

## **Einsatz einer Wärmepumpe in einem metallverarbeitenden Betrieb zur Nutzung technologischer Wärme**

**André Preuß, FWU Ingenieurbüro GmbH**

### **Gliederung**

1. Ausgangspunkt und Herangehensweise
2. Energieströme im Ausgangszustand
3. Optimierungskonzept
4. Realisierung der Anlagentechnik zur Abwärmenutzung
5. Inbetriebnahme und Einregulierung
6. Erste Betriebsergebnisse
7. Thesen für ähnliche Projekte zur industriellen Abwärmenutzung

### **1. Ausgangspunkt und Herangehensweise**

Voranstellung:

Bei der im Folgenden dargestellten Abwärmenutzung in einem Industriebetrieb mit Hilfe einer Wärmepumpe handelt es sich im engeren Sinn nicht um die Nutzung von Erneuerbarer Energie entsprechend der Überschrift des Symposiums. Bei der vorgestellten Nutzung von technologischer Abwärme wird die Abgabe von Energie an die Umwelt vermieden und diese statt dessen direkt genutzt. Dabei wird die gleiche Anlagentechnik verwendet und es werden fossile Energieträger eingespart.

Die Purkart Systemkomponenten GmbH & Co. KG ist ein metallverarbeitender Betrieb in Großröckerswalde im Erzgebirge.

Es werden insbesondere Bleche bearbeitet und beschichtet sowie komplette Systeme montiert.

Der Jahresenergiebezug Gas beträgt ca. 3.960 MWh, der Jahresenergiebezug Strom ca. 2.860 MWh.

Neben der erforderlichen Energie für die Gebäudebeheizung und für Beleuchtung werden folgende technologische Energien benötigt:

Erdgas:

- für die Bäderbeheizung zum Entfetten und Phosphatieren von Teilen und
- für direktbefeuerte Trocken- und Einbrennöfen

Elektroenergie:

- für Maschinenantriebe
- für Laserschweißanlagen
- für Kompressionskältemaschinen für die Kühlung der Laserschweißanlagen und
- für die Druckluftherzeugung

Nach einer Betriebsanalyse (Untersuchung im Rahmen des sächs. Gewerbeenergiepasses der SAENA) wurden Einsparpotenziale ermittelt und ein Maßnahmenplan zur Kostenreduzierung erstellt. Es erfolgte die Planung der erforderlichen energieeffizienten Anlagentechnik und anschließend die Realisierung mit Inbetriebnahme und Probetrieb. Das Projekt wurde von der SAB gefördert. Wirtschaftliches Ziel der Effizienzmaßnahmen ist eine Amortisation innerhalb von 3 bis 4 Jahren. Das Projekt befindet sich derzeit in der Phase der Arbeiten zur Anlagenoptimierung.

## 2. Energieströme im Ausgangszustand

Die Gaskesselanlage versorgt technologische Verbraucher (Bäder zur Oberflächenbehandlung von Blechen) und die Gebäudeheizung mit Heizungswasser (Abbildung 1). Die Bestandsparameter waren 90/70°C, wobei die Bäder auf einer Temperatur von max. 55°C gehalten werden müssen. Die installierte Kesselleistung betrug ca. 2 x 2MW, die benötigte Jahresenergie ca. 1.960 MWh. Die Wärmebehandlungsöfen sind Direktverbraucher von Erdgas und haben einen Verbrauch von ca. 2.000 MWh/a. Die Laserschneidautomaten besitzen eine Kühlung mittels Kompressionskältemaschinen und benötigen hierfür ca. 200 MWh/a Elektroenergie. Die erforderlichen Temperaturen des Kühlwassers betragen 25/30°C. Die Bestands- Druckluftkompressoren besaßen einen Verbrauch von ca. 308 MWh/a.

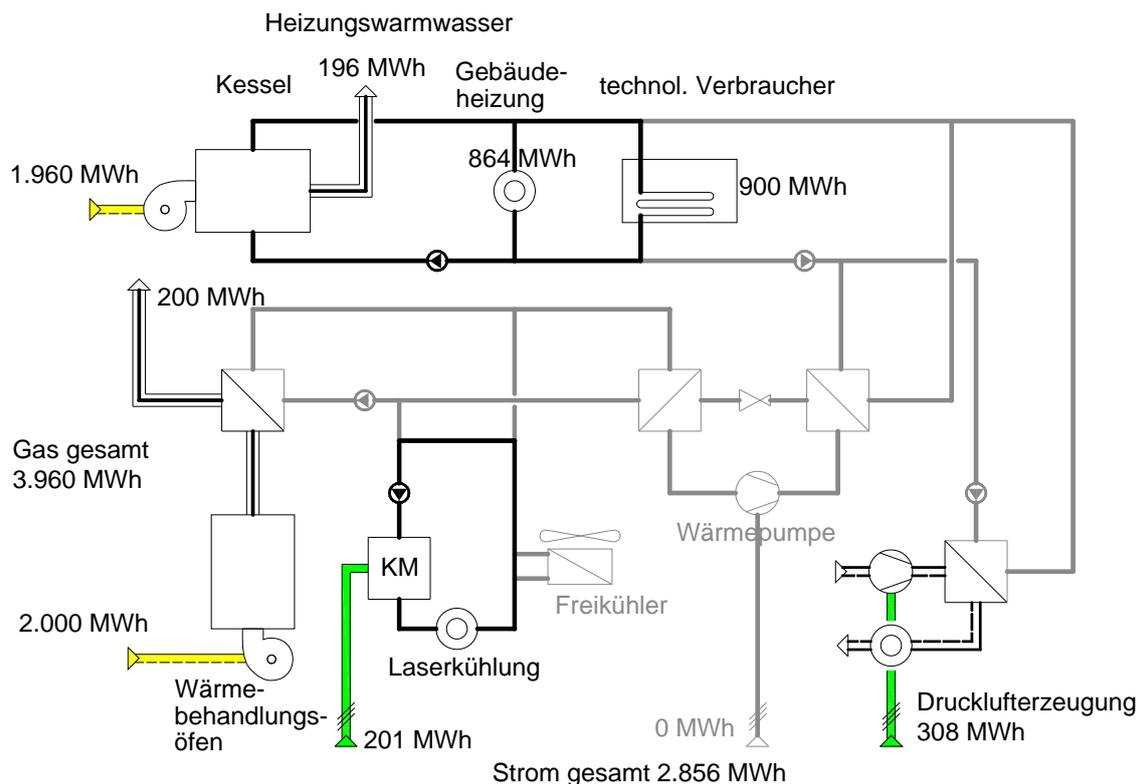
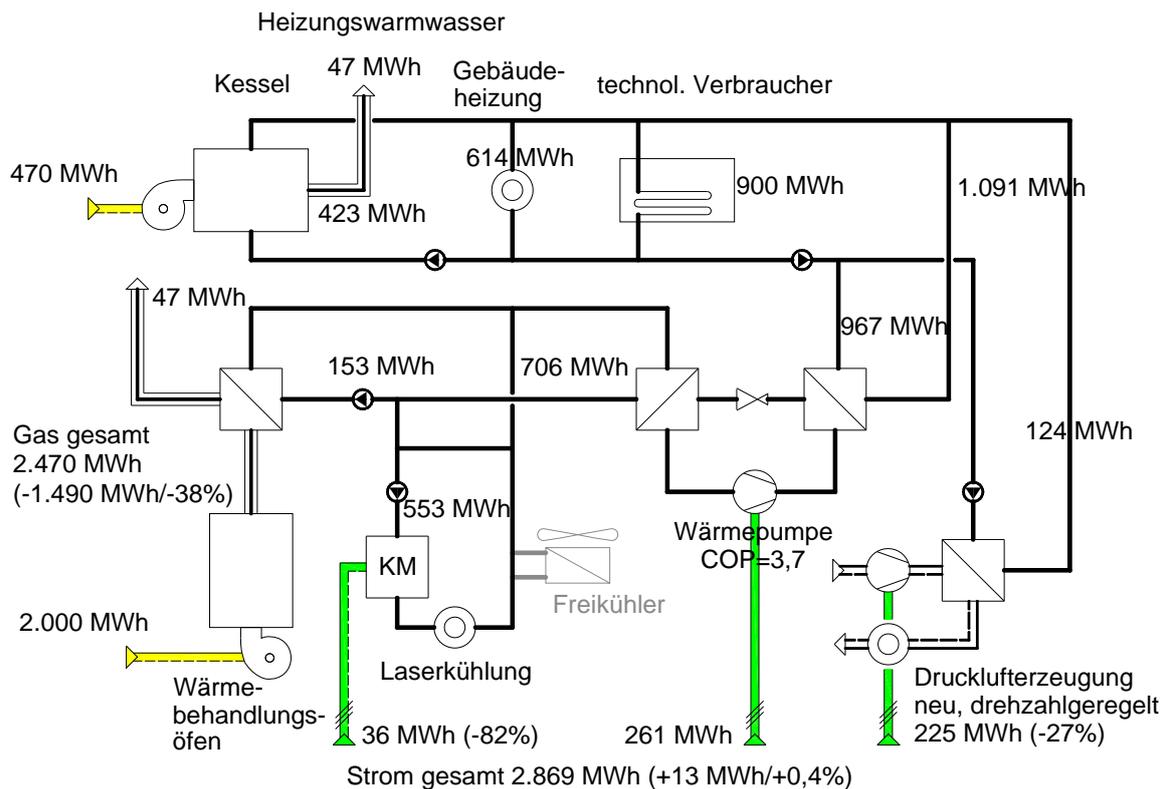


Abbildung 1: Energieschema Ausgangszustand (schwarz: Bestand, grau: neue Anlagentechnik)

## 4. Optimierungskonzept

Es wurde ein Konzept mit Wärmequellen zur Nutzung im Niedertemperaturbereich mit Hilfe einer Wärmepumpe und Wärmequellen im mittleren Temperaturbereich zur unmittelbaren Anwendung entwickelt (Abbildung 2).



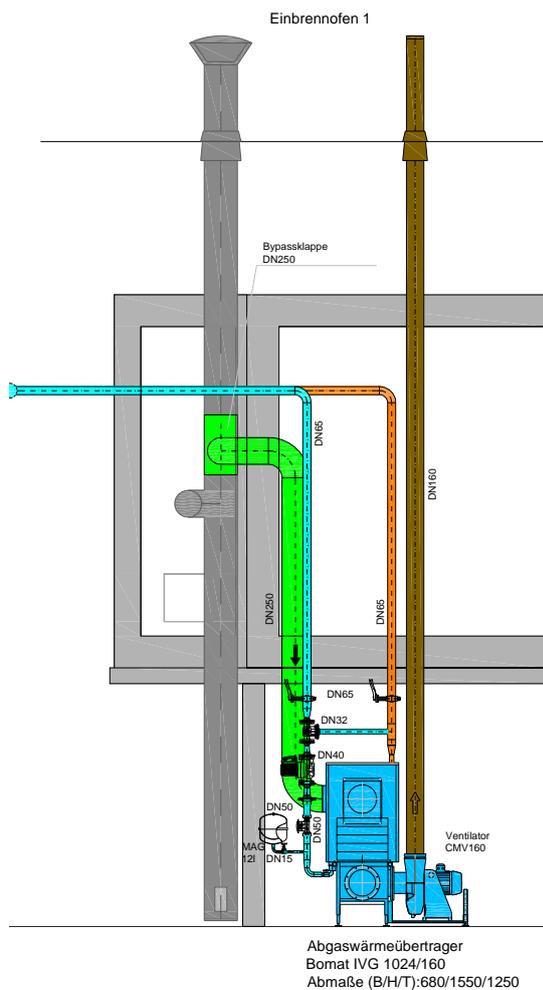
**Abbildung 2: Energieschema SOLL-Zustand**

Durch Abwärmeauskopplung aus den Rauchgasen der Wärmebehandlungsöfen inkl. Nutzung der Kondensationswärme und Bereitstellung der Abwärme aus den Kühlkreisläufen der Kompressionskältemaschinen der Laserschneidautomaten soll der Wärmepumpe ein Input von ca. 700 MWh/a auf einem Temperaturniveau 30/25°C zur Verfügung gestellt werden. Mit einem COP von 3,8 ist ein Output von ca. 970 MWh/a vorgesehen. Direkt in das Heizungssystem eingebunden werden können 125 MWh/a aus der Wärmerückgewinnung der Druckluftkompressoren. Aus der Sanierung Druckluftherzeugung resultiert auch eine deutliche Einsparung an Elektroenergie. Gemeinsam mit den Einsparungen für die Antriebe der Kältemittelkompressoren der Laserkühlung wird der Strombezug für den Wärmepumpenantrieb ausgeglichen. Insgesamt werden Einsparungen von ca. 1.490 MWh (-38%) Erdgas pro Jahr prognostiziert.

## 5. Realisierung der Anlagentechnik zur Abwärmenutzung

### 5.1 Wärmerückgewinnung Öfen

Die Öfen zur Wärmebehandlung (Einbrenn- und Trocknungsprozesse) werden mit Erdgas beheizt. Das Abgas verließ die Öfen mit 200 bis 300°C bisher ungenutzt über Kamine. Die Einbindung in die Abgassysteme der Wärmebehandlungsöfen erfolgt über eine Bypassklappe, Foto 1). In den Abgaswärmeübertragern wird das Abgas bis auf ca. 40°C abgekühlt und dabei kondensiert. Das Abgas wird über Ventilator und Abgasleitung aus Kunststoff über Dach geführt. Es erfolgt jetzt eine Energieausnutzung des eingesetzten Erdgases von 99%. Die Niedertemperaturwärme 29/ 24°C wird mit einer Leistung von 2 mal 45 kW dem Kaltwasserkreislauf der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt. Bei fehlender Wärmeverwendung werden weiterhin die bestehenden Abgaskamine zur Ableitung genutzt.



**Abbildung 3: Einbindung der Wärmerückgewinnung mit Abgaskondensation an einem Einbrennofen**



**Foto 1: Einbindung der Wärmerückgewinnung mit Abgaskondensation an einem Einbrennofen**

## 5.2 Abwärmenutzung und Elektroenergieeinsparung Flachbett- Laser

Die Laserschneidautomaten benötigen zur Kühlung der Schneidköpfe Kühlwasser 30/25°C. Anstatt die Kühlenergie über Kompressionskälteanlagen unter Elektroenergieeinsatz zu erzeugen, wird diese über den Kaltwasserkreislauf der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt. Insgesamt werden ca. 190 kW Abwärme genutzt und gleichzeitig ca. 50 kW Elektroenergie eingespart. Dafür sind innerhalb der 3 Stück Kälteaggregate die Kühlwasserkreisläufe zu trennen und den Wärmeübertragerstationen zuzuführen (Abbildung 4, ).

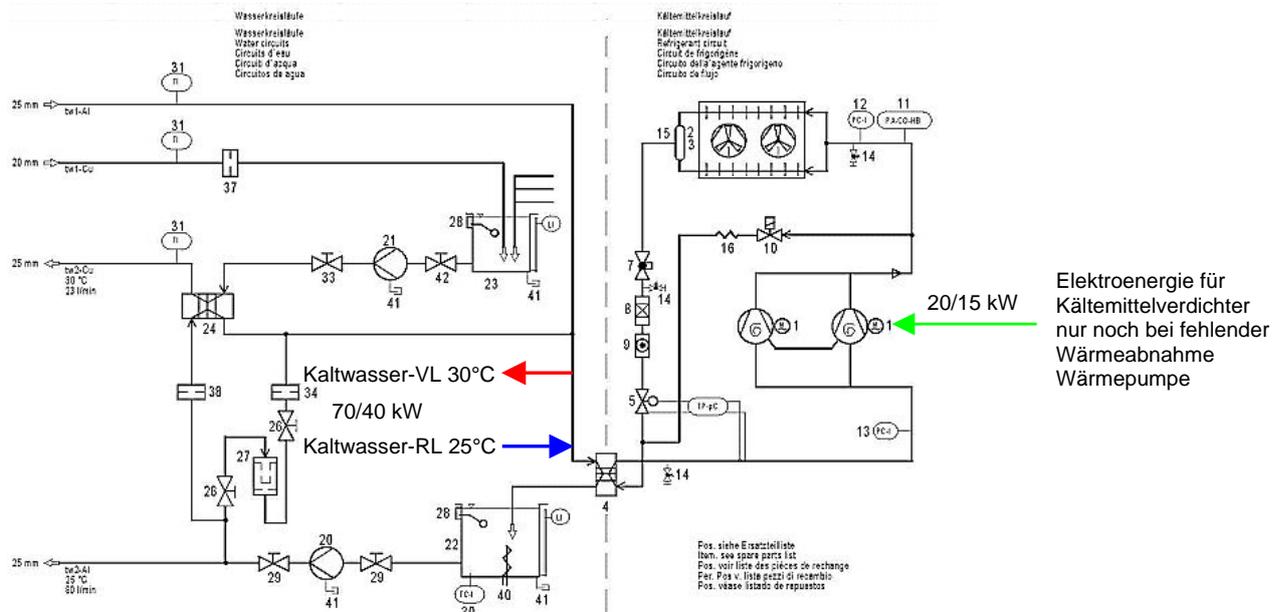


Abbildung 4: Kühl- Aggregat Fa. Riedel/ KLH mit Einbindung Kaltwasser- Kühlkreislauf

Die Auslegungstemperaturen betragen primär: 30/25°C und sekundär: 28/23°C.



Foto 2: TRUMATIC L2530 mit Wärmeübertragerstation

### 5.3 Zentrale Technik

Die Wärmepumpe COMBITHERM wird mit dem Kältemittel R134a betrieben und besitzt zwei Verdichter (Foto 3). Die Heizleistung beträgt 274 kW bei einer elektrischen Anschlussleistung von 74 kW. Die Auslegungstemperaturen betragen:

Verflüssiger: 29/23°C

Verdampfer: 55/65°C



**Foto 3: Wärmepumpe COMBITHERM**

Die Wärmepumpe ist auf der Kalt- und Warmwasserseite über Pufferspeicher mit einem Volumen von jeweils 16.000 Liter eingebunden (Foto 4). Diese sind als Schichtenspeicher ausgelegt. Die maximale Speicherzeit bei Anlagenbetrieb ohne Wärmeabnahme bzw. ohne Wärmezufuhr beträgt ca. 30 bis 60 Minuten.



**Foto 4: Schichtenspeicher 2 x 16.000 Liter, H = 9.000 mm**

## 6. Inbetriebnahme und Einregulierung

Die umfangreiche Anlagentechnik erfordert eine sorgfältige Inbetriebnahme und die Einregulierung aller Komponenten. Für die vollständige Einregulierung der Gesamtanlage und für noch anstehende Optimierungsaufgaben ist auf Grund der komplexen Zusammenhänge eine dezidierte Online- Auswertung der Trendkurven erforderlich. Als Beispiel sei hier die Betriebsauswertung des BeschichtungsOfens aufgeführt, welcher die projektierte Leistung trotz ausreichender Abgastemperatur nicht erreichte (Abbildung 5). Auf Grund der Analyse der unterschiedlichen Temperaturgradienten auf der Heizwasserseite konnte als Ursache die (manchmal) nicht dicht umschaltende Bypassklappe ermittelt werden.

Als äußerst zweckmäßig hat sich dabei der Zugriff aller Beteiligten auf die zentral abgelegten Daten (über Internet- Browser) erwiesen. Dabei kann durchaus auf die Visualisierung kompletter Fließbilder im Rahmen eines Gebäudeleitsystems verzichtet werden.

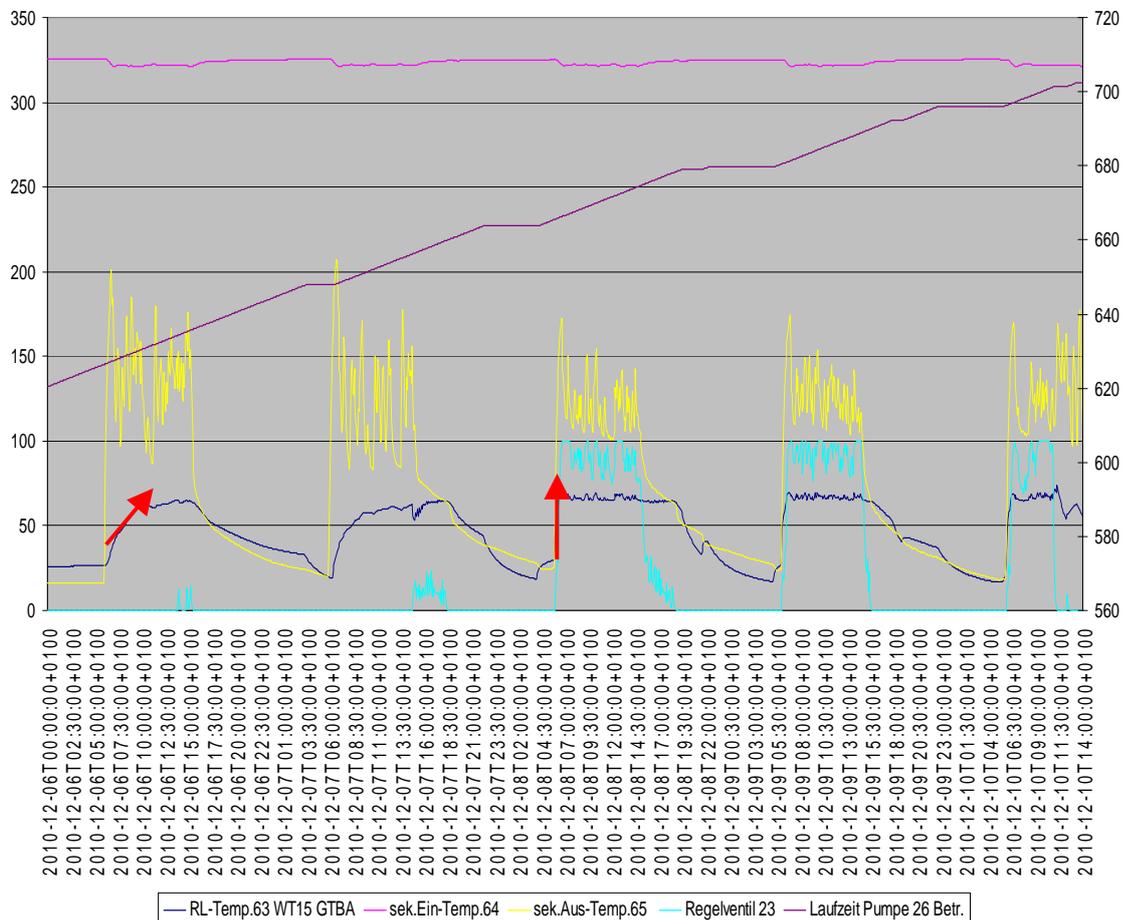


Abbildung 5: Betriebsverhalten BeschichtungsOfen mit Heizwärmeauskopplung 65°C

## 7. Erste Betriebsergebnisse

Es kann eine Gaseinsparung von 1.400 MWh p.a. (-33%) prognostiziert werden. Der Wärmepumpenbetrieb konnte in der Inbetriebnahmephase von anfangs ca. 5 auf ca. 8 Stunden pro Tag gesteigert werden. Das Ziel sind 10 h/Tag im Rahmen der laufenden Optimierungsarbeiten. Dabei ist kein Mehrverbrauch an Elektroenergie zu verzeichnen. Der Bedarf der Wärmepumpe wird durch die Einsparungen beim Bedarf

der Kältekompressoren Laserkühlung und infolge der Effizienzverbesserung der drehzahlgeregelten Antriebe Druckluftkompressoren ausgeglichen.

Der gekoppelte Kühlbetrieb mit gleichzeitiger Abwärmenutzung der Laserschneidautomaten ist reglungstechnisch sensibel. Nach mehrmaligem hydraulischen Abgleich wurde ein stabiler Anlagenbetrieb erreicht.

Der Wärmepumpenbetrieb mit den erforderlichen konstanten Betriebstemperaturen auf der Kaltwasser- und Warmwasserseite ist durch die Auslegung und Fahrweise der Schichtenspeicher unproblematisch.

Die Zugriffsmöglichkeit auf die wesentlichen Regelungsparameter über Internetserver hat sich bei der Inbetriebnahme und Optimierungsarbeiten als zweckmäßig erwiesen (Bsp. Oberfläche Datenserver Abbildung 6)

The screenshot shows the Sauter NovaWeb interface for a degreasing system (H017). The interface is displayed in a Microsoft Internet Explorer browser window. The main content area contains a table with columns for 'Gerät', 'Status', 'Befehl', and 'Alarm'. The table lists various components such as pumps, valves, and temperature sensors, along with their current status and setpoints. A sidebar on the left contains a navigation menu with links like 'Login/logout', 'Dokumentation', and 'Regelkreis'. The bottom of the interface shows the date and time (2011-01-06 18:03:59) and the Sauter logo.

Gerät	Status	Befehl	Alarm
Pumpe 05 Entfettung	Ein	Auto	
Betriebsart Pumpe 05 Entfettung	Aus	Auto	
Zeitpr. Entfettung Aus/Ein	Ein	Ein	
Anforderung Entfettung 2	Ein		
Anforderung Entfettung 1	Ein		
Pumpe 51 Entfettung 1	Aus	Auto	
Pumpe 52 Entfettung 2	Ein	Auto	
<b>Ausgang</b>			
Regelventil 05 Entfettung	99.6 %	Auto	
Sollwert Mischtemp. Entfettung	65 °C	65 °C	
<b>Überwachung und Alarm</b>			
VL-Temp. 11 Entfettung	84.7 °C		
Medientemp. 12 Entfettung 2	32.3 °C		
Medientemp. 13 Entfettung 1	44.4 °C		
Laufzeit, Anforderung Entfettung 2	90.3 h		OK
Pumpe 05 Stör. Entfettung			OK

Abbildung 6: Oberfläche Datenserver, Bsp. Seite Entfettungsbäder

## 8. Thesen für ähnliche Projekte zur industriellen Abwärmenutzung

- Anlagenverfügbarkeiten der Produktionsanlagen gehen vor Energieeffizienz.
- Systeme überschaubar, redundant und umgehbar gestalten.
- Prognostizierte Einsparungen können nur erzielt werden, wenn der Wärmebedarf zeitgleich dem Abwärmeeinfall ist, Speicher können keine längeren Produktionsintervalle überbrücken.
- Der gekoppelte Kühlbetrieb mit gleichzeitiger Abwärmenutzung ist technisch praktikabel.
- Visualisierung der Energieeffizienztechnik als Voraussetzung zur Optimierung des Anlagenbetriebes/ Controlling.
- Inbetriebnahmephase mit ausreichend Zeit- und Personalaufwand kalkulieren.
- Planerische Begleitung bis einschließlich Einregulierung und ggf. Optimierung.

-Fassung v. 03.03.2011-