



Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe

---

## **Analyse von Stoffströmen und Werkstofftechnologien in Europa und Österreich**

---

Masterarbeit

**Verfasser:** Michael Schick, BSc

**Matrikelnummer:** 01140458

**Masterstudium:** Umwelt- und Bioressourcenmanagement

**Betreut von:** Alfred Teischinger, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c.

Andreas Windsperger, Univ. Doz. Dr.

Wien, April 2018

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich bei allen Menschen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Dieser Dank gebührt in erster Linie meinem Betreuer Herrn Univ. Prof. Dr. Alfred Teischinger, der sich stets Zeit genommen hat, um mir mit fachlicher Kompetenz und Erfahrung eine enorme Unterstützung zu sein. Ebenso möchte ich meine Wertschätzung an Herrn Dr. Andreas Windsperger für die fachlich kritische Diskussion und Frau Mag. Pia Scherleithner für das Korrekturlesen der Arbeit richten.

Meine von Herzen kommende Danksagung gilt all jenen Menschen, die mich in den Jahren meines Studiums auf unterschiedlichste Weise unterstützt haben. Dies war vor allem meine Familie, die mir in fordernden Zeiten den nötigen Halt gegeben hat. Unersetzbar war in diesen Jahren und allen Lebenslagen die volle Unterstützung meiner Eltern. Vor allem hat mir deren finanzielle Hilfestellung erst diese bereichernde Zeit an der Universität für Bodenkultur ermöglicht.

Meiner Lebensgefährtin Julia möchte ich ebenfalls meine tiefste Anerkennung und Wertschätzung für die immerwährende Unterstützung aussprechen – ein Fels in der Brandung, der mir bei starkem Seegang stets Halt gegeben hat.

## Kurzfassung

Rund neun Millionen Tonnen Holz werden jedes Jahr in Österreich eingeschlagen. Etwa dieselbe Menge an Erdöl verarbeitet die OMV in der Raffinerie Schwechat jährlich. Neben Eisenerz werden in der EU rund 90 Megatonnen Eisen- und Stahlschrott eingeschmolzen, um daraus Stahl zu gewinnen – diese Dimension ist in der Größenordnung der Menge an Glas, die in allen Mitgliedsländern der Europäischen Union zusammen hergestellt wird. 1993 wurde die Primärproduktion von Aluminium in Österreich eingestellt, wohingegen in der EU jährlich circa sechs Megatonnen an Aluminiumoxid zu Primäraluminium weiterverarbeitet wurden.

Um Vergleiche dieser Art und weitere Erkenntnisse gut sichtbar darzustellen, werden in der vorliegenden Arbeit die Materialflüsse von Holz, Stahl, Zement, Kunststoff, Aluminium und Glas in Bezug auf die entsprechenden Herstellungstechnologien und Prozesse untersucht. Die Datenerhebung wurde vorwiegend mittels Recherche in Branchenberichten, Publikationen der Statistik Austria, wissenschaftlichen Arbeiten, Montanhandbüchern, Daten aus Eurostat und Geschäftsberichten der einzelnen Branchenverbände durchgeführt. Zu Buche stehen zwölf Diagramme, die schematisch an die Darstellungsmethode nach Sankey angelehnt sind. In diesen Flussdiagrammen sind Ergebnisse der Untersuchungen bezüglich der genannten Werkstoffe illustriert, wobei sich Vergleiche zwischen den einzelnen Technologien und den damit verbundenen Materialflüssen auf Ebene Österreich und der EU ableiten lassen. Nicht Teil der Untersuchungen sind die Vergleiche der Industrien hinsichtlich monetärer Kennzahlen. Ebenso wird die Thematik der Energieflüsse und der Prozessenergie innerhalb der Branchen ausgeklammert. Dagegen werden die Branchen in Bezug auf deren Bedeutung innerhalb Österreichs und auf Ebene der EU hinsichtlich der globalen Stellung analysiert. Dieses Vorgehen zielt darauf ab, das Agieren der Industrien transparenter zu gestalten und somit die grafischen Darstellungen für den Leser besser zugänglich zu machen.

## **Abstract**

About 9 million tons of wood are harvested in Austria each year. In the same time almost the same quantity of crude oil is processed at the refinery Schwechat owned by OMV. Besides iron ore, the European Union melts about 90 million tons of iron scrap in order to make this metal reusable again. The dimension of the EU- glass production (100 mt) is comparable regarding this quantity. In the year 1993 the primary production of aluminium was stopped in Austria, whereas the EU still processes about 6 megatons of aluminium oxide a year to primary aluminium.

In order to make comparisons and further findings well presentable, the following work addresses the thematic of the material flows concerning wood, steel, cement, plastic, aluminium and glass regarding their production technologies. The data was primarily gathered by researching various sector reports, publications from Statistik Austria, scientific publications, specific handbooks, Eurostat and business reports of single sector associations. The results are illustrated in 12 Sankey diagrams, which show the technologies of each material flow in Austria as well as in the EU. These findings allow comparisons of the specific production technologies based on the flow of materials. Nevertheless the different sectors are analysed concerning their significance within Austria and in the EU with regard to their global position. The aim is to enhance the transparency of the operations of these industries and generate a graphical representation thus making it more accessible for the reader.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	2
Kurzfassung .....	3
Abstract .....	4
1. Einleitung.....	9
1.1 Kernfragen der Arbeit.....	10
1.2 Zielsetzung und Methoden.....	10
1.3 Arbeitshypothesen .....	12
2. Begriffsdefinitionen.....	13
3. Analyse der Werkstoffe und Werkstoffflüsse .....	14
3.1 Holz - Österreich.....	14
3.1.1 Forst- und Holzwirtschaft in Österreich .....	14
3.1.2 Analyse der Holzflüsse in Österreich .....	16
3.1.2.1 Papier- und Zellstoffindustrie.....	18
3.1.2.2 Säge- und Plattenindustrie .....	20
3.2 Holz – EU.....	20
3.2.1 Forst- und Holzwirtschaft in Europa.....	20
3.2.2 Analyse der Holzflüsse in der EU .....	21
3.2.2.1 Papier- und Zellstoffindustrie.....	22
3.2.2.2 Säge- und Plattenindustrie .....	24
3.3 Stahl – Österreich .....	25
3.3.1 Stahlindustrie in Österreich.....	25
3.3.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Stahlindustrie.....	26
3.3.2.1 Erzgewinnung, Erzaufbereitung und Erzvorbereitung in Österreich .....	26
3.3.2.2 Schmelzprozess, Frischen und Gussprozess - Österreich.....	27
3.4 Stahl – EU.....	30
3.4.1 Stahlindustrie in der EU.....	30
3.4.2 Analyse der Materialflüsse in der EU – Stahlindustrie .....	31
3.4.2.1 Erzgewinnung, Erzaufbereitung und Erzvorbereitung in der EU.....	31
3.4.2.2 Schmelzprozess, Frischen und Gussprozess – EU.....	32
3.5 Zement – Österreich.....	34
3.5.1 Zementindustrie in Österreich .....	34
3.5.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Zement-industrie .....	35

3.6 Zement – EU .....	38
3.6.1 Zementindustrie in der EU .....	38
3.6.2 Analyse der Materialflüsse in der Zementindustrie – EU .....	39
3.7 Kunststoff – Österreich.....	41
3.7.1 Kunststoffindustrie in Österreich .....	41
3.7.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Kunststoff-industrie .....	41
3.8 Kunststoff – EU .....	44
3.8.1 Kunststoffindustrie in der EU .....	44
3.8.2 Analyse der Materialflüsse in der Kunststoffindustrie – EU.....	45
3.9 Aluminium - Österreich .....	47
3.9.1 Aluminiumindustrie in Österreich .....	47
3.9.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Aluminium-industrie .....	48
3.10 Aluminium – EU .....	51
3.10.1 Aluminiumindustrie in der EU .....	51
3.10.2 Analyse der Materialflüsse in der Aluminiumindustrie – EU .....	52
3.11 Glas –Österreich .....	54
3.11.1 Glasindustrie in Österreich.....	54
3.11.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Glasindustrie.....	55
3.12 Glas – EU.....	57
3.12.1 Glasindustrie in der EU .....	57
3.12.2 Analyse der Materialflüsse in der Glasindustrie – EU .....	58
4. Diskussion.....	60
4.1 Grundsätzliche Überlegungen zur Bewertung der Materialflüsse und der Leistungsfähigkeit von Werkstoffen.....	60
4.2 Diskussion der Methoden .....	62
4.3 Diskussion der Ergebnisse .....	64
5. Zusammenfassung und Ausblick .....	67
6. Berechnungen und Quellenverweise der Daten .....	68
7. Literaturverzeichnis.....	76

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Holzindustrie - Österreich.....	68
Tabelle 2: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Holzindustrie - EU .....	70
Tabelle 3: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Stahlindustrie - Österreich.....	71
Tabelle 4: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Stahlindustrie - EU .....	71
Tabelle 5: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Zementindustrie - Österreich.....	72
Tabelle 6: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Zementindustrie - EU .....	73
Tabelle 7: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Kunststoffindustrie – Österreich .....	73
Tabelle 8: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Kunststoffindustrie - EU .....	74
Tabelle 9: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Aluminiumindustrie - Österreich.....	74
Tabelle 10: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Aluminiumindustrie - EU .....	75
Tabelle 11: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Glasindustrie - Österreich.....	75
Tabelle 12: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Glasindustrie - EU .....	76

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung von Materialflüssen und Herstellungsverfahren für die ausgewählten Materialien bzw. Werkstoffe, jeweils vom Rohstoff zum Material bzw. Werkstoff .....	10
Abbildung 2: Holzflüsse in Österreich 2015; Prozessinterne energetische Nutzung von Holz/Koppelprodukten ist nicht ausgewiesen (Werte in Megatonnen mt).....	17
Abbildung 3: Holzflüsse in der EU 2015; Prozessinterne energetische Nutzung von Holz/Koppelprodukten ist nicht ausgewiesen (Werte in Megatonnen mt).....	23
Abbildung 4: Die größten Stahlherstellungsbetriebe in Österreich.....	25
Abbildung 5: Materialflüsse in der Stahlindustrie - Österreich 2015 (Werte in Megatonnen mt) .....	28
Abbildung 6: Materialflüsse in der Stahlindustrie – EU 2015 (Werte in Megatonnen mt).....	33
Abbildung 7: Zementwerkstandorte in Österreich .....	34
Abbildung 8: Materialflüsse in der Zementindustrie - Österreich 2014 (Werte in Megatonnen mt).....	37
Abbildung 9: Materialflüsse in der Zementindustrie - EU 2014 (Werte in Megatonnen mt) .....	40
Abbildung 10: Materialflüsse in der Kunststoffindustrie - Österreich 2015 (Werte in Megatonnen mt) .....	43
Abbildung 11: Materialflüsse in der Kunststoffindustrie – EU 2015 (Werte in Megatonnen mt) .....	46
Abbildung 12: Materialflüsse in der Aluminiumindustrie - Österreich 2015 (Werte in Kilotonnen kt) .....	49
Abbildung 13: Materialflüsse in der Aluminiumindustrie - EU 2015 (Werte in Kilotonnen kt) ..	53
Abbildung 14: Materialflüsse in der Glasindustrie - Österreich 2015 (Werte in Kilotonnen kt).	56
Abbildung 15: Materialflüsse in der Glasindustrie - EU 2015 (Werte in Kilotonnen kt) .....	59
Abbildung 16: Stapelbarer Stuhl .....	61

# 1. Einleitung

Die herstellenden und verarbeitenden Industrien der Werkstoffe Holz, Stahl, Aluminium, Zement, Glas und Kunststoff sind bedeutende Treiber der österreichischen und europäischen Wirtschaft. Zur Herstellung von Zement werden verschiedene Rohstoffe in verschiedenen Mengen benötigt und verarbeitet. Dies beginnt beispielsweise im Bergbau und endet beim Verkauf von Zement an die Bauindustrie. Die Materialwirtschaft im Holz- und Forstsektor beginnt mit dem Holzeinschlag im Wald, bis hin zu der Herstellung von Massivholzprodukten und Holzwerkstoffen, Zellstoff und Papier sowie der Nutzung von Holz als Energieträger. Aluminium wird in Europa zum Teil aus dem Primärrohstoff Bauxit hergestellt und zum Teil aus dem Sekundärrohstoff Aluminiumschrott. Stahl wird in Österreich über die Hochofenroute durch Reduktion von Eisenerz erzeugt oder im Elektrolichtbogenverfahren, wobei große Mengen an elektrischem Strom zur Einschmelzung von Eisenschrott benötigt werden. Rohöl gilt als Rohstoff für die meisten Kunststoffe und in Form von Treibstoff als nicht verzichtbares Gut für das Funktionieren der Weltwirtschaft. Glas wird in großen Mengen für technische Gläser produziert und auch als Schmuck weiterverarbeitet oder unter anderem für die Erzeugung von Trinkgläsern bzw. Behältern zur Aufbewahrung von Flüssigkeiten. In ihrem Handbuch Materialtechnologie gibt Stattmann (2003) einen vielseitigen und zugleich populärwissenschaftlichen Überblick zur Vielfalt heutiger Materialtechnologien und Einsätze der Materialien.

Dieser kurze Einblick soll verdeutlichen, wie vielseitig die Verwendung, beziehungsweise Verarbeitung und technisch unterschiedlich die Herstellung dieser aus der Materialvielfalt sechs oben genannten bzw. ausgewählten Werkstoffe ist. Die Mengen an Ausgangsstoffen oder Zwischenprodukten, die hierbei zum Einsatz kommen oder durch unterschiedliche Verfahren erzeugt und verarbeitet werden, können zum Beispiel in einschlägigen Tabellen oder Datenbanken erfasst werden. Aus dieser Arbeit sollen jedoch Grafiken resultieren, die die Herstellung dieser sechs ausgewählten Werkstoffe auf Ebene Österreichs und der Europäischen Union darstellen. Genauer gesagt sollen Flussdiagramme, die die Herstellungstechnologien und die Materialflüsse in den genannten Industrien illustrieren, entwickelt werden. Dies soll den Effekt mit sich bringen, dass im Vergleich zu einer tabellarischen Ansicht oder textlichen Niederschrift bei der Betrachtung von Flussdiagrammen ein guter Überblick und ein leichteres Verständnis für die mengenmäßige Bedeutung einer Industrie oder eines Werkstoffes, auch im Vergleich zu den anderen Werkstoffen, gewonnen werden kann. Ein Verständnis soll vor allem in Anbetracht dessen erzeugt werden, dass Erkenntnisse durch den Vergleich der Materialflüsse und deren Herstellungstechnologien in Österreich und der EU gewonnen werden können.

## 1.1 Kernfragen der Arbeit

Welche Methode der Darstellung der Materialflüsse in Bezug auf die entsprechenden Technologien und Prozesse ist geeignet, um Analysen und Rückschlüsse auf die aktuellen Flüsse und Entwicklungen abzuleiten?

Welche Erkenntnisse lassen sich durch den Vergleich der Materialflüsse und deren Herstellungstechnologien in Österreich und EU-28 gewinnen?

## 1.2 Zielsetzung und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wird, wie bereits beschrieben, die Idee verfolgt, den Fluss von Materialien vom Rohstoff zu Werkstoffen entlang deren Herstellungstechnologien auf der Ebene von Österreich und der EU-28 darzustellen. In Abbildung 1 ist die schematische Darstellung illustriert, die entsprechend für die Herstellung der verschiedenen Werkstoffe angepasst wurde.

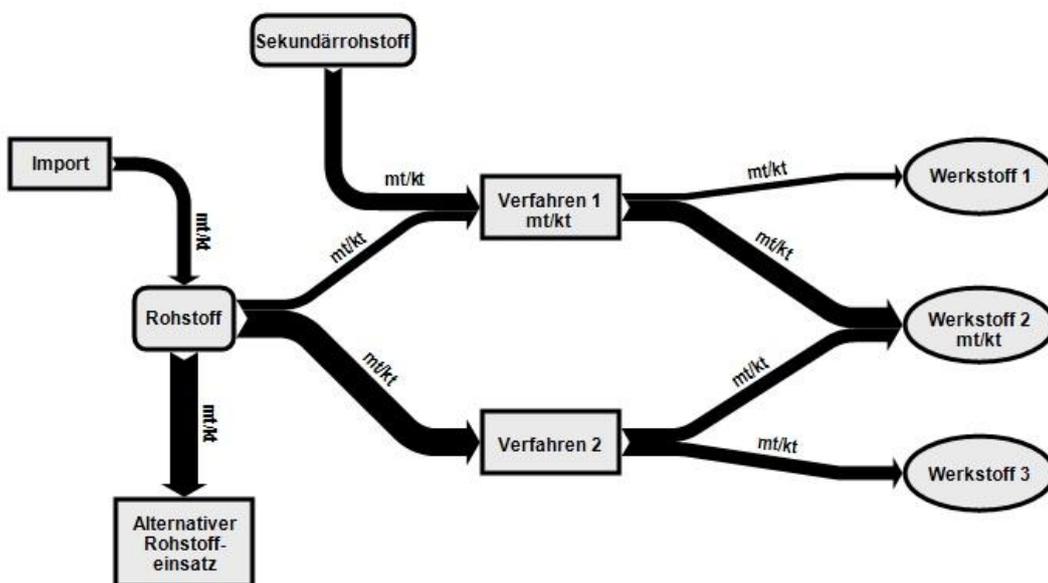


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Materialflüssen und Herstellungsverfahren für die ausgewählten Materialien bzw. Werkstoffe, jeweils vom Rohstoff zum Material bzw. Werkstoff

Die Mengenangaben wurden an den Pfeilen, welche den Materialfluss darstellen, in Megatonnen (mt) oder Kilotonnen (kt) angeführt. Die Mengenangaben unter diversen Verfahren oder Werkstoffen stellen die Summe der Pfeile dar, wenn mehr als ein Pfeil zu einem Knotenpunkt führt. Bewusst wurde die Erfassung der Materialflüsse auf der allgemeinen Werkstoffebene (z.B. Schnittholz, Holzwerkstoffe, Stahl, ..... ) abgebro-

chen. Eine weitere Erfassung in die jeweilige Produktschiene bzw. Endanwendung (z.B. unlegierter Stahl, niedrig legierter Stahl, hochlegierter Stahl, Stahlguss, etc.) hätte den Umfang der Arbeit gesprengt.

Nach ersten Überlegungen zu Beginn der Arbeit stand die Frage im Raum, welche räumliche und zeitliche Systemgrenze gesetzt werden soll. Es wurde die Entscheidung getroffen, dass Österreichs Materialflüsse innerhalb eines bestimmten Jahres dargestellt werden sollen, da entsprechende aktuellere Datenanalysen nicht vorhanden sind beziehungsweise die Verbindung von Herstellungstechnologien und Materialflüssen im Rahmen einer ausführlichen Literaturrecherche in keiner Niederschrift ausgemacht werden konnte. Um Anhaltspunkte zu generieren und die auf Österreich bezogenen Zahlen relativieren zu können, sollte in der Arbeit ebenfalls innerhalb einer zweiten räumlichen Systemgrenze die gleiche Fragestellung behandelt werden. Anfangs wurde angedacht, dies auf globaler Ebene zu betrachten. Auf Grund der Tatsache, eine Einheitlichkeit und Kohärenz hinsichtlich der Daten erzeugen zu wollen, wurde wegen der Gefahr, die geforderte Entität und Semantik innerhalb der zu untersuchenden Datensätze nicht vorzufinden, die Analyse auf globaler Ebene verworfen. Somit wurde die Grenze Europa gewählt, innerhalb derer die Untersuchungen durchgeführt werden sollten. Hierbei wurde erst nach einiger Recherche die Ebene EU-28 gewählt, da die Annahme bestand, die gewünschte Einheitlichkeit und Kohärenz hier am besten erzeugen zu können und die benötigte Datenverfügbarkeit vorzufinden.

Als Bezugsjahr wurde 2015 festgelegt, da dieses zwei Anforderungen am besten erfüllt: Diese sind die Aktualität und die Vollständigkeit der Daten, welche für alle Materialien zutreffen sollten. Hierbei sei erwähnt, dass bei einigen Stoffen die benötigten Daten im Folgejahr noch nicht zugänglich und abrufbar sind.

Folgende Materialien, deren Flüsse und Herstellungstechnologien, sind die Untersuchungsobjekte:

1. Holz
2. Stahl
3. Zement
4. Kunststoff
5. Aluminium
6. Glas

Anhand dieser sechs Stoffe wurde die Entwicklung einer passenden Struktur und Darstellungsmethode durchgeführt. Ziel dieser Arbeit ist es, Analysen und Rückschlüsse der aktuellen Flüsse und Entwicklungen ableiten zu können. Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass die Auswahl der Materialien auf Basis der Literaturrecherche sowie der mengenmäßigen Bedeutung erfolgte.

Zu Beginn wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt und auf die hierbei entstandenen Ergebnisse Bezug nehmend, in mehrmaligen Diskussionen mit dem Betreuer der Arbeit erarbeitet, anhand welcher Fragestellung Darstellungsmethoden erstellt werden sollen. Hierbei wurde der Entschluss getroffen, einzelne Prozessschritte nach deren Technologien unterschiedlich darzustellen, wobei hierbei nur Hauptprozessschritte einbezogen werden sollten. Es wurden alle Herstellungstechnologien beziehungsweise am Beispiel von Holz deren Verarbeitungstechnologien untersucht und die Ergebnisse zu Papier gebracht. Die dadurch entstandene Skizze enthielt alle für Österreich zur Anwendung kommenden Verfahren und Hauptprozessschritte, wobei Mengenflüsse, die diese durchlaufen, erarbeitet beziehungsweise abgeleitet hätten werden sollen. Dies konnte in weiterer Folge nicht umgesetzt werden und die Flussdiagramme mussten angepasst werden. Die Ursache dafür war, dass es für die meisten Verfahren nicht möglich war, Zahlen und Daten zu erheben. Die Umstrukturierung folgte der Vorgehensweise, nur jene Hauptprozessschritte und Unterteilungen (z.B. Laubholz/Nadelholz) darzustellen, denen Massenflüsse zugerechnet werden können. Die Daten wurden durch Onlinerecherche erhoben. Es wurden hierbei insbesondere Branchenberichte, Publikationen der Statistik Austria, wissenschaftliche Arbeiten, Montanhandbücher, Daten aus Eurostat und Geschäftsberichte der einzelnen Branchenverbände verwendet. Zusätzlich dazu wurde versucht, mittels Kontaktaufnahme zu den Personen, welche bei den eben genannten Quellen angeführt sind, zusätzliche Informationen zu den publizierten Daten und Mengenangaben zu erlangen. Hierbei wurde jedoch nur in wenigen Fällen geantwortet. Bei fünf der sechs Materialien entsprach die angegebene Bezugseinheit (Tonnen) den geforderten Ansprüchen. Lediglich bei Holz musste von Erntefestmeter auf Tonnen umgerechnet werden. Dies wurde bei Laubholz mit dem Faktor 0,6 t/Efm und bei Nadelholz mit 0,5 t/Efm vorgenommen. Nicht Ziel der Untersuchung und folglich auch nicht in den Grafiken dargestellt, sind die Flüsse der Betriebs- und Hilfsstoffe, welche in den jeweiligen Branchen zum Einsatz kommen. Als Beispiel sei hier der Koks, welcher beim Hochofenprozess in der Stahlindustrie eingesetzt wird, genannt.

### **1.3 Arbeitshypothesen**

Folgende Arbeitshypothesen wurden zu Beginn der Arbeit festgelegt und werden durch die vorliegende Untersuchung entweder verifiziert oder falsifiziert:

- Das Verständnis und die Bedeutung einer Branche lässt sich nur durch eine durchgängige und gut strukturierte Darstellung wichtiger Branchenkennzahlen herstellen.

- Branchenvergleiche sind nur möglich, wenn vergleichbare und kohärente Datenstrukturen vorliegen.
- Technologievergleiche sowohl innerhalb einer Branche als auch zwischen den Branchen sind nur mit Bezug auf die zwei oben dargestellten Forderungen möglich.
- Technologiedarstellungen, Technologievergleiche, Schlüsselkennzahlen und Schlüsselinformationen sind für die Bewusstseinsbildung und die Öffentlichkeitsarbeit einer Branche von Bedeutung.

## 2. Begriffsdefinitionen

Vorweg sollen in diesem Kapitel einige Begriffe definiert werden, deren einheitliche Begriffsbestimmungen für das Verständnis der weiteren Arbeit von Bedeutung sind.

**Material** = Stoff, Werkstoff oder Rohstoff aus dem etwas besteht oder gefertigt wird (Duden, 2010, 650)

**Produkt** = ein im technischen Wege hergestelltes Gut (Wikipedia, 2016, s.p.); Etwas, was aus bestimmten Stoffen hergestellt, das Ergebnis menschlicher Arbeit ist (Duden, s.a., s.p.)

**Werkstoff** = ein für die Konstruktion geeigneter fester Stoff, den der Mensch für den Bau von Maschinen, Apparaten, technischen Einrichtungen einschließlich Gebäuden, jedoch auch als Ersatz von Körperteilen oder zur Realisierung künstlerischer Vorstellungen nutzt (Schönbucher, s.a., 1)

**Werkstofftechnologie** = die Lehre von der Erzeugung der Werkstoffe und ihrer Verarbeitung zu Halb- und Fertigprodukten sowie wichtiger Behandlungsverfahren zum Erzielen bestimmter Eigenschaften (Ruge und Wohlfahrt, 2013, 1)

**Stoff** = jede Art von Materie, das heißt die Erscheinungsarten, die gekennzeichnet sind durch ihre von Ort zu Ort gleichbleibenden charakteristischen Eigenschaften, unabhängig von der äußeren Form (Römpf, 1997, s.p. zitiert nach Uhrich, 2010, 36)

**Stoffstrom** = der Weg eines Stoffes von seiner Gewinnung als Rohstoff über die verschiedenen Stufen der Veredelung bis zur Stufe des Endprodukts, des Gebrauchs/Verbrauchs des Produktes, gegebenenfalls seiner Wiederverwen-

dung/Verwertung bis zu seiner Entsorgung (Enquete-Kommission, 1993, s.p. zitiert nach Schmidt und Schorb, 1995, 6)

## **3. Analyse der Werkstoffe und Werkstoffflüsse**

### **3.1 Holz - Österreich**

#### **3.1.1 Forst- und Holzwirtschaft in Österreich**

In Österreich ist eine Fläche von rund 40 000 Quadratkilometern bewaldet. Dies entspricht in etwa der Hälfte der österreichischen Staatsfläche (Russ, 2011, 3). Der österreichische Wald wird von einigen Baumarten dominiert. Die dominante Art bei den Nadelhölzern ist die Fichte mit rund 51%, bezogen auf den Ertragswald in den Erhebungsjahren 2007/2009. Bei den Laubbäumen dominiert die Buche mit circa 10%, ebenfalls auf die gleiche Basis bezogen (Russ, 2011, 5). Generell lässt sich sagen, dass die Sparte der Holzwirtschaft ein beträchtlicher Treiber der österreichischen Ökonomie ist. Hierbei lässt sich der Begriff der Sparte aber relativ weit dehnen, denn ausgehend vom Rohstoff Holz können viele weitere Industrien entstehen. Anders ausgedrückt ist es die Forstwirtschaft, welche viele weitere Industrien mit dem Rohstoff Holz versorgt. Der sogenannte waldbasierte Sektor trägt nach dem Tourismus am zweitmeisten zur heimischen Leistungsbilanz bei. Hierbei ist ein durchaus nennenswerter Aspekt jener, dass dieser Sektor vor allem in strukturschwachen Regionen Arbeitsplätze schafft (Teischinger und Tiefenthaler, 2009, 17). Von allen 17 Industriezweigen in Österreich ist die österreichische Holzindustrie jene mit den meisten Beschäftigten. Rund 25500 Arbeitnehmer sind in dieser Branche beschäftigt oder beziehen zumindest ein Teileinkommen aus dem Sektor (Fachverband der Holzindustrie Österreichs, 2016, 6).

Ein besonderer Aspekt des österreichischen Waldes ist, dass dieser zu rund 80% in Privatbesitz ist. Dieser Anteil ist zu zwei Drittel im Besitz von bäuerlichen Kleinbetrieben, welche vergleichsweise kleine Flächen mit unter 200 Hektar bewirtschaften (Russ, 2011, 3). Diese Tatsache ist mitverantwortlich, warum in Österreich der Wald unternutzt wird. Dies bedeutet, dass nicht die entsprechende Menge an Holz genutzt wird, welche durch den dauernden Nachwuchs geerntet werden könnte. Weiters ist hierfür die spezielle Topografie mitverantwortlich, welche die Ernte und Bringung teilweise zur Herausforderung macht und folglich den Preis für das Rohholz mitbestimmt (Teischinger und Tiefenthaler, 2009, 17f).

Dieser Aspekt steht vor allem mit den Sägewerken in Zusammenhang, die Hauptabnehmer des österreichischen Rundholzes sind. Etwa 1000 aktive Betriebe der

Sägeindustrie zählt Österreich im Jahr 2015. Diese beschäftigen knapp 10000 Arbeiter. Nennenswert ist hierbei die Struktur der Betriebe, wobei diese größtenteils in Klein- und Mittelbetriebe einzuordnen sind. Beachtlicher Weise machen jedoch die 40 größten Betriebe circa 90% der Gesamtproduktion aus (Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 31).

Eine Branche, die zum Teil der Sägeindustrie nachgelagert ist, ist die Papier- und Zellstoffindustrie, wobei hierbei die Sägenebenprodukte (Hackgut) zur Verwendung kommen. Ebenfalls wird hier Industrierundholz direkt aus dem Forst und Altpapier als Ausgangsmaterial eingesetzt. 24 Papier- und Zellstofffabriken zählt das Land, in denen knapp 8000 Mitarbeiter beschäftigt sind, wobei diese Fabriken hauptsächlich in Oberösterreich und der Steiermark angesiedelt sind (Höher und Strimitzer, 2016a, 10). Wie in Abbildung 2 erkennbar ist, spielt Altpapier als Ausgangsstoff in dieser Industrie eine bedeutende Rolle, wobei erwähnt sei, dass es hierbei technische Grenzen gibt. Im Vergleich zu anderen Stoffen ist Papier nicht beliebig oft recyclebar. Die Qualität, welche durch die Faserlänge gegeben wird, nimmt durch die Prozesse der stofflichen Verwertung zwangsläufig ab (Gatterer und Zettl, 2015, 34).

Die österreichische Plattenindustrie verwendet ebenfalls Industrierundholz und Nebenprodukte der Sägeindustrie als Ausgangsmaterial. In dieser Branche werden vor allem Ausgangsprodukte für die Bau- und Möbelindustrie hergestellt. Die Plattenindustrie gilt ebenfalls als wichtiger Arbeitgeber, wobei im Vergleich zu den vorher genannten Branchen jedoch weniger Personen beschäftigt sind. Rund 3000 Mitarbeiter haben ihren Arbeitsplatz bei größtenteils Klein- und Mittelbetrieben inne, während diese wiederum vorwiegend im ländlichen Raum ihren Standort haben (Höher und Strimitzer, 2016a, 12).

Eine Problematik, die für die Datenerhebung im waldbasierten Sektor durchwegs eine Schwierigkeit darstellt, ist jene der Einteilung der Holzwirtschaft und der nachgelagerten Industrien und Sektoren. Gemeint ist hierbei, dass in Österreich keine Einheitlichkeit bezüglich der Einteilung der verschiedenen Branchen besteht. Dies ist vor allem bei der Auswertung von Statistiken und Datenbanken hinderlich (Teischinger und Tiefenthaler, 2009, 18). Die mangelnde Einheitlichkeit betrifft ebenfalls die Einteilung der verschiedenen Holzkategorien. Gemeint sind hierbei die unterschiedlichen Definitionen in der bestehenden Literatur. So definiert Lohmann (2010, 79) Industrierundholz als „Rundholz, das für Erzeugung von Zellstoff oder Holzwerkstoffen mechanisch zerkleinert und eventuell auch chemisch aufgeschlossen werden soll“, wobei er sich hierbei auf die Begriffsbestimmungen der europäischen Norm (EN 844-2 und EN 844-5) stützt. Auf der anderen Seite zählt die europäische Forstwirtschaftsstatistik laut dem europäischen Amt für Statistik Stamm- und Furnierholz zu der Kategorie Industrierundholz (Eurostat, 2017a, s.p.). Ein weiteres Beispiel für Uneinheitlichkeit in der Thematik der Holzkategorieinteilung ist, dass es laut Lohmann (2010) und dem europäi-

schen Amt für Statistik beispielsweise keine Klasse „Sägerundholz“ gibt. Im Gegensatz dazu definieren Strimitzer und Höher (2016b, 2) Sägerundholz als „Rundholz für den Einsatz in der Sägeindustrie“. Die beiden eben genannten Exemplare sollen verdeutlichen, welche Problematiken man bedenken muss, um die geforderte Einheitlichkeit und Kohärenz in der Datenerhebung und Verarbeitung des waldbasierten Sektors zu erhalten bzw. zu generieren.

Für die Darstellung in dieser Arbeit wird im Folgenden grundsätzlich zwischen Industrierundholz und Sägerundholz unterteilt.

### **3.1.2 Analyse der Holzflüsse in Österreich**

In Abbildung 2 ist der Holzfluss, ausgehend vom österreichischen Einschlag im Jahr 2015, dargestellt. In eine ähnliche Richtung wie die Verteilung von Nadel- und Laubholz im österreichischen Wald tendierte die Verteilung des Holzeinschlages. So wurden im Jahr 2015 in Österreich rund neun Millionen Tonnen Holz eingeschlagen. Hierbei entfallen circa 80% auf Nadelholz und etwa 20% auf Laubholz (BMLFUW, 2016a, s.p.). Von rund 1,8 Millionen Tonnen Laubholz wurden in etwa 1,2 Megatonnen davon zu energetischen Zwecken verwertet. Beim Nadelholz waren dies von 7,3 Megatonnen (mt), welche im Bezugsjahr eingeschlagen wurden, circa 1,5 Megatonnen, welche in die energetische Nutzung flossen. Hierbei wird zwischen Hackgut und Brennholz unterteilt, wobei Hackgut mechanisch zerkleinertes Holz ist. Als Brennholz werden hierbei Scheit- und Rundholz, sowie Reis- und Derbprügel bezeichnet (BMLFUW, 2016b, 7). Hinzu kommt noch rund eine Megatonne (0,98 mt) Sägenebenprodukte und Späne, die ebenfalls energetisch verwertet werden. Zusammen sind dies 3,86 mt Holz, das als Energieträger Verwendung fand (Summe der rot umrahmten Benennungen). Mengenmäßig am größten war die Kategorie Sägerundholz, welche gesamt 4,8 mt ausmachte. Hierbei dominierte das Nadelholz mit mehr als 96%.

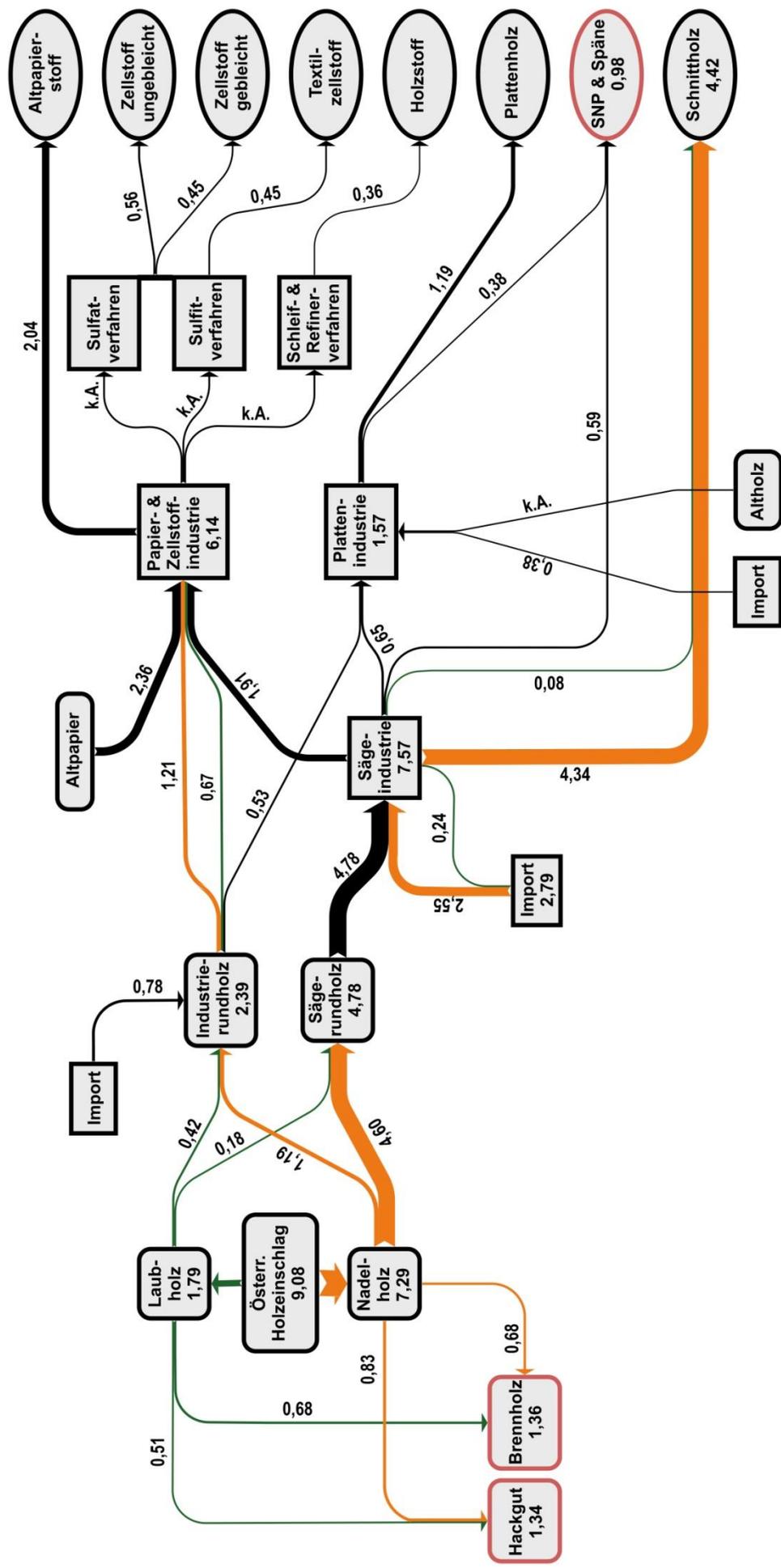


Abbildung 2: Holzflüsse in Österreich 2015; Prozessinterne energetische Nutzung von Holz/Koppelprodukten ist nicht ausgewiesen (Werte in Megatonnen mt)

### 3.1.2.1 Papier- und Zellstoffindustrie

Zuzüglich des Imports von 0,8 mt beläuft sich die mengenmäßige Verwendung von Industrierundholz auf 2,4 Megatonnen. Davon wandern mehr als drei Viertel in die Papier- und Zellstoffindustrie, in welche mit Hinzurechnung von Altpapier und dem Anteil, welcher aus der Sägeindustrie kommt, 6,1 mt Rohmaterial eingesetzt werden. Bemerkte sei hierbei, dass der besagte Anteil aus der Sägeindustrie, welcher sich auf knappe zwei Megatonnen beläuft, in Form von Sägenebenprodukten zum Einsatz kommt. Sägenebenprodukte sind Hackgut und Sägespäne, welche durch die Prozesse in der Sägeindustrie anfallen. Wenn man sich auf das Holz bezieht, so kann man erkennen, dass anteilig am Holz in etwa genauso viel Sägenebenprodukte wie Industrieholz in die Papier- und Zellstoffindustrie fließen (Moser, 2008, 5). Ein weiterer wesentlicher Rohstoff in dieser Industrie ist das Altpapier, wobei in Österreich 2,4 Millionen Tonnen recycelt werden. Hierbei sei jedoch erwähnt, dass davon 1,2 mt importiert werden müssen, um die heimische Nachfrage zu befriedigen (Strimitzer und Höher, 2016a, 10). Ausgehend von diesem Sekundärrohstoff werden durch unterschiedliche Prozessschritte mehr als zwei Megatonnen Altpapierstoff hergestellt. Wie bei nahezu allen Materialien, welche einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, ist die Sortenreinheit der Sammlung ein ausschlaggebender Faktor für die weitere Qualität der Verfahrensschritte und des herzustellenden Materials. Wie oben bereits angeführt, würde die Qualität des Papiers durch die ausschließliche Verwendung von Altpapier schlechter werden. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, werden frische Zellfasern dem Kreislauf zugeführt (Gatterer und Zettl, 2015, 35). Diese Sachlage hat zur Folge, dass ein erhöhter Altpapiereinsatz mit einem erhöhten Holzeinsatz einhergeht, um eine gleichbleibende Papierqualität zu erhalten.

Das Altpapier wird durch Auflösen, Reinigen und Fraktionieren aufbereitet. Um aus bedrucktem Altpapier hellere Fasern zu generieren, muss dieses dem Deinking-Prozess zugeführt werden, wobei das Altpapier mit Seife, Wasserstoffperoxid und gegebenenfalls mit Komplexbildnern verarbeitet wird (Gatterer und Zettl, 2015, 35).

Im Gegensatz dazu wird Holz in Österreich durch vier Verfahren zu Zell- und Holzstoff verarbeitet. Diese sind das Sulfatverfahren, das Sulfidverfahren, das Schleifverfahren und das Refinerverfahren. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, konnte nicht herausgefunden werden, welche Mengen das jeweilige Verfahren durchlaufen. Ebenfalls unbekannt bleibt, welche Mengen konkret aus den unterschiedlichen Verfahren hervorkommen (ausgenommen Textilzellstoff). Grundsätzlich wird in dieser Arbeit zwischen dem sauren Sulfidkochverfahren und dem alkalischen Sulfatkochverfahren zur Herstellung von Zellstoff unterschieden. Dadurch, dass die magnesiumhaltige Bisulfidablage relativ einfach aufbereitet und verarbeitet werden kann, wird aus Umweltgründen bei den

sauren Verfahren lediglich das Magnesiumbisulfitverfahren angewendet. Bei diesem Verfahren wird vorwiegend Nadelholz eingesetzt, wobei keine genauen Zahlen gefunden werden konnten. Hergestellt wird Zellstoff, welcher in weiterer Folge vor allem für grafische Papiere und Hygienepapiere Verwendung findet.

Das weltweit am häufigsten verwendete Verfahren ist das Sulfatverfahren. Ausschlaggebend dafür ist hierbei das gute Chemikalienrückgewinnungsvermögen und die Möglichkeit der Nutzung des Heizwertes der organischen Substanzen aus der Dicklauge. Sulfatzellstoff wird vor allem für die Herstellung von Packpapieren und ebenso für grafische Papiere verwendet. Bei den eben genannten Verfahren kann ein Verfahrensschritt nachgelagert werden, welcher zur Bleiche des Zellstoffes dient.

Die Sulfitzellstoffbleiche erfolgt kontinuierlich in mehreren Stufen, wobei in Österreich ausschließlich Sauerstoff, Wasserstoffperoxid und Ozon als Bleichmittel verwendet werden. Bei der Sulfatzellstoffbleiche wird das elementarchlorfreie oder das total chlorfreie Verfahren eingesetzt (Gatterer und Zettl, 2015, 30ff). Wie in Abbildung 2 ersichtlich, wurden in Österreich rund 560 kt ungebleichter Zellstoff und rund 450 kt gebleichter Zellstoff hergestellt.

Ein weiteres Zwischenprodukt, welches ausgehend von Holz hergestellt wird, ist der Textizellstoff. Hierbei gibt es zwei Produzenten in Österreich, die gesamt 450 kt produzierten. „Austrocel“ mit dem Standort in Hallein und die „Lenzing-AG“ mit dem Standort in Lenzing produzieren Textizellstoff mit dem Magnesiumbisulfitverfahren, wobei hierbei Laub- als auch Nadelholz verwendet werden (Austrocel, s.a., s.p. und Lenzing, s.a., 30).

Für die Herstellung von Holzstoff bestehen zwei Verfahren, welche in Österreich angewendet werden. Dies sind das Schleifverfahren und das Refinerverfahren. Bei erstem werden entrindete Rundholzbloche durch rotierende Schleifsteine verarbeitet. Weitere Schritte sind das Sortieren, das Mahlen und Eindicken und gegebenenfalls das Bleichen des Holzschliffes. Beim Refinerverfahren können Hölzer verwendet werden, welche beim Schleifverfahren aus technologischen und qualitativen Gründen nicht genutzt werden können. Bei diesem Verfahren werden Hackschnitzel mit Hinzugabe von Wasser zwischen gegeneinander rotierenden Mahlscheiben zerkleinert. Die weiteren Verfahrensschritte sind ebenfalls das Sortieren, Mahlen, Eindicken und Bleichen. Vorteile dieses Verfahrens gegenüber dem Holzschliff sind unter anderem die bessere Qualität des Produktes sowie eine bessere Ausbeute. 2015 wurden durch diese beiden Verfahren zusammen 360 kt Holzstoff hergestellt. Dieser wird wiederum für Zeitungsdruckpapiere, holzhaltige Packpapiere, Karton und Pappe verwendet (Gatterer und Zettl, 2015, 28f).

### **3.1.2.2 Säge- und Plattenindustrie**

Wie bereits angemerkt, bildete das Sägerundholz die größte Kategorie des heimischen Holzsektors. Rund 4,8 Megatonnen Holz aus dem österreichischen Einschlag und rund 2,8 mt Holzimport flossen in die Sägeindustrie. In den Sägewerken wurden somit etwa 7,6 Millionen Tonnen Holz verarbeitet. Von dieser Menge waren nur rund sechs Prozent Laubholz, der Rest folglich Nadelholz. Man unterscheidet zwischen folgenden Säge- und Plattentechniken: Gattersägen, Bandsägen, Kreissägen, Profilsägen, Profilierungsanlagen, Trennsägen, Besäumanlagen und Kappanlagen, wobei nicht herausgefunden werden konnte, in welchem Ausmaß die einzelnen Technologien in Österreich eingesetzt wurden und welche Mengen durch die entsprechenden Sägeanlagen verarbeitet wurden (Universität Göttingen, s.a., 10).

4,4 Millionen Tonnen Schnittholz wurden in den österreichischen Sägewerken hergestellt. Dies waren rund 58% der Menge, welche in die Sägeindustrie floss. Knappe 0,6 Megatonnen Sägenebenprodukte und Späne fielen an, welche einer energetischen Verwendung zugeführt wurden. Dagegen wurden knappe 0,7 Megatonnen Sägenebenprodukte und Späne aus der Sägeindustrie in der Plattenindustrie weiterverarbeitet. In dieser wurden weiters rund 0,5 mt Industrierundholz und 0,4 mt Holzimport verarbeitet. Ebenfalls als Sekundärrohstoff diente Altholz in der Plattenindustrie, speziell in der Spanplattenherstellung wurde dieses verwendet. Welche Mengen hierbei verarbeitet wurden, bleibt unbestimmt. Es entstanden jedoch circa 1,2 mt Plattenholz und 0,4 mt Sägenebenprodukte und Späne für die energetische Verwertung. Die Plattenindustrie stellte vorwiegend Ausgangsprodukte für die Bau- und Möbelindustrie her (Strimitzer und Höher, 2016a, 12).

## **3.2 Holz – EU**

### **3.2.1 Forst- und Holzwirtschaft in Europa**

Die Landfläche der 28 Mitgliedsstaaten der EU ist zu 43% bewaldet. Dies sind in Summe rund 1,8 Millionen Quadratkilometer. In den skandinavischen Ländern Schweden und Finnland sind mehr als zwei Drittel der Landfläche bewaldet, in Slowenien, Estland, Lettland, Spanien und Portugal hingegen mehr als die Hälfte der jeweiligen Landesflächen. Absolut haben Schweden (16,8%), Spanien (15,2%) und Finnland (12,7%) die größten Anteile an den gesamten 1 800 000 km<sup>2</sup>. Im Vergleich zu Österreich ist ein bedeutend kleinerer Anteil des Waldes in Privatbesitz. Exakt sind dies 60,3%, wobei Portugal mit 97 Prozent und Polen sowie Bulgarien mit unter 20 Prozent jeweilige Extreme darstellen (Europäische Union, 2016, 166).

Im Jahr 2014 waren im holzbasierten Sektor knapp zwei Millionen Personen beschäftigt, wobei hierbei Unternehmen, welche weniger als 20 Mitarbeiter beschäftigten, nicht mit einbezogen wurden.

Knapp 250 000 Personen waren davon in der Sägeindustrie tätig. In Summe bestanden 2014 mehr als 292 000 Betriebe, welche im holzbasierten Sektor angesiedelt waren, davon rund 35 000 in der Sägeindustrie (EOS, 2016, 33). Die Papier- und Zellstoffindustrie beschäftigte im Jahr 2013 circa 648 000 Personen in 21 000 Betrieben (EU, 2013, 24). In der Möbel- und Plattenindustrie hatten im Jahr 2014 in etwa 965 000 Personen ihren Arbeitsplatz (EOS, 2016, 35).

### **3.2.2 Analyse der Holzflüsse in der EU**

Im Jahr 2015 wurden in den 28 Mitgliedsstaaten der Europäischen Union zusammen knapp 240 Millionen Tonnen Holz eingeschlagen (siehe Abbildung 3). Dies waren umgerechnet in Festmeter 447 Millionen. Von dieser Menge, welche sowohl wirtschaftlichen Schwankungen unterworfen ist als auch von Wetterextremereignissen geprägt sein kann, wurde rund ein Viertel als Brennholz und Hackgut genutzt (Eurostat, 2018, s.p.). Dies waren gut 55 Megatonnen, welche zu mehr als 70% Laubholz und folglich knapp 30% Nadelholz bestanden. Wie bereits in Kapitel 3.1.1 erwähnt, galt es auch bei der Datenerhebung auf europäischer Ebene eine angepasste Nomenklatur und Einteilung der Holzkategorien zu generieren, beziehungsweise mit der Herausforderung umzugehen, keine Fehlschlüsse auf Grund der unterschiedlichen Kategorisierung im Vergleich zu Österreich zu ziehen. So musste beispielsweise die Kategorie Sägerundholz, welche nicht explizit ausgewiesen wurde, aus den Daten extrapoliert werden. Diese machte 107 Megatonnen aus. Davon waren 17 mt Laubholz und 82,5 mt Nadelholz. Im Vergleich zu Österreich wurde dieses Verhältnis weitaus weniger von Nadelholz dominiert. In der EU waren es nur 77% gegenüber 96% Nadelholzanteilen in Österreich, welche in die Sägeindustrie flossen. Von den 107 mt wurden etwa 7 mt importiert, wobei dieser Wert bereits den Import abzüglich des Exports darstellt.

83 Megatonnen Holz, welches in der EU eingeschlagen wurde, fand Verwendung als Industrierundholz. 63% davon waren Nadel- und 37% davon Laubholz. In Summe wurden rund 35% des Holzeinschlages in der EU als Industrierundholz verwendet. Das gesamte Industrierundholz wurde in zwei unterschiedlichen Sparten weiterverarbeitet. Ein kleiner Anteil, welcher rund fünf Megatonnen umfasste, wurde als sonstiges Industrierundholz weiterverarbeitet. Dieses wird laut Europäischer Union (2011, s.p.) so definiert: „Industrierundholz (Rohholz), das nicht unter die Kategorien Sägerundholz, Furnierholz und/oder Faserholz fällt: Rundholz, das für Masten, Rammpfähle, Stangen und Zäune, als Grubenholz, zur Gerbstoffgewinnung, zur Destillation oder für

Zündholzblöcke usw. verwendet wird“. Der zweite und weitaus größere Anteil fand in der Papier- und Zellstoffindustrie als Primärrohstoff Verwendung.

### **3.2.2.1 Papier- und Zellstoffindustrie**

Ziemlich genau ein Drittel des gesamten Holzeinschlages auf EU-Ebene diente der Papier- und Zellstoffindustrie als Ausgangsmaterial. In Zahlen waren das rund 28 Megatonnen Laubholz und rund 50 Megatonnen Nadelholz. Was hierbei im Vergleich zu Österreich auffällt, ist die exakt gleiche Relation von Laub- und Nadelholz, welches in dieser Industrie eingesetzt wurde. Es war auf EU-Ebene nicht möglich, herauszufinden, wieviel Rohstoff jeweils mit dem Sulfit- und Sulfatverfahren verarbeitet wurde. Wie man in Abbildung 3 erkennen kann, unterscheiden sich die Kategorien der Produkte, welche aus der Papier- und Zellstoffindustrie entstanden. Diese Einschränkung der Einheitlichkeit ist der unterschiedlichen Nomenklatur in den Statistiken und der beschränkten Datenverfügbarkeit geschuldet. Daraus folgend kann nicht zwischen gebleichtem Zellstoff und ungebleichtem Zellstoff unterschieden werden, welche mittels der eben genannten Verfahren hergestellt wurden, sondern es wird die Kategorie „Chemischer Zellstoff“ verwendet. Ebenfalls unbestimmbar bleibt, welcher Anteil davon Textilzellstoff war. Im Bezugsjahr wurden knapp 26 Megatonnen chemischer Zellstoff hergestellt. Dafür wurde vorwiegend das Sulfatverfahren angewendet. In etwa 24,5 mt chemischer Zellstoff wurden durch dieses Verfahren erzeugt. Die restlichen 1,7 mt wurden durch das Sulfitverfahren hergestellt. Eine Produktkategorie der Papier- und Zellstoffindustrie, welche sich von der österreichischen Kategorisierung unterscheidet, ist der „mechanische und halbchemische Zellstoff“. Darunter fällt der Holzstoff, wobei unklar bleibt, ob dieser mit anderen Verfahren als dem Schleif- und Refinerverfahren hergestellt wurde. Der halbchemische Zellstoff, dem während des Verfahrens nur ein bestimmter Anteil des Lignins entfernt wird, um eine höhere Ausbeute zu generieren, wird unter anderem für Wellenpapiere und Wellenpappe eingesetzt (Wikipedia, 2017, s.p.). In Summe wurden 9,9 Megatonnen an mechanischem und halbchemischem Zellstoff hergestellt.

Zusätzlich zum Primärrohstoff Holz wurde auch eine beachtliche Menge an Sekundärrohstoff eingesetzt. Dies waren knapp 48 Millionen Tonnen Altpapier, welche recycelt wurden, wie in Abbildung 3 ersichtlich ist. Grundsätzlich wurden im Jahr 2015 knapp 60 Megatonnen Altpapier gesammelt, von diesen wurden jedoch abzüglich von 2 mt Import in etwa 8 mt aus dem EU-Raum netto exportiert (Cepi, 2016, 6). Dennoch agierte diese Industrie bezüglich der stofflichen Verwendung von Altpapier am oberen Limit.

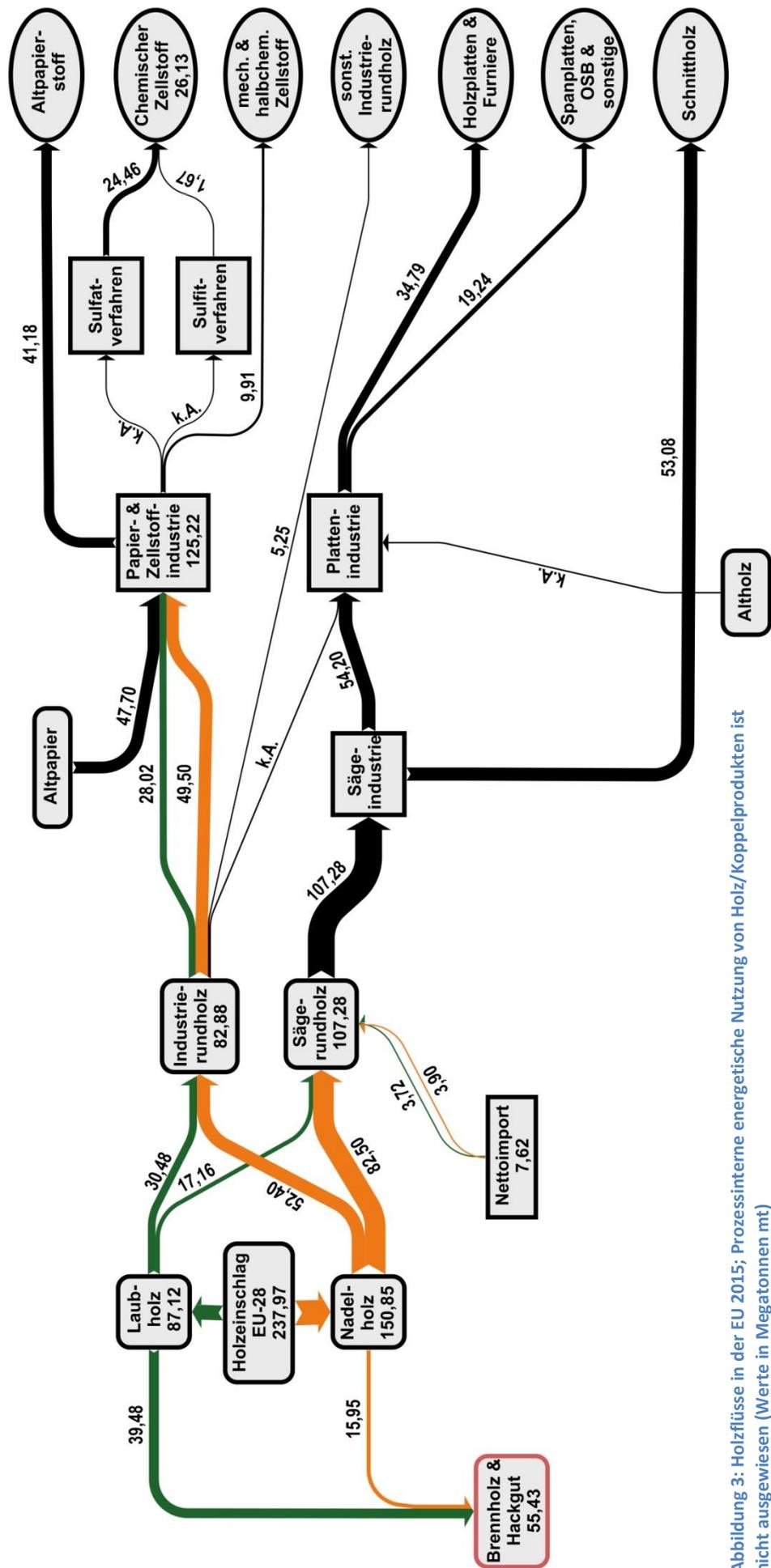


Abbildung 3: Holzflüsse in der EU 2015; Prozessinterne energetische Nutzung von Holz/Koppelprodukten ist nicht ausgewiesen (Werte in Megatonnen mt)

Als Limit ist hierbei gemeint, dass man eine gleichbleibende Papierqualität beibehalten wollte und es im Abfall stets eine nicht recycelbare und nicht separat erfassbare Fraktion gab (Europäische Kommission, 2013a, 25). Diese Tatsache hatte wiederum den Nebeneffekt, dass die Nachfrage nach dem Primärrohstoff Holz durch die Verwendung von Altpapierstoff in der Papierindustrie gemäßigt wurde. Dieser sogenannte Altpapierstoff entstand durch entsprechend aufbereitete Prozessschritte und bildete die Ausgangsbasis für Recyclingpapier. In der EU wurden mehr als 41 Millionen Tonnen davon hergestellt (Wert wurde aus dem österreichischen Verhältnis der Ausbeute von Altpapierstoff aus Altpapier errechnet).

### **3.2.2.2 Säge- und Plattenindustrie**

Wie bereits angemerkt, wurden 2015 gut 107 Millionen Tonnen Sägerundholz in der EU verarbeitet, welches zur Gänze in der Sägeindustrie eingesetzt wurde. Ein Unterschied zwischen Abbildung 2 und Abbildung 3, betreffend die Verläufe der Flüsse, ist jener, dass beim Flussdiagramm auf EU-Ebene nicht ausgewiesen werden konnte, welche Anteile aus der Sägeindustrie in die Papier- und Zellstoffindustrie flossen. Ebenso zeigt sich der Sachverhalt beim Anteil des Industrierundholzes, welches in der Plattenindustrie verarbeitet wurde. Hierbei wird angenommen, dass das gesamte Holz, welches in der Papier- und Zellstoffindustrie und auch in der Plattenindustrie verarbeitet wurde, in den Statistiken den entsprechenden Mengen, welche direkt in die jeweilige Sparte flossen, zugerechnet wurde. An dieser Stelle soll auch der Trugschluss verhindert werden, dass sämtliches Holz, welches in die Plattenindustrie floss, Sägenebenprodukte waren. Die 54,2 Megatonnen bestanden aus Rundholz, Altholz sowie aus Hackgut und Sägespänen, wobei jedoch unklar ist, wie groß die einzelnen Anteile waren. Es konnten auch keine Werte aus den österreichischen Anteilsgrößen extrapoliert werden, da diese auf EU-Ebene durch verschiedene Faktoren stark variieren hätten können.

Jedenfalls produzierte die Plattenindustrie rund 34,8 mt Holzplatten und Holzfurniere. Weitere 19,2 mt entfielen auf die Kategorie „Spanplatten, OSB und sonstige“.

Spanplatten wurden durch Holzspäne unterschiedlicher Größe mit Kunstharzklebern unter Druck und Wärme miteinander verpresst. Als Kleber kamen hierbei vorwiegend Aminoplaste, in geringem Ausmaß Phenoplaste oder Phenolresorcinharze zum Einsatz. Hierbei unterschied man nach den verwendeten Herstellungsverfahren zwischen flachgepressten, kalandergespressten und stranggepressten Spanplatten. Es konnte hierbei jedoch nicht herausgefunden werden, durch welche Verfahren welche Mengen in der EU hergestellt wurden (Scholz et al., 2016, s.p.).

OSB-Platten (OSB = Oriented Strand Board) sind Mehrschichtplatten aus langen, schlanken, ausgerichteten Holzspänen, welche mit Phenolharz verleimt sind. Diese werden für das Bauwesen vor allem für Wand-, Fußboden oder Dachkonstruktionen verwendet (Scholz et al., 2016, s.p.).

Wie auch auf österreichischer Ebene ersichtlich ist, kann man in Abbildung 3 ebenfalls erkennen, dass die größte Produktkategorie das Schnittholz war. So wurden im Jahr 2015 rund 53 Millionen Tonnen Schnittholz produziert.

### 3.3 Stahl – Österreich

#### 3.3.1 Stahlindustrie in Österreich

Stahl ist eine warmumformbare Eisenlegierung, wobei das Hauptelement Eisen ist. Das bedeutendste Legierungselement ist der Kohlenstoff, dessen Anteil bei den meisten Legierungen jedoch unter zwei Prozent liegt. Stahl ist ein Werkstoff, welchem enorme Bedeutung in den verschiedensten Branchen zukommt. Dies sind unter anderem die Automobil- und Schifffahrtsindustrie sowie der Schienenbau, die Bau- und Energiewirtschaft. Durch die verschiedenen Legierungsmöglichkeiten gibt es mehrere 1000 verschiedene Stahlsorten. Diese werden grundsätzlich in folgende drei Kategorien eingeordnet: legierte Stähle, unlegierte Stähle und nicht rostende Stähle (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 2).

Die Stahlindustrie und der Metallsektor generell zählen in Österreich zu den Branchen mit der größten Industriewertschöpfung. An dieser Stelle sei erwähnt, dass Österreich im europäischen Raum zu den am meisten auf den Metallsektor spezialisierten Industrien zählt. Ein Großteil der Betriebe, welche der Stahlindustrie zuzurechnen sind, sind Gießereien (Wolf, 2017, 4). Diese werden in der Analyse der Materialflüsse jedoch nicht behandelt, da sie kein Eisenerz und in den wenigstens Fällen Stahlschrott, diesen gegebenenfalls jedoch nur in sehr geringen Mengen, verarbeiten. Zuzüglich der angesprochenen Gießereien bestehen in der österreichischen Stahlindustrie 150 Betriebe. Diese sind trotz der Einbe-

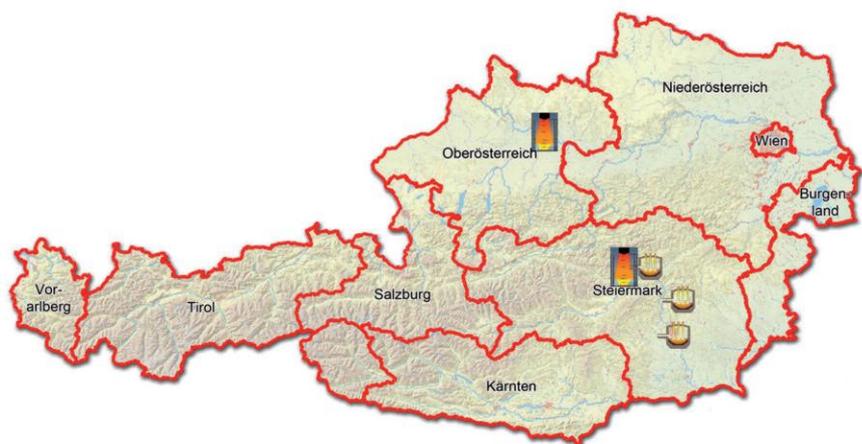


Abbildung 4: Die größten Stahlherstellungsbetriebe in Österreich (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 8)

rechnung der Gießereien im Durchschnitt Großbetriebe. So sind pro Betrieb durchschnittlich 242 Arbeitnehmer beschäftigt. Im Vergleich sind das im EU-Raum pro Unternehmen nur 56 Arbeitnehmer (Wolf, 2017, 4). Von den 150 Betrieben stechen einige wenige durch ihre Kapazitäten hervor.

Dies ist in erster Linie die „voestalpine“ mit ihren beiden Stahlwerken in Linz und Donawitz, in denen Roheisen und in weiterer Folge Stahl durch den sogenannten Hochofenprozess hergestellt wird. Diese beiden Betriebe machen zusammen einen Großteil der österreichischen Stahlproduktion aus und sind die einzigen Betriebe, welche in Österreich Eisenerz als Rohstoff zur Stahlherstellung nutzen. Weiters bestehen hierzulande noch drei weitere Betriebe, die hier genannt werden sollen. Dies sind die „Marienhütte“ in Graz, „Böhler Edelstahl“ in Kapfenberg und „Breitenfeld Edelstahl“ in Mitterdorf. Diese stellen Stahl mit dem Elektrolichtbogenverfahren her. Mit diesem Verfahren kann jedoch nur Stahlschrott als Sekundärrohstoff verarbeitet werden.

Resümierend lässt sich festhalten, dass die österreichische Stahlindustrie ein starkes Standbein der österreichischen Wirtschaft darstellt. Auch im Vergleich zu der Stahlindustrie auf EU-Ebene hat diese Branche im Gegensatz zu der stagnierenden Entwicklung in der Europäischen Union in den letzten 20 Jahren einen beträchtlichen Aufschwung bezüglich der Produktionsleistung erfahren. Durch einen gestiegenen Außenhandelsüberschuss und positive wirtschaftliche Kennzahlen kann auch die internationale Konkurrenzfähigkeit der heimischen Stahlindustrie bestätigt werden (Wolf, 2017, 10).

### **3.3.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Stahlindustrie**

Wie in Abbildung 5 ersichtlich ist, kann man schematisch erkennen, welche Materialflüsse auf Ebene der Roh- und Ausgangsstoffe in der österreichischen Stahlindustrie bestehen. Generell wird in Österreich Stahl durch zwei unterschiedliche Verfahren hergestellt, die in Kapitel 3.3.2.2 näher beschrieben werden. Das Hochofenverfahren, in welchem Roheisen durch das Reduzieren von Eisenerz erzeugt wird und das Elektrolichtbogenverfahren, in welchem Stahlschrott eingeschmolzen wird, werden in Österreich angewendet.

#### **3.3.2.1 Erzgewinnung, Erzaufbereitung und Erzvorbereitung in Österreich**

Für das Hochofenverfahren wird der Primärrohstoff Eisenerz benötigt. Eisenerze sind Gesteine, welche mit Eisen-Sauerstoff-Verbindungen vermischt sind (Scholz et al., 2016, s.p) . Diese werden in Österreich im Bergbau abgebaut, auf Grund des relativ ge-

ringen Eisenanteils wird der größte Teil jedoch importiert. Welche Menge unaufbereitetes Eisenerz im Bergbau im Jahr 2015 abgebaut wurde, konnte nicht herausgefunden werden. Da das Eisenerz oftmals mit taubem Gestein vermischt ist, wird versucht, diese Gangart durch eine Eisenerzaufbereitung abzutrennen. Dadurch werden Transportkosten gespart und die Hochöfen entlastet. Diese Aufbereitung erfolgt zuerst durch Brechen und Mahlen des Materials. Anschließend wird das zerkleinerte Material, welches in den Prozess eingebracht werden soll, von der weniger eisenhaltigen Fraktion abgetrennt (Scholz et al., 2016, s.p.).

Danach kommt das aufbereitete Erz in die Erzvorbereitung. Hierbei werden zu grobe Erze zerkleinert und gesiebt. Wiederum zu feine Erze werden durch spezielle Verfahren stückig gemacht. Diese Verfahren sind das „Sintern“ und das „Pelletieren“. Beim Sintern werden die feinen Erze angefeuchtet und mit bestimmten Zuschlagsstoffen wie Koksruß, Kalkstein oder Dolomit vermischt. Danach wird dieses Gemisch erhitzt und dadurch verbacken, anschließend jedoch wieder gebrochen. Beim Pelletieren werden ebenfalls Erze, welche für den Hochofenprozess zu fein sind, mittels Zugabe von Bindemitteln in Drehtrommeln oder Drehtellern zu „Grünpellets“ geformt. Diese werden im Anschluss getrocknet und gebrannt. Dieser Verfahrensschritt wird durchgeführt, um durch den Erhalt von rund 10-15 mm großen Kügelchen eine gute Gasdurchlässigkeit in den Hochöfen zu forcieren (Scholz et al., 2016, s.p.). In Österreich wurden rund 2,8 Millionen Tonnen aus dem heimischen Abbau und rund 6,3 Millionen Tonnen importierte Erze der Erzvorbereitung zugeführt (siehe Abbildung 5). Es sei hierbei jedoch angemerkt, dass nicht herauszufinden war, welche Verfahren hierbei exakt bzw. in welchem Maße zur Anwendung kamen. Der Unterschied in Abbildung 5 zwischen der Menge an Erzen in der Vorbereitung und der Menge nach diesem Verfahrensschritt ist durch die Zugabe von Bindemitteln und Zuschlagsstoffen beim Sintern und Pelletieren zu erklären.

### **3.3.2.2 Schmelzprozess, Frischen und Gussprozess - Österreich**

Das für den Hochofenprozess vorbereitete Erz wird nun zusammen mit Koks der integrierten Hochofenroute zugeführt (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 3). Dies waren im Jahr 2015 rund 9,6 Megatonnen Erze und Pellets. Hochöfen sind prinzipiell schachtförmige Reaktoren, die aus einem mit feuerfesten Materialien ausgekleideten Stahlgerüst bestehen. Das Erz wird in Form von Möller, was ein Gemisch aus Stückerz, Sinter und/oder Pellets ist, schichtweise in den Hochofen eingefüllt. Diese Feststoffe durchwandern den Hochofen von oben nach unten. Entgegen dieser Richtung wird heiße Luft eingeblasen, welche den Koks vergast und somit für den Heizprozess sorgt. Das Eisenerz wird somit geschmolzen und reduziert.

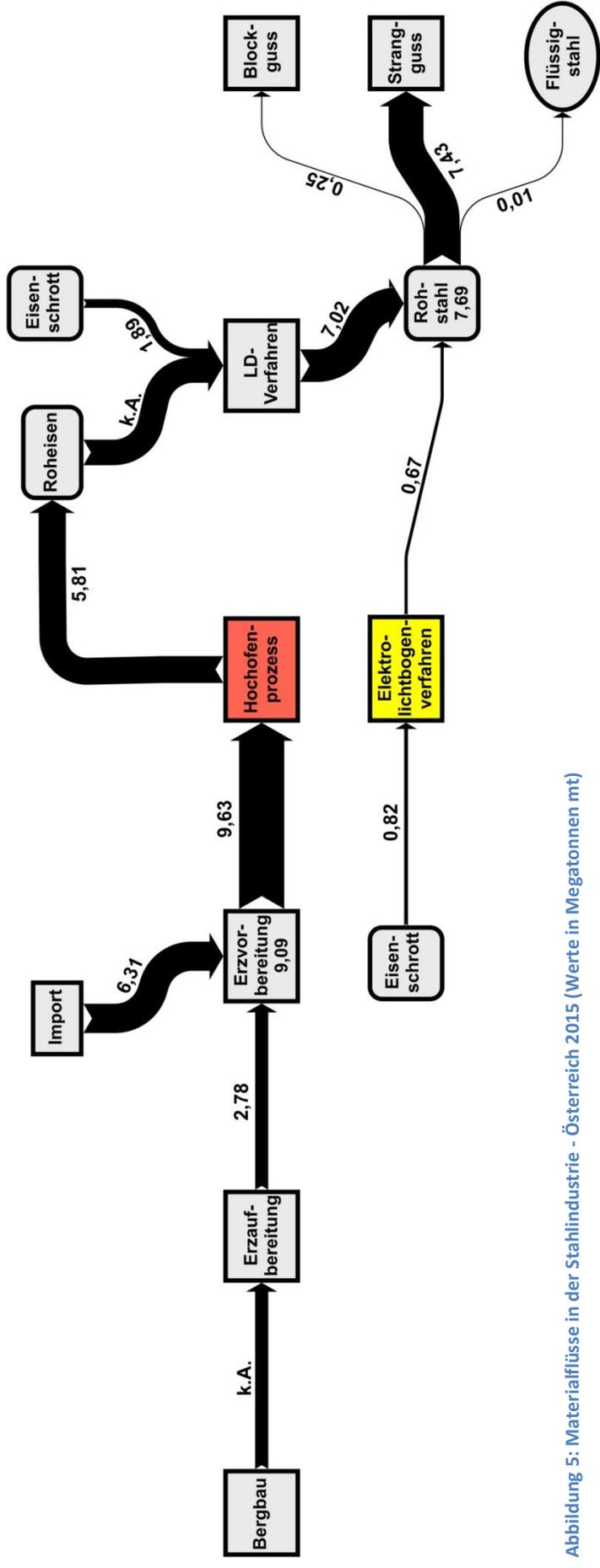


Abbildung 5: Materialflüsse in der Stahlindustrie - Österreich 2015 (Werte in Megatonnen mt)

Die chemischen und physikalischen Reaktionen, die im Hochofen entstehen, erzeugen flüssiges Roheisen, flüssige Schlacke und Gichtgas. Das Nebenprodukt Schlacke wird größtenteils in der Zementindustrie eingesetzt. Das flüssige Roheisen, welches sich 2015 in Österreich auf 5,8 Millionen Tonnen Jahresproduktion belief, wurde in weiterer Folge in Konverter chargiert (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 3f). Unklar bleibt, ob das gesamte österreichische Roheisen zu Rohstahl weiterverarbeitet wurde bzw. welche Mengen an Roheisen einer anderen Verwendung zugeführt wurden.

Um eine gewünschte Qualität des Stahls zu erhalten, müssen dem Roheisen etwaige Verunreinigungen entfernt werden. Dies geschieht in Österreich mit dem Sauerstoffaufblas-Verfahren. Dieser Prozess wird auch Frischen genannt. Weltweit vorherrschend und das einzig in Österreich angewendete Verfahren ist das Linz-Donawitz-Verfahren (LD-Verfahren), welches nach den in Österreich bestehenden Standorten benannt ist. Hierbei wird Sauerstoff auf das Roheisen geblasen. Dieser Prozessschritt verringert ebenfalls den Kohlenstoffanteil, was für hochwertigen Stahl essentiell ist. Durch Hinzugabe von Schrotten zu der Schmelze wird diese aus prozesstechnischer Sicht wünschenswerterweise abgekühlt (Scholz et al., 2016, s.p.). Hierbei wurden im Bezugsjahr knapp 1,9 Megatonnen Schrott einer Verwertung zugeführt. Mit dem LD-Verfahren wurden somit gut sieben Millionen Tonnen Rohstahl erzeugt.

Neben der Rohstahlherstellung im Hochofen besteht in Österreich eine weitere Route zur Herstellung von Stahl. Beim Elektrolichtbogenverfahren werden jedoch nur Stahlschrotte und ggf. Roheisen oder Eisenschwamm eingeschmolzen. Roheisen oder Eisenschwamm wird, wenn nötig, zugesetzt, um die Qualität zu erhöhen, welche ansonsten nur durch die Schrottqualität beeinflussbar wäre (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 5f). Bei diesem Verfahren wird die erforderliche Wärme durch elektrischen Strom erzeugt (Scholz et al., 2016, s.p.). Dies kann in Gießereien in Induktionsöfen passieren oder in Elektrolichtbogenöfen, welche sonst zur Anwendung kommen. Hierbei können sehr hohe Temperaturen von 3500°C erreicht werden, was auch die Auflösung von schwer schmelzbaren Legierungsanteilen ermöglicht. Es werden, um solche Temperaturen zu erreichen, gegebenenfalls Sauerstoff oder Brennstoffgemische zugeführt. Der eingeschmolzene Rohstahl wird wie beim Hochofenprozess ebenfalls gefrischt, um den Kohlenstoffanteil zu reduzieren (Scholz et al., 2016, s.p.). In Österreich wurden im Bezugsjahr mit dem Elektrolichtbogenverfahren rund 0,8 Megatonnen Schrott eingeschmolzen. Daraus wurden knapp 0,7 Megatonnen Rohstahl hergestellt.

Die metallurgische Behandlung ist laut Pulm und Raupenstrauch (2014, 6) mit dem Strangguss abgeschlossen. Durch diesen Verfahrensschritt wurden 2015 in Österreich mehr als 96% des Rohstahls in Form gebracht. Dies waren 7,4 Megatonnen flüssiger Stahl, welcher somit in Form gebracht wurde. Beim Stranggussverfahren wird der Stahl aus der Gießpfanne in wassergekühlte Kokillen verbracht. Der erst teilweise erstarrte

Strang wird danach mittels Treibrollen aus der Kokille gezogen und nach vollständiger Erstarrung in die gewünschten Längen zerteilt (Bozena, 2017, 111).

Rund 0,25 Millionen Tonnen des in Österreich produzierten Stahls wurden durch den Blockguss in Form gebracht. Bei diesem, in den letzten Jahrzehnten immer weniger angewandten Verfahren, wird der flüssige Stahl in sich verjüngende Formen gegossen (Scholz et al., 2016, s.p.). Der Vollständigkeit halber seien hier noch die 11 Kilotonnen Flüssigstahl erwähnt, welche im Bezugsjahr in Österreich für Gussteile zur Verwendung kamen.

Die Analyse der Materialflüsse in der Stahlerzeugung wurde auf Grund der Datenlage auf die Erzeugung und den Guss von Rohstahl beschränkt. Er sei jedoch darauf hingewiesen, dass es eine Vielzahl an verschiedenen Stahlsorten und Stahlklassen gibt. Nach den Hauptgüteklassen eingeteilt sind das unlegierte Qualitätsstähle, unlegierte Edelstähle, korrosionsbeständige Stähle, hitzebeständige Stähle, warmfeste Stähle, legierte Qualitätsstähle und legierte Edelstähle. Diese Kategorien müssen bestimmte Anforderungen erfüllen und werden somit auch in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten eingesetzt (Scholz et al., 2016, s.p.).

## **3.4 Stahl – EU**

### **3.4.1 Stahlindustrie in der EU**

Wie bereits in Kapitel 3.3.1 angedeutet wurde, hat die Stahlindustrie in der EU in den letzten Jahren keine florierende Entwicklung vorzuweisen. In bestimmten Marktsegmenten ist die europäische Stahlindustrie jedoch führend. Im Jahr 2015 lag der Anteil dieser Branche am Bruttoinlandsprodukt der Europäischen Union bei 1,3% und beschäftigte circa 328 000 Arbeitnehmer. Weltweit gesehen hat sich die Wettbewerbsposition der europäischen Stahlindustrie auf dem Stahlmarkt in den letzten Jahren jedoch verschlechtert. Dies ist laut der Europäischen Kommission (2016, s.p.) auf die Überproduktion von Stahl in Drittländern wie zum Beispiel China zurückzuführen, deren Exporte die Preise drücken und deren unlautere Handelspraktiken die weltweit einheitlichen Wettbewerbsbedingungen verzerren. Dieser Problematik wird mit Antidumpingmaßnahmen versucht entgegenzuwirken. So wurden bereits 37 Antidumping- und Antisubventionsmaßnahmen gegenüber Stahlerzeugnissen in Kraft gesetzt, wobei 16 davon die Stahl-Einfuhren aus China betreffen (Europäische Kommission, 2016, s.p.).

Nach der Anzahl der Beschäftigten in der Stahlindustrie im Jahr 2016 sind folgende fünf Länder in der EU führend:

1. Deutschland – 84 900
  2. Italien – 34200
  3. Rumänien – 21 900
  4. Polen – 21 700
  5. Frankreich – 20 900
- (Eurofer, 2016, s.p.)

Nach der Menge an produziertem Rohstahl (in mt) im Jahr 2015 (Unterschied zu 2016 marginal) sind dies folgende fünf Länder:

1. Deutschland – 42 676
  2. Italien – 22 018
  3. Frankreich – 14 984
  4. Spanien – 14 846
  5. Vereinigtes Königreich – 10 853
- (Eurofer, 2017, 5)

### **3.4.2 Analyse der Materialflüsse in der EU – Stahlindustrie**

#### **3.4.2.1 Erzgewinnung, Erzaufbereitung und Erzvorbereitung in der EU**

In Abbildung 6 wird deutlich, dass auch auf EU-Ebene nicht herauszufinden war, wieviel unaufbereitetes Erz aus dem Bergbau gewonnen wurde. In der EU wurde allerdings nur in drei Staaten Erz für die Stahlindustrie abgebaut. Dies sind Deutschland mit rund 2%, Österreich mit rund 9% und Schweden mit rund 89% bezogen auf Eisenerz, welches bereits von der Gangart abgetrennt wurde (World Steel Association, 2016, 102). In Summe waren das 27,5 Millionen Tonnen Eisenerz, welche abgebaut und aufbereitet wurden. Ein Großteil dieser 27,5 mt wurde in einer unterirdischen Eisenerzgrube abgebaut. Diese befindet sich in der nördlichsten Stadt Schwedens, in Kiruna. Das Erz, welches hier als Magnetit vorkommt, wird vor Ort aufbereitet und ein Großteil davon wird in weiteren Verfahrensschritten zu Pellets verarbeitet (Vraetz et al., 2017, 318). Insgesamt wurden im Jahr 2015 somit über 20 Millionen Tonnen Eisenerz und Pellets aus Schweden exportiert. Nicht herauszufinden war jedoch, welcher Anteil aus der EU exportiert wurde und welcher Anteil lediglich aus Schweden exportiert, aber in ein anderes EU-Mitgliedsland reimportiert wurde. Somit sind auch die 7,3 mt Eisenerz, welche aus dem Inlandsabbau der Erzvorbereitung zugeführt wurden, mit Unsicherheiten behaftet, da dieser Wert die Menge an Eisenerz darstellt, welche in der Europäi-

schen Union abgebaut wurde und hierbei als Rohstoff in der Stahlindustrie zum Einsatz kam. Somit würde der Export von Eisenerz aus Schweden nach Deutschland zum Beispiel nicht als Nettoimport sondern als Eigenproduktion gelten. Dies wiederum würde die 129,3 Megatonnen Nettoimport von Eisenerz verringern, welcher somit ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet ist. In Summe lässt sich jedoch behaupten, dass insgesamt 136,6 Megatonnen Eisenerz der Erzvorbereitung zugeführt wurden. Bei der Erzvorbereitung kommen wie in Österreich Verfahren wie das Brechen und Mahlen, das Sintern oder Pelletieren zum Einsatz (siehe Kapitel 3.3.2.1). Durch Hinzufügen von Zuschlagstoffen wurden 144,7 Megatonnen für den Hochofenprozess vorbereitete Erze und Pellets hergestellt.

#### **3.4.2.2 Schmelzprozess, Frischen und Gussprozess – EU**

In der EU wurden 2015 knapp 60% des gesamten Rohstahls über sogenannte integrierte Routen hergestellt. Dazu zählt das weltweit vorherrschende Hochofenverfahren, welches bereits in Kapitel 3.3.2.2 vorgestellt wurde. Ein weiteres Verfahren, welches zu diesen Routen zu zählen ist, ist die integrierte Schmelzreduktionsroute. Hierbei unterscheidet man das Corex- und das Finexverfahren. Beim Corexverfahren werden hauptsächlich Stückerz und Pellets verwendet. Aus diesen Ausgangsstoffen wird in einem Reaktionsschacht Eisenschwamm hergestellt. Dieser wird in einem Einschmelzvergaser durch Zugabe von Kohle als Reduktionsmittel eingeschmolzen. Beim Finexverfahren wird im ersten Prozessschritt der Reaktionsschacht durch einen Wirbelschichtreaktor ersetzt. Ansonsten sind sich die beiden Verfahren sehr ähnlich, wobei als Produkt Roheisen entsteht, welches in einem Konverter wie beim Hochofenverfahren zu Rohstahl weiterverarbeitet wird. Der womöglich ausschlaggebende Vorteil bei der integrierten Schmelzreduktionsroute ist, dass hierbei der Schritt des Sinterns entfällt und der Einsatz von Pellets und Koks reduziert werden kann (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 4f).

Ebenfalls hier zu nennen ist die integrierte Direktreduktionsroute. Hierbei unterscheidet man zwischen dem Midrex- und dem Hylverfahren, die beide die Schachtofentechnologie nutzen. Hierbei entsteht aus Eisenerz Eisenschwamm. Dieser kann zu sogenannten „Hot Briquetted Iron“ kompaktiert werden, welche eine höhere Dichte haben, was für den Transport von Vorteil ist. Der Eisenschwamm oder die Briketts werden dann in weiterer Folge in Elektrolichtbogenöfen zu Rohstahl eingeschmolzen. Die integrierte Direkt- und Schmelzreduktionsroute spielt in der Rohstahlerzeugung eine untergeordnete Rolle. Insgesamt wurden über die integrierten Routen im Jahr 2015 etwas mehr als 100 Megatonnen Rohstahl erzeugt.

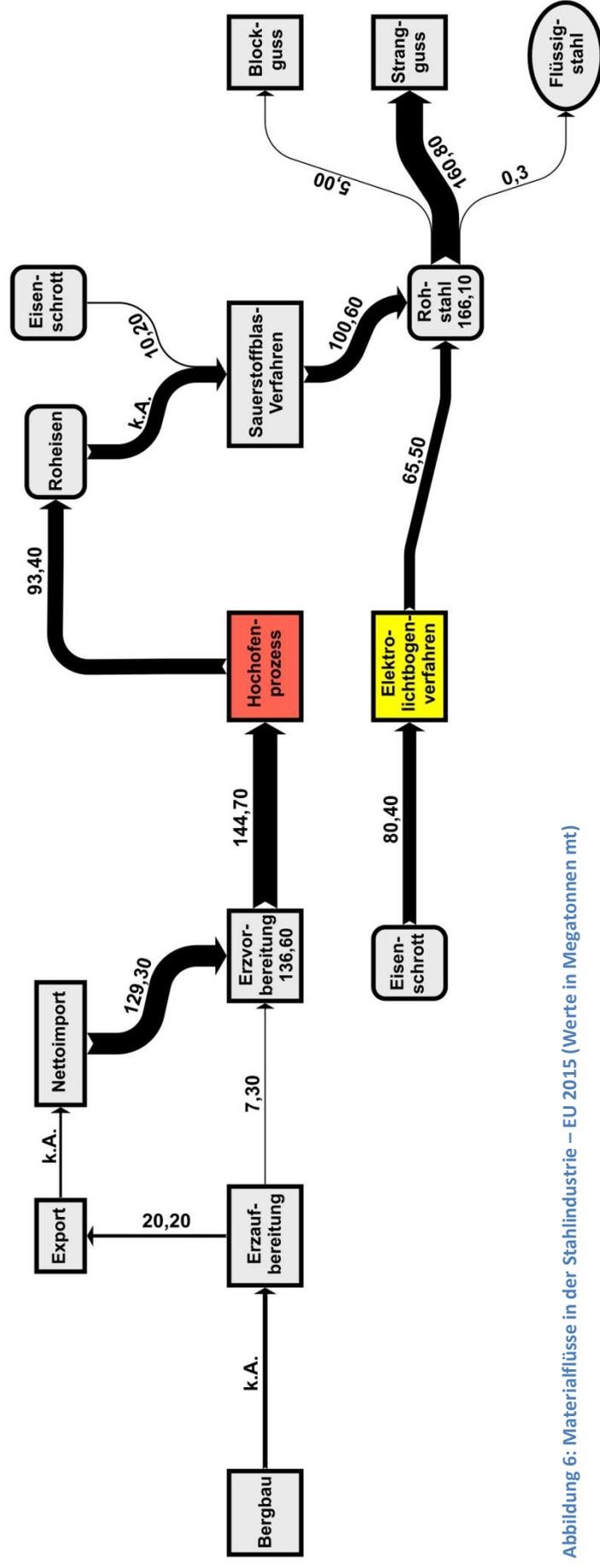


Abbildung 6: Materialflüsse in der Stahlindustrie – EU 2015 (Werte in Megatonnen mt)

Dies geschah durch den zusätzlichen Einsatz von rund zehn Megatonnen Schrott, welche als Kühlmittel für die Stahlschmelze eingesetzt wurden (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 5f).

Den integrierten Verfahren gegenüber steht die Elektrolichtbogenofenroute, welche ebenfalls schon in Kapitel 3.3.2.2 dargestellt wurde. Mit diesem Verfahren wurden rund 80 Megatonnen Schrott eingeschmolzen. Daraus wurden 65,5 Megatonnen Rohstahl. Somit wurden 40% des EU-Stahls mit der Elektrolichtbogenroute hergestellt. Dies ist um den Faktor vier mehr als in Österreich.

Bei allen Verfahrensrouten können sekundärmetallurgische Verfahrensschritte nachgelagert werden, wie etwa die Pfannenofen- oder die Vakuumbehandlung (Pulm und Raupenstrauch, 2014, 6). Beendet wird die metallurgische Behandlung mit dem Guss. Hierbei wird wie in Österreich der größte Anteil des flüssigen Stahls, welcher rund 97% ausmacht, mit dem Strangguss in Form gebracht. Dies waren knapp 161 Millionen Tonnen. Fünf Megatonnen wurden zu Blöcken gegossen und weniger als eine halbe Million Tonnen als Flüssigstahl für Gussteile verwendet.

### 3.5 Zement – Österreich

#### 3.5.1 Zementindustrie in Österreich

Unter Zement versteht man einen Massenbaustoff, der vor allem für die Herstellung von Beton und Mörtel eingesetzt wird (Kalweit et al., 2012, 363). Hauptsächlich besteht Zement aus Kalziumoxid, Siliziumoxid, in geringeren Mengen aus Aluminiumoxid und Eisenoxid (Stockinger, s.a., 146). Diese Hauptbestandteile werden als Kalkstein, Mergel und Ton in den Herstellungsprozess eingebracht. Generell lässt sich behaupten, dass dieser Werkstoff einen eingeschränkten wirtschaftlichen Transportradius hat (Stockinger, s.a., 146).

Dies bedeutet, dass Zement aus wirtschaftlicher Sicht am besten dort produziert wird, wo die Rohstoffe in



Abbildung 7: Zementwerkstandorte in Österreich (Friembichler et al, 2017, 3)

entsprechender Quantität vorkommen und ein Markt für den Zement besteht. An diesen Grundsatz hält sich vor allem die österreichische Zementindustrie. Dies ist an der hohen Regionalität dieser Branche erkennbar. Dezentrale Standorte sind durch die Transportkosten bedingt, welche durch den hohen Rohstoffbedarf einen enormen Kostenfaktor der Produktion darstellen würden. So haben sich Unternehmen der Zementindustrie in Österreich in der Vergangenheit vor allem dort angesiedelt, wo durch entsprechende Nähe zu Märkten ein dadurch resultierender Vorteil bezüglich des Kostenfaktors entsteht (Baaske und Kranzl, 2016, 5ff). Dieses Merkmal von Standorten findet sich jedoch auch bei anderen Industrien wieder, wie etwa die regionalen Standorte der Sägewerke zeigen. In Österreich sind die zementherstellenden Betriebe in der sogenannten „Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ)“ organisiert. Diese Vereinigung umfasst neun Betriebe mit 12 Standorten in ganz Österreich, welche in Abbildung 7 dargestellt sind (Stand 2017). Im Jahr 2014, auf welches sich die Stoffstromanalyse bezieht, gab es elf Standorte (ohne CRH Cement Roadstone Holding Wien). Hier wurden rund 1 200 Personen in der Zementindustrie beschäftigt. Da pro Unternehmen relativ wenig Personen beschäftigt sind, kann man die österreichische Zementindustrie als mittelständisch einstufen (Baaske und Kranzl, 2016, 15ff).

### **3.5.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Zementindustrie**

Die Materialflussanalyse in der österreichischen Zementindustrie bezieht sich auf das Jahr 2014. Grund dafür ist, dass sich die Analyse hierbei größtenteils auf die Daten aus der Publikation von Mauschitz (2015) stützt, wobei hierbei die aktuellsten Zahlen auf 2014 bezogen sind.

Wie bereits angeführt, besteht Zement zum größten Teil aus Kalkstein, Mergel und Ton. In Österreich verfügen jedenfalls sieben Betriebsstätten über Anlagen zur Primärrohstoffgewinnung und weitere vier zur teilweisen Primärrohstoffgewinnung (Baaske und Kranzl, 2016, 16). Der Abbau von Kalkstein und Mergel erfolgt im Bergbau, wobei vor Ort durch Brechen eine Zerkleinerung des Materials erfolgt (Friembichler et al., 2017, 9). Wie man in Abbildung 8 erkennen kann, waren dies 2014 rund 4,2 Millionen Tonnen Kalkstein und Mergel, welche der Zementindustrie zugeführt wurden. Ergänzend dazu wurden rund 0,2 mt Ton benötigt. Um eine relativ gleichbleibende Rohstoffzusammensetzung zu generieren, wird das Rohmaterial zu sogenannten Mischbetten aufgeschüttet und von dort schichtweise entnommen. So können Schwankungen der chemischen Anteile im Rohstoff ausgeglichen werden (VDZ, s.a., 48). Nach dieser sogenannten Vorhomogenisierung wird das Material in Rohmehlmühlen für die weiteren Verfahrensschritte zerkleinert. Hierbei wurden rund 4,4 mt Rohmaterial gemahlen. Um

eine gute Durchmischung des Rohmehls zu erhalten, werden in diesem Verfahrensschritt ebenfalls weitere Primär- und Sekundärrohstoffe hinzugefügt (VDZ, s.a., 49). In Summe waren dies weniger als 0,1 mt weitere Primärrohstoffe, welche sich aus Quarzsand, Eisenerz, Gips und sonstigen Flussmitteln zusammensetzten. Die Sekundärrohstoffe bestanden zu rund zwei Dritteln aus mineralischen sekundären Rohstoffen wie etwa Tonersatz, Baurestmassen, Ziegelsplitt oder Gipsrecyclat. Hinzu kamen rund 25% diverse Schlacken und ein kleiner Anteil Gießereialsand (Mauschitz, 2015, 14ff). Somit wurden rund 0,7 mt sekundäre Rohstoffe in den Rohmehl – Mahlvorgang eingebracht. In diesem Mahlvorgang erfolgt auch eine gleichzeitige Trocknung des Materials. In Österreich wurden 2014 somit rund 4,8 Megatonnen Rohmehl hergestellt.

Das Rohmehl wird in weiterer Folge für den Brennprozess vorbereitet. Hierfür wird es in einem ersten Schritt soweit erhitzt, dass das Kohlendioxid ausgast. Dieser Schritt wird Entsäuerung genannt (VDZ, s.a., 22). In Österreich werden hierfür zwei Verfahren angewendet. Mehr als 90% des gesamten in Österreich verarbeiteten Rohmehls wurde im Bezugsjahr einem Zyklonvorwärmer zugeführt und somit entsäuert. Hierbei wurde das Rohmehl in Zyklonen mit dem Abgas des Drehrohrofens mit dem Gegenstromprinzip erhitzt. Es wurden somit rund 4,5 Megatonnen Rohmehl für den Sinterprozess vorbereitet, wobei nach dem Masseverlust der Entsäuerung rund 2,9 mt Rohmehl anfielen. Die restlichen rund 0,4 Megatonnen Rohmehl wurden in einem sogenannten Lepolofen entsäuert.

Für dieses Rostverfahren muss das Rohmehl granuliert werden. Dies geschieht durch Zugabe von Wasser. Die dabei entstehenden Granalien werden auf dem Lepolrost erhitzt, wobei ebenfalls Kohlendioxid ausgegast wird. Nach diesem Prozess wird das Material dem Drehrohrföfen zugeführt (VDZ, s.a., 52f).

Hierbei entstanden im Bezugsjahr rund 0,3 mt für den Sinterprozess vorbereitetes Rohmehl. In Summe wurden in Österreich knapp 3,2 Megatonnen aufbereitetes Material einem Drehrohrföfen zugeführt.

Hierbei wird das Material durch die Drehbewegung und Neigung des Ofenrohrs sukzessive in heißere Zonen befördert. Bei rund 1450°C bilden sich durch den Sinterprozess sogenannte Klinker, die nach dem Brennprozess rasch abgekühlt werden (Friembichler et al., 2017, 13). Zur Befeuerung werden neben fossilen Brennstoffen ebenfalls Ersatzbrennstoffe eingesetzt.

Dies waren in Summe eine knappe halbe Million Tonnen. Kunststoffabfälle (294kt), Altreifen (48kt), Papierfaserreststoff (39kt) und sonstige Ersatzbrennstoffe (113kt) wurden somit einer thermischen Verwertung zugeführt. Es wurden im Bezugsjahr somit rund 3,1 Megatonnen Klinker hergestellt. Ausgehend von den rund 4,8 mt Rohmehl ergab das einen Rohmehlfaktor von circa 1,55.

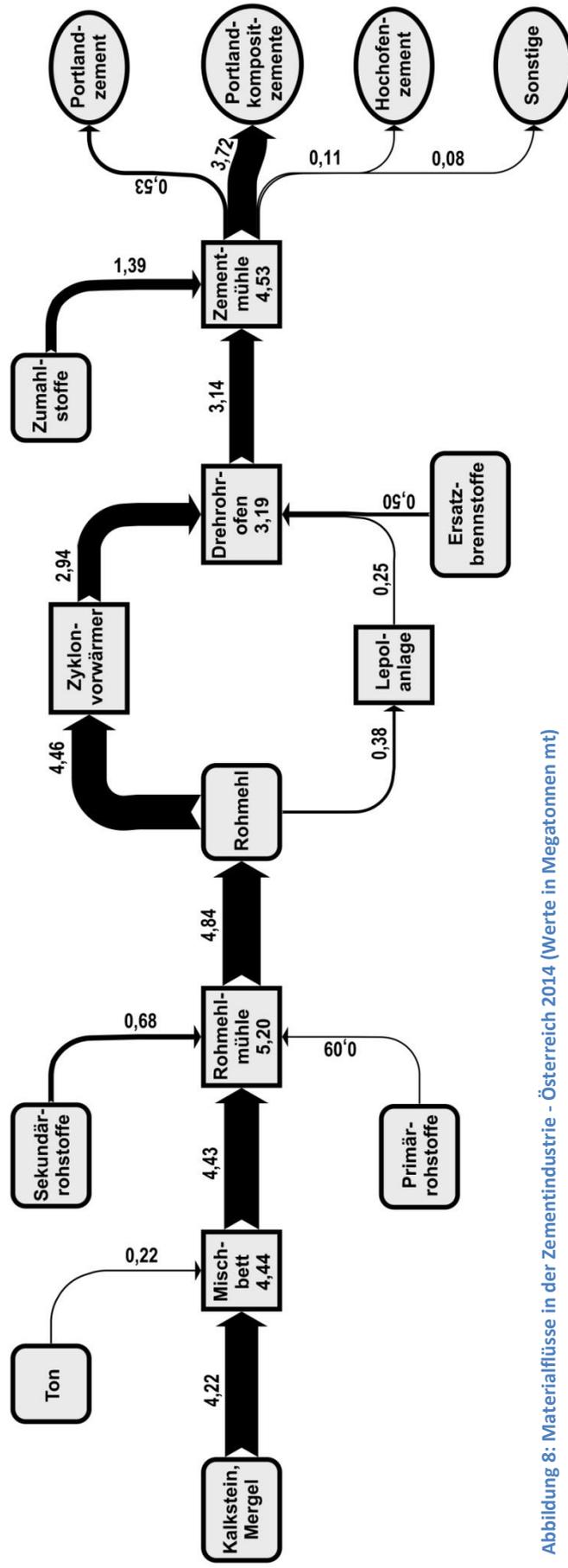


Abbildung 8: Materialflüsse in der Zementindustrie - Österreich 2014 (Werte in Megatonnen mt)

Die Klinker werden in Walzen- und Kugelmöhlen gemahlen. Die Art und Dauer des Mahlvorgangs wird hierbei dem gewünschten Produkt entsprechend angepasst. Ebenfalls angepasst wird hierbei die Beimengung von sogenannten Zumahlstoffen (Friembicher et al., 2017, 15). In Summe wurden im Bezugsjahr fast 1,4 Megatonnen verschiedene Zumahlstoffe eingesetzt, um die entsprechenden Zementsorten zu erzeugen. Diese setzen sich aus Hochofenschlacke/Hüttensand (682kt), Kalkstein/Mergel (273kt), Gips/Anhydrit (138kt), Flugasche (123kt), mineralischen sekundären Zumahlstoffen (118kt) und sonstigen Zumahlstoffen (60kt) zusammen (Mauschitz, 2015, 14f) zusammen. Somit wurden in Österreich rund 4,434 Millionen Tonnen Zement erzeugt. Mit rund 3,7 Megatonnen entfielen fast 84% auf die Kategorie CEM II Portlandkompositzement. Am zweitmeisten wurde mit rund einer halben Megatonne (12%) die Kategorie CEM I Portlandzement produziert. Etwa 0,1 mt entfielen auf Hochofenzement und weitere 0,08 mt auf die Kategorie „Sonstige“.

## **3.6 Zement – EU**

### **3.6.1 Zementindustrie in der EU**

Die europäische Zementindustrie hat in den vergangenen Jahren viel von ihrer globalen Bedeutung verloren. Ähnlich wie auch die Stahlindustrie kämpft man hier gegen die Produzenten aus China und weiteren asiatischen Staaten. China produzierte im Jahr 2014 in etwa 2 400 Millionen Tonnen Zement. Mit rund 57% der Weltproduktion ist das folglich mehr als der Rest der Welt zusammen produzierte. Im Jahr 2001 lag dieser Anteil noch bei rund 38% und die europäische Erzeugung bei rund 16% der Weltproduktion. In Europa wurden 2014 rund 245 Megatonnen produziert. In der Europäischen Union, deren Anteil vor allem durch die Nichteinberechnung der türkischen Produktion um einiges geringer ist, waren dies 2014 rund 166,8 Megatonnen. Dies stellt nur rund 3,5% der Weltproduktion dar (VÖZ, 2016a, s.p.). Laut der VÖZ (2016b, s.p.) stellt Europa für Zementprodukte keinen Massenmarkt mehr dar, sondern erzeugt vor allem Qualitätsware. Somit waren im Jahr 2015 rund 38 000 Beschäftigte im Zementsektor der Europäischen Union tätig.

In Österreich ist die Zementindustrie durch die Vereinigung Österreichischer Zementindustrie (VÖZ) organisiert. In Europa besteht als Pendant dazu die „European Cement Association“, welche den Namen „Cembureau“ trägt. Diese Vereinigung, welche die nationalen Zementvereinigungen sowie die Zementunternehmen der Europäischen Union (exklusive Malta, Zypern und Slowakei) zu deren Mitgliedern zählt, hat ihren Hauptsitz in Brüssel. Mitgliedsländer außerhalb der EU sind Norwegen, die Schweiz und Türkei (Baidinger, 2013, 2).

### 3.6.2 Analyse der Materialflüsse in der Zementindustrie – EU

Die bereits genannte Tatsache, dass die europäische Zementindustrie durch die europäische Zementvereinigung organisiert ist, zu deren Mitgliedern auch Nicht-EU-Staaten zählen, erschwerte die Datenerhebung in der Zementindustrie auf EU-Ebene. So musste die Darstellung der Materialflüsse in Abbildung 9 im Vergleich zu Österreich um einiges reduziert werden, da Angaben zu den Mengenflüssen nicht generierbar waren. Die Hälfte der Werte wurde aus den Verhältnissen der österreichischen Mengenflüsse zueinander hergeleitet, wie in Tabelle 6 ersichtlich ist.

Als Bezugsjahr wurde für diese Analyse ebenfalls das Jahr 2014 gewählt, da somit ein Vergleich mit der österreichischen Zementindustrie exakter möglich ist.

In der Europäischen Union wurden, wie man aus der Abbildung 9 entnehmen kann, knapp 160 Megatonnen Kalkstein und Mergel der Zementindustrie zugeführt. Dies war fast die vierzigfache Menge verglichen mit Österreich. Ebenfalls wurden rund sieben Megatonnen Ton verbraucht. Diese Grundstoffe wurden der Rohmaterialaufbereitung zugeführt, welche somit über ein Mischbett die Prozesse Homogenisieren und Mahlen durchliefen. Welche Menge an weiteren Primär- und Sekundärrohstoffen dem Rohmehl hinzugefügt wurde, konnte nicht herausgefunden werden.

Der Einsatz von Korrekturmaterialien ist von verschiedenen Faktoren beeinflusst und variiert deshalb. Dies hat zur Folge, dass der Einsatz dieser Stoffe nicht ohne weiteres hergeleitet werden kann. Diese Problematik betrifft ebenfalls die drei Grundstoffe Kalkstein, Mergel und Ton, die mengenmäßig mit dem Korrekturmaterialieneinsatz korrelieren. Dies sei hier erwähnt, um zu verdeutlichen, mit welchen Unsicherheiten diese Werte in Abbildung 9 behaftet sind und um diese lediglich als ungefähre Angabe anzusehen.

In Summe wurden im Bezugsjahr rund 182 Megatonnen Rohmehl dem Brennvorgang zugeführt, wobei unbekannt bleibt, welche Mengen durch das Lepolofen- oder Zyklonvorwärmverfahren den Prozess der Entsäuerung durchlaufen haben. Aus dem nachgelagerten Sinterprozess wurden 114 Megatonnen Klinker hergestellt. Welche Menge an Ersatzbrennstoffen zur Befuerung der Öfen eingesetzt wurde, konnte nicht bestimmt werden, jedoch liegt laut Cembureau (2016, 28) der Anteil an alternativen Brennstoffen in der EU bei rund 40%. Die Menge an Klinkern wurde durch Zugabe von rund 57 Megatonnen Zumahlstoffen in Zementmühlen zu Zement verarbeitet. Daraus entstanden rund 169 Megatonnen an Zement, wobei unbekannt bleibt, welche Mengen von den verschiedenen Zementsorten hergestellt wurden.

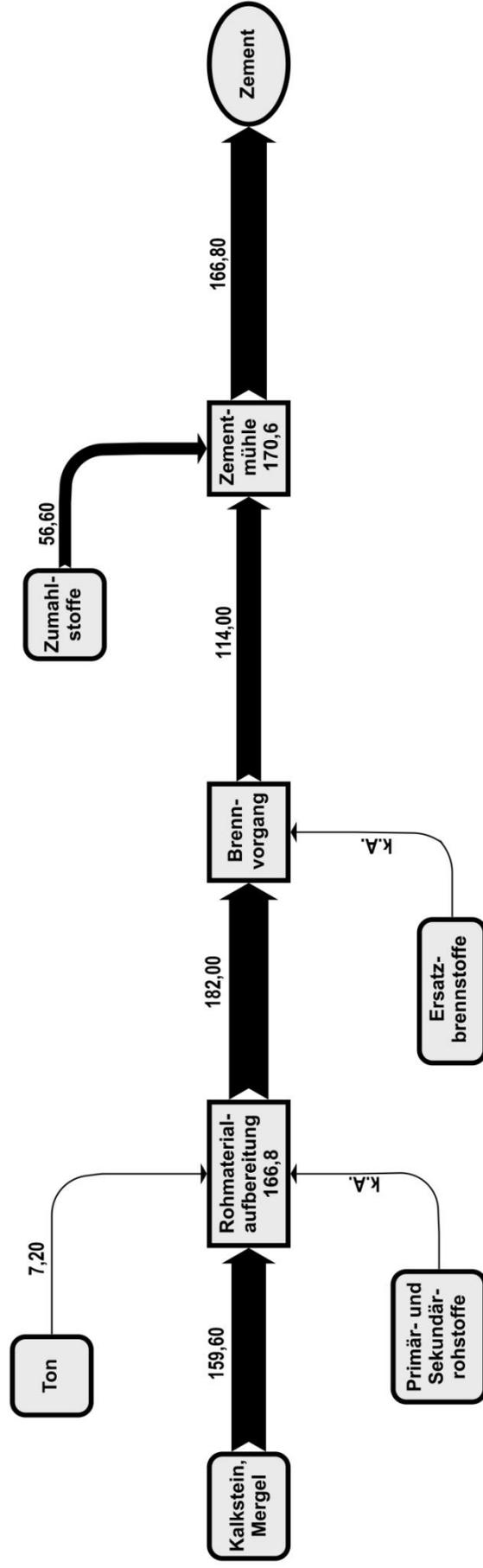


Abbildung 9: Materialflüsse in der Zementindustrie - EU 2014 (Werte in Megatonnen mt)

## **3.7 Kunststoff – Österreich**

Kunststoffe wurden ursprünglich entwickelt, um Naturprodukte wie Elfenbein, Naturgummi oder Baumharze zu ersetzen. Kohlhepp (2005) gibt beispielsweise eine ganz kurz zusammengefasste Geschichte der Entwicklung der Kunststoffe und ihrer bevorzugten Einsatzgebiete, ebenso wie bei dem schon eingangs erwähnten Handbuch zur Materialtechnologie von Stattmann (2003).

Mengenmäßig liegt die Erzeugung von Kunststoffen nicht in dem Bereich von mineralischen Baustoffen, wie etwa Beton, welcher zum Teil aus Zement (siehe Kapitel Zement – Österreich) besteht bzw. von Stahl und Holz. Dennoch ist deren Einsatz in verschiedenen Anwendungsgebieten vorherrschend. Vor allem Erdöl ist der wichtigste Grundstoff für vollsynthetische Kunststoffe. Daneben finden auch noch Kohle, Erdgas, Kochsalz, Kalk und Wasser Verwendung in der Kunststoffherzeugung (Scholz et al., 2016, s.p.). Im Zuge dieser Arbeit wird jedoch nur der Materialfluss, welcher vom Erdöl ausgeht, betrachtet. Dies hat den Grund, dass es mangels Datenverfügbarkeit nicht möglich war, sämtliche Rohstoffe, welche in der Kunststoffherzeugung eingesetzt werden, in die Datenanalyse mit einzubeziehen.

### **3.7.1 Kunststoffindustrie in Österreich**

Der mit Abstand größte Kunststoffherzeuger Österreichs ist das Unternehmen „Borealis“ (Wolf, 2017, 5). Am Standort Wien-Schwechat werden pro Jahr rund eine Million Polyolefine erzeugt und rund 550 Mitarbeiter beschäftigt. Hier werden vor allem Primärkunststoffe für die Anwendung in der Verpackungsindustrie, Infrastruktur und Automobilindustrie erzeugt (Borealis, s.a., s.p.). Kunststoffherzeuger liefern ihre Produkte an kunststoffverarbeitende Betriebe. Dies sind in Österreich 575 Betriebe mit beinahe 30 000 Mitarbeitern (FCIO, s.a., s.p.). Neben Borealis liefern auch weitere Betriebe Rohstoffe an die Kunststoffverarbeitung. Laut der Vereinigung österreichischer Kunststoffverarbeiter (s.a., s.p.) sind dies weitere 12 Betriebe aus dem Inland.

### **3.7.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Kunststoffindustrie**

Das österreichische Gas- und Ölunternehmen OMV und die Rohöl-Aufsuchungs AG (RAG) sucht in Österreich vor allem im Wiener Becken und in der Molassezone nach wirtschaftlich relevantem Erdölvorkommen. So wurden im Jahr 2015 rund 0,9 Millionen Tonnen Erdöl und Flüssiggas, inklusive Kondensat (NGL), gefördert (siehe Abbildung 10). Davon wurden mehr als 85% in Niederösterreich zu Tage gebracht (Fachver-

band der Mineralölindustrie, 2016, 20f). Neben der heimischen Förderung wurde ein weitaus größerer Teil importiert. Dies waren in Summe rund 8,1 Millionen Tonnen Rohöl. Diese Menge wurde durch insgesamt 16 Staaten an die österreichische Industrie geliefert. Die Hauptexporteure nach Österreich waren Kasachstan (2,2mt), Libyen (0,9mt), Aserbaidschan (0,8mt), Algerien (0,8) und Russland mit rund 0,7 Megatonnen Rohöl. Die Anlieferung des ausländischen Rohöls erfolgte ausschließlich über Pipelines an die OMV-Raffinerie in Österreich (Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 22).

In Österreich befindet sich die einzige Raffinerie in Wien-Schwechat. Hier wurden im Jahr 2015 rund 8,9 Millionen Tonnen Rohöl weiterverarbeitet. In einer der modernsten und größten Binnenraffinerien Europas, welche im Bezugsjahr rund 700 Mitarbeiter beschäftigte, wurde das Rohöl destilliert und somit zu weiteren Produkten oder Ausgangsstoffen weiterverarbeitet (Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 27f). Hierbei wird das Rohöl unter Normaldruck einem sogenannten Rektifikationsprozess zugeführt. Danach werden die Rückstände aus diesem Verfahren durch eine Vakuumdestillation weiter aufbereitet. Um die Stoffe mit den gewünschten Eigenschaften zu erhalten, müssen die Destillationsschnitte in Konversionsverfahren weiter verarbeitet werden. Für Ausgangsstoffe für die Petrochemie werden somit vor allem die Destillationsschnitte Naphta und Flüssiggas im sogenannten Steamcracker aufgebrochen. Dabei werden die Stoffe bei rund 800 - 900°C durch Zugabe von Wasserdampf gecrackt und somit weitere Grundstoffe hergestellt (Behr et al., 2010, 173ff).

Durch diese Verfahren wurden 2015 knapp 1,1 Millionen Tonnen Grundstoffe für die Petrochemie gewonnen. Ein weitaus größerer Anteil wurde jedoch zu Kraftstoffen oder Heizölen verarbeitet. Wie in Abbildung 10 dargestellt ist, wurden großteils Dieselmotorkraftstoffe (3,4mt), Ottomotorkraftstoffe (1,9mt) und Heizöle (1,2mt) hergestellt. Die weiteren Produkte waren Fluggastturbinenkraftstoff (0,7mt), Bitumen (0,4mt) und sonstige Produkte (0,2mt). Diese Stoffe und Produkte werden hier (siehe Abbildung 10) lediglich aus dem Flussdiagramm ausgegliedert, da sie nicht weiter Bestandteile der Analyse sind. Dies ist erwähnt, um nicht den Trugschluss zu vermitteln, dass diese Produkte keine weiteren Verfahrensschritte durchlaufen. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle ebenfalls erwähnt, dass ebenfalls über sechs Millionen Tonnen an Fertigprodukten wie Diesel, Benzin oder Heizöl nach Österreich importiert wurden, um den heimischen Bedarf zu decken (Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 22). Die petrochemischen Grundstoffe setzten sich aus verschiedenen Verbindungen mit tendenziös kurzen Molekülen zusammen. Dies sind vor allem die Wertstoffe Ethen, Propen, C4 -Schnitt und Pyrolysebenzin. Welcher Anteil der knapp 1,1 mt in der Kunststoffindustrie eingesetzt wurde und wieviel in anderen Bereichen der Petrochemie eingesetzt wurde, bleibt jedoch unklar. Ebenfalls nicht herausfindbar bleibt, welche Menge an petrochemischen Grundstoffen importiert wurde und in der Kunststoffindustrie eingesetzt wurde.

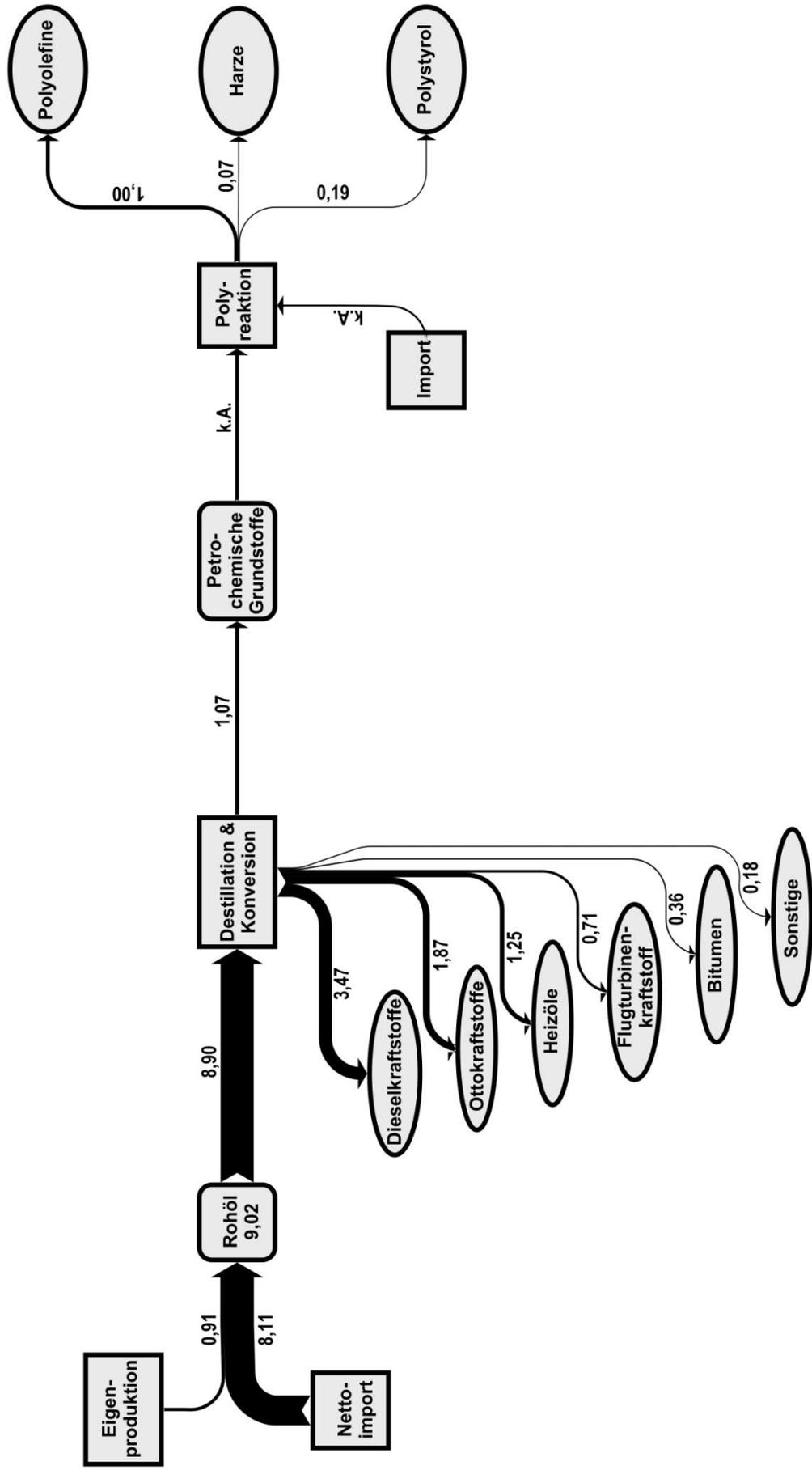


Abbildung 10: Materialflüsse in der Kunststoffindustrie - Österreich 2015 (Werte in Megatonnen mt)

Dies wurde durch die Tatsache verursacht, dass der österreichische Mineralölbericht 2015, welcher als umfangreiche Datenquelle für die Mineralölbranche gilt, die Petrochemie nicht beinhaltet.

In der Kunststoffindustrie wird vor allem nach drei Herstellungsverfahren unterschieden, welche man unter dem Begriff Polyreaktion zusammenfassen kann. Dies sind die Polymerisation, die Polykondensation und die Polyaddition (Scholz et al., 2016, s.p.). Hierbei werden die petrochemischen Grundstoffe einer weiteren Verarbeitung zugeführt. Bei der Polymerisation verknüpfen sich Monomere unter Aufspaltung einer Doppelbindung zu Polymeren. Als Beispiel kann hier das Polyethylen genannt werden, welches aus Ethen hergestellt wird. Ebenfalls wird Polystyrol durch eine spezielle Form der Polymerisation hergestellt (Behr et al., 2010, 197). In Österreich wurden somit knapp 0,2 mt Polystyrol erzeugt. Dieses Thermoplast wird oftmals verschäumt und unter dem Markennamen Styropor in den Handel gebracht (Behr et al., 2010, 199). Bei der Polykondensation reagieren mindestens zwei Moleküle unter Abspaltung eines Moleküls wie etwa Wasser. Polyester werden zum Beispiel durch die Reaktion eines Diols mit einer Dicarbonsäure hergestellt, wobei sich Wasser abspaltet (Behr et al., 2010, 195). Ebenfalls zu den Polyreaktionen zählt der Prozess der Polyaddition. Hierbei werden mindestens zwei unterschiedliche Moleküle mit reaktionsfreudigen Gruppen miteinander verknüpft. Im Unterschied zur Polykondensation wird bei dieser Reaktion jedoch kein kleineres Molekül abgespalten (Scholz et al., 2016, s.p.). Als wohl wichtigste Gruppe der Polymere gelten die Polyolefine. Davon wurden in Österreich rund eine Million Tonnen hergestellt. Hierzu zählen das Polyethylen und das Polypropylen, welche in verschiedenen Industrien zum Einsatz kommen. Knapp 0,01 mt entfielen 2015 auf die Produktion von Kunstharzen. Unter diese Kategorie fielen Phenoplaste, Aminoplaste und Epoxidharze. Zusammen wurden somit rund 1,26 Millionen Tonnen Primärkunststoffe in Österreich hergestellt.

## **3.8 Kunststoff – EU**

### **3.8.1 Kunststoffindustrie in der EU**

Rund 18% des weltweit hergestellten Kunststoffes im Jahr 2015 wurden in den Mitgliedsländern der Europäischen Union erzeugt (Plastics Europe, 2018, s.p.). Von 2005 bis ca. 2015 musste die europäische Kunststoffindustrie vor allem in Westeuropa auf Grund von gesunkener Nachfrage und kostenbedingten Wettbewerbsnachteilen Produktionskapazitäten stilllegen. Im Jahr 2015 verbesserte sich die Lage und die europäischen Kunststoffhersteller konnten wieder steigende Gewinne und Produktionszu-

wächse verbuchen (Wolf, 2017, 5). Der größte Kunststoffherzeuger der EU ist Deutschland mit etwa 20 Megatonnen an jährlicher Produktion.

Mit rund 28% Anteil an der Weltkunststoffproduktion liegt die Volksrepublik China an erster Stelle (Plastics Europe, 2016, 13). 322 Millionen Tonnen Kunststoffe wurden, global betrachtet, im Bezugsjahr 2015 produziert (Plastics Europe, 2016, 3). Konträr zu der Bedeutung der EU als Kunststoffproduzent, wo sie etwa gleich mit den Nafta-Staaten an der zweiten Stelle rangiert, gilt die Europäische Union bezüglich Erdölförderung als Kleinproduzent. So wurden im Jahr 2015 lediglich weniger als zwei Prozent des weltweit geförderten Erdöls in der EU gewonnen. In China wurde beispielsweise ebenfalls weitaus weniger Erdöl gewonnen als verbraucht wurde (BP, 2016, 11). Dieser Sachverhalt hat zur Folge, dass die EU und andere Staaten mit geringeren Erdölvorkommen und daraus folgen weniger Förderung zu einem großen Anteil an die Abhängigkeit von Importen gebunden sind.

In der gesamten Kunststoffindustrie auf EU-Ebene sind in etwa 60 000 Betrieben über 1,5 Millionen Personen beschäftigt. Hierzu zählen jedoch die Kunststoff produzierende Industrie ebenso wie die Kunststoff verarbeitende und recycelnde Industrie sowie die Kunststoff-Maschinenhersteller (Plastics Europe, 2016, 8).

### **3.8.2 Analyse der Materialflüsse in der Kunststoffindustrie – EU**

Wie bereits erwähnt, wird lediglich ein vergleichsweise kleiner Anteil der jährlichen Erdölförderung in der Europäischen Union getätigt. Wie man aus der Abbildung 11 entnehmen kann, waren dies 2015 rund 69 Megatonnen. Die größten Produzenten waren das Vereinigte Königreich (43,8 mt), Dänemark (7,6 mt), Italien (5,5 mt) und Rumänien mit 4 Millionen Tonnen. Der größte europäische Produzent ist Norwegen mit einer Förderung von rund 81 Megatonnen im Jahr 2015. Um die Kapazitäten der Erdölraffinerien im EU-Raum auszulasten, mussten rund 553 Millionen Tonnen Erdöl in die Europäische Union importiert werden. Dies waren knappe 13% des weltweit geförderten Erdöls (BP, 2016, 10). Die größten Importeure in die Union waren Russland (153,2 mt), Norwegen (63,3 mt), Nigeria (44,3 mt) und Saudi Arabien mit einer Menge von 41,7 Megatonnen. Somit waren diese vier Staaten für rund 55% des Imports an Rohöl in die EU verantwortlich (Eurostat, 2017d, s.p.).

Ein Großteil des in der EU verbrauchten Erdöls wurde für die Produktion von Kraftstoffen für den Transport, für die Erzeugung von elektrischem Strom, sowie für Heizzwecke eingesetzt. Die in Abbildung 11 illustrierten Pfeile, die aus dem Prozess der Destillation und Konversion den Materialfluss in die weiteren Verwendungssparten zeigen, stellen lediglich die Menge an Erdöl dar, welche für die entsprechenden Zwecke eingesetzt wurde.

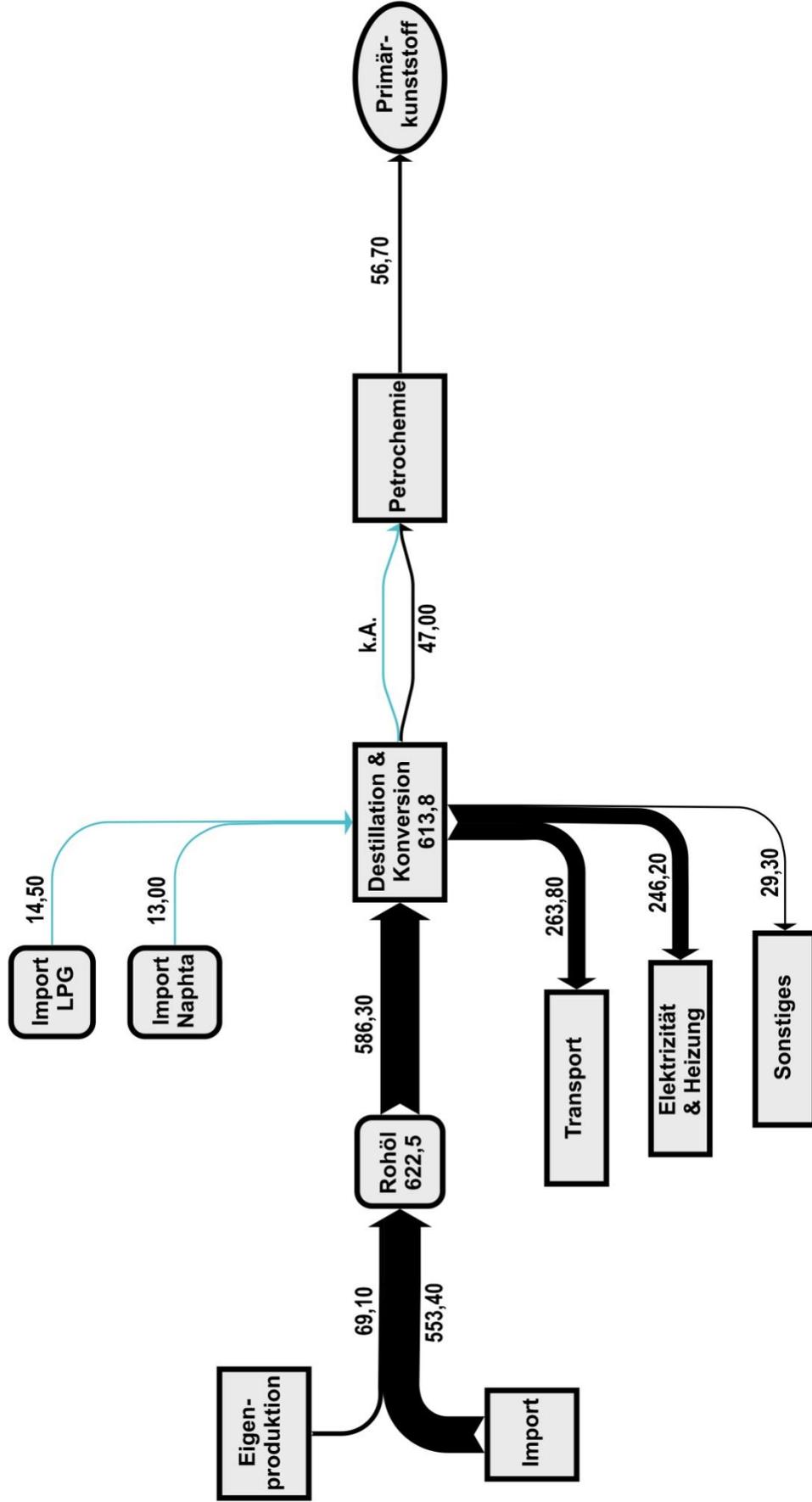


Abbildung 11: Materialflüsse in der Kunststoffindustrie – EU 2015 (Werte in Megatonnen mt)

Die Menge an aufbereiteten Stoffen, wie etwa Diesel oder Benzin, wird hier jedoch nicht gezeigt. So wurden rund 264 mt des verarbeiteten Rohöls für Treibstoffe verwendet. 246 mt wurden für die Stromerzeugung sowie für Wärmeerzeugung eingesetzt. Für sonstige Zwecke wurden etwa 29 Megatonnen Rohöl verarbeitet. Wie auch in Österreich mussten neben der Eigenproduktion weitere Mengen an Erdölprodukten importiert werden, um die Nachfrage befriedigen zu können. So wurden zum Beispiel 14,5 mt an Flüssiggas und 13 mt an Naphta importiert. Diese beiden Stoffe finden vor allem als Ausgangsprodukte in der chemischen Industrie, wie etwa der Kunststoffindustrie, Anwendung. Unklar bleibt, welche Mengen tatsächlich, nach weiteren Aufbereitungsschritten wie dem Cracken, in der Petrochemie eingesetzt wurden. Analog zu den Mengenflüssen in die Verwendungskategorien suggeriert der Pfeil in Abbildung 11 lediglich die Menge an Erdöl, welche der Petrochemie als Rohstoff diente. Nicht herausfindbar ist, welche Quantitäten an Ausgangsprodukten in der Kunststoffindustrie eingesetzt wurden, sowie die Information, welche Kunststoffgruppen daraus hergestellt wurden. Gesamt wurden in der Europäischen Union rund 56,7 Millionen Tonnen an Kunststoffen erzeugt.

## **3.9 Aluminium - Österreich**

### **3.9.1 Aluminiumindustrie in Österreich**

Aluminium ist ein Metall aus der Gruppe der Nichteisenmetalle und auf Grund seiner Eigenschaften ein wichtiger Werkstoff in verschiedensten Einsatzgebieten. Anwendungsgebiete sind vor allem die Automobilindustrie und allgemein der Transportsektor. Ebenfalls sind die Bau- und Verpackungsindustrie, der Stromsektor bis hin zu der Landwirtschaft als Einsatzgebiete dieses Leichtmetalles anzusehen. Durch verschiedene Technologien, welche in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden, wird auch die Aluminiumindustrie eine dementsprechende Rolle spielen (Meyer et al., 2016, 12).

Aluminium kann als Primärrohstoff durch Aufbereitung des aluminiumhaltigen Sedimentgesteins Bauxit gewonnen werden und als Sekundärrohstoff durch die Verwertung von Aluminiumschrott (Scholz et al., 2016, s.p.). An dieser Stelle soll verdeutlicht werden, dass durch die Verwendung von Aluminiumschrott als Sekundärrohstoff und somit durch das Recycling dieses Materials in etwa nur 5% an Energie benötigt werden, die bei der Primärproduktion von Aluminium notwendig wären. Dies ist einer der Hauptgründe, warum der stofflichen Verwertung dieses Materials eine enorme Wichtigkeit zukommt (AMAG, 2015, s.p.). In Österreich wurde die Produktion von Primäraluminium im Jahr 1993 eingestellt. Seitdem wird lediglich auf die Verwendung von Aluminiumschrott gesetzt. Ergänzend dazu benötigt man hierzulande entsprechende

Mengen an Primäraluminium, welche folglich zur Gänze importiert werden müssen (Buchner et al., 2014, 113). In der Nichteisen-Metallindustrie, in welche die Aluminiumindustrie einzuordnen ist, waren in Österreich im Jahr 2015 rund 6300 Personen in 20 Betrieben beschäftigt (Statista, 2018a, s.p.).

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Aluminium-Knetwerkstoffen und Aluminium-Gusswerkstoffen. Die Gusswerkstoffe werden in der klein strukturierten Gießereiindustrie hergestellt (Scholz et al., 2016, s.p.). Im Bezugsjahr bestanden in Österreich 22 Nichteisen-Metallgießereien und drei Gießereien, die sowohl Eisenmetalle als auch Nichteisenmetalle verarbeiteten (Statista, 2018b, s.p.). Österreichs größtes Unternehmen in der Aluminiumbranche ist die Austria Metall AG (AMAG) mit dem inländischen Sitz in Ranshofen in Oberösterreich. Hier wurden 2015 mehr als 1700 Mitarbeiter beschäftigt und ein Großteil der österreichischen Guss- und Knetwerkstoffproduktion getätigt.

### **3.9.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Aluminiumindustrie**

Vorweg sei hier angeführt, dass die Datenlage in der österreichischen Aluminiumindustrie relativ begrenzt ist. Somit war die Datenanalyse und folglich die Entwicklung eines aussagekräftigen Flussdiagrammes mit einigen Schwierigkeiten und Unsicherheiten verbunden. Eine Ausnahme stellten die Gießereibetriebe dar, wobei innerhalb dieser Branche passende Daten generierbar waren (blaue Pfeile in Abbildung 12). Die Datenanalyse stützt sich fast zur Gänze auf Buchner et al. (2014). In dieser Publikation werden die Aluminiumflüsse in Österreich auf das Jahr 2010 bezogen, analysiert, wobei die einzelnen Werte mit der Unsicherheit eines relativ breiten Schwankungsintervalls „belastet“ sind. Die Auswertung der Materialflussanalyse für das Jahr 2015, welche in Abbildung 12 illustriert ist, stützt sich dabei auf die Verhältnisse dieser Publikation. Generell soll an dieser Stelle deutlich vermerkt werden, dass die Ergebnisse dieser Analyse ebenfalls mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Rund 536 000 Tonnen Aluminiumschrott wurden im Jahr 2015 einer stofflichen Verwertung zugeführt. Davon wurden über 20% für den Einsatz in Gießereien verwendet (blaue Pfeile). Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Altschrott und Neuschrott, wobei letzterer als Rücklauf aus Aluminium verarbeitenden Betrieben angesehen werden kann (Scholz et al., 2016, s.p.). Hier konnte bezüglich dieser Kategorisierung jedoch nicht weiter differenziert werden. Ebenfalls dem Schmelzprozess zugeführt wurden rund 78 Kilotonnen Primäraluminium, welches zur Gänze aus Import zur Verfügung steht. Davon wurden wiederum über ein Fünftel in der Gießereibranche verarbeitet.

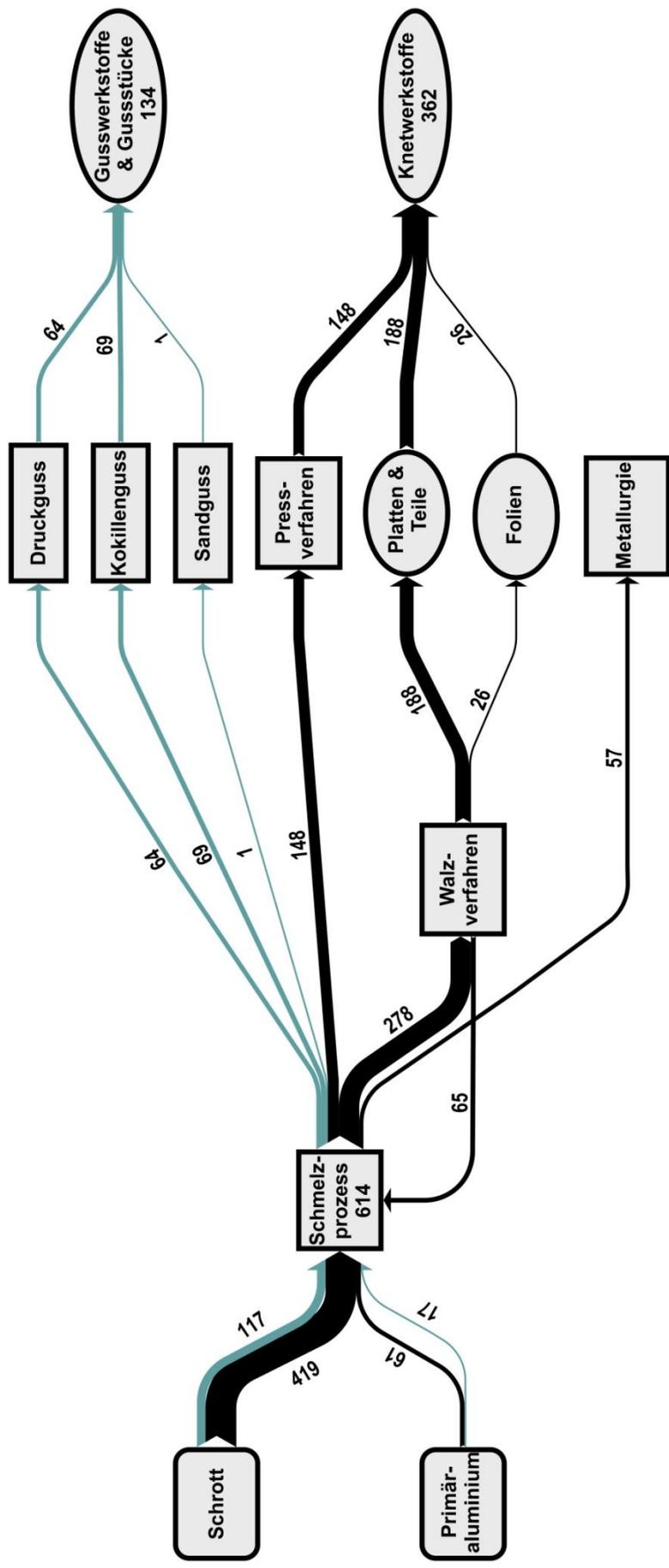


Abbildung 12: Materialflüsse in der Aluminiumindustrie - Österreich 2015 (Werte in Kilotonnen kt)

Der Schmelzprozess erfolgt in Öfen, wobei in diesem Prozessschritt verschiedene Ofentypen eingesetzt werden. In Aluminiumgießereibetrieben sind dies unter anderem Induktionsöfen, Schachtschmelzöfen, Tiegelöfen und Wannenschmelzöfen (UBA, 2012, 8). Welche Ofentypen in Österreich Verwendung finden, konnte nicht eruiert werden. In der Gießereibranche existieren drei Gussverfahren, wobei hierbei der Sandguss eine untergeordnete Rolle spielt. Mit dem Druckgussverfahren wurden im Bezugsjahr 64 kt Aluminium zu Gusswerkstoffen und Gussstücken verarbeitet. Diese relativ junge Technologie wird vor allem in der Automobilindustrie und in der Großserienfertigung eingesetzt. Vorteile sind der hohe mögliche Automatisierungsgrad sowie die erzielbare Maßgenauigkeit der gegossenen Stücke (Hartmann et al., 2013, 25). Mit dem Kokillenguss wurden 2015 in Österreich 69 Kilotonnen Gusswerkstoffe und Gussstücke produziert. Hierbei wird standardmäßig das flüssige Aluminium von oben in die zu füllende Form gefüllt. Das Aluminium fließt dann über einen Lauf in den Formhohlraum. Maßgenaue Gussstücke mit guter Oberflächenbeschaffenheit können somit in großer Serie hergestellt werden (BDG, 2017, 27). Beim Sandgussverfahren wird in der Regel Sandguss mit Bindemitteln verdichtet und in eine Form gebracht, in der das flüssige Aluminium gegossen wird (BDG, 2017, 25). Dieses Verfahren mit „verlorenen Formen“ spielte 2015 in Österreich eine untergeordnete Rolle. Lediglich rund 1000 Tonnen Aluminium durchliefen dieses Verfahren.

Bei den Pressverfahren unterscheidet man das Fließpressverfahren und das Strangpressverfahren. Bei ersterem wird mit einem Stempel eine Kraft auf das Ausgangsmaterial ausgeübt und dieses somit durch eine Matrize gepresst, wobei das Material zu fließen beginnt. Im Gegensatz zum Fließpressen kommt es beim Strangpressen nicht zum Fließen des Aluminiums. Ansonsten sind sich die beiden Verfahren sehr ähnlich. Hierbei wird Aluminium zu Rohren, Stangen, Profilen und Drähten verarbeitet (Kalweit et al., 2012, 448f). Welches Verfahren in Österreich im Bezugsjahr eingesetzt wurde, bleibt unklar. Gesamt wurden somit jedoch 148 Kilotonnen Aluminium zu Knetwerkstoffen verarbeitet.

Der größte Anteil des in Österreich verarbeiteten Aluminiums wurde durch Walzverfahren in Form gebracht. 278 Kilotonnen wurden dieser Verfahrenskategorie zugeführt, wobei rund 65 davon als Ausschuss in den Schmelzprozess rückgeführt wurden. Zu den Walzverfahren zählen viele Umformverfahren, wobei das Prinzip eine stetige Druckbeanspruchung mit sich drehenden Walzen darstellt und gegebenenfalls eine Wärmezuführung erfolgt. Somit können unter anderem Rohre, Flachprofile, Stäbe, Drähte, Schienen oder Flacherzeugnisse wie Bleche, Metallbänder oder Folien erzeugt werden (Kalweit et al., 2012, 441f). Es wurden 2015 rund 188 kt Platten und Teile sowie rund 26 kt Folien erzeugt. Mit den Erzeugnissen der Pressverfahren waren es somit in Summe 362 Kilotonnen Knetwerkstoffe. Dem gegenüber stehen rund 134 Kilotonnen Gusswerkstoffe.

Ein kleiner Anteil des in Österreich eingeschmolzenen Aluminiums, mit circa 57 Kilotonnen, wurde als Legierungszuschläge in Form von flüssigem Aluminium oder Aluminiumpulver eingesetzt.

## **3.10 Aluminium – EU**

### **3.10.1 Aluminiumindustrie in der EU**

Die europäischen Produzenten von Primäraluminium haben sich wie die Stahlindustrie und Zementindustrie gegen die enormen Überkapazitäten aus China zu behaupten. So macht der Anteil der Produktion in der EU weniger als 4% der Gesamtjahresproduktion im Jahr 2015 aus. Dagegen beläuft sich die chinesische Erzeugung von Primäraluminium auf rund 55% der jährlichen Weltproduktion. Die gesamte Weltproduktion belief sich im Jahr 2015 auf knapp 58 Millionen Tonnen Primäraluminium (World Aluminium, 2018, s.p.).

Ein Grund dafür, warum der europäische Markt zu kämpfen hat, sind die Pariser Klimaabkommen, wobei sich die EU für eine umweltfreundliche und energieeffiziente Aluminiumproduktion ausspricht. Hierfür müssen jedoch Investitionen getätigt werden, was wiederum die Produktionskosten in die Höhe treibt (European Aluminium, 2016e, s.p.). Dafür verantwortlich sind die hohen Energiekosten, welche den größten Kostenfaktor in der Aluminiumerzeugung ausmachen. Diese sind sowohl von nationalen Regulierungsmaßnahmen beeinflusst als auch durch europäische Maßnahmen und Vorschriften (Europäische Kommission, 2013b, s.p.).

In der Europäischen Union bestehen 16 Anlagen, in denen Primäraluminium erzeugt wird. Vier davon befinden sich in Deutschland, drei in Spanien und zwei in Frankreich. Die weiteren Anlagen sind in Schweden, Großbritannien, Niederlande, Slowenien, Slowakei, Rumänien und Griechenland. In Summe existieren mehr als 600 Betriebe, welche der Aluminiumindustrie in der EU zugerechnet werden können. Darunter fallen Betriebe der Kategorie Walz- und Presswerke, sowie recycelnde Betriebe und Aluminiumoxidhersteller. Diese Betriebe sind größtenteils klein- und mittelbetrieblich strukturiert. Nicht miteinberechnet sind hierbei die Gießereibetriebe (European Aluminium, 2016f, s.p.), welche auch nicht in den Ergebnissen der Materialflussanalyse in Abbildung 13 inkludiert sind.

### 3.10.2 Analyse der Materialflüsse in der Aluminiumindustrie – EU

Im Gegensatz zu Österreich betreiben einige Länder der EU eine Primärproduktion von Aluminium (siehe Kap. 3.10.1). Als Rohstoff für die Aluminiumerzeugung dient fast ausschließlich das Sedimentgestein Bauxit (Scholz et al., 2016, s.p.). Dieses wird durch das in den meisten Fällen angewendete Bayer-Verfahren aufgeschlossen. Hierbei wird das im Bauxit enthaltene Aluminiumhydroxid durch den Aufschluss mit Natronlauge herausgelöst. Als Rückstand entsteht dabei Rotschlamm. Das Aluminiumhydroxid wird in weiterer Folge aus der Lösung ausgefällt und somit ebenfalls die Natronlauge rückgewonnen. Durch eine weitere thermische Behandlung der Lösung erhält man Aluminiumoxid, welches als Ausgangsstoff für das Elektrolyseverfahren dient (Behr et al., 2010, 236f). Welche Menge an Bauxit 2015 in der Europäischen Union für dieses Verfahren benötigt wurde, konnte nicht herausgefunden werden (siehe Abbildung 13). Hergestellt wurden somit jedoch rund 5900 Kilotonnen Aluminiumoxid. Dieses wird in Elektrolyseöfen in einer Kryolithschmelze gelöst. Hierbei entsteht Hüttenaluminium mit einem Reinheitsgrad von 99-99,9% Aluminium. Um einen höheren Reinheitsgrad zu bekommen, der den Anforderungen für Reinstaluminium entspricht, muss eine weitere elektrolytische Raffination unternommen werden.

Gleichwohl wurden mittels Elektrolyse rund 2160 Kilotonnen Primäraluminium gewonnen. Wie auch in Österreich wurde der überwiegende Teil der Eigenproduktion von Aluminium aus dem Sekundärrohstoff Aluminiumschrott hergestellt. Rund 4730 Kilotonnen an Aluschrott wurden im Jahr 2015 recycelt. Erwähnt sei hier ebenfalls, dass die Europäische Union ein Nettoexporteur von Aluminiumschrott ist. So wurden netto rund 480 kt davon aus der EU ausgeführt. Dies ist insofern nennenswert, da um den Bedarf von knapp 13000 Kilotonnen Aluminium zu decken, beinahe 6000 Kilotonnen Aluminium wiederum in die Mitgliedsländer der EU importiert werden mussten. Dass ein Exportüberschuss an Aluminiumschrott besteht, kann laut European Aluminium (2016g, s.p.) die Entwicklung einer Recycling- und Kreislaufwirtschaft hemmen. Ebenfalls zu beachten ist, dass somit Sekundärrohstoff exportiert wird, welcher, wie bereits erwähnt, weitaus weniger Energie benötigt, um wiederum Aluminium herzustellen (European Aluminium, 2016g, s.p.)

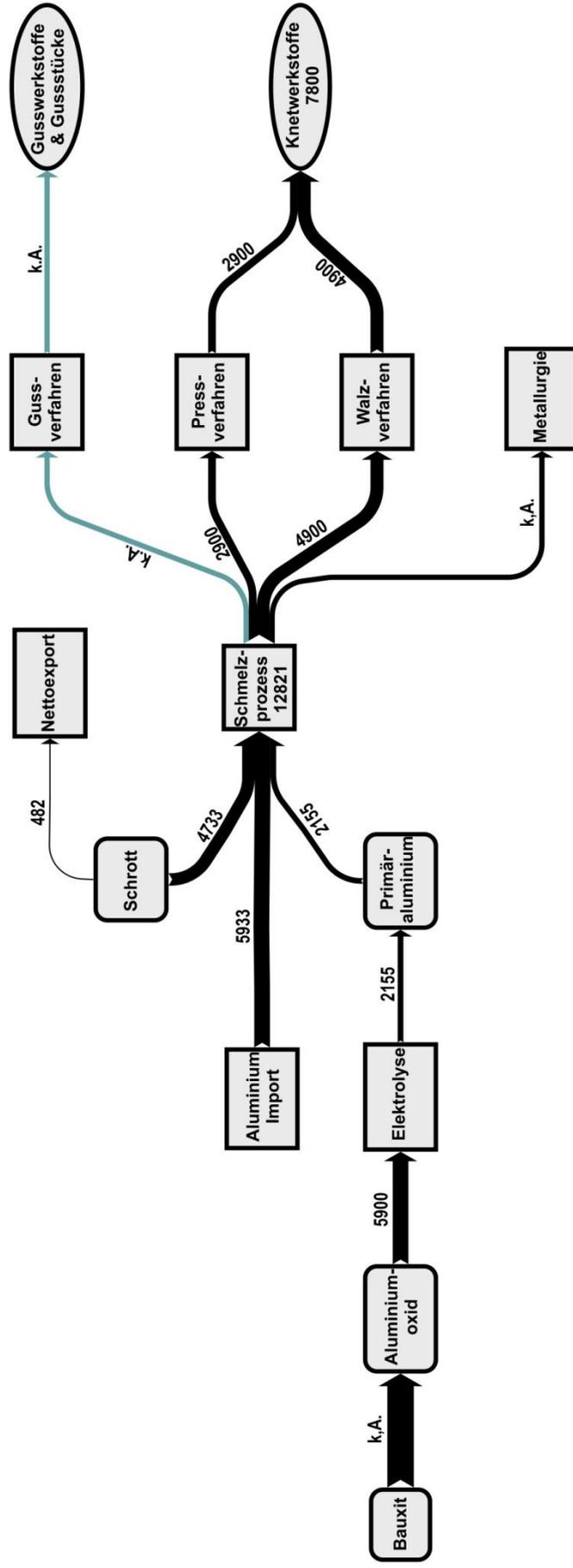


Abbildung 13: Materialflüsse in der Aluminiumindustrie - EU 2015 (Werte in Kilotonnen kt)

Welche Ofentechnologien für den Schmelzprozess in der EU Verwendung fanden, wurde nicht herausgefunden. Ebenso unklar bleibt, welche Mengen an Aluminium die Gießereien verarbeiteten, welche als Legierungszuschlag in der Metallurgie verwendet wurden. In Summe waren es jedoch rund 7800 Kilotonnen Knetwerkstoffe, die 2015 durch Press- und Walzverfahren erzeugt wurden; etwas mehr als ein Drittel davon durch Pressverfahren (2900 kt). Der größere Anteil mit rund 4900 Kilotonnen wurde durch Walzverfahren hergestellt.

## **3.11 Glas –Österreich**

### **3.11.1 Glasindustrie in Österreich**

Glas ist ein Werkstoff, der mit seinen speziellen und einzigartigen Eigenschaften in vielfältigen Einsatzgebieten und Anwendungen eingesetzt werden kann (Kalweit et al., 2012, 234ff). Diese Eigenschaften sind unter anderem Lichtdurchlässigkeit, Gasundurchlässigkeit, Geschmacksneutralität und eine relativ hohe Härte dieses Materials (Fachverband der Glasindustrie, 2015, 11). Weil Glas eine sehr geringe Zugfestigkeit und Bruchdehnung besitzt, hat der Werkstoff den Nachteil, sehr spröde, schlagempfindlich und zerbrechlich zu sein. Durch Zugabe von Zuschlagsstoffen und im Verbund mit anderen Materialien können diese nachteiligen Eigenschaften teilweise kompensiert werden und somit gegen gewisse Umweltwelteinflüsse und Einwirkungen Widerstandsfähigkeit aufweisen (Kalweit et al., 2012, 234ff).

Die österreichische Glasindustrie ist durch den Fachverband der Glasindustrie Österreichs organisiert und relativ stark exportorientiert. Diesem Fachverband gehören rund 50 Unternehmen an, die man in die Branchen der industriellen Glaserzeuger und Glasveredler unterteilen kann. Hier wird zwischen drei Kategorien unterschieden:

1. Glashütten – Glasrohstoffe werden eingeschmolzen und verschiedene Glasprodukte erzeugt (Trinkgläser, Verpackungsglas,...)
2. Glasbe- und verarbeitende Unternehmen – Gefertigtes Floatglas wird zugekauft und zu weiteren Produkten verarbeitet (Isolierglas, Verbundsicherheitsglas,...)
3. Gablonzer – Bijouteriehersteller und Modeschmuckerzeuger

Durchschnittlich wurden 2015 in der gesamten österreichischen Glasindustrie inklusive Lehrlingen rund 7350 Personen beschäftigt (Fachverband der Glasindustrie, 2015, 2ff).

### 3.11.2 Analyse der Materialflüsse in der österreichischen Glasindustrie

Die Rohstoffe, welche hauptsächlich für die Glaserzeugung benötigt werden, sind Sand, Soda, Kalkstein, Dolomit, Feldspäte, Borsäure, Bormineralien und andere Aluminiumsilikate. Weiters sei hier noch der Sekundärrohstoff Altglas und Glasbruch erwähnt. Der technisch wichtigste Glasbildner ist Siliziumdioxid. Dieses kommt in der Natur vor allem als Quarz und Quarzsand vor (Schindler und Ronner, 1999, 3, 13). Hierbei betrug die heimische Förderung im Jahr 2015 rund 1 Million Tonnen, welche in Klein- und Mittelbetrieben vor allem in Nieder- und Oberösterreich, sowie dem Burgenland, zugeordnet wurde (BMWFW, 2016, 41). Wie man in Abbildung 14 erkennen kann, wurden rund 170 Kilotonnen Quarzsand für die Glasherstellung verwendet. Da Quarz einen relativ hohen Schmelzpunkt hat (1700°C), werden Flussmittel eingesetzt, um den Schmelzpunkt herabzusetzen (Schindler und Ronner, 1999, 3). Dies geschieht unter anderem durch Zugabe von Soda, wobei in Österreich 2015 rund 43 Kilotonnen eingesetzt wurden. Als Stabilisatoren für Glas werden unter anderem Kalkstein und Dolomit eingesetzt (Schindler und Ronner, 1999, 3). In Österreich wurden laut dem vom BMWFW herausgegebenen Montanhandbuch 2015 (2016b, 41) rund 14,8 Megatonnen gefördert. Die Menge an gefördertem Dolomit belief sich auf knapp vier Megatonnen. Circa 55 Kilotonnen Kalkstein wurden für die Glasherstellung verwendet. Wieviel Dolomit in der Glasherstellung benötigt wurde, bleibt jedoch unklar, ebenso wie die Menge an Feldspäten und sonstigen Rohstoffen, die im Schmelzprozess Einsatz fanden. Der größte Anteil an Rohstoffen wurde in Form des Sekundärrohstoffes Altglas in die Glasherstellung eingebracht. Dies waren rund 235 Kilotonnen, wobei die österreichische Recyclingquote damit über 86% betrug (Fachverband der Glasindustrie, 2015, 9). Um die Glaseigenschaften wie Färbung und Trübung anpassen zu können, werden zusätzlich zu den Rohstoffen noch weitere Zuschlagsstoffe beigefügt. Dies sind hauptsächlich Oxide von Zink, Cadmium, Titan und Blei sowie Läuter-, Fluss- und Entfärbemittel (Schindler und Ronner, 1999, 3). Welche Mengen davon eingesetzt wurden, konnte allerdings nicht herausgefunden werden.

Grundsätzlich unterscheidet man in der Glasindustrie zwischen kontinuierlich und diskontinuierlich betriebenen Schmelzaggregaten. Für Massengläser wie Flachglas oder Behälterglas werden meist kontinuierlich betriebene Glaswannen genutzt. Hafenöfen dagegen werden für Glaszusammensetzungen verwendet, die häufig wechseln und mengenmäßig kleiner sind. In die Schmelzaggregate werden die gegebenenfalls gebrochenen und gemahlene Rohstoffe eingebracht. Zuvor müssen diese noch in bestimmten Mengenverhältnissen gemischt und homogenisiert werden. Bei bis zu 1200°C erfolgt in der Rauschmelze zunächst die Silikat- und in weiterer Folge die Glasbildung.

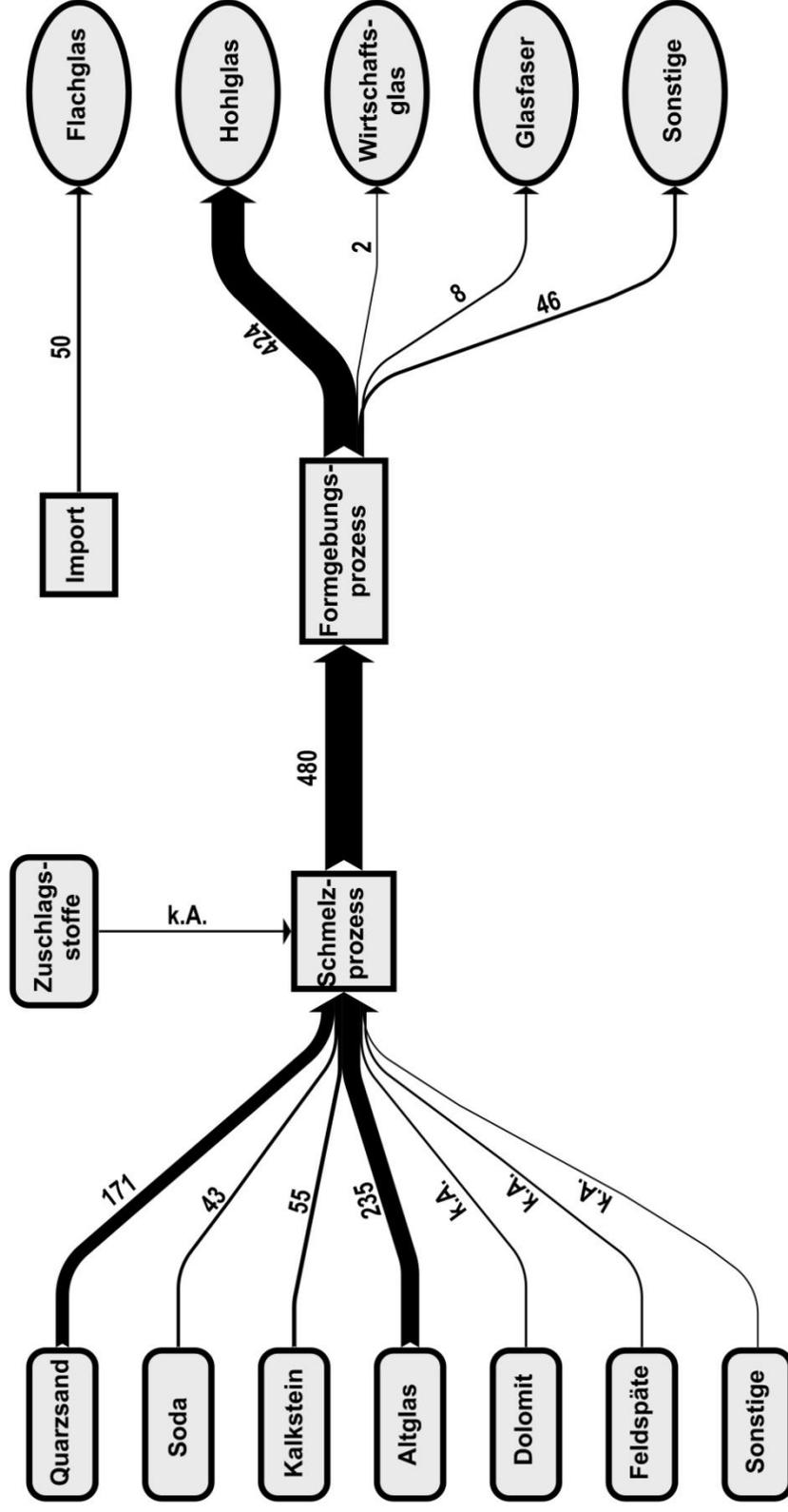


Abbildung 14: Materialflüsse in der Glasindustrie - Österreich 2015 (Werte in Kilotonnen kt)

Um die dabei entstandene Glasmasse chemisch zu homogenisieren und die eingeschlossenen Gasblasen zu entfernen, erfolgt eine Temperaturerhöhung auf bis zu 1480°C. Dieser Prozess wird Läuterung genannt. Dabei steigen die in der Glasmasse entstandenen Gasblasen auf und erzeugen somit eine Gasströmung, die die Schmelze homogenisiert. Die Läuterung und Homogenisierung wird zusammen als Feinschmelze bezeichnet, an welche noch die Phase der Abkühlung oder des Abstehens anschließt (Schindler und Ronner, 1999, 13f). Welche Öfen 2015 für welche Massen eingesetzt wurden, war aus der Literatur und bestehenden Daten nicht zu entnehmen. Insgesamt wurden jedoch rund 480 Kilotonnen Glas hergestellt.

Die weiteren Verfahrensschritte der Formgebung sind relativ vielfältig. Man unterscheidet hierbei zwischen dem Float-, Gussglas-, Ziehglas-, Mundblas-, Pressglas- und Schleuderziehverfahren sowie dem maschinellen Blasverfahren. Das Floatverfahren zur Herstellung von Flachglas wird in Kapitel 3.12.2 erläutert (Kalweit et al., 2012, 240ff).

Da das gesamte Flachglas, welches in Österreich 2015 verarbeitet wurde, importiert worden war, wird angenommen, dass die ersten drei genannten Verfahren zur Flachglasherstellung in Österreich nicht angewendet wurden. Das traditionelle Mundblasverfahren sowie die maschinellen Blasverfahren werden für Wirtschaftsglas und Hohlglas angewendet. Das Pressglasverfahren kann ebenso für diese beiden Glasarten eingesetzt werden genauso wie für sonstige Glasarten wie etwa Bildschirme oder Beleuchtungsglas. Das Schleuderziehverfahren kann für die Herstellung von Glasfasern eingesetzt werden (Kalweit et al., 2012, 240ff). Welche Verfahren im Jahr 2015 jedoch tatsächlich für welche Mengen angewendet wurden, konnte nicht ausfindig gemacht werden.

Beinahe 90% des erzeugten Glases fiel unter die Kategorie Hohlglas, zu welchem unter anderem Verpackungsglas zählt. Von Wirtschaftsglas wurden rund zwei Kilotonnen erzeugt. Dazu zählen zum Beispiel Trinkgläser. Glasfasern und Waren daraus wurden rund acht Kilotonnen hergestellt. Auf die sonstigen Glaserzeugnisse, wie etwa Beleuchtungsglas entfielen rund 46 Kilotonnen.

## **3.12 Glas – EU**

### **3.12.1 Glasindustrie in der EU**

Die Glasindustrie in der Europäischen Union ist der weltweit größte Hersteller mit einem Anteil von rund einem Drittel der jährlichen Weltproduktion. In diesem Sektor waren im Jahr 2012 in der EU in etwa 100 000 Personen beschäftigt. Die meiste Produktion entfiel dabei auf die Herstellung von Hohlglas mit rund 60% des mengenmäßi-

gen Outputs. Etwa 30% der Produktion innerhalb der EU entfallen auf die Kategorie Flachglasherstellung. Das größte Erzeugungsland der EU ist Deutschland mit rund einem Fünftel der produzierten Menge. Ebenfalls zu den größten Produzenten zählen Frankreich, Spanien, Italien und das Vereinigte Königreich. Von der Menge an Glas, welches von EU-Ländern hergestellt wird, verbleiben rund 80% innerhalb der EU. Der Export in Nicht-EU-Länder beträgt daher rund 20%. Ebenso wie bei anderen Werkstoffen ist auch Glas mit anderen Industrien verbunden. Dies sind unter anderem die Automobil- und Bauindustrie sowie der Haushaltssektor (Europäische Kommission, 2018, s.p.).

Laut Scalet et al. (2013, 2) sind die größten umweltrelevanten Herausforderungen die Schadstoffemissionen und der Energiebedarf der Glasindustrie. Dies ist insofern bedeutsam, da in der EU seit 2016 die Industrie-Emissions-Richtlinie geltend ist. Diese schreibt vor, dass europaweit geltende Grenzwerte für Emissionen in die Luft und in das Wasser eingeführt werden sollen. Durch diesen Umstand müssen Modernisierungsmaßnahmen an europäischen Glaswerken umgesetzt werden, wobei bis 2020 hierfür rund 14 Milliarden Euro aufgewendet werden sollen (Ecoprog, 2014, s.p.).

In Europa ist die Glasindustrie durch die "European Alliance of Glass Industries" organisiert. Diese Vereinigung setzt sich aus 19 nationalen Glasfachverbänden und den Hauptsektoren der Glasindustrie zusammen, wobei dieser auch Nicht-EU-Länder angehören (Glass Alliance Europe, 2015, s.p.).

### **3.12.2 Analyse der Materialflüsse in der Glasindustrie – EU**

Die Abbildung 15 zeigt die Materialflüsse in der Glasindustrie auf Ebene der EU. Es konnte, wie man erkennen kann, nicht eruiert werden, welche Mengen an Rohmaterialien und Zuschlagsstoffen eingesetzt wurden. Eine Herleitung der Daten, basierend auf den österreichischen Mengenflüssen und deren Verhältnissen zueinander, wie es bei der Zementindustrie der Fall war, war hier nicht angebracht, da die Mengen an Sand, Soda, Kalkstein, Dolomit, Feldspäte, Borsäure, Bormineralien und anderen Aluminiumsilikaten von dem Einsatz von Altglas abhängig sind. Dies hat den Grund, dass Altglas bis zu einem bestimmten Grad als Substitut von Primärrohstoffen anzusehen ist. Da die eingesetzte Menge dieses Sekundärrohstoffes ebenfalls nicht ermittelt werden konnte, stellt sich der Sachverhalt wie bereits erwähnt dar.

Im Schmelzprozess werden die Rohmaterialien durch Erhitzen in Schmelzöfen zu Glas eingeschmolzen (siehe Kap. 3.11.2). Hierbei finden verschiedene Ofenmodelle Einsatz. Diese reichen von kleinen elektrobetriebenen Öfen für die Herstellung von Glaswolle bis hin zu Querbrennerwannen für die Flachglasherstellung, wobei bis zu 1000 Tonnen pro Tag hergestellt werden können (Scalet et al., 2013, 2).

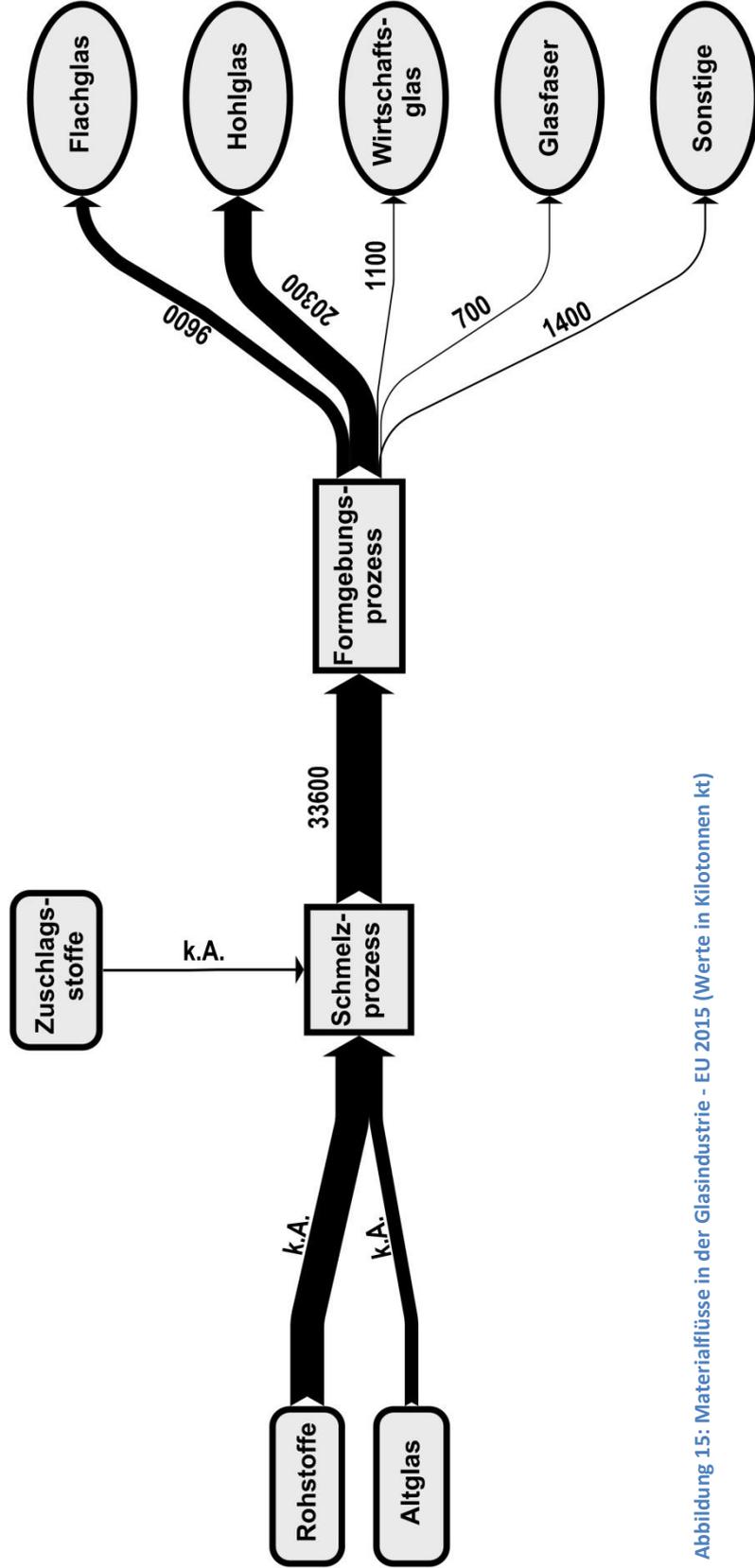


Abbildung 15: Materialflüsse in der Glasindustrie - EU 2015 (Werte in Kilotonnen kt)

Das Glas wird in verschiedenen Formgebungsverfahren zu fertigen Produkten oder Ausgangsprodukten verarbeitet. Diese Verfahren sind in Kapitel 3.11.2 angeführt. An dieser Stelle sei die Flachglasherstellung vorgestellt, die im Vergleich zu Österreich in der EU eine wichtige Position einnimmt. Beinahe 30% der insgesamt 33600 Kilotonnen produzierten Glases fallen in die Sparte der Flachglasherstellung. Bei der Herstellung von Flachglas kommen verschiedene Ziehglasverfahren wie das Fourcoults-Verfahren, das Pittsburgh-Verfahren oder das Libbey-Owens-Verfahren zum Einsatz. Das weltweit am häufigsten eingesetzte Verfahren ist das Floatglasverfahren, nachdem auch das Floatglas benannt ist (Schindler und Ronner, 1999, 17). Hierbei wird als Besonderheit das flüssige Glas auf eine Schicht von flüssigem Zinn aufgebracht. Dabei schwimmt das Glas oben auf und breitet sich aus, wobei sich ein planes spiegelglattes Glasband bildet. Anschließend wird das Glasband langsam abgekühlt und in weiterer Folge geschnitten. 2015 wurden rund 9600 Kilotonnen an Flachglas hergestellt, welches zum Beispiel für die Fensterherstellung und in der Bauindustrie Verwendung findet (Scholz et al., 2016, s.p.).

Wie bereits erwähnt, wird das meiste Glas in der EU wie in Österreich für die Hohlglasherstellung eingesetzt. Dies waren im Bezugsjahr rund 20300 Kilotonnen Glas. Ein sehr kleiner Anteil von rund 1100 wurde für die Erzeugung von Wirtschaftsglas aufgewendet. Die rund zwei Prozent der Erzeugung, welche für die Glasfaserherstellung verwendet wurden, kann man mit etwa 700 Kilotonnen als Randproduktion bezeichnen. 1400 Kilotonnen entfielen auf die Produktion sonstiger Erzeugnisse, wie etwa hitzeresistente Spezialgläser.

## **4. Diskussion**

### **4.1 Grundsätzliche Überlegungen zur Bewertung der Materialflüsse und der Leistungsfähigkeit von Werkstoffen**

Ziel der Arbeit war es, Materialflüsse ausgewählter Massenwerkstoffe entlang ihrer Herstellungsverfahren technologieorientiert zu erfassen. Dazu wurden die jeweiligen technologischen Verfahren identifiziert und diesen die Materialflüsse in Tonnen zugeordnet. In der Materialwirtschaft werden Materialflüsse in der Regel in Tonnen angegeben, lediglich im Forst- und Holzbereich sind sehr häufig auch andere Mengenangaben wie Festmeter (fm) für Rundholz und Kubikmeter (m<sup>3</sup>) für Schnittholz und Holzwerkstoffe gebräuchlich. Für die vorliegende Arbeit wurden diese mit zuvor vereinbarten Umrechnungsfaktoren in Tonnen umgerechnet.

Bei einem Vergleich von unterschiedlichen Werkstoffen bzw. Werkstoffklassen sind na-

türlich auch deren Leistungsfähigkeit bzw. deren Eigenschaften zu beachten. So hat beispielsweise eine Tonne unlegierter Massenstahl oder Baustahl eine andere Eigenschaft und Leistungsfähigkeit als eine Tonne hochlegierter Stahl. Ebenso ergibt eine Tonne Baustahl eine andere mechanische Leistungsfähigkeit als eine Tonne Zement (verarbeitet in Beton) oder eine Tonne Bauholz. Diese unterschiedlichen Eigenschaften und Leistungsfähigkeiten drücken sich auch in den Marktpreisen je Gewichtseinheit aus und sind dann für die Werkstoffauswahl mitentscheidend. Die monetären Preise der einzelnen Werkstoffe wurden bei den Materialflussvergleichen bewusst ausgeklammert. Auch die Leistungsfähigkeit des jeweiligen Werkstoffes wurde in diese Vergleiche nicht miteinbezogen. Es sei jedoch in der Folge kurz auf einige Aspekte der Leistungsfähigkeit und die diesbezügliche Vergleichbarkeit von Werkstoffen hingewiesen.

Eine Brückenkonstruktion kann grundsätzlich aus Stein/Ziegel, Holz, Stahl und Stahlbeton gebaut werden – gegebenenfalls sind auch Werkstoffkombinationen möglich. Historische Entwicklungen der Werkstoffe und auch die Belastung und Spannweite (und damit die Kosten) bestimmen letztendlich die Wahl der eingesetzten Werkstoffe. Bei einer vergleichbaren Spannweite und Belastung wäre eine Brücke aus Holz die Konstruktion mit dem geringsten Materialeinsatz (leichteste Brücke) und eine Stahlbetonbrücke die schwerste Brücke (Teischinger, 2014 und 2017, s.p.). Ebenso kann man eine Geschoßdecke in Holz oder Holzverbundbauweise mit deutlich geringerem gewichtsmäßigen Materialeinsatz als mit Stahlbeton bauen. Auch am Beispiel eines Stapelstuhls (Abbildung 16) lassen sich der Materialeinsatz und die Leistungsfähigkeit gegenüberstellen, wobei es bei der Sitzschale und beim Rahmen von stapelbaren Stühlen vor allem auf ein geringes Gewicht und eine ausreichende Steifigkeit des Materials (Elastizitätsmodul) ankommt.



Abbildung 16: Stapelbarer Stuhl (Hokohoko, s.a.,s.p.; Adero, s.a., s.p.)

Wie bei Teischinger (2014 und 2017) diskutiert wird, wäre bei vergleichbaren Designs der Holzstuhl mit Holzschale in der Regel die leichteste Konstruktion, gefolgt von Aluminium und einer Kombination von Stahlrahmen mit Kunststoffschale.

Diese exemplarischen Andeutungen, aus welchem Material verschiedenste Gegenstände und Konstruktionen hergestellt sein können, sollen auch im Bezug auf die Arbeit verdeutlichen, dass Mengenvergleiche von Werkstoffen daher nicht gleich Leistungsvergleiche der Werkstoffe sind.

Mit Bezug auf die Auswahl und den Vergleich von Werkstoffen in Hinblick auf eine bestimmte Leistungsfähigkeit einer Konstruktion bzw. eines Produktes wird auf die Materialauswahldiagramme von Ashby et al. (2007) verwiesen, die auch bei Teischinger (2017) kurz vorgestellt und diskutiert werden. Um die Materialauswahl zu erleichtern, hat Ashby et al. die verschiedenen Werkstoffe mit ihren wesentlichen Eigenschaften und Kennwerten (Dichte, Festigkeit, Steifigkeit/E-Modul, Wärmeleitfähigkeit usw.) zu Werkstoffdiagrammen zusammengefasst, in denen man mit einer Zielfunktion (z.B. möglichst leichte Konstruktion bei ausreichender Steifigkeit für einen Stapelstuhl) den bzw. die am besten geeigneten Werkstoffe bzw. Werkstoffkombinationen herauslesen kann. Diese Vergleiche waren jedoch nicht Ziel der Arbeit.

## **4.2 Diskussion der Methoden**

Im Zentrum dieser Abhandlung steht die Untersuchung der Materialflüsse und der damit verbundenen Herstellungsverfahren innerhalb der sechs ausgewählten Industrien. Es wurde mittels Literaturrecherche versucht, möglichst schlichte und reduzierte Grafiken zu entwickeln, die die Hauptprozessschritte der Herstellung und teilweisen Verarbeitung von den zu untersuchenden Werkstoffen darstellen. Es musste somit ein grundlegendes Wissen über die entsprechenden Herstellungstechnologien und Materialflüsse innerhalb einer Industrie angeeignet werden. Am Beispiel von Kunststoff soll hier verdeutlicht werden, dass eine besondere Herausforderung darin bestand, die Prozesse und Verfahren, die für die Herstellung von Kunststoff Relevanz besitzen, ausgehend von Rohöl, in eine korrekte schematische grafische Darstellung zu bringen. Hierbei lag die anspruchsvolle Aufgabe darin, den Verlauf des Ausgangsmaterials bis hin zu dem vorläufigen Produkt innerhalb dieser Industrie darzustellen. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass der Materialfluss innerhalb einer Industrie einem linearen Verlauf folgt. Bei der Kunststoffherzeugung trat jedoch die Schwierigkeit auf, dass bei der Erzeugung dieses Werkstoffes eine relativ große Anzahl an komplexen Verfahren existieren, wobei unterschiedliche Zwischenprodukte aus unterschiedlichen Prozessen entstehen. Diese Zwischenprodukte werden in Verfahren weiterverarbeitet, die wiederum bezüglich des Materialinputs und - outputs mit anderen Prozessschritten ver-

bunden sind, wodurch die Erzeugung eines übersichtlichen und verständlichen Flussdiagrammes nur eingeschränkt möglich war. Es wurde somit eine Komplexitätsreduktion vorgenommen und es wurden vorerst lediglich Prozessschritte in die Grafiken aufgenommen, die elementar erschienen. Somit wurde jedoch Subjektivität erzeugt, was in der wissenschaftlichen Praxis oftmals als negativ angesehen wird.

In weiterer Folge wurden den Pfeilen in den Darstellungen, welche den Materialfluss darstellen, Daten und Mengenangaben zugeordnet. Hierbei entstand die Problematik, dass für einige Pfeile keine Angaben gewonnen werden konnten. Um dennoch aussagekräftige Diagramme zu erhalten, wurden diese an die Datenverfügbarkeit angepasst. Somit wurden vor allem für die Produkte der Erzeugung andere Bezeichnungen und Kategorien gewählt, als zu Beginn angedacht waren. Ebenfalls wurden einige Prozesse nicht weiter dargestellt oder zu einem Überbegriff zusammengefasst. Am Beispiel des Kunststoffes sei hier angeführt, dass aus der anfänglichen Darstellung von Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition die Kategorie Polyreaktionen erstellt wurde. Vor allem bezüglich des gegenseitigen Vergleichs von verschiedenen Diagrammen, muss angemerkt werden, dass hier ebenfalls die Subjektivität des Autors Einfluss genommen hat. Diese manifestiert sich ferner darin, dass die Importe in manchen Diagrammen dargestellt wurden und in manchen nicht. Jedoch war der Hintergedanke jener, entsprechende Qualität hinsichtlich der Darstellungen zu erhalten und nicht aussagekräftige Flüsse, zu denen keine Werte generiert werden konnten, auszugliedern. Kritisch zu betrachten ist jener Umstand, dass vorwiegend Recherche in Quellen, die einen Onlinezugang bieten und online abrufbar sind, betrieben wurde. Es wurde bis auf Ausnahmefälle darauf verzichtet, Kontakt zu Vereinigungen aufzunehmen und Mengenangaben durch empirische Datenerhebung zu generieren, da dies zeitlich den Rahmen der Arbeit gesprengt hätte.

Die Tatsache, dass durch subjektive Entscheidungen und Rückschlüsse des Autors, bei der Datenerhebung und den Berechnungen der Mengenflüsse Einfluss genommen wurde, kann ebenfalls als methodischer Kritikpunkt angesehen werden. So wurde die Annahme getroffen, die Mengenflüsse der Zementindustrie auf EU-Ebene aus den Mengenverhältnissen der österreichischen Zementindustrie ableiten zu können. Die Intention dabei war, dass es bei Berechnungen der Mengenflüsse generell zu relativ großen Unsicherheiten kommen kann und die Werte somit um bis zu über 100% des tatsächlichen Wertes abweichen können, wie in der Publikation von Buchner et al. (2014) ersichtlich ist. Somit wurde dieser Unsicherheitsfaktor in Kauf genommen, vor allem um das Ziel zu erreichen, entsprechende Grafiken mit einem minimalen Aussagewert zu generieren. Diese sollen, wie bereits mehrmals erwähnt, lediglich als grobe Orientierung dienen, um ein Bewusstsein bezüglich der quantitativ unterschiedlichen Materialflüsse in den Industrien erzeugen zu können.

Um robustere Aussagen bezüglich der mengenmäßigen Geltung aller in dieser Arbeit behandelten Flüsse und Herstellungsstatistiken treffen zu können, müsste man die Analyse nicht nur auf ein Jahr (2015) bezogen betreiben. Grund dafür sind relativ starke Schwankungen, die von Jahr zu Jahr auftreten können und somit die tatsächliche Bedeutung einer Industrie entsprechend beeinflussen können.

### **4.3 Diskussion der Ergebnisse**

Die Diskussion der Ergebnisse bezieht sich auf die beiden Forschungsfragen, die in Kapitel 1.1 formuliert wurden. Ebenfalls sollen in diesem Kapitel die Hypothesen überprüft werden und entschieden werden, ob diese als haltbar oder nicht haltbar einzustufen sind.

Bezugnehmend auf die erste Forschungsfrage, die wie folgt lautet: „Welche Methode der Darstellung der Materialflüsse in Bezug auf die entsprechenden Technologien und Prozesse ist geeignet, um Analysen und Rückschlüsse auf die aktuellen Flüsse und Entwicklungen abzuleiten?“, lässt sich folgendes behaupten:

Grundsätzlich wurde versucht, parallel zu der Datenerhebung eine Darstellungsmethode zu entwickeln, die die bestehenden Werkstofftechnologien mit den Materialflüssen innerhalb der Industrien in Verbindung bringt. Ebenfalls wurde darauf Bedacht genommen, eine Darstellungsform zu erzeugen, die Rückschlüsse auf die aktuellen Flüsse und Entwicklungen zulässt. Um nun die eben genannte Forschungsfrage zu beantworten, wird behauptet, dass durch die gewählte Darstellungsform, welche sich an Sankey-Diagrammen orientiert, sehr gute Vergleiche zwischen den einzelnen Technologien und den damit verbundenen Materialflüssen ableiten lassen. Durch die Umrechnung der statistischen Zahlen im Holz- und Forstsektor von Volumseinheiten (Efm) auf Masseinheiten (Megatonnen), lässt sich auch die Bedeutung der Holzströme im Vergleich zu den anderen Materialien besser abschätzen.

Um auf die zweite Forschungsfrage einzugehen, die wie folgt lautet: „Welche Erkenntnisse lassen sich durch den Vergleich der Materialflüsse und deren Herstellungstechnologien in Österreich und EU-28 gewinnen?“, sollen hier exemplarisch einige Feststellungen genannt werden, die durch die Betrachtung der Diagramme gewonnen werden können bzw. durch die Diagramme besser ersichtlich sind, als durch Betrachten von Statistiken.

- So entsprach die Menge des österreichischen Holzeinschlages (Abbildung 2) in etwa jener Menge an Rohöl, welche in Österreich den diversen Prozessketten zugeführt wurde (Abbildung 10). Deutlich wird hierbei ebenfalls, dass auffallend mehr Rohöl für die energetische Nutzung benötigt wurde, als es beim Holz

der Fall war. So waren es im Jahr 2015 über 7 Megatonnen Rohöl, die zu Kraftstoffen verarbeitet wurden, wobei lediglich rund 3,7 Megatonnen des heimischen Holzeinschlages für energetische Zwecke genutzt wurde (exklusive energetische Nutzung innerhalb der Prozessketten).

- Durch Betrachtung des Diagrammes der österreichischen Aluminiumindustrie (Abbildung 12) kommt man zu der Erkenntnis, dass in Österreich keine Primärproduktion von Aluminium stattfindet und der Einsatz von Schrott beinahe sieben Mal höher ist als die Verwendung von Primäraluminium (welches zur Gänze importiert wird). Verglichen mit der Stahlindustrie, (Abbildung 5) ist der Aluminiumschrotteinsatz jedoch um den Faktor 5 geringer als der Einsatz von Eisen- und Stahlschrott.
- In der Glasindustrie der EU-Mitgliedsstaaten (Abbildung 15) wurden 2015 rund 30% des erzeugten Glases zu Flachglas verarbeitet (9,6 mt). In Österreich (Abbildung 14) dagegen besteht im Bezugsjahr keine Flachglasproduktion. Somit sind beispielsweise alle österreichischen Fenstererzeuger zur Gänze auf Importe angewiesen.
- Abbildung 8 zeigt die Materialflüsse in der österreichischen Zementindustrie, wobei ersichtlich ist, dass hier eindeutig der Hauptmengenfluss des Ausgangsmaterials über die Route von Zyklonvorwärmern führt. Über 80% des hergestellten Zements gehören zu der Kategorie „Portlandkompositzemente“, wobei ein Vergleich zu den Produkten der EU-Zementindustrie jedoch nicht möglich ist.

So kann durch den Vergleich der Materialflüsse und deren Herstellungstechnologien einiges an Erkenntnissen gewonnen werden, beziehungsweise kann man durch Betrachtung der Diagramme Schlüsse ziehen, die durch Analyse der Statistiken in tabellarischer oder textlicher Form lediglich eingeschränkt ersichtlich sind.

Die dargestellten Diagramme ermöglichen ebenfalls einen Beitrag zur Thematik der Bioökonomie und, womöglich in weiterer Folge, Beiträge der Materialwirtschaft im Bezug zur Bioökonomie. Die in dieser Arbeit entwickelten Darstellungen geben einen ersten groben Überblick über die technologierelevanten Materialströme, wobei Holz den einzigen, direkt durch Photosynthese synthetisierten Werkstoff, darstellt. Ohne auf die jeweiligen Umwelteinflüsse und Kohlenstoffdioxid-Bilanzen der einzelnen Werkstoffprozessketten einzugehen, zeigen die Diagramme die Größenordnungen der Materialströme, aus denen potentielle Veränderungen hin zu nachwachsenden und auf Photosynthese basierten Roh- und Werkstoffen abgeleitet werden können. Die landwirt-

schaftliche Produktion ist dabei bewusst ausgeklammert - dazu sei auf die ausführlichen Materialstromanalysen der Land- und Forstwirtschaft in Österreich von Kalt (2015) verwiesen.

Um die Arbeitshypothesen zu überprüfen und gegebenenfalls zu bestätigen, werden diese mit den Ergebnissen und Erkenntnissen der Arbeit in Verbindung gesetzt. Es lässt sich jedoch eklatant die Behauptung aufstellen, dass die beiden ersten und somit auch die dritte Arbeitshypothese nicht verifiziert werden können.

- (1. Das Verständnis und die Bedeutung einer Branche lässt sich nur durch eine durchgängige und gut strukturierte Darstellung wichtiger Branchenkennzahlen herstellen.
2. Branchenvergleiche sind nur möglich, wenn vergleichbare und kohärente Datenstrukturen vorliegen.
3. Technologievergleiche sowohl innerhalb einer Branche als auch zwischen den Branchen sind nur mit Bezug auf die zwei oben dargestellten Forderungen möglich.)

Der Grund dafür ist, dass durch die Arbeit nicht überprüft wurde, ob ein Verständnis für eine Branche auch durch nicht unstrukturierte Darstellungen von Branchenkennzahlen hergestellt werden kann. Ebenso kann nicht behauptet werden, ob Branchenvergleiche auch möglich sind, wenn bezüglich der Datenstrukturen keine Vergleichbarkeit oder Kohärenz herrscht. Somit muss die dritte Hypothese, die auf die beiden ersten aufbaut, ebenfalls als nicht haltbar eingestuft werden.

Wie durch die exemplarischen Feststellungen in diesem Kapitel bereits ersichtlich wurde, kann durch Darstellungen der Technologie und von Schlüsselkennzahlen/Schlüsselinformationen und deren Vergleichen eine Bewusstseinsbildung einer Branche stattfinden. Ebenso sind diese Informationen für eine bekennende Öffentlichkeitsarbeit einer Branche von Bedeutung. Somit kann die vierte Arbeitshypothese (Technologiedarstellungen, Technologievergleiche, Schlüsselkennzahlen und Schlüsselinformationen sind für die Bewusstseinsbildung und die Öffentlichkeitsarbeit einer Branche von Bedeutung) als haltbar eingestuft werden.

Wie in den Kapiteln 3.1 bis 3.12 deutlich wird, konnte einiges an Information aus der Datenrecherche nicht vollständig erhoben bzw. in die Diagramme eingebaut werden. So konnten gewisse Daten, welche die Zellstoff- und Papierindustrie betreffen, nicht eruiert werden, wie etwa die entsprechenden Mengen, die die unterschiedlichen Zellstoffherstellungsverfahren durchliefen. Ebenso konnten speziell beim Holz keine Daten bezüglich der „internen“ Nutzung von Holz und Nebenprodukten generiert werden. Aspekte wie die Verwendung der Rinde als Energieträger im Sägewerk oder die Nutzung der Ablauge, welche in der Zellstoffindustrie anfällt, werden in dieser Arbeit nicht näher behandelt.

Gleichermaßen konnte beispielsweise nicht dargestellt werden, welche Menge an Roheisen zu Rohstahl weiterverarbeitet wurde. Welche Ofentechnologien in welchem Ausmaß in der Glasherstellung eingesetzt wurden, bleibt sowohl auf österreichischer Ebene sowie auf Ebene der EU unbeantwortet. In der Kunststoffindustrie konnte nicht dargestellt werden, welche Mengen an petrochemischen Grundstoffen tatsächlich für die Herstellung von Kunststoffen zum Einsatz kamen. Diese Resultate der Recherche und Erhebungen sind teilweise der Datenlage geschuldet und zum Teil wurde bewusst eine Grenze gezogen, um den zeitlichen Rahmen der Arbeit nicht zu sprengen.

Völlig aus dieser Arbeit ausgeklammert wurde ebenfalls die Thematik der Energie, die für die Herstellung und Verarbeitung der Materialien und Werkstoffe benötigt wird. Sei es die Menge an elektrischer Energie, die für die Elektrolichtbogenroute in Österreich benötigt wird, oder die Wärmeenergie, die dem Drehrohrofen in der Zementindustrie zugeführt wird. Diese Thematik wurde in diesem Werk bewusst nicht behandelt.

Es wurde versucht, die Datenerhebung auf nationaler Ebene sowie auf EU-Ebene möglichst kohärent zu gestalten, damit diese Kohärenz auch in der Darstellung der Diagramme möglich ist. Dies ist nicht in allen Fällen gleich gut gelungen, was vor allem mit der Datenbasis und den unterschiedlichen Datenquellen auf nationaler wie auf EU Ebene zu tun hat. Zum Teil kann man behaupten, dass auch die unterschiedlichen Technologien und Grundstrukturen der Branchen für kohärente Darstellungen hinderlich waren.

## **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Im Zuge dieser Masterarbeit sollte der Fluss von Materialien vom Rohstoff zum Werkstoff entlang deren Herstellungstechnologien in Österreich und der Europäischen Union untersucht werden. Die Intention, die hinter dieser Arbeit steckte, war, eine Darstellungsmethode zu entwickeln, die die Werkstofftechnologien und die Materialflüsse innerhalb einer Industrie zueinander in Verbindung bringt. Ausschlaggebend dafür war die Feststellung, dass es kaum ein Werk gibt, das unterschiedliche Industrien quantitativ miteinander vergleicht und somit einen Überblick über die mengenmäßige Bedeutung dieser ermöglicht. So bestand ein primäres Anliegen darin, ausgewählte Branchen und Industrien bezüglich Materialflüssen zu untersuchen. Es wurde versucht zu ermitteln, welche Mengen an Rohstoffen und Ausgangsprodukten für die Herstellung von Stahl, Zement, Aluminium, Kunststoff und Glas welche Prozessschritte durchlaufen. Beim Werkstoff Holz wurde hauptsächlich die stoffliche Verwertung, ausgehend vom Einschlag untersucht. Daraus resultieren 12 Darstellungen, die schematisch an ein Sankey-Diagramm angelehnt sind. Diese stellen zumindest alle Materialflüsse dar, zu denen während der Datenerhebung entsprechende Angaben lukriert werden konnten.

Ergänzend dazu wurden, um ein korrektes Materialflussschema zu gewährleisten, nicht herausfindbare Mengenflussangaben in den Grafiken abgebildet und als unbekannt gekennzeichnet (k.A.). Der entscheidende und für die Qualität der Grafiken limitierende Faktor war vor allem der verfügbare Datenbestand, der für manche Branchen deutlich mehr oder weniger umfassend und aussagekräftig war.

Zusammenfassend kann man behaupten, dass das Bestreben, ein Werk zu schaffen, das im Großen und Ganzen einen Überblick über ausgewählte Industrien gibt, mit gewissen Einschränkungen umgesetzt wurde.

Wie in Kapitel 4.1 bereits beschrieben, war es nicht Teil der Arbeit die Leistungsfähigkeit der Werkstoffe in die Analyse der Materialflüsse mit einzubeziehen. Für zukünftige Folgearbeiten, die über die Darstellung der Mengenflüsse und der mengenmäßigen Bedeutung der einzelnen Technologien und Werkstoffen hinausgehen, sollte jedenfalls auch auf die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Werkstoffe eingegangen werden. Ebenso ist ein möglicher Denkanstoß für Folgearbeiten jener, den angesprochenen Aspekt der Prozessenergie in weiterführende Untersuchungen aufzunehmen. Denn um Bewusstseinsbildung und Öffentlichkeitsarbeit für die untersuchten Branchen, welche zum Teil als energieintensiv gelten, weiter zu entwickeln, darf eine Betrachtung aus diesem Blickwinkel nicht ausgeklammert werden.

Bezugnehmend auf den in Kapitel 1.2 angesprochenen Punkt, dass bewusst die Grenze der Analyse vor die jeweilige Produktschiene bzw. Endanwendung gesetzt wurde, soll hier erwähnt sein, dass durchaus Raum besteht, weitere Untersuchungen in diese Richtung vornehmen zu können. So könnte die Untersuchung der Materialflüsse bis hin zu den fertigen Produkten (Beton, Hygienepapier, Stahlwerkzeug,...) als informativ-sches Forschungsgebiet angesehen werden.

## 6. Berechnungen und Quellenverweise der Daten

In diesem Kapitel sind die Berechnungen und Quellenverweise zu den einzelnen Werten in den Flussdiagrammen (Abbildung 2 bis Abbildung 15) angeführt. Die Reihung in den Tabellen richtet sich nach den Stellen in den Diagrammen, wobei diese beginnend von links nach rechts und von oben nach unten tendiert.

**Tabelle 1: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Holzindustrie - Österreich**

Nr.	Wert in mt	Umrechnungsfaktor	Wert in Mio EFM ohne Rinde	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	0,51	0,6	0,850	BMLFUW, 2016a	Umrechnungsfaktor von EFM auf Tonnen bei Laubholz = 0,6

<b>2</b>	0,68	0,6	1,130	BMLFUW, 2016a	
<b>3</b>	0,83	0,5	1,650	BMLFUW, 2016a	Umrechnungsfaktor von EFM auf Tonnen bei Nadelholz = 0,5
<b>4</b>	0,68	0,5	1,349	BMLFUW, 2016a	
<b>5</b>	0,42	0,6	0,702	BMLFUW, 2016a	
<b>6</b>	0,18	0,6	0,300	BMLFUW, 2016a	
<b>7</b>	1,19	0,5	2,378	BMLFUW, 2016a	
<b>8</b>	4,60	0,5	9,194	BMLFUW, 2016a	
<b>9</b>	0,78	0,55	1,413	Austropapier, 2016, 50	Umrechnungsfaktor von EFM auf Tonnen wenn Holzart unbekannt = 0,55
<b>10</b>	2,55	0,5	5,100	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 30f	
<b>11</b>	4,78	0,5	9,494		Summe aus Nr. 7 und 8
<b>12</b>	0,24	0,6	0,400	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 30f	
<b>13</b>	1,21	0,5	2,411	Austropapier, 2016, 50	Summe aus 1900 und 511
<b>14</b>	0,67	0,6	1,120	Austropapier, 2016, 50	
<b>15</b>	0,53	0,55	0,970	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 45	
<b>16</b>	1,91	0,5	3,810	Austropapier, 2016, 50	
<b>17</b>	4,34	0,5	8,681	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 30	
<b>18</b>	2,36			Austropapier, 2016, 2	
<b>19</b>	0,65	0,55	1,184	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 45	
<b>20</b>	0,38	0,55	0,697	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 44	
<b>21</b>	0,08	0,6	0,136	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 32	
<b>22</b>	k.A.				Der gesuchte Wert konnte nicht herausgefunden werden
<b>23</b>	0,59	0,5	1,183		(Nr.11+10+12)-(Nr.16+17+19+20)
<b>24</b>	2,04			Austropapier, 2016, 46	
<b>25</b>	1,19	0,55	2,155	Fachverband der Holzindustrie Österreich, 2016, 44	
<b>26</b>	0,38	0,55	0,697	Fachverband der	

				Holzindustrie Österreich, 2016, 44	
27	0,56			Austropapier, 2016, 46	
28	0,45			Austropapier, 2016, 46	
29	0,45			Austropapier, 2016, 46	
30	0,36			Austropapier, 2016, 46	

**Tabelle 2: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Holzindustrie - EU**

Nr.	Wert in mt	Umrechnungsfaktor	Wert in Mio m <sup>3</sup> ohne Rinde	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	39,48	0,6	65,8	Eurostat, 2017a	Umrechnungsfaktor von m <sup>3</sup> auf Tonnen bei Laubholz = 0,6
2	15,95	0,5	31,9	Eurostat, 2017a	Umrechnungsfaktor von m <sup>3</sup> auf Tonnen bei Nadelholz = 0,5
3	30,48	0,6	50,8	Eurostat, 2017a	79,33 Mio m <sup>3</sup> (Industrierundholz) - Nr.4 = 50,8
4	17,16	0,6	28,6	Eurostat, 2017a	
5	52,40	0,5	104,8	Eurostat, 2017a	269,74 Mio m <sup>3</sup> (Industrierundholz) – Nr. 6 = 104,8
6	82,50	0,5	165	Eurostat, 2017a	
7	3,72	0,6	6,2	Eurostat, 2017b	8,48 m <sup>3</sup> (Einfuhren) – 2,29 m <sup>3</sup> (Ausfuhren) = 6,2
8	3,90	0,5	7,8	Eurostat, 2017b	9,04 m <sup>3</sup> (Einfuhren) – 1,22 m <sup>3</sup> (Ausfuhren) = 7,8
9	107,28				Nr.6 + Nr.4 + Nr.7 + Nr.8
10	28,02	0,6	46,7	Eurostat, 2017a	
11	49,50	0,5	99,0	Eurostat, 2017a	
12	47,70			Cepi, 2016, 5	
13	54,20	0,52	104,3		Nr.9 – Nr.15 0,52 aus dem Verhältnis von Laubholz zu Nadelholz errechnet
14	5,25	0,54	9,7	Eurostat, 2017a	0,54 aus dem Verhältnis von Laubholz zu Nadelholz errechnet
15	k.A.				Der gesuchte Wert konnte nicht herausgefunden werden
16	53,08	0,52	102,9	Eurostat, 2017c	
17	9,91			Cepi, 2016, 8	

<b>18</b>	41,18				Verhältnis von Altpapiereinsatz zu Altpapierstoff aus Österreich * Nr.12
<b>19</b>	34,79	0,52	66,9	Eurostat, 2017c	
<b>20</b>	19,24	0,52	37,0	Eurostat, 2017c	
<b>21</b>	1,67			Cepi, 2016, 8	
<b>22</b>	24,46			Cepi, 2016, 8	

**Tabelle 3: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Stahlindustrie - Österreich**

<b>Nr.</b>	<b>Wert in mt</b>	<b>Quelle</b>	<b>Berechnung/Anmerkung</b>
<b>1</b>	k.A.		Gesuchter Wert konnte nicht gefunden werden
<b>2</b>	2,78	BMWWF, 2016b, 14	
<b>3</b>	6,31	BMWWF, 2016b, 73	
<b>4</b>	9,63	Voestalpine Stahl Linz, 2016, 32. Voestalpine Stahl Donawitz, 2016, 17	Summe aus 7000 kt und 2628 kt aus den jeweiligen Umwelterklärungen
<b>5</b>	0,82	Voestalpine Stahl Linz, 2016, 32. Voestalpine Stahl Donawitz, 2016, 17. Statista, 2017c, s.p.	2710 kt abzüglich der Summe aus 1500 kt und 391 kt aus den jeweiligen Umwelterklärungen
<b>6</b>	5,81	World Steel Association, 2016, 100	
<b>7</b>	0,67	World Steel Association, 2016, 17	
<b>8</b>	1,89	Voestalpine Stahl Linz, 2016, 32. Voestalpine Stahl Donawitz, 2016, 17.	Summe aus 1500 kt und 391 kt aus den jeweiligen Umwelterklärungen
<b>9</b>	7,02	World Steel Association, 2016, 17	
<b>10</b>	0,25	World Steel Association, 2016, 5	
<b>11</b>	7,43	World Steel Association, 2016, 5	
<b>12</b>	0,01	World Steel Association, 2016, 5	

**Tabelle 4: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Stahlindustrie - EU**

<b>Nr.</b>	<b>Wert in mt</b>	<b>Quelle</b>	<b>Berechnung/Anmerkung</b>
<b>1</b>	k.A.		Gesuchter Wert konnte nicht gefunden werden
<b>2</b>	20,2	World Steel Association, 2016, 104.	65 kt + 20090 kt
<b>3</b>	7,3	World Steel Association, 2016, 102	27450 kt – Nr.2
<b>4</b>	129,3	World Steel Association, 2016, 105. World Steel Association, 2016, 104.	153,1 mt (Import) – 23,9 mt (Export abzüglich des Exportes der Eigenproduktion)

5	144,7		(Nr.3 + Nr.4)*(9628/9088 (Verhältnis aus Erz & Pellets zu Erz aus Österreich))
6	80,4		Aus dem Verhältnis von Rohstahl aus Schrott in Österreich 819/667*65,5
7	93,4	World Steel Association, 2016, 100.	
8	65,5	World Steel Association, 2016, 17.	
9	10,2	Statista, 2017b, s.p.	90,6 (Stahlschrottverbrauch EU) – Nr.6
10	100,6	World Steel Association, 2016, 17.	
11	5	World Steel Association, 2016, 5.	
12	160,8	World Steel Association, 2016, 5.	
13	0,3	World Steel Association, 2016, 5.	

**Tabelle 5: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Zementindustrie - Österreich**

Nr.	Wert in mt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	4,22	Mauschitz, 2015, 16	
2	0,22	Mauschitz, 2015, 16	
3	4,43		Nr.1 + Nr.2
4	0,68	Mauschitz, 2015, 14	36kt + 613kt + 32kt
5	0,09	Mauschitz, 2015, 16	74kt + 12kt + 5kt + 1kt
6	4,84	Mauschitz, 2015, 6	
7	4,46	Mauschitz, 2015, 6	4,843/5,299=0,914 (Auslastung der Kapazität der Anlagen) 0,914*(1,385+3,496)
8	0,38		Nr.6 - Nr.7
9	2,94	Friembichler et al., 2017, 13	4,461 * 0,66 (34% CO2 entweicht)
10	0,25	Friembichler et al., 2017, 13	0,382 * 0,66 (34% CO2 entweicht)
11	0,50	Mauschitz, 2015, 6	48kt + 294kt + 8kt + 17kt + 1kt + 39kt + 88kt
12	3,14	Mauschitz, 2015, 6	
13	1,39	Mauschitz, 2015, 16f	273kt + 138 + 7kt + 1kt + 682kt + 123kt + 52kt + 118kt
14	0,53	Mauschitz, 2015, 6 Friembichler et al., 2017, 23	4,435*0,12
15	3,72	Mauschitz, 2015, 6 Friembichler et al., 2017, 23	4,435*0,839
16	0,11	Mauschitz, 2015, 6 Friembichler et al., 2017, 23	4,435*0,024

17	0,08	Mauschitz, 2015, 6 Friembichler et al., 2017, 23	4,435*0,017
----	------	---	-------------

**Tabelle 6: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Zementindustrie - EU**

Nr.	Wert in mt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	159,6		4,215/4,433*166,8 (Verhältnis von Kalkstein, Mergel zu Grundstoffgemisch Österreich * Zementproduktion EU)
2	7,2		166,8-Nr.1
3	k.A.		Wert konnte nicht herausgefunden werden
4	182		4,843/4,435*166,8 (Verhältnis von Rohmehl zu Zement Österreich)
5	114	Stockinger, s.a., 147	182/1,6 (Rohmehl durch Rohmehlfaktor Europa)
6	56,6		4,537/4,435*166,8-114 (Stoffe in der Zementmühle durch Zementproduktion Österreich mal Zementproduktion Europa weniger Klinkereinsatzmenge Europa)
7	166,8	Cembureau.eu, s.a., s.p.	

**Tabelle 7: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Kunststoffindustrie – Österreich**

Nr.	Wert in mt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	0,91	BMWWF, 2016a, 75	
2	8,11	BMWWF, 2016a, 75	
3	8,90	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	
4	3,47	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,39
5	1,87	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,21
6	1,25	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,14
7	0,71	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,08
8	0,36	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,04
9	0,18	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,02
10	1,07	Fachverband der Mineralölindustrie, 2016, 28	8,9*0,12
11	k.A.		Gesuchter Wert konnte nicht herausgefunden werden

12	1,00	Wolf, 2017, 5	
13	0,07	Van Eygen et al., 2016, 189	60/880*1000kt (Anteil aus Van Eygen et al. 2016 * Polyolefineerzeugung 2015)
14	0,19	Van Eygen et al., 2016, 189	170/880*1000kt (Anteil aus Van Eygen et al. 2016 * Polyolefineerzeugung 2015)

**Tabelle 8: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Kunststoffindustrie - EU**

Nr.	Wert in mt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	69,1	Eurostat, 2017d, s.p.	
2	553,4	Eurostat, 2017d, s.p.	
3	586,3	BP, 2016, 16	11 774 000 * 365 / 7,33
4	14,5	Eurostat, 2017d, s.p.	
5	13,0	Eurostat, 2017d, s.p.	
6	263,8	Plastics Europe, 2016, 4	Nr. 3 * 0,45
7	246,2	Plastics Europe, 2016, 4	Nr. 3 * 0,42
8	29,3	Plastics Europe, 2016, 4	Nr. 3 * 0,05
9	k.A.		Gesuchter Wert konnte nicht herausgefunden werden
10	47,0	Plastics Europe, 2016, 4	Nr. 3 * 0,08 Materialfluss stellt nicht die Petrochemischen Grundstoffe dar, sondern lediglich den Anteil an Erdöl welcher in der Petrochemie verwendet wurde
11	56,7	Plastics Europe, 2016, 12ff	58 – 1,3 (anhand des Kunststoffverbrauchs geschätzter Anteil von Schweiz und Norwegen) Enthält Thermoplaste, Polyurethane, Klebstoffe, Duroplaste, Lacke und Dichtmittel

**Tabelle 9: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Aluminiumindustrie - Österreich**

Nr.	Wert in kt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	117	Meyer et al., 2016, 14 UBA, 2016, s.p. Berufsgruppe Gießereiindustrie, 2017, 1	375/430=0,872 (Anteil an Schrott an der Aluminiumproduktion) (64+69+1)*0,872=117
2	419	Osvold, 2017, s.p.	480*0,872
3	61	Osvold, 2017, s.p.	480*(1-0,872)
4	17	Meyer et al., 2016, 14	(64+69+1)*(1-0,872)

		UBA, 2016, s.p. Berufsgruppe Gießereiindustrie, 2017, 1	
5	65	Buchner et al., 2014, 114	$46/(175+22)*\text{Nr.6}$
6	278	Buchner et al., 2014, 114	$175/(249+264+15+46-153-3-116)*480$
7	64	Berufsgruppe Gießereiindustrie, 2017, 1	
8	69	Berufsgruppe Gießereiindustrie, 2017, 1	
9	1	Berufsgruppe Gießereiindustrie, 2017, 1	
10	148	Buchner et al., 2014, 114	$93/(249+264+15+46-153-3-116)*480$
11	188	Buchner et al., 2014, 114	$133/(175+22)*\text{Nr.6}$
12	26	Buchner et al., 2014, 114	$16/(175+22)*\text{Nr.6}$
13	57	Buchner et al., 2014, 114	$35/(249+264+15+46-153-3-116)*480$

**Tabelle 10: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Aluminiumindustrie - EU**

Nr.	Wert in kt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	5900	European Aluminium, 2016a, s.p.	
2	5933	European Aluminium, 2016b, s.p.	
3	2155	European Aluminium, 2016c, s.p.	
4	482	European Aluminium, 2016d, s.p.	
5	4733	European Aluminium, 2016b, s.p.	
6	k.A		Gesuchter Wert konnte nicht herausgefunden werden
7	2900	European Aluminium, 2016a, s.p.	
8	4900	European Aluminium, 2016a, s.p.	

**Tabelle 11: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Glasindustrie - Österreich**

Nr.	Wert in kt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	171	Austria Glas Recycling GmbH, 2017, 33	$(164+53+41)/235*(\text{Nr.6}-235)=269$ (=Menge an benötigten Primärrohstoffen) $164/(164+53+41)*269$
2	43	Austria Glas Recycling GmbH, 2017, 33	$(164+53+41)/235*(\text{Nr.6}-235)=269$ (=Menge an benötigten Primärrohstoffen) $41/(164+53+41)*269$
3	55	Austria Glas Recycling GmbH, 2017, 33	$(164+53+41)/235*(\text{Nr.6}-235)=269$ (=Menge an benötigten Primärrohstoffen)

			$53/(164+53+41)*269$
4	235	Fachverband der Glasindustrie, 2015, 9	
5	k.A.		Gesuchter Wert konnte nicht herausgefunden werden
6	480	Fachverband der Glasindustrie, 2015, 2, 5	530-50
7	50	Fachverband der Glasindustrie, 2015, 2, 5	
8	424	Fachverband der Glasindustrie, 2015, 5	
9	2	Fachverband der Glasindustrie, 2015, 5	
10	8	Statistik Austria, s.a., s.p.	
11	46	Fachverband der Glasindustrie, 2015, 5	54-Nr.10

**Tabelle 12: Quellenverweise und Berechnungen der Materialflussanalyse der Glasindustrie - EU**

Nr.	Wert in kt	Quelle	Berechnung/Anmerkung
1	k.A.		Gesuchter Wert konnte nicht herausgefunden werden
2	33600	Statista, 2017a, 9	
3	9600	Glass Alliance Europe, 2017, 1	
4	20300	Glass Alliance Europe, 2017, 1	
5	1100	Glass Alliance Europe, 2017, 1	
6	700	Glass Alliance Europe, 2017, 1	
7	1400	Glass Alliance Europe, 2017, 1	

## 7. Literaturverzeichnis

Adero, s.a. Verfügbar in: <https://www.adero.de/produkte/Aida-Chair-stapelbarer-Stuhl-Magis-Richard-Sapper.html> [Abfrage am 2.4.2018].

Amag, 2015. AMAG-Geschäftsbericht 2015. Verfügbar in: [https://www.amag.at/fileadmin/user\\_upload/amag/Investor\\_Relations/Finanzen\\_und\\_Berichte/Geschaeftsberichte/AMAG\\_GB2015\\_DT.pdf](https://www.amag.at/fileadmin/user_upload/amag/Investor_Relations/Finanzen_und_Berichte/Geschaeftsberichte/AMAG_GB2015_DT.pdf) [Abfrage am 20.3.2018].

Ashby, M.; Shercliff, H. und Cebon, D., 2007. Materials – engineering, science, processing and design. Oxford: Elsevier.

Austria Glas Recycling GmbH, 2017. Austria Glas Agenda 2030 - Nachhaltige Entwicklungsziele für das österreichische Glasrecyclingsystem. Wien: Austria Glas Recycling GmbH. Verfügbar in: [http://www.agr.at/fileadmin/redakteur/redakteur\\_alt/dokumente/AustriaGlasAgenda2030\\_w ebversion.pdf](http://www.agr.at/fileadmin/redakteur/redakteur_alt/dokumente/AustriaGlasAgenda2030_w ebversion.pdf) [Abfrage am 15.3.2018].

Austrocel, s.a., <http://austrocel.com/produkte/zellstoff/> [Abfrage am 9.2.2018].

Austropapier, 2016. Branchenbericht 2015/16. Verfügbar in: [http://www.austropapier.at/fileadmin/austropapier.at/dateiliste/Dokumente/Downloads/Jahr esberichte/00\\_Gesamt\\_\\_a1\\_\\_klein.pdf](http://www.austropapier.at/fileadmin/austropapier.at/dateiliste/Dokumente/Downloads/Jahr esberichte/00_Gesamt__a1__klein.pdf) [Abfrage am 19.3.2018].

Baaske, W. und Kranzl, S., 2016. Aggregierte Analyse der sozial- und regionalwirtschaftlichen Effekteder österreichischen Zementstandorte 2015. Verfügbar in: [http://www.zement.at/downloads/downloads\\_2016/ZementRegional\\_STUDIA\\_2015.pdf](http://www.zement.at/downloads/downloads_2016/ZementRegional_STUDIA_2015.pdf) [Abfrage am 20.3.2018].

Baidinger, A., 2013. Neues Vorstandsduo für Europäische Zementvereinigung. s.l.: Österreichische Zementindustrie  
([http://www.zement.at/downloads/pa\\_neues\\_vorstandsduo\\_europ\\_zementverein\\_140613.pdf](http://www.zement.at/downloads/pa_neues_vorstandsduo_europ_zementverein_140613.pdf)) [Abfrage am 27.2.2018].

BDG, 2017. Sand- und Kokillenguss aus Aluminium. Verfügbar in: [http://www.kug.bdguss.de/fileadmin/content/Publikationen-Normen-Richtlinien/buecher/Sand-\\_und\\_Kokillenguss\\_aus\\_Aluminium.pdf](http://www.kug.bdguss.de/fileadmin/content/Publikationen-Normen-Richtlinien/buecher/Sand-_und_Kokillenguss_aus_Aluminium.pdf) [Abfrage am 20.3.2018].

Behr, A.; Agar, D.W. und Jörisen, J., 2010. Einführung in die technische Chemie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Berufsgruppe Gießereiindustrie, 2017. Gussproduktion 2016:2015. Wien: Berufsgruppe Gießereiindustrie. Verfügbar in: <https://www.wko.at/branchen/industrie/metalltechnische-industrie/giesserei/gussproduktion.pdf> [Abfrage am 11.3.2018].

Borealis, s.a. <https://www.borealisgroup.com/schwechat> [Abfrage am 19.3.2018].

Bozena, A., 2017. Werkstofftechnik für Wirtschaftsingenieure. 2. Auflage. Berlin: Springer Verlag.

BP, 2016. BP Statistical Review of World Energy. London: BP. Verfügbar in: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf> [Abfrage am 6.3.2018].

Buchner, H.; Laner, D.; Rechberger, H. und Fellner J., 2014. In-depth analysis of aluminum flows in Austria as a basis to increase resource efficiency. Resources, Conservation and Recycling, 93, 112-123.

BMLFUW, 2016a. Holzeinschlagsmeldung für das Jahr 2015 (Excell-Tabelle). Verfügbar in: <https://www.bmnt.gv.at/forst/oesterreich-wald/wirtschaftsfaktor/rohstoff-holz/hem2015.html> [Abfrage am 19.3.2018].

BMLFUW, 2016b. Holzeinschlagsmeldung über das Kalenderjahr 2015 (In Erntefestmetern, Ohne Rinde – EFM O.R.). Verfügbar in:  
[https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr.../Holzeinschlag\\_2015%20CI%20mit%20BF.pdf](https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr.../Holzeinschlag_2015%20CI%20mit%20BF.pdf) [Abfrage am 20.3.2018].

BMWF, 2016b. Österreichisches Montan-Handbuch. s.l.: Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Verfügbar in:  
[https://www.bmdw.gv.at/EnergieUndBergbau/Montanhandbuch/Documents/MHB\\_16.12.pdf](https://www.bmdw.gv.at/EnergieUndBergbau/Montanhandbuch/Documents/MHB_16.12.pdf) [Abfrage am 16.2.2018].

Cembureau, 2016. Activity Report 2015.  
[https://cembureau.eu/media/1503/2015activityreport\\_cembureau.pdf](https://cembureau.eu/media/1503/2015activityreport_cembureau.pdf) [Abfrage am 28.2.2018].

Cembureau, s.a. Key Facts & Figures. Brüssel: Cembureau. Verfügbar in:  
<https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/> [Abfrage am 24.02.2018].

Cepi, 2016. Key Statistics 2015 - European pulp & paper industry. Brüssel: Confederation of European Paper Industries. Verfügbar in:  
<http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/statistics/2016/FINALKeyStatistics2015web.pdf> [Abfrage am 19.3.2018].

Duden, 2010. Das Fremdwörterbuch. 10. Mannheim, Zürich: Dudenverlag.

Duden, s.a. Verfügbar in: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Produkt> [Abfrage am 29.3.2018].

Ecoprog, 2014. Glaswerke im Rahmen der Industrie-Emissions-Richtlinie. Köln: Ecoprog.  
[https://www.ecoprog.com/fileadmin/user\\_upload/leseproben/leseprobe\\_marketstudie\\_glaswerke\\_in\\_europa\\_IER\\_ecoprog.pdf](https://www.ecoprog.com/fileadmin/user_upload/leseproben/leseprobe_marketstudie_glaswerke_in_europa_IER_ecoprog.pdf) [Abfrage am 19.3.2018].

Enquete-Kommission, 1993. Verantwortung für die Zukunft. Bonn: Economica Verlag.

Eurofer, 2017. <http://www.eurofer.org/News&Events/PublicationsLinksList/201705-SteelFigures.pdf> [Abfrage am 21.2.2018].

Europäische Kommission, 2013a. A blueprint for the EU forest-based industries. Brüssel: EU. Verfügbar in: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013SC0343&from=EN> [Abfrage am 12.2.2018].

Europäische Kommission, 2013b. Regulierungskosten der EU-Aluminiumindustrie. Brüssel: EU. Verfügbar in: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-13-1050\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-1050_de.htm) [Abfrage am 14.3.2018].

Europäische Kommission, 2016. Pressemitteilung - Stahlindustrie: Kommission ergreift Maßnahmen zur Erhaltung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und nachhaltigen Wachstums in Europa. Brüssel: Europäische Kommission. Stahlindustrie: Kommission ergreift Maßnahmen zur Erhal-

tung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und nachhaltigen Wachstums in Europa. Verfügbar in: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-16-804\\_de.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-804_de.htm) [Abfrage am 21.2.2018].

Europäische Kommission, 2018. [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/industries/non-metals/glass\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/industries/non-metals/glass_en) [Abfrage am 19.3.2018].

Europäische Union, 2011. "Forestry in the EU and the world - A statistical portrait". Luxembourg: Publications Office of the European Union. Verfügbar in: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5733109/KS-31-11-137-EN.PDF> [Abfrage am 19.3.2018].

Europäische Union, 2016. Agriculture, forestry and fishery statistics. Luxembourg: European Union. Verfügbar in: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7777899/KS-FK-16-001-EN-N.pdf/cae3c56f-53e2-404a-9e9e-fb5f57ab49e3> [Abfrage am 11.2.2018].

European Aluminium, 2016a. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/data/economic-data/aluminium-production-by-segment-in-europe/> [Abfrage am 13.3.2018].

European Aluminium, 2016b. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/data/economic-data/eu-aluminium-imports-dependency/> [Abfrage am 13.3.2018].

European Aluminium, 2016c. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/data/industry-overview/focus-on-eu-smelters/> [Abfrage am 13.3.2018].

European Aluminium, 2016d. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/data/recycling-data/recycling-eu-net-exports-of-aluminium-scrap/> [Abfrage am 13.3.2018].

European Aluminium, 2016e. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/media/1779/2016-11-29-press-release-aluminium-2016-de.pdf> [Abfrage am 13.3.2018].

European Aluminium, 2016f. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/data/industry-overview/european-overview-aluminium-plants-location/> [Abfrage am 14.3.2018].

European Aluminium, 2016g. Verfügbar in: <https://www.european-aluminium.eu/data/recycling-data/eu-exports-destination-of-aluminium-scrap/> [Abfrage am 14.3.2018].

European Organisation of the Sawmill Industry, 2016. Annual Report. Brüssel: EOS/OES. Verfügbar in: [http://www.eos-oes.eu/downloads/eos-annual-report-2015-2016\\_web.pdf](http://www.eos-oes.eu/downloads/eos-annual-report-2015-2016_web.pdf) [Abfrage am 12.2.2018].

Eurostat, 2017a. Entnommene Mengen brutto und netto nach Rundholzsorten. Verfügbar in: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for\\_remov&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for_remov&lang=de) [Abfrage am 5.1.2018].

Eurostat, 2017b. Rundholz, Brennholz und sonstige Primärwaren. Verfügbar in: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do> [Abfrage am 7.1.2018].

Eurostat, 2017c. Schnittholz, Platten und Furniere.. Verfügbar in: [http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for\\_swpan&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for_swpan&lang=de) [Abfrage am 5.1.2018].

Eurostat, 2017d. File:Imports of selected oil products into EU-28, 1990-2015. Verfügbar in: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Oil\\_and\\_petroleum\\_products\\_-\\_a\\_statistical\\_overview](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview) [Abfrage am 6.3.2018].

Eurostat, 2018. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Forestry\\_statistics/de](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Archive:Forestry_statistics/de) [Abfrage am 13.2.2018].

Fachverband der Glasindustrie, 2015. Jahresbericht 2015. Wien: Wirtschaftskammer Österreich. Verfügbar in: <https://www.wko.at/branchen/industrie/glasindustrie/Jahresbericht-Glasindustrie-2015.pdf> [Abfrage am 15.3.2018].

Fachverband der Holzindustrie Österreichs, 2016. Branchenbericht 2015/16. Verfügbar in: <https://www.wko.at/branchen/industrie/holzindustrie/Branchenbericht-2015-2016.pdf> [Abfrage am 19.3.2018].

Fachverband der Mineralölindustrie Österreich, 2016. Branchenreport Mineralöl 2015. Wien: FVMI. Verfügbar in: <https://www.wko.at/branchen/industrie/mineraloelindustrie/Mineraloelbericht-2015.pdf> [Abfrage am 5.3.2018].

FCIO, s.a., [http://fcio.at/Default.aspx?site=kunststoffe.fcio.at&menu=Die\\_Branche](http://fcio.at/Default.aspx?site=kunststoffe.fcio.at&menu=Die_Branche) [Abfrage am 18.3.2018].

Friembichler, F.; Spaun, S.; Steigenberger, J.; Huber, F.; Jus, U.; Stuzka, C. und Eismair, H., 2017. Zementerzeugung in Österreich. Wien: Zement und Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Verfügbar in: [http://www.zement.at/downloads/downloads\\_2017/Zementerzeugung\\_in\\_Oesterreich.pdf](http://www.zement.at/downloads/downloads_2017/Zementerzeugung_in_Oesterreich.pdf) [Abfrage am 24.2.2018].

Gatterer, S. und Zettl, C., 2015. Wissenswertes rund um Papier. Wien: Austropapier – Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie.

Glass Alliance Europe, 2015. <https://www.glassallianceeurope.eu/en/about-glass-alliance-europe> [Abfrage am 19.3.2018].

- Glass Alliance Europe, 2017. Production Break Down per sectors.  
[https://www.glassallianceeurope.eu/images/cont/production-breakdown-by-sectors-2016\\_1\\_file.pdf](https://www.glassallianceeurope.eu/images/cont/production-breakdown-by-sectors-2016_1_file.pdf) [Abfrage am 15.3.2018].
- Hartmann, G.; Herrmann, C.; Heinemann, T.; Hoffmann, F.; Jordi, U.; Pithan, A. und Pries, H., 2013. Aluminiumdruckguss – Potenziale und Handlungsfelder. Verfügbar in:  
[https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-39853-7\\_2.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-39853-7_2.pdf) [Abfrage am 20.3.2018].
- Hokohoko, s.a. Verfügbar in: <http://shop.hokohoko.com/stuhl-flankenschnitt-stapelbarkirschschindlersalmerAsn-p-3816.html?qty=1&scope=detail> [Abfrage am 2.4.2018].
- Kalt, G., 2015. Biomass streams in Austria: Drawing a complete picture of biogenic material flows within the national economy. Verfügbar in:  
[https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/Deliverable\\_2.2\\_Biomass\\_streams\\_in\\_Austria.pdf](https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/klimapolitik/Deliverable_2.2_Biomass_streams_in_Austria.pdf) [Abfrage am 5.4.2018].
- Kalweit, A.; Paul, C.; Peters, S. und Wallbaum R., 2012. Handbuch für technisches Produktdesign. 2. Berlin: Springer Verlag.
- Kohlhepp, C., 2005. Wachstum im Wandel der Zeiten: Entwicklungsgeschichte der Kunststoffe. Kunststoffe Plast Europe, 5 (95), 22-32.
- Lenzing, s.a. Unsere Prozesse.  
[http://www.lenzing.com/sites/nh/images/pdf/deutsch/prozesse\\_d.pdf](http://www.lenzing.com/sites/nh/images/pdf/deutsch/prozesse_d.pdf) [Abfrage am 9.2.2018].
- Lohmann, U., 2010. Holz Handbuch. 7. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co.KG.
- Mauschitz, G., 2015. Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie - Berichtsjahr 2014. Publikation. Technische Universität Wien.
- Meyer, I.; Sommer, M.; Kratena, K.; Tesar, M.; Neubauer, C. und Markytan, S., 2016. Volkswirtschaftliche Effekte durch Recycling ausgewählter Altstoffe und Abfälle. Wien: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Moser, G., 2008. Business to business relations in der österreichischen Holzwirtschaft. Wien: Umweltbundesamt. Verfügbar in:  
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0165.pdf> [Abfrage am 9.2.2018].
- Osvald, W., Schriftliche Mitteilung vom 14.12.2017.
- Plastics Europe, 2016. Plastics – the Facts 2016, An analysis of European plastics production, demand and waste data. Verfügbar in:  
<http://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf> [Abfrage am 6.3.2018].

Plastics Europe, 2018. Plastics the facts 2017.

<http://www.plasticseurope.org/de/resources/publications/plastics-facts-2017> [Abfrage am 19.3.2018].

Pulm, P. und Raupenstrauch, H., 2014. Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlindustrie. Wien: Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung. Verfügbar in:

<https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Broschren/FE-Roadmap-Energieeffizienz/KLIENEisen-StahlF-u-E-Fahrplan.pdf> [Abfrage am 20.3.2018].

Römpp, H., 1997. Chemie Lexikon. Stuttgart, New York: Thieme Verlag.

Ruge, J. und Wohlfahrt, H., 2013. Technologie der Werkstoffe. 9. Berlin: Springer Verlag.

Russ, W., 2011. Mehr Wald in Österreich. BFW Praxisinformation – Waldinventur 2007/09, 24, 3-5.

Scalet, B.; Garcia Munoz M.; Sissa, A.; Roudier, S. Und Delgado Sancho, L., 2013. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass. Luxemburg: Europäische Kommission. Verfügbar in:

[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/GLS\\_Adopted\\_03\\_2012.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/GLS_Adopted_03_2012.pdf) [Abfrage am 18.3.2018].

Schindler, I. und Ronner, C., 1999. Stand der Technik bei der Glasherstellung. Wien: Umweltbundesamt. Verfügbar in:

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/R152.pdf> [Abfrage am 20.3.2018].

Schmidt, M. und Schorb, A., 1995. Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits. Berlin: Springer Verlag.

Scholz, W.; Hiese, W. und Möhring, R., 2016. Baustoffkenntnis. 18. Köln: Bundesanzeiger Verlag.

Schönbucher, A., s.a. Vorlesung Technische Chemie. Verfügbar in: <https://www.uni-due.de/tchem/as/skripte/Werkstoffe.pdf> [Abfrage am 25.3.2018].

Statista, 2017a. Glasindustrie. Verfügbar in:

<https://de.statista.com/statistik/studie/id/38211/dokument/glasindustrie-statista-dossier/> [Abfrage am 16.3.2018].

Statista, 2017b. Menge an verbrauchtem Stahlschrott zur Rohstahlerzeugung in der EU in den Jahren 2005 bis 2016 (in Millionen Tonnen). Verfügbar in:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/241072/umfrage/stahlschrottverbrauch-in-der-eu/> [Abfrage am 16.2.2018].

Statista, 2017c. Stahlschrottverbrauch in Österreich von 2010 bis 2015 (in Millionen Tonnen). Verfügbar in:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/320438/umfrage/stahlschrottverbrauch-in-oesterreich/> [Abfrage am 16.2.2018].

Statista, 2018a, Anzahl der Betriebe in der NE-Metallindustrie in Österreich in den Jahren 1995 bis 2015. Verfügbar unter:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/317511/umfrage/betriebsanzahl-der-ne-metallindustrie-in-oesterreich/> [Abfrage am 11.3.2018].

Statista, 2018b. Anzahl der Betriebe in der Gießereiindustrie in Österreich nach Produktion von 2006 bis 2016. Verfügbar unter:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/780437/umfrage/betriebsanzahl-der-giessereiindustrie-in-oesterreich-nach-produktion/> [Abfrage am 11.3.2018].

Statistik Austria, s.a. Statcube [Abfrage am 19.12.2017].

Stattmann, N., 2000. Handbuch Material-Technologie. Ludwigsburg: Verlag für Architektur und Design.

Stockinger, G., s.a. Ersatzrohstoffe aus der Zementindustrie durch Nassaufbereitung von MVA-Schlacken. Verfügbar in:

[http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2017\\_mna/2017\\_MNA\\_145-158\\_Stockinger.pdf](http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2017_mna/2017_MNA_145-158_Stockinger.pdf) [Abfrage am 24.02.2018].

Strimitzer, L. und Höher, M., 2016a. Industrien der Holzverarbeitung – Marktinformation Teil 6. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Verfügbar in: [https://www.klimaaktiv.at/dam/.../Holzverarbeitende%20Industrien\\_2016\\_final.pdf](https://www.klimaaktiv.at/dam/.../Holzverarbeitende%20Industrien_2016_final.pdf) [Abfrage am 20.3.2018].

Strimitzer, L. und Höher, M., 2016b. Holzströme in Österreich. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Teischinger, A. und Tiefenthaler, B., 2008. Zukunftsideen für Forst – Holz – Papier. Ergebnisbericht des Projekts 'Technologie–Roadmap für Holz in Österreich', unter Mitarbeit von Gronalt, M., Lechner, D., Lex. R., Schiebel, W., Schwarzbauer, P. und Windsperger, A. Lignovisionen, 23, Wien: Universität für Bodenkultur.

Teischinger, A., 2014. Ressourceneffiziente Holznutzung? Aktueller Stand und Potenzial einer kaskadischen Nutzung von Holz. Interforst 2014, München, 17. bis 18.07.2014.

Teischinger, A., 2017. Möglichkeiten und Grenzen von Holz im Bauwesen. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift (ÖIAZ), 162, 1-6.

UBA, 2012. Stand der Technik der österreichischen Gießereien. Verfügbar in:

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0389.pdf> [Abfrage am 20.3.2018].

UBA, 2016. Volkswirtschaftliche Effekte der Kreislaufwirtschaft in Österreich, MODUL I: Recyclingaktivitäten ausgewählter Altstoffe und Abfälle, Umweltbundesamt, Wien (nicht veröffentlicht).

Uhrich, R., 2010. Stoffschutz. Tübingen: Mohr Siebek.

Universität Göttingen, s.a. Sägewerkstechnik. Verfügbar in: [www.uni-goettingen.de/de/document/...pdf/Aufbau%20Sägewerk%20WS2009.pdf](http://www.uni-goettingen.de/de/document/...pdf/Aufbau%20Sägewerk%20WS2009.pdf) [Abfrage am 4.4.2018].

Van Eygen, E.; Feketitsch, J.; Laner, D.; Rechberger, H. und Fellner, J., 2016. Comprehensive analysis and quantification of national plastic flows: The case of Austria. Resources, Conservation and Recycling, 117, 183-194.

VDZ, s.a. [https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/KompodiumZementBeton/1-3\\_Zementherstellung.pdf](https://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/KompodiumZementBeton/1-3_Zementherstellung.pdf) [Abfrage am 22.2.2018].

Vereinigung österreichischer Kunststoffverarbeiter, s.a. Verfügbar in: <http://www.kunststoff.or.at/unternehmen/?lang=&n=21> [Abfrage am 20.3.2018].

Voestalpine Stahl Donawitz GmbH, 2016. Umwelterklärung 2016. s.l.: Voestalpine Stahl Donawitz GmbH. Verfügbar in: [https://www.voestalpine.com/stahldonawitz/static/sites/stahldonawitz/.downloads/VASD-Umwelterklaerung-2016\\_final.pdf](https://www.voestalpine.com/stahldonawitz/static/sites/stahldonawitz/.downloads/VASD-Umwelterklaerung-2016_final.pdf) [Abfrage am 16.2.2018].

Voestalpine Stahl GmbH, 2016. Umwelterklärung 2016 - Konsolidierte Umwelterklärung für die Standorte Linz und Steyring. Linz: Voestalpine Stahl GmbH. Verfügbar in: <https://www.voestalpine.com/group/static/sites/group/.downloads/de/konzern/2016-umwelterklaerung.pdf> [Abfrage am 16.2.2018].

VÖZ, 2016a. [http://www.zement.at/downloads/downloads\\_2016/Grafiken\\_JPK\\_Zement\\_keine\\_Reindustrialisierung\\_11\\_05\\_16.pdf](http://www.zement.at/downloads/downloads_2016/Grafiken_JPK_Zement_keine_Reindustrialisierung_11_05_16.pdf) [Abfrage am 19.3.2018].

VÖZ, 2016b. Österreichs Zementindustrie: Jahresbilanz 2015 und Prognose 2016. <http://www.zement.at/services/presse/45-2016/417-oesterreichs-zementindustrie-jahresbilanz-2015-und-prognose-2016> [Abfrage am 19.3.2018].

Vraetz, T.; Nienhaus, K.; Knapp, H. und Wotruba, H., 2017. ContiTech: Smarter Service 24/7 für härteste Bedingungen im Bergbau. World of Mining, 6, 318.

Wikipedia, 2016. Erzeugnis (Technik). Verfügbar in: [https://de.wikipedia.org/wiki/Erzeugnis\\_\(Technik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Erzeugnis_(Technik)) [Abfrage am 29.3.2018].

Wikipedia, 2017. Verfügbar in: <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbzellstoff> [Abfrage am 20.3.2018].

Wolf, G., 2017. Branchenbericht Kunststoffverarbeitung. Wien: UniCredit Bank Austria AG. Verfügbar in: <https://www.bankaustria.at/files/Kunststoffverarbeitung.pdf> [Abfrage am 4.3.2018].

World Aluminium, 2018. Statistics. Verfügbar in: <http://www.world-aluminium.org/statistics/> [Abfrage am 20.3.2018].

World Steel Association, 2016. Steel statistical yearbook 2016. Brüssel: World Steel Association. Verfügbar in: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:37ad1117-fefc-4df3-b84f-6295478ae460/Steel+Statistical+Yearbook+2016.pdf> [Abfrage am 16.2.2018].