



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

PILOTPHASE PINCH-METHODIK 2006/07

PROJEKT:

ALCAN PACKAGING RORSCHACH AG

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Markus Erb, Dr. Eicher+Pauli AG

Kasernenstrasse 21, 4410 Liestal, markus.erb@eicher-pauli.ch, www.eicher-pauli.ch

Pierre Krummenacher, Bonnard & Gardel SA

CP 241, 1001 Lausanne, pierre.krummenacher@bg-21.com, www.bg-21.com

Fachliche Begleitung

Pierre Krummenacher, Bonnard & Gardel SA



Impressum

26. Juli 2007

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung
Industrie und Dienstleistungen

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

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

Projektnummer: 101775

Bezugsort der Publikation: www.bfe.admin.ch unter EnergieSchweiz - Unternehmen -
Prozessoptimierung Industrie und Dienstleistungen - Prozessintegration/Pinch

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

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Ausgangslage	4
3. Ziel der Arbeit	5
4. Lösungsweg	6
4.1 Generelles Vorgehen	6
4.2 Vorgehen bei der Pinch-Analyse	6
5. Ergebnisse	9
5.1 Verwendete Grundlagen	9
5.2 Hauptprozesse Alcan	9
5.3 Abluftreinigung	10
5.4 Betriebsdaten	11
5.5 Einspar- und Pinch-Analyse	14
6. Massnahmen	20
6.1 Resultate / Einsparungen	24
6.2 Empfehlung / Weiteres Vorgehen	25
7. Schlussfolgerungen	27
Anhang	29

Abkürzungen

HLK	Heizung Lüftung Klima
HW	Heisswasser
PTL	Pretreatment Line
TAR	Thermische Abluftreinigung
TO	Thermalöl
WRG	Wärmerückgewinnung
WT	Wärmetauscher
WW	Warmwasser

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der Fa. Alcan Packaging Rorschach AG (Herr Hofmänner) für die tatkräftige Unterstützung bedanken. Herzlicher Dank gilt auch dem Bundesamt für Energie und der Energieagentur der Wirtschaft, welche diese Arbeit unterstützt hat.

1. Zusammenfassung

Alcan Packaging Rorschach AG (im folgenden AP Rorschach genannt) lackiert und bedruckt Aluminiumfolien. Im Einsatz stehen dazu primär drei Lackier- und zwei Druckmaschinen. Energetisch von Bedeutung ist weiterhin eine Anlage zur thermischen (Weichglühen) und chemischen Vorbehandlung des eingesetzten Aluminiums (Pretreatment Line, PTL) aber auch die HLK-Anlagen (Heizung, Lüftung, Luftbefeuchtung). Der Wärmebedarf wird bei AP Rorschach fast vollständig mit Erdgas abgedeckt, 2006 waren dies 52'000 MWh.

Die Folien werden mittels heisser Luft getrocknet. Die mit Lösemittel belastete Luft wird zu thermischen Abluftreinigungsanlagen mit regenerativer Wärmerückgewinnung (TAR) geführt, wo die Lösemittel auf hohem Temperaturniveau verbrannt werden.

Basierend auf einer Situationsanalyse der Energie- und Massenströme (i.b. Luft) wurden für den Betrieb relevante Energieeinsparpotentiale ermittelt, welche grob auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft wurden.

Es zeigte sich dabei, dass insbesondere die TAR untersucht werden müssen. Die Reduktion der Trocknungsluftmengen, welche einer direkten Energiebedarfsreduktion gleichkommt, konnten aus Zeitgründen im Rahmen dieser Arbeit nicht angegangen werden.

Die TAR-Analyse hatte zum Ziel, die Wärmerückgewinnung (WRG) in den verschiedenen Wärmeversorgungsnetzen (Warmwasser, Heisswasser und Thermalöl) zu optimieren. Zur Ermittlung der WRG-Potentiale musste ein Modell der TAR entwickelt werden. Wegen der vielfältigen Betriebsbedingungen konnte auch nicht die klassische Pinch-Methodik eingesetzt werden, sondern es wurde mit einem eigens entwickelten Tool gearbeitet, mit dem die vorliegenden, sehr variablen Betriebsdaten auf Stundenniveau bezüglich Pinch untersucht wurden. Bei der TAR-WRG muss grundsätzlich zwischen der WRG aus dem Reingas nach der TAR und der Auskopplung von Reingas aus der TAR-Brennkammer unterschieden werden. Letztere ist nur im überautothermen Betriebszustand (keine fossile Nachverbrennung der VOC in der Brennkammer notwendig) möglich. Sie hat den Vorteil, dass Hochtemperaturwärme ins Thermalölnetz eingespeist werden kann.

Als besonders interessant haben sich jene Massnahmen erwiesen, die einen Verbrauch von Wärme auf tiefem Temperaturniveau schaffen. Der Grund dafür ist, dass sich so eine grössere Temperaturdifferenz zwischen der Reingastemperatur nach der TAR und der entsprechenden Rücklauftemperatur dieser Verbraucher ergibt, womit die WRG aus dem Reingas verbessert wird. Konkret können solche tiefe Rücklauftemperaturen durch a) den Aufbau eines separaten Netzes für Niedertemperaturverbraucher (HLK) oder b) Kaskadenschaltung von Hoch- und Niedertemperaturverbraucher erreicht werden. **Diese Massnahmen führen zu einer Reduktion des heutigen totalen Erdgasverbrauchs um ca. 6 bis 8%. Die WRG erhöht sich dabei gegenüber heute um 40 bis 60%.** Mit diesen Einsparungen können bei einer Paybackzeit von 5 Jahren (Vorgabe des Unternehmens) Investitionen in der Grössenordnung von Fr. 500'000.- bis 800'000.- amortisiert werden.

Weniger interessant scheint der von AP Rorschach geplante Einbau einer Hochtemperatursaukopplung (Thermalölsaukopplung) in TAR 2. Es muss bei den Potentialberechnungen aber berücksichtigt werden, dass mit teilweise recht unsicheren Daten gearbeitet werden musste. Insbesondere das Thermalölsaukopplungspotential ist sensitiv auf diese Unsicherheiten. Es wird deshalb empfohlen, die Berechnungen im Rahmen einer Machbarkeitsstudie mit besseren Messdaten zu überprüfen. Dabei ist die Mitarbeit aller Beteiligten (Engineering AP Rorschach, TAR-Lieferant, Pinch-Spezialist) unerlässlich.

2. Ausgangslage

AP Rorschach lackiert und bedruckt Aluminiumfolien. Im Einsatz stehen dazu primär drei Lackier- und zwei Druckmaschinen. Energetisch von Bedeutung ist weiterhin eine Anlage zur thermischen (Weichglühen) und chemischen Vorbehandlung des Druckgutes (Pretreatment Line, PTL).

Die Folien werden mittels Luft getrocknet (Abdunsten). Diese Trocknung findet in einer Sequenz mehrerer Trocknungskammern mit ansteigendem Temperaturniveau statt. Bei den meisten Produkten wird nach der Trocknung noch ein Einbrennvorgang (Vernetzung der Lacke) angehängt. Anschliessend werden die Folien in mehreren Kammern wieder "gekühlt" (eigentlich absinkende Lufttemperatur-Rampe). Die mit Lösemittel belastete Luft wird zu zwei zentralen thermischen Abluftreinigungsanlagen mit regenerativer Wärmerückgewinnung (TAR) geführt, wo die Lösemittel auf hohem Temperaturniveau verbrannt werden.

Die zur Kühlung verwendete Luft wird teilweise mit Seewasser konditioniert. Weil die genutzte Seewasserauffassung (wird von der Stadt betrieben) bald ausser Betrieb gehen soll, muss eine Alternative gefunden werden. Diese Problematik wurde hier nicht weiter untersucht.

3. Ziel der Arbeit

AP Rorschach hat sich zum Ziel gesetzt, jedes Jahr eine Einsparung an Energie in der Grössenordnung von 5 bis 10% zu erreichen. Da die Energiekosten bei diesem Betrieb eine wirtschaftlich relevante Grösse sind, wurde mit diesen Einsparanstrengungen schon vor vielen Jahren begonnen.

Basierend auf einer Situationsanalyse der Energieflüsse sollen für den Betrieb relevante Energieeinsparpotentiale ermittelt werden. Für die Potentiale sind Massnahmen zu beschreiben. Die Wirtschaftlichkeit dieser Massnahmen (Payback-Zeit) ist basierend auf einer groben Kostenschätzung zu beurteilen.

Dabei soll die Pinch-Analyse eingesetzt werden. Diese Methode eruiert auf Basis von Energieströmen und deren Temperaturniveau die optimale Strategie zur Wärmerückgewinnung.

Eine gute Einführung in die Pinch-Analyse findet sich auf der Website von <http://cetc-varennnes.nrcan.gc.ca/> (Dokument: <http://cetc-varennnes.nrcan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2003-140/2003-140f.pdf>).

4. Lösungsweg

4.1 Generelles Vorgehen

AP Rorschach verfügt über eine ziemlich detaillierte Erfassung der Energieverbrauchswerte. Einerseits auf Niveau Endenergie (In-/Output der Kesselanlagen) und Nutzenergie (Verbrauch der Maschinen). Ausgangsbasis für die hier beschriebenen Analysen sind die Daten des Jahres 2006. Eigene Messungen wurden keine vorgenommen.

In der ersten Projektphase befassten wir uns mit der Analyse der maschinenspezifischen Verbrauchsdaten mit dem Ziel, die für eine Pinch-Analyse notwendigen Prozessdaten zu ermitteln. Die Komplexität der Maschinen (mehrere Abschnitte) und die Variabilität der Prozesse (stark unterschiedliche Anforderung an Temperatur und Volumenstrom der Luft) führten dazu, dass wir uns auf eine Analyse auf Niveau der Energieversorgungsnetze beschränkten.

Es zeigte sich, dass hier insbesondere die thermische Abluftreinigung (TAR) untersucht werden muss. Deren Analyse hatte zum Ziel, die Wärmerückgewinnung in die verschiedenen Wärmeversorgungsnetze zu optimieren. Dazu wurde auf Basis der vorhandenen AP Rorschach-Messdaten (Stundenwerte) und eigenen Modellwerten die mögliche Einspeisung der Netze berechnet. Die nutzbare Energiemenge aus den TAR ist umso grösser, je tiefer das Temperaturniveau der Nutzenergie liegt – das Reingas kann stärker abgekühlt werden. Hier bedeutet dies, dass in jedem Fall zu prüfen ist, ob ein Wärmebezüger seine Energie vom Netz mit der tiefstmöglichen Temperatur bezieht. Dabei geht es nicht nur um die Druck- und Lackiermaschinen, sondern auch um die HLK-Anlagen, i.b. die Luftbefeuchtung.

Neben einem Modell zur Bestimmung der (nicht gemessenen) Luftmengen in den TAR, musste auch ein einfaches Modell der TAR selbst erstellt werden.

Die Stromseite wurde mit AP Rorschach besprochen. Ein möglicher Einsatz von WKK wurde bereits geprüft, ist hier aber wegen des sehr vorteilhaften Stromtarifs nicht sinnvoll.

4.2 Vorgehen bei der Pinch-Analyse

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein spezielles Vorgehen für die Anwendung der Pinch-Analyse entwickelt. Dieses geänderte Vorgehen war wegen folgenden Besonderheiten notwendig:

Vielfältige Betriebszustände

Die Betriebszustände sind sehr variabel. Zur Veranschaulichung dieses Umstandes kann erwähnt werden, dass es in den letzten zwei Jahren etwa 400 bis 600 aktive Prozessvorschriften (PVO) gab. Eine Vereinfachung dieser Verhältnisse durch Gruppierung der PVO ist kaum möglich. Konkret heisst das, es gibt eine grosse Anzahl von Verbundkurven und Pinch Temperaturen – ein Datensatz für jedes Set von PVO, welches gleichzeitig auf den sieben Maschinen aktiv ist. Weiter müsste berücksichtigt werden, dass auch die Aussentemperatur und der Prozess „HLK“ variabel sind und so die Verhältnisse weiter komplizieren. Eine PVO besteht aus Dutzenden von Parametern, welche uns von AP Rorschach nicht offengelegt wurden. Auch zeichnen nicht alle der sieben grossen Maschinen die PVO elektronisch auf. Aus diesen Gründen wurde entschieden, dass mit Messdaten (Stundensummen, resp. -mittelwerte) gearbeitet wird. Die Verbundkurven wurden für jede Stunde berechnet. Das thermische Integrationsproblem (Zielwertfindung, Wärmetauscher-

Netzwerkdesign) ist dadurch nicht mehr eindeutig, sondern ein statistisches Problem. D.h. es ist jenes Netzwerk zu finden, welches über das untersuchte Jahr zum besten Ergebnis führt.

Energieversorgungsebene statt Prozessebene

Die Betriebsbedingungen auf Niveau Prozess (Luftmengen und -temperaturen) sind weder alle bekannt, noch vernünftigerweise als Prozessanforderungen zu verstehen. Die komplexen Druck- und Lackiermaschinen sind sehr kompakt gebaut und bestehen aus zahlreichen Trocknungsabschnitten. Dies macht eine Anpassung auf diesem Niveau technisch und ökonomisch schwierig - es könnte maximal eine Anpassung einiger weniger Wärmetauscher vorgenommen werden, sollten diese als wichtige Bottlenecks für die Absenkung der Netztemperaturen identifiziert werden. Da uns aber die Solltemperaturen der Maschinen nur teilweise bekannt sind, und diese Identifizierung zeitaufwändig wäre, sprengt diese Identifizierung den Rahmen dieser Studie. Darum wurde die kalte Verbundkurve auf das Niveau Wärmenetze (Energieversorgung) modelliert.

Betrachteter Zeitraum

Das Zeitfenster, welches mit der Pinch-Analyse analysiert wurde, reicht vom 4. September bis zum 31. Dezember 2006. AP Rorschach hat vorher die Betriebsparameter der TAR geändert, ab diesem Zeitpunkt blieben diese aber konstant. Mit etwas Mühe wurden zusätzlich die aktiven, relevanten Produktionsperioden identifiziert. Damit wurde sichergestellt, dass die restlichen, nicht relevanten Daten, die Berechnungen nicht beeinflussen. Die Ergebnisse wurden dann mit einem Faktor 3 (Beobachtungszeitraum 4 Monate, resp. ein Drittel des Jahres) multipliziert, um jährliche Werte zu erhalten.

Modellierung der TAR

Die Massenströme aus den TAR (auskoppelbare Reinluftmenge, die im autothermen Betrieb direkt aus der Brennkammer entnommen werden kann und die Restreingasluftmenge) bilden die zwei einzigen Ströme der warmen Verbundkurve. Es wurde ein vereinfachtes Modell der TAR entwickelt, um die auskoppelbare Reingasmenge zu berechnen (vgl. Beschrieb des TAR-Modells im Anhang). Die aus der Brennkammer auskoppelbare Luftmenge wurde so bestimmt, dass die resultierende Brennkammertemperatur nicht unter den von AP Rorschach definierten Minimalwert absinkt. Dieser stellt sicher, dass die VOC-Restkonzentration einen bestimmten Wert nicht überschreitet. Das Modell nimmt an, dass sich die TAR wie ein Gegenstromwärmetauscher verhalten. Wobei auf der Primärseite die VOC-Verbrennung und die Gasfeuerung in der Brennkammer als Wärmequellen dienen. Wenn die Brennkammertemperatur über der minimalen Temperatur liegt, darf ein gewisser Anteil des Reingases aus der Brennkammer entzogen werden (Auskoppelung), um die Brennkammertemperatur bis zur minimalen Temperatur abzusenken. Dabei wird angenommen, dass der UA-Faktor [kW/K] des Wärmetauschers (thermophysikalische Eigenschaft der TAR) konstant bleibt. Das Modell ist wegen der Mehrheit der unsicheren Inputdaten (Messdaten von AP Rorschach, abgeleitete Luftmengenwerte) und der getroffenen Annahmen (z.B. Brennkammertemperatur gleich maximale Temperatur) eher unsicher. Bei TAR 1 sind die berechneten Daten unbefriedigend, da das Berechnungsmodell sehr empfindlich auf die (ungenügende) Datenqualität reagiert.

Berechnung der Zielwerte und Verbundkurven

Das Programm PinchLENI ist für die Analyse von etwa 2'800 unterschiedlichen Betriebsfällen eigentlich (Stunden) nicht geeignet. Darum wurde speziell eine Excel-Tabelle mit der Anwendung des "Solver" programmiert, in welcher die warme Verbundkurve durch zwei Segmente modelliert ist (vereinfachte Annahme), und die kalte Verbundkurve mit bis sechs (meist weniger), nicht überlappenden Netztemperaturniveaus, modelliert ist.

Simulierte Massnahmen

Mit der Excel-Tabelle werden unterschiedliche mögliche Massnahmen simuliert. Generelles Ziel: Absenkung des Temperaturniveaus der Verbraucher, damit mehr WRG möglich wird. So wurde berechnet, durch welche Massnahme welche zusätzliche WRG-Energiemenge ermöglicht wird und welche zusätzliche Wärmetauscherfläche bei den TAR dafür notwendig ist. Dabei wird die zusätzliche Wärmetauscherfläche, die bei den Wärmeverbrauchern nötig ist, um die Absenkung des Temperaturniveaus der Netze zu kompensieren, nicht berücksichtigt. Die Quantifizierung erlaubt, das Kosten-Nutzen-Verhältnis zu berechnen und effiziente Massnahmen zu benennen. Dabei helfen auch die Verbundkurven, die klar machen, wo ein Pinch entsteht und limitierend wirkt. Die Möglichkeit der Wärmespeicherung wird nicht berücksichtigt – es wird nur die Wärme rückgewonnen, welche gleichzeitig nachgefragt wird. Wärmespeicher könnten die gesamte WRG-Energiemenge ein wenig vergrössern.

Verbundkurve

Je nach Witterungsverhältnissen und aktiver PVO sehen die Verbundkurven sehr unterschiedlich aus. Um Schlussfolgerungen ziehen zu können, wurden zwischen zwei typischen Durchschnittsbetriebsfällen "Winter" und "Sommer" unterschieden, dabei wird die Annahme gemacht, dass die PVO-Häufigkeitsverteilung gleich ist. Die Verbundkurven beweisen, dass im Winter die Betriebstemperatur des WW-Netzes limitierend wirkt und im Sommer das TO-280°C Netz den Pinch erzeugt.

Wirtschaftliche "Optimierung"

Die Problematik ist statistischer Natur. Die Ergebnisse der Roh-Analyse müssen deshalb mittels Häufigkeitsverteilungsdiagrammen analysiert werden, um einen optimalen Kompromiss (Trade-off) zu finden: Es wäre unwirtschaftlich, die Wärmetauscher für Bedingungen auszulegen, die nur wenige Stunden pro Jahr auftreten. Diese "Optimierung" wird hier nicht durchgeführt, da das Projekt noch nicht so weit fortgeschritten ist und deshalb die notwendigen wirtschaftlichen Daten fehlen.

5. Ergebnisse

5.1 Verwendete Grundlagen

- Messdaten (Energie, Temperaturen, etc.) der AP Rorschach
- Anlagenschemas der AP Rorschach
- Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Massnahmen wurde mit folgenden Vorgaben der AP Rorschach gearbeitet:
 - Energiepreise: Erdgas 50 Fr./MWh
 - Payback: 5 Jahre

5.2 Hauptprozesse AP Rorschach

AP Rorschach verarbeitet Rollen von Aluminiumfolien. Jede Farbe, resp. jeder Lack, der verarbeitet wird, hat eigene Verarbeitungsvorschriften (Hersteller). Diese werden von AP Rorschach in Produktionsvorschriften (PVO) umgesetzt. Darin sind Dutzende von Parametern (Maschineneinstellwerte) definiert. Diese umfassen u.a. Luftmengen und Temperaturen in den verschiedenen Kammern der Maschinen. Je nach Auftrag kann die aktuelle PVO bei jedem Rollenwechsel ändern. Wir haben es hier mit semi-kontinuierlichen Multiprodukt-Prozessen zu tun.

Es wird (bei Bedarf) von Montag bis Freitag im 24 h-Betrieb produziert.

Abdunsten und Einbrennen

Die energetisch wichtigsten Prozesse sind das Abdunsten der Lösemittel in Farben und Lacken und das Einbrennen von Lacken (Vernetzen der Lacke). Nachfolgend einige für das Verständnis dieser Prozesse wichtige Informationen.

Energieträger

Abdunsten: Warm-/Heisswasser und Thermalöl (abhängig von Maschine)

Einbrennen: Erdgas

Der Energiebedarf wird durch die Frischluftmenge und das Temperaturniveau (produktspezifisch), d.h. durch die angestrebte maximale Lösemittelsättigung in der Abluft bestimmt.

In Abb. 12 (Anhang) findet sich ein Prinzipschema der Energie- und Luftströme.

Luftführung Maschinen

Anlagenspezifisch wird ein Teil der Trocknungsluft mit Leitungen von aussen zugeführt. Zusätzliche Luft tritt kontrolliert (Ansaugstellen) und unkontrolliert (Unterdruck, Leckage) in die Maschinen ein.

Die Leckagemengen sind bei Druckmaschinen höher (50%) als bei Lackiermaschinen (10 - 20%).

Lösungsmittelkonzentrationen

Gemäss AP Rorschach treten (teilweise) so hohe Lösungsmittelkonzentrationen und Zusatzstoffe (z.B. Harze, Wachse) in der Luft auf, dass Ablagerungen (Kondensat) auf den Wärmetauschern (i.b. Kühlkammern) entstehen. Dies ist auch ein Hinweis darauf, dass in solchen Situationen kaum eine (energetisch sinnvolle) Luftmengenreduktion möglich wäre. Diese würde zu noch höheren Konzentrationen führen, was auch mit gesetzlichen Vorgaben kollidieren könnte (Explosionsgrenze: UEG, Richtlinie EN 12753, EN 1539).

5.3 Abluftreinigung

Prinzip und Auslegung

Die installierten Systeme (TAR 1 und 2) entsprechen dem Typ „Regenerative Thermaloxidiser“. Das belastete Rohgas ab den Maschinen wird mittels gedämmter Leitungen zu den TAR geführt. TAR 1 besitzt drei Reaktoren, TAR 2 sieben Reaktoren mit einer Gesamtkapazität von 70'000 resp. 210'000 Nm³/h. Diese Werte werden gemäss dem Hersteller Langbein Engelbracht bei einer Ablufttemperatur von 200°C eingehalten (Hr. Schanze, Langbein Engelbracht, pers. Kom.). AP Rorschach schliesst aus eigenen Messungen, dass die Kapazität durch den heute erhöhten Druckabfall in den Reaktoren um ca. 20% reduziert ist. In den Berechnungen wurde von der reduzierten Kapazität ausgegangen.

In den Reaktoren befinden sich keramische Schüttungen, welche abwechselnd von Rohgas, resp. Reingas durchströmt werden. Dabei wird entweder das Rohgas durch die Schüttung aufgeheizt oder das Reingas gibt seine Energie an die Schüttung ab. Hat das Gas nach Durchströmen der ersten Schüttung noch nicht die notwendige Temperatur, dann wird in der Brennkammer, welche sich zwischen den beiden Schüttungen befindet, nachgeheizt. Die katalytische Verbrennung der VOC findet primär innerhalb der ersten Schüttung statt. Muss in der Brennkammer nicht nachgeheizt werden, so spricht man von autothermem Betrieb. Autothermer Betrieb wird beeinflusst von:

- Wärmeleistung der Schüttung pro Rohgasmenge. Abhängig von Temperatur, Oberfläche und Masse der Schüttung.
- VOC-Konzentration, resp. Brennwert pro Rohgasmenge
- Autothermgrenze: Minimal geforderte Temperatur bei Austritt aus der ersten Schüttung. Je tiefer diese gesetzt wird, desto eher kann autotherm gefahren werden, aber umso höher ist die Restkonzentration von VOC im Reingas.

Die Flussrichtung (A→B zu B→A) des Gases wird periodisch (ca. 1-Minuten-Takt) umgeschaltet, so dass die Austrittstemperatur immer möglichst tief liegt.

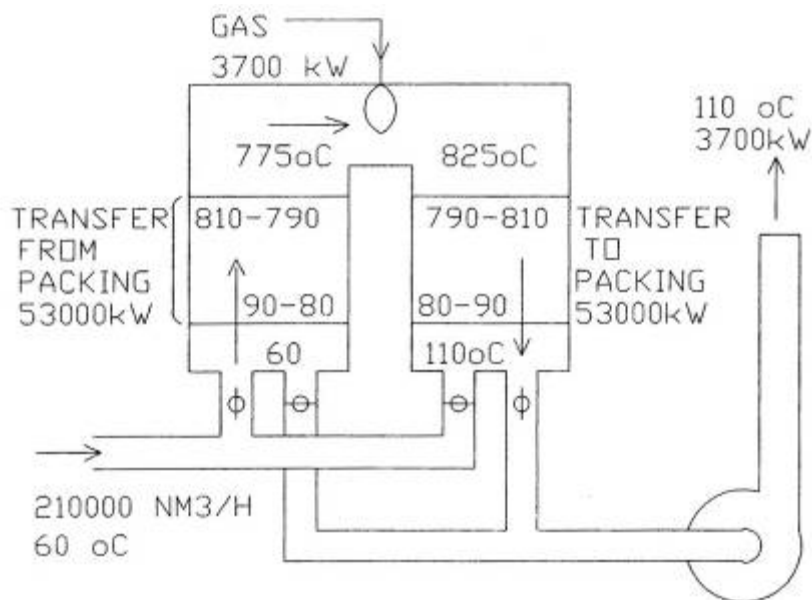


Abbildung 1: Prinzipschema eines TAR.

5.4 Betriebsdaten

Die folgenden Daten wurden von AP Rorschach für das Jahr 2006 erfasst.

Energiebedarf

Endenergie

Ein Viertel des Endenergieverbrauchs ist Strom (16'800 MWh/a), welcher zu knapp der Hälfte von den Maschinen verbraucht wird.

AP Rorschach deckt ihren netto Wärmebedarf praktisch vollständig mit Erdgas. Wie in Abb. 3 dargestellt, betrug dieser im Jahr 2006 52'000 MWh und resultiert zu 48% aus direktem Gasverbrauch in den Maschinen. Ein Viertel (24%) wird von den Thermalölkesseln verbraucht und 15% von den Heiss- und Warmwasserkesseln. 12% gehen in die TAR-Brennkammern zum Halten der minimalen Temperatur. Dabei ist der Energieinhalt der in den verarbeiteten Farben und Lacken enthaltenen Lösemittel von etwa 22'500 MWh/a nicht berücksichtigt. Diese werden aber bei der Verbrennung in den TAR thermisch relevant.

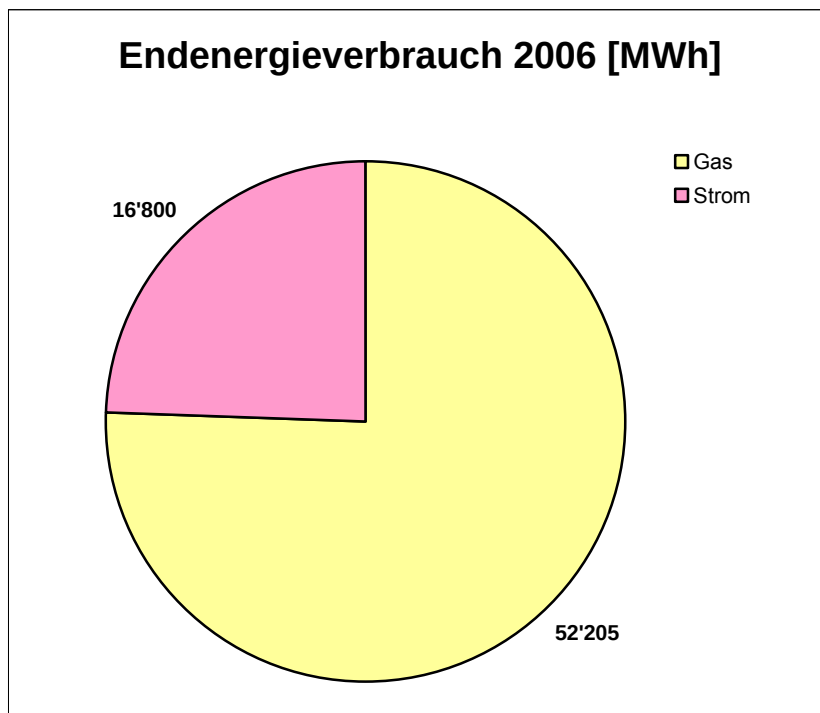


Abbildung 2: Totaler Endenergieverbrauch der AP Rorschach 2006..

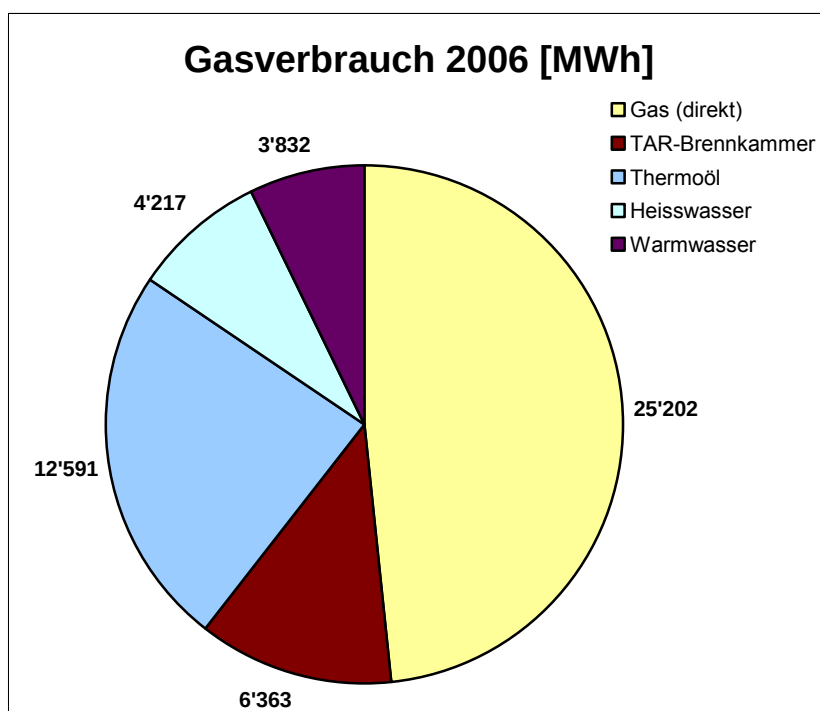


Abbildung 3: Totaler Gasverbrauch der AP Rorschach 2006. Dieser wird durch den Verbrauch der Brenner in den Maschinen dominiert.

Nutzenergie

In Abb. 4 sind die Jahresgänge der Nutzenergieverbräuche total und der jeweilige Beitrag der WRG ab den TAR dargestellt. Da mit dem Heisswasser, aber i.b. mit dem Warmwassernetz (vgl. Abb. 5) die Raumwärme bereitgestellt wird, sind hier deutliche Jahresgänge erkennbar. Heizwärme macht ca. 50% des Verbrauchs ab den Wassernetzen aus. Ein grosser Teil dieser „Raumwärme“ wird durch die Maschinen verursacht, welche einen grossen Teil der Luft aus den Fabrikationshallen beziehen.

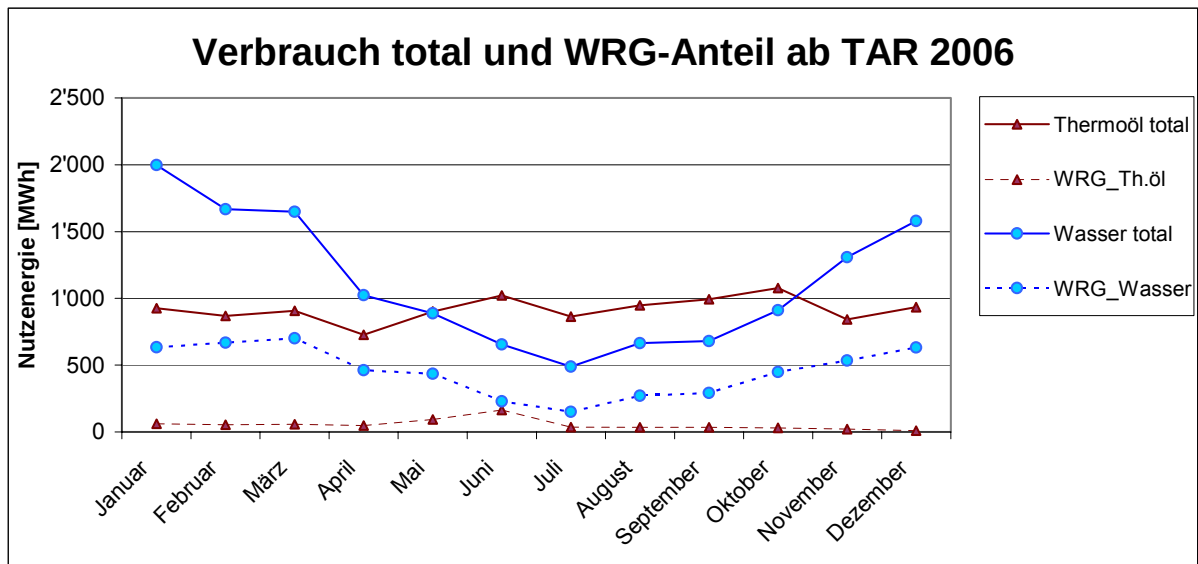


Abbildung 4: Monatsdaten des totalen Energieverbrauchs ab den Wärmenetzen und Einspeisung in diese Netze ab den TAR.

Das gesamte Thermalölnetz hat eine Länge von mehr als 1'000 m. Es ergeben sich rechnerisch Netzverluste von 50% (Differenz aus Wärmemessungen nach den Kesseln und Messungen bei den Verbrauchern), was einer mittleren Verlustleistung von 590 kW entspricht. Die Netzverlustleistung ist aber auch aus den Stillstandsverlusten an den Wochenenden (keine Produktion) ersichtlich. Diese liegt bei etwa 350 kW. Aufgrund der Netzlänge und einer mittleren Oberflächentemperatur der Leitungen wurde eine Verlustleistung von 230 kW berechnet, dazu kommen noch Verluste an den Leitungsaufhängungen und von nicht isolierten Bereichen (Pumpen, Ventile etc.). Der Wert von 350 kW scheint auf Basis dieser Betrachtung zwar hoch, aber nicht unrealistisch. Die Differenz zu den gemessenen 590kW ist nur teilweise durch nicht gemessene Verbraucher erklärbar. Grösstenteils sind wohl Messfehler bei den Verbrauchern (zu geringe Werte) verantwortlich (Blendenzähler).

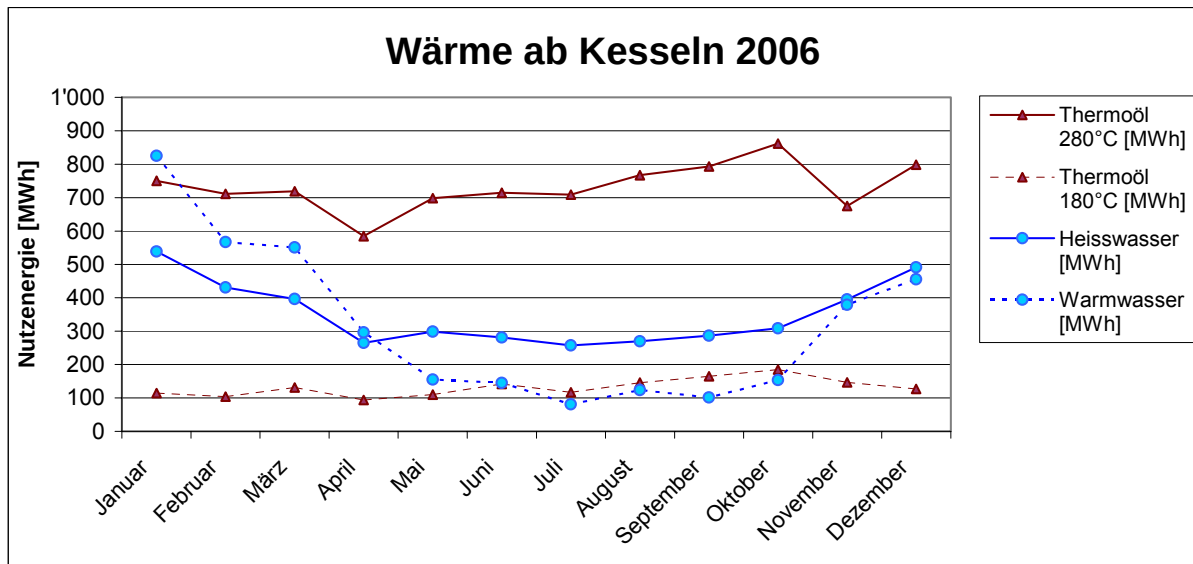


Abbildung 5: Monatsdaten des Energieverbrauchs ab den Thermalöl- und Wasserkesseln.

Wärmerückgewinnung ab TAR

Die heute installierte WRG ab den TAR deckt bezüglich der Wärme ab Heiss- und Warmwassernetze bereits einen beträchtlichen Teil (42%) des Bedarfs ab. Anders die Situation beim Thermalöl, wo nur 6% durch die TAR abgedeckt werden.

Da nur TAR 1 ins Thermalölnetz einspeisen kann, nimmt diese Einspeisung ab Mitte 2006 ab, da TAR 1 ab diesem Zeitpunkt nur noch zur Deckung von Spitzen eingesetzt wird.

5.5 Einspar- und Pinch-Analyse

Zur Reduktion des Endenergieverbrauchs bestehen folgende Möglichkeiten:

- Bedarfsreduktion: Neben der Reduktion des Raumwärmebedarfs (nicht Gegenstand dieses Projektes), besteht die Möglichkeit der Reduktion des Bedarfs an Prozessenergie.
- Erhöhung der Rückgewinnung von Prozessabwärme. Diese ist zu 100% in der Abluft der Maschinen enthalten. Die erste WRG-Möglichkeit besteht theoretisch nach Austritt aus den Maschinen. Die sensible Wärme der belasteten Abluft könnte zur Vorwärmung der Zuluft verwendet werden. Diese Möglichkeit wird von AP Rorschach aber ausgeschlossen, da tiefere Ablufttemperaturen zu Ablagerungen an den notwendigen Wärmetauschern führen würden; bleibt noch die WRG bei den TAR, resp. die Optimierung der bereits vorhandenen Einrichtungen. Der entscheidende Faktor ist dabei die optimale Anpassung der Temperaturniveaus der Wärmenetze an das Temperaturniveau des Reingases aus den TAR. Es wird deshalb eine Pinch-Analyse über die Periode mit konstanten TAR-Einstellwerten (September bis Dezember 2006) durchgeführt. Ziel ist es, eine optimale Auslegung der Wärmetauscher für die WRG zu ermitteln, d.h. jene Auslegung, die zu einer maximalen jährlichen Endenergieeinsparung führt.

Bedarfsreduktion

Eine Reduktion des Bedarfs an Prozessenergie bedeutet im Fall von AP Rorschach primär eine Reduktion der den Prozessen zugeführten Luftmenge. Da dies natürlich auch AP Rorschach bewusst ist, wird an dieser Thematik dauernd gearbeitet. Die Reduktion ist aber

ein komplexes Problem, da durch die Massnahme natürlich die Funktionalität nicht beeinträchtigt werden darf. Dies bedeutet, dass eine grosse Anzahl an Farben und Lacken konform den Verarbeitungsvorschriften des Herstellers verarbeitet werden können. Dies wird durch Produktionsvorschriften (PVO) der AP Rorschach sichergestellt. Ein PVO umfasst Dutzende von maschinenspezifischen Einstellungen. Angesichts der Komplexität des Problems muss hier klar festgehalten werden, dass eine seriöse Analyse von Optimierungspotentialen in diesem Bereich weit über den Rahmen dieses Projektes hinausgeht.

Die Reduktion der Netzverluste gehört auch in die Kategorie Bedarfsreduktion. Wie erwähnt, weist das Thermalölnetz zumindest messtechnisch sehr hohe Verluste aus. Es wurde hier vermutet, dass ein grosser Teil der nicht erklärbaren Verluste auf Messfehler bei den Verbrauchern zurückzuführen ist. Es wird empfohlen, die betreffenden Zähler zu überprüfen. Eine Möglichkeit, die Netzverluste zu reduzieren, ist die Reduktion der Netzlänge. AP Rorschach trägt sich mit dem Gedanken, das weitgehend zum 280°C-Netz parallel verlaufende 180°C-Netz abzuschalten.

TAR-WRG Potentiale

AP Rorschach betreibt zwei TAR-Anlagen, die von einem gemeinsamen Netz mit der Abluft (Rohgas) der Maschinen gespiesen werden. Die heutigen WRG-Einrichtungen der TAR wurden bereits erwähnt. Die WRG in die Wassernetze findet nach Austritt des Reingases aus dem zweiten Reaktor statt, wo die Luft also bereits abgekühlt wurde. Die hier typischen Temperaturen liegen zwischen 150 und 250°C. Für die WRG in das Thermalölnetz (280°C) muss Wärme aus der Brennkammer, also auf hohem Temperaturniveau, ausgekoppelt werden. Dies ist nur bei einer Brennkammertemperatur möglich, die über der Autothermgrenze liegt. Andernfalls müsste die nachfolgende Luft durch den in der Brennkammer befindlichen Brenner fossil nachgeheizt werden. Dadurch wird die TAR-Brennkammer zu einem Thermalölkessel. Dies kann sinnvoll sein, wenn der Nutzungsgrad dieses „Kessels“ höher liegt als bei den normalen Kesseln. Wärmeauskoppelung ist also nur bei Lösemittelkonzentration über einem bestimmten Wert möglich. Sie findet durch einen Bypass eines Teils des Volumenstroms statt, dieser wird dann über einen Wärmetauscher geführt, der sekundärseitig mit dem Thermalölnetz gekoppelt ist (vgl. Modellbeschreibung im Anhang).

Warmwasser-WRG

Die heutige WRG in die Wassernetze (100- und 90°C-Netz) läuft gut. Aufgrund der Angebots-/Nachfrageprofile kann die Einspeisung der TAR in die Warmwassernetze (100- und 90°C-Netz) deshalb nur durch eine Erhöhung der Nachfrage gesteigert werden. Eine Situationsanalyse hat als potentielle Niedertemperaturwärmebezügler die beiden folgenden Massnahmen ergeben:

- Luftvorwärmung in den Maschinen 3605 und 3606. Bei den beiden Maschinen ist die Zuluft heute nicht geführt, d.h. die Luft wird bei den einzelnen Kammern aus dem Raum bezogen. Auch sind beide heute nicht am Warmwassernetz angeschlossen. Von AP Rorschach wurde ermittelt, dass ein Zuluftanteil von 60% bei 3605 und 35% bei 3606 zentral gefasst werden könnte. Diese Luftmengen könnten also dann mittels Warmwassernetz vorgewärmt werden.
- Umstellung der heutigen Luftbefeuchtung (heute: Dampf ab Thermalölnetz) auf adiabatische Befeuchtung.

Thermalöl-WRG

Nur TAR 1 hat eine Thermalöl-WRG. Es wurde nun untersucht, ob diese optimal betrieben wird und wie gross das WRG-Potential bei TAR 2 ist. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Messdaten bezüglich Temperaturen und Ventilatorendrehzahlen der TAR analysiert. Auf Basis der Drehzahldaten wurde eine Abschätzung des Luftmassenstroms gemacht und die Temperaturen dienen zur Ermittlung der Autothermgrenze. AP Rorschach hat im Laufe von 2006 die Autothermgrenze nach unten korrigiert und zwar mit dem Ziel, die Restkonzentration von VOC in der Reingluft nicht über einen bestimmten Wert ansteigen zu lassen. In der Abb. 6 sind die Messwerte von Anfang und Ende 2006 (jeweils zwei Produktionswochen) dargestellt. Ab September 2006 blieben die Einstellwerte bezüglich der Grenztemperatur für die Brennerzuschaltung konstant. Für TAR 1 liegt diese Temperatur bei 780°C und für TAR 2 bei 760°C. In den Messwerten von TAR 2 sind in den Daten von Ende 2006 deutlich Perioden mit Reingastemperaturen > Autothermgrenze ersichtlich. In diesen Perioden wäre Thermalöl-WRG (Auskoppelung) möglich. TAR 2 besteht aus sieben Reaktoren, zur Analyse lagen Temperaturdaten von drei Reaktoren vor. Zur Ermittlung der für die Potentialberechnung verwendeten Brennkammertemperatur wurde der Mittelwert aus diesen Daten gebildet.

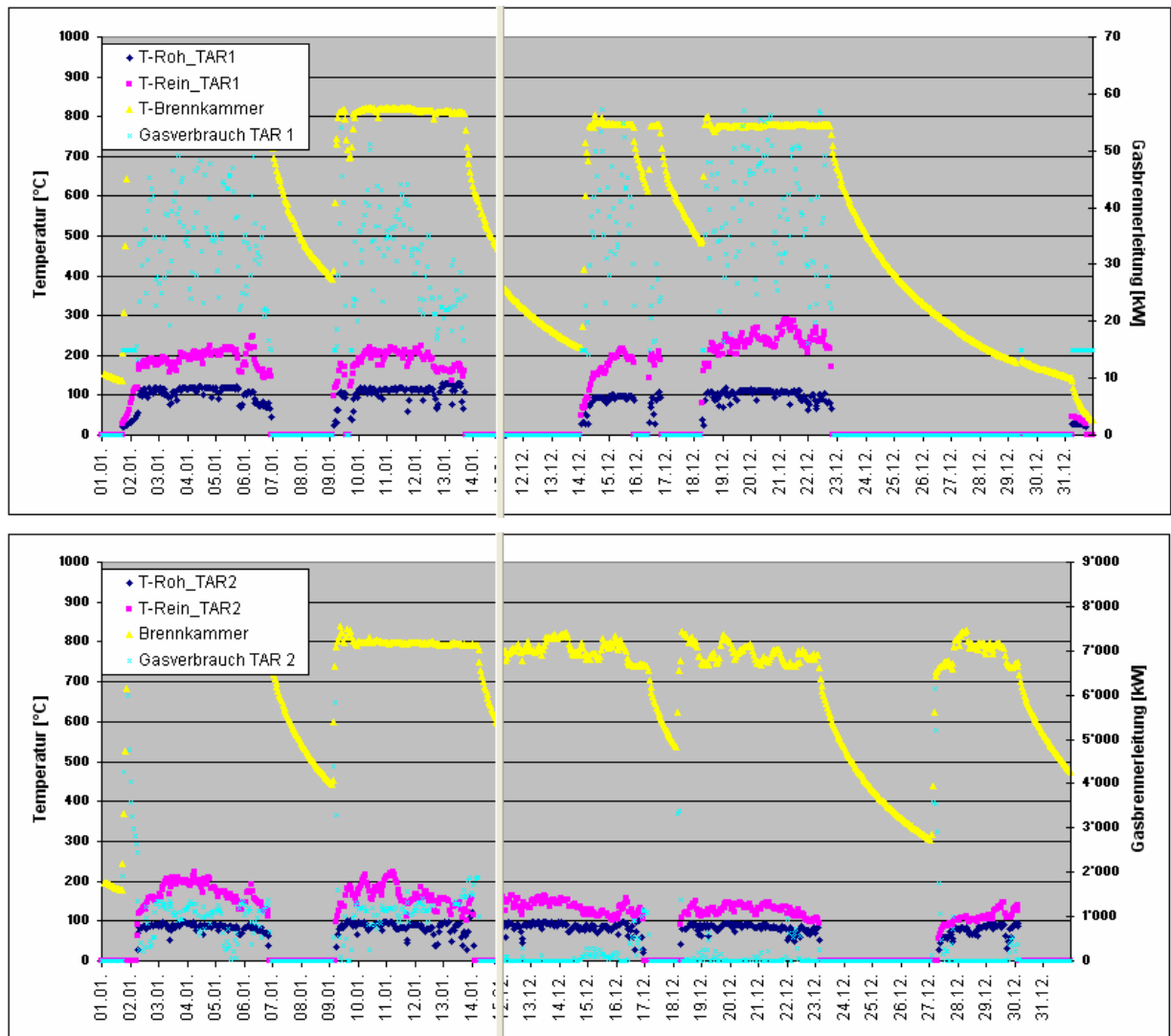


Abbildung 6: TAR-Temperaturen und Gasbrennerleistung aus den ersten und letzten zwei Wochen 2006. Bei TAR 1 und 2 ist deutlich zu erkennen, dass die Brennkammer-Soll-Temperatur in der Dezember Periode (rechter Teil der Graphik) tiefer liegt, als im Januar.

Legende: Roh: Eintrittstemperatur (Rohgas), Rein: Austrittstemperatur (Reingas).

Für die Berechnung der auskoppelbaren Wärmemenge muss auch der Luftmassenstrom bekannt sein. Die Luftkapazitäten von TAR 1 und 2 liegen bei 70'000 und 210'000 Nm³/h. Gemäss Hersteller der TAR (Langbein Engelbracht, Bochum) wird dieser Massenstrom bis zu einer Lufttemperatur nach den TAR (Reingas) von 200°C eingehalten. Bei höheren Reingastemperaturen ist der maximale Luftdurchsatz also kleiner, bei tieferen Temperaturen höher. Messungen von AP Rorschach haben gezeigt, dass die heutige Kapazität der TAR um 21% tiefer liegt. Es wird angenommen, dass der Grund für die Reduktion ein erhöhter Druckabfall in den Reaktoren ist. Alternativ kann der Massenstrom über die WRG-Leistung und deren luftseitigen Temperaturdifferenz berechnet werden. Die so ermittelten Werte liegen bei TAR 1 - in Perioden mit plausiblen Messwerten – noch um 25% tiefer als von AP Rorschach angenommen. Dieser Umstand wurde aber in den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

Die reale Rohgasmenge wurde nun über die Drehzahl der Ventilatoren geschätzt. Dabei wurde ein linearer Zusammenhang zwischen Drehzahl und Volumenstrom angenommen. Über die gemessene Reingastemperatur (vor den Ventilatoren) wurde die Korrektur bezüglich der Luftdichte im Verhältnis zu den Auslegebedingungen (200°C) vorgenommen und so der Massenstrom berechnet.

In den Abb. 7 und 8 sind der berechnete Luftdurchsatz sowie der Brennstoffverbrauch in den TAR dargestellt. Bei gleicher oder höherer Luftmenge hat der Brennstoffverbrauch deutlich abgenommen. Dazu haben zwei Massnahmen beigetragen:

- Reduktion der Autothermgrenztemperatur
- Konsequentes Betriebsmanagement schaltet ungenutzte TAR-Kapazität schnell ab (meist TAR1)

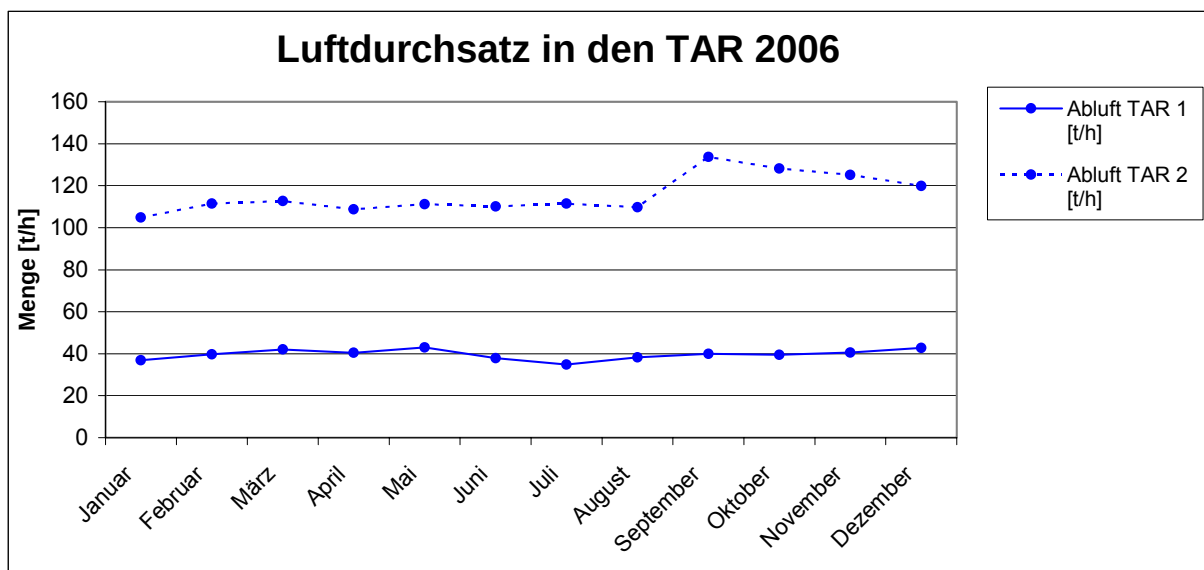


Abbildung 7: Aus den TAR-Ventilatorendrehzahlen abgeleiteter mittlerer monatlicher Luftmassenstrom (Abgas).

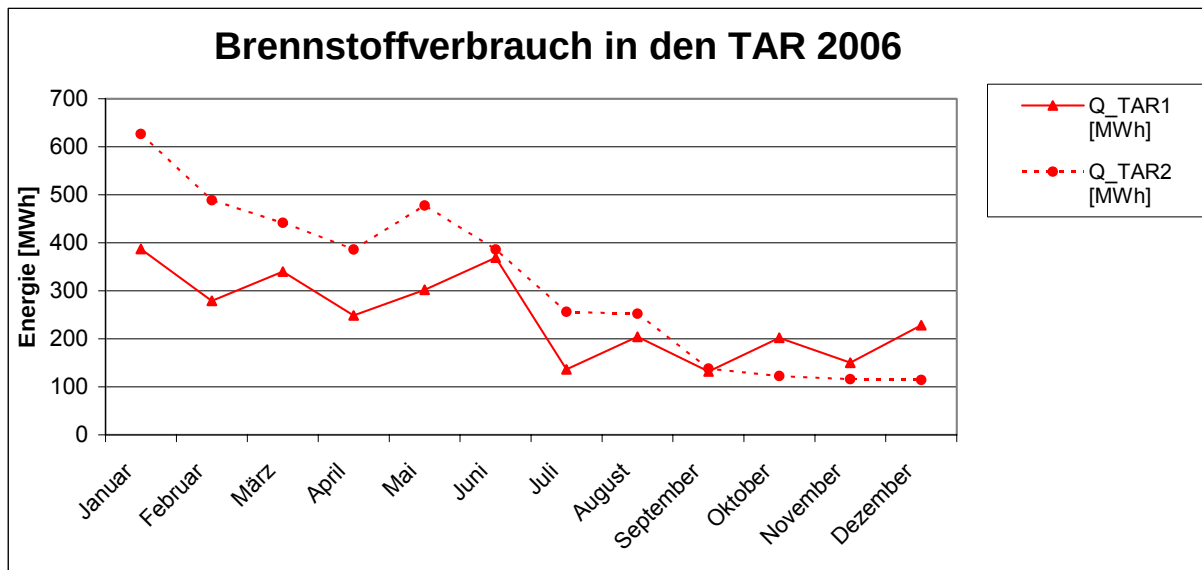


Abbildung 8: Monatlicher Brennstoffverbrauch der TAR.

Beim Brennstoffverbrauch der TAR besteht ein weiteres Optimierungspotential. Es wurde von AP Rorschach festgestellt, dass die höchste Temperatur in den TAR nicht in der Brennkammer, sondern in der im oberen Bereich ersten Schüttung auftritt, da die Oxidation bereits in dieser abgeschlossen wird. Ab dieser Zone nimmt die Temperatur bis zum Erreichen der Brennkammer wieder ab, da die Schüttung kühler ist als das Gas. Der Brenner wird aber über die Brennkammertemperatur zugeschaltet. Dass dies nicht die optimale Führungsgrösse ist, zeigt Abb. 9 deutlich. Zu erwarten wäre eine Obergrenze der VOC-Konzentration mit Brenneinsatz. Es zeigt sich aber, dass sich der Anteil der Fälle mit Brennerlaufzeit zur gesamten Häufigkeit einer Konzentration bei höheren VOC-Werten nicht abnimmt. Es kann somit angenommen werden, dass durch die Wahl der richtigen Führungsgrösse der Brennstoffverbrauch und eventuell auch die VOC-Konzentration im Reingas reduziert werden könnten. Eine Berechnung ist nicht möglich, da für eine Optimierung die VOC-Konzentrationen im Reingas bekannt sein müssten. Diese werden aber nur sporadisch gemessen.

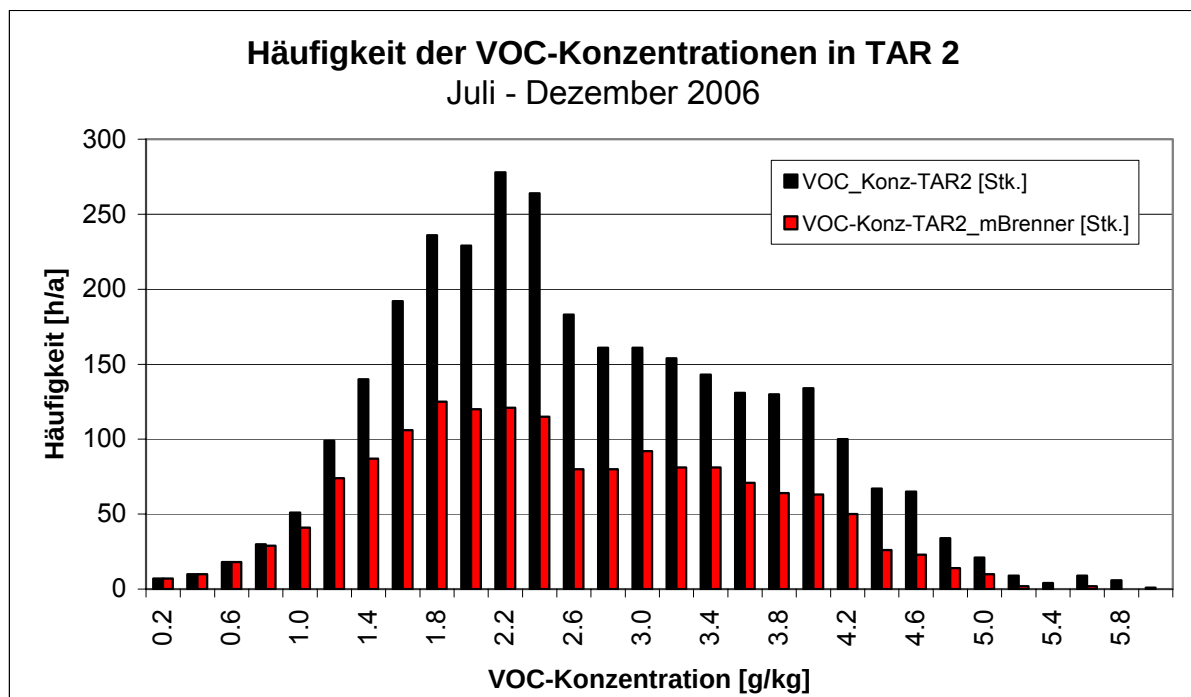


Abbildung 9: Die berechnete VOC-Konzentration im Rohgas korreliert nicht mit dem Nachheizen durch den Brenner.

TAR VOC-Durchsatz

Gemäss AP Rorschach betrug 2006 der VOC-Verbrauch um 2'900 t. Es wird davon ausgegangen, dass 2'700 t im Rohgas, welches über die TAR geführt wird, enthalten ist. Mittels der Temperaturdifferenz zwischen Roh- und Reingas kann auf die (oxidierte) Menge an VOC geschlossen werden. Es kann gemäss AP Rorschach von einem Brennwert der VOC von 8.3 kWh/kg ausgegangen werden. Die gemessene Temperaturdifferenz zwischen Roh- und Reingas muss um die Wärmemengen, welche durch die Gasbrenner zugeführt werden, nach unten, resp. durch die Thermalölauskoppelung in TAR 1 nach oben korrigiert werden. Eine Korrektur nach oben ergibt sich ebenfalls durch die berücksichtigten Abstrahlverluste von TAR1 (214 kW) und TAR2 (500 kW). Diese Berechnungen ergaben einen Wert von gut 2'000 t/a, resp. 75% des erwarteten Wertes.

Die Interpretation dieses Ergebnisses ist schwierig. Mögliche Gründe für die Abweichung sind, dass die realen Luftmengen höher sind oder der Brennwert des VOC tiefer. Letzteres kann aber weitgehend ausgeschlossen werden. Dynamische Effekte, welche durch stark schwankende VOC-Konzentrationen und Speichervorgänge in den TAR verursacht werden, sind eher unwahrscheinlich.

6. Massnahmen

TAR-WRG Potentiale

Mit AP Rorschach wurden die zu untersuchenden Massnahmen festgelegt. Die Pinch Analyse wurde für diese Fälle (Massnahmen) mittels Excel-Programm durchgeführt. Das Vorgehen wird in Kapitel 4.2 generell und im Anhang detailliert beschrieben. Die Resultate werden nachfolgend zusammengefasst (Details im Anhang). Dabei ist zu beachten, dass das WRG-Potential, welches mit der Auskoppelung ab TAR 2 verbunden ist, stark von der Richtigkeit des TAR-Modells abhängt. Welcher Fehler durch das sehr einfache Modell verursacht wird, ist zurzeit nicht klar.

A. TAR 2 Auskoppelung (Fall 1 gegenüber Fall 0, siehe Anhang)

Die Auskoppelung bei TAR 2 (ohne weitere Anpassungen) erlaubt eine WRG von nur **674 MWh/a**. Der Grund ist, dass im Winter der Pinch durch das WW-Netz bestimmt wird und so eine Auskoppelung ins Thermalölnetz keinen zusätzlichen Nutzen bringt.

B. Luftvorwärmung bei Druckmaschinen 3605 und 3606 (Fall 2 gegenüber Fall 1)

Die Luftvorwärmung bewirkt eine Verschiebung von Wärmeleistung vom TO-280°C Netz auf das WW-Netz. Die Berechnungen ergaben eine zusätzliche WRG von **618 MWh/a**. Diese WRG wird während der Sommermonate realisiert, da während dieser Periode der Pinch durch das TO-Netz bestimmt wird. Eine Verbesserung ist nur durch eine stärkere Absenkung der WW-Netztemperatur möglich.

C. Absenkung der WW-Netztemp. von 5 / 10 / 15 / 20 K (Fälle 3 gegenüber Fall 1)

Abb. 10 zeigt den WRG-Gewinn, der sich in Abhängigkeit der Netztemperaturabsenkung einstellt. Es zeigt sich, dass ab einer Absenkung von etwa 15 K (d.h. WW-Vorlauftemperatur $\leq 75^{\circ}\text{C}$) der Pinch im Winter am häufigsten durch das HW-Netz erzeugt wird. Das heisst, es sollte gleichzeitig eine Absenkung der HW-Netztemperatur vorgenommen werden - was von AP Rorschach bereits gemacht wurde. Der Punkt WRG = 7'645 MWh/a bei 70°C ersetzt dann den Punkt WRG = 7'244 MWh/a. D.h. die Absenkung der Temperatur des WW-Netzes um 20 K und des HW-Netzes um 15 K würde eine zusätzliche WRG von **1'639 MWh/a** gegenüber Fall 1 ermöglichen. Eine solche Absenkung scheint nicht möglich, da u.a. der Wärmeliefervertrag mit dem Nachbarunternehmen (Stürm Eisen) eine Absenkung nicht zulässt.

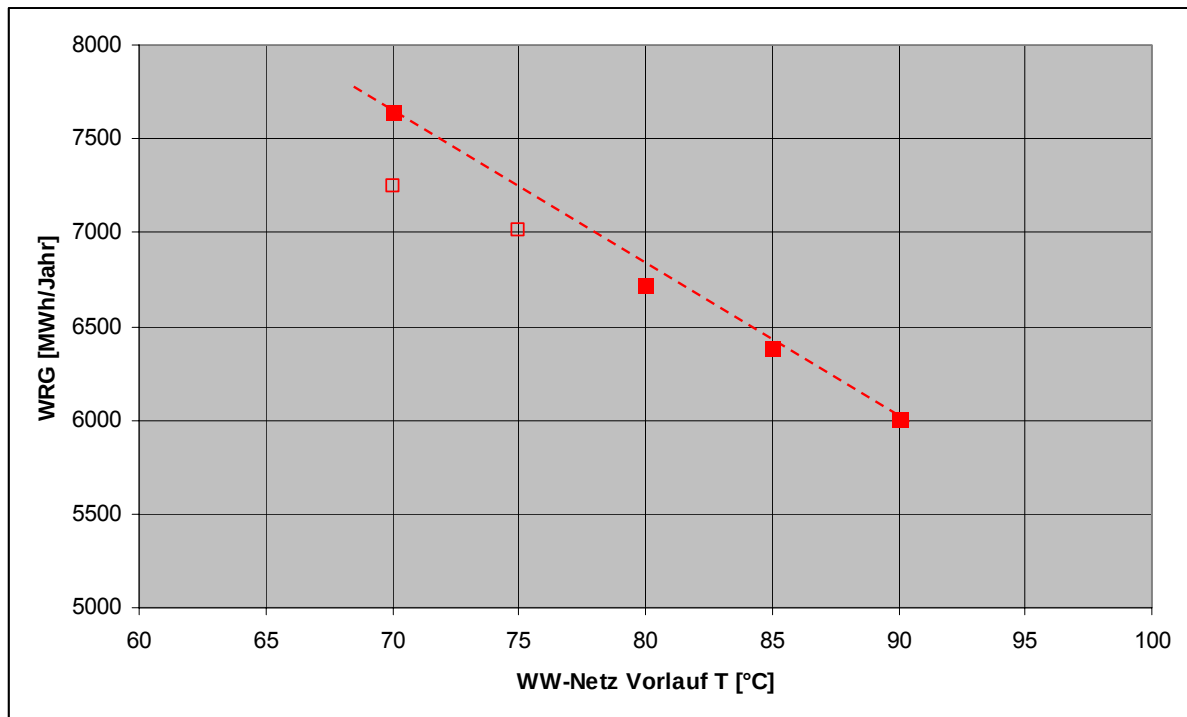


Abbildung 10: Abhängigkeit des zusätzlichen WRG-Gewinns von der WW-Netztemperatur.

D. Zusätzliches Niedertemperaturnetz für Lüftungen und Luftbefeuchtung (Fälle 5 gegenüber Fall 1)

Um die limitierte Absenkung der WW-Netztemperatur teilweise zu umgehen (jedoch angenommen WW bei 80/60°C, HW bei 95/80°C), könnte ein Tieftemperaturnetz (NT-Netz, Vorlauf 50°C, Rücklauf 35°C), gezielt für potentielle Niedertemperaturverbraucher konzipiert werden. Da die einzelnen Verbraucher auf WW- und HW-Netze nicht erfasst wurden, werden hier grobe Annahmen gemacht. Durch die Korrelation zwischen der Aussentemperatur und dem gesamten Wärmeverbrauch (Produktion und HLK) wird grob festgestellt, dass unter 16°C der Wärmeleitungsbedarf um etwa 100 kW pro Kelvin Aussentemperatur zunimmt. Da zur Zeit nicht klar identifizierbar ist, welchen Anteil der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung durch ein Niedertemperaturnetz tatsächlich abgedeckt werden könnte, wurden drei Varianten gerechnet:

Bei allen Fällen wird eine minimale Temperaturdifferenz von 40 K (Pinch) für die Wärmeübertragung von der warmen zur kalten Verbundkurve eingestellt (exklusiv 5d: 30 K).

- **Fall 5a:** Nur 1/3 der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung wird vom Niedertemperaturnetz abgedeckt. Diese Energiemenge muss entsprechend nicht mehr von den anderen Netzen abgedeckt werden. Es wird angenommen, dass sich die totale Reduktion der anderen Netze wie folgt aufteilt: 70% aus WW-Netz, 30% aus HW-Netz. Gegenüber Fall 1 vergrößert sich die WRG um **1'595 MWh/a**.
- **Fall 5b:** 2/3 der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung wird vom Niedertemperaturnetz abgedeckt (60% aus WW-Netz, 25% aus HW-Netz, 15% aus TO-280 Netz). Gegenüber Fall 1 vergrößert sich die WRG um **2'190 MWh/a**.
- **Fall 5c:** 85% der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung wird vom Niedertemperaturnetz abgedeckt (70% aus WW-Netz, 20% aus HW-Netz, 10% aus TO-280 Netz). Gegenüber Fall 1 vergrößert sich die WRG um **2'284 MWh/a**.

- **Fall 5d:** Ähnlich 5a, jedoch mit 30 K statt 40 K minimaler Temperaturdifferenz über dem Wärmetauscher. Dies ergibt gegenüber 5a eine zusätzliche WRG von **694 MWh/a.** (knapp 50% mehr als bei 40 K!).

Zu bemerken ist, dass bei Fall 5b und 5d der Pinch im Sommer wie auch im Winter durch das TO-280-Netz erzeugt wird. Es macht hier besonders Sinn, Wärmebezüger aus dem TO-280-Netz zum NT-, WW-, oder HW-Netz zu verschieben.

E. Nur ein Warmwassernetz

Die Struktur der WW- und HW-Netze ist recht komplex und ein Eingriff für eine Absenkung der Netztemperaturen nicht einfach zu realisieren. Statt zwei Netze anpassen zu müssen und ein neues Netz zu bauen, besteht die Möglichkeit, nur ein Netz zu betreiben und gewisse Verbraucher in Serie zu schalten (Kaskadenschaltung), um eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur zu erzeugen, und somit die TAR-WRG zu verbessern:

- **Fall 6a_NT-WW-HW (95/35°C):** Die zusätzliche WRG gegenüber Fall 1 beträgt **2'484 MWh/a**, resp. 3'158 MWh/a gegenüber Fall 0, Abb. 11 erläutert die gute Anpassung der kalten Verbundkurve, ins besondere im Winter, gegenüber Fall 0.
- **Fall 6b_NT-WW-HW ohne Auskoppelung bei TAR 2:** Die zusätzliche WRG gegenüber Fall 1 beträgt **1'727 MWh/a**, oder 2'401 MWh/a gegenüber Fall 0. Damit wird gezeigt, dass die Auskoppelung bei TAR 2 "nur" **757 MWh/a** bringt, obwohl durch die Anpassung der kalten Verbundkurve die Hochtemperaturwärme aus TAR 2 (auskoppelbare Reingasmenge) durch das TO-280°C-Netz optimal genutzt wird - und zwar im Sommer wie im Winter. Als Beweis wurde diese Hochtemperaturwärme (ab Brennkammertemperatur bis 260°C) berechnet: Die Wärmemenge liegt bei etwa **836 MWh/a**. Die effektive WRG im TO-280-Netz durch die Auskoppelung (757 MWh/a) beträgt also 91% der verfügbaren Wärme. Im Anhang wird gezeigt, dass in den meisten Fällen, wenn diese Hochtemperaturwärme verfügbar ist, auch eine genügend grosse Nachfrage ab TO-280°C-Netz besteht, so dass die Hochtemperaturwärme nicht verloren geht.

In einem nächsten Schritt muss mittels Machbarkeitsstudie das Konzept genauer untersucht werden. Es ist insbesondere zu analysieren, ob alle Wärmeverbraucher in der Kaskade einen mehr oder weniger gleichzeitigen Wärmebedarf aufweisen, oder ob sich die Bezugsprofile der Verbraucher stark unterscheiden – wenn ja, könnten eventuell Wärmespeicher eingesetzt werden. Konkret könnte eine 2-stufige Wärmekaskade organisiert werden: z.B. 95/60°C, und dann 60/35°C; es muss beachtet werden, dass ungefähr ein Gleichgewicht zwischen beiden Verbrauchergruppen gewährleistet wird. Als Tieftemperaturverbraucher dienen u. a. die Monoblöcke und die Luftbefeuchtung. Was die Investitionskosten anbelangt, sollte dieses Konzept Vorteile gegenüber der Anpassung der WW und HW und dem zusätzlichen NT-Netz aufweisen. Potentielle Nachteile sind die begrenzte Flexibilität (die gegenwärtige Komplexität der WW- und HW-Netze ist aber nicht vorteilhaft) sowie die Einschränkungen der Produktion für die Umsetzung/Inbetriebnahme. Als Nebeneffekt könnten Stromeinsparungen folgen (Umwälzpumpenleistung). Die Machbarkeit sowie die Wirtschaftlichkeitsstudie sprengen aus dem Rahmen dieses Projektes.

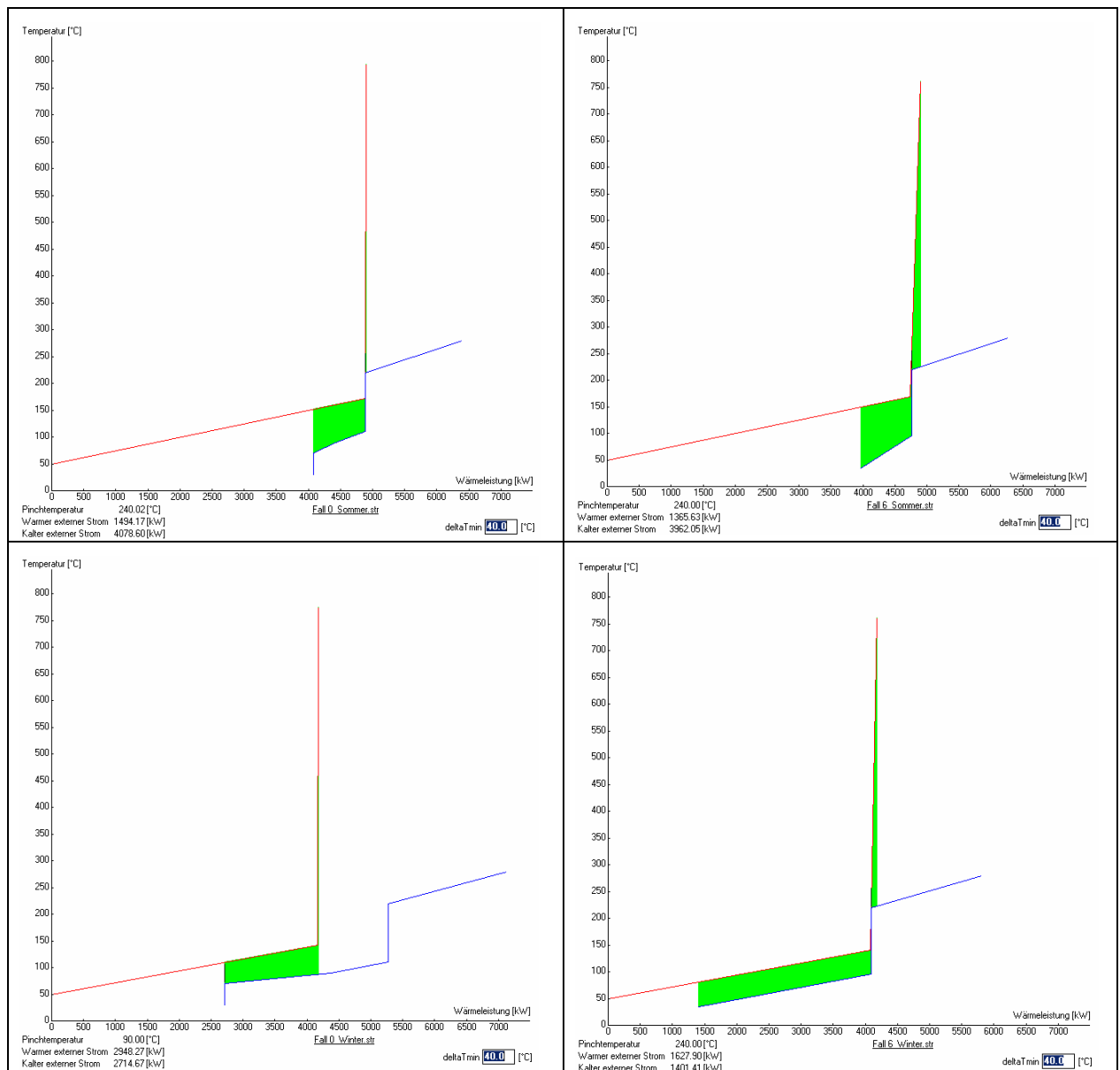


Abbildung 11: Spalte links: Typische Verbundkurven der gegenwärtige Situation (Fall 0) im Sommer und im Winter. Spalte rechts: Typische Verbundkurven einer verbesserten WRG (Fall 6) im Sommer und im Winter (siehe weitere Kommentare im Text – siehe auch Abbildungen 13 bis 15 im Anhang).

Netzverlustreduktion

Das 180°-Thermalölnetz hat eine Leitungslänge (Vor- und Rücklauf) von ca. 200 m. Wird davon ausgegangen, dass das gesamte Netz ausser Betrieb gesetzt werden könnte, ergibt sich eine rechnerische Einsparung auf Niveau Nutzenergie (ab Kessel) von ca. 280 MWh/a. Da die dadurch betroffenen Verbraucher an das 280°C-Netz angeschlossen werden müssen, ergeben sich entsprechende zusätzliche Netzverluste, welche die Einsparung auf ca. 250 MWh/a reduzieren.

Dämmung TAR

Nicht genauer untersucht wurde eine zusätzliche Wärmedämmung der TAR-Reaktoren. Diese haben im Betrieb relativ hohe Abstrahlverluste (Schätzung: TAR 1 210 kW, TAR 2 500 kW). Bei der Berechnung des Einsparpotentials wurde angenommen, dass durch die

Dämmmassnahmen ein Drittel der heutigen Verluste von TAR 2 als Bedarfsreduktion (Erdgas) wirksam werden.

6.1 Resultate / Einsparungen

In der nachfolgenden Tabelle sind die beschriebenen Massnahmen zusammengefasst und beurteilt. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurden die in Kapitel 5.1 erwähnten Annahmen bezüglich Energiepreis (Gas: 50 Fr./MWh) und Payback (fünf Jahre) verwendet. Zur Umrechnung der Nutzenergieeinsparung auf Endenergie (Gas) wurde ein Kesselnutzungsgrad von 80% angenommen, dieser entspricht recht gut den bei AP Rorschach festgestellten Werten.

Tabelle 2: Die Massnahmen im Überblick.

Massnahme	WRG [MWh/a]	Nutzenergie- reduktion zu 0 [MWh/a]	Energiekosten- reduktion [kFr./a]	Amortisierbare Investition [kFr.]	Beurteilung [-]
Heutige Situation: TAR 1 mit erweiterter Schüttung (Fall 0)	5'332				
A. TAR 2 Auskoppelung (Fall 1 gegenüber Fall 0)	6'006	674	42	211	Kaum rentabel: Investition: >> grösser als amortisierbar.
B. Luftvorwärmung bei Druckmaschinen 3605 und 3606 (Fall 2 gegenüber Fall 1)	6'624	618	39	193	Kaum rentabel: Investition: 800 - 1'000 kFr..
C. Absenkung der WW-Netztemperatur (Fälle 3 gegenüber Fall 1)					Kaum rentabel: Absenkung, welche ohne Investition machbar bereits realisiert. Weitere Anpassungen möglich.
Absenkung um 5 K	6'386	380	24	119	
Absenkung um 10 K	6'721	715	45	223	
Absenkung um 15 K	7'012	1'006	63	314	
Absenkung um 20 K	7'244	1'238	77	387	
D. Zusätzliches Niedertemperaturnetz für Lüftungen & Luftbefeuchtung (Fälle 5 gegenüber Fall 1)					Interessante Variante: In einem nächsten Schritt müsste die Machbarkeit geprüft werden.
1/3 der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung wird vom Niedertemperaturnetz abgedeckt	7'601	1'595	100	498	
2/3 der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung wird vom Niedertemperaturnetz abgedeckt	8'196	2'190	137	684	
85% der aussentemperaturabhängigen Wärmeleistung wird vom Niedertemperaturnetz abgedeckt	8'290	2'284	143	714	
ähnlich 5a, jedoch mit 30 K statt 40 K minimaler Temperaturdifferenz über dem Wärmetauscher	8'295	2'289	143	715	
E. Nur ein Warmwassernetz mit Kaskadenschaltung (Fälle 6 gegenüber Fall 1)	8'490	2'484	155	776	Interessante Variante: In einem nächsten Schritt müsste die Machbarkeit geprüft werden.
dito, aber ohne Auskoppelung aus TAR 2	7'733	1'727	108	540	
Ausserbetriebnahme 180°C-Thermalölnetz		250	16	78	Rentabilität kritisch: Genaue Investition sind in einem nächsten Schritt zu klären.
TAR 2 Dämmung (Ein Drittel der heutigen Verluste von TAR 2)		1'000	63	313	Interessante Variante: In einem nächsten Schritt müsste die Machbarkeit geprüft werden.

6.2 Empfehlung / Weiteres Vorgehen

Netzverluste

- Bestimmen der tatsächlichen Netzverluste im 280°C-Thermalölnetz. Da vermutet wird, dass die messtechnisch festgestellten Verluste durch ungenaue Energiemessungen zustande kommen, sind diese in einem ersten Schritt zu prüfen.
- Die berechnete Einsparung an Endenergie durch die Stilllegung des 180°C-Thermalölnetzes sind eher gering. Die Wirtschaftlichkeit muss in einem nächsten Schritt genau geprüft werden.

Pinch Analyse

Die Verbundkurven zeigen, in welche Richtung gegangen werden muss, um die WRG zu verbessern. Das speziell entwickelte Pinch-Programm ermöglicht die Berechnung von WRG-Szenarien über ein ganzes Jahr (Stundenschritt).

Zur Beurteilung der von AP Rorschach vorgesehenen Massnahmen (TAR-Nachrüstung, usw.) ist das Pinch-Programm von Vorteil, um realistische Einsparungen zu berechnen.

Leider sind zur Zeit die hier präsentierten Resultate noch zu unsicher und deshalb nicht direkt umsetzbar. Gründe dafür sind:

- Ein zuverlässiges TAR Modell bedarf zusätzlicher TAR-Messungen. Wir mussten mehrere kritische Parameter (Abluftmengen, Temperaturen, usw.) mittels Näherungsberechnungen bestimmen. Eine Energiebilanz der TAR mit ungenauen Komponenten führt zu sehr ungenauen Resultaten bezüglich des WRG-Potentials. Die getroffenen, vereinfachenden Annahmen des TAR-Modells bringen weitere Unsicherheit. Diese Fragen sind von Bedeutung, wenn es um die Auskoppelung bei TAR 2 oder die Modifikation von TAR 1 (Vergrössern der Schüttung) geht.
- Die Auslegungsparameter der TAR und der dazugehörigen Wärmetauscher wurden uns nur teilweise mitgeteilt. Entsprechende technische sowie wirtschaftliche Überlegungen sind daher nicht möglich.
- Seitens Wärmenachfrage auf WW- und HW-Netze sind die HLK-Anlagen zu wenig detailliert erfasst, um die Machbarkeit der vorgeschlagen Massnahmen zu klären.
- Die begrenzte Zeit, um die Vielfältigkeit der Betriebszustände und die Komplexität der Anlagen umfänglich zu berücksichtigen.

TAR-Dämmung

Das Einsparpotential ist interessant. Machbarkeit und tatsächliche realisierbare Einsparungen müssen mit dem TAR-Lieferanten geklärt werden.

Für das weitere Vorgehen empfehlen wir folgende Schritte:

- **Zukünftiger Bedarf:** Die vorliegenden Potential-Berechnungen basieren auf Daten aus der Periode September bis Dezember 2006. Es ist zu klären, wie sich die Nutzung der Verbraucher (i.b. der Maschinen) mittelfristig verändern werden.
- **TAR:** Weitere TAR-Messungen, um das Verhalten besser zu verstehen und das erstellte TAR-Modell entsprechend zu verifizieren. Hier besteht insbesondere noch Unsicherheit bezüglich der Frage, ob die hier verwendeten Messdaten den tatsächlich relevanten Werten entsprechen (i.b. maximale TAR-Temperatur). Die Frage nach einer Verbesserung der TAR-Wärmedämmung ist in diesem Zusammenhang ebenfalls zu klären. Eine engere Zusammenarbeit mit dem TAR-Lieferanten ist unerlässlich. Wenn dieser sein TAR-Modell nicht bekannt machen will, dann zumindest dessen Resultate, welche für die Pinch-Berechnungen notwendig sind. TAR und Wärmetauscher Parameter mitteilen. Regelstrategie der Brennkammertemperatur abklären.
- **WW-, HW-Netze:** Erfassen der Verbraucher, insbesondere der potentiellen Niedertemperaturverbraucher (HLK-Anlagen), um die Machbarkeit der vorgeschlagenen Massnahmen zu untersuchen.
- **Pinch Analyse:** Mit konsolidierten Daten die Berechnungen auf Netzebene aktualisieren. Zielorientierte Untersuchungen der Produktionsmaschinen, um Möglichkeiten zu identifizieren, das WRG-Potential im Niedertemperaturbereich besser auszunutzen, i.b. im Sommer (gilt für TO-280 gespeisten WT aber auch für Erdgas befeuerte Einbrennzonen). Dabei die Häufigkeitsverteilung der Soll-Temperaturen aus den PVO näher analysieren. Mehrere Varianten mit unterschiedlichen Pinch des Wärmetauschers an den TAR untersuchen: 40°K ist nicht unbedingt optimal, die Temperatur könnte höher oder tiefer liegen, was zu anderen Prioritäten bezüglich der Erweiterung der WRG führen kann. Die WRG ist sehr empfindlich auf den Pinch, weil die warme Verbundkurve eher "flach" ist (-70 MWh/a wenn der Pinch um 1 K erhöht wird). Dabei den Mehrverbrauch an Elektrizität berücksichtigen.

Die Umsetzung der Massnahmen sollten die Ausserbetriebsetzung der Ygnis-Kessel ermöglichen. Der Kessel Rietli 3 könnte als Reserve in Betrieb bleiben (oder umgekehrt, ein Kessel Ygnis, je nach Wirkungsgrad). So werden die Stillstandsverluste minimiert.

Soweit dies nicht mit dem Abgas aus den Kesseln möglich ist, könnte die Verbrennungsluft der Kessel mit dem 95°C Warmwassernetz vorgewärmt werden (insbesondere im Sommer). Da der Pinch im Sommer nicht durch das Warmwassernetz bestimmt wird, könnte das Netz auf höherem Temperaturniveau gefahren werden. Durch die dadurch verstärkte Luftvorwärmung durch das WW-Netz nimmt der Wärmebedarf des WW-Netzes entsprechend zu und somit wird eine höhere WRG erreicht.

7. Schlussfolgerungen

Für die ursprüngliche Zielsetzung, mittels Pinch-Analyse konkrete Massnahmen zu evaluieren, hat sich die Firma AP Rorschach als zu komplex bezüglich der zur Verfügung stehenden Ressourcen erwiesen. Obwohl es bei der warmen Verbundkurve nur um zwei Massenströme geht, ist die Pinch-Analyse nicht überflüssig. Dies insbesondere wegen der Vielfältigkeit der Betriebszustände, die eine Übersicht der Fälle verunmöglicht. Das TAR-Verhalten ist bei AP Rorschach von zentraler Bedeutung. Mit den vielen zur Verfügung stehenden Daten der AP Rorschach konnten einige für die WRG wichtige Parameter leider nicht berechnet werden. Die Komplexität der AP Rorschach stellt aber kein unüberwindbares Hindernis für die Pinch Analyse dar – es geht um ein Zeitproblem. Zu bemerken ist, dass die potentiellen Kosteneinsparungen durch die identifizierten WRG-Massnahmen viel grösser als die Kosten der Studien (auch mit einer Fortsetzung) sind.

Die Arbeit hat folgende Resultate hervorgebracht:

Methodik

- Ein vereinfachtes Model der TAR wurde entwickelt, um das Verhalten der TAR 2 mit Auskoppelung, bzw. der TAR 1 mit Nachfüllung der Schüttung, zu berechnen. Die Frage nach der Gültigkeit des Modells ist noch offen.
- Um die Vielfältigkeit der Betriebszustände mit der Pinch-Analyse behandeln zu können, wurde ein auf Excel basierendes Programm entwickelt, das für jede Stunde der Periode September bis Dezember 2006 die Zielwerte der WRG und die benötigte Wärmetauscherfläche berechnet. Statt Stundenverbundkurven zu berechnen, sollte lieber nur ein Paar Verbundkurve pro Betriebszustand (definiert durch ein PVO-Set) berechnet werden. Das würde aus Zeitgründen nicht umgesetzt.

Konkrete Erkenntnisse und Ergebnisse

- Die Auskoppelung von Hochtemperaturwärme ab TAR 2 ins TO-280°C-Netz ist zwar energetisch vorteilhaft, fraglich ist jedoch deren Wirtschaftlichkeit, da nur im Sommer eine Verbesserung erzielt wird (Energieeinsparung ca. 670 MWh/a, resp. Fr. 40'000.-/a). Im Winter bringt diese Massnahme keine Verbesserung, da die WRG im Winter durch die Niedertemperaturnetze (bei weitem) limitiert wird. (vgl. Abb. 14 im Anhang). Daraus werden die wohl hohen Umbau- und Nachrüstungskosten der TAR (nicht nur WT-Fläche) kaum zeitgerecht amortisiert. Die Auskoppelung wird erst Sinn machen, wenn der Pinch nicht mehr durch das WW-Netz bestimmt wird (Abb. 11, Spalte rechts). Sogar in diesem Fall ist die WRG durch Auskoppelung der TAR 2, gemäss unseren Pinch-Berechnungen, eher begrenzt (etwa 760 MWh/a). Es kann deshalb vermutet werden, dass die Auskoppelung bei TAR 2 kaum wirtschaftlich ist. Diese Vermutung hängt aber stark von der Gültigkeit des verwendeten TAR-Modells ab.
- Aus ähnlichen Gründen ist eine Absenkung der TO-280°C-Netze nicht anzustreben.

▪ **Die vorgeschlagene Strategie heisst:**

- **Schritt 1:** Absenken der WW-Netztemperatur, so weit ohne Investitionen möglich.
- **Schritt 2:** Aufbau eines neuen Niedertemperaturnetzes für entsprechende Verbraucher, anstatt Anpassen der Hochtemperaturverbraucher (grössere WT), um eine weitere Absenkung der Netztemperatur zu ermöglichen. Dies betrifft insbesondere die Lüftungsanlagen, die mit 45°C betrieben werden können. Diese Massnahme erlaubt, im Winter die WRG zu vergrössern. Eine Variante, welche eine Veränderung der Verbraucheranordnung bedingte, ist aus den bestehenden WW- und HW-Netzen ein einziges, 2-Temperaturstufen-Netz zu machen. Mit einer Temperaturkaskade 95/60°C und 60/35°C passt sich die kalte Verbundkurve fast optimal auf die warme Verbundkurve im Winter an (Abb. 11, Spalte rechts). Die WRG beträgt in diesem Fall etwa 2'500 MWh/a.
- **Schritt 3:** Um die WRG im Sommer zu verbessern, sollte die Frischluft der Trockner und Einbrennzonen, die jetzt mittels TO-280°C oder Erdgas betrieben werden, mit 95°C-Wasser vorgewärmt werden. Eine Analyse der Maschinen ist dabei unerlässlich.

Anhang

Prinzipschema der Energie- und Luftströme

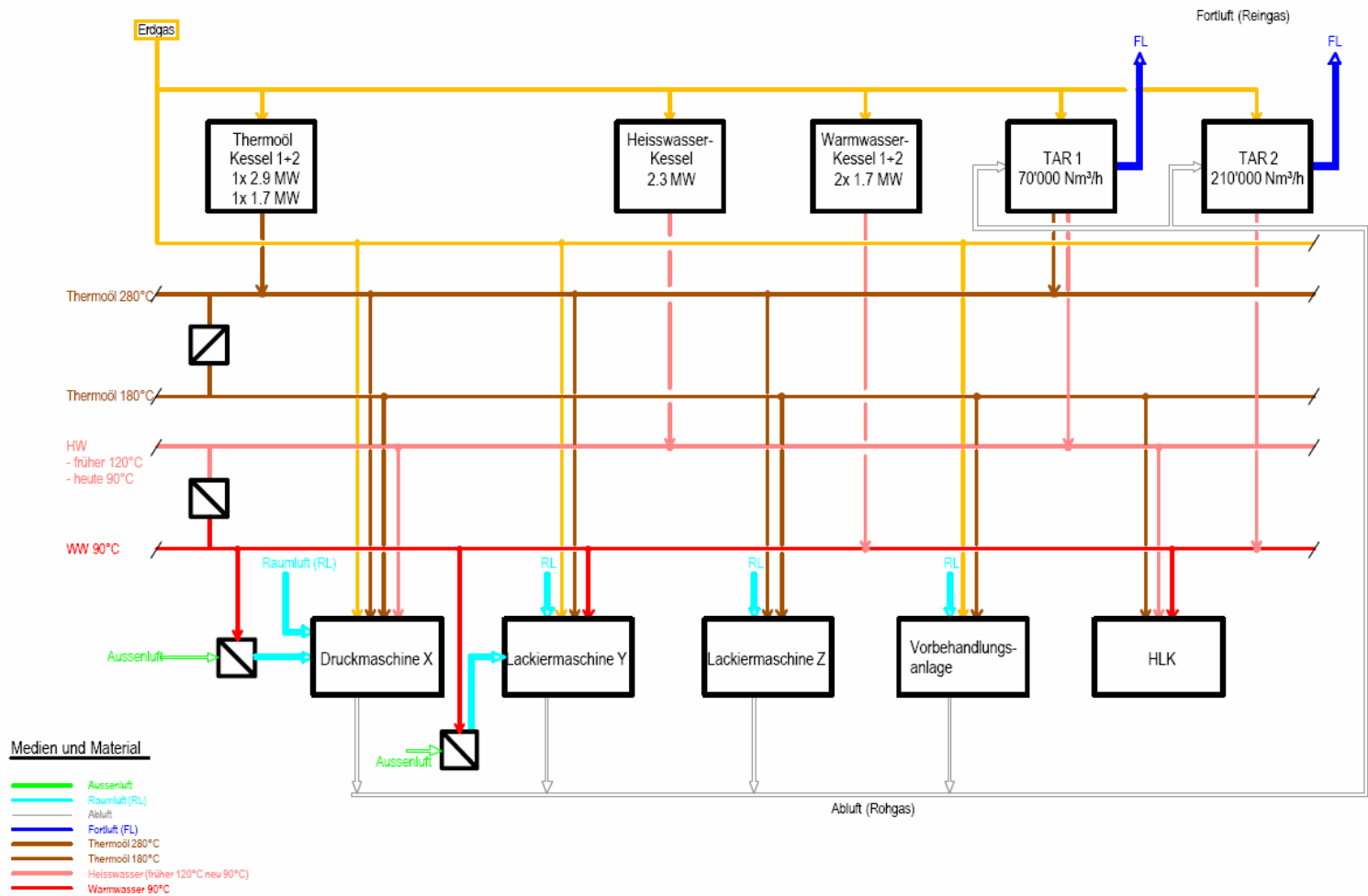


Abbildung 12: Prinzipschema der Energie- und Luftströme.

TAR-Modell

Abb. 13 veranschaulicht das in den Pinch-Berechnungen benutzte vereinfachte TAR-Modell. Die mit * versehenen Größen beziehen sich auf das Verhalten des aus der Brennkammer ausgekoppelten Reingases. Im Betriebsmodus ohne Auskoppelung, wenn die Brennkammertemperatur T_{BK} über der minimalen Brennkammertemperatur liegt, kann ein Teil des Reingasmassenstroms aus der Brennkammer ausgekoppelt werden. Dieser Teil darf so gross sein, dass die Brennkammertemperatur T_{BK}^* gleich dem minimalen T_{BK} -Wert ist. Das Rohgas wird dann nicht mehr auf T_{VV} (Temperatur vor der Brennkammer), sondern nur noch auf T_{VV}^* vorgewärmt - das ΔT durch Verbrennung der VOC bleibt dabei gleich. Die Wärmeleistung $Q_{WT\ TAR}^*$, die vom Reingas an das Rohgas übertragen werden muss, wird kleiner als $Q_{WT\ TAR}$. Der Reingasmassenstrom muss so reduziert werden, dass die Austrittstemperatur $T_{Reingas}^*$ ($< T_{Reingas}$) die gewünschte Wärmeleistung abgibt. Dies ist dann der Fall, wenn das Verhältnis der logarithmischen Temperaturdifferenzen dem Verhältnis der Vorwärmungswärmeleistungen entspricht. Der maximal auskoppelbare Reingasmassenstrom ist dann durch die Massenbilanz bestimmt: $M_{Reingas} - M_{Reingas}^*$. Dabei ist der Faktor UA eine thermo-physikalische Grösse, die durch die Auslegung der TAR definiert ist. Die Analyse des Verhaltens der TAR 2 hat jedoch gezeigt, dass UA sich in unterschiedlichen Bereichen bewegt, was wir mit unterschiedlichen Betriebsmodi der TAR erklären (im Rahmen eines anderen Pinch-Projektes wurde dies nicht festgestellt; dabei hängt UA nur von der Rohgasmenge ab). Diese unterschiedlichen Betriebsmodi sind vielleicht verantwortlich für das in Abb. 9 dargestellte Verhalten (keine klare VOC-Grenzwert für den autothermen Betrieb).

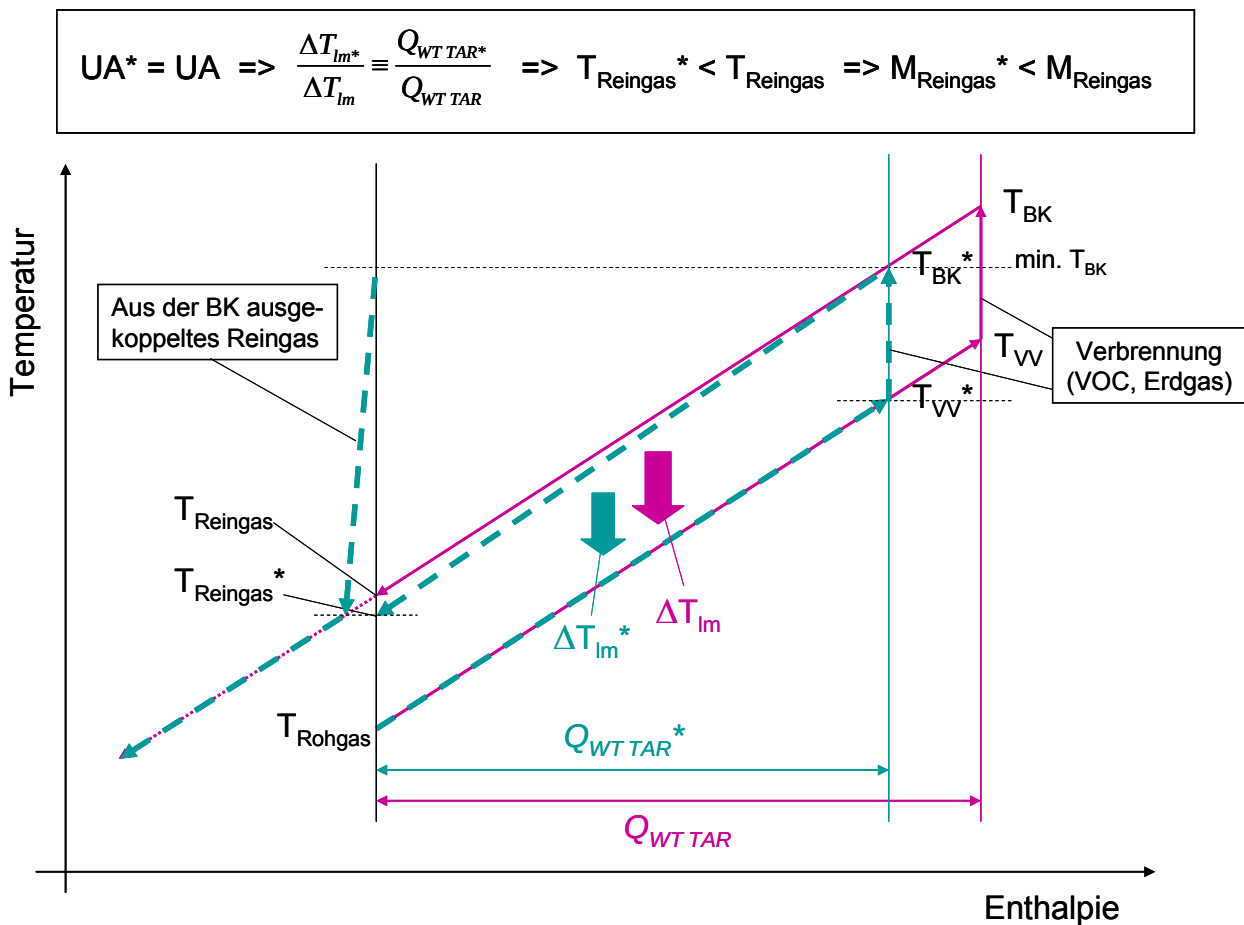


Abbildung 13: Prinzip des verwendeten TAR-Modells.

WRG

Die Stunden-WRG entspricht der Überlappung der Stunden-Verbundkurven (z.B. Abb. 11: Grüne Zone zwischen beiden Verbundkurven). Im Excel Programm wird der Parameter WRG durch den Solver iterativ so bestimmt, dass der Pinch zwischen den Verbundkurven dem festgelegten Wert (40 K) entspricht. Die gesamte WRG ist die Summe der WRG-Stundenwerte.

Pinch-Analyse

Die Pinch-Analyse wurde für unterschiedliche Fälle mittels Excel-Programm durchgeführt

▪ Input

- Warme Ströme der TAR: 1) ausgekoppeltes Reingas aus der Brennkammer (nur möglich im autothermen Betrieb) und 2) Restreingas (beide ausgedrückt in kg/s, Temperatur ab TAR, und Wärmeübergangskoeffizient), die die warme Verbundkurve bestimmen
- Die nachgefragten Wärmeleistungen aus jedem Netz (inklusive Verteilverlusten), ausgedrückt in kW, RL- sowie VL-Temperaturen und Wärmeübergangskoeffizient). Je nach Fall werden die Netze gruppiert, z.B. die Wärmeleistung der TO-180°C Netz wird dem TO-280°C addiert, das heisst, es wird aus wirtschaftlichen Gründen angenommen, dass TO-180°C nicht bei TAR zur Verfügung steht.
- Das dT_{min} , auf etwa 40°C eingestellt, da es um Gas-Flüssigkeit Wärmeübertragung bei Betriebsdauern über 4'000 h/a geht. Erfahrungsgemäss ist diese Wahl ein vernünftiger Kompromiss zwischen Investitions- und Betriebskosten.

▪ Output

- Die gesamte Wärmerückgewinnung (WRG) von den TAR und der übrige Wärmebedarf, der mit externer Energiezufuhr und Umwandlung (Kessel) zu decken ist.
- Die gesamte Wärmetauscherfläche, die für diese WRG nötig ist. Diese Fläche entspricht eigentlich der Summe der maximalen Flächen, die zwischen das Reingas aus der TAR und jedem zur Verfügung stehenden Netz eingebaut werden sollten. Es muss beachtet werden, dass diese gesamte Fläche mit dem Maximum der gesamten Fläche nicht übereinstimmt, da durch die Vielfältigkeit der Verbundkurven das Maximum der WT-Fläche nicht gleichzeitig für alle Netze auftritt.

Für gewisse Zeitperioden sind entweder einige Daten nicht vorhanden, oder die Daten sind nicht relevant (z.B. Temperaturwerte wenn die TAR nicht im Betrieb sind). Damit die berechnete WRG sinnvoll ist, wird die rückgewonnene Wärme, die während der relevanten Zeitperiode anfällt, berücksichtigt. Bei der eher strengen Selektion werden jedoch einige gültige Werte nicht berücksichtigt (i.b. bei TAR 1), so dass in der Realität die WRG etwas grösser sein würde. Die gleiche Selektion wird für die Berechnung der aktuellen WRG angewandt, so ist die Gültigkeit eines Vergleichs mit unten aufgeführter Variante gewährleistet.

Die nachfolgende Tabelle fasst die berechneten Fälle zusammen. Mit dem Fall 0 wird bewiesen, dass die Berechnungen mittels Pinch-Modell die gegenwärtige Situation gut modelliert (insbesondere ähnliche gesamte WRG – da aber die aktuelle WRG kleiner ist als die berechnete, ist dies ein Hinweis, dass der aktuelle Pinch grösser als 40°C ausgelegt ist). Es bildet eine kohärente Referenz für den Variantenvergleich. Was die WT-Fläche anbelangt, sind die Werte noch unsicher, da uns die Auslegungsdaten der bestehenden WT nicht bekannt sind.

Tabelle 2: Pinch-basierte berechnete Varianten. Ziel ist es, das Einsparungspotential und die Grenze der Investitionskosten zu bestimmen (berücksichtigt wird hier die Zeitperiode ab 4. September 2006 bis 31. Dezember 2006; jährliche Werte mittels Multiplikationsfaktor 3).

Variante	Wärmerückgewinnung		Wärmebedarf (Netze)	WT-Fläche	Nötige Anpassungen	Bemerkung
	MWh/a	%				
0: mit vorhandenen TAR Reingasströmen (d.h. ohne für TAR 2 die mögliche auskoppelbare Reingasmenge zu berücksichtigen)	5'332	100	13'210	1'411	Aktuelle Lage, mit TO-WT der TAR 1 (nach Nachfüllung mit keramischer Schüttung, dies bringt Erdgaseinsparung und ein wenig mehr Wärme im TO-Netz). Da der Pinch bei 40 K festgelegt wurde, ist diese WRG wahrscheinlich mit den bestehenden WT nicht möglich (real grösserer Pinch) – Angaben von Lieferant fehlen.	Gegenwärtig 5'007 MWh/a (davon netto 3'898 im WW-Netz, 1056 im HW-Netz, und nur 53 im TO280-Netz). Der Gesamtenergieverbrauch WW, HW und TO liegt bei 23'807 MWh/a, verglichen mit 17'528 MWh/a ab Kessel und 6'279 MWh/a abTAR WRG.
1: Ähnlich Fall 0, jedoch mit Auskoppelung bei TAR 2 und entsprechendem TO-WT	6'006	113	12'536	1'501	Gegenüber Fall 0, Umrüstung der TAR 2 und Einbau eines zusätzlichen TO-WT im ausgekoppelten Reingasstrom.	Sommer: Pinch durch TO-280 Winter: Pinch durch WW-Netz Wärme aus TO-Netz zu WW-/HW-Netze verschieben macht nur im Sommer Sinn

Variante	Wärmerückgewinnung		Wärmebedarf (Netze)	WT-Fläche	Nötige Anpassungen	Bemerkung
	MWh/a	%				
1_4N: Ähnlich Fall 1, jedoch mit WRG auch im TO-180°C Netz	6'202	116	12'340	1'692	Ähnlich Fall 1, mit zusätzlichem WT auf TAR 1 sowie TAR 2 auf TO-180°C Netz, und dazu Erweiterung des TO-180°C-Netz bis zu den TAR.	Sommer: Pinch durch TO-180 Winter: Pinch durch WW-Netz Wärme aus TO-Netz zu WW-/HW-Netze verschieben macht nur im Sommer Sinn
2 : Ähnlich Fall 1, jedoch mit teilweiser Frischluftvorwärmung für DM 3606 und DM 3605	6'624	124	11'918	1'465	Ähnlich Fall 1, mit Umrüstung der Maschinen 3605 und 3606 mit WW-WT in engen Platzverhältnissen (besonders bei oben liegenden Kanälen)	Sommer: Pinch durch TO-280 Winter: Pinch durch WW-Netz Wärme aus TO-Netz zu WW-/HW-Netze verschieben macht nur im Sommer Sinn
3.5 : Ähnlich Fall 1, jedoch mit 5°C Absenkung der Betriebstemperatur WW-Netz (85°C statt 90°C VL-T)	6'386	120	12'156	1'603	Ähnlich Fall 1, mit Anpassungen der WW-WT bei gewissen Verbrauchern (grössere WT-Fläche oder hydraulische Anpassungen). Zur Zeit nicht erfassbar. Am kritischsten die Nahwärmeleitung zur Lagerhalle Sturm Eisen. Vielleicht billiger Sturm an tieferes Temperaturniveau anzupassen, oder die Nahwärmeleitung anzupassen.	Sommer: Pinch durch TO-280 Winter: Pinch durch WW-Netz Wärme aus TO-Netz zu WW-/HW-Netze verschieben macht nur im Sommer Sinn

Variante	Wärmerückgewinnung		Wärmebedarf (Netze)	WT-Fläche	Nötige Anpassungen	Bemerkung
	MWh/a	%				
3.10 : Ähnlich Fall 1, jedoch mit 10°C Absenkung der Betriebstemperatur WW-Netz (80°C statt 90°C VL-T)	6'721	126	11'821	1'648	dito	dito
3.15 : Ähnlich Fall 1, jedoch mit 15°C Absenkung der Betriebstemperatur WW-Netz (75°C statt 90°C VL-T)	7'012	132	11'530	1'648	dito	dito
3.20 : Ähnlich Fall 1, jedoch mit 20°C Absenkung der Betriebstemperatur WW-Netz (70°C statt 90°C VL-T)	7'244	136	11'298	1'648	Vermutlich nicht ohne aufwändige und teure Anpassungen (je nach Reserve bei der Auslegung der Heizregister der Lüftungen, Radiatoren). Sollte jedoch abgeklärt werden.	dito
4 : Ähnlich Fall 1, jedoch mit Luftbefeuchtung auf WW-Netz statt TO-280°C Netz	6'134	115	12'410	1'466	Ähnlich Fall 1, Dampfbefeuchtung durch adiabatische Befeuchtung ersetzt.	Die Vergrößerung der WRG gegenüber Fall 1 scheint auf den ersten Blick klein, wenn der Verbrauch der Luftbefeuchtung im Winter bei 400 MWh/Monat liegt. Dies ist jedoch nicht erstaunlich, da die Luftbefeuchtung nur im Winter in Betrieb ist, und während dieser Periode der Pinch durch WW-Netz bestimmt wird und nicht durch das TO-280°C Netz.

Variante	Wärmerückgewinnung		Wärmebedarf (Netze)	WT-Fläche	Nötige Anpassungen	Bemerkung
	MWh/a	%				
3_20_15 : Ähnlich Fall 3_20, jedoch mit 15°C Absenkung der Betriebstemperatur HW-Netz (95°C statt 110°C)	7'645	143	10'897	1'601	Ähnlich Fall 3_20; gemäss AP Rorschach die Absenkung der Temperatur der HW-Netz unproblematisch (schon so betrieben)	Sommer: Pinch durch TO-280 Winter: Pinch durch WW-Netz Wärme aus TO-Netz zu WW/HW Netze verschieben macht nur im Sommer Sinn
5_0.33_NT50_WW80_HW95: 1/3 des Aussen-T abhängigen Wärmeverbrauchs wird durch NT 50/35°C übernommen (70% von WW und 30% von HW). WW 80/60°C; HW 95/80°C	7'601	143	10'941	1'687	Einbau eines Niedertemperaturnetzes, von der TAR durch Rietli III und II bis zur Rietli I, Anschluss neuer Heizregister der Lüftungen, adiabatische Befeuchtung, zusätzliche WT bei TAR 1 und TAR 2.	dito
5_0.66_NT50_WW80_HW95: 2/3 des aussentemperaturabhängigen Wärmeverbrauchs wird durch NT 50/35°C übernommen (60% von WW, 25 von HW, und 15% von TO-280). WW 80/60°C; HW 95/80°C	8'196	154	10'346	1'835	Ähnlich Fall 5_033_NT50, mit zusätzlicher Anpassung weiterer Verbraucher (z.B. Raumheizung: Klärung der effektiven Betriebstemperaturen).	Sommer: Pinch durch TO-280 Winter: Pinch durch TO-280 Wärme muss aus TO-Netz in WW-/HW-Netze verschoben werden

Variante	Wärmerückgewinnung		Wärmebedarf (Netze)	WT-Fläche	Nötige Anpassungen	Bemerkung
	MWh/a	%				
5_0.85_NT50_WW80_HW95 85% des aussentemperaturabhängigen Wärmeverbrauchs wird durch NT 5/35°C übernommen (70% von WW, 20% von HW, und 10% von TO-280). WW 80/60°C; HW 95/80°C	8'290	155	10'252	1'855	Ähnlich Fall 5_066_NT50, mit zusätzlicher Anpassung weiterer Verbraucher.	dito
5_0.33_NT50_WW80_HW95_30 Ähnlich Fall 5_0.33_NT50_WW80_HW95, jedoch Pinch 30°C statt 40°C	8'295	156	10'247	2'038	Gegenüber Falle 5_0.33_NT50, grössere Fläche der TAR-WT.	dito
6_NT-WW-HW: Nur ein Warmwassernetz, 95/35°C (Verbraucher in Kaskadenschaltung)	8'490	159	10'052	1'729	WW / HW Verbraucher sortieren und auf 95/60°C oder 60/35°C verteilen. Aufwändige Anpassung des hydraulischen Konzepts und der MSR-Technik Lüftungen und Raumheizung anpassen (stimmen die Auslegungstemperaturen der Raumheizung noch? Sanierung der Gebäudehülle geplant?). Anpassung der TAR-WT.	dito
6-NT-WW-HW ohne TAR 2	7'733	145	10'808	1'654	Ähnlich Fall 6_NT-WW-HW,	dito

Variante	Wärmerückgewinnung		Wärmebedarf (Netze)	WT-Fläche	Nötige Anpassungen	Bemerkung
	MWh/a	%				
Auskoppelung: Ähnlich Fall 6_NT-WW-HW, jedoch ohne Auskoppelung für TAR 2					ohne TO-280-WT auf TAR 2.	

Die Abb. 14 bis 16 stellen die Temperaturdifferenz zwischen der warmen und kalten Verbundkurven bei gewissen Knickpunkten der Verbundkurven dar (bei den Netzen geht es um die Rücklauftemperatur). Das kleinste dieser Temperaturdifferenzen entspricht dem Pinch, hier bei 40 K festgelegt. D.h. die Punkte auf der Linie 40 K wirken limitierend für die WRG. Diese Abbildungen begründen die Aussagen in der Spalte "Bemerkung" in der obigen Tabelle:

- Abbildung 14 zeigt, dass beim Fall 0 der Pinch nur während heißen Tagen durch das TO-Netz bestimmt wird. An den anderen Tagen wirkt der Pinch des WW-Netzes limitierend.
- Abbildung 15 zeigt, dass beim Fall 3_15 gegenüber Fall 0 der Pinch öfter durch das TO-Netz bestimmt wird
- Abbildung 16 stellt den Fall 6 dar, wo (mit Ausnahme der Woche 27.11 bis 4.12.2006) der Pinch immer durch das TO-Netz bestimmt wird. Wenn dieses WRG-Niveau erreicht wird, macht es keinen Sinn, nach TO-Netz-Verbrauchern zu suchen, die (teilweise) durch das Warmwassernetz gespeist werden könnten.

Weiter zeigt diese Graphik die Vielfältigkeit der Betriebszustände (eigentlich abhängig vom Set der aktiven PVO auf den Maschinen und den Witterungsverhältnissen).

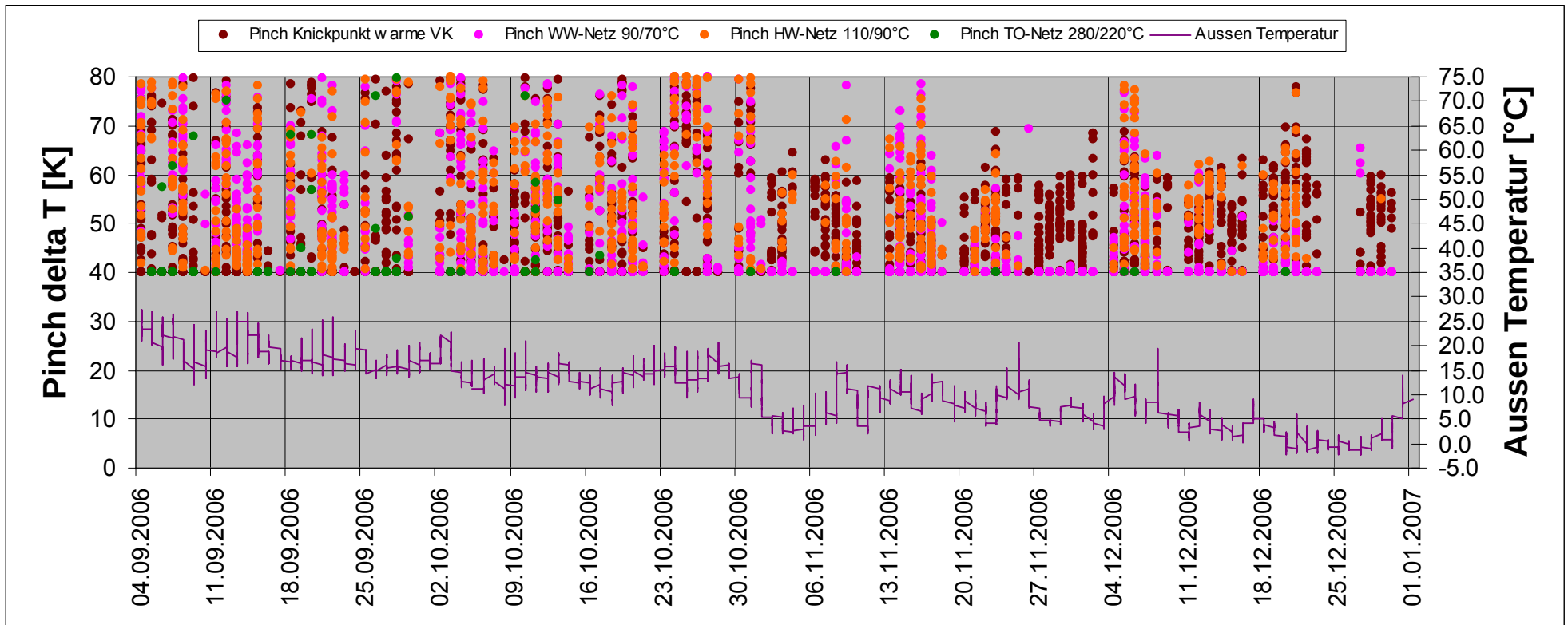


Abbildung 14: Pinch-Berechnungen beim Fall 0 (siehe weitere Kommentare im Text).

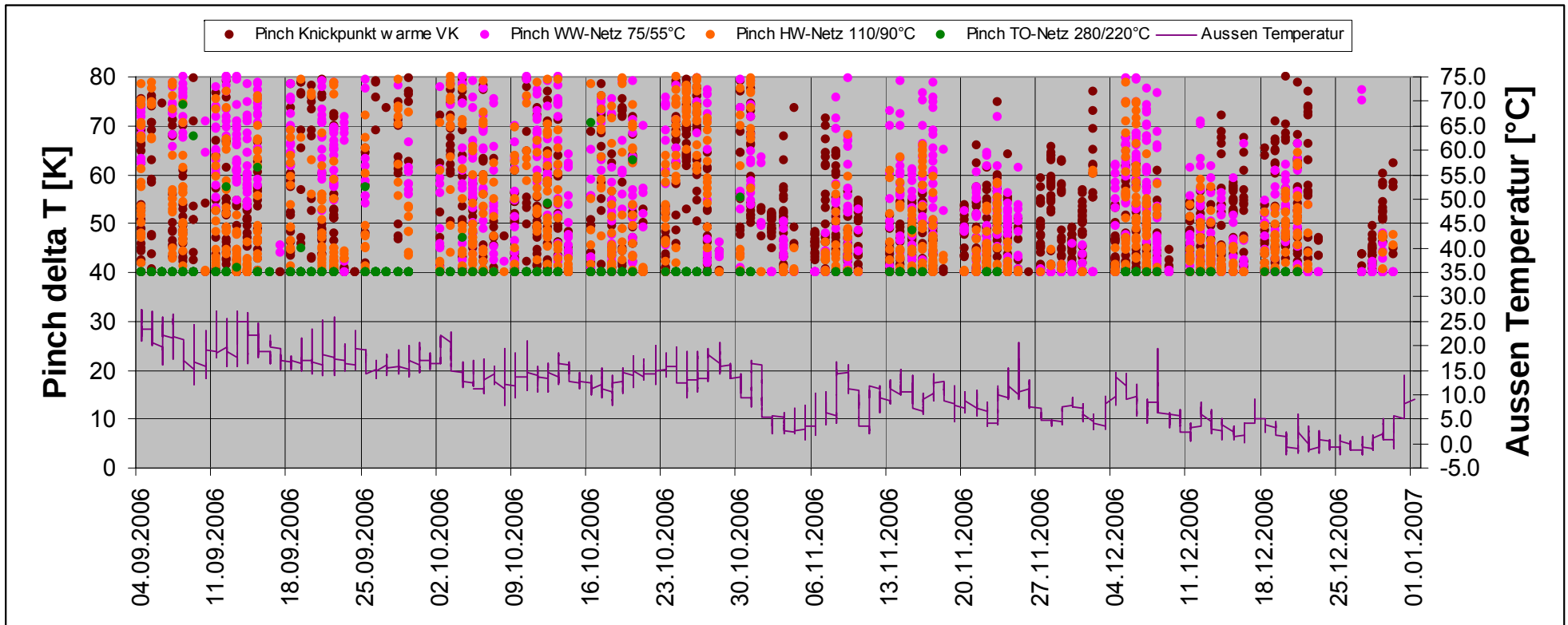


Abbildung 15: Pinch-Berechnungen beim Fall 3_15 (siehe weitere Kommentare im Text).

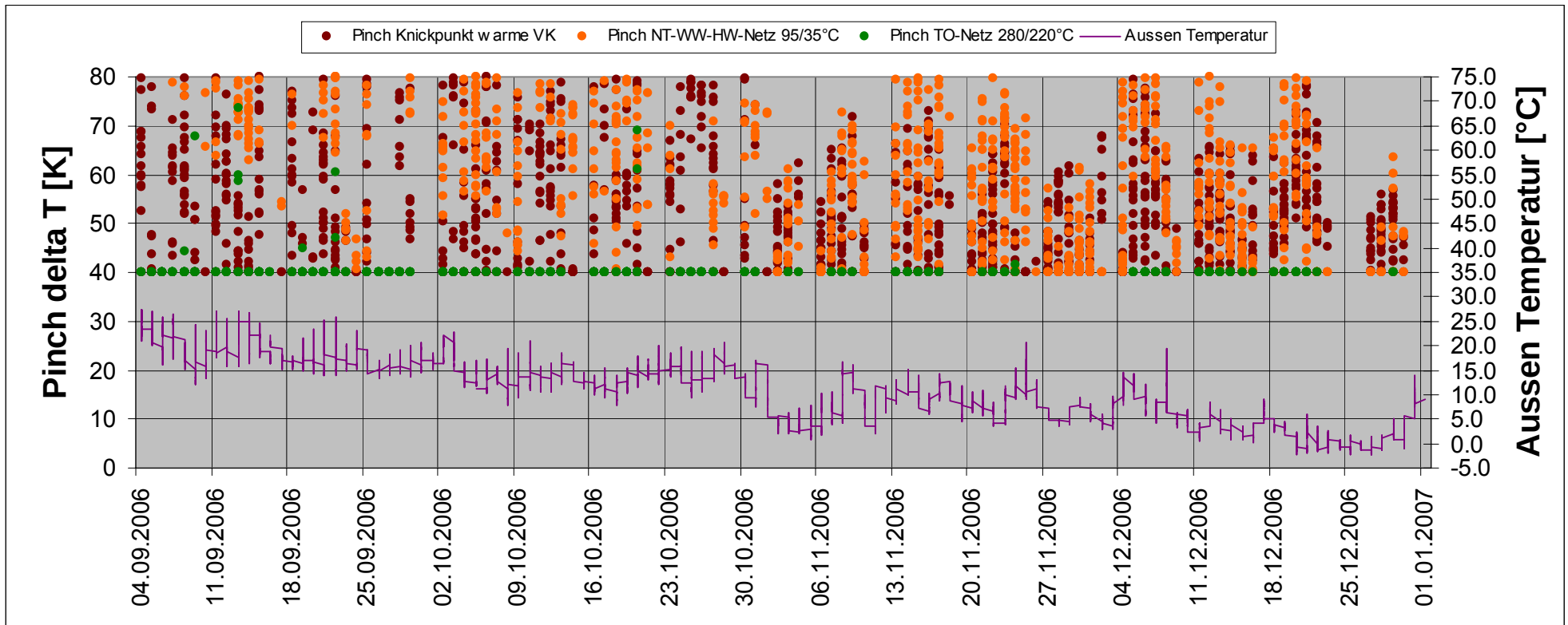


Abbildung 16: Pinch-Berechnungen beim Fall 6_NT-WW-HW (siehe weitere Kommentare im Text).

Abb. 17 zeigt, dass es nur sehr selten mehr Hochtemperaturwärme (von der Brennkammertemperatur bis 260°C) gibt als gleichzeitig vom TO-280°C-Netz nachgefragt wird. Die optimale Ausnutzung dieser Hochtemperaturwärme benötigt eine Prioritätskaskade (zuerst TAR, dann nur Bertrams oder Henschel-Kessel).

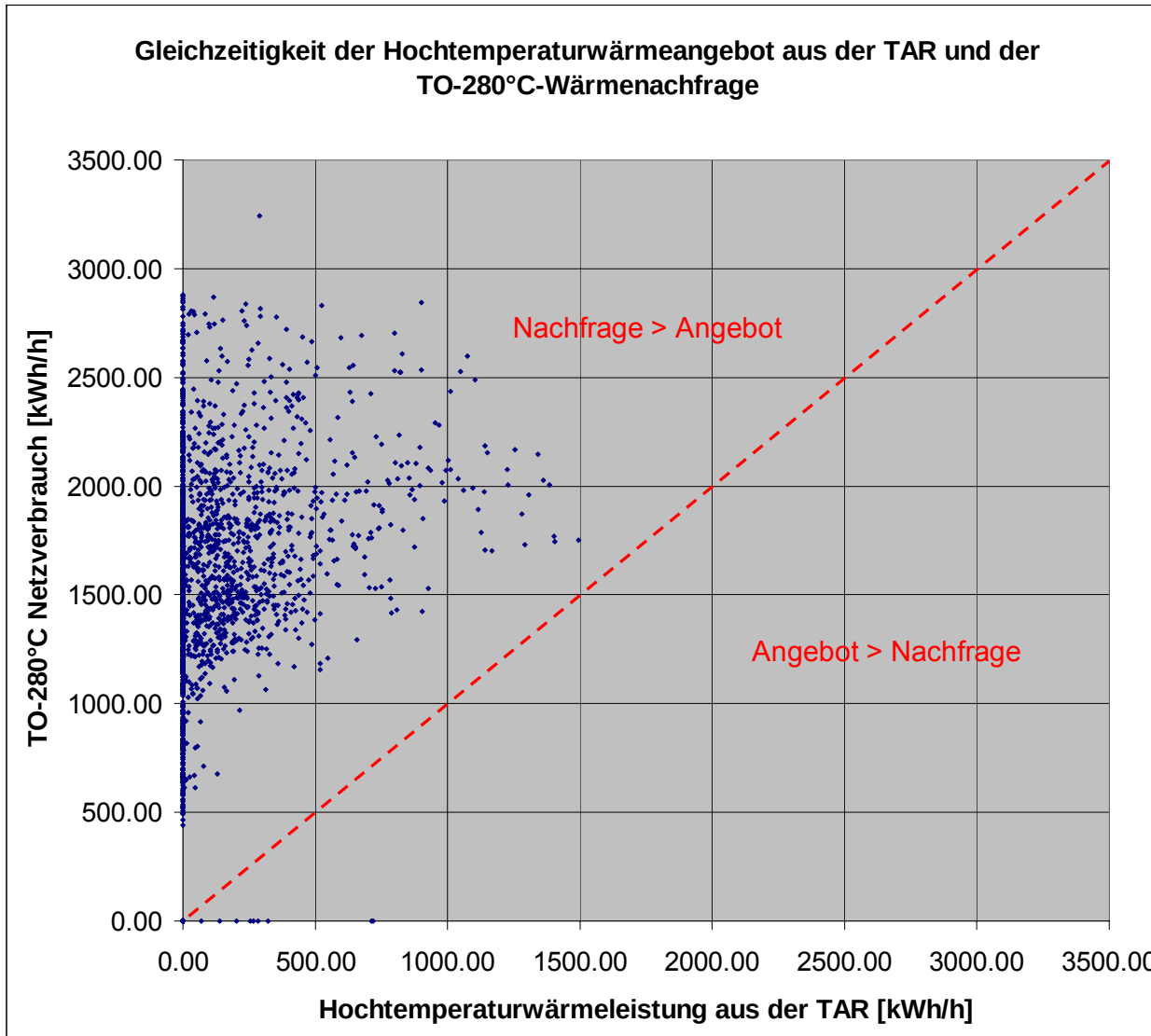


Abbildung 17: Aus TO-280°C-Netz nachgefragte Wärme versus Hochtemperaturwärmeangebot (siehe weitere Kommentare im Text).