



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
F&E Programm Verfahrenstechnische Prozesse VTP

GESAMTENERGIESTUDIE MIT DER PINCH-METHODE BEI ZIEGLER PAPIER AG

ENERGIE- UND PRODUKTIONSKOSTENSEN- KUNG

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Raymond Morand, Helbling Beratung + Bauplanung AG

Hohlstrasse 614, 8048 Zürich; raymond.morand@helbling.ch; www.helbling.ch



Papierstrukturen u.a. „Z-Bond“

Impressum

Datum: 7.Juni 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, F&E Programm Verfahrenstechnische Prozesse VTP

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: 101622

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1 Ausgangslage	3
2 Ziel der Arbeit	3
3 Lösungsweg.....	4
3.1 Übersicht.....	4
3.2 Vorgehen Schritt für Schritt.....	4
3.3 Aufgetretene Probleme, Energiemodellierung.....	5
4 Ergebnisse.....	6
4.1 Verwendete Grundlagen	6
4.2 Ist-Analyse	6
4.3 Energiebilanz	7
4.4 Luftbilanz Gebäude.....	9
4.5 Optimierungskonzept (Erdgas, Strom) des Werks	10
4.6 Pinch-Analyse	11
4.7 Massnahmen	12
4.8 Resultate.....	15
4.9 Empfehlungen, weiteres Vorgehen	16
5 Schlussfolgerungen	17
Anhang.....	18
A Luftsystem Wärmetauscher IST	
B Luftsystem mit neuen Massnahmen der Varianten 1 und 2	
C Pinch-Analyse mit Composite Curves und Netzwerk von Variante 1 und 2	

Verzeichnis der Grafiken

Grafik 1	<i>Beschreibung des Lösungswegs von der Ist-Situation bis zur Umsetzung.....</i>	4
Grafik 2	<i>Papierherstellungsprozess (thermisch relevanter Teil).....</i>	5
Grafik 3	<i>Spezifischer Endenergieverbrauch Erdgas und Strom von 1994 bis 2006</i>	7
Grafik 4	<i>Sankey-Diagramm für das Jahr 2006</i>	8
Grafik 5	<i>Luftbilanz des Gebäudes: Zustand 2004 und 2006.....</i>	9
Grafik 6	<i>Pinch-Analyse ohne Brüdenkompression (siehe auch Anhang C).....</i>	11
Grafik 7	<i>Luftbilanz des Gebäudes: Zustand 2006 vor und nach vorgeschlagener Massnahme... </i>	15
Grafik 8	<i>Einsparungen von Erdgas und Strom und Reduktion der CO₂-Emissionen.....</i>	15

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	<i>Berechnungsgrundlagen: Wirtschaftsdaten und Auslegungszustände</i>	6
Tabelle 2	<i>Energieverbrauch von Erdgas und Strom im Jahr 2006.....</i>	7
Tabelle 3	<i>Massnahmentabelle zu Variante 1.....</i>	13
Tabelle 4	<i>Massnahmentabelle zu Variante 2.....</i>	14

Zusammenfassung

Im Jahr 1995 hat Helbling bereits eine Energiestudie für die Ziegler Papier AG durchgeführt. In der Zwischenzeit hat sich die Produktion um 50 % auf deutlich über 70'000 Tonnen pro Jahr vergrössert. Entsprechend stiegen der Gesamtstromverbrauch im Jahr 2006 auf 36 GWh pro Jahr und der Nutzwärmeverbrauch auf 92 GWh pro Jahr. Da der benötigte Strom primär mit der betriebseigenen Gasturbine selbst erzeugt wird, wird hauptsächlich Erdgas im Umfang von ca. 150 GWh pro Jahr eingekauft. Die Energiekosten erreichten knapp 9 Mio CHF pro Jahr (kalkulatorisch) und weisen einen bedeutenden Anteil an den Produktionskosten auf. Einsparungen wirken sich direkt auf den kosten- und CO₂-relevanten Erdgasverbrauch aus.

Die Studie wurde wie vor 10 Jahren mit der systematischen Methode der Pinch-Analyse durchgeführt. Sie zeigte, dass mit den heutigen Energiepreisen der Gesamtoptimierungsgrad bei 65 % liegt. Diverse Massnahmen konnten identifiziert werden, die die Gesamteffizienz verbessern. Haupttreiber für die Massnahmen bilden die gesteigerten Massenströme, ausgelöst durch die Produktionssteigerung sowie die bessere Wirtschaftlichkeit von energieeinsparenden Massnahmen durch die stark gestiegenen Erdgaspreise.

Grösster Einzelverbraucher ist die Papiermaschine mit ca. 76 % des Wärme- und 50 % des Strombedarfes sowie stromseitig die Papiermahlung und –aufbereitung mit ca. 36 %. Die Gebäude benötigen mit ca. 2 % einen relativ tiefen Primärenergiebedarf.

Es konnten in 2 Varianten je 10 bis 11 Einzelmassnahmen identifiziert werden. Diese reichen von der direkten Gasturbinenabgasnutzung für die Papiermaschine, Prozessoptimierung und Wärmerückgewinnung im Papierprozess, Maschinenzuluft-Abluft-Wärmerückgewinnung, Warmwasservorwärmung aus Abluft des Vakuumbelüfters und Nutzung eines Druckgefälles für eine Dampfturbine, bis hin zu klassischen Stromsparmassnahmen. Sie ermöglichen eine Einsparung (Verringerung des thermischen Energiebedarfs) von bis 19 %, was Einsparungen von über 1.0 Mio. CHF pro Jahr entspricht. Zusätzlich werden etwa 2 % Strom weniger verbraucht. Total müssten ca. 1.7 Mio. CHF investiert werden. Die Massnahmen haben einen gesamthaften Payback von 1.5 bis 2.0 Jahren.

Zusätzlich werden weitergehende Massnahmen wie Organic Rankine Cycle (ORC) könnten Niedertemperaturabwärme in der feuchten Abluft (ca. 5 MW thermischer Leistung) noch mit einstelligen Wirkungsgraden in Strom umwandeln.

Wir empfehlen eine erste Variantenwahl zu treffen, nachdem die konkrete Machbarkeit der Direkteinspeisung des Gasturbinenabgases (Variante 1) von den Beteiligten verneint wird v.a. aus arbeitsicherheitstechnischen Gründen. Variante 2 weist ähnliche Einsparungsergebnisse auf und hat zudem den Vorteil, einer flexibleren und von der Produktion unabhängigeren Realisierungsmöglichkeit (kürzere Abstellzeiten der Produktion). Insofern empfehlen wir, Variante 2 weiter zu verfolgen mit den beiden Prioritäten 1 und 2 mit u.a. „Spritzwasservorwärmung mit Gasturbinenabluft“, „Vergrösserung der Wärmerückgewinnung Maschinenzuluft“, Warmwassererwärmung mit Turbinaluft“, etc.

Ebenfalls 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, da hohe Niedertemperaturabwärmemengen in der feuchten Abluft (ca. 5 MW thermische Leistung) sonst nicht mehr genutzt werden können.

Die Gasturbine ist bei heutigen Preisverhältnissen (Strom/Gas ca. 2.2) an der Wirtschaftlichkeitsgrenze. Ein Weiterbetrieb der bestehenden Anlage ist heute aus Grenzkostenüberlegungen wirtschaftlich sinnvoll, bei allfälligen Neuinvestitionen müsste diese Frage aber neu gestellt werden.

Die vorliegende Studie wurde als Forschungsprojekt vom Bundesamtes für Energie (BFE) unterstützt und zum Teil finanziert. Wir danken dem BFE dafür.

1 Ausgangslage

Im Jahr 1995 hat Helbling eine Energiestudie für die Ziegler Papier AG durchgeführt. Die damals beschlossenen Massnahmen wurden grösstenteils umgesetzt.

In der Zwischenzeit hat sich viel verändert, insbesondere hat sich die Produktionsmenge um 50 % auf deutlich über 70'000 t/a vergrössert. Zusätzlich mit den stark steigenden Energiepreisen vor allem fossiler Träger hat sich ein neuer Bedarf zur Überprüfung und Optimierung der bestehenden Energiesituation ergeben. Zur Diskussion steht heute auch die bestehende Energieversorgung u.a. mit Wärme-Kraft-Kopplung mittels einer Gasturbine.

Das Werk Grellingen umfasst in der Produktion eine Papiermaschine inklusive zugehöriger Papieraufbereitung sowie diverse Gebäude für Energieversorgung, Konfektion der Endprodukte sowie Logistik. Alle Gebäude werden zum Grossteil mit Abwärme aus der Produktion beheizt.

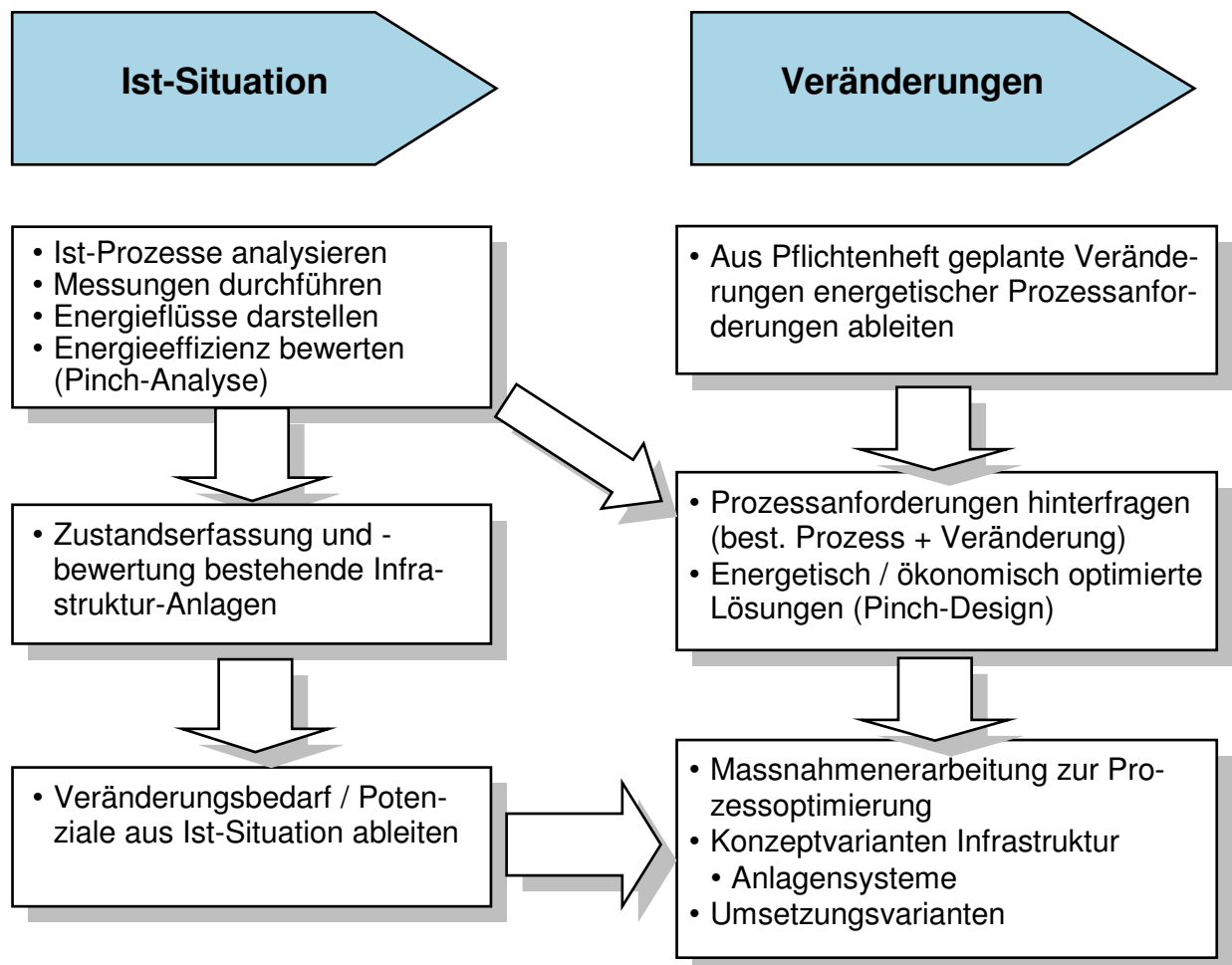
2 Ziel der Arbeit

Im Auftrag sind die folgenden Zielsetzungen der Studie festgehalten:

- Aufzeigen der Möglichkeiten für eine wesentliche Reduktion des Energieverbrauches für Strom und fossile Energieträger unter Berücksichtigung des gesamten Prozesses vom Gas-/ Stromeintritt bis zum Kamin.
- Berücksichtigung von allfälligen Nebeneffekten z.B. in Form von Wassereinsparungen.
- Einsparpotenziale gegen Investitions-/ Betriebskosten aufrechnen und daraus Paybacks resp. Rentabilitäten berechnen.
- Optimale Auslegung der Energieversorgung auf die bestehenden resp. zukünftigen Produktionsanforderungen. Hierzu soll auch ein Zukunftsszenario entworfen werden, um eine bedarfsgerechte Energieversorgung zu gewährleisten.
- Leistung eines Beitrages zur Reduktion der CO₂-Emissionen, d.h. Erfüllung der Vorgaben zur Verhinderung einer Belastung mit der CO₂-Lenkungsabgabe.
- Aufzeigen eines möglichen Umsetzungskonzeptes via Contracting inkl. Realisierungsplan.
- Untersuchung von Abwärmepotenzialen aus Abluft für die Stromgewinnung.
- Identifizieren eines allfälligen Grundlagenforschungsbedarfs.

3 Lösungsweg

3.1 Übersicht



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

3.2 Vorgehen Schritt für Schritt

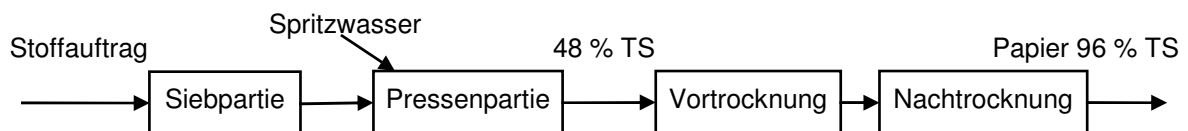
Nachfolgend wird das Vorgehen im Einzelnen beschrieben:

1. Datenaufnahme von Produktion und Infrastruktur inkl. aller Prozesse der Papierherstellung.
2. Messung von wichtigen Zu- und Abluftströmen insbesondere der Papiermaschinen.
3. Aufbau von Energie- und Massenbilanzen, Sankey-Diagramm (Energieflussbild).
4. Definition der Betriebsfälle, Energiemodellierung u.a. der Ersatzströmen (siehe Kap. 3.3).
5. Definition resp. Re-Definition der Prozessanforderungen zusammen mit den Prozessspezialisten der Kundenfirma führt zum Pinch-Modell.
6. Pinch-Berechnungen inkl. Wirtschaftlichkeitsdaten, mehrfaches iteratives Vorgehen.
7. Berechnung der ersten Pinchkurven (Composites).
8. Prüfung der Brüdenkompression, Vergleich der beiden Systeme mit / ohne Brüdenkompression.
9. In einer ersten Phase Entscheid für Brüdenkompression, liegt jedoch an der Wirtschaftlichkeitsgrenze, da das Verhältnis Strom- zu Wärmepreis ca. 2.2 beträgt.

10. Erstes Netzwerkdesign führt zu 2 Varianten davon eine mit direkter Gasturbinenabgasnutzung für die Papiermaschine (Variante 1) und Variante 2 mit unabhängigen Teillösungen. Idee der Direkt-einspeisung von Gasturbinenabgas (kaum CO jedoch viel NOx und kaum O2) ist neu, jedoch schwierig zu realisieren (Arbeitssicherheit!).
11. Aufgrund der begründeten Annahme, dass langfristig sich wieder ein Verhältnis Strom- zu Wärmepreis von 3 einstellen wird, womit die Brüdenkompression unwirtschaftlich würde, wurde im nächsten Schritt ein Wechsel auf ein klassisches Wärmerückgewinnungssystem ohne Brüdenkompression vorgenommen.
12. Zweites Netzwerkdesign ohne Brüdenkompression führt zu 2 anlagen Varianten. Hier zeigt sich nun Variante 2 als erfolgreichere. Variante 2: Klassische Wärmerückgewinnung mit Spritzwasser und Streichküchenwasservorwärmung via Gasturbinenabgaswärme -> unabhängige Lösung, d.h. die Produktion ist nur via Gasturbine, d.h. nur bzgl. Infrastruktur von den Umbaumaßnahmen betroffen -> ermöglicht kurze Abstellzeiten.

3.3 Aufgetretene Probleme, Energiemodellierung

Ersatzströme mussten nur im Bereich der Vor- und Trockenpartie (VTP resp. NTP s. Grafik 2) gebildet werden. Als Energieträgermedium wurde die Papierzu- und -abluftströme gewählt (Ersatzstrom) statt Papier selber, da dieses 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 aus Erdgas inkl. Spitze/Amort.:	5.5 Rp./kWh _{H_u}
Strompreis Einkauf (Grenz/absolut):	8.3 / 15.9 Rp./kWh _{el}
Strompreis (kalkulatorisch):	12 Rp./kWh _{el}
Wasserpreis inkl. Abwasser (absolut):	1.25 Fr./m ³
Interner Zinssatz:	5.0 % p.a.
Teuerung aus Energie:	3.0 % p.a.
Investitionskriterium Prod. Anlagen:	3.0 a (max. Payback)
Amortisationszeit Prod. Anlagen (min.):	5.0 a
Berechnungsfall für Dimensionierung:	Z - Bond Classic 90 g/m ²
Trockengehalte vor / nach Trockenpartie:	48 % / 96 % TS (Grafik 3)
Betriebszeiten:	7'650 h/a
Papierproduktion 2006 (Brutto):	78'465 t/a

Tabelle 1 *Berechnungsgrundlagen: Wirtschaftsdaten und Auslegungszustände*

Folgende Unterlagen wurden für diese Studie verwendet:

- Zuluft- und Ablufttemperaturmessungen der Fa. Wintsch, Münchenstein im April/ Mai 2006
- Berichte Lang-Regler und Hafner von 2004 und Feb. 2006
- Diverse Schemata, Pläne, Offerten, Datensammlungen, Angaben der Versorgungsunternehmen, zur Verfügung gestellt durch Ziegler Papier AG

4.2 Ist-Analyse

Produktion und Hallenluft (siehe auch Anhang A)

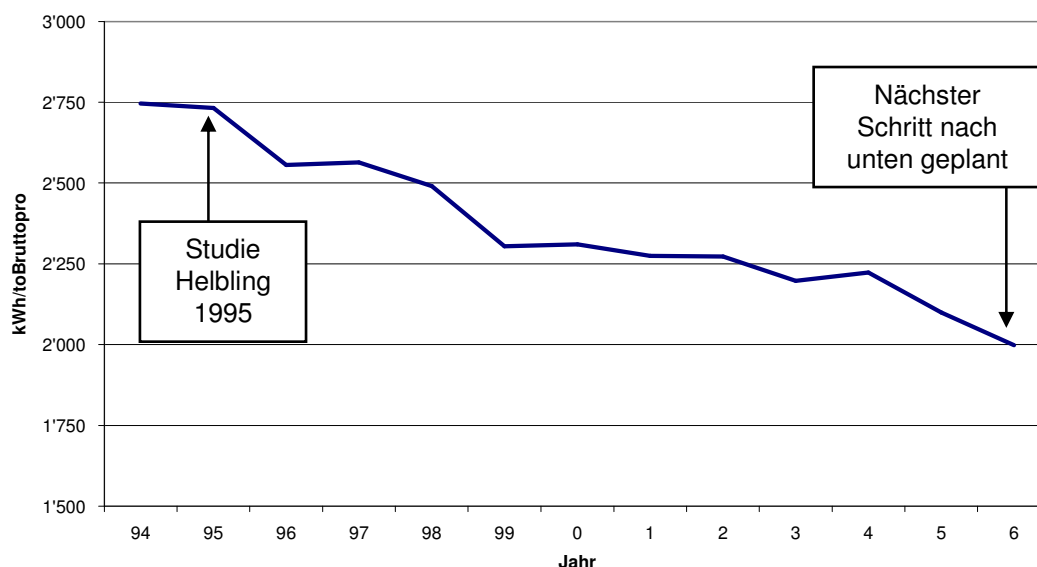
- Im Bereich Papiermaschine Vortrockenpartie VTP II wurde im Jahr 2004 von Aussenluftansaugung auf Hallenluftansaugung (65'000 m³/h) umgestellt. Daher hat sich das Klima in der Produktionshalle insbesondere im Sommer verbessert, da nun ein relativ starker Unterdruck herrscht (siehe auch Kap. 4.3 Energiebilanz). Im Winter wird jedoch wegen des Unterdrucks vermehrt kalte Aussenluft z.B. durch den Kellerbereich angesaugt, welche nicht durch eine Wärmerückgewinnung vorgewärmt wird und demzufolge abgesehen von vorhandenen internen Lasten zu einem erhöhten Energieverbrauch führt.
- In der Papiermaschine wird die Zuluft zur Nachtrockenpartie (NTP) bereits stark vorgewärmt. Zum Teil wird dabei das Kondensat aus dem Dampf+Kondensat (D+K)-System (siehe unten) unterkühlt. Eine analoge Aussage gilt für die Vorwärmung der Maschinenzuluft im Bereich VTP II.
- Es ist generell viel Wärme als interne Lasten aufgrund der diversen Dampf- und Stromverbräuchen (u.a viel Abstrahlwärme) im Produktionsbereich vorhanden.
- Frequenzumrichter bei elektrischen Grossverbräuchern (>30 kW_{el}) sind nicht überall vorhanden.
- Im Bereich der HLK sind Wärmerückgewinnungen vorhanden, weitere sind jedoch noch machbar.

Dampf- und Kondensatsystem

Das Kondensat der Energieversorgung wird in den Wärmetauschern der Maschinenzuluft (VTP II und NTP) um total ca. 400 kW_{th}, sowie in den Wärmetauschern von Heizung/ Warmwasser um durchschnittlich ca. 200 kW_{th} zu stark abgekühlt, so dass es nachher unter Verwendung von Dampf sowie Gasturbinenabluft (Economizer) wieder aufgeheizt werden muss. Die Wiederaufheizenergie könnte anderweitig eingesetzt werden.

Spezifischer Energieverbrauchsentwicklung von 1994 bis 2006

Der Endenergieverbrauch von Erdgas der Gasturbine (Wärme- und Stromproduktion) sowie der zusätzlich bezogene Strom wird im Folgenden auf die Produktionsmengen bezogen (s. auch Energieflussbild Grafik 4). Der Energieabsenkpfad („Lernkurve“) seit 1995 zeigt nach 1996 eine stetige Verbesserung durch kleinere Effizienzmassnahmen. Der nächste grössere Schritt mit Hilfe der Pinch-Methode ist nun notwendig.



Grafik 3 Spezifischer Endenergieverbrauch Erdgas und Strom von 1994 bis 2006

4.3 Energiebilanz

In Tabelle 2 ist der Verbrauch der Energielieferanten Erdgas und Strom für das Jahr 2006 dargestellt. Die Unterscheidung zwischen Primärenergie und Aufteilung nach Energiearten ist notwendig, da Erdgas mittels Wärme-Kraft-Kopplung zur Eigenstromproduktion verwendet wird.

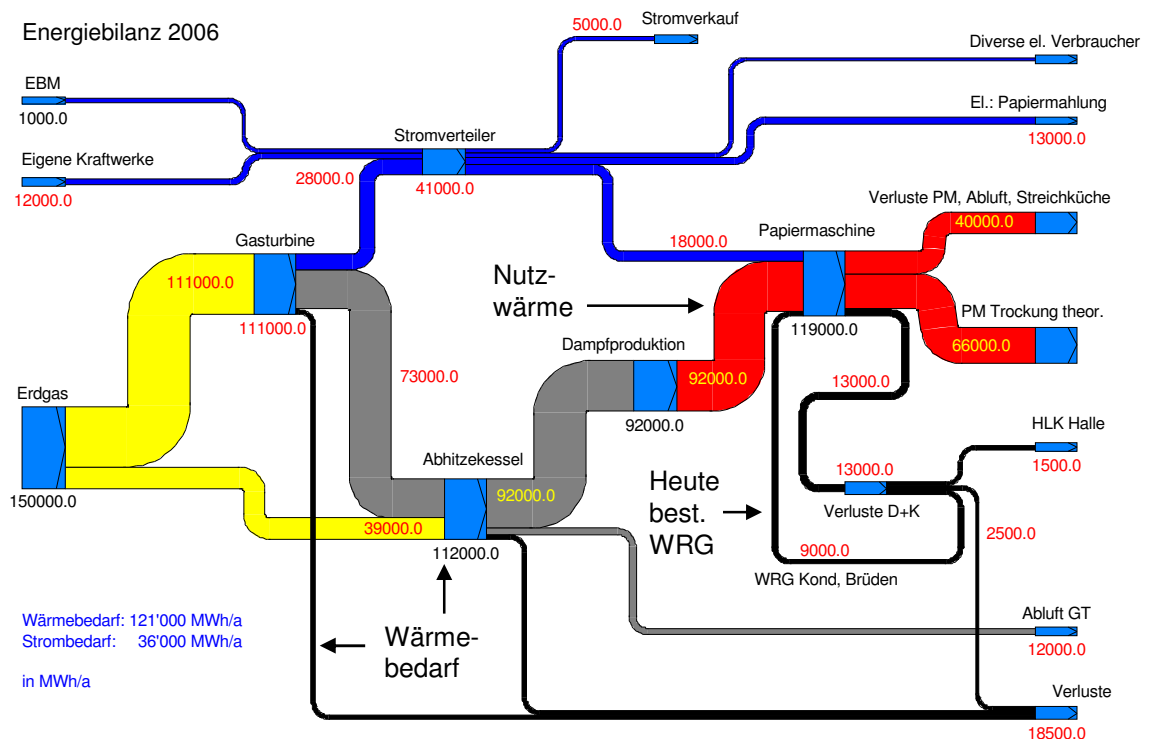
Jahr 2006	Erdgas	Strom
Primärenergie bzgl. Hu	150 GWh _{th} /a (1.9 MWh _{th} /tProd brutto)	7 GWh _{el} /a* (0.1 MWh _{el} /tProd brutto)
Verbrauchskosten (kalkulatorisch)	8.25 Mio. CHF/a	0.84 Mio. CHF/a
Aufteilung nach verbrauchten Energiearten		
. davon Nutzenergie	121 GWh _{th} /a (Wärme)	36 GWh _{el} /a
. als spez. Nutzwärme	92 GWh _{th} /a (Wärme)	36 GWh _{el} /a
. als Gesamtleistung	1.17 MWh _{th} /tProd 15.8 MW _{th} (Wärme)	0.46 MWh _{el} /tProd 4.7 MW _{el}
Anteil Verbraucher (wichtige)	in % (MWh _{th})	in % (MWh _{el})
Papiermaschine inkl. Streichküche	76	50
Papiermahlung		36
Diverse Verbraucher inkl. Ventilatoren HLK		14
HLK (Klima, Lüftung)	1	
Abgas Gasturbine resp. Abhitzeessel	10	
Abwärme, Abstrahlung von Gasturbine, Abhitzeessel D+K-System (nicht direkt nutzbar)	13 (Verluste)	

*Einkauf minus Verkauf

Tabelle 2 Energieverbrauch von Erdgas und Strom im Jahr 2006

Energiebilanz für das Jahr 2006

Im Sankey-Diagramm (Energieflussbild s. Grafik 4) sind alle relevanten Energieflüsse und deren Kreisläufe abgebildet.



Grafik 4 Sankey-Diagramm für das Jahr 2006

Bedingt durch die bestehende Energieversorgung mit Wärme-Kraft-Kopplung mittels Gasturbine für einen hohen Anteil an Eigenstrom fallen die Gesamtenergiekosten vor allem als Erdgas an und sind demzufolge höher als für den reinen Wärmebedarf notwendig. Im Jahr 2006 erreichten die Werte bei der fossilen Energie für Erdgas ca. 150'000 MWh_{th}/a (1.9 MWh_{th}/t Bruttoprodukt), was Kosten von ca. 8.25 Mio. CHF/a (kalkulatorisch) entspricht.

Daraus wird unter anderem der Eigenstrombedarf von 36'000 MWh_{el}/a gedeckt. Eine relativ geringe Menge Strom (ca. 11'000 MWh_{el}/a) wird durch eigene hydraulische Kraftwerke produziert, respektive beim lokalen Stromversorger Elektra Birseck Münchenstein (EBM) eingekauft (ca. 1'000 MWh_{el}/a). Eine ebenfalls geringe Menge wird wieder an die EBM (ca. 5'000 MWh_{el}/a) zurückgespielen. Dies entspricht netto 7'000 MWh_{el}/a und entsprechenden Kosten für die externe Elektrizität von ca. 840'000 CHF/a. Der Wasserverbrauch beträgt ca. 14'660 m³ bei entsprechenden Kosten von ca. 430'000 CHF/a.

Normalerweise lohnt sich der Betrieb einer Gasturbine bei diesen Mengenverhältnissen von Strom/Gas mit hoher Gleichzeitigkeit. Bei den heutigen Preisverhältnissen von Strom/Gas von nur noch ca. 2.2 ist er jedoch an der unteren Grenze der Wirtschaftlichkeit.

Der Grossteil des Wärmeenergiebedarfs an Wärme (76 %) und Strom (50 %) benötigt die Papiermaschine sowie zugehörige Anlagen wie z.B. die Streichküche. Hier liegt auch das grösste nutzbare Einsparpotenzial, insbesondere wenn man die theoretische Trocknungsenergie von 0.84 MWh_{th}/t Bruttoprodukt mit der heute benötigten Energie von 1.35 MWh_{th}/t Bruttoprodukt (ohne Energieumwandlungsverluste) vergleicht.

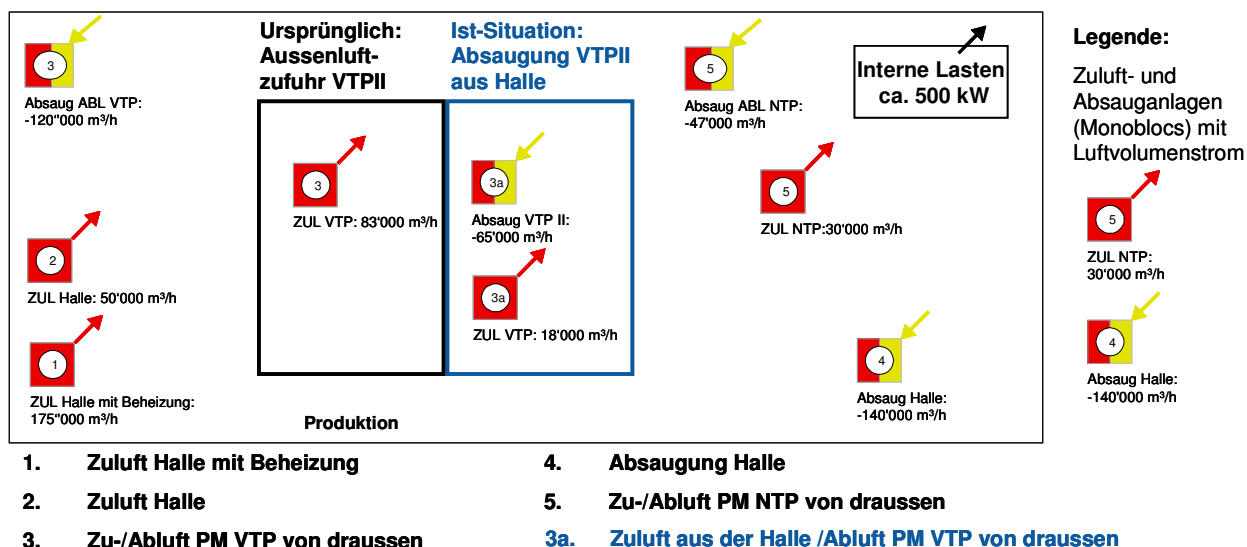
Ein weiteres interessantes Potenzial ergibt sich aus der Abgaswärme der Gasturbine mit einem Verbraucheranteil von 10 %. Die Abgaswärme der Gasturbine wurde bis jetzt nur innerhalb des Dampf- und Kondensatsystems via Economizer genutzt.

Die Abwärmen des Dampf- und Kondensatsystems sind heute mittels Kondensatkreislauf und dessen Integration in das Luftsystem bereits relativ gut genutzt (siehe Grafik 3).

Als grosser Verbraucher von Strom wurden mit 13 GWh_{el}/a und entsprechenden Kosten von ca. 1 Mio. CHF/a die Papiermühlen und -aufbereitung identifiziert.

Der geringe Bedarf von weniger als 2 % des Wärmeverbrauches auf Seiten des Gebäudes (HLK vor allem via Lüftung) zeigt, dass bereits einiges an Wärmerückgewinnung installiert wurde, aber auch beträchtliche interne Lasten vorhanden sind. Dazu kommt zum Teil wegen des Gebäudeenergieverbrauches eine zu starke Kondensatabkühlung, welche unerwünscht ist, da sie erdgasseitig zu einem Mehrenergieverbrauch führt.

4.4 Luftbilanz Gebäude



Grafik 5 Luftbilanz des Gebäudes: Zustand 2004 und 2006

Im Jahr 2004 betrug das Verhältnis von Zuluft und Abluft 338'000/307'000 m³/h. Die Halle stand damit mit 31'000 m³/h im Überdruck, was für das Hallenklima problematisch war.

Als Massnahme wurde eine Absaugung der Papiermaschine via VTP II aus der Halle hinaus eingeführt. Das Zuluft/Abluft-Verhältnis veränderte sich zu 273'000/307'000 m³/h und die Halle stand somit mit 34'000 m³/h im Unterdruck. Damit wurde das Hallenklima im Sommer vergleichsweise angenehm, im Winter stieg der Bedarf an Wärmeleistung aber um über 300 kW (ca. 39'000 CHF/a).

4.5 Optimierungskonzept (Erdgas, Strom) des Werks

Die Massnahmen zur Energieoptimierung in Bezug auf den Erdgas- und Stromverbrauch können in 3 Prioritäten geordnet werden.

1. Priorität: Erdgas-Einsparung

1. Prozessoptimierung im Produktionsbereich, wie z.B. höhere Entwässerungsrate an der Sieb-
presse durch höhere Wasservorlauftemperaturen.
2. Veredelung von Primärenergie wie z.B. Dampf, mittels mechanischer oder thermischer Brü-
denkompression.
3. Reduktion des Wärmebedarfs durch direkte Wärmerückgewinnung am Verbraucher, wie z.B.
Maschinenzuluft-Wärmetauscher im Luft- oder Kondensatsystem.
4. Restnutzung der Hallenwärme mittels Wärmetauschern und nach Möglichkeit Sammlung der
nicht kontaminierten Abluft für den Klimabereich.
5. Restnutzung der feuchten Abluft unter 55°C mit neuen Technologien wie Hochtemp-
eraturwärmepumpen bis 100°C (in Entwicklung) oder Organic Rankine Cycle Technik (ORC).
Die ORC könnte trotz nur einstelligen prozentualen Wirkungsgraden aufgrund der hohen
nutzbaren Restenergiemengen von 5-8 MW_{th} interessant sein. Mit Unterstützung des BFE
könnte zu diesem Thema ein Forschungsprojekt initiiert werden.

2. Priorität: Neuverhandlung der Erdgaspreise

Die Durchleitungsrechte können bei der Neuverhandlung der Erdgaspreise als Druckmittel benutzt werden. Allenfalls ist eine Bildung von Einkaufsgesellschaften zusammen mit weiteren Schweizer Pa-
pierfabriken wie Tela, Horgen oder Utzenstorf sinnvoll.

3. Priorität: Optimierung der Einzelverbraucher

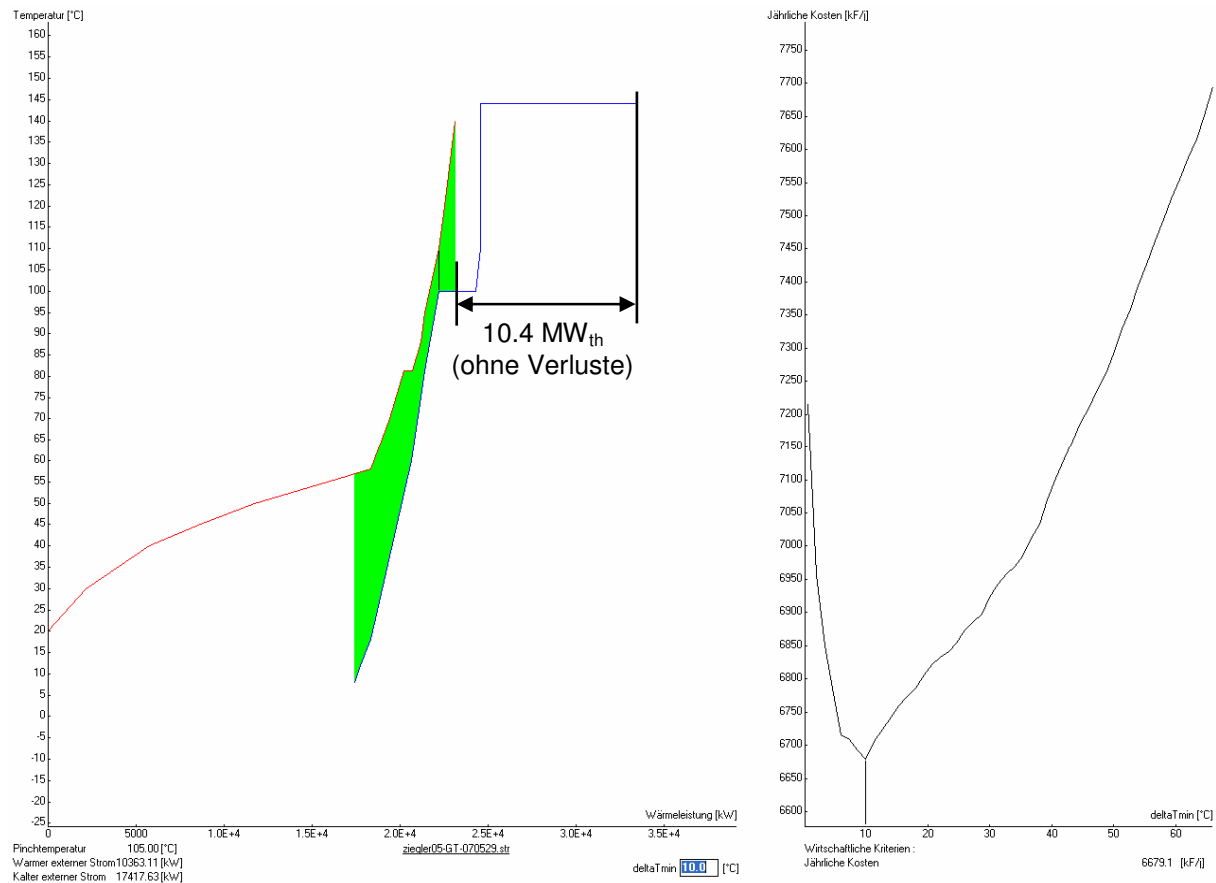
Durch apparative Optimierungsmassnahmen bei den einzelnen Verbrauchern wie z.B. Ventilatoren
und Pumpen kann der Stromverbrauch gesenkt werden. Im Vergleich zu den Massnahmen der Prio-
rität 1 und 2 handelt es sich hier vor allem um viele „kleine“ Optimierungen.

4.6 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 wird eine minimale Temperaturdifferenz von 10 °C ermittelt. Dies ist die Temperaturdifferenz zwischen kaltem und warmem Strom, die in keinem der Wärmetauscher unterschritten wird. Die Pinch-Temperatur liegt dabei bei 105 °C.

Die minimale thermische Heizleistung ohne Anwendung der Brüdenkompression liegt bei etwa 13.4 MW_{th} (inkl. Verluste von 3.0 MW_{th}) vgl. zu heutigen ca. 15.8 MW_{th}. Insgesamt liegt der energetische Optimierungsgrad der Produktion bei etwa 65 %. Eine weitere Wärmerückgewinnung von ca. 2.4 MW_{th} (ohne Prozessoptimierung) wäre theoretisch noch möglich.



Grafik 6 Pinch-Analyse ohne Brüdenkompression (siehe auch Anhang C)

4.7 Massnahmen

4.7.1 Hauptmassnahmen

Aufgrund der besonderen Konstellation mit der Gasturbine ergeben sich 2 Varianten. Sie werden im Folgenden näher erläutert. Dargestellt als Schemata sind sie in Anhang B.

1. **Direkte Verwendung des Gasturbinenabgases** resp. Abhitzeesselabgases in der Papiermaschine Bereich VTP II.
Diese Variante erreicht Einsparungen von gut 17 % resp. 1.0 Mio. CHF/a, mit Investitionen von ca. 1.7 Mio. CHF.
2. **Separate Nutzung des Gasturbinenabgases** resp. Abhitzeesselabgases für die Aufheizung von Filzspritzwasser von 25 -> 60 °C.
Bei dieser Variante kann Nutzung des Gasturbinenabgases (Prio. 1) unabhängig von den anderen Massnahmen realisiert werden. Insofern ist diese Variante zu empfehlen, wenn von einander unabhängige Massnahmen präferiert werden, d.h. die Vernetzung von Gasturbine und Papiermaschine nicht realisiert wird. Die Variante bringt gesamthafte Einsparungen von ca. 19 % entsprechend Einsparungen von > 1.0 Mio. CHF/a mit vgl. zu Var. 1 praktisch gleicher Investition von ca. 1.7 Mio. CHF.

Variante 1: Direktnutzung Gasturbinenabgas in PM

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% angenommen.

Details zu den Massnahmen sind in den Schemata im Anhang B zu finden.

Nr.	Massnahme	Investition [kFr.]	Einsparung (Grobschätzung) [kFr./a]	% Therm.	% Strom	Payback [a]	Nutzen / Bemerkung	Priorität**
1a	nicht mehr notwendig						nicht mehr notwendig vgl. Studienversion von Dezember 2006	
1b	Einspeisung von Gasturbinenabgas 67'150 kg/h nach dem Economizer resp. Wärmetauscher zur direkten Verwendung in der Papiermaschine ohne weitere Vorwärmungen, ca. 110 °C als Maschinenzuluft VTP, zusätzlich Zumischung von Maschinenzuluft NTP 20'000 kg/h	570	87	1.7%			Ersatz für bestehende WRG VTP II, Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches, Gasturbinenabgas enthält kaum O ₂ jedoch viel NO _x , keine MZL Vorwärmung mehr notwendig! Nachteil: abhängig vom Betrieb der Gasturbine!	1
1c	Zusätzliche Vorwärmung Maschinenzuluft NTP um +15 °C mit freiwerdenden Brüden aus VTP II 81 °C, nur im Paket mit Nr. 3	330	-	0.0%			siehe Nr. 3	1
2a	Kondensatvorwärmung Vac (nach Brüdenverdampfung) 81->100 °C mit Turbairabluf, Alternative zu Nr. 2b	90	36	0.7%		2.6	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches	3
2b	Warmwassererwärmung 20->70 °C mit Turbairabluf, Alternative zu Nr. 2a	435	178	3.5%		2.4	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches	2
3	Kondensat-/ Spritzwasserwärmetauscher für die Aufheizung 15.5 m3/h, 25 -> 60 °C ür Filzspritzwasser + Streichküchenwasser mit tot. 15.5 m3/h, 25 -> 60 °C, Speicher, nur im Paket mit Nr. 1c, Voraussetzung ist Nr. 1b	240	466	9.2%		2.1	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches, höhere Spritzwassertemperatur ermöglicht bessere Entwässerung, hoher Einsparhebel je + 1 % TS Zusatztrocknung ca. -3 % Energieverbrauch	1
4	nicht mehr notwendig						Geringer Mehrverbrauch im Winter für die Raumheizung, nicht mehr notwendig!	
5	Bedarfsregelungen FU ab 30 kWel (5 Stück à 200 kWel)	150	91		2.0%	1.8	Reduktion des Stromverbrauches	2
6	Prozessoptimierung z. B. Gurley, Clay, Siebpressenoptimierung (separates F&E Projekt)	Personal-kosten intern	148	3.0%			zu Nr. 3 zusätzliche Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches, hoher Einsparhebel je + 1 % Zusatz-trocknung ca. -3 % Energieverbrauch	2
8	Anpassung Energieversorgung wegen Lebensdauer der Gasturbine: nur konv. Energieversorgung sowie als Option eine Umschaltbarkeit auf konv. Energieversorgung	2000	517***			negativ	Kostenoptimierung (Einkaufseite) je nach Energiepreisszenario, bei jetzigen Verhältnissen ist die Gasturbine noch knapp wirtschaftlich, Preisverhältnis Strom/Gas <1.5 ist notwendig, aktuell*** ca. 2.2	keine
9	Organic Rankine Cycle (ORC) für feuchte Papierabluf bei ca. 45 °C	Ev. Forschungsprojekt BFE					Kann Niedrigtemperaturwärmen zu niedrigen Wirkungsgraden max. 6 % noch zu Strom umwandeln, bei hohen Mengen jedoch sinnvoll	4
10	Dampfturbine als Druckreduzierstation von 9 auf 5 bara	588	190		4.4%	3.2	Statt einer Druckreduzierstation einsetzbar, bei höheren Strompreisen ca. ab 16 Rp./kW_hel wirtschaftlich	3
	Total ohne Massnahme 6, 8, 9, 10	1'815	858	15.2%*	2.0%	2.1		
	Total Massnahmen Prio. 1 GT direkt	1'140	552	10.9%	0.0%	2.1		
	Total Payback<3a	1'725	970	17.4%	2.0%	1.8		

*Prozessoptimierung durch Spritzwasservorwärmung reduziert den Energieverbrauch ohne WRG -> reduzierte Vergleichsbasis vgl. zu heute

**Prioritäten nach Payback, Kosten- resp. CO₂-Einsparungen sowie Funktionssicherstellungen, Hallenklima

Tabelle 3 Massnahmentabelle zu Variante 1

Variante 2: Separate Nutzung Gasturbinenabgas

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% angenommen.

Details zu den Massnahmen sind in den Schemata im Anhang B zu finden.

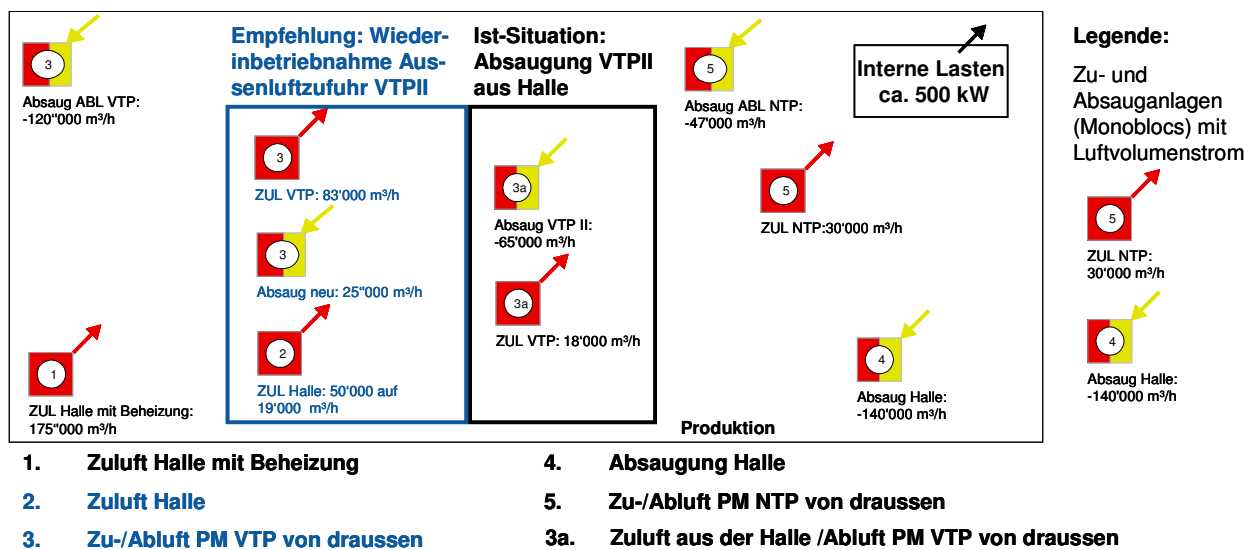
Nr.	Massnahme	Investition [kFr.]	Einsparung (Grobschätzung)		Payback [a]	Nutzen / Bemerkung	Priorität**	
		[kFr.]	[kFr./a]	% Therm.	% Strom			
1a	Wiederinbetriebnahme der Aussenluftzufuhr des Wärmetauschers Maschinenzuluft VTP II inkl. wesentlicher Flächenvergrösserung (v.a. Register von WT VTP I) mit Ziel 72°C, Saugkammerströmungsumleitung, grösserer Abluftventilator ca. 90'000 m3/h in VTP II, im Paket mit Nr.1b,4	250	184	3.6%		3.0	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches, gleich halten der Arbeitsbedingungen in der Maschinenhalle nach Wiederinbetriebnahme der Aussenluftzufuhr VTP II, die Wiederinbetriebnahme sollte durch Korrekturen in der Luftbilanz kompensiert werden	2
1b	Wärmetauschers Maschinenzuluft NTP II inkl. Flächenvergrösserung mit Ziel 56°C, im Paket mit Nr. 1a, 4	290	-	0.0%		siehe Nr. 1a	siehe Nr. 1a	
2a	Kondensatvorwärmung Vac (nach Brüdenverdampfung) 81->100°C mit Turbairabluf, Alternative zu 2b	90	36	0.7%		2.6	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches	3
2b	Warmwasserwärmung 20->70°C mit Turbairabluf, Alternative zu 2a	435	178	3.5%		2.4	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches	2
3	Gasturbinenabgas 67'150 kg/h nach dem Economizer resp. Wärmetauscher ca. 110°C für Filzpritzwasser + Streichküchenwasser mit tot.15.5 m3/h, 25 -> 60°C, Speicher	570	466	9.2%		1.3	Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches, höhere Spritzwassertemperatur ermöglicht bessere Entwässerung, hoher Einsparhebel je + 1 % TS Zusatz-trocknung ca. -3 % Energieverbrauch	1
4	Im Winter Hallenzuluftaufheizung 175'000 m3/h mit feuchter Abluft VTP (reduzierte Abluftmenge) im Paket mit Nr. 1a, 1b	0	-7	-0.1%		siehe Nr. 1a	Geringer Mehrverbrauch im Winter für die Raumheizung	siehe Nr. 1a
5	Bedarfsregelungen FU ab 30 kWel (5 Stück à 200 kWel)	150	91		2.0%	1.8	Reduktion des Stromverbrauches	3
6	Prozessoptimierung z. B. Gurley, Clay, Siebpressenoptimierung (separates F&E Projekt)	Personal-kosten intern	148	3.0%			zu Nr. 3 zusätzliche Reduktion des Dampfverbrauches resp. des Gasverbrauches, hoher Einsparhebel je + 1 % Zusatz-trocknung ca. -3 % Energieverbrauch	3
8	Anpassung Energieversorgung wegen Lebensdauer der Gasturbine: nur konv. Energieversorgung sowie als Option eine Umschaltbarkeit auf konv. Energieversorgung	2000	517***			negativ	Kostenoptimierung (Einkaufseite) je nach Energiepreisszenario, bei jetzigen Verhältnissen ist die Gasturbine noch knapp wirtschaftlich, Preisverhältnis Strom/Gas <1.5 ist notwendig, aktuell*** ca. 2.2	keine
9	Organic Rankine Cycle (ORC) für feuchte Papierabluf bei ca. 45°C	Ev. Forschungsprojekt BFE					Kann Niedrigtemperaturwärmen zu niedrigen Wirkungsgraden max. 6 % noch zu Strom umwandeln, bei hohen Mengen jedoch sinnvoll	5
10	Dampfturbine als Druckreduzierstation von 9 auf 5 bara	588	190		4.4%	3.2	Statt einer Druckreduzierstation einsetzbar, bei höheren Strompreisen ca. ab 16 Rp./kWh_{el} wirtschaftlich	4
	Total ohne Massnahme 6, 8, 9, 10	1'695	913	16.2%*	2.0%	1.9		
	Total Payback<3a	1'695	1'061	19.2%	2.0%	1.6		

*Prozessoptimierung durch Spritzwasservorwärmung reduziert den Energieverbrauch ohne WRG -> reduzierte Vergleichsbasis vgl. zu heute

**Prioritäten nach Payback, Kosten- resp. CO₂-Einsparungen sowie Funktionssicherstellungen, Hallenklima

Tabelle 4 Massnahmentabelle zu Variante 2

4.7.2 Separate Massnahme: Luftbilanz Gebäude (Hallenklima)



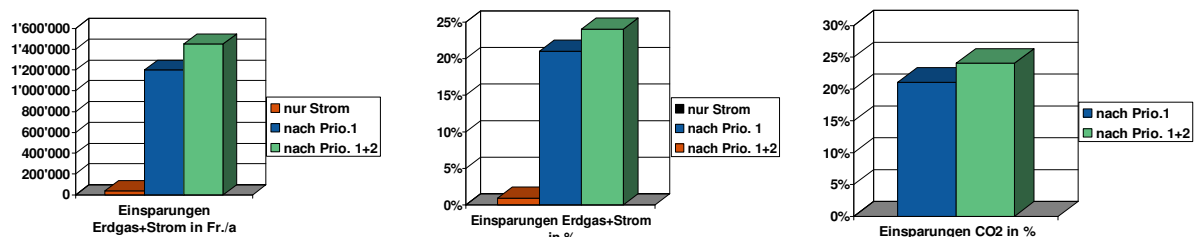
Grafik 7 Luftbilanz des Gebäudes: Zustand 2006 vor und nach vorgeschlagener Massnahme

Eine Wiederinbetriebnahme der Aussenluftzufuhr VTP II (vgl. auch Kap. 4.4) mit gleichzeitiger Reduktion der Hallenzuluft um 31'000 m³/h könnte die Hallenbilanz wieder ausgleichen (Gleichdruck). Damit kann der Winterfall gut abgedeckt werden.

Im Sommer könnte die Zuluft weiter gedrosselt oder eine zusätzliche mengengeregelte Abluft von ca. 25'000 m³/h vorgesehen werden, um einen nur geringen Unterdruck zu erreichen.

Diese Massnahmen unterstützen also die durch das Massnahmepaket 1a, 1b und 4 aus Variante 2 ausgelöste Wiederinbetriebnahme der Aussenluftzufuhr VTP II, indem sie mithilfe einen Gleichdruck resp. geringen Unterdruck in der Halle herzustellen und damit das Klima insbesondere für die Mitarbeitenden im Sommer einigermassen erträglich zu gestalten.

4.8 Resultate



Grafik 8 Einsparungen von Erdgas und Strom und Reduktion der CO₂-Emissionen

Der Erdgasverbrauch kann durch Realisierung der Priorität 1 und 2 um 19 % bezogen auf den Nutzwärmeverbrauch gesenkt werden. Bezüglich des gesamten Gasverbrauches inklusive Stromproduktion der Gasturbine beträgt der Wert knapp 12 %. Diese Einsparungen wirken sich eins zu eins auf die Reduktion des CO₂-Ausstosses aus. Der Stromverbrauch kann mit den vorliegenden Massnahmen der Prioritäten 1 und 2 geringfügig reduziert werden, d.h. maximal um 2 %.

Eine Realisierung obiger Optimierungsmassnahmen ermöglicht in der Priorität 1 und 2 Einsparungen von gut CHF 1'000'000 pro Jahr. bei Investitionen von CHF 1'700'000.-. Der Payback beträgt demnach etwa 1.6 Jahre. Die interessante Massnahme 3 ist unabhängig von den anderen Massnahmen realisierbar.

Der Studienpayback bei Realisierung der obenerwähnten Massnahmen der Prioritäten 1 und 2 beträgt <1 Monat zusätzlich zu den oben genannten Werten.

Zusätzlich vorgeschlagen werden weitergehende Massnahmen, wie z.B. ein Organic Rankine Cycle (ORC), welcher Niedertemperaturabwärme von 45-50 °C in der feuchten Abluft (ca. 5 MW_{th}) noch mit einstelligen Wirkungsgraden in Strom umwandeln kann. Beim Abwasser liegen die Werte für die Temperatur wesentlich tiefer und daher auch die nutzbaren Wärmemengen.

Die Gasturbine ist bei heutigen Preisverhältnissen (Strom/Gas ca. 2.2) an der Wirtschaftlichkeitsgrenze, wobei in Zukunft wieder ansteigende Verhältnisse erwartet werden. Ein Weiterbetrieb der Gasturbine ist demnach sinnvoll.

4.9 Empfehlungen, weiteres Vorgehen

Wir empfehlen eine erste Variantenwahl zu treffen, nachdem die konkrete Machbarkeit der Direkteinspeisung des Gasturbinenabgases (Variante 1) von den Beteiligten verneint wird v.a. aus arbeitssicherheitstechnischen Gründen. Variante 2 weist ähnliche Einsparungsergebnisse auf und hat zudem den Vorteil, einer flexibleren und von der Produktion unabhängigeren Realisierungsmöglichkeit. Insofern empfehlen wir Variante 2 weiter zu verfolgen. Hierbei empfehlen wir die Massnahmen der Priorität 1 und 2, d.h.

- 1a „Vergrösserung der Wärmerückgewinnung Maschinenzuluft VTP II inkl. Wiederinbetriebnahme der Aussenzuluft mit Kompensation der Hallenluftbilanz“
- 1b „Wärmetauscherflächenvergrösserung Maschinenzuluft Nachtrockenpartie NTP“
- 2b „Warmwassererwärmung mit Turbairabluf“
- 3 „Spritzwasservorwärmung mit Gasturbinenabluf“
- 4 „Anpassung der Hallenluftaufheizung/-rückgewinnung“

Diese Massnahmen verfügen über eine hohe Investitionsqualität mit einem Gesamt-Pay-Back von ca. 1.6 Jahren. Die Massnahme 3 kann dabei unabhängig von den anderen realisiert werden. Eine Voraussetzung für die Umsetzung der Massnahmen ist allerdings ein längerer Anlagenstillstand.

Wir empfehlen ausserdem, die Massnahmen der 3. Priorität zu prüfen:

- 5 „Nachrüstung aller grösseren el. Verbraucher (> 30 kW_{el}) mit Frequenzumformer“
- 6 „Internes Projekt zur weiteren Prozessoptimierung um den Trocknungsgehalt vor der Trockenpartie zu steigern“

Aufgrund der veränderten Preisverhältnisse Strom zu Wärme (hohe Sensitivität) und der mittelfristig zu erwartenden Strompreiserhöhungen ist eine Brüdenkompression keine optimale Lösung und wird nicht mehr empfohlen.

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, da hohe Niedertemperaturabwärmemengen in der feuchten Abluft (ca. 5 MW_{th}) sonst ungenutzt verloren gingen.

5 Schlussfolgerungen

Nachdem bereits 1995 eine grössere Energieoptimierung (Helbling) und in der Folge diverse kleinere Energie- resp. Prozessoptimierungen durchgeführt wurden (s. Grafik 4, Kap. 4.2) konnten bei der vorliegenden Studie erneut 17-19 % Einsparungen an thermischer Energie und max. 2 % an elektrischer Energie identifiziert werden.

Ein Effekt war sicherlich die heuer zusätzlich berücksichtigte Gasturbine, sowie ein weiterer Effekt die mit der Hilfe einer Prozessoptimierung erreichten zusätzlichen Einsparungen. Hier zeigt sich, dass eine kombinierte Energie- und Prozessoptimierung wesentlich höhere Einsparungen ermöglicht, jedoch auch höhere Risiken bzgl. Produktequalität etc. birgt, die beherrscht werden müssen durch gute Prozesskenntnisse. In dieser Konstellation stellt die Interdisziplinarität hohe Anforderungen an die Bearbeiter auf beiden Seiten, da sie in hohem Masse aufeinander angewiesen sind. Der „Teamspirit“ (Team = Ziegler/Helbling) kann also entscheidend für Erfolg oder Misserfolg sein.

Der seit 2005 erfolgte Anstieg der Energiepreise hat weiter dazu geführt, dass mehr und grössere Massnahmen z.B. mehr Wärmetauscherfläche als früher (1995) in den wirtschaftlichen Bereich gelangten.

Die Pinch-Methode führte bei diesem Projekt systematisch und zielsicher zu sinnvollen Lösungen, die zusammen mit einem neu entwickelten, papiertechnologischen Prozessoptimierungsansatz zu Resultate mit über der klassischen Wärmerückgewinnung hinausgehenden Hebeleffekt führten.

Eine Restnutzung der feuchten Abluft unter 55 °C mit neuen Technologien Organic Rankine Cycle Technik (ORC). Die ORC könnte trotz nur einstelligen prozentualen Wirkungsgraden aufgrund der hohen nutzbaren Restenergiemengen von 5-8 MW_{th} interessant sein. Ähnliches gilt für das Abwasser, wobei dort die Temperaturen und daher auch die Leistungen wesentlich tiefer liegen.

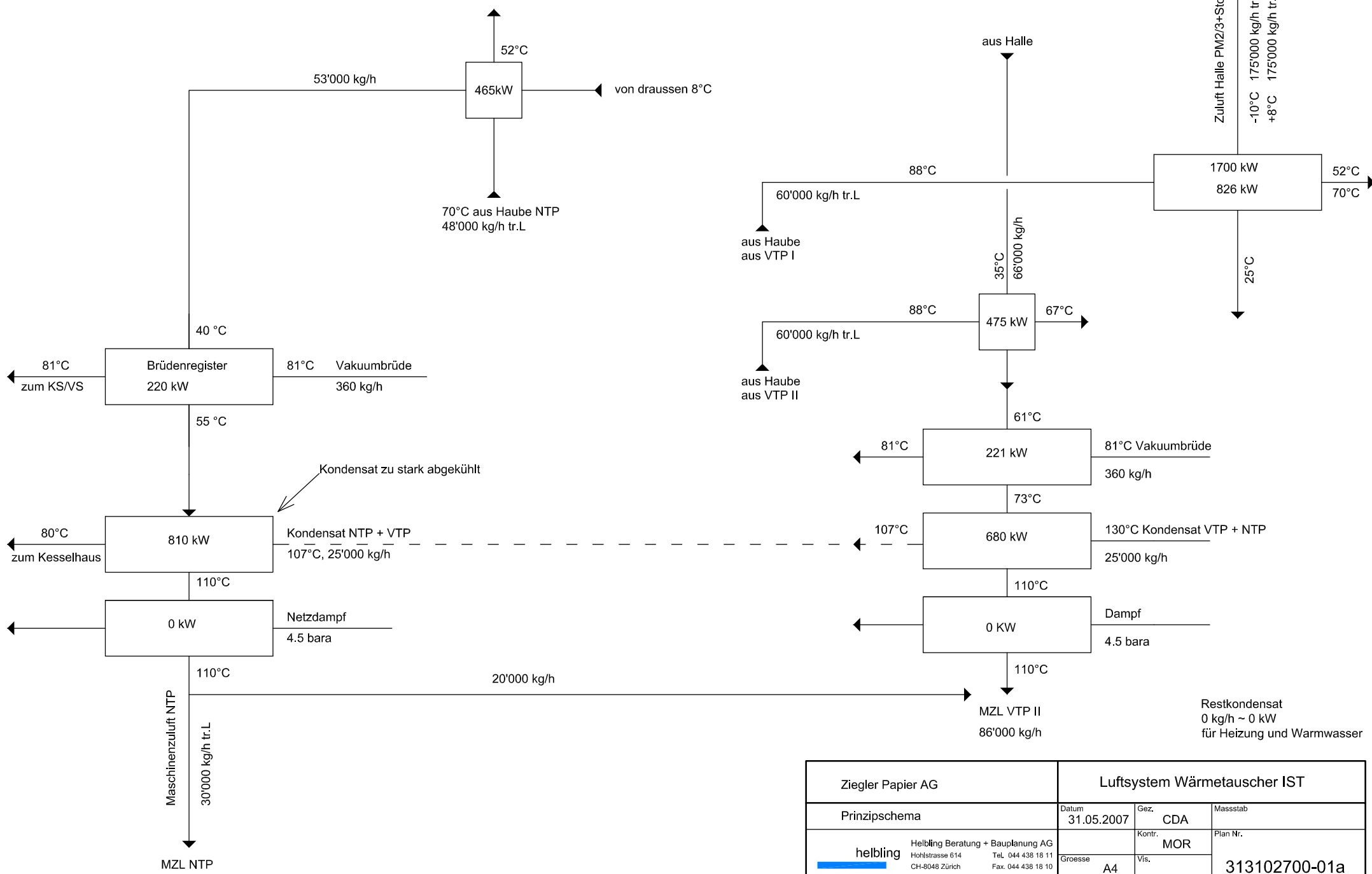
Anhang


- A Luftsystem Wärmetauscher IST**
- B Luftsystem mit neuen Massnahmen der Varianten 1 und 2**
- C Pinch-Analyse mit Composite Curves und Netzwerk von Variante 1 und 2**

Anhang A

Luftsystem Wärmetauscher IST

Auslegung: 12'000 kg/h (96%) 90g Z-Bond



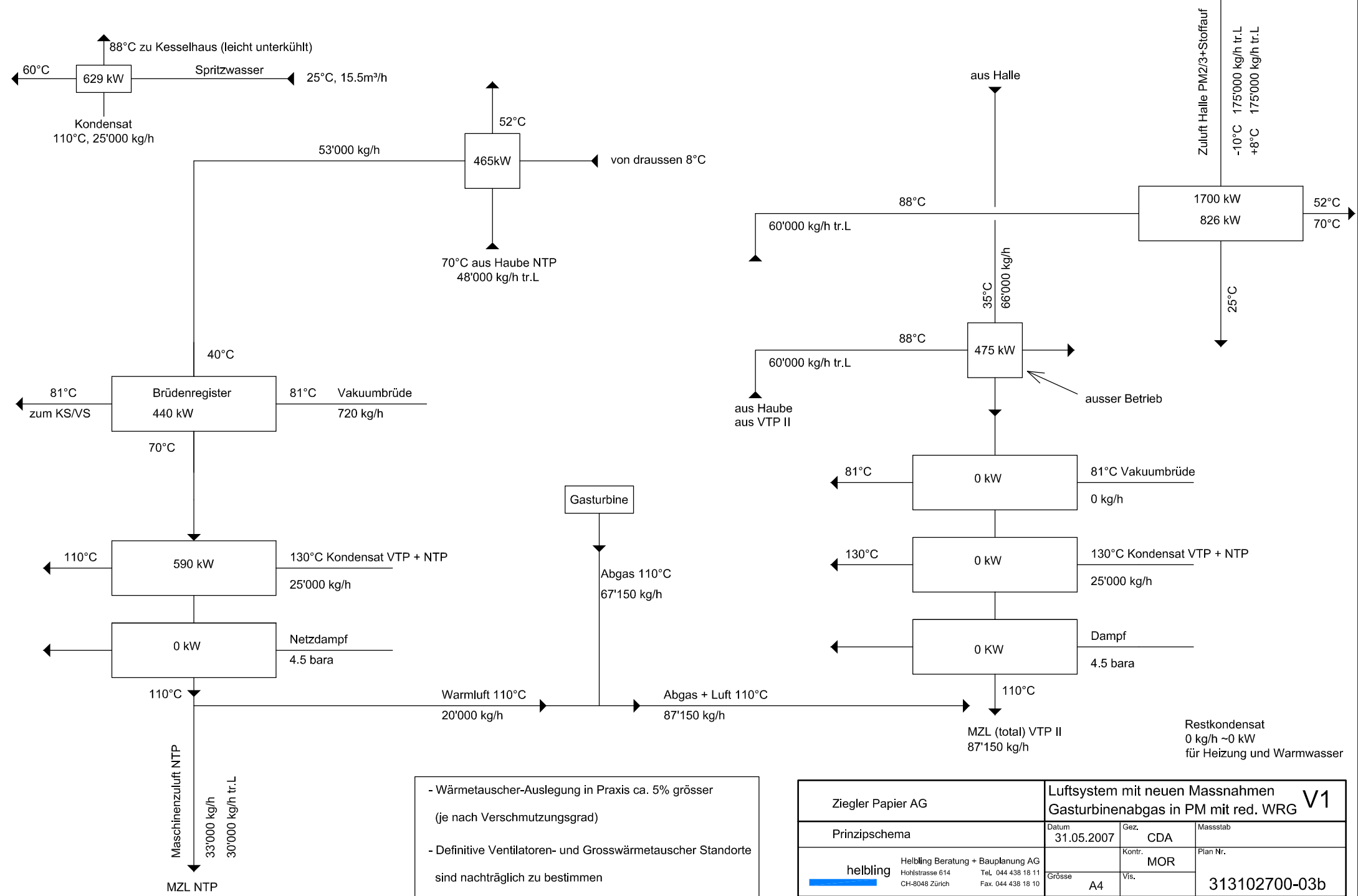
Ziegler Papier AG		Luftsystem Wärmetauscher IST		
Prinzipschema		Datum 31.05.2007	Gez. CDA	Massstab
 Helbling Beratung + Bauplanung AG Hohlstrasse 614 Tel. 044 438 18 11 CH-8048 Zürich Fax. 044 438 18 10		Groesse A4	Kontr. MOR	Plan Nr.
			Vis.	313102700-01a

Anhang B

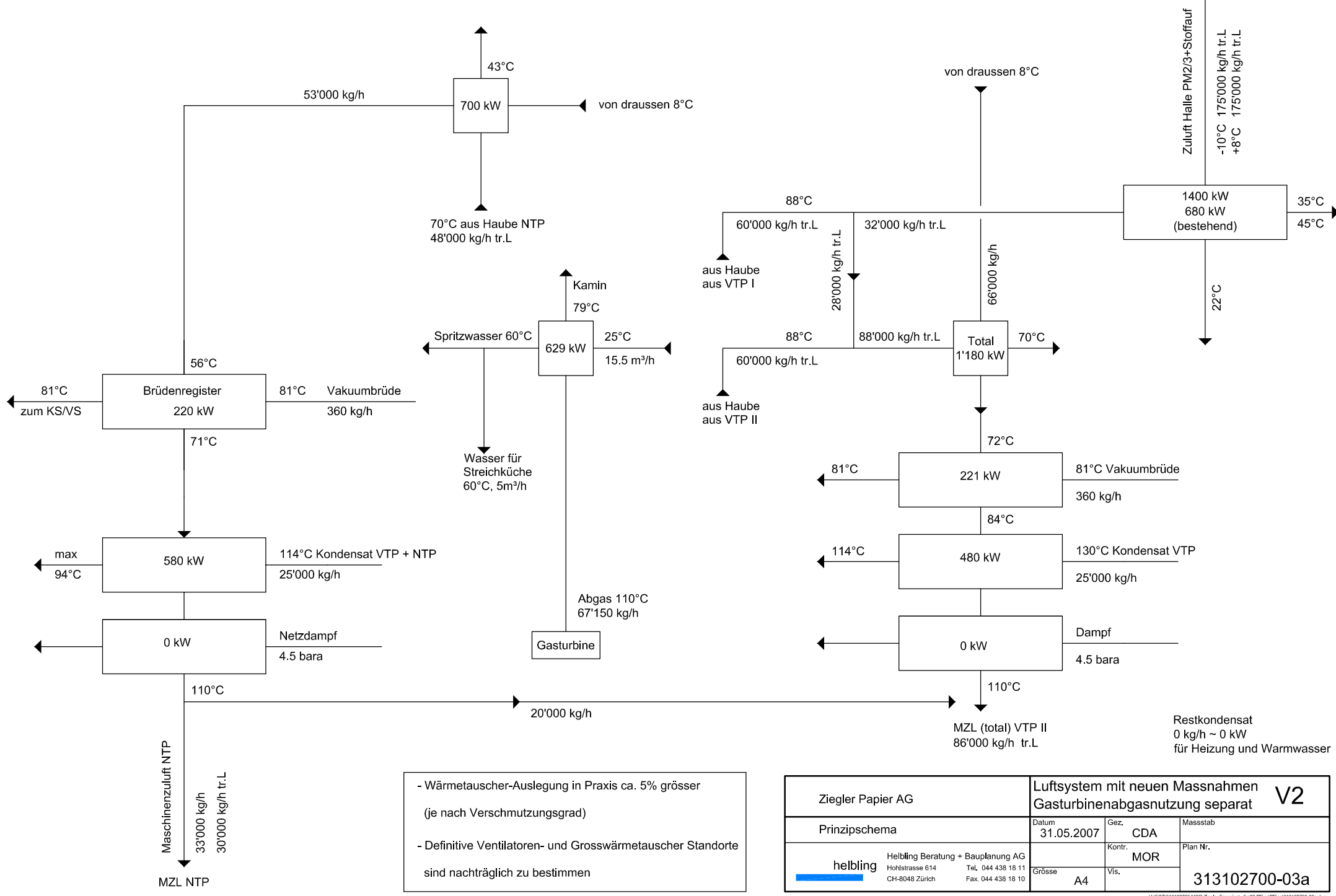
Luftsystem mit neuen Massnahmen der Varianten :

- 1. „Gasturbinenabgas mit PM mit reduzierter WRG“**
- 2. „Gasturbinenabgasnutzung separat“**

Auslegung: 12'000 kg/h (96%) 90g Z-Bond

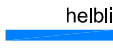


Auslegung: 12'000 kg/h (96%) 90g Z-Bond



- Wärmetauscher-Auslegung in Praxis ca. 5% grösser
(je nach Verschmutzungsgrad)

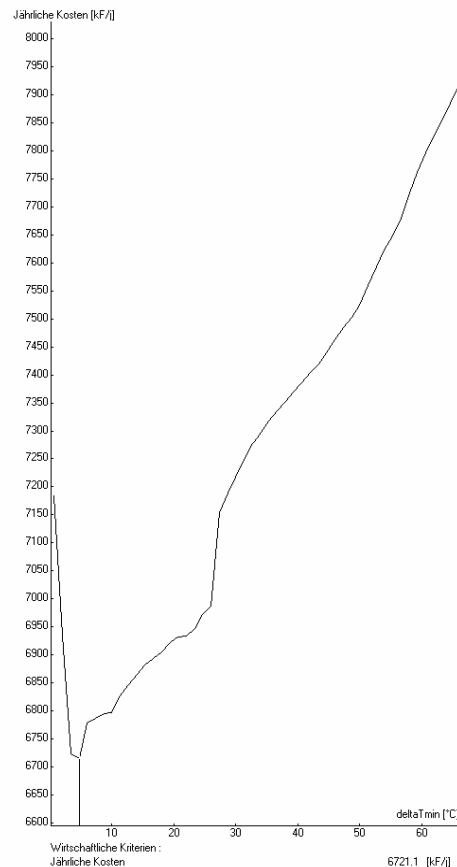
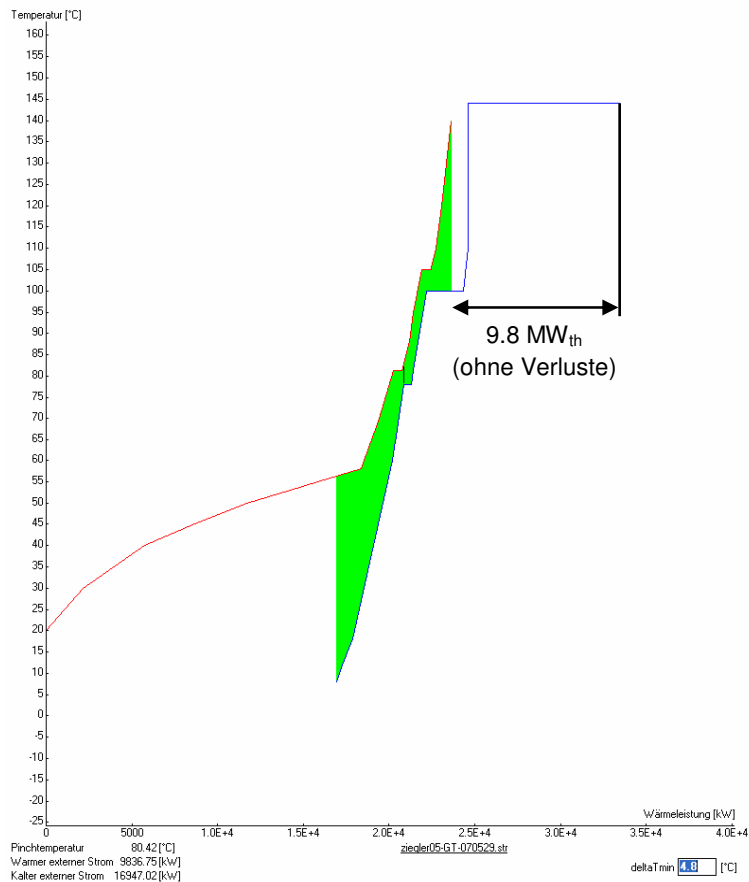
- Definitive Ventilatoren- und Grosswärmetauscher Standorte
sind nachträglich zu bestimmen

Ziegler Papier AG	Luftsystem mit neuen Massnahmen Gasturbinenabgasnutzung separat			V2
Prinzipschema	Datum 31.05.2007	Gez. CDA	Massstab	
 Helbling Beratung + Bauplanung AG Hohlstrasse 614 CH-8048 Zürich	Grösse A4	Kontr. MOR	Plan Nr.	
		Vis.	313102700-03a	

Anhang C

Pinch-Analyse

- **Composite Curve mit Brüdenkompression**
- **Netzwerke der Varianten 1 und 2**



Mit Hilfe der wirtschaftlichen Grundlagen (d.h. Investitionskosten und Betriebskosten, siehe Kapitel 4.1) und von thermodynamischen Werten wird für die Variante der Brüdenkompression eine minimale Temperaturdifferenz von 5°C ermittelt.

Die Pinch-Temperatur liegt dabei bei 80°C. Dies ist die Temperaturdifferenz zwischen kaltem und warmem Strom, die in keinem der Wärmetauscher unterschritten wird.

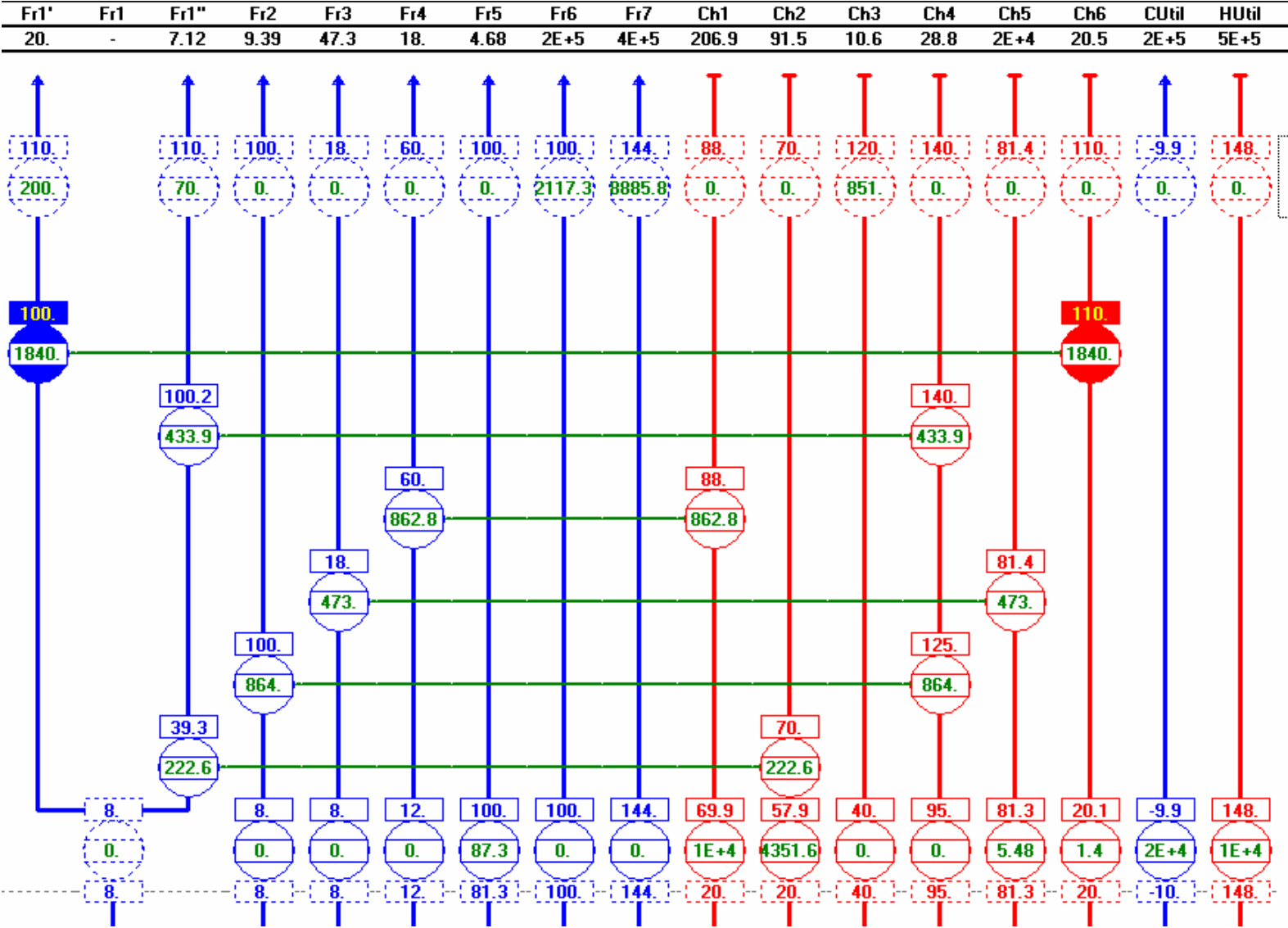
Die minimale thermische Heizleistung mit Anwendung der Brüdenkompression liegt bei etwa 12.8 MW_{th} (inkl. Verluste von 3.0 MW_{th}) vgl. zu heutigen ca. 15.8 MW_{th}.

Insgesamt liegt der energetische Optimierungsgrad der Produktion bei etwa 65%. Eine weitere Wärmerückgewinnung von ca. 3.0 MW_{th} (ohne Prozessoptimierung) wäre theoretisch noch möglich.

Die Massnahmen wären zwar möglich, sind aber bei gegebenen Strom- und Wärmepreisen weniger wirtschaftlich als mit der empfohlenen Lösung ohne Brüdenkompression.

Grafik 9 Pinch-Analyse bei Brüdenkompression

Netzwerk Variante 1 Direktnutzung Gasturbinenabgas in PM



Netzwerk Variante 2 separate Nutzung Gasturbinenabgas

