

# Bachelorarbeit

**Thema:**

**„Die Analyse des Lebenszyklus eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems (WDVS) unter besonderer Beachtung der Wiederverwertbarkeit.“**

**Vorgelegt am:** 22.08.2016

**Von:** Richard Labetzsch  
Struppener Str. 68  
01259 Dresden

**Studiengang:** Baubetriebsmanagement

**Seminargruppe:** 4 BM13-1

**Matrikelnummer:** 4001281

**Praxispartner:** H. Nestler GmbH & Co. KG  
Sachsenwerkstrasse 31  
01257 Dresden

**Gutachter:** Dipl.- Ing. Martin Kirchner (H. Nestler GmbH & Co. KG)  
Prof. Dr. Dirk Hinkel (Staatliche Studienakademie Glauchau)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>- I -</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>- II -</b>
<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>- III -</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>- IV -</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>2 Einführung in das Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem ...</b>	<b>- 3 -</b>
2.1 Aufbau.....	- 3 -
2.2 Betrachtung des Marktes .....	- 7 -
<b>3 Produktlebenszyklus</b> .....	<b>- 11 -</b>
3.1 Traditionelle Lebenszyklusphasen.....	- 11 -
3.2 Marktanteils-Marktwachstums-Portfolio .....	- 15 -
<b>4 Veränderungen im Lebenszyklus eines Gebäudes</b> .....	<b>- 18 -</b>
4.1 Variation während des Entstehungszyklus .....	- 18 -
4.1.1 Stoffstrommanagement .....	- 18 -
4.1.2 Transparente Wärmedämmung .....	- 21 -
4.2 Variation zu Beginn der Degenerationsphase .....	- 24 -
4.2.1 Selektiver Gebäuderückbau.....	- 25 -
4.2.2 Cradle-to-Cradle Verfahren von Prof. Braungart .....	- 28 -
<b>5 Lebenszyklus Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem.....</b>	<b>- 31 -</b>
5.1 Klassischer Zyklus .....	- 31 -
5.2 Verwertungsoptionen .....	- 33 -
5.2.1 Verbrennung zur Energiegewinnung.....	- 35 -
5.2.2 Wiederaufbereitung/ Wiederverwertung.....	- 36 -
5.3 Lebenszyklusvariation mit eigenen Ansätzen .....	- 39 -
<b>6 Resümee</b> .....	<b>- 45 -</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>- 47 -</b>

<b>Anhangverzeichnis</b> .....	<b>- 51 -</b>
<b>Ehrenwörtliche Erklärung</b> .....	<b>- 54 -</b>
<b>Freigabeerklärung</b> .....	<b>- 55 -</b>
<b>Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten</b> .....	<b>- 56 -</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Aufbau Wärmedämmverbundsystem .....	- 3 -
<b>Abbildung 2</b>	Chemischer Aufbau Styrol .....	- 4 -
<b>Abbildung 3</b>	Chemischer Aufbau Polystyrol .....	- 5 -
<b>Abbildung 4</b>	Bevölkerungsverteilung in Deutschland 2014 .....	- 9 -
<b>Abbildung 5</b>	Darstellung Lebenszyklus .....	- 12 -
<b>Abbildung 6</b>	Produktmatrix, erfolgreiches Produktmanagement .....	- 15 -
<b>Abbildung 7</b>	Maßnahmen des Integrierten Umweltschutzes .....	- 20 -
<b>Abbildung 8</b>	Abfallaufkommen 2013 .....	- 21 -
<b>Abbildung 9</b>	Aufbau transparente Wärmedämmung .....	- 22 -
<b>Abbildung 10</b>	Beispiel Verwertungskonzept .....	- 27 -
<b>Abbildung 11</b>	Cradle-to-Cradle-Verfahren nach Prof. Braungart .....	- 28 -
<b>Abbildung 12</b>	Produktlebenszyklus .....	- 31 -
<b>Abbildung 13</b>	Bau- und Abbruchabfälle 2010 in Millionen Tonnen .....	- 34 -
<b>Abbildung 14</b>	CreaSolv-Prozess .....	- 37 -
<b>Abbildung 15</b>	Polystyrol-Lebenszyklus mit Variationen .....	- 39 -
<b>Abbildung 16</b>	Entsorgungsmengen Polystyrol H. Nestler 2005 - 2016 .....	- 43 -

## Formelverzeichnis

<b>Formel 1</b> Marktpotential.....	- 8 -
<b>Formel 2</b> bereinigtes Marktpotential.....	- 10 -
<b>Formel 3</b> Gewinngleichung.....	- 12 -
<b>Formel 4</b> Gewinn-Kosten-Gleichung.....	- 12 -
<b>Formel 5</b> Kostengleichung.....	- 13 -
<b>Formel 6</b> Marktwachstum.....	- 16 -
<b>Formel 7</b> relativer MA.....	- 16 -

## **Abkürzungsverzeichnis**

**DDR** - Deutsche Demokratische Republik

**ENEV** - Energieeinsparverordnung

**HBCD** - Hexabromcyclododecan

**KrWG** - Kreislaufwirtschaftsgesetz

**MA** - Marktanteil

**PCB** - Polychlorierte Biphenyle

**ppm** - Parts per million

**TWD** - Transparente Wärmedämmung

**USA** - United States of America

**WDVS** - Wärmedämmverbundsystem

**etc.** - et cetera

# 1 Einleitung

Grundgedanke dieser Arbeit ist eine Betrachtung des Lebenszyklus eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems und einer möglichen Veränderung der Verwertung, welche die letzten Phase des Produktlebenszyklus bildet, des Dämmstoffes im Polystyrols-Wärmedämmverbundsystem. Hintergrund dabei ist die vorhandene und steigende Anzahl an gedämmten Gebäuden mit Polystyrol, höhere Anforderungen an Neubauten durch die Novellierung der *Energieeinsparverordnung (ENEV)* und die somit verbundene Mengenmehrung an Polystyrolabfällen, die wiederum eine starke Belastung der Umwelt darstellen. Um diese Belastung zu verringern und den dringenden Handlungsbedarf aufzuzeigen, sollen Konzepte vorgestellt werden, wie eine Wiederverwertung die oben genannte Verlängerung des Lebenszyklus ermöglichen kann. In dieser Bachelorarbeit, welche unter der Thesis *„Die Analyse des Lebenszyklus eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems (WDVS) unter besonderer Beachtung der Wiederverwertbarkeit.“* steht, ist es vorgesehen, im Anschluss an diese Einleitung, das Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem hinsichtlich seines Aufbaus, seines Vorkommens in Deutschland und seines vorhandenen Marktes zu beschreiben. Dabei soll einerseits ein Einblick in das System gewährt werden, andererseits die starke Präsenz dieser Dämmvariante verdeutlicht werden, um den Handlungsbedarf zur Findung von Verwertungsalternativen darzustellen.

Im *Folgenden* soll zunächst der *Produktlebenszyklus* in seinen traditionellen Phasen beschrieben werden. Diese Phasen sollen dabei in Verbindung mit der Lebenszyklusfunktion dargestellt werden, um damit eine fundierte Basis der Gegebenheiten als Bezugsgrundlage für eine spätere Weiterentwicklung des Lebenszyklus zu formulieren. Für eine mögliche Variation der Lebenszyklusfunktion ist eine genaue Betrachtung zur Findung von Ansatzpunkten nötig. Dabei soll zunächst der Beginn analysiert werden und durch Beispiele der Arbeitsvorbereitung und genauen Planung an Hand des *Stoffstrommanagement* von Baumaterialien und der *transparenten Wärmedämmung* beschrieben werden. In der Folge wird dann die Gegenseite der Funktion betrachtet und hinsichtlich einer möglichen Variation überprüft, an den Beispielen des *selektiven Gebäuderückbaus* und des *Cradle-to-Cradle-Verfahren* von Prof. Braungart.

Die Bachelorarbeit behandelt die Untersuchung des Polystyrols bezüglich seines Lebenszyklus in Verbindung zum traditionellen Lebenszyklus. Das Ergebnis dieses Vergleiches soll eine Beschreibung der speziellen externen Faktoren der Bauwirtschaft sein, die das Produkt beeinflussen und die bei einer Veränderungen des Produktlebenszyklus zu berücksichtigen sind. Anschließend wird eine Darstellung der

momentanen Abbruch- und die derzeit verwendeten Verwertungsverfahren des Polystyrols beschrieben. Die Darstellung des derzeitigen Ansatzes zum Wiederverwertungsverfahrens von Polystyrol aus Wärmedämmverbundsystemen („Crea®-Solv-Prozess“) soll den theoretischen Ausgangspunkt für eine Variation bilden. Die letzten beiden Phasen des Lebenszyklus sind Hauptaugenmerk dieser Arbeit, da untersucht wird, ob in diesen durch Wiederverwertbarkeit die Lebenszyklusfunktion „verlängert“ werden kann. Welche Risiken und Probleme bei der Verknüpfung des Lebenszyklus mit der Polystyrol-Wiederverwertung unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren der Bauwirtschaft entstehen können, soll durch Entwicklung eigener Ansätze den vorletzten Gliederungspunkt abrunden.

Die Arbeit wird mit der Darstellung der Erkenntnisse, der Ergebnisse und der Erfüllung der Zielstellung mit einer Überlegung hinsichtlich möglicher Folgethesen und dem Ausblick hinsichtlich der Branche abgeschlossen.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit soll die Veranschaulichung der Lebenszyklusfunktion des Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem und ihrer Inhalte im Umfeld der bauwirtschaftlichen Gegebenheiten sein. Diese Gegebenheiten werden dann um die Verwertungsmöglichkeiten erweitert und untersucht, damit letztendlich diese Produktfunktion ein „*retardierendes Moment*“ erhält. Ein mögliches Ergebnis dessen könnte die Einführung weiterer Phasen, der Anschluss eines zweiten Produktionskreislaufes an den bestehenden Kreislauf und die „*vollständige*“ Wiederverwertung des Polystyrols sein.

## 2 Einführung in das Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem

### 2.1 Aufbau

Das Wärmedämmverbundsystem (*engl. ETICS: External Insulated Composite Systems*) ist neben dem Wärmedämmputzsystem und den vorgehangenen Fassaden eines der am häufigsten verbauten Mauerwerksaufbauten für Außenwände zu deren Schutz vor physikalischen Einwirkungen, zur Vermeidung von *Transmissionswärmeverlusten* und für gestalterische und optische Anwendungen im Hochbau. Neben diesen haben Fassaden mittlerweile noch weitere Eigenschaften, wie zum Beispiel begrünte Fassaden in Paris oder Singapur, die Sauerstoff erzeugen, die Luft filtern und das Gebäudeklima angenehm konstant halten. Des Weiteren sind Fassaden mit Hilfe von *Photovoltaik- und Solarkollektoranlagen* in südlicher Ausrichtung und einem entsprechend konzipierten Warmwasserspeicher im Stande den *Jahresenergiebedarf* von Einfamilienhäusern zu decken. Obwohl diese Varianten von Fassaden auf dem Markt vorhanden sind, werden hierzulande Fassaden seit nunmehr fast sechzig Jahren und wahrscheinlich auch zukünftig mit Wärmedämmverbundsystemen errich-

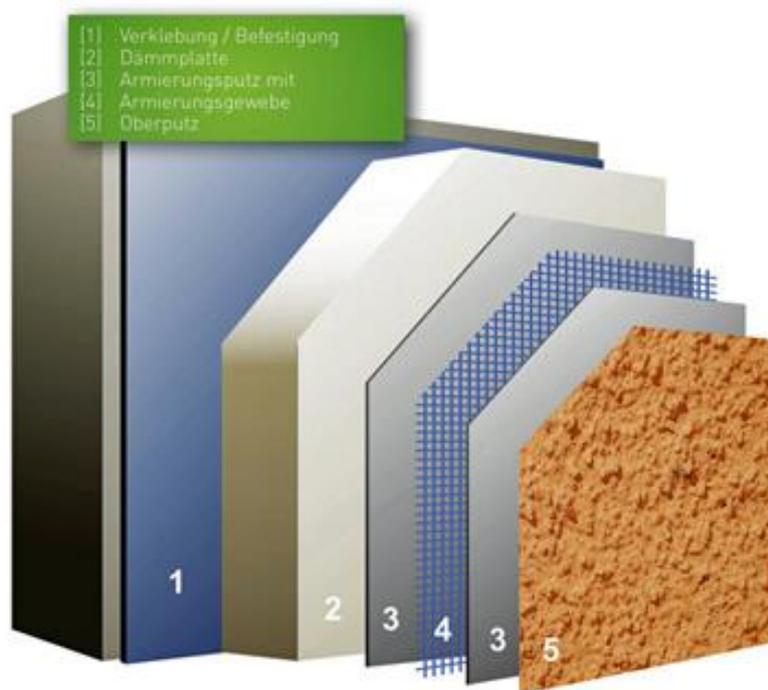


Abbildung 1: Aufbau Wärmedämmverbundsystem, Aufbau WDVS  
<http://www.energieheld.de/daemmung/wdvs/aufbau>

tet beziehungsweise saniert. Alle diese Systeme besitzen den gleichen vielschichtigen Aufbau zum Schutz vor Transmissionswärmeverlusten und unterscheiden sich lediglich im Material der tragenden Außenwand und im Dämmstoff. In *Abbildung 1*, ist

der allgemeine Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems dargestellt, welches aus mehreren Materialebenen besteht.

Grundlage des Gefüges ist die massive Außenwand, welche aus Holz, Beton, Ziegel oder Sandsteinen besteht. An diese schließt sich eine Schicht aus Klebemörtel an. Diese Materialebene wird bei glatten Wänden vollflächig aufgetragen beziehungsweise bei unebenen Untergründen durch die „*Wulst-Punkt-Methode*“. Darauf wird anschließend die Dämmschicht aufgeklebt, die aus Materialien (*siehe auch Anlage 1*) wie Kork, Mineralwolle, Kunststoff (unter anderem Polystyrol), geschäumte Gipse, Glas, Wolle etc. bestehen. Zur Rissvermeidung durch Verformungen in Folge von Setzungen und Temperatureinflüssen und als Haftverbesserung wird in die aufliegende Putzschicht, meist aus Gips oder Kalkzement, ein Armierungsgewebe gelegt, welche dann den Unterputz darstellt. Daran schließt sich die letzte, sichtbare Schicht, die Oberputzschicht, welche nach den Vorstellungen des Bauherrn farblich und in seiner Struktur gestaltet werden kann und das Dämmmaterial vor mechanischen und witterungsbedingten Einflüssen schützt.

Das Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem ist mit achtzig Prozent Anteil in Deutschland das am häufigsten verbaute System von allen und ist eine Sonderform, welche als Dämmstoff den Kunststoff Polystyrol enthält. Kunststoffe sind von Menschenhand künstlich hergestellte Polymere. Polymere wiederum bestehen aus einer Vielzahl von Monomeren, welche sich zu einer komplexen, organischen Kettenstruktur verbunden haben. Der Kunststoff Polystyrol besteht aus dem Monomer Styrol (*auch Phenylethen/ siehe Abbildung 2*), welches aus Erdöl gewonnen wird und zu den aromatischen Kohlenwasserstoffen, den Arenen gehört.

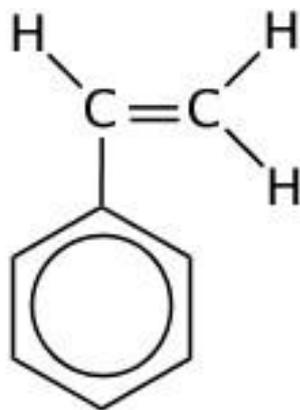


Abbildung 2: Chemischer Aufbau Styrol, <http://www.chemgapedia.de>

Das Molekül besteht aus zwei Kohlenstoffatomen mit einer Elektronendoppelbindung, angelagerten Wasserstoffatomen und einer Phenylanlagerung an einem der Kohlenstoffatome.

Polystyrol ist somit ein Makromolekül aus mehreren Styrolmolekülen (*siehe Abbildung 3*), welche ihre *Elektronendoppelbindung* aufgespalten haben, um sich mit weiteren Styrolmolekülen über eine *Elektroneneinfachbindung* zu verbinden. Die daraus entstandene Molekülkette besitzt durch den Verbindungsprozess, neben der Kohlenstoffhauptkette, an der Außenseite parallele Phenylseitenketten.

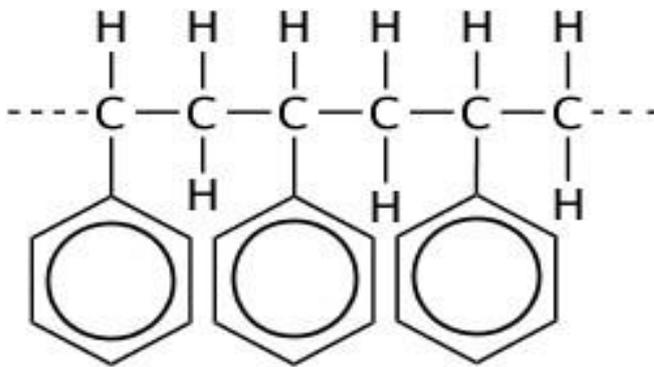


Abbildung 3: Chemischer Aufbau Polystyrol,  
<http://www.chemgapedia.de>

Dadurch erhält das Makromolekül positive, aber auch negative Eigenschaften. „Festes amorphes Polystyrol ist glasklar, hart und spröde. Es weist einen hohen [...] Glanz auf, ist gut färb-, spritz-, schweiß- und verklebbar.“<sup>1</sup>. „Nachteilig zu erwähnen sind die UV-Empfindlichkeit, die Neigung zu Spannungsrissen und die eingeschränkte Temperaturbeständigkeit. Amorphes Polystyrol ist beständig gegenüber einigen Chemikalien wie Alkohol, Säuren oder Laugen. Angreifbar ist dieser Stoff hingegen durch viele organische Lösungen“<sup>2</sup>, wodurch ein Ansatzpunkt für die Veränderung von Polystyrol, was in einem späteren Kapitel erneut aufgegriffen werden wird, entsteht.

In den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelte das Unternehmen BASF AG ein Verfahren zur Herstellung von expandiertem Polystyrol und sicherte sich den Markennamen Styropor®. Dieses expandierte Polystyrol wird aus pentanversetzten Polystyrolkugeln gewonnen. Pentan besitzt einen Siedepunkt von 36 Grad Celsius

<sup>1</sup> Eigenschaften Polystyrol, Baustoffkenntnis, SCHOLZ, HIESE, 16. Auflage, S. 668, 2007

<sup>2</sup> „Von Groß zu Klein“ – Makromoleküle als Brücke zum molekularen Verständnis Polystyrol – Lehrerinformation, S. 3, TU Braunschweig, 12.09.2012

und dehnt sich bei dieser Temperatur und unter Druck um das bis zu Fünzigfache aus. Während dieses Prozesses wird einerseits Luft eingeschlossen, andererseits verschmelzen die Polystyrolkugeln zu einer festen Struktur miteinander. „Geschäumtes Polystyrol hat im Vergleich zu kompaktem Polystyrol erwartungsgemäß eine geringere mechanische Festigkeit. Es ist weiß, undurchsichtig und hat infolge der isolierenden Gaseinschlüsse eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit.“<sup>3</sup>. Außerdem ist es schalldämmend, druckbelastbar, Wasser abweisend, verrottungsbeständig und besitzt eine geringe *Rohdichte*. Daher wird expandiertes Polystyrol als Schutz in der Verpackungsindustrie, als Isolierung bei Lebensmitteln und insbesondere als Dämmstoff an Bauwerken verwendet. Hinsichtlich der Verwendung als Dämmstoff und dessen Belastung für die Umwelt gehen die Ansichten von Anwendern aus dem Bau-sektor weit auseinander. In dem Bundesbaublatt - Ausgabe 10/2014 beispielsweise, erklärt DR. SCHÖNELL Folgendes: „EPS bzw. Styropor bewährt sich seit fast sechs Jahrzehnten als Dämmstoff mit hervorragenden Eigenschaften. Seine vielfältige Anwendung findet es nicht nur bei der Neuerrichtung von Gebäuden. Gerade in den letzten Jahren nimmt dieses Dämmmaterial bei der energetischen Ertüchtigung des Gebäudebestandes einen hohen Stellenwert ein. Mit der Umweltproduktdeklaration gemäß DIN EN ISO 14025 ist es ein nachhaltiger und sicherer Dämmstoff in der modernen Bausanierung.“<sup>4</sup>. Dem gegenüber erläutert Thomas PENNINGH, Präsident des Verbands Privater Bauherren (VPB), dass „die billige Wärmedämmung [...] nicht unproblematisch [ist]. [...] Wird Polystyrol, das mit HBCD als Brandschutzmittel versehen ist, demnächst tatsächlich nach den Regelungen für gefährliche Abfälle behandelt, dann haben Bauherren ein Problem. [...] Hunderttausende Bauherren hätten dann mit einem Federstrich Sondermüll auf der Fassade.“<sup>5</sup> Allein diese beiden Aussagen verdeutlichen, wie unterschiedlich die Äußerungen in Bezug auf die *Nachhaltigkeit* sind.

Unabhängig von Meinungen und eine nicht zu missachtende Tatsache ist die Veröffentlichung des Umweltbundesamtes vom 26.02.2014 in der es heißt, dass „im Mai 2013 [...] die Chemikalie Hexabromcyclododecan, kurz HBCD, unter der internationalen Stockholm-Konvention als persistenter, also in der Umwelt schwer abbaubarer, organischer Schadstoff (POP) identifiziert worden [...]. Dies bedeutet, dass es in absehbarer Zeit zu einem weltweiten Handels- und Verwendungsverbot der Chemikalie kommen wird. HBCD ist zurzeit noch das wirtschaftlich wichtigste Flammschutz-

---

<sup>3</sup> „Von Groß zu Klein“ – Makromoleküle als Brücke zum molekularen Verständnis Polystyrol –  
Lehrerinformation, S. 3, TU Braunschweig, 12.09.2012

<sup>4</sup> DR. SCHÖNELL, [www.Bundesbaublatt.de](http://www.Bundesbaublatt.de), 2014, Ausgabe 10

<sup>5</sup> PENNINGH, [www.zuhause.de](http://www.zuhause.de), 2014

mittel für Dämmstoffe aus Polystyrol. <sup>6</sup>. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die Äußerung von Dr. SCHÖNELL hinsichtlich der Nachhaltigkeit widerlegt ist und Polystyrol als Dämmstoff ungesund ist, die Umwelt belastet und in den Strukturen verändert werden sollte.

## 2.2 Betrachtung des Marktes

Der Markt des Polystyrol Wärmedämmverbundsystems ist vor mehr als 60 Jahren entstanden und hat sich ab 1973 auf Grund der Energiekrise sehr stark entwickelt. Der Bedarf, Energie ein zu sparen war zu diesem Zeitpunkt stärker geworden, da die Preise für energieliefernde Rohstoffe, wie Gas und Öl, drastisch anstiegen. Da zu dieser Zeit die Gebäude nur mit tragenden Außenwände und einer einfachen Putzschicht versehen waren, ist von den Eigentümern nach Lösungen gesucht wurden, um die Heizkosten und den Energiebedarf zu senken. In dieser Zeit gab es schon die ersten Polystyrol Wärmedämmverbundsysteme, da seit 1957 mit Hilfe des Unternehmens BASF ein erstes System entwickelt und verbaut wurde, welches in den Folgejahren auf den Industrie- und Wohnungsbau ausgeweitet wurde. Die stetige Weiterentwicklung und Variation dieses Systems führte somit zu dem breiten Spektrum an Dämmstoffen und Gestaltungsvarianten, die es heute auf dem Markt des Wärmedämmverbundsystems gibt. Dieser Markt der verwendeten Polystyrol-Wärmedämmsysteme umfasst nunmehr nicht nur die Herstellung und den Abriss von Polystyrol, sondern ebenfalls eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsbeauftragten, Händlern und Lieferanten. Aus einem Gebäude hat sich in den letzten sechs Jahrzehnten ein ganzer Industriezweig entwickelt, der durch die Suche nach Energieeinsparungsmöglichkeiten, der Novellierung der *Energieeinsparverordnung* und spezielleren Kundenwünschen weiter expandiert. Diese Variation lässt eine Fülle von Anbietern für solche Systeme am Markt entstehen, welche durch viele Eigentümer auch nachgefragt werden. Somit kann der Markt eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems als ein bilaterales Polypol bezeichnet werden.

Hinsichtlich des Marktvolumens gehen Experten hinsichtlich der gedämmten Fläche in Deutschland im Jahr 2015 von einer Fläche von 800 bis 900 Quadratmetern aus. Davon besitzt expandiertes Polystyrol einen Anteil von 80 Prozent, womit von einer Dämmfläche in Deutschland von ungefähr 680 Millionen Quadratmetern auszugehen ist. Im Verhältnis zur Einwohnerzahl in der BRD, die das Statistische Bundesamt 2015<sup>7</sup> veröffentlichte und die bei 81,5 Millionen lag, ergibt sich eine „Prokopfquadratmeterzahl“ von 8,34 m<sup>2</sup> je Einwohner in Deutschland. Diese Zahlen werden

---

<sup>6</sup> Umweltbundesamt, <http://www.umweltbundesamt.de>, Ausstieg aus dem Flammschutzmittel HBCD, 26.02.2014

<sup>7</sup> Einwohnerzahl 2015 in Deutschland: <http://www.destatis.de>

sich aber voraussichtlich in den nächsten Jahren weiter erhöhen. Prognostisch ergeben sich hieraus drei Sichtweisen. Einerseits aus ökonomischer Sicht betrachtet, werden auf Grund von steigenden Warmmieten, als Resultat steigender Energiepreise und des hohen Lebensstandards in Deutschland mehr Privatpersonen ein Eigenheim errichten. Dieser Umstand wird durch das momentane Niedrigzinsniveau und der daraus erschwinglichen Baufinanzierung für Eigenheime noch verstärkt. Bundesbürger, die schon Eigentümer sind, werden vor dem Problem stehen, das sie mehr dämmen müssen und wollen, da einerseits die *ENEV* es fordert (Passivhausstandard bis 2020 für Neubauten), andererseits ein Hausbesitzer einen Wohnungsleerstand auf Grund von zu hohen Nebenkosten vermeiden möchte, da Leerstand nur Kosten und keine Erlöse verursacht. Eine andere Sichtweise ist mit demographischem Hintergrund versehen und beinhaltet die älter werdende Gesellschaft in Deutschland und die daraus resultierende Altersarmut, welche durch steigende Lebenshaltungskosten allmählich entsteht. Um dieser entgegen zu wirken, gibt es Ansätze, die davon ausgehen, dass man im Alter die Einnahmen nicht erhöht, sondern die Ausgaben verringert. Daraus kann sich der Wunsch des Eigenheimes ergeben, welches Mietausgaben negiert und somit einen Großteil der monatlichen Ausgaben kürzt. Die dritte Betrachtungsrichtung könnte ökologischen Ursprungs sein und den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, bewusster Ernährung und des verstärkte Umweltbewusstsein der heutigen Generation beinhalten. Davon ausgehend, ist Polystyrol auf Grund der Erzeugung aus Erdöl nicht das Dämmmaterial, das die Umwelt am meisten schont, aber dennoch bezüglich der Langlebigkeit und der Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit nicht so wartungsintensiv wie andere Dämmstoffe. Demnach besitzt dieser Dämmstoff keine hohe Sanierungsanfälligkeit, wodurch die Wahl der momentanen oder werdenden Eigentümer in Bezug auf die Fassadenverkleidung auf ein Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem fallen könnte. Auf Grund dieser drei möglichen Betrachtungsweisen, kann davon ausgegangen werden, dass die Zahl der gedämmten Fläche in Deutschland in den nächsten Jahren noch weiter steigen wird. Es ist auch davon auszugehen, dass der Anteil, der Flächen, die mit Polystyrol gedämmt sind, konstant bei achtzig Prozent bleibt oder geringfügig steigt, da die Langlebigkeit und die geringen Kosten, wie oben schon erwähnt, wesentliche Entscheidungsgrundlagen für die Verwendung sind. Die Betrachtung des *Marktpotentials* ist entscheidend mit dem vorangegangenen Absatz verbunden. Dieses Potential kann nach *Formel 1 Marktpotential* berechnet werden.

$$MP = N * b$$

## Formel 1 Marktpotential

$MP =$  Marktpotenzial

$N =$  Anzahl der Nachfrager

$b =$  Bedarfsintensität im betrachteten Zeitraum

In Folge dessen kann das *Marktpotential* für das Jahr 2015 mit Hilfe der Faktoren „N“ und „b“ ermittelt werden. Dabei wird „N“ aus der Summe der Einwohner, die zwischen 30 und 60 Jahre alt sind, abgelesen (siehe Abbildung 4). *Summa summarum*

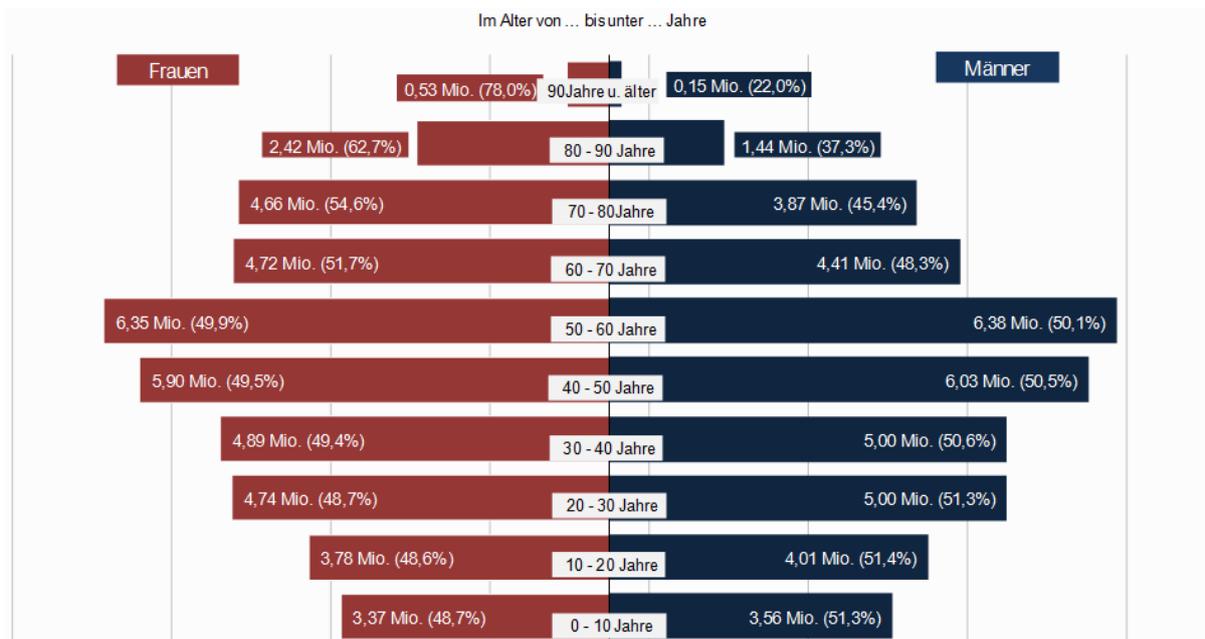


Abbildung 4: Bevölkerungsverteilung in Deutschland 2014, www.destatis.de, 2014

ergibt sich ein Wert für die Anzahl der Nachfrager „N“ in Höhe von 34,55 Millionen, von denen nur circa zwei Drittel auf Grund von finanziellen Möglichkeiten, durch Erbschaft oder den eigenen Willen, zu einem Eigenheim gelangen. Daraus folgt eine Anzahl von Nachfragern von rund 23 Millionen. Die Kennzahl für den Pro-Kopf-Verbrauch wurde zu Beginn dieses Kapitels betrachtet und befindet sich bei einer Höhe von 8,34 Quadratmetern pro Einwohner. Unter Verwendung von *Formel 1 Marktpotential* ergibt sich das Potential für das Jahr 2015 wie folgt.

$$MP = 23.000.000 \text{ Einwohner} * 8,34 \text{ m}^2 / \text{Einwohner}$$

$$MP = 191.820.000 \text{ m}^2$$

Dieses *Marktpotential* ist nur als Richtwert zu sehen, da bei der Berechnung nicht abgeschätzt werden kann, wie viele Einwohner sich tatsächlich für eine Polystyrol-Wärmedämmverbundfassade entscheiden. Demnach müsste die Formel durch eine

Variable ergänzt werden, die den prozentualen Anteil des Polystyrol WDVS an der gesamten zu dämmenden Fläche in Deutschland ausdrückt. Eine Variante wäre diese Variable mit dem Buchstaben „a“, stehend für Anteil, aus zu drücken. Diesen Anteil könnte man durch Befragungen oder errechneten Prognosen aus Zahlen der Vergangenheit erhalten. Einschlägig hält sich die Annahme, dass 80 Prozent<sup>8</sup> der Dämmfläche in Deutschland mit Polystyrol-WDVS verkleidet ist. In Folge dessen kann die *Formel 1 Marktpotential* zu *Formel 2 bereinigtes Marktpotential* wie folgt erweitert werden.

$$bMP = N * b * a$$

### **Formel 2 bereinigtes Marktpotential**

*bMP = bereinigtes Marktpotential*

*N = Anzahl der Nachfrager*

*B = Bedarfsintensität*

*a = Anteil in Prozent*

Nach Einsetzen der bekannten Werte ergibt sich ein *bereinigtes Marktpotential* von 153.456.000 Quadratmetern zu dämmender Fläche für das Jahr 2015.

Zusammenfassend ist nach der Berechnung dieser Kenngrößen und nach der Recherche der Schwerpunktdaten für den Markt von Polystyrol-Wärmedämmverbundsystemen für die nächsten Jahre ein ansteigender Trend zu erwarten, da zum einen die Realisierung der neuen *ENEV* Auflagen für 2020 wahrscheinlich sich erst im Jahr 2025 vollständig ausgewirkt haben und abgeschlossen sein werden und daraus ein Anstieg der Sanierungen an Gebäuden entstehen wird. Zum anderen, wie vorangestellt erwähnt, eine Erhöhung in der Bautätigkeit innerhalb der Bevölkerung zu erwarten ist.

Daraus lässt sich schließen, dass auf dem Markt eine Expansion und ein starker Zulauf der Marktteilnehmer hinsichtlich Hersteller, Zulieferern, Forschungs- und Entwicklungsbeauftragten und Verwertungsunternehmen zu erwarten ist und eine Variation hinsichtlich des Produktes Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem wird nicht ausbleiben, damit dieses Fabrikat konkurrenzfähig bleibt und weiterhin Umsätze generieren kann.

---

<sup>8</sup> Vgl. SCHILD, WEYERS, WILLEMS, 2010, S. 23

## 3 Produktlebenszyklus

### 3.1 Traditionelle Lebenszyklusphasen

Der Produktlebenszyklus (*engl. product life cycle*) beruht auf Theorien von Raymond Vernon aus dem Jahr 1966. Diese wurden von Hirsch 1967 erweitert und vervollständigt. Beide Autoren befassen sich inhaltlich mit der Beschreibung des Lebenszyklus eines Produktes in vier Phasen. Nach Auffassung heutiger Wirtschaftsexperten kann davon ausgegangen werden, dass diese vier Phasen sich nunmehr auf sieben Phasen, die in einer bestimmten Periode von dem Produkt durchlaufen werden, erstrecken. Je nach Einordnung des Produktes in den Kurvenverlauf, lässt sich die Reaktion des Produktes auf die Nachfrage des Marktes erkennen. Die daraus entstehende Diagramm das eine Umsatzkurve mit Normalverteilung beziehungsweise mit Gauß'scher Glockenkurve (*siehe Abbildung 5*) zeigt, ist somit ein Marketinginstrument, um die Absatzstärke und den Marktanteil eines Produktes zu ergründen.

Die Wirtschaft und Industrie besitzen eine Menge Überschneidungen und Schnittpunkte. Der Produktlebenszyklus, welcher in der stationären Produktion eines Einzelproduktes verwendet wird, ist somit von dem Lebenszyklus eines Gebäudes, welches einen individuellen, projektspezifischen Zyklus besitzt, abzugrenzen. Die Unterschiede der Produktwirtschaft in Bezug auf die Bauwirtschaft sind auf Grund von der Art der Produktion, der logistischen Abwicklungen, der Materialwirtschaft und der Nähe zum Kunden sehr stark ausgeprägt. Ein Gebäude kann jedoch als Gesamtes auch als ein Produkt gewertet werden, da das Gebäude Kosten, unter anderem durch Entwicklung, Planung und Herstellung verursacht. Diese Kosten werden durch Verkauf und Miete gesenkt, wodurch der Umsatz generiert wird. Der Immobilien- und Gebäudemarkt ist etabliert und in seinem Umfang weltweit vertreten.

In dem Diagramm von *Abbildung 5, Seite 12* werden drei Kurven im Zeitraum einer Periode  $t$  dargestellt. Das durch diese Kurven dargestellte Prinzip des „Werdens & Vergehens“<sup>9</sup> wird durch den parabelförmigen Verlauf, der sich im Ursprung erhebt, über ein Maximum hinweg verläuft und letztendlich wieder in einem Schnittpunkt mit der X-Achse endet, verdeutlicht. Die oben erwähnten Kurven werden durch die Buch-

---

<sup>9</sup> Definition Lebenszyklus, PEPELS, Werner, Lexikon Produktmanagement, S. 140

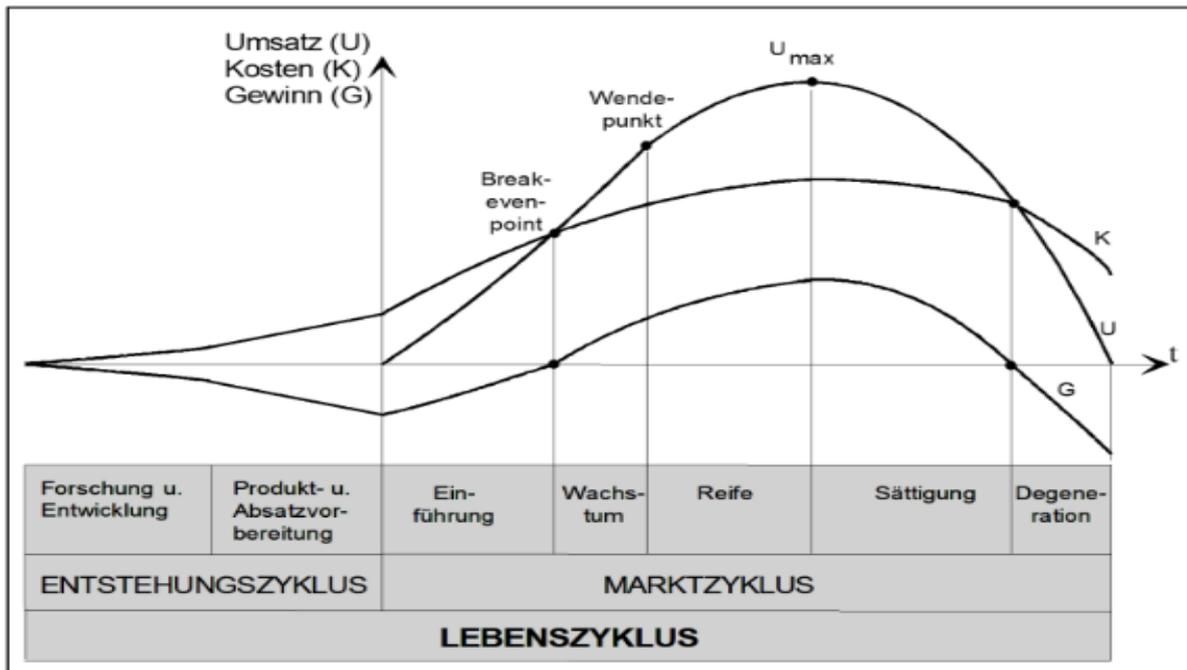


Abbildung 5: Darstellung Lebenszyklus, Skript Prof. Dr. Dirk HINKEL, S. 10, 3. Semester, 2015

staben K, U und G definiert, wobei K die Kostenfunktion, U die Umsatzfunktion und G die Gewinnfunktion darstellt. Diese Kurven verlaufen in einem zweidimensionalen Koordinatensystem, bei dem die Abszissenachse mit dem zeitlichen Verlauf der betrachteten Periode und die Ordinatenachse mit der Wertigkeit, die jeweils der Umsatz, die Kosten und der Gewinn annehmen, definiert sind.

Der Produktlebenszyklus unterteilt sich in zwei große Zyklen, den *Entstehungs- und den Marktzyklus* und beginnt mit dem Entstehungszyklus, welcher sich in die *Forschungs- und Entwicklungsphase* und in die *Produkt- und Absatzvorbereitungsphase* unterteilt. In diesen Phasen verursacht das Produkt keinen Umsatz, sondern ausschließlich Kosten, die unter anderem durch die Herstellung eines Rohlings, Personal- und Materialkosten, das Erstellen von Marktforschungsberichten entstehen. In der Konsequenz entfällt auf das Unternehmen zunächst ein negativer Gewinn beziehungsweise es entsteht ein Verlust. Der Umsatz der in diesen Phasen noch nicht generiert wird und auch in diesem Bereich des Diagrammes auch nicht eingezeichnet ist, ist darin begründet, dass das Produkt noch nicht auf dem Markt eingeführt ist und somit auch keine verkauften Stückzahlen ermittelt werden können. Daraus resultiert die Darstellung der Kostenkurve, die in dem Bereich der *Entwicklungsphase* leicht ansteigt, da die Kosten für das Entwicklungspersonal und -Material anfallen. In der zweiten Phase des *Entstehungszyklus* verläuft die K-Kurve mit einem etwas steileren Anstieg, da zu den vorherigen Kosten nunmehr die oben erwähnten Kosten für Forschungsberichte, Produktdesign, Erstellen von Absatzstra-

tegien und Produktionsverfahren anfallen. Die Gewinn Kurve hingegen verläuft in den negativen Bereich gemäß der *Formel 3 Gewinngleichung*.

$$\text{Gewinn} = \text{Umsatz} - \text{Kosten}$$

### **Formel 3 Gewinngleichung**

In diesem Frühstadium des Lebenszyklus sind die Erlöse und somit der Umsatz noch nicht vorhanden und daher gleich Null. Folglich ergibt sich die *Formel 4 Gewinn-Kosten-Gleichung*.

$$\text{Gewinn} = (- \text{Kosten})$$

### **Formel 4 Gewinn-Kosten-Gleichung**

In Folge lässt sich ableiten, dass die Funktionen der Gewinn- und Kostenkurve im Betrag gleich sind, nur mit entgegengesetzten Vorzeichen behaftet sind. Diese Kurven sind somit gespiegelte Funktionen an der Abszissenachse. Dies wird auch in der Darstellung der *Abbildung 5* veranschaulicht.

Der zweite Zyklus, der *Marktzyklus*, beginnt mit der Einführungsphase, welche sich definiert durch die Einführung des Produktes auf dem Markt. Ab dieser Entwicklungsstufe ist das Produkt für die Markteinführung vorbereitet und wird in diesen eingeführt. Als Konsequenz dessen wird das Koordinatensystem des Produktlebenszyklus um die Umsatzfunktion erweitert, da ab Markteinführung Verkäufe getätigt werden. Die Funktion des Umsatzes beginnt mit einem leichten Anstieg, welcher je nach Investition in das Produktmarketing steiler oder flacher ausfällt, da sich je nach Marketingintensität der Umsatz ableiten beziehungsweise einordnen lässt. Die Kosten in dieser Periode steigen degressiv gemäß *Formel 5 Kostengleichung*.

$$K_{ges} = K_{fix} + k_{var} * x$$

### **Formel 5 Kostengleichung**

$$K_{ges} = \text{Gesamtkosten}$$

$$K_{fix} = \text{Fixekosten}$$

$$k_{var} = \text{variable Stückkosten}$$

$$x = \text{produzierte Stückzahl}$$

Dieser Anstieg ist darin begründet, dass die Gesamtkosten aus einer Summe mit zwei Teilen bestehen. Der eine Teil sind die fixen Kosten, die eine Konstante im Kostenverlauf darstellen, da diese, unabhängig von der produzierten Menge, die gleichen Kosten erzeugen. Der andere Teil ist eine Multiplikation aus den variablen Stückkosten und der produzierten Menge. Diese Kosten sind demnach abhängig von der produzierten Menge und steigen proportional mit jeder weiteren Produktionsein-

heit. Die Gesamtkosten bilden sich somit aus einer Konstanten ( $K_{\text{fix}}$ ), die mit einem viel geringeren Anteil ( $k_{\text{var}} \cdot x$ ) addiert werden. Das Resultat ist die Annäherung an einen Grenzwert und der degressive Anstieg. Da aber in dieser Phase mehr produziert wird, um die Nachfrage am Markt zu decken, steigt die Kurve insgesamt steiler an, als in dem *Entstehungszyklus*, da dort geringe Stückzahlen, wie „Proben“ für Testkäufer etc. produziert wurden. Die Auswirkung der gesteigerten Produktion ist der Anstieg der Erlöse, wodurch die Umsatzkurve im Diagramm (*Abbildung 5, Seite 12*) steigt. An dem Punkt, an dem der Umsatz und die Kosten den identischen Wert annehmen, schneiden sich die Kosten und die Umsatzkurve. Dieser Schnittpunkt wird *Break-Even-Point* genannt. In diesem Punkt erfährt das Unternehmen, dass die produzierende Stückzahl erreicht ist, um kostendeckend zu arbeiten. Des Weiteren ergibt sich gemäß *Formel 3 - Gewinngleichung*, dass der Gewinn gleich Null ist. An diesen zwei markanten Punkten, dem Break-Even-Point, der gleichermaßen Nullstelle der Gewinnfunktion, ist der Übergang von der *Einführungs-* zur *Wachstumsphase*.

In der *Wachstumsphase* beginnt das Produkt den Marktanteil weiter auszubauen, da das Produktmarketing weitere Kaufinteressenten am Markt wirbt und binden konnte. In dieser Phase steigt der Umsatz stark an. Dem entsprechend stark steigt der Gewinn an und es ist eine Strategie, weiterhin in das Produkt zu investieren und es auszubauen, um es am Markt zu stabilisieren. Das Produkt besitzt nunmehr eine starke *Marktpräsenz*, sodass auch Nachahmungen nicht ausbleiben bis die *Marktexpansion* ausgeschöpft ist. Die Umsatzkurve erfährt dadurch einen Wendepunkt.

Der Wendepunkt ist gleichzeitig der Umbruch von der *Wachstums-* zur *Reifephase*, in der der Wettbewerb am stärksten ist, da sich mehr Konkurrenten am Markt beteiligen. Daher ist eine erneute Investition nötig, die das Produkt festigt und den Absatz bis zum Maximalen ausschöpft. Zu diesem Zeitpunkt ist der Umsatz maximal, die Kapazitäten im Idealfall ausgelastet, wodurch die Nachfrage nicht gedeckt werden kann und Marktanteile verloren gehen.

Im Umsatzmaximum verläuft der Lebenszyklus von der 3. in die 4. Phase, der *Sättigungsphase*. Dieser Zeitraum ist geprägt durch den Rückgang der Kosten auf Grund von geringerer Mengenproduktion, durch Umsatzeinbußen und durch weiteren Marktanteilsverlust. Der Gewinn wird in seinem Maximum zeitlich etwas verzögert, da hier Bankbearbeitungstage, Zahlungsziele etc. den tatsächlichen Zahlungseingang erst Tage oder Wochen nach dem tatsächlichen Umsatz verzögern. In dieser Phase sollten die Gewinne abgeschöpft werden. Investitionen in das Produkt werden nicht getätigt, wodurch die Kosten weiter sinken. Der Prozess des Vergehens, wie zu

Beginn erwähnt, setzt ein. Die Sättigungsphase endet mit dem zweiten *Break-Even-Point*, bei dem wieder Kosten und Erlöse den gleichen Wert annehmen und der Gewinn seine zweite Nullstelle erreicht.

Auf diesen Zeitpunkt folgt die *Degenerationsphase*, in der das Produkt gänzlich negativen Gewinn erwirtschaftet, die Kosten für den Erhalt des Produktes höher sind, als die für die Produkteliminierung. Der Markt wird von Konkurrenten und Substitutionsgütern dominiert und das Produkt wird nicht mehr nachgefragt. Diese Phase und somit der Lebenszyklus endet, da die Umsatzkurve ihren Schnittpunkt mit der Abszissenachse erreicht hat und daher gleich Null ist.

Die vorangegangene Darstellung ist ein Modell unter idealen Bedingungen ohne externe Faktoren, wie Naturkatastrophen, wechselnde Gesetze, Unruhen, Kriege etc. betrachtet, als auch interne Faktoren des Unternehmens, wie *Führungs- und Absatzstrategien*, *Aufbau- und Ablauforganisation* und Image der Firma am Markt.

### 3.2 Marktanteils-Marktwachstums-Portfolio

Ein Analyseinstrument, welches bei marktorientierten Ansätzen als Ergänzung zur Darstellung des Zyklusverlaufes mit verwendet wird und um die genaue Position

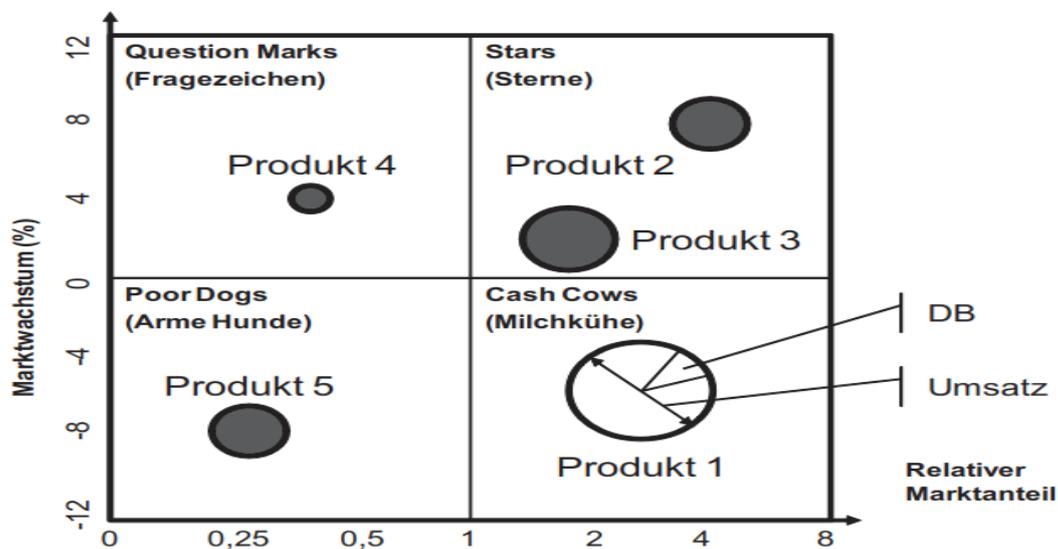


Abbildung 6: Produktmatrix, erfolgreiches Produktmanagement, Klaus AUMAYR, S. 59, 2016

des Produktes am Markt einordnen zu können, ist das Marktanteils-Marktwachstums-Portfolio (siehe Abbildung 6). In diesem Portfolio wird das Verhältnis von relativem Marktanteil (Abszissenachse) zu dem Marktwachstum (Ordinatenachse in Prozent) dargestellt. Grundlage für die Berechnung des relativen Marktanteils und des Markt-

wachstum sind Ergebnisse aus den strategischen Geschäftseinheiten, die das Marktvolumen aus zwei aufeinanderfolgenden Perioden, dem eigenen Marktanteil und den des stärksten Konkurrenten beinhalten. Anhand dieser Ergebnisse kann das Marktwachstum mit *Formel 6 Marktwachstum* wie folgt berechnet werden.

$$\text{Marktwachstum} = \sqrt[n]{\frac{\text{Marktvolumen (t=1)}}{\text{Marktvolumen (t=0)}}} - 1 \quad \text{Formel 6 Marktwachstum}$$

$n$  = Anzahl der betrachteten Perioden

Das Produkt ist des Weiteren mit dem *relativen Marktanteil* zu definieren, welcher sich mit *Formel 7 relativer Marktanteil* berechnet.

$$\text{Relativer Marktanteil} = \frac{\text{eigener Marktanteil}}{\text{Marktanteil stärkster Konkurrenten}} \quad \text{Formel 7 relativer MA}$$

Die aus der Berechnung entstandenen Ergebnisse können in das Koordinatensystem mit entsprechendem Definitions- und Wertebereich eingetragen werden. Die Einteilung der Quadranten erfolgt entweder durch Spezifikationen des Unternehmens oder, wie in den häufigsten Fällen, im Mittelwert der Extrema der Ordinatenachse. Die Eintragung der Position des Produktes kann nach der Berechnung des Marktwachstums und des relativen Marktanteils in einen der folgenden vier Quadranten (*siehe Abbildung 6, Seite 15*) erfolgen.

Der erste Quadrant, die *question marks* (=Fragezeichen), sind Produkte, die neu am Markt sind und einen hohen Finanzmittelbedarf benötigen. Sie verursachen Investitionskosten und sind typische Vertreter der *Einführungsphase*. Auf Grund ihrer Neuheit am Markt besitzen sie ein hohes Marktwachstum, jedoch einen geringen *relativen Marktanteil*. Das Marktentwicklungsrisiko und der geringe Marktanteil sollen durch gezieltes Produktmarketing behoben werden, um sich dem Wert des Marktwachstummes anzunähern und aus den *question marks* sogenannte *stars* (=Sterne) werden zu lassen. Daher werden diese im linken oberen Quadranten eingeordnet. Der Quadrant der *stars* ist durch einen hohen relativen Marktanteil und ein hohes Marktwachstum gekennzeichnet. Sie entstehen aus *question marks* und werden im Lebenszyklus der *Wachstumsphase* zugerechnet. Die *stars* müssen ebenfalls noch durch Investitionen gefördert werden, besitzen aber durch größere Mittelrückflüsse einen höheren Umsatz und sind durch ihre Marktpräsenz auch weniger mit Risiken verbunden. Um eine umfangreichere Abnehmerbasis zu schaffen werden der Vertrieb und das Marketing weiterhin finanziell gefördert und gefordert. Der dritte und wichtigste Quadrant ist der *cash cows* (=Milchkühe) Bereich. Diese

werden im Koordinaten-system rechts unten eingeordnet, da sie einen geringen relativen Marktanteil und ein hohes Marktwachstum innehaben. Produkte die in diesem Bereich ansässig sind, sind in ihrer Stellung zu halten, um Gewinne abzuschöpfen und damit andere Produkte zu finanzieren. Dem zu Folge ist die Marktposition zu festigen, um langfristig abschöpfen zu können. Konkurrenten abzuwehren und Kundenzufriedenheit zu gewährleisten sind entscheidende Punkte zum Erreichen dieses Ziels. Die letzte Gruppe sind die *poor dogs* (= *arme Hunde*), welche sowohl im relativen Marktanteil, als auch im Marktwachstum eine geringe Wertigkeit besitzen. Hin-sichtlich des Produktlebenszyklus spiegeln sie den Bereich der *Degenerationsphase* wieder. Diese Produkte werden hochpreisig abgesetzt, um die letzten Gewinne zu generieren. Die auftretenden Risiken, wie Fehlinvestitionen, werden vermieden, indem desinvestiert wird. Da *poor dogs* kaum oder gar keine Gewinne akquirieren werden sie meist vom Markt genommen, um Platz für die neuen Produkte des Unternehmens am Markt zu schaffen.

Die Darstellung der Portfolioanalyse zeigt, dass das Marktanteils-Marktwachstums-Portfolio eine hohe Auswirkung auf den Verlauf des Lebenszyklus hat, da diese eng verknüpft sind. Begründet liegt diese gegenseitige Beeinflussung an dem Wechselspiel zwischen Markt und Unternehmen. Ausgehend davon, dass das Unternehmen ein Produkt entwickelt und auf den Markt bringt, hat es Kosten. Demnach prüft das Unternehmen mit Hilfe des Portfolios die Marktstellung des Produktes und legt Entscheidungen entsprechend des Quadranten-Typs fest. Diese Entscheidungen, wie zum Beispiel Investitionen, steigern im Lebenszyklus den Kostenverlauf, aber auch den Umsatz und den relativen Marktanteil. Daraus resultiert eine Produktentwicklung und dein Wechsel der Quadranten wird auf Grund neuer Zahlen aus *Marktforschungsberichten* möglich. Grundsätzlich ist aber auch festzustellen, dass der Entstehungszyklus im Portfolio mit berücksichtigt werden müsste, und dahingehend verändert werden müsste.

Der Lebenszyklus eines Produktes variiert je nach Branche, Marktteilnehmern, Anzahl der Substitutionsgütern und Alter des Marktes. Diese Kenngrößen und die unternehmerischen Zielstellungen entscheiden über die Verweildauer des Produktes am Markt und die Länge der Lebenszykluskurve. Diese Kurve kann jedoch durch Variationen verändert werden. Diese Variationen können vor dem Marktzyklus, somit in dem Entstehungszyklus oder mit Eintritt in die Degenerationsphase vorgenommen werden, da diese Bereiche, wie vorangegangen erläutert, vor der ersten beziehungsweise nach der zweiten Nullstelle der Gewinnfunktion liegen und somit zu diesen Zeiträumen keine Gewinne erwirtschaftet werden.

## 4 Veränderungen im Lebenszyklus eines Gebäudes

Der Lebenszyklus von Gebäude kann von dem klassischen Produktlebenszyklus abweichend verlaufen. Dies ist speziell für Variationen während des Entstehungszyklus und zu Beginn des Degenerationszyklus signifikant.

### 4.1 Variation während des Entstehungszyklus

In diesem Kapitel liegt das Hauptaugenmerk auf der Betrachtung der ersten beiden Lebenszyklusphasen des *Entstehungszyklus* und die damit verbundene Vorüberlegung beziehungsweise Planung. Diese Überlegungen können einerseits die Produktionskette eines Produktes beziehungsweise ein Bauvorhaben und Planungsphasen an sich betreffen oder sich andererseits auf das Unternehmen und dessen unternehmerische Strategien beziehen. Grundlage des Variationsansatzes ist der Zeitraum in dem alle Planungen und Entwicklungen, die vor der *Markteinführungsphase* ablaufen, die nur Kosten und keinen Umsatz generieren, wie bei einem Produktlebenszyklus von Einzelprodukten in *Kapitel 3.1, Seite 12* beschrieben.

#### 4.1.1 Stoffstrommanagement

Gro Harlem BRUNDTLAND erläuterte Nachhaltigkeit 1987 in seinem Bericht wie folgt: „Im Wesentlichen ist dauerhafte Entwicklung ein Wandlungsprozess, in dem die Nutzung von Ressourcen, das Ziel von Investitionen, die Richtung technologischer Entwicklung und institutioneller Wandel miteinander harmonisieren und das derzeitige und künftige Potential vergrößern, menschliche Bedürfnisse und Wünsche zu erfüllen.“<sup>10</sup> Demnach ist die nachhaltige Entwicklung so zu praktizieren, dass Handlungskonzepte und Strategien von Menschen, Unternehmen und Staaten die Bedürfnisse künftiger Generationen schont und erweitert, keinesfalls aber einschränkt. In diesem Punkt setzt das *Stoffstrommanagement* an und ist hinsichtlich der *Aufbaustrategie* eines Unternehmens ein entscheidender Punkt in der Realisierung von Projekten von Anfang an. Das nachhaltige *Stoffstrommanagement* ist eine bewusste Veränderung des Denkansatzes bei dem Prozess der Stoffumwandlung im Unternehmen. Das bewusste Einsetzen, Verändern und Ausbringen unter Berücksichtigung von ökologischen und ökonomischen Hintergründen und Gegebenheiten ist dabei Voraussetzung des nachhaltigen Entwicklungsgedanken. „Hierbei wurden durch die Enquete-Kommission Schutz des Menschen und der Umwelt des Deut-

---

<sup>10</sup> Gro Harlem BRUNDTLAND, „our common future“, Brundtland-Bericht, 1987

schen Bundestages die folgenden Regeln für ein nachhaltiges *Stoffstrommanagement* abgeleitet:

- *Regeneration*: „Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll ihre Regenerationsrate nicht überschreiten.“
- *Substitution*: „Nicht-erneuerbare Ressourcen dürfen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren geschaffen wird.“
- *Anpassungsfähigkeit*: „Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren [...]“
- *Reaktionsvermögen*: „Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten Prozesse stehen.“
- *Vorsorge*: „Gefahren und unvermeidbare Risiken für die menschliche Gesundheit durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden. ...“<sup>11</sup>.

Die voran beschriebenen Punkte beeinflussen demnach den *Input-Output-Prozess* eines Unternehmens nachhaltig, unabhängig ob das Unternehmen eine Dienstleistung oder ein Produkt anbietet beziehungsweise herstellt.

Das *Stoffstrommanagement* ist ein Umdenken der Unternehmensführung und beinhaltet schon zu Beginn (*siehe Abbildung 7, Seite 20*) die Veränderung bei der Wahl der Ausgangsstoffe, da diese nur in der Menge bezogen werden dürfen, wie durch Regeneration erzeugt werden kann. Diese werden nicht komplett als Neuware bezogen, sondern besitzen recycelte Rohstoffe, wiederaufbereitete Hilfs- und Betriebsstoffe und nachhaltige Ergänzungsstoffe, die entweder von Zulieferern bezogen werden oder im eigenen Unternehmen durch den Produktionsprozess als Abfallprodukt entstehen. Die weitere Nutzung von Abfällen nach der Herstellung bildet somit den ersten Stoffkreislauf im Unternehmen und beinhaltet den Substitutionsgedanken. In der Folge wird das Produkt seiner Nutzung zugeführt und „gebraucht“. Nach der Nutzungsphase werden die Produkte durch *Redistribution* und *Recycling* wieder zu Ausgangsstoffen der Produktion verarbeitet. Dadurch entsteht ein zweiter Stoffkreislauf. Voraussetzung ist dabei wieder das Unternehmen, welches die Möglichkeit dem Verbraucher schaffen muss, die Altprodukte bei ihm abzugeben. Diese Betrachtung beinhaltet korrekter Weise das „*Lebensende*“ (*siehe Kapitel 3.1*) eines Produktes, aber das Unternehmen ist während der *Forschungs- und Entwicklungs-*

---

<sup>11</sup> G. WALTHER, Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke, Gabler Verlag, S.17/ 18, Wiesbaden 2010

*phase* gezwungen die Herstellung des Produktes so zu planen, dass dieses verwertet werden kann. Dementsprechend muss das Unternehmen die Maschinen und Produktionsschritte festlegen und langfristig den Preis für das Produkt kalkulieren, sodass die qualitativ hochwertigeren Maschinen und Herstellungsverfahren refinanziert werden können.

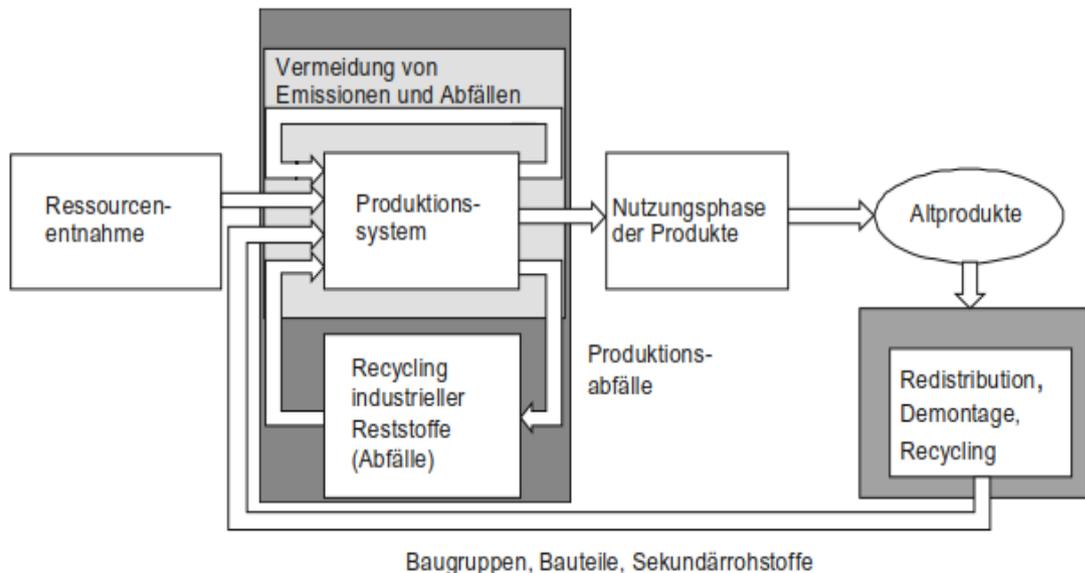
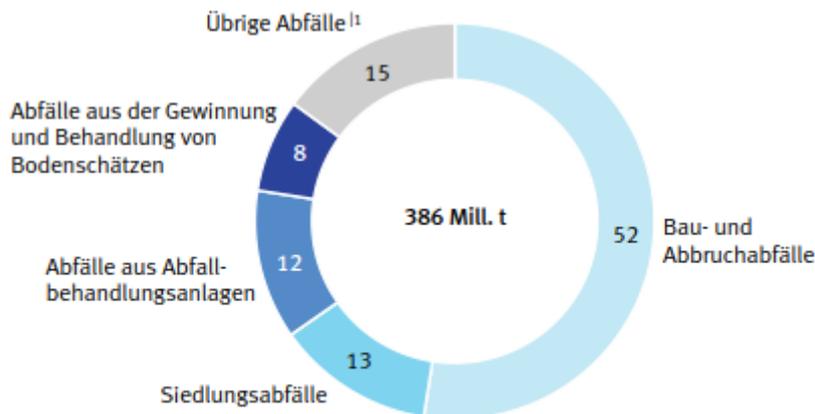


Abbildung 7: Maßnahmen des Integrierten Umweltschutzes (Spengler/Schröter 2001)

In Bezug auf den Lebenszyklus des Produktes kann festgestellt werden, dass in der Phase des *Entstehungszyklus* primär die Kostenkurve steiler ansteigt und die Gewinnkurve dementsprechend mit negativem Betrag gemäß *Formel 4 Gewinn-Kosten-Gleichung* verläuft. Vorteilhaft zu argumentieren ist in diesem Fall, dass der Anteil an recycelten Rohstoffen zu Beginn gering ist, da noch keine Abfallprodukte zur Verwertung vorhanden sind. Demnach werden die Kosten sinken, wenn der Anteil an recycelten Rohstoffen bezüglich der Ausgangsstoffe sich erhöht und somit weniger Neuware von Dritten bezogen werden muss. Voraussetzung dafür ist ein Abfallprodukt mit einer hohen Qualität, damit dieses eine bestimmte Qualitätsgrundlage bildet, für die Herstellung eines neuen Produktes mit einer bestimmten Qualität. Des Weiteren können die Kosten weiter gesenkt werden durch Abschreibungen der Maschinen, weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoss und der damit verbundenen geringen Zahlung wegen Nicht-einhaltung von Auflagen, durch die eventuelle Nutzung von Subventionsmöglichkeiten durch den Staat und weniger Kosten bei der Abfallentsorgung, da Abfälle wieder dem Produktionsverfahren zugeführt werden. Die Bauindustrie beispielsweise verursachte im Jahr 2013 gemäß *Abbildung 8, Seite 21* einen Abfallanteil von 52 Prozent, das entspricht einer Menge von 200,72 Millionen Tonnen (ähnlich

Anhang 2, 202,735 Millionen Tonnen). Diese Abfälle entstehen aus den drei Bereichen Hoch-, Tief- und Garten-/ Landschaftsbau und beinhalten Abbruchabfälle,



Vorläufiges Ergebnis.

<sup>1</sup> Insbesondere aus Produktion und Gewerbe.

Abbildung 8: Abfallaufkommen 2013, Statistisches Jahrbuch 2015, S. 443

Bauschutt, Altmetall, Glas, Straßenaufbruch, Böden und Erdmassen, Hölzer und Grünschnitt. Demnach ist das Spektrum an Materialeinsatz in der Bauindustrie sehr breit gefächert und der Einsatz eines effektiven *Stoffstrommanagement* schwierig umzusetzen, da ein Unternehmen nicht für alle Materialien die Möglichkeit zur Wiederverwertung bereitstellen kann. Dennoch gibt es Ansätze in vielen Bereichen, wie zum Beispiel das Brechen von Findlingen oder Ziegelmauerwerk zu Mineralstoffgemischen, welche dann als Füllmaterial wieder eingebaut werden. Daran zeigt sich, dass ein Umdenken hinsichtlich des Ressourcenbezuges stattfindet und die Betrachtung des Produktes nicht kurzfristig erfolgt und mit der Fertigstellung des Produktes endet, sondern vorrausschauend und langfristig angesetzt ist, in dem die Verwertung des Produktes mit betrachtet wird und Überlegungen entstehen, hinsichtlich der Auswirkung auf die Umwelt und insbesondere welche Auswirkung das eigene hergestellte Produkt auf das eigene Unternehmen haben kann.

#### 4.1.2 Transparente Wärmedämmung

Im Gegensatz zum *Stoffstrommanagement*, welches eine ablauforganisatorische Strategie der Unternehmensplanung darstellt, steht bei der *transparenten Wärmedämmung* der Architekt oder Planer im Fokus, in Bezug auf die damit verbundene Projektplanung und der Fassadengestaltung. Die Planung eines Bauvorhabens und die Veränderung des Lebenszyklus eines Gebäudes werden durch Entscheidungen des Bauherrn und durch die Unterbreitung von Alternativen durch den ausführenden

Planer an den Bauherrn maßgeblich beeinflusst. Demzufolge ist die Phase der Planung und der Ausführungsgestaltung ein Zeitraum am Anfang der Realisierung von Bauprojekten und kann somit in den *Entstehungszyklus* eingeordnet werden.

Die *transparente Wärmedämmung* ist ebenso wie das Wärmedämmverbundsystem ein mehrschaliges Wandaufbausystem, welches an der massiven Außenwand des Gebäudes befestigt wird. Dieses System wird vorrangig an Südwänden von Ein- und Mehrfamilienhäusern angebracht. Im Unterschied zum WDVS nutzt die TWD die einfallende Lichtstrahlung und unterstützt damit den *Wärmeertrag* und verringert die *Transmissionswärmeverluste*.

In *Abbildung 9* wird der schematische Aufbau eines *transparenten Wärmedämmsystems* abgebildet. In dieser Darstellung ist die oberste Putzschicht des TWD eine transparente Ebene, die in den häufigsten Fällen aus einem Putz besteht, welcher mit Glaskügelchen versetzt ist. Dadurch wird eine größere Menge an thermischer Strahlung in den Dämmaufbau transportiert und weniger reflektiert als vergleichsweise bei einem normalen Kalkputz. Daran schließt sich ein Verbund aus Röhren und Waben, die aus Kunststoff hergestellt werden.

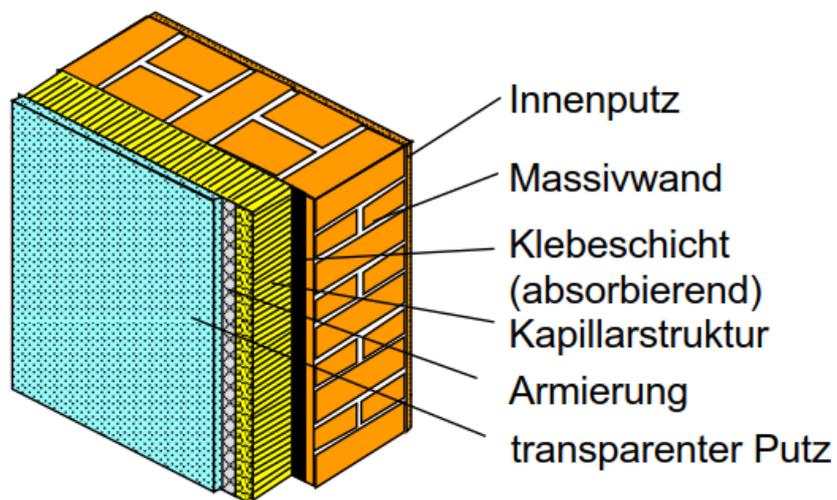


Abbildung 9: Aufbau TWD, Fachverband TWD e.V., Informationsmappe 2, S.6, Mai 2000

Eine weitere Möglichkeit ist Aerosol, welches im flüssigen Zustand hinter die Wand verfüllt wird und anschließend aushärtet. Durch die erstere Variante, der Kapillarstruktur, wird die einfallende Strahlung gebündelt und zum *Absorber* transportiert. Diese Struktur besitzt außerdem die Eigenschaft, dass diese im Winter eine gute Wärmedämmung ermöglicht, da die eingeschlossene Luft in den Röhren isolierend

wirkt. Der *Absorber* ist die dritte Schicht, welche zum einen die Kapillarschicht mit dem massiven Mauerwerk verbindet, zum anderen die Strahlung weiter in das Mauerwerk leitet, welches sich im Laufe der Einstrahlungszeit mehr und mehr erwärmt. Das aufgewärmte Mauerwerk gibt nach und nach die eingestrahelte Wärme an den innenliegenden Raum ab, wodurch die *Heizleistung* passiv unterstützt und der *Heizbedarf* merklich gesenkt wird. Die Ausführung von Wandmaterial und Wanddicke haben direkten Einfluss auf die Dauer der Abgabezeit und die Höhe der abgegebenen Temperatur. Ein Problem dieser passiven Heizung ist die fehlende Regelbarkeit hinsichtlich der Erwärmung der Wand, wodurch der Innenraum ebenfalls unkontrolliert erwärmt wird. Daher ist für dieses System eine Verschattungsvorrichtung notwendig, um ein Instrument der Wärmeregulierung zu erhalten.

Ergänzend zu dem beschriebenen Massivwandsystem gibt es auf dem Markt drei weitere Systeme. Zum einen das *konvektive System*, bei dem, ähnlich einer hinterlüfteten Vorsatzschale, das TWD-Modul von Luft umströmt wird. Die Wärmeenergie bildet mit der strömenden Luft ein Gemisch, welches dann die Massivwand durch Abgabe der *Strahlungswärme* erwärmt. In diesem System erfolgt die Temperatursteuerung nicht über eine Verschattungseinheit, sondern über Lüftungsklappen am oberen und unteren Ende der hinterlüfteten Wand, mit denen die Luftzufuhr geregelt werden kann. Die Temperatur des Luftgemisches und damit die der massiven Wand sinkt bei geöffneten Klappen, da von außen Luft in das System strömt und die Strahlungswärme verringert und somit eine Abkühlung verursacht.

Ein weiteres System sind die *Direktgewinnsysteme*. Das Funktionsprinzip dieser Systeme ergibt sich aus der direkten Einstrahlung der Sonnenenergie in das Gebäude. Dieses Prinzip der *transparenten Wärmedämmung* ist ein altes und bewährtes Prinzip zur Gewinnung von Wärmeenergie durch Ausrichtung der Fassade in südlicher Richtung, wodurch auch ein Beitrag zum Wärmebedarf entsteht und somit gedeckt werden kann. Diese Fassaden werden großflächig mit Plexiglas versehen. Das System findet häufig Anwendung in Parkhäusern, Büros, Schwimmhallen und Fertigungshallen.

Die dritte und letzte Systemvariante ist die der Hybridsysteme bei denen ein wärmeübertragendes Medium in einem Rohrsystem an die Fassade geführt wird, dort die Solarenergie aufnimmt und anschließend die Energie in einen Wärmespeicher transportiert und dort abgibt. Ein bekanntes Systembeispiel ist das Funktionsprinzip von senkrecht angebrachten *Solarkollektoren*.

Das *transparente Wärmedämmsystem* bietet durch seine duale Funktion einen Vorteil in zweierlei Hinsicht. Einerseits besitzt das System einen ausgezeichneten Wärmedämmwert in Verbindung mit entsprechenden Dämmmaterialien. Zum anderen wird durch die Nutzung der *Solarthermie* die Gebäudeheizung unterstützt. Dem gegenüber ist der Anschaffungspreis von 200 – 400 Euro pro Quadratmeter für ein einfaches System ein entscheidender Nachteil. Im Vergleich dazu belaufen sich die Anschaffungskosten für die Alternative, welche ein Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem sein kann, auf nur ca. 80 Euro pro Quadratmeter. Dieser Nachteil kann nur durch langfristige Nutzung und einer hohen Rate an Einsparung von Energiekosten beseitigt werden. Der Fachverband Transparente Wärmedämmung e.V. beschreibt den „Heizgewinn [mit] 100 Kilowattstunden je Quadratmeter im Jahr.“<sup>12</sup>. In Beziehung zu den derzeitigen Strompreisen von 4,89 Cent/kWh, kann somit eine Einsparung für ein Einfamilienhaus mit einer Fassadenfläche von 150 Quadratmetern in Höhe von 733,50 Euro pro Jahr berechnet werden.

Die Verwendung eines *transparenten Wärmedämmsystems* besitzt im Vergleich zum Verlauf eines anderen Dämmstoffes, wie zum Beispiel Polystyrol, einen steileren Anstieg bezüglich der Kostenkurve im Bereich des *Entstehungszyklus* eines Gebäudelebenszyklus. Dies begründet sich durch die höheren Entwicklungs-, Anschaffungs- und Herstellungskosten. Diese Kostenkurve würde aber schon zu Beginn in kleineren Mengen abgebaut werden, da ab Fertigstellung der Wand der Heizenergiegewinn vollzogen wird und das System die Kosten senkt und die Gewinne betragsmäßig ansteigen lässt.

## 4.2 Variation zu Beginn der Degenerationsphase

Inhaltlich befasst sich dieses Kapitel mit der Betrachtung des *Marktzyklus* als Teil des *Produktlebenszyklus* und der in dessen befindlichen Degenerationsphase. Dieser Abschnitt wird, wie in *Kapitel 3.1* beschrieben, mit dem zweiten Schnittpunkt zwischen der Umsatz- und der Kostenkurve begonnen. Dieser Punkt verdeutlicht auch, dass nach erfolgreicher Teilnahme am Markt das Produkt nunmehr keinen Gewinn mehr erzielt. Daher ist Inhalt dieses Kapitels, ob durch diverse Ansätze der Bauindustrie der Umsatzverlauf positiv verändert werden kann, die Kurve somit ein „*retardierendes Moment*“ erhält und der zweite Schnittpunkt zwischen Kosten- und Umsatzkurve weiter nach rechts verschoben werden kann. Das Resultat wäre eine Verlängerung der Lebenszykluskurve und die Verzögerung des Schnittpunktes zwischen U- und K-Kurve und der daraus folgenden kurzfristigen Gewinnsteigerung.

---

<sup>12</sup> Energiebilanz verbessern, Produktivität erhöhen, Merkblatt S. 5, Fachverband TWD e.V., 2012

In der Serienfertigung von Einzelprodukten wird für diesen Sachverhalt der Begriff des *Relaunch* verwendet. Der Begriff *Relaunch* setzt sich aus dem Präfix „Re“ stehend für *wieder* und dem Stammwort „*launch*“ stehend für *Start* zusammen. Daher bedeutet dieser Begriff sinngemäß Neustart. Inhaltlich bedeutet Relaunch die Weiterführung eines Produktes in der *Degenerationsphase* durch Veränderungen des Produktes, um durch minimale Investitionen in das Produkt, Gewinne zu generieren. Zu untersuchen ist, ob dies auf den Lebenszyklus von Gebäuden angewendet werden kann.

#### 4.2.1 Selektiver Gebäuderückbau

Der *selektive Gebäuderückbau* ist eine spezielle Form des Abbruchs von Gebäuden. Dieser kann auf den § 1 Kreislaufwirtschaftsgesetz von 2012 zurückgeführt werden, in welchem der Zweck des Gesetzes wie folgt beschrieben wird. „Zweck des Gesetzes ist es, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen.“<sup>13</sup>. Des Weiteren ist der Begriff *Kreislaufwirtschaft* durch „die Vermeidung und Verwertung von Abfällen“<sup>14</sup> definiert. Dadurch wird verdeutlicht, dass per Gesetz eine Differenzierung der Baustoffe in der Phase des Abbruchs, welche der *Degenerationsphase* gleicht, festgelegt wird. In der Praxis werden somit alle verbauten Materialien auf dem Baufeld sortiert und sortenrein gelagert, um diese der Wiederverwertung zu zuführen. Diese Selektion der Baustoffe folgt der *Abfallhierarchie*, die im § 6 des Kreislaufwirtschaftsgesetz bestimmt ist und wird „... in folgender Rangfolge festgelegt:

- Vermeidung,
- Vorbereitung zur Wiederverwendung,
- Recycling,
- sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
- Beseitigung“<sup>15</sup>.

Bezugnehmend auf diese Hierarchie können die Baustoffe in eine Wertigkeitsabfolge eingeteilt werden, welche die direkte Weiterverwendung, die Wiederaufbereitung, das Recycling und die energetische Verwertung sind. Die Weiterverwertung beinhaltet den Wiedereinbau in einem neuen Gebäude ohne Investitionen in das Material zur Verbesserung zu tätigen. Ein Beispiel hierfür sind Fassadenplatten oder Pflaster-

---

<sup>13</sup> Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG, Zweck des Gesetzes, § 1 Seite 5, 24.02.2012

<sup>14</sup> Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG, Begriffsbestimmung, § 3 (19) Seite 8, 24.02.2012

<sup>15</sup> Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG, Begriffsbestimmung, § 6 Seite 10, 24.02.2012

steine, welche sorgsam demontiert werden, um sie in dem vorhandenen Zustand wieder einzubauen. Diese Variante ist zu Beginn des Abbruchs sehr zeitaufwendig und dadurch sehr kostenintensiv, die sich aber im Bezug der Anschaffungskosten für das Neubauvorhaben amortisiert, da keine neuen Materialien angeschafft werden müssen. Die Wiederaufbereitung hingegen ist die Verbesserung des Produktes von dem Ist-Zustand auf einen neuwertigen Stand. Demnach wird für diese Verwertungsmethode eine höhere Investitionssumme verwendet, wodurch aber bei Wiederverwendung der Materialien ein Verkaufserlös ähnlich eines Neuproduktes angesetzt werden kann. Ein praxisnaher Bezug stellt sich durch den *CreaSolv®* Prozess dar, in dem Polystyrol aus Dämmsystemen aufbereitet und auf den in *Kapitel 5.2.2* genauer eingegangen wird. Die dritte Stufe ist das *Recycling*, bei dem die Baustoffe in ihre Bestandmaterialien aufgegliedert und dann der Verwertung zugeführt werden. Der Verkauf und das anschließende Einschmelzen von Kupferleitungen wird in der Praxis am häufigsten angewendet, da der Kaufpreis für ein Kilogramm Kupfer bei circa 4,35 Euro<sup>16</sup> liegt.

Alle vier Stufen der Verwertungsabfolge besitzen demnach die Gemeinsamkeit, dass sie keine Abfälle durch Verarbeitungsprozesse an sich produzieren und somit der Abbruch keine Abfallprodukte erzeugt. Einzig durch die Folgeprozesse entstehen Reststoffe. Dahingehend können die Auflagen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes praktisch angewendet werden.

Für die Grundlage der Organisation eines Abbruchvorhabens und der Bewältigung der Auflagen durch das Gesetz ist ein Bewusstsein hinsichtlich eines gut geplanten *Stoffstrommanagements* (siehe *Kapitel 4.1.1*) nötig. Die Planung für die sortenreine Gewinnung von Rohstoffen durch den selektiven Gebäuderückbau kann in drei Planungsstufen untergliedert werden. Zum einen beginnt das Projekt mit der Programmplanung, in welcher das Materialvorkommen mit Hilfe von Computerprogramm erfasst werden kann und sowohl der Einteilung als auch der Abrechnung dienlich sein kann. Die *Abbildung 10, Seite 27* zeigt eine mögliche Darstellung eines *Verwertungskonzeptes*, mit dessen die vorhandenen Materialien eines Abbruchvorhabens in Baustoffe, Baustoffmengen, Abfallschlüsselnummern, Stoffgruppen, Containernummern in denen das Material gelagert wird und in die Verwertungsoptionen eingeteilt werden kann. Diese Kategorien können durch Beschreibungen des Materials, wie Zustand, Porosität und Alter ergänzt werden, um die Qualität von Beginn an festzulegen.

---

<sup>16</sup> Kupferpreis je Tonne; <http://www.finanzen.net/rohstoffe/kupferpreis/euro>

Baustoff Nr.	Baustoff	Masse (kg)	EWC-Nr.	Stoffgruppe	Cont.-Nr.	Einzusetzender Containertyp/ Bezeichnung	Verwertungsoption/ Entfernung [km]											
							V1	V2	V3									
1120	Granit	550	17 05 01	Mineralisches Abbruchmaterial recyclingfähig (Mr)	31	Abrollmulde 15 m³ <i>Mineralische Fraktionen</i> <i>recyclingfähig</i>												
1140	Sandstein	1.032.484	17 05 01				V1	V2	V3									
2110	Kalkmörtel	220.824	17 01 00				100	15	100									
2130	Zementmörtel	523	17 01 00															
2710	Betonhohlblocksteine	8843	17 01 01															
3300	Vollziegel	206.339	17 01 02															
3700	Fliesen	2.020	17 01 03															
3800	Keramik	45	17 01 03															
3900	Porzellan	231	17 01 03															
1610	Steinkohlenschlacke	33.918					Mineralisches	32	Abrollmulde 15 m³	V15								
2210	Gipsmörtel	55.041	17 01 04	Abbruchmaterial nicht recyclingfähig (Mnr)		<i>Mineralische Fraktionen</i> <i>nicht recyclingfähig</i>	16											
3600	Dachziegel	21.892	17 01 02	Dachziegel (Zi)	30	Abrollmulde 15 m³ <i>Dachziegel</i>	V2	V4	V4	V6	V9							
							15	50	70	70	60							
6310	Fichte/Tanne/Kiefer behandelt	9.531	17 02 01	behandeltes Holz (Hb)	24	Abrollmulde 15 m³	V7	V8	V9	V10	V11	V12						
6500	Holzspanplatten	6	17 02 01			<i>Holz behandelt</i>	20	50	60	40	70	45						
6300	Fichte/Tanne/Kiefer	78.328	17 02 01	unbehandeltes Holz (Hu)	25	Abrollmulde 30 m³	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V21					
						<i>Holz unbehandelt</i>	20	50	60	40	70	45	50					
5100	Gußbeisen	1.423	17 04 05	Eisenmetalle (E)	27	Absetzmulde 10 m³ <i>Metalle</i>	V9	V10	V11	V13	V14	V15						
							60	40	70	10	30	16						
5200	Stahl	1.033	17 04 05	Nichteisenmetalle (NE) Kabelreste und Elektronikschrott (Ka)	35	Absetzmulde 10 m³ <i>Metalle</i> <i>(zur Wiederverwertung)</i>	V9	V10	V14	V16								
5600	Zink	261	17 04 04				60	40	30	45								
10100	Kabel	77	17 04 08															
10000	Elektronikschrott	121	17 04 07/08				28	Minicontainer 1 cm³ <i>Elektronikschrott</i>	V9	V10	V11	V14	V16					
							60	40	70	30	45							
4100	Flachglas	93	17 02 02	Glas (Gl)	26	Abrollmulde 20 m³ <i>Glas</i>	V9	V10	V11	V18	V19	V20						
							60	40	70	65	10	5						
6730	Pappe	216		Papier, Karton	34	Absetzmulde 5 m³ <i>Papier und Karton</i>	D1	D2	D3									
7730	Tapete, bedruckt	131					10	>100	45									
7430	PVC hart	42	17 02 03	Plastik (Ku)	29	Minicontainer 1 cm³ <i>Plastik</i>	V9	V10	V11	V17								
7300	Polystyrol	18	17 02 03				60	40	70	15								
7460	PVC weich	348	17 02 03	Restmüll (R)	33	Abrollmulde 20 m³ <i>Restmüll</i>	D1	D2	D3									
6660	Holzfasern	85	17 02 01				10	>100	45									
Rückbaubjekt			EWC	regionale Abfallwirtschaftspläne		Transportunternehmen	regionale Rahmendaten											

Abbildung 10: Beispiel Verwertungskonzept, Dr. SCHULTMANN, Frank, Seite 13

In Folge einer solchen aufwendigen Bestandsaufnahme kann nun die Bereitstellungsplanung erfolgen, in der auf Grund der Materialmengen und des Materialaufkommens, die notwendigen Geräte, Personen und der Zeitumfang festgesetzt werden können. Darauf aufbauend kann ein Bauablaufplan erstellt werden. In diesem werden die Zeiten für die Demontage, den Abtransport und das Recycling beziehungsweise die Verwertung festgelegt.

Der *selektive Gebäuderückbau* ist somit eine Verfahrensvariante, um den Lebenszyklus eines Gebäudes in der Form zu verlängern, das die Einzelmaterialien weiter verwertet werden können und einem neuen Gebäude beziehungsweise neuen Materialien zugeführt und letztendlich Bestandteile eines neuen Lebenszyklus werden können. Der Abbruch eines Gebäudes und der damit verbundene Marktausschluss am Ende des Lebenszyklus kann durch diese Variante des Rückbaus die Umsatzkurve durch qualitativ hochwertigere Verkäufe von Materialien wieder ansteigen las-

sen. Dadurch ist ein flacher Anstieg der Gewinne möglich, da die für den Abbruch geplanten Maschinen- und Personalkosten gleichbleibend im Vergleich zum normalen Gebäudeabriss sind.

Die frühzeitige Selektion von Baumaterialien bei einem Abbruchvorhaben kann somit auf der einen Seite zu einer Systematisierung der Baustelleneinrichtung führen, wodurch unter anderem kürzere Zeiten für die Logistik entstehen, was letztendlich zu geringeren Kosten führt. Andererseits werden höhere Erlöse durch den Verkauf von qualitativ hochwertigeren Materialien erzielt, wodurch in Summe höhere Gewinne erreicht werden können. Schlussfolgernd ist der selektive Gebäuderückbau eine Möglichkeit des Relaunch im Lebenszyklus eines Gebäudes.

#### 4.2.2 Cradle-to-Cradle Verfahren von Prof. Braungart

Ein weiteres Verfahren, für die Variation eines oder mehrere Produkte am Ende ihrer Lebenszyklen, ist das *Cradle-to-Cradle-Verfahren* („Von der Wiege zur Wiege“), welches in der Zusammenarbeit zwischen Professor Braungart, dem Architekten William McDonough und der EPEA Umweltforschung Hamburg konzipiert wurde. In diesem Verfahren, das zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde, entspricht das Recycling von Materialien einem kompletten Wiederverwertungsansatz. Der Begriff *Cradle-to-Cradle* basiert auf der Idee, dass zwei Kreisläufe nebeneinander ablaufen,

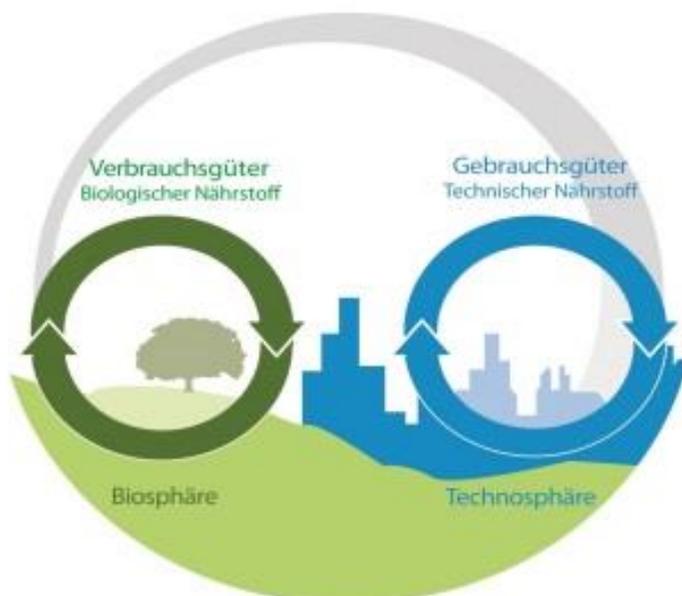


Abbildung 11: Cradle-to-Cradle-Verfahren nach Prof. Braungart, <http://epea-hamburg.org>

wie in *Abbildung 11* dargestellt. Im biologischen Kreislauf, links dargestellt, werden Verbrauchsgüter durch Mensch und Tier verbraucht und deren Abfälle ökologisch

abbaubar verwertet. In Folge der Verwertung entstehen Produkte, die den Ausgangsstoff für neue Produkte bilden. Im zweiten Kreislauf, dem Technischen, werden Gebrauchsgüter aus Rohstoffen hergestellt, die zu einhundert Prozent wiederverwertet werden können, da sie in der *Forschungs- und Entwicklungsphase* ihres Lebenszyklus entsprechend konzipiert wurden. Somit entstehen bei diesen Gütern keine Abfälle und ein einmal eingesetztes Material beziehungsweise ein einmal eingesetzter Rohstoff kann rein theoretisch unendlich gebraucht werden. Demnach werden Produkte dementsprechend produziert, sodass sie nach ihrer Nutzung als Ausgangsstoff für neue Produkte verwertet werden können, ohne unnötige Abfälle bei der Verwertung entstehen zu lassen. Die Produkte die durch Recyclingprozesse entstehen, sind nützliche Ausgangsstoffe. Dadurch entsteht ein nicht endender Kreislauf, ähnlich einem „*Perpetuum-Mobile*“, aus recycelten Materialien, die wiederum Ausgangsstoff für ihre eigene Wiederherstellung sind.

Beispiele für deren Umsetzung gibt es einige, wie zum Beispiel Abdeckkappen aus Zucker, die unter hohem Druck gepresst werden und auf Einwegkaffeebechern zum Schutz vor dem Verschütten dienen. Ein weiteres Beispiel sind Einwegteller, die aus Kork gefertigt werden und nach der Benutzung auf dem Kompost zu Erde verrotten.

Das *Cradle-to-Cradle-Verfahren* betrachtet drei Grundsäulen der Materialwirtschaft. Zum einen den ökonomischen Ansatz, der beinhalten könnte, dass die Umstellungen und alle Prozesse nicht eine unmögliche Idee mit enormen Kosten bleibt, sondern durch realistische Kalkulation und Preisansätze in die Realität umgesetzt werden kann. Zum Zweiten berücksichtigt das Verfahren den ökologischen Gedanken des Werdens und Vergehens, da auch in diesem Verfahren Materialien erzeugt, verbraucht und verwertet werden. Der letzte Punkt, der soziale Aspekt, könnte dadurch berücksichtigt sein, dass es auf Grund des Kreislaufes keine seltenen Rohstoffe, wie Gold oder Platin, gibt und daher diese auch im Wert sinken, weil sie nicht verbraucht sondern immer wieder umgewandelt werden. Somit kann jeder Mensch sich diese Rohstoffe beziehungsweise Rohstoffe leisten. Das *Cradle-to-Cradle-Verfahren* verwendet somit als Basis seiner Ausführungen den Grundgedanken der *Triple Top Line*.

In diesem Verfahren wird verdeutlicht, dass eine vollständige Verwertung der eingesetzten Ausgangsstoffe möglich ist. Auf der Internetseite der EPEA Umweltforschung Hamburg wird das Verfahren hinsichtlich seiner Vorteile wie folgt beschrieben: „[...] *Cradle-to-Cradle*<sup>®</sup> bietet Unternehmen die Möglichkeit, ihre Produkte nicht mehr zu verkaufen, sondern lediglich zur Nutzung zur Verfügung zu stellen. Nach ihrem Gebrauch landen die Materialien wieder beim Produzenten, können sortenrein zu-

rückgewonnen werden und bleiben so dem Kreislaufsystem erhalten. Unternehmen werden so unabhängiger von Preisschwankungen an den Rohstoffmärkten, zudem wird die Wirtschaftlichkeit im gesamten Wertschöpfungszyklus verbessert. Die Wertschöpfungskette wird vom Rohstoff bis zum Verbleib des Produkts betrachtet. ...“<sup>17</sup>.

Dem ergänzend könnte hinzugefügt werden, dass die Unternehmen den Lebenszyklus eines Produktes so gestalten könnten, dass ein Produkt dann verwertet und neu produziert wird, wenn sich Kosten und Umsatzkurve schneiden. Dadurch würde in diesem Schnittpunkt der erste Lebenszyklus eines Produktes enden und der zweite Zyklus eines Produktes selben Typs starten. Diese Verknüpfung der zwei Zyklen wäre möglich, da beim ersten Zyklus die *Degenerationsphase* entfällt und beim zweiten die *Forschungs-, Entwicklungs- und Einführungsphase* vorweggenommen ist. Das Resultat dieser Verbindung ist eine Gewinnkurve die in ihrem Minimalpunkt den Wert Null erreicht, aber nicht negativ wird. Im Endeffekt ist ein Unternehmen im Stande seine Produktion in der Weise auszulegen, dass es durch die Verbindung zweier Zyklen zu keinem Zeitpunkt Verluste erwirtschaftet, ausschließlich Gewinne.

Auf der anderen Seite ist es fraglich, ob die Planung der Zyklenverknüpfung dementsprechend geplant werden kann, dass diese zeitlich exakt ineinander greift. Des Weiteren ist der Materialverlust durch Verschleiß der Produkte in Folge des Gebrauchs nicht abzuschätzen. Somit ist die Berechnung der Zugabe von Nachfüllmaterial, um einhundert Prozent der Menge an Ausgangsstoff zu erreichen, von Beginn an nur durch Erwartungswerte möglich. Außerdem ist die Überschneidung bei einfachen Produkten vorstellbar, aber bei komplexen Produkten hinsichtlich der Verwertung der Einzelteile schwierig zu ermöglichen, da Materialien unterschiedliche Halbwertszeiten besitzen und dadurch Bestandteile in unterschiedlichen Abständen ausgewechselt werden müssen.

Weiterführend ist zu überlegen, ob alle Materialien und Produkte diesen beiden Kreisläufen zugeordnet werden können und ob es auch für chemische Stoffe, die krebserregend oder radioaktiv sind, Alternativen gibt, die den Nutzen erfüllen, aber ohne Abfälle recycelt werden können beziehungsweise als Ausgangsstoff für Neuprodukte dienen, die keine krebserregenden oder radioaktiven Inhaltsstoffe enthalten.

---

<sup>17</sup> Vorteile von Cradle-to-Cradle, <http://epea-hamburg.org/de/content>

## 5 Lebenszyklus Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem

### 5.1 Klassischer Zyklus

Der Lebenszyklus von Polystyrol kann entsprechend der Beschreibungen aus *Kapitel 3.1* entwickelt werden. Anhand der Entwicklungsgeschichte von Polystyrol, die vorrangig als Grundlage dient und des vorgegebenen Kurvenverlaufes aus *Kapitel 3.1*, ist wie in *Abbildung 12* dargestellt, der Verlauf der Umsatz-, Kosten-, und Gewinnkurve eigenständig entwickelt worden.

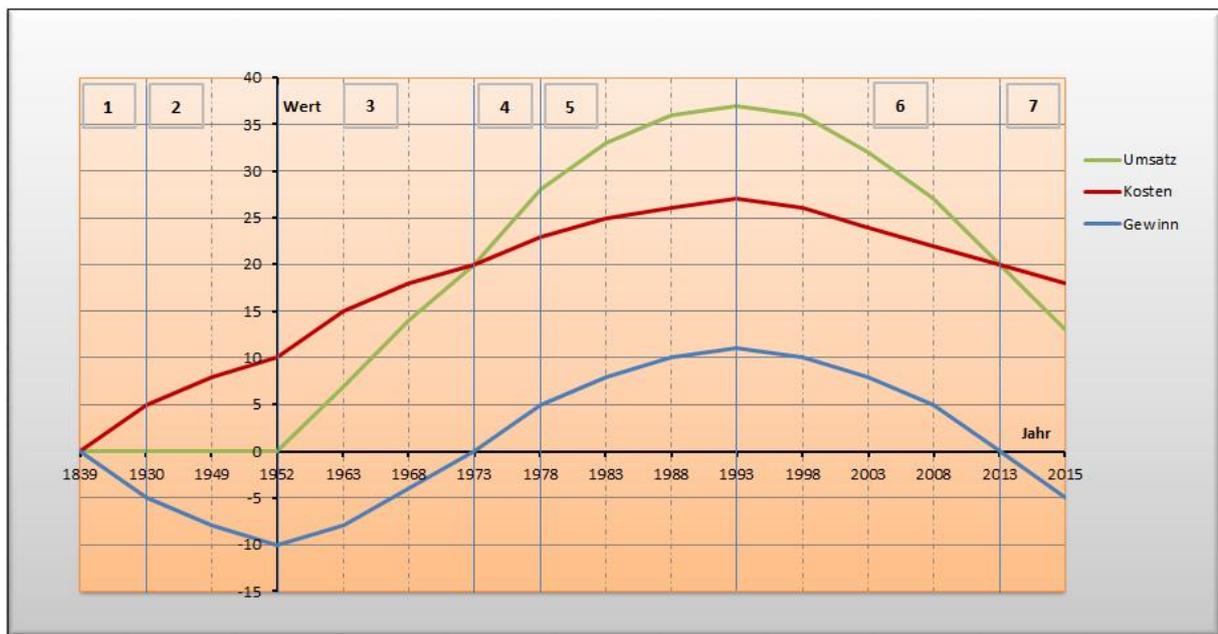


Abbildung 12: Produktlebenszyklus (Eigenentwurf in Anlehnung an das Skript von Hr. Prof. Hinkel, Studiengang Baubetriebsmanagement Glauchau, 2014)

Der Kurvenursprung des Diagrammes ist das Jahr 1839 in dem Styrol durch den Apotheker Eduard Simon entdeckt wurden ist. Da dieser keinen Sponsor besaß und Chemikalien selten und teuer waren, stiegen die Kosten steil an und die Gewinne verliefen auf Grund von fehlenden Umsätzen im entsprechenden Betrag zu den Kosten in den negativen Bereich (*siehe Formel 4 Gewinn-Kosten-Gleichung, Seite 13*). Im Jahr 1930 begann *I.G. Farben* mit der Produktion von Polystyrol. Daher kann der Zeitraum zwischen den Jahren 1839 und 1930 mit der *Forschungs- und Entwicklungsphase (Bereich 1, Abbildung 12)* bezeichnet werden. Ab 1930 schließt sich die Phase der *Produkt- und Absatzvorbereitung* an. Dieser Zeitraum ist geprägt durch die flacher verlaufende Kostenkurve in Folge der verbesserten Technologie und der damit verbundenen Senkung der Kosten pro Stück. Insgesamt stiegen die Kosten weiterhin an, da die Finanzierung von Maschinen, Arbeitern und Mieten mit hinzugezogen werden müssen. Diese Gemeinkosten verteilen sich auf die herge-

stellte Produktionsmenge, wodurch der zu erwartende steilere Anstieg der Kostenkurve ausbleibt. 1952 stellte das Unternehmen BASF® auf der Messe für Kunststoffe in Düsseldorf das erste Mal Polystyrol vor. Dieses Datum kann somit als das Ende der zweiten Phase des Lebenszyklus und dem Übergang vom *Entstehung-* zum *Marktzyklus* angesetzt werden. In diesem Punkt wird gleichzeitig der Schnittpunkt zwischen der Ordinaten- und Abszissenachse festgesetzt, da ab diesem Zeitpunkt Umsätze, in Folge der Markteinführung, generiert werden können. Der Anstieg dieser Umsätze ist ein Resultat der steigenden Nachfrage, die durch erweiterter Anwendungsgebiete für Polystyrol, wie zum Beispiel durch den ersten Einsatz in einer Gebäudedämmung im Jahr 1957 in Berlin, und durch das Wirtschaftswunder in den 50er und 60er Jahren des letzten Jahrhunderts begründet ist. Entsprechend *Formel 3 Gewinnleichung, Seite 13* nimmt der Wert des Gewinns zu, da zu dem negativen Betrag der Kosten positive Umsätze addiert werden. In diesem Zyklus des Diagrammes fällt die Kostenkurve weiterhin auf Grund der sinkenden Stückkosten entsprechend *Formel 5 Kostengleichung, Seite 13* und daher sinken die Gesamtkosten. Die *Markteinführungsphase (Bereich 3, Abbildung 12)* endet mit dem Jahr 1973 verdeutlicht durch den Schnittpunkt der Kosten- und Umsatzkurve, in dem erstmalig auch positive Gewinne mit dem Produkt erwirtschaftet werden, dargestellt durch die Nullstelle der Gewinnkurve. Diese markanten Punkte der Kurvenverläufe können geschichtlich mit der Weltwirtschaftskrise im Jahr 1973 belegt werden. Ein erstes Umdenken in der Verwendung von Rohstoffen und Ansätze der Nachhaltigkeit, verdeutlicht durch die Einführung des ersten Energieeinspargesetzes 1976<sup>18</sup>, sind Ergebnisse dieser Krise. Infolgedessen entsteht ein leichter Nachfrageanstieg, woraus sich ein steilerer Verlauf der Umsatz- und Gewinnkurve ermitteln lässt. Ebenso steigt die Kostenkurve aufgrund der steigenden Produktionsmenge für die Deckung der steigenden Nachfrage. In den fünf Jahren von 1973 bis 1978 steigen alle drei Kurvenverläufe, wodurch die *Wachstumsphase* des Lebenszyklus (*Bereich 4, Abbildung 12*) dargestellt wird. Ab dem Jahr 1978 beginnt die *Reifephase (Bereich 5, Abbildung 12)* in der das Produkt am Markt etabliert ist und auf den Aufschwung der Nachfrage aus der Krise zurückgeht, wodurch ein Wendepunkt in der Umsatzkurve entsteht, was sich direkt auf die beiden anderen Funktionen auswirkt. In den folgenden Jahren entwickelt sich der Umsatz stetig weiter bis er im Jahr 1993 sein Maximum erreicht. Einen Grund dafür könnte der Zusammenbruch der DDR im Jahr 1990 sein und der damit verbundenen steigenden Nachfrage, die von 1990 bis circa 1993 anhielt und ein Resultat der Markterweiterung ist. Der *Bereich 6, Abbildung 12*, welcher die *Sättigungsphase* darstellt, schließt sich an dieses Maximum der Umsatzkurve an und verdeutlicht, dass der Markt gesättigt ist und der Umsatz zurückgeht.

---

<sup>18</sup> Entwicklung der Energieeinsparverordnung, <http://www.baunetzwissen.de>

Dies kann einerseits an der Langlebigkeit von Polystyrol liegen, wodurch ein Großteil der Nachfrage gedeckt ist, andererseits durch Novellierungen des *Energieeinsparungsgesetzes* die Nachfrage der Kunden an Alternativen verloren geht. Durch sinkende Nachfrage fällt die zu produzierende Menge. Daraus folgt, dass die Gesamtkosten sinken und auf Grund der sinkenden Verkaufszahlen der Gewinn abfällt. Das Ende des positiven Gewinnbereiches entsteht im Jahr 2013 in dem die G-Kurve seine zweite Nullstelle erhält, da die Kosten und der Umsatz den gleichen Wert annehmen, ihre Kurven einen Schnittpunkt ausbilden und somit der Gewinn Null ist. Diese Entwicklung der Kurven kann ein Ergebnis der Veröffentlichung der neuen ENEC Ende 2013 und derer in Kraft treten im Mai 2014 sein, wodurch die Nachfrage weiter gesunken sein könnte. Die letzte Phase, die Degenerationsphase (*Bereich 7, Abbildung 12*), verdeutlicht das Ende des Lebenszyklus von Polystyrol. Der zeitliche Verlauf vom Jahr 1973 bis zum Jahr 2013 spiegelt den Zeitraum der zwei Schnittpunkte wieder, welcher eine Spanne von 40 Jahren umfasst und identisch mit der Halbwertszeit von Polystyrol sein kann. Daher kann ab 2013 von einer Sanierung von Gebäudefassaden beziehungsweise die Erneuerung des Produktes ausgegangen werden, die die Verwertung durch Verbrennung, Wiederverwertung oder Wiederaufbereitung von Polystyrol zur Folge hat.

## 5.2 Verwertungsoptionen

Die Verwertung von Polystyrol ist in seinem Lebenszyklus in die *Degenerationsphase* (*Bereich 7, Abbildung 12*) einzuordnen und betrifft den „Rückzug“ des Produktes vom Markt. Dieser „Rückzug“ kann durch drei Arten durchgeführt werden. Zum einen durch Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage, zum zweiten durch eine Wiederaufbereitung oder zum dritten durch Wiederverwertung. Die Wahl der Verwertungsmöglichkeit wird durch einen Grenzwert in der aktuellen Abfallverzeichnis-Verordnung klar geregelt. Diese Regelung hat das Umweltbundesamt am 25.07.2016 auf seiner Homepage vorgestellt und wie folgt beschrieben: „Der für *HBCD* festgelegte Grenzwert von 1000 mg/kg [beziehungsweise 0,1 %] wird am 30. September 2016 rechtswirksam. Nach der Abfallverzeichnis-Verordnung werden *HBCD*-haltige Dämmstoffabfälle daher [...] der Abfallschlüsselnummer „17 06 03“ [beziehungsweise anderes] Dämmmaterial, das aus gefährlichen Stoffen besteht oder solche Stoffe enthält, zugeordnet. Die neue Einstufung betrifft vor allem Polystyrol-Dämmstoffe, die mit *HBCD* als Flammenschutzmittel ausgerüstet sind. Expandiertes Polystyrol (EPS) enthält in der Regel 0,7% und extrudiertes Polystyrol (XPS) ca. 1,5% *HBCD*. Da der Grenzwert für die Einstufung als gefährlicher Abfall bei 1000 ppm (0,1%) liegt, gelten diese Abfälle ab 30. September 2016 als gefährlich und nachweispflichtig und dürfen

nur noch in Abfallverbrennungsanlagen behandelt werden, die über eine entsprechende Zulassung verfügen.“<sup>19</sup>. Demnach kann im Folgenden davon ausgegangen werden, dass alle polystyrolhaltigen Materialien und Dämmstoffe, die den HBCD-Wert von 0,1 Prozent überschreiten der Abfallverbrennungsanlage zugeführt werden müssen. Alle anderen Stoffe, die diesen Grenzwert unterschreiten, dürfen wiederverwertet oder wiederaufbereitet werden.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit veröffentlichte am 01.12.2012 dazu aktuelle Zahlen gemäß *Abbildung 13*.

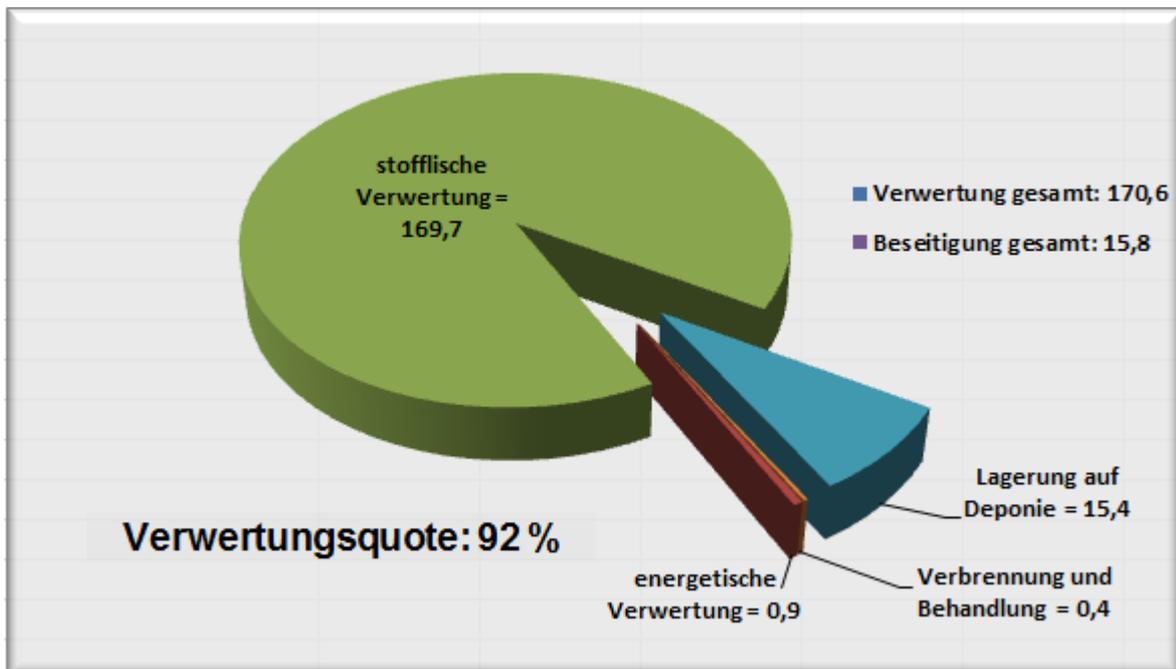


Abbildung 13: Bau- und Abbruchabfälle 2010 in Millionen Tonnen (eigene Darstellung in Anlehnung an das Statistisches Bundesamt, <http://www.bmub.bund.de>, 2012)

Diese Statistik zeigt auf, dass im Jahr 2010 in Deutschland 186,40 Millionen Tonnen an Bau- und Abbruchabfällen (202,735 Millionen Tonnen, Stand 2013, siehe Anlage 2) angefallen sind, von denen einerseits 91,04 Prozent stofflich und 0,48 Prozent technisch verwertet wurden. Andererseits wurden 8,26 Prozent auf Deponien gelagert und 0,21 Prozent durch Behandlung und Verbrennung verarbeitet.

Am 26.02.2015 antwortete die Bundesregierung auf einen Brief der Fraktion BÜNDNIS 90/ DIE GRÜNEN auf die Frage „Recyclingfähigkeit von Dämmstoffen

<sup>19</sup> Artikel: Wie werden HBCD-haltige Dämmstoffe abfallrechtlich eingestuft?, <https://www.umweltbundesamt.de>, 25.07.2016

5. Welche Kenntnisse hat die Bundesregierung darüber, inwieweit verschiedene Dämmmaterialien recyclebar sind (bitte wie in Frage 1 nach Recyclingarten, insbesondere thermische Verwertung bzw. Verbrennung, Kompostierbarkeit, und stoffliches Recycling der Dämmmaterialien, aufschlüsseln)?

[Folgendes],

Vom gesamten Abfallaufkommen in Deutschland in Höhe von rund 390 000 Kilotonnen (kT) entfallen nur rund 230 Kilotonnen auf Dämmmaterialien. [Davon sind] 42 Kilotonnen [...] Dämmmaterialabfall in Form von Polystyrol (Expandiertes Polystyrol – EPS/Extrudiertes Polystyrol – XPS) und 35 Kilotonnen gemischter Baustellenabfall.“<sup>20</sup>.

Die Ausführung der Bundesregierung vom 26.02.2015 legt offen, dass im Jahr 2014 eine Gesamtmenge von 42.000 Tonnen Dämmmaterial bestehend aus Polystyrol angefallen ist und die Grundlage für folgende Betrachtungen bildet.

### **5.2.1 Verbrennung zur Energiegewinnung**

Die Verbrennung von Polystyrol zur Energiegewinnung erfolgt in Abfallverbrennungsanlagen, welche zunächst den Brennstoff in Silos lagern, von denen aus das Abfallgut unter anderem auch Polystyrol in einem Hochofen durch Förderschnecken oder -bänder transportiert wird. In der Brennkammer entstehen Temperaturen von 800-900 Grad Celsius. Die Verbrennungswärme wird entweder als Fernwärme direkt genutzt oder sie erhitzt eine in Röhren befindliche Flüssigkeit, welche verdampft und Turbinen zur Stromerzeugung antreibt. Durch diese Variante der Verwertung können 40,2 Megajoule<sup>21</sup> pro Kilogramm Polystyrol (vorgepresst) an Heizwert erreicht werden. Im Jahr 2014 wurden 42.000 Tonnen Abfall erzeugt. In Verbindung mit der Berechnung auf Seite 34 kann davon ausgegangen werden, dass 3.469,20 Tonnen beziehungsweise 3.469.200 Kilogramm verbrannt wurden sind. In Verbindung mit der Heizwertangabe ergeben sich 139.462.000 Megajoule an Energie. Umgerechnet entspricht dieser Wert einer elektrischen Energie von 38.739.444 Kilowattstunden beziehungsweise 38.739,44 Megawattstunden.

Daran wird deutlich, welche Energie in Polystyrol enthalten ist. Nachteilig ist, dass die vorher investierten Energien zur Herstellung von Polystyrol durch die Verbrennung endgültig verloren gehen. Des Weiteren wird die Energie zum Betreiben der Abfall-

---

<sup>20</sup> Antwort der Bundesregierung - Drucksache 18/4129, Seite 3, 26.02.2015

<sup>21</sup> Kunststoffe - Eigenschaften, Brandverhalten, Brandgefahren, VdS 2516: 200-12 (1) VdS Verlag, Köln, 2000

verbrennungsanlage nicht mit berücksichtigt. Diese beiden Energieaufwendung zur Herstellung und Entsorgung von Polystyrol wird in den seltensten Fällen im Zusammenhang mit der *Energiebilanz* des Produktes gesehen. In den häufigsten Fällen wird ausschließlich die Energieeinsparung des bestehenden Stoffes betrachtet.

Die positive Seite der Verbrennungsvariante ist, dass Abfallprodukte, wie unter anderem Flugasche als Zuschlagsstoffe in Beton eingesetzt werden können. Außer der Nutzung der Abfallprodukte und der Erzeugung von Strom bzw. Wärme, ist die endgültige Beseitigung von Abfällen ein positiver Gesichtspunkt, da von Abfällen keine Gefahren oder Giftstoffe mehr ausgehen können, die das Grundwasser verunreinigen. Ein Nachteil in Bezug auf die Verbrennung von Polystyrol ist die Betrachtung der Verbrennungsabgase, die immerhin durch Filter und chemischer Aufbereitung nahezu neutralisiert werden können, aber durch diese Aufbereitung werden wieder neue Abfallprodukte und zu entsorgende chemische Stoffe erzeugt, welche die Umwelt belasten.

### **5.2.2 Wiederaufbereitung/ Wiederverwertung**

Die zwei weiteren Verwertungsmöglichkeiten *Wiederverwertung* und *Wiederaufbereitung* können unter dem gemeinsamen Begriff *Recycling* zusammengeführt werden. *Recycling* kann in die *stoffliche* und *technische Verwertung* aufgeteilt werden. Die *stoffliche Verwertung* umfasst die Aufteilung eines Produktes in seine Bestandteile, aus denen gleiche oder neue Produkte hergestellt werden. Die *technische Verwertung* beinhaltet die mechanische Aufwertung eines Produktes, wobei das Produkt selbst erhalten bleibt. Auf der einen Seite gibt es die Möglichkeit der Wiederaufbereitung beziehungsweise der *stofflichen Verwertung*, bei der das Produkt nach dem Gebrauch dem Hersteller übergeben wird. Der Hersteller schreddert den unbehandelten Rohstoff zu Granulat und bereitet diesen durch chemische Prozesse auf und bereinigt es von Fremdstoffen. Das so produzierte Material kann anschließend unter Hochdruck in neue Formen gepresst werden oder als Dämmung in Zwischenräume wie zum Beispiel abgehangene Decken eingeblasen werden. Nachteilig in Bezug auf dieses Verfahren ist zum einen der hohe Luftgehalt von Polystyrol in Höhe von 98 Prozent, wodurch ein hohes Volumen beim Abbruch der Polystyrolplatten in einem Container entsteht und der Transport vom Verbraucher zum Hersteller unnötig hohe Kosten verursacht. Zum zweiten werden bei dieser Verwertungsvariante zusätzlich chemische Stoffe zum Lösen von Fremdbestandteilen verwendet, wodurch eine erneute Belastung für die Umwelt entsteht. Ein dritter Nachteil ist die eingeschränkte Verwendung der neugewonnenen Produkte. Das Problem liegt hierbei an den verwendeten Chemikalien im Aufbereitungsprozess, welche nicht

nachweislich zu 100 Prozent entfernt werden können. Demnach werden gesundheitsgefährdende Stoffe weiter verarbeitet und befinden sich in dem wiedergewonnenen Polystyrol, wodurch ein Einsatz in den Bereichen Lebensmittel-, Verpackungs- und Bauindustrie fraglich ist.

Ein Verfahren, welches diesen Nachteil des „Schadstofftransportes“ entgegen wirken soll, ist der *CreaSolv® Prozess*, welcher von der CreaCycle GmbH und dem Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung in Freisingen im Jahr 2002 entwickelt wurde. In diesem Verfahren werden die Rohstoffe zunächst „mittels FTIR-Spektroskopie [...] identifiziert [und] mittels energiedispersiver Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) der Bromgehalt zur Identifizierung bromierter Flamm-schutzmittel gemessen. Spezifische Flammschutzmittelanalysen [...] und SLF erfolgen an einer LC-MS-Kopplung und Analysen der SLF auf PBDD/F mittels hochauflösender Massenspektrometrie. Das Materialscreening wurde darüber hinaus durch eine Literaturstudie unterstützt.“<sup>22</sup>. Demzufolge werden Schadstoffe zu Beginn exakter separiert und werden zu Beginn des Produktionsprozesses entfernt. Somit wird ein gesteigertes Level der stofflichen Reinheit erreicht. Im Anschluss wird das gereinigte Polystyrol entsprechend *Abbildung 14* mit einer Lösung, wie zum Beispiel Essig-

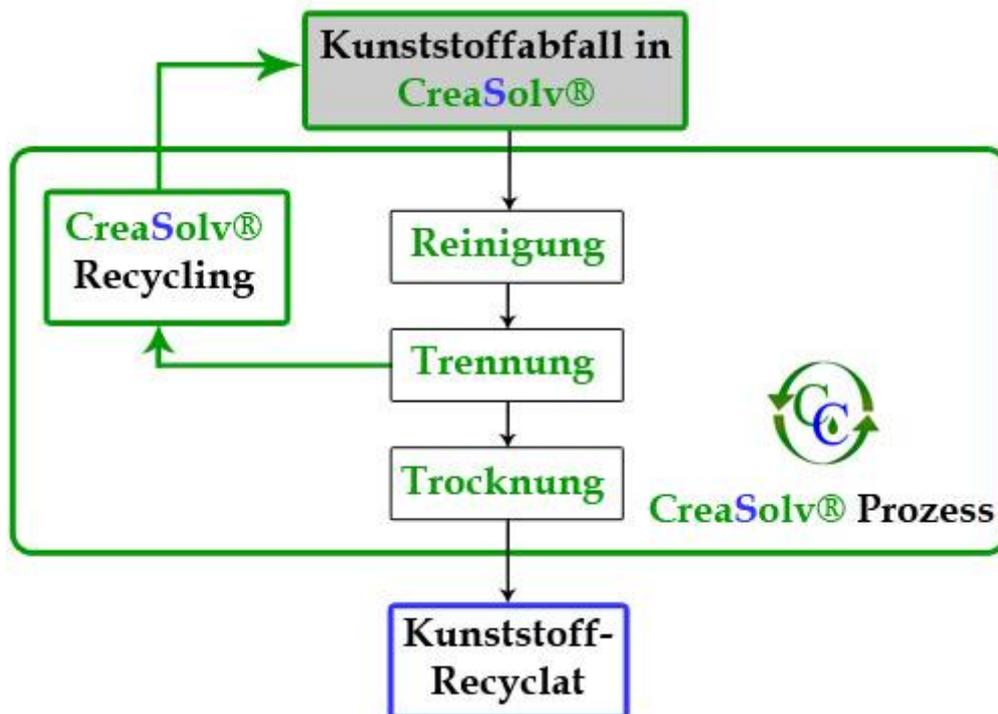


Abbildung 14: CreaSolv-Prozess, <http://www.creacycle.de/de/der-prozess.html>

<sup>22</sup> Der CreaSolv®-Prozess – Technologischer Durchbruch beim Recycling von Kunststoffen aus Elektroschrott Dr. Andreas MÄURER, Seite 3 , Freising, 2004

säureethylester, versehen, da Polystyrol somit verflüssigt werden kann. Dadurch wird einerseits das Volumen verringert und andererseits werden Reststoffe ausgefällt. Als letzter Schritt wird die Flüssigkeit getrocknet und das Endprodukt verpackt. Das Ergebnis wurde am 04.09.2006 vom „MM MaschinenMarkt“, Heft Nummer 36, wie folgt beschrieben:

„Testsieger beim Recycling von Kunststoff [...] ist ein Verfahren des Fraunhofer-Instituts für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV in Freising. In einem weltweiten Vergleich der britischen Non-Profit-Organisation WRAP (The Waste and Resources Action Programme) für nachhaltiges Wirtschaften schnitt das Verfahren sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht am besten ab. Das geschützte Crea-Solv -Verfahren vom IVV erreicht eine Recyclingquote von 95%.“<sup>23</sup>.

Mit diesem Verfahren ist die Wiederaufbereitung von Polystyrol zu fast 100 Prozent möglich. Dennoch fehlt der Bau einer großen Versuchsanlage, um in serielle Produktion zu gehen. Diese Entwicklung kann in Verbindung mit der Stellungnahme der Bundesregierung wirtschaftlich sein, da diese Variante in Bezug auf die Aussage der Bundesregierung für das Jahr 2014 in Bezug zu *Abbildung 13, Seite 34* eine Menge von rund 38.237 Tonnen Ausbringungsmenge erzeugt haben könnte.

Auf der anderen Seite gibt es die Möglichkeit der *Wiederverwertung* beziehungsweise der *technischen Verwertung*, indem das Produkt durch mechanische Schritte, wie Polieren, Trennen, Sortieren oder Reparieren aufbereitet wird, um das Produkt anschließend als „Gebrauchtware“ wieder zu verkaufen. Inhaltlich wird diese Methode im *selektiven Gebäuderückbau Kapitel 4.1.2.1* angewendet. Nachteilig ist die einseitige Anwendung, da diese Nutzung von Ressourcen nur für feste Produkte wie Griffe, Platten, Fliesen, Fenster, Steine, Holzbalken oder ähnliches möglich ist. Hinsichtlich eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems ist der sorgfältige Rückbau möglich, aber dieser ist kosten-/ zeitintensiv und die Anschaffungskosten hinsichtlich der Neuware sind sehr gering.

In Anlehnung an die ausgebrachte Abfallmenge an Polystyrol gemäß der Äußerung der Bundesregierung vom 26.02.2015 auf *Seite 35* in Verbindung mit *Abbildung 13, Seite 34* kann mit diesem Verfahren eine Produktionsmenge für das Jahr 2014 von rund 202 Tonnen berechnet werden.

Im Bereich des Rückbaus gibt es eine Verbindung zwischen den Recyclingarten *Wiederaufbereitung und Wiederverwertung* in Verbindung mit der Verbrennung be-

---

<sup>23</sup> MM MaschinenMarkt, Heft 36, Seite 9, Vogel Business Media GmbH & Co. KG, 04.09.2006

zätzlich der Gewinnung des Rohstoffes Polystyrol aus einem Wärmedämmverbundsystem. Das Auslösen von Polystyrol ist mit heutiger Technik aufwendig und kostenintensiv. Je nach Verwertungsmöglichkeit ist eine sorgsame Entfernung des befestigten Polystyrols vom tragenden Mauerwerk notwendig. Das Abtragen erfolgt in den meisten Fällen immer noch per Hand und einem Schaber. Demnach sind für diese Art der Rückbauleistung eine Hebebühne oder Fassadenaufzug, drei Facharbeiter, ein Bagger und Container notwendig, die in die Fassade abtragen. Diese Methode ist dadurch zeitraubend und verursacht eine hohe Anzahl an Personal- und Gerätekosten. Diese Kosten müssen durch Erlöse in Folge von Verkäufen des Rohstoffs Polystyrol oder durch Recyclingvarianten gedeckt werden.

### 5.3 Lebenszyklusvariation mit eigenen Ansätzen

Der Polystyrol-Lebenszyklus einschließlich seiner Variationen kann durch Einsetzen eines *Stoffstrommanagements* zu Beginn oder durch Anfügen eines zweiten Zyklus am Ende der *Sättigungsphase* des ersten Zyklus und durch Veränderungen der Verläufe der Umsatz-, Kosten- Gewinnkurve entsprechend *Abbildung 15* erweitert dargestellt werden.

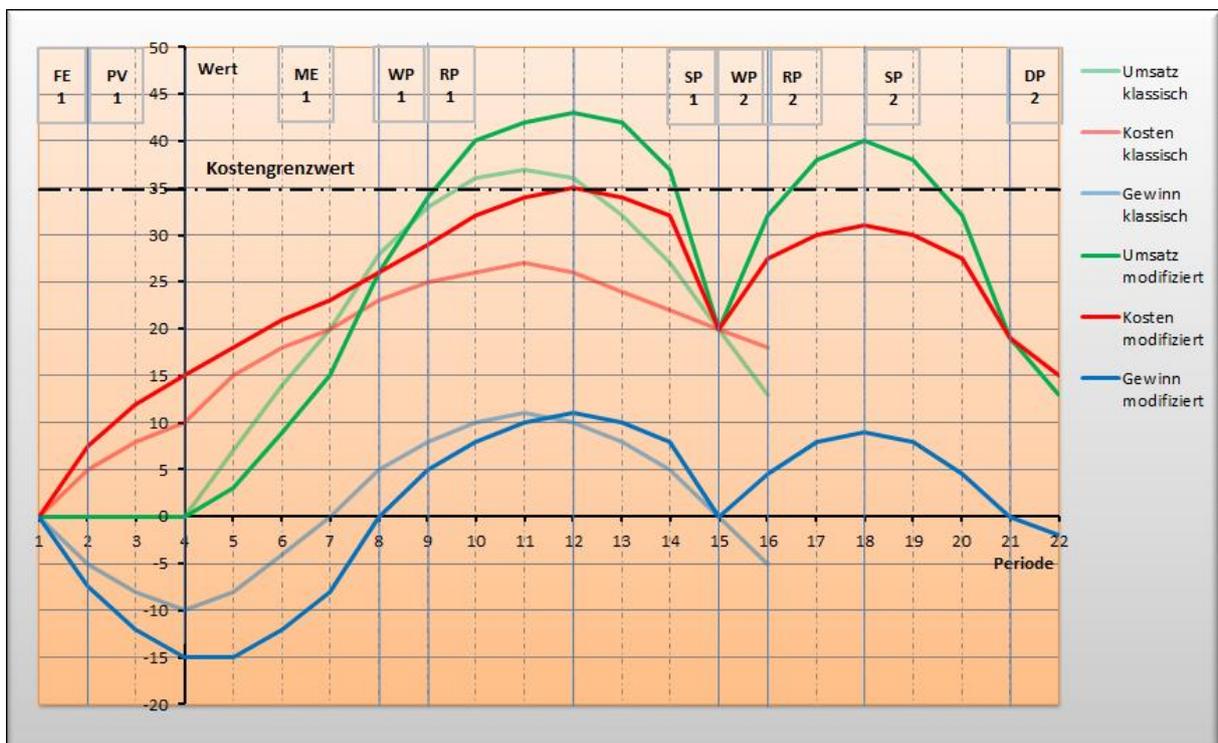


Abbildung 15: Polystyrol-Lebenszyklus mit Variationen, eigene Darstellung

Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem bei dem die Abszissenachse einen beliebigen Zeitraum darstellt, der in Perioden unterteilt ist. Die Ordinatenachse ist definiert.

niert durch absolute Werte. Des Weiteren werden zwei „Polystyrol-Produkte“, die durch den klassische aus *Kapitel 5.1, Seite 31* und den vom Autor entwickelten Zyklus dargestellt sind. Das erste Produkt ist der Polystyrol-Lebenszyklus aus *Kapitel 5.1, Seite 31*, dargestellt in der blässeren Farbausführung und dient als Vergleichsobjekt. Das zweite Produkt ist ebenfalls ein Polystyrol-Lebenszyklus, welcher durch Anwendung theoretischer Kenntnisse aus den *Kapiteln 4 und 5.2* entwickelt wurden ist. Im oberen Teil des Diagrammes sind die Bezeichnungen der einzelnen Phasen angeordnet, welche im Folgenden genauer beschrieben werden.

Zu Beginn der *Forschungs- und Entwicklungsphase 1 (FE 1, Abbildung 15)* steigt die Kostenkurve (*kräftig rot dargestellt, mit „Kosten modifiziert“ bezeichnet*) des veränderten Zyklus steiler an, als die Kostenkurve (*schwach rot dargestellt, mit „Kosten klassisch“ bezeichnet*) des ursprünglichen Zyklus. Dies liegt zum einen darin begründet, dass durch die Verwendung eines *Stoffstrommanagements* zur effektiveren Nutzung der Stoffströme andere Prozesse und Strategien für die Aufbau- und Ablauforganisation entwickelt und geplant werden müssen. Diese Neustrukturierung der Produktionsprozesse fordert höhere Investitionen, ist jedoch notwendig, da zu Beginn die Grundlagen für eine spätere *Wiederaufbereitung* ermöglicht werden müssen. Zum Zweiten sind die Anschaffung von zusätzlichen Maschinen, die die Aufwertung in der Produktion umsetzen können und die Einstellung von fachkundigem Personal notwendig. Die Gewinnkurve (*stark blau dargestellt, mit „Gewinn modifiziert“ bezeichnet*) in dieser ersten Phase verläuft ähnlich wie die des originalen Polystyrol-Lebenszyklus (*schwach blau dargestellt, mit „Gewinn klassisch“ bezeichnet*) im Betrag gleich, nur mit umgekehrtem Vorzeichen entsprechend der *Formel 4 Gewinn-Kosten-Gleichung, Seite 13*.

Die *Produktvorbereitungsphase 1 (PV 1, Abbildung 15, Seite 39)* verläuft ähnlich, da dieses abgeänderte Polystyrol umfangreicher beworben werden muss, stärker als das bekannte Polystyrol, da dies am Markt führend ist. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Kosten höher ausfallen. Die Kurve steigt nicht so stark an wie in der *FE 1-Phase*, da angeschaffte Maschinen schon abgeschrieben werden können. Da dies aber nur ein geringer Betrag im Gegensatz zu den Marketingausgaben, die sich stark erhöhen, ist, steigt die K-Kurve weiterhin an. Ergänzend dazu müssen Versuchsreihen, Prototypen und Marktforschungsberichte finanziert werden, um das Produkt zur Marktreife zu bringen. Die Gewinn- und die Kostenkurve schneidet am Ende der Produktvorbereitungsphase die Ordinatenachse bei einem eineinhalbmal höheren Wert, als es die schwächer dargestellten Originalkurven getan haben.

Zu Beginn der *Markteinführungsphase 1 (ME 1, Abbildung 15, Seite 39)* verläuft die Kostenkurve linear bis zum Ende dieser Phase. Dies liegt darin begründet, dass die angeschafften Maschinen linear abgeschrieben werden und die Gesamtkosten entsprechend *Formel 5 - Kostengleichung, Seite 13* pro Stück steigen. In dieser Phase kann auf Grund der Markteinführung Umsatz (*dunkelgrün dargestellt, mit „Umsatz modifiziert“ bezeichnet, Abbildung 15, Seite 39*) generiert werden, welcher zu Beginn erst langsamer ansteigt, was auf eine mögliche Verzögerung der Nachfrage zurück geführt werden kann, da dies ein neues Produkt mit anderen Eigenschaften am Markt ist. In der zweiten Hälfte dieser Phase steigt der Umsatz jedoch stark an, da Vorteile des Produktes bezüglich seiner umweltschonenden Eigenschaften den Nachfragenden bewusst werden, klar überwiegen und so die Nachfrage und demzufolge den Umsatz steigern. Diese Steigerung wächst soweit an, dass die Kostenkurve geschnitten wird und somit das Ende der ersten Phase des Marktzyklus entsteht. Die Gewinnkurve dieser Phase beginnt bei dem Wert (-15) und verläuft progressiv bis zur ersten Nullstelle, da diese die Differenz aus Umsatz und Kosten ist und daher im Anstieg schwächer verläuft, als die Umsatzkurve.

In der zweiten Phase des Marktzyklus, die *Wachstumsphase 1 (WP 1, Abbildung 15, Seite 39)* kann das erste Mal Gewinn erwirtschaftet werden, da die Umsätze die Kosten, die weiterhin linear verlaufen, übersteigen und deren Differenz positiv ist. Die Umsätze steigen in dieser Phase deswegen so stark, da das Produkt auf Grund seiner wiederaufbereiteten Inhaltstoffe günstiger angeboten werden kann, als das originale Polystyrol. Dies wird verdeutlicht durch den Schnittpunkt der beiden Umsatzkurven im Bereich *WP 1*.

Die *Reifephase 1 (RP 1, Abbildung 15, Seite 39)* ist gekennzeichnet durch den Wendepunkt im Verlauf der dunkelgrün dargestellten Umsatzkurve. Diese Verringerung des Anstieges zeigt auf, dass ein Nachfragerückgang, der auf einen hohen Deckungsgrad der Nachfrage hinweist, entstanden ist. Dieser Rückgang wirkt sich auf die beiden anderen Kurven entsprechend aus, wobei jede der drei Kurven weiterhin steigt bis zum Maximum, welches sich durch den veränderten Kurvenverlauf um eine Periodeneinheit nach hinten verschoben hat. In dieser Phase legt das Kostenmaximum den *Kostengrenzwert (Strich-Punkt-Linie, Abbildung 15, Seite 39)* fest, welcher durch nachfolgende Zyklen nicht überschritten werden sollte, da diese Nachfolgekosten die Gewinne bis hin zum Verlust stark schmälern. Die Maxima definieren das Ende der *Reifephase 1*.

Der Verlauf der Umsatzkurve der *Sättigungsphase 1 (SP 1, Abbildung 15, Seite 39)* fällt nach dem Maximum schneller ab als es der parabelähnliche Gesamtverlauf ver-

muten lassen würde. Daher kann davon ausgegangen werden, dass das Produkt durch Zugabe von gebrauchtem Material nicht so langlebig ist. Die Nachfrage geht somit schneller zurück und die sogenannten Interessenkäufer verlieren schnell ihre Präferenzen und sie werden dadurch das Produkt wechseln. Außerdem könnte je nach Herstellqualität die Halbwertszeit geringer ausfallen. Am Ende der *Sättigungsphase 1* fällt der Umsatz steiler ab, da Mengen vom Rohstoff zur Produktherstellung und Produktionskapazitäten schon für den *Relaunch* verwendet werden und somit das erste Produkt nicht voll produziert und damit die Nachfrage nicht mehr gedeckt werden kann. Auf Grund der geringeren Produktionsmenge fallen dementsprechend die Kosten, die sich im Verlauf mit der Umsatzkurve schneiden. Dieser Punkt ist im klassischen Lebenszyklus der Übergang zur *Degenerationsphase*, die in diesem modifizierten Beispiel entfällt, da dort der Ausgangspunkt für den *Relaunch* erfolgen muss, damit keine negativen Gewinne akquiriert werden. Ein weiteres Ergebnis des direkten Anschlusses eines zweiten Zyklus, welcher durch Anwendung des *Crea-Solv®* Prozesses entstehen kann, ist der Verlust der *Forschungs- und Entwicklungs-, der Produktvorbereitung- und der Markteinführungsphase*.

Der zweite Zyklus beginnt direkt mit der *Wachstumsphase 2 (WP 2, Abbildung 15, Seite 39)*, welche durch einen starken Umsatzanstieg erfolgt, da das Produkt günstiger angeboten werden kann und das Bedürfnis nach umweltbewussten Produkten bei vielen Käufern, die somit neu gewonnen werden können, befriedigt werden kann. Die Zyklen der Kurven verlaufen ähnlich des ersten Zyklus in Parabelform, wodurch das „Werden und Vergehen“ des Produktes verdeutlicht wird. Die Veränderung im Verlauf, die deutlich sichtbar wird, ist die verkürzte Zykluszeit, welche auf die 95 prozentige Reinheit des Produktes zurück zu führen ist, wodurch die Halbwertszeit verringert wird. Diese 95 Prozent besitzen eine zweite Auswirkung auf die Kurven. Der Maximalpunkt der Umsatzkurve kann bei 95 Prozent des Maximums-*Umsatz 1-Punktes* angesetzt werden, da das Produkt, wie oben erwähnt, mit einer Reinheit von 95% hergestellt werden kann. Das Anfügen eines zweiten Zyklus sollte dennoch verhindern, dass die Kosten des zweiten Zyklus höher werden, als die des ersten Zyklus, da sonst eine solche Investition nicht rentabel ist. In diesem Zyklus sind die Kosten geringer, da zum einen die Maschinen zur Herstellung schon vorhanden sind und das benötigte Ausgangsmaterial zu nur 5 Prozent neu gekauft werden muss, da der Rest aus wiederaufbereiteten Material besteht. Der zweite Zyklus endet mit der *Degenerationsphase 2*, welche von dem Schnittpunkt der Kosten- mit der Umsatzkurve bis zur Periode 22 und der Eliminierung des Produktes auf dem Markt.

Die Darstellung des durch den *CreaSolv® Prozess* und das *Stoffstrommanagement* variierten Polystyrol-Produktlebenszyklus verdeutlicht, dass eine Erweiterung des Zyklus durch Wiederaufbereitung eine Verlängerung der Gewinnkurve ermöglicht und somit die Wirtschaftlichkeit eines Produktes erhöht werden kann. Die Betrachtung des Zyklus mit absoluten Werten lässt erkennen, dass theoretisch 95 Prozent des Umsatzes erneut generiert werden können und die Kosten sich langfristig verringern, da nur ein geringer Teil an neuen Rohstoffen für die Produktion hinzu gekauft werden muss.

Die folgende *Abbildung 16* veranschaulicht die Entsorgungsmengen an Polystyrol und anderer geschäumter Kunststoffe der Firma H. Nestler GmbH & Co. KG aus den Jahren 2005 bis 2016. Gesamt hat das Unternehmen in den elf Jahren des

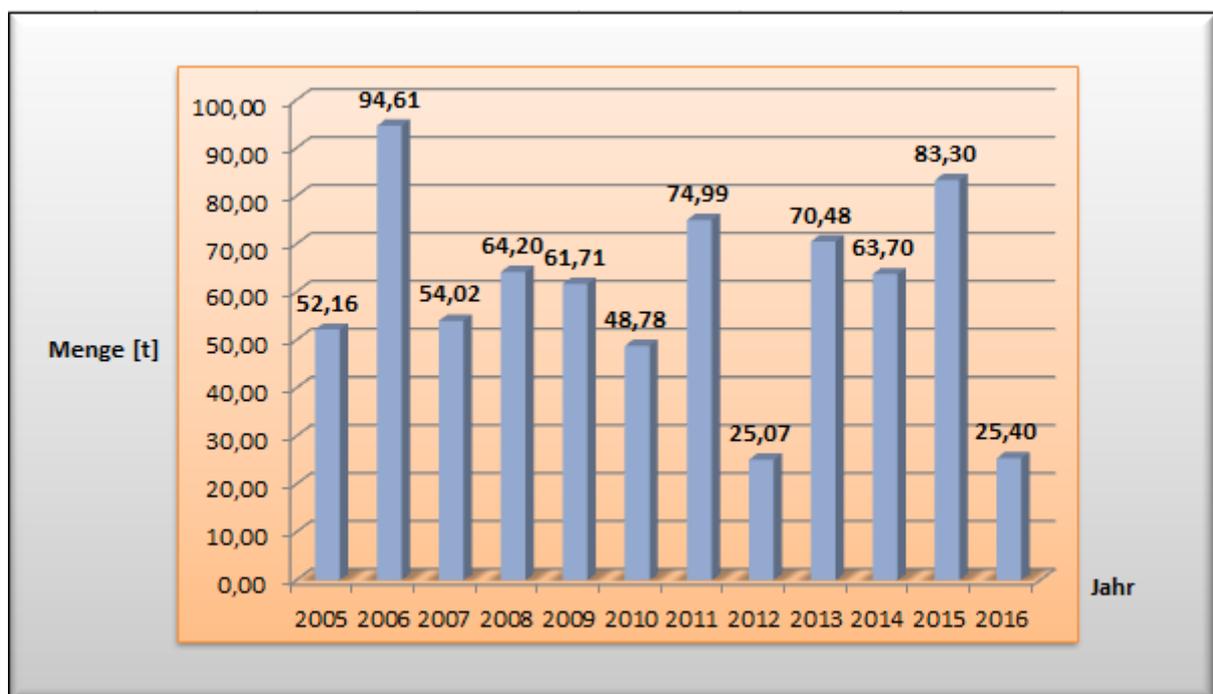


Abbildung 16: Entsorgungsmengen Polystyrol H. Nestler GmbH & Co. KG 2005 - 2016

Betrachtungszeitraumes 718,42 Tonnen (=718.420 Kilogramm) als Abfall angenommen und durch Verbrennung verwertet. Dies bedeutet, dass bei einem Annahmepreis der Müllverbrennungsanlage von 8 Euro<sup>24</sup> pro Kubikmeter, nur für die Entsorgung 35.921 Euro an Kosten entstanden sind. Es ist zu überlegen, die Aufbereitung zu realisieren und ein modifiziertes Polystyrol am Markt anzubieten. Der aktuelle Marktpreis befindet sich bei 1.070,00 Euro<sup>25</sup> pro Tonne. Betrachtet man die 95 %-tige

<sup>24</sup> Annahmepreis für Polystyrol in €/m<sup>3</sup> Preisliste, Preisliste AWN, Seite 2, Sansenhecken, 2015

<sup>25</sup> <http://plasticker.de/preise/marktbericht2.php?j=16&mt=1&quelle=bvse>

Qualität, ermittelt sich ein Verkaufspreis von 1.016,50 Euro pro Tonne. Demnach errechnet sich ein Umsatz von 768.709,40 Euro. Diesem Umsatz sind dementsprechend vorrangegangene Kosten für Maschinen, Personal, Produktionsmittel und Marketingkosten gegenüber zu stellen und es ist abzuwägen, ob eine solche Investition von Vorteil ist.

## 6 Resümee

Die angefertigte Arbeit zeigt auf, dass eine Wiederverwertung und Wiederaufbereitung des Polystyrols aus einem Wärmedämmverbundsystem durch Variationen zu Beginn und am Ende des Zyklus möglich ist. Durch die Bearbeitung der Themenstellung ist deutlich geworden, dass die Wiederverwertbarkeit schon zu Beginn des Lebenszyklus anfängt und durch ein *Stoffstrommanagement* konsequent in die Ablauforganisation eines Unternehmens integriert werden muss. Daraus ergibt sich die Erkenntnis, dass ein Abbruch- und Entsorgungsunternehmen, wie die Firma H. Nestler GmbH & Co. KG für diese Betrachtung eines kompletten Lebenszyklus nicht geeignet ist, da diese auf Grund ihrer Spezifikation nur am Ende des Zyklus agieren und nur auf die Entsorgungsweise Einfluss nehmen kann. Um einen vollständigen Lebenszyklus zu erhalten, müsste die Firma selbst die Technologie anschaffen und das modifizierte Polystyrol produzieren und vertreiben. Daher kann eine fortfolgende Betrachtung dieser Arbeit die Veränderung der Unternehmensstruktur eines Herstellers, in Folge der Veränderung des Lebenszyklus, sein. In diesem Zusammenhang würde auch die Weiterbearbeitung des *Kapitels 5.3* erfolgen, ob die theoretischen Werte der *Abbildung 15, Seite 39* mit Unternehmenskennzahlen belegt werden können. Die in diesem Kapitel ermittelten Werte sind Richtwerte zur Einhaltung der Zykluskurven, um die Theorien auf das Produkt Polystyrol anwenden zu können. Des Weiteren ist die alleinige Betrachtung des Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems nicht ausreichend, um die umfassende Betrachtung der Kunststoffabfälle bei Bauvorhaben zu erfassen. Die meisten Bauvorhaben verwerten eine Vielzahl von Kunststoffen, welche unter anderem in Rohren, Leitungen, Schalldämmungen, Fenstern und elektrotechnischen Ausstattungen vorhanden sind. In diesem Zusammenhang müssten Bauvorhaben komplett betrachtet werden. Dabei ist das Problem der Begriffsbestimmung aufgetreten, da der Lebenszyklus schwierig zu erfassen ist, da die Grenze zwischen Gebäudelebenszyklus und Produktlebenszyklus fließend sind und eine Abgrenzung schwierig ist.

Durch die Bearbeitung der Bachelorarbeit ist verdeutlicht worden, dass die Ansichten vieler Experten zur Nachhaltigkeit von Polystyrol nachvollziehbar sind. Polystyrol ist wartungsarm und langlebig und daher nur in geringen Mengen nach zu produzieren. Weiterführend betrachtet, würde das aber bedeuten, dass die momentanen Entsorgungsmengen nur durch das Ende der Halbwertszeit von Polystyrol entstehen, da die ersten Systeme in den 70er Jahren montiert wurden und diese nunmehr bei einer Halbwertszeit von 40 - 50 Jahren veraltet sind. Zum anderen wird verdeutlicht, dass es eine Vielzahl von Alternativen zum herkömmlichen Polystyrol WDVS gibt, wovon

einige noch in der Entwicklungsphase sind, andere jedoch schon Marktreife erlangt haben. Das Polystyrol stellt sich den Alternativen als starker Konkurrent entgegen, da es preiswert, schnell zu verarbeiten und sehr bekannt ist. Letztendlich ist der Bauherr ausschlaggebend, da seine Präferenzen und sein Umweltbewusstsein die Fassadengestaltung und den -aufbau bestimmen. Ein sehr treffendes Beispiel für minimalistische Ansprüche von Bauherren und eine Alternative zu großflächigen Gebäuden, wodurch gar kein oder nur sehr wenig Polystyrol verwendet wird, ist das *Tiny House* aus Portland, Oregon - USA. Diese Neuheiten von Einfamilienhäusern sind nur fünf mal Meter im Grundriss und haben eine Größe eines Wohnwagenanhängers und sind komfortabel und effektiv konstruiert. Durch diese Einschränkung der Gebäudegröße, würden eine Einsparung der anfallenden Polystyrolabfälle und ein Schutz der Umwelt auf diese Weise eintreten. Ein weiterer Schritt wäre es, die in *Kapitel 4.1.2* beschriebene *transparente Gebäudedämmung* weiter zu fördern und zu subventionieren, um Kunststoffabfälle zu vermeiden. Die Multifunktionale Thermowand, welche Energie speichert, abgibt, misst und umwandelt ist eine sinnvolle und langfristig kostensparende Alternative zum herkömmlichen Polystyrol.

Einen Hinweis auf die steigende Anhäufung der Kunststoffabfälle, die gemäß Statistischem Bundesamt im Jahr 2013 weltweit bei 295 Millionen Tonnen<sup>26</sup> lag ist enorm sinnvoll und ist durch weitere Thesen und Arbeiten zu überarbeiten, wie Alternativen zum Kunststoff gefunden werden können. Ein Ansatz könnte folgender Beitrag sein:

„Biologischer Abbau

2015 entdeckten Forscher der Stanford University, dass Mehlwürmer in der Lage sind, Polystyrol zu verzehren und in CO<sub>2</sub> und verrottbaren Kot zu zersetzen. Die Verzehrmenge lag bei 35–40 mg täglich. Nach dem einmonatigen Experiment konnte kein Unterschied zwischen dem Gesundheitszustand von Mehlwürmern festgestellt werden, die sich von Polystyrol ernährten und solchen, die konventionelle Nahrung zu sich nahmen. Der Verdauungsvorgang ist im Einzelnen bislang unerforscht.“<sup>27</sup>

Die Verlängerung des Lebenszyklus von Polystyrol eines Wärmedämmverbundsystems kann demnach ermöglicht werden und dessen Erfolg sollte durch den Bauherrn selbst entschieden werden.

---

<sup>26</sup> Weltweite Kunststoffabfälle 2005 bis 2013, de.statistik.com, 2015

<sup>27</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Polystyrol>

## Quellenverzeichnis

### Bücher:

ALBRECHT, Wolfgang, SCHWITALLA, Christoph, Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS - Möglichkeiten der Wiederverwertung von Bestandteilen des WDVS nach dessen Rückbau durch Zuführung in den Produktionskreislauf der Dämmstoffe bzw. Downcycling in die Produktion minderwertiger Güter bis hin zur energetischen Verwertung, Fraunhofer IRB Verlag, F 2932, Stuttgart 2015

AUMAYR Klaus, Erfolgreiches Produktmanagement – Tool-Box für das professionelle Produktmanagement und Produktmarketing, 4. Aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 59, Springer Science + Business Media, Wiesbaden 2016  
Baustoffkenntnis, 16. Auflage, Werner Verlag, Köln 2007

DREWER Arnold, PASCHKO Hanne, PASCHKO Kerstin, PATSCHKE Markus, Wärmedämmstoffe – Kompass zur Auswahl und Anwendung, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2013

HÖFT, Uwe, Lebenszykluskonzepte - Grundlagen für das strategische Marketing- und Technologiemanagement, Berlin, 1992

KOHLER Dr.-Ing. Guntram, Recyclingpraxis Baustoffe – Der Abfallberater für Industrie, Handel und Kommunen, , 2. Auflage, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln 1994

LIEBCHEN Jens H., VIERING Markus G., ZANNER Christian, Baumanagement und Bauökonomie - Aktuelle Entwicklungen, Teubner Verlag, Wiesbaden 2007

MEFFERT, Heribert; BURMANN, Christoph, KIRCHGEORG, Manfred, Marketing - Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung - Konzepte - Instrumente - Praxisbeispiele,; 10. Aufl., Wiesbaden, 2008

MÖTZL Hildegrund, ZELGER Thomas, Ökologie der Dämmstoffe – Grundlagen der Wärmedämmung-Lebenszyklusanalyse von Dämmstoffen optimale Dämmstandards, Springer-Verlag, Wien 2000

PEPELS Werner, Lexikon Produktmanagement, 2. Auflage, S. 140, Symposium Publishing GmbH, Düsseldorf 2010

SCHILD Kai, WEYERS Michael, WILLEMS Wolfgang M., Handbuch Fassadendämmsysteme – Grundlagen, Produkte, Details, 2. Auflage, Seite 23, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2010

SCHMID Jürgen, Transparente Wärmedämmung in der Architektur-Materialien – Technologie - Anwendung, 1. Auflage, C: F. Müller Verlag GmbH, Heidelberg 1995

SCHOLZ Dipl.-Ing. Wilhelm, KNOBLAUCH Prof. Dr.-Ing. Harald, HIESE Prof. Dipl.-Ing. Wolfram, BURKHARD, SCHULZE, DARUP, Bauökologie, Wiesbaden und Berlin 1996

SPENGLER, T.; SCHRÖTER, M.; WALTHER G.: Überbetriebliches Informationsflusskonzept zum stoffstrombasierten Supply-Chain-Management in der Elektro(nik)industrie, S. 773-786, Heidelberg 2001

TELLER Dr.-Ing. Matthias, PÜSCHEL Danny, Umweltgerechte Baustoffe – Graue Energie und Nachhaltigkeit von Gebäuden, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2013

WALTHER Grit, Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke-Überbetriebliche Steuerung und Planung von Stoffströmen entlang des Produktlebenszyklus, 1. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 2010

WEBER Frank, SPRUNGALA Markus, Energetische Sanierung – Potentiale erkennen und nutzen, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2012

WÖHE, Dr. Dr. h.c. mult. Günter, DÖRING, Dr. Ulrich, Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Verlag Franz Vahlen GmbH, München 2010

#### Internetadressen:

<http://www.baunetzwissen.de>

<http://www.bmub.bund.de>

<http://www.bundesbaublatt.de>

<http://www.creacycle.de>

<http://www.creacycle.de>

<http://www.daemmen-und-sanieren.de>

<http://www.de.statista.com>

<http://www.epea-hamburg.org>

<http://www.eumeps.org>

<http://www.finanzen.net>

<http://www.juris.de>

<http://www.umweltbundesamt.de>

<http://www.umweltbundesamt.de>

<http://www.wirtschaftslexikon.gabler.de>

<http://www.zuhause.de>

<https://de.wikipedia.org>

<https://www.energieheld.de>

<https://www.energie-lexikon.info>

<https://www.irbnet.de>

<https://www.tu-braunschweig.de>

<https://www.wiso-net.de>

### Merkblätter

Departement Bau, Verkehr und Umwelt Abteilung für Umwelt, Entfelderstrasse 22,  
5001 Aarau, Tel. 062 835 33 60, Fax 062 835 33 69, [umwelt.aargau@ag.ch](mailto:umwelt.aargau@ag.ch),  
[www.ag.ch/umwelt](http://www.ag.ch/umwelt)

### Proceedingsbeitrag

Projektplanungsmodelle und -methoden für den Rückbau von Bauwerken, Dr.  
SCHULTMANN, Frank, Seite 13, Bauhaus Universität, Weimar 2003

## Artikel:

Der CreaSolv®-Prozess – Technologischer Durchbruch beim Recycling von Kunststoffen aus Elektroschrott Dr. Andreas MÄURER, Seite 3, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising 2004

MM MaschinenMarkt - Technik Ticker, Heft 36, Seite 9, Vogel Business Media GmbH & Co. KG, GBI-Genios Deutsche Wirtschaftsdatenbank GmbH, 04.09.2006

„Our common future“, Gro Harlem BRUNDTLAND, Brundtland-Bericht, [www.google.de](http://www.google.de), 1987

"Verbrennung ist nicht das letzte Wort" Die Verfahren des Recycling liegen vor - Die Kunststoffwelt im Umbruch, BOENDEL, Burkhard, VDI Nachrichten, Nr. 046, Seite 024, 17.11.1989

„Wie werden HBCD-haltige Dämmstoffe abfallrechtlich eingestuft?“ unbekannter Autor, Umweltbundesamt, [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de), 25.07.2016

## Gesetze:

Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG ,Gesetz zur Förderung der Kreislauf-wirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, §1 Seite 5, 24.02.2012

## Offener Brief:

Antwort der Bundesregierung - Drucksache 18/4129, Seite 8, 26.02.2015 auf eine kleine Anfrage - Abgeordneten Christian KÜHN (Tübingen), Harald EBNER, Peter MEIWALD, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN

## **Anhangverzeichnis**

Anhang 1: „Übersicht Dämmstoffe“, Detail Praxis, Margit Pfundstein, Dr. rer. nat. Roland Gellert, Dr.-ing. Martin H. Spitzner, Prof.-Ing. Alexander Rudolphi, 1. Auflage, Seite 9, Aumüller Druck, Regensburg

Anhang 2: „Abfallbilanz 2013“, Auszug: Statistisches Jahrbuch 2015, Abschnitt 18.3, S. 453, Statistisches Bundesamt, 2015

**Wärmeleitfähigkeit** (typische Nennwerte)

<b>Wärmedämmstoff</b>	<b>Wärmeleitfähigkeit <math>\lambda</math> [W/(m·K)]</b>	<b>Norm oder Zulassung</b>
Aerogel	0,017–0,021	Zustimmung im Einzelfall
Baumwolle	0,040	gemäß Zulassung
Bims	0,060–0,080	gemäß Zulassung
Blähglas	0,070–0,093	gemäß Zulassung
Blähperlite (EPB)	0,045–0,070	DIN EN 13169
Blähton	0,085–0,10	gemäß Zulassung
Flachs	0,037–0,045	gemäß Zulassung
Getreidegranulat	0,050	gemäß Zulassung
Gipsschaum	0,045	gemäß Zulassung
Hanf	0,040–0,050	gemäß Zulassung
Harnstoff- Formaldehydharz- Ortschaum (UF)	0,035–0,040	DIN 18159
Holzfasern (WF)	0,040–0,090	DIN EN 13171
Holzwohle-Platten (WW)	0,090	DIN EN 13168
Kalziumsilikatschaum	0,045–0,065	gemäß Zulassung
Keramikfasern, Keramikschaume	0,030–0,070	gemäß Zulassung
Kokosfasern	0,040–0,050	gemäß Zulassung
Kork, expandiert (ICB)	0,045–0,060	DIN EN 13170
Melaminharzschäum (MF)	0,035	Keine Zulassung beantragt
Mineralwolle (MW)	0,035–0,045	DIN EN 13162
Phenolharzschäum (PF)	0,022–0,040	DIN EN 13166
Polyesterfasern	0,035–0,045	gemäß Zulassung
Polyethylenschaum (PE)	0,033	gemäß Zulassung
Polystyrol, expandiert (EPS)	0,035–0,040	DIN EN 13163
Polystyrolschäum, extrudiert (XPS)	0,030–0,040	DIN EN 13164
Polyurethan- Hartschaum (PUR)	0,024–0,030	DIN EN 13165
Pyrogene Kieselsäure	0,021	–
Schafwolle	0,040–0,045	gemäß Zulassung
Schaumglas (CG)	0,040–0,060	DIN EN 13167
Schilfrohr	0,055–0,090	gemäß Zulassung
Seegrass	0,043–0,050	gemäß Zulassung
Strohballen	0,038–0,072	gemäß Zulassung
Vakuum-Isolations- Paneel	0,002–0,008	Zustimmung im Einzelfall
Vermiculite, expandiert (EV), Blähglimmer	0,046–0,070	gemäß Zulassung
Wärmedämmziegel	0,080–0,140	gemäß Zulassung
Zellulosefasern	0,040–0,045	gemäß Zulassung

	Abfallaufkommen insgesamt	Davon Verbleib in Abfallentsorgungsanlagen mit							Verwertungsquote <sup>1)</sup>	Recyclingquote <sup>2)</sup>
		Beseitigungsverfahren				Verwertungsverfahren				
		zusammen	Ablagerung	thermische Beseitigung	Behandlung zur Beseitigung	zusammen	energetische Verwertung	stoffliche Verwertung		
1 000 t									%	
<b>Abfallaufkommen insgesamt</b>	<b>386 183</b>	<b>81 802</b>	<b>67 434</b>	<b>10 013</b>	<b>4 333</b>	<b>304 381</b>	<b>38 373</b>	<b>266 006</b>	<b>79</b>	<b>69</b>
Gefährliche Abfälle <sup>3)</sup>	23 986	7 842	4 331	1 556	1 955	16 144	2 559	13 585	67	57
Nicht gefährliche Abfälle <sup>3)</sup>	362 197	73 960	63 103	8 460	2 397	288 237	35 816	252 421	80	70
<b>Siedlungsabfälle<sup>4)</sup> insgesamt</b>	<b>49 370</b>	<b>6 469</b>	<b>135</b>	<b>5 286</b>	<b>1 098</b>	<b>43 100</b>	<b>11 471</b>	<b>31 629</b>	<b>87</b>	<b>64</b>
davon:										
Haushaltstypische Siedlungsabfälle	43 942	5 506	7	4 519	980	38 437	9 799	28 638	87	65
davon:										
Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt	14 028	4 895	–	4 002	893	9 133	7 069	2 064	65	15
Spermmüll	2 486	361	–	297	64	2 125	801	1 324	85	53
Abfälle aus der Biotonne	4 050	0	–	–	–	4 050	21	4 029	100	99
Garten- und Parkabfälle biologisch abbaubar	5 049	4	1	0	3	5 045	229	4 816	100	95
Andere getrennt gesammelte Fraktionen	18 329	246	7	219	20	18 084	1 679	16 405	99	89
Glas	2 516	2	2	0	–	2 515	172	2 343	100	93
Papier, Pappe, Kartonagen	7 609	16	–	2	14	7 592	59	7 533	100	99
gemischte Verpackungen/Wertstoffe	5 541	200	–	196	4	5 341	879	4 461	96	81
Elektroaltgeräte	597	0	–	–	0	597	1	596	100	100
Sonstiges (Verbunde, Metalle, Textilien usw.)	2 067	28	5	21	2	2 040	568	1 471	99	71
Sonstige Siedlungsabfälle	5 627	964	128	717	118	4 664	1 672	2 992	83	53
davon:										
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, getrennt vom Hausmüll angeliefert oder eingesammelt	3 840	726	3	647	76	3 114	1 552	1 563	81	41
Straßenkehricht/Garten- und Parkabfälle (Boden und Steine)	899	193	121	51	22	706	54	652	79	72
Biologisch abbaubare Küchen- und Kantinenabfälle	634	5	–	1	4	628	43	585	99	92
Marktabfälle	72	9	–	8	2	62	1	61	87	85
Leuchtstoffröhren und andere quecksilberhaltige Abfälle	7	0	0	–	0	6	0	6	93	93
Andere getrennt gesammelte Fraktionen	176	30	4	11	14	147	22	125	83	71
<b>Abfälle aus Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen</b>	<b>29 250</b>	<b>28 914</b>	<b>28 898</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>336</b>	<b>6</b>	<b>330</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Bau- und Abbruchabfälle</b>	<b>202 735</b>	<b>22 062</b>	<b>21 111</b>	<b>132</b>	<b>820</b>	<b>180 672</b>	<b>1 498</b>	<b>179 174</b>	<b>89</b>	<b>88</b>
darunter:										
Boden (einschl. Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut	115 509	16 964	16 236	14	714	98 545	6	98 539	85	85
<b>Übrige Abfälle (insbesondere aus Produktion und Gewerbe)</b>	<b>57 577</b>	<b>17 659</b>	<b>13 046</b>	<b>2 998</b>	<b>1 614</b>	<b>39 918</b>	<b>10 312</b>	<b>29 606</b>	<b>69</b>	<b>51</b>
<b>Sekundärabfälle<sup>5)</sup></b>	<b>47 052</b>	<b>6 697</b>	<b>4 244</b>	<b>1 649</b>	<b>804</b>	<b>40 354</b>	<b>13 088</b>	<b>27 267</b>	<b>86</b>	<b>54</b>

Vorläufiges Ergebnis.

- 1 Anteil des Inputs aller mit einem Verwertungsverfahren eingestuften Behandlungsanlagen am Abfallaufkommen insgesamt.
- 2 Anteil des Inputs aller mit dem Verfahren „Stoffliche Verwertung“ eingestuften Behandlungsanlagen am Abfallaufkommen insgesamt.
- 3 Die Abfallarten sind durch die Abfallverzeichnisverordnung bestimmt. Gefährliche Abfälle im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sind dort mit einem Sternchen (\*) versehen. Alle anderen gelten als nicht gefährliche Abfälle.

4 Siedlungsabfälle: Haushaltsabfälle und andere Abfälle, die aufgrund ihrer Beschaffenheit oder Zusammensetzung den Abfällen aus Haushalten ähnlich sind, z. B. hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Marktabfälle, Straßenkehricht.

5 Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen ohne Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen (EAV 1908), Abfälle aus der Zubereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch oder industriellem Brauchwasser (EAV 1909), Abfälle aus der Sanierung von Böden und Grundwasser (EAV 1913) und Sekundärabfälle, die als Rohstoffe/Produkte aus dem Entsorgungsprozess herausgehen.

## Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Thema

**„Die Analyse des Lebenszyklus eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems (WDVS) unter besonderer Beachtung der Wiederverwertbarkeit.“**

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

3. dass ich meine Bachelorarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

**Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.**

**Dresden, 22.08.2016**

---

Ort, Datum

---

Unterschrift Student

## Freigabeerklärung

Hiermit erklären wir uns einverstanden, dass die Bachelorthesis des Studenten

Name, Vorname: Labetzsch, Richard      SG : Baubetriebsmanagement

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

**„Die Analyse des Lebenszyklus eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems (WDVS) unter besonderer Beachtung der Wiederverwertbarkeit.“**

Dresden, 22.08.2016

Ort, Datum

.....

Stempel, Unterschrift des Praxispartners

Arbeit zur Veröffentlichung freigegeben: ja  nein

.....

Datum Unterschrift Leiter/in d. Studiengangs

## Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten

Die Bewertung wissenschaftlicher Arbeiten erfordert die Prüfung auf Plagiate. Die hierzu von der Staatlichen Studienakademie Glauchau eingesetzte Prüfungskommission nutzt sowohl eigene Software als auch diesbezügliche Leistungen von Drittanbietern. Dies erfolgt gemäß § 7 des Gesetzes zum Schutz der informationellen Selbstbestimmung im Freistaat Sachsen (Sächsisches Datenschutzgesetz - SächsDSG) vom 25. August 2003 (rechtsbereinigt mit Stand vom 31. Juli 2011) im Sinne einer Datenverarbeitung im Auftrag.

Der Studierende bevollmächtigt die Mitglieder der Prüfungskommission hiermit zur Inanspruchnahme o. g. Dienste. In begründeten Ausnahmefällen kann der Datenschutzbeauftragte der Staatlichen Studienakademie Glauchau sowohl vom Verfasser der wissenschaftlichen Arbeit als auch von der Prüfungskommission in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

<b>Name:</b>	Labetzsch
<b>Vorname:</b>	Richard
<b>Matrikelnummer:</b>	4001281
<b>Studiengang:</b>	Baubetriebsmanagement
<b>Titel der Arbeit:</b>	„Die Analyse des Lebenszyklus eines Polystyrol-Wärmedämmverbundsystems (WDVS) unter besonderer Beachtung der Wiederverwertbarkeit.“
<b>Datum:</b>	22.08.2016
<b>Unterschrift:</b>	