

Schlussbericht im **Juli 2004**

Elektrizitätseffizienz in Kehrichtverwertungsanlagen - Fallbeispiel KVA Turgi

Schlussbericht

ausgearbeitet durch

D. Hänni, Dr. G. Schnyder
Schnyder Ingenieure AG
Bösch 23
6331 Hünenberg

mitfinanziert durch

Kehrichtverwertungsanlage Turgi, Turgi

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:
www.electricity-research.ch

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
Résumé	2
Summary	3
1. Ausgangslage	4
1.1. Stoff- und Energieflüsse	4
2. Ziel, angestrebte Resultate	5
2.1. Ziel	5
2.2. Angestrebte Resultate	5
3. Vorgehensweise	5
4. Prozessbeschreibungen	6
4.1. Allgemeines	6
4.2. Müllspeicherung	7
4.3. Müllzerkleinerung	7
4.4. Verbrennung	8
4.4.1. Primärluftzuführung	9
4.4.2. Sekundärluftzuführung	10
4.4.3. Rauchgasrückführung	11
4.5. Rauchgasbehandlung	12
4.5.1. Rauchgasbeförderung	12
4.5.2. Rauchgaswaschanlage	13
4.5.3. Denox-Anlage	13
4.6. Energieerzeugung	14
4.6.1. Allgemeines	14
4.6.2. Prozesskühlungen	15
4.7. Hilfsbetriebe	16
4.7.1. Lüftungs- und Kälteanlagen	16
4.7.2. Pneumatikanlagen	16
4.7.3. Hydraulikanlagen	16
4.7.4. Abwasserreinigungsanlage	16
5. Optimierungspotenziale	17

5.1.	Untersuchte Massnahmen.....	17
5.2.	Herleitung der Massnahmen	18
5.2.1.	M1 Wirkungsgrad der Primärluftzufuhr in OL 4 verbessern.....	19
5.2.2.	M2 Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 4 reduzieren.....	19
5.2.3.	M3 Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 3 reduzieren.....	20
5.2.4.	M4 Zuluftklappen im Bunkerraum automatisieren.....	20
5.2.5.	M5 Luftverteilsystem unter dem Rost in OL 4 ersetzen.....	21
5.2.6.	M6 Luftverteilsystem unter dem Rost in OL 3 ersetzen.....	21
5.2.7.	M7 Drallregler der Primärluftzufuhr in OL 3 ersetzen.....	22
5.2.8.	M8 Wirkungsgrad der Sekundärluftzufuhr in OL 4 verbessern	22
5.2.9.	M9 Überbrückung des Sekundärluftventilators im Normalbetrieb	23
5.2.10.	M10 Drallregler der Sekundärluftzufuhr in OL 3 ersetzen	23
5.2.11.	M11 Wirkungsgrad der Luftrezirkulierung in OL 4 verbessern	24
5.2.12.	M12 Bunkerraumbewirtschaftung optimieren	24
5.2.13.	M13 Schredderanlage kompakt betreiben.....	25
5.2.14.	M14 Ersatz des Ölkühlsystems der Schredderanlage.....	25
5.2.15.	M15 Betriebsdruck der Rauchgaswaschanlage in OL 3 reduzieren	26
5.2.16.	M16 Betriebsdruck der Rauchgaswaschanlage in OL 4 reduzieren	26
5.2.17.	M17 Reaktionstemperatur im Katalysator erhöhen.....	27
5.2.18.	M18 Substitution von Öl durch Sattedampf in DeNOx-Anlage.....	28
5.2.19.	M19 Pumpenleistung für Kühlung der Turbinen reduzieren.....	28
5.2.20.	M20 Luftwechsel Schredderanlage reduzieren	29
5.2.21.	M21 Luftwechsel Turbinenhalle reduzieren	29
5.2.22.	M22 Luftwechsel diverser Nebenräume reduzieren	30
5.2.23.	M23 Spitzenlast optimieren	31
6.	Bewertung der Massnahmen	32
6.1.	Bewertung der Umsetzbarkeit.....	32
6.2.	Übersicht	33
6.2.1.	Maximal realisierbare Massnahmen	33
6.2.2.	Minimal realisierbare Massnahmen	33
6.3.	Massnahmenkatalog.....	34
6.3.1.	Sofortmassnahmen	34
6.3.2.	Kurzfristige Massnahmen.....	35
6.3.3.	Abhängige Massnahmen	36
6.3.4.	Realisierte Massnahmen.....	37
6.3.5.	Andere Massnahmen	38
6.3.6.	Unwirtschaftliche Massnahmen.....	39
7.	Effizienzsteigerungen	40
7.1.	Ergebnisse KVA Turgi.....	40
7.2.	Übersicht aller Kehrrichtverwertungsanlagen in der Schweiz.....	41
7.3.	Einfache Hochrechnung zur möglichen Effizienzsteigerung in schweizerischen Kehrrichtverwertungsanlagen.....	41

8.	Weitere Umsetzung der Massnahmen	42
8.1.	Massnahmen mit erster Priorität.....	42
8.2.	Massnahmen mit zweiter Priorität	43

ZUSAMMENFASSUNG

In thermischen Kehrrechtverwertungsanlagen wird neben der Erzeugung von Wärme und Elektrizität eine erhebliche Menge elektrischer Energie für den Eigenverbrauch benötigt. Ein Grossteil des Eigenverbrauchs entfällt dabei auf den Antrieb elektrischer Maschinen.

Die Ziele des Forschungsprojektes umfassen eine Grobabschätzung des elektrischen Energie-sparpotenzials in der Kehrrechtverwertungsanlage KVA Turgi, die Herleitung eines Massnahmenkatalogs zur Senkung des Energieverbrauchs, die Beurteilung der Umsetzungsmöglichkeiten, sowie allgemeine Aussagen zum Sparpotenzial in schweizerischen Kehrrechtverwertungsanlagen.

Anhand des Fallbeispiels KVA Turgi ist das Potenzial zur Steigerung der Effizienz im Bereich des Elektrizitätsverbrauchs untersucht worden. Alle bezüglich des elektrischen Eigenverbrauchs relevanten Prozesse und Verfahrenstechniken wurden zur Herleitung von Optimierungsmassnahmen vor Ort analysiert. Für die vertiefte Analyse einzelner Prozesse wurden Messreihen durchgeführt. Die beschriebenen Massnahmen sind unter Berücksichtigung der Machbarkeit und der Wirtschaftlichkeit bewertet und klassifiziert.

Mittels eines einfachen Hochrechnungsmodells ist das Potenzial zur Steigerung der elektrischen Energieeffizienz aller schweizerischen Kehrrechtverwertungsanlagen abgeschätzt worden.

In Abhängigkeit von der Umsetzung der einzelnen Massnahmen kann bei der KVA Turgi elektrische Energie von jährlich minimal 1.7 GWh bis maximal 2.2 GWh eingespart werden. Dies entspricht bei einem Eigenverbrauch der KVA Turgi von 17 GWh einer jährlichen Einsparung von minimal 10 % bis maximal 13 %. Durch die bereits realisierte Umsetzung einzelner Massnahmen aus dem gesamten Massnahmenkatalog können jährlich 4% elektrische Energie eingespart werden.

Die Hochrechnung einer möglichen Effizienzsteigerung in allen thermischen Kehrrechtverwertungsanlagen der Schweiz ergibt ein Einsparpotenzial von jährlich ca. 38 GWh, was einem Verbrauch von rund 10'000 Haushaltungen entspricht.

RESUME

Dans les usines thermiques de traitement des ordures, en plus de la production de chaleur et d'électricité, une quantité considérable d'énergie électrique est nécessaire pour leur propre consommation. Une grande partie de cette autoconsommation est utilisée pour la marche de machines électriques.

Les objectifs du projet de recherche comportent une estimation sommaire du potentiel d'économie en énergie électrique dans l'usine de traitement des ordures ménagères à Turgi (KVA Turgi), la création d'un catalogue de mesures visant à la diminution de la consommation d'énergie, l'évaluation des possibilités de mise en oeuvre ainsi que les informations générales sur le potentiel d'économies dans les usines de traitement des ordures en Suisse.

Le potentiel visant l'augmentation du rendement dans le domaine de la consommation d'électricité a été étudié à partir de l'exemple KVA Turgi. Tous les processus et technologies relevant de l'énergie ont été analysés pour l'application sur place de mesures d'optimisation. Des séries de mesures ont été effectuées aux fins d'analyse plus approfondie de processus individuels. Les mesures décrites sont évaluées et classées compte tenu de leur faisabilité et de leur rentabilité.

Le potentiel d'accroissement du rendement énergétique électrique de toutes les usines de traitement des ordures en Suisse a été estimé au moyen d'un modèle d'extrapolation simple.

En fonction de la mise en pratique des différentes mesures, la KVA Turgi peut économiser annuellement au minimum 1.7 GWh jusqu'à max. 2.2 GWh en énergie électrique. Sur la base d'une autoconsommation de 17 GWh pour la KVA Turgi, cela correspond à une économie annuelle de 10 % au minimum à 13 % au maximum. 4 % peuvent être économisés par la mise en pratique déjà effectuée de mesures individuelles tirées de tout le catalogue de mesures.

L'estimation d'une hausse possible du rendement dans toutes les usines thermiques suisses de traitement des ordures indique un potentiel d'économie annuelle d'environ 38 GWh, ce qui correspond à une consommation d'environ 10'000 ménages.

SUMMARY

In thermal waste treatment plants, a significant volume of electrical energy is required for internal use in addition to the production of heat and electricity. Most of this internal consumption is required for operating electrical machines and appliances.

The objectives of this research project are to make an approximate evaluation of the potential for more efficient use of electricity in the Turgi waste treatment plant, to draw up a catalogue of measures for reducing energy consumption and assess the options for their implementation, and to make a projection concerning energy efficiency potential in all waste treatment plants in Switzerland.

Using Turgi waste treatment plant as a model, we carried out an evaluation of the potential for increasing efficiency in the area of electricity consumption. We analysed all energy-relevant processes and process technologies directly on site in order to draw up a catalogue of optimisation measures, and conducted a series of tests in order to analyse specific processes in greater depth. The described measures have been evaluated and classified, taking account of their feasibility and economic viability.

We used a basic projection model to assess the potential for increasing the degree of electrical energy efficiency in all of Switzerland's waste treatment plants.

Depending on how effectively the various measures can be implemented, the Turgi waste treatment plant has the potential to save between 1.7 and 2.2 GWh per annum. Measured against its internal consumption of 17 GWh, this would be equivalent to annual savings of between 10 and 13 percent. Savings of 4 percent can be achieved through the measures defined in the catalogue that have already been implemented.

Our projection concerning the potential increase in efficiency in all thermal waste treatment plants in Switzerland indicates annual savings of around 38 GWh, which is equivalent to the electricity consumption of approximately 10'000 private households.

1. AUSGANGSLAGE

1.1. Stoff- und Energieflüsse

Die thermische Kehrrichtverwertungsanlage Turgi verarbeitet energetisch hochwertigen Siedlungsabfall. Im Jahr 2001 wurden 113'000 Tonnen Abfall von ca. 200'000 Einwohnern entsorgt. Der mit der Verbrennungswärme erzeugte Dampf wird mittels Dampfturbinen in elektrische Energie umgewandelt. Zudem speist die Anlage Wärme in das Fernwärmenetz Turgi-Siggenthal ein. Als Abfallprodukte entstehen unter anderen Rauchgase, Abwasser und Schlacke.

Die Energieproduktion des Jahres *) 2001 betrug:

- Einspeisung ins Fernwärmenetz: 35 Mio. kWh
- Produktion elektrischer Energie: 85 Mio. kWh

*) Als repräsentatives Referenzjahr wurde das 2001 gewählt

Innerhalb der Anlage durchlaufen die Abfallprodukte verschiedene Verarbeitungsprozesse. Aufgrund der zu verwertenden Abfallmenge weist die Anlage einen erheblichen elektrischen Eigenverbrauch von ca. 17 GWh auf.

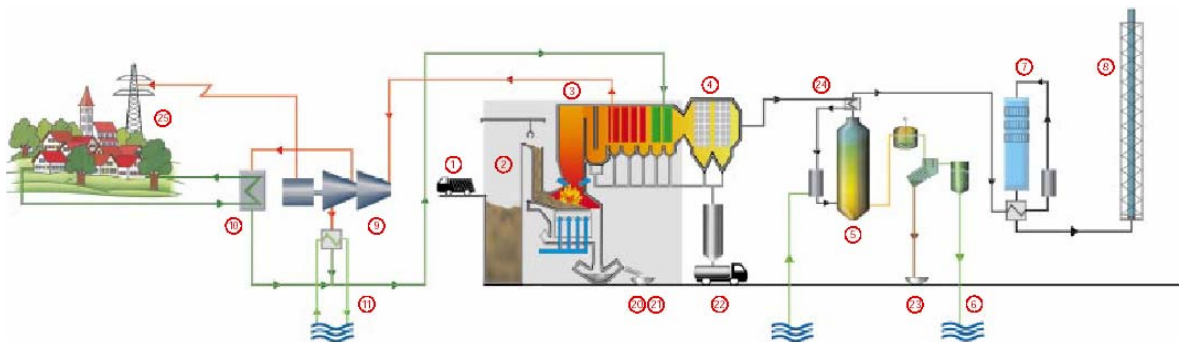


Abbildung 1:Übersichtsschema KVA Turgi

Nr	Bezeichnung	Nr	Bezeichnung
1	Anlieferung Müllgut	7	DeNox-Anlage (Katalysator)
2	Müllbunker	8	Hochkamin
3	Verbrennungs-ofen	9	Hochdruck-Dampfturbine
4	Elektrofilter	10	Einspeisung ins Fernwärmenetz
5	Rauchgaswaschanlage	11	Prozesskühlung
6	Rückfluss gereinigtes Abwasser	25	Einspeisung ins vorgelagerte Stromnetz

2. ZIEL, ANGESTREBTE RESULTATE

2.1. Ziel

Der Inhalt des Forschungsprojektes umfasst die folgenden Zielsetzungen:

- Grobabschätzung des Energiesparpotenzials in Kehrlichtverbrennungsanlagen
- Auflisten eines Massnahmenkataloges zur Senkung des Energieverbrauchs und Beurteilung der Umsetzungsmöglichkeiten

2.2. Angestrebte Resultate

- Detaillierte Beschreibungen der energierelevanten Prozesse
- Auflisten von möglichen Massnahmen, die unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der praktischen Umsetzbarkeit zur Senkung des Energieverbrauchs führen
- Allgemeine Aussagen zum Sparpotenzial in Kehrlichtverbrennungsanlagen

3. VORGEHENSWEISE

1. In einem ersten Schritt sollen die Prozesse und Verfahrenstechniken der KVA Turgi analysiert werden.
2. Energieverbraucher, bei denen ein wesentliches Energiesparpotenzial vermutet wird, sollen untersucht werden.
3. Es sind Energiesparmassnahmen aufzulisten, die durch die Optimierung der Anlagentechnik und der Verfahrensweise zur Zielerreichung führen
4. Es ist ein Mess-, Steuer-, und Regelkonzept zu entwerfen, welches die Optimierung der Verfahrenstechniken über die Prozessleittechnik ermöglicht.
5. Die Massnahmen sollen betreffend Energiesparpotenzial unter Berücksichtigung von Synergien untersucht werden.
6. Die Massnahmen sind betreffend Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit grob zu beurteilen.
7. Die Umsetzung der Massnahmen auf andere Kehrlichtverbrennungsanlagen soll geprüft werden.
8. Das landesweite Sparpotenzial aller Kehrlichtverbrennungsanlagen soll abgeschätzt werden.
9. Erfolgskontrolle der durchgeführten Massnahmen
10. Erstellen eines Berichtes zu den Untersuchungen und Ergebnissen unter Einbezug möglichen Umsetzungsmassnahmen für andere KVA.

4. PROZESSBESCHREIBUNGEN

Die nachfolgenden Beschreibungen beschränken sich auf diejenigen Prozesse, in welchen im Rahmen der vorliegenden Studie konkrete Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ausgearbeitet wurden. Die Reihenfolge der Prozessbeschreibungen folgt entlang des Stoffflusses in der Kehrrichtverwertungsanlage Turgi. Für die vertiefte Analyse einzelner Prozesse wurden Messreihen durchgeführt.

4.1. Allgemeines

Die KVA Turgi besitzt zwei Ofenlinien, nachfolgend Ofenlinie 3 (OL3) und Ofenlinie 4 (OL4) genannt. Eine Ofenlinie umfasst den Verbrennungssofen, die Elektrofilter und die Raugaswaschanlage. Die nachfolgende DeNox-Anlage und der Hochkamin sind gemeinsame Anlagen der beiden Ofenlinien.

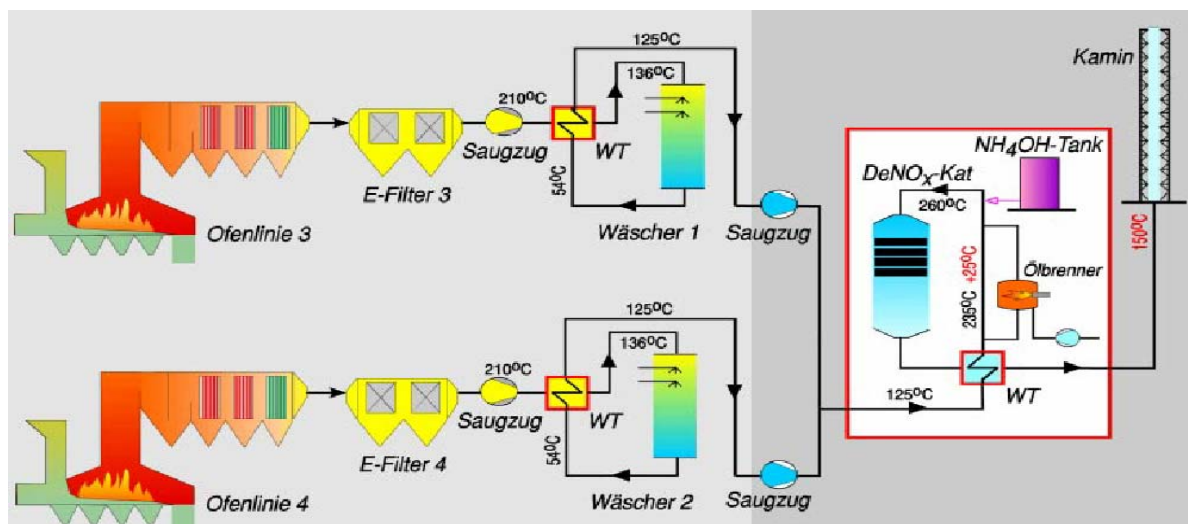


Abbildung 2: Anlagenschema KVA Turgi

4.2. Müllspeicherung

Der angelieferte Müll wird über schliessbare Abladeöffnungen in den Müllbunker gekippt. Die Bewirtschaftung des Bunkerraumes ist energieintensiv, da das Müllgut mittels eines Hebekranes ununterbrochen verteilt, aufgelockert und schliesslich den Verbrennungslinien zugeführt wird.



Bild 1: Abladeportal Müllbunker

4.3. Müllzerkleinerung

Das Sperrgut wird vor der Zwischenlagerung mittels eines Schredders mechanisch zerstückt. Der mittels Hydraulikaggregaten betriebene Schredder kann elektrische Leistungsspitzen von bis 450 kW verursachen.

4.4. Verbrennung

Die Oxidation des Müllguts im Feuerraum wird über die Regelung im Leitsystem - den Advanced Combustion Controller ACC - geregelt. Unter Berücksichtigung der Müllqualität und weiterer Parameter wird unter Einhaltung des notwendigen Sauerstoffgehaltes die für die Verbrennung erforderliche Verbrennungsluft durch den ACC ermittelt. Als Verbrennungsluft wird sogenannte Primärluft, welche via Bunkerraum angesogen wird, unter dem Müllrost in den Ofen geleitet. Für die Nachverbrennung wird Sekundärluft durch Düsen in den Feuerraum eingeblasen. Ein Anteil des Rauchgases wird für eine weitere Oxidation mittels Rückführung nochmals in den Feuerraum geleitet (Rauchgaszyklisierung). In der Abbildung 3 ist der Verbrennungsprozess grafisch dargestellt.

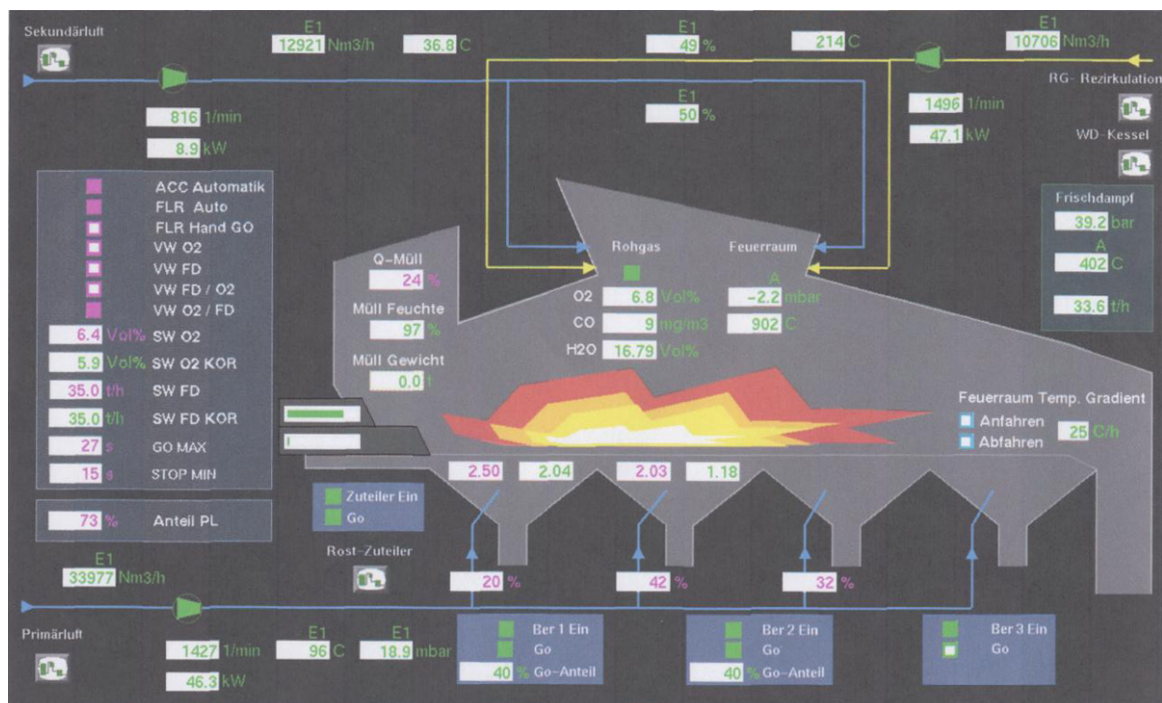


Abbildung 3: Übersicht Verbrennungsprozess

4.4.1. Primärluftzuführung

Die Primärluft wird aus dem Müllbunker angesogen und über einen Radialventilator unter dem Müllrost eingeblasen. Der Ventilator wird durch einen druckgeführten Elektroantrieb mit Frequenzumformer angetrieben. Die Sollwerte der Volumenströme zu den einzelnen Ofensegmenten wird im übergeordneten Leitsystem gebildet. Die Dosierung und Verteilung der Primärluft in die Ofensegmente wird über drei Klappen unterhalb des Rostes aufgrund des geforderten Volumenstromes sichergestellt. Um unerwünschte Überdrücke im Luftkanal zu vermeiden, kann der Druck notfalls mittels einer vierten Klappe, die im Normalbetrieb geschlossen ist, abgebaut werden.

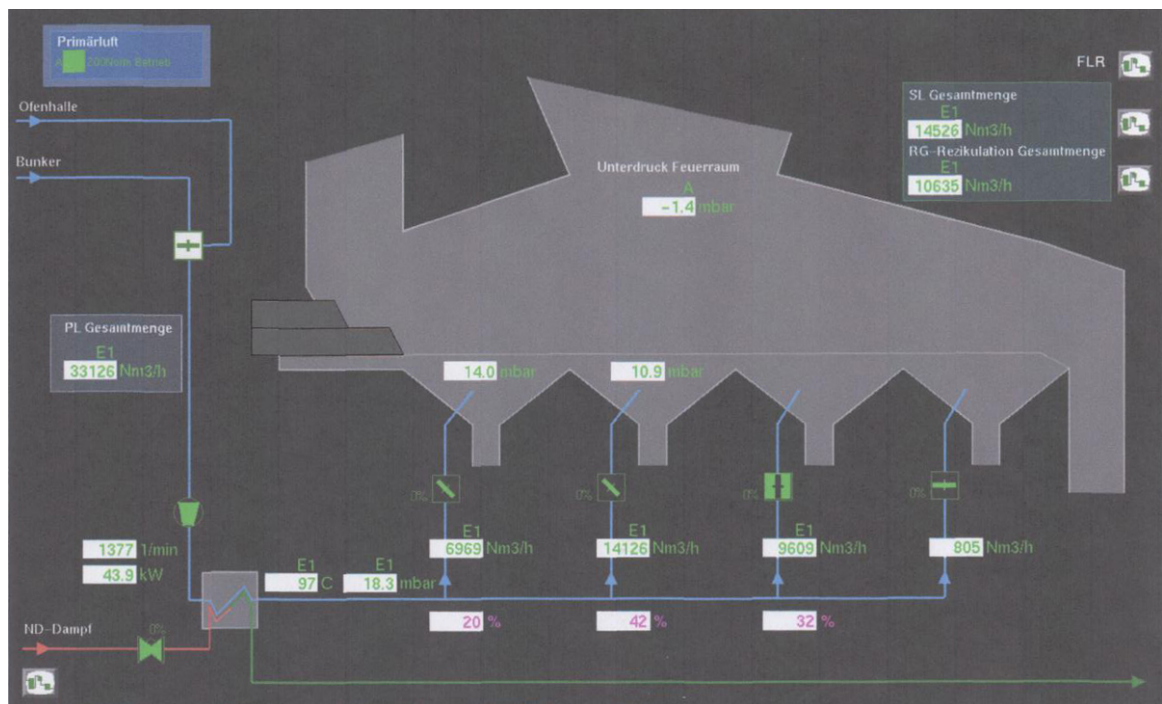


Abbildung 4: Übersicht Primärluftzuführung

Der Antrieb des Primärventilators der Ofenlinie OL4 weist eine Nennleistung von 75 kW auf.

4.4.2. Sekundärluftzuführung

Die Sekundärluft wird aus dem Schlackengeschoss oder dem Müllbunker angesogen und über Düsen in die Nachbrennkammer eingeblasen. Der zusätzliche Sauerstoff bewirkt eine Verbrennung der Rauchgase bei über 850 °C. Die Verteilung der Luft wird durch Stellklappen sichergestellt. Die Gesamtmenge wird über einen drehzahlgesteuerten Ventilator geregelt. Der Sollwert wird im Leitsystem gebildet.

Das Sekundärluftgebläse wurde so ausgelegt, dass bei Ausfall der Rauchgasrezirkulation trotzdem 100 % Last gefahren werden kann.

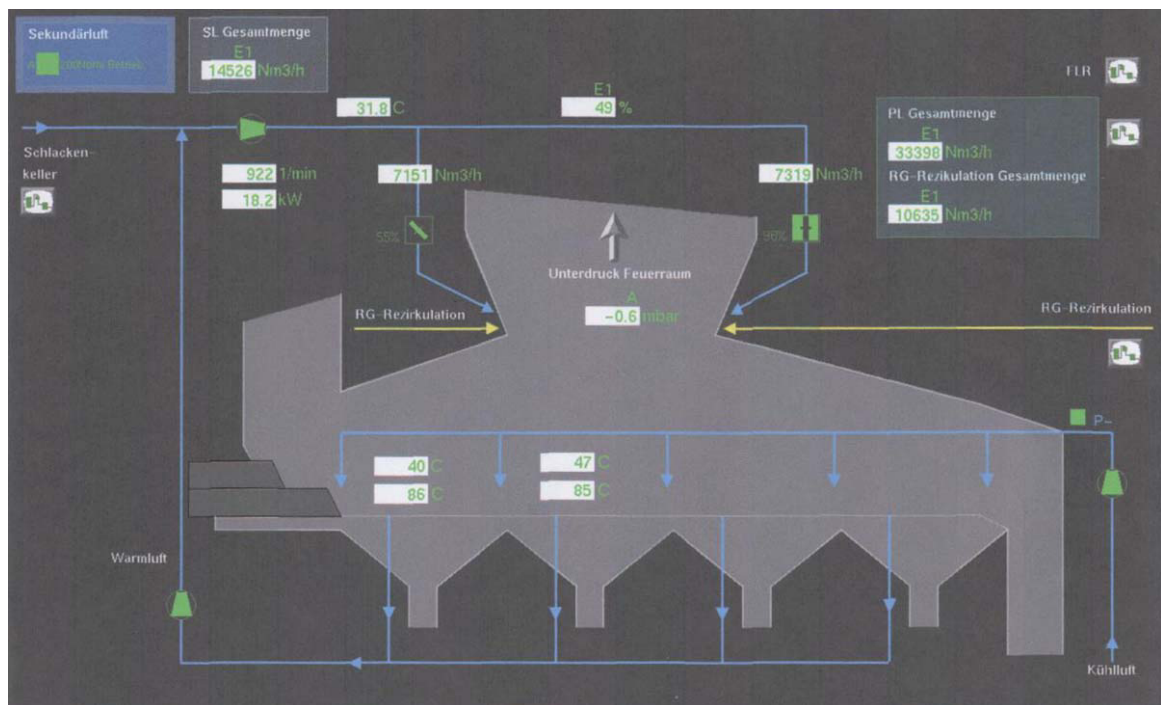


Abbildung 5: Übersicht Sekundärluftzuführung

Der Antrieb des Sekundärventilators der Ofenlinie OL4 weist eine Nennleistung von 90 kW auf.

4.4.3. Rauchgasrückführung

Ein Anteil des Rauchgases wird für eine weitere Oxidation in den Feuerraum zurückgeführt.

Die Verteilung der Luft wird durch Stellklappen sichergestellt. Die Gesamtmenge wird über einen drehzahlgesteuerten Ventilator geregelt. Der Sollwert wird im Leitsystem gebildet.

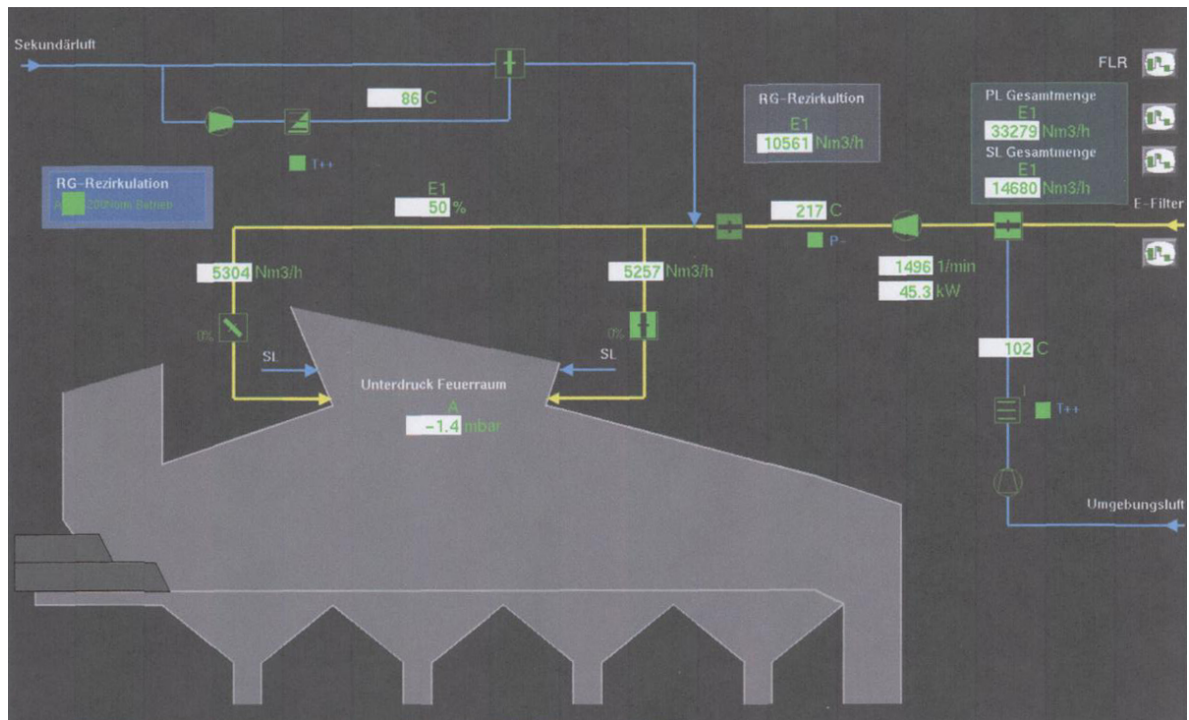


Abbildung 6: Übersicht Rauchgasrückführung

Der Antrieb des Ventilators für die Rauchgasrückführung der Ofenlinie OL4 weist eine Nennleistung von 110 kW auf.

4.5. Rauchgasbehandlung

4.5.1. Rauchgasbeförderung

Das Rauchgas wird, vereinfacht dargestellt, mittels Saugzugventilatoren ab dem Feuerraum durch die elektrostatischen Elektrofilter, die Rauchgaswaschanlage und den DeNOx-Katalysator geführt und anschliessend via Hochkamin in die Atmosphäre geführt.

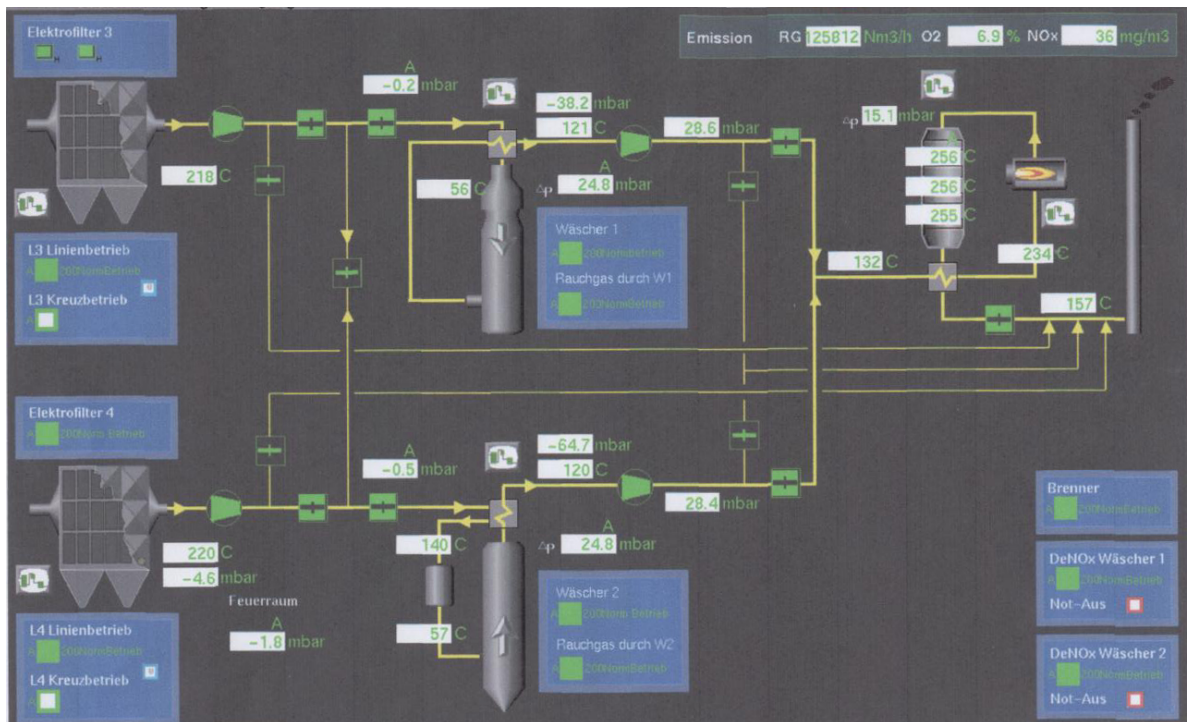


Abbildung 7: Rauchgasreinigung

Die druckgeführten Antriebe der Saugzugventilatoren weisen gesamthaft eine elektrische Nennleistung von 920 kW aus.



Bild 2: Saugzugventilator

4.5.2. Rauchgaswaschanlage

In der Rauchgaswaschanlage werden dem Rauch mittels Wassereinspritzung Schmutzstoffe und Asche entzogen. Das in einem geschlossenen System zirkulierende Wasser wird in einer eigenen Abwasserbehandlungsanlage gereinigt.

4.5.3. Denox-Anlage

Der Katalysator für die NO_x-Reduktion arbeitet bei einer Temperatur von ca. 240 °C. Das Rauchgas wird deshalb mittels einem Ölbrenner auf die erforderliche Betriebstemperatur erhitzt. Dieser Prozess benötigt jährlich ca. 1Mio. Liter Heizöl.

4.6. Energieerzeugung

4.6.1. Allgemeines

Die heißen Abgase aus dem Verbrennungsprozess werden zur Dampferzeugung genutzt. Die Energie des Sattdampfes wird über zwei Hochdruck-Dampfturbinen in elektrischen Strom gewandelt. Die Wärmeenergie wird nach Bedarf für interne Anwendungen und für die Versorgung des Fernwärmenetzes genutzt.

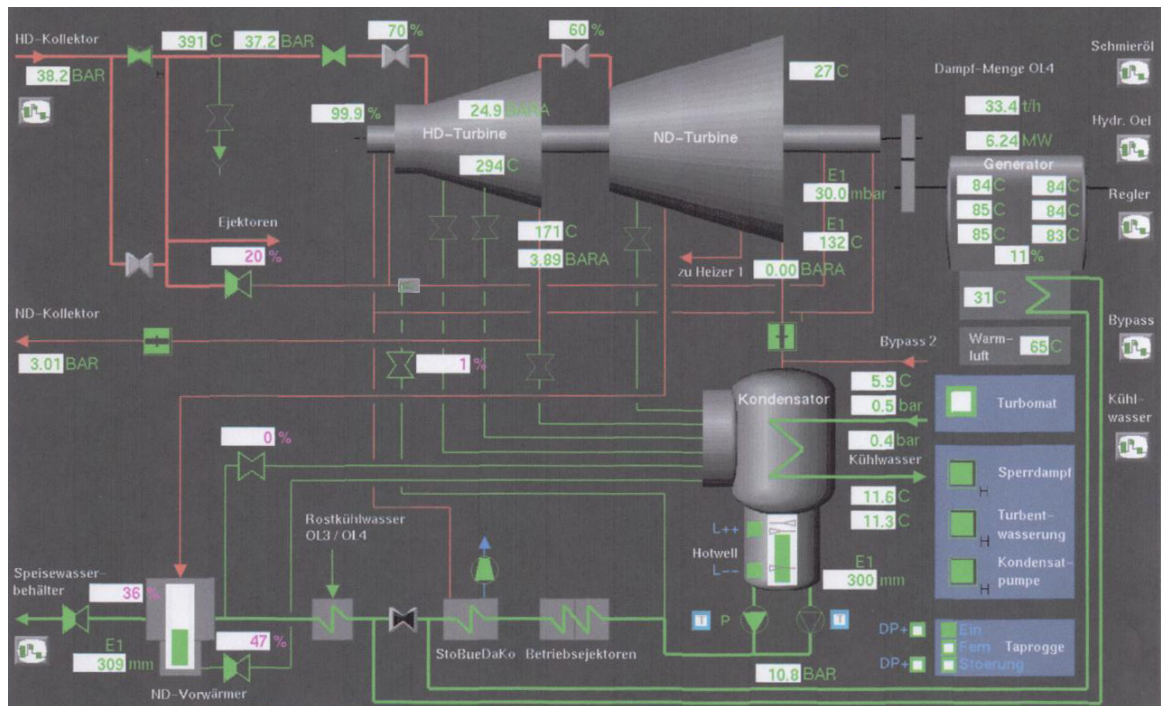


Abbildung 8: Energieproduktion

Die Energieproduktion des Jahres 2001 betrug:

- Einspeisung ins Fernwärmenetz: 35 Mio. kWh
- Produktion elektrischer Energie: 85 Mio. kWh

4.6.2. Prozesskühlungen

Die Turbinengruppen werden mittels Brauchwasser gekühlt. Das Brauchwasser wird an der nahe gelegenen Limmat gefasst und für die Kühlung der Turbinen genutzt.

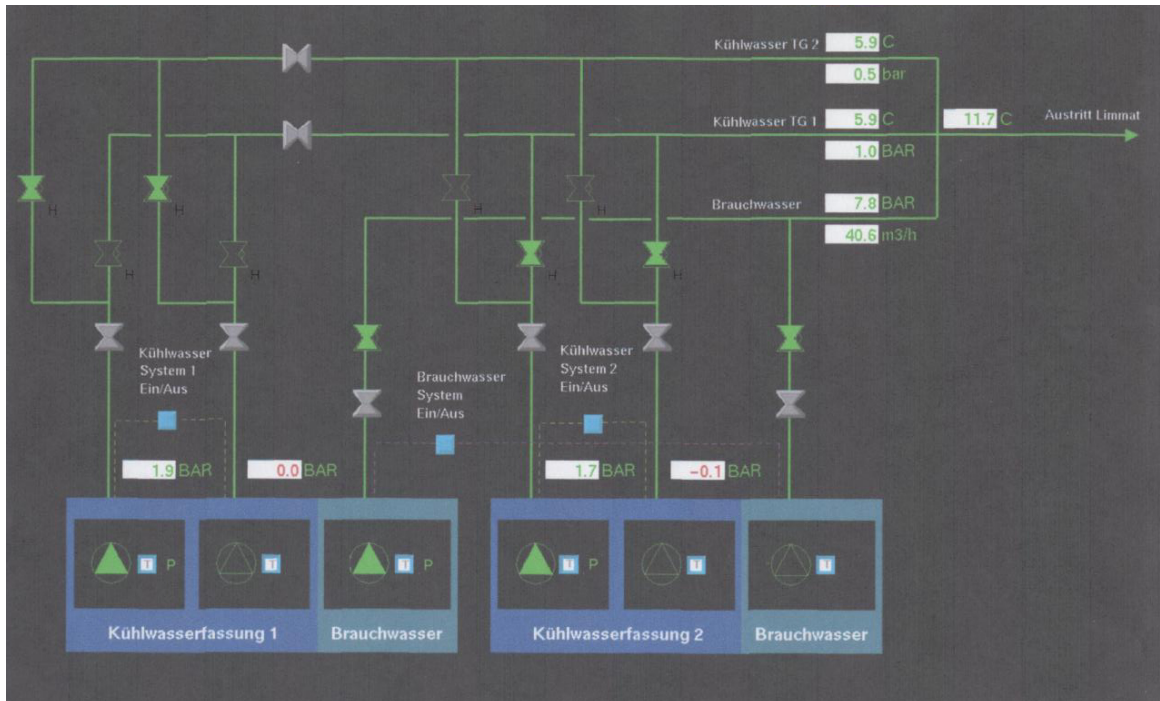


Abbildung 9) Pumpen für Prozesskühlungen

Die Antriebe der unregelmäßig gekühlten Kühlwasserpumpen weisen eine elektrische Nennleistung von je 110 kW aus.



Bild 3: Kühlwasserfassung

4.7. Hilfsbetriebe

4.7.1. Lüftungs- und Kälteanlagen

In der Anlage sind diverse dezentrale Monoblockanlagen installiert. Sie dienen dem Luftwechsel in den Arbeits- und Anlagenräumen oder der Kühlung von Prozessen. In diversen Arbeitsräumen sind zudem lokale Kältegeräte vorhanden.



Bild 4: Monoblockanlage

4.7.2. Pneumatikanlagen

Die KVA Turgi weist eine kleinere Kompressoranlage aus. Die Druckluft wird jedoch nicht für energieintensive Anwendungen genutzt.

4.7.3. Hydraulikanlagen

Einzelne Hilfsbetriebe der Ofenlinien, z.B. die Schlackenstössel werden über hydraulische Motoren angetrieben.

4.7.4. Abwasserreinigungsanlage

Das in den Rauchgaswaschanlagen verschmutzte Waschwasser wird in einer mehrstufigen Abwasserbehandlungsanlage gereinigt. Die geschlossene Anlage weist eine Vielzahl kleiner Elektroantriebe mit Nennleistungen von weniger als 10 kW aus.

5. OPTIMIERUNGSPOTENZIALE

5.1. Untersuchte Massnahmen

Aufgrund der Analyse der Prozesse sind folgende, mögliche Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz abgeleitet worden:

Pos	Prozess	Anlage	Gerät	Massnahme
M1	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Wirkungsgrad optimieren
M2	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 4	ACC Regler zur Steuerung der Drosselklappe	Sollwert des Luftdruckes reduzieren
M3	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 3	ACC Regler zur Steuerung der Drosselklappe	Sollwert des Luftdruckes reduzieren
M4	Primärluftzufuhr	Bunkerraum	Luft Eintrittsschleusen	Zuluftklappen automatisieren
M5	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor, Ventilator und Drosselklappen	Ersatz durch dezentrale, drehzahlgezielte Kleinventilatoren
M6	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 3	Antriebsmotor, Ventilator und Drosselklappen	Ersatz durch dezentrale, drehzahlgezielte Kleinventilatoren
M7	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 3	Drallregler	Ersatz der Drallregelung durch FU-gesteuerte Antriebe
M8	Sekundärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Wirkungsgrad optimieren
M9	Sekundärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Überbrückung des Ventilators mit angepasster Nennleistung für den Normalbetrieb
M10	Sekundärluftzufuhr	Ofenlinie 3	Drallregler	Ersatz der Drallregelung durch FU-gesteuerte Antriebe
M11	Rezykl - Rückführung	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Wirkungsgrad optimieren
M12	Müllzufuhr	Bunkerraum	Transport-, Lager- und Verteilsystem	Reduktion Fahrbewegungen / Hubarbeit
M13	Müllzufuhr	Schredderanlage	Steuerung	Schaltung für Stand-By Betrieb einrichten
M14	Müllzufuhr	Schredderanlage	Ölkühlung	Ersatz der Kälteanlage durch Kühlung mittels Brauchwasser
M15	Raugasabzug	Ofenlinie 3	Raugaswaschanlage	Betriebsdruck reduzieren
M16	Raugasabzug	Ofenlinie 4	Raugaswaschanlage	Betriebsdruck reduzieren
M17	Raugasbehandlung	Denox-Anlage	Raugaserhitzer	Reduktion der Verschmutzung durch Erhöhung der Reaktionstemperatur
M18	Raugaserhitzung	Denox-Anlage	Ölbrenner	Ersatz durch Sattedampf-Wärmetauscher
M19	Energieerzeugung	Dampfturbinen	Kühlwasserpumpen für Turbinen	Kühlung im Winter mit nur einer Kühlwasserpumpe sicherstellen
M20	Hilfsbetriebe	Lüftungsanlagen	Zu/Abluft Schredderanlage	Einführung eines temperaturabhängigen Spülbetriebes
M21	Hilfsbetriebe	Lüftungsanlagen	Zu/Abluft Turbinenhalle	Einführung eines temperaturabhängigen Spülbetriebes
M22	Hilfsbetriebe	Lüftungsanlagen	Zu/Abluft Diverser Nebenräume	Einführung eines Spülbetriebes
M23	Lastmanagement	unterbrechbare Elektroverbraucher	Lastkontrollen	Einbau eines Lastkontrollers zur Erhöhung der Spitzenlastabgabe

Tabelle 1) Untersuchte Massnahmen zur energetischen Optimierung

5.2. Herleitung der Massnahmen

Abkürzungen und Begriffsdefinitionen

Für die Herleitung der Massnahmen werden im folgende Abkürzungen eingesetzt:

Zeichen	Bedeutung	Einheit	Bemerkungen und Definitionen *)
P	Leistung	[kW, MW, GW]	Elektrizität
ΔP	Leistungsänderung	[kW, MW, GW]	Elektrizität
ΔE	Energieänderung	[kWh, MWh, GWh]	Elektrizität
p	Druck	[mbar]	Pneumatik, relative Werte
Δp	Druckänderung	[mbar, %]	Pneumatik, relative Werte
η	Wirkungsgrad	[]	
Δη	Wirkungsgrad-Änderung	[]	
V	Volumenstrom	[m³/s, m³/h]	Pneumatik, Hydraulik
ΔV	Volumenstrom-Änderung	[m³/s, m³/h]	Pneumatik, Hydraulik
_mess	gemessene Werte		z.B. P _{mess} = gemessene, elektrische Leistung
_soll	Sollwerte		z.B. p _{soll} = Sollwert Druck
_ist	Ist-Werte		
_nenn	Nennwert		z.B. P _{nenn} = elektrische Nennleistung

*) z.T. Projektbezogene Definitionen

Tabelle 2) verwendete technische Begriffe

Zeichen	Bedeutung	Einheit	Bemerkungen und Definitionen *)
JK	Jahreskosten	[CHF]	jährliche Kosten einer Massnahme
IK	Investitionskosten	[CHF]	einmalige Investitionskosten einer Massnahme
a	Abschreibungsdauer	[Jahre]	Buchhalterische Abschreibungsdauer
z	Zinsfuss	[%]	Kapitalzinsfuss
Z	Zinskosten	[CHF]	jährliche Kosten für die Verzinsung einer Investition
ROI	Return of Investment	[Jahre]	Anzahl Jahre, bis dann eine Investition unter Berücksichtigung des Bruttoertrages und der Zinskosten amortisiert wird.
BE	Bruttoertrag	[CHF]	Jährlicher Ertrag einer Massnahme aus dem Energiegeschäft mit Abzug von zugehörigen Gewinnungskosten.
NE	Nettoertrag	[CHF]	Bruttoertrag abzüglich zugehöriger Zinskosten und Abschreibungen.

*) z.T. Projektbezogene Definitionen

Tabelle 3) verwendete betriebswirtschaftliche Begriffe

5.2.1. M1 Wirkungsgrad der Primärluftzufuhr in OL 4 verbessern

M1	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Überprüfung des Wirkungsgrades
A	Massnahme		Um den Wirkungsgrad zu verbessern, sollen der Elektromotor und der Ventilator ersetzt werden.	
B	Analyse		Die gemessene, mittlere Leistung des Antriebs beträgt $P_{\text{mess}} = 35 \text{ kW}$.	
			Der Wirkungsgrad des Elektromotors beträgt im gemessenen Teillastbetrieb ca. 91 %.	
			Der Wirkungsgrad des Radialventilators beträgt im gemessenen Teillastbetrieb ca. 78 %.	
			Der Gesamtwirkungsgrad beträgt 71 %, bei idealer Auslegung wären 74 % möglich.	
		Schlussfolgerung	Der Gesamtwirkungsgrad kann (nur) um 3 % verbessert werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität		-	
	in [kWh / Jahr]	9'198	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} * \Delta \eta$; $\Delta \eta = 3 \%$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	598.00	Mittlerer Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	15'000.00	Ersatz Ventilator und Asynchronmotor	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	1'300.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	50.3	Unwirtschaftliche - Massnahmen	

5.2.2. M2 Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 4 reduzieren

M2	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 4	ACC Regler / Steuerung Luftklappen	Sollwert des Luftdruckes reduzieren
A	Massnahme		Unter Beachtung der Aufrechterhaltung einer optimalen Verbrennung soll stufenweise eine Reduktion des Sollwertes vorgenommen werden.	
B	Analyse		Über die Luftklappen unterhalb des Rostes wird im Normalbetrieb ein Druck von 20 mbar aufrecht erhalten. Übersteigt der Druck diesen Sollwert, öffnet sich eine 4. Klappe in den Feuerraum.	
			Die gemessene, mittlere Leistung des Motors beträgt 35 kW.	
		Schlussfolgerung	Die Reduktion des Luftdruckes ist schrittweise vorzunehmen.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$v = \text{const.}$; $p_{\text{ist}} = 20 \text{ mbar}$; $p_{\text{soll}} = 18 \text{ mbar}$; $P_{\text{mess}} = 35 \text{ kW}$	
	in [kWh / Jahr]	30'700	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} * (p_{\text{ist}} - p_{\text{soll}}) / p_{\text{ist}}$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	1'996.00	Mittlerer Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.		-	
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00		
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	< 1.0	Sofort - Massnahmen	

5.2.3. M3 Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 3 reduzieren

M3	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 3	ACC Regler / Steuerung Luftklappen	Sollwert des Luftdruckes reduzieren
A	Massnahme		Unter Beachtung der Aufrechterhaltung einer optimalen Verbrennung soll stufenweise eine Reduktion des Sollwertes vorgenommen werden.	
B	Analyse		Über drei Luftklappen unterhalb des Rostes wird im Normalbetrieb ein Druck von 12 mbar aufrecht erhalten. Übersteigt der Druck diesen Sollwert, öffnet sich eine 4. Klappe in den Feuerraum. Die gemessene, mittlere Leistung des Motors beträgt 39 kW.	
		Schlussfolgerung	Die Reduktion des Luftdruckes ist schrittweise vorzunehmen.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$v = \text{const.}; p_{\text{ist}} = 12 \text{ mbar}; p_{\text{soll}} = 11 \text{ mbar}; P_{\text{mess}} = 39 \text{ kW}$	
	in [kWh / Jahr]	28'500	$\Delta E = \Delta P * t; \Delta P = P_{\text{mess}} * (p_{\text{ist}} - p_{\text{soll}}) / p_{\text{ist}}; t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	1'853.00	Mittlerer Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.		-	
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00		
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	< 1.0	Sofort - Massnahmen	

5.2.4. M4 Zuluftklappen im Bunkerraum automatisieren

M4	Primärluftzufuhr	Bunkerraum	Luft Eintrittsschleusen	Druckabfallreduzierung im Bunkerraum
A	Massnahme		Durch geeignete Massnahmen kann der Druckabfall im Ansaugbereich der Primärventilatoren reduziert werden.	
B	Analyse		Die Primärluft der Ofenlinien wird aus dem Müllbunker angesogen (Nachts nur OL 3)	
			Die Abladeportale sind ausserhalb der Anlieferzeiten aus Sicherheitsgründen geschlossen (t1;t2).	
			Die separaten Zuluftklappen müssen bei geöffneten Abladeportalen geschlossen sein. Da diese nicht automatisiert sind, sind sie faktisch immer geschlossen, was zu einem Mehrbrauch an elektrischer Energie bei den Primärventilatoren führt. Durch eine Automatisierung der Zuluftklappen kann der Druckabfall gemäss Messungen um ca. 10 mbar reduziert werden.	
		Schlussfolgerung	Die Massnahme ermöglicht Einsparungen bei der Primärluftzuführung.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$t1 = 2555 \text{ h}; t2 = 2920 \text{ h}; \Delta p = 10 \text{ mbar} = 1000 \text{ [Pa]}; V_{\text{Tag}} = 12.4 \text{ m}^3/\text{s}; V_{\text{Nacht}} = 8.22 \text{ m}^3/\text{s}$	
	in [kWh / Jahr]	38'979	$\Delta E = \Delta P_{\text{Tag}} * t1 + \Delta P_{\text{Nacht}} * t2; \Delta P_{\text{Tag}} = V_{\text{Tag}} * \Delta p * \eta; \Delta P_{\text{Nacht}} = V_{\text{Nacht}} * \Delta p * \eta; \eta = 0.7$	
	in [CHF / Jahr]	2'534.00	Mittlerer Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.		-	
	Investitionskosten IK in [CHF]	8'000.00	Automatisierung der Zuluftklappen, Einbau eines Drucksensors	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	693.00	$JK = IK/a + IK/2 * z; a = 15 \text{ Jahre}; z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	3.4	Kurzfristige Massnahmen	

5.2.5. M5 Luftverteilsystem unter dem Rost in OL 4 ersetzen

M5	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Ventilation und Drosselklappen	Ersatz Luftverteilsystems (Drosselklappen)
A	Massnahme		Der zentrale Primärluftventilator und das Luftklappensystem unterhalb des Rostes sollen durch 4 separate, Luftmengengeführte Ventilatoren ersetzt werden.	
B	Analyse		Die heutige Lösung der Luftverteilung mittels Drosselklappen führt zu hohen Druckverlusten in der Primärluftzufuhr. Durch den Entfall der Klappen und dank vermindertem Arbeitsdruck kann die Effizienz um ca. 35 % gesteigert werden. Die mittlere Leistungsaufnahme des Primärventilators beträgt 35 kW.	
		Schlussfolgerung	Die neue Lösung ermöglicht eine optimale und energieeffiziente Luftzufuhr zu den Ofensegmenten.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$\Delta p = 35 \%$; $P_{\text{mess}} = 35 \text{ kW}$	
	in [kWh / Jahr]	107'310	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} * \Delta p$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	6'975.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.		-	
	Investitionskosten IK in [CHF]	60'000.00	Einbau von 4 FU-gesteuerten Ventilatoren ($V_{\text{nnenn}} = 4 \times 2.9 \text{ m}^3/\text{s}$) inkl. Antrieb, Anpassungen Regelung	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	5'200.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	10.4	Kurzfristige Massnahmen	

5.2.6. M6 Luftverteilsystem unter dem Rost in OL 3 ersetzen

M6	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 3	Ventilation und Drosselklappen	Ersatz Luftverteilsystems (Drosselklappen)
A	Massnahme		Der zentrale Primärluftventilator und das Luftklappensystem unterhalb des Rostes sollen durch 4 separate, Luftmengengeführte Ventilatoren ersetzt werden.	
B	Analyse		Die heutige Lösung der Luftverteilung mittels Drosselklappen führt zu hohen Druckverlusten in der Primärluftzufuhr. Durch den Entfall der Klappen und dank vermindertem Arbeitsdruck kann die Effizienz um ca. 35 % gesteigert werden. Synergien ergeben mit Massnahme M7 (Drallregler). Die mittlere Leistungsaufnahme des Primärventilators beträgt 39 kW.	
		Schlussfolgerung	Die neue Lösung ermöglicht eine optimale und energieeffiziente Luftzufuhr zu den Ofensegmenten.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$\Delta p = 35 \%$; $P_{\text{mess}} = 39 \text{ kW}$	
	in [kWh / Jahr]	119'574	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} * \Delta p$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	7'772.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	40'000.00	Einbau von 4 FU-gesteuerten Ventilatoren ($V_{\text{nnenn}} = 4 \times 1.1 \text{ m}^3/\text{s}$) inkl. Antrieb, Anpassungen Regelung	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	3'467.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	5.7	Kurzfristige Massnahmen	

5.2.7. M7 Drallregler der Primärluftzufuhr in OL 3 ersetzen

M7	Primärluftzufuhr	Ofenlinie 3	Drallregler	Ersatz der Drallregelung durch FU-gesteuerte Antriebe
A	Massnahme		Der bestehende Drallregler soll durch einen neuen Radialventilator mit FU-Antrieb ersetzt werden.	
B	Analyse		Die bestehende Luftverteilung mittels Drallregler entspricht nicht mehr dem Stand der Technik.	
			Durch die neue Lösung kann der spezifische Leistungsbedarf [kW/m³/s] auf das vergleichbare Niveau der Ofenlinie 4 reduziert werden, $P_{\text{spez_OL4}} = 4.25 \text{ kW/m}^3/\text{s}$	
			Daraus ergibt sich der neue Leistungsbedarf: $P_{\text{neu}} = P_{\text{spez_OL4}} * V_{\text{soll}}$, $V_{\text{soll}} = 4.22 \text{ m}^3/\text{s}$	
		Schlussfolgerung	Die neue Lösung ermöglicht eine effizientere Primärluftzufuhr.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	184'529	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{ist}} - P_{\text{neu}}$; $t = 8760 \text{ h}$; $P_{\text{ist}} = 39 \text{ kW}$	
	in [CHF / Jahr]	11'994.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	26'000.00	Einbau eines FU-gesteuerten Ventilators inkl. Antrieb $P_{\text{nenn}} = 30 \text{ kW}$ /Anpassungen in Steuerung	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	2'253.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	2.3	Kurzfristige Massnahmen	

5.2.8. M8 Wirkungsgrad der Sekundärluftzufuhr in OL 4 verbessern

M8	Sekundärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Überprüfung des Wirkungsgrades
A	Massnahme		Um den Wirkungsgrad zu verbessern, sollen der Elektromotor und der Ventilator ersetzt werden.	
B	Analyse		Diese Effizienzsteigerungsmöglichkeit wird durch Massnahme 9 erreicht.	
		Schlussfolgerung	siehe Massnahme M9.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	0		
	in [CHF / Jahr]	0.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]			

5.2.9. M9 Überbrückung des Sekundärluftventilators im Normalbetrieb

M9	Sekundärluftzufuhr	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Überbrückung des Ventilators für den Normalbetrieb
A	Massnahme		Für den Normalbetrieb soll ein zusätzlicher, kleinerer Ventilator mit einer Nennleistung von 5 m³/s installiert werden. Der bestehende Ventilator bleibt aus Redundanzgründen parallel betriebsbereit.	
B	Analyse		Die gemessene, mittlere Leistung des Motors beträgt 24 kW bei 25 % der Nennleistung.	
			Der Wirkungsgrad des Elektromotors beträgt im gemessenen Teillastbetrieb ca. 89 %.	
			Der Wirkungsgrad des Radialventilators beträgt im gemessenen Teillastbetrieb ca. 77 %.	
			Der Gesamtwirkungsgrad beträgt 69 %, bei idealer Auslegung wären 74 % möglich.	
		Schlussfolgerung	Der Gesamtwirkungsgrad könnte um 5 % verbessert werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität		P _{mess} = 24 kW	
	in [kWh / Jahr]	10'512	$\Delta E = \Delta P \cdot t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} \cdot \Delta \eta$; $\Delta \eta = 5 \%$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	683.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.		-	
	Investitionskosten IK in [CHF]	26'000.00	Einbau eines FU-gesteuerten Ventilators inkl. Antrieb P _{nenn} = 30 kW /Anpassungen in Steuerung	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	2'253.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	159.5	Unwirtschaftliche - Massnahmen	

5.2.10. M10 Drallregler der Sekundärluftzufuhr in OL 3 ersetzen

M10	Sekundärluftzufuhr	Ofenlinie 3	Drallregler	Ersatz der Drallregelung durch FU-gesteuerte Antriebe
A	Massnahme		Der bestehende Drallregler soll durch einen neuen Radialventilator mit FU-Antrieb ersetzt werden.	
B	Analyse		Die bestehende Luftverteilung mittels Drallregler entspricht nicht dem Stand der Technik.	
			Durch die neue Lösung kann der spez. Leistungsbedarf [kW/m³/s] auf das vergleichbare Niveau der Ofenlinie 4 reduziert werden, P _{spez_OL4} = 5.2 kW/ m³/s	
			Daraus ergibt sich der neue Leistungsbedarf: P _{neu} = P _{spez_OL4} * V _{soll} , V _{soll} = 1.76 m³/s	
		Schlussfolgerung	Die neue Lösung ermöglicht eine effizientere Primärluftzufuhr.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	287'748	$\Delta E = \Delta P \cdot t$; $\Delta P = P_{\text{ist}} - P_{\text{neu}}$; $t = 8760 \text{ h}$; $P_{\text{ist}} = 42 \text{ kW}$	
	in [CHF / Jahr]	18'704.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	24'000.00	Einbau eines FU-gesteuerten Ventilators inkl. Antrieb P _{nenn} = 15 kW /Anpassungen in Steuerung	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	2'080.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	1.3	Kurzfristige Massnahmen	

5.2.11. M11 Wirkungsgrad der Lufttrezyklisierung in OL 4 verbessern

M11	Rezulft - Rückführung	Ofenlinie 4	Antriebsmotor und Ventilator	Überprüfung des Wirkungsgrades
A	Massnahme		Um den Wirkungsgrad zu verbessern, sollen der Elektromotor und der Ventilator ersetzt werden.	
B	Analyse		Die gemessene, mittlere Leistung des Motors beträgt 49 kW bei 45 % der Nennleistung.	
			Der Wirkungsgrad des Elektromotors beträgt im gemessenen Teillastbetrieb ca. 91 %.	
			Der Wirkungsgrad des Radialventilators beträgt im gemessenen Teillastbetrieb ca. 78 %.	
			Der Gesamtwirkungsgrad beträgt 71 %, bei idealer Auslegung wären 74 % möglich.	
		Schlussfolgerung	Der Gesamtwirkungsgrad kann (nur) um 3 % verbessert werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität		P _{mess} = 49 kW	
	in [kWh / Jahr]	12'877	$\Delta E = \Delta P \cdot t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} \cdot \Delta \eta$; $\Delta \eta = 3 \%$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	837.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	17'000.00	Ersatz Ventilator und Asynchronmotor	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	1'473.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	34.2	Unwirtschaftliche - Massnahmen	

5.2.12. M12 Bunkerraumbewirtschaftung optimieren

M12	Müllzufuhr	Bunkerraum	Transport-, Lager- und Verteilsystem	Reduktion Fahrbewegungen / Hubarbeit
A	Massnahme		Die Effizienz der Bunkerraumbewirtschaftung soll optimiert werden.	
B	Analyse		Die Messung der Krananlagen ergibt eine mittlere Leistungsaufnahme von 6.9 kW, bei maximal 19.7 kW Spitzenlast. Der Antriebsmotor der Krananlage weist keine Rekuperierung auf.	
			Die vielen Fahrbewegungen resultieren aus dem begrenztem Nutzvolumen des Müllbunkers.	
			Durch die Art und Weise des Kranantriebes würde bei einer Anlage mit Rekuperierung nur bedingt eine Effizienzsteigerung erreicht.	
		Schlussfolgerung	Die Effizienz der Krananlage kann nur marginal erhöht werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität		Selbst wenn die Fahrbewegungen um 20% reduziert werden, resultiert (nur) folgende Einsparung:	
	in [kWh / Jahr]	12'089	$\Delta E = P_{\text{mess}} \cdot \Delta t$; $P_{\text{mess}} = 6.9 \text{ kW}$; $\Delta t = 1750 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	786.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00		
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]		- Unwirtschaftliche - Massnahmen	

5.2.13. M13 Schredderanlage kompakt betreiben

M13	Müllzufuhr	Schredderanlage	Steuerung	Kompakte Einschaltzeiten
A	Massnahme		Die Schredderanlage soll bei Nicht-Bedarf ausgeschaltet werden und möglichst während kompakter Blockzeiten genutzt werden.	
B	Analyse		Die Messung der Schredderanlage ergibt eine mittlere Leistungsaufnahme von bis zu 270 kW, dabei treten Spitzlasten von bis zu 440 kW auf. Nach einer intensiven Belastung läuft die Anlage während einiger Zeit mit rund 70 kW nach. Der Stand-By Bedarf beträgt rund 7 kW. Bei den gemessenen Arbeitstagen betrug die Nachlaufzeit ca. 1 h/Tag, die Stand-By Zeit ca. 2 h/Tag.	
		Schlussfolgerung	Durch konsequente Abschaltungen und Blockzeiten kann (geringfügig) Energie eingespart werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	21'840	$\Delta E = P_1 \cdot t_1 + P_2 \cdot t_2$; $t_1 = 260 \text{ h}$; $t_2 = 520 \text{ h}$; $P_1 = 70 \text{ kW}$; $P_2 = 7 \text{ kW}$	
	in [CHF / Jahr]	1'420.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.		-	
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00		
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	< 1.0	Sofort - Massnahmen	

5.2.14. M14 Ersatz des Ölkühlsystems der Schredderanlage

M14	Müllzufuhr	Schredderanlage	Ölkühlung	Ersatz der Kälteanlage durch Kühlung mit Brauchwasser
A	Massnahme		Der bestehende Ölkühler der Schredderanlage, welche via Kälteanlage geschaltet ist, soll durch eine Brauchwasserkühlung ersetzt werden.	
B	Analyse		Die Kühlung der Schredderanlage belastet die Kälteanlage mit rund 30 kW elektr. Leistungsbedarf. An heissen Sommertagen ist die Kühlleistung der Kälteanlage ungenügend. Die Schredderanlage arbeitet täglich rund 5 h.	
		Schlussfolgerung	Die neue Lösung ermöglicht eine effizientere Kühlung der Schredderanlage und entlastet die Kälteanlage.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	39'000	$\Delta E = \Delta P \cdot t$; $\Delta P = 30 \text{ kW}$; $t = 1300 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	2'535.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	50'000.00	Einbau eines Brauchwasserkühlers, Anschluss an bestehende Brauchwasserfassung	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	4'333.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	32.6	Unwirtschaftliche - Massnahmen	

5.2.15. M15 Betriebsdruck der Rauchgaswaschanlage in OL 3 reduzieren

M15	Rauchgasabzug	Ofenlinie 3	Rauchgaswaschanlage	Reduktion Betriebsdruck
A	Massnahme		Der Sollwert für den Druckabfall über der Rauchgaswaschanlage soll versuchsweise reduziert werden.	
B	Analyse		Der Sollwert des Gegendruckes beträgt konstant 25 mbar.	
			Die mittlere Leistungsaufnahme des Saugzugventilators beträgt 179 kW.	
			Der Gegendruck soll versuchsweise um 10 % reduziert werden.	
			Die Umsetzung der Massnahme ist abhängig von praktischen Erkenntnissen aus einem Pilotversuch.	
		Schlussfolgerung	Die Massnahme könnte, falls betrieblich möglich, ohne Investitionen zu einer Effizienzsteigerung führen.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$\Delta p = 10 \%$; $P_{\text{mess}} = 179 \text{ kW}$	
	in [kWh / Jahr]	156'804	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} * \Delta p$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	10'192.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	< 1.0	Abhängige Massnahmen	

5.2.16. M16 Betriebsdruck der Rauchgaswaschanlage in OL 4 reduzieren

M16	Rauchgasabzug	Ofenlinie 4	Rauchgaswaschanlage	Reduktion Betriebsdruck
A	Massnahme		Der Sollwert für den Druckabfall über der Rauchgaswaschanlage soll versuchsweise reduziert werden.	
B	Analyse		Der Sollwert des Gegendruckes beträgt konstant 25 mbar.	
			Die mittlere Leistungsaufnahme des Saugzugventilators beträgt 371 kW.	
			Falls die Vergleichbare Massnahme bei Ofenlinie 3 erfolgreich umsetzbar ist, soll der Gegendruck um 10 % reduziert werden.	
		Schlussfolgerung	Die Massnahme könnte, falls betrieblich möglich, zu einer Effizienzsteigerung führen.	
C	Einsparpotential Elektrizität		$\Delta p = 10 \%$; $P_{\text{mess}} = 371 \text{ kW}$	
	in [kWh / Jahr]	324'996	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} * \Delta p$; $t = 8760 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	21'125.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	45'000.00	Anpassungen Ringjet in Rauchgaswaschanlage (Schätzung)	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	3'900.00	$JK = IK/a + IK/2 * z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	2.2	Abhängige Massnahmen	

5.2.17. M17 Reaktionstemperatur im Katalysator erhöhen

M17	Rauchgasbehandlung	Denox-Anlage	Rauchgaserhitzer	Reduktion der Verschmutzung
A	Massnahme		Durch die Erhöhung der Reaktionstemperatur in der DeNOx-Stufe soll die Verschmutzung, und damit der Druckabfall über dem Katalysator vermindert werden.	
B	Analyse		Im gereinigten Zustand beträgt der Druckabfall über dem Katalysator rund $p_{ger} = 14$ mbar.	
			Nach ca. 3 Monaten beträgt der Druckabfall bereits $p_{schmutz} = 28$ mbar, und der Katalysator muss gereinigt werden. Um die Verschmutzung zu minimieren, wurde der Temperaturversuchsweise von 240 °C auf ca. 260 °C erhöht.	
	Schlussfolgerung		Der Versuchsbetrieb hat gezeigt, dass die eine verminderte Verschmutzung des Katalysators nicht erreicht werden kann.	
C1	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	0		
	in [CHF / Jahr]	0.00		
C2	Mehrverbrauch thermische Energie		Eine Erwärmung um 108 K erfordert jährlich 930'000 Liter. Heizöl. Die zusätzliche Erhitzung des Rauchgases um 20 K würde demnach ca. 172'000 Liter Heizöl erfordern.	
	in [kWh / Jahr]	1'720'000		
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00		
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00	JK = IK/a + IK/2 * z ; a = 15 Jahre; z = 4 %	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]		-	

5.2.18. M18 Substitution von Öl durch Sattdampf in DeNOx-Anlage

M18	Rauchgaserhitzung	Denox-Anlage	Ölbrenner	Ersatz durch Sattdampf-Wärmetauscher
A	Massnahme		Der Ölbrenner zur Erhitzung der Abgase in der DeNOx Anlage soll durch eine Sattdampf-WRG (Wärme-Rückgewinnung) ersetzt werden.	
B	Analyse		Die heutige Lösung der Abgaserhitzung erfordert eine hohe Menge an nicht erneuerbarer Energie. Durch den Ersatz der Heizung mittels Sattdampf kann die interne Energieerzeugung sinnvoll und wirtschaftlich genutzt werden. Der Ölbrenner verbraucht jährlich ca. 930'000 Liter Heizöl bei T _{Denox} = 260 °C.	
		Schlussfolgerung	Die neue Lösung ist wirtschaftlich und ermöglicht zudem eine Reduktion des CO ₂ Ausstosses.	
C	Einsparpotential		1 Liter Heizöl = 10 kWh	
	Öl in [kWh / Jahr]	7'580'000	zu substituierende therm. Energie	
	in [CHF / Jahr]	257'720.00	Einkaufspreis Heizöl: 3.3 Rp/kWh	
	Mindereinnahmen Wärme in [CHF]	-76'558.00	Verkaufspreis therm. Energie: 1.01 Rp/kWh (Substitution Öl)	
	Nettoeinsparung in [CHF / Jahr]	181'162.00	(Allfällige CO ₂ Abgabe nicht berücksichtigt)	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	1'000'000.00	Einbau einer WRG	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	86'667.00	JK = IK/a + IK/2 * z ; a = 15 Jahre; z = 4 %	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	4.2	Andere Massnahmen	

5.2.19. M19 Pumpenleistung für Kühlung der Turbinen reduzieren

M19	Energieerzeugung	Dampfturbinen	Kühlwasserpumpen für Turbinen	Kühlung im Winter mit nur einer Kühlwasserpumpe
A	Massnahme		In den kühleren Monaten soll die Kühlung der Turbinengruppe 1 und 2 mit nur einer Kühlwasserpumpe sichergestellt werden.	
B	Analyse		In den Sommermonaten reicht die Flusstemperatur für den Betrieb mit nur einer Pumpe nicht aus. Die mittlere Leistungsaufnahme der Kühlwasserpumpen betragen 122 kW, resp. 130 kW. Während ca. 7 Monaten kann der Betrieb durch eine hydraulische Umschaltung mit einer Kühlwasserpumpe gewährleistet werden.	
		Schlussfolgerung	Die Massnahme führt ohne Investitionen zu einer wesentlichen Effizienzsteigerung.	
C	Einsparpotential Elektrizität		P _{mess} = 252 kW	
	in [kWh / Jahr]	643'860	$\Delta E = \Delta P * t$; $\Delta P = P_{\text{mess}} / 2$; t = 5110 h	
	in [CHF / Jahr]	41'851.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	0.00	-	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	0.00	JK = IK/a + IK/2 * z ; a = 15 Jahre; z = 4 %	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	< 1.0	Realisierte Massnahmen	

5.2.20. M20 Luftwechsel Schredderanlage reduzieren

M20	Hilfsbetriebe	Lüftungsanlagen	Zu/Abluft Schredderanlage	Einführung Raumtemperatur-Führung und Spülbetrieb
A	Massnahme		Durch steuerungstechnische Änderungen soll der Maschinenraum der Schredderanlage neu temperaturgeführt und im Spülbetrieb belüftet werden.	
B	Analyse		Zur Zeit arbeiten die Ventilatoren für die Zu- und die Abluft im Dauerbetrieb. Der Volumenstrom beträgt ca. 6'500 m ³ /h.	
			Eine ausreichende Lüftung kann durch eine 30-minütige Spüllüftung alle 6 Stunden sichergestellt werden. Bei Temperaturen > 30°C soll im Dauerbetrieb belüftet werden.	
		Schlussfolgerung	Die betroffenen Räume können wesentlich effizienter belüftet werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	15'000	$\Delta E = \Delta P \cdot t$; $\Delta P = 5 \text{ kW}$; $t = 3000 \text{ h}$	
	in [CHF / Jahr]	975.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	2'500.00	Anpassungen MSR, Elektroinstallationen	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	217.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	2.7	Sofort - Massnahmen	

5.2.21. M21 Luftwechsel Turbinenhalle reduzieren

M21	Hilfsbetriebe	Lüftungsanlagen	Zu/Abluft Turbinenhalle	Einführung Raumtemperatur-Führung und Spülbetrieb
A	Massnahme		Durch steuerungstechnische Änderungen soll die Turbinenhalle inkl. Keller und Schalldämmhauben neu temperaturgeführt und im Spülbetrieb belüftet werden.	
B	Analyse		Auf einige Monoblocks für die Zuluft in der Turbinenhalle kann verzichtet werden. Sie können durch einfache Fassadenöffnungen ersetzt werden.	
			Eine ausreichende Lüftung kann durch eine 30-minütige Spüllüftung alle 12 Stunden sichergestellt werden. Bei Temperaturen > 40°C soll im Dauerbetrieb belüftet werden.	
		Schlussfolgerung	Die betroffenen Räume können wesentlich effizienter belüftet werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	150'000	$\Delta E = E_{\text{ist}} - E_{\text{reduziert}}$; $E_{\text{ist}} = 250'000 \text{ kWh}$; $E_{\text{reduziert}} = 150'000 \text{ kWh}$	
	in [CHF / Jahr]	9'750.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	20'000.00	Anpassungen MSR, Elektroinstallationen, Lüftungsinstallationen	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	1'733.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	2.1	Sofort - Massnahmen	

5.2.22. M22 Luftwechsel diverser Nebenräume reduzieren

M22	Hilfsbetriebe	Lüftungsanlagen	Zu/Abluft Diverser Nebenräume	Einführung Spülbetrieb
A	Massnahme		Durch steuerungstechnische Änderungen sollen diverse Nebenräume nur noch im Spülbetrieb belüftet werden.	
B	Analyse		Folgende Räume sind betroffen: Speisewassertank, Pumpenraum/Tankraum, Kältezentrale, Lüftungszentrale, Pumpen Sandfang. Eine ausreichende Lüftung kann durch eine 30-minütige Spüllüftung alle 4 Stunden sichergestellt werden.	
		Schlussfolgerung	Die betroffenen Räume können effizienter belüftet werden.	
C	Einsparpotential Elektrizität			
	in [kWh / Jahr]	50'000	$\Delta E = E_{\text{ist}} - E_{\text{reduziert}}$; $E_{\text{ist}} = 60'000 \text{ kWh}$; $E_{\text{reduziert}} = 10'000 \text{ kWh}$	
	in [CHF / Jahr]	3'250.00	Energierücknahmetarif: 6.5 Rp/kWh	
D	Kostenschätzung approx.			
	Investitionskosten IK in [CHF]	3'500.00	Anpassungen MSR, Elektroinstallationen	
	Jahreskosten JK in [CHF / Jahr]	303.00	$JK = IK/a + IK/2 \cdot z$; $a = 15 \text{ Jahre}$; $z = 4 \%$	
E	Wirtschaftlichkeit ROI [Jahre]	1.1	Sofort - Massnahmen	

5.2.23. M23 Spitzenlast optimieren

M23	Lastmanagement	alle Elektroverbraucher	Erhöhung der Spitzenlastabgabe
A	Massnahme	Die Spitze der Leistungsabgabe soll durch gezieltes Ausschalten, unterbrechbarer Verbraucher optimiert werden.	
B	Analyse	<p>Massgebend für die Verrechnung des Spitzstroms ist die jeweilige Abgabeleistung, die zum Zeitpunkt der vier höchsten Verbrauchsspitzen im AEW Netz während jeweils einer Stunde zur Verfügung steht. Durch den Abwurf interner Lasten kann die Abgabeleistung bei Aufforderung durch die AEW erhöht werden.</p> <p>Folgende Verbraucher könnten für 1 h unterbrochen, resp. reduziert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lüftungsanlagen Turbinenhalle, Schredderanlage, Div. Nebenräume: ausschalten: -40 kW - Schredderanlage: ausschalten (M13) : -440 kW 	
		Schlussfolgerung	M23 bewirkt eine Leistungsreduktion von -480 kW. Durch die Umsetzung aller Massnahmen M1-M22 resultiert eine maximale Leistungsreduktion von -800 kW
C	Einsparpotential Elektrizität	$\Delta P_{\text{Lüftungen}} = 40 \text{ kW}$; $\Delta P_{\text{Schredder}} = 440 \text{ kW}$; $\Delta P_{\text{Massnahmen M1-M22}} = 320 \text{ kW}$	
	in [kW]	480	$\Delta P = \Delta P_{\text{Lüftungen}} + \Delta P_{\text{Schredder}}$
	in [CHF / Jahr]	55'200.00	Leistungsvergütung: 115.00 CHF/kW
	inkl. Umsetzung M1-M22 in [kW]	800	$\Delta P = \Delta P_{\text{Lüftungen}} + \Delta P_{\text{Schredder}} + \Delta P_{\text{Massnahmen M1-M22}}$
	in [CHF / Jahr]	92'000.00	Leistungsvergütung: 115.00 CHF/kW

6. BEWERTUNG DER MASSNAHMEN

6.1. Bewertung der Umsetzbarkeit

Alle unter Kap. 3 hergeleiteten Massnahmen werden nach folgenden Kriterien strukturiert:

Typ	Bezeichnung	Bemerkungen
Typ S	Sofortmassnahme	Diese Massnahmen sind in der Regel ohne bedeutende Investitionskosten in kurzer Zeit umsetzbar. Sie weisen eine hohe Wirtschaftlichkeit aus.
Typ K	Kurzfristige Massnahme	Diese Massnahmen sind nach einer vertieften Planung kurzfristig umsetzbar und weisen einen akzeptablen ROI auf
Typ A	Abhängige Massnahme	Diese Massnahmen sind nach einer vertieften Planung umsetzbar und weisen einen akzeptablen ROI auf. Allerdings sind sie in nur Abhängigkeit des Ergebnisses von Pilotversuchen oder von anderen Rahmenbedingungen realisierbar.
Typ R	Realisierte Massnahme	Diese wirtschaftlich interessanten Massnahmen wurden während der Studie bereits umgesetzt.
Typ U	Unwirtschaftliche Massnahme	Diese Massnahmen werden aufgrund der nicht nachweisbaren Wirtschaftlichkeit nicht zur Umsetzung empfohlen. Als unwirtschaftliche Massnahmen gelten Projektvorschläge, welche einen „Return of Investment“ ROI von mehr als 10 Jahre ausweisen.
Typ X	Andere Massnahmen	Diese Massnahmen führen zu Energie- oder Kosteneinsparungen, ohne dass dabei der Elektrizitätsverbrauch reduziert wird.

Tabelle 4) Strukturierung der Massnahmen

6.2. Übersicht

6.2.1. Maximal realisierbare Massnahmen

Würden in der KVA alle möglichen Massnahmen im Bereich der Elektrizität realisiert, resultieren Energieeinsparungen von maximal 2.2 GWh.

Maximal realisierbare Massnahmen		Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
		[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
TOTAL	Sofort - Massnahmen	14.8	296'040	19'244.00	26'000.00	2'253.00	16'991.00	1.4
TOTAL	Kurzfristige Massnahmen	15.6	738'141	47'979.00	158'000.00	13'693.00	34'286.00	3.5
TOTAL	Abhängige Massnahmen	14.5	481'800	31'317.00	45'000.00	3'900.00	27'417.00	1.5
TOTAL	Realisierte Massnahmen	15.0	643'860	41'851.00	0.00	0.00	41'851.00	< 1.0
TOTAL	Maximal mögliche Massnahmen	15.0	2'159'841	140'391.00	229'000.00	19'846.00	120'545.00	1.7

Tabelle 5) Maximal realisierbare Massnahmen im Bereich Elektrizität

Die Massnahmen lösen insgesamt Investitionen von CHF 229'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 121'000.-. Der mittlere Return Of Investment ROI beträgt 1.7 Jahre bei einer voraussichtlichen, mittleren Nutzungsdauer von 15 Jahren.

6.2.2. Minimal realisierbare Massnahmen

Da die abhängigen Massnahmen nur bedingt umgesetzt werden können, verbleiben folgende, minimal umsetzbare Massnahmen:

Minimal realisierbare Massnahmen		Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
		[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
TOTAL	Sofort - Massnahmen	14.8	296'040	19'244.00	26'000.00	2'253.00	16'991.00	1.4
TOTAL	Kurzfristige Massnahmen	15.6	738'141	47'979.00	158'000.00	13'693.00	34'286.00	3.5
TOTAL	Realisierte Massnahmen	15.0	643'860	41'851.00	0.00	0.00	41'851.00	< 1.0
TOTAL	Minimal mögliche Massnahmen	15.1	1'678'041	109'074.00	184'000.00	15'946.00	93'128.00	1.7

Tabelle 6) Minimal realisierbare Massnahmen im Bereich Elektrizität

Die Massnahmen lösen insgesamt Investitionen von CHF 184'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 93'000.-. Der mittlere Return Of Investment ROI beträgt 1.7 Jahre bei einer voraussichtlichen, mittleren Nutzungsdauer von 15 Jahren.

Bei einem Eigenverbrauch von ca. 17 GWh können mindestens 1.7 GWh, resp. maximal 2.2 GWh eingespart werden. Dies entspricht einer Reduktion des Eigenverbrauchs von minimal ca. 10 % bis maximal ca. 13 %.

6.3. Massnahmenkatalog

6.3.1. Sofortmassnahmen

Werden in der KVA alle Sofort - Massnahmen realisiert, resultieren Energieeinsparungen von 300'000 kWh.

Sofort - Massnahmen			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität [kWh / J]	Bruttoertrag [CHF / J]	Investitionen [CHF]	Jahreskosten [CHF / J]	Nettoertrag [CHF / J]	ROI [J]
M13	S	Schrederanlage kompakt betreiben	15	21'840	1'420.00	0.00	0.00	1'420.00	< 1.0
M2	S	Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 4 reduzieren	12	30'700	1'996.00	0.00	0.00	1'996.00	< 1.0
M3	S	Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 3 reduzieren	17	28'500	1'853.00	0.00	0.00	1'853.00	< 1.0
M20	S	Luftwechsel Schrederanlage reduzieren	15	15'000	975.00	2'500.00	217.00	758.00	2.7
M21	S	Luftwechsel Turbinenhalle reduzieren	15	150'000	9'750.00	20'000.00	1'733.00	8'017.00	2.1
M22	S	Luftwechsel diverser Nebenräume reduzieren	15	50'000	3'250.00	3'500.00	303.00	2'947.00	1.1
TOTAL		Sofort - Massnahmen	15	296'040	19'244.00	26'000.00	2'253.00	16'991.00	1.4

Tabelle 7) Sofort - Massnahmen

Die Massnahmen lösen insgesamt Investitionen von CHF 26'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 17'000.-. Der mittlere Return Of Investment ROI beträgt 1.4 Jahre bei einer vorrausichtlichen, mittleren Nutzungsdauer von 15 Jahren.

Wir empfehlen dem Betreiber alle Sofortmassnahmen zur Umsetzung.

6.3.2. Kurzfristige Massnahmen

Würden in der KVA alle kurzfristigen Massnahmen realisiert, resultieren Energieeinsparungen von 740'000 kWh.

Kurzfristige Massnahmen			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
			[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
M10	K	Drallregler der Sekundärluftzufuhr in OL3 ersetzen	17	287'748	18'704.00	24'000.00	2'080.00	16'624.00	1.3
M6	K	Luftverteilsystem unter dem Rost in OL 3 ersetzen	17	119'574	7'772.00	40'000.00	3'467.00	4'305.00	5.7
M7	K	Drallregler der Primärluftzufuhr in OL3 ersetzen	17	184'529	11'994.00	26'000.00	2'253.00	9'741.00	2.3
M4	K	Luftklappen im Bunkerraum automatisieren	15	38'979	2'534.00	8'000.00	693.00	1'841.00	3.4
M5	K	Luftverteilsystem unter dem Rost in OL 4 ersetzen	12	107'310	6'975.00	60'000.00	5'200.00	1'775.00	10.4
TOTAL		Kurzfristige Massnahmen	15.6	738'141	47'979	158'000	13'693	34'286.00	3.5

Tabelle 8) Kurzfristige Massnahmen

Die Massnahmen lösen insgesamt Investitionen von CHF 158'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 34'000.-. Der mittlere Return Of Investment ROI beträgt 3.5 Jahre bei einer vorrausichtlichen, mittleren Nutzungsdauer von 15.6 Jahren.

Wir empfehlen dem Betreiber alle kurzfristigen Massnahmen zur Umsetzung.

6.3.3. Abhängige Massnahmen

Könnten in der KVA alle abhängigen Massnahmen realisiert werden, resultieren Energieeinsparungen von rund 481'800 kWh.

Abhängige Massnahmen			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
			[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
M15	A	Betriebsdruck des Wäschers in OL 3 reduzieren	17	156'804	10'192.00	0.00	0.00	10'192.00	< 1.0
M16	A	Betriebsdruck des Wäschers in OL 4 reduzieren	12	324'996	21'125.00	45'000.00	3'900.00	17'225.00	2.2
TOTAL		Abhängige Massnahmen	14.5	481'800	31'317.00	45'000.00	3'900.00	27'417.00	1.5

Tabelle 9) Abhängige Massnahmen

Die Massnahmen lösen insgesamt Investitionen von CHF 45'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 27'000.-. Der mittlere Return Of Investment ROI beträgt 1.5 Jahre bei einer vorrausichtlichen, mittleren Nutzungsdauer von 14.5 Jahren.

Wir empfehlen dem Betreiber, die Umsetzung aller abhängigen Massnahmen unter folgenden Rahmenbedingungen zu prüfen:

Die Umsetzung der Massnahmen 15) und 16) hängt von dem Erfolg eines noch durchzuführenden Pilotversuches ab, bei dem die Auswirkungen auf den Rauchgasreinigungsprozess im Wäscher untersucht wird.

6.3.4. Realisierte Massnahmen

Folgende Massnahmen sind bereits realisiert worden:

Realisierte Massnahmen			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
			[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
M19	R	Pumpenleistung für Kühlung der Turbinen reduzieren	15	643'860	41'851.00	0.00	0.00	41'851.00	< 1.0
TOTAL		Realisierte Massnahmen	15	643'860	41'851.00	0.00	0.00	41'851.00	< 1.0

Tabelle 10) Realisierte Massnahmen

Durch die umgesetzten Massnahmen werden rund 640'000 kWh an elektrischer Energie eingespart, ohne dass dazu Investitionen erforderlich waren.

Es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 42'000.-.

6.3.5. Andere Massnahmen

Im Rahmen der Projektarbeit wurden folgende, wirtschaftlich interessanten Massnahmen vertieft, welche allerdings keine Einsparungen beim Elektrizitätsverbrauch bewirken:

Andere Massnahmen			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung	[J]	Elektrizität [kWh / J]	Bruttoertrag [CHF / J]	Investitionen [CHF]	Jahreskosten [CHF / J]	Nettoertrag [CHF / J]	ROI [J]
M18	X	Substitution von Öl durch Sattdampf in DeNOx-Anlage *) Mindereinnahmen Wärmeproduktion berücksichtigt	15	0	257'720.00	1'000'000.00	86'667.00	171'053.00	4.2
M23	X	Spitzenlast optimieren	15	0	55'200.00	0.00	0.00	55'200.00	< 1.0
TOTAL		Andere Massnahmen	15	0	312'920.00	1'000'000.00	86'667.00	226'253.00	3.4

Tabelle 11) andere Massnahmen

Die Reduktion der Spitzlast führt zu Kosteneinsparungen von jährlich CHF 55'000.- und optimiert die Auslastung des vorgelagerten Übertragungsnetzes.

Die heutige Lösung der Abgaserhitzung erfordert eine hohe Menge an nicht erneuerbarer Energie. Durch den Ersatz der Heizung mittels Sattdampf (M18) kann die interne Energieerzeugung sinnvoll und wirtschaftlich genutzt werden.

Durch die anderen Massnahmen könnte ein jährlicher Nettoertrag von *) CHF 226'000.- erwirtschaftet werden und die CO₂-Emissionen könnten jährlich um 2'200 [t] gesenkt werden.

*) allfällige CO₂ Abgaben nicht berücksichtigt.

6.3.6. Unwirtschaftliche Massnahmen

Im Rahmen der Projektarbeit wurden einige, mögliche Massnahmen verfolgt, welche jedoch wirtschaftlich nicht interessant sind:

Unwirtschaftliche - Massnahmen			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
			[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
M1	U	Wirkungsgrad der Primärluftzufuhr in OL 4 verbessern	12	9'198	598.00	15'000.00	1'300.00	-702.00	50.3
M11	U	Wirkungsgrad der Luftrezzyklierung in OL 4 verbessern	12	12'877	837.00	17'000.00	1'473.00	-636.00	34.2
M12	U	Bunkerraumbewirtschaftung optimieren	15	0	12'088.80	> >	>>	-	-
M9	U	Überbrückung des Sekundärluftventilators in OL 4	12	10'512	683.00	26'000.00	2'253.00	-1'570.00	159.5
M14	U	Ersatz des Ölkühlsystems der Schredderanlage	15	39'000	2'535.00	50'000.00	4'333.00	-1'798.00	32.6
TOTAL		Unwirtschaftliche - Massnahmen	13.2	71'587	16'741.80	108'000.00	9'359.00	7'382.80	7.4

Tabelle 12) unwirtschaftliche Massnahmen

Den durch die Massnahmen zu erwartenden Energieeinsparungen stehen zu hohe Investitionskosten gegenüber. Die Vorschläge sind daher wirtschaftlich nicht begründbar.

Aus betrieblichen Gründen empfehlen wir - zur Entlastung der Kälteanlage - die Massnahme M14 „Ersatz des Ölkühlsystems der Schredderanlage“ trotz der kritischen Wirtschaftlichkeit zu prüfen. Insbesondere ist im Detail zu klären, ob die Variante „Luftkühlung kombiniert mit der Raumheizung“ wirtschaftlicher realisierbar wäre.

7. EFFIZIENZSTEIGERUNGEN

7.1. Ergebnisse KVA Turgi

Vor der Optimierung betrug der Eigenbedarf der Anlage 17 GWh. Bei der verarbeiteten Abfallmenge von 113'900 t ergibt sich ein spezifischer Eigenverbrauch von 149 kWh/t.

Übersicht KVA Turgi aktuell		Menge	Linien	Produktion 2002	Eigenbedarf Elektrizität		Einsparpotential		
		Kehricht	Anzahl	Elektrizität	Absolut	spezifisch	*Zielwert absolut	spezifisch	prozentual
Kt	Bezeichnung	[t / J]	[]	[MWh / J]	[MWh / J]	[kWh / t]	[MWh / J]	[kWh / t]	in [%]
AG	KVA Turgi	113'900	2	85'000	17'000	149	1'919	132	11%

*Zielwert absolut = arithm. Mittel (Minimale; maximale Einsparungen)

Tabelle 13) Ergebnisse KVA Turgi

Die Massnahmen führen zu einer jährlichen Energieeinsparung von minimal 1.7 GWh und maximal 2.2 GWh. Dabei resultiert als Zielwert ein mittlerer, spezifischer Energieverbrauch von 132 kWh/t Abfall.

Das Fallbeispiel KVA Turgi kann nach der Optimierung mit einem spezifischen, elektrischen Energieverbrauch von 132 kWh/t Abfall betrieben werden.

7.2. Übersicht aller Kehrichtverwertungsanlagen in der Schweiz

Die insgesamt 31 Kehrichtverwertungsanlagen in der Schweiz verarbeiten jährlich rund 2.8 Mio. t Abfall. Der elektrische Eigenverbrauch der Anlagen beträgt total 410 GWh.

Quelle: VBSA, 1999

Der schweizerische Mittelwert des spezifischen, elektrischen Eigenverbrauchs beträgt 148 kWh/t Abfall.

7.3. Einfache Hochrechnung zur möglichen Effizienzsteigerung in schweizerischen Kehrichtverwertungsanlagen

Könnte der Mittelwert des spezifischen, elektrischen Eigenverbrauchs auf den im Fallbeispiel realisierbaren Wert von 132 kWh/t reduziert werden, resultiert eine gesamthafte Energieeinsparung von 38 GWh.

Hochrechnung Sparpotenzial	Menge Kehricht [t / J]	Eigenbedarf Elektrizität	
		spez. [kWh / t]	Absolut [MWh / J]
Bezeichnung			
Aktuelle Verbrauchswerte aller Anlagen in der Schweiz	2'815'663	148	410'747
Avisierte Verbrauchswerte aller Anlagen in der Schweiz, Basis: Fallbeispiel KVA Turgi	2'815'663	132	372'811
Sparpotenzial		16	37'936

Tabelle 14) Abschätzung Sparpotenzial aller KVA's

Das landesweite, elektrische Sparpotenzial in thermischen Kehrichtverwertungsanlagen beträgt 38 GWh.

Zum Vergleich: 38 GWh entspricht dem jährlichen Verbrauch von ca. 10'000 Haushaltungen.

8. WEITERE UMSETZUNG DER MASSNAHMEN

8.1. Massnahmen mit erster Priorität

Nach einer Prüfung des in der vorliegenden Studie erarbeiteten Massnahmenkataloges und dessen Abstimmung mit betrieblichen Aspekten haben die Betreiber der KVA Turgi entschieden, die folgenden Massnahmen mit erster Priorität umzusetzen:

Massnahmen zur Umsetzung mit Priorität 1			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität [kWh / J]	Bruttoertrag [CHF / J]	Investitionen [CHF]	Jahreskosten [CHF / J]	Nettoertrag [CHF / J]	ROI [J]
M6	K	Luftverteilssystem unter dem Rost in OL 3 ersetzen	17	119'574	7'772.00	40'000.00	3'467.00	4'305.00	5.7
M7	K	Drallregler der Primärluftzufuhr in OL3 ersetzen	17	184'529	11'994.00	26'000.00	2'253.00	9'741.00	2.3
M10	K	Drallregler der Sekundärluftzufuhr in OL3 ersetzen	17	287'748	18'704.00	24'000.00	2'080.00	16'624.00	1.3
M20	S	Luftwechsel Schrederanlage reduzieren	15	15'000	975.00	2'500.00	217.00	758.00	2.7
M21	S	Luftwechsel Turbinenhalle reduzieren	15	150'000	9'750.00	20'000.00	1'733.00	8'017.00	2.1
M22	S	Luftwechsel diverser Nebenräume reduzieren	15	50'000	3'250.00	3'500.00	303.00	2'947.00	1.1
TOTAL		Massnahmen zur Umsetzung mit Priorität 1	16	806'852	52'445	116'000	10'053	42'392.00	2.3

Tabelle 15) Massnahmen zur Umsetzung mit Priorität 1

Die Massnahmen lösen Investitionen von insgesamt CHF 116'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 43'000.-. Der mittlere Return Of Investment (ROI) beträgt 2.3 Jahre bei einer voraussichtlichen mittleren Nutzungsdauer von 16 Jahren.

Mit dem Entscheid des Betreibers, die oben evaluierten Massnahmen umzusetzen, kann der elektrische Eigenverbrauch – neben den bereits realisierten 4 % - um weitere 5 % reduziert werden.

8.2. Massnahmen mit zweiter Priorität

Nach einer Prüfung des in der vorliegenden Studie erarbeiteten Massnahmenkataloges und dessen Abstimmung mit betrieblichen Aspekten, haben die Betreiber der KVA Turgi entschieden, die folgenden Massnahmen mit zweiter Priorität umzusetzen:

Massnahmen zur Umsetzung mit Priorität 2			Nutzung	Einsparungen		Kosten		Wirtschaftlichkeit	
Pos	Typ	Bezeichnung		Elektrizität	Bruttoertrag	Investitionen	Jahreskosten	Nettoertrag	ROI
			[J]	[kWh / J]	[CHF / J]	[CHF]	[CHF / J]	[CHF / J]	[J]
M2	S	Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 4 reduzieren	12	30'700	1'996.00	0.00	0.00	1'996.00	< 1.0
M3	S	Luftdruck der Primärluftzufuhr in OL 3 reduzieren	17	28'500	1'853.00	0.00	0.00	1'853.00	< 1.0
M13	S	Schrederanlage kompakt betreiben	15	21'840	1'420.00	0.00	0.00	1'420.00	< 1.0
M15	A	Betriebsdruck des Wäschers in OL 3 reduzieren	17	156'804	10'192.00	0.00	0.00	10'192.00	< 1.0
M16	A	Betriebsdruck des Wäschers in OL 4 reduzieren	12	324'996	21'125.00	45'000.00	3'900.00	17'225.00	2.2
TOTAL		Massnahmen zur Umsetzung mit Priorität 2	14.6	562'840.00	36'586.00	45'000.00	3'900.00	32'686.00	1.3

Tabelle 16) Massnahmen zur Umsetzung mit Priorität 2

Die Massnahmen lösen Investitionen von insgesamt CHF 45'000.- aus und es resultiert ein jährlicher Nettoertrag von CHF 33'000.-. Der mittlere Return Of Investment (ROI) beträgt 1.3 Jahre bei einer voraussichtlichen mittleren Nutzungsdauer von 15 Jahren.

Mit dem Entscheid des Betreibers, die oben evaluierten Massnahmen umzusetzen, kann der elektrische Eigenverbrauch um weitere 3 % reduziert werden.