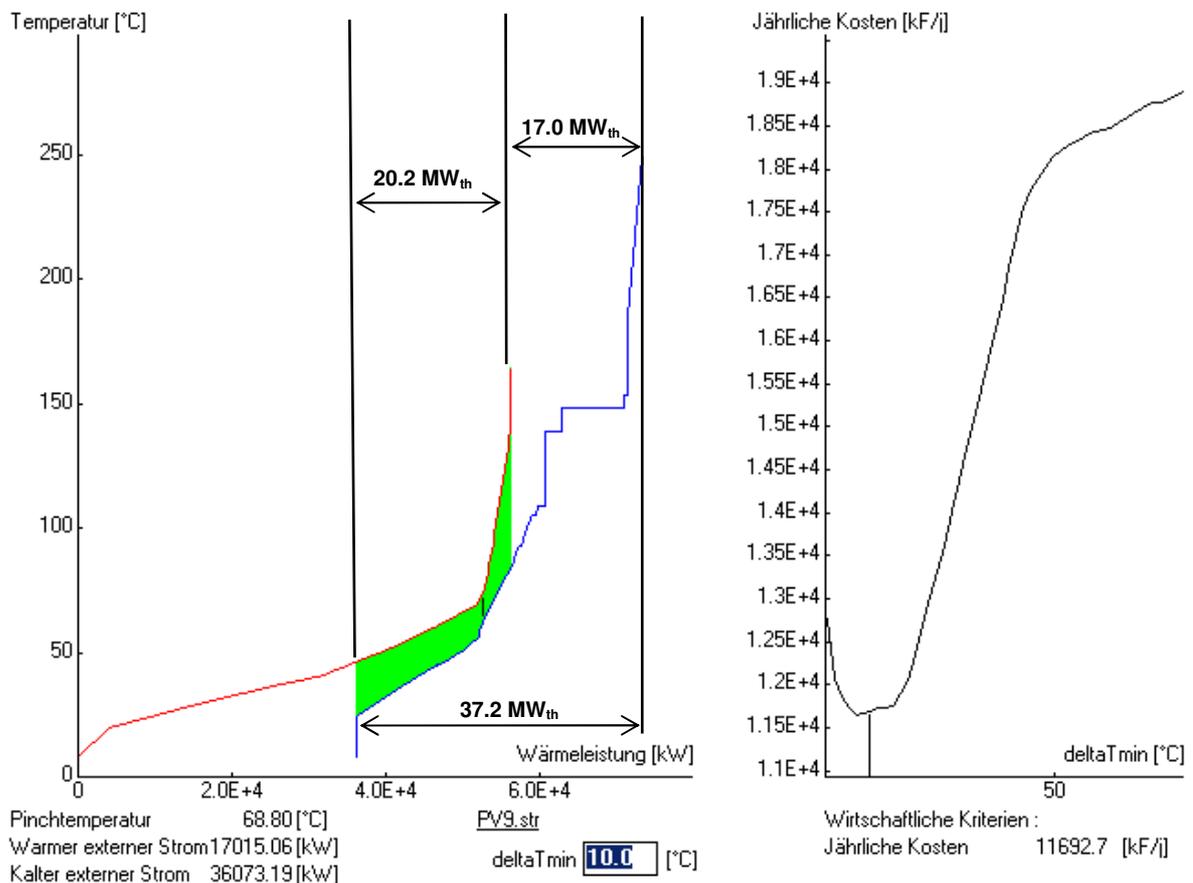
Die Perlen Papier AG hat ihr Energieversorgungs-Schwergewicht auf den Rückständen, um die
(Preis-) Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu verringern.

4.5 Pinch-Analyse

Die Pinch-Methode ist das wichtigste und bisher am weitesten entwickelte Instrument der Prozessintegration. Sie ermöglicht, ausgehend von Prozessanforderungen, die Berechnung des physikalisch notwendigen minimalen Energieeinsatzes der Prozesse. Sie erlaubt, bei bestehenden Anlagen den energetischen Optimierungsgrad festzustellen, Energiesparpotentiale aufzuzeigen und dient als Arbeitsinstrument zur Auslegung der vorgeschlagenen Änderungsmassnahmen.

Mit Hilfe der wirtschaftlichen Grundlagen (d.h. Investitionskosten und Betriebskosten, siehe Kapitel 4.1) und von thermodynamischen Werten wurde eine minimale Temperaturdifferenz von 10 °C ermittelt (siehe Grafik 4, rechts). Dies ist die Temperaturdifferenz zwischen kaltem und warmem Energiestrom, die in keinem der Wärmetauscher unterschritten wird. Die Pinch-Temperatur liegt dabei bei 68.8 °C.

Grafik 4 (links) zeigt die Composite Curves, d.h. die aufzuheizenden Ströme (blau) und die abzukühlenden Ströme (rot). Der grüne Teil markiert die Leistung (Projektion auf die x-Achse), die theoretisch mit Wärmerückgewinnung erbracht werden könnte.



Grafik 4 Pinch-Analyse ohne Heizwassererwärmung

In dieser Studie wurden Prozesse mit einem thermischen Heizwärmebedarf von 37.2 MW_{th} untersucht (ausschliesslich PM 5 und inklusiv Heizwasser für die Raumheizung). Bei einem technisch-wirtschaftlich optimalen delta T_{min} von 10 °C liegt der Bedarf an Primärenergie für die untersuchten Heizprozesse bei 17.0 MW_{th}. Dies entspricht einem energetischen Optimierungsgrad von rund 92 %. (Definition energetischer Optimierungsgrad siehe Anhang X). Theoretisch können also rund 20.2 MW_{th} zurückgewonnen werden.

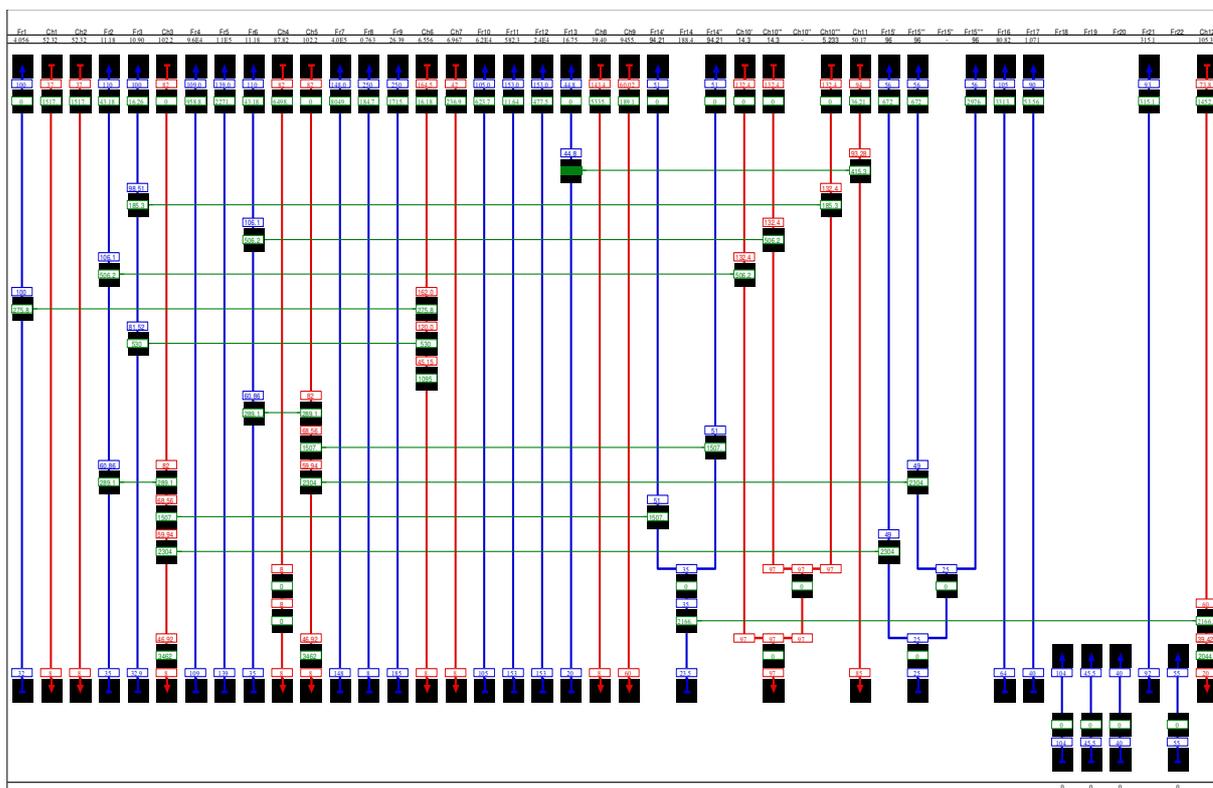
Im Anhang B sind die Composite Curves ohne Heizwassererwärmung dargestellt. Da der komplette Wärmebedarf des Heizwassers unter der Pinch-Temperatur von 68.8 °C liegt, kann die gesamte Erwärmung ohne zusätzlichen Einsatz von Primärenergie über Wärmerückgewinnung gemacht werden. Der errechnete theoretische Bedarf von 17.0 MW_{th} für die aufzuheizenden Ströme bleibt also konstant.

In der Perlen Papier AG stehen rund 36 MW_{th} Abwärme auf einem Temperaturniveau zur Verfügung, das für die direkte Nutzung in der Anlage zu tief ist (unterer Teil der roten Abwärmekurve in Grafik 4). Der Wärmebedarf, der nicht mit Abwärme gedeckt werden kann (oberer Teil der blauen Kurve), ist auf einem Temperaturniveau von etwa 75 °C. Es handelt sich dabei um den hochtemperaturigen Anteil der Haubenzuluft, den Dampfbedarf der Zylinder in den Trockenpartien und den Heissluftbedarf im Schwebetrockner in der PM 4.

Netzwerke

Aus der Gegenüberstellung aller Abwärmegeber und Abwärmenehmer ergibt sich das sogenannte MER-Netzwerk (Maximum Energy Recovery), das die maximale Wärmerückgewinnung mit Wärmetauschern theoretisch umsetzt (siehe MER-Netzwerk im Anhang C). Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der praktischen Umsetzbarkeit der Wärmetauscher entstehen aus dem MER-Netzwerk neue, vereinfachte Netzwerke, aus denen die Massnahmenpakete abgeleitet werden können.

Grafik 5 zeigt einen Ausschnitt aus dem Netzwerk der Variante 2 (Erklärung Variante 2 siehe Kapitel 4.6). Aufzuheizende Ströme sind blau, abzukühlende Ströme sind rot eingezeichnet. Der Energieträger kann dabei Wasser, Luft oder ein anderes Medium sein. Die Verbindung zweier Ströme entspricht einem Wärmetauscher mit entsprechender Leistung (grünes Viereck). Ober- und unterhalb des Wärmetauschers ist die Ein-/Austrittstemperatur des Mediums dargestellt (blaues/rotes Viereck).



Grafik 5 Ausschnitt aus einem Netzwerk. Blau: aufzuheizender Strom. Rot: abzukühlender Strom. Verbindung der Ströme: Wärmetauscher mit entsprechender Leistung (grün). Pinchtemperatur: 68.8 °C. Minimale Temperaturdifferenz: 10 °C.

4.6 Massnahmen

Massnahmenübersicht, Einsparungen

Die Tabelle 3 präsentiert einen Massnahmenmix aus optimaler Energierückgewinnung und maximaler Wirtschaftlichkeit in der Umsetzung. Häufig ist die energetisch optimale Lösung wirtschaftlich oder vielleicht auch technisch nicht realisierbar. Trotzdem kann Sie aber für andere Betriebe durchaus Sinn machen. Aus diesem Grund sind in der Tabelle nicht nur die umsetzbaren, sondern auch ein Teil der gestrichenen Massnahmen erwähnt, damit ein besserer Gesamtüberblick über das Vorgehen bei einer Pinch-Studie und die Resultate gewährt werden kann.

Die erarbeiteten Massnahmen sind mit ihrem Einsparpotential und den entsprechenden Investitionskosten dargestellt. Sie wurden zusammen mit dem Anlagenbauer abgeklärt und geprüft. Die Massnahmen sind farblich unterteilt in 3 verschiedene Gruppen:

- Grün: Bereits bestehender Wärmetauscher, der nicht ersetzt werden soll. Es sind dabei nicht alle Wärmetauscher der Perlen dargestellt, sondern nur jene, die bis zum Ende der Studie in Frage gestellt wurden.
- Blau: Neue Massnahmen, die zusätzlich zu der bestehenden Wärmerückgewinnung umgesetzt werden können.
- Rot: Gestrichene Massnahmen, die in einer ersten Runde vorgeschlagen, danach aber wieder verworfen wurden.

Die Massnahmen sind, wo nicht anders vermerkt, einzeln realisierbar; die Gruppen wurden definiert, da sie ähnlich sind resp. örtlich im gleichen Bereich liegen.

Die Einteilung in Prioritätsklassen erfolgte nach den Kriterien Payback, Kosteneinsparungen und Funktionssicherstellungen.

Die Kostenschätzung (exklusiv Mehrwertsteuer) hat eine Genauigkeit von +/- 25%, basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten. Der Payback berücksichtigt einen Kapitalzins von 5 % und die Teuerung der Energie wurde zu 3.0% (Wärme) respektive 5.0 % (Strom) angenommen.

Massnahmenübersicht

Alle Anlagen Perlen, ausschliesslich PM5 und Dampfproduktion TMP

Datentabelle: PV9; Netzwerk: N_PV9_RELAX2

Paybackberechnung inkl.:

Kapitalzins	5.0 % p.a
Teuerung fossile Energie	3.0 % p.a
Teuerung Strom	5.0 % p.a

Situation 2006

Thermische Nutzenergie	380'000 MWh/a
Strom aus Gas + Netz	482'000 MWh/a
Rohwasserverbrauch	9.8 Mio.t/a
Produktion (Brutto)	307'000 t/a
V'Betriebsstunden (Produktion)	8'300 h/a
Betriebsstund. Heiz. resp. H.Abluft 3	1'000 h/a
Betriebsstund. Thermokompressor	2'000 h/a
Betriebsstund. Haubenzuluft 3	6'500 h/a

Kostenschätzung : +/- 30% basierend auf Richtofferten und Erfahrungswerten, exkl. MWST

Nr.	Massnahme	Investition [kFr.]	Einsparung (Groschätzung)		Payback [a]	Nutzen / Bemerkung	Priorität* [-]	
			[kFr./a]	[MWh/a]				[% Therm]
1	Belassen der bestehenden WT Haubenzuluft 1 - Haubenabluft 1 und Haubenzuluft 2 - Haubenabluft 2 bei einer Leistung von 280 kW	-	-	-	-	Gemäss Variante 1 Voith		
2	Belassen der bestehenden Prozesswasserwärmetauscher und Aufwärmung von je 80'750 kg/h Prozesswasser von 35 °C auf 51 °C	-	-	-	-	Gemäss Variante 1 Voith		
3	Neuer Wärmetauscher in Haubenabluft 3 zur Zusatzerwärmung von Filz- und Pressenwasser von 51 °C auf 60 °C.	-	-	-	-	Reduktion des Dampfverbrauches durch Erhöhung des TS-Gehaltes vor der Trockenpartie. Hebeleffekt + 0.3% Zusatzrocknung --> -1.2 % Energieverbrauch in Trockenpartie. Der Betrieb des Dampfblaskastens wird stark reduziert.		
4a	Vergrösserung der Kondensatstufen in der Haubenzuluft 1 und 2, von 230 kW auf 500 kW	480	70	1'080	0.3%	7.4	Dampfeinsparung, Kondensatabkühlung. Einsparung hängt stark von Betriebszeit des Thermokompressors zusammen.	4
4b	Neue Kondensatstufe in der Haubenzuluft 3 mit einer Leistung von 200 kW	185	26	400	0.1%	7.7	Dampfeinsparung, Kondensatabkühlung. Einsparung hängt stark von Betriebszeit des Thermokompressors zusammen.	4

Tabelle 3 Massnahmentabelle

Nr.	Massnahme	Investition [kFr.]	Einsparung (Grobschätzung)			Payback [a]	Nutzen / Bemerkung	Priorität* [-]
			[kFr./a]	[MWh/a]	[% Therm]			
5	Nutzung der Turbair-Abluft (Sammelabluft aller 3 Gebläse) zur Vorwärmung des Speisewassers im Kesselhaus (Kreislaufverbundsystem)	910	421	6'474	1.7%	2.2	Dampfeinsparung	1
6	Nutzung der Turbair-Abluft (Sammelabluft aller 3 Gebläse) auf niedrigem Temperaturniveau zur Vorwärmung der Haubenzuluft 3	-	-	-	-	-	Dampfeinsparung	
7	Verwendung der Schwebetrockner-Abluft über ein Kreislaufverbundsystem zur Vorwärmung des Speisewassers im Kesselhaus	-	-	-	-	-	Dampfeinsparung	
8	Nutzung der Schwebetrockner-Abluft auf niedrigem Temperaturniveau zur Vorwärmung der Pressrinnenheizung	-	-	-	-	-	Dampfeinsparung	
9	Verwendung des Kondensats vom Kondensatsammelbehälter zur Deckenquerbelüftung	240	59	900	0.2%	4.3	Dampfeinsparung. Niedrige Betriebszeit, da Kondensattemperatur nur bei Betrieb Thermokompressor und/oder Betrieb Hallenheizung (im Winter) bei etwa 100 °C (von KOSA) und Deckenquerbelüftung v.a. im Winter mit gesteigerter Leistung gebraucht.	3
10	Verwendung der Schwebetrockner-Abluft (von 164.5 °C bis 120 °C) für die Pressrinnenheizung.	220	151	2'324	0.6%	1.5	Dampfeinsparung. Gemäss Variante Voith.	1
11	Verwendung der Schwebetrockner-Abluft (von 120 °C bis 45 °C) für die Vorwärmung der Haubenzuluft 3.	690	224	3'445	0.9%	3.2	Dampfeinsparung	2
12	Nutzung des TMP-Abwassers aus dem Puffertank zur Vorwärmung des Prozesswassers für die PM4 von 23.5 °C auf 39 °C.	630	577	8'881	2.3%	1.1	- Dampfeinsparung - Kühlturmkapazität wird frei für die Kühlung des ARA-Wassers, daher zusätzlicher Kühlturm vermeidbar - Prozesswasserdurchflusssteigerung für kurzzeitige Kühlzwecke nutzbar	1

Tabelle 3 Massnahmentabelle (Fortsetzung 1)

Nr.	Massnahme	Investition [kFr.]	Einsparung (Grobschätzung)		Payback [a]	Nutzen / Bemerkung	Priorität* [-]	
			[kFr./a]	[MWh/a]				[% Therm]
h	Belassen der bestehenden Heizwasser-Wärmetauscher in Haubenabluft 1 + 2, zusätzliche Erwärmung des Heizwassers in Haubenabluft 3 gemäss Variante 1 Voith. 270'000 kg/h Heizwasser von 25 °C auf 51 °C möglich.	1'160	194	2'980	0.8%	6.4	Dampfeinsparung: Massnahme gemäss Variante 1 Voith, ohne Heizwassererwärmung mit Turbairabluft.	4
Total Massnahmen mit Payback < 5 Jahre		2'690	1'432	22'024	5.8%	1.9		
Total alle Massnahmen		4'515	1'721	26'484	7.0%	2.7		

*Prioritäten nach Payback, Kosteneinsparungen sowie Funktionssicherstellungen

Tabelle 3 *Massnahmentabelle (Fortsetzung 2)*

Erklärung der Massnahmen

Neue Massnahme; Bestehender Wärmetauscher; Gestrichene Massnahme

Massnahme 1: Belassen der Wärmetauscher Haubenzuluft/Haubenabluft

Ursprünglich war in der Haubenabluft 1 wie auch in der Haubenabluft 2 eine Vergrösserung der beiden Wärmetauscher zur Vorwärmung der Haubenzuluft 1 und Haubenzuluft 2 vorgesehen. Die Vergrösserung der Wärmetauscher wäre auf Kosten einer verminderten Wärmerückgewinnung für die Hallenheizung gegangen. Der Einsatz von Abwärme in kontinuierlichen Prozessströmen mit hoher Betriebszeit (8'300 Betriebsstunden pro Jahr) ist eine klassische Massnahme und bringt in den meisten Fällen eine grössere Einsparung als eine Abwärmeverwendung für die Hallenheizung (1'000 bis 2'000 Betriebsstunden pro Jahr). Die Massnahme konnte aufgrund von engen Platzverhältnissen nicht umgesetzt werden (kein Raum für einen Bypass während der Umbauzeit).

Massnahme 2: Belassen der Wärmetauscher Haubenabluft/Prozesswasser

Die Vergrösserung der beiden Prozesswasserwärmetauscher wurde nach dem gleichen Prinzip wie die Massnahme 1 vorgeschlagen: Energieeinsparung durch eine erhöhte Rückgewinnung für kontinuierliche Prozessanforderung mit hoher Betriebszeit, auf Kosten von einer leicht verringerten Wärmerückgewinnung für die Hallenheizung. Die Ablehnung der Vergrösserung geschah auch hier aufgrund der engen Platzverhältnisse.

Massnahme 3: Erhöhung Temperatur Filz- und Pressenwasser

Die Erwärmung von Filz- und Pressenwasser ist eine Massnahme mit Hebeleffekt, die schon in anderen Papieranlagen (mit konventionellen Pressen) zu Energieeinsparungen geführt hat. Durch die erhöhte Spritzwassertemperatur in der Pressenpartie wird die Viskosität des Wassers erhöht und das Papier somit besser entwässert. Durch die Erhöhung des Trockensubstanz-Gehalts des Papiers vor der Haube kann der Energieaufwand zur Verdampfung des Wassers entscheidend verringert werden. Das veranschaulicht eine einfache Rechnung:

Annahme: 1. Alter TS-Gehalt vor der Haube = 45 %; nach der Haube = 98 %.
 2. Neuer TS-Gehalt vor der Haube = 46.5 %, nach der Haube = 98 %
 3. Thermischer Wirkungsgrad der Trocknung in der Haube = 60 %.

Einsparung: + 1.5 %TS = - 2.8 % Wasser, das verdampft werden muss.
 - 2.8 % Wasser = 4.7 % Energieeinsparung in der Haube.
Die Einsparung wirkt sich direkt auf die Primärenergie aus, mit Hilfe derer Dampf für Zylinder bzw. die Erwärmung der Haubenzuluft erzeugt wird.

Da in der Perlen Papier AG eine Schuhpresse verwendet wird, die bereits 50 %TS schon vor der Haube erreicht, wurde die Erhöhung der Trockensubstanz und die resultierende Energieeinsparung vom Kunden als minimal erachtet. Die Massnahme wurde aus diesem Grund nicht umgesetzt.

Massnahmen 4a und 4b: Vergrösserung der Kondensatstufen zur Haubenzuluftvorwärmung

Die Vergrösserung der Kondensatstufen (zur Haubenzuluftvorwärmung) wurde primär zur Verringerung der Kondensattemperatur vorgeschlagen, um Nachverdampfungen aufgrund von Druckverlusten in den Rohrleitungen zu verhindern. Es hat sich aber herausgestellt, dass die Kondensattemperatur nur bei Betrieb des Thermokompressors (etwa 2'000 Vollastbetriebsstunden) zu hoch ist. Da eine Unterkühlung des Kondensats keine Wärmerückgewinnungsmassnahme ist, können bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit des Wärmetauschers nur 2'000 Betriebsstunden angenommen werden. Die Massnahme wird somit wegen dem grossen und teuren Luft/Wasser-Wärmetauscher unwirtschaftlich. Als Alternative bietet sich zum Beispiel eine Abkühlung des Kondensats über das Warmwasser an, womit zumindest ein unspezifischer Wärmeeintrag ins System geleistet werden könnte.

Massnahme 5: Nutzung der Turbair-Abluft zur Speisewasservorwärmung

Eine der Stärken der Pinch-Analyse ist die Betrachtung aller Energieströme einer Anlage, unabhängig von Energiemedium oder Lage in der Produktion. So plant die grösste der vorgeschlagenen Massnahmen eine Nutzung der Turbair-Abluft über ein Kreislaufverbundsystem für die

Speisewasservorwärmung. Die Massnahme wird trotz einer etwa 250 m langen Leitung wirtschaftlich, da die Einsparung pro Jahr über 400'000 CHF beträgt.

☒ *Massnahme 6: Nutzung der Turbair-Abluft zur Vorwärmung der Haubenzuluft 3*

Die Massnahme hat ursprünglich nach dem Wärmetauscher der Massnahme 5 noch eine Wärmerückgewinnung Turbair-Abluft/Haubenzuluft 3 vorgesehen. Die Turbair-Abluft hätte also für die Speisewasservorwärmung (Nutzung hohes Temperaturniveau) und die Haubenzuluft (Nutzung tiefes Temperaturniveau) in zwei Wärmetauschern genutzt werden sollen. Aufgrund von Platzgründen und einem möglichen Ersatz der Massnahme durch die Massnahmen 4a und 11 wurde diese Einsparvariante verworfen.

☒ *Massnahme 7: Nutzung der Schwebetrockner-Abluft zur Vorwärmung des Speisewassers*

Wie bei Massnahme 5 wurde bei Massnahme 7 eine Vorwärmung des Speisewassers über ein Kreislaufverbundsystem vorgesehen. Die hohen Temperaturen des Schwebetrockners (160 – 400 °C) hätten einen kleinen Thermoölkreislauf nötig gemacht, um das Kreislaufverbundsystem trotzdem mit Wasser (ca. 95 °C) umsetzen zu können. Die Einsparungen waren aber zu gering, um den Bau der Leitung des Verbundsystems zu rechtfertigen.

☒ *Massnahme 8: Nutzung der Schwebetrockner-Abluft zur Vorwärmung der Pressrinnenheizung*

Die Massnahme 8 sah eine Nutzung der Schwebetrockner-Abluft auf niedrigem Temperaturniveau zur Vorwärmung der Pressrinnenheizung vor. Sie wurde wegen der abgelehnten Massnahme 7 gestrichen und in der Massnahme 10 auf anderem Temperaturniveau wieder vorgeschlagen.

☒ *Massnahme 9: Kondensat zur Deckenquerbelüftung*

Die Deckenquerbelüftung verhindert eine Kondensation an der Decke der Papieranlagen und vermeidet somit Tropfen auf der Papierbahn. Die Deckenquerbelüftung wird vor allem im Winter mit hoher Leistung gebraucht. Die Nutzung des Kondensats nach dem Kondensatsammelbehälter (1 bar, 100 °C) zur Deckenquerbelüftung schlägt zwei Fliegen mit einer Klappe: Die geforderte Kondensatabkühlung auf 85 °C und eine Dampfeinsparung bei der Deckenquerbelüftung.

☒ *Massnahme 10: Nutzung der Schwebetrockner-Abluft zur Vorwärmung der Pressrinnenheizung*

Die Massnahme 10 sieht eine Nutzung der Schwebetrockner-Abluft auf niedrigem Temperaturniveau zur Vorwärmung der Pressrinnenheizung vor. Im Gegensatz zur vorherigen Massnahme 7 muss wegen dem Luft-Luft Wärmetauscher kein Thermoölkreislauf eingesetzt werden. Die hohen Ablufttemperaturen von 160 °C bis 400 °C bedingen aber eine Luftregulierung auf der Seite der Schwebetrocknerabluft, damit die Luft der Pressrinnenheizung nicht zu stark erhitzt wird.

☒ *Massnahme 11: Nutzung der Schwebetrockner-Abluft zur Vorwärmung der Haubenzuluft 3*

Die Schwebetrockner-Abluft wird in dieser Massnahme nach der Nutzung für die Pressrinnenheizung zusätzliche ab einer Temperatur von 120 °C (bis 45 °C) für die Vorwärmung der Haubenzuluft 3 verwendet.

☒ *Massnahme 12: Nutzung des TMP-Abwassers zur Vorwärmung des Prozesswassers.*

Die Massnahme 12 hat einen mehrfachen Nutzen: Zum einen wird das TMP-Abwasser (knapp 90'000 m³/h bei etwa 60 °C) vor dem Eintritt in die Abwasserreinigungsanlage auf 32 °C abgekühlt und somit die Kühlung des Abwassers entlastet. Der bestehende Kühlturm muss nicht erweitert werden. Zum anderen kann das TMP-Abwasser für die Vorwärmung des Prozesswassers verwendet werden, das in der Kombination mit der Massnahme 2 nun ohne Primärenergie auf 51 °C erwärmt werden kann. Die bestehenden Wärmetauscher nach dem TMP-Puffertank können verwendet werden.

☒ *Massnahme 13: Erwärmung des Heizwassers mit Haubenabluft 1, 2 und 3*

Die Massnahme 13 ist ein klassisches Beispiel einer Massnahme, die aus der Pinch-Analyse resultiert. Die Erwärmung des Heizwassers (Glykologemisch) erfolgt mit der Abluftenergie auf niedrigem Temperaturniveau, das nicht mehr für kontinuierliche Prozesse mit hoher Betriebszeit verwendet werden kann. Ein Teil der Massnahme 13 war bereits umgesetzt.

4.7 Resultate

Tabelle 4 zeigt die Investitionen bzw. die möglichen Einsparungen, geordnet nach Prioritäten. Die Massnahmen bis und mit Priorität 3 sparen 22.0 GWh_{th}/a bzw. 1.4 Mio CHF/a bei Investitionen von etwa 2.7 Mio CHF. Der Gesamt-Payback dieser Massnahmen beträgt also mit Berücksichtigung von Kapitalzins und Teuerung der Primärenergie lediglich 1.9 Jahre. Die 22.0 GWh_{th} entsprechen rund 6 % des gesamten thermischen Energiebedarfs der Perlen (alle Anlagen) respektive 10 % des Verbrauchs von Schweröl und Erdgas. Da sich die Energieeinsparung direkt auf Schweröl und Erdgas auswirkt (Rückstände werden weiterhin in gleichen Mengen verbrannt), kann die CO₂-Emission um 5'600 t pro Jahr verringert werden.

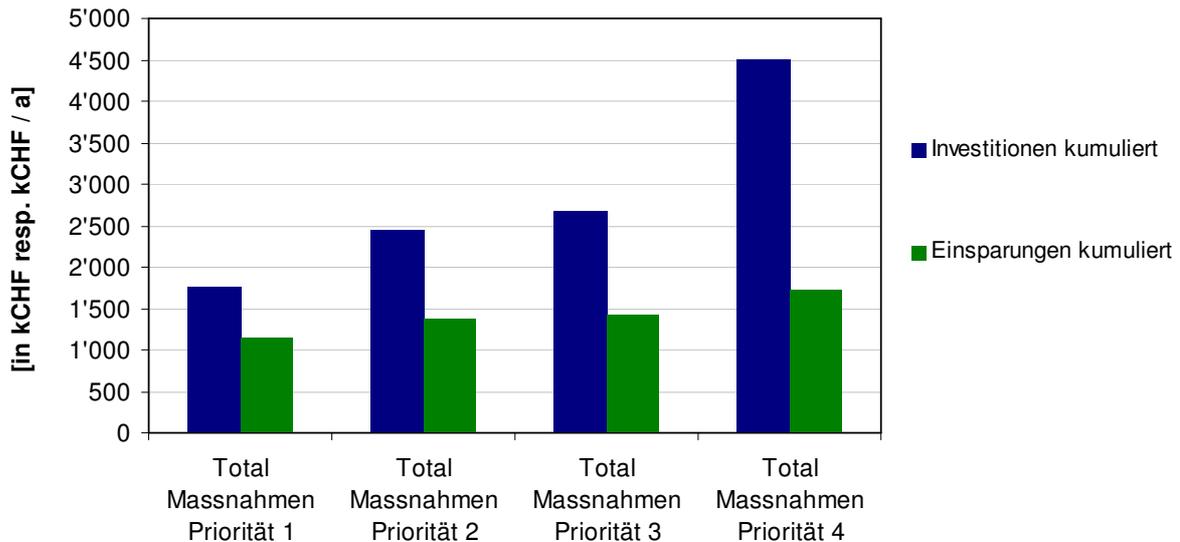


Tabelle 4 Investitionen und Einsparungen nach Prioritäten

Die Massnahmen erreichen zusammen eine Einsparung von 15.3 MW_{th} (bis und mit Priorität 4) beziehungsweise 11.2 MW_{th} (bis und mit Priorität 3). Verglichen mit der theoretisch möglichen und wirtschaftlichen Einsparung von 20.2 MW_{th} (vergleiche Grafik 4) sind das 76 % bzw. 55 %.

4.8 Empfehlungen, weiteres Vorgehen

Wir empfehlen die Umsetzung der in Kapitel 4.6 beschriebenen Massnahmen der Priorität 1 bis 3.

Die Massnahme H der Priorität 4 soll auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Die Massnahmen 4a und 4b sollen dann umgesetzt werden, wenn prioritär eine Kondensatabkühlung erreicht werden will und die eher schlechte Wirtschaftlichkeit der damit verbundenen Wärmerückgewinnung für die Hauptzuluft als sekundär betrachtet wird. Alternativ kann eine Kondensatabkühlung über das Warmwasser in Betracht gezogen werden.

In Bezug auf weitergehende Massnahmen sollte abgeklärt werden, ob ein Forschungsprojekt im Bereich „Organic Rankine Cycle“ (ORC) Aussicht auf Erfolg haben und vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt werden könnte. Die Technologie des ORC könnte trotz einstelligen Wirkungsgraden für die feuchte Abluft unter 50 °C interessant sein, da heute in der Perlen Papier AG knapp weit über 10 MW_{th} alleine in den Papiermaschinen ungenutzt über die Abluft verloren gehen.

Die Realisierung richtet sich nach den Erfordernissen wie Abstellmöglichkeiten der Papiermaschinen, Platzbedarf für die Aufstellung von Wärmetauschern, Finanzplanung etc.

5 Schlussfolgerungen

Die vorgeschlagenen Massnahmen erreichen zusammen über 76 % (alle Massnahmen) bzw. 55 % (bis und mit Priorität 3) der Energieeinsparung verglichen mit dem durch die Pinch-Analyse berechneten theoretischen Maximum. Die Massnahmen der Priorität 1 bis 3 erreichen zusammen einen Payback von 1.9 Jahren. Sie ermöglichen Einsparungen von ca. 1.4 Mio. CHF pro Jahr bei Investitionen von 2.7 Mio. CHF. Dies entspricht Energieeinsparungen von etwa 11.2 MW_{th} oder 22.0 GWh_{th}/a. Die 22.0 GWh_{th} entsprechen rund 6 % des gesamten thermischen Energiebedarfs der Perlen (alle Anlagen) respektive 10 % des Verbrauchs von Schweröl und Erdgas. Da sich die Energieeinsparung direkt auf Schweröl und Erdgas auswirkt (Rückstände werden weiterhin in gleichen Mengen verbrannt), kann die CO₂-Emission um 5'600 t pro Jahr verringert werden. Da die Anlagen der Perlen Papier AG energetisch schon auf einem hohen Stand sind, ist dieses Resultat als wesentliche Verbesserung zu werten. Bei energetisch weniger optimierten Anlagen werden hingegen prozentual wesentlich höhere Einsparungen erreicht. Die Studie kann als Grundlage für die anstehende CO₂-Zielvereinbarung verwendet werden.

Die gefundenen Hauptmassnahmen sind klassische Wärmerückgewinnungen gemäss den Pinch-Grundsätzen. Abwärme auf hohem (tiefen) Temperaturniveau wird für Wärmebezügler auf hohem (tiefem) Temperaturniveau verwendet, kontinuierliche Prozesse (Produktion) werden vor Prozessen mit niedriger Betriebszeit (Hallenheizung) prioritär behandelt. Die meisten Massnahmen wurden im Bereich der zwei Papiermaschinen gefunden, die zusammen einen Grossteil der thermischen Energie der Perlen Papier AG benötigen. Eine Stärke der Pinch-Analyse ist die gesamtheitliche Betrachtung der Anlagen. So sind die beiden grössten Massnahmen mit einem gemeinsamen Einsparpotential von etwa 1 Mio CHF pro Jahr beide anlagenübergreifend. Die eine nutzt das Abwasser aus der TMP-Anlage für Prozesswasser, die andere die Turbair-Abluft zur Speisewasservorwärmung.

Einsparungen im Strombereich erwiesen sich erwartungsgemäss als wesentlich schwieriger zu definieren, trotz einiger grosser Einzelmotoren (Refiner in der TMP). Um diese zu optimieren müssen spezifische Voraussetzungen gegeben sein.

Eine energetische Optimierung der TMP-Anlage (ausschliesslich Abwasser) stellte sich als äusserst schwierig heraus, da die Temperatur-Anforderungen praktisch immer auch an zusätzliche Prozessbedingungen (TS-Gehalt, Feinstoff-Gehalt) und diese an die komplexen Wasserkreisläufe gekoppelt sind. Änderungen hätten hier massive Investitionen und verfahrenstechnische Funktionsrisiken nach sich gezogen.

Im Bereich der ALPA wurden trotz Potenzial keine Massnahmen vorgeschlagen, da hohe apparative Investitionen und prozesstechnische Umbauten getätigt werden müssten.

Die Pinch-Analyse bei der Perlen Papier AG hat gezeigt, dass für eine energetisch optimale Lösung in einem Grossbetrieb sowohl der Anlagenbauer als auch der Energieingenieur unabdingbar sind. Der Anlagenbauer kann vor allem in Bezug auf den Auslegungszustand und den aktuellen Betriebszustand der Anlagen wertvolle Informationen zur Optimierung beisteuern. Der Energieingenieur und die Pinch-Studie können durch die gemeinsame Betrachtung aller Anlagen versteckte Potentiale aufdecken, die über die Anlagengrenze hinausgehen. So konnten systematisch und zielsicher auch solche wirtschaftliche Massnahmen gefunden werden, welche mit punktuellen Energieanalysen verborgen geblieben wären.

Anhang

- A Modellierung der Prozesse: Eingabetabellen**
 - **Prozessbedingungen (Stand 1. Studie)**
 - **Prozessanforderungen (Stand 1. Studie)**
 - **Eingabetabellen PinchLeni (Stand 2. Studie)**

- B Composite Curves mit Heizwassererwärmung**

- C MER-Netzwerk (Stand 1. Studie)**

- D Prinzipschemata aller Massnahmen**

- E Auslegung der Wärmetauscher der neuen Massnahmen**

- F Definition energetischer Optimierungsgrad**

- G Energieflussdiagramm (Sankey)**

Energiesituation Perlen Papier AG TMP				Legende:		Schema	PLS				
Produktionsanlagen (Prozessbedingungen)				- Eingabefelder		Messung	Annahme				
				- Berechnungsfelder							
Gebäudebez	Nr.	Anlagebez.	Verfahrensschritt	T _{anfang} (°C)	T _{ende} (°C)	V [*] Ausl (m ³ /h)	M [*] Ausl (kg/h)	mp (kg/h) tr., elf	%TS, %rel.F(anf)	cp(kJ/KgK), r(kJ/kg)	Qp(kW)
TMP											
		Hackschnitzel	Vorwärmsilo (Winter)	10.4	25		13292	26'583	50%	2.85	-307
	1	Hackschnitzel	Erwärmung mit erhitztem Klarfiltrat	15	93		13292	26'583	50%	2.85	-1'642
	2	Hackschnitzel	Abkühlung auf Weg zum Vordampfbeh.	93	93		13292	26'583	50%	2.85	0
			Vordampfbehälter	93	93						
	3	Hackschnitzel	Vorwärmung vor Refiner mit Prozessdampf	93	162		13292	26'583	50%	2.85	-1'452
	4	Verd. Wasser	Verdünnung mit Verdünnungswasser	105	162		19200	19'200		4.20	-1'277
			Refiner 1	162	162.01						16'600
	5	Hackschnitzel	Runterkühlen mit Filtrat Brunhilde	162	82		13292	30'229	44%	3.01	2'024
	6	Hackschnitzel	Latenzbütte	82	82						
	7	Hackschnitzel	Sortierung und Verdünnung	83	83		22750	541'667	4%	4.09	0
	8	Filtratwasser Brunh.	Zur Verdünnung und Faserstoffzugabe	73	83		20940	20'940		4.20	-244
	9	Hackschnitzel	Von Sortierung zu Rejektbütte	83	83		103020	103'020	7%	4.01	0
		Rejektbütte	Entwässerung in Rej. Schn. Presse	83				191940			
	10	Hackschnitzel	Erwärmung in Rej. Schnitzelpresse	83	162		8900	25'429	35%	3.26	-1'816
			Refiner 2	162	162.01						6'200
	15	Hackschnitzel	Runterkühlen mit Filtrat Brunhilde	162	82		8900	21'190	42%	3.07	1'444
	7	Hackschnitzel	Latenzbütte	82	82						0
		Voreindickung	Voreindickung	83	83		477720	477'720	3%		
			Filtratwasser	83							
			Standrohr	80	80				10%		
		Stapelturn ungebl.	Stapelturn ungebl.	70	70				10%		
		Peroxid-Bleichturm	Peroxid-Bleichturm	80	73		9917	22'037	45%		
		Stapelturn gebl.	Stapelturn gebleicht	55-60							
		TMP-Bütten	TMP-Bütten	56					5%		
Hackschnitzelwäsche											
			Wasser von Scrubber	99	92			190'060		4.20	1'552
			KF von KF-Beh	73.3	92			80'000		4.20	-1'745
			Wasser Hackschnitzelwäsche total	92	92			270'060			
Verdünnungswasserbehälter											
		TMP-Kondensat	TMP-Kondensat Input	127	105		15252	15'252		4.20	391
			Frischwasser Input	20	105		3948	3'948		4.20	-391
			Verd.wasser	105	105		19200			4.20	
			Dampf					503		2200.00	307
	1	Wasser	Erwärmung im Vorwärmsilo (Winter)	92	93		270060	270'060		4.20	-315
	1	KF 10 bar/Waschw.	Abkühlung bei Mischung	93	84		270060	270'060		4.20	2'836
	1	Dampf	Aufheizung Klarfiltrat					528		2150.00	315
	3	Prozessdampf	Aufheizung vor Refiner 1	162	162		2'431			2150.00	1'452
	5	Filtrat Brunhilde	Runterkühlen/Verdünnen Hackschnitzel	73.3	82		376680	376'680		4.20	-3'823
	10	Prozessdampf	Aufheizung vor Refiner 2	162	162		3'041			2150.00	1'816
	15	Filtrat Brunhilde	Runterkühlen/Verdünnen Hackschnitzel	73.3	82		107640	107'640		4.20	-1'093
			Dampfverbrauch TMP: Fast ausschliesslich zur Erwärmung des Hackschnitzelwassers.				Top-down:	649	kg/h		
Abwasser											
			Aus Frischw.tank über WT Klimagerät in V	73.3			84120				
			Über Kühlwasser-Rücklauf in Vorfluter		25.7						
			Frischwasser-WT, der nicht in Betrieb				84120				
			Abfluss zu ARA	65.3			89157				
			Tanks								
			Filtrat Brunhilde	73.3							
			Filtr. Beh.	73.8							
			KF Beh.	73.8							
			KF Bütte	73.8							
			PM4 KW Behälter	45.5							
			PM5-SW Behälter	37-42							

Energiesituation Perlen Papier AG ALPA				Legende:		PLS	Annahme				
Produktionsanlagen (Prozessbedingungen)				- Eingabefelder							
				- Berechnungsfelder							
Gebäudebez	Nr.	Anlagebez.	Verfahrensschritt	T _{anfang} (°C)	T _{ende} (°C)	mp (kg/h) tr., elf	%TS, %rel.F(anf)	cp(kJ/KgK), r(kJ/kg)	Qp(kW)		
	1	Pulp	Aufheizen vor Disperger	44.2	85	31944	30%	3.39	-1'227		
	2	Klarfiltrat 2	Aufheizen vor Disperger	45	54	7140		4.20	-75		
	3	Klarfiltrat 2	Verdünnung im Disperger	45	45	21540		4.20	0		
									0		
	8	Pulp	Aufheizen vor dem HC-Mischer	50	81	13125	35%	3.26	-368		
	9	Pulp	Erhitzung im Disperger, danach zu Bleichturm	81	85	13125	35%	3.26	-47		
	10	Pulp	Runtermischen nach Bleichturm (zum Stapelt)	85	53	24720	von 35 auf ung. 11	2.75	604		
	11	Klarwasser	Zum Mischen	45	53	60180		4.20	-562		
									0		
	1a	Dampf	zur Pulp-Aufheizung im Disperger (Dampf direkt)	155		1921		2300.00	1'227		
	1b	Kondensat	zur Pulp-Aufheizung im Disperger (Dampf direkt)	118.5	50	1921		4.20	154		
	2a	Dampf	zur Aufheizung Klarfiltrat 2 im HC-Mischer (direkt)	118.5		117		2300.00	75		
	2b	Kondensat	zur Aufheizung Klarfiltrat 2 im HC-Mischer (direkt)	118.5	50	117		4.20	9		
	2	Klarfiltrat 2	Abkühlung in Disperger	90	50	7140		4.20	333		
	3		Leistung Disperger						750		
									0		
	8a	Dampf	zur Pulp-Aufheizung im Disperger (Dampf direkt verwendet)			941		2300.00	601		
	8b	Kondensat	zur Pulp-Aufheizung im Disperger	118.5	85	941		4.20	37		
									0		
	12	Wasser	Vorlagenwasser Hilfsstoffe (Heisswasseraufb.)	58.3	80	10000		4.20	-253		
	12	Dampf	Beheizung Vorlagenwasser			414		2200.00	253		

A: Prozessanforderungen (Stand 1. Studie)

Energiesituation Perlen Papier AG PM 4 (LWC)		Legende:		PLS	Schema									
Produktionsanlagen (Prozessanforderungen)		Eingabefelder		Messung	Angabe				Ta		8 °C			
		Berechnungsfelder		Annahme					rel.F_a		88%			
Gebäudebez	Energieträger	Verfahrensschritt/Anlagebezeichnung	T_start (°C)	T_ende (°C)	V* Ausl (m3/h)	M* Ausl (kg/h)	V* real (%)	M* real (%)	Druck	Dichte (kg/m³)	mp (kg/h) tr., eff	%TS, %rel.F(anf)	cp(kJ/KgK), r(kJ/kg)	Op(kW)
Halle PM4														
Papier Siebpartie (Duoformer)														
PM4 1	Zuluft	Pressrinnenheizung; Lufterhitzer Frischluft	32.0	89.0	12000	100%	1.045	1.20		14142		34%	1.0	-268
PM4 2	Abluft	Duoformer Absaugung 1	37.0	8.0	110000	100%	1.016	1.14		125578			1.5	1517
PM4 3	Abluft	Duoformer Absaugung 2	37.0	8.0	110000	100%	1.016	1.14		125578			1.5	1517
Papier Vortrockenpartie 1														
PM4 4	Zuluft	VTP 1 (Lufterhitzer Hallenluft/Abluft)	39.0	51.0	40000		1.025	?		44079			1.0	-147
PM4 5	Zuluft	VTP 1 (Lufterhitzer Hallenluft/Kondensat)	51.0	70.0	40000	100%	1.025	1.10		44079			1.0	-233
PM4 6	Zuluft	VTP 1 (Lufterhitzer Hallenluft/Dampf)	70.0	124.0	40000		1.025	?		44079			1.0	-661
PM4 7	Zuluft	VTP 1 (LMZ 1+2; Lufterhitzer Hallenluft)	30.0	109.0	34000	95%	1.025	0.93		30189			1.0	-662
PM4 8	Abluft	Haubenabluft 1	72.4	28.0						85851			5.3	5580
PM4 9	Abluft	Haubenabluft 1	28.0	8.0						85851			3.7	1765
PM4 10	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 1	109.00	109.0	3130	49%				1534			225000.0	-959
PM4 11	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 2 und 2.1	139.00	139.01	8670	44%				3806			215000.0	-2273
Papier Vortrockenpartie 2														
PM4 12	Zuluft	VTP 2 (Lufterhitzer Frischluft/Abluft)	39.0	58.0	40000		1.025			43146		35	1.0	-228
PM4 13	Zuluft	VTP 2 (Lufterhitzer Frischluft/Kondensat)	58.0	75.0	40000	100%	1.025	1.08		43146		3	1.0	-204
PM4 14	Zuluft	VTP 2 (Lufterhitzer Frischluft/Dampf)	75.0	115.0	40000		1.025			43146		0%	1.0	-479
PM4 15	Abluft	VTP 2 (Haubenabluft 3)	76.0	32.0	60000	100%	1.018	1.02		60962		29%	4.1	3062
PM4 16	Abluft	VTP 2 (Haubenabluft 3)	32.0	8.0						60962			4.0	1805
PM4 17	Abluft	VTP 2 (Haubenabluft 2)	79.3	30.0						82927			3.7	4247
PM4 18	Abluft	VTP 2 (Haubenabluft 2)	30.0	8.0						82927			3.8	1931
PM4 19	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 3	148.0	148.0	15500	87%				13485			215000.0	-8054
Papier Schwebetrockner														
PM4 20	Zuluft	Frischluf	8.0	280.0						13543			1.0	-1023
PM4 21	Umluft	Umluft	224.7	280.0	92400	88%	1.047	0.66		39934			1.0	-613
PM4 22	Abluft	Luftkühler Abluft/Frischluf	224.7	8.0	17500	100%	1.075	0.77		13543			2.0	1630
Papier Nachtrockenpartie/Trockenpartie 3/Heizgruppe 4														
PM4 23	Abluft	Haubenabluft NTP	42.0	8.0	15000	100%	1.008	1.11		16720		36%	1.7	273
PM4 24	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 4 und 5	105.0	105.0	1620					976			230000	-624
PM4 25	Dampf	Hartglättwerk	153	153.01	250	8%				20			215000	-12
Papier Kalender														
PM4 26	Dampf	Dampfaufbereitung Kalender (direkter D	153	153.01	800	?				800			215000	-478
	Strom	Induktive Walzenbeheizung (Flexi Therm	200	200.01						1			230400000	-640
Deckenquerbelüftung														
PM4 27	Hallenluft	Deckenquerbelüftung (WT Dampf)	30.0	44.8	55000	100%	1	1.10		60283			1.0	-248
Turbair														
PM4 28	Luft	Turbair 1	176.4	8	33000	100%	0.97	0.81		18033		733	1.10	928
PM4 29	Luft	Turbair 2	143.2	8	33000	100%	0.97	0.81		23322		733	1.10	963
PM4 30	Luft	Turbair RT	150.4	8	28200	?	0.97	0.84		15947		533	1.10	694
PM4 31		Brüden in S1	60.01	60						296			230000	189
Spritzwasser Filz														
PM4 32	Wasser	Warmwasser Filz	45	60	13095					13095			4.20	-229
PM4 33	Wasser	Warmwasser Presse (ohne Filz)	45	60	23000					23000			4.20	-403
Warmwasser														
PM4 34	Wasser	Warmwasser	42	45	165000					165000			4.20	-578
Fall Hallenklima														
Hallen(zu)luft PM4 Winter														
PM4 35	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	24	105000	100%	1	1.17		123146			1.00	-547
PM4 36	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	24	105000	100%	1	1.17		123146			1.00	-547
PM4 37	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	24	105000	100%	1	1.17		123146			1.00	-547
PM4 38	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	24	105000	100%	1	1.17		123146			1.00	-547
PM4 39	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	24	105000	100%	1	1.17		123146			1.00	-547
PM4 40	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	24	105000	100%	1	1.17		123146			1.00	-547
Hallen(zu)luft STA PM4														
PM4 41	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	30	105000	100%	1	1.15		120708			1.00	-738
PM4 42	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	30	105000	100%	1	1.15		120708			1.00	-738
PM4 43	Frischluf	Erwärmung mit Wasser(Glykol) (WT)	8	30	105000	100%	1	1.15		120708			1.00	-738
Hallenabluft														
PM4 44	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 45	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 46	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 47	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 48	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 49	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 50	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270
PM4 51	Abluft	Absaugung Hallenluft (Winter: 70%)	30	8	35000	100%	1	1.15		40236			1.10	270

Energiesituation Perlen Papier AG PM 5 (Zeitungsdruck Standard)				Legende:		PLS		Schema											
				- Eingabefelder		Messung		Angabe											
Produktionsanlagen (Prozessanforderungen)				- Berechnungsfelder		Annahme													
Gebäudebez	Nr.	Energieträger	Verfahrensschritt/Anlagebezeichnung	T _{anfang} (°C)	T _{ende} (°C)	V _{real} (m³/h)	M _{Ausl} (kg/h)	V _{real} (%)	M _{real} (%)	Druck	Dichte	mp (kg/h) tr., eff	%TS, %rel.F(anf)	cp(kJ/KgK), r(kJ/kg)	Qp(kW)				
		PM5	Siebpartie (Duoformer)																
	PM5_1	Abluft	Duoformer Absaugung	37,0	8,0	10500	100%	1,016	1,14			119'870 ?		1,5	1'448				
	PM5_2	Abluft	Siebschiffabsaugung	37,0	8,0	45000	100%	1,008	1,13			50'968 ?		1,5	616				
		Papier	Pressrinnenheizung (Abluft geht in Vortrockenpartie)																
	PM5_3	Zuluft	Pressrinnenheizung (Lufterhitzer Luft/Dampf)	72,0	130,0	12500	100%	1,050	0,91			11'344		1,0	-183				
		Papier	Trockenpartie																
	PM5_4	Zuluft	Haubenzuluft (HZ): Glaswärmetauscher Sulze	29,0	54,0			1,042				88'797	38%	1,0	-617				
	PM5_5	Zuluft	HZ1: Lufterhitzer Luft/Kondensat	54	71	40000	100%	1,042	1,11			44'399		1,0	-210				
	PM5_6	Zuluft	HZ1: Lufterhitzer Luft/Dampf	71	112							44'399	3% bei Messung 1	1,0	-506				
	PM5_7	Zuluft	HZ2: Lufterhitzer Luft/Kondensat	54,0	71	40000		1,042				44'399		1,0	-210				
	PM5_8	Zuluft	HZ2: Lufterhitzer Luft/Dampf	71,0	119,0			1,042				44'399	2% bei Messung 1	1,0	-592				
	PM5_9	Abluft	Haubenabluft 1a	67,0	39,0							89'313		7,0	4'863				
	PM5_10	Abluft	Haubenabluft 1b	39,0	26,0							89'313		6,0	1'935				
	PM5_11	Abluft	Haubenabluft 1c	26,0	8,0							89'313		3,6	1'608				
	PM5_12	Abluft	Haubenabluft 2a	69,0	28,0							90'166		5,8	5'956				
	PM5_13	Abluft	Haubenabluft 2b	28,0	8,0							90'166		3,7	1'853				
	PM5_14	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 3	111,4	111,4	1550	80%					1'240		220000	-758				
	PM5_15	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 2	123,3	123,3	4300	80%					3'440		220000	-2'102				
	PM5_16	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 1	128,7	128,7	11500	80%					9'200		220000	-5'622				
	PM5_17	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 4	128,7	128,7	3850	80%					3'080		220000	-1'882				
			Glättwerk																
	PM5_18	Dampf	Dampf zum Glättwerk (14 bar)	153,0	153,0	1100	50%					550		215000	-328				
			Deckenquerbelüftung																
	PM5_19	Hallenluft	Deckenquerbelüftung (WT Dampf)	30,0	46,0	55000	100%	1	1,09			60'057		1,0	-267				
			Brüden																
	PM5_20	Brüden	von A1, A2, A3 zu WT (Brüdenkondensation)	75,9	75,9	4100	8%					320		232000,00	206				
			Turbair																
	PM5_21	Luft	Turbair RC	170	8	30900			0,00			17'618		1,2	951				
			Spritzwasser Presse																
	PM5_22	Warmwasser	Spritzwasser Presse	48	60	22440						22'440		4,20	-314				
			Spritzwasser Sieb																
	PM5_23	Warmwasser	Spritzwasser Sieb	48	60	35700						35'700		4,20	-500				
			Siebwasser																
	PM5_24	Siebwasser	Siebwasser 1 (Erhitzung mit Dampf)	49,7	50	2820000						2'820'000		4,2	-987				
			Warmwasser																
	PM5_25	Warmwasser	Warmwasseraufbereitung	23	48	67200						67'200		4,20	-1'960				
			Fall Hallenklima																
	PM5_26	Frischluf	Hallen(zu)luft (400'000 m³/h) Hallenheizung (WT Glykol)	8	23	400000				1,0	1,18	470'714		1,0	-1'961				

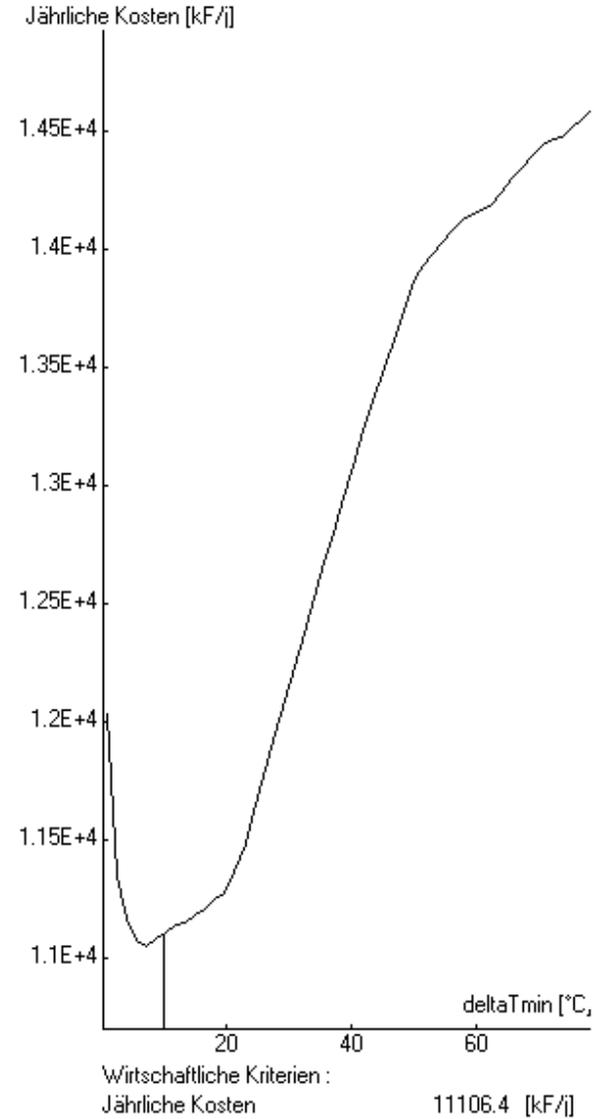
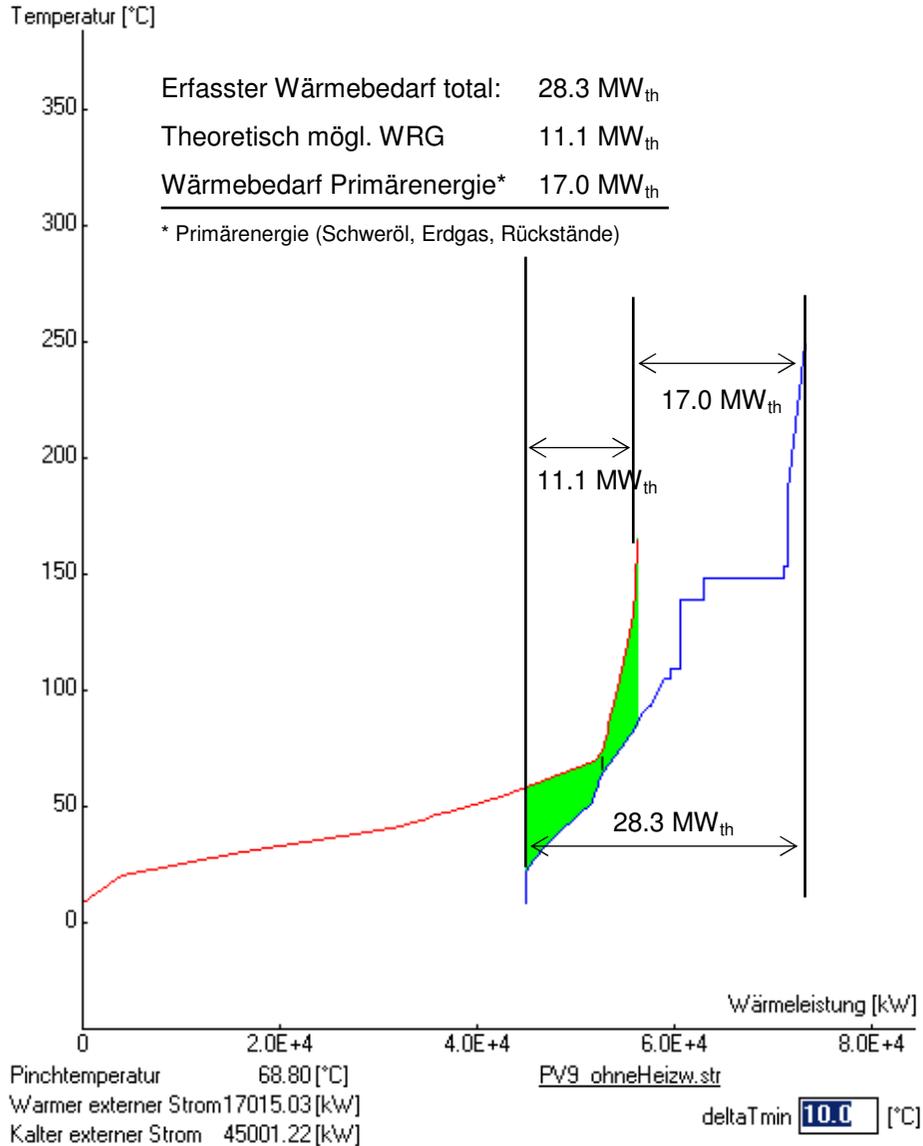
Energiesituation Perlen Papier AG TMP und ALPA				Legende:		PLS		Schema											
				- Eingabefelder		Messung		Angabe											
Produktionsanlagen (Prozessanforderungen)				- Berechnungsfelder		Annahme													
Gebäudebez	Nr.	Anlagebez.	Verfahrensschritt	T _{anfang} (°C)	T _{ende} (°C)	V _{real} (m³/h)	M _{Ausl} (kg/h)	V _{real} (%)	M _{real} (%)	Druck	Dichte	mp (kg/h) tr., eff	%TS, %rel.F(anf)	cp(kJ/KgK), r(kJ/kg)	Qp(kW)				
			TMP																
	TMP_1	Wasser	Speisewasser in WRG (mit Dampf beheizt)	104	104							1'7077		4,20	0				
	TMP_2	Wasser	PM4-KW-Behälter	45,5	45,5							168'000		4,20	0				
	TMP_3	Wasser	PM5-SW-Behälter	40	40							96'386		4,20	0				
	TMP_4	Wasser	Erwärmung Klarfiltrat/Waschwasser (mit D)	92	93	270060						270'060		4,20	-315				
	TMP_5	Dampf	Dampf zu Papiermaschinen	140,01	140							12'038		220000,00	7'447				
	TMP_6	Abluft kond	Scrubber																
	TMP_7	Abluft kond	Doppelsiebpressen/Keileindicker																
	TMP_8	TMP-Stoff	TMP-Bütte	55	55	231165													
	TMP_9	Abwasser	Abwasser total warm (top-down)	73,8	20							89'146		4,20	5'595				
			ALPA																
	ALPA_1	Pulp	Aufheizen vor Disperger	44,2	85							31944	30%	3,39	-1'227				
	ALPA_2	Klarfiltrat 2	Aufheizen vor Disperger	45	54							7140		4,20	-75				
	ALPA_3	Pulp	Aufheizen vor dem HC-Mischer	50	81							13'125	35%	3,26	-368				
	ALPA_4	Pulp	Erhitzung im Disperger, danach zu Bleichtu	81	85							13'125	35%	3,26	-47				
		Pulp	Runtermischen nach Bleichturm (zum Sta	85	53							24'270 von 35 auf ung. 11		2,75	604				
		Klarwasser	Zum Mischen	45	53							60180		4,20	-562				
	ALPA_5	Wasser	Vorlagenwasser Hilfsstoffe (Heisswasserau	58,3	80							10000		4,20	-253				
		Pulp	Runterkühlen von HC-Mischer zu Bleichtur	85	75							13'125		3,26	119				
		Pulp	Runterkühlen von Bleichturm zu Stapeltur	75	50							13'125		3,26	297				
		Pulp	von HC-Disperger runterkühlen	85	50							18'819		3,39	620				
	ALPA_6	Pulp	in Stapelturm gebleicht	52	52							145'302		4,2					
	ALPA_7	Pulp	in Stapelturm ungebleicht	52	52							145'302		4,20					
	ALPA_8	Wasser	Klarwasser von PM 5(PM4)	45	45							421'687		4,20	0				

A: Eingabetabelle PinchLeni (Stand 2. Studie)

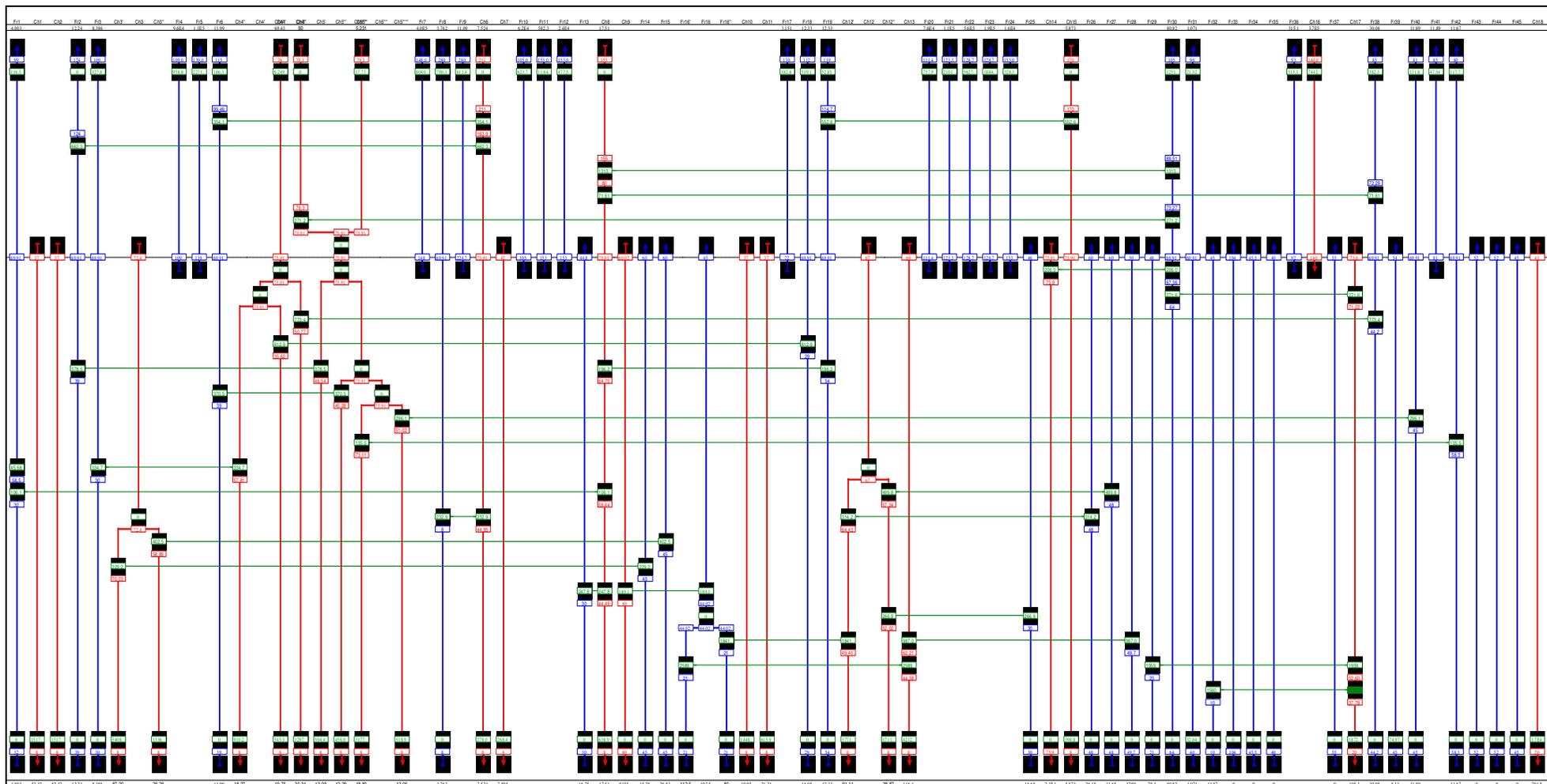
Die Eingabetabelle PinchLeni ist die Datengrundlage, die für die Pinch-Berechnungen verwendet wurde.

PINCHLeni-Eingabe: Überarbeitung Voith												
Produktion ohne Hallenluft												
Turbar PM 4 als 1 Abluftstrom zusammengefasst												
Zusatzwärmer Warmwasser Presse und Filz PM4 nicht berücksichtigt												
Ohne Tankverluste												
Ohne PM5, ohne Dampfabgabe TMP												
Deckenquerbelüftung: Input Zuluft 20 °C												
Mit Kondensat PM4												
Nr.	Energieträger	Verfahrensschritt/Anlagebezeichnung	&a Tin [°C]	Tout [°C]	M Flow [kg/h]	M Flow [kg/s]	Cp [kJ/(kg.K)]	Pressure [bar]	Alpha [W/(m2.K)]	Leistung [kW]	CP	Bezeichnung PINCHLeni
PM4_1	Zuluft	Pressinnenheizung: Lufterhitzer Frischluft/Dampf	32.00	100.00	14'600	4.055555556	1.0		50	-276		4.1 Fr1
PM4_2	Abluft	Duoformer Absaugung 1	37.00	8.00	125'578	34.882751640	1.5	1	100	1517		52.3 Ch1
PM4_3	Abluft	Duoformer Absaugung 2	37.00	8.00	125'578	34.882751640	1.5	1	100	1517		52.3 Ch2
PM4_4	Zuluft	VTP 1 (Lufterhitzer Hallenluft/Abluft)	35.00	60.00	40'250	11.180555556	1.0	1	50	-280		11.2 Fr2
PM4_5	Zuluft	VTP 1 (Lufterhitzer Hallenluft/Kondensat)	same	75.00	40'250	11.180555556	1.0	1	50	-168		11.2 Fr2
PM4_6	Zuluft	VTP 1 (Lufterhitzer Hallenluft/Dampf)	same	110.00	40'250	11.180555556	1.0	1	50	-391		11.2 Fr2
PM4_7	Zuluft	VTP 1 (LMZ 1+2: Lufterhitzer Hallenluft/Dampf)	32.90	100.00	39'247	10.901944444	1.0	1	50	-732		10.9 Fr3
PM4_8	Abluft	VTP 1 (Haubenabluf 1a)	82.00	69.00	58'750	16.319444444	1.00	1	50	212		16.3 Ch3
PM4_9	Abluft	VTP 1 (Haubenabluf 1b)	same	60.50	58'750	16.319444444	10.70	1	100	1484		174.6 Ch3
PM4_10	Abluft	VTP 1 (Haubenabluf 1c)	same	47.50	58'750	16.319444444	10.90	1	100	2312		177.9 Ch3
	Abluft	VTP 1 (Haubenabluf 1d)	same	38.00	58'750	16.319444444	9.70	1	100	1504		158.3 Ch3
	Abluft	VTP 1 (Haubenabluf 1e)	same	30.00	58'750	16.319444444	6.35	1	100	829		103.6 Ch3
	Abluft	VTP 1 (Haubenabluf 1f)	same	8.00	58'750	16.319444444	3.40	1	100	1221		55.5 Ch3
PM4_11	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 1	109.00	109.01	1'534	0.426027778	225000	1	5000	-959		95.856.3 Fr4
PM4_12	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 2 und 2.1	139.00	139.01	3'806	1.057283333	215000	1	5000	-2273		227.310.5 Fr5
PM4_13	Zuluft	VTP 2 (Lufterhitzer Frischluft/Abluft)	35.00	60.00	40'250	11.180555556	1.0	1	50	-280		11.2 Fr6
PM4_14	Zuluft	VTP 2 (Lufterhitzer Frischluft/Kondensat)	same	75.00	40'250	11.180555556	1.0	1	50	-168		11.2 Fr6
PM4_15	Zuluft	VTP 2 (Lufterhitzer Frischluft/Dampf)	same	110.00	40'250	11.180555556	1.0	1	50	-391		11.2 Fr6
PM4_16	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 3a)	82.00	69.00	50'424	14.006666667	1.00	1	50	182		14.0 Ch4
PM4_17	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 3b)	same	50.00	50'424	14.006666667	10.55	1	100	2808		147.8 Ch4
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 3c)	same	44.00	50'424	14.006666667	11.97	1	100	1006		167.7 Ch4
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 3d)	same	38.00	50'424	14.006666667	8.85	1	100	744		124.0 Ch4
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 3e)	same	30.00	50'424	14.006666667	6.35	1	100	712		88.9 Ch4
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 3f)	same	8.00	50'424	14.006666667	3.40	1	100	1048		47.6 Ch4
PM4_18	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 2a)	82.00	69.00	58'750	16.319444444	1.00	1	50	212		16.3 Ch5
PM4_19	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 2b)	same	60.50	58'750	16.319444444	10.70	1	100	1484		174.6 Ch5
PM4_20	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 2c)	same	47.50	58'750	16.319444444	10.90	1	100	2312		177.9 Ch5
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 2d)	same	38.00	58'750	16.319444444	9.70	1	100	1504		158.3 Ch5
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 2e)	same	30.00	58'750	16.319444444	6.35	1	100	829		103.6 Ch5
	Abluft	VTP 2 (Haubenabluf 2f)	same	8.00	58'750	16.319444444	3.40	1	100	1221		55.5 Ch5
PM4_21	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 3	148.00	148.01	13'485	3.745833333	215000	1	5000	-8054		805.354.2 Fr7
PM4_22	Zuluft	Frischluf Schwebetrockner	8.00	250.00	2'748	0.763333333	1.0	1	50	-185		0.8 Fr8
PM4_23	Umluft	Umluft Schwebetrockner	185.00	250.00	95'000	26.388989899	1.0	1	50	-1715		26.4 Fr9
PM4_24	Abluft	Abkühlung Abluft Schwebetrockner	164.50	120.00	20'522	5.700555556	1.15	1	50	292		6.6 Ch6
	Abluft	Abkühlung Abluft Schwebetrockner	same	46.00	20'522	5.700555556	1.15	1	50	485		6.6 Ch6
	Abluft	Abkühlung Abluft Schwebetrockner	same	38.00	20'522	5.700555556	9.30	1	100	424		53.0 Ch6
	Abluft	Abkühlung Abluft Schwebetrockner	same	30.00	20'522	5.700555556	6.35	1	100	290		36.2 Ch6
	Abluft	Abkühlung Abluft Schwebetrockner	same	8.00	20'522	5.700555556	3.40	1	100	426		19.4 Ch6
PM4_25	Abluft	Haubenabluf NTP	42.00	8.00	16'720	4.644374950	1.5	1	100	237		7.0 Ch7
PM4_26	Dampf	Frischdampf zu Heizgruppe 4 und 5	105.00	105.01	976	0.271111111	230000	1	5000	-624		62.355.6 Fr10
PM4_27	Dampf	Hartglättwerk	153.00	153.01	20	0.005416667	215000	1	5000	-12		1164.8 Fr11
PM4_28	Dampf	Dampfaubereitung Kalandr (direkter Dampfverbra	153.01	153.01	800	0.222222222	215000	1	5000	-478		4777.8 Fr12
PM4_29	Hallenluft	Deckenquerbelüftung (WT Dampf)	20.00	44.80	60'283	16.745373285	1.0	1	50	-415		16.7 Fr13
PM4_28-PM4	Abluft	Turbar zusammengefasst	143.40	54.00	47'780	13.272222222	1.0	1	50	1187		13.3 Ch8
	Abluft	Turbar zusammengefasst	same	47.50	47'780	13.272222222	14.59	1	100	1259		193.6 Ch8
	Abluft	Turbar zusammengefasst	same	38.00	47'780	13.272222222	9.70	1	100	1223		128.7 Ch8
	Abluft	Turbar zusammengefasst	same	30.00	47'780	13.272222222	6.35	1	100	674		84.3 Ch8
	Abluft	Turbar zusammengefasst	same	8.00	47'780	13.272222222	3.40	1	100	1354		45.1 Ch8
PM4_31	Briden	Briden in S 1	60.01	60.00	286	0.082222222	230000	1	10000	189		189.11 Ch9
PM4_34	Wasser	Prozesswasser (Warmwasser)	23.50	51.00	161'500	44.861111111	4.20	1	2000	-5181		188.4 Fr14
	Kondensat	Von S2	132.40	97.00	29'000	8.055555556	4.20	1	2000	1198		33.8 Ch10
	Kondensat	Von KOSA	94.00	85.00	43'000	11.944444444	4.20	1	2000	452		50.2 Ch11
	Wasser	Heizwasser	25.00	56.00	270'000	75.000000000	3.84	1	1500	-8928		288.0 Fr15
RUVA/KH 1	Wasser	Speisewasseraufheizung total	64.00	105.00	69'272	19.242222222	4.2	1	2000	-3314		80.8 Fr16
RUVA/KH 2	Schweröl	Schwerölvorwärmung	40.00	90.00	1'928	0.535555556	2.0	1	600	-54		1.1 Fr17
TMP_1	Wasser	Speisewasser in WRG (mit Dampf beheizt)	104.00	104.00	17'077	4.743611111	4.20	1	2000	0		19.9 Fr18
TMP_2	Wasser	PM4-KW-Behälter	45.50	45.50	168'000	46.966666667	4.20	1	2000	0		136.0 Fr19
TMP_3	Wasser	PM5-SW-Behälter	40.00	40.00	96'386	26.736989899	4.20	1	2000	0		113.5 Fr20
TMP_4	Wasser	Erwärmung Klarfiltrat/Waschwasser (mit Dampf)	92.00	93.00	270'060	75.016666667	4.20	1	2000	-315		315.1 Fr21
TMP_8	TMP-Stoff	TMP-Büte	55.00	55.00	231'165	64.212500000	4.20	1	500	0		269.7 Fr22
TMP_9	Abwasser	Abwasser total warm (top-down)	73.80	20.00	90'233	25.064803523	4.20	1	1000	5664		105.3 Ch12
ALPA_1	Pulp	Aufheizen vor Disperger	44.20	85.00	31'944	8.873456790	3.39	1	500	-1227		30.1 Fr23
ALPA_2	Klarfiltrat 2	Aufheizen vor Disperger	45.00	54.00	7'140	1.983333333	4.20	1	1500	-75		8.3 Fr24
ALPA_3	Pulp	Aufheizen vor dem HG-Mischer	45.00	81.00	13'125	3.645833333	3.26	1	1000	-427		11.9 Fr25
ALPA_4	Pulp	Erhitzung im Disperger, danach zu Bleichturm	81.00	85.00	13'125	3.645833333	3.26	1	1000	-47		11.9 Fr26
ALPA_5	Wasser	Vorlagenwasser Hilfsstoffe (Heiswasseraufb.)	58.30	80.00	10'000	2.777777778	4.20	1	2000	-253		11.7 Fr27
ALPA_6	Pulp	in Stapelturm gebleicht	52	52	145'302	40.361746988	4.2	1	2000	0		169.5 Fr28
ALPA_7	Pulp	in Stapelturm ungebleicht	52	52	145'302	40.361746988	4.20	1	2000	0		169.5 Fr29
ALPA_8	Wasser	Klarwasser von PM5 (PM4)	45.00	45.00	42'1687	117.135277778	4.20	1	2000	0		492.0 Fr30
ARA_1	Wasser	SUMME Abwasser	41.00	20.00	678'710	188.530420054	4.2	1	2000	16628		791.8 Ch13
		Cold utility	-10.00	-9.90					10000			UTIL
		Hot utility	350.00	349.90					10000			UTIL

B: Composite Curves: Composite Curves ohne Heizwasser



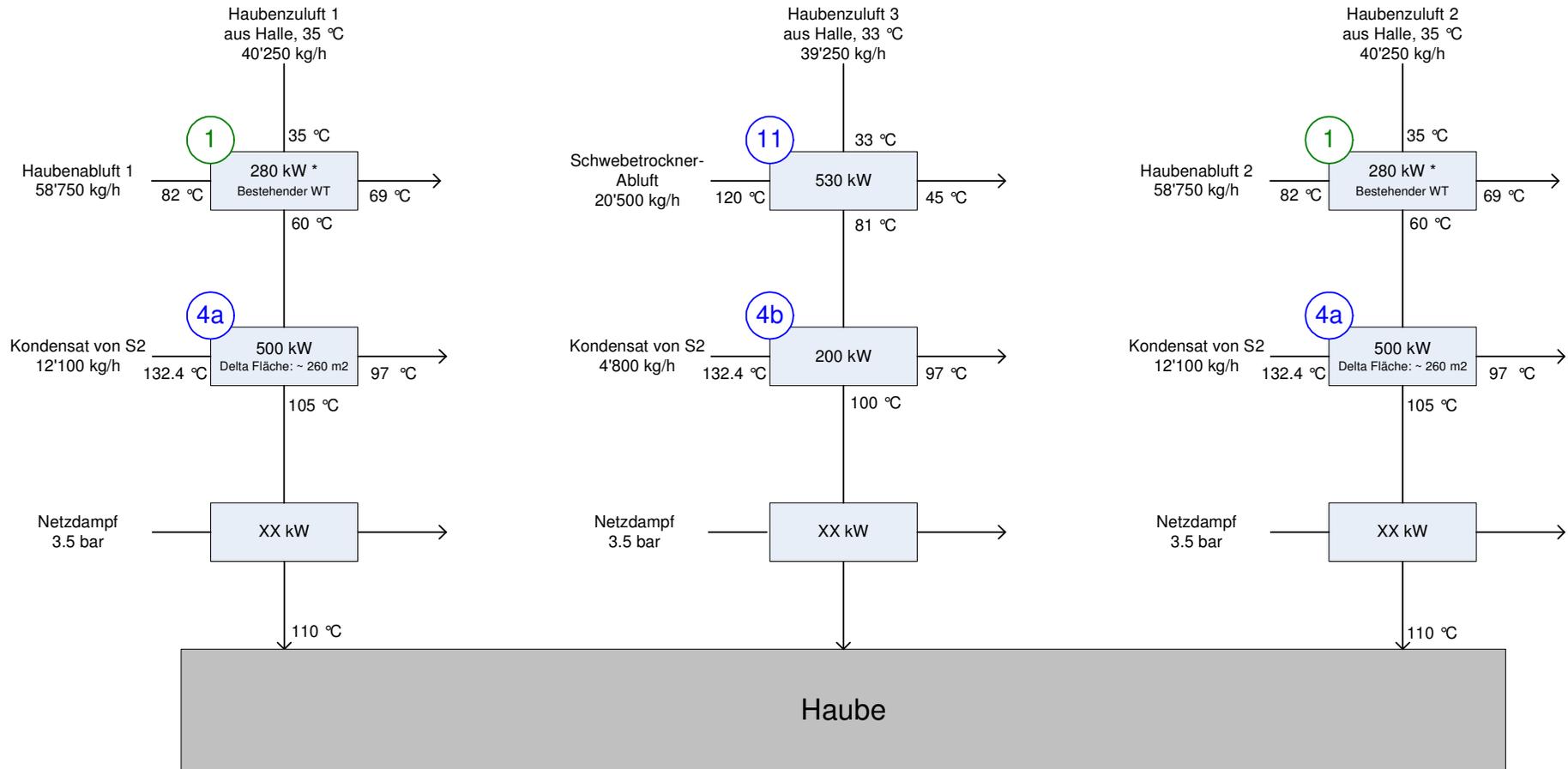
C: MER-Netzwerk (Stand 1. Studie)



Das MER-Netzwerk setzt die maximale Wärmerückgewinnung bei entsprechendem ΔT_{\min} mit Wärmetauschern theoretisch um. Jedem Abwärmegerber oberhalb des Pinchs wird ein Abwärmenehmer zugeordnet, jedem Wärmebezügler unterhalb des Pinchs wird der optimale Wärmelieferant zugewiesen.

D: Prinzipschemata aller Massnahmen

Auslegung PM 4: 14'000 kg/h (96 % TS nach Trockenpartie, ohne Strich), 45 g/m² (Rohpapier), Vollbetrieb Thermokompressor

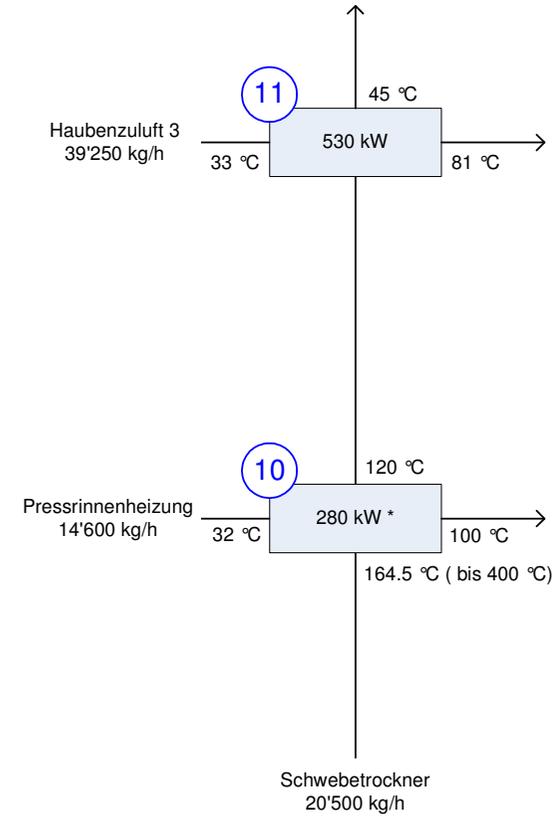
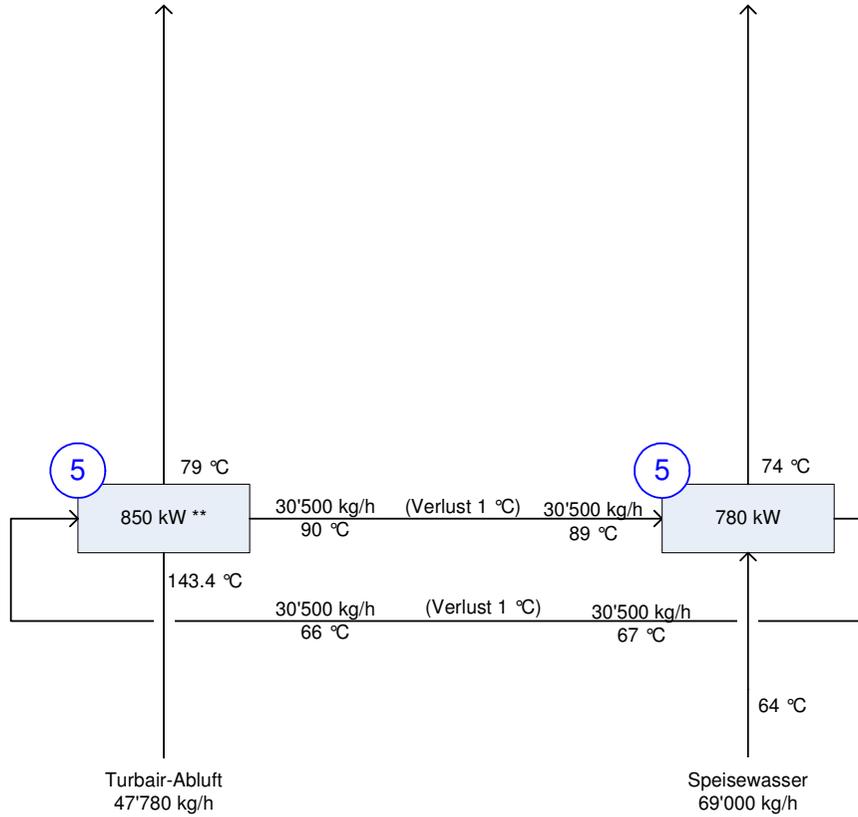


(X) Bestehender WT (X) Massnahme

- Angaben unter den Wärmetauscherleistungen:
 Flächenvergrößerung des bestehenden WT in m²
 - Wärmetauscher-Auslegung in Praxis ca. 5 % grösser
 (je nach Verschmutzungsgrad)
 - Definitive Ventilatoren- und Grosswärmetauscher-Standorte sind
 nachträglich zu bestimmen
 * Gemäss Auslegung Voith Variante 1

Perlen Papier AG	PM 4: Haubenzuluft 1, 2, 3		
Prinzipschema	Datum	31.03.2008	Gez. BRF
	Kontr.		Plan Nr.
	Grösse	A4	313117311-02
	Vis.		

Auslegung PM 4: 14'000 kg/h (96 % TS nach Trockenpartie, ohne Strich), 45 g/m² (Rohpapier)

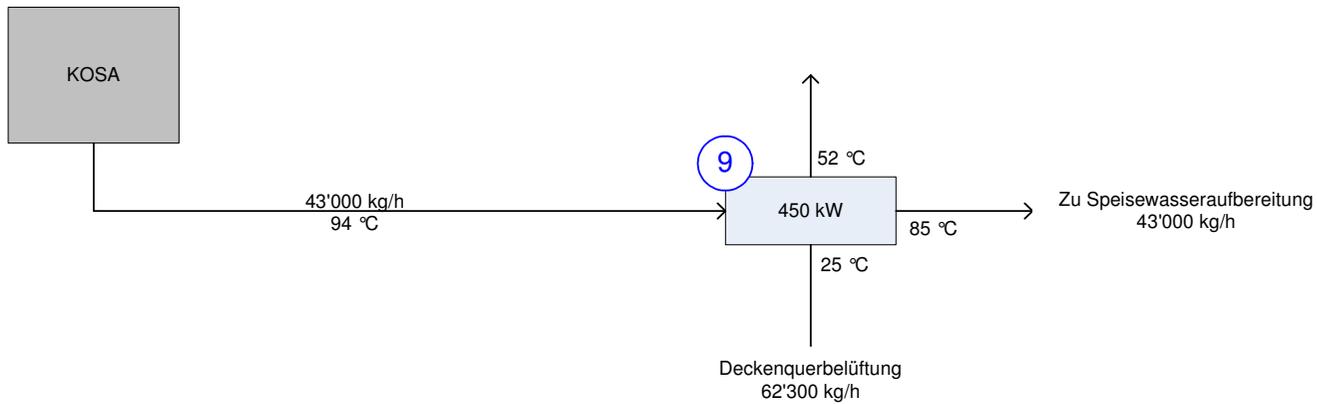
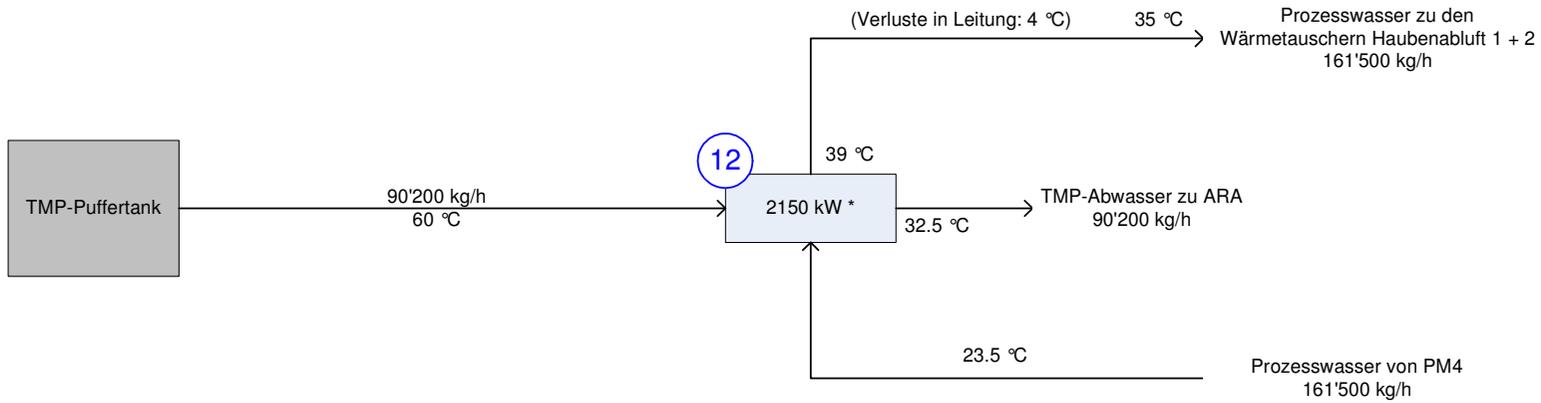


- Wärmetauscher-Auslegung in Praxis ca. 5 % grösser (je nach Verschmutzungsgrad)
 - Definitive Ventilatoren- und Grosswärmetauscher-Standorte sind nachträglich zu bestimmen

* Gemäss Auslegung Voith Variante 1
 ** Zusätzlich evtl. Thermoöl-Kreislauf aus Sicherheitsgründen

Perlen Papier AG	PM 4: Turbair, Schwebetrockner, Speisewasservorwärmung		
Prinzipschema	Datum 31.03.2008	Gez. BRF	Massstab
	Grösse A4	Kontr.	Plan Nr. 313117311-03
		Vis.	

Auslegung PM 4: 14'000 kg/h (96 % TS nach Trockenpartie, ohne Strich), 45 g/m² (Rohpapier), Vollbetrieb Thermokompressor



- Wärmetauscher-Auslegung in Praxis ca. 5 % grösser (je nach Verschmutzungsgrad)
 - Definitive Ventilatoren- und Grosswärmetauscher-Standorte sind nachträglich zu bestimmen
 * Effektive Leistung, die in PM4 genutzt werden kann.

Perlen Papier AG	PM 4: TMP-Abwasser/Prozesswasser Deckenquerbelüftung		
Prinzipschema	Datum 31.03.2008	Gez. BRF	Massstab
		Kontr.	Plan Nr.
	Grösse A4	Vis.	313117311-04

E: Auslegung Wärmetauscher

Wärmetauscher Kondensat von S2 - Haubenabluft 1 und 2

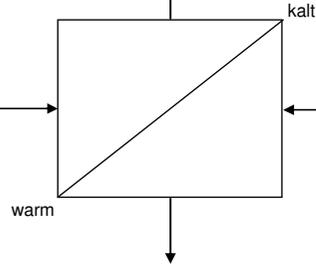
Massnahme 4a
Bestehender WT

Primärseite:
Kondensat
cp [kJ/kgK]

4.2

T [°C]	m' [kg/s]
132.4	3.4

T [°C]	m' [kg/s]
97	3.4



Wärmetauscherdaten:	
Q [kW]	503.9
dT [K]	31.5
A [m ²]	327

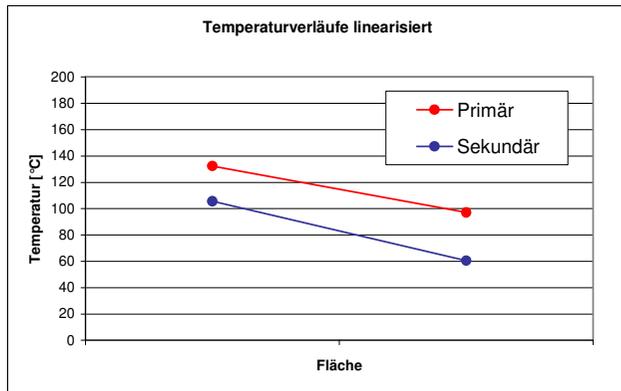
T [°C]	m' [kg/s]
60.5	11.2

Sekundärseite:
Zuluft
cp [kJ/kgK]

1

T [°C]	m' [kg/s]
105.6	11.2

	T [°C]	T [°C]
Primär	132.4	97.0
Sekundär	105.6	60.5



Wärmetauscher Kondensat von S2 - Haubenabluft 3

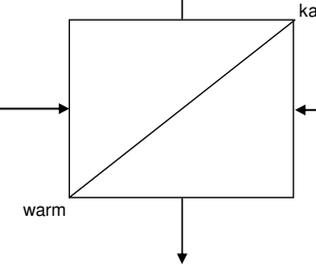
Massnahme 4b

Primärseite:
Kondensat
cp [kJ/kgK]

4.2

T [°C]	m' [kg/s]
132.4	1.3

T [°C]	m' [kg/s]
97	1.3



Wärmetauscherdaten:	
Q [kW]	198.2
dT [K]	24.1
A [m ²]	169

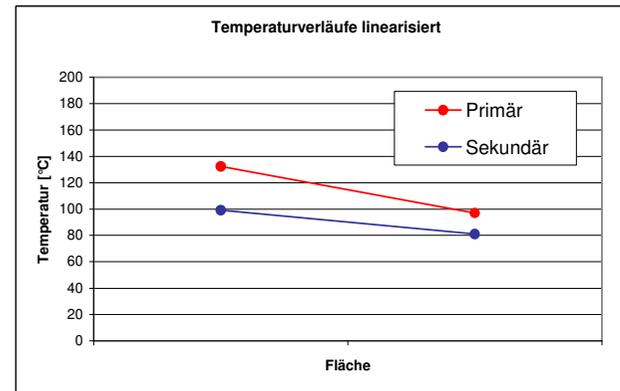
T [°C]	m' [kg/s]
81.0	10.9

Sekundärseite:
Zuluft
cp [kJ/kgK]

1

T [°C]	m' [kg/s]
99.2	10.9

	T [°C]	T [°C]
Primär	132.4	97.0
Sekundär	99.2	81.0

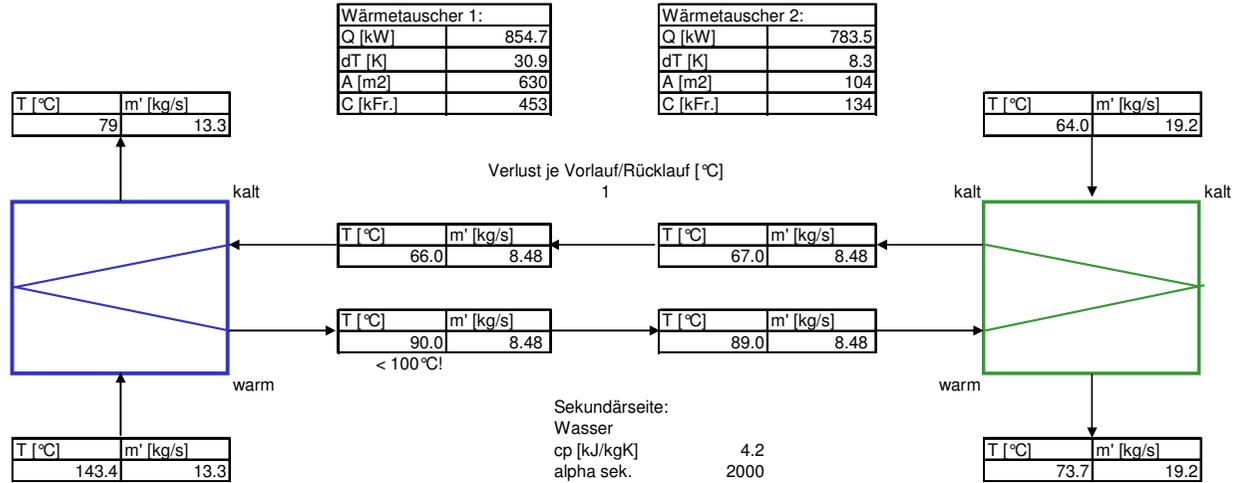


Turbairabluff - Speisewasser
Massnahme 5

Variable
Parameter
Berechnet

Wärmetauscher 1:
Ablufft feucht
cp [kJ/kgK]
alpha primär

1
50



Wärmetauscher 2:
Speisewasser
cp [kJ/kgK]
alpha primär 4.2
2000

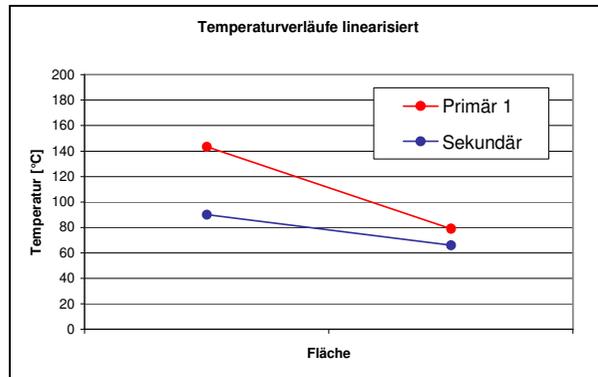
Verhältnis Volumenstrom 0.69
Verhältnis + 10% 0.76
Verhältnis - 10% 0.62
Verhältnis Flächen WT 1/2 6.03

	T [°C]	T [°C]
Primär 1	143.4	79.0
Sekundär	90.0	66.0

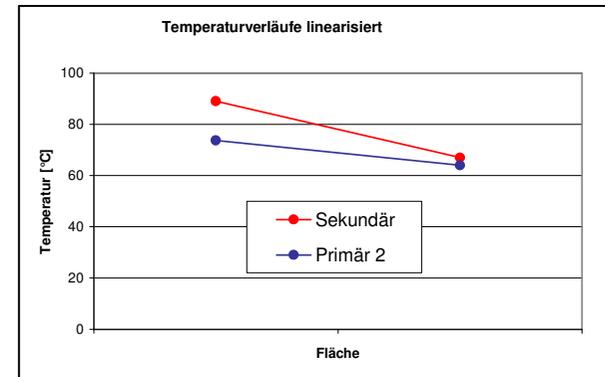
LMTD 90% dT mittel 8.22016667
110% dT mitt 10.0468704

	T [°C]	T [°C]
Sekundär	89.0	67.0
Primär 2	73.7	64.0

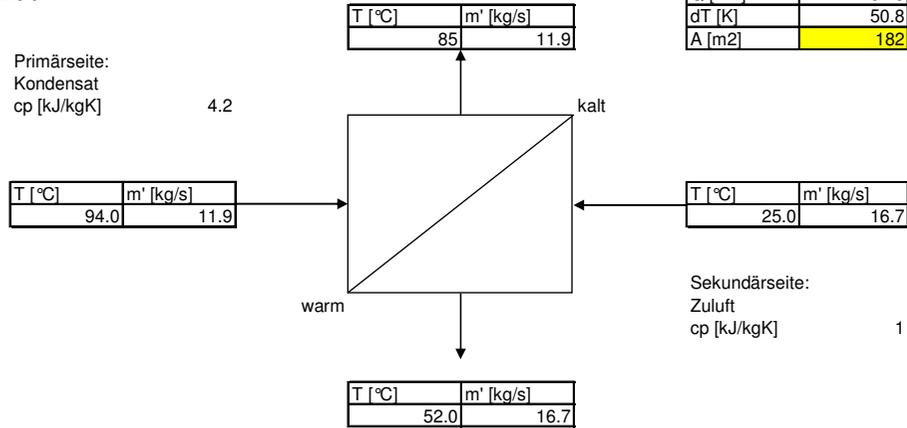
k [kW/m2K] 0.0439
0.0009
dT warm [K] 53.4
dT kalt [K] 13.0
dT mittel [K] 33.2
dT LMTD [K] 28.6
dT [K] 30.9
soll zwischen dTm und LMTD sein
nahe LTMD
30.9



k [kW/m2K] 0.90
0.0009
dT warm [K] 15.3
dT kalt [K] 3.0
dT mittel [K] 9.1
dT LMTD [K] 7.5
dT [K] 8.3
soll zwischen dTm und LMTD sein,
nahe LTMD
8.3

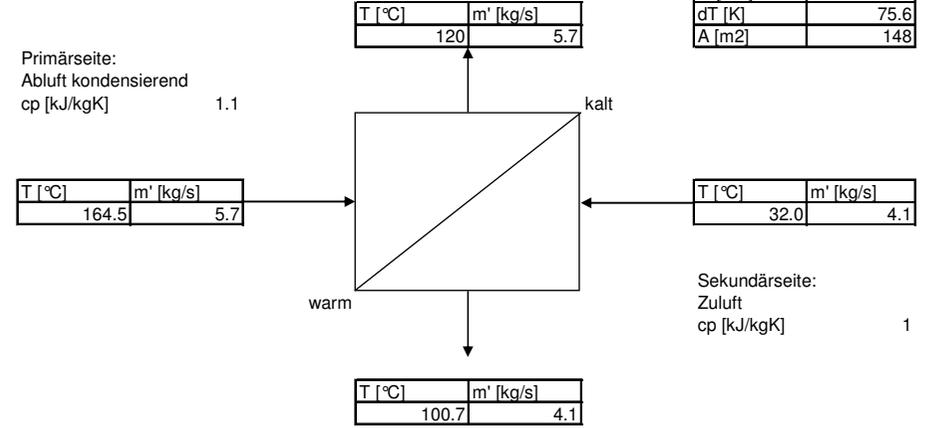


Wärmetauscher Kondensat (nach KOSA) - Deckequerbelüftung
Massnahme 9



Wärmetauscherdaten:	
Q [kW]	451.5
dT [K]	50.8
A [m2]	182

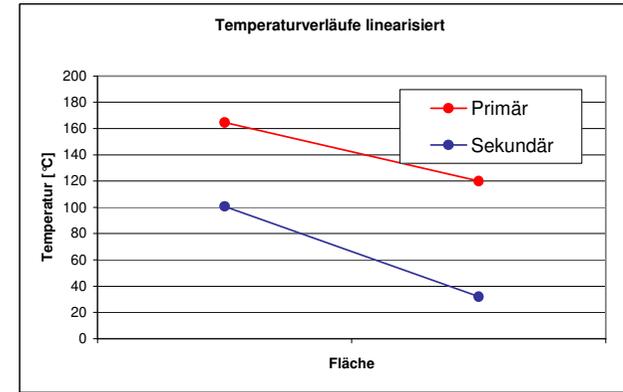
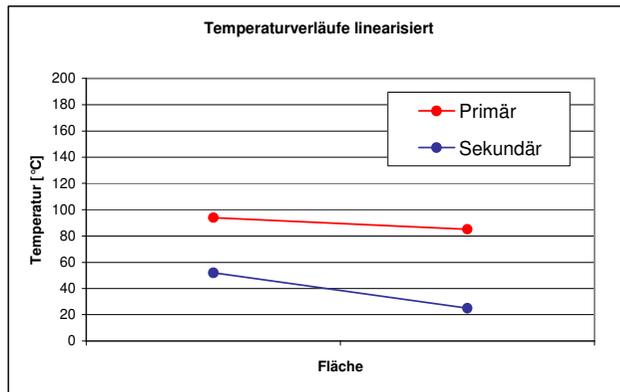
Wärmetauscher Schwebetrockner - Pressrinnenheizung
Massnahme 10



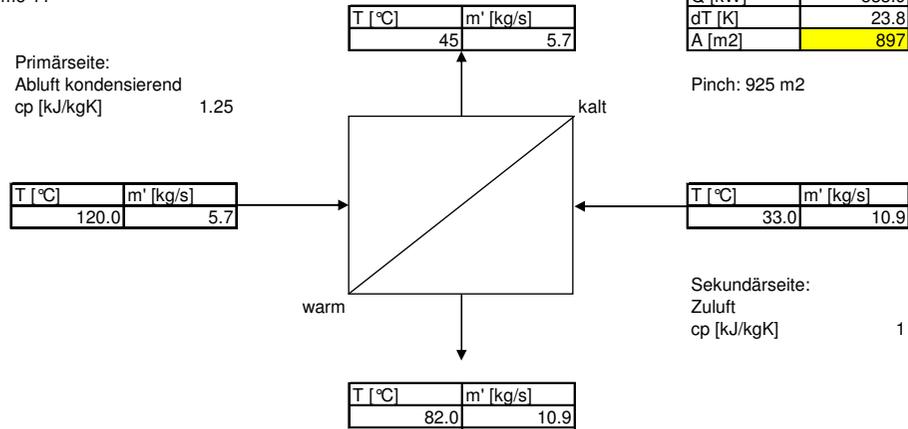
Wärmetauscherdaten:	
Q [kW]	278.7
dT [K]	75.6
A [m2]	148

	T [°C]	T [°C]
Primär	94.0	85.0
Sekundär	52.0	25.0

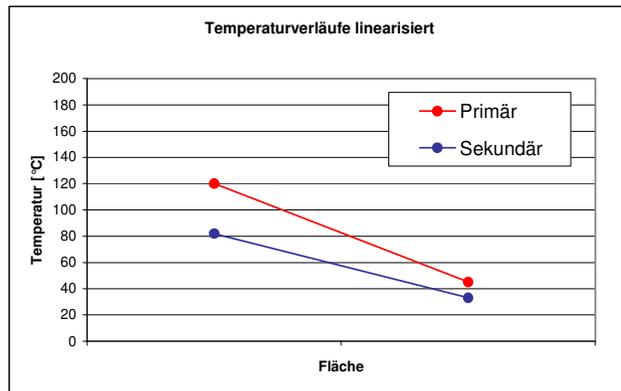
	T [°C]	T [°C]
Primär	164.5	120.0
Sekundär	100.7	32.0



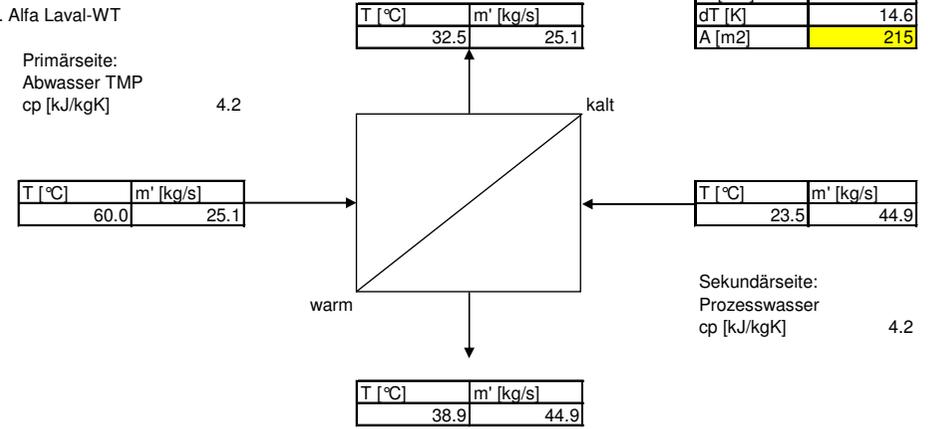
Wärmetauscher Schwebetrockner - Haubenzuluft 3
Massnahme 11



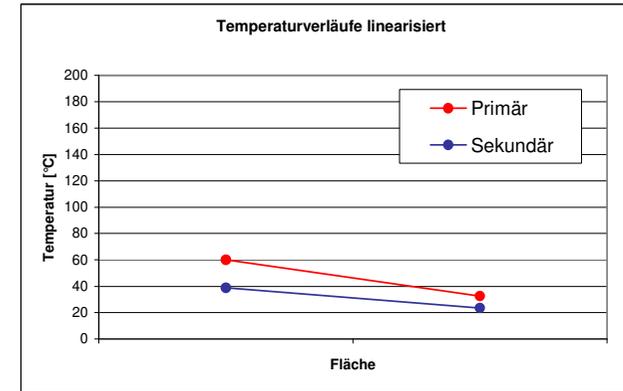
	T [°C]	T [°C]
Primär	120.0	45.0
Sekundär	82.0	33.0



Wärmetauscher Abwasser TMP/Prozesswasser
Massnahme 12
Mit best. Alfa Laval-WT



	T [°C]	T [°C]
Primär	60.0	32.5
Sekundär	38.9	23.5



E: Auslegung Wärmetauscher

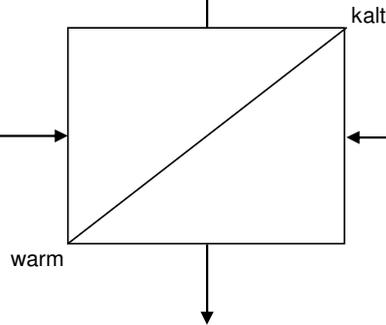
Wärmetauscher Heizwasser - Turbair

Massnahme H
Variante 1 Voith

Primärseite:
Luft kondensierend
cp [kJ/kgK] 6.65

T [°C]	m' [kg/s]
82.0	14.0

T [°C]	m' [kg/s]
50	14.0



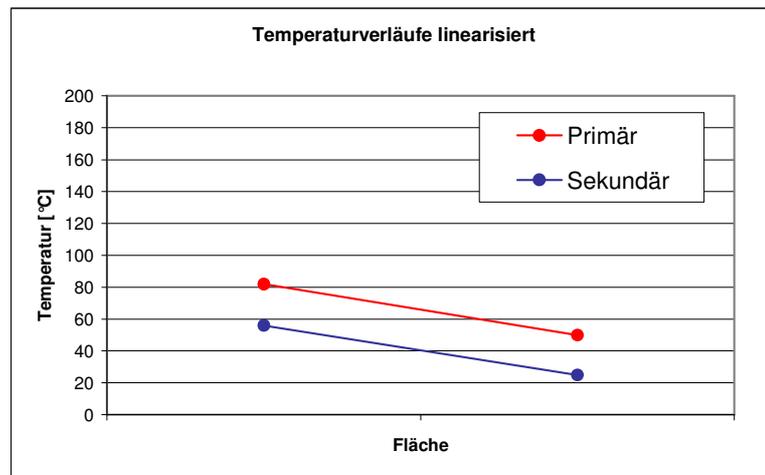
T [°C]	m' [kg/s]
56.0	25.0

Wärmetauscherdaten:	
Q [kW]	2980.6
dT [K]	25.5
A [m ²]	2418

T [°C]	m' [kg/s]
25.0	25.0

Sekundärseite:
Wasser/Glykol
cp [kJ/kgK] 3.84

	T [°C]	T [°C]
Primär	82.0	50.0
Sekundär	56.0	25.0



F: Definition energetischer Optimierungsgrad

Der energetische Optimierungsgrad η ist eine energetische Standortbestimmung verglichen mit dem technisch-wirtschaftlichen Optimum (absolute energetische Güte vs. Zeitreihen und Branchenkennzahlen).

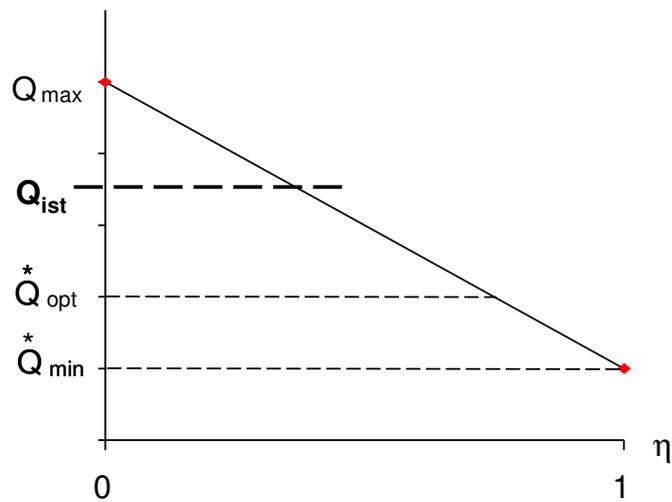
$$\eta = \frac{Q_{\max} - Q_{\text{ist}}}{Q_{\max} - Q_{\min}}$$

Q_{\max} : Thermische Leistung ohne Optimierung (kW)

Q_{ist} : Heutige thermische Leistung (kW)

Q_{\min} : Minimale thermodynamische Leistung (kW) mit $\Delta T_{\min} = 0$

Q_{opt} : Thermische Leistung, technisch-wirtschaftlich optimiert mit der Pinch-Methode (kW)



G: Energieflussdiagramm (Sankey) Alle Angaben in MWh/a, Enthalpienullpunkt 0°C (11 °C bei Abwasser ARA)

