



STROMPRODUKTION AUS ABWÄRME

MACHBARKEITSABKLÄRUNG UND VORPROJEKT

Jahresbericht 2006

Autor und Koautoren	Dr. Thomas Bürki
beauftragte Institution	Thomas Bürki GmbH
Adresse	Gerlisbrunnenstrasse 20
Telefon, E-mail, Internetadresse	044 / 887 24 40 thomas.buerki@bluewin.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	P:101914 / V:152359
BFE-Projektbegleiter	Martin Stettler
Dauer des Projekts (von – bis)	Okt. 2006 - Sept. 2007
Datum	

ZUSAMMENFASSUNG

Der ORC-Prozess für die Umwandlung von Abwärme in Strom wurde in den Grundzügen ausgelegt. Dazu wurden die Abwärmequellen in Form von Volumenstrom in Funktion der Zeit, Zusammensetzung und Temperatur bei zwei Firmen, welche als Pilotunternehmen in Frage kommen, erfasst. Nach dem Bestimmen der anfallenden Abwärmemenge wurde eine Turbine grob ausgewählt. Mit den dadurch gegebenen Eckdaten wurde der ORC-Kreislauf definiert und das organische Medium bestimmt. Das Medium ist ein in der Luft stabiles Kältemittel; es unterliegt daher gemäss ChemRRV der Bewilligungspflicht. Auf Basis des Life Cycle Assessments, das für diese Anlage erstellt wurde, erteilte das Bafu die nötige Bewilligung.

Nachdem dem Abschluss dieser Vorarbeiten und damit dem Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit wurde ein PC-Programm zur Berechnung und Optimierung der Prozesse entwickelt. So wurden erste technische Ergebnisse des ORC-Prozesses berechnet.

Die Anpassung der Turbine konnte noch nicht vorgenommen werden, da die Vorarbeiten mehr Zeit als geplant in Anspruch genommen haben.

Projektziele

Mit dem Projekt soll heute nicht nutzbare **Abwärme aus der Industrie genutzt und in Strom umgewandelt** werden. Damit soll beigetragen werden zur

- Steigerung der Energieeffizienz durch Abwärmenutzung
- Reduktion des Strombezugs ab dem Netz, damit Beitrag zur Reduzierung der Stromlücke
- indirekten Reduktion der CO₂-Emissionen

Die Ziele im Berichtsjahr waren:

- detaillierte Aufnahme der Wärmequelle im Pilotunternehmen
- Grobauslegung Prozess-Eckdaten
- Auswahl des organischen Mediums
- detaillierte Auslegung Dampfprozess
- Anpassung Turbine, Simulation
- Konstruktive Anpassung Turbine
- Prozessdynamik, Einpassen Turbine (Computer-Programm)

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Als Basis für die Berechnungen wurden die **Abwärmedaten bei zwei Pilotunternehmen aufgenommen** (Abgasmenge; grobe Zusammensetzung; Temperaturen; Fahrplan, d.h. Volumenstrom in Funktion der Zeit). Daraus wurde jeweils die Eckdaten für die auskoppelbare Wärmemenge bestimmt.

Die Abwärmequellen sind staubbeladene Prozessabluft (Temperatur rund 200 - 250°C) bevor sie in einen Kühler gelangt (siehe Abbildung 1); im Kühler wird die Luft heute auf maximal 100°C heruntergekühlt, damit sie in einem Textilfilter gereinigt werden kann.

Der betrachtete Kamin (siehe Abbildung 1) befördert das Rauchgas nach der Verbrennung in die Umgebung. Die Abgastemperatur liegt bei rund 110°C.



ABBILDUNG 1: LINKS: KÜHLTURM, IN DEM HEUTE DIE ABWÄRME VOR DEM STAUBFILTER AN DIE UMGEBUNG ABGEFÜHRT WIRD.
RECHTS: KAMIN, VON DEM WÄRME AUSGEKOPPELT WERDEN SOLL.

Da (u.a. aus Kostengründen) eine zur Nutzturbine umfunktionierte Turbolader-Turbine von ABB (siehe Abbildung 2) eingesetzt werden soll, ist der Druck am Turbinen-Eintritt auf rund 5 bar begrenzt. Mit diesen Temperaturen und Druck-Vorgaben war das organische Medium zu bestimmen.



ABBILDUNG 2: NUTZTURBINE AUF BASIS TURBOLADER VON ABB

Aus diesen Gründen musste ein fluorierter Kohlenwasserstoff gewählt werden. Dieser unterliegt der ChemRRV¹. Daher war eine Ausnahmegewilligung beim Bafu einzuholen. Grundlage dazu war ein **Life Cycle Assessment (LCA)** der Anlage [1].

Die Resultate wurden mit vier Bewertungsmethoden dargestellt:

- *Treibhauspotential* – bewertet ausschliesslich Substanzen die zur globalen Erwärmung beitragen.
- *Kumulierter Energieaufwand* – bewertet ausschliesslich nicht-erneuerbare Primärenergie. Es werden die direkten und die indirekten Energieverbräuche berücksichtigt.
- *Methode der ökologischen Knappheit 1997* – ist eine umfassende Methode zur ökologischen Bewertung. Berücksichtigt werden Emissionen von Substanzen, Energieressourcen und Abfälle (auch radioaktive).
- *Eco-indicator 99* – umfasst im Vergleich zur Methode der ökologischen Knappheit eine grössere Anzahl bewerteter Substanzen, zudem wird auch der Abbau von Ressourcen (Metall-Erze und fossile Energieträger) und die Landinanspruchnahme berücksichtigt.

Abbildung 3 zeigt die Resultate anhand des Treibhauspotentials (ein Ziel der ORC-Anlage ist die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen) und mit dem Eco-indicator 99 (ökologische Bewertung des produzierten Stroms, Ziel: Erhalt des Labels naturemade star).

Das Assessment lieferte wichtige Informationen zur Optimierung im Hinblick auf minimierte Gesamt-Umweltbelastung durch die ORC-Anlage (v.a. Materialwahl). Darauf abgestützt wurde die Bewilligung vom Bafu erteilt.

Das Anlagenkonzept wurde im Vergleich zum ursprünglichen Konzept modifiziert. Es wird neu ein Wasserkreislauf zwischen Wärmequelle und ORC-Prozess vorgesehen aus folgenden Gründen

- thermodynamische Gründe (Erzielen eines tiefen ΔT zwischen Abwärmequelle und organischem Fluid);
- kostengünstigere Bauweise des Verdampfers (überfluteter Verdampfer);
- einfacherer und für die Industrieanlage unbedenklicherer Leitungsbau (grosse Leitungslängen);
- einfacheres Einbinden mehrerer Abwärmequellen;
- geringerer Inhalt an organischem Fluid in der Anlage;

¹ ChemRRV = Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen. Das gewählte organische Medium ist ein in der Luft stabiles Kältemittel. Für diese bestimmt die ChemRRV in Anhang 2.10, Abschnitt 3.3. "Das Erstellen von stationären Anlagen mit mehr als 3 kg in der Luft stabilen Kältemitteln ist bewilligungspflichtig".

Trotz des damit verbundenen leicht erhöhten Komplexitätsgrades der Anlage wird davon ausgegangen, dass die Gesamtanlage kostengünstigeren Strom produziert.

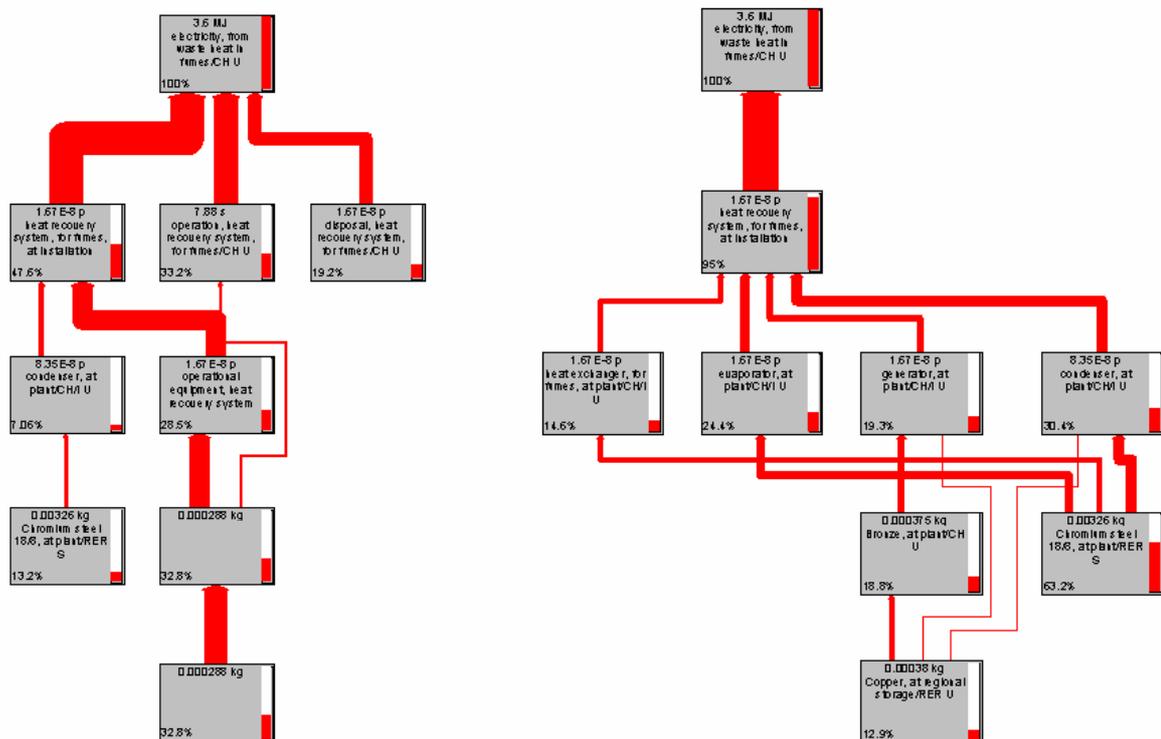


ABBILDUNG 3: RESULTAT DES LIFE CYCLE ASSESSMENTS. LINKS DARGESTELLT MIT DEM TREIBHAUSPOTENTIAL (GWP 100) RECHTS DARGESTELLT MIT ECO-INDICATOR 99

Damit waren die Voraussetzungen gegeben, um das PC-Programm zu entwickeln, mit dem die beiden Prozesse (variabler Abwärmefall aus dem Industrieprozess, Turbinenprozess) aneinander angepasst werden können, um schliesslich den Jahresverlauf zu simulieren. Dieses Programm ist noch nicht vollständig fertig entwickelt und ausgetestet. Erste Resultate zeigen aber, dass ein thermischer Wirkungsgrad von gegen 10% erreicht werden kann.

Die nächsten Prozessrechnungen sollen zeigen, wie sich die elektrische Leistung (und der Wirkungsgrad) verhalten, wenn die Umgebung der Anlage schlechtere thermodynamische Bedingungen aufzwingt (höhere Kondensationstemperatur in den Übergangszeiten, vor allem im Sommer).

Nationale Zusammenarbeit

Die **Zusammenarbeit** mit ABB (und in geringem Umfang Alstom) hat sich **bewährt**. Hauptproblem ist die Tatsache, dass im Grosskonzern ABB das ORC-Projekt einerseits mehrere Abteilungen betrifft (Koordinationsaufwand) und andererseits ein neues Marktgebiet darstellt, das einen "Nebenschauplatz" zum Hauptgeschäft darstellt. Infolge der dadurch niedrigen Prioritätseinstufung treten immer wieder Verzögerungen auf. Das Projekt ist aber insgesamt mit kleinem Rückstand auf den Zeitplan unterwegs.

Internationale Zusammenarbeit

keine

Bewertung 2006 und Ausblick 2007

Die Arbeiten in 2006 zeigten, dass die Anlage **grundsätzlich machbar** ist. Die elektrische Leistung und der Wirkungsgrad im günstigen Bereich (tiefe Aussentemperaturen) erreicht die erwarteten Werte. Die **Simulation des ORC-Prozesses über ein ganzes Jahr** und die genaue Einpassung der Turbine in den Jahreszyklus (und damit Bestimmung des einzusetzenden Turbinentyps) sind noch **ausstehend**.

Sowohl der **Prozessdesign** als auch die **Wahl des organischen Mediums** konnten **abgeschlossen** werden. Die **Bewilligung** für den Einsatz des Fluor-Kohlenwasserstoffs gemäss ChemRRV wurde vom Bafu **erteilt**.

Der **Dampfprozess** (ORC-Prozess) musste **mehrfach modifiziert** werden, einerseits wegen den durch die Turbine vorgegebenen Randbedingungen (v.a. maximales Druckverhältnis), andererseits um Gegebenheiten in der Industrieanlage zu begegnen (vermeiden langer Rohrleitungen, die mit dem organischen Medium gefüllt sind). Schliesslich wurde das definitive Anlagendesign mit einem Wasser-Zwischenkreislauf gewählt, um auch die potentiellen Risiken (Leckagen) der Anlage tief zu halten.

Die **konstruktive Anpassung der Turbine** und deren optimale Einpassung aufgrund des Jahresverlaufs der thermodynamischen Zustände ist noch ausstehend. Durch Verzögerungen der vorgelagerten Schritte ist das Projekt hier zeitlich im Rückstand.

Referenzen

- [1] **Ökobilanz Strom aus Abwärme**, esu-services. 2006