

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

Energieeffizienzmassnahmen für eine Schuhfabrik der Youngone Corporation in Bangladesch

Bachelorarbeit

von

Wicky Raphael & Wild Matthias

Bachelorstudiengang 2008

Abgabedatum: 08.09.2011

Studienrichtung: Umweltingenieur

Fachkorrektoren:

Dozent Jürg Rohrer
ZHAW Wädenswil
Gruental
8820 Wädenswil

Dr. Michel Geelhaar
Geelhaarconsulting
Gutenbergstrasse 14
3011 Bern

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde von Raphael Wicky und Matthias Wild, basierend auf einem dreiwöchigen Aufenthalt in Bangladesch, verfasst.

Beide Autoren hatten individuell das Interesse, eine Bachelorarbeit im Themengebiet der Energieeffizienz, kombiniert mit internationaler Zusammenarbeit, zu behandeln. Bei der Suche stiess Raphael Wicky schnell auf Repic, der Vermittlungsplattform für Energieeffizienzprojekte in der internationalen Zusammenarbeit des DEZA's, BAFU's, BFE's und der seco.

Das zu diesem Zeitpunkt noch laufende Projekt „KEPZ-feasibility study on renewable energies and energy efficiency in Bangladesh“, geleitet von Dr. Michel Geelhaar, hat ergeben, dass noch eine zusätzliche Abklärung bezüglich der Energieeffizienz vollzogen werden musste. Dieses Nebenprojekt weckte schnell das Interesse bei beiden Autoren, wobei zuerst nur Raphael Wicky auf Michel Geelhaar zugeht. Dieser sah das Potential einer solchen Studie, und willigte ein, dass Raphael Wicky, mit dem mittlerweile dazu geholten Mitstudenten Matthias Wild, diese Studie im Rahmen ihrer Bachelorarbeit verfassen kann. Das Mandat des Korrektors der ZHAW Wädenswil übernahm freundlicherweise Jürg Rohrer, der mit seinem Fachwissen diese Arbeit sehr gut unterstützen konnte.

Während eines dreiwöchigen Aufenthaltes in Chittagong, Bangladesch wurde die Situation in der Youngone Schuhfabrik in der CEPZ analysiert. Die Suche nach möglichen Energiesparpotentialen war die Hauptaufgabe, während das Finden von zuverlässigen Daten schlussendlich für die Autoren am meisten Zeit beanspruchte.

Das Resultat dieses Projektes, die vorliegende Arbeit, betrachtet eine einzelne Situation in einer sehr grossen Produktionslandschaft in einem Land, in dem Umweltschutzmassnahmen und Energieeffizienz noch keine dringenden Themen sind. Die Arbeit soll nicht isoliert als Einzelmassnahme aufkommen und untergehen, sondern Ansporn liefern für weitere Massnahmen/Fabriken/Zonen. Deshalb entschieden sich die Autoren, auch Themen wie die Wirtschaftlichkeit solcher Massnahmenumsetzungen zu behandeln, um aufzuzeigen, dass Umweltschutz und Energieeffizienz durchaus auch rentabel sein können. Die Autoren hoffen, einen Stein ins Rollen zu bringen.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen denjenigen Bedanken, welche uns bei unserer Bachelorarbeit mit konstruktiven Anregungen sowie Rat und Tat unterstützt haben.

- Wir bedanken uns bei Herr Dr. Michel Geelhaar, welcher uns tatkräftig bei der Organisation unserer Bangladeschreise geholfen hat und uns mit den erforderlichen Kontakten vor Ort bekannt gemacht hat. Weiter danken wir ihm dafür, dass er sich als zweiter Korrektor zur Verfügung gestellt hat.
- Bei unserem Dozenten und ersten Korrektoren, Herr Jürg Roher, bedanken wir uns für die konstruktiven Anregungen und kritische Betrachtungsweise unserer Vorgehensweise. Weiter danken wir ihm dafür, dass er sich als erster Korrektor zur Verfügung gestellt hat.
- Bei Mr. Kihak Sung dem Chairman der Youngone Corporation sprechen wir unseren herzlichsten Dank dafür, dass wir seine Firma besichtigen und wir finanziell unterstützt wurden.
- Mr. N. A. Khan gebührt unser Dank für die grosse Hilfsbereitschaft beim analysieren seiner Schuhfabrik und der nachfolgenden Unterstützung. Er hatte stets ein offenes Ohr für unsere Anliegen.
- Bei Mr. Yameen Farouk und seinem kompetenten Team bedanken wir uns für die grosse Hilfsbereitschaft beim Besuch der Kleiderfabrik in Dhaka.
- Mr. Akhtaruzzaman und seinem Team möchten wir für die gute Zusammenarbeit bei technischen Fragen danken.
- Ein weiterer Dank geht an Herr Michael Elsässer, dem CEO der Youngone Corporation in Europa, welcher uns im Bereich der bengalischen Wirtschaft einiges in Bezug auf Bangladesch deutlich machen konnte.
- Der Interdepartementalen Plattform REPIC und deren Mitarbeiter möchten wir für die freundliche Unterstützung danken.
- Den Firmen Forbes Marshall sowie Schneider Kessel möchten wir für die zur Verfügung gestellten Offerten danken. Ein spezieller Dank geht dabei an Mr. Khanna von Forbes Marshall, welcher für unsere Fragen stets zur Verfügung stand.
- Herrn Daniel Keller sowie der ganzen Clima Net AG danken wir für die freundliche Unterstützung im Bereich Kühlen mit Wärme.
- Bei der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften in Wädenswil möchten wir uns für die finanzielle Unterstützung bedanken.
- Bei Jochen Fink der Firma Dürr Cyplan Ltd. bedanken wir uns für die fachliche Unterstützung und Offertstellung im Themengebiet ORC.

Ein grosser Dank geht zudem an die Menschen in Bangladesch, welche uns jederzeit und an jedem Ort mit grosser Freundlichkeit, Respekt und Freude in verschiedenen Situationen geholfen und begrüsst haben.

Mit grösstem Respekt

Wild Matthias

Wicky Raphael

Glossar

KEPZ	Korean Export Processing Zone
CEPZ	Chittagong Export Processing Zone
BPDB	Bangladesh Power Development Board
BIP	Bruttoinlandprodukt
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
DEZA	Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit
Seco	Staatssekretariat für Wirtschaft
REPIC	Renewable Energy & Energy Efficiency Promotion in International Co-operation
USD	US Dollar
EUR	Euro
CHF	Schweizer Franken
TWh	Terrawattstunde
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunde
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
m	Meter
m ³	Kubikmeter
m ²	Quadratmeter
km ²	Quadratkilometer
kg	Kilogramm
t	Tonne
mbar	Millibar
ORC	Organic Rankine Cycle
COP	Coefficient of performance
EEl	Energieeffizienz Index
WHRB	Waste Heat Recovery Boiler
AKM	Absorptionskältemaschine

°C

Grad Celsius

kJ

Kilojoule

Zusammenfassung

Die vorliegende Bachelorarbeit von Raphael Wicky und Matthias Wild hat zum Ziel, Energieeffizienzmassnahmen für eine Schuhfabrik der Youngone Corporation in der Chittagong Export Processing Zone in Bangladesch aufzuzeigen. Die vorgeschlagenen Massnahmen werden anhand ihrer Primärenergieeinsparung und Wirtschaftlichkeit bewertet.

Die Arbeit ist zur Verständlichkeit in zwei Hauptteile gegliedert. Teil 1 befasst sich zuerst mit der vorgefundenen Ausgangslage. Die wichtigsten Eckdaten bezüglich Bangladesch und der Youngone Corporation werden erläutert. Danach folgt in der Potentialanalyse die Ermittlung der wichtigsten Energieverbraucher in der Schuhproduktion mit dem Ziel, Energieeinsparpotentiale zu finden. Weiter wird auf die Situation der Energiebereitstellung eingegangen, die sich in zwei Hauptpunkte gliedert: eigens produzierte Energie (durch Boiler und Generatoren im Fabrikgelände) und Energiezukäufe (in Form von Elektrizität). Im darauf folgenden Zwischenergebnisteil wird gezeigt, dass das grösste Energieeinsparpotential in der Abgaswärme der Generatoren liegt und im weiteren Verlauf der Arbeit Varianten gesucht werden, wie diese Abwärme genutzt werden kann. Die zur Verfügung stehende Abwärmemenge in den Abgasen der Generatoren beträgt jährlich rund 8.3 GWh.

Teil 2 der Arbeit befasst sich mit der Nutzung der in Teil 1 ermittelten Abwärmeenergie. Zuerst werden die drei behandelten Abwärmenutzungsvarianten vorgestellt und erläutert, weshalb andere Abwärmenutzungsvarianten nicht weiter betrachtet werden. Nach dieser Technologievorstellung wird die methodische Vorgehensweise erklärt. Es wird definiert, wie die Primärenergieeinsparungen und die Wirtschaftlichkeit genau berechnet werden, welche Faktoren berücksichtigt wurden, und welche nicht. Anhand dieser Methode werden im Ergebnisteil für jede Abwärmenutzungsvariante die Primärenergieeinsparung und die Wirtschaftlichkeit berechnet. Es zeigt sich, dass ein Abhitzedampferzeuger beide Kriterien am besten erfüllt und deshalb die geeignetste Variante darstellt. Die Amortisationszeit würde in einem Normalszenario knappe 7 Monate, die erreichbare Primärenergieeinsparung während einer Betriebszeit von 20 Jahren rund 166 GWh und die kumulierten Einsparungen während derselben Zeitspanne rund 7.4 Millionen USD betragen.

Der folgende Diskussionsteil geht auf weiterführende Energiesparmassnahmen in der Schuhfabrik ein, stellt eine Aussage bezüglich CO₂-Emissionseinsparung durch einen Abhitzedampferzeuger auf und betrachtet abschliessend, was eine konsequente Implementierung von solchen Massnahmen für eine nachhaltige Industrialisierung Bangladeschs bedeuten könnte.

Abstract

The following bachelor thesis by Raphael Wicky and Matthias Wild intends to present energy efficiency measures for a shoe factory of the Youngone Corporation at the Chittagong Export Processing Zone in Bangladesh. The proposed measures will be rated by their primary energy reduction and their profitability.

For a better understanding of the thesis, the paper is divided into two main parts. Part 1 addresses the setting in Bangladesh and some information about the Youngone Corporation. A following analysis of the most significant energy consumers tries to show potential energy saving measures within the shoe production process itself. Also, the situation of the energy-providing side is analysed, which can be categorised into internally produced energy (by boilers and generators in the facility) and additionally bought energy (electricity of the public grid). This analysis is followed by a short intermediate result which summarises that the most eminent energy saving potential is the heat in the exhaust gas of the generators. The effectively usable energy in this exhaust gas is 8.3 GWh per year.

Part 2 of the paper finds possibilities on how to use the waste heat potential determined in part 1. Firstly, the three chosen waste heat recovery measures are presented and it is explained why those three measures are the only ones which are further treated. After this part, the calculation methods regarding primary energy saving and profitability are explained. The following results contain all the calculations which are based on the earlier stated methods. It shows that a waste heat recovery boiler is the most suitable measure, fulfilling both criteria best. The payback period of this measure would, considered a normal scenario, only be 7 months, the achievable primary energy savings combined over 20 years about 166 GWh and financial savings 7.4 million USD.

The summarising discussion covers topics such as continuative energy saving measures in the shoe production, discusses the topic of CO₂ savings by installing a waste heat recovery boiler and finally tries to determine what a consistent integration of such measures would mean for a sustainable industrialisation in Bangladesh.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Danksagung	4
Glossar.....	6
Zusammenfassung.....	8
Abstract.....	9
1 Zielsetzung.....	13
Teil 1	14
2 Ausgangslage	14
2.1 Sozioökonomische Gegebenheiten in Bangladesch.....	14
2.2 Situation Energieverbrauch und Energieversorgung in Bangladesch	15
2.3 Youngone Corporation	17
2.3.1 Youngone Schuhproduktion in der (CEPZ).....	17
3 Potentialanalyse	19
3.1 Gesamtenergieverbrauch.....	20
3.2 Schuhfertigungsprozess der Youngone Corporation in der CEPZ	23
3.2.1 Aussensohle	24
3.2.2 Mittelsohle.....	27
3.2.3 Innensohle	28
3.2.4 Stanzen und Nähen Oberschuh	28
3.2.5 Assembling und Finishing	30
3.3 Energieproduktion der Youngone Schuhfabrik in der CEPZ	31
3.3.1 Thermische Energie	31
3.3.2 Elektrische Energie	35
3.3.3 Energiezukäufe	36

3.4	Zwischenergebnis	38
3.4.1	Schuhfertigungsprozess	38
3.4.2	Energieproduktion	40
Teil 2	46
4	Varianten der Abwärmenutzung	46
4.1	Abhitzedampferzeuger	46
4.2	Absorption-Kühlmaschine	50
4.3	Organic Rankin Cycle (ORC)	54
4.4	Nicht berücksichtigte Varianten	57
5	Methodische Vorgehensweise	59
5.1	Bewertungsfaktoren	59
5.1.1	Primärenergieeinsparung	59
5.1.2	Wirtschaftlichkeit	62
5.2	Bewertung und Auswahl der Abwärmenutzungsvarianten	66
6	Ergebnisse	67
6.1	Primärenergieeinsparung der einzelnen Varianten	67
6.1.1	Abhitzedampferzeuger	67
6.1.2	Absorptions-Kühlmaschine	68
6.1.3	Organic Rankin Cycle (ORC)	70
6.1.4	Zwischenergebnis Primärenergieeinsparung	72
6.2	Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten	73
6.2.1	Abhitzedampferzeuger	73
6.2.2	Absorptions-Kühlmaschine	73
6.2.3	Organic Rankin Cycle (ORC)	76
6.2.4	Zwischenergebnis Wirtschaftlichkeit	77
6.3	Bewertung der Abwärmenutzungsvarianten	78

7	Diskussion.....	79
7.1	Ausführungen zur empfohlenen Abwärmenutzungsvariante.....	79
7.1.1	CO ₂ -Einsparung der empfohlenen Variante.....	79
7.1.2	Weiterführende und ergänzende Massnahmen der empfohlenen Abwärmenutzungsvariante	80
7.1.3	Terminplan	81
7.2	Kritische Betrachtungsweise der vorliegenden Studie	83
8	Nutzen dieser Arbeit für eine nachhaltige Industrialisierung in Bangladesch	84
9	Literaturverzeichnis	85
10	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	88
	Anhang A: Offerten und Datengrundlagen.....	91
	Anhang B: Wirtschaftlichkeitsrechnung	96
	Anhang C: Aufgabenstellung mit Unterschrift	97

1 Zielsetzung

Diese Bachelorarbeit hat zum Ziel aufzuzeigen, welche Energieeffizienzmassnahmen in der Youngone Schuhfabrik in Bangladesch möglich sind, wie diese konkret aussehen und auf welche Weise sie umgesetzt werden können. Die Zielsetzung lautet:

Wo liegen in den Youngone Schuhfabriken in der CEPZ die grössten Energieeinsparpotentiale, wie sehen die Massnahmen zur Nutzung dieser Potentiale aus und wie gross ist die potentielle Primärenergieeinsparung?“

Durch eine fachliche Analyse und konkreten, fassbaren Ergebnissen dieser Fragestellung ist die folgende Frage naheliegend:

„Wie kann das grösste Energieeinsparpotential am effektivsten genutzt werden und wie wirtschaftlich sind die vorgeschlagenen Massnahmen?“

Die Autoren haben dazu einen Besuch in der Youngone Schuhproduktionsstätte in Bangladesch, genauer in der Chittagong Export Processing Zone (CEPZ) in Chittagong, vom 02.03.2011 - 20.03.2011 gemacht und die erforderlichen Daten und Potentiale erhoben.

Um die Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweise der Autoren zu gewährleisten, muss vorab auf die Gegebenheiten vor Ort eingegangen werden. Denn insbesondere in einem Entwicklungsland, wie Bangladesch eines ist, sind das Verständnis der Kulturen, den sozialen und politischen Konstellationen, aber in diesem Fall auch die Energiesituation sowie die Energiepolitik, der Schlüssel zu einem erfolgreichen Projekt.

Diese Arbeit konzentriert sich auf die bestehende Schuhfabrik in Chittagong. Da alle Schuhfabriken der Youngone Corporation mehr oder weniger identisch sind, ist es möglich, die vorgeschlagenen Massnahmen in anderen Produktionsstätten zu adaptieren.

Teil 1

2 Ausgangslage

2.1 Sozioökonomische Gegebenheiten in Bangladesch

Bangladesch ist ein kleines Land in Südostasien mit einer Fläche von 147'569 km². Das Land ist somit nur 3.5 Mal grösser als die Schweiz, ist aber mit einer Einwohnerzahl von über 158 Millionen Menschen (Stand Juli 2011) sehr dicht bevölkert (CIA, 2011). Bangladesch grenzt im Süd-Osten an Myanmar, wird aber ansonsten vollständig von Indien umschlossen. Die Hauptstadt von Bangladesch ist Dhaka. Die in dieser Bachelorarbeit untersuchte Schuhfabrik befindet sich in der zweitgrössten Stadt des Landes, Chittagong, welche im gleichnamigen Distrikt liegt. In Abbildung 1 ist Bangladesch mit seinen wichtigsten Städten, unter anderem Chittagong, ersichtlich (American, 2011).



Abbildung 1: Karte von Bangladesch

Die Amtssprache in Bangladesch ist Bengali. Unter der Mittel- und Oberschicht ist Englisch jedoch weit verbreitet, was auf die frühere Kolonialisierung durch England zurückzuführen ist. Wirtschaftlich gesehen ist das Land stark auf die Landwirtschaft fokussiert, wo 56% aller Erwerbstätigen arbeiten. Die Hauptprodukte sind dabei Reis und Jute. Wie die meisten armen Länder hat Bangladesch einen soliden Wachstumskurs, welcher im Jahr 2008 bei 6.19% lag. Dies ist jedoch nicht auf die Landwirtschaft zurück zu führen, sondern auf die schnell wachsende Industrie, welche im Jahr 2008 26.3% des BIP ausmachte. Die Haupterzeugnisse der Industrie sind Textilien, Juteprodukte, Lederprodukte sowie Keramik. Mit 54.4% Anteil im Jahr 2008 am BIP nimmt der Dienstleistungssektor den wirtschaftlich relevantesten Teil ein (LiPortal, 2011).

Bangladesch zählt zu einem der ärmsten Länder auf der Welt und liegt mit einem Bruttoinlandsprodukt von 608 US Dollar pro Kopf (im Jahr 2010) an 157. Stelle von total 181 Staaten (Weltbank, 2011). Der Human Development Index (Wohlstandsindikator der UN) beläuft sich auf 0.469 (Weltrang 129) (UNDP, 2011).

2.2 Situation Energieverbrauch und Energieversorgung in Bangladesch

Bangladesch befindet sich in einer Energiekrise mit weitreichenden Folgen. Mehrmals täglich kommt es zu grösseren Stromausfällen, da die produzierte elektrische Energie den Strombedarf nicht decken kann. Dies lässt sich anhand eines durchschnittlichen Tages aufzeigen; am 27 März 2010 war der nationale Leistungsbedarf um 19.00 Uhr rund 4'282 MW_e, die totale Stromproduktion war jedoch nur 3'825 MW_e. Die Differenz von 457 MW_e beträgt über 10% des totalen Bedarfs, was als sehr hoch anzusehen ist (Geelhaar et al., 2011). Die Folgen dieser Energieknappheit sind grossflächige Stromausfälle.

Nach Angaben des nationalen Energie Masterplans wird im Jahr 2015 der Energiebedarf eine Spitzenleistung von 9'786 MW_e erreichen. Noch ist unklar, wie diese Leistung bereitgestellt werden soll (Geelhaar et al., 2011).

Im Jahr 2006 wurden in Bangladesch insgesamt 20.95 TWh elektrische Energie verbraucht. Dies gibt einen Stromverbrauch pro Kopf von rund 134 kWh/Jahr (Schweiz 2008; 8'307 kWh/Person) (Weltbank, 2008).

Bangladesch gehört daher zu einem der Länder mit dem niedrigsten Stromverbrauch pro Kopf. Auf die verschiedenen Sektoren verteilt, brauchte die Industrie im Jahr 2001 mit 44% am meisten der elektrischen Energie, gefolgt von den Privathaushalten (41%), dem Handel (8%), der Landwirtschaft (5%) sowie anderen Verbrauchern (2%) (Loy, 2007). Nach Angaben der Weltbank (2008) haben 32% der Bevölkerung Zugang zu Elektrizität, wobei der Unterschied zwischen ländlichen (19%) und urbanen (80%) Regionen sichtlich gross ist.

Bei einer näheren Betrachtung der Primärenergie, welche zur Erzeugung von Elektrizität und thermischer Energie (Bsp. Dampfturbine) erforderlich ist, stellt sich heraus, dass der grösste Teil aus heimischen Erdgas hergestellt wird, was Abbildung 2 veranschaulicht (Geelhaar et al., 2011).

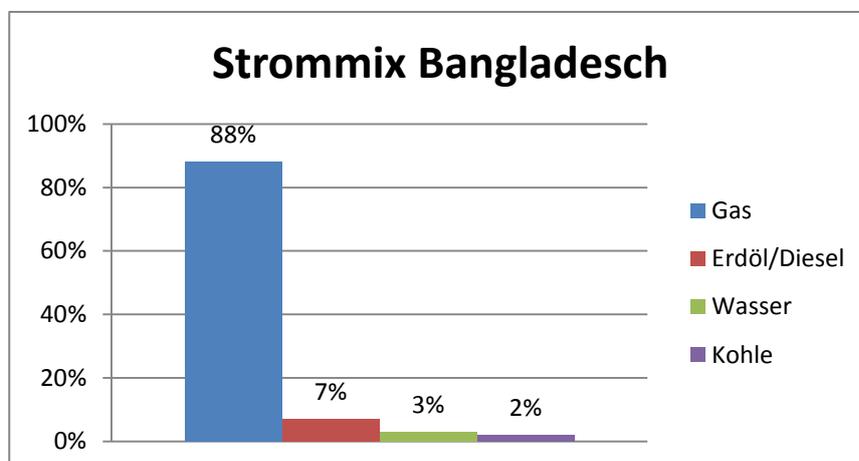


Abbildung 2: Zusammensetzung des Strommix Bangladesch

Die grosse Abhängigkeit von Gas wird Bangladesch in Zukunft vor eine grosse Herausforderung stellen. Schon heute kann der tägliche Gasbedarf von 56 Millionen m³ mit einer durchschnittlichen Fördermenge von 50 Millionen m³ nicht gedeckt werden. Die Folgen sind Druckabfälle in den Gasleitungen sowie die Zuteilung von Gas durch die Behörden (Geelhaar et al., 2011). Im Jahr 2007 wurden bereits 12 der 21 bekannten Gasfelder in Bangladesch genutzt, nach Schätzungen von Experten werden die Gasreserven zwischen 2020 und 2050 ihre Endlichkeit erreichen (Loy, 2007).

Die zweitwichtigsten Primärenergieträger in Bangladesch sind Erdöl und Diesel, welche zu 90 % aus dem Ausland importiert werden (Loy, 2007).

Wie aus Abbildung 2 weiter ersichtlich ist, haben erneuerbare Energien nur einen kleinen Anteil am gesamten Energiemix und dies wiederum nur in Form von Wasserkraft. Das Potential der Wasserkraft ist mit einer installierten Kapazität von 230 MW, jedoch bereits grösstenteils ausgenutzt. Da Bangladesch nur wenige Standorte mit ausreichendem Gefälle aufweist, wird der Anteil auch in Zukunft nur einen kleinen Prozentsatz des Energiemixes ausmachen können (Ministry of Power, 2008). Die KEPZ-feasibility study on renewable energies and energy efficiency in Bangladesh (2011) kommt zudem zum Schluss, dass das Potential der erneuerbaren Energien in Bangladesch sehr begrenzt ist. Einzig den beiden Bereichen Biomasse und Solarenergie könnten bei einer gezielten Förderung durch den Staat eine wichtigere Rolle zukommen. Im Jahr 2008 hatten 300'000 Haushalte eine Photovoltaikanlage mit einer Kapazität von 15 MW installiert, zudem waren Windturbinen mit einer Leistung von 2 MW in Betrieb (Ministry of Power, 2008).

Kohle wird höchstwahrscheinlich in den nächsten Jahren eine starke Position in der Energieversorgung von Bangladesch einnehmen. So wäre es möglich, dass bis 2015 25% des totalen Energiebedarfs durch Kohle gedeckt werden könnte (Geelhaar et al., 2011).

Ein kritischer Aspekt in Bangladeschs Energieversorgungssystem ist die Stromübertragung. Die Netzverluste auf Übertragungsebene betragen im Jahr 2005/2006 rund 3.5%, jene auf der technischen Verteilungsebene waren im selben Zeitraum mit 15% Verlustanteil gar noch um ein Vielfaches höher. Durch die finanziellen Verluste der Kraftwerksbetreiber, welche unter anderem dem Stromdiebstahl zuzuschreiben sind, fehlt das nötige Geld für einen Ausbau der Netzinfrastruktur (im Jahr 2004 wurden nur 55-60% des gebrauchten Stroms bezahlt). Dies ist mitunter auch ein Grund, weshalb ausländische Investoren zurückhaltend beim Einbringen von Kapital in den Energiesektor sind (Loy, 2007).

2.3 Youngone Corporation

Die Youngone Corporation ist ein weltweit tätiges Unternehmen, welches im Jahr 1981 in Korea gegründet wurde. Youngone hat ungefähr 55'000 Mitarbeitende und ist damit der weltweit grösste Produzent für Sportbekleidung. Kunden wie Nike, Jack Wolfskin, Lacoste und North Face sind nur einige namhafte Firmen, welche bei Youngone ihre Produkte herstellen lassen. Youngone hat aber auch eigene Stoff-, Taschen- und Schuhfabriken. Im Bereich Schuhfabrikation ist Youngone am Expandieren und errichtet zurzeit (2011) neue Fabriken in der Korean Export Processing Zone (KEPZ) in Chittagong.

Hauptproduktionsstandorte sind China, El Salvador, Vietnam und Bangladesch. Wichtigster Produktionsstandort ist Bangladesch mit Fabriken in Dhaka und Chittagong. Im Jahr 2009 hat das Unternehmen einen Umsatz von knapp einer Milliarde erwirtschaftet (Elsaesser, 2010).

2.3.1 Youngone Schuhproduktion in der (CEPZ)

Die Chittagong Export Processing Zone (CEPZ) ist eine Industriezone direkt an der Bucht von Bengalen. Die Zone wurde 1983 aufgebaut. Heute produzieren über 100 Firmen aus mehreren Ländern in der CEPZ vorwiegend Textilien für den europäischen und amerikanischen Markt (BEPZA, 2011).

Auf Abbildung 3 ist die CEPZ rot umrandet ersichtlich. Links befindet sich das Meer (Golf von Bengalen) und rechts die Stadt Chittagong (Wikimapia, 2011). In der gesamten Zone arbeiten rund 160'000 Angestellte. Für die Youngone Corporation in der CEPZ arbeiten 36'000 Angestellte, davon 8'590 in der Schuhproduktion. Die Angestellten sind auf total 16 Fabriken in der CEPZ verteilt (Khan, 2011). Pro Jahr werden in den Youngone Schuhfabriken in der CEPZ ungefähr 6.5 Millionen Paar Schuhe produziert (Khan, 2011). Die



Abbildung 3: CEPZ in Chittagong

Arbeitsbedingungen in den Produktionshallen übertreffen den bengalischen Standard, da die Einkäufer [vgl. 2.3] heutzutage hohe Anforderungen stellen. Die gemessenen Hallentemperaturen entsprechen in der Näherei und Schuhendfertigung den Aussentemperaturen, betragen in der Sohleproduktion teilweise aber über 40 °C.

Die Schuhfabrikation besteht im Wesentlichen aus drei Schritten: der energieintensiven Sohleproduktion, der Herstellung der oberen Schuhfraktion sowie dem Zusammenfügen des Schuhs aus den einzelnen Teilen. Auf die einzelnen Prozessschritte wird in Kapitel 3.2 eingegangen. In der CEPZ sind diese drei Hauptprozessschritte in verschiedenen Gebäuden und Sektoren untergebracht. Die Fertigung des Oberschuhs findet im Sektor 2 statt, welcher ungefähr 500 Meter vom Sektor 7 entfernt ist. Die Sohlenproduktion mit den dazugehörigen Boilern sowie den Gasgeneratoren ist im Sektor 7 untergebracht, was auf nachfolgender Grafik ersichtlich ist.



420.352

Abbildung 4: Sohleproduktion im Sektor 7

3 Potentialanalyse

Um die grössten Energieeffizienzpotentiale vor Ort ausfindig zu machen, war eine systematische Vorgehensweise von grosser Wichtigkeit. Die Handlungsweise der Autoren beruhte dabei auf folgenden wesentlichen Schritten, welche auf dem Flow-Chart (Abbildung 5) ersichtlich ist.

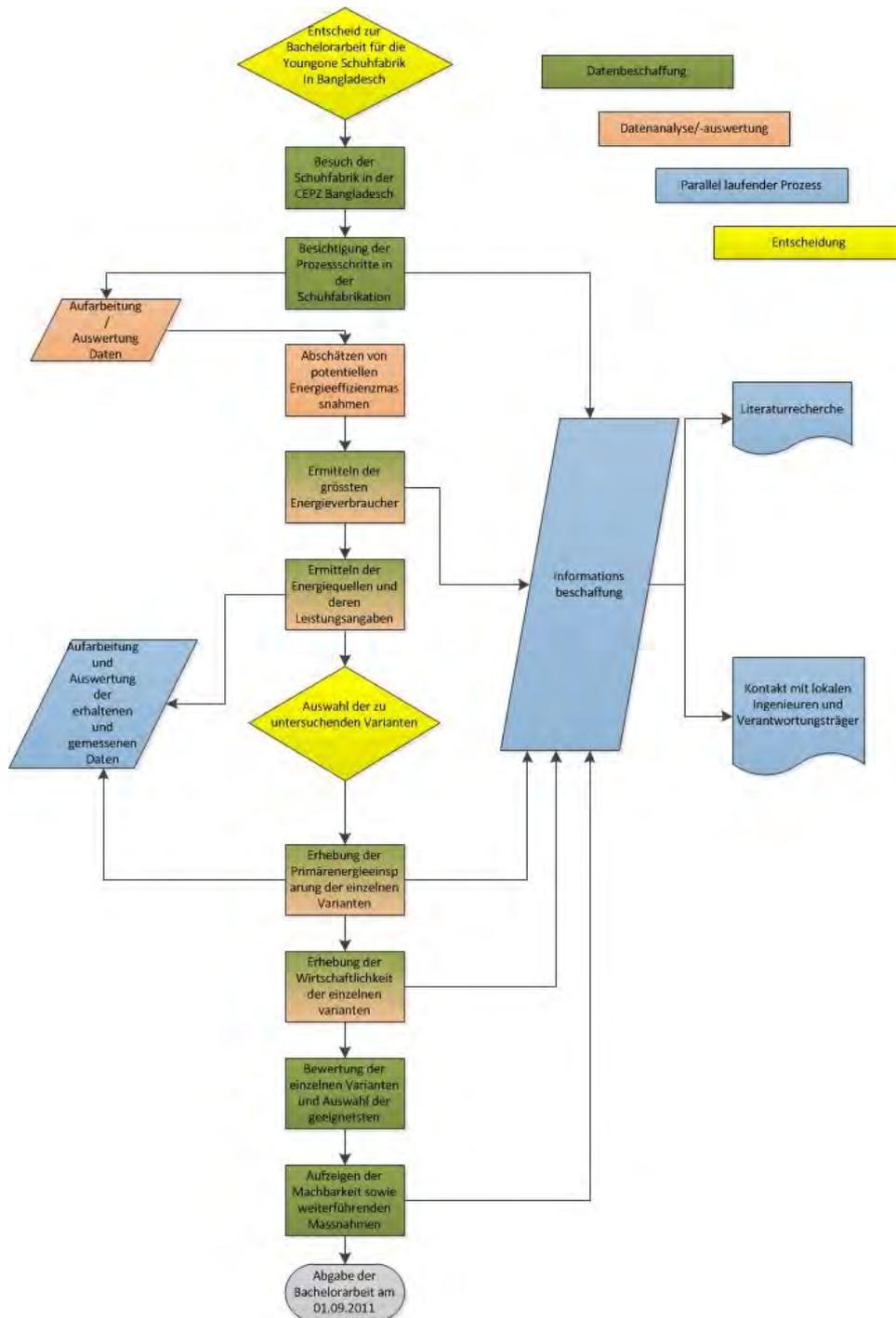


Abbildung 5: Flow Chart zur Vorgehensweise der Autoren

Nachfolgend werden die wichtigsten Schritte hervorgehoben:

- Analysieren der Prozessschritte
- Abschätzen von allgemein möglichen Energieeffizienzmassnahmen
- Ermitteln der grössten Energieverbraucher der Produktionslinien
- Ermitteln der Energiequellen und deren Effizienz
- Entscheid der zu untersuchenden Varianten
- Auswahl der geeignetsten Variante nach Wirtschaftlichkeit und Primärenergieeinsparung
- Erörterung von weiterführenden Massnahmen der gewählten Variante
- Aufzeigen der Realisierbarkeit

Vereinfacht betrachtet kann die Vorgehensweise der Potentialanalyse auf die Schritte „Analyse des Gesamtenergieverbrauches“, „Auffinden von Potentialen im Schuhfertigungsprozess“ und „Auffinden von Potentialen im Energiebereitstellungsprozess“ reduziert werden.

Zuerst wird der **Gesamtenergieverbrauch ermittelt** und anteilmässig auf die Energietypen „thermische Energie“ und „elektrische Energie“ aufgeteilt.

Im nächsten Schritt wird der gesamte **Schuhfertigungsprozess** untersucht. Es wird der Leistungsbedarf jedes Fertigungsschrittes untersucht und grafisch dargestellt.

Anschliessend werden die fabrikeigenen **Energieproduzenten** (Boiler und Generatoren) auf ihre Effizienz geprüft.

Die eigentliche Erhebung der vorhandenen Potentiale findet im danach folgenden Teil **Zwischenergebnis** statt.

3.1 Gesamtenergieverbrauch

Der Energiebedarf zur Produktion eines Paares Schuhe ist je nach Art des Schuhs sehr unterschiedlich. Lederschuhe sind beispielsweise viel energieintensiver als Stoffschuhe. In den Youngone Schuhfabriken werden je nach Auftraggeber verschiedene Schuharten produziert. Nach Aussage von Mr. Akhtaruzzaman (2011), dem leitenden Ingenieur der Youngone Schuhfabrik in der CEPZ, kann von einem Durchschnittswert von 4.6 kWh Energieinput pro Paar Schuh ausgegangen werden. Der Energiekonsum teilt sich in thermische (2.6 kWh) und elektrische (2 kWh) Energie auf (Geelhaar et al., 2011).

Bei einer jährlichen Produktion von 6.5 Millionen Paar Schuhen im Jahr 2010 (Khan, 2011) und einem Gesamtenergieverbrauch von rund 33 GWh nach Akhtaruzzaman (2011), wobei sämtliche Energieverbraucher in den Fabriken (Licht, Maschinen, Server, Küche, etc.) bei

diesen Angaben berücksichtigt wurden, ergibt sich aus folgender Rechnung jedoch ein Endenergieverbrauch von 5.08 kWh pro Schuh:

$$\begin{aligned} \text{Energieverbrauch pro Schuh 2010 (kWh)} &= \frac{\text{Gesamtenergieverbrauch 2010 (kWh)}}{\text{Gesamtschuhproduktion 2010}} \\ &= \frac{33'048'036 \text{ kWh}}{6'500'000} = 5.08 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Die Differenz zwischen diesem Ergebnis und der Angabe von Mr. Akhtaruzzaman (4.6 kWh) kann sich durch nicht aktuelle Produktionszahlen, Schätzfehler oder das Nichtberücksichtigen von Übertragungsverlusten ergeben.

Diese 10% Ungenauigkeit (5.08 kWh \leftrightarrow 4.6 kWh) im Energieverbrauch kann aber toleriert werden, da für weitere Berechnungen der Gesamtenergieverbrauch eine wichtigere Rolle spielt. Die Daten stammen von Mr. Akhtaruzzaman und basieren auf Fakturen und deren Umrechnungen (Gasverbrauch wird in kWh umgerechnet).

Die Stromzukäufe beliefen sich 2010 auf 7'409.54 MWh, während die Eigenproduktion 6'959.17 MWh lieferte (Akhtaruzzaman, 2011). Die Wärmeproduktion belief sich auf 14'943.46 MWh durch die beiden Wasserdampfboiler und 3'735.86 MWh durch den Thermalölboiler, entsprechend einem Verhältnis von 4:1 und einem Anteil der thermischen Energie am Gesamtenergieverbrauch von 56 – 57% (Akhtaruzzaman, 2011). Eine detaillierte Übersicht liefert Tabelle 1 (Eigene Abbildung in Anlehnung an Akhtaruzzaman, 2011).

Tabelle 1: Energieverbrauch CEPZ 2010

	Anzahl (in Betrieb)	Maximallast/Einheit [kW]	Maximallast total [kW]	Durchschnittslast [kW]	Auslastung	Stunden/Tag	Tage/Woche	Woche/Jahr	kWh produziert
Generatoren	2.00	1'030.00	2'060.00	947.60	0.46	24.00	6.00	51.00	6'959'174.40
Netzbezug	1.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7'409'537.00
Gasboiler (H ₂ O)	1.00	3'541.67	3'541.67	2'034.78	0.57	24.00	6.00	51.00	14'943'459.86
Gasboiler (Thermalöl)	1.00	847.83	847.83	508.70	0.60	24.00	6.00	51.00	3'735'864.96
									33'048'036.22

Boiler Verbrauchsrechnung					
Menge Dampf/h	[kg]	5'000.00			Anteil
ΔT	[°C]	70.00	Stromverbrauch Total	[kWh]	14'368'711.40 43%
Erwärmung Wasser 70°-100°	[kJ]	630'000.00	Wärmeverbrauch Total	[kWh]	18'679'324.82 57%
Verdampfung Wasser	[kJ]	11'280'000.00	Energieverbrauch Total	[kWh]	33'048'036.22 100%
Erwärmung Dampf 100°-140°	[kJ]	840'000.00			
Gesamtenergiebedarf	[kJ]	12'750'000.00			
Gesamtenergiebedarf / h	[kWh]	3'541.67			
Auslastung Boiler	[%]	57.45%			

3.2 Schuhfertigungsprozess der Youngone Corporation in der CEPZ

Die Youngone Schuhproduktion in der CEPZ ist darauf ausgelegt, sämtliche Produktionsschritte intern zu vollziehen. Dies beinhaltet teilweise auch die Aufarbeitung, beziehungsweise Herstellung der Werkstoffe aus Rohstoffen. Der gesamte Schuhherstellungsprozess mit den jeweiligen Leistungsinputs ist in Abbildung 6 ersichtlich. In roter Farbe sind die thermischen und in blauer Farbe die elektrischen Leistungsaufnahmen dargestellt. Die Zahlen neben den Prozessen zeigen, wie viele der jeweiligen Maschinen-/Anlagentypen in Betrieb sind. Sämtliche Leistungsangaben stammen von der „KEPZ-feasibility study on renewable energies and energy efficiency in Bangladesh“ (Geelhaar et al., 2011).

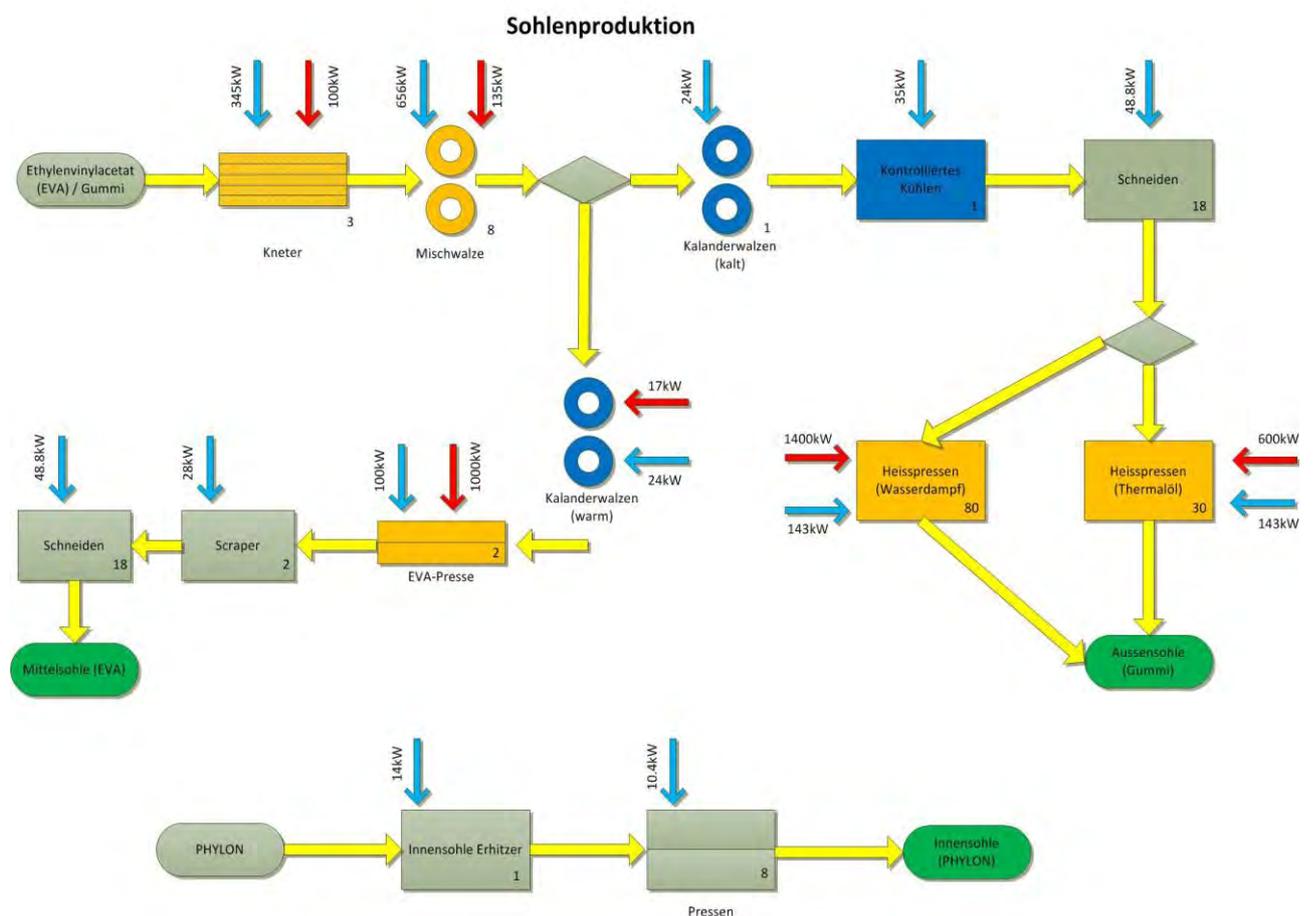


Abbildung 6: Überblick über die Sohlenproduktion in Sektor 7 der CEPZ

3.2.1 Aussensohle

Die Aussensohle der produzierten Schuhe besteht aus einem Gummigemisch, welches in den ersten Produktionsschritten der Aussensohle angemischt wird. Im Kneeter erfolgt die eigentliche Mischung und Farbgebung der einzelnen Rohstoffe. Die nachfolgende Bearbeitung in der Mischwalze (Abbildung 7) sorgt für eine zusätzliche Vermischung der Komponenten und vor allem für eine erhöhte Homogenität. Zudem werden Lufteinschlüsse durch den Walzendruck entfernt.



Abbildung 7: Eine der beheizten Mischwalzen

Beide Prozesse (Kneeter und Mischwalze) benötigen aufgrund der Zähheit der Masse eine grosse Menge elektrischer Energie. Die zugeführte thermische Energie, die eine Gleichmässigkeit des Gummis ermöglicht, wirkt dieser schlechten Bearbeitbarkeit entgegen. Einen Überblick über die Leistungsaufnahmen der beiden Prozesse liefert Abbildung 8.

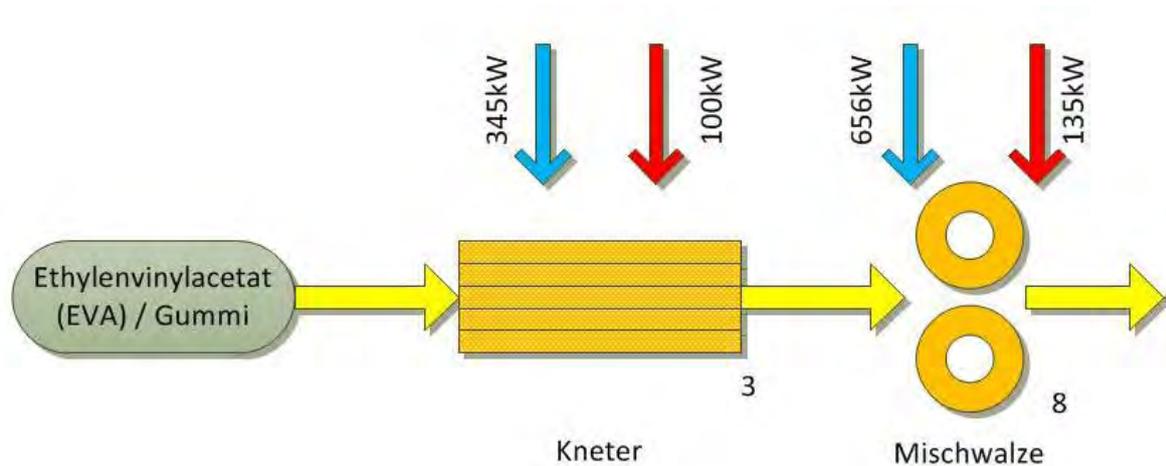


Abbildung 8: Produktionsschritt 1 & 2 der Aussen-, sowie Mittelsohle

Die Gummimatten werden daraufhin in Kalandervalzen weiter gepresst und auf Förderbändern kontrolliert abgekühlt (passiv). Der Energiebedarf dieser Produktionsschritte beläuft sich ausschliesslich auf die elektrische Energie zum Betrieb der Walzen und Förderbändern.

Die abgekühlten Gummimatten werden im nächsten Prozessschritt durch eine Schneidmaschine auf bestimmte Masse zerkleinert. Die Grössen der erwünschten Gummistücke variiert zwischen ca. 2x5x0.5 cm bis 3x7x1 cm. Diese Grössen hängen jedoch vom Modell des Schuhs ab und können auch andere Werte annehmen. Für den folgenden Produktionsschritt werden jeweils mehrere dieser Einzelstücke benötigt, um eine Sohle herzustellen. Die benötigte Energie dieses Produktionsschrittes beschränkt sich auf den Strombedarf der Schneidmaschine, wie Abbildung 9 aufzeigt [zur Übersicht vgl. Abbildung 6].

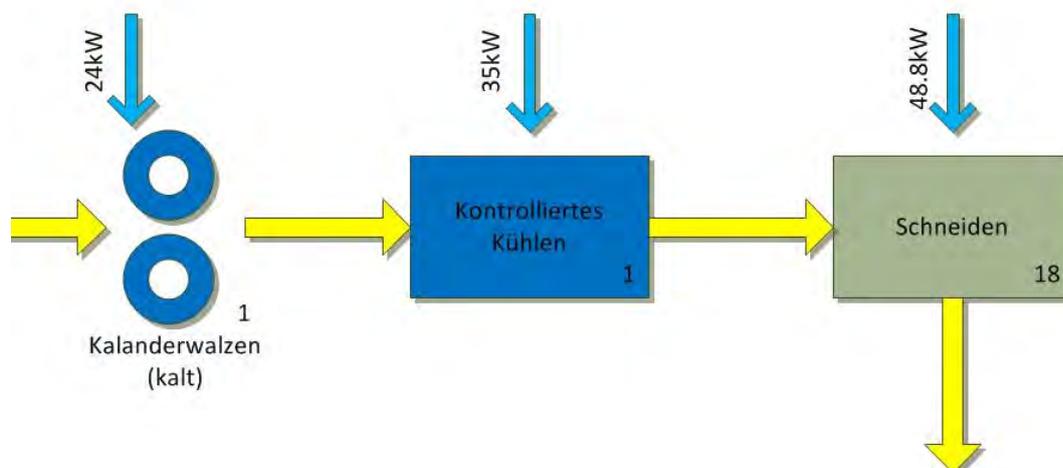


Abbildung 9: Die Prozessschritte 3, 4 und 5 der Aussensohle benötigen ausschliesslich elektrische Energie

Im letzten Produktionsschritt werden, je nach Sohlentyp und –grösse die zugeschnittenen Gummistücke in Gussformen gelegt, und unter Druck und Hitze in die gewünschte Form gepresst. Die gemessene Oberflächentemperatur der Gussblöcke beträgt 140 – 150 °C. 80 der insgesamt 110 Gussblöcke werden durch Wasserdampf erhitzt (inwändige Durchströmung), die restlichen 30 durch ein Thermalöl. Abbildung 10 zeigt drei Presslinien à 8 – 10 Pressen.



Abbildung 10: Hinterseite der Heisspress-Linien mit teils mangelnder Isolation

Aufgrund der hohen benötigten Temperaturen fällt hier der grösste Energieverbrauch der Aussensohlenproduktion an, wie Abbildung 11 verdeutlicht.

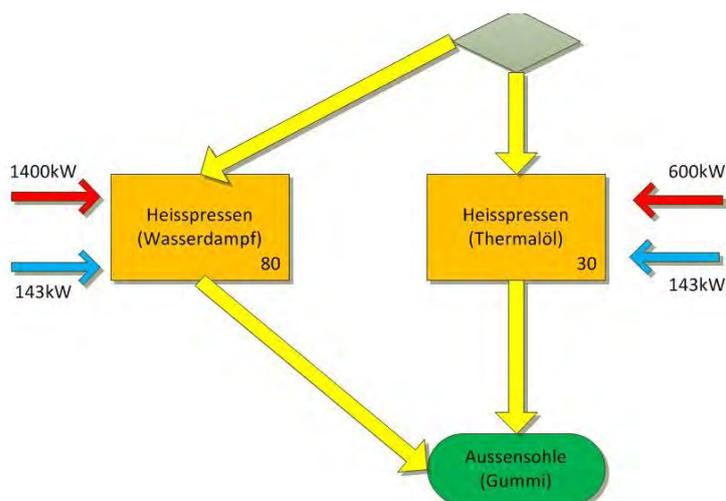


Abbildung 11: Formgebungsprozess der Aussensohle

Nach dem Pressen werden die fertigen Aussensohlen von den Gussblöcken entfernt, abgekühlt und allfällige Gumminähte von Hand entfernt.

3.2.2 Mittelsohle

Die ersten Prozessschritte der Mittelsohle [Knetter & Mischwalze, vgl. Abbildung 8] sind bis auf den Rohstoff identisch mit denen der Aussensohle. Hier wird nicht Gummi verwendet, sondern Ethylvinylacetat (kurz EVA). Aufgrund der elastischen Eigenschaften, vereint mit einer guten Altersbeständigkeit des Materials, eignet sich EVA besser für Mittelsohlen als Aussensohlen (die eine geringere Elastizität erfordern). Abbildung 12 zeigt fertige EVA-Matten vor ihrer Weiterverarbeitung zu eigentlichen Sohlen.



Abbildung 12: Fertige EVA-Matten vor dem Zuschneiden und der Formgebung

Nach den warmen Mischwalzen gelangen die EVA-Matten in warme Kalandrierwalzen, um eine erhöhte Uniformität des Materials zu erreichen und letzte Luftporen zu entfernen. In der EVA-Pressen wird das Material dünn gepresst und erhitzt, damit die typischen elastischen Eigenschaften, die in Mittelsohlen erwünscht sind, erreicht werden („foaming“ = aufschäumen).

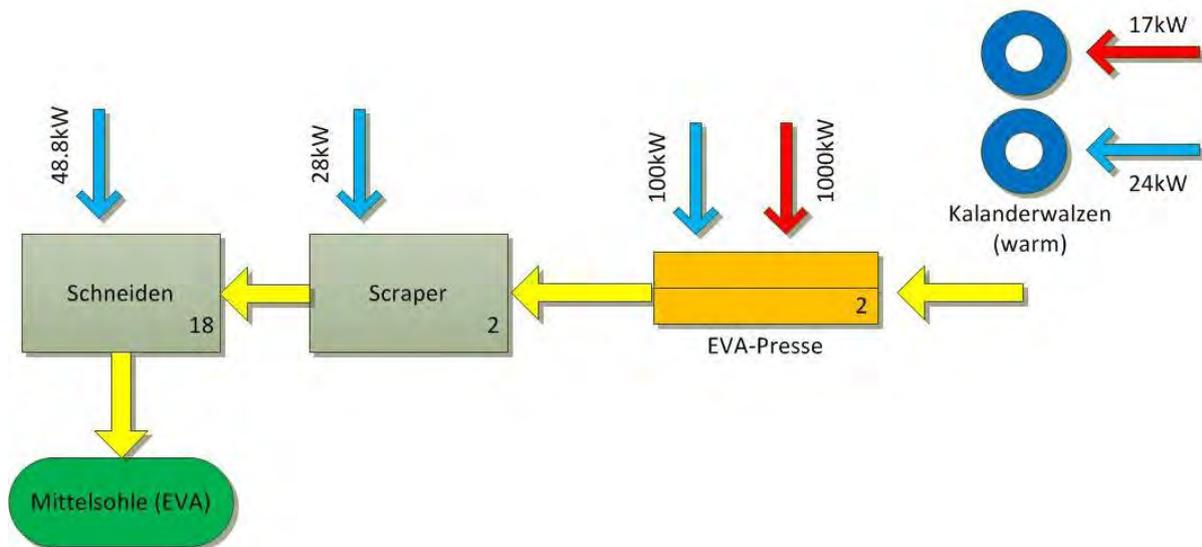


Abbildung 13: Herstellungsprozess der Mittelsohle

Im Scraping und Schneiden werden schlussendlich die Mittelsohlen geformt. Der Energieaufwand dafür ist klein, da es ein hauptsächlich manueller (Handarbeit) Schritt ist.

Abbildung 13 zeigt den Mittelsohlen-Produktionsprozess, nach seiner Abzweigung von den identischen ersten Produktionsschritten mit der Aussensohle.

3.2.3 Innensohle

Die Innensohle des Schuhs wird aus Phylon, einem weit verbreiteten Kunststoff für Innensohlen, hergestellt.

Sämtliche verwendete Energie ist Elektrizität, die zuerst durch einen Widerstandserhitzer die Innensohlenrohlinge erhitzt, und nachher in 8 Pressen für die Formgebung zuständig ist. Insgesamt ist die Innensohlenproduktion nicht sehr energieaufwändig, wie Abbildung 14 verdeutlicht.

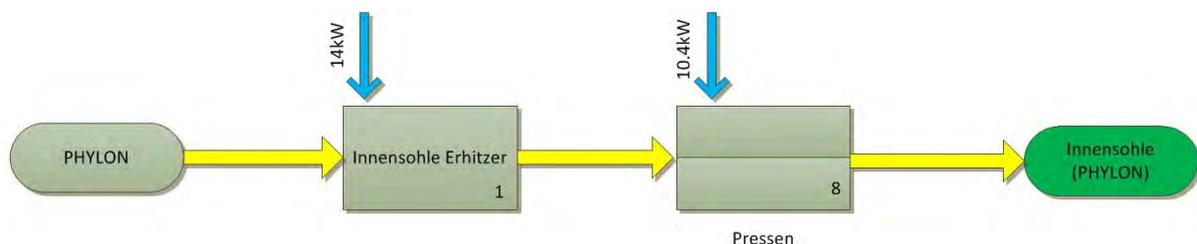


Abbildung 14: Herstellungsprozess der Innensohle

3.2.4 Stanzen und Nähen Oberschuh

Der Oberschuh wird getrennt von den Sohlen im Sektor 2 [vgl. 2.3.1] gefertigt. Als Ausgangsmaterialien dienen verschiedene Textilien, Polstermaterialien (auf synthetischer

Basis) und schuhspezifisch weitere Materialien (Kunstleder, Funktionstextilien, ...), deren Herstellung hier nicht besprochen wird (teils Halbfabrikatimporte). Abbildung 15 zeigt eine der Näherei-Hallen.



Abbildung 15: Startpunkt von drei Nählinien, an denen je etwa 15-20 Personen arbeiten

Am Anfang des Produktionsprozesses für den Oberschuh steht das Stanzen, bei dem aus den angelieferten Werkstoffen die schuhspezifischen Einzelteile geschnitten werden. Die Zahl der Einzelteile variiert von Modell zu Modell.

Die Einzelteile werden im nächsten Schritt vernäht. Eine Näh-Linie ist so aufgebaut, dass die Einzelteile vollständig zum Oberschuh vernäht werden können, ohne dass weitere Produktionsschritte nötig sind. An jeder Produktionslinie arbeiten 15-20 Mitarbeiterinnen an ebensovielen Nähmaschinen. Die Anzahl der betriebenen Nählinien variiert bedingt durch unterschiedliche Auslastungen. Die fertigen Oberschuhe werden verpackt und in den Sektor 7 [vgl. 2.3.1] zum Assembling und Finishing transportiert. Abbildung 16 zeigt einen solchen fertigen Oberschuh.



Abbildung 16: Fertige Oberschuhe bereit für das Assembling

3.2.5 Assembling und Finishing

Die fertigen Oberschuhe und die drei Sohlen werden schlussendlich beim Assembling und Finishing vereint. Dabei wird zuerst dem Oberschuh eine dünne Textilschicht als provisorische Sohle aufgenäht, auf die dann die äusseren Sohlen (Mittel- und Aussensohle) mit Komponentenkleber angeleimt werden. Zur Aktivierung des Komponentenklebers durchlaufen die Schuhe ein Heizförderband, in dem eine Temperatur von 50° C herrscht. Die Wärme wird durch elektrische Widerstände erzeugt.

Als letzte Schritte werden die Schnürsenkel eingefädelt und die Etiketten angebracht. Die fertigen Schuhe werden paarweise in Plastiksäcke gepackt und in Kartonschachteln transportfähig gelagert.

3.3 Energieproduktion der Youngone Schuhfabrik in der CEPZ

3.3.1 Thermische Energie

Der totale jährliche thermische Energieverbrauch beläuft sich auf gerundete **18.5 GWh**, wovon 100% intern erzeugt werden [vgl. 3.1].

Die verwendete thermische Energie verteilt sich dabei ausschliesslich auf die Produktion der Aussen-sowie der Mittelsohle. Insbesondere die Herstellung der Aussensohle ist sehr energieintensiv, da viel Wärme für das Kneten und Pressen der Sohle erforderlich ist. Die restliche benötigte Wärmeenergie wird durch elektrische Widerstandserhitzer erzeugt und wird nicht zum thermischen Energiebedarf gerechnet.



Abbildung 17: Der Thermalölboiler ist täglich 24 Stunden in Betrieb

Die Wärmebereitstellung erfolgt durch ein thermalöl- und dampfdurchflossenes Leitungssystem. Das verwendete Thermalöl befindet sich auf einem Temperaturniveau zwischen 140 °C und 160 °C und macht etwa 20% der thermischen Energie aus (Akhtaruzzaman, 2011). Zum Thermalölboiler in Abbildung 17 sind bis auf den Hersteller Cho Il, Südkorea, keine Angaben bekannt. Es kann errechnet werden, dass der Thermalölboiler eine maximale Leistung von etwa 850 kW besitzt. Dies ergibt sich aus der Rückrechnung der produzierten Energie (20% von 18.5 GWh) [vgl. 3.1], einer Leistungsauslastung von 60% (Schätzungen der Betriebsingenieure) und einem Betrieb von 7'200 Stunden (50 Wochen à 6 Tage à 24 h). Folgende Formel verdeutlicht diesen Zusammenhang:

$$\begin{aligned} \text{Leistung Thermalölboiler (kW)} &= \frac{\text{Produzierte Energie Boiler}}{\text{Auslastung} * \text{Betriebszeit}} = \frac{0.2 * 18'500'000 \text{ kWh}}{0.6 * 7200 \text{ h}} \\ &= 856.48 \text{ kW} \end{aligned}$$

Das Thermalöl wird über Leitungen zu 30 der insgesamt 110 Heisspressen der Sohleproduktion transportiert. Es handelt sich um einen geschlossenen Kreislauf, bei dem das Thermalöl zirkuliert und somit die Restwärme des Öls nutzt.

Der grösste Teil der thermischen Energie fällt in Form von Wasserdampf an. Der Dampf wird durch zwei 5 Tonnen/h Boiler des Südkoreanischen Herstellers Cho Il produziert, von denen jeweils nur einer in Betrieb ist (der zweite wird als Backup Boiler verwendet). Es kann berechnet werden, dass die maximale Boilerleistung bei einer Produktion von 5 t/h etwa 3.5 MW entspricht (siehe Formel).

$$\begin{aligned} \text{Leistung Dampfboiler (kW)} &= \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}} = \frac{\text{Energiegehalt 5t Dampf } 140^\circ}{1 \text{ h}} \\ &= \frac{(\text{WKW} \times \Delta T + \text{VEW}) \times \text{Menge Wasser}}{h} \\ &= \frac{\left(\frac{4.2 \text{ kJ}}{\text{kgK}} \times 70 \text{ K} + \frac{2'256 \text{ kJ}}{\text{kg}}\right) \times 5'000}{h} = \frac{12'750'000 \text{ kJ}}{h} = \frac{3'541.67 \text{ kWh}}{h} \\ &= 3'541.67 \text{ kW} \end{aligned}$$

ΔT = Temperaturdifferenz des vorgewärmten Speisewasser zu Endtemperatur = 70 Kelvin

WKW = Wärmekapazität Wasser = 4.2 kJ/kgK

VEW = Verdampfungsenthalpie Wasser = 2'256 kJ

Der Dampf befindet sich auf einem Temperaturniveau zwischen 140 °C und 160 °C bei einem Druck von 6 - 7 bar. Der Wasserdampf versorgt sowohl die EVA-Presse, die warmen Walzen, Knet- und Mischmaschinen als auch die restlichen 80 Heisspressen mit Wärme [vgl. 3.2]. Beim Dampfkreislauf handelt es sich um einen teilgeschlossenen Kreislauf. Der grösste Teil des Dampfes wird zurückgeführt und in einen Kondenstank geleitet, mit dem nachfolgend der Boiler gespeisen wird. Durch Leitungsverluste und die EVA-Pressen (deren Restdampf/Restwärme in die Atmosphäre geleitet wird), muss kontinuierlich Frischwasser zugeführt werden, welches sich auf einem Temperaturniveau von 20 – 30 °C befindet. Die Vermischung im Kondenstank führt zu Boiler-Speisewassertemperaturen von 70 – 80 °C.

Abbildung 18 zeigt die beiden Dampfboiler, wovon einer in Betrieb ist.



Abbildung 18: Von den beiden Dampfboilern ist jeweils nur einer in Betrieb

Über den Wirkungsgrad des Dampfboilers ist nichts bekannt. Durch eine Schätzung in Rücksprache mit einem Forbes & Marshall Ingenieur (2011) nehmen die Autoren einen Wirkungsgrad von 85 % an (Khanna, 2011). Die Grundlagen dafür sind:

- Gute Isolierung der Boilerwände (Gemessene Aussenhüllentemperatur < 45 °C)
- Wärmerückgewinnung ▲
- Lecks in der Wärmerückgewinnung ▼
- Hohes Boileralter (ca. 20 Jahre) ▼

Einen Überblick über das erwähnte Leitungsschema der Wärmeverteilung liefert Abbildung 19.

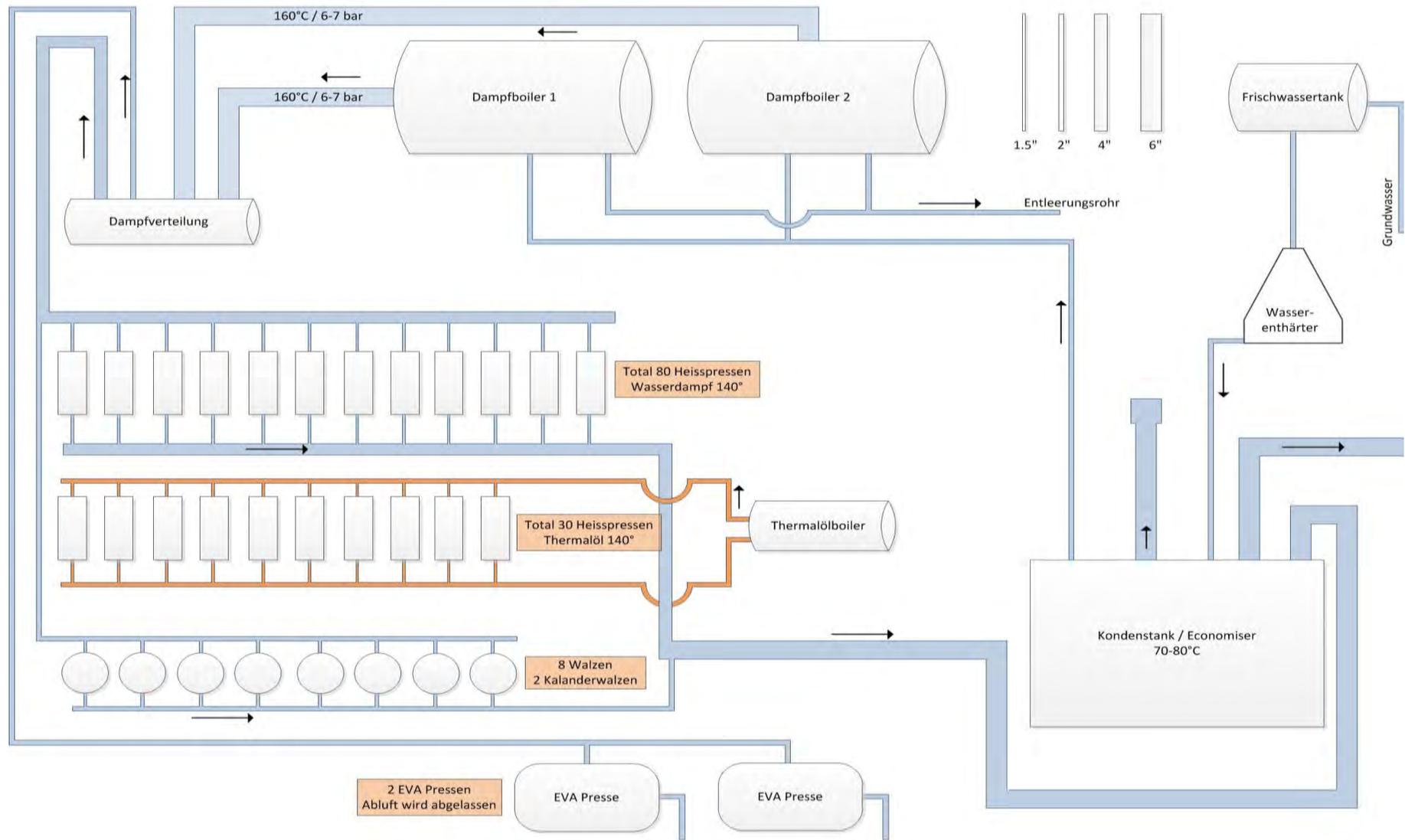


Abbildung 19: Dampf- und Thermalölschema in Sektor 7

3.3.2 Elektrische Energie

Der elektrische Energieverbrauch der Youngone Schuhproduktion in der CEPZ beträgt rund 14.5 GWh jährlich. Der grösste Anteil des Elektrizitätsverbrauches ist in der Sohlenproduktion zu finden. Insbesondere die Pressen, aber auch die Mischroller beziehen einen grossen Teil der elektrischen Leistung. Zusätzlich fällt der gesamte Energieverbrauch für Nähmaschinen, Stanzmaschinen, Ventilatoren, Beleuchtung, Druckluftgenerierung, Hydraulikpressen und weitere unterstützende Verbraucher an. Tabelle 2 gibt eine Übersicht, über den Verbrauch diverser Produktionsschritte (Geelhaar et al., 2011).

Tabelle 2: Übersicht über den Leistungsbedarf diverser Produktionseinrichtungen

Nählinie	15 kW pro Linie
Assembly & Finishing	100 kW pro Linie
Schneiden/Stanzen	2.5 kW pro Einheit
Kompressoren (Luft&Hydraulik)	37.5 kW pro Einheit
Beleuchtung, Ventilatoren	50 kW gesamt

Die elektrische Energie wird in der Youngone Schuhfabrik in der CEPZ auf zwei Arten bereitgestellt. Ein Teil der Energie wird vom Netz bezogen. Um eine grössere Unabhängigkeit vom instabilen Netz zu erreichen, sind zusätzlich diverse Generatoren im Dauerbetrieb oder Stand-By. Im Jahr 2010 betrug der Anteil der von den Generatoren erzeugten Energie 6.96 GWh [vgl. 3.1].

Im Sektor 7, wo die Sohleproduktion stattfindet, sind zwei 1'030 kW_e Gasgeneratoren, Typ Caterpillar G3516, im 7'200 Stunden Dauerbetrieb (ca. 50 Wochen à 6 Tage à 24 h). Dies sind die einzigen im Dauerbetrieb laufenden Generatoren. In Sektor 7, sowie in den anderen Produktionssektoren, befinden sich zusätzlich Stand-By Generatoren, die meist mit Diesel betrieben werden. Zum Einsatz kommen sie allerdings nur, wenn längere Stromausfälle auftreten. Abbildung 20 zeigt einen Caterpillar G3516 Gasgenerator, wie er in der CEPZ im Betrieb ist (Mantracvostock, 2011).



Abbildung 20: Caterpillar G3516 Gasgenerator ohne Zusatzmodule und Anschlüsse

Die wichtigsten technischen Daten zum Generatormodell sind in Tabelle 3 aufgeführt. Datengrundlage dazu sind die offiziellen Datenblätter der Generatoren (Caterpillar, 2011).

Tabelle 3: Technische Angaben Generator Caterpillar G3516

Modell		Caterpillar G3516
Medium		Erdgas
Nennleistung	[kWe]	1,030.00
Abgastemperatur	[°C]	450-500°C
Abgasmenge	[Nm ³ /h]	4,716.00
Max. zulässiger Gegendruck Auspuff	bar	0.05
elektrischer Wirkungsgrad	%	35.2%

Die beiden Caterpillar Generatoren (G3516) besitzen einen elektrischen Wirkungsgrad von 35.2%. Der Rest der Energie fällt an in Form von Wärmeverlusten und Reibungsverlusten an. Die folgende Grafik (Abb. 21) gibt einen Überblick darüber, wie sich die Verluste prozentual zusammensetzen (Forbes & Marshall, 2010).

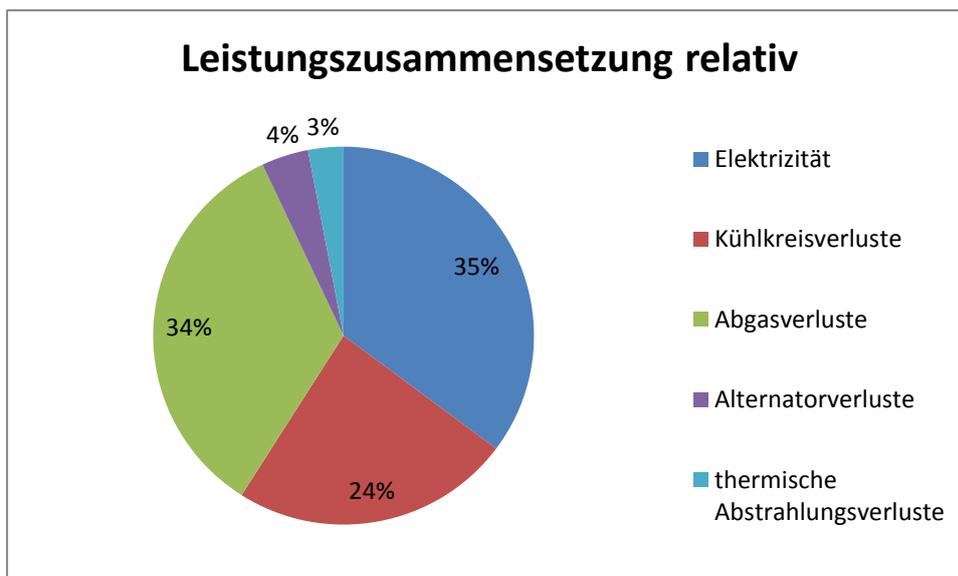


Abbildung 21: Leistungszusammensetzung der Caterpillar G3516 Generatoren

Schlussfolgerungen zu diesen Verlusten werden im folgenden Teil „Zwischenergebnis“ angestellt.

3.3.3 Energiezukäufe

Die installierte Generatorenleistung (Dauerbetrieb) reicht nicht aus, um den Strombedarf der Produktion abzudecken. Die Lücke wird durch Stromzukäufe gedeckt. Der Strom wird zum einen auf dem Betriebsgelände der CEPZ in einem staatlichen Gaskraftwerk produziert, zum anderen vom öffentlichen Netz bereitgestellt. Technisch gesehen bezieht die Youngone

Schuhfabrik jedoch die Energie aus dem staatlichen Gaskraftwerk in der CEPZ, da dies der kürzeste Weg für den Strom ist und er somit auch den kleinsten Widerstand überwinden muss.

Für weitere Abklärungen wird vom gleichen Strommix wie jenem von Bangladesch ausgegangen [vgl. 2.2]. Die Youngone Schuhfabrik in der CEPZ bezieht somit etwa 7,4 GWh elektrischen Energie direkt vom staatlichen Netzbetreiber Bangladesh Power Development Board (BPDB) (Akhtaruzzaman, 2011).

3.4 Zwischenergebnis

Nachfolgend werden die gefundenen Erkenntnisse auf ihr Energiesparpotential analysiert. Es wird dabei zusammenfassend auf das zur Verfügung stehende Potential eingegangen, und Gründe für oder gegen eine Nutzung genannt.

3.4.1 Schuhfertigungsprozess

Die Analyse des Schuhproduktionsprozesses ergibt die Erkenntnis, dass fast alle massgebenden Verbraucher in der Sohleproduktion anfallen. Tabelle 4 fasst alle Leistungsbezüger der Schuhfertigung zusammen [vgl. 3.2]:

Tabelle 4: Übersicht über die Leistungsaufnahmen der Verbraucher

Maschine	Leistungsaufnahme (kW)/Linie	Anzahl Nählinien	Gesamtleistungsaufnahme (kW)	
Knetter	-	-	445.0	
Mischwalze	-	-	780.0	
Kalanderwalze (kalt)	-	-	24.0	
Kontr. Kühlen	-	-	35.0	
Schneiden	-	-	48.8	
Kalanderwalzen (warm)	-	-	41.0	
EVA-Presser	-	-	1,100.0	
Scraper	-	-	28.0	
Schneiden 2	-	-	48.8	
Heisspressen (Öl)	-	-	743.0	
Heisspressen (Dampf)	-	-	1,543.0	
Innensohle erhitzer	-	-	14.0	
Innensohle Presser	-	-	10.4	
Total Sohleproduktion	-	-	4,861.0	71.11%
Nählinie	15.0	50	750.0	
Assembling & Finishing	100.0	8	800.0	
Schneiden/Stanzen	37.5	10	375.0	
Licht/Luft	50.0	1	50.0	
Total Restproduktion			1,975.0	28.89%
Total			6,836.0	100.00%

Es ist dabei zu beachten, dass die Sohleproduktion längere Betriebszeiten pro Tag hat, weshalb sich der Endenergieverbrauch der Sohleproduktion noch stärker abzeichnet.

Oberschuhproduktion und Assembling/Finishing

Die einzigen Prozesse in der Oberschuhproduktion und im Assembling/Finishing, die eine signifikante Leistungsaufnahme erfordern, sind die Förderbanderhitzer, welche den Komponentenkleber aktivieren. Diese Förderbanderhitzer, wovon einer pro Assembly-Linie installiert ist, sind jedoch in einem guten Zustand und entsprechen neuen Standards, weshalb auch die gemessene Oberflächentemperatur der Verkleidung nur 35 – 40 °C betrug (Hallentemperatur 30 °C).

Die Hallenbeleuchtung erfolgt durch effiziente Phillips TL-M RS 20 Watt Leuchtstoffröhren. Die hohe Lichtausbeute von 60 Lumen pro Watt wird in diesem Lampentyp nur durch Schwefel- oder Natriumdampflampen übertroffen, die aber wegen ihrer schlechten Farbwiedergabe nicht in für eine Anwendung in der Schuhproduktion in Frage kommen (Philips, 2011).

Es wurde in der gesamten Oberschuhproduktion und im Assembly/Finishing kein massgebendes Energiesparpotential gefunden, weshalb auf diese Produktionsschritte nicht mehr weiter eingegangen wird.

Sohlenproduktion

Wie in Tabelle 4 ersichtlich ist, befinden sich die grössten Verbraucher in der Sohlenproduktion, da auch dort die gesamte von den Boilern produziert Energie verbraucht wird. Die energieintensivsten Prozesse sind dabei die Heisspressen, EVA-Pressen so wie Walzen/Kneiter.

Bei der Analyse der Elektrizitätsverbraucher der Sohleproduktion (vgl. Abbildung 6 und Tabelle 4) ergab sich ein kleines Energiesparpotential. Die Knetmaschinen und Mischwalzen, welche den Hauptanteil am Elektrizitätsverbrauch ausmachen, befinden sich in einem mittelmässigen Zustand. Effizienzsteigerung könnte hauptsächlich durch die Ersetzung der Maschinen mit neueren Modellen erreicht werden. Die Autoren schätzen, dass durch neuere Geräte die Leistungsaufnahme um maximal 10% gesenkt werden könnte, was einer Leistungsreduktion von rund 124 kW entspricht und einer jährlichen Energieeinsparung von **gerundeten 890 MWh** [bei 7'200 Betriebsstunden, vgl. 3.3.2].

Die Analyse der Heisspressen und derer Wärmeübertragungsleitungen zeigt, dass vor allem die Isolation der Rohre in einem sehr mangelhaften Zustand ist. Das Isolationsmaterial ist nicht nur marode und zu dünn dimensioniert (20-30 mm), sondern fehlt auch an einigen Stellen. Eine Isolationsstärke von mindestens 50 mm sollte im Minimum angebracht werden, um eine maximale Oberflächentemperatur von 50 Grad nicht zu überschreiten, sowie um

eine Aluminiumblechverkleidung um die Isolation vor Abnützung zu schützen (Kaindl, 2004). Abbildung 22 zeigt ein typisches Beispiel der überall verwendeten Isolierung.



Abbildung 22: Die Isolierung der Wärmeleitungen ist an den meisten Stellen mangelhaft

Die Isolierung der Wärmeleitungen sollten laut Betriebsingenieur Akbar im 2. oder 3. Quartal 2011 ersetzt werden.

Trotz des schlechten Zustandes der Isolierungen fällt der grösste Energieverlust bei den Pressen selbst an. Dies begründet sich damit, dass die Heisspressen manuell und ungedämmt betrieben werden. Eine Optimierung dieses Produktionsschrittes wäre allerdings nur durch eine thermische Abschottung und demnach Automatisierung des Prozesses möglich. Da dies durch die Rahmenbedingungen von Bangladesch (sehr günstige Arbeitskräfte) vorübergehend nicht realistisch ist, wird die Ersetzung des Press-Systems nicht als Option angesehen.

Das Potential der Isolierungserneuerung und Pressoptimierung fällt aus den genannten Gründen für weitere Abklärungen weg.

3.4.2 Energieproduktion

Boiler

Der bestehende Thermalölboiler sowie die beiden Prozessdampfboiler weisen keine signifikanten Einsparpotentiale auf. Dies lässt sich zum einen durch die tiefe Oberflächentemperatur der Boiler begründen, was auf eine gute Isolation hinweist. Die Oberflächentemperatur wurde von den Autoren mit einer Wärmebildkamera (Fluke Ti29), sowie einem Lasertemperaturmessgerät (Fluke 62) gemessen. Gemessen wurden Werte

zwischen 43 °C und 48 °C bei einer Aussentemperatur (die Boiler stehen in einem offenen Raum) von 37 °C. Zusätzlich ist den beiden Dampfboilern ein Economiser vorgeschaltet, welcher den Gesamtwirkungsgrad der Boiler erhöht. Der geschätzte Gesamtwirkungsgrad der Dampfboiler (inkl. Economiser) beläuft sich auf 85% [vgl. 3.3.1] (Khanna, 2011). Würde ein hocheffizienter Boiler mit einem Wirkungsgrad von 90% eingesetzt, könnten jährlich rund 0.977 GWh Primärenergie eingespart werden. Die Berechnungsgrundlage dafür ist:

$$\begin{aligned} \text{Jährliche Primärenergieeinsparung durch neue Dampfboiler (kWh)} &= \\ \frac{\text{Benötigte Dampfenergie pro Jahr (kWh)}}{\text{Wirkungsgrad alter Boiler}} - \frac{\text{Benötigte Dampfenergie pro Jahr (kWh)}}{\text{Wirkungsgrad neuer Boiler (kWh)}} &= \frac{14'943'459 \text{ kWh}}{0.85} - \\ \frac{14'943'459 \text{ kWh}}{0.90} &= 976696.67 \text{ kWh} = \mathbf{0.977 \text{ GWh}} \end{aligned}$$

Die Prozessdampfproduktion durch die Boiler betrug im Jahr 2010 14'943'459 kWh [vgl. 3.1].

Ähnlich läuft die Berechnung der möglichen Primärenergieeinsparung des Thermalölboilers. Da der Wirkungsgrad des Boilers nicht bekannt ist, wird mit vorsichtigen 80% gerechnet. Als Grundlage dafür dienen Vergleiche mit neuen Thermalölboilern des gleichen Herstellers, welche Wirkungsgrade von 90% erreichen (Cho II, 2011). Thermalölboiler wurde in der Formel mit „ThBoiler“ abgekürzt. Der Thermalöl-Wärmebedarf im Jahr 2010 betrug 3'735'864 kWh [vgl. 3.1].

$$\begin{aligned} \text{Jährliche Primärenergieeinsparung durch neuen Thermalölboiler (kWh)} &= \\ \frac{\text{Benötigte Dampfenergie pro Jahr (kWh)}}{\text{Wirkungsgrad alter ThBoiler}} - \frac{\text{Benötigte Dampfenergie pro Jahr (kWh)}}{\text{Wirkungsgrad neuer ThBoiler (kWh)}} &= \frac{3'735'864 \text{ kWh}}{0.80} - \\ \frac{3'735'864 \text{ kWh}}{0.90} &= 518'870 \text{ kWh} = \mathbf{0.519 \text{ GWh}} \end{aligned}$$

Somit könnte mit einem effizienteren Boiler rund 0.519 GWh Primärenergie eingespart werden.

Generatoren

Das Datenblatt des Caterpillar G3516 Generators besagt, dass der elektrische Wirkungsgrad der eingesetzten Generatoren 35,2% beträgt (Caterpillar, 2011). Die Verluste setzen sich gemäss Abbildung 21 in Kapitel 3.3.2 zusammen. In absoluten Zahlen, auf die jährliche Stromproduktion beider Generatoren hochgerechnet, ergeben sich folgende Werte (Abbildung 23):

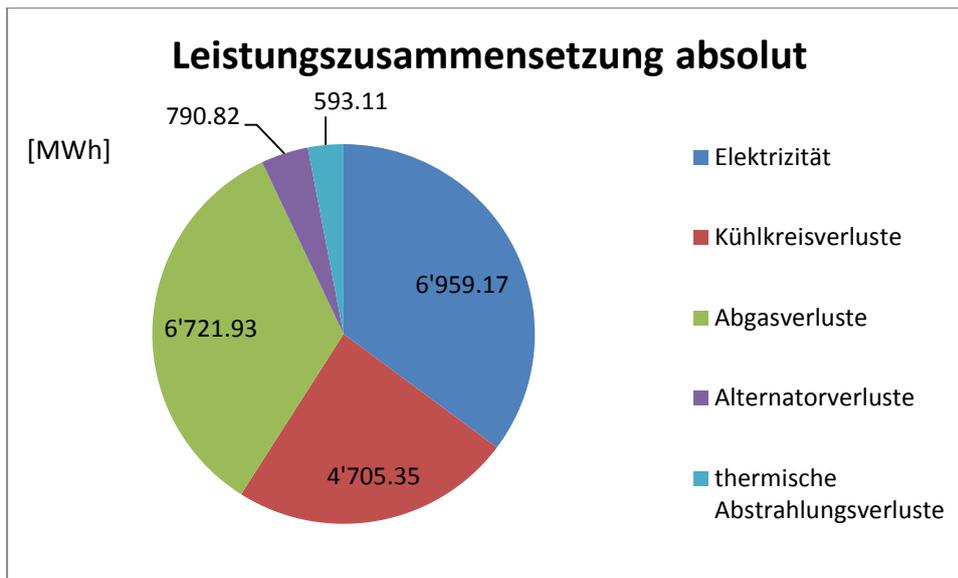


Abbildung 23: Leistungszusammensetzung der Generatoren auf die jährliche Energieproduktion hochgerechnet

Zur Kontrolle dieser Leistungszusammensetzung stand den Autoren eine Offerte für ein ähnliches Generatormodell der Firma Caterpillar zur Verfügung, den Caterpillar G3516B. Der G3516B ist ein fast identisches, aber leicht leistungsstärkeres Modell als der G3516. Die Leistungszusammensetzung verhält sich aber laut Offerte prozentual identisch (Willi, 2011) [Offerte Anhang A].

Die Abwärmeverluste, die sich für eine weitere Nutzung eignen, sind die **Abgasverluste und die Kühlkreisverluste** (34%, respektive 24% vgl. Abbildung 21).

Abgas-Abwärmepotential

Das Abgasabwärmepotential der Generatoren wird durch die folgenden begrenzenden Faktoren negativ beeinflusst:

- Der Gegendruck auf den Generatorenauspuff darf nicht mehr als 50 mbar betragen.
- Die geringe Leistungsauslastung (ca. 50%) der Generatoren senkt das Potential.

Der nicht zu überschreitende Abgasgegendruck setzt voraus, dass die verwendete Technologie mit relativ hohen Durchströmungsgeschwindigkeiten arbeiten muss. Dies führt dazu, dass weniger Wärmeenergie aus den Abgasen extrahiert werden kann. Um Abgasnutzungsvarianten planen zu können, sollte deshalb nicht von den 34% der Gesamtleistung ausgegangen werden, sondern von einem reduzierten Wert. Soll der Abgasgegendruck nie über 50 mbar steigen, beträgt die nutzbare Abgasleistung noch ca. 23% des Gesamtenergieinputs des Generators (Willi 2011).

Die oftmals sehr tiefe Leistungsauslastung der Generatoren setzt voraus, dass die verwendete Abwärmenutzungstechnologie mit diesen Schwankungen zurechtkommt. Zur Berechnung der verwendbaren Abwärme wurde nicht mit der tatsächlichen durchschnittlichen Auslastung der Generatoren gerechnet. Grund dafür ist, dass die Generatoren momentan auf einer viel zu tiefen Auslastung (ungefähr 50%) betrieben werden. Auslastungen von unter 60% sollten minimiert werden, Auslastungen von unter 50% unbedingt verhindert werden, da dadurch Schäden im Brennraum des Motors entstehen können (Willi 2011). Da diese Missstände in der Schuhfabrik der Youngone Corporation in der CEPZ so schnell wie möglich behoben werden müssen, wird als Rechnungsgrundlage eine Auslastung der Generatoren von 60% angenommen.

Der Wirkungsgrad-Abfall beim Teillastbetrieb der Generatoren ergibt sich aus der folgenden Tabelle 5: Erfahrungswerte des Leistungsabfalls bei Teillast (Willi, 2011):

Tabelle 5: Erfahrungswerte des Leistungsabfalls bei Teillast

Leistungsabfall bei Teillast		
Auslastung		Wirkungsgrad-Abfall
90%	Leistung	minus ca. 0.5%Punkte gegenüber 100%
80%	Leistung	minus ca. 1.2%Punkte gegenüber 100%
70%	Leistung	minus ca. 2.0%Punkte gegenüber 100%
60%	Leistung	minus ca. 3.0%Punkte gegenüber 100%

Da von einer Auslastung von 60% ausgegangen wird, beträgt das schlussendlich noch **nutzbare Abgas-Abwärmepotential 20%** des Gesamtleistungsinputs (23% - 3%).

Kühlwasserkreis-Abwärmepotential

Im Kühlwasserkreis muss eine bestimmte Durchströmungsgeschwindigkeit beibehalten werden, um eine ausreichende Motorenkühlung zu gewährleisten. Zusätzlich wird die nutzbare Kühlwasserleistung durch die Übertragung vom Kühlmedium des Motorenblocks auf das nach dem Wärmetauscher verwendete Medium reduziert. Die schlussendlich nutzbare Kühlwasserleistung beträgt laut Avesco noch 19% (Willi, 2011).

Zusammenfassend heisst das, dass die nutzbare Abgas- und Kühlwasserleistung schlussendlich noch 20%, respektive 19% der gesamten Generatoreninputleistung beträgt (Willi, 2011).

Abbildung 24 zeigt diesen Sachverhalt noch einmal in Bezug auf die gesamte Generatorenleistung.

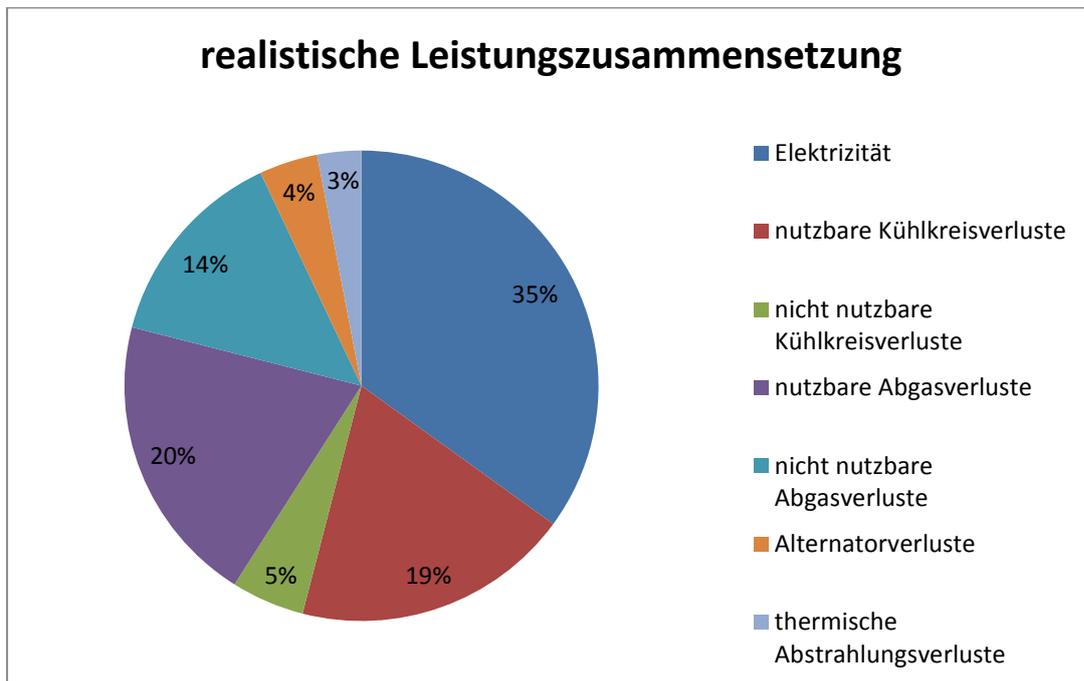


Abbildung 24: Realistisch nutzbare Energiezusammensetzung

Tabelle 5 zeigt auf, dass bei diesen Voraussetzungen (60% Auslastung und unter Berücksichtigung der Abgasströmungsgeschwindigkeit) die total nutzbare Abgasleistung beider Generatoren noch 1'156 kW und die nutzbare Kühlwasserleistung 1'138 kW beträgt (Willi, 2011). Jährlich stehen demnach bei 7'200 Betriebsstunden rund 16.5 GWh Wärme zur freien Verfügung (**8.3 GWh Abgasenergie, 8.2 GWh Kühlwasserenergie**). Die Autoren werden im weiteren Verlauf der Arbeit mit diesen Zahlen rechnen.

Tabelle 6: Berechnung der total nutzbaren Abwärmeleistung pro Generator

Generator-Typ		G3516B	G3516
Gesamtleistung	[kW]	3'055	2'926
El. Leistung	[kW]	1'213	1'030
El. Wirkungsgrad	[%]	39.7%	35.2%
Kühlkreis-Wirkungsgrad (nutzbar)	[%]	22%	22%
Abgas Wirkungsgrad (nutzbar)	[%]	23%	23%
Kühlkreis-Wirkungsgrad 60% Ausl.	[%]	19%	19%
Abgas Wirkungsgrad 60% Ausl.	[%]	20%	20%
Nutzbare Kühlkreis-Leistung bei 60% Ausl. pro Generator	[kW]	594	569
Nutzbare Abgasleistung bei 60% Ausl. pro Generator	[kW]	603	578

Die Nutzung des Kühlwasserkreislaufes wird nicht weiter verfolgt, obwohl das Nutzungspotential gross ist. Es werden keine Massnahmen vorgeschlagen weil aufgrund von Aussagen von Mr. Akhtaruzzaman (2011) in der CEPZ bereits Pläne bestehen, dieses Wärmepotential zu nutzen.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 7 die möglichen und sinnvollen Energiesparpotentiale:

Tabelle 7: Übersicht über die möglichen Energiesparpotentiale

Abwärmepotential	GWh pro Jahr
Schuhfertigungsprozess (neue Maschinen)	0.89
Neuer Dampfboiler	0.977
Neuer Thermalölboiler	0.519
Abgaswärmenutzung Generatoren	8.3

Auf Grund des sehr grossen Potentials der **Abgaswärmenutzung der Generatoren** haben sich die Autoren entschieden, im weiteren Verlauf dieser Arbeit (Teil 2) Varianten zu finden, dieses Potential zu nutzen.

Teil 2

In Teil 2 dieser Arbeit dienen die Folgerungen von Teil 1 als Grundlage. Der Teil 2 ist als Hauptteil dieser Bachelorarbeit anzusehen, da das Ziel, konkrete Energieeffizienzmassnahmen vorzustellen, umgesetzt wird. Es werden in einem ersten Schritt auf mögliche Abwärmenutzungsvarianten eingegangen, welche für den Standort Bangladesch und den vorliegenden Rahmenbedingungen (Schuhproduktionsprozess, Energieverbrauch und Energiebereitstellung) in Frage kommen. In einem weiteren, zentralen Schritt, wird die Methode zur Auswahl der geeignetsten Variante erläutert. Der darauf folgende Ergebnisteil stellt konkrete Resultate, welche anhand des Methodenteils zustande kommen, dar. Schliesslich wird in der Diskussion auf weiterführende Massnahmen zur empfohlenen Abwärmenutzungsvariante eingegangen, ein möglicher Zeitplan zur Umsetzung vorgestellt und die Vorgehensweise der Autoren auf kritische Art und Weise betrachtet.

4 Varianten der Abwärmenutzung

Die Abwärme der beiden Caterpillar Gasgeneratoren kann durch verschiedene Varianten genutzt werden. Das Ziel ist eine möglichst hohe Primärenergieeinsparung. Aus dieser ergeben sich Folgerungen zur wirtschaftlichen Attraktivität. Die Autoren haben sich entschieden, folgende drei Varianten der Abwärmenutzung genauer zu untersuchen:

- Abhitzedampferzeuger
- Absorptions-Kühlmaschine
- Organic Rankin Cycle (ORC)

Die Auswahl dieser drei Varianten lässt sich dadurch begründen, dass jede Variante zentrale Probleme der Schuhproduktion in einem Land wie Bangladesch berücksichtigt. So wird mit dem Abhitzedampferzeuger die hohe Nachfrage nach thermischer Energie in der Schuhproduktion berücksichtigt [vgl. 3.1], die Variante Absorptions-Kühlmaschine berücksichtigt die Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter und mit Hilfe der Variante ORC wird den häufigen Blackouts der elektrischen Energieversorgung entgegen gewirkt [vgl. 2.2].

Abschliessend zur Vorstellung der Abwärmenutzungsvarianten wird erläutert, welche Varianten aus welchen Gründen nicht weiter betrachtet werden.

4.1 Abhitzedampferzeuger

Die Schuhproduktion benötigt eine grosse Menge an Prozessdampf, der bisher durch herkömmliche Dampfboiler bereitgestellt wurde [vgl. 3.1]. Als erste Variante wird deshalb der Abhitzedampferzeuger vorgestellt.

Abhitzedampferzeuger nutzen meist das Abgas aus einem vorgelagerten Verbrennungsprozess zum Erzeugen von Dampf. Durch die Nutzung der Abwärme, welche ansonsten direkt und somit ungenutzt in die Atmosphäre gelangen würde, kann der Gesamtwirkungsgrad der Anlage erhöht werden (Verluste werden reduziert). Mit dem Einsatz eines Abhitzedampferzeugers kann ein Teil, jedoch nicht die gesamte der in den Abgasen enthaltenen Energie zurückgewonnen werden. Grundsätzlich ist die Menge der nutzbaren Energie von der Abgastemperatur, der Abgasstromgeschwindigkeit und dem maximal zulässigen Gegendruck auf die Wärmequelle abhängig (Willi, 2011).

Das Temperaturniveau des Abgases ist vom vorgeschalteten Prozess abhängig. Es wird dabei zwischen tiefen-, mittleren-, und hohen Abgastemperaturen unterschieden. In direkten Verbrennungsprozessen, wie dies mit den beiden Gasgeneratoren in der CEPZ der Fall ist (448 °C), werden in der Regel mittlere Abgastemperaturen zwischen 230 °C und 650 °C erreicht. Auf diesem Temperaturniveau findet der Wärmeaustausch vorwiegend durch Konvektion statt (UNEP, 2006).

Die folgenden Betriebsbedingungen haben einen direkten Einfluss auf die Wahl und Dimensionierung des Abhitzedampferzeugers:

- **Abhitze:** Abgasmenge, Abgastemperatur, Abgaszusammensetzung, Feststoffbeladung, zulässiger abgasseitiger Druckverlust
- **Wärmebedarf:** Dampf- beziehungsweise Wärmeleistung, zulässiger Betriebsdruck, Medium (Warmwasser, Heisswasser, Sattedampf, Heissdampf)
- **Betriebsart:** stromorientiert oder wärmeorientiert, Teillastbetrieb, Lastschwankungen, ohne oder mit Zusatzfeuerung
- **Platz- und Montageverhältnisse**
- **Emissionsgrenzwerte**

Nach einer sorgfältigen Abklärung aller erwähnten Betriebsbedingungen folgt die Wahl des geeigneten Abhitzedampferzeugers. Die Auswahl an verschiedenen Konstruktionstypen ist gross und unter anderem Abhängig von den Betriebsbedingungen. Konkret stehen folgende Spezifikationen zur Verfügung:

- **Kesselart:** Rauchrohrkessel, Wasserrohrkessel, Rauchrohrkessel mit Wasserrohrheizflächen
- **Heizflächen:** Glattrrohr-, Rippenrohrheizflächen mit unterschiedlichen Rohr- und Rippenabmessungen
- **Rohreigenschaften:** Rohrbündelanordnung fluchtend oder versetzt, Rohrteilungsverhältnis, Kanalquerschnitt
- **Ausrichtung:** horizontale oder vertikale Abgasführung

- **Wasser- beziehungsweise Dampfführung:** Naturumlauf, Zwangsumlauf, Zwangsdurchlauf im Gleich- oder/und Gegenstrom zum Abgas

(Sobbe, 2009)

Die Autoren gehen von einem System aus, bei welchem die Abgasleitungen der beiden Caterpillar Gasgeneratoren direkt in ein Economiser-Abhitzedampfkessel System geführt werden. Dies ist nach Khanna (2011) die geläufigste Variante. Konkret bedeutet dies, dass die beiden Abgasleitungen mit einem durchschnittlichen Temperaturniveau von 448° C und einer im Abgas enthaltene nutzbare Leistung von 1'156 kW [vgl. 3.4.2] direkt durch das System geleitet wird.

Um einen geeigneten Abhitzedampferzeuger zu finden, haben die Autoren Kontakt mit der Firma Schneider Engineering GmbH aufgenommen und eine Offerte angefordert. Den Autoren wurde von Herr Schneider (2011) ein einzügiger Rauchrohrkessel mit einem nachgeschalteten Rippenrohr-Economiser empfohlen. Der nachgeschaltete Rippenrohr-Economiser dient der Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades des Abhitzedampfkessels. Die Abgase durchströmen nach dem Abhitzedampfkessel den aufgebauten Economiser, welcher noch zusätzlich rund 252 kW Wärmeleistung zurückgewinnen kann.

Auf nachfolgender Abbildung ist ein Abhitzekessel ersichtlich, welcher dem Typ des offerierten ähnlich sieht (Schneider, 2011).



Abbildung 25 : Schneider-Kessel Abhitzedampferzeuger

Die Angaben der den Autoren vorliegenden Offerte der Schneider Engineering GmbH und auf die Rahmenbedingungen abgestimmte Abhitzedampferzeuger, sind auf folgender

Tabelle 8 ersichtlich. Weitere Informationen sind in der Offerte [Anhang A] zu entnehmen.

Tabelle 8: Datenblattauszug Abhitzedampferzeuger WHR 1550/10

Anlage	Abhitzedampferzeuger
Typ	WHR 1550/10
Lieferant und Installateur	Schneider-Kessel Berlin
Zulässige Dampferzeugung	1550 kg/h
Max. Sattdampftemperatur	175 °C
Kesselarbeitsdruck	8 bar

Die Anlagekosten sind in der Tabelle 9 ersichtlich. Sie berücksichtigen den WHR 1550/10 inkl. des nachgeschalteten Rippenrohr- Economisers.

Tabelle 9: Aufwendungen Abhitzedampferzeuger WHR 1550/10

Aufwendungen Abhitzedampferzeuger WHR 1550/10	Kosten
Richtpreis der Anlage (inkl. MwSt.)	110'000 USD
Kosten Installation	60'000 USD
Kosten Planung	30'000 USD
Unvorhergesehenes	20'000 USD
Investitionskosten Total inkl. MwSt.	220'000 USD

(Ein Euro entspricht 1.4399 USD; Stand 21.08.2011)

Die Installations- und Planungskosten basieren, nach Rücksprache mit der Firma Schneider, auf Annahmen der Autoren. Der Abhitzedampfkessel wird direkt ab Werk Thailand geliefert, die Lieferzeit beträgt ca. 16-20 Wochen (Schneider, 2011).

Der ausgewählte Abhitzedampferzeuger könnte im bestehenden Generatorgebäude (erstes Stockwerk) untergebracht werden, wo genug Platz vorhanden wäre. Eventuell müssten für

die Installation diverse Türen ausgebaut werden und ein zusätzliches Fundament errichtet werden. Diese Kosten werden mit den unvorhergesehenen Kosten berücksichtigt.

Nach dem das Abgas den nachgeschalteten Economiser und den Abhitzedampferzeuger durchströmt hat, hat dieses immer noch ein Temperaturniveau von 184 °C und könnte weiter verwendet werden [vgl. 7.1.2].

Für den Wirkungsgrad haben die Autoren keine Informationen des Herstellers erhalten. Nach telefonischer Auskunft durch Herr Khanna (2011) von Forbes Marshall beläuft sich der Wirkungsgrad von Abhitzedampfkesseln üblicherweise zwischen 85% und 90% der Abgasleistung. Die Autoren werden in dieser Arbeit von einem 85% Wirkungsgrad ausgehen.

4.2 Absorption-Kühlmaschine

Die Umgebungstemperatur in den Youngone Schuhfabriken ist hoch. So sind beispielsweise in der Fabrikhalle der Sohlenproduktion Temperaturen von über 40 Grad Celsius gemessen worden. Diese hohen Temperaturen haben Einfluss auf die Arbeitsleistung und Gesundheit der Arbeiter. Um dem Problem entgegen zu wirken, hat es in den Hallen diverse fest installierte und portable Ventilatoren, welche jedoch nur einen minimalen Einfluss auf die Raumtemperatur haben, da die warme Luft nur umgewälzt wird.

Die anfallende Abwärme der Gasgeneratoren könnte eine Absorptions-Kühlmaschine betreiben, welche einen Teil der benötigten Kälte liefern könnte. Die Wahl dieser Variante eignet sich für die Schuhfabrik der Youngone Corporation, da die geringe benötigte elektrische Anschlussleistung einer Absorptionskältemaschine als limitierender Faktor angesehen werden kann. Zum detaillierteren Verständnis wird an dieser Stelle kurz auf die Funktionsweise einer solchen Anlage eingegangen.

Eine Absorptionskältemaschine besteht im Wesentlichen aus den vier Bauteilen Verdampfer, Absorber, Austreiber und Kondensator sowie einer Pumpe und einem Wärmeüberträger. Im Gegensatz zu einer Kompressionskältemaschine wird der Kältemitteldampf nicht in der Gasphase mechanisch verdichtet, sondern im Absorber. Der grosse Vorteil liegt darin, dass der Kompressor wegfällt und somit der Energieverbrauch signifikant reduziert werden kann.

① → Im **Verdampfer** wird das flüssige Kältemittel unter Niederdruck und tiefen Temperaturen in einen gasförmigen Zustand gebracht. Bei dieser Aggregatzustandsänderung entsteht der gewünschte Nutzeffekt: die Klimakälte.

② → Das im **Absorber** enthaltene Lithiumbromid-Salz saugt den Kältemitteldampf an. Dieser wird, unter Abgabe von Wärme, welche abgeführt werden muss, im Salz gelöst. Mit einem

minimalen elektrischen Aufwand kann anschliessend das mit der Salzlösung gesättigte Kältemittel in den Hochdruckbereich geführt werden.

③ → Im **Austreiber** wird unter Hochdruck und mithilfe von Wärmezufuhr (Bsp. Abgas von Gasgeneratoren) das Kältemittel vom Lithiumbromid-Salz getrennt. Das Kältemittel geht dabei in einen gasförmigen Zustand über. Die aufbereitete Salzlösung wird anschliessend durch den Wärmeüberträger zurück in den Absorber geführt womit der Kreislauf der Salzlösung geschlossen wird.

④ → Das im gasförmigen Zustand beim **Kondensator** ankommende Kältemittel wird durch Wärmeabgabe wieder in einen flüssigen Zustand gebracht (auskondensieren).

(Anon, 2011)

Die nachfolgende Abbildung 26 verbildlicht die oben erklärten Prozessschritte (Saena, 2011).

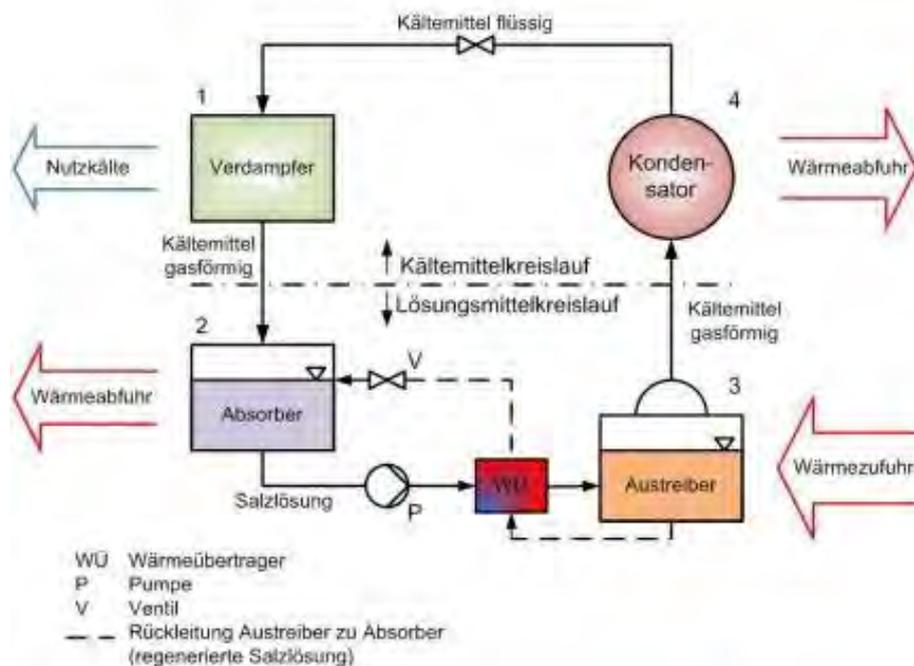


Abbildung 26: Funktionsschema Absorptions-Kühlmaschine

Es gibt zwei verschiedene Typen von Absorptions-Kältemaschinen welche anhand der verwendeten Lösungs- und Kältemittel unterschieden werden. Konkret gibt es folgende Möglichkeiten:

- Ammoniak/Wasser Absorptionsanlage (Wasser ist Lösungsmittel)
- Wasser/Lithiumbromid Absorptionsanlage (Lithium ist Lösungsmittel)

Im oberen Abschnitt wurde bewusst die Wasser/Lithiumbromid Variante erläutert, da sich eine Zusammensetzung auf dieser Basis besser für die Schuhfabrik der Youngone Corporation eignet. Dies hat folgende Gründe.

- Zweistufige Absorptionskältemaschinen auf Wasser/Lithiumbromid Basis können mit einer Heiztemperatur von 65 °C bis 520 °C betrieben werden, was mit dem Abgas der beiden Gasgeneratoren erreicht wird (Keller et al., 2008).
- Wasser als Lösungsmittel ist bei allfälligen Komplikationen (Leck) völlig unbedenklich.
- Beim Verdampfen im Absorber entsteht reiner Wasserdampf, was keine weitere Aufbereitung erfordert.

(Saena, 2011)

- Technische Arbeit an der Pumpe fällt ca. um den Faktor 500 weniger ins Gewicht als bei Ammoniak/Wasser (Niederdöckl, 2010)
- Untere erzeugbare Kältetemperatur: 4.5° C (Steinborn, 2011)

Insgesamt ist die Wahl von Wasser/Lithiumbromid mit weniger Unterhaltsarbeiten verbunden, weniger umweltbedenklich und erreicht eine höhere Effizienz.

Ein weiterer Vorteil von Absorptions-Kühlmaschinen ist deren hohe Lebensdauer, welche mindestens 20 Jahre beträgt (Anon, 2007).

Ein Nachteil der Wasser/Lithiumbromid Lösung ist die Aggressivität des Gemisches in Verbindung mit Sauerstoff. Daher muss bei einem sicheren Betrieb unbedingt darauf geachtet werden, dass das System luftdicht abgeschlossen ist, bei einem allfälligen Eindringen von Sauerstoff ist deshalb ein zuverlässiges Entlüftungssystem unabdingbar (Keller et al., 2008).

Da eine genaue Dimensionierung ohne entsprechende Berechnungstools schwierig ist, haben sich die Autoren an dieser Stelle entschieden, eine Offerte mit den Kosten sowie den Dimensionierungsangaben der Clima Net AG einzuholen. Die nachfolgende Abbildung 27 zeigt eine Lithiumbromid Absorptions-Kühlmaschine, welche im Aufbau jener ähnlich ist, die von der Clima Net AG offeriert wurde und von der Firma Shuangliang in China produziert und geliefert wird (Shuangliang, 2011).



Abbildung 27: Lithiumbromid Absorptions-Kühlmaschine

Die Absorptions-Kühlmaschine welche von der Firma Clima Net AG offeriert wurde und auf die Rahmenbedingungen angepasst ist, ist auf folgender Tabelle 10] ersichtlich:

Tabelle 10: Datenblattauszug Absorptions-Kühlmaschine YX145H2

Anlage	Absorptions-Kühlmaschine
Ausführung	Abgasbetriebene LiBr Absorptions-Kühlmaschine
Typ	YX145H2
Lieferant und Installateur	Clima Net AG
Kälteleistung	1'500 kW
Maximale elektrische Leistungsaufnahme inkl. Vakuumpumpe	5.25 kW
Kaltwassertemperatur	12/6 °C
Kühlwasser (2'594 kW)	30/35 °C

Die Anlagekosten sind in der Tabelle 11 ersichtlich. Der Richtpreis entstammt der Offerte (Telefongespräch) der Clima Net AG. Die Kosten für die Rückkühltürme und die Installationskosten beruhen auf einer Abschätzung der Clima Net AG (Keller, 2011). Die Planungskosten sowie die Kosten für Unvorhergesehenes entstammen Abschätzungen durch die Autoren nach Rücksprache mit der Firma Clima Net AG

Tabelle 11: Aufwendungen Absorptions-Kühlmaschine YX145H2

Aufwendungen Absorptions-Kühlmaschine	Kosten
Richtpreis des Absorbers (inkl. MwSt.)	316'800 USD
Kosten Rückkühltürme 3.5 MW	144'000 USD
Kosten Installation	80'000 USD
Kosten Planung	35'000 USD
Unvorhergesehenes	50'000 USD
Investitionskosten Total inkl. MwSt.	625'800 USD

(Ein Euro entspricht 1.4399 USD; Stand 21.08.2011)

4.3 Organic Rankin Cycle (ORC)

Eine Integration einer Organic Rankine Cycle Turbine ist eine weitere Möglichkeit, die Abgaswärme zu nutzen. Aus der anfallenden Abwärme kann mit der ORC-Turbine Elektrizität produziert werden, was die Menge an eingekaufter Energie reduzieren könnte. Auf Abbildung 28 ist ein ORC-Modul ersichtlich (Dürr, 2011).

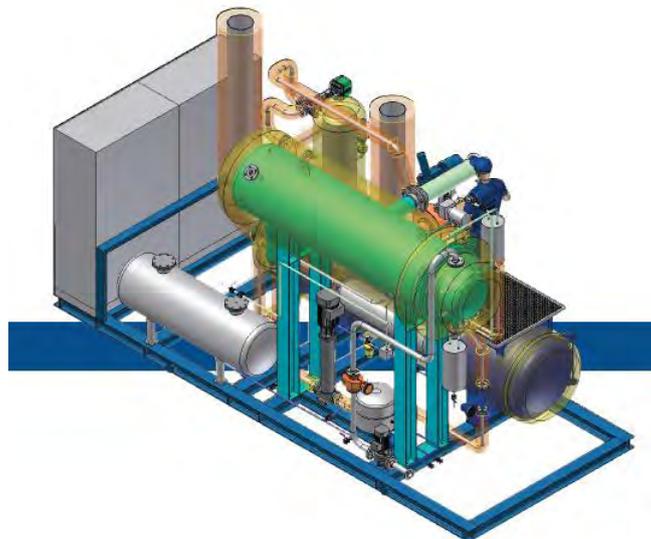


Abbildung 28: ORC-Modul "Ecopure" des Herstellers Dürr Cyplan

Der Organic Rankine Cycle ist ein thermodynamischer Rankine-Prozess, der als Arbeitsmedium eine organische Flüssigkeit verwendet. Der signifikante Vorteil eines ORC-Modules ist, dass er, verglichen mit regulären Dampfturbinen, mit relativ geringen Eingangstemperaturen arbeitet. Die Spanne der genannten Eingangstemperaturen von Tieftemperatur ORC's reicht von 80 °C bis 370 °C (Desai et al., 2009).

Das Funktionsprinzip ähnelt dem eines herkömmlichen Rankine-Kreisprozesses, bei dem Wasser in einen Boiler gepumpt wird, verdampft, eine Turbine antreibt und schlussendlich wieder kondensiert (Quoilin, 2007). Als Arbeitsmedium wird beim ORC eine organische Substanz an Stelle von Wasser verwendet, deren Wahl von verschiedenen Faktoren abhängt. Als Hauptfaktor kann die zur Verfügung stehende Eingangsleistung (hier das Abwärmenniveau) genannt werden. Weitere Faktoren sind die Umweltverträglichkeit, Betriebssicherheit und die Kosten des Mediums.

Typische verwendete Fluide im ORC-Prozess sind n-Butan mit einer Siedetemperatur von -0.5 °C oder n-Pentan mit einer Siedetemperatur von 36 °C. Weiter werden eine Vielzahl von Fluorkohlenwasserstoffen, Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und anderen Kohlenwasserstoffen eingesetzt. Die Siedetemperaturen sind grösstenteils zwischen -30 °C und 70 °C (Huppmann et al., 1985).

Aufgrund der oft sehr tiefen Siedetemperaturen dieser organischen Substanzen kann ein ORC-Prozess bereits bei tiefen Temperaturen betrieben werden. Niedrigtemperatur ORC-Module können deshalb auch noch nach anderen Wärmerückgewinnungsprozessen, wie zum Beispiel einem Abhitzedampferzeuger, eingesetzt werden. ORC-Module, die auf niedrige Temperaturen ausgelegt sind, erreichen allerdings einen elektrischen Wirkungsgrad, der bedeutend tiefer ist (6 - 10%), als jener von Hochtemperatur ORC's (17 - 22%) (Fink, 2011). Die Amortisationszeit solcher Module ist deshalb grundsätzlich lange.

Hochtemperatur ORC's werden dagegen mit Temperaturen bis 600 °C betrieben. Der elektrische Wirkungsgrad steigt dabei ebenfalls an, und kann bis zu 22% erreichen. Dies allerdings nur, wenn die anfallende Kühlwassertemperatur (60 - 90 °C) auch genutzt wird. Andernfalls beträgt der Wirkungsgrad 17 - 20%.

Die Hochtemperatur ORC's von Dürr Cyplan [Offerte siehe Anhang A] eignet sich zusätzlich, weil der produzierte Gegendruck nur 30 - 60 mbar beträgt. Durch angepasste Steuerung kann ausgeschlossen werden, dass der Gegendruck die maximal zulässigen 50 mbar überschreitet. Das nutzbare Temperaturniveau der Abwärme beträgt 400 – 600 °C, was im Bereich der Abgastemperaturen der Gasgeneratoren liegt. Dies entspricht einer durchschnittlichen Leistung von 170-190 kW. Der gesamte Energie-Eigenbedarf, inklusive Kühlkreispumpe und Rückkühler, beträgt etwa 20 kW (Fink, 2011).

Die stärksten Punkte dieser Technologie sind:

- Lange Lebensdauer (robust und verschleissarm)
- Geringer Eigenstrombedarf
- Können problemlos auch bei tiefen Auslastungen betrieben werden, ohne dass der Wirkungsgrad stärker als linear abnehmen würde (Fink 2011)
- Geringer Platzbedarf
- Modularer Aufbau, einfache Installation
- Vielfältige Einsatzmöglichkeit (verschiedene Temperaturniveaus)

Bezogen auf dieses Projekt sollen aber auch die Schwächen genannt werden:

- Hoher Anschaffungspreis
- Für die lokalen CEPZ-Ingenieure vermutlich ein Black Box Prozess (Reparatur vermutlich nicht selbst durchführbar)
- Vergleichsweise wenig Hersteller und Importeure in der Nähe von Bangladesch

Hinter die ORC Turbine könnte weiterhin Abwärme genutzt werden. Am Kondensator kann mit nur minimalen Verlusten ein Temperaturniveau von 70 °C bereitgestellt werden. Welche Massnahmen das sind, würde in einem späteren Projektschritt entschieden werden, falls die ORC-Turbine als umzusetzende Variante ausgewählt würde.

Auf der Tabelle 12 sind die Anlagespezifikationen des ORC Moduls Ecopure ersichtlich (Dürr, 2011).

Tabelle 12: Datenblattauszug ORC-Anlage Ecopure

Anlage	ORC
Name	Ecopure®
Lieferant und Installateur	Dürr Cyplan
Ausführung	Hochtemperatur ORC ohne Wärmenutzung
Gesamtwirkungsgrad	17-20%

Die Aufwendungen für das ORC-Modul sind in Tabelle 13 dargestellt (Fink, 2011).

Tabelle 13: Aufwendungen ORC-Anlage Ecopure

Aufwendungen Absorptions-Kühlmaschine	Kosten
Richtpreis der Anlage inkl. MwSt & Planung	864'000 USD
Kosten Installation & Rückkühler	90'000 USD
Unvorhergesehenes	140'000 USD
Investitionskosten Total inkl. MWSt.	1'094'000 USD

(Ein Euro entspricht 1.4399 USD; Stand 21.08.2011)

4.4 Nicht berücksichtigte Varianten

Theoretisch gäbe es noch andere Möglichkeiten zum Nutzen der Abwärme, auf welche in diesem Bericht jedoch nicht genauer eingegangen wird. Mit den drei abgehandelten Abwärmenutzungsvarianten wurden bereits die drei Faktoren Wärme, Elektrizität und das Wohlbefinden der Mitarbeiter berücksichtigt. Daraus, und aufgrund der Tatsache, dass die erwähnten Technologien [vgl. 4.1, 4.2, 4.3] in der Regel eine höhere Effizienz als die nun folgenden aufweisen, ergibt sich, dass die nun folgenden Abwärmenutzungs-Varianten in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt werden:

- Theoretisch wäre es möglich, die Abwärme in Form eines Wärmeverbunds zu anderen Abnehmern in der Nähe zu bringen. Da der Prozesswärmebedarf in der Youngone Schuhfabrik jedoch enorm hoch ist, macht dies aus Effizienzgründen (kleinere Übertragungsverluste) keinen Sinn.
- Eine weitere Variante, welche nicht berücksichtigt wird, ist der Wärmetauscher. Die direkte Nutzung eines Abwärmepotentials auf tiefem Niveau schliesst sich aus, da es in der Youngone Schuhfabrik keinen Bedarf danach gibt. Wärmetauscher auf hohem Temperaturniveau sind bei den Boilern schon installiert. Mit der Variante Abhitzedampferzeuger ist ein Hochtemperaturwärmetauscher bereits behandelt, der zugleich das Medium Wasser in den gewünschten Aggregatzustand (Dampf) bringt.

- Eine Thermalölvorwärmung mittels der vorhandenen Abwärme wurde nicht als Variante betrachtet, da der bestehende Thermalölboiler eine maximale Leistungsaufnahme von errechneten 856 kW hat [vgl. 3.4.2 Boiler] und die maximale nutzbare Abwärmeleistung rund 1'156 kW beträgt [vgl. 3.4.2 Generatoren]. Folglich könnte nur ein Anteil der Abwärme der Gasgeneratoren genutzt werden um den Thermalölboiler zu betreiben. Die restliche Abwärme müsste anderweitig genutzt (was die totalen Investitionskosten in die Höhe treiben und den Gesamtwirkungsgrad senken würde) oder ungenutzt in die Atmosphäre gelassen werden. Der Abhitzedampferzeuger wäre daher wesentlich effizienter und wirtschaftlicher.

- Ein Economiser als Variante wurde deshalb nicht behandelt, weil bei den Boilern bereits ein Economiser installiert ist, und mit der Variante Abhitzedampferzeuger ebenfalls ein nachgeschalteter Economiser betrachtet wird [vgl. 4.1]. Der Vorteil eines Abhitzedampferzeugers ist es, dass direkt nutzbarer Dampf erzeugt wird, wo hingegen ein Economiser das Fluid nur vorwärmt..

Die vorgestellten Abwärmenutzungs-Varianten (Abhitzedampferzeuger, Absorptions-Kühlmaschine und ORC) werden in den folgenden Kapiteln weiter behandelt. Die erwähnten, nicht berücksichtigte Varianten, werden nicht mehr weiter verfolgt.

5 Methodische Vorgehensweise

Ziel der Autoren ist es, die geeignetste Variante der Abwärmenutzung für den Standort der Youngone Schuhfabrik in Chittagong zu finden. Um eine möglichst fundierte Empfehlung abgeben zu können, haben die Autoren in diesem Kapitel Methoden definiert, die darauf bedacht sind, die Abwärmenutzungsvariante zu finden, welche den grössten Nutzeffekt hat.

5.1 Bewertungsfaktoren

Zum Vergleich der verschiedenen Varianten müssen einheitliche Vergleichskriterien gefunden werden. Entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit wurden zwei Kriterien definiert:

- Primärenergieeinsparung
- Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich direkt aus der Primärenergieeinsparung, beinhaltet aber ebenfalls die Investitionskosten.

Es wird bewusst kein Kriterium gewählt, welches die **Ökologie** in Form von Umweltbelastungspunkten oder Treibhausgaspotential bewerten würde. Dies begründet sich damit, dass sich die Umweltbelastungspunkte und auch das Treibhausgaspotential an die Primärenergieeinsparung koppeln. Da der Strommix von Bangladesch, welcher primär aus Gas, einer fossilen Energieform, erzeugt wird [vgl. 2.2] ungefähr die gleiche ökologische Bewertung wie das Gas selbst erhalten würde, erübrigt sich somit eine entsprechende Bewertung. Bei einer Zunahme der Primärenergieeinsparung würde dementsprechend die Umweltbelastungspunkte oder das Treibhausgaspotential linear abnehmen.

5.1.1 Primärenergieeinsparung

Die effektiven Primärenergieeinsparungen berechnen sich je nach Abwärmenutzungsvariante auf unterschiedliche Art und Weise.

Bei den Varianten **ORC und Absorption-Kühlmaschine** wird zum Ermitteln der Primärenergieeinsparung der elektrische Stromverbrauch eines alternativen Szenarios als Referenzwert hinzugezogen. Dabei wird der Strommix von Bangladesch zum Errechnen des Primärenergieverbrauchs verwendet, welcher direkt vom staatlichen Netzbetreiber Bangladesh Power Development Board (BPDB) bezogen wird. Die erforderlichen Berechnungen berücksichtigen, nebst den jeweiligen Anteilen der verschiedenen Energieträger (Gas, Erdöl/Diesel, Wasser, Kohle) am Strommix, auch den Wirkungsgrad der jeweiligen Kraftwerkstypen, wobei mit Literaturwerten gerechnet wird. Da die Kraftwerke in

Bangladesch oftmals in einem mangelhaften Zustand sind und nicht mehr dem neusten Stand der Technik entsprechen, werden in den Berechnungen eher tiefe Wirkungsgrade angenommen. Des Weiteren werden die Netzverluste auf der Übertragungsebene sowie die Verluste auf der technischen Verteilungsebene der bengalischen Stromnetzinfrastuktur mit berücksichtigt [vgl. 2.2].

Bei der **ORC-Turbine** errechnet sich die Primärenergieeinsparung direkt über die produzierte Energie, die alternativ hätte eingekauft werden müssen.

Bei der **Absorptions-Kühlmaschine** wird angenommen, dass alternativ mit einem herkömmlichen, zentralen Kühlsystem gekühlt würde. Mithilfe des Stromverbrauchs der Absorptions-Kühlmaschine, welcher direkt vom Stromverbrauch der alternativen Kühlvariante subtrahiert wird, wird die Primärenergieeinsparung berechnet.

Als Beispiel eines herkömmlichen zentralen Kühlsystems (nicht auf Absorber-Basis) dient eine Offerte des Herstellers Clivet. Die anlagespezifischen technischen Angaben sind auf der folgenden Tabelle Tabelle 14 ersichtlich, die Grundlagen dieser Daten sind im [Anhang A] zu finden.

Tabelle 14: Datenblattauszug Klimagerät WDH HE 2.540

Anlage	Klimagerät
Marke	Clivet
Modell	WDH HE 2.540
Maximale Kühlleistung	1'506 kW
Maximale elektrische Leistungsaufnahme	227 kW
Energieeffizienzindex (EEI) = COP	5.69

Der Energieeffizienzindex (EEI) gibt das Verhältnis von Kühlleistung und elektrischer Energieaufnahme an und entspricht dem Coefficient of performance (COP). Die Autoren werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit den Ausdruck COP verwenden.

Die folgende Abbildung 29 veranschaulicht die Systemgrenze des alternativen Endenergiebereitstellungsszenarios der Varianten ORC und Absorptions-Kühlmaschine. Berücksichtigt wird die Primärenergiezusammensetzung, die Kraftwerkswirkungsgrade (Generatoren der staatlichen Betreiber), die Netzverluste (externes Verteilungsnetz) sowie

der Endverbraucher, welcher als Nutzenergie entweder Strom oder Kälte (zentrales Kühlsystem WDH HE 2.540) bereitstellen.

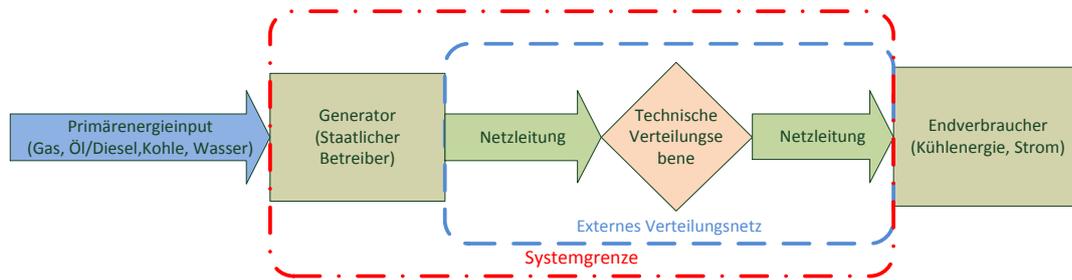


Abbildung 29: Systemgrenze alternatives Energieversorgungsszenario

Zum Berechnen des Primärenergieverbrauchs der beiden Varianten ORC und Absorptionskühlmaschinen wurden die Systemgrenzen folgendermassen (Abbildung 30) gezogen. Der Primärenergieinput ist in diesem Fall Erdgas, welches die beiden Gasgeneratoren der Youngone Schuhfabrik direkt beliefert.

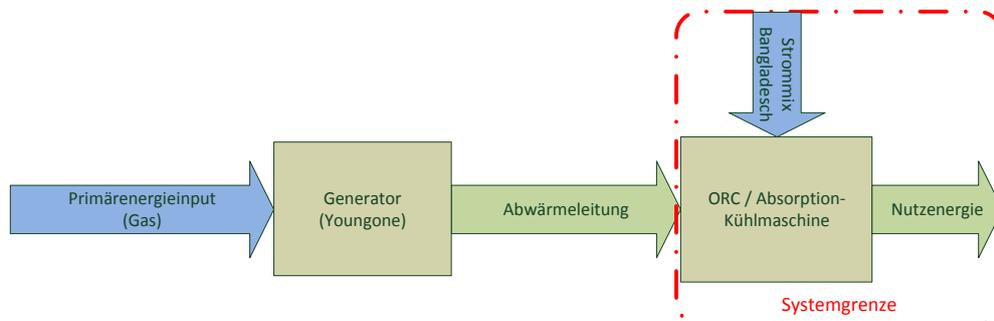


Abbildung 30: Systemgrenze der Varianten ORC und Absorption-Kühlmaschine

Wie ersichtlich ist, werden die Übertragungsverluste der Abwärmeleitung zwischen Generator und den Varianten ORC/ Absorptions-Kühlmaschine nicht berücksichtigt. Dies begründet sich mit der Tatsache, dass die Verluste bei allen Varianten sehr ähnlich wären, weil der Installationsort jeweils identisch ist.

Bei der Variante **Abhitzedampferzeuger** wird zum Ermitteln der Primärenergieeinsparung die möglich produzierbare Wärmeenergie des Abhitzedampferzeugers direkt mit dem Wirkungsgrad der bestehenden Boiler dividiert. Der Primärenergieverbrauch der aktuell im Betrieb stehenden Dampferzeuger errechnet sich aus dem Energieoutput und dem Wirkungsgrad der Boiler. Die folgende Abbildung 31 veranschaulicht die bestehende Prozessdampfherstellung schematisch und zeigt die Systemgrenze zum Eruiern des Primärenergieverbrauchs des bestehenden Boilers auf.

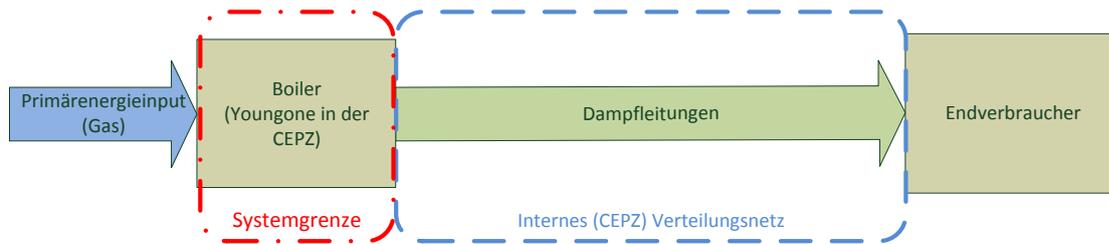


Abbildung 31: Systemgrenze der bestehenden Prozessdampfherstellung

Das interne Dampfverteilungsnetz (vgl. Abbildung 19) wird nicht berücksichtigt, da die Verluste welche anfallen (Druckverluste, Verluste durch Lecks, etc.) sowohl bei den bestehenden Boilern, als auch beim eventuellen Abhitzedampferzeuger anfallen würden. Entscheidend ist, wie viel Dampf der Boiler produzieren kann und wie hoch sein Wirkungsgrad ist.

Zum Lokalisieren der Primärenergieeinsparung der Variante Abhitzedampferzeuger im Vergleich zu der bestehenden Prozessdampfherstellung wurde folgende Systemgrenze gezogen (Abbildung 32):

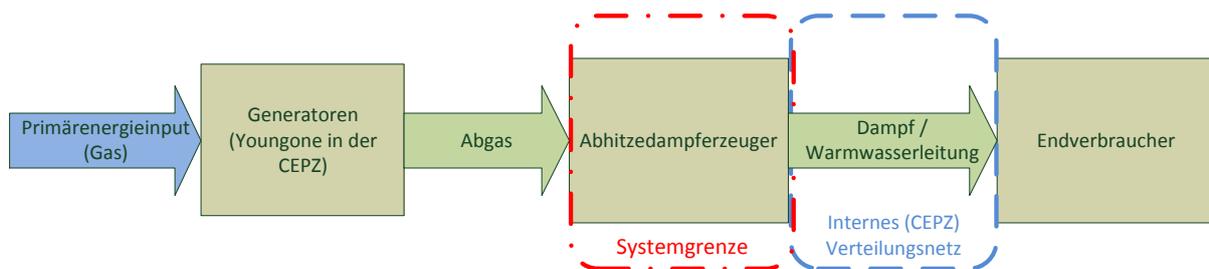


Abbildung 32: Systemgrenze der Variante Abhitzedampferzeuger

Wie schon beim Boiler wird auch bei der alternativen Variante das interne Dampfverteilungsnetz nicht berücksichtigt.

5.1.2 Wirtschaftlichkeit

Für die Bewertung der einzelnen Abwärmenutzungsvarianten [vgl. 4] werden die kumulierten Einsparungen der einzelnen Varianten während 20 Jahren miteinander verglichen. Als Einsparung gilt die Differenz der Kosten des jetzigen Ist-Zustandes zu den Kosten einer alternativen Lösung (z.B. bei Absorptions-Kühlmaschine herkömmliche, zentrale Kühlung, bei ORC ein Strombezug vom Netz). Durch eine Investitionsrechnung kann schliesslich ermittelt werden, welche der Massnahmen die wirtschaftlichste ist. Die Investitionsrechnung wurde anhand eines standardisierten Excel-Sheets vorgenommen, welches von den Autoren erstellt wurde. Die Grundlage der Wirtschaftlichkeitsrechnung beruht teilweise auf einer Vorlage der Finanzabteilung der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB, 2011) und ist im [Anhang B] ersichtlich.

Die betrachteten Kriterien der Investitionsrechnung sind die Amortisationszeit (Payback), die kumulierten Kosten während 20 Jahren (Investitionskosten + Energiekosten) und die kumulierte Kosteneinsparung während 20 Jahren Betriebszeit. Folgende Kosten sind bewusst nicht berücksichtigt worden:

- Betriebskosten (exklusive Energieverbrauch)
- Servicekosten
- Generalüberholung
- „End of Life Kosten“

Die Vernachlässigung der aufgelisteten Kosten begründet sich mit den geringen Beträgen, um die es sich handeln würde (Betriebskosten, Servicekosten und Generalüberholungskosten sind grösstenteils lohnabhängig). Beim allgemein tiefen Lohnniveau in Bangladesch können deshalb diese Kosten für einen Vergleich vernachlässigt werden. Da bei allen Varianten konsequent auf diese Kosten verzichtet wird, hat dieser Entscheid keinen Einfluss auf die Bewertungsfaktoren. Die „End of Life Kosten“, welche die Kosten für die Ausserbetriebnahme, den Rückbau sowie eine umweltgerechte Entsorgung betrachten würden, werden aufgrund der langen Lebensdauer aller Varianten und den sehr veränderlichen und undurchsichtigen Entsorgungsmethoden in Bangladesch nicht berücksichtigt.

Bei der Berechnung der finanziellen Einsparung einer Variante wird die jährlich eingesparte Energie (im Vergleich zur Alternativvariante) mit dem Energiepreis und des Untersuchungszeitrahmens verrechnet. Dies ergibt die totale Einsparung während einer Laufzeit von 20 Jahren. Faktoren wie reduzierte Kosten wegen nicht mehr bezahlungspflichtigen CO₂-Abgaben oder Ähnlichem werden bewusst ignoriert, weil es solche Mechanismen in Bangladesch zur Zeit nicht gibt. Bei einer eventuellen Änderung dieser Umstände wären Anpassungen an der Finanzrechnung zu tätigen.

Bei der Variante Abhitzedampferzeuger versus bestehenden Boiler wird davon ausgegangen, dass der bestehende Boiler nur noch die Energie produzieren muss, welche nicht vom Abhitzedampferzeuger produziert würde. Es gilt dabei:

Energieproduktion bestehende Boiler

= Totaler Wärmeenergiebedarf – Energieproduktion Abhitzedampferzeuger

Die Teuerung des bengalischen Taka würde ebenfalls berücksichtigt werden. Sie entfällt aber, da gerechnet wird, dass sämtliche Investitionen im Jahr 0 (also dem ersten Jahr der Entscheidung zur umzusetzenden Massnahme) getätigt werden und somit noch keine

Teuerung anfallen würde (die Teuerung würde erst in den Folgejahren einen Einfluss haben). Die Teuerung des Taka ist jedoch in der Teuerung der Energie berücksichtigt.

Die Entwicklung der Preise der Primärenergie (in diesem Falle Erdgas und Elektrizität vom staatlichen Betreiber) ist schwierig abzuschätzen. Deshalb werden drei Szenarien definiert.

Beim Szenario „**Normal**“ wird davon ausgegangen, dass die Energiepreise (Erdgas, Elektrizität inkl. Teuerung) in 20 Jahren dieselben sein werden wie heute (Stand: August 2011).

Für das „**Best-Case**“ Szenario wird angenommen, dass die Elektrizitäts- und Erdgaspreise (inkl. Teuerung) bis in 20 Jahren verdoppeln werden. Das Szenario wird von den Autoren absichtlich Best-Case genannt, da es die Konkurrenzfähigkeit der betrachteten Varianten [vgl. 4] stärkt.

Im „**Worst-Case**“ Szenario wird eine Preisentwicklung angenommen, welche eine Halbierung der Primärenergiepreise (inkl. Teuerung) bis in 20 Jahren voraussieht. Dieses Szenario schwächt die Konkurrenzfähigkeit der betrachteten Varianten [vgl. 4] und soll ebenfalls als Härtestest dieser dienen.

Die Preisentwicklung der Primärenergie enthält in diesen Szenarios bereits die allgemeine Teuerung des Landes.

Die unterschiedlichen Wirtschaftlichkeits-Szenarien haben keinen direkten Einfluss auf die Auswahl der Variante, weil die Entwicklung des Elektrizitätspreises stark an den Preis von Erdgas gekoppelt ist. Dies lässt sich mit dem hohen Anteil an Gas (88%) bei der Stromproduktion begründen [vgl. 2.2]. Die Szenarien dienen mehr dazu, abzuschätzen, ob die vorgeschlagenen Varianten [vgl. 4], im Vergleich mit den alternativen Varianten, in jedem Fall wirtschaftlich sind. In der folgenden Tabelle 15 sind die Werte für die einzelnen Szenarien ersichtlich.

Tabelle 15: Energiepreisszenarien für Bangladesch

Szenario	Energieträger	Energiepreis Heute in USD ₂ (10.08.2011)	Energiepreis in 20 Jahren
Normal	Gas ₁	0.046 [USD./kWh]	0.046 [USD./kWh]
	Strom	0.06 [USD./kWh]	0.06 [USD./kWh]
Worst case	Gas ₁	0.046 [USD./kWh]	0.023 [USD./kWh]
	Strom	0.06 [USD./kWh]	0.03 [USD./kWh]
Best case	Gas ₁	0.046 [USD./kWh]	0.92 [USD./kWh]
	Strom	0.06 [USD./kWh]	0.12 [USD./kWh]

₁: Für den Energiegehalt des Erdgases wird von 10,1 kWh pro m³ ausgegangen (Akhtaruzzaman, 2011).

₂: 1 USD entspricht 74 Taka (Stand: 10.08.2011)

Die Energiepreise von heute (10.08.2011) entsprechen den Preisen, welche Youngone in Bangladesch am besagten Datum für den jeweiligen Energieträger bezahlen mussten (Akhtaruzzaman, 2011).

5.2 Bewertung und Auswahl der Abwärmenutzungsvarianten

Die untersuchten Varianten werden anschliessend einander gegenübergestellt und bewertet. Die Bewertungsfaktoren sind also:

- Primärenergieeinsparung (20 Jahre Betriebszeit der einzelnen Varianten)
- Kumulierte Einsparungen (20 Jahre Betriebszeit der einzelnen Varianten)

Die Zwischenresultate der Primärenergieeinsparung sind bewusst auf ein Jahr berechnet, um dem Leser eine bessere Übersicht zu bieten. Für die abschliessende Bewertung werden die berechneten Primärenergieeinsparungen mit dem Faktor 20 (Jahre) multipliziert.

Für die kumulierte Einsparung gehen die Autoren vom „Normal-Szenario“ aus, dies bedeutet, dass die Energiepreise auch in 20 Jahren noch dieselben sein werden [vgl. 5.1.2].

Die einzelnen Varianten werden mit „sehr gut“, „mittel“ und „schlecht“ bewertet. Eine farbliche Hervorhebung der einzelnen Varianten soll dabei die Resultate verdeutlichen und wird für jeden Bewertungsfaktor folgendermassen gewählt:

Sehr gut	=	sehr gute Erfüllung des Faktors
mittel	=	normale Erfüllung des Faktors
schlecht	=	schlechte Erfüllung des Faktor

6 Ergebnisse

6.1 Primärenergieeinsparung der einzelnen Varianten

Nachfolgend wird die Primärenergieeinsparung der einzelnen Varianten errechnet. Die dazu verwendeten Formeln wurden bewusst nicht im Methodenteil beschrieben, da diese keine grosse Komplexität aufweisen. Ausführungen zu den Formeln werden daher, falls nötig, gleich in den folgenden Unterkapiteln gemacht [siehe 6.1.1, 6.1.2, 6.1.3.]

6.1.1 Abhitzedampferzeuger

Der Primärenergieverbrauch der laufenden Boiler entspricht dem Wirkungsgrad (85%) der Boiler dividiert durch die produzierte Wärmeenergie (14'943'460 kWh im Jahr 2010) [vgl. 3.1]. Konkret ergibt dies folgenden Primärenergieverbrauch:

$$Q_P = \frac{Q_W}{\eta_{Boiler}} = \frac{14'943'460 kWh}{0.85} = 17'580'541 kWh = 17.58 GWh$$

Q_P : Primärenergieverbrauch der bestehenden Boiler (kWh/Jahr)

Q_W : Produzierte Wärmeenergie (kWh/Jahr)

η_{Boiler} : Wirkungsgrad der bestehenden Boiler (85%)

Die potentiell produzierbare Wärmeenergie der Abhitzedampferzeuger berechnet sich aus der nutzbaren im Abgas der beiden Generatoren enthaltenen Energie (8'300 MWh jährlich, vgl. 3.4.2) multipliziert mit dem Wirkungsgrad (85%) des Abhitzedampferzeugers (Khanna, 2011). Konkret ergibt dies folgende Menge an produzierbarer Wärmeenergie:

$$Q_{WA} = Q_G \times \eta_A = 8'300'000 \times 0.85 = 7'055'000 kWh = 7.05 GWh$$

Q_{WA} : Produzierbare Wärmeenergie der Abhitzedampferzeuger (kWh/Jahr)

Q_G : Energie im Abgas der beiden Gasgeneratoren (kWh/Jahr)

η_A : Wirkungsgrad des Abhitzedampferzeugers (85%)

Die effektive Primärenergieeinsparung während einem Jahr berechnet sich nun wie folgt:

$$Q_{PE} = \frac{Q_{WA}}{\eta_{Boiler}} = \frac{7'055'000 kWh}{0.85} = 8'300'000 kWh = \mathbf{8.3 GWh}$$

Q_{PE} : Primärenergieeinsparung (kWh/Jahr)

Q_{WA} : Produzierbare Wärmeenergie der Abhitzedampferzeuger (kWh/Jahr)

η_{Boiler} : Wirkungsgrad der bestehenden Boiler (85%)

Die effektive Primärenergieeinsparung ist mit **8.3 GWh** genau gleich gross wie die nutzbare im Abgas der Generatoren enthaltene Energie. Dies ist erklärbar, da der Wirkungsgrad der momentan in Betrieb stehenden Boiler mit 85% gleich gross ist, wie jener der Abhitzedampferzeuger

6.1.2 Absorptions-Kühlmaschine

Um die Primärenergieeinsparung der Absorption-Kühlmaschine zu berechnen, wird ein Vergleich mit einer anderen Kühlvariante hinzugezogen. Es wird davon ausgegangen, dass alternativ ein zentrales Kühlsystem der Firma Clivet installiert würde [5.1.1].

Um den Primärenergieverbrauch beider Kühlanlagen zu berechnen sind jeweils folgende Angaben erforderlich:

- Bereitstellende Kühlenergie in kWh pro Jahr.
- Effektivität (COP) der Klimaanlage.
- Elektrischer Energieverbrauch der Klimaanlage.
- Zusammensetzung der elektrischen Energie in Bangladesch.
- Übertragungsverluste der elektrischen Energie bis zum Verbraucher.

Um die **Effektivität** einer Absorptionskältemaschine zu beurteilen wird der Coefficient of performance (COP) betrachtet. Die verwendeten Angaben stammen aus der Offerte der Clima Net AG [vgl. 4.2], die angeglichen an die Werte aus Teil 1 erstellt wurde.

$$COP_{Abso} = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Antriebsleistung}} = \frac{Q_0}{Q_H + Q_P} = \frac{1'500 \text{ kW}}{1'100 \text{ kW} + 5.25 \text{ kW}} = 1.357$$

COP_{Abso} : Coefficient of performance des Absorber-Kühlsystem YX145H2

Q_0 : Kälteleistung des Verdampfers

Q_H : Wärmezufuhr [vgl. Abwärmepotential aus 3.4.2]

Q_P : Maximale elektrische Leistungsaufnahme inkl. Vakuumpumpe

Mithilfe des berechneten COP der Absorptions-Kühlmaschine und der Laufzeit der beiden Generatoren (7200 Stunden) während einem Jahr (in Stunden) kann nun die herstellbare Kühlenergie berechnet werden.

$$\begin{aligned} \text{Kühlenergie} &= COP_{Abso} \times \text{Antriebsleistung} \times \text{Betriebszeit (Std.)} \\ &= 1.357 \times (1'100 + 5.25) \times 7200 \text{ Stunden} = 10'800'000 \text{ kWh} = 10.8 \text{ GWh} \end{aligned}$$

Alternativ könnte die Kühlenergie auch direkt über die Kälteleistung multipliziert mit den Betriebsstunden der Gasgeneratoren berechnet werden.

Der elektrische Energieverbrauch der Absorptions-Kühlmaschine während einem Jahr beträgt:

$$Q_{elA} = Q_p \times \text{Betriebszeit (Std.)} = 5.25 \text{ kW} \times 7200 \text{ Stunden} = 37'800 \text{ kWh} = 37.8 \text{ MWh}$$

Q_{elA} : Elektrische Energieaufnahme des Absorber-Kühlsystem YX145H2

Die **bereitzustellende Kühlenergie** des Clivet Klimagerät WDH HE 2.540 entspricht demselben Wert, wie dies die Absorptions-Kühlmaschine leistet, nämlich 10.8 GWh/Jahr

Der **elektrische Energieverbrauch** des Clivet Klimasystems berechnet sich folgendermassen:

$$Q_{elC} = \frac{Q_{Kälte}}{COP} = \frac{10'800'000 \text{ kWh}}{5.6} = 1'928'571 \text{ kWh} = 1.928 \text{ GWh}$$

Q_{elC} : Elektrische Energieaufnahme des Clivet Klimasystems (kWh)

$Q_{Kälte}$: Produzierte Kälteenergie pro Jahr (kWh)

COP: Coefficient of performance (5.6) [vgl. 5.1.1]

Die Endenergieeinsparung der Absorber-Kühlmaschine berechnet sich wie folgt:

$$Q_{einspar} = Q_{elC} - Q_{elA} = 1'928'571 \text{ kWh} - 37'800 \text{ kWh} = 1'890'771 \text{ kWh} = 1.89 \text{ GWh}$$

Mithilfe der Endenergieeinsparung ($Q_{einspar}$), der Zusammensetzung der elektrischen Energie in Bangladesch sowie der Übertragungsverluste kann die totale Primärenergieeinsparung berechnet werden. Der Primärenergiebedarf zur Herstellung der elektrischen Endenergieeinsparung berechnet sich wie folgt:

$$Q_{Primär} = \frac{\frac{0.88 * Q_{einspar}}{\eta_{Gas}} + \frac{0.07 * Q_{einspar}}{\eta_{Erdöl/Diesel}} + \frac{0.03 * Q_{einspar} * 0}{\eta_{Wasser}} + \frac{0.02 * Q_{einspar}}{\eta_{Kohle}}}{\eta_{Netz}}$$

$$= \frac{\frac{0.88 * 1'890'771 \text{ kWh}}{0.33} + \frac{0.07 * 1'890'771 \text{ kWh}}{0.32} + \frac{0.03 * 1'890'771 \text{ kWh} * 0}{1} + \frac{0.02 * 1'890'771 \text{ kWh}}{0.31}}{0.82}$$

$$= 6'802'009 \text{ kWh} = \mathbf{6.8 \text{ GWh}}$$

$Q_{Primär}$: Totaler Primärenergieeinsparung/Jahr (kWh)

η_{Gas} : Wirkungsgrad Gasturbinenkraftwerk (88% Anteil am Strommix)

$\eta_{Erdöl/Diesel}$: Wirkungsgrad Diesel- Ölkraftwerk (7% Anteil am Strommix)

η_{Wasser} : Wirkungsgrad Wasserkraftwerk (3% Anteil am Strommix) (mit 0 multipliziert, daher vernachlässigt für den Primärenergiebedarf)

η_{Kohle} : Wirkungsgrad Kohlekraftwerk (2% Anteil am Strommix)

η_{Netz} : Wirkungsgrad der elektrischen Energieübertragung (82%)

In der folgenden Tabelle [Tabelle 16] werden die verwendeten Werte kurz erläutert:

Tabelle 16: Wirkungsgrade der Kraftwerke und der Netzübertragung

η_{Gas}	33%	33% ist der untere Wirkungsgrad von Gaskraftwerken ohne die Nutzung der Abwärme (Leifi, 2010).
$\eta_{\text{Erdöl/Diesel}}$	32%	Der Wirkungsgrad von 32% liegt bei einem unteren Wirkungsgrad von Öl und Dieselmotoren. Die Begründung für diesen vergleichsweise tiefen Wert liegt in dem Alter und Zustand der Kraftwerke (Haider et al., unbekanntes Datum).
η_{Kohle}	31%	Dies entspricht dem weltweiten Mittelwert der Kohlekraftwerk Wirkungsgrade ohne Kraft-Wärmekoppelung (Schilling, 2004)
η_{Wasser}	100%	Der Wirkungsgrad der Flusskraftwerke, welche in Bangladesch in Betrieb sind, betragen nicht 100%. Um den Primärenergiebedarf zu berechnen, kann Wasserkraft jedoch vernachlässigt werden da diese eine erneuerbare Energieform ist.
η_{Netz}	82%	Die Übertragungsverluste berechnen sich aus den 3.5% Übertragungsverlusten sowie den 15% Verlusten aus der technischen Verteilungsebene [vgl. 2.2]. Die Wirkungsgrade sind entsprechen 96.5% sowie 85%. Diese können miteinander multipliziert werden um den gesamthaften Netzwirkungsgrad zu erhalten. $0.965 \times 0.85 = 0.82$ (Loy, 2007).

Somit würde die jährliche Primärenergieeinsparung der Absorptions-Kühlmaschine rund **6.8 GWh** betragen.

6.1.3 Organic Rankin Cycle (ORC)

Um Platz und Kosten zu sparen wurde eine ORC-Turbine ausgewählt, welche gross genug dimensioniert ist, um die Abgase beider Generatoren aufzunehmen.

Die Leistung der ORC-Turbine bei 60% Auslastung der Generatoren beträgt 170-190 kW (Fink, 2011). Bei einer Input-Energie (Abgasstrom) von 1'156 kW [vgl. 3.4.2] kann der effektive Wirkungsgrad berechnet werden. Die Berechnungsgrundlage ist die Offerte von

Jochen Fink, Dürr Cyplan Ltd., die basierend auf den Ergebnissen aus Teil 1 [vgl. 4.3] erstellt wurde (Fink, 2011).

$$\eta_{\text{ORC}} = \frac{\text{elektrische Leistung ORC}}{\text{Abgasleistung}} \times 100 = \frac{170 \text{ kW (190 kW)}}{1'156 \text{ kW}} \times 100 = 14.7 \text{ bis } 21.9\%$$

η_{ORC} = Wirkungsgrad ORC-Turbine

Das heisst, dass 14.7-21.9% der Abgasenergie genutzt werden kann.

Die jährliche Stromproduktion wird anhand der Betriebsstunden berechnet, die den Betriebsstunden der Generatoren entsprechen (7'200 h) [vgl. 3.3.2]. Als elektrisches Output der ORC-Turbine wird der Mittelwert der von Hersteller versprochenen Leistung angenommen, was 180 kW entspricht (Fink, 2011).

$$\begin{aligned} Q_{\text{ORC}} &= \text{Leistung ORC} \times \text{Betriebszeit (Std.)} = 180 \text{ kW} \times 7'200 \text{ h} = 1'296'000 \text{ kWh} \\ &= 1.296 \text{ GWh} \end{aligned}$$

Q_{ORC} = Jährliche Energieproduktion ORC (kWh/Jahr)

Davon wird der Eigenenergieverbrauch der ORC-Turbine, die vor allem durch den Kühlkreis zu Stande kommt, abgezogen:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ORC-T}} &= \text{Jährliche Energieproduktion ORC} - \text{Betriebsstunden} * \text{Eigenleistungsbedarf} \\ &= 1'296'000 \text{ kWh} - 7'200 \text{ h} \times 20 \text{ kW} = 1'152'000 \text{ kWh} = \mathbf{1.152 \text{ GWh}} \end{aligned}$$

$Q_{\text{ORC-T}}$ = Energieeigenbedarfsbereinigte, jährliche Totalenergieproduktion ORC (kWh/Jahr)

Die Primärenergieeinsparung wird so berechnet, wie bei der Absorptions-Kühlmaschine. Als Ersatz-Bezugsquelle gilt ebenfalls das öffentliche Netz.

$$\begin{aligned} Q_{\text{Primär}} &= \frac{\frac{0.88 \times Q_{\text{ORC-T}}}{\eta_{\text{Gas}}} + \frac{0.07 \times Q_{\text{ORC-T}}}{\eta_{\text{Erdöl/Diesel}}} + \frac{0.03 \times Q_{\text{ORC-T}} \times 0}{\eta_{\text{Wasser}}} + \frac{0.02 \times Q_{\text{ORC-T}}}{\eta_{\text{Kohle}}}}{\eta_{\text{Netz}}} \\ &= \frac{\frac{0.88 \times 1.152 \text{ GWh}}{0.33} + \frac{0.07 \times 1.152 \text{ GWh}}{0.32} + \frac{0.03 \times 1.152 \text{ GWh} * 0}{1} + \frac{0.02 \times 1.152 \text{ GWh}}{0.31}}{0.82} \\ &= 4'144'296 \text{ kWh} = \mathbf{4.14 \text{ GWh}} \end{aligned}$$

$Q_{\text{Primär}}$: Totaler Primärenergieverbrauch/Jahr Kraftwerk (kWh)

$Q_{\text{el.}}$: Totale Energieproduktion ORC pro Jahr (kWh)

η_{Gas} : Wirkungsgrad Gasturbinenkraftwerk (88% Anteil am Strommix)

$\eta_{\text{Erdöl/Diesel}}$: Wirkungsgrad Diesel- Ölkraftwerk (7% Anteil am Strommix)

- η_{Wasser} : Wirkungsgrad Wasserkraftwerk (3% Anteil am Strommix) (mit 0 multipliziert, daher vernachlässigt für den Primärenergiebedarf)
- η_{Kohle} : Wirkungsgrad Kohlekraftwerk (2% Anteil am Strommix)
- η_{Netz} : Wirkungsgrad der elektrischen Energieübertragung (82%)

Restliche Information sind den vorangegangenen Berechnungen zu entnehmen [vgl. 6.1.2].

Somit würde die totale jährliche Primärenergieeinsparung einer ORC-Turbine **4.14 GWh** betragen.

6.1.4 Zwischenergebnis Primärenergieeinsparung

In nachfolgender Tabelle 17 werden die Primärenergieeinsparungen der einzelnen Varianten veranschaulicht.

Tabelle 17: Absolute Primärenergieeinsparung der einzelnen Varianten während einem Jahr

Variante	Primärenergieeinsparung [MWh]
Abhitzedampferzeuger	8'300 MWh
Absorptions-Kühlmaschine	6'802 MWh
ORC	4'144 MWh

Wie ersichtlich ist, sind die Primärenergieeinsparungen des Abhitzedampferzeugers am grössten. Mithilfe des ORC kann wie ersichtlich ist, die geringste Primärenergieeinsparung erreicht werden.

6.2 Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten

Die nachfolgend präsentierten Ergebnisse beruhen auf Berechnungen der Excel-Wirtschaftlichkeitsrechnung, die im [Anhang B] abgebildet ist.

6.2.1 Abhitzedampferzeuger

Der Abhitzedampferzeuger wird direkt mit dem bestehenden Boiler verglichen. Dabei sind die Investitionskosten, welche beim bestehenden Boiler nicht berücksichtigt werden, sowie die Kosten für die Energieaufwendungen relevant. Aus der Wirtschaftlichkeitsrechnung ergeben sich folgende Resultate welche in der Tabelle 18 ersichtlich sind.

Tabelle 18: Wirtschaftlichkeit der Variante Abhitzedampferzeuger im Vergleich mit dem bestehenden Boiler

Szenario	Variante Abhitzedampferzeuger WHR 1550/10	Kumulierte Kosten [USD]	Energiekosten für 20 Jahre [USD]	Kumulierte Einsparungen während 20 Jahren [USD]	Payback [Jahre]
Normal	Abhitzedampferzeuger	220'000	0	7'416'000	0.58
	Bestehender Boiler	8'538 '098	8'538'098	0	-
Worst case	Abhitzedampferzeuger	220'000	0	5'193'305	0.81
	Bestehender Boiler	6'052'820	6'052'820	0	-
Best case	Abhitzedampferzeuger	220'000	0	10'988'407	0.39
	Bestehender Boiler	12'532'540	12'532'540	0	-

Der Abhitzedampferzeuger ist in jedem der drei Szenarien am wirtschaftlichsten. Die 220'000 USD welche bei den kumulierten Kosten ersichtlich sind, entsprechen den Investitionskosten. Jährliche Kosten für die Energie fallen beim Abhitzedampferzeuger im Gegensatz zu dem bestehenden Boiler keine an. Zu beachten ist zudem die sehr tiefe Amortisationszeit (Payback) bei allen drei Szenarien.

6.2.2 Absorptions-Kühlmaschine

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird ein direkter Vergleich mit dem zentralen Klimagerät der Firma Clivet gemacht [Anhang A]. Es ergeben sich folgende finanziellen

Aufwendungen für die Referenzvariante „konventionelles zentral Klimagerät“ welche in Tabelle 19 ersichtlich sind:

Tabelle 19: Aufwendungen zentrales Klimagerät WDH HE 2.540

Aufwendungen zentrales- Klimagerät WDH HE 2.540	Kosten
Richtpreis des Klimageräts	235'000 USD
Kosten Rückkühltürme 1.8 MW	110'000 USD
Kosten Installation	80'000 USD
Kosten Planung	35'000 USD
Unvorhergesehenes	50'000 USD
Investitionskosten Total inkl. MwSt.	510'000 USD

(Ein Euro entspricht 1.4399 USD; Stand 21.08.2011)

Der Richtpreis des Klimagerätes stammt aus der Offerte der Firma Clivet, welche im [Anhang A] ersichtlich ist. Die Angaben zu den Kosten der Rückkühltürme und der Installationskosten wurden den Autoren telefonisch durch die Firma Clima Net AG mitgeteilt. Es handelt sich dabei um einen Erfahrungswert. Für die Planungskosten und die Kosten für Unvorhergesehenes haben die Autoren, nach Rücksprache mit der Firma Clima Net AG, Annahmen getroffen.

Aus der Wirtschaftlichkeitsrechnung ergeben sich folgende Resultate, welche auf der Tabelle 20 ersichtlich sind.

Tabelle 20: Wirtschaftlichkeit der Variante Absorptions-Kühlmaschine im Vergleich mit einer konventionellen zentralen Klimaanlage

Szenario	Variante	Kumulierte Kosten [USD]	Energiekosten für 20 Jahre [USD]	Kumulierte Einsparungen während 20 Jahren [USD]	Payback [Jahre]
Normal	Absorptions-Kühlmaschine YX145H2	671'160	45'360	2'153'125	5.5
	Zentrale Klimaanlage	2'824'285	2'314'285	0	-
Worst case	Absorptions-Kühlmaschine	657'957	32'157	1'492'684	8
	Zentrale Klimaanlage	2'150'614	1'640'641	0	-
Best case	Absorptions-Kühlmaschine	692'381	66'581	3'214'614	4
	Zentrale Klimaanlage	3'906'995	3'396'995	0	-

Die Absorptions-Kühlmaschine schneiden in allen drei Szenarien wirtschaftlicher ab als die zentrale Klimaanlage. Zu beachten sind die deutlich tieferen Energiekosten der Absorptions-Kühlmaschine während 20 Jahren.

6.2.3 Organic Rankin Cycle (ORC)

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung der ORC-Turbine wird die produzierte Energie der Turbine (Eigenenergieverbrauch abgezogen) mit dem Energiepreis (Elektrizität öffentliches Netz) multipliziert. Dies ergibt den Wert der eingesparten Kosten, die andernfalls für diese Energie hätten bezahlt werden müssen.

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung [Anhang B] ergeben sich folgende Resultate welche auf Tabelle 21 ersichtlich sind.

Tabelle 21: Wirtschaftlichkeit von ORC im Vergleich mit Stromzukauf

Szenario	Variante ORC-Turbine Ecopure®	Kumulierte Kosten [USD]	Energiekosten für 20 Jahre [USD]	Kumulierte Einsparungen während 20 Jahren [USD]	Payback [Jahre]
Normal	ORC-Turbine	1'266'800	172'800	288'400	17
	Stromzukauf	1'555'200	1'555'200	-	-
Worst case	ORC-Turbine	1'216'501	122'501	-113'990	23
	Stromzukauf	1'102'511	1'102'511	-	-
Best case	ORC-Turbine	1,347,642	253,642	935,139	12
	Stromzukauf	2,282,781	2,282,781	-	-

Wie aus dem Zwischenergebnis ersichtlich wird, schneidet die ORC-Turbine in allen Fällen am wirtschaftlichsten ab. Als einzige Ausnahme ist das Worst-Case Szenario zu erwähnen. In diesem Fall werden die Investitionskosten erst nach 23 Jahren amortisiert.

6.2.4 Zwischenergebnis Wirtschaftlichkeit

In nachfolgender Tabelle 22 wird das Zwischenergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung veranschaulicht

Tabelle 22: Zwischenergebnis der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten

Szenario	Variante	Kumulierte Kosten [USD]	Kumulierte Einsparungen während 20 Jahren [USD]	Payback [Jahre]
Normal	Abhitzedampferzeuger	220'000	7'416'000	0.58
	Absorptions-Kühlmaschine	671'160	2'153'125	5.5
	ORC	1'266'800	288'400	17
Worst case	Abhitzedampferzeuger	220'000	5'193'305	0.81
	Absorptions-Kühlmaschine	657'957	1'492'684	8
	ORC	1'216'501	-133'990	-
Best case	Abhitzedampferzeuger	220'000	10'988'407	0.39
	Absorptions-Kühlmaschine	692'381	3'214'614	4
	ORC	1'347'642	935'139	12

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, schneidet der Abhitzedampferzeuger bei allen drei Szenarien am wirtschaftlichsten ab.

6.3 Bewertung der Abwärmenutzungsvarianten

Die nachfolgende Tabelle 23 veranschaulicht die Bewertung der einzelnen Abwärmenutzungsvarianten. Deutlich ersichtlich wird, dass die Variante „Abhitzedampferzeuger“ sowohl die höchste Primärenergieeinsparung als auch die die grösste kumulierte finanzielle Einsparung während 20 Jahren aufweist. Die Resultate wurden für eine bessere Übersicht gerundet. Die Berechnungsgrundlagen sind im Anhang B aufzufinden.

Tabelle 23: Bewertung der Abwärmenutzungsvarianten

Variante	Primärenergieeinsparung während 20 Jahren [MWh]	Kumulierte Einsparungen während 20 Jahren [USD]
Abhitzedampferzeuger	166'000	7'416'000
Absorptions-Kühlmaschine	136'000	2'153'000
ORC	82'900	288'400

Sehr gut = sehr gute Erfüllung des Faktors

mittel = normale Erfüllung des Faktors

schlecht = schlechte Erfüllung des Faktors

Die Variante Abhitzedampferzeuger wird anhand der ersichtlichen Ergebnisse von den Autoren zur Umsetzung empfohlen. Die beiden anderen Varianten erfüllen zwar beim Normalszenario das Kriterium der Wirtschaftlichkeit, allerdings weniger deutlich als der Abhitzedampferzeuger. Aus Gründen der schwierigen Abschätzungen von unvorhergesehenen Zusatzkosten, werden sie deshalb als mittel, respektive schlecht bewertet.

7 Diskussion

Die Diskussion bezieht sich in einem ersten Teil auf die ganze Arbeit und betrachtet die Variante „Abhitzedampferzeuger“ aus einer anderen Sichtweise. Im zweiten Teil dieses Kapitels wird zudem die vorliegende Arbeit reflektiert und kritisch hinterfragt, um auf wichtige Punkte bei der Umsetzung des Projektes hinzuweisen.

7.1 Ausführungen zur empfohlenen Abwärmenutzungsvariante

In den folgenden Unterkapiteln [7.1.1, 7.1.2, 7.1.3] wird auf die Variante Abhitzedampferzeuger eingegangen. Es wird aufgezeigt, welche positiven Umwelteffekte die empfohlene Variante mit sich bringt, aber auch auf weiterführende Massnahmen eingegangen, welche bisher nur kurz angeschnitten wurden. Ein Terminplan erläutert zudem die notwendigen Schritte, welche zur Umsetzung der Variante erforderlich sind und zeigt den Zeitrahmen auf, in welchem das Projekt „Abhitzedampferzeuger“ umsetzbar ist.

7.1.1 CO₂-Einsparung der empfohlenen Variante

Die CO₂-Einsparung wurde bewusst nicht als Bewertungsfaktor gewählt, da in der Produktionslandschaft in Südostasien der Umweltschutz noch kein so dringendes Thema ist wie in der westlichen Welt. Grosse Investitionen aus rein ökologisch begründeten Überlegungen sind selten oder nicht existent. Um trotzdem dem Umweltaspekt eine gewisse Bedeutung zu geben, haben die Autoren entschieden, die CO₂ Einsparung der geeignetsten Variante in diesem Kapitel zu berechnen.

Die Berechnung erfolgt auf folgende Weise:

$$\text{Eingespartes CO}_2 = \text{Eingesparte Primärenergie}(X) \times \text{CO}_2\text{Gestehung}(X)$$

Eingespartes CO₂ = Eingespartes CO₂ in Tonnen pro Jahr

Eingesparte Primärenergie(X) = Eingesparte Primärenergie des Energieträgers X in kWh pro Jahr

CO₂-Gestehung(X) = CO₂Ausstoss des Energieträgers X in Gramm / kWh

Für den CO₂ Ausstoss pro kWh werden folgende Daten der einzelnen Energieträger verwendet wie sie auf Tabelle 24 ersichtlich sind (Erdgas, 2011):

Tabelle 24: CO₂-Bilanz der Energieträger Erdgas und Strom

Erdgas	209 g/kWh
Strommix Bangladesch	216 g/kWh

Die Zahlen setzen sich aus der CO₂ Entstehung der Versorgungskette sowie aus der Verbrennung zusammen. Für den leicht höheren CO₂-Ausstoss des bengalischen Strommixes im Vergleich mit dem Erdgas sind den 7% Anteil Diesel und Erdöl an der bengalischen Stromzusammensetzung verantwortlich [vgl. 2.2]. Die Angaben wurden daher von den Autoren auf die erwähnten Rahmenbedingungen hochgerechnet.

Die CO₂-Einsparung der Variante Abhitzedampferzeuger errechnet sich nun folgendermassen:

$$\begin{aligned} \text{Eingespartes CO}_2 &= \text{Eingesparte Primärenergie}(X) \times \text{CO}_2\text{Gestehung}(X) \\ &= 8'300'000 \text{ kWh} \times 0.209 \text{ kg} = 1'734'700 \text{ kg} = 1'734.7 \text{ Tonnen CO}_2 \end{aligned}$$

Somit könnte pro Jahr rund 1'734 Tonnen an CO₂-Ausstoss vermieden werden. Auf 20 Jahre hochgerechnet ergibt sich somit eine CO₂-Einsparung von rund **34'700 Tonnen CO₂**.

7.1.2 Weiterführende und ergänzende Massnahmen der empfohlenen Abwärmenutzungsvariante

Bevor die Massnahme „Abhitzedampferzeuger“ umgesetzt wird, gibt es einige weiterführende und ergänzende Massnahmen, welche unbedingt beachtet werden sollten. Nachfolgend werden die wichtigsten aufgelistet und erläutert:

- Das Abgas der Gasgeneratoren weist nach dem Durchlaufen des Abhitzedampferzeugers noch immer ein Temperaturniveau von rund 184 °C [vgl. 4.1] auf. Dieses Temperaturniveau würde ausreichen, um die restliche Energie, welche noch immer im Abgas enthalten ist, zu nutzen. Beispielsweise kämen Varianten in Frage, welche in Kapitel 4 abgehandelt wurden.
- Um die Effizienz der ganzen Prozessdampfkette zu erhöhen empfehlen die Autoren, die Isolation der Dampfleitungen zu verbessern. Die Besichtigung sowie Messungen vor Ort haben ergeben, dass die Isolation der Dampfleitungen grössten Teils in einem maroden Zustand ist [vgl. 3.4.1]. Gewisse Teilabschnitte sind gar nicht isoliert. Das Einsparpotential ist nicht enorm, aber mit geringen Investitionskosten kann der Primärenergieverbrauch um einige Prozentpunkte gesenkt werden, was wiederum einen positiven Einfluss auf die Umwelt hat.
- Die Autoren haben das Potential des Kühlwasserkreislaufs der beiden Generatoren in dieser Arbeit nach Absprache mit Herr Akhtaruzzaman [vgl. 3.4.2] bewusst nicht

näher betrachtet. Es sollte aber auf jeden Fall beobachtet werden, ob der Kühlwasserkreislauf schlussendlich auch effektiv genutzt wird. Alternativ könnte mit dem Energiepotential des Kühlwassers z.B. dem Thermalölboiler ein Economiser vorgeschaltet werden. Auch in diesem Fall empfehlen die Autoren weitere Abklärungen, bevor die Massnahme „Abhitzedampferzeuger“ umgesetzt wird.

- Die Autoren sehen ein weiteres grosses Energieeffizienzpotential in den umliegenden Fabriken, welche oftmals auch eine eigene Stromproduktion ohne Abwärmenutzung betreiben. Zudem hat es Gaskraftwerke des staatlichen Betreibers BPDB, welche ebenfalls ohne Abwärmenutzung betrieben werden. Im Sinne der Youngone Corporation sollten Abklärungen getroffen werden, ob diese Energiepotentiale für eigene Zwecke genutzt werden könnten.

7.1.3 Terminplan

Die Realisierung der Variante „Abhitzedampferzeuger“ sieht die Umsetzung während zwei aufeinander folgender Jahre vor. Während des ersten Jahres würde einem spezialisierten Planungsbüro der Auftrag erteilt, weitere Offerten einzuholen, eventuelle Umbauarbeiten zu analysieren und lokale Firmen zu kontaktieren, welche die Umbauarbeiten vornehmen könnten. Des Weiteren würde im ersten Jahr der Abhitzedampferzeuger bestellt. Dies wäre erforderlich, weil die Lieferzeit nach Bangladesch ungefähr 16 -20 Wochen in Anspruch nehmen würde (Schneider, 2011). Im Anfang des zweiten Jahres würden die Umbauarbeiten sowie die Installation des Abhitzedampferzeugers beginnen. Nach der anschliessenden Testphase, welche aus betrieblichen Gründen parallel zu der bestehenden Produktion von statten gehen müsste, würde der Betrieb auf die Variante Abhitzedampferzeuger umgestellt. Die unten stehende Tabelle 25 veranschaulicht die beschriebene Zeitplanung.

Tabelle 25: Terminplan zum Umsetzen der Variante "Abhitzedampferzeuger"

Projektschritte	Jahr 1												Jahr 2											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Kontakt Behörden																								
Offertenanfrage Planungsbüro																								
Arbeitsaufnahme Planungsbüro																								
Offertenanfrage Abhitzedampferzeuger																								
Bestellung Abhitzedampferzeuger																								
Umbauarbeiten Räumlichkeiten																								
Umbauarbeiten Abgasleitungen																								
Umbauarbeiten Dampfleitungen																								
Lieferung und Einbau Abhitzedampferzeuger																								
Start Testphase																								
Inbetriebnahme																								

Die ergänzenden Massnahmen werden in der Zeitplanung noch nicht berücksichtigt. Es wäre jedoch wichtig, die Massnahmen in der Detailplanung zu berücksichtigen, um den zukünftigen Ausbau zu vereinfachen.

7.2 Kritische Betrachtungsweise der vorliegenden Studie

- Kritisch zu betrachten ist der Bewertungsfaktor „Wirtschaftlichkeit“, wo die Autoren bewusst auf diverse Kostenstellen (Betriebskosten, Servicekosten etc.) verzichtet haben, da für diese Angaben keine verlässlichen Werte vorhanden waren. Den Autoren ist klar, dass diese Kosten einen Einfluss auf die kumulierten Einsparungen haben. Um den Einfluss dieser nicht berücksichtigten Kosten abschätzen zu können, haben die Autoren für dieses Kapitel Annahmen getroffen, welche diese Kosten berücksichtigen. Konkret wurden folgende Annahmen für jede Variante getroffen:
 - Servicekosten: 5% der Investitionskosten (jedes Jahr)
 - Betriebskosten: 5% der Investitionskosten (jedes Jahr)
 - Generalüberholung nach 10 Jahren einmalig 15% der Investitionskosten
 - End of Life Kosten [vgl. 5.1.2] = einmalig 50% der Investitionskosten

Die angenommenen Werte (prozentual) sind als relativ tief anzusehen, da das Lohnniveau in Bangladesch sehr tief ist. Insbesondere die Servicekosten, die Betriebskosten, sowie die Generalüberholungskosten sind direkt von den Löhnen abhängig.

Als Resultat dieser zusätzlichen Untersuchung wurde die Annahme der Autoren bestätigt, dass diese nicht berücksichtigten Kosten keinen Einfluss auf die Wahl der Variante „Abhitzedampferzeuger“ haben.

- Die Tatsache, dass die Generatoren momentan unter 50% Auslastung laufen, die Autoren aber mit einer Auslastung von 60% gerechnet haben ist ebenfalls kritisch zu betrachten. Obwohl die Autoren den Betreiber der Generatoren in einem Schreiben dazu geraten haben, die Auslastung der Generatoren auf mindestens 60% zu erhöhen, ist nicht mit absoluter Bestimmtheit sicher, dass dies auch umgesetzt wird. Falls der Vorschlag der Autoren missachtet wird, muss damit gerechnet werden, dass die Berechnungen zur Primärenergieeinsparung und auch zur Wirtschaftlichkeit zu optimistisch sind. Vor einer Umsetzung der empfohlenen Variante sollte daher unbedingt die Auslastung der Generatoren erhöht werden! Dies hätte zudem einen positiven Einfluss auf die Lebensdauer der Generatoren.

8 Nutzen dieser Arbeit für eine nachhaltige Industrialisierung in Bangladesch

Die in dieser Arbeit aufgezeigten Ergebnisse zeigen auf, wo die grössten Energieeffizienzpotentiale in der Youngone Schuhproduktion in Bangladesch liegen und wie diese Energiepotentiale konkret genutzt werden können, mit dem Ziel, den Primärenergieverbrauch zu senken um wiederum die Energieversorgung in Bangladesch zu entlasten. Da die Schuhindustrie in Bangladesch infolge geringer Betriebskosten und billiger Arbeitskräfte vermutlich auch in Zukunft weiter wachsen dürfte, scheint es den Autoren wichtig, die aufgezeigten Energieeffizienzmassnahmen zuerst punktuell und nach erfolgreichem Betrieb grossflächig umzusetzen. Die konkreten Nutzen dieser Arbeit für eine nachhaltige Industrialisierung in Bangladesch sind vielfältig:

- Verringerung des Primärenergieverbrauches und dadurch Schonung der natürlichen Ressourcen.
- Verbesserung der Effizienz und dadurch Verringerung der Umweltbelastung.
- Entlastung des Energieversorgungsnetzes, was langfristig zu einer verbesserten Netzstabilität führt. Dies wiederum hat einen direkten, positiven Einfluss auf die Lebensqualität der Bevölkerung.
- Einsparung von Energiekosten, was den Unternehmen zusätzliche Gewinne bringt.
- Adaptierbarkeit der aufgezeigten Massnahmen auf andere Industriezweige und der konventionellen Energieproduktion.

Die vorliegende Arbeit zeigt auf, dass die Nutzung von Energieeffizienzpotentialen nicht nur die Umwelt schont, sondern auch die Kosten der Betreiber massiv senken kann. Wird dieses Wissen verbreitet und konsequent angewandt, ist eine nachhaltige Industrialisierung in Bangladesch nicht mehr utopisch, sondern eventuell schon bald Realität.

9 Literaturverzeichnis

- Akbar, H., Betriebsingenieur CEPZ, Bangladesch (2011). (mündliche Mitteilung)
- Akhtaruzzaman, S., Technischer Leiter der Youngone Schuhproduktion in der CEPZ, Bangladesch (2011). (mündliche Mitteilung)
- Anon. (2007). Absorptionskältetechnik, Informationsbroschüre, (ThermCoolprofit)
- Anon. (2011). Funktionsprinzip einer Absorptionskältemaschine, Informationsbroschüre, (REFRIPRO)
- Bangladesh Export Processing Zone Authority. (2011). Chittagong Export Processing Zone. Abgerufen am 14.07.2011 von <http://www.epzbangladesh.org.bd/bepza.php?id=cepz>
- CIA. (2011). The World Factbook. Abgerufen am 11.8.2011 von <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/bg.html>
- Caterpillar (2011). Datenblatt zum Generator Caterpillar G3516.
- Cho II (2011). Introduction of Products. Datenblatt zu aktuellen Cho II Thermalölboilern
- Desai N. B., Bandyopadhyay S. (2009). Process integration of organic Rankine cycle. S. 1.
- Dürr Cyplan Ltd. (2011). Broschüre. Ecopure ORC.
- Elsaesser, M. (2010). CEO-Interview Youngone Corporation Europe, Moneycap. Abgerufen am 20.6.2011 von <http://moneycab.presscab.com/de/templates/?a=76086&z=179&page=1>
- Erdgas. (unbekanntes Datum). Freisetzung von Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) bei der Nutzung fossiler Energieträger. Abgerufen am 12.08.2011 von <http://www.erdgas.ch/erdgas/umwelt/co2/>
- Forbes & Marshall. (2010). WHRB Brochure
- Fink, J. (2011). Dürr Cyplan Ltd. Offertstellung und Beratungsgespräche vom 12.8.2011 (telefonische Mitteilung)
- Geelhaar, M., Jorde, K., Peters, M. et al. (2011). KEPZ-feasibility study on renewable energies and energy efficiency in Bangladesh
- Huppmann, G., Weichselgartner, J., Schmidt, G., et al. (1985). Forschungsbericht T85-110, Abwärmenutzung in der Industrie unter Verwendung des organischen Rankine Kreisprozesses (ORC). S. 117-118.
- Kaindl, M. (2004). Technische Richtlinien für Maschinen und Anlagen. S. 16-18.

- Keller, D., Technischer Berater Clima Net AG, Schweiz (2011). (mündliche Mitteilung)
- Keller, D. & Ochsner, E. (2008). Absorptionskältemaschinen als Alternative. Friscaldo. S. 29.
- Khan, N.A., Generaldirektor der Youngone Schuhproduktion in der CEPZ, Bangladesch (2011). (mündliche Mitteilung)
- Khanna, Y., Technischer Berater Forbes Marshall, Indien (2011). (mündliche Mitteilung)
- Leifiphysik. (unbekanntes Datum). Rupprecht-Gymnasium München. Abgerufen am 19.7.2011 von http://www.leifiphysik.de/web_ph10/umwelt-technik/13gud/gud.htm
- LiPortal. (unbekanntes Datum). Länder informations Portal. Abgerufen am 20.7.2011 von <http://liportal.inwent.org/bangladesch/wirtschaft-entwicklung.html>
- Loy, D. (2007). Energiepolitische Rahmenbedingungen für Strommärkte und erneuerbare Energien 23 Länderanalysen, Kapitel Bangladesch S. 3-9.
- Mantracvostock. (2011). Russischer Caterpillar Händler. Abgerufen am 20.07.2011 von <http://www.mantracvostok.com/english/images/power/G3516.jpg>
- Ministry of Power, Energy and mineral resources government of the people's republic of Bangladesh. (2008). Renewable energy policy of Bangladesh. S. 2-3.
- Niederdöckl, J. (2010). Fernkälte hält das Klima kühl – drinnen und draussen. Austria Innovativ, Nr. 3, S. 43
- Quoilin. (2007). Experimental Study and Modeling of a Low Temperature Rankine Cycle for Small Scale Cogeneration. Sylvain Quoilin.
- Philips (2011). Datenblatt zur Philips TL-M RS Familie
- Sächsische Energieagentur GmbH, Saena. (2008). Wärmeatlas Sachsen. Absorptionskälteanlagen. Abgerufen am 19.07.2011 von <http://abwaermeatlas-sachsen.de/Technologien/Technologien/Kaelteerzeugung2/Kaelteerzeugung/Absorbtiionskaelteanlagen.html>
- SBB. (2011). Schweizerische Bundesbahnen. Internes Dokument zum Berechnen der Wirtschaftlichkeit
- Schilling, H. D. (2004). Wie haben sich die Wirkungsgrade der Kohlekraftwerke entwickelt und was ist künftig zu erwarten? Energie-Fakten. S. 3
- Schneider Engineering GmbH. (2011). Offerte vom 05.05.2011

Schneider Kessel. (2011). Abbildung Abhitzedampferzeuger. Abgerufen am 10.08.2011 von http://www.schneider-kessel.de/europa/html_frame/frame_a.htm

Shuangliang Eco-Energy. (2011). Abbildung Lithiumbromid Absorptionskühlmaschine.

Abgerufen am 10.08.2011 von

http://www.shuangliang.com/eng/product_show.asp?PID=41&BigID=24

Sobbe, W. & Janzen, J. (2009). Massgeschneiderte Abhitzekessel für KWK-Anlagen. Energy 2.0-Kompodium 2009. S. 84

Steinborn, F. (2011). Grundlagen zur Auslegung von Absorptionskältemaschinen, bhkw-info.

UNDP (2011). International Human Development Programme. Abgerufen am 14.4.2011 von

<http://hdrstats.undp.org/en/countries/profiles/BGD.html>

UNEP (2006). Waste heat recovery. United Nations Environment Programme. S. 13.

Weltbank (2008). Google Iulpic data explorer. Abgerufen am 28.7.2011 von

http://www.google.ch/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=eg_use_elec_kh_pc&idim=country:CHE&dl=de&hl=de&q=stromverbrauch+pro+kopf+schweiz#ctype=l&strail=false&nسلم=h&met_y=eg_use_elec_kh_pc&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=country&idim=country:CHE:BGD

Weltbank (2011). Bangladesh. The World Bank. Abgerufen am 23.07.2011 von

<http://data.worldbank.org/country/bangladesh>

Willi, J., Technischer Berater Avesco, Schweiz (2011). (mündliche Mitteilung)

10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Karte von Bangladesch.....	14
Abbildung 2: Zusammensetzung des Strommix Bangladesch	15
Abbildung 3: CEPZ in Chittagong	17
Abbildung 4: Sohleproduktion im Sektor 7.....	18
Abbildung 5: Flow Chart zur Vorgehensweise der Autoren.....	19
Abbildung 6: Überblick über die Sohlenproduktion in Sektor 7 der CEPZ	23
Abbildung 7: Eine der beheizten Mischwalzen.....	24
Abbildung 8: Produktionsschritt 1 & 2 der Aussen-, sowie Mittelsohle	25
Abbildung 9: Die Prozessschritte 3, 4 und 5 der Aussensohle benötigen ausschliesslich elektrische Energie.....	25
Abbildung 10: Hinterseite der Heisspress-Linien mit teils mangelnder Isolation.....	26
Abbildung 11: Formgebungsprozess der Aussensohle	26
Abbildung 12: Fertige EVA-Matten vor dem Zuschneiden und der Formgebung	27
Abbildung 13: Herstellungsprozess der Mittelsohle	28
Abbildung 14: Herstellungsprozess der Innensohle	28
Abbildung 15: Startpunkt von drei Nählinien, an denen je etwa 15-20 Personen arbeiten	29
Abbildung 16: Fertige Oberschuhe bereit für das Assembling	30
Abbildung 17: Der Thermalölboiler ist täglich 24 Stunden in Betrieb.....	31
Abbildung 18: Von den beiden Dampfboilern ist jeweils nur einer in Betrieb.....	33
Abbildung 19: Dampf- und Thermalölschema in Sektor 7	34
Abbildung 20: Caterpillar G3516 Gasgenerator ohne Zusatzmodule und Anschlüsse	35
Abbildung 21: Leistungszusammensetzung der Caterpillar G3516 Generatoren	36
Abbildung 22: Die Isolierung der Wärmeleitungen ist an den meisten Stellen mangelhaft	40
Abbildung 23: Leistungszusammensetzung der Generatoren auf die jährliche Energieproduktion hochgerechnet.....	42

Abbildung 24: Realistisch nutzbare Energiezusammensetzung	44
Abbildung 25 : Schneider-Kessel Abhitzedampferzeuger	48
Abbildung 26: Funktionsschema Absorptions-Kühlmaschine	51
Abbildung 27: Lithiumbromid Absorptions-Kühlmaschine	53
Abbildung 28: ORC-Modul "Ecopure" des Herstellers Dürr Cyplan	54
Abbildung 29: Systemgrenze alternatives Energieversorgungsszenario	61
Abbildung 30: Systemgrenze der Varianten ORC und Absorption-Kühlmaschine	61
Abbildung 31: Systemgrenze der bestehenden Prozessdampfherstellung	62
Abbildung 32: Systemgrenze der Variante Abhitzedampferzeuger	62
Tabelle 1: Energieverbrauch CEPZ 2010	22
Tabelle 2: Übersicht über den Leistungsbedarf diverser Produktionseinrichtungen	35
Tabelle 3: Technische Angaben Generator Caterpillar G3516	36
Tabelle 4: Übersicht über die Leistungsaufnahmen der Verbraucher	38
Tabelle 5: Erfahrungswerte des Leistungsabfalls bei Teillast	43
Tabelle 6: Berechnung der total nutzbaren Abwärmeleistung pro Generator	45
Tabelle 7: Übersicht über die möglichen Energiesparpotentiale	45
Tabelle 8: Datenblattauszug Abhitzedampferzeuger WHR 1550/10	49
Tabelle 9: Aufwendungen Abhitzedampferzeuger WHR 1550/10	49
Tabelle 10: Datenblattauszug Absorptions-Kühlmaschine YX145H2	53
Tabelle 11: Aufwendungen Absorptions-Kühlmaschine YX145H2	54
Tabelle 12: Datenblattauszug ORC-Anlage Ecopure	56
Tabelle 13: Aufwendungen ORC-Anlage Ecopure	57
Tabelle 14: Datenblattauszug Klimagerät WDH HE 2.540	60
Tabelle 15: Energiepreisszenarien für Bangladesch	65
Tabelle 16: Wirkungsgrade der Kraftwerke und der Netzübertragung	70

Tabelle 17: Absolute Primärenergieeinsparung der einzelnen Varianten während einem Jahr	72
Tabelle 18: Wirtschaftlichkeit der Variante Abhitzedampferzeuger im Vergleich mit dem bestehenden Boiler	73
Tabelle 19: Aufwendungen zentrales Klimagerät WDH HE 2.540.....	74
Tabelle 20: Wirtschaftlichkeit der Variante Absorptions-Kühlmaschine im Vergleich mit einer konventionellen zentralen Klimaanlage	75
Tabelle 21: Wirtschaftlichkeit von ORC im Vergleich mit Stromzukauf.....	76
Tabelle 22: Zwischenergebnis der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten	77
Tabelle 23: Bewertung der Abwärmenutzungsvarianten.....	78
Tabelle 24: CO2-Bilanz der Energieträger Erdgas und Strom.....	79
Tabelle 25: Terminplan zum Umsetzen der Variante "Abhitzedampferzeuger"	82

Anhang A: Offerten und Datengrundlagen

Dieser Anhang enthält die wichtigsten Auszüge der vorhandenen Offerten und Datengrundlagen welche im Kapitel 3 - 6 verwendet werden.

Auszug der Offerte Caterpillar G3516B

Avesco AG - Hasenmattstrasse 2 CH-4901 Langenthal
Por. Adresso: Grünangstrasse 19 CH-4416 Bubendorf

Herr Wild
Student



Datum: 6. August 2011
Referenz: Hr. Wild
Kontakt: Jörg Willi
Tel / Fax: +41 62 915 82 04 / +41 62 915 81 36
Mobil: 079 321 24 20
E-Mail: joerg.will@avesco.ch

Technische Angaben Nr.: 11XXX
Projekt: BHKW G3516B

Erdgas - Blockheizkraftwerk G3516B inkl. Schallhaube, Steuerung und IBS

Aufstellhöhe: 100m0M

Grundausführung: (Engineering und Produktion in der Schweiz)

- Motorenleistung nach ISO 3046-1/ DIN 6271 (mech. Wirkungsgrad 41.3%)	1213	kW
- Hubvolumen	69	dm ³
- Nutzbare elektrische Leistung ab Generator	1165	kW
- Nutzbare Kühlwasser - Wärmeleistung inkl. 1 LLK	686	kW
- Nutzbare Abgas - Wärmeleistung (Klärgas 120°)	695	kW
- Total nutzbare Wärmeleistung	1381	kW
- Zuführte Brennstoffleistung (Hu 10.05 kWh/Nm ³)	2938	kW
- Strahlungswärmeleistung inkl. 2. LLK	198	kW
- Wirkungsgrad mechanisch	41.3	%
- Wirkungsgrad elektrisch	39.7	%
- Wirkungsgrad thermisch	47.0	%
- Wirkungsgrad total	86.7	%
- Schadstoffausstoss:		
NOx	500	mg/Nm ³
CO	650	mg/Nm ³
Bezug bei O2	5	%
Abmessung der Anlage	Genset	
Länge	5'500	mm
Breite	1'800	mm
Höhe	2'300	mm
Gewicht	16'300	kg
Brennstoffverbrauch bei 100% Erdgas (Hu 10.05 kWh/Nm ³)	292.4	Nm ³ /h

Auszug der Offerte „Schneider-Abhitzeessel- Typ WHR“

SCHNEIDER-KESSEL BERLIN

DAMPFERZEUGER UND HEISSWASSERERZEUGER



Teil A – Kessel und Hauptausrüstung

1. SCHNEIDER-Abhitzeessel – Typ WHR

Der **SCHNEIDER-Abhitzeessel WHR** wird als einzügiger Rauchrohrkessel in Großwasserraumkesselbauweise gefertigt. Er dient als Dampferzeuger zur Erzeugung von Sattdampf für Produktions-, Heiz- oder Kühlzwecken.

Der Kessel besteht aus dem zylindrischen Kesselkörper mit den beiden Kesselböden, dem Rauchrohrsystemen (ein-zügig), den vorderen – je nach Anzahl der Wärmequellen – von einander getrennten Rauchgaseintrittskammern (horizontal) mit separatem Stutzen sowie der Abgaskammer mit Abgasstutzen (vertikal).

Der Dampferzeuger ist mit allen erforderlichen Reinigungs- und Besichtigungsöffnungen sowie sämtlichen Anschlußstutzen ausgerüstet.

Aufklappbare Türen an der hinteren Abgaskammer und Reinigungsklappen an der vorderen Rauchgaskammer ermöglichen ein leichtes Reinigen des Rauchrohrsystems.

Technische Daten

Fabrikat	SCHNEIDER KESSEL BERLIN	
Typ	WHR 1550/10	
zulässige Dampferzeugung	1550	kg/h
Zulässiger Betriebsüberdruck (Anspruchüberdruck des Sicherheitsventils)	10	bar(0)
Kesselarbeitsdruck	8	bar(0)
Sattdampf Temperatur, max.	175	°C
Speisewassertemperatur vor Kessel	161	°C
Speisewassertemperatur vor Eco	102	°C
Rauchgastemperatur nach Kessel	213	°C
Rauchgastemperatur nach Eco	184	°C
Druckverlust bei Vollast	< 25	mbar
Anzahl der Abgaseintrittstutzen	2	Stück



- Teil C – Lieferbedingungen

Leistungsumfang

Inhalt des Angebotes ist die Lieferung der vorstehend genannten Ausrüstung. Andere nicht ausdrücklich aufgeführte Lieferungen und Leistungen sind nicht Bestandteil des Angebotes.

Insbesondere nicht enthalten sind

- Abgasanlage
- Treppen, Böhlen und Geländer
- Bauteil

Lieferzeit

Die Lieferzeit Gesamtanlage beträgt ab Auftragserteilung und technischer Klärung ca. 16 - 20 Wochen **ab Werk Thailand**.

Transport / Verpackung

Die Lieferung des Kessels sowie der Kesselausrüstung und Optionen erfolgt **ab Werk Thailand**.

Kessel ist Folie eingeschweißt und für Containertransport vorbereitet

Die Ausrüstungsteile werden für den Transport ganz oder teilweise demontiert und in separate Kisten verpackt geliefert.

Normen, Abnahmen, Genehmigung

Die Herstellung und Montage der Kesselanlage erfolgt nach den gültigen Richtlinien der TRD, DGR 97/23/EG (Modul G), DIN und VDE.

Landesspezifische Auflagen der abnehmenden Behörden, die über diese Vorschriften sind nicht Bestandteil dieses Angebotes.

Dieses Angebot enthält jedoch die Zuarbeit aller technischen Informationen zur Vervollständigung der Antragsunterlagen in deutscher oder englischer Sprache.

Preis und Preisstellung

Teil A – Hauptangebot (Kessel)

76.500,00 EUR

Die Preise unseres Angebotes verstehen sich als Nettopreise zuzüglich der bei Abrechnung geltenden gesetzlichen Mehrwertsteuer.

Ecopure® ORC – Eine Technologie mit Potential



100 kW_d ORC-Anlage

Ecopure® ORC: Strom aus Abwärme

ORC (Organic Rankine Cycle) ist ein Verfahren zur Stromerzeugung durch Wärme. Gegenüber anderen Prozessen eignet es sich besonders für kleine Wärmequellen und niedrige Temperaturen. Ungenutzte thermische Energie kann mit der ORC-Technologie gewinnbringend verwertet werden. Zu den so genannten Hochtemperatur-Wärmequellen zählen z.B. Gasmotoren oder andere Verbrennungsprozesse, Niedertemperaturquellen können z.B. Erdwärme, Sonnenwärme oder industrielle Abwärme sein. Energieeffizienz ist eines der wichtigsten Zukunftsthemen – auch für Dürr. Schon seit Jahren entwickeln wir Produkte und Service-Lösungen, um den Energieverbrauch – und damit die Betriebskosten – unserer Kunden zu optimieren. Mit Dürr Cyplan schlagen wir ein neues Kapitel in der Energieeffizienztechnik auf.

Wir bieten maßgeschneiderte ORC-Lösungen für unterschiedliche Abwärmequellen:

	70 kW _d	120 kW _d	300 kW _d	500 kW _d
Hochtemperaturanlagen ohne Wärmenutzung Temperatur Wärmequelle > 300 °C Kühlwassertemperatur 30–60 °C Elektrische Effizienz 17–22 %				
Hochtemperaturanlagen mit Wärmenutzung Temperatur Wärmequelle > 300 °C Kühlwassertemperatur 80–90 °C Elektrische Effizienz 17–20 %				
Niedertemperaturanlagen ohne Wärmenutzung Temperatur Wärmequelle 90–150 °C Kühlwassertemperatur 30–40 °C Elektrische Effizienz 6–10 %				

Auszug der Offerte „Clivet WDH 2.540“

WDH HE 2.540(R134A-400T-T-PED-IOM3-)			TECHNISCHES DATENBLATT	
KÜHLBETRIEB				
		AUSGEWÄHLT		
internen Wärmetauscher Wasserablauf	°C	6,00		
ALLGEMEINES				
		AUSGEWÄHLT		
Temperaturdifferenz Kaltwasser	°C	6,00		
% Glykolananteil Kaltwasser	%	0,000		
KÜHLBETRIEB				
		AUSGEWÄHLT		
externen Wärmetauscher Wasserablauf	°C	35,0		
ALLGEMEINES				
		AUSGEWÄHLT		
Temperaturdifferenz Kühlwasser	°C	5,00		
Glykolananteil Kühlwasser	%	0,000		
LEISTUNGSDATEN				
KÜHLBETRIEB				
		AUSGEWÄHLT		
Kälteleistung	kW	1505		
Leistungsaufnahme der Verdichter	kW	272		
EER		5,69		
			Wasservolumenstrom (Verdampfer)	l/s 59,6
			Verdampferdruckverlust	kPa 21,7
			Wasservolumenstrom (Verflüssiger)	l/s 85,6
			Verflüssigerdruckverlust	kPa 54,3
DIE TECHNISCHEN DATEN SIND HINWEISE UND KÖNNEN VOM HERSTELLER OHNE VORANKÜNDIGUNG GEÄNDERT WERDEN				
ALLGEMEIN				
ESEER (Eurovent)		6,61		
EER		5,69		
Kältekreise	Nr	2,00		
GEWICHTE UND MASSE				
Versandgewicht	kg	6932		
VERDICHTER				
Anzahl der Verdichter	Nr	2,00		
Verdichtertyp	(3,2)	DSW		
Leistungsstufen (Std.)	Nr	STEPLE SS		
VERFLÜSSIGER				
BETRIEBSGRENZEN (KÜHLBETRIEB)				
Max. Wassereintrittstemperatur	(4,1) °C	40,0		
Max. Wasseraustrittstemperatur	(4,2) °C	41,0		
Min. Wasseraustrittstemperatur	°C	24,0		
VERFLÜSSIGER				
Verflüssigerdruckverlust	kPa	54,3		
>>> VERFLÜSSIGER				
Wasserinhalt	l	350		
Anzahl	Nr	2,00		
Typ des externen Wärmetauschers	(4,4)	S&T		
VERDAMPFER				
Wasserinhalt	l	931		
BETRIEBSGRENZEN (KÜHLBETRIEB)				
Max. Wassereintrittstemperatur	°C	20,0		
Min. Wasseraustrittstemperatur	(5,4) °C	5,00		
Min. Wasseraustrittstemperatur	(5,5) °C	-8,00		
ANSCHLÜSSE				
Wasseranschlüsse	(6,5)	10"		
Wasseranschlüsse		6"		
ELEKTRISCHE DATEN				
F.L.A. - VOLLASTSTROM BEI MAXIMAL ZULÄSSIGEN BEDINGUNGEN				
F.L.A. - Gesamtwert	A	663		
F.L.I. LEISTUNGS-AUFNAHME BEI MAXIMAL ZULÄSSIGEN BETRIEBSBEDINGUNGEN				
F.L.I. - Gesamtwert	kW	401		
M.I.C. MAXIMALER ANLAUFSTROM				
M.I.C. - Wert	A	1035		
<small> (4) 4% Äthylglykol im Wasser (3,2) DSW = Doppelschraubenverdichter (4,1) Gerät bei Vollast, Wasserentemperatur im Verdampfer 12/7°C (4,2) Leistungsgerichtetes Gerät (automatische Leistungsregelung) (4,4) S&T = Rohrbündel (5,4) Standard-Ausführung (5,5) Standard-Ausführung (5) 5" Niederdruck-Ausführung (6,5) Anschlüsse mit flexibler Verbindung und Lötanschluss </small>				

WDH HE 2.540(R134A-400T-T-PED-IOM3--)

KONFIGURATION

CLIVET

GERÄTEKONFIGURATION		STK.	LISTENPREIS
	Gerät: WDH HE 2.540	1	€ 162.211,00
R134A	Kältemittel R-134a	1	
LIQW	Aufbereitetes Fluid aus reinem Wasser	1	
400T	Versorgungsspannung 400/3/50 ohne N	1	
ST	Standard-Schallausführung	1	
T	Rückkühbetrieb	1	
PED	Wärmetauscher-Genehmigung CE - PED - europäische Prüfung	1	
IOM3	Deutsche Installations- und Bedienungsanleitung	1	
AMRX	Gummschwingungsdämpfer (getrennt geliefertes Zubehör)	1	€ 470,00
CMSC9	Serielles Kommunikationsmodul zum MODBUS Überwachungs	1	€ 554,00
CFSCLE	potentialfreie Kontakte für Staus und Freigabe der Verdichter, lokaler Umschalter/aus/BMG.	1	
MSW	Hauptschalter	1	
EVE	elektronisches Expansionsventil	1	
SUMME AUSGEWÄHLTES GERÄT			€ 163.235,00

Anhang B: Wirtschaftlichkeitsrechnung

In diesem Anhang und unter folgendem Link sind die Excel-Tabellen zu den Wirtschaftlichkeitsrechnungen einsehbar.

Für das Herunterladen muss die Option **KOSTENLOSER DOWNLOAD** und anschliessend

JETZT RUNTERLADEN.

gewählt werden.

Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Varianten und Szenarien

https://rapidshare.com/files/3877473337/Wirtschaftlichkeitsrechnung_mit_Varianten_und_Szenarien.xls;en.xls

<p>Aufgabenstellung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausgangslage • Zielsetzungen • Zusätzliche Auftragsmodalitäten 	<p>Ausgangslage</p> <p>Die Youngone Shoe production facility in der Chittagong Export Processing Zone (CEPZ) in Bangladesch ist ein Grossbetrieb, der Schuhe für verschiedene Marken herstellt und exportiert. Da es in Bangladesch regelmässig zu Stromausfällen kommt und die zukünftige Versorgung mit Erdgas von vielen, teils instabilen Faktoren abhängt, soll der Energieverbrauch durch Effizienzmassnahmen verringert werden. Diese Massnahmen sollen in der momentan errichteten Schuhproduktion in der KEPZ (Korean Export Processing Zone) ebenfalls angewandt werden.</p> <p>Zielsetzung</p> <p>Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll der Energieverbrauch der Youngone Shoe production facility durch Energieeffizienzmassnahmen gesenkt werden. Konkret werden dabei Effizienzmassnahmen in den Bereichen Wärmerückgewinnung, Isolation, Betrieb sowie Beleuchtung untersucht. Durch einen Besuch der Produktionsstätte sollen die Potentiale dieser Massnahmen erkannt, konkrete Lösungen beschrieben und Berechnungen zum Einsparpotential gemacht werden. Zusätzliche Potentiale, welche bei der Besichtigung der Produktionsstätte auftauchen können, werden ebenfalls berücksichtigt werden.</p> <p>Zusätzliche Auftragsmodalitäten</p> <p><u>Erwartete Resultate</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bachelorarbeit, gem. Weisungen ZHAW
--	---

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung (deutsch und englisch)

Inhaltsverzeichnis

Liste der Abkürzungen

1. Einleitung

- 1.1. Demographische und soziale Gegebenheiten in Bangladesch
- 1.2. Situation Energieverbrauch und Energieversorgung in Bangladesch
- 1.3. Youngone Schuhproduktion in der CEPZ (Chittagong Export Processing Zone)
- 1.4. KEPZ (Korean Export Processing Zone)
- 1.5. Energieverbrauch der Schuhfabriken in der CEPZ

1.5.1 Thermisch

1.5.2 Elektrisch

1.5.3 Energieverluste

1.6 Energieherkunft für die Schuhfabriken in der CEPZ

1.6.1 Öffentliches Netz

1.6.2. Eigenproduktion

1.7 Vorhandene Effizienzmassnahmen

1.8 Ungenutzte Energieeffizienzpotentiale

2. Material und Methoden

2.1. Erfassen der Energieeffizienzpotentiale

2.1.1. Besuch vor Ort

2.1.2. Grobe Erfassung der Einsparpotentiale

2.2. Auswahl des zu optimierenden Objektes

2.3. Messen der thermischen Energieverluste in den Dampfleitungen

2.3.1. Thermisch

2.3.2. Isolation

2.4. Energieeffizienzmassnahmen

2.4.1. Abwärmerückgewinnung der Generatoren

2.4.2. Isolationen

2.4.3. Betrieb

2.5. Auswertungsmethoden der Resultate

2.6. Kostenberechnungen

3. Ergebnisse

3.1. Abwärmerückgewinnung der Generatoren

3.1.1. Gewonnene thermische Energie

3.1.2. Verluste am Boiler

3.1.3. Übertragungsverluste

3.2. Isolationen

3.2.1. Optimierungsmöglichkeiten

3.2.2. Eingesparte thermische Energie

3.3. Einsparungen an Erdgas

3.4. Betrieb

3.5. Kostenberechnung

4. Diskussion

4.1. Potenzielle Fehlerquellen

4.2. Weiterführende Massnahmen

4.3. Adaption der Energieeffizienzmassnahmen in der CEPZ auf die KEPZ

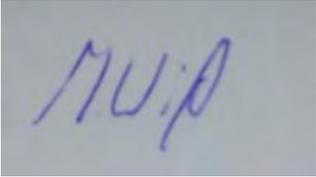
5. Literatur

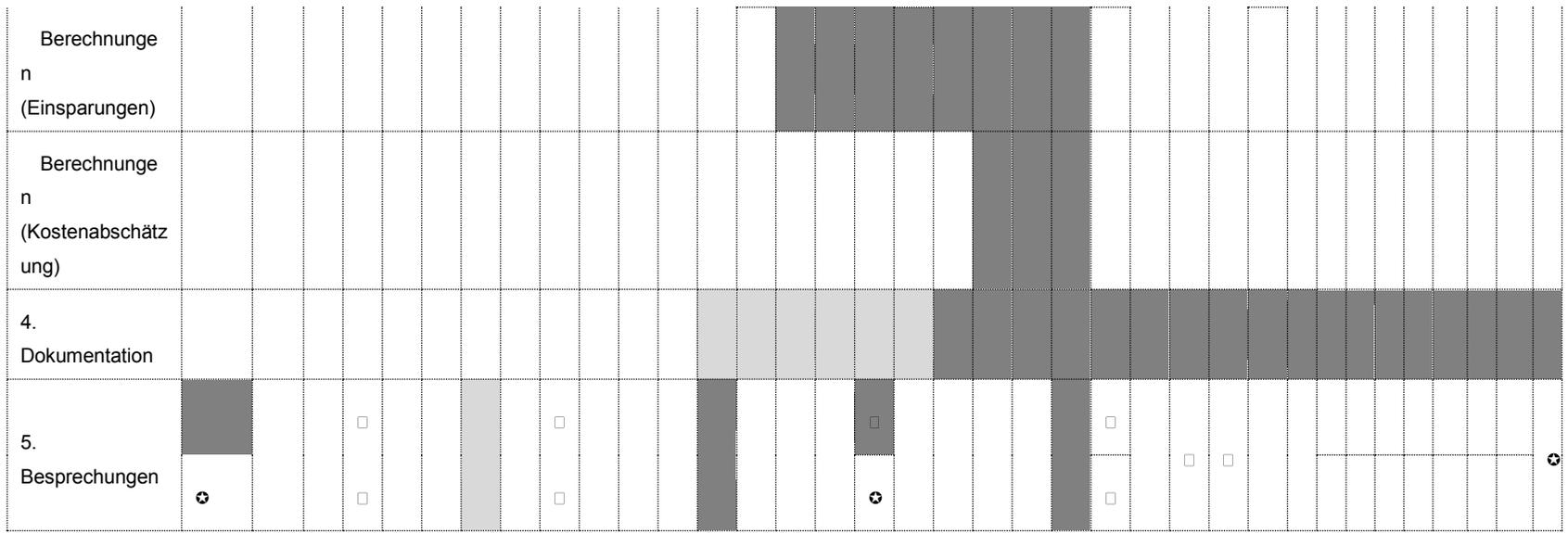
5.1. Bücher und Zeitschriften

5.2. Studien

5.3. Internet

	Anhang
Termine	Die Zeitplanung befindet sich auf der letzten, separaten Seite (Querformat)
Abgabetermin	Donnerstag, 8. September 2011, 12.00 Uhr
Bemerkungen (z.B. Budgetplan)	<p>Material: 1 Infrarotthermometer, 2 Temperaturmessgeräte, 2 Multimeter, 1 Anemometer, 1 Amperezange</p> <p>Finanzen: <input checked="" type="checkbox"/> Nein (es werden keine Kosten entstehen) <input type="checkbox"/> Ja (gemäss Budgetplan)</p>
Arbeitsort	ZHAW Wädenswil, KEPZ Chittagong, Bangladesh

<p><i>Unterschrift Korrektor 1</i></p> <p>Ort, Datum</p> <hr/>	<p><i>Unterschrift Korrektor 2</i></p> <p>Bern, 23. Februar 2011</p> <p><i>U. J. K.</i></p>
<p><i>Unterschrift Studenten 1</i></p> <p>Wädenswil, 20. Februar 2011</p>  <hr/>	<p><i>Unterschrift Studenten 1</i></p> <p>Einsiedeln, 20. Februar 2011</p> <p><i>R. Meier</i></p> <hr/>



⊛ □□□□□□□□□□□□ (1. Auftragsbestätigung, 2. Besichtigung der Produktionsstätte, 3. Beginn der Auswertung, 4. Beginn der Berechnungen, 5. Arbeitsabgabe)

Dunkelgrau = Haupttätigkeit

Hellgrau = Nebentätigkeit