

Markus Hirschvogel

# **Veränderungen der Energieindustrie und deren Auswirkungen auf Magna als globalen Automobilzulieferer**

Angestrebter akad. Grad

Diplom-Ingenieur

Wirtschaftsingenieurwesen – Maschinenbau

Energie- und Umwelttechnik

Technische Universität Graz

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Ramsauer

Graz, Mai 2013

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## Danksagung

Die vorliegende Diplomarbeit entstand in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Graz und Magna International. Hiermit möchte ich die Gelegenheit ergreifen, um mich bei allen beteiligten Personen recht herzlich zu bedanken.

Im Rahmen meiner Tätigkeit im Unternehmen Magna möchte ich mich bei allen Mitarbeitern von Magna International bedanken. Besonderer Dank gilt meinem Freund Herrn Matthew Foley, dessen umfangreiche Erfahrung und fachliche Kompetenz zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Von Seiten der Technischen Universität möchte ich mich bei meinen Betreuern Dipl.-Ing. Dr.techn. Georg Premm und Dipl.-Ing. Mario Kleindienst vom Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung bedanken, die mir im Laufe dieser Diplomarbeit jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung standen.

Zudem möchte ich mich aufrichtig bei meiner gesamten Familie bedanken. Allen voran gilt der größte Dank meinen Eltern, die mich unzählige Jahre unterstützt haben und mir dieses Studium ermöglichten. Ein herzliches Dankeschön.

Ebenfalls großer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Stefan Lackner, der mir in allen schwierigen Lagen meines Studiums immer zur Seite stand und mich ebenfalls durch das Korrekturlesen dieser Arbeit tatkräftig unterstützte.

## Kurzfassung

Die energetische Betrachtung und Optimierung von unternehmerischen Prozessen unterliegt immer größer werdender Bedeutung für weltweit tätige Industriekonzerne. Für Magna ist es von hohem Interesse, Maßnahmen zur Senkung interner Produktionskosten ausfindig zu machen, um dem in Zukunft steigenden Preisdruck der OEMs gegenüber den Zulieferern entgegenwirken zu können. Die vorliegende Diplomarbeit soll die Entwicklung des Energiemarktes in wichtigen Absatzmärkten analysieren und einen regionalen Überblick über prozessspezifische Energiekosten des Unternehmens geben. Ziel ist die Darstellung der Energiekostenaufteilung in einer globalen Energielandkarte. Diese Arbeit ist in zwei Abschnitte aufgeteilt:

1. Durchführung einer Energiemarktanalyse wichtiger Produktionsregionen im Zeitraum von 2015 bis 2035
2. Die energetische Analyse ausgewählter Produktionsprozesse sowie die Ableitung und Bewertung von Energiesparmaßnahmen

Die wichtigsten Absatzmärkte für das Unternehmen Magna (USA, China, Europa und Brasilien) werden für den Zeitraum 2015 bis 2035 untersucht und beschrieben. Die Energiemarktanalyse befasst sich mit den Einflussfaktoren des Energieverbrauches, der Entwicklung des Primärbedarfes, des industriellen Bedarfes und des industriellen Elektrizitätskonsums.

Im zweiten Teil wird, neben der Beschreibung zur Entwicklung des globalen Automobilsektors, eine energetische Prozessanalyse des Kalt- und Warmumformens durchgeführt. Anhand der Ergebnisse und der regionalen Energiekosten können somit Einsparmaßnahmen aufgezeigt und die globale Energielandkarte erstellt werden.

Die Analyse zeigt, dass Kosten in den einzelnen Regionen durch Energierückgewinnung, Verwendung von Erdgas für die industrielle Ofenbeheizung und durch Vermeiden unnötigen Energieverbrauches reduziert werden können.

Abschließend sind die Ergebnisse beider Teile detailliert in fünf Energiekennkarten zusammengefasst. Diese Kennkarten sollen einen regionalen Überblick sowohl über die Entwicklung des Energiemarktes als auch über die Energiekosten der Herstellungsprozesse schaffen.

## Abstract

The energy examination and optimization of business processes will increase their importance for global industrial companies. Considering that increase cost pressures from the OEM unto the suppliers will not alleviate in the future, it is important for Magna to understand, where will be the cost saving leverages within its internal manufacturing processes. This thesis aims to analyse the energy market development in key markets, provide a regional overview of process specific energy cost per cycle and conclude with a global landscape displaying the energy cost breakdown. The structure of the thesis is divided into two parts:

1. The implementation of an energy market analysis of major production regions between 2015-2035
2. The energy analysis of two internal processes as well as recommending options for energy saving measures

The most important markets for Magna (USA, China, Europe and Brazil) are studied and described within the period from 2015 to 2035. The energy market analysis focuses on the influence factors of the energy consumption, the development of primary demand, industrial demand and industrial electricity consumption.

In the second part, next to a detailed analysis of global automotive trends, an energy input analysis for cold and hot forming process is assessed. On the basis of the results and the regional energy prices, savings will be demonstrated and the global landscape will be shown.

This analysis shows that regional costs through energy recovery techniques, the use of natural gas for industrial oven heating and by avoiding unnecessary energy consumption can be reduced.

Finally, the results of both parts are summarized in five energy identification cards. These identification cards are intended to create a regional overview of the energy market development and the energy costs of manufacturing processes.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangssituation .....	1
1.2	Zielsetzung .....	3
1.3	Vorgehensweise .....	3
2	Die globale Entwicklung des Energiemarktes .....	5
2.1	Einflussfaktoren auf den globalen Energiebedarf .....	8
2.1.1	Das Bruttoinlandsprodukt .....	8
2.1.2	Das Bevölkerungswachstum .....	10
2.1.3	Der Energiepreis .....	10
2.1.4	Der CO <sub>2</sub> -Preis .....	11
2.1.5	Politische Einflussfaktoren .....	12
2.1.6	Technologischer Fortschritt und Innovationen .....	12
2.1.7	Die Verfügbarkeit der Rohstoffe .....	13
2.2	Der globale, primäre Energiebedarf .....	15
2.2.1	Primäre Energieträger und deren Veränderung bis 2035 .....	16
2.2.2	Regionale Entwicklung des Primärenergieverbrauchs .....	23
2.3	Energieangebot und –bedarf der Industrie .....	33
2.3.1	Globale Entwicklung des industriellen Energiebedarfs .....	33
2.3.2	Regionale Entwicklung des Energieträgers elektrischer Strom .....	35
2.3.3	Regionale Entwicklung des industriellen Energiebedarfs .....	42
2.4	Einflussfaktoren auf den Energiepreis .....	46
2.4.1	Energiepreistreiber .....	47
2.4.2	Regionaler Ein- und Ausblick .....	53
3	Die globale Entwicklung des Automobilsektors .....	56
3.1	Einflussfaktoren auf den globalen Automobilsektor .....	57
3.2	Der Trend zum automobilen Leichtbau .....	58
3.3	Produktionsmechanismen in der Automobilbranche .....	59
3.3.1	Die Produktarchitektur .....	60
3.3.2	Das Plattformkonzept .....	61
3.3.3	Die Modularisierung .....	64
3.4	Regionale Absatzmarktentwicklung .....	67

4	Energetische Analyse der Produktionsprozesse .....	69
4.1	Vorgehensweise in der Prozessanalyse.....	70
4.2	Die betrachtete Fertigungstechnologie .....	73
4.3	Der Prozess des Kaltumformens.....	75
4.3.1	Prozessdefinition .....	75
4.3.2	Getroffene Annahmen und Randbedingungen .....	77
4.3.3	Erläuterung der Messung .....	79
4.3.4	Messdaten und Istzustand.....	81
4.3.5	Energieflussbild (Sankey-Diagramm) .....	85
4.3.6	Empfehlungen von Energieeinsparmaßnahmen (EEM) und Bewertung.....	86
4.4	Der Prozess des Warmumformens .....	89
4.4.1	Prozessdefinition .....	90
4.4.2	Getroffene Annahmen und Randbedingungen .....	91
4.4.3	Erläuterung der Messung .....	93
4.4.4	Messdaten und Istzustand.....	94
4.4.5	Energieflussbild (Sankey-Diagramm) .....	97
4.4.6	Empfehlungen von Energieeinsparmaßnahmen und Bewertung.....	98
5	Erstellung der globalen Energiekostenlandkarte .....	105
5.1	Globale Energielandkarte.....	105
5.2	Ergebnisse der Analyse .....	106
6	Energiekennkarten Warm- und Kaltumformung .....	111
6.1	Die Vereinigten Staaten von Amerika.....	112
6.2	Die Volksrepublik China .....	113
6.3	Europa.....	114
6.4	Föderative Republik Brasilien.....	115
7	Zusammenfassung.....	116
	Abbildungsverzeichnis.....	118
	Literaturverzeichnis .....	120
	Tabellenverzeichnis.....	125
	Abkürzungsverzeichnis.....	126
	Formelverzeichnis .....	128
	Anhang.....	i

# 1 Einleitung

Der industrielle Aufschwung und die wachsende Mobilität in Südamerika und Asien sorgen für steigende Energieverbräuche und für eine Umstrukturierung der heimischen Automobilindustrie. Die Rohstoffvorkommen für die Energieproduktion sind zwar vorhanden, aber nur begrenzt förderbar. Ein Anstieg der Energiepreise aufgrund steigender Nachfrage und zunehmender Förderkosten würde eine Erhöhung des Energiekostenanteiles einer Unternehmung zur Folge haben und ein Auswandern in kostengünstige Regionen früher oder später mitbegründen.<sup>1</sup>

Magna hat sich zu einer Analyse des energetischen Ist-Zustandes zweier wichtiger Arbeitsprozesse entschlossen, aus welcher Einsparpotentiale abgeleitet und bewertet werden sollen.

## 1.1 Ausgangssituation

Die energetische Betrachtung und Optimierung von unternehmerischen Prozessen unterliegt immer größer werdender Bedeutung für weltweit tätige Industriekonzerne. Die Globalisierung der Automobilbranche hat auch ein Umdenken in der Produktion mit sich gebracht. Weltweit werden ähnliche Prozesse implementiert, um Produktionskosten bei gleichbleibender Qualität und technologischem Fortschritt senken zu können. Dies macht es möglich, Prozesse global zu vergleichen und spezielle Einflussfaktoren wie den Energieverbrauch regional zu analysieren.<sup>2</sup>

Obwohl der Konzern Magna ein weltweit führender Automobilzulieferer ist, sind bis dato keine Energieanalysen der einzelnen Prozesse durchgeführt worden. Jedoch werden die energetische Beeinflussung am Endprodukt und das Interesse an der Implementierung von effizienzsteigernden Maßnahmen immer größer und sollten in Zukunft im Fokus des Unternehmens stehen. Des Weiteren wird das Unternehmen sich mit der Herausforderung der Energiewende befassen müssen, um Veränderungen der Absatzmärkte verstehen zu können und gegebenenfalls darauf vorbereitet zu sein.

---

<sup>1</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S.47

<sup>2</sup> Vgl. Dena, Zugriffsdatum: 14.02.13



### Das Unternehmen Magna International

Die von Frank Stronach gegründete Unternehmung Magna International Inc. entstand aus der im Jahre 1969 vorausgegangenen Fusion von Multimatic Investments Limited und Magna Electronics Corporation Limited. Weltweit beschäftigt der Konzern über 111.000 Mitarbeiter in 27 Ländern und gilt als einer der größten und meist diversifizierten Zulieferer und Hersteller von Fahrzeugsystemen.<sup>3</sup>

Die globale Präsenz des Unternehmens veranschaulicht Abbildung 1-1. Weltweit gibt es 294 Produktionsanlagen und 87 Entwicklungszentren, welche einen Umsatz von 28,7 Milliarden US Dollar im Jahr 2011 erwirtschafteten.



Abbildung 1-1: Die globale Verteilung der Produktions- und Entwicklungszentren Magnas<sup>4</sup>

Eindeutige Priorität in der Unternehmensphilosophie hat die Entwicklung von Führungskräften und weltweit exzellente Kompetenz in der Fertigung vorweisen zu können. Auch der stetige Antrieb neuer Innovationen im Bereich des Fertigungsprozesses und die Verwendung von neuen Materialien stehen im Fokus des Unternehmens.

Die Kernkompetenz liegt in der Produktfertigung, jedoch ermöglicht Magna auch technische Produktentwicklungen und unterstützt deren Markteinführung. Als einer

<sup>3</sup> Vgl. Magna, Zugriffsdatum: 22.12.12

<sup>4</sup> Magna (2012 a), S. 2

der wenigen Automobilzulieferer bietet Magna auch den Zusammenbau von Gesamtfahrzeugen an.

Der Anspruch des Unternehmens ist es, eine weltweite Spitzenposition in der Automobilzulieferung einzunehmen und mit den Produktionsstätten ein gesichertes Auftragsvolumen und die Zufriedenheit der Kunden zu erreichen.<sup>5</sup>

## **1.2 Zielsetzung**

Die Absicht der Arbeit ist, eine Analyse des Energieverbrauches ausgewählter, interner Herstellungsprozesse zu erarbeiten und die Ergebnisse anhand regionaler Energiekosten in einer globalen Landkarte darzustellen, sowie zu vergleichen. Anhand der Ergebnisse sollen prozessspezifische Energiesparmaßnahmen zur Senkung der Produktionskosten abgeleitet und bewertet werden. Zudem wird ein Überblick über die Entwicklung der Energiemärkte in den wichtigsten Produktionsregionen im Zeitraum von 2015 bis 2035 erstellt und Einflussfaktoren für Markt- und Preisveränderungen erläutert.

## **1.3 Vorgehensweise**

Die Vorgehensweise in dieser Arbeit ist in Abbildung 1-2 veranschaulicht.

Zunächst wird die Entwicklung des Energiemarktes beschrieben. Kapitel 2 befasst sich mit den weltweiten Einflussfaktoren auf den allgemeinen Energieverbrauch, den Primärbedarf und den industriellen Verbrauch, sowie den elektrischen Stromkonsum. Dabei werden die Entwicklungen für die wichtigsten Absatzmärkte für das Unternehmen Magna im Zeitraum 2015 bis 2035 untersucht und beschrieben. Der Ausblick ist für die Kernmärkte in Amerika, Europa und China gedacht, aber auch für aufkommende, konjunkturstarke Märkte wie z.B. Brasilien. Abschließend wird regional ein Ein- und Ausblick in die industriellen Energiepreise gegeben und deren treibende Faktoren näher erläutert.

Danach wird das Thema aus der Sichtweise des Unternehmens Magna näher erläutert. In Kapitel 3 wird auf die primären Einflussfaktoren der Automobilbranche, den Wandel zum automobilen Leichtbau sowie auf neue globale Produktionstechniken eingegangen. Besonderes Interesse gilt hierbei den

---

<sup>5</sup> Vgl. Magna, Zugriffsdatum: 22.12.12

Fertigungstechnologien Produktarchitektur, Plattformstrategie und Modularisierung. Abschließend werden regionale Absatzmarktentwicklungen bis zum Jahr 2020 analysiert.

Das Kapitel 4 umfasst die Betrachtung der Herstellungsprozesse des Kalt- und des Warmumformens. Alle zugeführten Energieflüsse werden aufgelistet, gemessen und ausgewertet. Aufbauend auf den Ergebnissen der Ist-Zustandsanalyse werden Einsparmöglichkeiten der Prozesse ausgearbeitet und bewertet.

Das Ergebnis des zweiten Teiles ist die Erstellung einer Energielandkarte in Kapitel 5. Es werden die Energiekosten für die einzelnen Regionen berechnet und auf einer globalen Landkarte dargestellt. Anhand dieser Landkarte können Unterschiede in der Kostenzusammensetzung einzelner Regionen aufgezeigt und diskutiert werden.

Im letzten Kapitel werden alle Ergebnisse der Markt- und Prozessanalyse in regionalen Energiekennkarten zusammengefasst.

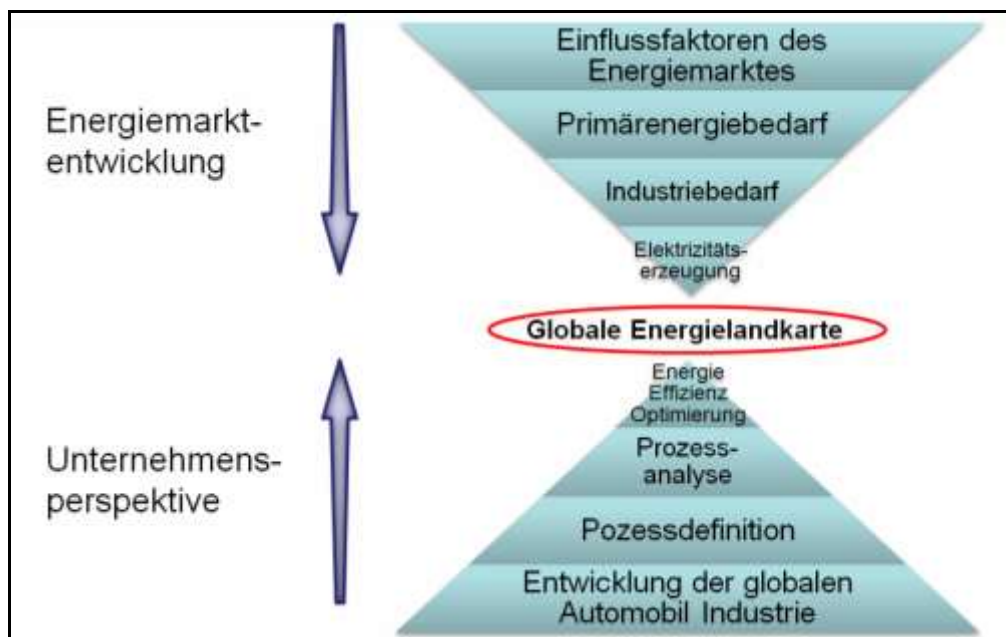


Abbildung 1-2: Vorgehensweise<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Eigene Darstellung

## 2 Die globale Entwicklung des Energiemarktes

*„Das Welt-Energiesystem ist an einem Wendepunkt angelangt. Es wird immer offensichtlicher, dass die aktuellen Wachstumstrends nicht nachhaltig sind – weder ökologisch, noch ökonomisch, noch sozial. Aber sie können – und sie müssen – geändert werden; dafür ist noch immer Zeit. Es ist keine Übertreibung zu sagen, dass die Zukunft des menschlichen Wohlstands von zwei Herausforderungen abhängt: Ob es uns gelingt, die Versorgung mit verlässlicher und leistbarer Energie zu sichern und ob eine rasche Wende in Richtung eines kohlenstoffarmen, umweltfreundlichen und effizienten Energiesystems gelingt. Notwendig ist nicht weniger als eine Energierevolution.“<sup>7</sup>*

Mit diesen drastischen Worten eröffnete die International Energy Agency (IEA) ihre Zusammenfassung des jährlichen globalen Energieausblicks im Jahr 2008. Dieser alarmierende Appell soll den Betrachtern die Augen öffnen und zugleich als Möglichkeit gesehen werden, nachhaltig Energie bereitzustellen und den Energieverbrauch kommender Generationen abzusichern. Es ist offensichtlich, dass der Einfluss des Energiesektors immens ist und uns sowohl beruflich als auch privat betrifft.

Laut Statistiken über die weltweit umsatzstärksten Industrieunternehmen 2012 wird deutlich, dass unter den zehn Spitzenpositionen acht Plätze von Mineralölkonzernen oder Energieunternehmen besetzt sind.<sup>8</sup> Dies zeigt, wie viel politischer und finanzieller Einfluss von dieser Branche ausgeht.

Die Preispolitik am Energiemarkt sowie die Abhängigkeit von Energieimporten veranlassen viele Industrienationen zum Umdenken in der Energiepolitik. Umweltbewusste, emissionsarme Technologien zur Energiegewinnung rücken mehr und mehr in den Vordergrund, um sich vor steigenden Rohstoffpreisen sowie der wachsenden Umweltbelastung schützen zu können.

Die Weichen für eine positive Entwicklung wurden schon früh gelegt, aber der erhoffte Erfolg lässt noch auf sich warten. Das „Kyoto Protokoll“ z.B. verpflichtet die Regierungen industrialisierter Nationen zur gemeinsamen Senkung ihrer Treibhausgasemissionen um 5,2% zwischen 2008 und 2012 gegenüber dem Niveau des Jahres 1990. Die Stromerzeugung durch Kohle zur Abdeckung der Grundlast ist daher politisch und ökologisch in vielen Regionen nicht mehr tragbar. Es bleibt der Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Stromerzeugung durch Erdgas, als

---

<sup>7</sup> International Energy Agency (2008), S. 3f

<sup>8</sup> Vgl. Statista, Zugriffsdatum: 29.10.2012

primärer Lösungsweg zur Reduzierung der Treibhausgase. Beide Erzeugungstechnologien sind jedoch grundsätzlich nicht für die Grundlastabdeckung gedacht. Die Verwendung von fossilen Energieträgern ist in vielen Regionen an Importe gebunden und im Fall der erneuerbaren Energien ist die extreme Wetterabhängigkeit ausschlaggebend.<sup>9</sup>

Solange jedoch ein Zugang zu "billiger Energie" besteht, wird die Industrialisierung weiter fortschreiten und Änderungen nur geringfügig durchgeführt werden. Eine 100%-ige Lösung ist nicht vorhanden und kann momentan nur abgeschätzt werden. Klar ist jedoch, dass dieses Thema immer mehr an Bedeutung gewinnt und kommende Generationen prägen wird.

Aufgrund der Vielzahl von unterschiedlichen Energiebehörden weltweit, welche sich mit der aktuellen wie auch der Situation im Jahre 2035 auseinandersetzen, kommt es hierbei zu unterschiedlichen Sichtweisen und zu unterschiedlichen Szenarien, welche für die Entwicklung der Energiewirtschaft verantwortlich sein könnten.

Ein Großteil der Daten und Fakten aus dieser Marktanalyse entstammen dem jährlich erscheinenden "World Energy Outlook" der International Energy Agency aus dem Jahre 2010. Die IEA wurde 1974 in Folge der auftretenden Ölkrise als autonome Einheit der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) gegründet. Die Hauptaufgabe der IEA ist die Erforschung neuer Technologien hinsichtlich ihrer Markteinführung und Anwendung, sowie die Erläuterung der Entwicklung der Energiemärkte. Des Weiteren kann die Energiebehörde mit Hilfe ihrer zur Verfügung stehenden Ölreserven strategisch in den Markt eingreifen und diesen teilweise regulieren.<sup>10</sup>

Die IEA geht in ihrem jährlichen Energieausblick von 3 Szenarien aus. Im „New Policies Szenario“ und im „450ppm Szenario“ geht man von wachsenden Verantwortungsbewusstsein der Staatengemeinschaft für nachhaltige Energieversorgung aus. Beim „Current Policies Szenario“ steht der nationale Eigenschutz, um bestehende Lebensbedingungen aufrecht zu erhalten, im Vordergrund.<sup>11</sup>

In den folgenden Analysen dieser Arbeit wird vom „*New Policies Szenario*“ ausgegangen. Alle Vereinbarungen, welche in Kopenhagen 2009 und Pittsburgh 2009 getroffen wurden, werden demnach von den Regierungen umgesetzt, um den globalen Anteil der Treibhausgase zu verringern und den Gesamtenergiebedarf in

---

<sup>9</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 24

<sup>10</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 2

<sup>11</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 46

Zukunft zu senken. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist der allmähliche Rückzug aus der fossilen Energieerzeugung in allen importierenden Regionen bis 2020. Energieeffizienz und die Einführung erneuerbarer Energiesysteme stehen im Vordergrund.<sup>12</sup>

Auf einen Vergleich der beiden anderen Szenarien wird verzichtet, da dies den Rahmen der Diplomarbeit überschreiten würde.

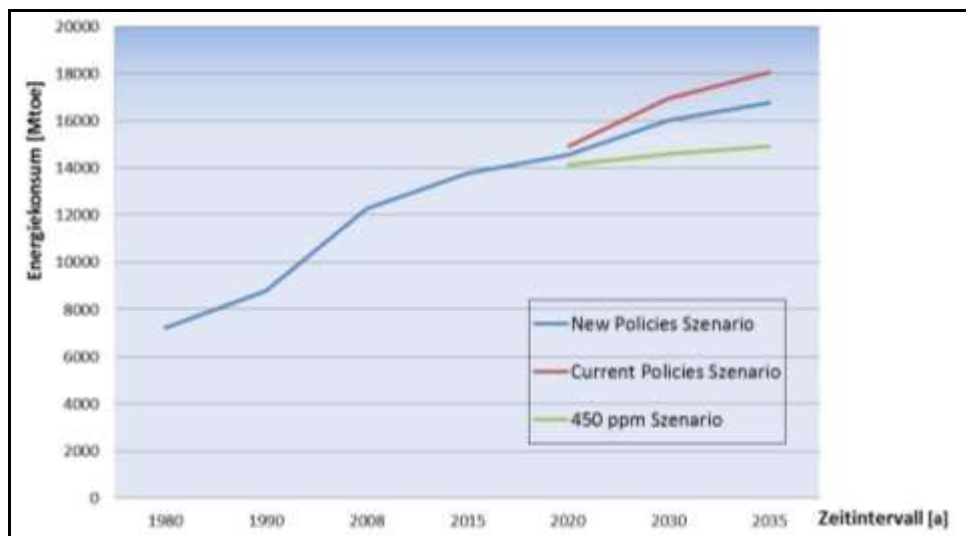


Abbildung 2-1: Globaler primärer Energieverbrauch 1980 bis 2035<sup>13</sup>

In Abbildung 2-1 sind die Verläufe der unterschiedlichen Szenarien dargestellt, um einen Überblick über mögliche Entwicklungen am Energiemarkt zu schaffen. Es ist ersichtlich, dass das „Current Policies Szenario“ den größten Energieverbrauch aufweist. Verglichen zum „450ppm Szenario“ würde es demzufolge zu einer zusätzlichen Energiebedarf von +21% im Jahr 2035 kommen.<sup>14</sup>

Die globale wirtschaftliche Entwicklung, das weltweite Bevölkerungswachstum und viele weitere Faktoren sind für den Anstieg des Energieverbrauchs in den kommenden Jahrzehnten verantwortlich. Im Kapitel 2.1 werden die wichtigsten Einflussgrößen der Entwicklung der Energiemärkte angeführt, analysiert und erklärt.<sup>15</sup>

<sup>12</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 61f.

<sup>13</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 618f.

<sup>14</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 619

<sup>15</sup> Vgl. Exxon Mobil (2010), Zugriffsdatum: 03.12.12, S. 3ff.

## 2.1 Einflussfaktoren auf den globalen Energiebedarf

Prinzipiell wird der globale Energiebedarf von unzähligen Parametern beeinflusst. Studien anerkannter Energieunternehmen und Behörden verweisen jedoch häufig auf dieselben Faktoren, welche in folgendem Abschnitt näher beschrieben werden.

### 2.1.1 Das Bruttoinlandsprodukt

Eine wichtige Bezugsgröße für Veränderungen des Energiemarktes ist das Wirtschaftswachstum der einzelnen Volkswirtschaften. Dieses wird anhand des Bruttoinlandsprodukt (BIP) bewertet. Je mehr wirtschaftliche Kraft ein Land besitzt, desto mehr Energie wird benötigt, um die Konjunktur und den wachsenden Wohlstand der Bevölkerung aufrecht zu erhalten bzw. gegebenenfalls erweitern zu können. Die Korrelation zwischen Wirtschaftswachstum und Energiekonsum ist in Abbildung 2-2 anhand des Beispiels der Volksrepublik China dargestellt. Alternativ zum BIP kann man hierbei auch die Kaufkraftparität (KKP) eines Landes betrachten. Der Verlauf beider Kurven ist weitestgehend ident und weist einen Korrelationsfaktor von 0,99 auf. Im Zeitraum von 1997 bis 1999 flachte die Wirtschaft ein wenig ab, steigerte sich aber in den folgenden 10 Jahren deutlich. Auch der Energiekonsum passte sich dieser Entwicklung an. Erst im Jahr 2001 erfolgte ein weiterer Anstieg. Die Trägheit eines staatlichen Energiesystems kann meist nur verzögert auf die Energienachfrage reagieren.

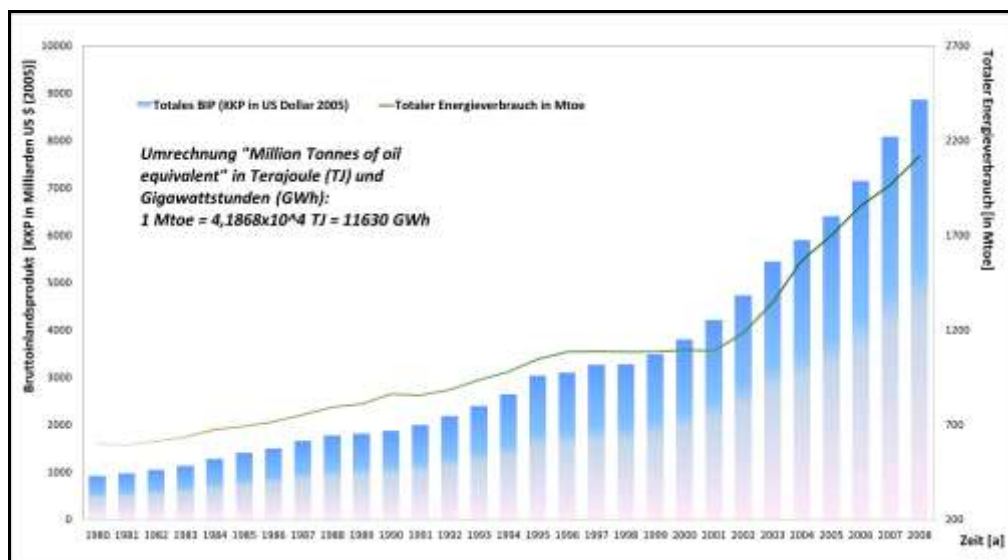


Abbildung 2-2: Entwicklung des BIP und des Energieverbrauches in China von 1980 bis 2008<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Eigene Darstellung: Worldbank Database, Zugriffsdatum: 03.10.12

Da sich diese Arbeit im ersten Teil mit der Veränderung des Energiebedarfes spezieller Regionen beschäftigt, wird in Tabelle 2-1 die wirtschaftliche mit der energetischen Entwicklung in Relation gebracht. Die Tabelle gibt einen Ausblick auf das künftige Wachstum der Regionen und den damit verbundenen, prognostizierten Energieverbrauch. Als Faktor wird der „Compound Average Annual Growth Rate“ (CAAGR) pro Jahr in Prozent angegeben. Diese Wachstumsrate bezeichnet die durchschnittliche, relative Veränderung einer Größe pro Zeiteinheit.

Regionen/Wachstum	Ø CAAGR 2010-2015		Ø CAAGR 2020-2035		Ø CAAGR 2008-2035	
	BIP	Energiebedarf	BIP	Energiebedarf	BIP	Energiebedarf
<b>OECD</b>	2,4%	0,1%	1,9%	0,1%	1,8%	0,1%
Vereinigte Staaten	2,4%	0,0%	2,1%	-0,1%	2,1%	0,0%
Europa	2,1%	-0,1%	1,8%	0,1%	1,6%	0,0%
<b>Non-OECD</b>	6,7%	3,1%	3,8%	1,6%	4,6%	1,9%
China	9,5%	5,1%	3,9%	1,2%	5,7%	2,1%
Brazil	4,1%	3,3%	3,1%	1,5%	3,3%	1,9%
<b>World</b>	4,4%	1,8%	2,9%	1,0%	3,2%	1,2%

**Tabelle 2-1: Regionale Entwicklung des BIPs verglichen zur Veränderung des Energiebedarfs<sup>17</sup>**

Allgemein erkennt man, dass die wirtschaftliche Entwicklung der OECD-Nationen verglichen zu den Nicht-Mitgliedsstaaten der OECD (Non-OECD) eher gering ist. Investments werden nicht mehr in den Kernmärkten getätigt, sondern verlagern sich immer mehr ins Ausland, um Produktionskosten zu senken und neue Märkte erschließen zu können. Der Energiebedarf der OECD-Nationen bleibt zwischen 2008 und 2035 trotz leichten wirtschaftlichen Aufschwungs von 1,8% gleich. Dies ist auch auf den erhöhten technologischen Fortschritt dieser Regionen zurückzuführen, da Maßnahmen zur Effizienzsteigerung energetischer Anlagen eine Reduktion der Energieintensität bewirkt haben.

Der jährliche Zuwachs des globalen Energieverbrauches im Zeitraum 2008 bis 2035 von 1,2%, erfolgt hauptsächlich in den Non-OECD Nationen. Speziell China treibt die globale Konjunktur voran und hat wirtschaftliche Wachstumsraten von 5,7% pro Jahr. Ausländische Firmen werden in Zukunft durch ihre Technologien und ihr Investment dafür sorgen, dass sich die Wachstumsmärkte weiterhin wirtschaftlich entwickeln.

<sup>17</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 68 und 618ff.



Verglichen zu den Industrienationen hat die Technologie und Infrastruktur der energetischen Systeme dieser Länder großen Nachholbedarf.<sup>18</sup>

Die Steigerung des Energiebedarfes von 3,1% bis 2015 ist hauptsächlich durch den Verbrauch Chinas bedingt, flacht aber wieder auf 1,6% bis 2035 ab. Zum einen benötigt die wirtschaftliche Entwicklung der Non-OECD Länder weiterhin viel Energie, aber auch Effizienz und Energieintensität pro Einheit BIP beinhalten noch Steigerungspotential.

Allgemein reagiert das technisch installierte Energiesystem in der fortlaufenden Entwicklung auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Veränderungen aber eher träge.<sup>19</sup>

### **2.1.2 Das Bevölkerungswachstum**

Der zweite große Einflussfaktor für den globalen Energieverbrauch ist die expandierende Weltbevölkerung. Momentan leben ungefähr 7 Milliarden Menschen auf der Erde und in den kommenden 20 Jahren wird diese Zahl um geschätzte 1,4 Milliarden ansteigen. Dies wäre ein Zuwachs von 0,9% pro Jahr, welcher zu 85 Prozent in den Non-OECD Staaten erfolgt.<sup>20</sup>

Im Jahr 1993 setzte das World Energy Councils als Maßstab für abgesicherte soziale und wirtschaftliche Entwicklung eine Energiemenge von 1,5 Tonnen Erdöl Einheiten pro Kopf voraus. Der durchschnittliche Wert der Non-OECD Nationen liegt momentan deutlich niedriger. Um den Maßstab erreichen zu können, müsste man die Energieverbrauchsmenge verglichen zum heutigen Stand um 40% steigern.<sup>21</sup>

### **2.1.3 Der Energiepreis**

Beeinflusst wird der Energiepreis hauptsächlich durch Ressourcenknappheit fossiler Energieträger und durch die bei der Transformation in nutzbare Energie entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Beide Effekte werden den Energiepreis steigen lassen. Rohstoffpreise, welche sich nach Angebot und Nachfrage richten, werden die Entwicklung eines Landes und dessen Energiekonsum beeinflussen. Ein interessanter Benchmark für die Preisentwicklung von Rohstoffen ist der Rohölpreis,

---

<sup>18</sup> Vgl. Handelsblatt, Zugriffsdatum: 04.01.13

<sup>19</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 7

<sup>20</sup> Vgl. Exxon Mobil (2010), Zugriffsdatum: 03.12.12, S. 6

<sup>21</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 100

der sich in Zukunft sehr stark nach dem Bedarf des asiatischen Marktes richten wird. Der Handel weist eine hohe Preisvolatilität auf und bestimmt mit einer geringen Zeitverzögerung die Erdgaspreise. Andererseits werden Internalisierungsmaßnahmen von externen Kosten auf Grund zukünftiger Gesetzgebungen wie CO<sub>2</sub>-Abgaben/Zertifikate und Ökosteuern die Wertschöpfung einer Unternehmung mindern.<sup>22</sup>

Im Kapitel 2.5 werden weitere Einflussfaktoren aufgeführt und näher erklärt.

#### **2.1.4 Der CO<sub>2</sub>-Preis**

Laut Vattenfall's Präsentation 2007 „Global Mapping of Greenhouse Gas Abatement Opportunities up to 2030“ wird ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von +78% im Jahr 2030 bei unveränderten Prozessen prognostiziert. Dies entspricht einem jährlichen Ausstoß von 16,7 Gt<sub>CO2</sub>, zu 70% verursacht durch die Stromerzeugung aus Kohlekraftwerken.<sup>23</sup>

Um diesem Aufwärtstrend entgegenzuwirken, bedarf es regionaler Lösungsvarianten. Die europäische Union und Neuseeland sind Vorreiter hinsichtlich des Handels mit Emissionen. Das in Europa seit 1. Jänner 2005 in Kraft getretene europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) soll den Emissionsausstoß der energieintensiven Industrien kontrollieren. Somit ist es industrielle Unternehmen möglich, durch Ankauf legal gehandelter CO<sub>2</sub>-Zertifikate einer Bestrafung von 100 €/t bei Überschreitungen der Treibhausgasrichtwerte im Zeitraum von 2008 bis 2012 zu entgehen. Dieses Handelssystem soll nachhaltig ein umweltbewussteres Denken antreiben und auch Investitionen in energieeffiziente Systeme rechtfertigen. Somit ist es der Politik möglich eine Mengelösung statt einer zusätzlichen Steuer einzuführen, um die Umwelt direkt zu beeinflussen. Momentan ist der Zertifikatshandel jedoch auf ein Tief von 7 €/t gefallen. Wird die Menge der angebotenen Zertifikate am Markt nicht gesenkt, muss das Emissionshandelssystem für gescheitert erklärt werden. Die Vereinigten Staaten erzielten Erfolge in der SO<sub>2</sub>-Limitierung durch sogenannte „Cap & Trade Systeme“. Einige US-Staaten haben dieses System bereits zur Regulierung für CO<sub>2</sub>-Emissionen übernommen, jedoch sollte eine landesweite Lösung angestrebt werden. Laut einer Studie von British

---

<sup>22</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 87

<sup>23</sup> Vgl. Vattenfall (2007), Zugriffsdatum: 05.11.12, S. 5

Petrol (BP) ist durch Einführung solcher Maßnahmen ein 10%-iger Rückgang der Emissionen bis 2030 in den OECD-Staaten zu erwarten.<sup>24</sup>

### 2.1.5 Politische Einflussfaktoren

Die Aufteilung der Rohstoffvorkommen ist weltweit unterschiedlich. Dies hat zur Folge, dass Regionen abhängig von Rohstoffimporten sind und mit steigender Industrialisierung auch bleiben werden. Die energiepolitische Ausrichtung einer Nation wird in Zukunft die Energieabhängigkeit des Landes vorgeben und versuchen, eine gesicherte Versorgung zu gewährleisten. Politische Entscheidungen, Gesetze, vorhandene Verträge, Monopolstellungen oder auch politische Konflikte zwischen Ländern können das Verbraucherverhalten positiv oder negativ beeinflussen.<sup>25</sup>

Bodenschätze wie „seltene Erden“ können dieses Konfliktpotential darstellen. Unter seltenen Erden versteht man 17 Elemente, welche für die Herstellung von Elektronikprodukten essentiell geworden sind. China besitzt rund 90% dieser Rohstoffvorkommen und sorgte 2009 mit einer 6-fachen Preiserhöhung für Unmut und Umdenken der Industrieländer.<sup>26</sup>

Allgemein hat die globale Politik einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Energiemärkte in den kommenden Jahrzehnten. Die Gefahr besteht darin, dass sich große Nationen wie China oder Indien in ihrem Wachstum nicht bremsen lassen wollen und Industrienationen nicht freiwillig bereit sind, ihren Lebensstandard und Energieverbrauch zu senken.<sup>27</sup>

### 2.1.6 Technologischer Fortschritt und Innovationen

Der Ansporn, in Forschung und Entwicklung neuer Technologien zu investieren, entsteht hauptsächlich durch politische Subventionen, die steigenden Energiepreise, das wachsende Umweltbewusstsein der Bevölkerung sowie die wachsende Bedeutsamkeit, flexibel in der Energieerzeugung handeln zu können. Eine Unternehmung kann durch Implementierung neuer Technologien und technischer Optimierungsmaßnahmen sowie dem verbesserten Zusammenspiel zwischen Produktion und Logistik einen erhöhten Produktionsoutput und Mehrwert erzielen.

---

<sup>24</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 81

<sup>25</sup> Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 83

<sup>26</sup> Handelsblatt (2012), Zugriffsdatum: 23.10.2012

<sup>27</sup> Vgl. International Energie Agency (2010), S. 47

Dabei gilt die Energieeffizienz als entscheidender Punkt und beinhaltet großes Potential.<sup>28</sup>

Das Energieunternehmen „British Petrol“ (BP) geht davon aus, dass in Folge neuer effizienterer Technologien bereits im Jahr 2035 etwa 1/5 des weltweiten Energieverbrauchs von 2010 eingespart werden kann. Momentan steigt die globale Effizienz in der Energieherstellung jährlich um 2%, jedoch steht der technologische Fortschritt einem wachsenden, energetischen Verbrauch von 20% bis 2035 gegenüber.<sup>29</sup>

Wie man am Beispiel der Volksrepublik China erkennen kann, weist die Effizienzsteigerung auch Grenzen auf. Seit 1980 verbesserte sich die Intensität der eingesetzten Energie pro erzielte Einheit BIP um mehr als das 3-fache. Um zum Beispiel Klimaziele einhalten zu können, muss die Volksrepublik nun mehr auf emissionslose Technologien setzen, da allein durch die Effizienzsteigerungsmaßnahmen nicht mehr der gewünschte Effekt erzielt werden kann.<sup>30</sup>

Betriebsintern scheitern Maßnahmen zur Wirkungsgradsteigerung und Emissionssenkung meistens am „Return on Investment“ (ROI). Eine Umfrage unter Energieberatern ergibt unter anderem, dass lange Amortisationszeiten zu 73% Schuld an der Nichtimplementierung neuer technologischer Systeme sind. Zudem nehmen im Durchschnitt Energiekosten nur einen 2%-igen Anteil des betriebsinternen Bruttoproduktionswertes ein.<sup>31</sup>

### **2.1.7 Die Verfügbarkeit der Rohstoffe**

Spricht man über Verfügbarkeit von Rohstoffen, muss man zwischen zwei Begriffen eine deutliche Unterscheidung treffen. Zum einen gibt es Reserven, welche definiert sind als *„Nachgewiesene, zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbare Energierohstoffmengen“*.<sup>32</sup> Zum anderen findet man den Begriff Ressourcen, welche definiert sind als *„Nachgewiesene, aber derzeit technisch und/oder wirtschaftlich nicht gewinnbare sowie nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Energierohstoffmengen“*.<sup>33</sup>

---

<sup>28</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 77ff.

<sup>29</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 9

<sup>30</sup> Vgl. Worldbank Database, Zugriffsdatum: 03.10.12

<sup>31</sup> Vgl. Schmid (2004), S.148, S. 26

<sup>32</sup> Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 83

<sup>33</sup> Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 84

Bei der Energieversorgung sollten trotz steigenden Verbrauchs bis 2030 keine Versorgungsrisiken auftreten. Es sind noch große unentdeckte oder zum Teil noch nicht förderbare Energiequellen vorhanden, welche in Zukunft den globalen Energiebedarf befriedigen zu können. Das Gesamtvolumen der global vorliegenden Energiemenge beträgt rund 630.000 EJ. Bei einer Förderrate von 479 EJ im Jahr 2010 scheint es, als ob noch Unmengen an Rohstoffen zur Verfügung ständen. Jedoch täuscht dies, da die meisten Rohstoffe zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht förderbar sind oder nur geologisch vermutet werden. Abbildung 2-3 zeigt die großen Potentiale in Nordamerika, Asien und Australien.<sup>34</sup>

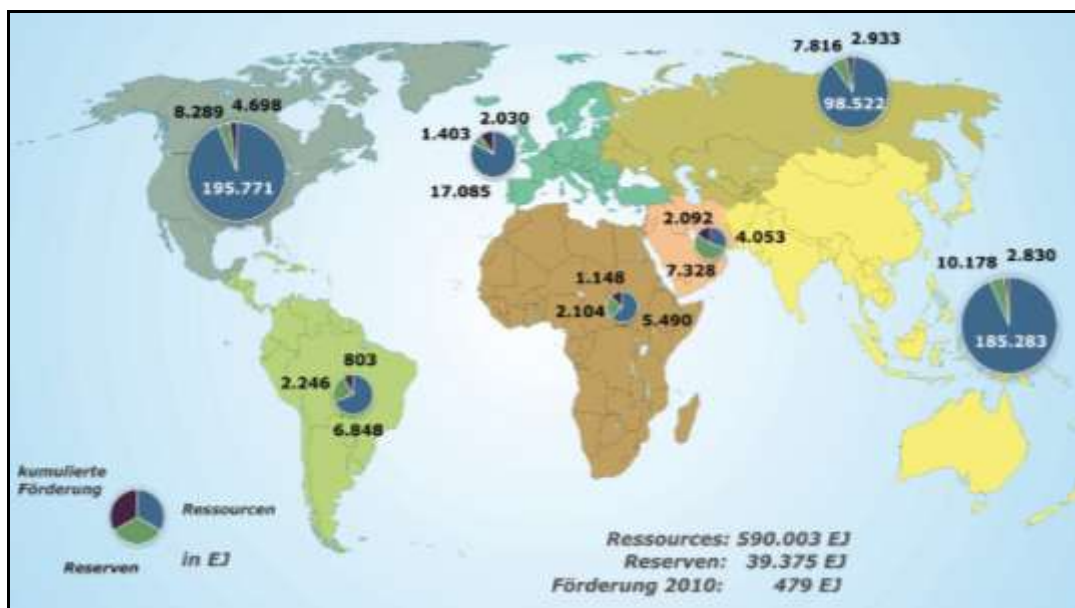


Abbildung 2-3: Verfügbare, regionale Reserven und Ressourcen<sup>35</sup>

Zum regionalen Vergleich sollten die Reserven und die kumulierte Förderung in den Regionen verwendet werden. Obwohl der Nahe Osten durch die vorhandenen Erdölreserven einen beachtlichen Einfluss hinsichtlich der Energiepreise besitzt, ist die Fördermenge in EJ verglichen mit Nordamerika und anderen Regionen eher gering. Dies unterstreicht umso mehr den Stellenwert des Erdöles in der globalen Energiepolitik.

Tabelle 2-2 vergleicht die Energieträger weltweit bezüglich ihrer Verfügbarkeiten. Großes Abbaupotential, aber auch damit verbundene Umweltbelastung bei der Energieerzeugung, weist die Hart- und Weichkohle mit über 50% der Reserven und

<sup>34</sup> Vgl. Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 84

<sup>35</sup> Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 84

über 75% der Ressourcen auf. Erdgas und Erdöl sind zwar noch eine bestimmte Zeit gleichmäßig vorhanden, jedoch ist nicht eindeutig geklärt, ob die ganze Menge gefördert werden kann. Diese Rohstoffe könnten in absehbarer Zeit nicht mehr wie gewohnt zur Verfügung stehen oder sind durch starke Preiserhöhung nicht mehr wirtschaftlich tragbar. Fraglich ist auch, ob diese Rohstoffe bei steigender Nachfrage stetig offeriert werden kann.

Energieträger	Erdöl	Erdöl, nicht konventionell	Erdgas	Erdgas, nicht konventionell	Hart- kohle	Weich- kohle	Uran	Thorium
Reserven [EJ]	7056	2011	7173	127	18031	3185	1377	415
Ressourcen [EJ]	5975	11150	11858	76703	426758	49367	5685	2508

**Tabelle 2-2: Reserven und Ressourcen der globalen Energieträger<sup>36</sup>**

Die Welt sitzt auf enormen Energiemengen, die jedoch erst erschlossen werden müssen. Die Problematik besteht meist in der technischen und wirtschaftlichen Rentabilität sowie in der sozialen Akzeptanz bezüglich der Umweltverträglichkeit. Die energetischen Vorräte sind regional unterschiedlich verteilt. Regionen mit hohen Förderraten und geringem Eigenbedarf stehen Regionen mit knappen Rohstoffvorräten und zunehmenden Bedarfswerten gegenüber. Ein Ausweg aus diesem Szenario der Abhängigkeiten ist der Ausbau der regenerativen Energiequellen.

## 2.2 Der globale, primäre Energiebedarf

In diesem Kapitel werden die Märkte hinsichtlich ihrer Energiegewinnung aus Primärenergieträgern analysiert. Allgemein bezeichnet man als Primärenergie die benötigte Bruttoenergie eines Landes. Die Bruttoenergie besteht aus der Summe aller Energieimporte, sowie aller im Land gewonnenen Energiequellen, abzüglich aller Energieexporte. Durch Transformation dieser Primärenergieträger wird sekundäre Energie erzeugt, welche in weiteren Prozessschritten als Nutzenergie verwendet werden kann.<sup>37</sup>

<sup>36</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12

<sup>37</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 24

### 2.2.1 Primäre Energieträger und deren Veränderung bis 2035

Die globale Primärenergieherstellung wird größtenteils von drei fossilen Energieträgern - Kohle, Erdgas und Erdöl - gedeckt. Diese sind bis heute unumstritten die Marktführer und werden auch 2035 knapp 3/4 des weltweiten Energiekonsums befriedigen. Abbildung 2-4 beschreibt die Entwicklung der globalen Primärenergieträger bis zum Jahr 2035.

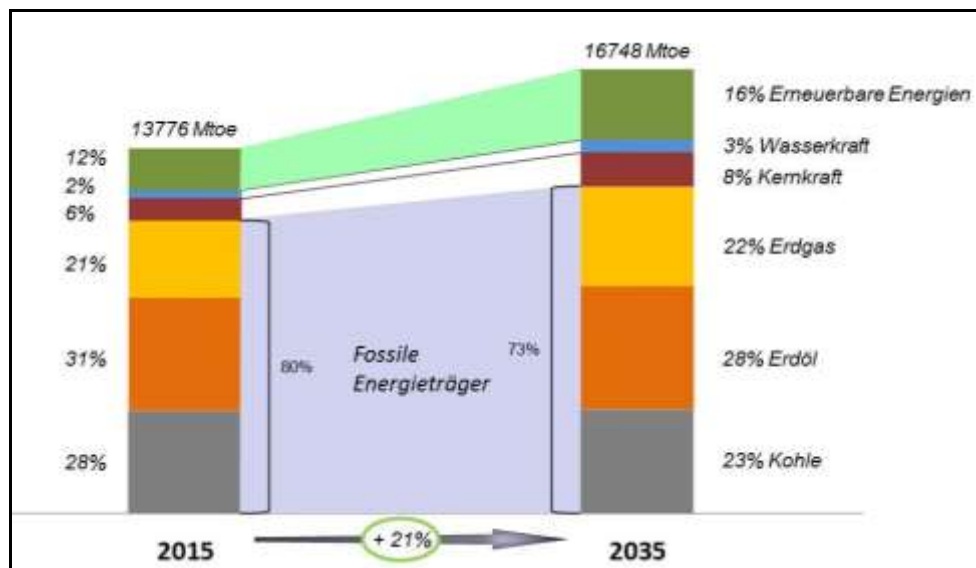


Abbildung 2-4: Primärer Energiebedarf von 2015 bis 2035<sup>38</sup>

Mit zunehmender Nachfrage und steigenden Preisen für Rohstoffe ist die Nachfrage nach anderen Energieträgern weltweit groß. Erneuerbare Energiequellen wie Wind, Biomasse und Geothermie rücken immer mehr in den Fokus des Interesses und weisen eine Steigerung von 12% auf 16% auf. Auch die Kernenergie als CO<sub>2</sub>-lose Energiequelle wird vor allem im asiatischen Bereich auf Grund des steigenden Bedarfes einen Aufschwung erleben und sich verglichen zum Jahr 2015 um 2 Prozentpunkte (PP) steigern. Zusammenfassend betrachtet nehmen die nicht fossilen Energieträger einen Betrag von 27% des gesamten Bedarfes ein.

Allgemein gehen vom 21%-igen Bedarfsanstieg im Betrachtungszeitraum rund 96% vom ökonomischen Wachstum der Non-OECD Ländern aus, welche im Jahr 2035 auch 65% der globalen Energiemenge in Anspruch nehmen.<sup>39</sup>

<sup>38</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 618

<sup>39</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 16

### 2.2.1.1 Erdöl

Erdöl wird auch bis 2035 mit einem Anteil von 28% (-3PP zu 2015) der wichtigste Energieträger zur Abdeckung der globalen Energienachfrage bleiben. Die weltweite Ölversorgung wird trotz des steigenden Bedarfs in den kommenden Jahren gesichert sein. Etwa 60% des Erdöls wird für den Transport von Waren und Personen verwendet. Konventionelles Erdöl bleibt die dominante Energiequelle im Transport, obwohl es gegenüber unkonventionellen Erdölen und Biotreibstoffen im Transport auf Land 7% des Marktanteils auf insgesamt 89% bis zum Jahr 2035 einbüßen wird. Die gesamten täglichen Fördermengen im Jahr 2035 wird bei 99 mb/d liegen, welches eine Zunahme von 18% im Zeitraum von 2009 bis 2035 ergeben würde und einen jährlichen Zuwachs von 2,4%. Im Jahr 2035 betragen die Anteile von Flüssiggas (NGL) und Tiefseeölen (Deep Water) etwa 40% der Förderung. Die Produktionssteigerung der Erdölförderung steht im Gegensatz zu den gefundenen neuen Erdölfeldern. Auf zwei verbrauchte Barrel Öl kann nur eine durch eine neue Quelle abgedeckt werden. Mittlerweile ist die Hälfte aller neuen Ölfunde auf Offshore-Bohrungen zurückzuführen. Viele in den 1970-er Jahren gefundenen Felder haben ihr Fördermaximum erreicht und weisen rückgängige Raten auf. Die Produktion der Organisation ölexportierender Länder (OPEC) nimmt mit 52% den Großteil der Ölförderung ein. Bei einer Untersuchung der Förderraten erschlossener Ölfelder haben bereits 75% ihr Maximum erreicht und weisen Produktionsrückgänge auf. 2007 wurden rund 80% der globalen Produktion aus diesen Ölfeldern abgedeckt und nur 20% entsprangen aus neuen Förderquellen.<sup>40</sup>

Der Erdölkonsum der Non-OECD Nationen legt jährlich um 1,3% zu und erreicht einen Anteil von 55% der gesamten Erdölmenge 2035. Diese Entwicklung kann aber speziell in Asien nicht durch eigene Erdölquellen bedient werden. Die asiatische Region ist zu 83% auf Importe aus dem Nahen Osten, Südamerika und Afrika angewiesen. Dem hohen Verbrauch steht aber auch ein Bedarfsrückgang speziell in Industrienationen gegenüber. Dieser ist auf umweltbewussteres Denken, höhere Preise und neue brennstoffeffiziente Technologien im Transport zurückzuführen.<sup>41</sup>

Speziell der chinesische Konsum wird entscheidend für künftige Marktentwicklungen des Rohölpreises sein. Ein Beispiel soll die Problematik näher erläutern:

Eine 1%-ige schnellere Wachstumsrate des Pkw-Bestands pro Jahr in China würde die Fahrzeugflotte bis 2035 um 95 Millionen Stück erhöhen. Dies verursacht eine

---

<sup>40</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 116f.

<sup>41</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 105, 128 und 135



zusätzliche Erdölnachfrage von 0,8 mb/d und einen Anstieg von 0,8% der weltweiten Nachfrage. Geht man von der gleichen Wachstumsrate in allen Non-OECD Ländern aus, würde ein zusätzlicher Anstieg von 3,6 mb/d bzw. eine 4%-ige Erhöhung der weltweiten Nachfrage zu erwarten sein.<sup>42</sup>

Der höheren Marktnachfrage folgt meist bei gleichbleibender Förderung eine Preiserhöhung. Eine Preiserhöhung kann den Konsum wiederum negativ beeinflussen. Positiv ist zu erwähnen, dass Preisanstiege eine intensivere Produktion von unkonventionellen Erdölen verursachen. Die Förderung unkonventioneller Erdöle ist kostenintensiv und kann nur mit aufwendiger Technologie und intensiver Nachbehandlung wirtschaftlich betrieben werden. Als Maßstab für Rentabilität der Förderung von unkonventionellen Erdölen gilt die Entwicklung des Rohölpreises, die soziale Akzeptanz hinsichtlich der ökologischen Belastung, sowie CO<sub>2</sub>-Regulierungen und Fördergelder nicht konventioneller Abbaumethoden. Tabelle 2-3 zeigt einige unkonventionelle Erdöle, die momentan im Fokus der Mineralölunternehmen stehen und deren prognostizierter Beitrag zur globalen Ölversorgung im Jahr 2035. Da ein Marktpreis unter 50\$ pro Barrel in Zukunft nicht wahrscheinlich ist, werden die Anteile des unkonventionellen Erdöls in den folgenden Jahrzehnten weiterhin steigen. Somit können diese Fördermaßnahmen insgesamt etwa 10% der gesamten, täglichen Ölnachfrage 2035 abdecken.<sup>43</sup>

Art des unkonventionellem Erdöls	Fördervolumen im Jahr 2035
Kanadische Ölsande (Teersand)	bis zu 4,2 mb/d
Schweröle aus Venezuela	bis zu 2,5 mb/d
Ölschiefer	bis zu 0,3 mb/d
Verflüssigte Kohle (coal to oil)	bis zu 1,1 mb/d
Gaskondensate (gas to liquid)	bis zu 0,9 mb/d

**Tabelle 2-3: Unkonventionelle Erdöle und deren Fördervolumen im Jahr 2035<sup>44</sup>**

Ein Stellhebel ist die Reduzierung des Pro-Kopf-Verbrauches. Neue Technologien und Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung werden die künftigen Herausforderungen der Automobil- und Transportbranche sein.

<sup>42</sup> International Energy Agency (2010), S. 107f.

<sup>43</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 23 und 143ff.

<sup>44</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 143f.

### 2.2.1.2 Braun- und Steinkohle

Allgemein unterscheidet man bei Festbrennstoffen zwischen Braun- und Steinkohle, wobei der Kohlenstoffgehalt die Differenzierung beider Kohlearten angibt. Bei einem Gehalt von 55% bis 65% der Festbrennstoffmenge spricht man von Steinkohle. Bei einem Kohlenstoffgehalt unter 55% wird die Kohle dem Bereich Braunkohle zugeordnet. Der Kohlenstoffgehalt gibt den Heizwert des Brennstoffes an. Je höher dieser ist, umso mehr Energie kann aus einem Kilogramm Brennstoff gewonnen werden. Die Stromerzeugung mittels Kohle gilt speziell in Non-OECD Ländern als besonders lukrativ, da die Rohstoffpreise pro erzeugten MWh<sub>th</sub> um 2/3 günstiger sind verglichen zu Erdgas, Erdöl und Biomasse. Jedoch entstehen bei der Kohleverfeuerung hohe Mengen an CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen, welche die Ökologie stark belasten. Die stetige Erhöhung der Fördermenge steht im Widerspruch, mit der seit den 1990er Jahren international beschlossenen Treibhausgasreduktion und zwingt technologisch entwickelte Nationen zum Umdenken bei der Energieerzeugung durch Kohle.<sup>45</sup>

Es besteht kein Zweifel daran, dass Kohle ein wichtiger Primärenergieträger ist und in Zukunft sein wird. Die Vergangenheit zeigt, dass der Kohlebedarf von insgesamt sechs wirtschaftlich starken oder sehr bevölkerungsreichen Regionen ausgeht: Indien, China, Russland, Japan, die europäische Union und die Vereinigten Staaten. Diese Nationen sind nicht nur für 70% des globalen BIPs sowie des energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich, sondern verbrauchten auch 83% der weltweit benötigten Kohlemenge im Jahr 2008. Der Einfluss des Energieträgers Kohle 2035 sinkt verglichen zum Jahr 2015 um 5PP auf 23%. Dies hat aber keine Auswirkungen auf die verbrauchte Menge im Jahr 2035, welche verglichen zu 2015 konstant geblieben ist (+1%). Auffällig ist, dass aufgrund von Maßnahmen zur Dekarbonisierung und vertraglich zugesicherten Emissionskürzungen der Konsum in den OECD-Staaten jährlich um -1,7% abnimmt. Emissionsarme Technologien rücken in den Vordergrund. Auch politische Entscheidungen, wie der Ausstieg aus der Hartkohleproduktion von Deutschland und Polen bis 2018, sorgen für einen schrittweisen Rückgang der Kohle. Diese Verbrauchsreduzierung steht einer Verbrauchserhöhung der Non-OECD Staaten, ausgehend von asiatischen Ländern, mit einer Rate von 1,4% pro Jahr gegenüber. Hauptverantwortlich für diese Entwicklung ist das wirtschaftliche Wachstum, speziell in China, Indien und

---

<sup>45</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 250ff.

Indonesien. Diese Staaten werden mit einem Anteil von 82% am globalen Kohleverbrauch im Jahr 2035 beteiligt sein.<sup>46</sup>

In der Elektrizitätserzeugung bleibt die Kohleverbrennung die dominante Quelle. Etwa 60% der zusätzlichen Kohlemenge im Jahr 2035 kann der Elektrizitätsgewinnung zugeschrieben werden.<sup>47</sup>

Ein positiver Trend ist im Kohleverbrauch pro BIP-Einheit zu erkennen. Dieser sollte 2035 verglichen zum heutigen Stand um 60% sinken.<sup>48</sup>

### 2.2.1.3 Erdgas

Aufgrund der weltweiten Energienachfrage, neuer Fördertechnologien und geringeren Emissionsausstoßes ist eine erhöhte Verwendung von Erdgas in Zukunft zu erwarten. Da bei der Verbrennung neben dem um 55% reduzierten CO<sub>2</sub>-Anteil auch Wasserdampf entsteht, gilt Erdgas nicht als umweltfreundlich, jedoch als klimaschonend. Zudem ist Erdgas ein einflussreicher Partner im Zusammenspiel mit erneuerbaren Energien, um wetterabhängige Schwankungen im Netz flexibel kompensieren zu können. Erdgas ist in der globalen Betrachtung das schnellst ansteigende, fossile Brennstoffmaterial mit einer Wachstumsrate von 1,4% pro Jahr und einem Gesamtanteil 2035 von 22% (+1PP zu 2015) des Primärenergieverbrauchs. Der Anteil am primären Energiebedarf steigt nur um 1PP, die konsumierte Erdgasmenge wird sich aber um das 3-fache erhöhen. 2035 ist Erdgas kurz davor Kohle als zweitstärksten Energieträger ablösen zu können. Im Jahr 2035 werden 4,5 Billionen m<sup>3</sup> Erdgas gefördert, welches einen 44%-igen Anstieg im Vergleich zum Jahr 2008 entspricht. 35% des globalen Anstiegs der Gasproduktion sind auf unkonventionelle Förderung durch Schiefergas, Kohleflözgas und schwer zugängliches Gas (sogenanntes „Tight Gas“) zurückzuführen. 45% des globalen Gasanstiegs werden bis 2035 zur Generierung von Strom und Wärme verbraucht.<sup>49</sup>

80% des gesamten Wachstums ist den Non-OECD Staaten zuzuschreiben. Allein in Asien ergibt sich eine Steigerungsrate von 4,6% jährlich.<sup>50</sup>

---

<sup>46</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 199ff.

<sup>47</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 207

<sup>48</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 37

<sup>49</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 179ff.

<sup>50</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 618ff.

#### 2.2.1.4 Kernkraft

Die Entdeckung Albert Einsteins, Masse in Energie zu verwandeln, wurde zu Anfang des 20. Jahrhunderts publik. Anfangs wurde diese Technologie im militärischen Bereich verwendet, später zum Abdecken ziviler Energiebedürfnisse. Auch der Ölpreisschock in den Jahren 1973 und 1979 sorgte für einen raschen Ausbau dieser CO<sub>2</sub>-freien Technik in Amerika und Europa. Jedoch gilt die nukleare Energiegewinnung seit dem Beginn ihrer Entdeckung als äußerst bedenklich.<sup>51</sup>

Zudem ist die weitere Entwicklung sehr stark geprägt von politischen Entscheidungen. Die Politik reagiert meist sehr sensibel auf gesundheitsschädigende Störfälle. Ein Beispiel ist die Katastrophe in Fukushima, welche ein weltweites Entsetzen und regionale Veränderungen der europäischen und japanischen Energiepolitik auslöste.<sup>52</sup>

Die komplexe Technologie sowie die benötigte Zustimmung der Staatengemeinschaft zur Berechtigung der zivilen Nutzung, lassen einen schnellen globalen Ausbau der Kernkraft nicht zu. Der Anteil im Jahr 2035 wird 8% (+2PP zu 2015) betragen und ein Verbrauchswachstum um 62% vorweisen können. Der Hauptzweck des Einsatzes von Kernenergie ist die Elektrizitätserzeugung. 2035 werden 14% des weltweiten Strombedarfs durch Atomkraftwerke abgedeckt. In den OECD-Staaten hat die Atomenergie 2035 sogar einen Anteil von 23%. Der eigentliche Zuwachs erfolgt aber in wirtschaftlich wachsenden Entwicklungs- und Schwellenländern. In Non-OECD Asien kommt es zu einem Gesamtanteil von 8% (+6PP zu 2015). Länder wie China und Indien haben bezüglich ihrer großen Energienachfrage keine andere Wahl als die Atomenergie zu forcieren, um den Konsum zu tilgen.<sup>53</sup>

#### 2.2.1.5 Erneuerbare Energien

*„Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“<sup>54</sup>*

Diese Aussage beschreibt den Begriff der Nachhaltigkeit und die Wichtigkeit kommender Generation die Möglichkeit zu geben, ihre Bedürfnisse befriedigen zu können. Alle weltweit vorhandenen fossilen Energiequellen sind nur begrenzt

---

<sup>51</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 270f.

<sup>52</sup> Vgl. Deutsche Welle (2011), Zugriffdatum: 15.02.13

<sup>53</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 618 und 668

<sup>54</sup> Erdmann/Zweifel (2008), S. 141

verwendbar und nicht regenerierbar. Das globale Potential alternativer Energieträger ist enorm und übersteigt die momentane Bereitstellung der fossilen Rohstoffe um ein Vielfaches. Die regenerative Energieerzeugung erfolgt momentan größtenteils durch Wasserkraft. Jedoch erzielten technisch optimierte Systeme zur Nutzung der Sonnen- und Windenergie in den letzten Jahrzehnten großen Erfolg. Zudem rücken Systeme für Wellen- und Gezeitenenergien, für Geothermie und für die energetische Nutzung von Biomasse in den Fokus. Der Anteil aller regenerativen Energieträger steigt bis 2035 um ein Drittel und nimmt 19% (+5PP zu 2015) am globalen Primärenergiebedarf ein, bei einer jährlichen Wachstumsrate von 8,2%. Der Hauptverwendungszweck dieser Energiequelle besteht in der Generierung von Elektrizität (32% in 2035) und in der Bereitstellung von Wärme (16% in 2035).<sup>55</sup>

Die Energieerzeugung durch Sonne und Wind ist wetterabhängig und kann zum Beispiel durch flexible Gaskraftwerke bei Einspeiseausfällen und Netzschwankungen kompensiert werden. Auch Biomassekraftwerke sind von Preisen des Rohstoffes abhängig. Um regenerative Technologien weiterhin wettbewerbsfähig betreiben zu können, benötigt die Entwicklung Subventionen und finanzielle Mittel, welche vom Staat bereitgestellt werden müssen. Im Zeitraum zwischen 2010 und 2035 werden laut IEA 5,7 Billionen Dollar weltweit in erneuerbare Energien investiert. Weitere 335 Milliarden Dollar sollen die Sparte Biotreibstoffe finanziell unterstützen und vorantreiben.<sup>56</sup>

Das größte Potential aller Energiequellen, außer der bereits stark ausgebauten Wasserkraft, weisen die Photovoltaik (PV) und die Windkraft (Wind) auf. Mit geschätzten installierten Leistungen von 446 GW (PV) und 1.089 GW (Wind) im Jahr 2030 sind beide Systeme mitverantwortlich für die schnelle, regenerativen Entwicklung. Momentan sind die Produktionskosten speziell der PV noch sehr hoch, diese können sich aber bis zum Jahr 2030 um 82% senken. Hohe Lernraten von bis zu 18% bei der PV, sowie 11% bei der Windenergie und Geothermie werden für weitere Investition in Forschungsprojekten sorgen.<sup>57</sup>

In den folgenden Abschnitten werden einzelne Regionen näher betrachtet und aufgrund ihres Energiebedarfes analysiert.

---

<sup>55</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 279

<sup>56</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 292

<sup>57</sup> Vgl. Vattenfall (2007), Zugriffsdatum: 05.11.12, S. 34

### 2.2.2 Regionale Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

Der wirtschaftliche Aufschwung in Asien und die ökonomische Stagnation der Industrienationen spiegelt sich im Energiebedarf der einzelnen Regionen wider. Der Energieanspruch der Non-OECD Länder steigt von 2015 bis 2035 um 34%, verglichen zu 2% der OECD-Nationen. Im Gesamtverbrauch ist dies knapp die doppelte Menge. Interessant ist die unterschiedliche Energiebereitstellung der Regionen. Asien bleibt enorm abhängig von Kohle und Erdöl, wobei sich in den Industrienationen ein sehr ausgeprägter Energiemix erkennen lässt. Brasilien deckt die Hälfte des Energieanspruchs durch Biomasse und Wasserkraft ab. Abbildung 2-5 zeigt die regionale Entwicklung im Zeitraum 2015 bis 2035.

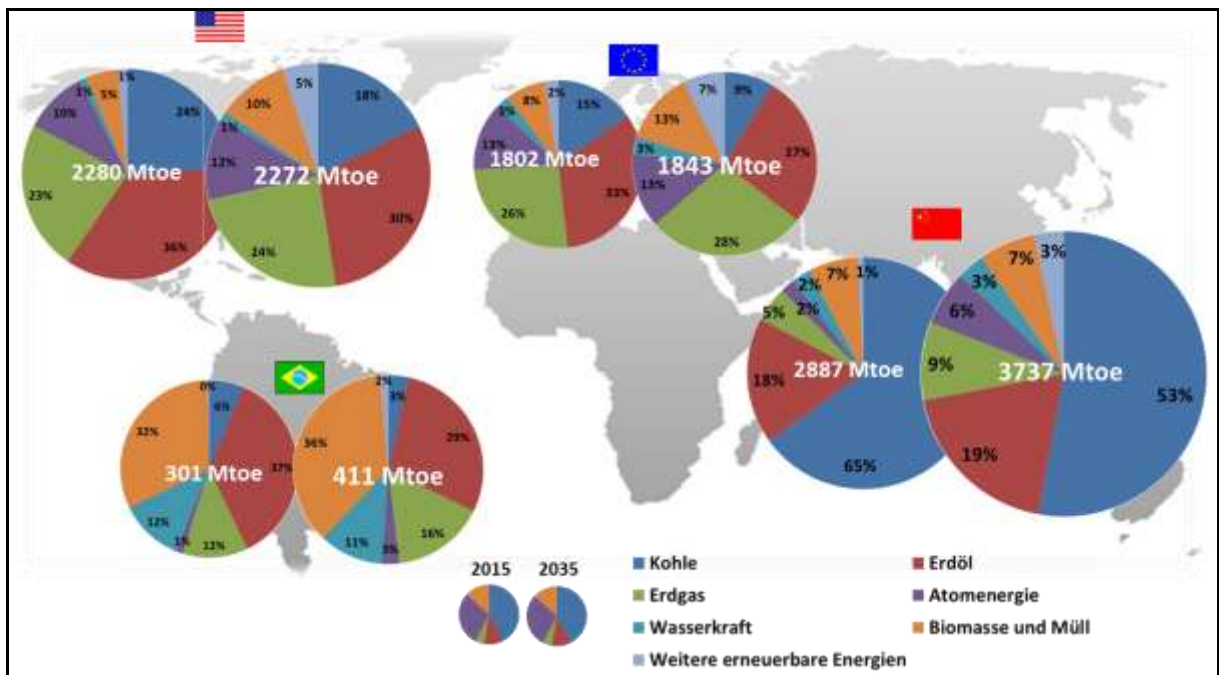


Abbildung 2-5: Die Veränderung des Primärverbrauches von 2015 bis 2035<sup>58</sup>

In Tabelle 2-4 ist die Importabhängigkeit der einzelnen Regionen aufgelistet. Die Vereinigten Staaten und Brasilien verfügen über eine gute Selbstversorgung. Brasilien weist in allen drei Sektoren bis 2035 Energieexporte auf. Die anderen drei Regionen fallen hinsichtlich ihrer hohe Erdöl- und Erdgaszulieferungen auf. Lediglich der Kohleverbrauch kann in China noch aus eigenen Reserven weitestgehend

<sup>58</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 618ff.

befriedigt werden. Hervorzuheben ist die hohe Abhängigkeit Europas. Eigene Rohstoffvorkommen können die europäische Energienachfrage nicht befriedigen.

Importabhängigkeit	Erdölexporte [2008-2035]			Kohleexporte [2008-2035]			Erdgasexporte [2008-2035]		
	2008	2035	Abhängigkeit	2008	2035	Abhängigkeit	2008	2035	Abhängigkeit
Die Vereinigten Staaten	-59%	-52%	mittel	5%	2%	Exporteur	-13%	-9%	sehr gering
Volksrepublik China	-53%	-84%	hoch	1%	0%	sehr gering	-5%	-53%	mittel
OECD Europa	-82%	-94%	sehr hoch	-65%	-88%	sehr hoch	-60%	-84%	sehr hoch
Brasilien	-2%	51%	Exporteur	56%	60%	Exporteur	-45%	9%	Exporteur

**Tabelle 2-4: Entwicklung der Importabhängigkeit fossiler Energiequellen<sup>59</sup>**

Tabelle 2-5 zeigt sowohl die regionalen Energieverbräuche von 2015 bis 2035 als auch die jährlichen Wachstumsraten der einzelnen Energieträger.

Energieverbrauch [in Mtoe]	USA			Volksrepublik China			Europa			Brasilien		
	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR
Kohle	544	403	-1,3%	1879	1975	0,3%	275	158	-2,1%	19	14	-1,3%
Erdöl	814	676	-0,8%	509	716	2,0%	594	497	-0,8%	110	118	0,4%
Erdgas	526	545	0,2%	142	330	6,6%	463	518	0,6%	36	65	4,0%
Kernenergie	225	269	1,0%	60	233	14,4%	236	241	0,1%	4	12	10,0%
Regenerative Energien	57	144	7,6%	97	242	7,5%	95	192	5,1%	36	51	2,1%
Biomasse und Müll	113	235	5,4%	200	240	1,0%	138	237	3,6%	96	149	2,8%

**Tabelle 2-5: Totaler primärer Energieverbrauch der Regionen 2015 bis 2035<sup>60</sup>**

### 2.2.2.1 Die Vereinigten Staaten von Amerika (USA)

Die amerikanische Wirtschaft wächst jährlich um 2,1% bis 2035, verbraucht aber ähnlich wie Europa keine zusätzlichen Energiemengen. Allgemein zeigt die amerikanische Energieerzeugung eine große Vielfalt auf und steht bei 2272 Mtoe. Es gibt keinen Sektor mit überdurchschnittlicher Inanspruchnahme, sowie keine nennenswerten Veränderungen im Energieverbrauch. Kohle und Erdöl verlieren ihren Einfluss und weisen Rückgangsraten auf. Lediglich Erdgas, als einziger fossiler Brennstoff, kann einen Prozentpunkt zulegen. Trotz großen Gewinnen der erneuerbaren Energien und der Erdgasbranche ist 2035 das Erdöl noch der größte Energieträger mit einem Anteil von 30% (-6PP zu 2015) am gesamten Energiebedarf des Landes. Die amerikanische Ölproduktion kann ihre Förderraten erhöhen, so dass die USA nur mehr zu 52% (-7PP zu 2008) auf Importe angewiesen sind. Dies

<sup>59</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 135, 191 und 212

<sup>60</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 630ff.

entspricht einer täglichen Bedarfsmenge von 7,8 mb/d. Somit wird die Importabhängigkeit wieder unter das Level von 1990 fallen. Die großen Offshore-Förderquellen im Golf von Mexiko werden den Rückgang vieler alter Felder zwar kompensieren können, aber auf Dauer müssen neue Ölfelder On- und Offshore gefunden werden, um einen Gesamtrückgang der Förderung verhindern zu können.<sup>61</sup>

Auch die Biotreibstoffentwicklung verzeichnet größeres, politisches Interesse. Der „Energy Independence and Security Act 2007“ schreibt vor, dass ab 2022 im Durchschnitt 21 Milliarden Gallonen Biostreibstoff pro Jahr verbraucht werden sollten, mit einer Emissionsreduzierung von -50% gegenüber normalen Treibstoffen. Zudem werden Schieferöle (+2,2 mb/d) am Markt an Bedeutung gewinnen.<sup>62</sup>

Die Kohle verzeichnet den größten jährlichen Rückgang von 1,3% bis 2035 und hält einen Anteil von 18% (-6PP zu 2015). Insgesamt können die USA die eigene Nachfrage abdecken und bis zu 2% des überschüssigen Produktionsvolumens exportieren. Die verbrauchte Kohlemenge geht um 26% bis 2035 zurück.<sup>63</sup>

Ein Energieträger mit guten Zukunftsaussichten ist das unkonventionelle Erdgas. Mit einem Anteil von 30% der amerikanischen Gasförderung im Jahr 2011 ist speziell die Schiefergasförderung ein entscheidendes Mittel für die Energiebereitstellung. Erdgas wird die Kohle 2035 verdrängen und einen Anteil von 24% (+1PP zu 2015) einnehmen. Im Jahr 2035 können 91% des Gasverbrauches mit eigenen Rohstoffvorkommen abgedeckt werden.<sup>64</sup>

Erfolge in der Schiefergasproduktion im Barnett Shale in Nordtexas im Jahr 2006 zeigten das große Potential einer neuen Fördertechnik. Mit der Kombination zweier Technologien, dem „horizontalen Bohren“ und dem „hydraulischen Brechen“, wurden neue Maßstäbe in der Fördertechnik gesetzt. Durch die horizontale Bohrtechnologie kann man nicht nur vertikal in ein Vorkommen vorstoßen, sondern auch der Länge nach ein Gebiet erschließen, ohne den Standort wechseln zu müssen. Beim hydraulischen Brechen werden die porösen Sedimentgesteine durch eine wässrige Flüssigkeit, angereichert mit verschiedenen Chemikalien und Quarzsand, unter hohem Druck zum Brechen gebracht. Anschließend können die im Gestein gespeicherten Gase abgeführt werden. Diese Fördertechniken sorgten für einen regelrechten Boom in der amerikanischen Schiefergasproduktion mit jährlichen Wachstumsraten von 48% zwischen 2006 und 2010. Viele weitere technisch und

---

<sup>61</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 127ff.

<sup>62</sup> Vgl. Authenticated US Government Information, Zugriffsdatum: 13.05.13

<sup>63</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 203ff.

<sup>64</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 35



wirtschaftlich nutzbare Schiefergasformationen konnten in den letzten Jahren entdeckt werden und rechtfertigen ein weiteres Wachstum der Schiefergasfördermenge bis 2035 um das 3-fache.<sup>65</sup>

Für die Erschließung der Gasvorkommen werden weitere 1746 Milliarden Dollar in Nordamerika bis 2035 investiert. Nach Europa, mit 751 Milliarden Dollar, ist dies mit Abstand die höchste Investitionssumme für den Ausbau von Gas-Infrastruktur in allen betroffenen Regionen.<sup>66</sup>

Weitere Gewinner sind die regenerativen Energien (inklusive Wasserkraft) mit einer Verbrauchsmengenerhöhung von 155%, sowie die Wärme- und Energieerzeugung durch Biomasse und Müll mit zusätzlichen 108%. Die Energieträger „Biomasse und Müll“ erreichen einen 10%igen Anteil 2035 (+5PP zu 2015). Die erneuerbaren Energien erreichen 6% (+4PP zu 2015).<sup>67</sup>

### **2.2.2.2 Die Volksrepublik China**

Die stagnierende Wirtschaft Europas und Nordamerikas zwingt globale Unternehmen neue strategische Märkte zu erschließen. Gewinner dieser neuen Ausrichtung ist Asien, welches im Jahr 2050 mit seinem Bruttosozialprodukt etwa 50% des gesamten globalen Anteils erwirtschaften wird. China erreicht teilweise eine jährliche BIP-Steigerung von 9,5%, welche mit einem zusätzlichen Energieaufwand von 5,1% bewältigt werden muss. Die Volksrepublik trägt entscheidend zur weltweiten Energieentwicklung bei, da durch kontinuierliches, wirtschaftliches Wachstum, die voranschreitende Urbanisierung und die Entwicklung der chinesischen Energieindustrie mit einer hohen Nachfrage an Brennstoffen zu rechnen ist. Der energetische Verbrauch pro Kopf ist in China momentan um 2/3 geringer als im OECD-Durchschnitt, wird aber in den kommenden Jahren mit wachsendem Bevölkerungsanteil steigen. Laut der Internationalen Energiebehörde wird China bis zum Jahr 2035 die Vereinigten Staaten als weltweit größter Energieverbraucher ablösen. Dies ist sehr beachtlich, da allein im Jahr 2000 die Volksrepublik nur halb so viel Energie wie die Vereinigten Staaten benötigte und in den darauffolgenden acht Jahren den Energiebedarf um das 4-fache, verglichen zu den Werten zwischen 1990 und 2000, steigern konnte.<sup>68</sup>

---

<sup>65</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 37

<sup>66</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 183ff.

<sup>67</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 630

<sup>68</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 8

Chinas Anteil am weltweiten Energieverbrauch liegt 2035 bei 22%. Die prognostizierte, verbrauchte Energiemenge wird sich auf 3737 Mtoe belaufen. Dies ist mehr als Indien, Europa und Brasilien im Jahr 2035 zusammen konsumieren werden. Die Volksrepublik nimmt bis zum Jahr 2035 36% der weltweit zusätzlich, benötigten Energiemenge in Anspruch und wird ihren gesamten Energiekonsum zwischen 2015 und 2035 auf 30% steigern können. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 1,5%.<sup>69</sup>

Auffällig in der Betrachtung der gesamten Energiebereitstellung ist die große Abhängigkeit von Kohle (53% in 2035) und Erdöl (19% in 2035). Der Gesamtanteil beider Energieträger sinkt zwar um 11PP, liegt aber immer noch bei beachtlichen 72% des primären Bedarfes.

57% des weltweiten Erdölverbrauchswachstums bis 2035 ist auf die erhöhte Mobilität Chinas zurückzuführen. Die momentane Flottenstärke chinesischer Automobile hat sich allein zwischen 2008 bis 2011 auf 40 Millionen Fahrzeuge verdoppelt. Somit nahm China 2011 den zweiten Platz hinter den Vereinigten Staaten im Verbrauch von Mineralölen ein.<sup>70</sup>

Mit einem täglichen Verbrauch von 15,3 mb und einer jährlichen Steigerung von 2% der verbrauchten Erdölmenge, wird 2035 die Volksrepublik China zum ersten Mal mehr Erdöl als die Vereinigten Staaten konsumieren. Die gesamte benötigte Erdölmenge Chinas wird sich bis zum Jahr 2035 um 42% steigern. Es muss jedoch erwähnt werden, dass die Erdölvorkommen um 2/3 geringer sind als die amerikanischen und ihren Peak 2015 erreichen werden. Neue Erdölfelder wurden bisher nicht erschlossen. Diese Problematik projiziert sich auch auf die Importabhängigkeit. Verglichen zu Amerika mit 52%, wird die Volksrepublik ihren Erdölimportanteil von 53% (2008) auf 84% (2035) ausbauen. China wird 2035 zu 89% an der Rohölpreiserhöhung verantwortlich sein. Dies wird eine enorme Unausgeglichenheit am globalen Markt zur Folge haben und sich auf den Rohölpreis negativ auswirken.<sup>71</sup>

Die Volksrepublik bleibt vorerst der größte Kohleproduzent der Welt und wird bis zum Jahr 2035 50% des gesamten globalen Kohlebedarfs konsumieren. Dieser Bedarf verursacht einen 54%-igen Anstieg der benötigten Kohlemenge. Die Geschichte des Kohleverbrauchs in China ist bemerkenswert, zugleich aber auch unverantwortlich gegenüber der Umwelt. Die jährlichen Kapazitäten von 200-300 Mt, der sich im Jahr

---

<sup>69</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 5f.

<sup>70</sup> Vgl. Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 42

<sup>71</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 105 und 128ff.

2010 im Bau befindlichen Kohleminen, könnten den gesamten, jährlichen Kohleverbrauch der europäischen Union abdecken. Chinas Kohlebedarf legte allein im Jahr 2011 um 163 Millionen Tonnen zu. Im Jahr 2035 hat China verglichen zu Indien einen 3,5-fach höheren Konsum. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass China den gesamten Kohlebedarf aus eigenen Lagerstätten tilgt und nicht von internationalen Marktpreisen abhängig ist. Somit muss China kontinuierlich enorme Investitionen in nationale Kohlelagerstätten im Norden und Westen des Landes tätigen, als auch in die Infrastruktur investieren, um die steigende, industrielle Energienachfrage der südöstlichen Gebiete abdecken zu können.<sup>72</sup>

Obwohl Kohle und Erdöl den Großteil der Energienachfrage abdecken, findet das Wachstum im Ausbau anderer Energieträger statt. Den größten Fortschritt zwischen 2015 und 2035 verbuchen die Sparten Erdgas, mit einer Erhöhung der verbrauchten Energiemenge von 132%, die Atomenergie mit 288% und erneuerbare Energien mit 150%.<sup>73</sup>

Chinas Gasverbrauch wächst schneller als in der USA, der EU und in Brasilien. Mit 6,6% Steigerung pro Jahr ist China zu 22% am gesamten, weltweiten Wachstum des Gasmarktes bis zum Jahr 2035 verantwortlich. Allein die Stromerzeugung nimmt die Hälfte des gesamten chinesischen Gasverbrauches 2035 ein. Verglichen zur USA ist der Gasverbrauch aber immer noch um 40% geringer. Auch die Gasförderung Chinas erweitert die Kapazitäten und steigert diese jährlich um 3,1%. Durch unkonventionelle Gase können unter anderem 47% des chinesischen Bedarfs aus eigenen Quellen abgedeckt werden, der Rest muss importiert werden. Im November 2009 vereinbarte China mit Amerika einen Entwicklungsaustausch in der Förderung von Schiefergas, sowie die Gründung von mehreren Joint Venture Gesellschaften, welche China's Vorstoß in der Gasproduktion sichern und Kapazitäten erhöhen sollen. Um zudem die hohen Mengen an importiertem Flüssiggas verarbeiten zu können, sind bereits drei Liquid Natural Gas (LNG) Schiffterminals im Bau und sechs weitere sind geplant. Auch der Bau mehrerer Gaspipelines, zum Beispiel aus Turkmenistan, wurde bereits bewilligt.<sup>74</sup>

Da die Wirtschaft des Landes bis 2025 kontinuierlich wächst, müssen auch weitere Investitionen in nicht-fossile Energietechnologien fließen. Mit einem Investment von 5 Billionen Yuan (735 Milliarden US Dollar) will China 2020 15% des totalen Energiebedarfes durch „Low Carbon Technologien“ abdecken. China wird den Anteil dieser emissionsarmen Technologien am Markt erhöhen und weltweit zu den

---

<sup>72</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 199ff.

<sup>73</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 670

<sup>74</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 190f.

führenden Nationen in der Herstellung, sowie in der Summe der installierten Leistungen, erneuerbarer Energien sein. Mit einem Anteil von 6% (2035) kompensiert China allein mit Wasserkraft und alternativen Energien den gleichen Bedarf, wie die gesamte europäische Energiesparte der Atomkraft im Jahr 2035. Der China „Renewable Energy Development Plan“ sieht einen 20%-igen Anteil der alternativen Energieträger bis zum Jahr 2020 vor. Jedoch zählt man unter CO<sub>2</sub>-armen Technologien auch die Kernenergie hinzu. Diese wächst im Zeitraum um 14,4% jährlich am schnellsten im Vergleich aller Primärenergieträger, ist aber landesweit nur für 6% der Energieabdeckung 2035 verantwortlich.<sup>75</sup>

Nicht nur das große Engagement in alternative Energien ist beachtlich, auch die Effizienzsteigerung seit den 1980er Jahren hat sich bis 2011 um 75% pro BIP-Einheit verbessert. Auch politische Zielsetzungen, wie der „Energy Conservation Plan“, können es möglich machen, dass sich der konsumierte Kohleanteil pro Einheit des Bruttosozialproduktes um 60% bis zum Jahr 2030 verringert.<sup>76</sup>

### **2.2.2.3 Europa (die europäischen OECD-Staaten)**

Die europäische Entwicklung ist ähnlich der amerikanischen. Vergleichsweise sind der Rückgang der fossilen Energieträger mit Ausnahme des Erdgases und die Zunahme der erneuerbaren Energien, sowie die Energieerzeugung aus Biomasse und Müll. Das Bruttoinlandsprodukt wächst jährlich um 1,6% bis 2035 und sorgt für geringe zusätzliche Verbrauchserhöhungen.<sup>77</sup>

Die verbrauchte Kohlemenge wird um 33% bis zum Jahr 2035 abnehmen und weist die größte durchschnittliche Rückgangsrate aller Energieträger von 2,1% auf. Auch der Erdölsektor reduziert die verbrauchte Menge im Jahr 2035 um 16%. In der Gesamtbetrachtung nimmt das Erdöl immer noch einen hohen Anteil von 30% 2035 (-6PP zu 2015) ein. Der europäische Erdölverbrauch liegt mit 9,6 mb/d bei der Hälfte des nordamerikanischen Anspruchs im Jahr 2035. Europa hat kaum Rohölvorkommen, welches sich auch beim Rückgang des Fördervolumens der Nordseeerzeugung im Zeitraum 2015 bis 2035 von 4,5 mb/d auf 2,1 mb/d zeigt. Die Importraten steigern sich von 82% (2008) zunehmend bis auf 94% im Jahr 2035. Europa wird zwar 373 Milliarden Dollar bis 2035 in die Infrastruktur, in die konventionelle Ölförderung und in neue Raffinerien investieren, aber die Kosten für

---

<sup>75</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 310ff.

<sup>76</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 37

<sup>77</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 68

Importe werden weiterhin ein Defizit von 2,5% des europäischen BIPs verursachen. Auffällig ist, dass Europa bis 2020 keinerlei größere Investitionen in der Herstellung von unkonventionellem Erdöl tätigt.<sup>78</sup>

Dabei könnten alternative Kraftstoffe und der Ausbau der dazugehörigen Infrastruktur die Kosten der Erdölimporte im Jahr 2020 um 4,2 Milliarden €, im Jahr 2030 um 9,3 Milliarden € und darauffolgend jährlich um 1 Milliarde € senken.<sup>79</sup>

Der Kohlesektor büßt Verbrauchsmengenkapazitäten von bis zu 43% ein. Am Ende der Betrachtungsperiode hat die Kohle mit 9% (-6PP zu 2015) nur noch einen sehr geringen Anteil an der gesamten Energieerzeugung. Auch das Produktionsvolumen verliert jährlich 3,8% und hat zur Folge, dass sich Importabhängigkeiten steigern. 2035 müssen bereits 88% des Kohlebedarfes zugekauft werden. Dies entspricht einem Anstieg von 23% seit 2008. Auch politische Gesetzgebungen zur „Aussortierung der Hartkohleproduktion“ bis 2018, wie sie in Polen und Deutschland vorliegen, sorgen für einen 7%-igen Produktionsrückgang. Somit wird Europa in Zukunft eine Neustrukturierung der primären elektrischen Versorgung durchführen und kommende Kraftwerksprojekte auf Gas ausrichten müssen. Gründe für den Umschwung Europas sind unter anderen politischen Gesetzgebungen zur Reduzierung des Emissionsausstoßes. Auch der geplante Atomausstieg einiger europäischer Industrienationen bis 2020, sowie die hohen Wirkungsgrade im Umwandlungsprozess mit Erdgas, tragen zum Umschwung bei.<sup>80</sup>

Die Importabhängigkeit Europas von Russland, Saudi-Arabien und Iran steigt mit zunehmendem Rückgang der europäischen Gasförderung und Reduktion der Atomenergie. Die Prognosen belaufen sich auf eine Verringerung der Gasproduktion der Europäischen Union im Zeitraum von 2015 bis 2035 um 3,1%. Norwegen, welches bis zu 50% des europäischen Gases fördert, weist als einziges europäisches Land eine steigende Förderrate von 0,7% pro Jahr auf. Obwohl Europa die eigene Gasproduktion reduziert, steigt der Erdgasbezug bis 2035 um 2PP. Gasvorkommen in Russland und die bereits bestehende Infrastruktur Europas sorgen für eine gesicherte Verfügbarkeit der Ressource, jedoch auch für eine vertraglich gebundene Abhängigkeit. Im Jahr 2035 werden bereits 84% des Gasbedarfes zugekauft. Dies ist eine Steigerung von 24PP zu 2008.<sup>81</sup>

Weitere Energieträger, welche die eigene Stromerzeugung sichern sollen, sind die stagnierende Nuklearenergie mit 13%-igen Anteil, die größtenteils ausgebauten

---

<sup>78</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 128ff.

<sup>79</sup> Vgl. Europäische Kommission (2013), Zugriffsdatum: 03.02.2013

<sup>80</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 207ff.

<sup>81</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 182ff.

Kapazitäten der Wasserkraft mit 3%, die regenerativen Energien mit 7%-igen Anteil im Jahr 2035 (+5PP zu 2015) und die Verheizung von Biomasse und Müll mit einer Steigerung von 5PP auf 13%. Zu erwähnen ist, dass sich die benötigten Energiemengen der alternativen Energieträger um 102% und die Biomasse und Müll um 72% erhöhen. Bereits 2035 sollen 41% der alternativen Energiequellen in die Stromerzeugung, 26% in die Wärmeerzeugung und 14% in die Produktion von Biotreibstoff einfließen.<sup>82</sup>

Eine europäische Koordination und der Aufbau einer gemeinsamen Infrastruktur zum Handel mit Energieträgern sind nötig, um eine stabile Energieversorgung zu gewährleisten. Dies fordert einen stabilen, politischen Rahmen sowie hohe Anstrengungen und Zusammenarbeit der Mitgliedsländer. Auch die Industrie muss mit der Übertragung von Verantwortungen rechnen.<sup>83</sup>

#### **2.2.2.4 Föderative Republik Brasilien**

Die Brasilianische Wirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten viele Hoch- und Tiefphasen erfahren, weist aber einen positiven Trend und einen jährlichen Zuwachs von 3,3% bis 2035 auf. Diese Zahlen können zwar nicht mit den asiatischen Nationen mithalten, zeigen aber, dass Brasilien in Südamerika weiterhin wichtigster Absatzmarkt bleiben wird. Die Regierung Brasiliens sieht die wachsende Wirtschaft und die erhöhte Energienachfrage skeptisch, da es schwierig sein wird, den zusätzlichen Energiebedarf (+1,9% jährlich) abdecken zu können, ohne dabei der Inflation und der Preissteigerung Nährboden zu geben. Um die hohe Inflation einbremsen zu können, setzte 2011 die Zentralbank Brasiliens den Referenzzinssatz auf 11,75%.<sup>84</sup>

Der energetische Konsum Brasiliens steigt bis zum Jahr 2035 um 37%. Der Erdölsektor verliert zwar 8PP auf insgesamt 29% (2035) der verbrauchten Primärenergie, wird aber in Zukunft ein bedeutender Industriezweig sein. Neue 3D Seismik Technologien konnten unter Salzsichten große Ölfelder in küstennahen Gebieten entdecken (das sogenannte „Tupi-Feld“ im Santos Basin). Die Basins sind etwa 150 Meilen von der Küste entfernt und werden als „Pre-salt Layer“ bezeichnet. Die Vorkommen, welche unter diesen Salzsichten geschätzt wird, soll laut „Brazil National Petroleum Agency“ zwischen 50 und 70 Billionen Barrel betragen. Diese

---

<sup>82</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 281

<sup>83</sup> Vgl. European Commission (2011), S. 16

<sup>84</sup> Vgl. The Brazilian Economy (2011), S. 5

Reserven wären dreimal so hoch, wie die bis jetzt vorhandenen brasilianischen Vorkommen und würden dem Land einen Spitzenplatz unter den erdölexportierenden Ländern verschaffen. Jedoch ist die Förderung komplex und bedarf hoher Investitionen. Man geht davon aus, dass in den nächsten zehn Jahren 111 Milliarden US \$ investiert werden müssen. Um den nationalen Bedarf von 2,6 mb/d abdecken zu können, wird die Fördermenge von 5,2 mb/d im Jahr 2035 (+3,7% jährlich) ausreichend sein. Das brasilianische, nationale Ethanol-Programm „ProAlcool“ und die steuerlichen Vorteile durch Verwendung von Biotreibstoff, sorgten in der Vergangenheit für ein Umdenken der Automobilbranche. Seit 2003 wurden sogenannte Flex-Fuel Fahrzeuge eingeführt, welchen es möglich ist, jegliches Gemisch aus Ethanol und Benzin zu verbrennen. 40% der brasilianischen Fahrzeugflotte sind mit dieser neuen Technik ausgestattet. Neue Projekte zur Schwerölgewinnung sind von der Regierung abgesegnet, jedoch bedarf es hoher, infrastruktureller Investitionen zur Förderung der Offshore-Becken.<sup>85</sup>

Brasilien's Biotreibstoffproduktion wächst um 18% zwischen 2010 bis 2030 und hat einen Marktanteil im Transportsektor von 39%. Brasilien ist in der Herstellung von Biotreibstoff weltweit führend und wird 2035 zusammen mit den Vereinigten Staaten die Hälfte der weltweiten Biotreibstoffmenge herstellen (3,5 mb/d in 2030). Neben den Offshore-Windparks in den USA ist die Herstellung von Biosprit in Brasilien eine Form erneuerbarer Energie, die im Vergleich zu konventionellen Energiequellen wettbewerbsfähig ist.<sup>86</sup>

Der Brasilianische Gasmarkt verdoppelt sich in der betrachteten Periode auf 77 Milliarden Kubikmeter und nimmt 16% (+4PP zu 2015) des Bedarfes ein. Jährlich bedeutet dies ein Wachstum von 4%. Brasilien wird ab 2030 seinen Gasbedarf durch eigene Offshore-Förderquellen abdecken und rund 15% Überschuss exportieren können.<sup>87</sup>

Den größten Einfluss auf die primäre Energiebereitstellung haben die erneuerbaren Energiequellen. Brasilien ist die einzige Region, die bis zu 49% (+5PP zu 2025) des Bedarfs mit Energie aus nachhaltigen Technologien kompensiert. Größter Anteilhaber ist die Erzeugung aus Biomasse und Müll mit 36% (+4PP zu 2015) und die hydroelektrische Wasserkraft mit 11% (-1PP zu 2015). Die Energiemenge der Wind- und Solarenergie steigt jedoch enorm mit 13,5% Wachstum pro Jahr bis 2035, aber noch geringem Einfluss auf den gesamten Primärverbrauch. Neue politische Programme, wie der „National Climate Change Plan“, welcher das seit 2004

---

<sup>85</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 131, S. 366

<sup>86</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 41

<sup>87</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 183ff.

existierende PROINFA Programm ersetzt, sieht eine Einführung von zusätzlichen 34 GW hydroelektrischer Leistung bis 2016 und einen Ausbau von Wind- und Photovoltaiksystemen, sowie der Biotreibstoffherzeugung aus Zuckerrohr, vor.<sup>88</sup>

Die Kernenergie steig die jährlich erzeugte Energiemenge um 10% bis 2035, jedoch ist diese Technologie in Brasilien erst eingeführt worden und kann somit am gesamten Energieverbrauch nur wenig beitragen.

Im nächsten Punkt wird nun die Entwicklung des industriellen Bereiches betrachtet, da der industrielle Sektor für Magna als Produktionsunternehmen von Interesse ist. In folgendem Kapitel wird auch der elektrische Strom, welcher einen Großteil der industriellen Bedarfsabdeckung einnimmt, angesprochen und näher beschrieben.

## **2.3 Energieangebot und –bedarf der Industrie**

Der globale Energieverbrauch wird hauptsächlich von drei Sektoren geprägt.<sup>89</sup>

- Die energetische Gebäudeversorgung (32% Anteil)
- Die industrielle Versorgung (30% Anteil)
- Die Energieversorgung des Transport-Sektors (26% Anteil)

Da sich diese Arbeit mit dem elektrischen Verbrauch und der Beeinflussung des Strompreises in einem industriellen Unternehmen beschäftigt, ist speziell dieser Sektor von Interesse. Es soll erläutert werden, inwieweit es Unterschiede in der regionalen, industriellen Energiebereitstellung gibt. Hauptabnehmer im industriellen Sektor sind Chemie-, Beton- und Stahlindustrie sowie die Fertigungsindustrie, aber auch die Landwirtschaft, die Bergbauindustrie und viele weitere Sparten sind berücksichtigt und inkludiert.<sup>90</sup>

### **2.3.1 Globale Entwicklung des industriellen Energiebedarfs**

Allgemein steigt der globale Industrieverbrauch bis zum Jahr 2035 um 18% an und wird zu 54% (-7PP zu 2015) durch fossile Brennstoffe abgedeckt. Bis 2035 ist die aufstrebende, asiatische Industrie für 60% der zusätzlich, benötigten Bedarfsmenge verantwortlich. Kohle hält 2015 zwar noch den größten Anteil mit 29%, verliert aber

---

<sup>88</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 116

<sup>89</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 672

<sup>90</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 15



bis zum Jahr 2035 ganze 5 PP. Kohle wird zudem selten in kleinen und mittleren Betrieben verwendet. Auch der Einsatz des Erdöls beträgt 2035 nur mehr 10% (-3PP zu 2015). Beide Energieträger werden speziell in den OECD-Staaten ersetzt durch Elektrizität mit 32% (+5PP zu 2015) und Erdgas mit 20% (+1PP zu 2015). Der Strombedarf wächst um über 40%. Der kontinuierlich, wachsende Energieträger ist Erdgas mit einer Steigerung der verbrauchten Bedarfsmenge um 21%. Zusammen mit der Elektrizität deckt Erdgas über die Hälfte des industriellen Bedarfs ab. Diese Daten geben einen Aufschluss darüber, wie wichtig in Zukunft die sichere Versorgung mit Elektrizität und Erdgas, sowie die regionalen Energiepreise für die Wertschöpfung einer Unternehmung sein werden. Abbildung 2-6 zeigt die globale, industrielle Bedarfsveränderung von 2015 bis 2035.<sup>91</sup>

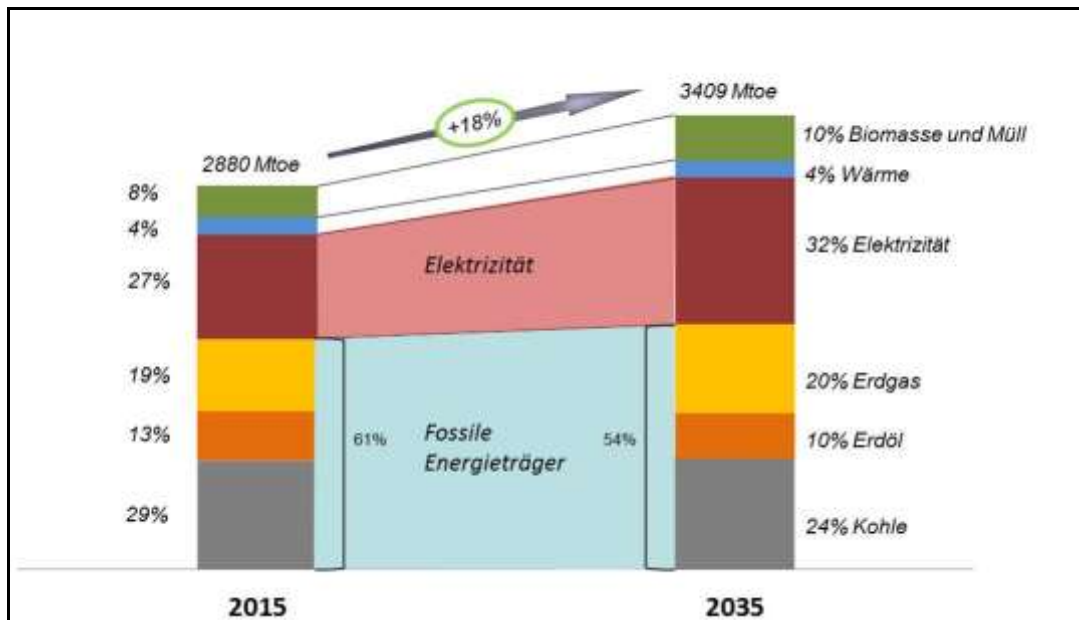


Abbildung 2-6: Globaler industrieller Energieverbrauch<sup>92</sup>

Als Zielvorgabe der industriellen Branche werden weiterhin die stetige Erhöhung der Energieeffizienz und die Einführung innovativer Energieeinsparsysteme im Vordergrund stehen. Auch die Implementierung von Energieaudits und Energiemanagementsystemen muss in Zukunft gefördert werden, um durch effiziente

<sup>91</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 88 und 618

<sup>92</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S.618

Vermarktung einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Mitkonkurrenten zu ermöglichen.<sup>93</sup>

Im nächsten Punkt wird näher auf die Elektrizität im industriellen Sektor eingegangen. Der elektrische Strom nimmt einen Großteil des industriellen Energiekonsums in Anspruch. Um die Endergebnisse dieser Arbeit richtig deuten zu können, muss vorab die Elektrizitätserzeugung regional untersucht werden.

### 2.3.2 Regionale Entwicklung des Energieträgers elektrischer Strom

Für ein Unternehmen ist es für zukünftige Planungen interessant, wie die Märkte bei Preiserhöhungen oder Rohstoffknappheit reagieren. In den folgenden Punkten werden sowohl Entwicklungen des Elektrizitätsmarktes als auch Investitionen der einzelnen Staaten sowie Problematiken des Elektrizitätstransfers geschildert. Allgemein weisen alle Regionen einen Anstieg des Elektrizitätsbedarfes auf, wobei Kohle immer mehr an Anteilen verliert und Erdgas als flexibler Energieträger weltweit Gewinne verbucht. Des Weiteren sind hohe Kohleabhängigkeiten speziell im asiatischen Territorium gegeben und werden zur weltweiten Veränderung der Förderproduktion und der Rohstoffpreise beitragen.

In der regionalen Betrachtung wird davon ausgegangen, dass die Erzeugungsart des verbrauchten, industriellen Stroms identisch ist, wie die des totalen Strombedarfes der jeweiligen Nation. Anhand dieser Annahme wurden die jeweiligen Stromverbräuche der Industrie berechnet und in Tabelle 2-6 dargestellt.

Stromverbrauch Industrie [in TWh]	USA			Volksrepublik China			Europa			Brasilien		
	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR
Kohle	432	280	-1,8%	2377	2829	1,0%	287	140	-2,6%	17	7	-2,9%
Erdöl	9	1	-4,4%	32	16	-2,5%	26	14	-2,3%	5	7	2,0%
Erdgas	175	178	0,1%	130	465	12,9%	300	335	0,6%	29	54	4,3%
Atomkraft	184	170	-0,4%	130	460	12,7%	313	293	-0,3%	5	22	17,0%
Wasserkraft	55	51	-0,4%	488	723	2,4%	196	209	0,3%	176	231	1,6%
Biomasse und Müll	18	50	8,9%	1	155	>100%	52	84	3,1%	10	18	4,0%
Weitere erneuerbare Energie	46	119	7,9%	98	516	21,3%	129	321	7,4%	2	22	50,0%
Gesamtverbrauch-Industrie	919	849	-0,4%	3256	5164	2,9%	1303	1396	0,4%	244	361	2,4%
<b>Gesamtverbrauch-Total</b>	<b>4529</b>	<b>5196</b>	<b>0,7%</b>	<b>5721</b>	<b>9594</b>	<b>3,4%</b>	<b>3745</b>	<b>4370</b>	<b>0,8%</b>	<b>569</b>	<b>827</b>	<b>2,3%</b>

Tabelle 2-6: Industrieller Stromverbrauch der Regionen<sup>94</sup>

<sup>93</sup> Vgl. Europäische Kommission (2013), Zugriffsdatum: 03.02.2013, S. 9

<sup>94</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 632ff.

Abbildung 2-8 zeigt die regionale Verteilung zur Erzeugung des elektrischen Stromes, welche in folgenden Punkten näher erläutert wird.

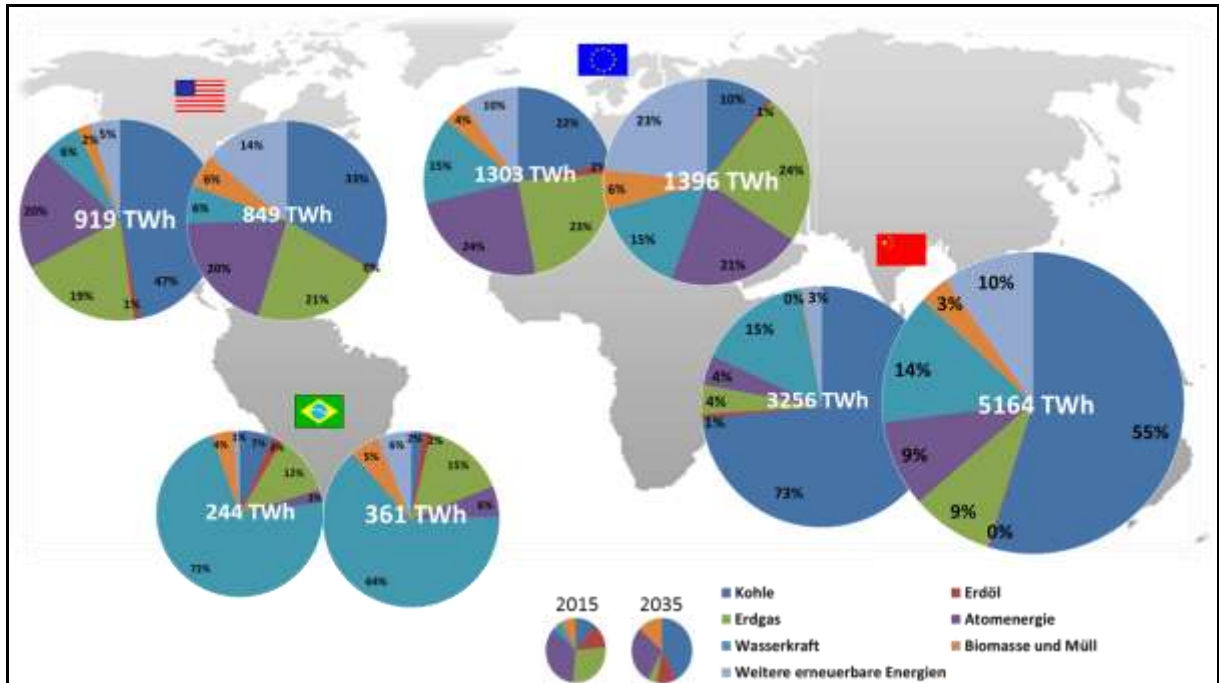


Abbildung 2-7: Die Entwicklung der industriellen Elektrizitätsgenerierung<sup>95</sup>

### Die Vereinigten Staaten von Amerika

Amerikas Bemühungen Technologien mit niedrigen Emissionen zu forcieren und die Verfügbarkeit der Schiefergasvorkommen, sorgen für eine Trendwende in der Elektrizitätserzeugung. Der totale Strombedarf der USA steigert sich um rund 14% auf insgesamt 5169 TWh, verglichen zum Wachstum in Asien und Brasilien ist dies aber eher gering. Die Industrie weist aber eine Reduzierung des elektrischen Strombedarfes um 8% (-70 TWh zu 2015) auf. Dieser Trend ist mit der weiteren Entwicklung der energiereichen Schwerindustrie zur energiearmen Dienstleistungsgesellschaft erklärbar.

Die Stromerzeugung wird hauptsächlich geprägt sein durch Kohle mit 33%, Erdgas mit 21% und Atomkraft mit 20%. Erneuerbare Energien (inkl. Wasserkraft und Biomasse) gewinnen über 13PP hinzu und sind mit 26% im Jahr 2035 beteiligt. Den größten Anteil nimmt hierbei die Windkraft ein mit einer jährlichen Wachstumsrate von 8,6% und einem 10%-igen Anteil am gesamten Bedarf (2035). Die größte

<sup>95</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 618ff.

Verbrauchsmengensteigerung findet bei der energetischen Erzeugung von Biomasse und Müll mit einem jährlichen Wachstum von 8,9% statt. Kohlekraftwerke sind immer noch für gut ein Drittel der Strombereitstellung verantwortlich, der Rohstoff Kohle verliert aber 14PP des Einflusses zu 2015. Die Stromerzeugung aus Atom- und Wasserkraftwerken verändert sich in der Gesamtansicht nur wenig. Nuklearanlagen tragen konstante 20% bzw. die Wasserkraft 6% zur Erzeugung bei. Einen weiteren Zuwachs kann das Erdgas verbuchen, welche in der Gesamtansicht zwar nur 2PP auf 21% steigt und 178 TWh zum industriellen Verbrauch beisteuert.<sup>96</sup>

Dieses Wachstum geht hauptsächlich vom Rohstoffvorkommen als auch von stabilen Kapitalkosten für neue Gaskraftwerke aus. Somit ist der Austausch alter Anlagen durch neue gasgefeuerte Kraftwerke finanziell schneller kompensiert.<sup>97</sup>

Investitionen von rund 2316 Milliarden US Dollar (2009) bis zum Jahr 2035 werden in neue Kraftwerke und in den Netzausbau fließen. 673 GW neu installierter Kraftwerksleistungen benötigen etwa 60% der investierten Menge. Da viele Kraftwerke ihre Lebensdauer überschreiten werden, gehen rund 464 GW Leistung bis 2035 vom Netz. Der Rest wird in Netzübertragungs- (13%) und Netzverteilungsmaßnahmen (27%) investiert. Somit reduzieren sich auch die Netzimporte bis 2035 jährlich um -3,4%.

Die Elektrizitätsverluste Amerikas konnten zwar seit 1990 auf 3% verringert werden, betragen aber immer noch 6,2% und sind im regionalen Vergleich hinter China und Europa. Ein Grund für die eher hohen Ausfälle könnte das veraltete Stromnetz sein, welches in Zukunft mit hohen Investitionen modernisiert werden muss.<sup>98</sup>

Die Vereinigten Staaten weisen hohe Kapazitäten in der Stromerzeugung für kommende Dekaden auf. Die Sektoren Erdgas und erneuerbare Technologien werden in Zukunft einen großen Beitrag zum generierten Strom leisten. Mit den bekannten Schiefergasvorkommen kann in Zukunft der Anteil der Kohle weiter vermindert werden. Neben Erdgas, Kohle, erneuerbare Energien, Wasserkraft und Nuklearenergie werden über 90% der benötigten Elektrizität aus eigenen Rohstoffvorkommen abgedeckt und sind nicht importabhängig. Amerika bietet momentan einen im Vergleich extrem günstigen Strompreis an und wird diesen auch weiterhin regulieren können. Das 300.000 Kilometer lange Stromnetz verlangt aber Modernisierungs- und Erweiterungsinvestitionen, um gegebener Ausfallanfälligkeit (Blackout) entgegenzuwirken.

---

<sup>96</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 202 und 632

<sup>97</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 73

<sup>98</sup> Vgl. Worldbank Database, Zugriffsdatum: 03.10.12

### Die Volksrepublik China

Die Stromerzeugung in China wird sich laut IEA von 2008 bis zum Jahr 2035 um das Dreifache auf total 9594 TWh erhöhen und steigt jährlich um 3,4%. China wird am Ende dieses Outlooks einen höheren, totalen Verbrauch haben als Amerika und die europäische Union zusammen. Der industrielle Sektor, sehr geprägt durch die chinesische, energieintensive Schwerindustrie, steigert die Nachfrage an Elektrizität um 59% auf insgesamt 5164 TWh. Allein die chinesische Industrie verbraucht im Jahr 2035 genauso viel Strom, wie der komplette Bedarf der gesamten USA benötigt.

Kohle bleibt immer noch der entscheidende Rohstoff, auf welchen sich die chinesische Stromwirtschaft stützt, und nimmt einen Anteil von 55% ein. In der gesamten Stromerzeugungsansicht sinkt die Kohle zwar um 18PP ab 2015, aber auf Grund der enormen Bedarfsanfragen werden trotzdem 25% mehr Strom durch Kohlekraftwerke bis 2035 produziert. Um den enormen Wachstum gewährleisten zu können, gehen in China wöchentlich etwa 900 MW kohlegefeuerte Kapazitäten ans Netz. Diese Kapazität entspricht etwa einem Kohlekraftwerk.<sup>99</sup>

Die chinesische Regierung sieht sich veranlasst, in allen energieumfassenden Bereichen zu investieren und die jeweilige Stromerzeugung zu erhöhen. Sowohl die Erzeugung durch Gas, als auch die Stromerzeugung durch Nuklearenergie steigen von 4% auf 9% im Outlook. Gaskraftwerke erhöhen ihre erzeugte Leistung auf das 3,6-fache und produzieren 465 TWh Strom (total 841 TWh). Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 12,9%. Auch der Ausbau von Kernenergie wird in China fokussiert. Die Vereinbarungen aus dem Jahr 2008 zur Leistungserhöhung der Kernkraft auf 40 GW bis 2020 wurden nochmals auf insgesamt 86 GW gesteigert und weitere Erweiterungen von zusätzlichen 200 GW bis 2030 sind geplant. Insgesamt werden 2035 460 TWh (total 895 TWh) produziert, welches einer 4-fachen Erhöhung zum Jahr 2015 gleichkommt und eine jährliche Steigerung um 12,7% ergibt. Die chinesische Atomindustrie ist für insgesamt 40% des weltweiten, nuklearen Anstiegs zur Erzeugung von Strom verantwortlich.<sup>100</sup>

Des Weiteren steigt die Bedeutung der regenerativen Energien (inklusive Wasserkraft und Biomasse) von 18% auf 27% des Gesamtanteils. Die größten Wachstumsraten sind hierbei jährlich gegeben durch Windkraft mit 16%, Biomasse und Müllverbrennung mit 19,8% und Photovoltaik mit 28,2%. Die Wasserkraft nimmt immer noch den größten Anteil aller erneuerbaren Energien ein und produziert 2035

---

<sup>99</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 97

<sup>100</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 223

723 TWh (total 1348 TWh) für industrielle Abnehmer. Laut der EIA sind 14 zusätzliche, hydroelektrische Projekte in Planung als Teil des „Hydropower Development Plan“. Unter anderem die 12,6 GW Xiluodu Anlage am Jinsha Fluss und die Erweiterung des „3 Schluchten Staudammes“ von 18,2 GW auf 22,4 GW.<sup>101</sup>

Die enormen Anstrengungen zur Erzeugung alternativer Energien zahlen sich im Jahr 2035 aus. China wird der weltweit führende Stromerzeuger aus Wasserkraft und Photovoltaiksystemen sein und wird in der Windkraftnutzung global Platz 2 einnehmen. Allein mit der chinesischen Wasserkraft kann die jährliche, gesamte Stromerzeugung von Brasilien um das 1,5-fache abgedeckt werden.<sup>102</sup>

Um den hohen Stromverbrauch in China bewältigen zu können, benötigt die Volksrepublik Kapazitäten bis 2035 die 1,5-mal größer sind als der jetzigen installierten Leistungen der Vereinigten Staaten. Bis 2035 wird die Volksrepublik zusätzliche 1533 GW ans Netz bringen, bei einem geringen, altersbedingten Ausfall von 180 GW Kraftwerksleistung. Es werden Investitionen von 4000 Milliarden US Dollar benötigt, von welchen 55,5% in den Ausbau neuer Kraftwerke fließen. Weitere 30% dieses Geldes kommen der lokalen Netzverteilung zugute und die restlichen 14,5% werden in die Übertragung investiert.<sup>103</sup>

Beachtlich ist, dass die chinesischen Netzverluste nur 4,9% betragen. Dies ist die niedrigste Rate aller betrachteten Regionen im Outlook. Da der Großteil der Netzanlagen erst in den letzten 30 Jahren errichtet wurde, kann man von einem eher neuwertigen System ausgehen. Die kommenden Investitionen fließen also vorwiegend in den Netzausbau, statt in die Versorgungssicherheit oder in die Modernisierung schon bestehender Anlagen. Zunehmend vermehrt kommt es zu Privatisierungen am Energiemarkt durch Independent Power Producer (IPP). Fremdes Kapital soll unterstützend in den Netzausbau und in die Instandhaltung einfließen und den Prozess beschleunigen. Diese privaten Investoren sind allerdings meist an Power Purchase Agreements (PPA) mit der Regierung gebunden und können so nur bedingt wirtschaftlich handeln.<sup>104</sup>

### Europa

Der Großteil der Erhöhung des totalen, europäischen Strombedarfes von 17% auf 4370 TWh erfolgt bedingt durch steigende Einwohnerzahlen in Irland, Spanien und der Türkei und des prognostizierten, wirtschaftlichen Erfolges von osteuropäischen

---

<sup>101</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 98

<sup>102</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 676, 309 und 281

<sup>103</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 228

<sup>104</sup> Worldbank Database, Zugriffsdatum: 03.10.12

Staaten, wie der Tschechischen Republik und Polen. Der industrielle Strombedarf legt aber nur um 7% leicht auf 1396 TWh zu. Die europäische Strombereitstellung ist sehr variabel und nicht abhängig von einer bestimmten Energiequelle. Offensichtlich ist, dass durch die Einführung des europäischen Emissionshandelssystems und der CO<sub>2</sub>-Preise (bis 50 \$/t in 2035) der Wandel weg von Kohle zu emissionsärmeren Quellen vollzogen wird. Die 2008 eingeführte „Climate and Energy Policy“ gibt vor, dass die Anteile der alternativen Energiequellen am Primärbedarf auf 20% bis zum Jahr 2020 erhöht werden sollen.<sup>105</sup>

2008 wurde schon eine Strommenge von 18% aus erneuerbaren Energien gedeckt und der Beitrag wird sich bis zum Ende des Outlooks auf 44% (+15PP zu 2015) steigern. Der Bereich Windkraft wird mit Wachstumsraten von 7,1% pro Jahr und der Bereitstellung von totalen 773 TWh den größten Part einnehmen. 2035 wird Europa der Weltmarktführer in der produzierten Windleistung sein. Die Wasserkraft wird weiteren 209 TWh (total 653 TWh) produzieren, kann aber ihre Anteile am Gesamtbedarf mit 15% nicht ausbauen. Ein weiterer Gewinner des europäischen Energiewandels ist die Erzeugung durch Erdgas. Erdgas kann ihren Verbrauch auf 22% (+1PP zu 2015) steigern und führt somit die Stromerzeugung an. Verlierer dieser Periode ist die Kohle sowie die Atomenergie. Der Kohleanteil sinkt ganze 12PP und leistet nur noch 10% des eingespeisten, industriellen Stromes. Dies ist ein Rückgang von -2,6% jährlich auf 140 TWh. Die atomare Katastrophe in Fukushima und die seit Jahren andauernden, politischen Debatten zum atomaren Ausstieg verursachten ein Umdenken im Ausbau der Kernenergie. Bis auf Finnland, Frankreich und der Türkei, welche momentan noch laufende Projekte zum Ausbau ihrer Anlagen betreiben, wird sich der Rest Europas weitestgehend von dieser Energieerzeugung zurückziehen und geplante Projekte vorerst stoppen. Mit einem Rückgang von 3PP auf insgesamt 21% bis 2035 und keiner weiteren Kapazitätserhöhung ist ein komplettes Ausscheiden dieser Technologie in Europa auf Dauer möglich.<sup>106</sup>

Bis zum Jahr 2035 werden rund 835 GW neuer Kraftwerksleistungen installiert, wobei die Ausscheidungsrate bei 507 GW liegt. Rund 2,73 Billionen US Dollar müssen für den Ausbau der Netze und neuer Kraftwerke investiert werden. Dabei werden rund 65% dieser Summe für eine zusätzliche Kraftwerksleistung von 835 GW bereitgestellt. Bei einer Ausscheidungsleistung von 507 GW, sind dies zusätzliche 328 GW. Der Rest fließt in die Netzverteilung und in die Netzübertragung. Die

---

<sup>105</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 94

<sup>106</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 228ff., S. 636

Netzverluste Europas betragen 2009 nur 5,2 % und konnten sich seit dem Jahr 2000 um rund 1% verbessern.

### Föderative Republik Brasilien

Die Föderative Republik Brasilien ist im regionalen Vergleich die autarkste Nation. Der Hauptbestandteil der industriellen Energieerzeugung von 827 TWh (+45% zu 2015) wird durch hydroelektrische Wasserkraft erzeugt. Der Beitrag dieser Energiequelle liefert 231 TWh im Jahr 2035 und steigert sich bis dato jährlich um 1,6%. Die Wasserkraft verliert zu 2015 8PP auf 64%, kann aber die beigesteuerte Energiemenge um 30% erhöhen. Der weitere Ausbau dieser Energiequelle wird sich jedoch als schwierig herausstellen, da das Potential schon ausgenützt ist. Die bestehenden hydroelektrischen Anlagen haben zwar hohe Kapitalkosten und Instandhaltungskosten und sind umweltbelastend, stellen aber den erzeugten Strom in der Nutzungsphase frei zu Verfügung. Neben den positiven Aspekten der Wasserkraft folgt aber auch die Angst von Engpässen in Dürrezeiten. Allein die Trockenzeit in 2001 verursachte einen Rückgang des brasilianischen BIPs um 15% zur Summe im Jahr 2000. Dies entsprach 91 Milliarden US Dollar. Um eine gesicherte Versorgung auch in Krisenzeiten gewährleisten zu können, wurde der nationale Energieplan Brasiliens 2010-2019 erstellt. Demzufolge sollen 63 GW der installierten Leistung aus nicht hydroelektrischen Anlagen generiert werden. Diese Anordnung treibt auch den Ausbau der Kernenergie voran, welche sich um 17% jährlich steigern wird und insgesamt 22 TWh produziert. In der Übersicht ist Brasilien überwiegend unabhängig von fossilen Brennstoffen. Diese Behauptung bestätigen auch die niedrigen Energieimporte des Landes. Alle drei fossilen Quellen sind national vorhanden und werden zur Tilgung von 19% des Strombedarfes 2035 verwendet. Erdgas nimmt mit 15% den wesentlichen Teil ein und erhöht seine Energiemenge jährlich um 4,3% auf 54 TWh. Neue Offshore Felder werden in Zukunft große Mengen für die nationalen Zwecke liefern. Kohle (18 TWh) und Erdöl (12 TWh) sind mit jeweils 2% eher unbedeutend in der Stromproduktion. Wie der globale Trend es vorgibt, verbucht die Windkraft mit jährlichen Wachstumsraten von 15% ein großes Interesse. Dies entspricht einer 4,5-fachen Zunahme und gleicht damit die Stromgenerierung durch Kohle und Erdöl aus.<sup>107</sup>

Die brasilianischen Investitionen in die Infrastruktur des Strommarktes betragen 157 Milliarden US Dollar und gehen zu knapp 70% in den Ausbau der Netzverteilung. Insgesamt sind über 36.800 km neu installierter Stromleitungen in Planung. Zudem werden weitere 198 Milliarden Dollar benötigt um neue Kapazitäten von 109 GW bis

---

<sup>107</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 228, S. 692



zum Jahr 2035 ans Netz zu bringen. Die Ausfallraten von 19 GW bis 2035 sind eher gering.<sup>108</sup>

Brasilien muss vorwiegend die extremen Netzverluste im Nordosten und in den Ballungszentren des Landes in den Griff bekommen. Im Jahr 2009 lagen diese bei 17% und sind ein extremer Produktionsunsicherheitsfaktor für den industriellen Verbraucher. Auslaufende Verträge mit Stromverteiler-Unternehmen, welche über 82% des gesamten Netzes bestimmen, müssen verlängert werden, um Versorgungssicherheit gewährleisten zu können. Wird dies nicht möglich, können Privatisierungsmaßnahmen Abhilfe schaffen. Betrachtet man die Versorgungssicherheit hinsichtlich der vorhandenen hydroelektrischen Anlagen, der Offshore-Gasfelder und der nicht existierenden Importabhängigkeit, ist diese in Zukunft weitestgehend abgesichert und verspricht großes wirtschaftliches Wachstum.

### **2.3.3 Regionale Entwicklung des industriellen Energiebedarfs**

Laut Abbildung 2-8 decken die Industrienationen ihren industriellen Bedarf größtenteils durch Elektrizität und Erdgas ab, im asiatischen Raum wird Kohle und Elektrizität verbraucht und Brasilien stellt zur Abdeckung der Bezüge einen großen Anteil an Biomasse und Müll zur Verfügung. Elektrizität ist der ausschlaggebende Parameter in der industriellen Produktion.<sup>109</sup>

Der hohe Energieverbrauch der chinesischen Industrie kann mit dem enormen Anteil am BIP erklärt werden. Anders wie in Industrienationen decken Schwellen- und Entwicklungsländer einen Großteil ihres BIPs durch die Industrie ab. 47% des Bruttoinlandsproduktes von China werden durch die eigene, energieintensive Industrie erwirtschaftet. Verglichen zu den Vereinigten Staaten (20%), Europa (26%) und Brasilien (28%) ist dies zum Teil der doppelte Wert und trägt entscheidend zum enormen Energieverbrauch des Landes bei. Die chinesische Industrie verbraucht 2035 etwa 30% der gesamten Primärenergie des Landes. Vergleicht man diesen Wert mit dem 11%igen Anteil der amerikanischen Industrie am gesamten Primärbedarf, wird der Unterschied zwischen einer Dienstleistungsgesellschaft und einer Nation mit Fokus Schwerindustrie bemerkbar. Bei den Nationen Europas und Brasiliens ist dieser Ansatz ähnlich ausgeprägt.<sup>110</sup>

---

<sup>108</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 228, S. 692

<sup>109</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 107ff.

<sup>110</sup> Worldbank Database, Zugriffsdatum: 03.10.12

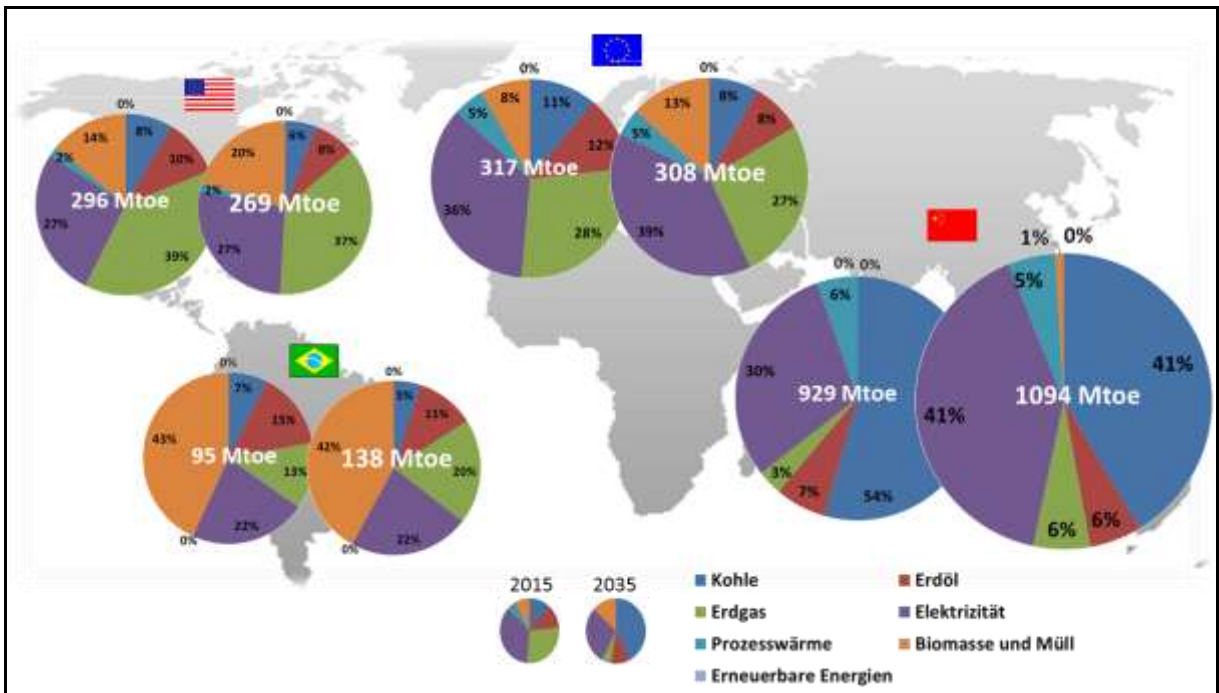


Abbildung 2-8: Regionale Entwicklung der industriellen Energiebereitstellung<sup>111</sup>

In Tabelle 2-7 sind die Daten zum regionalen Vergleich angegeben.

Energieverbrauch [in Mtoe]	USA			Volksrepublik China			Europa			Brasilien		
	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR	2015	2035	CAAGR
Kohle	25	16	-1,8%	505	454	-0,5%	35	25	-1,4%	7	7	0,0%
Erdöl	31	21	-1,6%	63	62	-0,1%	39	26	-1,7%	14	15	0,4%
Erdgas	114	100	-0,6%	31	68	6,0%	89	82	-0,4%	12	27	6,3%
Elektrizität	79	73	-0,4%	280	444	2,9%	112	120	0,4%	21	31	2,4%
Prozesswärme	5	4	-1,0%	50	57	0,7%	16	14	-0,6%	k.A.	k.A.	k.A.
Biomasse und Müll	42	55	1,5%	0	9	k.A.	26	41	2,9%	41	58	2,1%

Tabelle 2-7: Totaler industrieller Energieverbrauch der Regionen 2015 bis 2035<sup>112</sup>

### 2.3.3.1 Die Vereinigten Staaten von Amerika

Die amerikanische Industrie verbraucht unter allen OECD-Staaten am meisten Energie, jedoch verringert sich der Konsum bis zum Jahr 2035 um 10%. In Abbildung 2-8 ist der Trend zu Elektrizität und Biomasse erkennbar. Allgemein zeigt die Grafik einen sehr ausgeprägten Energiemix der USA. Der Energieträger mit dem größten Anteil am amerikanischen Industriemarkt ist das Erdgas mit 37% (-2PP zu 2015). Es

<sup>111</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 618ff.

<sup>112</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: International Energy Agency (2010), S. 630ff.

ist zu erwarten, dass dieser Bereich bezüglich des wachsenden Angebotes und der niedrigen Preise in Nordamerika weiterhin steigen und die Verwendung von Kraft-Wärme Anlagen wieder an Bedeutung gewinnen wird. Die Elektrizität ist industriell sehr gefragt, nimmt aber den gleichen Anteil wie 2015 ein (27%). In Tabelle 2-7 weisen, bis auf den Bereich Biomasse und Müll, alle Energieträger rückgängige Zahlen auf. Der Sektor Biomasse und Müll wird in der USA jährlich durchschnittlich um 1,5% dazugewinnen und erhöht den Bedarfsanteil auf 20% (+6PP zu 2015). Kohle und Erdöl werden langsam verdrängt und stellen nur noch 14% des gesamten Bedarfes dar. Wobei allein schon die Hälfte des flüssigen Brennstoffes in die Chemieindustrie fließt.<sup>113</sup>

Amerikanische Gesetzesvorgaben zielen auf Effizienzsteigerungsmaßnahmen ab. Das „US Department of Energy“ legte im „Energy Policy Act 2005“ fest, die Energieintensität der Industrie durch innovative Technologien bis 2017 um 25% senken zu wollen.<sup>114</sup> Auch der „Energy Independence and Security Act“ aus dem Jahr 2007 führte Maßnahmen zur Rückgewinnung von Abwärme und zur Unterstützung der Forschung, Entwicklung und Einführung effizienter Technologien in energieintensiven Industrien ein.<sup>115</sup>

Jedoch dienen die sehr niedrigen Energiepreise eher als Barriere. Da der Energiekostenbeitrag am Endprodukt so gering ist, werden Investitionen in anderen Bereichen getätigt, anstatt in energieeffiziente Prozessoptimierung.

### **2.3.3.2 Die Volksrepublik China**

Die enorme Verbrauchssteigerung um 18% ist der wachsenden energieintensiven Schwerindustrie, dem kontinuierlichen Ausbau der Infrastruktur sowie der Urbanisierung zu verdanken. Der chinesische Industriekonsum nimmt im Jahr 2035 28% des weltweiten Gesamtverbrauches ein und ist um das 4-fache größer als der Verbrauch der USA. Allgemein werden 2035 82% durch Elektrizität und Kohle abgedeckt. Kohle verliert zwar 13PP des gesamten Bedarfes, nimmt aber wie in anderen Verbrauchssparten des Landes einen hohen Anteil ein. Elektrizität und Erdgas weisen dagegen ein steigendes Wachstum auf. Die elektrische Energiemenge erhöht sich in der Periode um 58% und steigert ihren Anteil von 30% auf 41%. Zu erwähnen ist, dass die chinesische Elektrizität als Sekundärträger zu

---

<sup>113</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 88 und 630

<sup>114</sup> Vgl. US Department of Energy, Zugriffsdatum: 20.02.13

<sup>115</sup> Vgl. Authenticated US Government Information, Zugriffsdatum: 13.05.13

55% aus Kohle erzeugt wird. Der indirekte Kohleanteil an der industriellen Versorgung ist daher höher als der direkte Verbrauch. Der Erdgaskonsum wächst jährlich um 6% bis 2035, repräsentiert aber nur einen Anteil von 6% (+3PP zu 2015). Alle weiteren Energieträger verzeichnen nur geringe Zuwächse.<sup>116</sup>

Auch der chinesische Politik sind die ökologischen Auswirkungen ihres Wachstums bekannt, somit wurde am 14. März 2011 der Zwölfte 5-Jahres-Wirtschaftsplan durch den chinesischen Kongress bewilligt. Hauptfokus liegt in der Reduzierung der Energieintensität um 16% und der Emissionen pro BIP-Einheit um 17% bis 2015. Subventionen sollen ebenfalls die Marktentwicklung nicht-fossiler Energieträger beschleunigen. Laut der US Energy Information Administration (EIA) ist von 2005 bis 2009 die Energieintensität bereits um 16% gefallen. Bis 2020 ist laut EIA eine weitere Reduzierung um 39% möglich.<sup>117</sup>

### 2.3.3.3 Europa

Die Richtung der wirtschaftlichen, industriellen Entwicklung Europas ist vorgegeben und folgt dem Trend der Vereinigten Staaten. Der Dienstleistungssektor gewinnt im Laufe der Periode immer mehr an Wert und steigert den energetischen Bedarf jährlich um 0,7% bis 2035. Auch die Energie- und Umweltpolitik Europas ist weiter ein signifikanter Faktor zur Reduktion des Energiebedarfes. Im Jahr 2008 wurde der „20-20-20“ Plan des europäischen Parlamentes verabschiedet, welcher die Absicht verfolgt, eine Reduktion der Treibhausgasemission um 20%, eine Verbesserung der Energieeffizienz um 20% sowie einen erneuerbaren Anteil an der primären Energieerzeugung von 20% erreichen zu wollen. Auch das seit 2005 in Kraft getretene EU-ETS soll das geplante Ziel der Emissionsreduzierung unterstützen, trifft aber bei energieintensiven Industriesparten auf kollektiven Widerstand. Nachdem Industrievertreter ihre Missstimmung gegenüber den geplanten Emissionskontingenten preisgaben und eine Verlagerung der CO<sub>2</sub>-Emissionsquellen ins Ausland in Betracht zogen, wurde von politischer Seite eine 100%-ige Freigabe für betroffene „Carbon Leakage“-Industrien veranlasst, sofern die geplanten Effizienzsteigerungen trotzdem eingehalten werden.<sup>118</sup>

Der Energieoutlook zeigt etwa gleiche Verbrauchsmengen der Industrie. Die Elektrizität kann auch in Europa ihren Anteil auf 39% erhöhen und ist die meist

---

<sup>116</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 98 und 670f.

<sup>117</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 114f.

<sup>118</sup> Vgl. Energy Information Administration (2011), S. 113

gefragte Energieträger der Industrie. Zusammen mit Erdgas werden 66% der industriellen Nachfrage abgedeckt. Der Erdgas Anteil liegt bei 27% (-1PP zu 2035). Das größte Wachstum weist die Verwendung von Biomasse und Müll auf. Mit einer Beteiligung von 13% kann dieses Segment jährlich 2,4% zulegen und erhöht den Energiemengenkonsum um 58%. Kohle und Erdöl verlieren auch in Europa ihren Einfluss und liegen bei insgesamt nur noch 16% des Bedarfes im Jahr 2035 (-7PP zu 2015).<sup>119</sup>

#### **2.3.3.4 Föderative Republik Brasilien**

Brasilien ist der größte Wachstumsmarkt Südamerikas mit einem durchschnittlichen BIP-Wachstum von über 3% jährlich im Outlook. Die Industrie wird bis zum Jahr 2035 ihren Energieverbrauch um 45% erhöhen und mit 33% am Endenergiekonsum mitverantwortlich sein. Im Gegensatz zu den anderen Regionen wird 42% des Bedarfes durch Energieerzeugung aus Biomasse und Müll bereitgestellt. Dieser Bereich wächst um über 40% in der Periode. Weitere Energiequellen mit Verbrauchserhöhungen sind die Elektrizität und das Erdgas. Der Strombedarf steigert sich pro Jahr um 2,4% und liefert 22% des gesamten Industrieverbrauches. Da die Stromerzeugung in Brasilien grundsätzlich zu 75% (2035) aus Erneuerbaren Energien erfolgt, ist der gesamte Anteil an der industriellen Energielieferung durch regenerative Energien deutlich höher. Erdgas kann als einziger fossiler Rohstoff die gelieferte Energiemenge erhöhen und dehnt seinen Anteil von 13% auf 20% aus. Die durchschnittliche, jährliche Wachstumsrate ist im nationalen Vergleich die Größte mit 6,3%. Alle drei Energieträger nehmen im Jahr 2035 gemeinsam 84% des industriellen Konsums ein. Der Rest teilt sich auf Erdöl mit 11% (-4PP zu 2015) und Kohle mit 5% (-2PP zu 2015) auf.<sup>120</sup>

## **2.4 Einflussfaktoren auf den Energiepreis**

Viele energiemarktspezifische Faktoren haben einen direkten oder indirekten Einfluss auf eine Unternehmung. Infrastrukturmaßnahmen, Versorgungssicherheit sowie Energiepreisentwicklung sind ausschlaggebend für Investitionsentscheidungen und Produktivität einer Unternehmung in einer bestimmten Region. Die Automobilindustrie wird zunehmend direkt und indirekt von Preissteigerungen

---

<sup>119</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 634

<sup>120</sup> Vgl. International Energy Agency (2010), S. 690

beeinflusst. Indirekte Beeinflussung geht z.B. von Energiepreissteigerungen bei gas- und strombetriebenen Hybridfahrzeugen aus. Würden sich diese drastisch erhöhen, sinkt die Rentabilität dieser Fahrzeugtechnologien und somit auch die Käuferschaft. Direkt beeinflusst von Preiserhöhungen sind speziell energieintensive Prozesse einer Unternehmung. Steigende Kosten führen entweder zur Verkleinerung der Marge oder zur Preiserhöhung des Produktes. In diesem Kapitel werden einige wichtige Energiepreistreiber erläutert sowie ein Ein- und Ausblick auf die regionale Entwicklung der Energiepreise gegeben.

### 2.4.1 Energiepreistreiber

Um Wertschöpfung erzielen zu können, muss der betriebliche Fokus künftig auf steigende Energiepreise gelegt werden. So wird es in Zukunft entscheidend sein, ob regional über eigene Ressourcen verfügt wird, oder diese teuer eingekauft werden müssen. Im folgenden Abschnitt werden einige wichtige Energiepreistreiber näher beschrieben und analysiert.

#### 2.4.1.1 Preisbildung über Angebot und Nachfrage

Die globale Marktwirtschaft ist abhängig vom Verhältnis zwischen Angebot und Nachfrage. Abbildung 2-10 stellt die Koordination beider Einflussfaktoren durch den Preis dar.

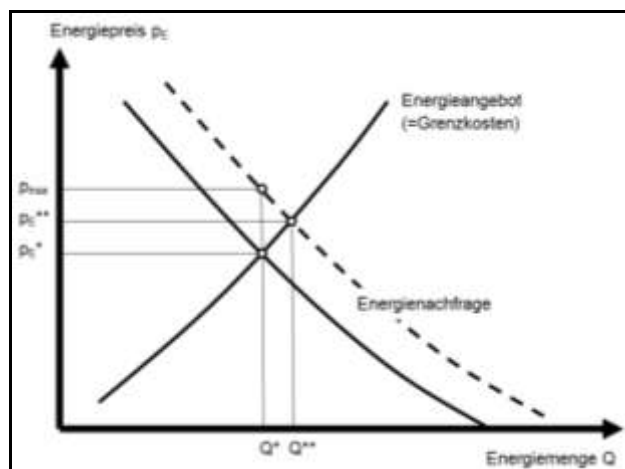


Abbildung 2-9: Preisgestaltung abhängig von Angebot und Nachfrage<sup>121</sup>

<sup>121</sup> Erdmann/Zweifel (2008), S. 104

Kommt es am Markt zu einer höheren Energienachfrage bei unverändertem Energieangebot, verschiebt sich der Preis vom Gleichgewicht  $p_E^*$  auf  $p_{max}$ . Ist der Kunde weiterhin bereit die Energie zu höheren Preisen einzukaufen, muss eine höhere Energiemenge angeboten werden, um den Preis zu stabilisieren. Dies geschieht kurzfristig über gelagerte Reserven, die zur Verfügung stehen, oder durch Auslastung der Produktion. Langfristig kann dies nur durch Erweiterung der Förderkapazitäten vonstattengehen. Somit erzielt man mit der eingesetzten Energiemenge  $Q^{**}$  ein neues Gleichgewicht  $p_E^{**}$ . Zu unterscheiden ist auch zwischen langfristiger und kurzfristiger Energienachfrage, da sich unterschiedliche Kurvenverläufe und Schnittpunkte mit der Angebotsmenge ergeben. Ausserdem ist das Marktverhalten der Teilnehmer sehr oft durch den vorhandenen Marktpreis reguliert, welcher für eine positive bzw. negative Kaufaktion entscheidend ist. Von großer Bedeutung für die Preisentwicklung wird die Erhöhung der Förderungsraten der Rohstoffgewinnung sein, sowie inwiefern die Versorgungssicherheit in Fällen hoher Nachfrage, auch beeinflusst durch den Eigentumsanspruch der jeweiligen Staaten, gewährleistet sein wird.<sup>122</sup>

China und Indien werden die Märkte mit hohen Nachfragen belasten. Beide Nationen sollen für den gesamten Anstieg der Kohlemenge, für 94% des Öl- sowie für 30% des Gasverbrauchsanstieges in den nächsten 20 Jahren verantwortlich sein. Kann diese zusätzliche Menge nicht am Markt bereitgestellt werden, wird es kurz- oder langfristig zu Engpässen kommen.<sup>123</sup>

#### **2.4.1.2 Die Energie- und Elektrizitätspolitik**

„The extent to which adverse exogenous events with respect to a country’s energy supply system may detrimentally affect the welfare of the country’s population and/or the integrity of the State, its territory or its institutions.“ Dieses Zitat von CHRISTIE<sup>124</sup> unterstreicht die Wichtigkeit einer strategisch gut ausgerichteten Energiepolitik eines Landes.

Die Energiepolitik, welche nach der Ölpreiskrise 1973 international an Aufmerksamkeit gewann, hat die Möglichkeit, regulierend in den freien Markt einzugreifen, um gewisse Rahmenbedingungen für eine zukünftige Entwicklung des Landes festzulegen. Je nachdem, wie die Nation ihre energiepolitischen Ziele gesetzt

---

<sup>122</sup> Vgl. Erdmann/Zweifel (2008), S. 4ff.

<sup>123</sup> Vgl. British Petrol (2012), Zugriffsdatum: 05.01.13, S. 45

<sup>124</sup> Christie, E.H. (2009), S. 277

hat, wird die Regierung Verordnungen, Gesetze und Vorgaben für ein positives Resultat verfassen. Laut des österreichischen Energieberichtes 2003 sind grundsätzlich vier energiepolitische Ziele eines Landes vorgegeben:<sup>125</sup>

- Versorgungssicherheit
- Wirtschaftlichkeit
- Umweltverträglichkeit
- soziale Akzeptanz

Jede Nation kann selbst über die Wichtigkeit der einzelnen Ziele entscheiden, sofern diese nicht an vertraglichen Bedingungen wie z.B. dem Kyoto Protokoll gebunden sind. Des Öfteren werden auch einzelne Punkte vernachlässigt, da die allgemein vorherrschende Energielage es nicht zulässt, größeres Engagement in der jeweiligen Problematik zu zeigen. Diese These spiegelt sich im chinesischen Wirtschaftsaufschwung sowie in den enormen Umweltbelastungen wieder.

Um bestimmte Energieziele erreichen zu können, müssen hohe staatliche sowie private Investitionen in allen Bereichen getätigt werden. Staatliche Programme und Gesetze zur Förderung nicht-fossiler Energieträger müssen für die Reduzierung der Importabhängigkeit integriert werden.

Die Entwicklung der Elektrizitätspolitik der einzelnen Regionen hängt größtenteils mit sechs Einflussfaktoren zusammen: der Politik, den Energie Reserven, der Wirtschaft, der Umwelt, der Technologie und der Versorgungssicherheit.<sup>126</sup>

Die Interaktion der einzelnen Faktoren untereinander bestimmt hierbei die Entwicklung der Strompolitik. Diese Parameter werden in den regionalen Karteikarten am Ende der Diplomarbeit näher in Betracht gezogen.

### **2.4.1.3 Liberalisierte und subventionierte Märkte**

Durch staatliche Liberalisierungsmaßnahmen werden Monopole am Markt beseitigt und der freie Handel am Binnenmarkt eingeführt. Liberalisierte Märkte stellen einen fairen Wettbewerb sicher und bieten dem Marktteilnehmer ein investitionsgünstiges Umfeld an. Nach der Liberalisierung wiesen die Märkte anfangs ein günstiges Preisniveau auf, welches sich aber im Laufe der Jahre wieder steigerte. Der Strompreis setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen:

---

<sup>125</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (2003), Zugriffsdatum: 13.01.13, S.49ff.

<sup>126</sup> Vgl. Yang (2006), Zugriffsdatum: 18.04.13, S. 36



- Energiepreis
- Netzpreis
- Steuern bzw. Abgaben

Hierbei ist nur der Energiepreis dem freien Handel untergeordnet.

Auch subventionierte und staatlich kontrollierte Energiemärkte, wie man sie in Indien und China vorfindet, treiben den Konsum weiterhin an. Somit fühlt sich der Käufer in einer subventionierten Marktstruktur nicht genötigt, bei einem internationalen Preisanstieg sein Konsumverhalten ändern zu müssen. Das Subventionsvolumen dieser Länder betrug 2008 zwischen 42 und 45 Milliarden US Dollar.<sup>127</sup>

#### **2.4.1.4 Ölmarktentwicklung und dessen Auswirkungen**

Im folgenden Abschnitt wird der Zusammenhang des Erdölpreises mit der Energiepreisentwicklung dargestellt. Für viele Experten ist der bedeutendste Einflussfaktor der Ölpreis am Markt. Die wichtigsten Parameter, welche diesen bestimmen, sind unter anderem:

- die weltweite Erdölnachfrage
- das Erdölangebot auf dem Markt
- Spekulationen und Verhalten der Marktteilnehmer

In der unten dargestellten Grafik ist die Korrelation zwischen dem Wirtschaftswachstum und dem Erdölpreis am Spotmarkt gegeben. Ähnlich, wie bei der Entwicklung des Energiekonsums, korreliert der Erdölpreis zu 96% mit dem BIP Wachstum im Zeitraum 2000 bis 2011. Anhand dieser Grafik werden die oben erwähnten Punkte näher erläutert.

Im Zeitraum von 2000 bis 2008 stieg die Nachfrage enorm an, konnte jedoch nicht befriedigt werden, da die globale Ölproduktion ab 2005 an ihr Limit gelangt war. Das Ergebnis war ein drastischer Anstieg des Ölpreises bis zur Rezession 2008. Nicht in der Grafik ersichtlich ist der enorme Preisanstieg von zeitweise unter 40 Dollar pro Barrel 2008 auf 90 Dollar pro Barrel 2009, welcher auf spekulative Wettgeschäfte zurückzuführen ist. Die frei zu Verfügung gestellten Gelder der Notenbanken wurden für riskante Wetten an der Erdölbörse verwendet und trieben den Preis kontinuierlich nach oben. In den letzten vier Jahren wurde die europäische Wirtschaft mit jährlich

---

<sup>127</sup> Vgl. International Energy Administration (2010), S. 605ff.

50 Milliarden Euro belastet, da Spekulationen auf die Konsequenzen möglicher Erdölversorgungsunterbrechungen den Markt negativ beeinflusst haben.<sup>128</sup>

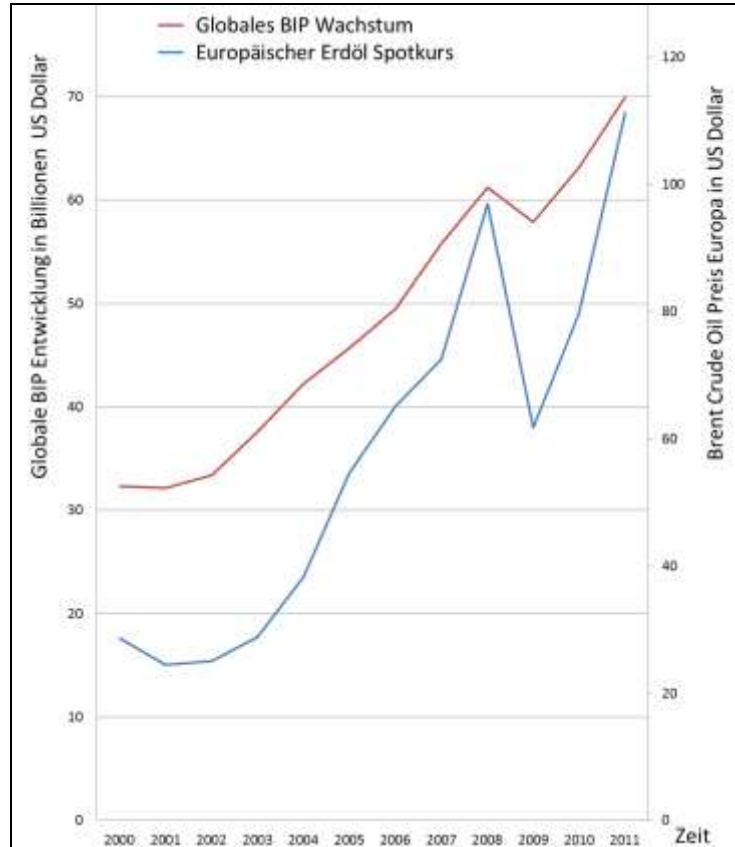


Abbildung 2-10: Entwicklung der globalen Wirtschaft und des Erdölpreises<sup>129</sup>

Zudem kann die OPEC durch Beschlüsse über Förderraten und Investitionen das Angebot und den Preis teilweise bestimmen. MABRO<sup>130</sup> beschreibt 2005 die Beziehung zwischen Marktwirtschaft und OPEC folgend:

“The determination of oil prices in the current regime involves complex relationships between the market and OPEC. To put it more precisely, a key determinant of prices relates to the ways in which OPEC signals to the market and the ways in which the market receives, interprets and responds to these signals.”

Weitere Faktoren, welche das Angebot beeinträchtigen können, wären politische Konflikte, Förderausfälle, steigende Produktionskosten bei der Erschließung neuer Felder, sowie die Wachstumsrate unkonventioneller Ölvorkommen.

<sup>128</sup> Vgl. Europäische Kommission (2013), Zugriffsdatum: 03.02.13, S. 2

<sup>129</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Worldbank Database und Energy Information Administration

<sup>130</sup> Mabro (2005), S. 3ff.

Allgemein lassen sich alle Energieträger bei Preiserhöhungen in bestimmtem Maß ersetzen. Somit hängt der Ölpreisanstieg wiederum mit steigenden Preisen für Gas und Strom zusammen. Erdgaspreise orientieren sich bekanntlich an den Erdölpreisen und folgen diesen mit einem Zeitverzug von einem halben Jahr. Der Marktwettbewerb sowie Indexierungsklauseln in langfristigen Lieferverträgen binden beide Preise aneinander.<sup>131</sup>

Auch die Elektrizitätspreise korrelieren mit der Erdölentwicklung. Anhand historischer Datenreihen von 1990 bis 2011 des amerikanischen Marktes konnte ein Korrelationsfaktor von 91% zwischen der Brent-Crude-Oil Preisentwicklung und den amerikanischen Industriestrompreisen in dieser Periode festgestellt werden.

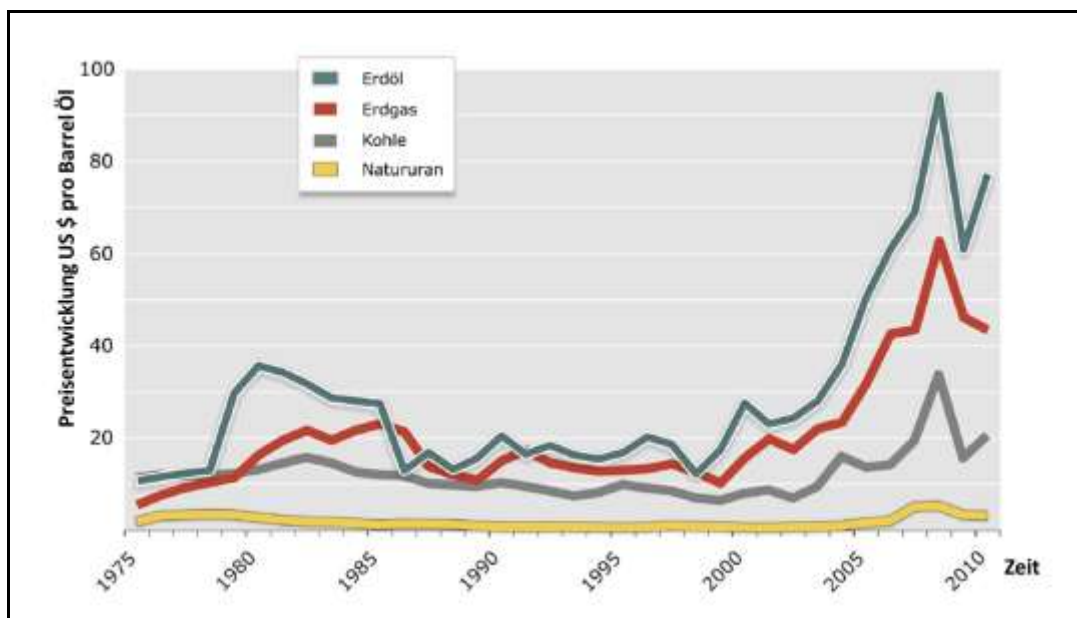


Abbildung 2-11: Analogien der europäischen Energiepreisentwicklung<sup>132</sup>

Abbildung 2-13 zeigt die Entwicklung der nominalen Energiepreise des europäischen Marktes. Bis zum Jahr 2000 schwankten die Rohstoffpreise unabhängig voneinander, jedoch ab 2003 folgen die Preise für Kohle und Erdgas demnach dem Erdölpreisanstieg um ein Jahr verzögert. Erwähnenswert ist der Faktor, um welchen sich die Preise erhöhen. Im Jahr 2007 bis 2008 erhöht sich der Erdölpreis um den Faktor 1,35. Erdgas- und Kohlepreise ziehen um den Faktor 1,45 und 1,75 nach. Interessant ist hierbei die deutliche Steigerung des Kohlepreises gegenüber dem

<sup>131</sup> Vgl. Wohinz/Moor (1989), S. 85

<sup>132</sup> Deutsche Rohstoffagentur (2011), Zugriffsdatum: 05.12.12, S. 13

Erdölpreis. Uranpreise sind weitestgehend konstant, haben jedoch ebenfalls auf die Entwicklung im Jahr 2008 reagiert. Dieser Trend ist regional sehr stark abhängig von eigenen Rohstoffressourcen, eigenem Verbrauch sowie Rohstoffimporten und kann somit nicht auf alle Märkte übertragen werden. Allgemein ist der Rohölpreis aber ein Maßstab für international gehandelte Energiepreise.

## 2.4.2 Regionaler Ein- und Ausblick

### Die Vereinigten Staaten von Amerika

In den Vereinigten Staaten werden Erdgas und erneuerbare Technologien in Zukunft entscheidend für die Strom- und Gaspreisentwicklung sein. Beim Strompreis, welcher momentan sehr billig gehandelt wird, kann es zu einer Erhöhung durch zusätzliche Infrastrukturinvestitionen und Förderungen für erneuerbare Energien kommen. Momentan sind die Preise noch so gering, dass diese keine großen Auswirkungen auf die energiebezogene Produktivität einer Unternehmung hat. Die EIA stellt hinsichtlich der Strom- und Gaspreise als einzige nationale Behörde einen Ausblick auf den amerikanischen Markt vor.

Energiepreisentwicklung	EIA			IHS Global Insight		
	2015	2025	2035	2015	2025	2035
Strompreis Industrie [\$ct/kWh]	6,5	6,7	7,1	7	7,4	8,1
Gaspreis Industrie [\$ct/m <sup>3</sup> ]	5	6,19	7,73	6,95	6,99	7,22

Tabelle 2-8: Energiepreisentwicklung der amerikanischen Industrie<sup>133</sup>

In Tabelle 2-8 werden die preislichen Zukunftsaussichten der EIA mit einer weiteren Agentur, der IHS Global Insight (IHSGI), verglichen. Die IHSGI konzentriert sich ähnlich wie die EIA auf einen Zeithorizont bis 2035 und setzt ähnliche Bedingungen zur Kostendarstellung voraus. Für den industriellen Strompreis ist die Range für künftige Erhöhungen zwischen 9% und 16% in einem vergleichbaren Ausmaß angesetzt. Anders fällt die Betrachtung zu den Erdgaspreisen der Industrie aus. Hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Behörden. Die EIA spricht sich trotz Schiefergasförderung für einen enormen Preisanstieg von 54% bis zum Jahr 2035 aus. Verglichen zur 3,9%-igen Steigerung im IHSGI Forecast ist dies eine komplett andere Sichtweise. Dies lässt vermuten, dass bezüglich der

<sup>133</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Energy Information Administration (2012), S. 108ff.

prognostizierten Fördermengen der Schiefergasproduktion bis 2035 bei manchen Experten und Behörden noch Skepsis vorherrscht und kommende Entwicklungen am Erdgasmarkt zuerst beobachtet und analysiert werden müssen, bevor Rückschlüsse hinsichtlich des Erdgaspreises gezogen werden.

### Volksrepublik China

Allgemein werden die asiatischen Großmächte China und Indien in Zukunft mit Elektrizitätsknappheit speziell in wirtschaftlichen Ballungszentren, sowie mit Inflation und daraus folgenden potentiellen, wirtschaftlichen Verlusten konfrontiert. Chinesische Kraftwerksbetreiber reagieren sehr empfindlich auf Kohlepreiserhöhungen. Allein die Kosten für Kohle machen 70% der Stromproduktionskosten in Kohlekraftwerken aus und konnten bisweilen durch regulierte Strommärkte nicht auf den Endkunden übertragen werden. Dies brachte viele EVUs in finanzielle Schwierigkeiten. Eine im Jahr 2005 von der Regierung eingeführte Koppelung der Kohle- und Elektrizitätspreise erlaubt es bei einer Überschreitung des Marktpreises für Kohlegüter von mehr als 5% einen 70%-igen Anteil dieser Kosten auf den Strompreis der Verbraucher übertragen zu können. Somit nehmen private und staatliche Stromproduzenten nur 30% der zusätzlichen Kosten auf. Diese Problematik wird sich auch in Indien zeigen, da die Elektrizitätswirtschaft ähnlich strukturiert ist. Auch der internationale Druck hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Reduzierungsmaßnahmen wird die Regierung in Peking zur Einführung einer Emissionsbesteuerung veranlassen, um ökologische Folgen zu reduzieren. In der Kurzzeitbetrachtung ist es prinzipiell bedeutender emissionsarme Technologien zu implementieren und sich auf den Infrastrukturausbau, sowie die Anlageneffizienzsteigerung zu fokussieren. Auf lange Sicht sollten Stromknappheit und Preiserhöhungen minimiert werden.<sup>134</sup>

### Europa

Europas Strom- und Gaskosten sind in den letzten Jahren um über 30% gestiegen. Auch die künftigen Aussichten sehen diesbezüglich eher düster aus. Im Jahr 2035 wird Europa eine durchschnittliche Importabhängigkeit aller drei fossilen Rohstoffe von 89% aufweisen. Diese schlechte Eigenversorgung sowie die ökologischen und politischen Entscheidungen in der Elektrizitätspolitik müssen in den nächsten Jahrzehnten vom Endverbraucher getragen werden. Die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit industrieller Unternehmungen wird weiterhin eine Herausforderung sein, mit der sich Industriebetriebe konfrontiert sehen. Jedoch können neue Technologien und eine effizientere Produktion die Wertschöpfung

---

<sup>134</sup> Vgl. Edwards (2012), Zugriffsdatum: 20.01.2013, S. 19ff.

aufrechterhalten. Das Ziel Europas sollte eine „Europäisierung der Märkte“ sein. Um weiterhin ein wettbewerbsfähiger und technologischer Marktführer bleiben zu können, muss ein funktionierender Binnenmarkt unter den Mitgliedsstaaten entstehen und die internationale Partnerschaft ausgebaut werden. Ein konsequenter Ausbau der grenzübergreifenden Netzinfrastruktur ist notwendig, um die erzeugte Windenergie des Nordens und die Solarenergie des Südens in hohe Verbrauchsregionen leiten zu können. Dieses Vorhaben kann nur durch transparente und unter Aufsicht stehende Märkte vonstattengehen.

### Föderative Republik Brasilien

Brasiliens Energiepolitik wird sich in den kommenden Jahren in eine neue Richtung bewegen. Die gefundenen Offshore-Felder an der Küste Brasiliens werden in Zukunft die nationale Importabhängigkeit beseitigen und der Nation Autarkie bescheren.

Die Entwicklung der brasilianischen Industrie wird auch weiterhin von hohen Gebühren- und Steuerabgaben gebremst. Mit durchschnittlichen, industriellen Strompreisen von 180 \$/MWh, steht Brasilien an drittletzter Stelle im internationalen Ranking. Eine Studie der „FGV School of Business Administration“ in Sao Paulo und der „Brazilian Association of Major Power Consumers“ besagt, dass eine Kürzung der Abgaben einen zusätzlichen wirtschaftlichen Aufschwung von 0,92% des BIPs bis 2020 erzeugen könnte. Dies wäre eine Summe von über 318 Milliarden Dollar. Die Elektrizitätskosten der Industrie könnten dadurch um 22% bis 27% gekürzt werden und würden die heimische Industrie international wieder wettbewerbsfähiger machen. Die Regierung darf die Stromlieferung nicht als Steuereinnahme sehen, sondern muss die Möglichkeit, sich wirtschaftlichen Erfolg sichern zu können, erkennen und diese ergreifen.<sup>135</sup>

---

<sup>135</sup> Vgl. Solange (2011), S. 15ff.

### 3 Die globale Entwicklung des Automobilsektors

Der zweite Teil dieser Arbeit befasst sich mit dem regionalen Vergleich des Energiekosteneinflusses bei der Herstellung eines bestimmten Produktes. Damit dieser Vergleich möglich ist, muss die Schnittstelle zwischen Energie und Produktion definiert werden. Die weltweite Aufschlüsselung der Energiemärkte im ersten Abschnitt soll ein Grundverständnis für politische und energieökonomische Entwicklungen einzelner Regionen liefern sowie zukünftige Energieproblematiken aufdecken. Anhand dieser Analysen kann man regionale Abhängigkeiten identifizieren und deren Auswirkung auf die Energiepreisentwicklung prognostizieren. Die unterschiedlichen Energiepreise haben unterschiedlichen Einfluss auf die Produktionskosten einer Unternehmung. Die Automobilproduktion führt wiederum weltweit gleiche Herstellungsmechanismen ein, d.h. es werden nicht Modelle für vorgesehene Absatzmärkte neu entwickelt, sondern Grundstrukturen eines Automobilmodells werden übernommen. Der zu Grunde liegende Produktionsprozess ist somit in Asien der gleiche wie in Europa und weist erhebliche Kostenvorteile in Hinblick auf bisherige Herstellungsverfahren auf. Minimale Abweichungen der Prozesse sind regional noch zu erkennen, werden aber in der Prozessanalyse vermerkt und gegebenenfalls übernommen.<sup>136</sup>

Ziel einer Unternehmung ist es, ein Arbeitsgegenstand in möglichst kurzer Zeit mit effizienten Anlagen und qualifizierten Arbeitskräften weitestgehend verlustlos bzw. mit geringem Energieaufwand produzieren zu können, ohne dabei an Quantität und Qualität einbüßen zu müssen. Die Herausforderung ist die Produktionsmenge pro Zeiteinheit zu steigern und die vorgegebenen Randbedingungen des Kunden einzuhalten.<sup>137</sup>

Um ein besseres Verständnis für die Automobilbranche zu erlangen, werden folglich Einflussfaktoren, der Wandel im Materialeinsatz, neue Produktionstechnologien und Marktentwicklungen näher analysiert.

---

<sup>136</sup> Vgl. Schmieder/Thomas (2005), S. 2ff.

<sup>137</sup> Vgl. Schieferdecker/Fünfgeld/Bonneschky (2006), S. 2f.

### 3.1 Einflussfaktoren auf den globalen Automobilsektor

*„Developing technology is a difficult and uncertain process. Neither large capital investments nor a significant stock of existing science and engineering capability can guarantee success. To create commercially viable products and services, firms must monitor and access new forms of knowledge [...], understand evolving market trends, and respond rapidly to changing customer demand.“*

GILBOY<sup>138</sup> setzt als Grundvoraussetzung einer erfolgreichen Unternehmensstrategie das Verständnis für Marktentwicklung und Kundenbedürfnisse voraus. Unternehmen können sich nicht auf ihre technologische Kompetenz und Überlegenheit stützen, sondern müssen die Marktsituation und dessen Entwicklung zuerst definieren sowie verstehen, um erfolgreich agieren zu können.

Die strategische Ausrichtung Magnas als globaler Automobilzulieferer wird durch die regionale Bedeutung und Entwicklung drei großer Bereiche beeinflusst: Ökonomie, Gesellschaft und Mobilität. Die Haupttreiber der ökonomischen Entwicklung sind neben der steigenden Globalisierung und der zunehmenden Umweltbelastung auch die am Markt herrschende Knappheit fossiler Rohstoffe und Materialien. Der Bereich Gesellschaft beinhaltet den Kundenwunsch nach virtueller Verknüpfung zwischen Automobil und Netzwerk, wie auch den Wunsch nach steigender persönlicher und regionaler Individualität sowie Produktidentifikation. Der letzte Punkt wäre die Mobilität. Wachsende Einkommensverhältnisse und Urbanisierung erhöhen das individuelle Verlangen nach Mobilität. Auch neue Antriebmöglichkeiten, neue Automobilvarianten und Produktionsmechanismen werden sich auf die Mobilität der Zukunft auswirken. All diese Faktoren haben einen Effekt auf die unternehmerische Strategie des Automobilzulieferers Magna und müssen in Zukunft marktspezifisch analysiert und verstanden werden.<sup>139</sup>

Das Innovationsportfolio der Unternehmung Magna ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Diese Arbeit kann prinzipiell dem Bereich “Efficient product development and manufacturing process“ zugeordnet werden. Da aber der zunehmende Einsatz neuer Materialien im Automobilbau auch die Produktarchitektur beeinflusst, wird im folgenden Punkt auf den Bereich “Affordable Lightweight Material and Science“ eingegangen.

---

<sup>138</sup> Gilboy (2004), S. 42

<sup>139</sup> Vgl. Magna (2012 b), S. 3





Abbildung 3-1: Innovationsportfolio Magna<sup>140</sup>

### 3.2 Der Trend zum automobilen Leichtbau

Der Trend zum automobilen Leichtbau ist bedingt durch das Kundenbedürfnis nach einer besseren Fahrdynamik und einem effizienteren Brennstoffverbrauch. Somit beeinflusst der automobilen Leichtbau zudem gesetzliche Vorschriften zur Emissionsreduzierung und verbessert durch neue Materialien die Unfallsicherheit. Seit 2000 ist das durchschnittliche Gewicht eines Fahrzeuges durch effizienten Einsatz von Leichtmetallen um über 16% gesunken. Dieser Wert kann durch effizientere Bauweise mit Aluminium, Magnesium und kohlenstoffverstärkten Kunststoffen weiter reduziert werden. Zudem hat der Einsatz von Aluminium auch einen positiven Effekt auf die Reduzierung des Gesamtfahrzeuggewichts. Die Anwendungsbereiche des Aluminium sind regional unterschiedlich und betreffen auch unterschiedliche Automobilsegmente. Die Gewichtseinsparungen sind hauptsächlich im Innen- und Außenbereich, im Karosseriebau, im Motorblock und im Antriebsstrang zu finden. Der Marktanteil des Aluminiums in der Automobilbranche wird sich bis 2020 in Nordamerika um 31% CAAGR, in Europa um 13% CAAGR und in China um 16% CAAGR erhöhen. Die erhöhte Nachfrage für diesen Rohstoff verursacht auch eine Preissteigerung um 45% bis 2020. Seit 2000 ist der Aluminiumanteil pro Kilogramm je Fahrzeug in den USA um +31%, in der EU um +24% und in China um +26% gestiegen.<sup>141</sup>

<sup>140</sup> Magna (2012 b), S. 33

<sup>141</sup> Vgl. Magna (2012 c), S. 9ff.

Eine ähnliche Entwicklung wird vom „Advanced High Strength Steel“ (AHSS) ausgehen, welcher in den nächsten 8 Jahren den normalen Stahl („Mild Steel“) ablösen wird. Dieser unlegierte Stahl verbessert durch hohe Festigkeit und gute Verformbarkeit die Unfallsicherheit und ist zudem leichter als der üblich verbaute Stahl.<sup>142</sup>

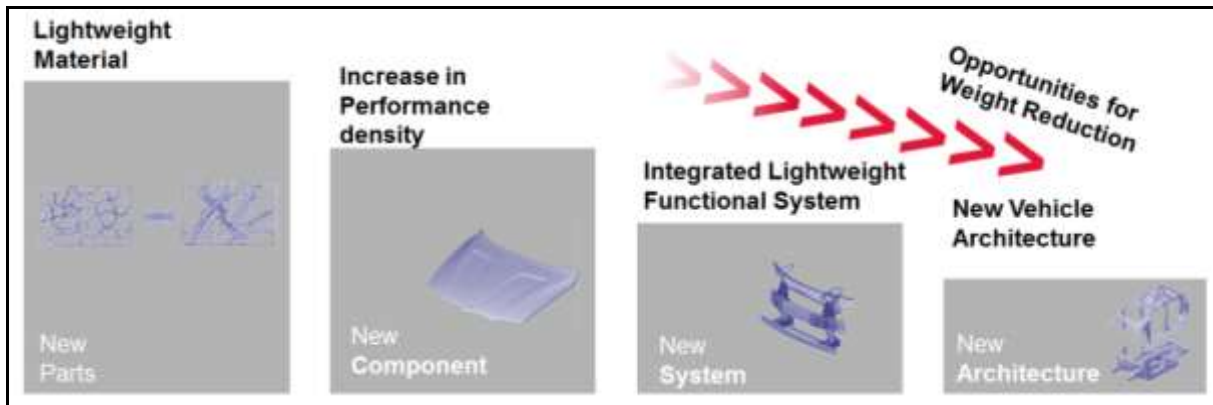


Abbildung 3-2: Lightweight Entwicklungsvarianten<sup>143</sup>

Die Abbildung 3-2 zeigt die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten der neuen Materialien, welche im Automobilbau sehr variabel sind. Es ist dem OEM möglich, einzelne Komponenten oder ganze Module durch leichtere Bauteile auszutauschen. Neu konstruierte Lightweight-Produktarchitekturen sind daher für die Zukunft keine Seltenheit und beeinflussen somit die Produktion direkt.<sup>144</sup>

### 3.3 Produktionsmechanismen in der Automobilbranche

Seit den 1980-er Jahren hat sich die Automobilbranche in der Modell- und Variantenvielfalt stark verändert. Grund dafür war der steigende Wunsch nach Individualität des Kunden. Die führenden OEMs mussten die Produktionstechniken weitestgehend ändern, um sich der steigenden Anzahl an Nischenprodukten und den marktspezifischen, unterschiedlichen Anforderungen anpassen zu können. Mehr

<sup>142</sup> Gespräch mit Matthew Foley, Magna International, am 19.11.13

<sup>143</sup> Magna (2012 d), S. 13

<sup>144</sup> Gespräch mit Matthew Foley, Magna International, am 19.11.13

Produktvarianten verkleinerten die Stückzahlen und vergrößerten die Menge und Komplexität der Komponenten.<sup>145</sup>

Mittlerweile sind pro Automobil zwischen 10.000 und 15.000 Einzelteile verbaut, welche bestimmte Aufgabenbereiche erfüllen und untereinander agieren müssen. Der gesamte Entwicklungsprozess ist komplexer und anspruchsvoller geworden, daher bedarf es einer koordinierten und organisatorischen Planung sowie Aufgabenverteilung. Zudem sind Rationalisierungsmaßnahmen bedingt durch Dezentralisierung, Globalisierung und einer steigenden Anzahl an Wettbewerbern am Markt unabdingbar. Kundenorientierung, Kostensenkung, Qualitätsverbesserung, Durchlaufzeitverkürzung und möglichst hohe Flexibilität sind die entscheidenden Grundpfeiler, auf welchen die Prozessoptimierung heutzutage aufgebaut ist. Im Folgenden werden Produktionstechniken zum Einhalten dieser Vorgaben näher erläutert.<sup>146</sup>

### **3.3.1 Die Produktarchitektur**

Unter dem Begriff Produktarchitektur versteht man auch Produktstruktur. Nach RAPP<sup>147</sup> wurde die Produktstruktur als Zusammensetzung eines Erzeugnisses aus Komponenten, Baugruppen, Einzelteilen und deren Zuordnung (Schnittstelle) zueinander definiert.

Die Produktarchitektur beschreibt somit die Kernfunktion des Produktes und die funktionale und physische Abhängigkeit der Komponenten. Dabei wird die Komplexität des Produktes in drei verschiedenen Varianten erläutert:<sup>148</sup>

- Funktionsstruktur
- Baustruktur
- Zuordnung

Die Funktionsstruktur definiert alle Funktionen zwischen verschiedenen Komponenten und gliedert diese in Einzelfunktionen. Anhand von Diagrammen werden die einzelnen Beziehungen untereinander dargestellt. Die Baustruktur dient zur Realisierung der physischen Zusammenhänge einzelner Produktfunktionen. Die Darstellung der Baustruktur ist eine hierarchisch strukturierte Gliederung der Bauteile

---

<sup>145</sup> Vgl. Schmieder/Thomas (2005), S. 161

<sup>146</sup> Vgl. Saygan (1999), S. 5f.

<sup>147</sup> Vgl. Rapp (1999), S. 9

<sup>148</sup> Vgl. Cornet (2002), S. 40f.

und zeigt die einzelnen Interaktionen unter den Komponenten. Das Gesamtprodukt wird somit in Erzeugnis, Baugruppe und Bauteil veranschaulicht. Die Zuordnung zeigt die unterschiedlichen Abhängigkeiten zwischen Funktion und Komponente. Im Idealfall hat jede Komponente nur eine Funktion zu erfüllen. Dies wird als eins-zu-eins Beziehung bezeichnet.<sup>149</sup>

Allgemein wird zwischen modularer und integraler Produktarchitektur unterschieden. Nach ULRICH<sup>150</sup> ist die angestrebte modulare Architektur eine eins-zu-eins Zuordnung zwischen Funktion und Komponente. Jede Komponente kann so im System von einer anderen mit identischer Schnittstelle ersetzt werden. Somit spricht man von einer funktionalen und physischen Unabhängigkeit der Bauteile zueinander. Die integrale Architektur weist komplexe Zuordnungen auf. Funktion und Komponente sind hier mit mehreren Schnittstellen gekoppelt und verfügen über Abhängigkeiten untereinander. Somit kann eine Komponente nicht aus dem Gesamtsystem entfernt werden, ohne dadurch andere Einheiten hinsichtlich ihrer Funktionalität zu beeinflussen. Der Lebenszyklus einer Produktarchitektur ist generell länger als der einer einzelnen Einheit in der Basisstruktur. Wenn man von spezifischen Einheiten spricht, verwendet man meist den Begriff Modul. Bevor man Module integriert, muss man allerdings zuerst eine Grundlage schaffen, in welcher man mit passenden Schnittstellen eine Differenzierung anbietet. Als Grundlage in der Automobilbranche dienen sogenannte Plattformen, auf welche in folgendem Punkt näher eingegangen wird.

### **3.3.2 Das Plattformkonzept**

Der globale Trend geht Richtung Plattformstrategie, welche einen enormen Wettbewerbsvorteil bietet und in den kommenden Jahrzehnten die Branche prägen wird. Mit dem Plattformkonzept will man den Gleichanteil der Produktvarianten untereinander erhöhen. Somit werden bestimmte Baugruppen des Automobils als Basis für verschiedene Varianten gesehen. Zudem wird der Innovation- und Entwicklungsprozess verkürzt, da nicht jedes Produkt neu entwickelt werden muss.<sup>151</sup>

---

<sup>149</sup> Vgl. Cornet (2002), S. 41ff.

<sup>150</sup> Vgl. Ulrich (1995), S. 422

<sup>151</sup> Vgl. Schmieder/Thomas (2005), S. 28

Definition

Für den Begriff Plattform gibt es keine standardisierte Definition. Jedes Automobilunternehmen hat eine eigene Vorstellung von der technischen Ausführung der Komponenten und der Konstruktion der Modelplattform. Volkswagen definiert ihre Plattform zum Beispiel als „Bodengruppe, den Antrieb, Teile des Cockpits, die Achsen und den Treibstofftank“.<sup>152</sup>

Konzept

In der Regel dient die Plattformstrategie als eine architektonische und/oder strukturelle Basis für darauf aufgebaute Produktfamilien. Die Plattform dient als einheitliche Grundlage, auf welcher mehrere Modelle eines Unternehmens basieren. Dies bedeutet, dass die Grundstruktur des Automobils des gleichen Segmentes konzernintern dieselbe ist.

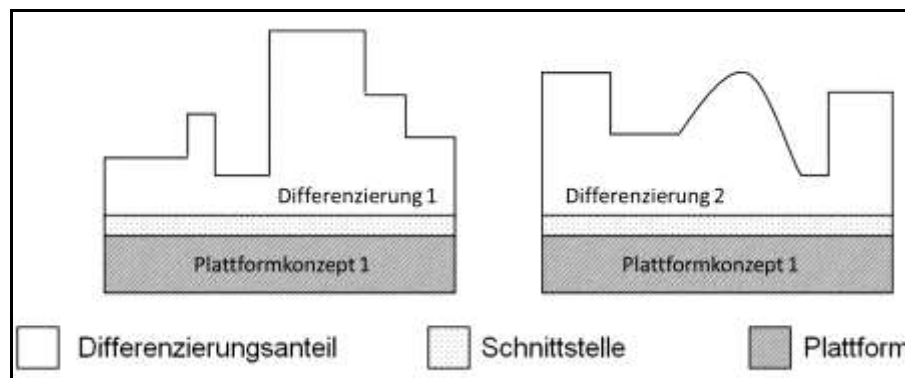


Abbildung 3-3: Darstellung des Plattformkonzeptes<sup>153</sup>

Allgemein, wie in Abbildung 3-3 dargestellt, besteht eine Plattform aus Gleichteilen, welche die Grundstruktur bilden, und einen Differenzierungsanteil. Dieser dient als Spezialisierung unter den einzelnen Varianten und muss zur Plattform kompatibel sein. Dazwischen fungiert eine Schnittstelle, welche die physische Funktionalität zwischen beiden Segmenten sicherstellt und eine Einheit aus beiden bildet. In erster Sequenz müssen Teile, Baugruppen sowie Prozesse und Produktionsanlagen identifiziert und bezüglich ihrer Leistungs-, Funktionalitäts- und Produktionsanforderung zusammengefasst werden.<sup>154</sup>

<sup>152</sup> Vgl. Muffato/Roveda (2000), S. 618

<sup>153</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Cornet (2002), S. 62

<sup>154</sup> Vgl. Schmieder/Thomas (2005), S. 96

Einen groben Überblick der Komponenten, welche von einer Plattform beinhaltet werden, führt Cornet in seinem Buch „Plattformkonzepte der Automobilindustrie“ auf. Die einzelnen Bestandteile wären: Aggregate, Vorderachse, Lenkung und Lenksäule, Schaltung, Fußhebelwerk, Hinterachse, Bremsanlage, Kraftstoffbehälter, Abgasanlage, Räder, Vorderwagen, Mittelboden, Stirnrad, Hinterwagen, Sitzgestell, Verkabelung und die Elektrik. Die Modelldiversifikation findet dann im Differenzierungsanteil statt, welcher zum Beispiel aus dem Innenraum, dem Chassis sowie der unterschiedlichen Motorisierung besteht. Dazu dienen Module, welche im Punkt 3.3.3 näher analysiert werden.<sup>155</sup>

#### Ziel der Plattformstrategie

Dieses Konzept wurde eingeführt, um den Ansprüchen des Kunden bezüglich Produktvielfalt gerecht zu werden und einen Kostenvorteil in der Produktion zu erreichen. Der Vorteil dieses Konzeptes wird auch Skaleneffekt („*Economy of Scale*“) genannt. In diesem werden die Durchschnittskosten gesenkt und die Fixkosten auf die steigende Produktionsmenge aufgeteilt. Das Ziel ist es flexibel in der Diversifikation der Modelpalette zu sein und gleichzeitig die Unternehmensressourcen bestmöglich zu nützen. Das Ergebnis ist ein strategischer Vorteil aufgrund der Kostenführerschaft gegenüber Mitkonkurrenten, welche im gleichen Marktsegment tätig sind.<sup>156</sup>

#### Marktspezifische Vor- und Nachteile

CORNET<sup>157</sup> erstellte empirische Analysen und kam zu dem Ergebnis, dass die durchschnittliche Kostenreduktion pro Fahrzeug bei 11,5% liegt und die Entwicklungszeiten um 22,5% verkürzt werden können.

MUFFATO<sup>158</sup> geht in seinem Artikel „Introducing a Platform Strategy in Product Development“ sogar einen Schritt weiter und spricht von einer Investmentreduktion von 50% durch Teilung des Unterbaus.

Weitere Vorteile und Nachteile werden in Tabelle 3-1 aufgelistet.

---

<sup>155</sup> Vgl. Cornet (2002), S. 70

<sup>156</sup> Vgl. Schmieder/Thomas (2005), S. 162

<sup>157</sup> Vgl. Cornet (2002), S. 86ff.

<sup>158</sup> Vgl. Muffato (1999), S. 148

Vorteile	Nachteile
Senkung der Herstellkosten durch Standardisierung der Bauteile sowie Einsparungen in bestimmten Unternehmensbereichen (Logistik, Einkauf, Verkauf, Service und Materialmanagement)	Verbraucherverhalten & Markenbewusstsein bei eingeschränkter Produktdifferenzierung zwischen teuren und billigen Modellen
Selbstständige Produktbearbeitung des Zulieferers durch vorgegebene Schnittstellen	Risiko bezüglich Rückrufaktionen
Vereinfachung des Entwicklungsprozesses und Kooperation zwischen OEMs möglich	Bezüglich Normen und Richtlinien kann es zu Schwierigkeiten in bestimmten Regionen mit höheren Standards kommen
Verkürzung der Entwicklungszeiten und bessere Verständigung zwischen Entwicklung und Produktion	Einschränkung in der Innovationsentwicklung

**Tabelle 3-1: Vor- und Nachteile der Plattformstrategie<sup>159</sup>**

Im folgenden Abschnitt wird nun auf den Differenzierungsanteil aus Abbildung 3-3 eingegangen.

### 3.3.3 Die Modularisierung

Die Problematik der Automobilbranche ist die Beherrschung von vielen Modellen, Teilen, Lieferanten und unterschiedlichen Kundenvorstellungen. Um die individuellen Kundenansprüche befriedigen zu können, erhöht sich das Auswahlpektrum bezüglich Farben, Motorisierung, interner Ausstattung sowie Design stetig. Die damit verbundenen Kosten müssen jedoch auf einem erschwinglichen Level bleiben. Die Modularisierung bietet dabei eine Möglichkeit diese Komplexität beherrschen zu können, ohne dabei an Wertschöpfung zu verlieren.<sup>160</sup>

#### Definition

Auch der Modularisierung kann man keine eindeutige Definition zuweisen, da man „bei einer Betrachtung die Ansprüche des jeweiligen Bereiches mit einbeziehen“ muss. Schmieder beschreibt die Modularisierung wie folgt als „Aufteilung einer bestehenden Produktarchitektur in nach bestimmten Kriterien gebildeten Einheiten (Modulen) mit spezifizierten Schnittstellen abhängig von der Unternehmungsstrategie.“<sup>161</sup>

<sup>159</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Ulrich (1995), S. 436f.

<sup>160</sup> Vgl. Pillar/Waringer (1999), S. 20

<sup>161</sup> Schmieder/Thomas (2005), S. 43ff.

PICOT/REICHWALD/WIGAND<sup>162</sup> geben als Definition des Begriffes das folgende Zitat an: *„Modularisierung bedeutet eine Restrukturierung der Unternehmensorganisation auf der Basis integrierter, kundenorientierter Prozesse in relativ kleinen, überschaubaren Einheiten (Modulen). Diese zeichnen sich durch dezentrale Entscheidungskompetenzen und Ergebnisverantwortung aus wobei die Koordination der Module verstärkt durch nicht hierarchischer Koordinationsformen erfolgt.“*

### Konzept

Modularisierung wird zur Beherrschung der Komplexität und zur Prozessoptimierung angewendet. Da ein Automobil aus mehreren tausend Teilen besteht, muss ein Konzept entwickelt werden, welches die Komplexität der verschiedenen Bauteile reduziert und den Entwicklungsprozess intern verbessert. Die Schwierigkeit besteht darin, definierte Einheiten aus unabhängigen Teilen, Baugruppen oder Montageeinheiten miteinander mit möglichst wenigen Schnittstellen verbinden zu können. Dabei muss die Anzahl der Elemente sowie die unter den Elementen herrschende Beziehung zueinander reduziert werden. Sofern dies sinnvoll durchgeführt wird, können die Module weitestgehend unabhängig voneinander eingesetzt werden. Das Maß an Modularität wird durch ihre Unabhängigkeiten bestimmt. Allgemein treffen zwei Unabhängigkeiten zu, nämlich

- die funktionale Unabhängigkeit der Komponente und
- die physische Unabhängigkeit der Komponente.

Die Ausprägung dieser beiden Unabhängigkeiten unterscheidet zwischen integraler und modularer Produktarchitektur.<sup>163</sup>

Die Module sind so konstruiert, dass sie in dem vorgegebenen Montageprozess durch standardisierte Schnittstellen in das Plattformkonzept eingegliedert werden können. Diese kundenorientierten, integrierten Prozesse bieten dem OEM Flexibilität bezüglich dynamischer Wettbewerbsveränderungen und aufkommenden neuen Marktnischen an. Man muss somit ein Auto nicht neu erfinden, sondern verändert spezielle Module weitestgehend und kombiniert diese mit den alten vorgegeben Basismodulen zum neuen Produkt. Der Unterschied zum „Baukastenprinzip“ sind die Schnittstellen, welche zwischen den Anbauteilen und dem Grundelement liegen und nicht zwischen den verschiedenen Anbauteilen.<sup>164</sup>

---

<sup>162</sup> Picot/Reichwald/Wigand (2003), S. 230

<sup>163</sup> Vgl. Göpfert/Steinbrecher (2000), S. 23ff.

<sup>164</sup> Vgl. Rapp (1999), S. 52



Ziel der Modularisierung

Die Modularisierung gibt der Automobilbranche die Möglichkeit einzelne Einheiten in verschiedene Fahrzeuge zu implementieren. Dadurch werden Kosten reduziert, Durchlaufzeit eingespart, Kundenbedürfnisse befriedigt und die Komplexität des Prozesses kontinuierlich gesenkt. Als Basis wird eine Plattform gebildet, auf welcher mehrere Modelle entstehen. Der Unternehmung ist es so möglich, flexibel auf Marktveränderungen und das dynamische Wettbewerbsumfeld reagieren und ihr Portfolio erweitern zu können.<sup>165</sup>

Trotz Modulbauweise und Vereinfachung der Montage soll die Qualität der Einheit unter der Modularisierung nicht leiden. Es können auch Aufgabenbereiche an externe Zulieferer vergeben werden, welche darauffolgend die Unternehmung mit einem kompletten Modul beliefern. Diese zunehmende Verantwortungsübertragung auf Tier-1 Zulieferer erfordert ein hohes Koordinations- und Innovationspotential, bietet aber zugleich auch Margen für OEMs und Zulieferer.

Marktspezifische Vor- und Nachteile

Die Strategie des Modulkonzeptes hat wesentliche Vor- und Nachteile, welche in Tabelle 3-2 aufgelistet sind.

Vorteile	Nachteile
Preisvorteil durch Standardisierung (im Einkauf und Verkauf)	Große Verantwortung für Zulieferer
Reduzierung der Komplexität und der Montagezeit im System	Gewichtserhöhung durch Zusammenfügung vieler Einzelteile
Kombinierbarkeit, Austauschbarkeit, Ausbaufähigkeit, Kontrollierbarkeit und Wiederverwendbarkeit	Aufwendige Erstellung und eingeschränkte Produktintegrität
Aufteilung von Verantwortung und Aufgabenbereiche --> bessere Ausschöpfung von Fähigkeiten einer Unternehmung bzw. einer Person	Funktionalität der Module durch Einzelkontrolle nicht möglich
Konzentration der OEMs auf Kernkompetenzen und Kooperation unter OEMs möglich	

**Tabelle 3-2: Vor- und Nachteile der Modularisierung<sup>166</sup>**

Folglich wird nun auf die Entwicklung der Märkte und der Produktionstechniken eingegangen.

<sup>165</sup> Vgl. Picot/Reichwald/Wigand (2003), S. 230f.

<sup>166</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Göpfert/Steinbrecher (2000), S. 25ff.

### 3.4 Regionale Absatzmarktentwicklung

Die Automobilbranche wird ihr Produktionsvolumen vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2020 um jährlich 5% steigern. Im Jahr 2020 werden weltweit 121 Millionen Fahrzeuge der Klasse „Light Vehicle“ produziert. Um die Produktionskapazitäten erhöhen zu können, ohne dabei zusätzliche Kosten zu verursachen, werden Produktionstechnologien, wie im Punkt 3.3 beschrieben, eingesetzt. Das globale Produktionsvolumen im Jahr 2017 wird zu 85% von globalen Plattformkonzepten gedeckt. Allein 30 Plattformen, mit einem jeweiligen Output von über 1 Million Einheiten, werden 2017 insgesamt über 50 Millionen Fahrzeuge produzieren. Die in Tabelle 3-3 dargestellten Werte zeigen die Entwicklung der Plattformtechnologie und der Märkte bis 2020. Zur allgemeinen Information wird auch die Zunahme in bestimmten Automobilsegmenten und die Anzahl regional gebauter Modelle gelistet. Europa produziert 91% und Nordamerika 74% aller Modelle durch Plattformkonzepte. Die größte Präsenz von Plattformen ist in Europa, Nordamerika und China zu erwarten, wobei der Produktionszuwachs hauptsächlich in Asien und Südamerika vonstattengeht. Die Zulieferer müssen den OEMs in Wachstumsmärkte folgen, um örtliche Anforderungen und Flexibilität zu gewährleisten. Der „Global Footprint“ muss hier vom Zulieferer gesetzt werden, um den Anschluss an der Marktentwicklung nicht zu verlieren und die Nähe zum OEM bewahren zu können.<sup>167</sup>

Wachstumsmärkte	Volumen [in Mio. #]			Zunahme pro Segment	Produktionstechnik [Stückzahl in Mio, Stand 2017]			Totale Produktionsabdeckung der globalen Plattformen
	2010	2020	CAAGR [%] 2010-2020	CAAGR [%] 2010-2020	Regionale Modelle	Plattformkonzept [>1 Mio. #]	Plattformkonzept [<1 Mio. #]	Im Jahr 2020 [%]
Europa	17,6	23	2,7	Low Cost (+8,8%)	2	13	8	91%
NAFTA [u.a. USA]	11,8	17,7	4,1	Premium (+7,3%)	3	9	4	74%
Volksrepublik China	16,8	33,3	7,1	Premium (+14%), Volume (+7,4%), Low Cost (+6%)	8	10	10	60%
Indien	3,2	11,6	13,6	Premium (+12,3%), Volume (+12,1%), Low Cost (+14,9%)	1,6	3	2,5	47%
Südamerika [u.a. Brasilien]	4,2	6,5	4,6	Low Cost (+6,3%), Volume (+4,4%)	0	4	2	92%

Tabelle 3-3: Regionales „Light Vehicle“ Produktionsvolumen 2010 bis 2020<sup>168</sup>

<sup>167</sup> Vgl. Roland Berger (2011), S. 5ff.

<sup>168</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Magna (2012 e), S. 4ff. und Roland Berger (2011), S. 6

China wird der größte automobiler Wachstumsmarkt werden mit einer jährlichen Steigerungsrate von 7,1% und über 33 Millionen produzierte Fahrzeuge pro Jahr. Plattformkonzepte werden sich in kommenden Jahren dem Markt anpassen. Obwohl Indien vom Produktionsvolumen eher gering erscheint, weist es eine 14%ige Zunahme pro Jahr auf. Der indische Markt wird zusätzliche Modelvarietäten wie auch ein steigendes Produktionsvolumen benötigen und somit auch sehr attraktiv für OEMs und Zulieferer bleiben. In kommenden Jahren erwartet man auch hier einen vermehrten Einsatz von Plattforntechnologien. Der asiatische Markt nimmt 2020 insgesamt 44% der weltweit, verkauften Fahrzeuge in Anspruch.

Eine ähnliche Entwicklung ist in Südamerika abzusehen. Der aufkommende Markt (+4,6% pro Jahr) wird zusätzliche Investitionen anziehen und die Produktionsweise beeinflussen. In den folgenden Jahren werden bis zu 92% des gesamten Produktionsvolumens aus Plattformkonzepten stammen.

Regional gebaute Modelle erscheinen weiterhin im Produktionsvolumen der OEMs auf. China hat mit 8 Millionen gebauten Fahrzeugen im Jahr 2017 den größten Anteil.

Tabelle 3-3 zeigt, dass der weltweite Trend in der Produktion in Richtung Plattformstrategie geht. Zunehmend gleiche Produktionsweisen lassen die Prozesse regional nach dem gleichen Schema ablaufen. Dies ermöglicht dem OEM und der Zuliefererbranche auch den globalen Einsatz gleicher Komponenten, Maschinen und Produktionsstraßen. Herstellungskosten können an Hand dieser Tatsache nun bezüglich des eingesetzten Materials, Arbeiterkraft und Energieeinsatzes verglichen werden. Im folgenden Kapitel werden nun zwei Herstellungsprozesse energetisch analysiert und regional verglichen.

## 4 Energetische Analyse der Produktionsprozesse

Ein Industriebetrieb kann als sozio-technisches System angesehen werden, in welchem Rohstoffe, Maschinen und Energie eingesetzt werden, um Sachgüter für den Verkauf am freien Markt produzieren zu können. Die energiepolitischen Ziele eines Unternehmens sollten in der optimalen Versorgungssicherheit und Verwertung der bereitgestellten Energie liegen. Als Entscheidungskriterium gelten meist fixe Preise und nicht Kosten. Festgelegte Preise können jedoch wenig beeinflusst werden, deshalb sollte der Fokus mehr auf dem Energiekostenanteil liegen. Die Senkung der anfallenden Energiekosten und des Energieaufwandes würde den Unternehmensgewinn und die Wettbewerbsfähigkeit eines Betriebes erhöhen. Das Potential für Rationalisierungsmöglichkeiten ist groß, jedoch meist nicht genutzt.<sup>169</sup>

Diese Arbeit soll einen Aufschluss darüber geben, inwiefern Energiekosten in der Automobilindustrie bei der Herstellung eines ausgewählten Bauteiles verursacht werden und inwiefern diese reduzierbar sind. Dabei wird nur ein bestimmter Bereich oder Prozess der Herstellung analysiert, um die Komplexität der Untersuchung in Grenzen halten zu können.

Um den tatsächlichen Einsatz von Ressourcen zur Erstellung eines Produktionsgutes ermitteln zu können, muss neben dem eingesetzten Energiegehalt auch der Materialpreis und anfallende Lohnkosten, der am Prozess beteiligten Arbeitskraft, miteinbezogen werden. Schließlich ergeben sich die Einflussfaktoren eines Bauteils aus drei Komponenten:<sup>170</sup>

- Materialkosten
- Energiekosten
- Lohnkosten

Da jedoch in dieser Arbeit Overheadkosten sowie Verkaufs- und Einkaufspreise des Materials regional nicht bestimmbar sind, wird sich diese Analyse nur mit den Energiekosten befassen. Technische Systeme im Produktionsbetrieb sind meist durch Energie- und Stoffströme miteinander verbunden. Dieses komplexe System gilt es bei einer energetischen Analyse zu analysieren und gegebenenfalls zu optimieren. Anschließend wird näher auf die Vorgehensweise der energetischen Analyse und die Fertigungstechnik der Prozesse eingegangen.<sup>171</sup>

---

<sup>169</sup> Vgl. Schieferdecker/Fünfgeld/Bonneschky (2006), S. 101f.

<sup>170</sup> Vgl. Schieferdecker/Fünfgeld/Bonneschky (2006), S. 104

<sup>171</sup> Vgl. Schmid (2004), S.110

## 4.1 Vorgehensweise in der Prozessanalyse

Für die Energieanalyse müssen zuerst einzelne Schritte befolgt werden, um mit den gesammelten Daten im Nachhinein ein zufriedenstellendes Resultat erstellen zu können. Der Aufbau einer Energieanalyse ist allgemein in zwei Hauptschritte aufgegliedert. Dabei handelt es sich um die Situationsdiagnose und die Lösungssuche. In der folgenden Abbildung ist das Prozessmodell einer Energieanalyse dargestellt.

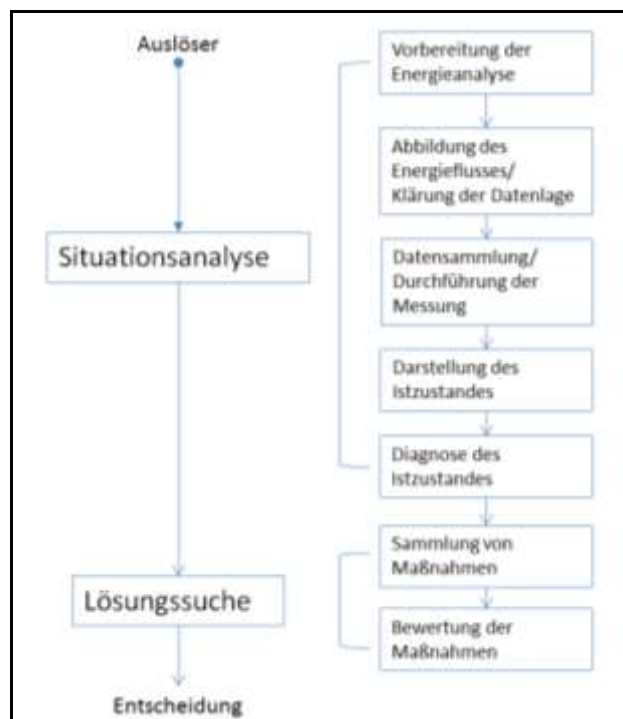


Abbildung 4-1: Prozessmodell der Energieanalyse<sup>172</sup>

Anhand des Prozessmodells werden folgend die einzelnen Schritte der Situationsanalyse näher beschrieben und erläutert.

### Vorbereitungsphase

In der Vorbereitungsphase wird der Umfang der Energieanalyse festgelegt. Zuerst werden die Systemgrenzen des zu messenden Objektes definiert. Hierbei kann man einen ganzen Betrieb betrachten oder nur einzelne Bereiche bzw. Prozesse. Zudem sollte die Bearbeitungstiefe bestimmt werden. Es wird unterschieden zwischen

<sup>172</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Schmid (2004), S. 112

Kurzanalysen und Detailanalysen. Erstere gibt nur eine grobe Übersicht der energetischen Situation des Systems und spricht Einsparpotenziale sowie Lösungen zur Optimierung an. Die Detailanalyse umfasst eine genaue Beschreibung und Aufgliederung der möglichen Einsparmaßnahmen und arbeitet alle nötigen Informationsquellen heraus, um eine betriebsinterne Entscheidung erleichtern zu können. In dieser Arbeit wird eine Kurzanalyse ausgeführt.<sup>173</sup>

### Abbildung des Energieflussbildes

Der energetische Fluss einer Unternehmung lässt sich durch ein Energieflussschema darstellen. Dabei werden alle Energieströme vom Energieeingang bis Ausgang, von der Energieumwandlung bis hin zur Verteilung, sowie von der Energieanwendung und Energierückgewinnungen berücksichtigt. In dieser Arbeit wird der Energiefluss und die Darstellung des Ist-Zustandes von Punkt 4.1.4 anhand eines Sankey-Diagrammes dargestellt.<sup>174</sup>

### Durchführung der Messung und Datensammlung

Die Datensammlung ist die Grundaufgabe der Analyse. Sie beinhaltet:

- Betriebliche Daten: Beschäftigte, Betriebszeiten, Rechnungen, Produktionsvolumen, Energieverträge, Lohnkosten, Materialkosten
- Informationen zu den Energieträgern: Heizwert, Druck, Strom- und Gaspreise, Eigenschaften des Gases und Umrechnungsfaktoren
- Daten zu Komponenten und Aggregate: Spezifikation, Regelungsmöglichkeiten, Nennleistungen, Antriebe, Nennströme und Nennspannungen
- Daten von Eingangs- und Ausgangsgrößen des Prozesses: Gewicht, Material, Produktion, Energieverbrauch, Einsatz von Arbeitskräften

Als Datenquellen werden installierte Energiemengenzähler, Datenblätter, unternehmensinterne Erfahrungswerte und Energieverbrauchsmessungen zur Analyse herangezogen.<sup>175</sup>

### Darstellung des Ist -Zustandes

Die gesammelten Daten werden nun bezüglich ihrer Plausibilität geprüft und etwaige Abweichungen sollten logisch erklärbar sein. Als zusätzliche graphische Darstellung dient die Erstellung des Energieflusses mit Hilfe eines Sankey-Diagrammes. Die

---

<sup>173</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 113

<sup>174</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 114

<sup>175</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 114f.

Erfassung des Energieflusses gibt Aufschluss über die Verteilung der bereitgestellten energetischen Menge und Energieträger, als auch dem mengenmäßigen Verbrauch der einzelnen Komponenten und Aggregate im Prozess.<sup>176</sup>

### Diagnose des Ist-Zustandes

Hierbei vergleicht man die gemessenen Daten mit vorgegebenen Werten. In diesem Punkt wird analysiert, ob die eingesetzte Energie optimal zur Erstellung des Produktionsgutes eingesetzt und möglichst effizient umgewandelt wird. Da jedoch der Energieverbrauch in den Prozessen von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich ist, konnten im Vorhinein keine Vergleichswerte herangezogen werden. Auf diesen Punkt wird daher nicht eingegangen.<sup>177</sup>

### Sammlung von Maßnahmen

In diesem Punkt werden Möglichkeiten untersucht die Effizienz einzelner Anlagen oder eines ganzen Betriebes zu verbessern. Dabei sollte die Anlage auf gravierende Schwachstellen untersucht und deutliche Verbesserungsmaßnahmen entwickelt werden. Vorab sollte geklärt werden, ob das Unternehmen bereit ist in die Verbesserung der Energieeffizienz zu investieren und ob die Investition nur bei einem Reinvestitionsbedarf getätigt werden darf. Zudem sollten Investitionskriterien festgelegt werden wie zum Beispiel die maximale Dauer des „Return on Investment“.

SCHMID<sup>178</sup> weist zudem auf hohe Einsparpotentiale in Unternehmen hin. Folgend werden anhand von Beispielen Möglichkeiten beschrieben:

- Elektrische Antriebe: Konsumieren etwa 2/3 des industriellen Stroms, wirtschaftlich können 12,3% und technisch 15,9% eingespart werden
- Druckluftbereitstellung: 1/3 des Stromverbrauches kann eingespart werden, davon allein 50% durch Leckageminimierung
- Heizwärmeerzeugung: Einführung von Brennwerttechniken würde 12,5% einsparen, verbesserte Wärmedämmung hat ein technisches Einsparpotential von etwa 30% sowie ein wirtschaftliches von etwa 15%

### Bewertung der Maßnahmen

Bei der Maßnahmenbewertung werden alle Alternativen zur Energieeffizienzsteigerung miteinander anhand eines definierten Zieles oder eines

---

<sup>176</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 115f.

<sup>177</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 116ff.

<sup>178</sup> Vgl. Schmid (2004), S. 33

Kriterienkataloges verglichen. In folgender Tabelle sind einige Kriterien zur Bewertung aufgelistet.

Art	Beispiel
Technische Kriterien	Sicherung der Produktqualität Platzverfügbarkeit Einbindung in das bestehende System Ausfallsicherheit/Störanfälligkeit Teillastverhalten Installationsaufwand
Energetische Kriterien	(spezifischer) Energiebedarf energetischer Nutzungsgrad exergetischer Nutzungsgrad
Ökonomische Kriterien	Rentabilität Risikoabschätzung
Ökologische Kriterien	Emissionen (CO <sub>2</sub> , So <sub>x</sub> , No <sub>x</sub> ,...) Ökotoxizität Wasserverbrauch Abfallaufkommen (Sonderabfälle)
Sonstige betriebliche Kriterien	Lärm Arbeitsplatzsicherheit Einhaltung von Vorschriften

**Tabelle 4-1: Kriterien zur Bewertung von Energieeinsparmaßnahmen (EEM)<sup>179</sup>**

In dieser Arbeit stehen zum Großteil Rentabilität, Platzverfügbarkeit, Einbindung in das bestehende System sowie Produktionsbeeinflussung im Vordergrund. Es wurde bei der Bewertung der Maßnahmen zwischen Energie und Produktion unterschieden. Es wird zum einen der energetische Vorteil analysiert, aber zum anderen auch mögliche Produktionseinschränkungen bei der Implementierung einer EEM untersucht. Die Bewertung der Priorität zur Durchführung der EEM ist in LOW, MIDDLE und HIGH eingeteilt. Als Grundlage dient hierbei der Ausgangsprozess in Europa.

## 4.2 Die betrachtete Fertigungstechnologie

Die schnelle Entwicklung in der Automobilbranche sorgte auch in der Teileproduktion für ein steigendes Interesse in der Kalt- und Warmblechumformung. In dieser Arbeit wird das Tiefziehverfahren nach DIN 8584 für beide Prozesse betrachtet. Das

<sup>179</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Schmieder (2004), S. 119



Tiefziehen wird der Zugdruckumformung zugeordnet und dient zur Umformung eines ebenen Blechzuschnittes ohne beabsichtigte Änderung der Blechdicke.<sup>180</sup>

Beim Tiefziehen wird unterschieden zwischen Tiefziehen im Erstzug, bei welchem das Bauteil in einem Hub gezogen wird, und Tiefziehen im Weiterzug, bei welchem mehrere Formänderungsstufen folgen. Am meisten verbreitet ist das Tiefziehen mit starrem Werkzeug. In Abbildung 4-2 ist dieses Verfahren demonstrativ dargestellt. Zudem können Bauteile auch mit einem Wirkmedium oder mit einer Wirkenergie (z.B. ein Magnetfeld) bearbeitet werden. Als Wirkmedium werden meist feste Stoffe (Stahlkugel, Sand), Flüssigkeiten (Öl, Wasser) oder Gase verwendet.<sup>181</sup>

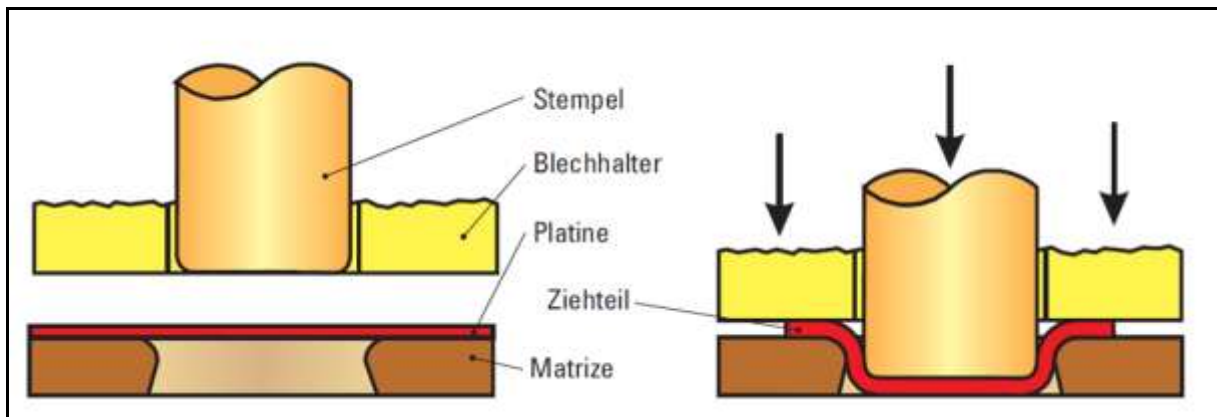


Abbildung 4-2: Tiefziehen im Erstzug mit starrem Werkzeug<sup>182</sup>

In weiteren Produktionsschritten dieser Analyse folgt das Scherschneiden des Materials. Das Scherschneiden ist eine Untergruppe des spanlosen Zerteilens von Werkstücken nach DIN 8588. Zwei sich aneinander vorbeibewegenden Schneiden trennen den Verschnitt vom Bauteil.<sup>183</sup>

In beiden Prozessen werden hydraulische Umformpressen der Firma SCHULLER GmbH verwendet. Hydraulische Pressen werden in der Fertigung immer eingeführt, wenn eine geradlinige Hauptbewegung des Werkzeuges notwendig ist. Den Betriebsdruck der Hydraulikflüssigkeit von 200-350 bar fördern Zahnrad- oder Schraubenpumpen bei kleineren Maschinen bzw. Axial- oder Radialkolbenpumpen bei größeren Anlagen.<sup>184</sup>

<sup>180</sup> Vgl. Tschätsch/Dietrich (1997), S. 131

<sup>181</sup> Vgl. Schuller (1996), S. 11f.

<sup>182</sup> Schuller (1996), S. 11

<sup>183</sup> Vgl. Schuller (1996), S. 19f.

<sup>184</sup> Vgl. Tschätsch/Dietrich (1997), S. 266

Folgend sind einige Vorteile der hydraulischen Pressführung aufgelistet:<sup>185</sup>

- Konstante, wegunabhängige Kraftübertragung
- Keine Sicherung zur Überlast notwendig aufgrund genauer Krafteinstellung
- Arbeitsvermögen unbegrenzt
- Aufnahme großer Nennkräfte möglich
- Stößelgeschwindigkeit, Umformhaltekraft und Umkehrpunkt des Stößels sind durch die Druckzufuhr beliebig einstellbar

### **4.3 Der Prozess des Kaltumformens**

Im ersten betrachteten Prozess handelt es sich um eine Kaltumformung einer Porsche Cayenne Motorhaube im Magna Cosma Werk in Albersdorf bei Graz. Das zu untersuchende Material ist im Hinblick auf künftige Leichtbaumethoden eine Aluminium Motorhaube (AlMg0,6Si0,6). Diese Aluminiumproduktion dient hauptsächlich zur Reduzierung des Fahrzeuggewichtes und zum effizienteren Brennstoffverbrauch. Daher ist dieser Prozess der Kraftstoffeinsparung („fuel economy“) und der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Verbrauches („decrease in CO<sub>2</sub> emission“) zuzuschreiben.

#### **4.3.1 Prozessdefinition**

Im ersten Prozessschritt wird das Platinenpaket mit 350 Stück über einen Stangentisch eingezogen. Ist das Paket in Position (1), werden die einzelnen Platinen mittels Luftdruck an Vorder- und Hinterseite gespreizt, um die zu fördernde Platine vom Stapel zu trennen. Folgend wird das Bauteil per Unterdruck durch ein Überbrückungsband in den Bürstenreiniger (2) gefördert. Bei Bauteilen aus Aluminium erfolgt dies mittels Unterdruckansaugung, bei Stahlteilen durch Magnetismus. Ohne Einsatz eines Waschmediums säubert der Bürstenreiniger mechanisch die Oberfläche des Aluminiums. Die Platine durchläuft als nächste Station eine Amtec-Beölungsanlage bis sie von einer Zentrierstation (3) per Anschläge in Position gebracht wird. Die erste KUKA-Robotereinheit (4) übernimmt die Platine per Saugereinheit und fördert diese auf den Pressentisch der Tiefziehpresse. Der Unterdruck der Saugereinheit wird mittels Venturi-Effekts erzeugt,

---

<sup>185</sup> Vgl. Lange (2002), S. 421

bei welchem man die Geschwindigkeit der Druckluft verwendet, um den gewünschten Saugeffekt zu erzielen. Am Pressentisch wird das Bauteil zur gewünschten Form mittels Presse 1 (5) tiefgezogen. Danach übernimmt der zweite KUKA-Roboter das tiefgezogene Bauteil und führt dieses zur Stanz- und Formpresse 2 (6). Dieser Vorgang wird wiederholt bis das Bauteil in der Abkantpresse 6 (7) bearbeitet wird. Danach fördert der letzte Roboter das Bauteil auf ein Qualitätsfließband. Dort überprüfen fünf Arbeiter das produzierte Bauteil auf Welligkeit, fehlende Bohrungen, Risse und Einhaltung der vorgegebenen Toleranzen in der Emblemvertiefung. Diese Qualitätsstation muss stets ausreichend beleuchtet werden, um Veränderungen in der Produktoberfläche erkennen zu können. Ausserdem beinhaltet diese Station zwei Förderbänder, welche beide simultan bei Bauteilen mit höherer Outputmenge je Zyklus geschaltet werden. Zur visuellen Vorstellung der Anlage dient die Abbildung 4-3.

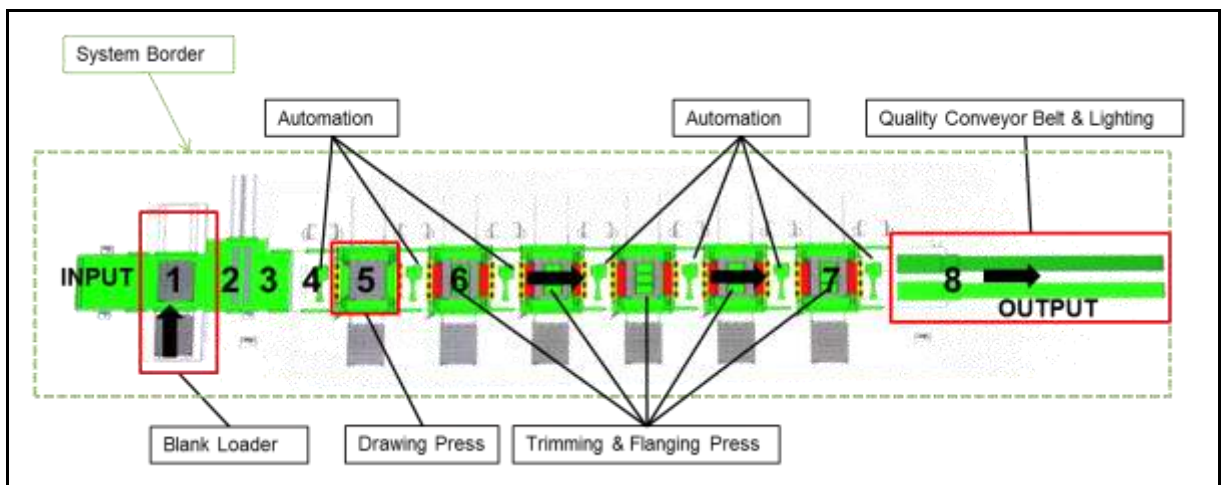


Abbildung 4-3: Prozess-Schaubild Kaltumformung Albersdorf<sup>186</sup>

Insgesamt umfasst die Anlage sieben KUKA-Roboter. Die Pressenstraße ist ein voll automatisches System, in welchem vom Werkzeugwechsel bis hin zum Saugarmaustausch der Roboter alles automatisch vonstattengeht. Ein herkömmlicher Werkzeugwechsel nimmt in Albersdorf drei Minuten in Anspruch. Wesentlich länger muss man dabei für die Rüstzeit einkalkulieren. Diese beläuft sich im Schnitt auf zwei Stunden, findet aber neben der Produktion statt und beeinflusst den laufenden Prozess in keiner Weise.

<sup>186</sup> Eigene Darstellung

Zwei weitere Energieverbraucher sind die Kühlung und die Druckluftbereitstellung. Für die hydraulische Kühlung der Pressen steht eine Leitung vom Kühlraum zur Pressenstraße zu Verfügung. Im Kühlraum selbst sorgen vier Lowara-Pumpen mit 2x37kW und 2x24kW Leistung für den Durchfluss mit einem jeweiligen Fördervolumen von bis zu 120 m<sup>3</sup>/h. Die Regelung der Kühlanlage erfolgt über Differenzdruckmesser, eingestellt auf 1,8 bar. Der auf den Anlagendach befindliche Wärmetauscher gibt die transportierte Wärme im Fluid an die Umgebung ab. Das Druckluftsystem von der Firma Kaeser-Kompressoren wird mit einer eigens installierten Software stetig geregelt sowie kontrolliert und hat vier Schraubenkompressoren zur Druckluftbereitstellung integriert. Meist sind drei Kompressor zu >95% ausgelastet und liefern im Schnitt 4300 m<sup>3</sup>/h Druckluft bei einem Arbeitsdruck von 7,5 bar ins werksinterne Ringnetz. Kühl- sowie Druckluftanlage sind frequenzgesteuert.

Zudem befindet sich im Keller das Schrottband für den Stanzverschnitt. Dieses ist in Abbildung 4-3 nicht dargestellt, da es sich unterhalb der Produktionslinie befindet. Die Aufgabe des Schrottbandes ist der Transport des Materialverschnittes zu den Schrottpressen.

### **4.3.2 Betroffene Annahmen und Randbedingungen**

In diesem Kapitel werden die Randbedingungen des Prozesses festgelegt, welche in den darauffolgenden Rechnungen als Grundlage herangezogen werden. Es wird angenommen, dass der gesamte Prozessaufbau und alle inkludierten Komponenten weltweit exakt identisch sind. Alle gemessenen Daten gelten für einen Zyklus. Gemessen wird der Prozessablauf vom Input bis zum Output des Bauteiles. Ein Arbeitshub einer Presse entspricht so gesehen einem Zyklus. Die gesamte Zykluszeit eines Bauteiles liegt bei 61 Sekunden (s). Dabei operieren die Pressen in 5 s/Zyklus, die Automatisierungseinheiten in 2,5 s/Zyklus, der Platinenlader in 3 s/Zyklus und die Qualitätskontrolle benötigt insgesamt 10 s/Zyklus bis das Teil vom Laufband genommen werden kann.

Eine weitere Randbedingung ist die vollständige Auslastung der Presslinie. Bei der Produktion der Porsche Cayenne Motorhaube sind jedoch zwei Leerpressen hintereinander geschaltet, d.h. während der Produktion sind die Presseinheit 4 und 5 nicht in Betrieb. Das Bauteil wird jeweils nur auf den Presstisch abgelegt und durch die Robotereinheiten weitergereicht. Der Pressenkopf wird mit einer Bolzensicherung im hochgezogenen Betriebszustand fixiert. Für den globalen Vergleich wird jedoch angenommen, dass alle sechs Pressen in Operation sind. Aus diesem Grund wurden

beide Leerpressen bei einem ähnlichen Produkt, der Aluminium Motorhaube des Audi Q7, gemessen und in die Gesamtrechnung integriert. Die Q7 Motorhaube ist vom Material, von der Bearbeitungsfläche sowie von der Formgebung mit der Porsche Motorhaube vergleichbar. Zudem wurden die Energieverbräuche während der Rüstzeit und des Werkzeugwechsels nicht mitbestimmt. Diese zusätzlichen Werte sind jedoch auf eine komplette Produktion gesehen als sehr gering einzuschätzen und würden das Ergebnis nur geringfügig beeinflussen. Der Energieverbrauch während des Werkzeugwechsels kann einem normalen Stillstand der Anlage gleichgesetzt werden.

Da eine Messung der einzelnen Kühl- und Druckluftleitungen pro Presse zu komplex ist, wurde das Kühlsystem der kompletten Presselinie, sowie die Druckluft anhand von gelieferten Daten und der Kaeser Software, ermittelt. Nach Absprache mit Vertretern der SCHULER SMG GmbH benötigt die Kühlung der Tiefziehpresse rund 50% mehr Kühlenergie als die Kühlung einer Stanz- bzw. Formpresse. Der gesamte Energiebedarf des Kühlsystems wurde in einer Produktionsschicht der Porsche Motorhaube mitgemessen. Da zwei Leerpressen vorhanden sind, wurde angenommen, dass der Kühlbedarf dieser Pressen gleich null zu setzen ist. Die zusätzliche Kühlung dieser Presseinheiten 4 und 5 in Operation wurde dann mit den bereits gemessenen Werten der Stanzpressen gleichgesetzt. Im Bereich der Druckluft konnte aus der Kaeser-Software entnommen werden, dass 0,096 kWh benötigt werden, um einen Kubikmeter Druckluft herzustellen. Zudem werden pro Roboter laut SCHULER im Schnitt  $15,36\text{Nm}^3$  pro Stunde benötigt. Die elektrische Energie zur Druckluftbereitstellung sowie der verbrauchte Strom der gesamten Automatisierung wurden summiert und auf alle sieben Roboter in gleichen Maßen pro Zyklus aufgeteilt.

Der zu zahlende Energiepreis wird anhand der regionalen Strompreise ermittelt. Hierbei wurde nicht zwischen Hoch- und Niedertarif unterschieden, sondern der Durchschnittswert angegeben. Die Tabelle 4-2 zeigt die von COSMA überlieferten Strompreise pro Region zum Vergleich in \$/kWh. Alle regionalen Energiekosten wurden mit den Wechselkursen des 12. März 2013 in US Dollar umgerechnet.

Energiekosten	Europa	USA	China	Brasilien
Strompreis \$/kWh	0,125	0,067	0,144	0,155

Tabelle 4-2: Regionaler Strompreisvergleich in \$ pro kWh

Dabei wurden folgender Werke hinsichtlich ihrer Energiepreise befragt:

- COSMA Albersdorf, Magna Heavy Stamping, Österreich
- COSMA Kamtek Inc., Birmingham (Alabama), USA
- COSMA Automotive Shanghai Co. Ltd., Volksrepublik China
- COSMA do Brasil, Sao Bernardo do Campo, Brasilien

Das Werk in Brasilien hat zudem noch keine Aluminiumproduktion vor Ort, da sich dieser Markt noch nicht in Richtung Leichtbau entwickelt hat. Wirtschaftlich würde eine Aluminiumproduktion ebenfalls noch keinen Sinn machen, da sich der Kaufpreis des Produktes erhöhen würde und die Kaufbereitschaft der Kunden somit sinkt. Es wurden alle Ergebnisse hinsichtlich der Region Brasilien nur unter der Annahme einer künftigen Aluminiumproduktion getroffen und zeigen den Verbrauch pro Bauteil bei brasilianischen Bedingungen.<sup>187</sup>

Ausserdem wird bei der regionalen Darstellung des Kaltumformprozesses in Kapitel 5 von den Produktionsdaten aus Albersdorf ausgegangen. Laut Produktionsleiter werden jährlich etwa 2.400.000 Zyklen auf dieser Presslinie gefahren. Mindestens drei Pressen müssen in Betrieb sein, um ein Produkt herstellen zu können. Es ist anzunehmen, dass 50% der Produktion eine Leerpresse vorweist und 10% der Produktion mit zwei Leerpressen bestückt ist.

Alle Vergleiche, welche regional getätigt werden, stützen sich auf diese Randbedingungen und Annahmen und dienen der globalen Transparenz.

### **4.3.3 Erläuterung der Messung**

Zur Messung der Verbraucher in Albersdorf wurden 2 Messgeräte verwendet:

- Janitza UMG 503
- Fluke 1735: Dreiphasiger Power Logger

Das Janitza Messgerät mit einer Abtastrate von 6,6 kHz ist für 3-Phasensysteme im Nieder- oder Mittelspannungsnetz geeignet. Neben einem Amperemeter beinhaltet dieses Messgerät ebenfalls einen Leistungsmesser, Voltmeter, Wirkarbeits- und Blindarbeitszähler, sowie einen Frequenzmesser und einen Oberschwingungszähler. Ausgestattet mit flexiblen Stromwandlern kann dieses Messgerät sehr hohe elektrische Ströme und Spannungen aufnehmen und ist flexibel einsetzbar. Alle 5

---

<sup>187</sup> Gespräch mit Marcello Panza, Magna COSMA Brasilien, am 13.12.2012

Sekunden wird ein Mittelwert aus einer Vielzahl an Messdaten gebildet und abgespeichert. Es konnten Platinenlader, Automatisierung sowie alle Pressen direkt an den Stromschienen gemessen werden. Gemessen wurde direkt an der Hauptzuleitung der einzelnen Komponenten. Es wurden alle elektrischen Verbraucher, welche von den jeweiligen Zuleitungen versorgt werden, in der Messung mitaufgenommen. Zu erwähnen ist, dass die Umwandlungsverluste der 3 Transformatoren der Typen „Schneider Trihal 2500kVa“ der Presslinie C nicht miteinkalkuliert werden konnten.

Das Fluke 1735 ist ein spezielles Gerät zur Messung von Energieverbräuchen. Es werden neben Spannungen und elektrischen Strömen unter anderem Wirk- sowie Blindleistungen gemessen. Die Abtastrate des Fluke Gerätes bei einer Netzfrequenz von 50Hz beträgt 10,24 kHz. Die Energieverbräuche des im Keller befindlichen Schrottbandes, sowie die Zuleitung zu den Kühlwasserpumpen konnte mit diesem Gerät in 5-Sekunden-Zyklen aufgezeichnet werden.

Die Durchführung der Messung ist in Abbildung 4-4 visuell dargestellt. Die ersten zwei Bilder veranschaulichen den Einbau des UMG 503 mit Sicherheitshandschuhen an den Stromschienen bis hin zum fertigen Einbau inklusive Spannungsabnehmer. Das rechte Bild zeigt die Verkabelung des Fluke Gerätes mit dem Schaltschrank der Kühlung.



**Abbildung 4-4: Einbau der Messgeräte Janitza-UMG 503 und Fluke-1735<sup>188</sup>**

---

<sup>188</sup> Eigene Darstellung

#### 4.3.4 Messdaten und Istzustand

Die Messung erfolgte immer während der Produktion der Porsche Motorhaube. Dazu war ein Zeitfenster von 4,5 Stunden pro Woche geöffnet. Um ausreichend Daten sammeln zu können, wurde jede Presse im Schnitt 1-2 Stunden gemessen. Schriftlich wurde vor Ort der Beginn der Messung, das Ende der Messung, die produzierte Anzahl von Bauteilen im Messzyklus und gegebene Stillstände protokolliert. Zur Kontrolle wurden die, von der Produktion geführten, Stehzeiterfassungsbögen verwendet. Die Stehzeiterfassung der einzelnen Schichten umfasst:

- Art des Stillstandes
- Beginn sowie Dauer des Stillstandes
- Soll-Stückzahl der zu produzierenden Bauteile
- Ist-Stückzahl der Bauteile
- die im Durchschnitt gefahrenen Hübe pro Minute (ohne Stillstand)

Mit diesen beiden Informationsquellen bezüglich der Produktion und mithilfe des gemessenen Datensatzes konnten die Zeitfenster des Stillstandes identifiziert werden. Im Datensatz war ein Stillstand eindeutig zu erkennen, da die Energieverbräuche deutlich geringer waren als während der Produktion. Aus den teilweise schwankenden Werten des Stillstandes wurde so ein Mittelwert berechnet, welcher repräsentativ für den Stillstand der Komponenten in der Berechnung verwendet wurde. Der gesamte Stehzeitverbrauch wurde letztendlich durch die Anzahl der produzierten Teile dividiert und ergab den Energieverbrauch pro Zyklus.

Die Tabelle 4-3 zeigt die Stillstandverbräuche der einzelnen Komponenten. Die Beleuchtung der Qualitätskontrolle wurde ebenfalls aufgelistet, da diese der größte Verbraucher am Ende der Linie ist und kontinuierlich eingeschaltet ist. Insgesamt ergibt sich vom Input bis Output des Bauteiles ein Stillstandverbrauch von 1,29 kWh. Umgerechnet entstehen Energiekosten von 0,124 €/Zyklus und 0,98 €/min. Aufgrund der Druckluftabschätzungen und des Einsatzes eines anderen Messsystems konnten für Kühlung, Schrottband und der Druckluftbereitstellung der Automatisierungseinheiten keine genauen Angaben über Stillstandverbräuche gegeben werden.

In der Spalte der Energieverbräuche befinden sich die Verbrauchswerte im Betriebszustand. Insgesamt werden 3,3 kWh pro Zyklus konsumiert. Zur genaueren Betrachtung der unterschiedlichen Anteile wird ein Kreisdiagramm erstellt. Im Diagramm werden alle Komponenten und deren Anteile am gesamten Verbrauch je



Zyklus dargestellt. In der Darstellung wurde unterschieden zwischen direkte Verbraucher an der Pressenlinie, zugeführte Medien und Annahmen. Als zugeführte Medien sind hier gasförmige und flüssige Fluide gemeint, welche nicht direkt an der Pressenlinie erzeugt werden, sondern durch ein langes Rohrsystem der Produktionslinie zugeführt werden. Die Druckluft wird dabei von den Robotereinheiten konsumiert und das Kühlmittel zur Kühlung der Pressen verwendet.

Komponente	Energieverbräuche [kWh/Zyklus]	Stillstandverbräuche [kWh/Zyklus]
Platinenlader	0,120968792	0,080754167
Automatisierung-Druckluft	0,021674139	k.A.
Automatisierung	0,113295133	0,067295139
Schrottband	0,002997609	k.A.
Tiefziehpresse 1	0,850299794	0,343883872
Kühlwasser Presse 1	0,033350300	k.A.
Form- und Stanzpresse2	0,398679850	0,159620649
Kühlwasser Presse 2	0,022233535	k.A.
Form- und Stanzpresse 3	0,401133734	0,160800183
Kühlwasser Presse 3	0,022233535	k.A.
Form- und Stanzpresse 4 (Q7)	0,423494861	0,149146008
Kühlwasser Presse 4	0,022233535	k.A.
Form- und Stanzpresse 5 (Q7)	0,412456634	0,155133196
Kühlwasser Presse 5	0,022233535	k.A.
Kantpresse 6	0,392845123	0,159808596
Kühlwasser Presse 6	0,022233535	k.A.
Beleuchtung Qualitätskontrolle	0,016504167	0,016504167
<b>Insgesamter Verbrauch</b>	<b>3,298867814</b>	<b>1,292945976</b>

Tabelle 4-3: Energie- und Stillstandverbräuche pro Zyklus in Albersdorf<sup>189</sup>

Bei der Komponentenaufteilung in Abbildung 4-5 ist ersichtlich, dass die großen Energieabnehmer eindeutig die Pressen sind. Die Tiefziehpresse hat nachweislich den höchsten Energieverbrauch und konsumiert 26% der gesamten Energie. Dies ist verständlich, da der Umformprozess dieser Presse am meisten Arbeit benötigt. Die folgenden Stanz-, Form- und Kantpressen nehmen mit jeweils 12% bzw. 13% etwas weniger als die Hälfte des Verbrauches von Presse 1 in Anspruch. Die Pressverbände konsumieren insgesamt 88% der Energie. Die restlichen Anteile

<sup>189</sup> Eigene Darstellung

verteilen sich auf das Kühlsystem (4%), den Platinenlader (4%) und die Automatisierung inklusive der Druckluftbereitstellung (4%).

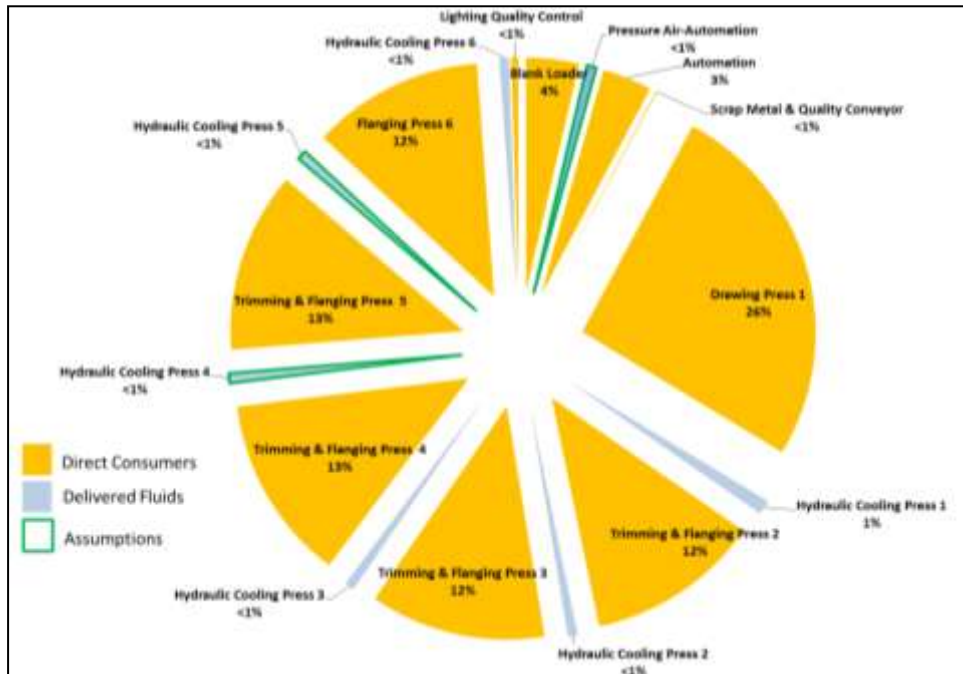


Abbildung 4-5: Aufteilung der Prozesskomponente in Albersdorf<sup>190</sup>

Zur Darstellung der gesamten Energiekosten wird ein Balkendiagramm verwendet. Die Kostenangaben sind in Euro gegeben und betragen 31,7 €/Zyklus. Ein Zyklus wurde in 7 unterschiedliche Operationen (OP) aufgeteilt. Die einzelnen Kostenträger sind:

- OP 1: der Platinenlader mit 1,3 €ct
- OP 2: die Tiefziehpresse mit 8,8 €ct
- OP 3: die Stanz- und Formpresse 2 mit 4,3 €ct
- OP 4: die Stanz- und Formpresse 3 mit 4,3 €ct
- OP 5: die Stanz- und Formpresse 4 mit 4,5 €ct
- OP 6: die Stanz- und Formpresse 5 mit 4,4 €ct
- OP 7: die Kantpresse 6 mit 4,2 €ct
- OP 8: die Beleuchtung der Qualitätskontrolle mit 0,15 €ct

<sup>190</sup> Eigene Darstellung

Zudem sind Kosten für Kühlung, Schrottband und Automatisierung schon gleichermaßen auf die einzelnen Pressen aufgeteilt.

Ein weiterer Punkt wäre die Produktion mit inkludierten Leerpressen. Bei größeren Bauteilen, wie den Außenkarosserieteilen eines Fahrzeuges, sind meist alle Pressen im Einsatz. An der gemessenen C-Linie in Albersdorf werden allerdings nur Kleinteile, wie Türen, Motorhauben und Kofferraumabdeckungen, produziert. Daher kommt es laut Betreiber öfters vor, dass mindestens eine Presse nicht eingesetzt wird. Sind weniger Pressen im Einsatz, verringert sich auch der Energiebedarf drastisch. Die Reduzierung bei Abschaltung der Pressen wäre:

- bei einem 5-Stufen-Programm 9% Reduktion
- bei einem 4-Stufen-Programm 17% Reduktion
- bei einem 3-Stufen-Programm 25% Reduktion

Anhand der Abbildung 4-6 kann man am Beispiel für den europäischen Kaltumformprozess die Kosteneinsparung je Leerbetrieb herauslesen.

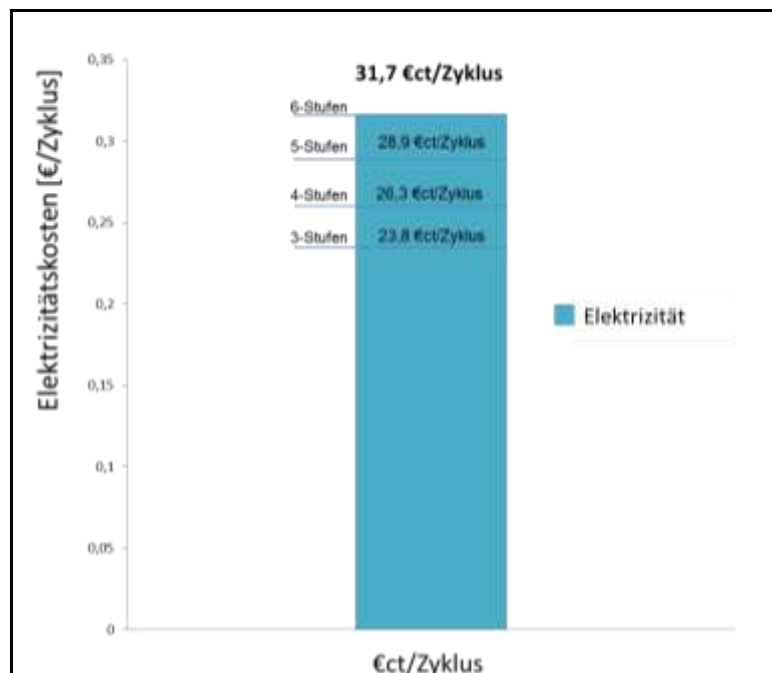


Abbildung 4-6: Energiekosten für einen Zyklus Kaltumformen in Albersdorf<sup>191</sup>

<sup>191</sup> Eigene Darstellung

Nimmt man die maximalen Zyklen pro Jahr und multipliziert diese mit dem berechneten Energiepreis von 31,7 €/Zyklus, kann man den Anteil der Produktionslinie am gesamten Stromverbrauch des Werkes in Albersdorf feststellen. Der gesamte Stromverbrauch im Jahr 2012 belief sich auf 3.696.374 Euro. Somit würde diese Produktionslinie mit den gemessenen Werten der Aluminium Motorhaube etwa 20% des gesamten Stromkonsums in Anspruch nehmen. Zu erwähnen ist, dass es sehr wohl zu unterschiedlichen Stromverbräuchen kommen kann. Zur Bestätigung wurde die Presse 1 der Q7-Produktion zusätzlich gemessen und die erhaltenen Werte miteinander verglichen. Das Ergebnis war eine Verbrauchssteigerung um 12% je Zyklus gegenüber dem Energieverbrauch der Porsche-Produktion. Auch die übernommenen Werte der Q7-Produktion für Presse 4 und 5 weisen einen höheren Konsum auf (+5,5% je Zyklus). Je nach Form des Bauteiles muss die Presse mehr oder weniger Kraft aufwenden und unterschiedliche Wege fahren. Obwohl das Material und das Bauteil ähnlich sind, ist die Q7 Motorhaube jedoch tiefer gezogen als die relativ flache Motorhaube des Porsches. Dies könnte der Grund für den leicht erhöhten Verbrauch sein.

#### 4.3.5 Energieflussbild (Sankey-Diagramm)

Zur näheren Betrachtung des Energieflusses wird ein Sankey-Diagramm dargestellt.

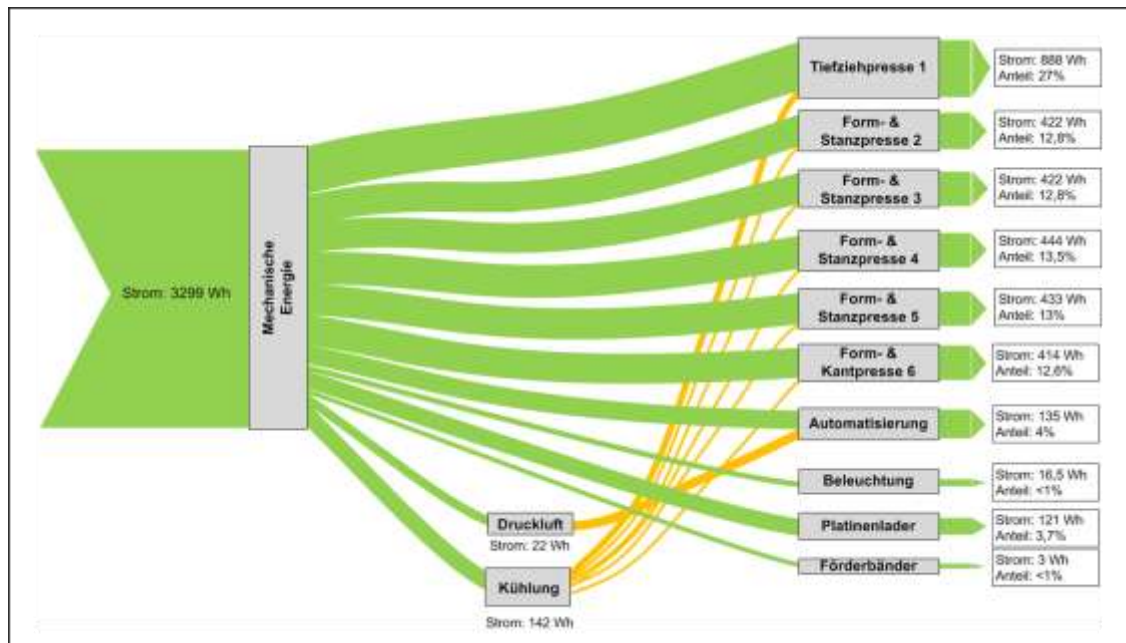


Abbildung 4-7: Energieflussbild Albersdorf [kWh/Zyklus]<sup>192</sup>

<sup>192</sup> Eigene Darstellung

Das Sankey-Diagramm für Albersdorf veranschaulicht den Energiefluss der Produktionslinie pro Zyklus. Die Tiefziehpresse 1 braucht im Vergleich doppelt so viel Energie für Kühlung und Umformung als die darauffolgenden Stanz- und Formpressen. Die Energiezufuhr ist zu 100% Elektrizität, welche zum mechanischen Antrieb von Motoren, Kompressoren, Pumpen und anderen Maschinen verwendet wird. Gelb markiert wurden Energieströme, welche in Form von Druckluft und Kühlwasser zugeführt werden.

Auf die globale Betrachtung des Kaltumformprozesses wird in Kapitel 5 eingegangen. Dabei werden die Produktionsprozesse weltweit verglichen und Unterschiede untereinander, als auch zwischen Kalt- und Warmformprozess aufgezeigt.

#### **4.3.6 Empfehlungen von Energieeinsparmaßnahmen (EEM) und Bewertung**

Die Presslinie C in Albersdorf wurde 2011 von SCHULER errichtet und entspricht dem momentanen Stand der Technik in der industriellen Umformung. Man kann daher davon ausgehen, dass größtenteils alle Komponenten optimal eingestellt sind. Optimierungen bei der Druckluft- und Kälteerzeugung sind möglich, jedoch würden diese den Verbrauch je Zyklus nur sehr gering beeinflussen. Wirtschaftlich sinnvoll ist eine Verbesserung anhand der größten Verbraucher im Linienverbund. Betrachtet man die gemessenen Werte der Pressen, fallen hohe Verbrauchszahlen während eines Stillstandes sowie während einer Produktion mit inkludierten Leerpressen auf. Diese Tatsache wurde als Grundlage für die Empfehlung der Energieeffizienzmaßnahmen verwendet.

##### **4.3.6.1 Einführung eines „Intelligent Stand-By“ Systems (EEM 1)**

In Zusammenarbeit mit der Firma SCHULER wurde die Idee eines „Intelligent Stand-By“ Systems entworfen. Dieses System ist eine individuell programmierbare, zeitgesteuerte Abschaltung von Antrieben mit automatischem Wiederanlauf. Betrachtet man einen Tagesverbrauch einer Presse, sind häufige Stillstände zwischen der Produktion die Regel (siehe Abbildung 4-8).

Im Bild ersichtlich sind zum einen die Verbräuche der Presse während einer 24h Periode. Zum anderen ist die Produktionszeit mit inkludierten Stehzeiten über die Zeit dargestellt. Anhand der Grafik und aus den Erfahrungswerten der Firma SCHULER ist ein 5%-iges Einsparpotential pro Tag bei Abschaltungen der Presslinie gegeben.

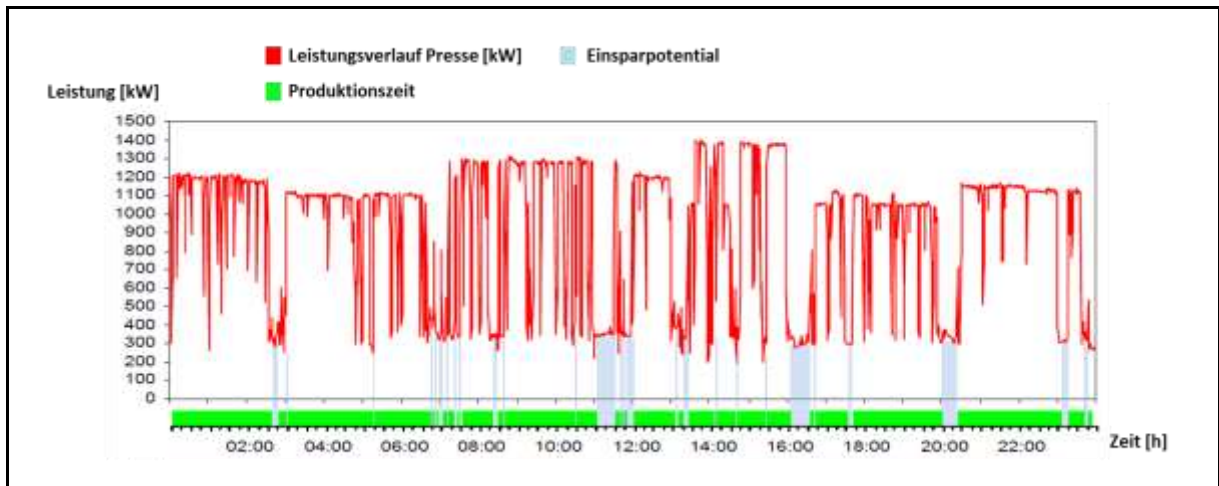


Abbildung 4-8: Einsparpotential bei geregelter Abschaltung während Stehzeiten<sup>193</sup>

Nach Angaben aus Albersdorf werden an 280 Produktionstagen im Jahr 2.400.000 Zyklen je Presse gefahren. Der Energiebedarf der Pressen beläuft sich auf 3,02 kWh/Zyklus. Bei einem Tagesverbrauch der Pressverbände von

$$8.570 \text{ Zyklen/d} * 3,02 \text{ kWh/Zyklus} = 25.881 \text{ kWh/d}$$

ist eine Einsparung von 362.340 kWh/a möglich. Für eine manuelle Handhabung bei Stehzeiten größer 3 Minuten ist ein Überbrückungsmodus installiert, welcher dem Maschinenführer erlaubt das Stand-By System zu übergehen, falls der Stillstand nur geringfügig länger andauern wird. Auch die Regelzeiten für den Eingriff des Systems sind manuell einstellbar. So kann man die 3 Minuten Wartezeit bis zum Systemeingriff auch manuell auf 2, 5 oder 7 Minuten und mehr verändern. Inwiefern die Produktion von diesen Eingriffen behindert wird, muss vor Ort mit dem Produktionsleiter geklärt werden. Der zusätzliche Verbrauch beim Anfahren der Pumpen und Antriebssysteme, sowie die aufzubringende Zeit für den Neustart der Pressen von 1 bis 1,5 Minuten, wurden in der Analyse ebenfalls nicht berücksichtigt. Bei einer möglichen Kaufentscheidung sollten diese Punkte jedoch vorab angesprochen und diskutiert werden.

Folglich sind die Prioritäten mit Rücksprache des Produktionsleiters getroffen worden.

- Priorität Energie: HIGH
- Priorität Produktion: LOW

<sup>193</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Firma SCHULER SMG GmbH

#### 4.3.6.2 Abschaltung der Leerpressen (EEM 2)

In der getätigten Energieanalyse waren hohe Energieverbräuche von Leerpressen während der Produktionszeit auffällig und konnten anhand mehrerer Messungen bestätigt werden. Es ist zwar manuell möglich, einzelne Pressen auszuschalten, aber laut SCHULER wird dies nicht konsequent bzw. gar nicht durchgeführt. Abhilfe würde eine automatische Abschaltung der Leerpressen beim Einlesen des Produktdatensatzes geben. Dabei handelt es sich um eine reine Softwarelösung, in welcher die notwendige Information zum Abschalten der Leerpressen im Datensatz hinterlegt wird. Nach Absprache mit COSMA Albersdorf werden

- 50% der Produktion mit 5 Umformstufen
- 10% der Produktion mit 4 Umformstufen

gefahren. Zur Berechnung der Energieeinsparung wird der Mittelwert des Stehzeitverbrauches der Stanz- und Formpressen  $\bar{x} = 0,1569$  kWh/Zyklus gebildet und mit der Kühlleistung je Leerpresse von 0,0222 kWh/Zyklus addiert. Pro Zyklus und Presse kann so 0,1791 kWh eingespart werden. Die jährlichen Energieeinsparungen betragen somit:

$$(8.570 \text{ Zyklen/d} * 0,5 * 0,1791 \text{ kWh/Zyklus} + 8.570 \text{ Zyklen/d} * 0,1 * 0,1791 \text{ kWh/Zyklus}) * 280 \text{ d/a} = 257.861 \text{ kWh/a.}$$

Folglich sind die Prioritäten mit Rücksprache des Produktionsleiters getroffen worden.

- Priorität Energie: MIDDLE
- Priorität Produktion: HIGH

Damit beide Maßnahmen erfolgreich integriert werden können, muss ein Energiemanagement System (EMS) zur Auswertung von Produktions- und Energieverbrauchsdaten nach ISO 5001 vor Ort installiert werden, welches die Basis der EEMs darstellen soll. Dieses EMS analysiert stetig alle Energieverbraucher sowie Stehzeiten der einzelnen Pressen und gibt diese Information an eine integrierte Auswertungssoftware weiter. Dieses EMS würde ebenfalls von SCHULER geliefert und installiert werden. Für die gesamte Implementierung der Systeme wurden als Investitionssumme von SCHULLER 140.000 € geschätzt. Dabei nimmt das EMS 70.000 €, das „Intelligent Stand-By“ System 45.000 € und die Abschaltung der Leerpressen 25.000 € ein.

Im Punkt 4.4 wird nun näher der zweite Prozess der Analyse betrachtet und erklärt.

## 4.4 Der Prozess des Warmumformens

Der zweite Prozess für die Energieanalyse ist die Warmumformung. Der Prozess des Warmumformens wird auch als Presshärten bezeichnet. Bei dieser Herstellungsart werden die Bauteile verformt und gleichzeitig wärmebehandelt. Verwendet werden beschichtete, borlegierte Stähle, welche auf Temperaturen bis 950°C erwärmt werden. Anschließend wird der entstandene Austenit durch das Presshärten in Martensit umgewandelt. Dafür muss im Werkzeug eine Kühlung integriert sein, um die Wärme gleichermaßen abführen zu können. Diese Umformung dient hauptsächlich der Automobilindustrie zur Herstellung unfallrelevanter Fahrzeugteile mit Festigkeiten bis  $R_m > 1500$  MPa. Die Materialien weisen nach der Produktion eine höhere Standhaftigkeit auf. Zudem kann im Vergleich zu anderen Stählen bei gleicher Festigkeit Gewicht eingespart werden.<sup>194</sup>

Folglich werden Vor- und Nachteile des Presshärtens aufgelistet:<sup>195</sup>

### Vorteile

- Herstellung komplexer Geometrie mit verbesserter Formgenauigkeit
- Weniger Umformstufen notwendig
- Rückgang der Bauteileigenspannungen

### Nachteil

- Hoher Aufwand
- Korrosionsschutz muss nachträglich aufgebracht werden

Dieser Prozess findet hauptsächlich in schon fortgeschrittenen Märkten statt und dient der Fahrsicherheit „improved vehicle safety“. Zu erwähnen ist die unterschiedliche Marktentwicklung der Regionen hinsichtlich der Produktion durch Warmverformung. Alle betrachteten Regionen haben zwar Anstrengungen zur Einsparung von Kraftstoff („fuel economy“), zur Reduzierung der anfallenden Betriebskosten („total cost of ownership“) und des CO<sub>2</sub>-Verbrauches („decrease in CO<sub>2</sub>-emission“), aber unterschiedliche Interessen bezüglich der Fahrdynamik („improved vehicle dynamics“) und der Fahrsicherheit („improved vehicle safety“).

---

<sup>194</sup> Vgl. Doege/Behrens (2010), S. 365

<sup>195</sup> Vgl. Doege/Behrens (2010), S. 366



#### 4.4.1 Prozessdefinition

Als Grundlage wurde der Prozess des Magna COSMA Werkes Bopfingen in Deutschland betrachtet. Im Werk befinden sich zwei Linien zur Warmumformung, wobei die dargestellte Abbildung 4-9 der Linie „HV2“ entspricht. Als Produkt wurde eine innere und äußere A-Säulen Verstärkung des Ford Focus gewählt. Das Material dieses Produktes ist der Vergütungsstahl 22MnB5.

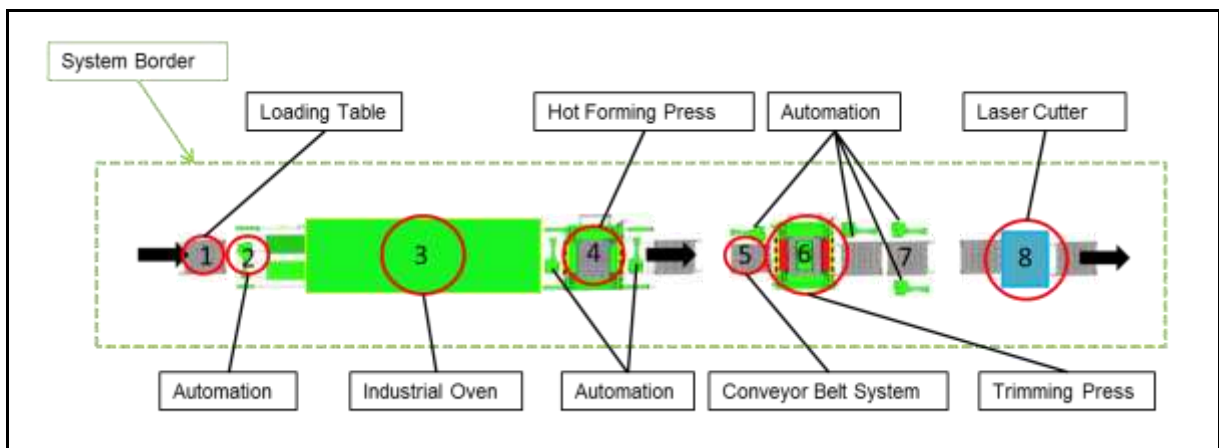


Abbildung 4-9: Prozess-Schaubild Warmumformung Bopfingen<sup>196</sup>

Der Produktionsablauf erfolgt von links nach rechts. Ein Zyklus entspricht vier Produkten, 2-mal innere A-Säule und 2-mal äußere A-Säule. Alle 4 Bauteile werden in einem Zyklus transportiert und gepresst. Gleichzeitig werden die Teile von einer KUKA Roboter Einheit (2) von einer Tischfläche (1) aufgenommen und auf das Ofenlaufband in Position gebracht. Das Laufband bringt die Bauteile in den industriellen Rollenherdofen (3) ein, wobei diese auf mindestens 900°C (max. 940°C) erhitzt werden. Die Ofenzykluszeiten sind mit 246s bis 1000s festgelegt. Die ersten acht Ofenbereiche werden mit 22 gasbetriebenen Keramik- und Stahlrohrbrennern erwärmt. Dies dient hauptsächlich zur Abdeckung der Wärme-Grundlast im Ofen. Elektronische Heizsysteme am Ende des Ofens in den letzten vier Bereichen dienen der Spitzenabdeckung, um Temperaturschwankungen schnell ausgleichen zu können. Der Rollenherdofen ist zudem für den Betrieb mit Schutzgas ausgelegt. Nach der Aufheizphase folgen eine pneumatische Zentriereinrichtung und die automatische Entnahme der Bauteile sowie die Einführung in die hydraulische Warmumformpresse (4) mittels Robotereinheit. In der hydraulischen Presse werden

<sup>196</sup> Eigene Darstellung

die Bauteile geformt und gehärtet. Für den Härtevorgang wird das Bauteil sechs Sekunden lang im geschlossenen Werkstück gehalten. Nach dem Pressvorgang werden die Bauteile automatisch entnommen und zur Schnittpresse (6) übergeführt. Zwei Arbeiter positionieren die Bauteile in einer Vorrichtung (5) und fördern diese per Laufband zur Robotereinheit. Die Bauteile werden automatisch in die Presse eingeführt, gestanzt und danach automatisch wieder entnommen und auf eine Zwischenablage positioniert. Ein einmaliger Zyklus dauert etwa 1 Minute für vier Bauteile. Dieser Zyklus ist nicht optimal ausgelegt, wird aber so für alle Regionen übernommen. Es sind mehrere Schnittpressen gleichzeitig im Einsatz, aber für diese Prozessbetrachtung wird nur eine in das System integriert. Anschließend sortieren 2 Roboter (7) die Bauteile nach linker und rechter A-Säule in dafür vorgesehene Behälter. Die Behälter werden zum Laserschneider (8) transportiert und die Teile dort nachbearbeitet. Insgesamt sind fünf Arbeiter am Prozess beteiligt. Zwei Arbeiter an der Warmumformlinie, zwei Arbeiter an der Schnittpresse und ein Arbeiter zur Bedienung des Laserschneiders.

### **4.4.2 Getroffene Annahmen und Randbedingungen**

In diesem Punkt werden die getroffenen Randbedingungen der Ford Focus A-Säulen Produktion näher betrachtet, welche in den darauffolgenden Rechnungen als Grundlage herangezogen werden. Es wird angenommen, dass der gesamte Prozessaufbau und alle inkludierten Komponenten weltweit exakt identisch sind. Alle gemessenen Daten gelten für einen Zyklus. Gemessen wird der Prozessablauf vom Input bis zum Output des Bauteiles. Ein Arbeitshub einer Presse entspricht so gesehen einem Zyklus. Zur Berechnung pro Bauteil muss man das Ergebnis durch 4 dividieren. Die gesamte Zykluszeit eines Bauteiles liegt bei 376 Sekunden. Dabei operiert die Warmumformpresse in 12,5 s/Zyklus, die Automatisierungseinheiten in 3,5 s/Zyklus, der Industrieofen in 247,5 s/Zyklus, die Schnittpresse in 5 s/Zyklus, der Laserschneider in 35 s/Zyklus und das Förderband zur Einlage in die Schnittpresse in 51,5 s/Zyklus.

Beginnend muss erwähnt werden, dass weder die Stillstandzeiten noch Rüstzeiten von den folgenden Ergebnissen abgezogen wurden. Die Messung in Bopfingen umfasst den kompletten energetischen Verbrauch einer ganzen Schicht in kWh. Da keine Sekundenmessungen wie in Albersdorf möglich waren, konnte der Energieverbrauch des Ofens und der Formpresse zu Steh- bzw. Rüstzeiten nicht ermittelt werden. Nach Absprache mit SCHULER sollte der Verbrauch des Presshärtens eigentlich 10% bis 15% unter dem Verbrauch der Tiefziehpresse aus

Albersdorf liegen. Da jedoch der zusätzliche Verbrauch von Steh- und Rüstzeiten miteinkalkuliert wurde, ist der Energiebedarf je Zyklus des Presshärtens höher.

Auch die Druckluftbereitstellung der Automatisierung konnte in Bopfingen nicht exakt bestimmt werden. Es ist weder eine Software installiert, welche wie in Albersdorf die Kompressoren optimal regelt und den nötigen Energieaufwand angibt, noch ist das Luftvolumen zur Linie exakt bestimmbar, ohne in teure Messgeräte investieren zu müssen. Der gleiche Ansatz gilt bei der hydraulischen Kühlung der Warmumform- und der Stanzpresse. Ein werksinternes Ringnetz sorgt für die Kühlwasserbelieferung der Produktion. In beiden Fällen wurden daher die Werte aus Albersdorf übernommen. Die Prozesskomponenten sind ähnlich aufgebaut, deshalb braucht man von keinen großen Abweichungen ausgehen. Zudem spielt der Energieverbrauch dieser Komponenten, gesehen auf den Gesamtprozess, eher eine untergeordnete Rolle und beeinflusst das Endergebnis kaum.

Für die Wasserkühlung der Warmumformlinien sind ebenfalls drei KSB-Pumpen mit je 44,7 kW Leistung vorgesehen, wobei die Hauptpumpe frequenzgeregelt ist und die beiden Folgepumpen druckgeregelt sind. Die Wasserkühlung des Presshärtens wird für beide Linien gleichzeitig erstellt. Die verbrauchte Energie muss daher durch die gesamten Arbeitshübe beider Umformpressen in der gemessenen Periode geteilt werden, um die Kühlenergie pro Hub berechnen zu können. Zudem wurde festgestellt, dass das Presshärteverfahren Druckluft benötigt. Die Druckluftzufuhr wird, ähnlich wie die hydraulische Kühlung, mittels eines Ringnetzes für das gesamte Werk bereitgestellt und ist daher schwer messbar. Daten zum Druckluftverbrauch des Presshärtens sind ebenfalls nicht verfügbar, deshalb wurde diese Energiezufuhr vernachlässigt. Ausserdem ist der Energieverbrauch des Fließbandes, welches vor der Stanzpresse geschaltet ist, mit einer Annäherungsrechnung geschätzt worden. Es wurde eine Leistung von 3 kW, eine Auslastung von 75% und eine Betriebszeit von 66% angenommen.

Alle Energiepreise wurden wiederum von COSMA geliefert. Wie in Albersdorf wird der Durchschnittspreis angenommen. Die Tabelle 4-4 zeigt die von COSMA überlieferten Strom- und Gaspreise pro Region zum Vergleich. Alle regionalen Energiekosten wurden mit dem Wechselkursen des 12. März 2013 in US Dollar umgerechnet.

	Europa	USA	China	Brasilien
<b>Strompreis [\$/kWh]</b>	0,156	0,067	0,144	0,155
<b>Gaspreis [\$/m<sup>3</sup>]</b>	0,581	0,189	0,51	0,65

Tabelle 4-4: Regionale Strom- und Gaspreise

Dabei wurden folgende Werke hinsichtlich ihrer Energiepreise befragt:

- COSMA IHV GmbH, Bopfingen, Deutschland
- COSMA Eagle Bend Manufacturing, Clinton (Tennessee), USA
- COSMA Automative Shanghai Co. Ltd., Volksrepublik China
- COSMA do Brasil, Sao Bernardo do Campo, Brasilien

Der Kontakt aus Clinton bestätigt, dass die Wärmeerzeugung des Ofens zu 100% mit Erdgas vollzogen wird. Das Werk in China und in Brasilien hat laut unseren Kontaktpersonen keine Gasinfrastruktur vor Ort. Der General Manager aus China sicherte uns ebenfalls zu, dass die Ofenbeheizung zu 100% mit Strom durchgeführt wird. Zum Vergleich der möglichen Kosteneinsparung bei der Verwendung von Erdgas in China und Brasilien wurden regionale Gaspreise verwendet. Diese Daten sind vom österreichischen Außenwirtschaftscenter in Sao Paulo und in Shanghai übermittelt worden. Das Werk in Brasilien hat zudem noch keine Warmumform-Produktion vor Ort, da sich dieser Markt noch nicht in Richtung „improved vehicle safety“ entwickelt hat. Somit sind alle Ergebnisse hinsichtlich der Region Brasilien unter der Annahme einer künftigen Produktion getroffen worden und zeigen den Verbrauch pro Bauteil bei brasilianischen Bedingungen.<sup>197</sup>

Diese Vorgehensweise soll eine zukünftige Einführung dieser Produktionstechnologie erleichtern und Kostenersparnisse hinsichtlich des energetischen Verbrauches aufzeigen.

Es wird bei der regionalen Darstellung des Warmumformprozesses von den Produktionsdaten aus Bopfingen ausgegangen. Laut technischer Abteilung in Bopfingen werden jährlich etwa 824.550 Zyklen auf dieser Produktionslinie gefahren.

### **4.4.3 Erläuterung der Messung**

Bei der Messung in Bopfingen wurde auf Grund der schon installierten, stationären Messgeräte Janitza UMG 96L auf genauere Messungen mit teurem Equipment verzichtet. Das UMG 96L ist ein digitales Universalmessgerät für Niederspannungsverteilungsanlagen mit 2,5 kHz Abtastrate sowie Abspeicherung von Minimum- und Maximalwerten inklusive Betriebsstundenzähler. Die Messeinheiten befinden sich in den Schaltschränken der Komponenten

---

<sup>197</sup> Gespräch mit Mathew Foley, Magna International, am 30.11.12

Warmumformpresse, Automatisierung, Werkzeugkühlung, Stanzpresse und Ofen-Stromversorgung.<sup>198</sup>

Die weiteren Prozessschritte Laser-Kühlung, Laserstrahl-Erzeuger, Lasermaschine und Werkzeugkühlung der Warmumformpresse wurden mit Hilfe eines Netzanalyse-Gerätes des Energieversorgungsunternehmens (EVU) Verbund gemessen. Diese Messeinheit misst die geleistete Arbeit in kWh alle 15 Minuten und legt die Daten auf einen internen Speicher ab. Der Gasverbrauch des Ofens ist an einem Durchflussmengenmesser in m<sup>3</sup>-Werten abzulesen und mit gegebenem Umrechnungsfaktor des EVUs von 11,2 kWh/m<sup>3</sup> umzurechnen.



Abbildung 4-10: Messsysteme Bopfingen<sup>199</sup>

#### 4.4.4 Messdaten und Istzustand

Der Hauptteil der Messung wurde in 1,5 Schichten durchgeführt. Dabei wurden jeweils zu Beginn und zum Ende der Schicht die Zählerstände abgeschrieben und die gefahrenen Zyklen dokumentiert. Die Energieverbräuche wurden gemäß Prozess 1 durch die gefahrenen Zyklen dividiert. Beim Laserschneider wurden insgesamt drei Komponenten gemessen:

- Die Lasermaschine
- Die Kühlung des Laserschneiders
- Der Laserstrahlerzeuger

Die Verbräuche des Warmumformprozesses in Bopfingen sind in folgender Tabelle dokumentiert. Insgesamt werden 6,1 kWh/Zyklus benötigt. Der gesamte Gasverbrauch des Ofens umgerechnet in m<sup>3</sup> beträgt 0,34 m<sup>3</sup>/Zyklus. Die meiste

<sup>198</sup> Vgl. Janitza, Zugriffsdatum: 13.02.13

<sup>199</sup> Eigene Darstellung

Energie fließt in die Wärmeerzeugung des Ofens mit 3,8 kWh, gefolgt von der Warmumformpresse mit 0,97 kWh, der Stanzpresse mit 0,61 kWh und dem Laserschneiders mit 0,37 kWh je Zyklus.

Komponente	Energieverbräuche [kWh/Zyklus]	Gasverbräuche [m <sup>3</sup> /Zyklus]
Warmumformpresse	0,972815534	k.A.
Hydraulische Kühlung-Presshärten	0,033350303	k.A.
Werkzeugkühlung-Presshärten	0,244523810	k.A.
Stanzpresse	0,610416667	k.A.
Hydraulische Kühlung-Stanzpresse	0,022233535	k.A.
Automatisierung	0,018543046	k.A.
Laser-Maschine	0,137459016	k.A.
Laserstrahlerzeuger	0,171505376	k.A.
Laser-Kühlung	0,055867769	k.A.
Druckluft- Automatisierung	0,038020429	k.A.
Fließband	0,016500000	k.A.
Industrieofen-Gasanteil	3,126213592	0,279126214
Industrieofen-Stromanteil	0,671844660	0,059986130
<b>Insgesamter Verbrauch</b>	<b>6,119293737</b>	<b>0,339112344</b>

Tabelle 4-5: Gemessene Energie- und Gasverbräuche je Zyklus in Bopfingen<sup>200</sup>

Alle einzelnen Verbraucher wurden in der Grafik 4-11 dargestellt. Zum besseren Verständnis wurde unterschieden zwischen Prozesswärme und mechanischer Energie. Alle Werte, welche anhand der Daten der Firma SCHULER oder Magna Albersdorf angenommen wurden, sind blau umrandet. Der größte Verbraucher dieses Prozesses ist der Industrieofen mit einem Anteil von 62%. Weitere Verbraucher wären die Umformpresse mit 16% und die Schnittpresse mit 10% je Zyklus. Auch der Laserschneider konsumiert über 5%. Die energieärmste Einheit sind die sieben Automatisierungen, welche weder bei der Kompressorarbeit zur Erstellung der Druckluft noch bei primären Gebrauch zum Bewegen und Rotieren der Roboterarme nennenswerte Energien beanspruchen.

<sup>200</sup> Eigene Darstellung

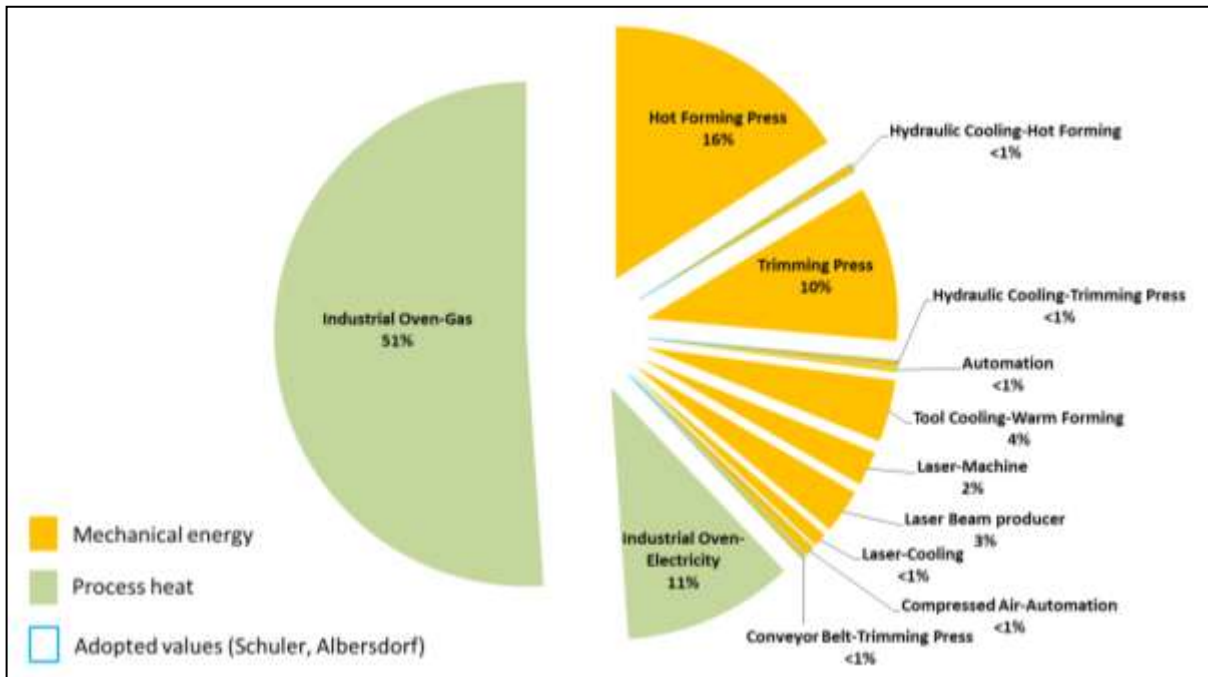


Abbildung 4-11: Aufteilung der Prozesskomponenten in Bopfinger<sup>201</sup>

Zur Darstellung der gesamten Energiekosten wird ein Balkendiagramm verwendet. Die Kostenangaben sind in Euro gegeben und betragen 50 €/Zyklus. Ein Zyklus wurde in fünf unterschiedliche Operationen aufgeteilt. Die einzelnen Kostenträger sind

- OP 1: der Industrieofen inkl. der ersten Automatisierung mit 21,4 €ct
- OP 2: die Presshärtung inkl. 2 Automatisierungen mit 15,7 €ct
- OP 3: das Förderband mit 0,18 €ct
- OP 4: die Stanzpresse inkl. 4 Automatisierungen mit 8,2 €ct
- OP 5: der Laserschneider mit 4,5 €ct

Kosten zur Bereitstellung der Kühlung sind schon bei den jeweiligen Einheiten inkludiert. Betrachtet man die gesamten Kosten im Balkendiagramm ist die Aufteilung der Energieträger gegeben. 26% der Kosten gehen dabei in die Prozessversorgung des Erdgases und 74% werden für Stromkosten aufgewendet. Obwohl der Anteil des Erdgases für 51% der gesamten Energie zuständig ist, werden nur 26% der gesamten Kosten in Anspruch genommen. Dies zeigt die deutlichen Kostenvorteile des Erdgases gegenüber dem Strom.

<sup>201</sup> Eigene Darstellung

Auf die gesamte Periode gesehen, werden in Bopfingen 824.550 Zyklen gefahren. Der gesamte Energieverbrauch von Erdgas und Strom des Werkes beträgt für das Jahr 2012 2.419.364 €. Multipliziert man die Zykluskosten mit der gesamten Zyklusanzahl pro Jahr, deckt die Linie 17% der Energiekosten des Werkes ab.

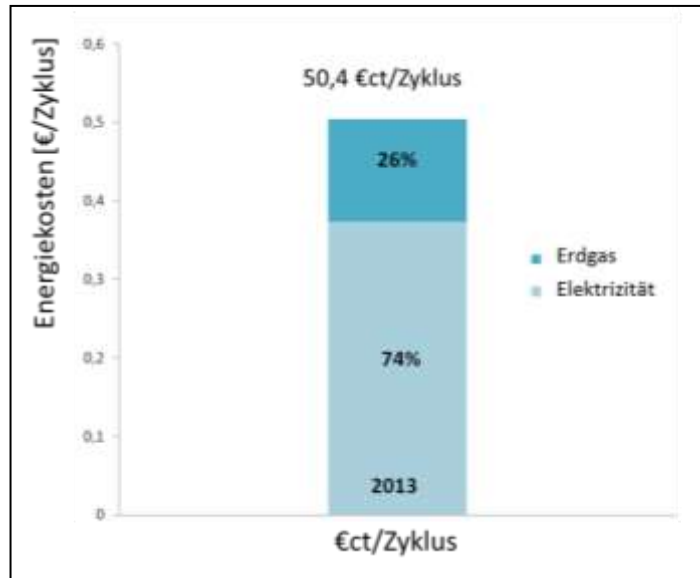


Abbildung 4-12: Energiekosten für einen Zyklus Warmumformen in Bopfingen<sup>202</sup>

#### 4.4.5 Energieflussbild (Sankey-Diagramm)

Das Sankey-Diagramm beschreibt die detailliert Aufteilung und Umwandlung der einzelnen Energieströme des Ist-Zustandes. Aufgeteilt wurden die Energieströme in Prozesswärme und mechanische Energie. Die gelben Energieströme stellen die Druckluft- und Kühlwasserbereitstellung dar.

<sup>202/</sup>Eigene Darstellung



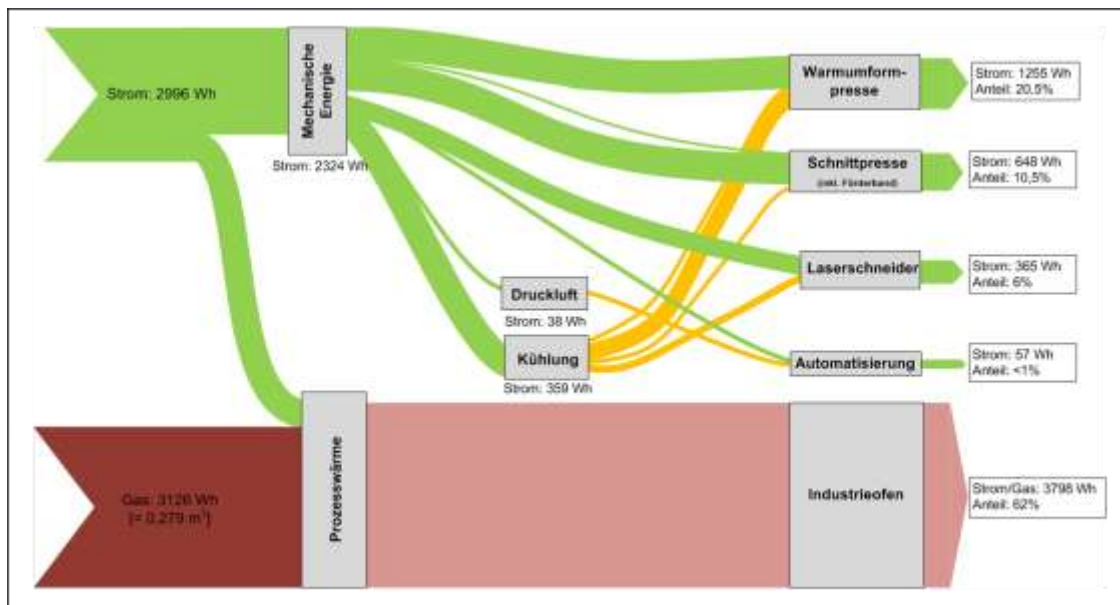


Abbildung 4-13: Energieflussbild Bopfingen [kWh/Zyklus]<sup>203</sup>

#### 4.4.6 Empfehlungen von Energieeinsparmaßnahmen und Bewertung

In diesem Punkt wird auf Schwachstellen des Prozesses eingegangen und Energieeinsparpotentiale aufgezeigt. Hierbei handelt es sich um eine Näherungsrechnung, bei welcher Annahmen und Vereinfachungen getätigt wurden, um die Komplexität zu minimieren. Zudem sind die Maßnahmen eher bei einem geplanten Werksaufbau oder bei einer Linienenerweiterung von Interesse.

Da es bei den Pressen nur begrenzt Optimierungsmöglichkeiten gibt, wurde der Fokus auf den Rollenherdofen gelegt. Anhand der unten eingeführten Grafik ist der Energiefluss eines Rollenherdofens mit Schutzgasatmosphäre gegeben. Obwohl es zu hoher Strahlungswärme an den Ofenwänden kommt, betragen die Wandverluste nur 10%. Somit würde sich eine kostenintensive Ofendämmung nur geringfügig auszahlen und zusätzlich die Produktion für eine lange Umrüstzeit unterbrechen. Der Stellhebel des Unternehmens liegt in den Abgasverlusten von 19%. Die Verbrennungsabgase erreichen Temperaturen von 500-600°C und werden momentan ohne Nachbehandlung gefiltert in die Außenluft abgegeben. Diese Wärmeenergie kann jedoch mit einer Vielzahl von Maßnahmen effizient genutzt werden und würde gleichzeitig den Wirkungsgrad des Prozesses ( $\eta = 0,4$  bis  $0,45$ ) erhöhen. In folgenden Punkten werden einige Verbesserungsmaßnahmen näher beschrieben und Einsparpotentiale aufgezeigt.

<sup>203</sup> Eigene Darstellung

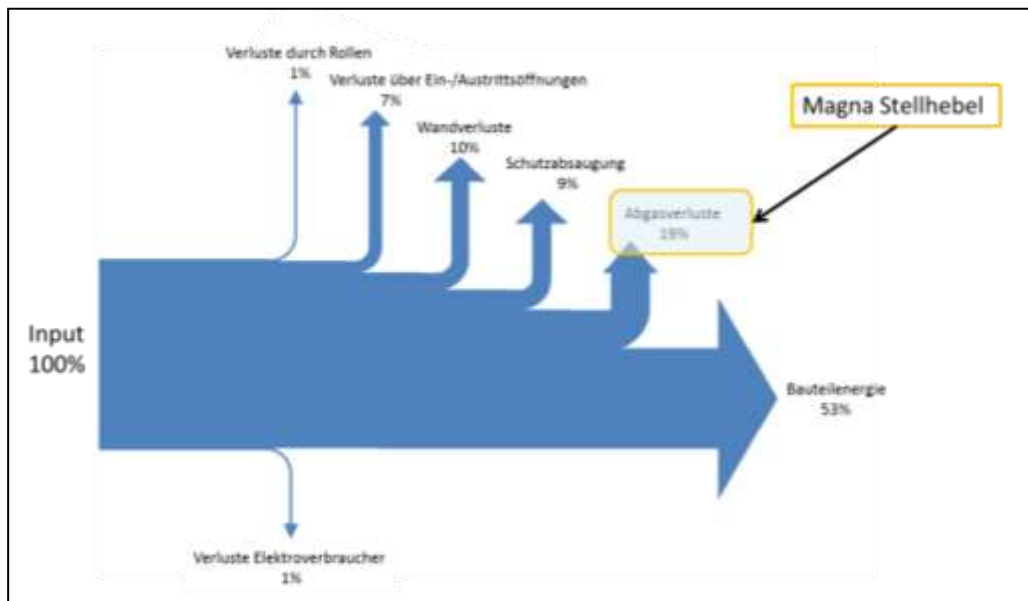


Abbildung 4-14: Energiefluss eines Rollenherdofens mit Schutzgasatmosphäre<sup>204</sup>

Prioritäten werden wiederum bezüglich der Produktion und der Energieeinsparung verteilt. Die ersten beiden EEMs sind jedoch von der Produktion unabhängig. Eine Realisierung würde den Ablauf der Produktion weder beeinflussen noch stören. Deswegen wird die Bewertung für die Produktion bei beiden Maßnahmen auf MIDDLE gesetzt.

#### 4.4.6.1 Die Platinenvorheizung (EEM 3)

Vorab muss erwähnt werden, dass diese Maßnahmen nur bei Industrieöfen mit Erdgasverbrennung durchgeführt werden können. Da in China momentan zu 100% mit elektrischem Strom geheizt wird, ist eine Nutzung des Abgases zurzeit nicht möglich. Die Abbildung 4-15 zeigt eine Möglichkeit, wie ein solches System aussehen könnte.

Der abgetrennte Bereich soll die Platinen vor der Abkühlung schützen. Laut der Technikabteilung in Bopfingen verliert eine Platine 8-12 K/s in normaler Atmosphäre. Deshalb muss ein isolierter Raum mit einem Förderband aufgebaut werden, welcher jedoch zusätzlichen Platz und Investition in Anspruch nimmt. Durch einen Gegenstromwärmetauscher kann die angesaugte Luft auf mehrere Hundert Grad vorgewärmt und damit in den abgetrennten Bereich direkt zugeführt werden. In dieser Berechnung wurde lediglich von einer Vorwärmung auf 100°C ausgegangen.

<sup>204</sup> Fabian Meklin, Institut für Werkzeugtechnik und spanlose Produktion, TU Graz

Die Einsparungen pro Jahr würden sich mit erhöhter Platinentemperatur zunehmend steigern, sind jedoch mit 100°C schon beachtlich hoch.

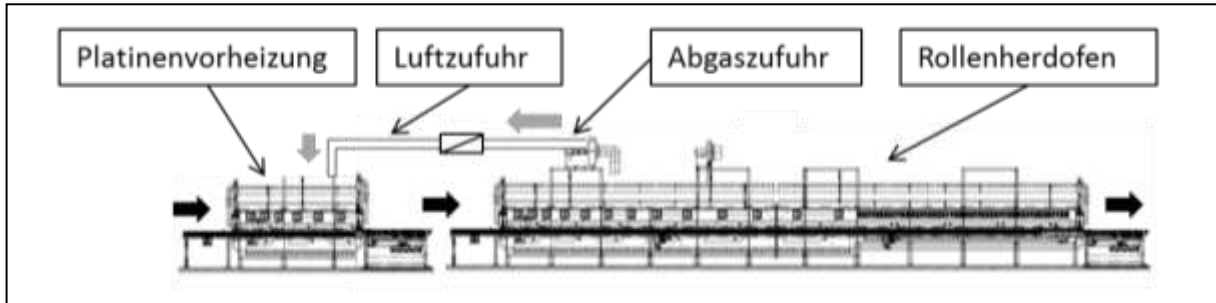


Abbildung 4-15: Beispiel für eine Systemintegration der Platinenvorheizung<sup>205</sup>

Zur Berechnung der Energieeinsparung wurde folgende Formel verwendet:

$$Q_{\text{Platine}} = m_{\text{Platine}} \times c_{\text{Platine}} \times (T_{\text{Output}} - T_{\text{Input}}) \times \frac{1}{\eta_{\text{Ofen}}}$$

Formel 1: Wärmemengenberechnung Platine<sup>206</sup>

Es wurde die Wärmemenge bestimmt, welche durch die schon vorgeheizte Platine im Ofen eingespart werden kann. Anschließend wurde die Arbeit in kWh berechnet. Alle eingesetzten Werte sind in Tabelle 4-6 gegeben. Insgesamt kann eine Arbeit von 0,682 kWh/Zyklus eingespart werden. Auf eine ganze Jahresproduktion mit 824.550 Zyklen umgerechnet, wären dies 562.343 kWh/a. Nach Rücksprache mit dem Ofenhersteller Schwartz sind solche Systeme schon industriell im Einsatz und weisen gute Ergebnisse auf. Meist jedoch werden diese Prozessvarianten schon als komplette Anlage geliefert. Eine nachträgliche Anlagenerweiterung wurde von der Firma Schwartz noch nicht durchgeführt. Alle Angaben zur Berechnung der Energiebilanz des Rekuperators sind in Punkt 4.4.6.2 gegeben.

<sup>205</sup> Eigene Darstellung

<sup>206</sup> Vgl. Wagner (1991), S. 33

Eingesetzte Werte	
Temperatur beim Eingang $T_{\text{Input}}$ [K]	1183
Temperatur beim Ausgang $T_{\text{Output}}$ [K]	373
Masse der zu erwärmenden Platine $m_{\text{Platine}}$ [kg]	3,34
Wärmekapazität $c_{\text{Platine}}$ [kJ/kgK]	0,465
Ofenwirkungsgrad $\eta_{\text{Ofen}}$	0,45

Tabelle 4-6: Eingesetzte Werte für Platinenvorheizung

Die Prioritäten zur Realisierung sind wie folgt verteilt.

- Priorität Energie: MIDDLE
- Priorität Produktion: MIDDLE

#### 4.4.6.2 Verbrennungsluftvorheizung (EEM 4)

Ein weiterer Vorschlag wäre die Verbrennungsluftvorheizung für die Erdgasverbrennung auf 350°C. Vorab muss erwähnt werden, dass die in Deutschland eingebauten Rekuperator-Brenner schon eine Vorwärmung integriert haben. Daher sollte dieser Optimierungsansatz bei direkten oder bei indirekten Brennsystemen ohne Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Zudem muss vor Ort geklärt werden, ob die vorgeschalteten Komponenten im System, wie Magnetventile, Kugelhähne, Einstell- und Regelblenden, für solch hohe Temperaturen ausgelegt sind und ob ein Austausch dieser möglich wäre. Zur Veranschaulichung der Berechnung wird folgendes Systembild angeführt:

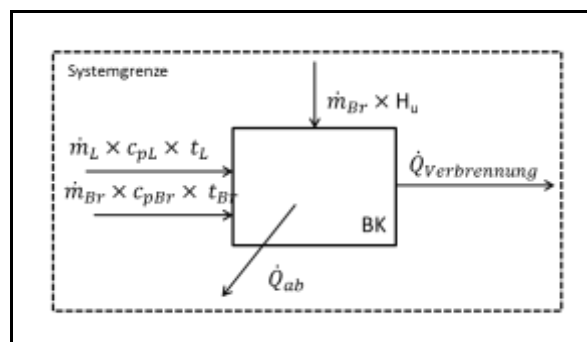


Abbildung 4-16: Systemkomponente Methanverbrennung<sup>207</sup>

<sup>207</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Baehr/Kabelac (2012), S. 457

Die Berechnung erfolgt gemäß der Formel:

$$\dot{m}_{Luft} \times c_{pLuft} \times t_{Luft} + \dot{m}_{CH_4} \times c_{pCH_4} \times t_{CH_4} + \dot{m}_{CH_4} \times H_u - \dot{Q}_{Ab} = \sum(\vartheta_i \times c_{mpi}) \times t_v$$

Formel 2: Leistungsbilanzgleichung der Verbrennung<sup>208</sup>

Alle Werte wurden vereinfacht von Methan angenommen und übertragen. Die Wärmemenge des Ist-Zustandes wurde als konstant angenommen und anhand des Ofenwirkungsgrades ermittelt. Ziel der Berechnung ist die Veränderung der Gasmengenzufuhr zu bestimmen, welche durch Luftvorheizung eingespart werden kann. Alle Daten sind auf den absoluten Nullpunkt bei 0 K bezogen und die Berechnung erfolgt für 1kg Brennstoff pro Sekunde. Die momentane Gasmenge pro Zyklus kann aus den Daten berechnet werden und beläuft sich auf 0,27 m<sup>3</sup>. Das Ergebnis der Luftvorheizung auf 350°C ist eine Brennstoffmengeneinsparung von 48,5%. Bei den gefahrenen Zyklen pro Jahr können 107.975 m<sup>3</sup>/a eingespart werden. Die Stoffmengenverhältnisse  $\vartheta$  des Rauchgases sind 5,8% Wasser, 2,9% Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), 21,9% Stickstoff und 69,4% Luft.

Eingesetzte Werte			
Lufttemperatur T <sub>Luft-Eingang</sub> [K]	623	Wärmekapazität c <sub>pL</sub> zw. 0-350°C [kJ/KgK]	1,024
Erdgastemperatur T <sub>CH4-Eingang</sub> [K]	298	Wärmekapazität c <sub>pCH4</sub> bei 0-25°C [kJ/KgK]	2,195
Massenstrom Luft $\dot{m}_{Luft}$ [kg/s]	60,3	Luftverhältnis-Lambda $\lambda$	3,5
Massenstrom Erdgas $\dot{m}_{CH4}$ [kg/s]	1	Heizwert H <sub>uCH4</sub> [MJ/kg]	50,399
Wärmestrom $\dot{Q}_{ab}$ [kJ/s]	22680	Spez. Wärmekapazität c <sub>RGf</sub> bei 0-400°C [kJ/KgK]	1,068

Tabelle 4-7: Eingesetzte Werte für Methanverbrennung<sup>209</sup>

Zur Berechnung der Energiebilanz des oben erwähnten Gegenstromwärmetauschers wurde folgende Formel verwendet:

<sup>208</sup> Vgl. Baehr/Kabelac (2012), S. 457f.

<sup>209</sup> In Anlehnung an: Alexander Schmid, Cosma Bopfingen, und den Institut für Thermodynamik der TU Graz

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{Luft} &= \dot{m}_{Luft} \times c_{pLuft} \times (T_{L.Output} - T_{L.Input}) \times \frac{1}{\eta_{Rekuperator}} \\ \dot{Q}_{Abgas} &= \dot{m}_{Abgas} \times c_{pAbgas} \times (T_{Abg.Output} - T_{Abg.Input}) \\ \dot{Q}_{Luft} &= \dot{Q}_{Abgas} \end{aligned}$$

Formel 3: Energiebilanz Wärmetauscher<sup>210</sup>

Am Ende des Wärmetauschers resultiert ein  $\Delta T$  von 54°C. Auch die kritische Taupunkttemperatur des Abgases von 40-50°C wurde am Ausgang nicht unterschritten. Zudem wurde mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 0,8 die zu übertragende Lufttemperatur berechnet. Bei einer Rauchgastemperatur von 422°C ist eine Erwärmung der Verbrennungsluft auf 368°C möglich.<sup>211</sup>

Die Prioritäten sind folglich verteilt,

- Priorität Energie: HIGH
- Priorität Produktion: MIDDLE

#### 4.4.6.3 Weitere Maßnahmen zur Senkung von Energiekosten

##### Materialanalyse zur besseren Wärmeaufnahme

Anhand der Daten und Gespräche mit Bopfingen ist das Optimierungspotential für die Prozesskomponenten als sehr gering einzustufen. Bisweilen konnten die Zykluszeiten des Produktes und die einzelnen Zonentemperaturen des Ofens nur bedingt reduziert werden. Auftretende HotSpots am Material sowie ein limitierter Mengensatz pro Stunde der Automatisierung und der Presse machten weitere Prozessverbesserungen zunichte. Für weitere Optimierungen sollte eine Materialuntersuchung durchgeführt werden. Nimmt man an, dass die Geometrie des Bauteiles sowie die Dicke und Eigenschaften der Bauteiloberfläche identisch sind, muss das neue Material eine bessere Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  in W/mK aufweisen. Bei höheren  $\lambda$  kann die Temperaturleitfähigkeit  $a$  in  $m^2/s$  erhöht werden, welche die Schnelligkeit des Temperatenausgleichs bestimmt. Ein Material mit verbesserten Eigenschaften würde eine schnellere Aufwärmung hervorrufen und folgend den Energieverbrauch des Industrieofens reduzieren. Zeitgleich können auch die Zyklen

<sup>210</sup> Vgl. Baehr/Kabelac (2012), S. 70f.

<sup>211</sup> Internetrecherche bei der Verbrennung von Gas (CH<sub>4</sub>)

der Produktion verkürzt werden, sofern das höhere Fördervolumen bei Automatisierung und Presse durchsetzbar ist. Ausserdem müssen Tests durchgeführt werden, ob das neue Material auch die Anforderungen der OEMs befriedigt.

### Nutzung der Abwärme für Heizmaßnahmen

Die Abgaswärme kann selbstverständlich auch für Heizmaßnahmen im Werk verwendet werden. Zum einen können Hallen und Büroräume effizient erwärmt werden, zum anderen kann die Wärme für einzelne Prozesse z. B. der kathodischen Tauchlackierung (KTL) im Werk genutzt werden. Dieser Prozess dient hauptsächlich dem Korrosionsschutz der gefertigten Teile. Dabei wird das Lackiergut in einem elektrochemischen Verfahren in ein Lösungsmittel eingebracht und beschichtet. Die Wärmemenge kann zur Beheizung der Tauchbecken oder zur Unterstützung der eingeführten Wärme im Trockner der Anlage zugeführt werden. Investitionskosten für beide Maßnahmen müssen vorab geprüft und nähere Berechnungen zur Einsparmenge erstellt werden.<sup>212</sup>

### Reduzierung der Ofentemperaturen

Auch durch die Reduzierung der Ofenzonentemperaturen kann Energie eingespart werden. Nach Rücksprache mit Bopfingen sind Temperaturreduzierungen in den gasbeheizten Zonen von bis zu 50°C und in den strombeheizten Zonen von bis zu 30°C möglich, ohne dabei an Produktivität oder Qualität einbüßen zu müssen. Insgesamt sind laut Bopfingen Energieeinsparungen von 5% in den Gaszonen bzw. 1,5% in den Stromzonen möglich.

Im folgenden Kapitel wird nun die globale Landkarte erstellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Prozessanalyse für Kalt- und Warmumformung ausführlich erörtert und miteinander verglichen.

---

<sup>212</sup> Vgl. Mischke (2007), S. 23ff.

## 5 Erstellung der globalen Energiekostenlandkarte

Die Hauptaufgabe dieser Arbeit ist es die einzelnen Prozesse anhand ihrer Kosten pro Zyklus in US \$ct in einer globalen Energielandkarte darzustellen. Grafik 5-1 zeigt die Kostenaufteilung der einzelnen Prozesse regional.

### 5.1 Globale Energielandkarte

Es ist zu erwähnen, dass momentan keine Aluminium- sowie Warmumformproduktion in Brasilien stattfindet. Es wird die Variante des Warmumformprozess sowohl mit einer Wärmerzeugung mittels Strom, als auch mittels Erdgas angegeben. In den folgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse pro Region sowie die möglichen Kostenersparnisse bei Implementierung der EEMs beschrieben.

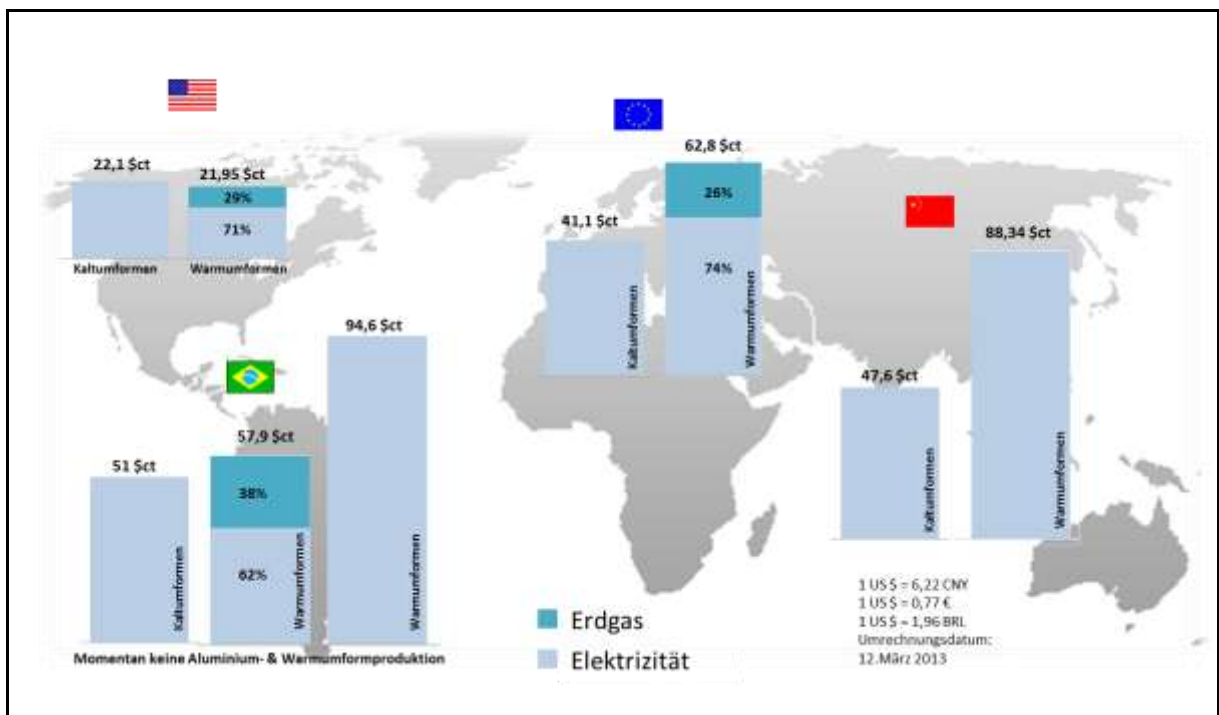


Abbildung 5-1: Globale Energiekosten der Kalt- und Warmumformung in \$ct/Zyklus<sup>213</sup>

<sup>213</sup> Eigene Darstellung



## 5.2 Ergebnisse der Analyse

### Die Vereinigten Staaten von Amerika

Ein strategischer Vorteil gegenüber den anderen Produktionsmärkten ist das günstige Energiepreisniveau der Vereinigten Staaten. Sowohl Gas- als auch Strompreise sind bis über 60% billiger als in anderen Regionen. Das Preisniveau wird in den kommenden Jahren schneller als in anderen Märkten steigen, ist aber im Vergleich immer noch günstig. Der Nachteil ist, dass das amerikanische Energieeinsparpotential aufgrund der niedrigen Preise eher gering ist. In Amerika ist es demnach preislich egal, ob ein Bauteil warm- oder kaltverformt hergestellt wird. Es entstehen annähernd die gleichen Kosten während eines Tiefziehprozess mit 22,1\$/Zyklus verglichen zur Presshärtung mit 21,95\$/Zyklus. Die 100%-ige Erdgasbeheizung des Ofens trägt dabei einen großen Anteil. Zum Vergleich würde unter amerikanischen Bedingungen eine Wärmeerzeugung mit Strom, wie es in China der Fall ist, einen Preisanstieg um 87% hervorrufen. Die gesamten Energiekosten des Warmumformens sind zu 29% durch Erdgas und zu 71% durch Strom verursacht.

Betrachtet man die Kosten der einzelnen Operationen, sind die tiefen Energiekosten des Industrieofens auffällig. Amerika ist die einzige Region, bei welcher die Kosten des Presshärtens höher sind als die Kosten der Prozesswärmeerzeugung. Der Kostenanstieg der OP 2 beläuft sich auf 33%.

Energiekosten [\$ct/OP]	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8	Totale Kosten [\$ct/Zyklus]
Kaltumformung	0,9	6,1	3,0	3,0	3,1	3,0	2,9	0,1	22,1
Warmumformung	6,4	8,5	0,1	4,5	2,5	---	---	---	22,0

Tabelle 5-1: Kostenträgerbetrachtung USA

Aufgrund der niedrigen Energiepreise ist der ROI bzw. die Amortisierung des Investments in den amerikanischen Werken nicht ausreichend um EEMs zu realisieren. Einen Überblick über das mögliche Einsparpotential von 71.371 \$/a ist in Tabelle 5-2 gegeben.

Die Vereinigten Staaten	EEM 1	EEM 2	EEM 3	EEM 4
Einsparpotential [\$ /a]	24.277	17.277	9.464	20.353

Tabelle 5-2: Einsparpotential USA

Die Volksrepublik China

Die Vorteile der chinesischen Industrie hinsichtlich kostengünstiger Arbeitskräfte, spiegeln sich in den Energiekosten nicht wider. Auch die fehlende Infrastruktur der Erdgasversorgung sorgt für einen weiteren Nachteil bei energieintensiven Produktionen.

Im prozessinternen Vergleich ist die Warmumformung mit 88,3 \$ct/Zyklus um über 85% teurer als die Kaltumformung mit 47,6 \$ct/Zyklus. Beide Prozesse sind zu 100% mit Strom betrieben. Ein Erdgasbetrieb des Ofens würde jährliche Einsparungen von 295.000 US Dollar (1.830.500 CNY/a) hervorrufen. Insgesamt würde sich der Energiepreis pro Zyklus um 43% reduzieren lassen. Dafür müsste jedoch bei der Planung eines neuen Werkes Investitionen in eine Erdgasinfrastruktur getätigt oder der Standort so gewählt werden, dass eine nahe gelegene Leitung nutzbar ist. Alle Werte wurden mit durchschnittlichen, örtlichen Gaspreisen (0,51 \$/m<sup>3</sup>) der Gegend Shanghai ermittelt.

Betrachtet man nur den Warmumformprozess, so würde eine Umstellung des Industrieofens auf Erdgasbetrieb den Berechnungen nach über 65% der Ofenoperationskosten einsparen. Allgemein sind die Kosten für Beheizungsmaßnahmen des Industrieofens über das 8,5-fache teurer verglichen zu den amerikanischen Ausgaben für den Industrieofen. Die totalen Kosten je Zyklus sind verglichen zu der amerikanischen Produktion bei der Kaltumformung um das 2-fache und bei der Warmumformung um das 4-fache intensiver. Auch gegenüber Europa verursacht der Kaltumformprozess 16% und der Warmumformprozess 41% zusätzliche Kosten. Nur Brasilien weist in der direkten Gegenüberstellung höhere Energiekosten von etwa 7% je Zyklus auf.

In der gesamten Produktionskostenübersicht ist es jedoch immer noch billiger in China zu produzieren als in allen anderen Regionen, da man speziell beim Kostenträger Lohnkosten enorme Vorteile gegenüber den anderen Absatzmärkten hat. Alle Energiekosten je Operation sind in Tabelle 5-3 aufgelistet.<sup>214</sup>

Energiekosten [\$ct/OP]	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8	Totale Kosten [\$ct/Zyklus]
Kaltumformung	2,0	13,0	6,4	6,4	6,7	6,6	6,3	0,2	47,6
Warmumformung	54,9	18,3	0,2	9,6	5,3	---	---	---	88,3

**Tabelle 5-3: Kostenträgerbetrachtung China**

<sup>214</sup> Vgl. Deloitte (2009), Zugriffsdatum: 12.05.13, S. 3

Die jährlichen, chinesischen Einsparungen liegen momentan bei 89.309 US Dollar, da bei der jetzigen, strombetriebenen Anlage in Shanghai kein Abgas des Ofens genutzt werden kann. Geht man aber von der Annahme aus, dass in künftigen Werken mit Erdgas Wärme erzeugt wird, sind verglichen zum heutigen Stand Kostenreduzierungen von 463.904 \$/a möglich.

Volksrepublik China	EEM 1	EEM 2	EEM 3	EEM 4
Einsparpotential [\$/a] Strombeheizung (Ist-Stand)	52.177	37.132	<b>X</b>	<b>X</b>
Einsparpotential [\$/a] Gasbeheizung (Soll-Stand)	52.177	37.132	25.607	53.988

Tabelle 5-4: Einsparpotential China

### Europa

Der Standort Europa gilt als Grundlage dieser globalen Prozessbetrachtung und wurde in den Punkten 4.3 und 4.4 schon näher analysiert. Im weltweiten Vergleich ist erwähnenswert, dass Europa gegenüber den Vereinigten Staaten einen deutlichen Nachteil hinsichtlich der Energiepreise hat. Betrachtet man den Kaltformprozess so ist der doppelte Kostenfaktor je Zyklus gegenüber den USA auffällig. Aufgrund der höheren Gas- und Strompreise ist auch der Warmumformprozess um den Faktor 3 kostenintensiver. Dies macht es Europa umso schwerer wettbewerbsfähig, in Bezug auf anfallende Energiekosten, gegenüber den USA zu sein. Diese Tatsache sollte jedoch als Chance und nicht als Nachteil gesehen werden. Die europäischen Werke haben die Möglichkeit den eigenen Prozess weiterhin zu optimieren und effizient zu gestalten. In der Produktion werden in Zukunft optimierte Prozesse immer mehr am Markt gefragt sein. In Tabelle 5-5 sind alle Kosten für die einzelnen Operationen nochmals aufgelistet.

Energiekosten [\$ct/OP]	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8	Totale Kosten [\$ct/Zyklus]
Kaltumformung	1,8	11,3	5,5	5,5	5,8	5,7	5,4	0,2	41,1
Warmumformung	28,0	20,5	0,3	10,8	5,9	---	---	---	65,5

Tabelle 5-5: Kostenträgerbetrachtung Europa

Vergleicht man die Prozesse untereinander, so stellt man fest, dass der Warmumformprozess um 53% kostenintensiver als der Kaltformprozess ist. Die hohen Kosten verursachen hauptsächlich die Wärmebehandlung im Ofen und die

Presshärtung. In der nächsten Tabelle sind die möglichen Einsparpotentiale pro Jahr dargestellt. Insgesamt können jährliche Kosten von 183.115 US Dollar eingespart werden, vorausgesetzt die Randbedingungen für diese Maßnahmen sind gegeben.

Europa	EEM 1	EEM 2	EEM 3	EEM 4
Einsparpotential [\$/a]	45.293	32.233	39.724	65.865

**Tabelle 5-6: Einsparpotential Europa**

### Föderative Republik Brasilien

Momentan ist der Markt noch nicht weit genug entwickelt, dass eine Aluminium- oder Warmumformproduktion rentabel ist. Jedoch ist es für die Unternehmung Magna sehr interessant, die mögliche Kostenstruktur der jeweiligen Prozesse auch für diesen Absatzmarkt zu kennen. Zum Vergleich wurden industrielle Gaspreise der Region Sao Paulo von 0,65 \$/m<sup>3</sup> verwendet. Die Energiekosten belaufen sich auf 52 \$ct/Zyklus für den Kaltformprozess, 57,9 \$ct/Zyklus bzw. 94,9 \$ct/Zyklus für den Warmumformprozess mit Gas- bzw. mit Stromverwendung. Eine Beheizung mittels Erdgas würde die gesamten Kosten auf über 39% senken und jährliche Einsparungen von ungefähr 300.000 US Dollar (593.676 BRL/a) einbringen. Dafür sollte aber in Infrastrukturmaßnahmen investiert oder die Standorte der Werke strategisch vorteilhaft ausgesucht werden. Die Aufteilung der Erdgaskosten gegenüber den Stromkosten würde bei 38% zu 62% liegen. Momentan sind die brasilianischen Industriestrompreise von allen betrachteten Regionen die teuersten, jedoch ist in Zukunft von einer geringen Erhöhung auszugehen, da gefundene Energieressourcen ins Land fließende Importe eliminieren und für eine autarke Versorgung sichern werden.

Betrachtet man die Kostenstruktur der Prozesse, so spart man sich allein in OP 1 des Industrieofens über 70% der Ausgangskosten bei der Verwendung von Erdgas ein. Alle anderen Kostenträger sind stromabhängig und nicht variabel. Brasiliens Herstellungsprozesse wären bei reinem Strombetrieb die kostenintensivsten Prozesse in der Übersicht. Bei der Aluminiumumformung müssten die brasilianischen COSMA Werke je Zyklus 24% mehr als in der EU, 141% mehr als in den USA und 7% mehr als in China bezahlen. Bei der strombetriebene Warmumformung wären es +50% verglichen zur EU, +331% verglichen zu den USA und +7% verglichen zu China.

Energiekosten [\$ct/OP]	OP 1	OP 2	OP 3	OP 4	OP 5	OP 6	OP 7	OP 8	Totale Kosten [\$ct/Zyklus]
Kaltumformung	2,2	14,0	6,8	6,9	7,2	7,0	6,7	0,3	51,0
Warmumformung (Erdgas)	22,2	19,6	0,3	10,3	5,6	---	---	---	57,9
Warmumformung (Strom)	58,8	19,6	0,3	10,3	5,6	---	---	---	94,6

Tabelle 5-7: Kostenträgerbetrachtung Brasilien

In Brasilien ist eine Einsparung von 498.642 \$/a durch die Verwendung von Erdgas im Warmumformprozess möglich. Im reinen Strombetrieb ist immer noch ein Potential von 95.822 \$/a gegeben.

Föderative Republik Brasilien	EEM 1	EEM 2	EEM 3	EEM 4
Einsparpotential [\$a] Strombeheizung	55.982	39.840	<b>X</b>	<b>X</b>
Einsparpotential [\$a] Gasbeheizung	55.982	39.840	32.636	70.184

Tabelle 5-8: Einsparpotential Brasilien

Das folgende Kapitel 6 beinhaltet vier regionale Energiekennkarten. Es sind die Ergebnisse des ersten und zweiten Teils in einer Kennkarte zusammengefasst. Diese sollen dem Leser ein komprimiertes Abbild der Energiemarktentwicklung sowie der Energiekostenstruktur beider Prozesse je Region liefern. Diese Kennkarten dienen der Transparenz und können das Unternehmen Magna bei künftigen Investitionsentscheidungen unterstützen.

## 6 Energiekennkarten Warm- und Kaltumformung

In diesem Kapitel werden Energiekennkarten für den internen Gebrauch des Unternehmens Magna erstellt. Mit diesen Kennkarten möchte man einen Überblick, sowohl über die regionale Entwicklung des Energiemarktes, als auch über die regionalen Energiekosten der Produktion schaffen.

Die Kennkarte ist eingeteilt in 2 Abschnitte:

- Die Energiemarktentwicklung der betrachteten Region
- Die Energiekosten der Produktion

Im ersten Abschnitt werden wichtige Parameter der Energiemarktentwicklung angesprochen und ein Spinnennetzdiagramm zur Entwicklung des Energiemarktes erstellt. Der Punkt Rohstoffbezugsvarietät beschreibt die Variabilität im Rohstoffbezug zur Abdeckung des primären Bedarfs. Im Bereich Umwelt werden die politischen Maßnahmen zur Entlastung der Ökologie bewertet (Siehe auch energetische Zielsetzung bis zum Jahr 2020). Es ist aber zu erwähnen, dass der Energiekonsum und das BIP Brasilien nur bedingt mit den anderen Regionen vergleichbar sind.

Im Abschnitt der Produktion wird die betroffene Region anhand von fünf Symbolen näher beschrieben. Diese Symbole stellen die aktuell, regionale Marktentwicklung des Automobilsektors dar. Die Abbildung 6-1 zeigt fünf Symbole der Marktentwicklung.

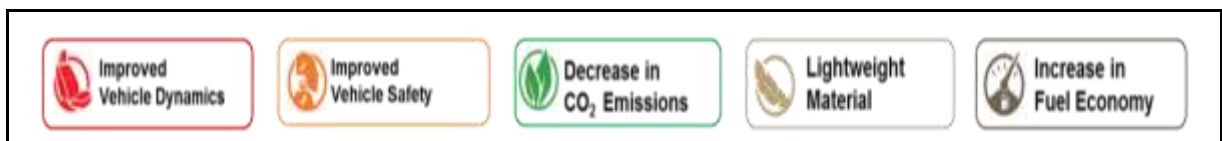


Abbildung 6-1: Symbole zur Marktentwicklung der automobilen Produktion<sup>215</sup>

Schließlich wird der Abschnitt der Produktion in Kalt- und Warmumformung eingeteilt. In der linken Spalte sind Randbedingungen und Ergebnisse der Analyse aufgelistet. Auch Einsparmaßnahmen werden in den Kennkarten regional angesprochen. Alle Prozesskosten und Einsparungen sind in der jeweiligen Landeswährung wiedergegeben.

<sup>215</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an: Magna (2012 d), S. 3

## 6.1 Die Vereinigten Staaten von Amerika

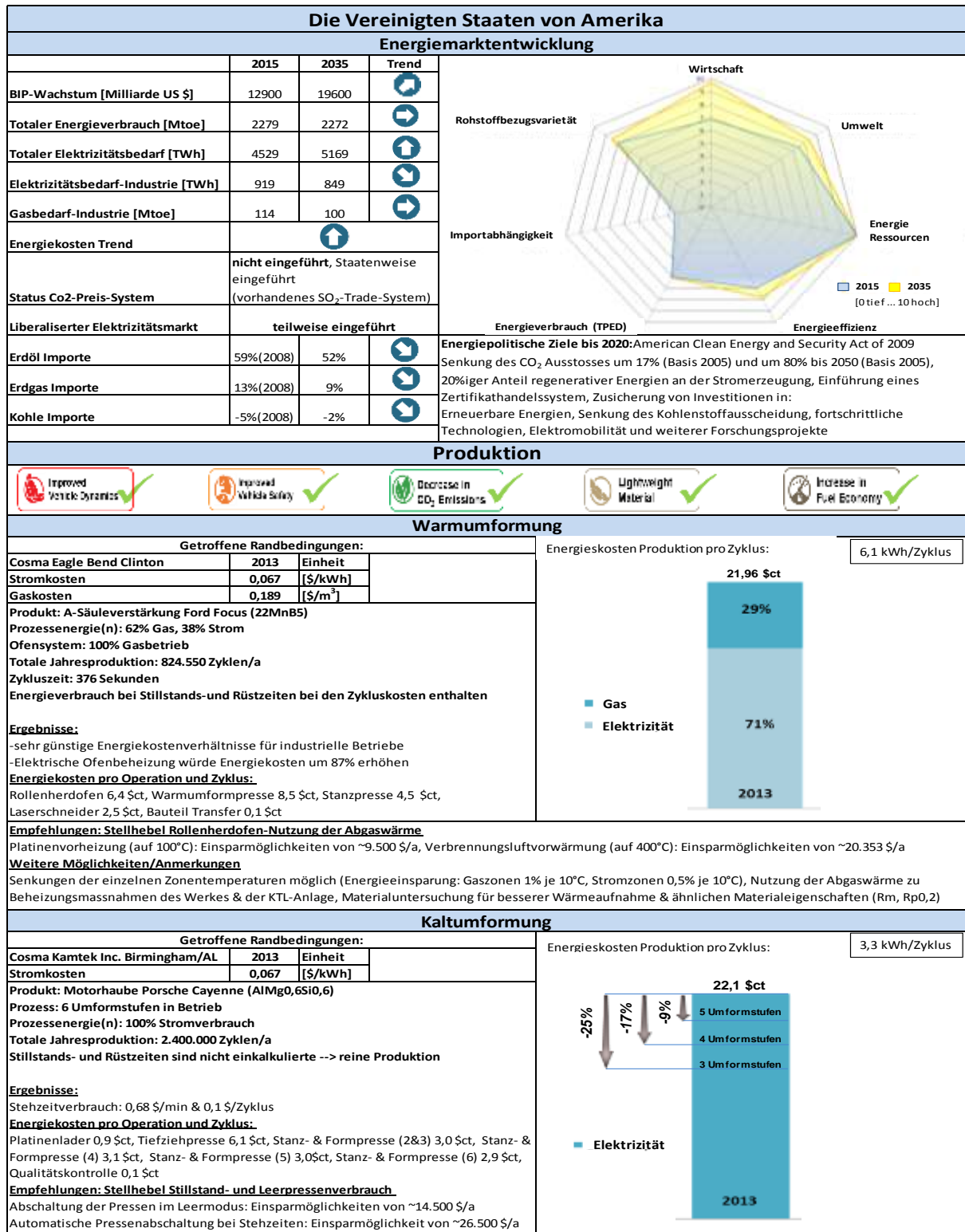


Abbildung 6-2: Energiekennkarte Amerika<sup>216</sup>

<sup>216</sup> Eigene Darstellung

## 6.2 Die Volksrepublik China

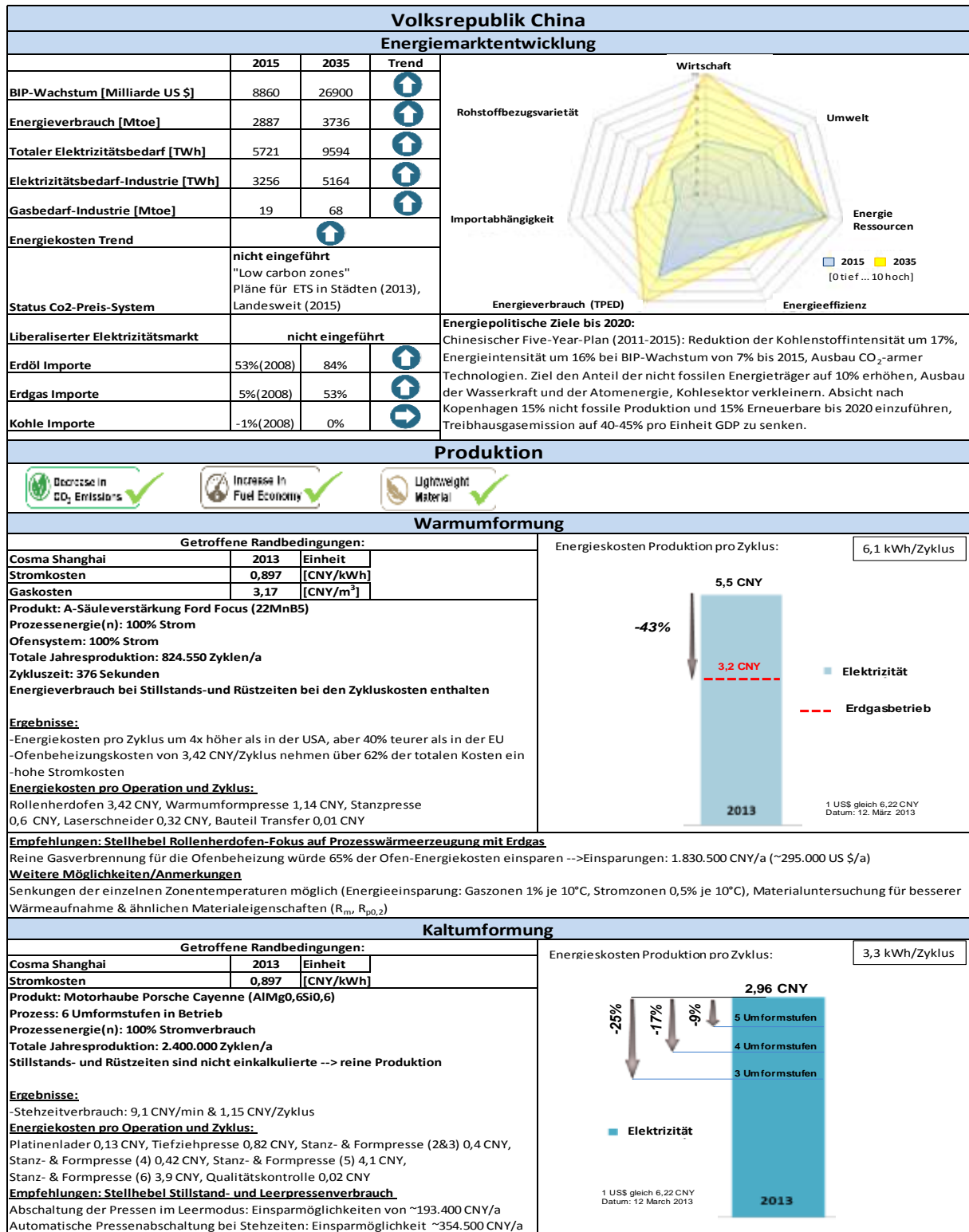


Abbildung 6-3: Energiekennkarte China<sup>217</sup>

<sup>217</sup> Eigene Darstellung



### 6.3 Europa

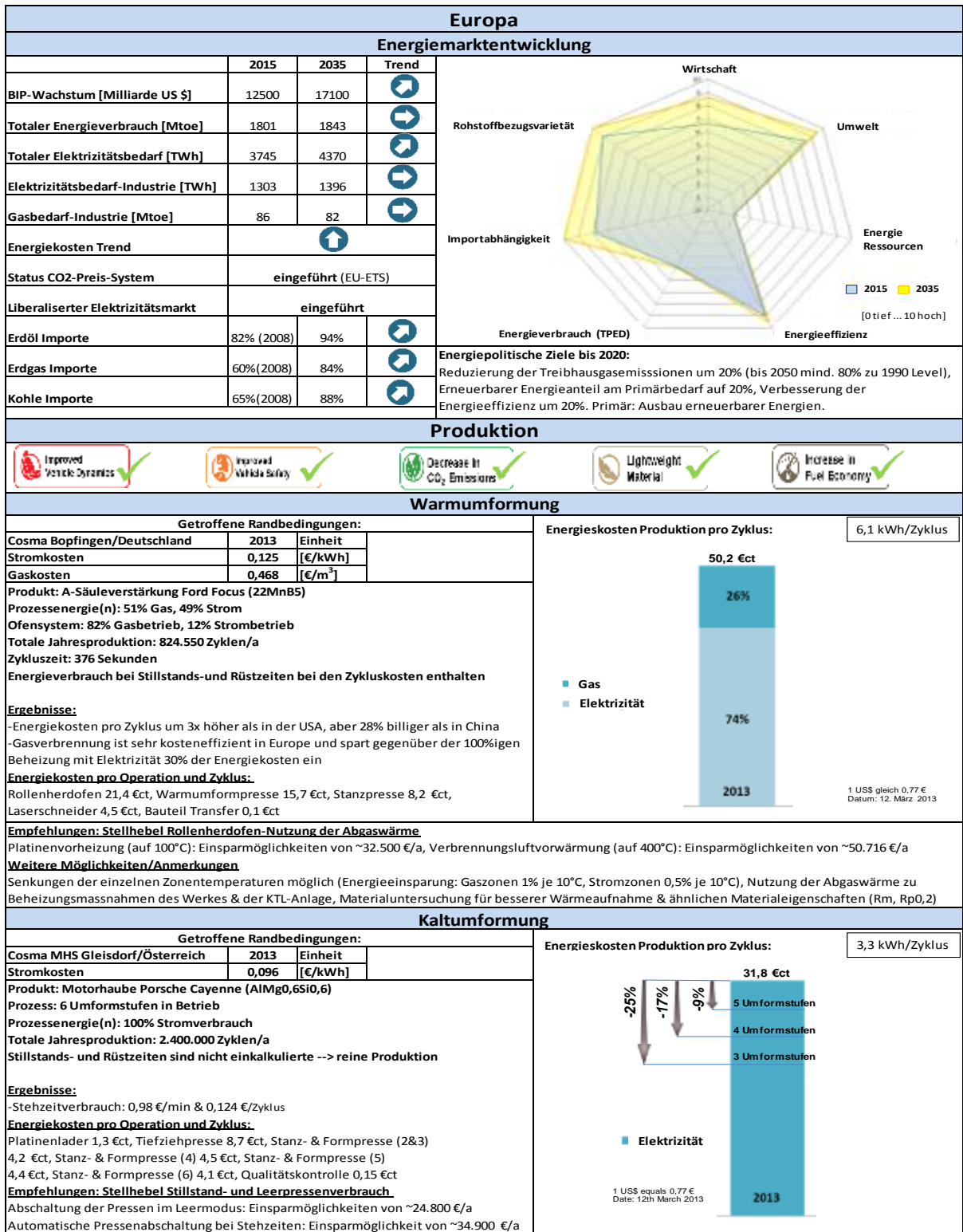


Abbildung 6-4: Energiekennkarte Europa<sup>218</sup>

<sup>218</sup> Eigene Darstellung

## 6.4 Föderative Republik Brasilien

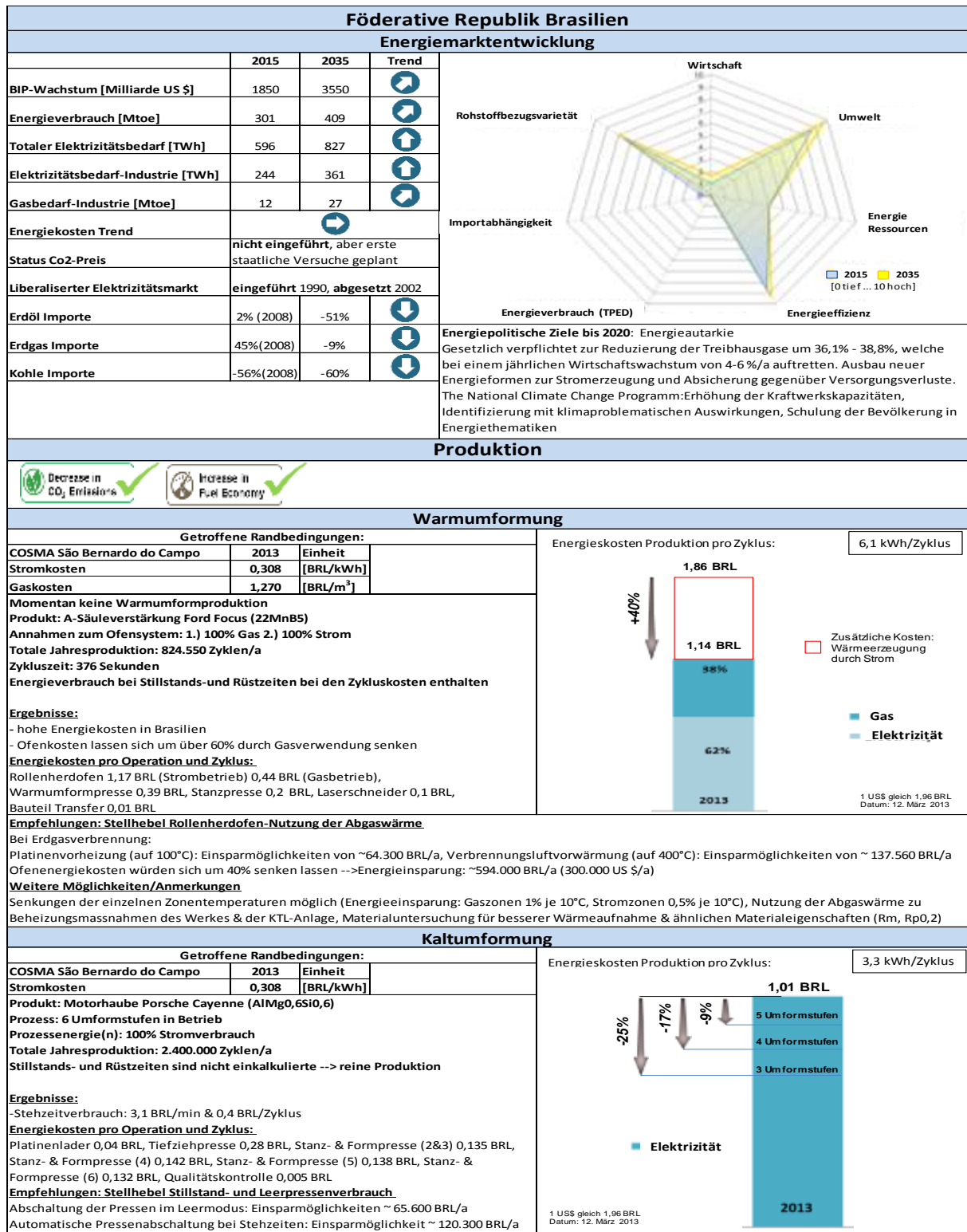


Abbildung 6-5: Energiekennkarte Brasilien<sup>219</sup>

<sup>219</sup> Eigene Darstellung

## 7 Zusammenfassung

Abschließend werden noch einmal die Ziele der vorliegenden Diplomarbeit und die daraus abgeleiteten Ergebnisse zusammengefasst. Zweck der Analyse war es, die Energiemarktentwicklung der Magna Absatzmärkte im Zeitraum 2015 bis 2035 aufzuzeigen und eine methodische Analyse des Energieverbrauches interner, ausgewählter Herstellungsprozesse zu erarbeiten. Die Ergebnisse der prozessspezifischen Energieanalyse wurden daraufhin in einer globalen Landkarte regional dargestellt sowie verglichen. Zudem sollen Stellhebel zur Reduzierung der internen Produktionskosten Magnas erläutert werden, um die Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern und dem steigenden Preisdruck der OEMs entgegenwirken zu können.

Im ersten Teil der Arbeit wurde die Energiemarktentwicklung der Regionen USA, China, Europa sowie Brasilien analysiert. Die Industrienationen USA und Europa weisen im Gegensatz zu China und Brasilien in allen drei Sektoren (Primär-, Industrie- und industrieller Stromverbrauch) kaum Veränderungen auf. Das große Wirtschaftswachstum in Brasilien und China wird in Zukunft einen hohen Energiebedarf in Anspruch nehmen und den globalen Markt beeinflussen. Auch die steigende Importabhängigkeit, speziell in Europa, wird sich in steigenden Energiepreisen widerspiegeln.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch eine Energieanalyse zweier Herstellprozesse, dem Kalt- sowie dem Warmumformen, durchgeführt. Als größte Verbraucher beider Prozesse wurden der Industrieofen und die Umformpressen identifiziert. Bei der Betrachtung der globalen Landkarte sind die niedrigen Energiekosten in den USA gegenüber den anderen Regionen deutlich geworden. Hinsichtlich der Energiekosten weisen China, Brasilien und Europa einen enormen Wettbewerbsnachteil auf.

Anhand der Ergebnisse wurden auch Einsparpotentiale ausgearbeitet. Die Maßnahmen zur Senkung der Energiekosten des Kaltumformprozesses sind:

- Einführung des „Intelligent Stand-By“ Systems
- Abschaltung der Leerpressen während der Produktion

Konkrete Verbesserungspotentiale ergeben sich aus den hohen Energieverbräuchen bei Stehzeiten sowie während der Produktionsphase mit inkludierten Leerpressen. Beide Maßnahmen würden hohe Einsparungen herbeiführen, sollten aber nur unter der Voraussetzung einer Vereinbarkeit mit dem Produktionsprozess implementiert werden.

Der Stellhebel des zweiten Prozesses liegt in der Wärmerückgewinnung des Ofenabgases. Hohe Temperaturen können effizient genützt werden, um Materialien oder Medien zu erwärmen. Die Energieeinsparmaßnahmen des Warmumformprozesses sind:

- Vorheizung der Platinen
- Vorheizung der Verbrennungsluft
- Nutzung der Abwärme für werksinterne Heizmaßnahmen (z.B. KTL-Anlage)

Aber auch neue Materialien mit verbesserter Wärmeaufnahme sowie die Reduzierung der Ofentemperaturen können die Energiekosten senken.

Die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit der Implementierung der genannten Energieeinsparmöglichkeiten ist jedoch sehr vom Standort der Produktion abhängig. Nach Prüfung der möglichen Kosteneinsparungen wird das Potential der USA als eher gering eingestuft. Der amerikanische Standort bietet ein sehr niedriges Energiepreinsniveau, bei welchem es momentan keinen Grund zur Investition in Energieeinsparmaßnahmen gibt. Die Standorte China, Brasilien und Europa hingegen könnten durch Wärmerückgewinnungen sowie den Einsatz von Erdgas ihre Energiekosten drastisch senken. Vor einer Projektrealisierung ist die Rentabilität hinsichtlich der anfallenden Investitionskosten im Einzelfall jedoch zu prüfen.

Letztendlich wurden regionale Energiekennkarten erstellt. Es wurde die jeweilige Energiemarktentwicklung und -trends untersucht, sowie die Ergebnisse in einem Spinnennetzdiagramm übersichtlich dargestellt. Zudem befasst sich der zweite Teil der Kennkarte mit den Ergebnissen der Prozessanalyse und listet neben den getroffenen Randbedingungen sowie Energiepreisen, auch die jeweiligen Einsparpotentiale der einzelnen Regionen auf. Diese Kennkarten können dem Unternehmen Magna als Entscheidungsgrundlage für künftige Investition dienen.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Die globale Verteilung der Produktions- und Entwicklungszentren Magnas .....	2
Abbildung 1-2: Vorgehensweise .....	4
Abbildung 2-1: Globaler primärer Energieverbrauch 1980 bis 2035 .....	7
Abbildung 2-2: Entwicklung des BIP und des Energieverbrauches in China von 1980 bis 2008 .....	8
Abbildung 2-3: Verfügbare, regionale Reserven und Ressourcen .....	14
Abbildung 2-4: Primärer Energiebedarf von 2015 bis 2035 .....	16
Abbildung 2-5: Die Veränderung des Primärverbrauches von 2015 bis 2035 .....	23
Abbildung 2-6: Globaler industrieller Energieverbrauch .....	34
Abbildung 2-7: Die Entwicklung der industriellen Elektrizitätsgenerierung .....	36
Abbildung 2-8: Regionale Entwicklung der industriellen Energiebereitstellung .....	43
Abbildung 2-9: Preisgestaltung abhängig von Angebot und Nachfrage .....	47
Abbildung 2-10: Entwicklung der globalen Wirtschaft und des Erdölpreises .....	51
Abbildung 2-11: Analogien der europäischen Energiepreisentwicklung .....	52
Abbildung 3-1: Innovationsportfolio Magna .....	58
Abbildung 3-2: Lightweight Entwicklungsvarianten .....	59
Abbildung 3-3: Darstellung des Plattformkonzeptes .....	62
Abbildung 4-1: Prozessmodell der Energieanalyse .....	70
Abbildung 4-2: Tiefziehen im Erstzug mit starrem Werkzeug .....	74
Abbildung 4-3: Prozess-Schaubild Kaltumformung Albersdorf .....	76
Abbildung 4-4: Einbau der Messgeräte Janitza-UMG 503 und Fluke-1735 .....	80
Abbildung 4-5: Aufteilung der Prozesskomponente in Albersdorf .....	83
Abbildung 4-6: Energiekosten für einen Zyklus Kaltumformen in Alberdorf .....	84
Abbildung 4-7: Energieflussbild Albersdorf [kWh/Zyklus] .....	85
Abbildung 4-8: Einsparpotential bei geregelter Abschaltung während Stehzeiten .....	87
Abbildung 4-9: Prozess-Schaubild Warmumformung Bopfingen .....	90
Abbildung 4-10: Messsysteme Bopfingen .....	94

---

Abbildung 4-11: Aufteilung der Prozesskomponenten in Bopfingen.....	96
Abbildung 4-12: Energiekosten für einen Zyklus Warmumformen in Bopfingen.....	97
Abbildung 4-13: Energieflussbild Bopfingen [kWh/Zyklus] .....	98
Abbildung 4-14: Energiefluss eines Rollenherdofens mit Schutzgasatmosphäre.....	99
Abbildung 4-15: Beispiel für eine Systemintegration der Platinenvorheizung .....	100
Abbildung 4-16: Systemkomponente Methanverbrennung.....	101
Abbildung 5-1: Globale Energiekosten der Kalt- und Warmumformung in \$ct/Zyklus .....	105
Abbildung 6-1: Symbole zur Marktentwicklung der automobilen Produktion .....	111
Abbildung 6-2: Energiekennkarte Amerika .....	112
Abbildung 6-3: Energiekennkarte China .....	113
Abbildung 6-4: Energiekennkarte Europa.....	114
Abbildung 6-5: Energiekennkarte Brasilien .....	115

---

## Literaturverzeichnis

- Baehr H.-D., Kabelac S.: *Thermodynamik*, 15. Ausgabe, Bochum und Hannover, 2012
- Christie E. H.: Energy vulnerability and EU-Russia energy relations, in: *Journal of Contemporary European Research*, Wien, August 2009, S. 244-292
- Cornet A.: *Plattformkonzepte in der Automobilindustrie*, Wiesbaden, 2002
- Doegel E., Behrens B.-A.: *Handbuch Umformtechnik-Grundlagen, Technologien, Maschinen*, 2. Auflage, Hannover, 2010
- Erdmann G., Zweifel P.: *Energieökonomik-Theorie und Anwendung*, Berlin, 2008
- Europäische Kommission: *Energy 2020 - A strategy for competitive, sustainable and secure energy*, Brüssel, 2011
- Gilboy G. J.: *The Myth Behind China's Miracle*, in: *Foreign Affairs*, Peking 2004
- Göpfert J., Steinbrecher M.: *Modulare Produktentwicklung leistet mehr - Warum Produktarchitektur und Projektorganisation gemeinsam gestaltet werden müssen*, in: *Harvard Business Manager*, 3/2000, S. 20-30
- International Energy Agency: *World Energy Outlook 2010*, Paris, 2010
- International Energy Agency: *World Energy Outlook 2008*, Paris, 2008
- Lange K.: *Umformtechnik-Grundlagen*, 2. Auflage, Stuttgart, 2002
- Mabro R.: *The International Oil Price Regime: Origins, Rationale and Assessment*, in: *Journal of Energy Literature*, Vol. XI, Oxford, 2005, S. 3-20.
- Mischke P.: *Filmbildung in modernen Lacksystemen*, Hannover, 2007
- Muffato M.: *Introducing a Platform Strategy in Product Development*, in: *International Journal of Production Economics*, Linköping, 1999
- Muffato M., Roveda M.: *Developing Product Platforms: Analysis of Development Process*, in: *Technovation* 20, 2000, S. 617-630
- Picot A., Reichwald R., Wigand R. T.: *Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation und Management*, 5. Auflage, Wiesbaden, 2003
- Pillar D., Waringer T.: *Modularisierung in der Automobilindustrie*, Aachen, 1999
- Posch W.: *Ganzheitliches Energiemanagement für Industriebetriebe*, Wiesbaden, 2011
- Rapp T.: *Produktstrukturierung-Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und Plattformen*, Wiesbaden, 1999

- Saygan M.: *Plattformstrategien in der Automobilindustrie*, Schloß Kröchlendorff, 1999
- Schieferdecker B.: *Technische Tools im Industriellen Energiemanagement* in: Schieferdecker B. (Hrsg.): *Energiemanagement-Tools: Anwendung im Industrieunternehmen* Berlin, 2006
- Schmid C.: *Energieeffizienz in Unternehmen*, Dissertation ETH Zürich, 2004
- Schmieder M., Thomas S.: *Plattformstrategien und Modularisierung in der Automobilentwicklung*, Aachen, 2005
- Schuller GmbH: *Handbuch der Umformtechnik*, Göppingen, 1996
- Solange M.: *Electricity regulation needs to be recharged*, in: *The Brazilian Economy*, März 2011, S. 14-22
- The Brazilian Economy: *Electricity regulation needs to be recharged*, in: *The Brazilian Economy*, März 2011, S. 3-5
- Tschätsch H., Dietrich J.: *Praxiswissen Umformtechnik - Arbeitsverfahren, Maschinen, Werkzeuge*, 5. Auflage, Bad Reichenhall, 1997
- U.S. Energy Information Administration: *International Energy Outlook 2011*, Washington D.C, 2011
- U.S. Energy Information Administration: *Annual Energy Outlook with Projections to 2035*, Washington D.C., 2012
- Ulrich K.: *The Role of Product Architecture in the manufacturing firm*, in: *Policy Research*, Band 24, 3. Auflage, Cambridge, 1995, S. 419-440
- Wagner W.: *Wärmeübertragung*, 3. Auflage, Würzburg, 1991
- Wohinz J., Moor M.: *Betriebliches Energiemanagement-Aktuelle Investition in die Zukunft*, Wien/New York, 1989



## Interne Quellen

Berger Roland-Strategy Consultants, *Identifying future growth segments-Market study*. München, 2011

Magna, *Präsentation "Magna Global Facilities"*, Graz, 2012[a]

Magna, *Präsentation "Magna Megatrends"*, Graz, 2012[b]

Magna, *Präsentation "Trend of Key Industry, Material"*, Graz, 2012[c]

Magna, *Präsentation "Magna Lightweight"*, Graz, 2012[d]

Magna, *Präsentation "Trend Analysis Automotive-Global Platforms"*, Graz, 2012[e]

## Internetquellenverzeichnis

Authenticated US Government Information, *The Energy Independence and Security Act 2007*, <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-110hr6enr/pdf/BILLS-110hr6enr.pdf>, abgerufen am 13.05.13

US Department of Energy, *Energy Policy Act of 2005*, <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-110hr6enr/pdf/BILLS-110hr6enr.pdf>, abgerufen am 20.02.13

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, *Energiebericht Österreich 2003*, <http://www.bmwfi.gv.at/EnergieundBergbau/Energiebericht/Documents/Energiebericht2003.pdf>, abgerufen am 13.01.2013

British Petrol (BP), *BP Energy Outlook 2030*, [http://www.bp.com/liveassets/bp\\_internet/globalbp/STAGING/global\\_assets/downloads/O/2012\\_2030\\_energy\\_outlook\\_booklet.pdf](http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/O/2012_2030_energy_outlook_booklet.pdf), abgerufen am 05.01.2013

Christie E.H., *China's foreign oil policy: genesis, deployment and selected effects*, [http://www.fiw.ac.at/fileadmin/Documents/Publikationen/Studien\\_II/SI03.Studie.China\\_s\\_oil.pdf](http://www.fiw.ac.at/fileadmin/Documents/Publikationen/Studien_II/SI03.Studie.China_s_oil.pdf), abgerufen am 03.02.2013

Deloitte Touche Tohmatsu, *Accelerating toward 2020-An automotive industry transformed*, [http://www.deloitte.com/assets/DcomGlobal/Local%20Assets/Document/s/A%20New%20Era\\_Online\\_final.pdf](http://www.deloitte.com/assets/DcomGlobal/Local%20Assets/Document/s/A%20New%20Era_Online_final.pdf), abgerufen am 12.05.13

Deutsche Energie Agentur (Dena), *dena-Umfrage: Energiekosten belasten die Unternehmen*, <http://www.dena.de/presse-medien/pressemitteilungen/umfrage-energiekosten-belasten-unternehmen.html>, abgerufen am 14.02.2013

- Edwards T. J., *China's Power Sector Restructuring and Electricity Price Reforms*.  
<http://www.vub.ac.be/biccs/site/assets/files/apapers/Asia%20papers/201201%20-%20Edwards%20-%20Electricity%20Pricing.pdf>, Brüssel, abgerufen am 20.01.2013
- Europäische Kommission (2013), *Saubere Energie für den Verkehr: Eine europäische Strategie für alternative Kraftstoffe*, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0017:FIN:DE:PDF>, abgerufen am 03.02.2013
- Government of Brazil,  
[www.mma.gov.br/estruturas/208/\\_arquivos/national\\_plan\\_208.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/208/_arquivos/national_plan_208.pdf), abgerufen am 30.01.2013
- Janitza GmbH,  
[http://download.janitza.de/download\\_direkt/Leaflets/020\\_UMG%2096L\\_-\\_UMG%2096/UMG%2096L-UMG%2096\\_Deutsch.pdf](http://download.janitza.de/download_direkt/Leaflets/020_UMG%2096L_-_UMG%2096/UMG%2096L-UMG%2096_Deutsch.pdf), abgerufen am 13.02.2013
- Exxon Mobil, *The Outlook of Energy: A view to 2030*,  
[http://www.exxonmobil.com/corporate/files/news\\_pub\\_eo\\_2010.pdf](http://www.exxonmobil.com/corporate/files/news_pub_eo_2010.pdf), abgerufen am 03.12.2012
- Handelsblatt, *Seltene Erden, Chinas gefährliches Rohstoffmonopol*,  
<http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/seltene-erden-chinas-gefaehrliches-rohstoff-monopol/6772796.html>, abgerufen am 23.10.2012
- Handelsblatt, *Jede zweite Firma investiert im Ausland*,  
<http://www.handelsblatt.com/unternehmen/management/strategie/umfrage-jede-zweite-firma-investiert-im-ausland/8004322.html>, abgerufen am 04.01.13
- Deutsche Rohstoffagentur (DERA), *Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen* 2011,  
[http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie-Kurzform-2011.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Energiestudie-Kurzform-2011.pdf?__blob=publicationFile&v=3), abgerufen am 05.12.2012
- Deutsche Welle (DW), *Fukushima und die Folgen in Deutschland*,  
<http://www.dw.de/fukushima-und-die-folgen-in-deutschland/a-15562222>, abgerufen am 15.02.2013
- Statista, <http://www.statista.com/statistics/157917/revenue-of-the-20-leading-companies/>, abgerufen am 24.01.2011
- The University of Texas at Austin, *Brazil's Power Market Crisis*  
<http://www.beg.utexas.edu/energyecon/publications.php>, abgerufen am 07.12.2012
- Vattenfall, *Global Mapping of Greenhouse Gas Abatement Opportunities up to 2030*,  
[http://www.greenswitching.hu/library\\_files/11\\_1253885146\\_Power%20Sector\\_Global](http://www.greenswitching.hu/library_files/11_1253885146_Power%20Sector_Global)

[\\_Mapping of Greenhouse Gas Abatement Opportunities up to 2030-Vattenfall-2007\[1\].pdf](#), abgerufen am 05.11.2012

Magna, <http://www.magna.com/de/%C3%BCber-magna/unser-gr%C3%BCnder>, abgerufen am 22.12.2012

Worldbank Database, <http://databank.worldbank.org/ddp/home.do>, abgerufen am 03.10.2012

Yang H., *Overview of the Chinese Electricity*, <http://www.dspace.cam.ac.uk/bitstream/1810/131663/1/eprg0517.pdf>, abgerufen am 18.04.2013

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Regionale Entwicklung des BIPs verglichen zur Veränderung des Energiebedarfs .....	9
Tabelle 2-2: Reserven und Ressourcen der globalen Energieträger .....	15
Tabelle 2-3: Unkonventionelle Erdöle und deren Fördervolumen im Jahr 2035 .....	18
Tabelle 2-4: Entwicklung der Importabhängigkeit fossiler Energiequellen .....	24
Tabelle 2-5: Totaler primärer Energieverbrauch der Regionen 2015 bis 2035 .....	24
Tabelle 2-6: Industrieller Stromverbrauch der Regionen .....	35
Tabelle 2-7: Totaler industrieller Energieverbrauch der Regionen 2015 bis 2035 .....	43
Tabelle 2-8: Energiepreisentwicklung der amerikanischen Industrie .....	53
Tabelle 3-1: Vor- und Nachteile der Plattformstrategie .....	64
Tabelle 3-2: Vor- und Nachteile der Modularisierung .....	66
Tabelle 3-3: Regionales „Light Vehicle“ Produktionsvolumen 2010 bis 2020 .....	67
Tabelle 4-1: Kriterien zur Bewertung von Energieeinsparmaßnahmen (EEM) .....	73
Tabelle 4-2: Regionaler Strompreisvergleich in \$ pro kWh .....	78
Tabelle 4-3: Energie- und Stillstandverbräuche pro Zyklus in Albersdorf .....	82
Tabelle 4-4: Regionale Strom- und Gaspreise .....	92
Tabelle 4-5: Gemessene Energie- und Gasverbräuche je Zyklus in Bopfingen .....	95
Tabelle 4-6: Eingesetzte Werte für Platinenvorheizung .....	101
Tabelle 4-7: Eingesetzte Werte für Methanverbrennung .....	102
Tabelle 5-1: Kostenträgerbetrachtung USA .....	106
Tabelle 5-2: Einsparpotential USA .....	106
Tabelle 5-3: Kostenträgerbetrachtung China .....	107
Tabelle 5-4: Einsparpotential China .....	108
Tabelle 5-5: Kostenträgerbetrachtung Europa .....	108
Tabelle 5-6: Einsparpotential Europa .....	109
Tabelle 5-7: Kostenträgerbetrachtung Brasilien .....	110
Tabelle 5-8: Einsparpotential Brasilien .....	110

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
a	Temperaturleitfähigkeit
AHSS	Advanced High Strength Steel
bar	Druckeinheit
bcm	Milliarden Kubikmeter
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BP	British Petrol
Boe	Barrel of oil
bzw.	beziehungsweise
c	spezifische Wärmekapazität
CAAGR	Compound Average Annual Growth Rate
ct	Cent
d	Tag
EEM	Energieeinsparmaßnahme
EIA	US Energy Information Administration
EJ	Exajoule
EMS	Energiemanagementsystem
etc.	et cetera
EU-ETS	Europäisches EmissionsTradeSystem
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GDP	Gross Domestic Product
Gt	Gigatonnen
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
h	Stunde
IEA	International Energy Agency
IPP	Independent Power Producer
K	Kelvin
k.A.	keine Angaben
kg	Kilogramm
kHz	Kilohertz
kJ	Kilojoule
KKP	Kaufkraftparität
km	Kilometer
KTL	Kataphorische Tauchlackierung
kWh	Kilowattstunden
LNG	Liquid Natural Gas
m	Meter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mb	Millionen Barrel
min	Minute
MPa	Megapascal
Mt	Millionen Tonnen
Mtce	Million tonnes of coal equivalent
Mtoe	Million tonnes of oil equivalent
MWh <sup>th</sup>	thermische Megawattstunden
MWh	Megawattstunden

---

NGL	Natural Gas Liquids
Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter
Non OECD Asien	Nicht Mitgliedsstaaten des OECD Bündnis in Asien
Non-OECD	Nicht Mitgliedsstaaten des OECD Bündnis
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OEM	Original Equipment Manufacturer
OP	Operation
OPEC	Organisation ölexportierender Länder
PJ	Petajoule
PP	Prozentpunkte
PPA	Power Purchase Agreements
PV	Photovoltaik
ROI	Return on Investment
s	Sekunde
Spez.	Spezifisch
t	Tonne
TJ	Terajoule
TWh	Terawattstunden
US	United States
USA	United States of Amerika
USD	US Dollar
W	Watt
Wh	Wattstunden
WIND	Windenergie
z.B.	zum Beispiel
z	Zyklus
ρ	Dichte
\$	Dollar
€	Euro
°C	Grad Celsius

## Formelverzeichnis

Formel 1: Wärmemengenberechnung Platine.....	103
Formel 2: Leistungsbilanzgleichung der Verbrennung .....	105
Formel 3: Energiebilanz Wärmetauscher.....	106

## Anhang

### Kontaktdaten:

Firma	Land	Kontaktpersonen	Kontaktdaten
Magna International Inc.	Österreich	Dr. Anton Mayer Foley Matthew Krachler Gerhard	anton.mayer@magna-europe.com Mfoley@cosma.com gerhard.krachler@magna.com
Magna Heavy Stamping Albersdorf	Österreich	Fauster Otto Krickler Wolfgang Frühwirt Werner	OFauster@cosma.com WKrickler@cosma.com WFruewirth@cosma.com
Magna IHV GmbH Bopfinger	Deutschland	Schmidt Alexander Ebert Michael Dambacher Armin	ASchmidt@cosma.com MEbert@cosma.com ADambacher@cosma.com
Cosma Automotive Systems Shanghai Co., Ltd.	China	Zhou Tracy	tzhou@cosma.com
Cosma Eagle Bend Manufacturing Clinton	USA	Quasniczka Jörg	JQuasniczka@cosma.com
Cosma Kamtek Inc., Birmingham	USA	Dunner David McMullen Terry	Ddunner@cosma.com TMcMullen@cosma.com
Magna Cosma International-Unidade SBC Sao Bernado do Campo	Brasilien	Rainke Maik Panza Marcello Lima Adriano	MRainke@cosma.com MPanza@cosma.com AdrLima@cosma.com
Technische Universität Graz	Österreich	Meklin Fabian	fabian.meklin@tugraz.at
Schuler SMG GmbH & Co.KG	Deutschland	Nickler Steffen Selbach Frank	steffen.nickler@schulergroup.com frank.selbach@schulergroup.com
Österreichisches AußenwirtschaftsCenter SaoPaulo	Brasilien	Dr. Ingomar Lochschmidt	SaoPaulo@wko.at
Österreichisches AußenwirtschaftsCenter Shanghai	China	Dr. Oskar Andesner Mag. Raimung Gradt	peking@wko.at shanghai@wko.at