

Milieu-impact van een “Transition Piece” van een windmolen

Van productiefase tot recyclage – galvanisatie inbegrepen

Dieter VAN CRAEN
Hans DE NEVE

Promotoren: Prof. Dr. Ir. B. ROSSI
Ing. M. MEEUS

Masterproef ingediend tot het behalen van de
graad van master of Science in de industriële
wetenschappen: *Bouwkunde*

Co-promotor: Ing. T. BALCAEN

Afstudeerrichting: Bouwkunde

Academiejaar 2016-2017

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Technologicampus De Nayer, Jan De Nayerlaan 5, B-2860 Sint-Katelijne-Waver, +32 15 31 69 44 of via e-mail iiw.denayer@kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Voorwoord

Deze thesis vormt een onderdeel voor het behalen van de graad Master of Science in de Industriële Wetenschappen: Bouwkunde – afstudeerrichting: Bouwkunde. De tijdens de masterproefverdediging geformuleerde opmerkingen zijn niet opgenomen in deze tekst.

De auteur geeft de toelating deze tekst op papier en digitaal voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor eigen gebruik. Elk ander gebruik valt onder de strikte beperkingen van het auteursrecht. In het bijzonder wordt gewezen op de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van tekstdelen.

Graag willen wij van deze gelegenheid gebruik maken om een aantal mensen te bedanken, die hebben meegeholpen aan de totstandkoming van deze masterproef.

Na een intensieve en leerrijke periode willen wij onze promotor Prof. Dr. Ir. B. Rossi en Ing. M. Meeus bedanken voor de uitstekende begeleiding, raadgeving en steun. Hun uitvoerige feedback, optimisme en vertrouwen waren onmisbaar.

Daarnaast willen we onze co-promoter Ing. T. Balcaen eveneens bedanken voor de samenwerking en veelvuldige adviezen. Ook andere medewerkers binnen Smulders Projects, waaronder Dhr. T. Coosemans, Mevr. C. Wellens, Dhr. S. Sterck en Dhr. J. Verheyden stonden ons bij in de verwezenlijking van deze masterproef, waarvoor hartelijk dank.

Graag willen wij ook onze dank betuigen aan Dhr. G. Schmittmann en Dhr. B. Dursin van Zinkinfo Benelux alsook aan Dhr. M. Cook van European General Galvanizers Association.

Tenslotte zijn wij onze familie en vrienden bijzonder dankbaar voor de geleverde emotionele steun bij het opstellen van deze masterproef alsook voor het nalezen ervan.

Abstract – NL

De laatste jaren is er een flinke opmars omtrent het ontwikkelen en het realiseren van offshore windmolenparken. Daarbij wordt er steeds meer belang gehecht aan het beperken van de CO₂-emissies, in zowel grote industrieën als individuele bedrijven. Voor bedrijven, die betrokken zijn bij de productie van dergelijke offshore elementen, is het van groot belang om hun milieu-impact in kaart te brengen en indien mogelijk te reduceren. Dit kan onder andere gebeuren aan de hand van de CO₂-prestatieladder, welke financiële voordelen kan opleveren bij gunning.

Deze masterproef heeft tot doel het uitvoeren van een grondige analyse van de CO₂-uitstoot en het energieverbruik tijdens de productie van offshore elementen, waarbij de focus gelegd wordt op het galvanisatieproces. De ganse cyclus wordt hierbij geëvalueerd, gaande van de primaire productie tot de end-of-life fase.

In samenwerking met Smulders Projects te Hoboken wordt een grondige analyse van de productieprocessen uitgewerkt. Aan de hand van een uitvoerige en diepgaande literatuurstudie worden onder andere de ontwikkelingen in de staalindustrie, de assessment tools om de milieu-impact te bepalen alsook de offshore windindustrie beschreven. Er wordt dieper ingegaan op de impact van het galvanisatieproces aan de hand van een ketenanalyse, waarin de invloed van iedere productiestap binnen dit proces bepaald wordt. Op deze manier wordt er een nauwkeurig beeld gevormd van de CO₂-uitstoot en het energieverbruik doorheen de cradle-to-grave cyclus van galvanisatie binnen Smulders. Tot slot wordt er een beeld gevormd van de totale impact voor de productie van offshore elementen binnen Smulders Projects.

Trefwoorden: CO₂, energie, offshore, galvanisatie, ketenanalyse

Abstract – EN

In recent years, there has been generous growth concerning the development and production of offshore wind farms. At the same time, both the individual companies as well as large industrial sectors greatly value the importance of the reduction of CO₂-emissions. For companies, that are involved in such offshore elements, it is beneficial to determine and to reduce their environmental impact as much as possible. For this assessment, the CO₂-Performance Ladder can be used. Therefore, companies do not only gain an ecological benefit, they also have a financial advantage.

The purpose of this study is to analyse the CO₂-emissions and energy-consumption in the production of offshore elements, while focusing on the surface treatment by means of galvanisation. The impact of the whole lifecycle is evaluated. This includes every aspect of the process, from the primary production to the end-of-life.

In collaboration with Smulders Projects (Hoboken), a thorough analysis of the production processes is made. Based on an in-depth literature review, the developments in the steel industry, the assessment tools to reduce the environmental impact as well as the offshore wind industry are discussed. The impact of galvanisation is assessed by using a chain analysis in which the influence of each production phase within the process is provided. This results in gaining clear insight into the CO₂-emission throughout the cradle-to-grave cycle of galvanisation for Smulders. Finally, an overview is made of the overall environmental impact of Smulders Projects' production of offshore elements.

Key words: CO₂, energy, offshore, galvanisation, chain analysis

From production phase to recycling – including galvanisation

Dieter VAN CRAEN

Hans DE NEVE

Promotor: Prof. Dr. Ir. B. ROSSI, Ing. M. MEEUS

Co-promotor: Ing. T. BALCAEN

KULeuven

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen

Technologiecampus De Nayer

Jan De Nayerlaan 5, B-2860 Sint-Katelijne-Waver - BELGIUM

e-mail: iiw.denayer@kuleuven.be.

ABSTRACT

In recent years, there has been generous growth concerning the development and production of offshore wind farms. At the same time, both the individual companies as well as large industrial sectors greatly value the importance of the reduction of CO₂-emissions. For companies, that are involved in such offshore elements, it is beneficial to determine and to reduce their environmental impact as much as possible. For this assessment, the CO₂-Performance Ladder can be used. Therefore, companies do not only gain an ecological benefit, they also have a financial advantage.

The purpose of this study is to analyse the CO₂-emissions and energy-consumption in the production of offshore elements, while focusing on the surface treatment by means of galvanisation. The impact of the whole lifecycle is evaluated. This includes every aspect of the process, from the primary production to the end-of-life.

In collaboration with Smulders Projects (Hoboken), a thorough analysis of the production processes is made. Based on an in-depth literature review, the developments in the steel industry, the assessment tools to reduce the environmental impact as well as the offshore wind industry are discussed. The impact of galvanisation is assessed by using a chain analysis in which the influence of each production phase within the process is provided. This results in gaining clear insight into the CO₂-emission throughout the cradle-to-grave cycle of galvanisation for Smulders. Finally, an overview is made of the overall environmental impact of Smulders Projects' production of offshore elements.

INTRODUCTION

Only in the recent years a worldwide interest has been shown in environmental- and

sustainability issues. In anticipation of 'Europe 2020', more and more efforts are made to obtain the assumed objectives. These objectives are categorised in five core aspects: (I) Employment, (II) Research, Development and Innovation, (III) Climate Change and Energy, (IV) Education and (V) Poverty and Social Exclusion[1]. Focusing on the aspect 'Climate Change and Energy', it becomes clear that the reduction of greenhouse gases and energy consumption has a very important impact. Both the individual companies as well as large industrial sectors have made a considerably progression to get good results, such as a 20% reduction of greenhouse gases relative to the emissions in 1990. Furthermore, 20% of the energy consumption should consist of renewable energy and the energy efficiency should improve by 20%[1].

Many tools have been developed in order to stimulate companies and large sectors to implement sustainable business practices. Thus, many assessment tools have been engineered, including the CO₂-Performance Ladder[2]. The CO₂-Performance Ladder encourages companies to determine and to reduce the CO₂-emissions of suppliers as well as the emissions of their own production processes. These companies do not only gain an ecological benefit, they also have a financial advantage. The position of a company on the ladder is linked with a financial allocation advantage, determined by the contracting authorities.

Within these environmental issues, the importance of renewable energy increases. A possibility to generate such energy, is to enlarge windfarms, which can be constructed on- and offshore. It is imperative to determine the CO₂-emissions and energy consumption during the

production phase of such sites. An important step in the production process of a Transition Piece, which is assessed in this analysis, is galvanising. The Transition Piece connects the foundation to the actual windfarm. Such surface protection involves a CO₂-emission, which should be minimized. Because the emissions and energy consumption of galvanising a Transition Piece is influenced by company-specific parameters, it is impossible to determine a general trend and so the influence should be calculated for each company individually. The environmental impact of galvanising has never been calculated for Smulders Projects and is therefore part of this thesis.

OBJECTIVES

Initially, the scope of this thesis encompassed the determination of the ecological footprint as well as the CO₂-balance of producing an offshore windfarm, consisting of a Transition Piece, a Topside and a Jacket. Smulders Projects, a part of the international organisation Smulders, presented the opportunity to collaborate for this research. Smulders Project is a vital link within this master thesis, considering that the company is specialised in providing and assembling steel constructions, namely steel foundations for on- and offshore windfarms. The thesis focuses completely on the production and assembly of offshore projects. During the completion of this master thesis, the objectives were refined. A chain analysis of the galvanising process within Smulders Projects was carried out. The initial concept, in which the CO₂ balance of a standard Transition Piece and a non-standard Transition Piece would be compared, was abandoned. Although, an overall environmental impact to produce a Transition Piece is still discussed.

PROCESSING OF LITERATURE REVIEW

In the literature review different aspects, linked to the production processes of offshore wind farms, are investigated. An analysis of the common technologies and potential improvements in the realisation of the base components of the process, namely steel constructions, is made. Best Available Technologies and the ULCOS program are discussed. However, most of these technologies still need to be further developed in order to have a significant impact. World Steel indicates that the energy consumption in the steel industry has decreased by 60% over a 50-year period[3]. This is mainly due to the global increase in the recycling of steel from 20% to 35-40%[4][5]. This indicates that the recycling of steel can have a significant impact on a short

time period. It can be concluded that steel scrap content in Europe's crude steel production is 55%[5]. However, the recovery rate is much higher. According to World Steel, the recovery rate in the construction industry is 85%[6]. Table 1 shows the results of a Life Cycle Inventory (LCI) study conducted by World Steel for a plate with a recovery rate of 85%. Only the data that apply to this thesis are represented: the Global Warming Potential (GWP) and the Primary Energy Demand (PED).

Table 1 World Steel - LCI data plate – RR 85% [7]

RR 85%					
GWP (g CO ₂ -eq / kg steel)			PED (MJ / kg steel)		
Primary	Credit	End-of-life	Primary	Credit	End-of-life
2810	-1435	1375	40	-13,3	26,7

Furthermore, the determination and possible reductions of the CO₂-emissions for a set of companies is established. Several assessment procedures and strategies to limit the emissions are investigated, such as the CO₂-Performance Ladder[2][8], BREEAM[9] and CEEQUAL[10]. Smulders utilises the CO₂-Performance Ladder to assess their environmental impact, which therefore has an important role in processing and analysing data for this thesis. Moreover, the exploitation of Smulders Projects is displayed, in which the differences in used energy management, production phases of a Transition Piece, as well as the manner of surface protection are made.

PROCESSING OF LITERATURE REVIEW CONCERNING GALVANISING

The maintenance of structural elements can occasionally cause difficulties due to exposure to harsh environments and/or due to limited accessibility of these elements. Galvanised steel can provide a strong and wear-resistant corrosion protection, including a maintenance free lifespan. In 2012 Europe was responsible for 10% of the global mine production and 19% of the global refined zinc production[11]. In 2010 54% of the global refined zinc production was used for galvanising[12].

Zinc ore contains approximately 5-15% of zinc. However, zinc concentrate, which is obtained from crushing the zinc ore, contains up to 55% of zinc. These concentrates are further processed and through hydrometallurgical or pyrometallurgical processes zinc metal is

obtained. The most common product is Special High Grade (SHG) zinc, which has a zinc content of 99,99%[13]. In 2015 E. Van Genderen conducted a research concerning 'A global life cycle assessment (LCA) for primary zinc production'[11]. This study concluded that in 2012 the primary zinc production was responsible for 2,6 kg CO₂-eq and 37,5 MJ per kg SHG zinc. In the 2014, Nyrstar published a Global Warming Potential (GWP) and Primary Energy Demand (PED) of respectively 2,45 kg CO₂-eq and 25 MJ per kg SHG zinc. Since the data provided from Smulders is from 2014-2015 and Nyrstar is a main supplier of Galva Power, which galvanizes Smulders' elements, this study is conducted with Nyrstar's 2014 values[14].

Furthermore, the performance and the different types of galvanising are discussed. The emphasis is laid on the Hot Dip Galvanising (HDG) process, which is used during the production of Smulders' offshore elements. Maintenance and alternatives, such as duplex systems, are included in this analysis and have a significant impact in offshore environments[14].

As already mentioned, a credit can be obtained when including the recycling content during the production. However, no such data are available at the moment. For recycling zinc, the Waelz-Kiln process is mostly used in Europe[15]. HDG steel can be recycled using an Electric Arc Furnace (EAF), which produces EAF-dust as a by-product. This EAF-dust has an average zinc content of 25% and can be further treated using the Waelz-Kiln process[16]. With the supplied data, it is possible to calculate a credit concerning the primary production of zinc. With 75% primary materials, 10% scrap and 15% resulting from EAF-dust[16], the primary zinc production is responsible for 2,19 kg CO₂-eq and 22,35 MJ per kg zinc. This results in a credit of -0,26 kg CO₂-eq and -2,65 MJ per kg zinc.

At last, to determine the impact of the actual galvanising process at Galva Power, an Environmental Product Declaration (EPD), developed by European General Galvanizers Association, is used[17]. It includes everything from the production stage to the end-of-life. According to this EPD, the contribution of the galvanising process is 0,098 kg CO₂-eq and 1,54 MJ per kg zinc. Thus the impact used to start the chain analysis for Smulders is 2,29 kg CO₂-eq per kg zinc.

TRENDS AND RESULTS

Smulders has already conducted a chain analysis for paint, steel and transport. These

analysis states the scope 3 emissions and indicates which adjustments can be made to reduce these emissions. The analysis is in accordance with the 'Greenhouse Gas Protocol Scope 3 Standard'[18]. A distinction can be made into several categories, for which the respective emissions are assessed. The following categories are applied to Smulders' analysis: (1) Purchased goods and services, (4) Upstream transport and distribution, (5) Waste generated in operations, (9) Downstream transport and distribution, (11) Use of sold product, (12) End-of-life treatment of sold products. An important aspect is the assessment of the maintenance, for which there are no detailed data provided. Therefore, this is estimated by multiplying the scope 1-2-3 emissions, which occur during the production process, by a maintenance percentage. However, this maintenance percentage can range from 3,2% to 20,4%. Table 2 and Table 3 show the results of this analysis including a maintenance percentage of respectively 3,2% and 20,4%. The total GWP for galvanisation is respectively 3,29 kg CO₂-eq and 3,97 kg CO₂-eq per kg zinc.

Table 2 Results: chain analysis galvanisation – maintenance percentage 3,2%

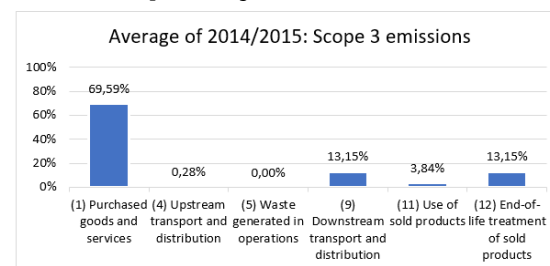
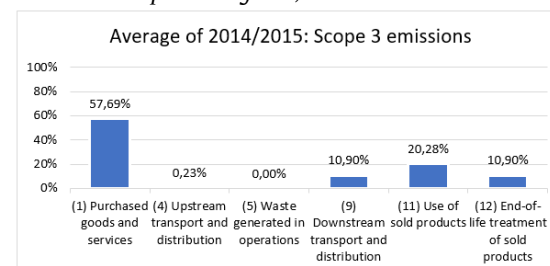


Table 3 Results: chain analysis galvanisation – maintenance percentage 20,4%



Finally, an overview is made of the overall environmental impact of Smulders Projects' production of Transition Pieces by combining the provided data from Smulders and the chain analysis of galvanisation. On top of that, a comparison between a paint- and duplex system is made. Table 4 and table 5 provide the total GWP and PED for 1 Transition Piece provided with a duplex system, which weights 251 ton.

Table 4 GWP of 1 Transition Piece provided duplex system, based on 2014-2015 data from Smulders [ton CO₂-eq]

	Steel	Galvanisation	Production 'Transition Piece'	Maintenance - Paint
Steel - Extraction raw materials	705,308			
Steel - Credit (RR 85%)	-360,064			
Steel - Upstream transport: mill - factory gate	17,107			
Steel - End-of-life Burden (transport)	45,146			
Galvanisation - Extraction raw materials		2,896		
Galvanisation - Credit		-0,307		
Production 'Transition Piece'			154,627	
Production - Duplexsystem			2,851	
Downstream transport: factory gate - offshore site			45,101	
Waste transport - steel			0,566	
Waste transport - paint			0,026	
Treatment paint waste			2,137	
Maintenance - Paint - 3,2%				1,263
Extra maintenance - Paint - 20,4%				6,915

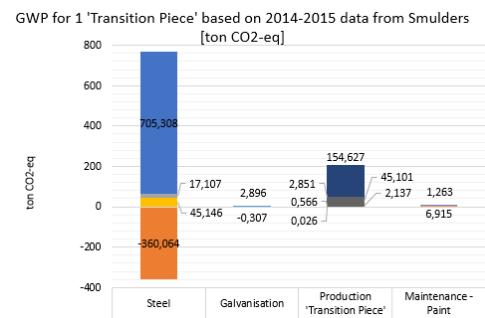
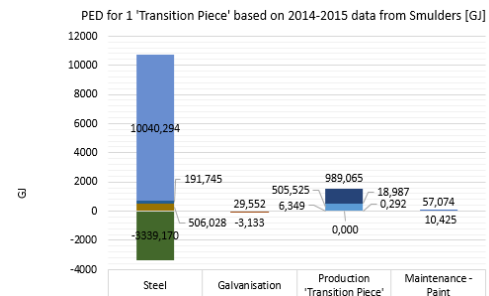


Table 5 PED of 1 Transition Piece provided duplex system, based on 2014-2015 data from Smulders [GJ]

	Steel	Galvanisation	Production 'Transition Piece'	Maintenance - Paint
Steel - Extraction raw materials	10040,294			
Steel - Credit (RR 85%)	-3339,170			
Steel - Upstream transport: mill - factory gate	191,745			
Steel - End-of-life Burden (transport)	506,028			
Galvanisation - Extraction raw materials		29,552		
Galvanisation - Credit		-3,133		
Production 'Transition Piece'			989,065	
Production - Duplexsystem			18,987	
Downstream transport: factory gate - offshore site			505,525	
Waste transport - steel			6,349	
Waste transport - paint			0,292	
Treatment paint waste			0,000	
Maintenance - Paint - 3,2%				10,425
Extra maintenance - Paint - 20,4%				57,074



CONCLUSION

The chain analysis of zinc shows two different global warming potentials, that provide an idea of the CO₂-emissions throughout the galvanisation of a Transition Piece. The difference between the two values results from various maintenance values. The maintenance percentage can range from 3,2% to 20,4%, which respectively results in a GWP of 3,29 and 3,97 kg CO₂-eq/kg zinc.

Concerning the comparison between painting- and duplex systems, maintenance once more seems to have to most significant impact. Since maintenance will always be dependent on the offshore location, it is hard to make a clear conclusion. It can be stated that the maintenance percentage should be high, considering the offshore perspective. In this case, the duplex systems seems to have a lower GWP impact. This can be explained by the fact that such a surface treatment is subjected to less maintenance than a regular painting treatment.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Europese Commissie, "EUROPA 2020," 2010.
- [2] Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen (SKAO), "Handboek CO₂-prestatie ladder 3.0," 2015.
- [3] World Steel Association, "World Steel in Figures 2016," 2016.
- [4] SETIS, "Energy Efficiency and CO₂ Reduction in the Iron and Steel Industry," 2014.
- [5] Bureau of International Recycling, "World Steel Recycling In Figures 2010 – 2014," 2015.
- [6] World Steel Association, "Sustainable steel: At the core of a green economy," 2012.

- [7] World Steel Association, "Life Cycle Inventory Data for Steel Products," 2000.
- [8] SKAO, "CO₂-Prestatieladder | SKAO NEW," 2016. [Online]. Available: <http://www.skao.nl/>. [Accessed: 20-Nov-2016].
- [9] Building Research Establishment, "BREEAM." [Online]. Available: <http://www.breeam.com/>.
- [10] CEEQUAL, "An introduction to CEEQUAL," 2016.
- [11] E. Van Genderen, M. Wildnauer, N. Santero, and N. Sidi, "A global life cycle assessment for primary zinc production," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 21, no. 11, pp. 1580–1593, 2016.
- [12] International Zinc Association, "Zinc Recycling," 2011.
- [13] T. Woolley, "Thermisch verzinken en duurzaam bouwen - Handleiding voor architecten," 2008.
- [14] Infosteel, "Guide to protection of steel against corrosion," 2012.
- [15] E. van Westing, V. Savran, J. Hofman, D. Bol, and B. van Haastrecht, "Recycling of metals from coatings," 2013.
- [16] C. Stewart, "Sustainability in Action: Recovery of Zinc from EAF Dust in the Steel Industry," 2015.
- [17] European General Galvanizers Association, "Batch hot dip galvanizing of steel products to EN ISO 1461," 2016.
- [18] Greenhouse Gas Protocol, "Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard," 2011.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
ABSTRACT – NL.....	III
ABSTRACT – EN.....	V
ENVIRONMENTAL IMPACT OF A “TRANSITION PIECE” OF A WINDMILL	VII
INHOUDSOPGAVE.....	XI
FIGURENLIJST	XIII
TABELLENLIJST.....	XV
I. INLEIDING.....	1
II. LITERATUURSTUDIE	5
1. STAALINDUSTRIE	5
1.1. Algemeen	5
1.2. Staalrecyclage	6
1.3. Best Available Technologies (BATs).....	9
1.4. Innovatieve technologieën	10
2. TECHNOLOGISCHE STRATEGIEËN	11
2.1. Radicale vs. incrementele innovaties	11
2.2. Voorbeelden uit de bedrijfswereld	12
3. ASSESSMENT TOOLS	13
3.1. CO ₂ -Prestatieladder.....	13
3.2. BREEAM.....	18
3.3. CEEQUAL	19
4. OFFSHORE WINDENERGIE	20
4.1. Algemeen	20
4.2. Funderingen	24
III. LITERATUURSTUDIE – THERMISCH VERZINKEN	25
5. PRODUCTIE PRIMAIR ZINK.....	26
6. WERKING VAN THERMISCH VERZINKEN	30
7. VERZINKINGSPROCESSEN	32
7.1. Continu thermisch verzinken	32
7.2. Discontinu thermisch verzinken	33
7.3. Centrifuge verzinken	34
7.4. Elektrolytisch verzinken.....	34
7.5. Zinkspuiten (metalliseren).....	35
7.6. Sherardiseren	35
7.7. Mechanisch verzinken	35
8. DUPLEXVERFSYSTEMEN	36
9. ONDERHOUD	38
10. VERWARMINGSTECHNIEKEN ZINKBAD	40
11. AFVAL BIJ GALVANISATIE	41
11.2. Productieproces	42

11.3.	<i>Recyclage</i>	43
12.	EPD – HOT DIP GALVANIZING.....	50
12.1.	<i>Methodologie</i>	50
12.2.	<i>Overzicht proces</i>	51
12.3.	<i>Resultaten</i>	52
IV.	SMULDERS PROJECTS BELGIUM	53
13.	VOORSTELLING SMULDERS.....	53
14.	ENERGIEBEHEER EN CO ₂ -EMISSIONS SMULDERS.....	54
14.1.	<i>Installaties</i>	54
14.2.	<i>Analyse energieverbruik</i>	55
14.3.	<i>CO₂-Emissies</i>	56
14.4.	<i>Maatregelen CO₂-reductie</i>	59
15.	PRODUCTIEPROCES TRANSITION PIECE	65
15.1.	<i>Algemeen</i>	65
15.2.	<i>Hoogtepunten productieproces</i>	65
15.3.	<i>Flowchart productieproces Transition Piece</i>	69
V.	KETENANALYSE THERMISCH VERZINKEN	71
16.	INLEIDING – KETENANALYSE THERMISCH VERZINKEN	71
16.1.	<i>Besluit uit de literatuur</i>	71
16.2.	<i>Credit van zink</i>	71
16.3.	<i>Algemeen</i>	75
17.	KWANTITATIEVE SCOPE 3 EMISSIEBEREKENING	76
17.1.	<i>Aangekochte goederen en diensten</i>	76
17.2.	<i>Upstream transport en distributie</i>	77
17.3.	<i>Productieafval</i>	78
17.4.	<i>Downstream transport en distributie</i>	79
17.5.	<i>Gebruik van producten</i>	80
17.6.	<i>End-of-Life van producten</i>	81
17.7.	<i>Totale Scope 3 emissies</i>	82
17.8.	<i>Besluit ketenanalyse</i>	84
18.	IMPACT OMTRENT TRANSITION PIECE	85
18.1.	<i>Staal</i>	86
18.2.	<i>Thermisch verzinken</i>	87
18.3.	<i>Productie Transition Piece</i>	87
18.4.	<i>Onderhoud</i>	88
18.5.	<i>Grafisch overzicht</i>	89
VI.	BESLUIT	95
	BIBLIOGRAFIE	97
	BIJLAGEN	101
	BIJLAGE 1: INFOSTEEL – GUIDE TO PROTECTION OF STEEL AGAINST CORROSION	101
	BIJLAGE 2: KETENANALYSE EXCEL WERKBLAD	101
	BIJLAGE 3: IMPACT OMTRENT TRANSITION PIECE EXCEL WERKBLAD	101

Figurenlijst

Figuur 1-1 Wereldwijd energieverbruik per sector [4]	5
Figuur 1-2 Wereldwijde staalproductie [6]	6
Figuur 1-3 Wereldwijd staalverbruik [6]	6
Figuur 1-4 CO ₂ /ton staal: 'Multi-step recycling model' in functie van het recyclagepercentage [11]....	7
Figuur 1-5 Overzicht potentiële energiebesparingen t.g.v. BATs [14]	9
Figuur 2-1 Technologische opties voor CO ₂ -reductie volgens Lee [19]	12
Figuur 3-1 Logo SKAO [23].....	13
Figuur 3-2 CO ₂ -prestatieladder: 5 niveaus en 4 invalshoeken [23].....	14
Figuur 3-3 CO ₂ -prestatieladder scopediagram, gebaseerd GHG Protocol Scope Standard [23]	17
Figuur 3-4 BREEAM categorieën en scores [28].....	18
Figuur 4-1 Terugverdientijden per energiebron [34]	20
Figuur 4-2 CO ₂ -emissies (per kWh) per energie opwekker [34].....	20
Figuur 4-3 Luchtvervuiling en broeikasgassen per energiebron [35].....	21
Figuur 4-4 De groei van de Europese Unie offshore windmarkt [36]	21
Figuur 4-5 Windmolencapaciteiten [37]	22
Figuur 4-6 Grootte windmolenpark [37]	22
Figuur 4-7 Investerings in offshore windenergie [37]	23
Figuur 4-8 Meest gebruikte funderingstypes in de offshore industrie [36].....	24
Figuur 4-1 Wereldwijd zinkverbruik per eindgebruik [41]	25
Figuur 5-1 Schematische weergave Special High Grade zink productie [43]	26
Figuur 5-2 Invloed van de verschillende stadia op de zinkproductie [40]	28
Figuur 5-3 Nyrstar Global Warming Potential en energieverbruik per ton metaal [46]	28
Figuur 5-4 Afkomst grondstoffen Nyrstar [47].....	29
Figuur 6-1 Schematische doorsnede van een thermisch aangebrachte zinklaag [42].....	30
Figuur 6-2 Spanningsreeks der metalen [50]	30
Figuur 6-3 Corrosiesnelheid metalen [52].....	31
Figuur 6-4 Corrosiecategorieën [53]	32
Figuur 7-1 Basisproces discontinu thermisch verzinken [42].....	33
Figuur 7-2 Zinkbad [55]	34
Figuur 8-1 Levensduur duplexverfsystemen [58].....	36
Figuur 8-2 Aanbevolen corrosiewerend systeem [59]	37
Figuur 9-1 Levensduur duplexverfsystemen [58].....	39
Figuur 11-1 Regeneratietraject binnen de verzinkerij [42]	41
Figuur 11-2 Traject van gerecycleerd zink [42]	43
Figuur 11-3 Verdeling van elementen onder metalen, gassen en slakken [69].....	45
Figuur 11-4 Overzicht van de belangrijkste recycling processen [66].....	46
Figuur 11-5 Procesroutes en systeemvoorwaarden [70].....	47
Figuur 11-6 Schematische weergave van Waelz-Kiln proces [71].....	48
Figuur 12-1 Overzicht proces [73].....	51
Figuur 13-1 Grondplan Smulders te Hoboken [76]	53
Figuur 14-1 Jaarlijks energieverbruik [76]	55

Figuur 14-2 Energiebalans per gebruiker in functie van kWh [76]	55
Figuur 14-3 Energiebalans per gebruiker in functie van € [76].....	55
Figuur 14-4 CO ₂ -emissies per bron [77]	58
Figuur 14-5 Elektrisch energieverbruik	58
Figuur 14-6 CO ₂ -emissies (ton/ton) in functie van % recyclageschroot bij staalproductie [79].....	59
Figuur 14-7 Gemiddelde Scope 3 emissies 2014/2015 [79]	61
Figuur 14-8 Ketenanalyse verf – Gemiddelde scope 3 emissies 2014/2015 [80]	62
Figuur 15-1 Groutverbinding [84].....	65
Figuur 15-2 Transition Piece: boat landing - structuren en ladders [86].....	66
Figuur 17-1 Overzicht proces Environmental Product Declaration [73]	76
Figuur 17-2 Bijdrage van verschillende levenscyclus fasen omtrent CO ₂ -emissies [90]	80
Figuur 17-3 Totale scope 3 emissies (gemiddeld)	83
Figuur 17-4 Totale scope 3 emissies (gemiddeld) – onderhoud 20,40%.....	83
Figuur 18-1 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Global Warming Potential [ton CO ₂ -eq] - Duplexverfsysteem.....	91
Figuur 18-2 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Primary Energy Demand [GJ] – Duplexverfsysteem	92
Figuur 18-3 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Global Warming Potential [ton CO ₂ -eq] - Verfsysteem	93
Figuur 18-4 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Primary Energy Demand [GJ] – Verfsysteem.....	94

Tabellenlijst

Tabel 1-1 EU staalproductie en aandeel aan schroot [8]	7
Tabel 1-2 Illusterend voorbeeld Recovery Rate (RR) [13].....	8
Tabel 1-3 Life Cycle Inventory data voor staal [13].....	8
Tabel 1-4 Mogelijke reductie ten gevolge van Best Available Technologies (BATs) [14].....	9
Tabel 1-5 Potentiële energiebesparing en CO ₂ -reductie ten gevolge van innovatieve technologieën [15]	10
Tabel 4-1 Overzicht geïnstalleerde windmolenparken [37].....	21
Tabel 4-1 Regionaal aandeel van de mijn- en zinkproductie in 2012[40]	25
Tabel 5-1 Resultaten Life Cycle Assessment primair zink [40]	28
Tabel 6-1 Simulatie corrosiesnelheid [51].....	31
Tabel 9-1 Diktemeting zinklaag in µm.....	38
Tabel 9-2 Simulatie corrosiesnelheid [51].....	38
Tabel 9-3 Levensduur van zink in functie van de gemiddelde dikte	38
Tabel 11-1 Primair energieverbruik en uitstoten van Waelz-Kiln proces [71].....	48
Tabel 11-2 Vergelijking studies in verband met Waelz-Kiln.....	49
Tabel 12-1 Overzicht gegevens Environmental Product Declaration [73]	50
Tabel 12-2 Resultaten Environmental Product Declaration [73]	52
Tabel 12-3 Omgerekende resultaten Environmental Product Declaration [73]	52
Tabel 12-4 Life Cycle Assessment resultaten World Steel [75].....	52
Tabel 14-1 Aanwezige compressoren [76].....	54
Tabel 14-2 Jaarlijks energieverbruik.....	55
Tabel 14-3 Overzicht Scope 1 en Scope 2 CO ₂ -emissies [77]	56
Tabel 14-4 Samenvatting Scope 1 en Scope 2 CO ₂ -emissies [77]	57
Tabel 14-5 Scope 3 emissies [78]	58
Tabel 14-6 Belangrijkste Scope 3 bronnen [78]	59
Tabel 14-7 Overzicht staal als grondstof - CO ₂ -emissies	60
Tabel 14-8 Overzicht CO ₂ -emissies ketenanalyse staal [79]	60
Tabel 14-9 Gemiddelde Scope 3 emissies 2014/2015 [79]	61
Tabel 14-10 Ketenganalyse verf – Scope 3 emissies [80].....	62
Tabel 14-11 ECO design maatregelen en scope 3 CO ₂ -emissies [82].....	64
Tabel 16-1 Categorie-indeling scope 3 [87]	75
Tabel 17-1 Grondstoffen galvanisatie	77
Tabel 17-2 Emissies ten gevolge van aangekochte goederen en diensten.....	77
Tabel 17-3 Emissies ten gevolge van upstream transport	78
Tabel 17-4 Emissies ten gevolge van downstream transport	79
Tabel 17-5 Totale emissie scope 1, 2 en 3	81
Tabel 17-6 Totale emissie scope 1, 2 en 3 – onderhoud 20,40%.....	81
Tabel 17-7 Emissies ten gevolge van transport bij End-of-Life	81
Tabel 17-8 Totale scope 3 emissies.....	82
Tabel 17-9 Totale scope 3 emissies – onderhoud 20,40%	82
Tabel 17-10 Totale scope 3 emissies (gemiddeld)	82
Tabel 17-11 Totale scope 3 emissies (gemiddeld) – onderhoud 20,40%.....	83
Tabel 17-12 Reductiepotentieel zink	84
Tabel 17-13 Reductiepotentieel zink –onderhoud 20,40%.....	84

Tabel 18-1 Overzicht verschillende fasen van levenscyclus Transition Piece	85
Tabel 18-2 Berekening Global Warming Potential uit Life Cycle Inventory data per kg staal – RR 85%	86
Tabel 18-3 Overzicht gegevens upstream transport: hoogoven – factory gate.....	86
Tabel 18-4 Overzicht gegevens omtrent productiefase	87
Tabel 18-5 Overzicht gegevens productie - transport.....	88
Tabel 18-6 Overzicht gegevens gebruiksfase - onderhoud	89
Tabel 18-7 Gegevens staal - Smulders.....	89
Tabel 18-8 Vergelijking duplexverfsysteem - verfsysteem.....	90

I. Inleiding

Situering van het onderzoeksdomein en de probleemstelling

De laatste jaren is er wereldwijd een toenemende belangstelling voor de heersende milieu- en duurzaamheidsproblematiek. Met het oog op een verbetering van deze aspecten, formuleerde de Europese Unie een brede waaier aan doelstellingen onder de overkoepelende naam 'Europa 2020'. Deze doelstellingen spreiden zich uit over vijf kernaspecten: (I) Werkgelegenheid, (II) Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie, (III) Klimaatverandering en Energie, (IV) Onderwijs en (V) Armoede en Sociale uitsluiting[1]. Wanneer de focus gelegd wordt op het aspect 'Klimaatverandering en Energie', wordt duidelijk dat de reductie van de uitstoot van broeikasgassen een belangrijk element vormt. Zowel individuele bedrijven alsook ruime industriële sectoren zetten zich in teneinde een positief resultaat te bekomen, namelijk een reductie van de uitstoot van broeikasgassen met 20% ten opzichte van 1990. Daarnaast moet 20% van het energieverbruik uit hernieuwbare energie bestaan en dient de energie-efficiëntie met 20% te verbeteren.

Er is een hoge nood aan instrumenten om zowel de mens als de industrie bewust te maken van het belang van duurzaamheid. Hierin speelt de bouwsector een uiterst cruciale rol. Dit kan aangetoond worden door het feit dat 17% van het drinkwater, 25% van de houtoogst alsook 40% van het energie- en materiaalgebruik zijn oorsprong vindt in de bouwindustrie. De totale productie van broeikasgassen tijdens bouwkundige projecten kent ook een belangrijke impact. Zo bedraagt deze productie tijdens het construeren van gebouwen 15.3%[2]. Doorheen de jaren werden verscheidene hulpmiddelen ontwikkeld om bedrijven en sectoren te stimuleren om klimaatbewust te ondernemen. Zo ontstonden verschillende assessment tools, waaronder de CO₂-prestatieladder. De CO₂-prestatieladder stimuleert bedrijven om de CO₂-uitstoot van leveranciers en het eigen productieproces in kaart te brengen alsook te reduceren. De bedrijven ervaren hierdoor niet alleen een ecologisch voordeel, maar kennen eveneens een financieel voordeel. De positie, die een bedrijf bereikt op de ladder, wordt namelijk gekoppeld aan een gunningvoordeel, bepaald door de aanbestedende organisatie.

Binnen deze milieuproblematiek neemt ook het belang van hernieuwbare energie toe. Een mogelijkheid om hierop in te spelen, is het uitbouwen van windmolenparken, welke zowel on- als offshore geconstrueerd worden. Hierbij is het van groot belang dat de CO₂-uitstoot doorheen de productiefase van dergelijke sites in kaart gebracht wordt. Een belangrijke stap binnen het productieproces van een Transition Piece, welke geanalyseerd wordt binnen deze masterproef, betreft thermische verzinken. Het Transition Piece realiseert de verbinding tussen de fundering en de windmolen. Dergelijke oppervlaktebehandelingstechniek gaat gepaard met een CO₂-uitstoot, welke geminimaliseerd dient te worden. Omwille van het feit dat de uitstoot en het energieverbruik bij galvanisatie van Transition Pieces beïnvloed wordt door bedrijfsspecifieke parameters, is het niet mogelijk om hiervan een algemene tendens te bepalen en moet deze per bedrijf individueel bepaald worden. Voor Smulders Projects werd deze milieu-impact niet eerder vastgelegd en vormt op deze manier een belangrijke doelstelling binnen deze thesis.

Doelstellingen

Het onderzoek, kaderend binnen deze masterproef, omvatte initieel het bepalen van de ecologische voetafdruk alsook de CO₂-balans van de productie van een offshore windmolenpark, bestaande uit Transition Pieces, een Topside en een jacket. Omwille van deze reden ontstond de mogelijkheid om contact op te nemen met Smulders Projects, een onderdeel van de internationale organisatie Smulders. Smulders Projects vormt een cruciale schakel binnen deze masterproef, aangezien de organisatie gespecialiseerd is in het leveren en de montage van staalconstructies, namelijk stalen funderingen voor windmolenparken op land alsook op zee[3]. In functie van de huidige masterproef, werd er gefocust op de productie en assemblage van offshore projecten. Doorheen de volmaking van deze masterproef, werden de doelstellingen verder verfijnd en licht gewijzigd. Er werd afgezien van het initiële concept, waarbij de CO₂-balans van een standaard Transition Piece zou bepaald worden, dewelke zou vergeleken worden met deze van een niet-gestandaardiseerd Transition Piece. Wel werd er een uitvoerige ketenanalyse uitgevoerd op het galvanisatieproces binnen Smulders Projects. Daarnaast werd er dieper ingegaan op de algemene milieu-impact bij de productie van dergelijke elementen.

Methode

In de gevoerde literatuurstudie worden verscheidene aspecten onderzocht, die gelinkt worden aan het productieproces van windmolensystemen op zee. Zo wordt er nauwkeurig geanalyseerd welke technologieën gehanteerd en eventueel geoptimaliseerd kunnen worden bij het creëren van de startschakel in het proces, namelijk staalconstructies. Vervolgens wordt er ingegaan op de bepaling en mogelijke reductievormen van de CO₂-emissies van bedrijven. Verscheidene beoordelingsprocedures en strategieën teneinde de uitstoot te beperken, worden gekaderd ter illustratie. Nadien wordt er een beeld geschetst van de werking binnen Smulders Projects met een onderscheid tussen het toegepaste energiebeheer, de stappen binnen het productieproces van een Transition Piece en de wijze van oppervlaktebehandeling. Vervolgens wordt er binnen dit onderzoek een vergelijking gemaakt tussen de CO₂-emissies bij een verf- en een duplexsysteem.

Nadien wordt er overgegaan tot de uiteindelijke doelstelling van de masterproef: de uitvoering van een ketenanalyse op het galvanisatieproces binnen Smulders Projects, conform met het Greenhouse Gass Protocol Scope 3 Standard.

Resultaten en besluit

Uit de ketenanalyse van zink, conform het Greenhouse Gass Protocol Scope 3, volgen twee Global Warming Potentials. Deze vormen een beeld van de CO₂-uitstoot doorheen het galvanisatieproces van een Transition Piece. Het verschil tussen de beide waarden resulteert uit een verschillend onderhoudspercentage. Het onderhoudspercentage kan variëren van 3,2% tot 20,4%, dewelke respectievelijk een GWP opleveren van 3,29 en 3,97 kg CO₂-eq/kg zink.

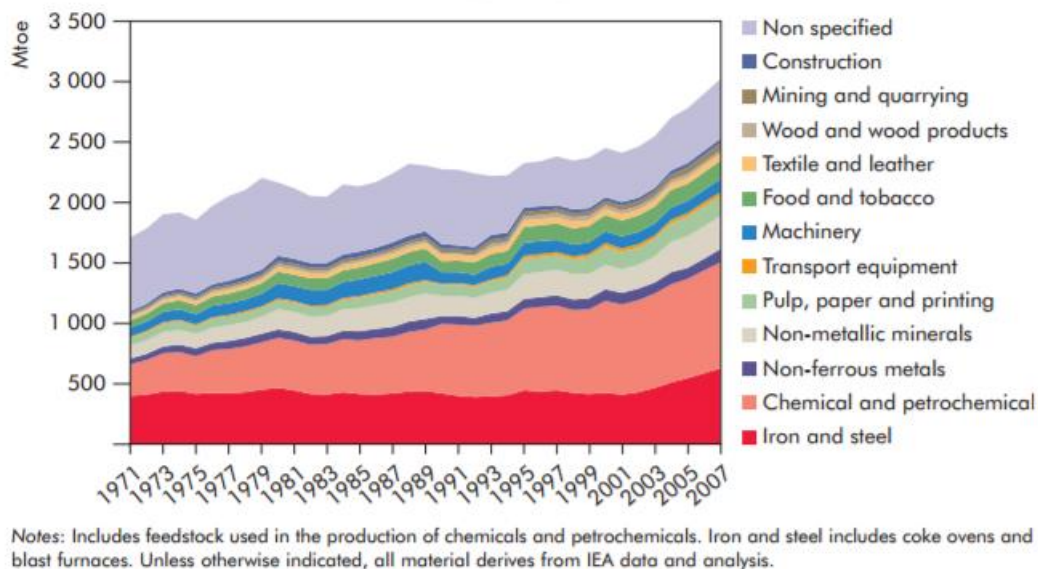
Tot slot wordt er in dit onderzoek een vergelijking gemaakt tussen het Global Warming Potential en de Primary Energy Demand bij een verfsysteem en duplexverfsysteem. Wederom heeft het onderhoudspercentage een significante invloed op de resultaten, wat het bemoeilijkt om een concrete conclusie te formuleren. Een laag onderhoudspercentage zorgt er immers voor dat een verfsysteem lagere emissies teweegbrengt ten opzichte van een duplexverfsysteem. Gezien het offshore karakter van een Transition Piece, ligt het onderhoudspercentage vermoedelijk hoger dan initieel werd gedacht, waardoor een duplexverfsysteem gunstiger is dan een verfsysteem wat betreft het Global Warming Potential.

II. Literatuurstudie

1. Staalindustrie

1.1. Algemeen

De staalindustrie vertoont een significant energieverbruik. Uit Figuur 1-1 kan worden opgemerkt dat uitsluitend de chemische en petrochemische industrie een hoger aandeel aan energieverbruik omvat. Volgens het International Energy Agency verbruikte de staalindustrie in 2007 616 Mtoe (million tonnes of oil equivalent) of 25,8 EJ en was de staalindustrie verantwoordelijk voor 2,3 Gt directe CO₂-emissies[4].

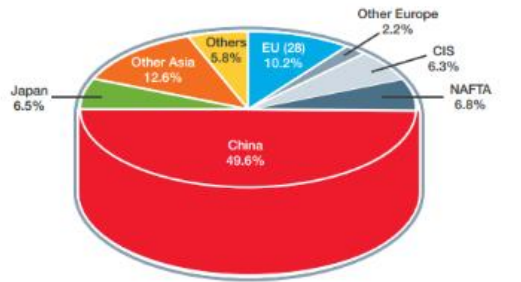


Figuur 1-1 Wereldwijd energieverbruik per sector [4]

Volgens de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is de staalindustrie verantwoordelijk voor 4-5% van de wereldwijde CO₂-emissies. Het International Energy Agency geeft aan dat productie-industrieën verantwoordelijk zijn voor 40% van de wereldwijde CO₂-emissies en dat de staalindustrie hier met 27% het grootste aandeel heeft binnen de wereldwijde productiesector[5].

World Steel geeft aan dat in 2015 de wereldwijde staalproductie 1621 miljoen ton (Mt) bedroeg. Dit betekent een daling van 2,9% ten opzichte van 1670 Mt in 2014, maar eveneens een stijging van ongeveer 50% ten opzichte van 850 Mt in 2000. In 2015 was China verantwoordelijk voor 44,8% van de globale markt ten opzichte van 31% in 2005. Hierdoor daalde het wereldwijde aandeel van de Europese Unie over deze periode van 17% naar 10,2%. De financiële crisis in 2009 was medeverantwoordelijk voor deze daling[6]. Een wereldwijd overzicht van de staalproductie en het staalverbruik wordt weergegeven in Figuur 1-2 en Figuur 1-3.

Crude steel production
World total: 1,621 million tonnes

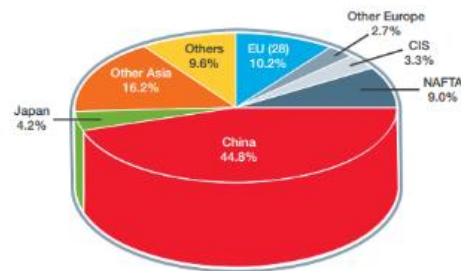


Others comprise:

Africa	0.8%	Central and South America	2.8%
Middle East	1.8%	Australia and New Zealand	0.4%

Figuur 1-2 Wereldwijde staalproductie [6]

Apparent steel use (finished steel products)
World total: 1,500 million tonnes



Others comprise:

Africa	2.6%	Central and South America	3.0%
Middle East	3.5%	Australia and New Zealand	0.5%

Figuur 1-3 Wereldwijd staalverbruik [6]

Het staalverbruik in België ondervond een beperkte stijging van 4,1 miljoen ton in 2009 naar 4,5 miljoen ton in 2015. In 2015 exporteerde België 15,2 miljoen ton staal en importeerde 12,1 miljoen ton staal[6].

Het energieverbruik in de staalproductie is zeer afhankelijk van het gekozen proces, het gebruik van een hoogoven tegenover een vlamboogoven en de hoeveelheid toegevoegd schroot. Een hoogoven verbruikt aanzienlijk meer energie (gemiddeld 13-14 GJ of 3600-3900 kWh per ton staal) ten opzichte van een vlamboogoven (gemiddeld 4-6 GJ of 1100-1700 kWh per ton staal met 100% schroot)[4].

World Steel geeft aan dat het energieverbruik van de staalindustrie gedaald is met 60% over een periode van 50 jaar[6]. Dit is voornamelijk te wijten aan de stijging in de wereldwijde recyclage van staal, van 20% in 1970 tot op heden ongeveer 35-40% [7][8]. Door deze drastische daling in energieverbruik, is er echter met de huidige technologie weinig mogelijkheid tot verdere reductie. Er dienen bijgevolg nieuwe methoden en processen ontwikkeld te worden[9].

1.2. Staalrecyclage

Staalrecyclage bracht een grote invloed teweeg op het energieverbruik in de staalproductie. Op korte termijn kan het recycleren van staal een zeer significante impact hebben. Staal heeft als unieke eigenschap meerdere malen gerecycleerd te kunnen worden zonder grote verliezen te lijden in eigenschappen en prestaties. Op deze manier kan een grote vermindering in uitstoot verwezenlijkt worden zonder het productieproces zelf aan te passen. Bovendien heeft staalrecyclage als voordeel dat het beschikt over de laagste vervangingskosten per ton vermeden CO₂-emissies. Vanwege de lange levensduur van staal is de beschikbaarheid van staalschroot echter gelimiteerd. Daarbij zal vanwege het stijgende recyclagepercentage deze beschikbaarheid aan staalschroot alleen maar problematischer worden. Er wordt volgens World Steel vanaf heden wereldwijd 650 miljoen ton staal per jaar gerecycleerd[9].

In Tabel 1-1 wordt het aandeel aan schroot in de staalproductie weergegeven[8]. Er kan worden besloten dat in de Europese Unie gemiddeld 55% schroot gebruikt wordt. Dit percentage ligt ruimschoots boven het wereldwijde gemiddelde van 35%. Andere landen doen het echter nog beter, zo staan de Verenigde Staten een stap verder met 70-75%. In China ligt het aandeel aan schroot met een gemiddelde van 12% significant lager.

Tabel 1-1 EU staalproductie en aandeel aan schroot [8]

CRUDE STEEL PRODUCTION AND STEEL SCRAP USE IN THE EU-28 (MILLION TONNES)

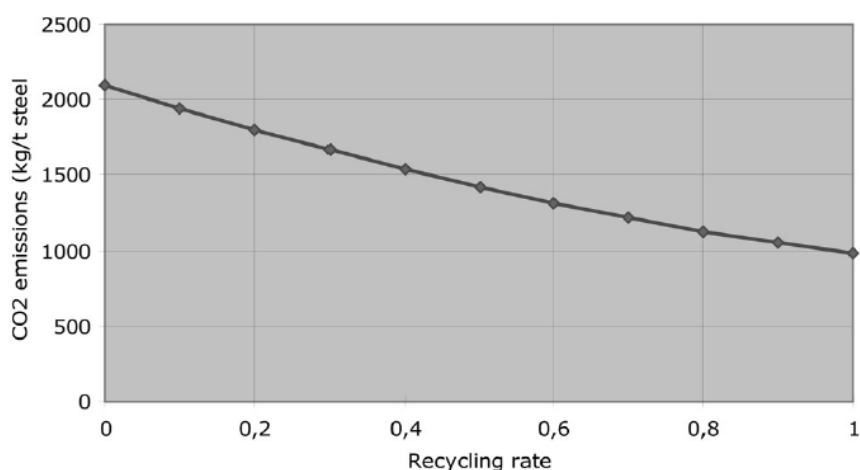
	2010	2011	2012	2013	2014	% 2014/ 2013
Crude Steel Production	172.9	177.8	168.6	166.3	169.3	+1.8
of which:						
Share BOF of Crude Steel in %	57.7	57.4	58.3	60.2	61.0	
Share EAF of Crude Steel in %	41.9	42.6	41.7	39.6	39.0	
Total Steel Scrap Use	96.5	100.1	94.2	90.3	91.3	+1.0
Ratio Steel Scrap / Crude Steel in %	55.8	56.3	55.9	54.3	53.9	

BOF – Basic Oxygen Furnace
EAF – Electric Arc Furnace

Source: worldsteel and EUROFER

Staalrecyclage resulteert in een significante materiaal- en energiebesparing. Per ton staalschroot wordt gemiddeld 1200 kg ijzererts, 7 kg steenkool en 5l kg kalksteen bespaard[10].

In 2006 onderzochten Birat et al. de verschillende parameters omtrent de recyclage van staal. Daarbij werd geconcludeerd dat er best rekening gehouden wordt met end-of-life en het feit dat staal meermaals kan gerecycleerd worden[11]. In Figuur 1-4 worden de CO₂-emissies volgens het 'Multi-step recycling model' weergegeven. In 2015 gaven de cijfers van World Steel aan dat de staalproductie gemiddeld 1,8 kg CO₂ per kg staal uitstoot[9].



Figuur 1-4 CO₂/ton staal: 'Multi-step recycling model' in functie van het recyclagepercentage [11]

1.2.1. Recovery Rate (RR)

De huidige hoeveelheid schroot, 650 miljoen ton, is onvoldoende om de wereldwijde productie van 1621 miljoen ton staal te onderhouden. Dit is het gevolg van de lange levensduur van staal en de toenemende staalproductie, maar dus niet van het slecht verzamelen en recycleren van staal, oftewel de Recovery Rate (RR). De RR geeft de hoeveelheid gerecupereerd staal tijdens één levenscyclus van een product weer. Volgens World Steel is de RR in de bouwindustrie 85%[12]. In Tabel 1-2 wordt een illustrerend voorbeeld weergegeven.

Tabel 1-2 Illusterend voorbeeld Recovery Rate (RR) [13]

	Hoeveelheid	Eenheid	Symbool
Staal als grondstof	1000	ton	A
Staal als product	750	ton	B
End-of-Life recyclagepercentage	80	%	/
Gerecupereerd staal	600	ton	$B \times 80\% = C$
Schroot van productie	250	ton	$A - B$
Totaal schroot	850	ton	$A - B + C$
RR	85	%	$(A - B + C)/A \times 100$

Een Life Cycle Inventory (LCI) studie werd uitgevoerd door World Steel om het materiaal- en energieverbruik alsook de broeikasgassen in kaart te brengen voor een aantal stalen elementen, geproduceerd via hoogovens (BF) en vlamboogovens (EAF). In Tabel 1-3 worden uitsluitend de gegevens weergegeven, die van toepassing zijn op deze masterproef, namelijk CO₂-emissies en primaire energie[13].

Tabel 1-3 Life Cycle Inventory data voor staal [13]

	RR 85%						RR 95%					
	CO ₂ (g/kg staal)			Primaire energie (MJ/kg staal)			CO ₂ (g/kg staal)			Primaire energie (MJ/kg staal)		
	Primair	Credit	End-of-life	Primair	Credit	End-of-life	Primair	Credit	End-of-life	Primair	Credit	End-of-life
Rebar	1677	-788	889	20,1	-7,3	12,8	1677	-974	703	20,1	-9	11,1
Section	1228	-196	1032	17,9	-1,8	16,1	1228	-381	847	17,9	-3,5	14,4
Electrogalva- nised Coil	2542	-1340	1202	33,6	-12,4	21,2	2542	-1526	1016	33,6	-14,2	19,4
Finished Cold Rolled Coil	2468	-1374	1094	30,2	-12,8	17,4	2468	-1560	908	30,2	-14,5	15,7
Welded Pipe	2427	-1370	1057	29,5	-12,7	16,8	2427	-1555	872	29,5	-14,4	15,1
Plate	2773	-1433	1340	40	-13,3	26,7	2773	-1618	1155	40	-15	25

1.3. Best Available Technologies (BATs)

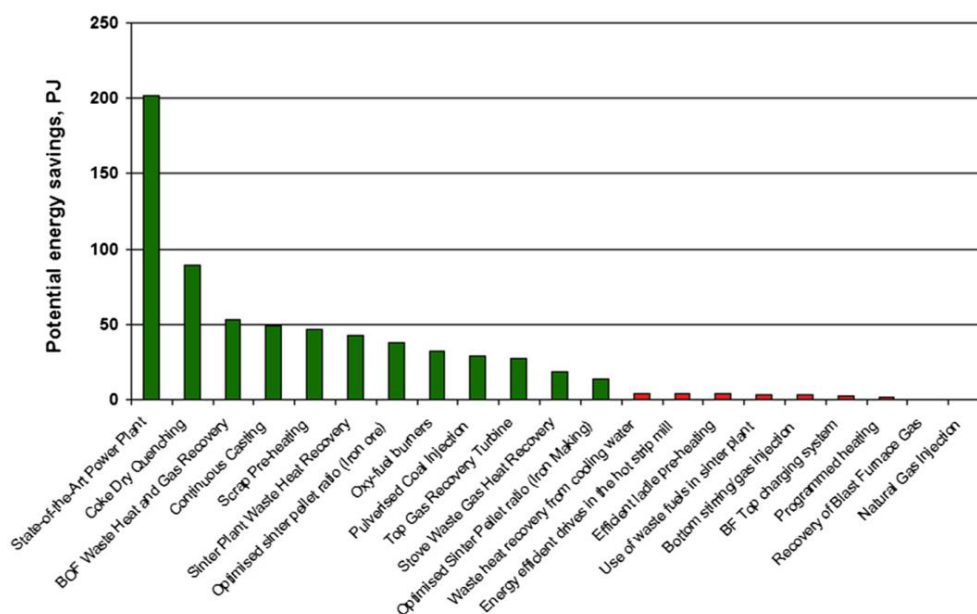
Een bijkomende factor, die een vermindering in CO₂-emissies en energieverbruik binnen de staalindustrie teweeg kan brengen, is het gebruik van Best Available Technologies (BATs). Deze technologieën kunnen vrijwel meteen geïmplementeerd worden in de huidige productieprocessen en zorgen voor een betere controle en optimalisatie van deze processen. Enkele van deze technologieën zijn: State-of-the-Art Power Plant, Coke Dry Quenching (CDQ), restwarmte- en gasrecuperatie (hoogoven, sinterfabriek, ...), continugieten, schroot voorverwarmen, optimalisatie van de sinter pellet verhouding, oxyfuel-branders, Poederkool Injectie (PCI) en Top Gas Recovery Turbine (TRT).

In Figuur 1-5 wordt een overzicht gegeven van de potentiële energiereductie van deze BATs. In Tabel 1-4 wordt daarbij ook de mogelijke vermindering in CO₂-emissies weergegeven per ton product of MWh voor de desbetreffende BATs[14]. Het International Energy Agency geeft aan dat dit een jaarlijkse energiebesparing van 133 Mtoe en een vermindering in CO₂-emissies van 420 Mt kan opleveren[4].

Tabel 1-4 Mogelijke reductie ten gevolge van Best Available Technologies (BATs) [14]

	Direct energy		Direct CO ₂ emission	
	GJ/t product	GJ/MWh	t CO ₂ /t product	t CO ₂ /MWh
State-of-the-Art Power Plant		-2.83		-0.442
Coke Dry Quenching	-1.463		-0.01	
BOF Waste Heat and Gas Recovery	-0.908		-0.04	
Continuous Casting	-1.727		-0.085	
Scrap Pre-heating	-0.288		0	
Sinter Plant Waste Heat Recovery	-0.387		-0.012	
Optimized Sinter Pellet ratio – Iron Ore ^a	-0.359		-0.032	
Oxy-fuel burners	0.013		0.008	
Pulverised Coal Injection	0.126		-0.026	
Top Gas Recovery Turbine	-0.108		0	
Stove Waste Gas Heat Recovery	-0.16		-0.015	
Optimized Sinter Pellet ratio – Iron Making	0		0	

a Savings in the sinter manufacture per 1 t sinter in the blast furnace before the application of this BAT.



Figuur 1-5 Overzicht potentiële energiebesparingen t.g.v. BATs [14]

Om deze trend voort te zetten en te voldoen aan de huidige wetgeving, is er nood aan meer dan BATs en staalrecyclage. Dit geeft aanleiding tot de ontwikkeling van innovatietechnologieën.

1.4. Innovatieve technologieën

Deze technologieën kunnen onderverdeeld worden in twee categorieën: ten eerste de technologieën, die reeds op industriële schaal worden toegepast, maar nog niet geïmplementeerd zijn in Europa en ten tweede de reeds veelbelovende, maar nog in ontwikkeling zijnde technologieën.

De eerste categorie is gebaseerd op de mogelijke energiebesparing en CO₂-reductie in Europa. Hiertoe behoren onder andere volgende innovatieve industriële technologieën: Corex, Finex, Direct Sheet Plant (DSP) en Carbon Capture and Storage (CSS)[14].

De laatste categorie wordt opgenomen in het ULCOS-programma. Ultra-Low Carbon Dioxide Steelmaking (ULCOS) is een consortium, bestaande uit 48 Europese bedrijven en organisaties uit 15 Europese landen, opgericht om een significante daling van de CO₂-emissies in de staalproductie te verwezenlijken. Het doel van ULCOS is een daling van minstens 50% van de CO₂-emissies verwezenlijken. Dit gebeurt aan de hand van het integreren van technologische verbeteringen en alternatieven. Hieronder vallen onder andere volgende innovatieve technologieën: ULCORED, Top Gas Recycling Blast Furnace, Hisarna en ULCOWIN. Er wordt echter verwacht dat het merendeel van deze technologieën pas tegen 2020-2030 op industriële schaal kan worden toegepast. Hierdoor valt de verdere uitwerking van deze technologieën buiten het onderzoeksdomein van deze masterproef. Ter volledigheid wordt in Tabel 1-5 een overzicht gegeven van de mogelijke energiebesparing en CO₂-reductie per ton product. Merk op dat het mogelijk is dat een technologie een vermindering in CO₂-emissie veroorzaakt, maar tegelijkertijd verantwoordelijk is voor een hogere energieconsumptie (bijvoorbeeld Finex). Vanwege de verwachte ontwikkelingstermijn (2040) wordt ULCOWIN niet opgenomen in deze tabel.

Tabel 1-5 Potentiële energiebesparing en CO₂-reductie ten gevolge van innovatieve technologieën [15]

	Primary energy (GJ/t)	Direct energy (GJ/t)	Total CO ₂ emission (tCO ₂ /t)	Direct CO ₂ emission (tCO ₂ /t)
Finex	7.499	4.445	-0.814	-0.948
Direct Sheet Plant	-1.375	-1.185	-0.073	-0.068
CCS – Blast Furnace	2.340	0.749	0.097	0.000
CCS – Power Plant	0.574	0.184	0.024	0.000
Midrex	1.510	-1.474	-1.046	-0.997
HYL	1.815	-0.862	-1.020	-0.951
ULCORED	1.614	-2.474	-0.907	-0.915
Top Gas Recycle Blast Furnace	-0.364	-1.226	-0.325	-0.347
HISARNA	0.613	-1.562	-0.383	-0.462

2. Technologische strategieën

Het verlagen van CO₂-emissies in de staalindustrie is uitdagend, complex en kostenintensief. Het verbeteren van de huidige technologieën volstaat niet meer en zoals eerder aangehaald zijn significante, vernieuwende en technologische veranderingen vereist. Rekening houdend met het stijgende energie- en materiaalverbruik in derdewereldlanden is de noodzaak naar nieuwe technologieën, met oog op een milieuvriendelijke productie, hoog. Het implementeren van radicaal nieuwe technologieën is daarentegen niet eenvoudig. Deze toepassingen vereisen een grote investering en brengen risico's met zich mee, aangezien kapitaal geïnvesteerd wordt in onbewezen technologieën[5].

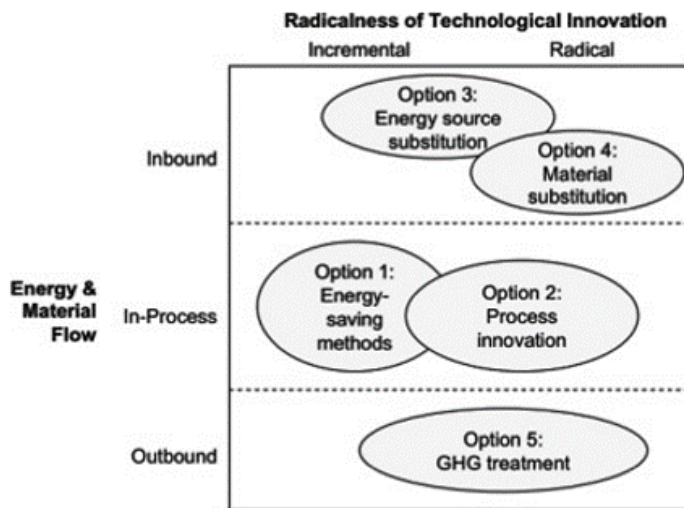
2.1. Radicale vs. incrementele innovaties

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds kleine technologische veranderingen in de vorm van aanpassingen, controles alsook verbeteringen van een bestaand principe en anderzijds een technologische innovatie, die grote veranderingen teweegbrengt met volstrekt nieuwe technologieën, producten of systemen.

Dit onderscheid wordt weergegeven als incrementele innovaties tegenover radicale innovaties. Moors et al. geven echter aan dat het niet mogelijk is om ieder proces aan één categorie toe te kennen, wat aanleiding geeft tot de introductie van een radicaliteitsschaal[16]:

1. Hulptechnologie: hulptechnologieën zijn alle ondersteunde technologieën, die gebruikt worden om een proces of systeem te controleren en te monitoren.
2. End-of-pipe technologie: end-of-pipe technologieën kunnen worden toegevoegd aan het einde van het normale proces om zo een reductie in uitstoot te verkrijgen. Een voorbeeld hiervan is het filteren van de uitlaatgassen van de staalproductie zonder het productieproces zelf te wijzigen.
3. In-process technologie: hierbij worden aanpassingen aangebracht in het productieproces zelf. Deze kunnen als volgt onderverdeeld worden:
 - 1-staps aanpassingen in het productieproces, gebruikmakend van hetzelfde procesprincipe.
 - 1-staps aanpassingen in het productieproces, gebruikmakend van een ander procesprincipe.
 - 2- tot 3-staps aanpassingen in het productieproces.
 - Meer dan 3-staps aanpassingen in het productieproces.
4. Baanbrekende technologie: hierbij wordt een groot deel van het productieproces aangepast.

Gebaseerd op voorgaande studies van onder andere Rynkiewicz en Moors, kan volgens Lee het onderscheid tussen radicale en incrementele innovaties verder uitgebreid worden naar de energie- en materialenstroom tegenover de radicaliteit van de technologische innovaties[17][18][19]. In Figuur 2-1 worden de vijf technologische opties van deze studie, met als doel de uitstoot van een bedrijf te reduceren, weergegeven. De energie- en materialenstroom worden onderverdeeld in inbound, in-process en outbound.



Figuur 2-1 Technologische opties voor CO₂-reductie volgens Lee [19]

De meeste aanpassingen, die bedrijven aanbrengen, hebben overwegend een incrementeel karakter. Deze bevinden zich dus voornamelijk in de eerste drie categorieën van de radicaliteitsschaal: hulptechnologie, end-of-pipe technologie en in-process technologie. In de staalindustrie is de optimalisatie van de hoogovens een incrementele innovatie, terwijl het toepassen van een ULCOS-technologie een radicale innovatie is. Er worden meer incrementele innovaties geïmplementeerd vanwege onder andere economische obstakels, systeemeigenschappen, een beperkte kennisinfrastructuur alsook een wetgevende context.

2.2. Voorbeelden uit de bedrijfswereld

In deze paragraaf worden enkele voorbeelden aangehaald waarin bedrijven op een succesvolle manier aanpassingen en maatregelen troffen, die aanleiding gaven tot een daling in CO₂-emissies en/of een verhoging in rendement.

In paragraaf 1.1 wordt vermeld dat de financiële crisis in 2009 een daling in de staalproductie veroorzaakte. Ter voorbereiding ontwikkelde Tata Steel Europe een programma 'Weathering the Storm', waarin ze gebruik maakten van flexibele aanpassingen, maar ook maatregelen troffen om de energie-efficiëntie te verbeteren. De elektrische spanning werd geoptimaliseerd en hierdoor werden de CO₂-emissies en het energieverbruik geminimaliseerd. Een verlaging van 2,5% voltage veroorzaakte bijgevolg een besparing van 4000 kW en 1693 ton CO₂ per jaar[20].

In 2010 ontwikkelde Ruukki samen met SeeBA een nieuw type windturbine. Dit nieuwe ontwerp zorgde voor een vermindering in staal (15%), verbindingen (40%) en onderhoud. Een lichtere structuur zorgde voor een besparing in logistieke brandstof, energieverbruik, CO₂-emissies en materialen[21].

Baosteel produceert onder andere dun gewalst plaatstaal voor het vervaardigen van conservenblikken. Sinds 1998 is de dikte van dit plaatstaal gereduceerd van 0,280 tot 0,225 mm, wat aanleiding geeft tot een vermindering in CO₂-emissies van 14,5% tijdens hun levensduur. Een vermindering in materiaaldikte vereist bijkomend walsen, wat de energieconsumptie verhoogt. Er is echter minder staal vereist en de productiesnelheid neemt toe[22].

3. Assessment tools

Om het integreren van radicale innovaties te stimuleren, zijn er doorheen de jaren tal van hulpmiddelen en beoordelingsmethoden ontstaan. Om een stimulans te creëren omtrent het verlagen van de CO₂-emissies, zijn assessment tools, zoals de CO₂-prestatieladder, ontwikkeld. Ter volledigheid worden beoordelingsmethoden zoals BREEAM en CEEQUAL eveneens toegelicht.

3.1. CO₂-Prestatieladder [23] [24]

De CO₂-prestatieladder vormt een hulpmiddel om bedrijven te stimuleren om de CO₂-emissie te reduceren. De ladder is ontwikkeld door de Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen (SKAO) (Figuur 3-1). De ladder zorgt ervoor dat bedrijven een certificaat kunnen bekomen, waarmee de inspanningen naar CO₂-reductie en CO₂-management toe gehonoreerd worden. Bedrijven kunnen in ruil voor deze inspanningen een voordeel bij de gunning van een aanbesteding verkrijgen. Het voordeel zou gaan om een fictieve korting, die ze kunnen bekomen aan de hand van een korting op het ingeschreven bedrag. Hoe beter de bedrijven scoren op de CO₂-prestatieladder, des te groter de voordelen zijn in het aanbestedingsproces. Met andere woorden: hoe hoger de trede op de ladder of het niveau op het certificaat, hoe meer voordeel een bedrijf kan hebben bij de gunning.



Samen zorgen voor minder CO₂

Figuur 3-1 Logo SKAO [23]

De CO₂-prestatieladder kent vijf niveaus, stijgend van 1 naar 5, waarbij ieder niveau eisen omvat, die gesteld worden aan de CO₂-prestatie van het bedrijf en de desbetreffende projecten. Deze eisen worden bepaald op basis van vier invalshoeken, waarbij iedere invalshoek over een eigen wegingsfactor bezit. Het betreft volgende invalshoeken: A. Inzicht, B. Reductie, C. Transparantie en D. Participatie.

A. Inzicht

Een bedrijf heeft inzicht nodig om zich bewust te worden van de eigen CO₂-prestaties alsook van de risico's en kansen, die de CO₂-emissies met zich meebrengen. Daarnaast biedt deze invalshoek informatie omtrent effectieve doelstellingen en maatregelen om de CO₂-emissies te minimaliseren.

B. Reductie

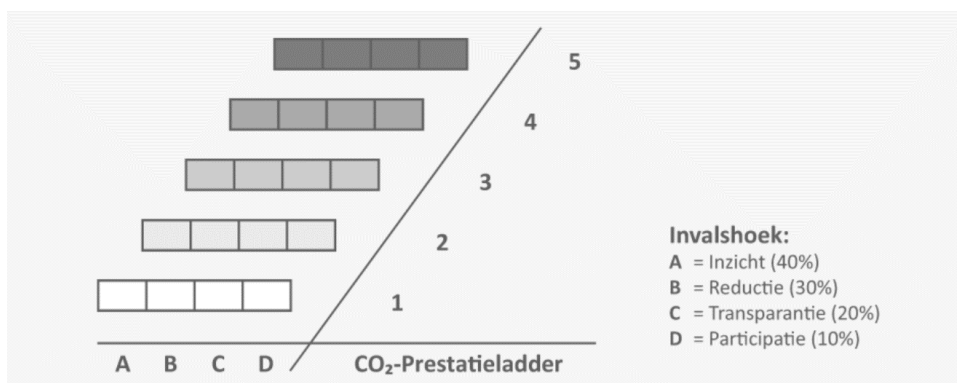
Reductie levert kansen met oog op het terugdringen van het energieverbruik en de CO₂-emissies. Bovendien bevordert het de samenwerking en de kans op een continue verbetering op verscheidene vlakken. De reductie kan ontstaan door alternatieve uitvoeringsmethoden te gebruiken of door aanpassingen in het management. Dit kan onder andere gerealiseerd worden door de toepassing van ketenanalyses. Dergelijke analyses geven een beeld over het CO₂-verbruik, gaande van grondstof tot het einde van hun leven als afvalstof.

C. Transparantie

Transparantie stimuleert de betrokkenheid van de medewerkers van een bedrijf. Op deze manier kennen bedrijven de inzet, ambities en vorderingen van anderen en kunnen ze op een efficiënte wijze communiceren. Dit bevordert wederom een continue verbetering.

D. Participatie

Participatie is een kernelement voor de samenwerking en het verspreiden van kennis en vaardigheden, waardoor een bedrijf blijft groeien in het selecteren van initiatieven en de toepassing ervan binnen het bedrijf. Zowel de invalshoeken als de niveaus moeten steeds in interactie met elkaar beschouwd worden, aangezien de invalshoeken onderling met elkaar verbonden zijn en ieder hoger niveau de eisen van de lagere niveaus omvat. Dit betekent ook dat een bedrijf continu actief moet blijven met zijn actuele prestaties op alle onderliggende niveaus. Figuur 3-2 stelt de CO₂-prestatieladder schematisch voor.



Figuur 3-2 CO₂-prestatieladder: 5 niveaus en 4 invalshoeken [23]

De plaats van een bedrijf op de ladder wordt bepaald op basis van het hoogste niveau waarop het bedrijf aan alle eisen voldoet. Per niveau van de ladder wordt het gunningvoordeel bepaald door de aanbestedende organisatie. Bedrijven ervaren de werking van de prestatieladder als een investering, die zich meteen terugverdient in de vorm van lagere energiekosten, innovatiewinst en materiaalbesparing.

3.1.1. Waaron CO₂-prestatieladder?

De achterliggende redenen voor het ontstaan van de CO₂-prestatieladder zijn erg uiteenlopend. Het is vanzelfsprekend dat de ladder bedrijven tracht te stimuleren om zich bewust te maken van de CO₂-emissies, inclusief die van de leveranciers. Daarnaast wordt er ononderbroken gezocht naar nieuwe mogelijkheden om de uitstoot terug te dringen. Door het gebruik van de prestatieladder worden bedrijven aangemoedigd om dergelijke nieuwe toepassingen uit te voeren alsook hun verworven kennis te delen met anderen met oog op een globale CO₂-reductie. Door overleg met collega's, instellingen, maatschappelijke partijen en de overheid verbreden de kansen voor de verwezenlijking van een CO₂-reductie.

3.1.2. CO₂-emissiefactoren

Bij het bepalen van de CO₂-emissies van een bedrijf, wordt rekening gehouden met verscheidene CO₂-emissiefactoren. Deze worden onderverdeeld in zeven categorieën: (I) brandstoffen voertuigen en schepen, (II) brandstoffen energievoorziening/individuele warmteopwekking, (III) elektriciteit, (IV), warmtelevering, (V) personenvervoer, (VI) goederenvervoer en (VII) koudemiddelen. De berekening van de CO₂-emissies ten gevolge van gas- en elektriciteitsverbruik omvat de metingen van het energieverbruik en de emissies van de elektriciteitsopwekking. Het gaat hierbij over de winning van grondstoffen tot en met de afbraak van deze stoffen door middel van verbranding. De berekening van de CO₂-emissies van personenvervoer betreft het vervoer van personen met algemene gebruikelijke middelen van personenvervoer. Hierdoor wordt de bemanning van ritten met inspectietreinen, onderhoudsmachines, goederentreinen enzovoort niet meegerekend. Goederenvervoer omvat het vervoer van alle goederen zoals (bouw)materialen, bouwplaats uitrusting en bouwmachines. De laatste categorie betreft de CO₂-emissies van koudemiddelen. Deze middelen, chloorfluorkoolwaterstoffen (cfk's), hebben een significant effect op de ozonlaag en dragen daardoor sterk bij aan het versterkte broeikaseffect. Bijgevolg worden (lek)verliezen van deze stoffen mee ingecalculeerd als broeikasgassen.

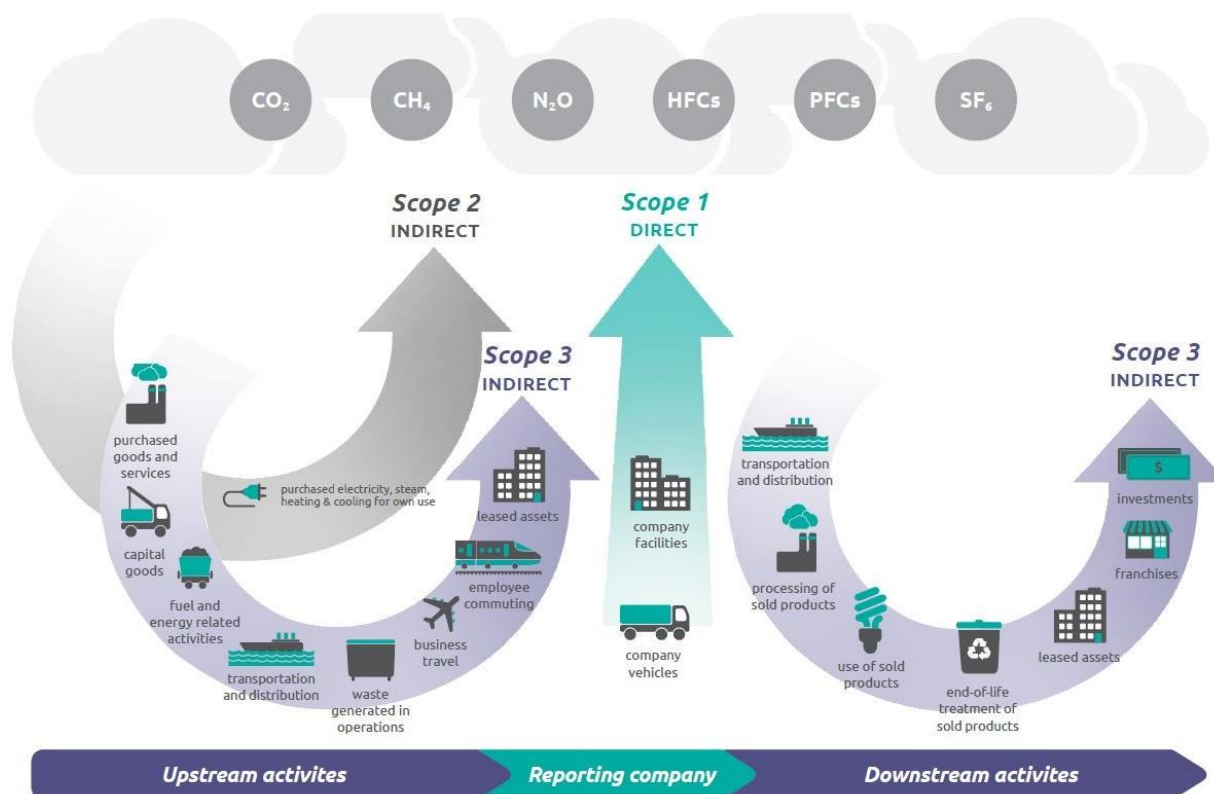
3.1.3. CO₂-emissie-inventaris

Voor de CO₂-prestatieladder is de rapportage van de CO₂-emissie-inventaris opgesteld conform ISO 14064. Het niveau op de CO₂-prestatieladder bepaalt de directe en indirecte emissies ten gevolge van de bedrijfsactiviteiten binnen de CO₂-emissie-inventaris. Deze emissies worden onderverdeeld in 'scopes'. Concreet gaat het over de materiële (scope 1 en 2) en relevante (scope 3) emissies.

Scope 1 of directe emissies worden beschouwd als emissies, die worden uitgestoten door de eigen installaties of de door het bedrijf gecontroleerde installaties. Voorbeelden hiervan zijn de emissies door eigen gasverbruik (bijvoorbeeld in ovens) en emissies door het eigen wagenpark. Scope 2 of indirecte emissies omvatten deze, die ontstaan door de opwekking van elektriciteit, warmte en koeling alsook stoom in installaties, die niet tot de eigen onderneming behoren, maar toch gebruikt worden door de organisatie. Emissies, vrijgekomen bij het opwekken van elektriciteit in centrales, behoren daardoor bijvoorbeeld tot scope 2. Scope 3 of overige, indirecte emissies zijn ontstaan ten gevolge van activiteiten van het bedrijf, maar komen voort uit bronnen, die geen eigendom van het bedrijf zijn en bovendien niet beheerd worden door het bedrijf. Emissies, voortgekomen uit de productie van ingekochte materialen, zijn hier een uitstekend voorbeeld van.

De indirecte scope 3 emissies kunnen zowel *upstream* als *downstream* ontstaan. Upstream scope 3 emissies zijn indirecte CO₂-emissies van aangeschafte of verworven producten en diensten. Binnen deze groep is er een onderscheid van acht categorieën: (I) aangekochte goederen en diensten, (II) kapitaalgoederen, (III) brandstof en energie gerelateerde activiteiten, (IV) upstream transport en distributie, (V) productieafval, (VI) personenvervoer onder werktijd (Business Travel wordt algemeen beschouwd als een element van scope 2), (VII) woon-werkverkeer en (VIII) upstream geleasede activa. Downstream scope 3 emissies zijn indirecte CO₂-emissies van producten en diensten (of projecten) na de verkoop. Hieronder vallen ook producten, die gedistribueerd worden, maar niet verkocht worden. Hierin zijn zeven categorieën te identificeren: (I) downstream transport en distributie, (II) verwerken of bewerken van verkochte producten, (III) gebruik van verkochte producten, (IV) end-of-life verwerking van verkochte producten, (V) downstream geleasede activa, (VI) franchisehouders en (VII) investeringen. Een belangrijk element is het optreden van een gerechtvaardigde twijfel bij scope 2 en 3 emissies ten gevolge van zakelijk reizen. In dergelijke situatie is er de vraag: 'Worden de kosten bij het bedrijf gedeclareerd?'. Wanneer deze vraag positief beantwoord wordt, vallen de emissies onder scope 2. Wanneer het antwoord op deze vraag negatief is, worden de emissies onder scope 3 ingedeeld.

Een scopediagram, weergegeven in Figuur 3-3, geeft bovenstaande emissievormen schematisch weer. Er kan worden opgemerkt dat bij de CO₂-prestatieladder 'Business Travel' en 'Personenvervoer onder werktijd' onder upstream scope 3 worden ingedeeld.



Figuur 3-3 CO₂-prestatieladder scopediagram, gebaseerd GHG Protocol Scope Standard [23]

Bij de CO₂-emissie-inventaris wordt een onderscheid gemaakt tussen materiele (scope 1 en 2) en relevante (scope 3) scopes. Aangezien het beslissen of iets al dan niet als materieel beschouwd wordt reeds meermaals problemen met zich meebracht, wordt er gebruik gemaakt van de vuistregel voor de drempelwaarde voor materialiteit. Dit houdt in dat voor de CO₂-prestatieladder een drempelwaarde van 5% gehanteerd wordt, waarbij alle emissies boven de 5% van de totale emissies materieel zijn.

Tot slot moet er stilgestaan worden bij de overige broeikasgassen, namelijk de niet-CO₂ broeikasgassen. Het is momenteel niet vereist om deze op te nemen in de emissie-inventaris. Wanneer deze niet-CO₂ broeikasgassen, vrijgekomen ten gevolge van bedrijfsactiviteiten, alsnog worden opgenomen in de inventaris, getuigt dit wel van CO₂-bewust handelen.

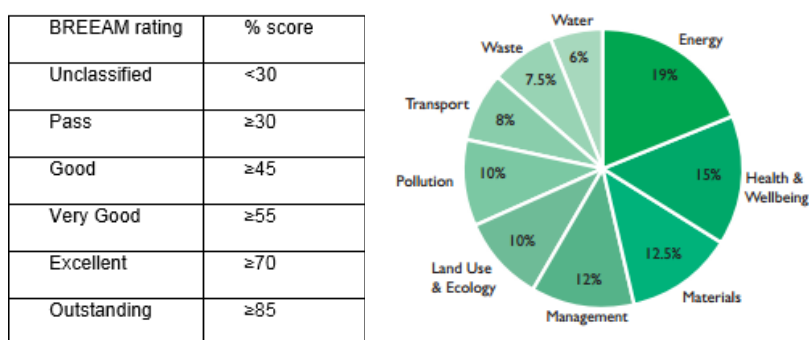
3.2. BREEAM

BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Method, is ontwikkeld in 1990 in het Verenigd Koninkrijk door het Building Research Establishment. BREEAM was wereldwijd de allereerste methode om duurzaamheid te certificeren[2]. Vandaag de dag vormt BREEAM een frequent toegepaste methode. Het heeft een marktaandeel van 80% in Europa en wordt in 77 landen toegepast. BREEAM beschikt over verschillende keurmerken[25]:

1. 'Communities – Masterplanning'
2. 'Infrastructure – Civil Engineering & Public Realm'
3. 'New Construction – Buildings'
4. 'In-Use-Buildings'
5. 'Refurbishment and Fit-out'

In het kader van deze masterproef is voornamelijk 'Infrastructure – Civil Engineering & Public Realm' van toepassing. BREEAM's 'New Construction – Infrastructure' is een keurmerk dat recent tot stand is gekomen. Hier rond lopen momenteel enkele pilotprojecten[26]. Het keurmerk combineert twee beoordelingsmethoden: BREEAM & CEEQUAL. Deze combinatie zorgt voor een procesgerichte (CEEQUAL) en een wetenschappelijke (BREEAM) methode[26]. Door het beste van beide methoden te combineren, leidt dit tot een nieuw en verbeterd beoordelingsschema voor de industrie.

De BREEAM-methode evalueert negen categorieën, die impact hebben op het milieu. Iedere categorie is opgedeeld in verschillende onderwerpen. Door hieraan een score toe te kennen aan de hand van prestatiegerichte criteria en benchmarks, kan de impact van een nieuw of gerenoveerd gebouw op het milieu beperkt worden. De verscheidene categorieën worden hierdoor geëvalueerd met behulp van een puntensysteem[27]. Figuur 3-4 geeft de verscheidene categorieën en de toe te kennen scores weer.



Figuur 3-4 BREEAM categorieën en scores [28]

BREEAM slaagt erin om een kostenefficiënte manier te ontwikkelen en om het begrip duurzaamheid te introduceren. Initieel zal BREEAM een bepaalde kost met zich meebrengen, maar deze kost kan vertaald worden in een investering in duurzame ontwikkeling. Zo zal een extra investering van 2% om een hogere BREEAM-score te bereiken, binnen de vijf jaar terugverdiend zijn door de besparingen op bijvoorbeeld water- en energiefacturen[29].

3.3. CEEQUAL

CEEQUAL voorziet een algemene beoordelingsmethode, die het mogelijk maakt om de milieukwaliteit inzake het ontwerpen en construeren binnen de burgerlijke bouwkunde vast te stellen. De structuur van CEEQUAL is gebaseerd op deze van BREEAM[30]. De methode werd ontwikkeld met steun van de Britse overheid en de R&D-afdeling (Research and Development) van het ICE (Institution of Civil Engineers) in 2004[31]. Voor internationale toepassingen werd CEEQUAL geïntroduceerd in 2011.

CEEQUAL beoordeelt de economische impact in termen van projectmanagement, landgebruik, landschap, ecologie en biodiversiteit, water, energie en koolstof, materiaalgebruik, afval, transport, effecten op burens, relatie met de belanghebbende lokale gemeenschap en de historische omgeving[30]. Hiermee wil CEEQUAL de focus, aangaande milieukwaliteit, leggen op de ontwerp- en bouwfase.

CEEQUAL maakt gebruik van zes verschillende prijzen, die kunnen toegekend worden aan de belanghebbenden of aan de verscheidene stadia binnen een project. Eén prijs bevindt zich op teamniveau, vier prijzen kunnen uitgereikt worden aan teamleden en een laatste type prijs is bestemd voor klanten en ontwerpers. Het betreft volgende zes prijzen: 'Whole Team Award', 'Client & Design Award', 'Design Award', 'Design & Construction Award', 'Construction Award' en tot slot 'Interim Client & Design Award'[31].

Om de voordelen van grootschalige projecten te maximaliseren, is het belangrijk om vanaf de beginfase de impact op het milieu te beperken. De CEEQUAL-methode verbetert economische en ecologische, maar ook sociale factoren en dit voor de ontwerper, de aannemer of de bouwheer.

De methode gebruikt een beoordelingsproces, opgedeeld in 9 verschillende topics[30]:

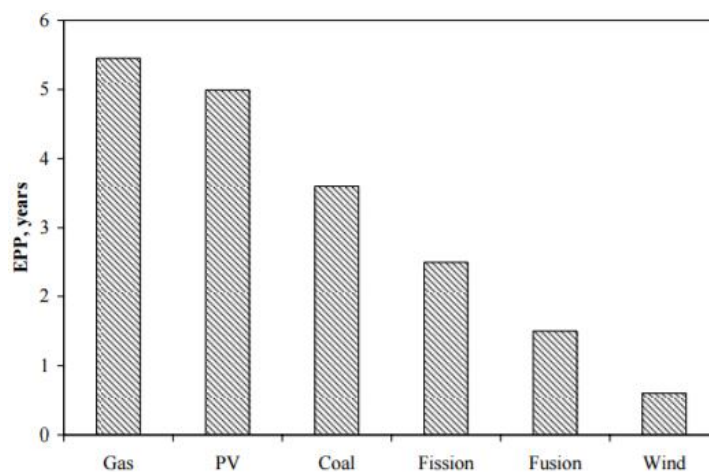
1. 'Project Strategy/Client Contract Strategy'
2. 'Project or Contract Management'
3. 'People and Communities'
4. 'Land use and Landscape'
5. 'The Historic Environment'
6. 'Ecology and Biodiversity'
7. 'Water Environment (fresh & marine)'
8. 'Physical Resources Use and Management'
9. 'Transport'

Om een correct resultaat te verkrijgen, worden de beoordelingen uitgevoerd door onafhankelijke en gecertificeerde beoordeelaars. De methode biedt, zoals eerder vermeld, een brede waaier aan criteria, die niet voor iedere toepassing even relevant zijn. Hierdoor wordt er een opdeling gemaakt per werkgebied, zodat irrelevante aspecten achterwege kunnen gelaten worden[30].

4. Offshore windenergie

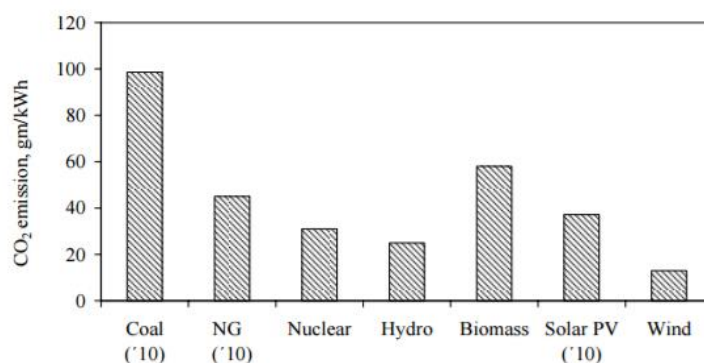
4.1. Algemeen

Vanwege de eisen omtrent het verlagen van de CO₂-emissie en broeikasgassen, opgelegd door de Europese Unie, groeit het aandeel van windmolenparken inzake productie van elektriciteit fenomenaal. Zo zorgt windenergie vandaag de dag voor 11% van de Europese energievraag[32]. De totale, huidige windenergie in de Europese Unie bedraagt 117 GW, wat wijst op een groei van 28% ten opzichte van 2013. Daarnaast is de Europese industrie verantwoordelijk voor 40% van de wereldwijde productie aan windturbines[32]. Volgens Hoekstra zou tegen 2030 windenergie verantwoordelijk kunnen zijn voor 28% van de totale Europese energievraag[33]. Een bijkomend voordeel van windenergie is de korte terugwintertijd ten opzichte van traditionele energieproducenten. Sathyajith toonde in 2006 aan dat een windmolenpark, bestaande uit 15 windturbines van 600 kW, een terugwintertijd van iets meer dan een half jaar heeft (Figuur 4-1). Bij offshore windmolenparken is deze termijn iets langer vanwege de noodzaak aan bijkomend materiaal en transport[34].

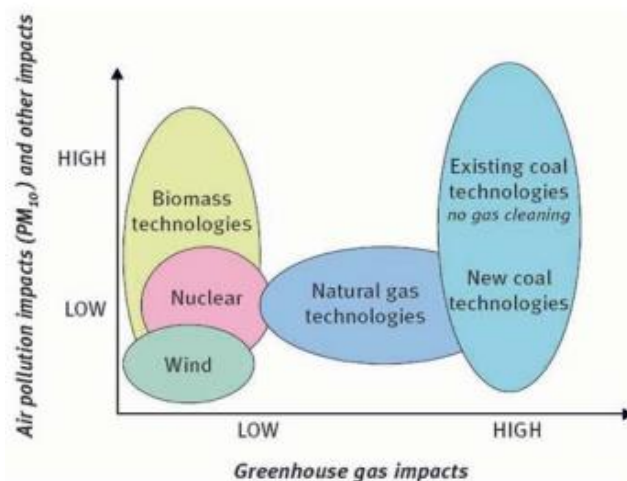


Figuur 4-1 Terugverdientijden per energiebron [34]

In 2015 zorgde het gebruik van windenergie voor een reductie van 218 miljoen ton CO₂-emissies in de Europese Unie. Figuur 4-2, waarin de CO₂-emissies per kWh worden weergegeven voor verschillende energiebronnen in 2006, geeft aan dat windenergie een significant lagere CO₂-emissie heeft[34]. Dit wordt bevestigd door een studie van Hanjalic et al., weergegeven in Figuur 4-3[35].

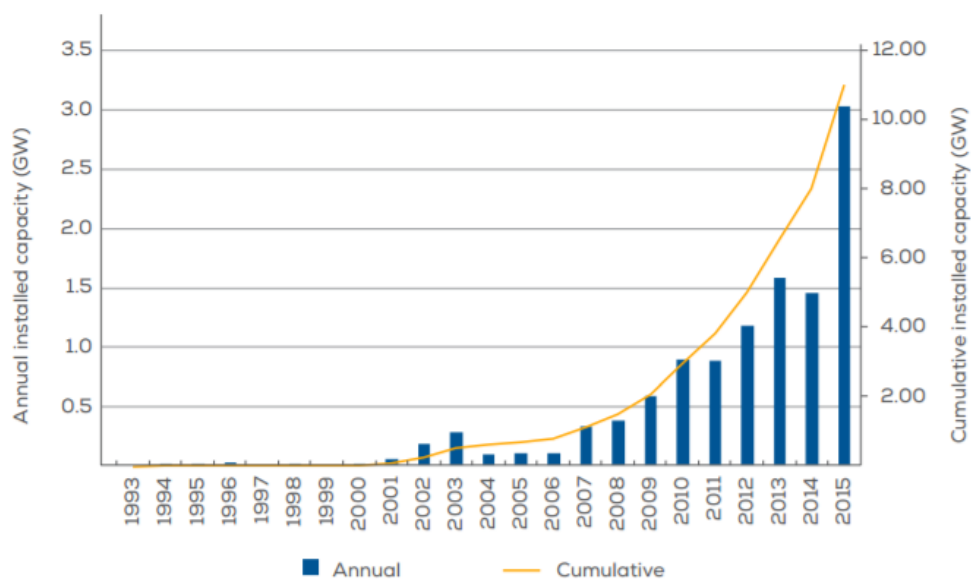


Figuur 4-2 CO₂-emissies (per kWh) per energie opwekker [34]



Figuur 4-3 Luchtvervuiling en broeikasgassen per energiebron [35]

Het aandeel van windenergie is de laatste jaren sterk toegenomen. Daarbij kan windenergie onderverdeeld worden in on- en offshore. De groei van de offshore windindustrie binnen de Europese Unie wordt geïllustreerd in Figuur 4-4. 90% van de wereldwijde offshore windenergie wordt geproduceerd in de Europese Unie[33]. Eind juni 2016 werd in de Europese Unie een totaal aan 11,5 GW offshore windenergie geïnstalleerd[36].



Figuur 4-4 De groei van de Europese Unie offshore windmarkt [36]

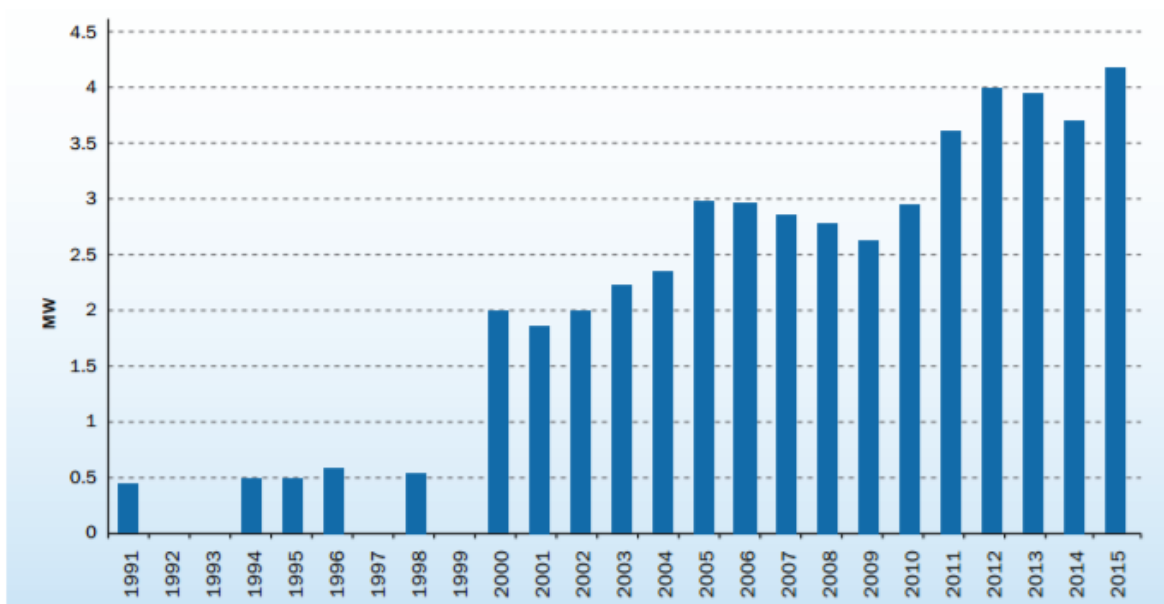
Een overzicht van de geïnstalleerde windmolenparken per land in 2015 wordt weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Overzicht geïnstalleerde windmolenparken [37]

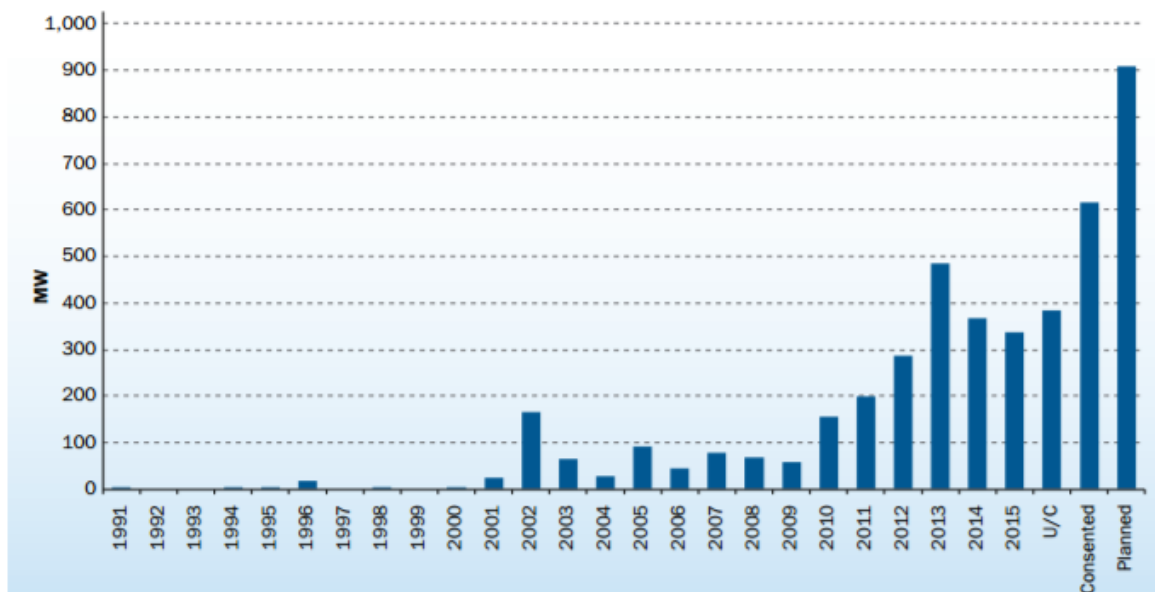
Country	BE	DE	DK	ES	FI	IE	NL	NO	PT	SE	UK	Total
No. of farms	5	18	13	1	2	1	6	1	1	5	27	80
No. of turbines	182	792	513	1	9	7	184	1	1	86	1,454	3,230
Capacity installed (MW)	712	3,295	1,271	5	26	25	427	2	2	202	5,061	11,027

European Wind Energy Association geeft aan dat de capaciteit van een windturbine over de periode van 2010-2015 gestegen is met 41,1% (Figuur 4-5). In 2015 was de gemiddelde capaciteit van nieuwe windturbines 4,2 MW. Dit is een significant verschil ten opzichte van 3 MW in 2010 en 2 MW in 2000, wat bevestigt dat de offshore windindustrie onderhevig is aan een korte, snelle en continue ontwikkeling. Tegen 2018 worden windturbines met een capaciteit van 6-8 MW verwacht[37].

Daarnaast worden de windmolenparken jaar na jaar groter, zoals geïllustreerd wordt in Figuur 4-6. Over de laatste vijf jaar is het gemiddelde windmolenpark verdubbeld in grootte: van 155,3 MW naar 337,9 MW. De toename in de capaciteit van een windturbine is hier medeverantwoordelijk voor.

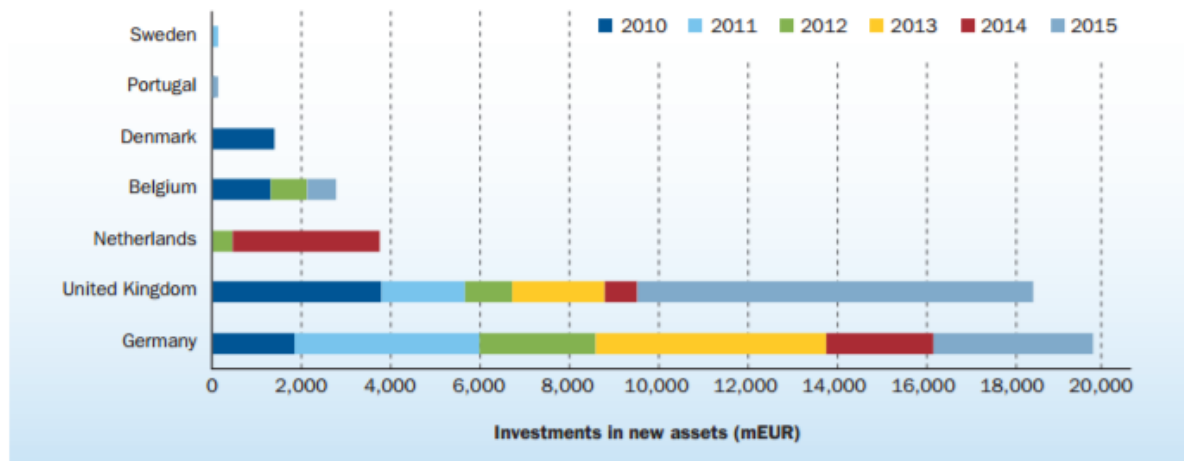


Figuur 4-5 Windmolencapaciteiten [37]



Figuur 4-6 Grootte windmolenpark [37]

De totale investering in offshore windmolenparken in 2015 bedroeg meer dan 18 miljard euro. In 2015 had het Verenigd Koninkrijk de grootste jaarlijkse investering, gevolgd door Duitsland. Tussen 2010 en 2015 daarentegen, had Duitsland de grootste jaarlijkse investering (Figuur 4-7). Dit toont aan dat er in toenemende mate geïnvesteerd wordt in windmolenparken en dit op een zeer korte termijn, wat wederom de snelle en korte ontwikkeling van windenergie weergeeft. Op 6 juni 2016 werd er beslist om de kosten van offshore windenergie te reduceren tot €80/MWh tegen 2025. Dit veroorzaakt een stijging in concurrentie tegen gas, olie en nucleaire energie[37].



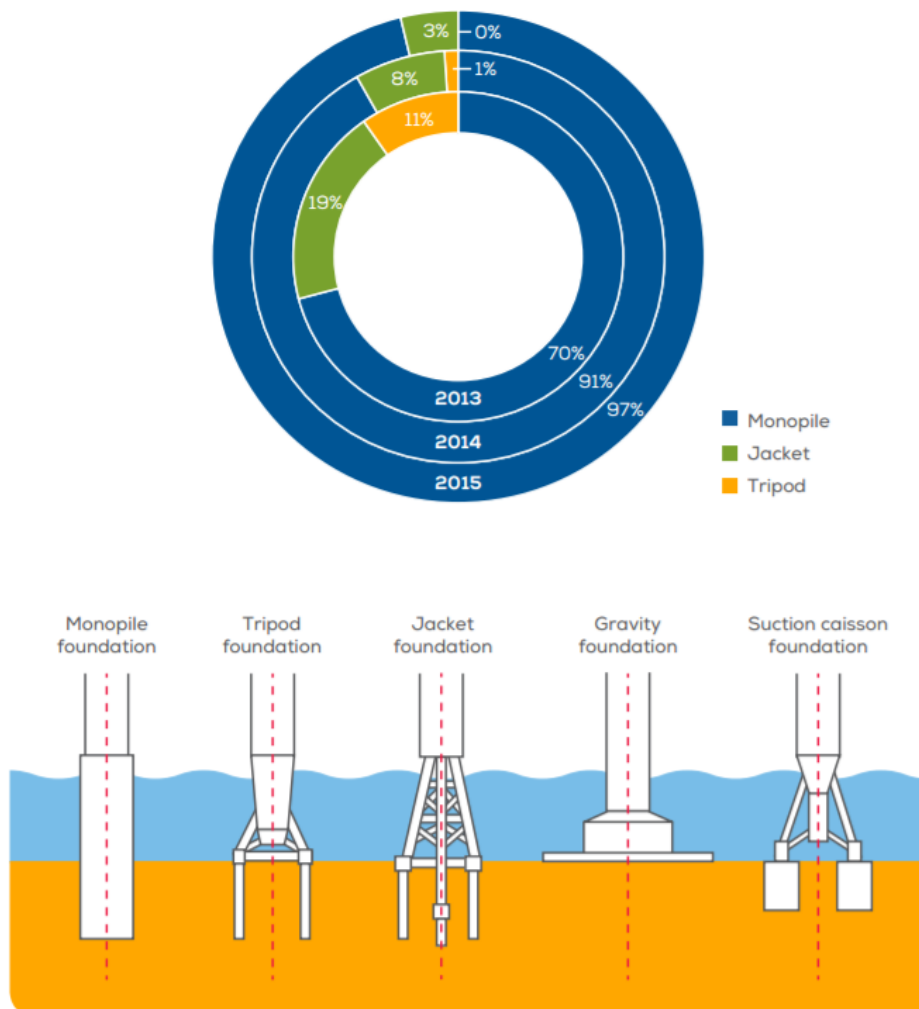
Figuur 4-7 Investerings in offshore windenergie [37]

4.2. Funderingen

Er bestaan verschillende soorten funderingen voor een offshore windturbine. De belangrijkste zijn een monopile, jacket en tripod fundering. Cijfers van ETIPWind, weergegeven in Figuur 4-8, geven aan dat de meest gebruikte funderingen in de Europese Unie, de monopile funderingen zijn[36]. In 2015 zijn 97% van de 397 gerealiseerde windmolenparken uitgevoerd met een monopile fundering. De overige 12 parken werden uitgevoerd met een jacket fundering[37]. Een jacket fundering zou echter populairder kunnen worden dan een monopile fundering, aangezien deze bestaat uit een lichtere constructie en een verhoogde flexibiliteit. In de Verenigde Staten geniet een jacket de voorkeur omwille van een grotere aanzetdiepte ten opzichte van de monopile.

FIGURE 18

Types of foundations installed in 2013, 2014, 2015²⁸



Figuur 4-8 Meest gebruikte funderingstypes in de offshore industrie [36]

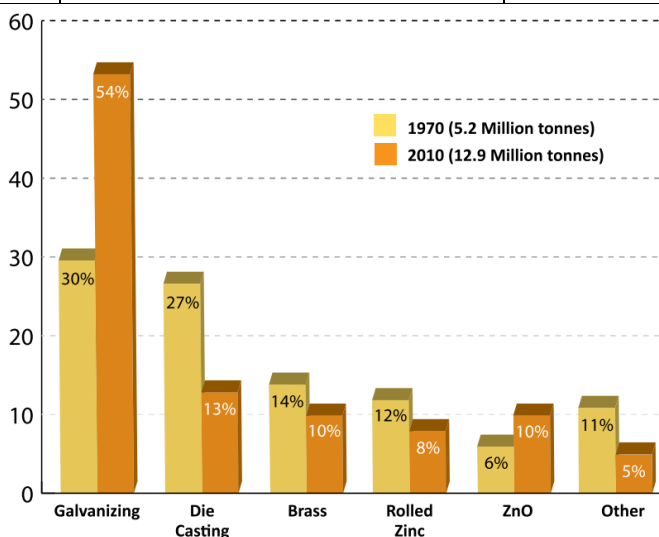
III. Literatuurstudie – thermisch verzinken

Het onderhoud van structurele elementen kan soms moeilijkheden opleveren vanwege de blootstelling aan een bepaald milieu en/of vanwege een beperkte toegankelijkheid van de desbetreffende elementen. Het verzinken van staal kan een sterke en slijtvaste corrosiebescherming bieden met daarbij een lange levensduur in uiterst extreme omstandigheden. Het element moet echter dusdanig ontworpen worden, zodat thermisch verzinken mogelijk is.

Volgens de ‘International Lead and Zinc Study Group’ (ILZSG) werd in 2016 13 663 000 ton zink geproduceerd[38]. Dit is een stijging van ongeveer 12% ten opzichte van 2012. Zink is hierdoor het vierde meest geproduceerde metaal ter wereld[39]. Tabel 4-1 geeft het regionaal aandeel van de mijn- en zinkproductie in 2012 weer. Hieruit kan geconcludeerd worden dat Azië en Zuid-Amerika verantwoordelijk zijn voor de grootste mijnproductie. Daarnaast vindt een significant aandeel van de zinkproductie in Europa plaats. In 2010 werd 54% van het geproduceerde zink gebruikt om thermisch te verzinken. Figuur 4-1 geeft de resterende percentages weer.

Tabel 4-1 Regionaal aandeel van de mijn- en zinkproductie in 2012[40]

Regio	Aandeel mijnproductie	Aandeel zinkproductie
Afrika	4%	2%
Azië	34%	59%
Australië	15%	4%
Europa	10%	19%
Noord-Amerika	17%	11%
Zuid-Amerika	20%	6%



Figuur 4-1 Wereldwijd zinkverbruik per eindgebruik [41]

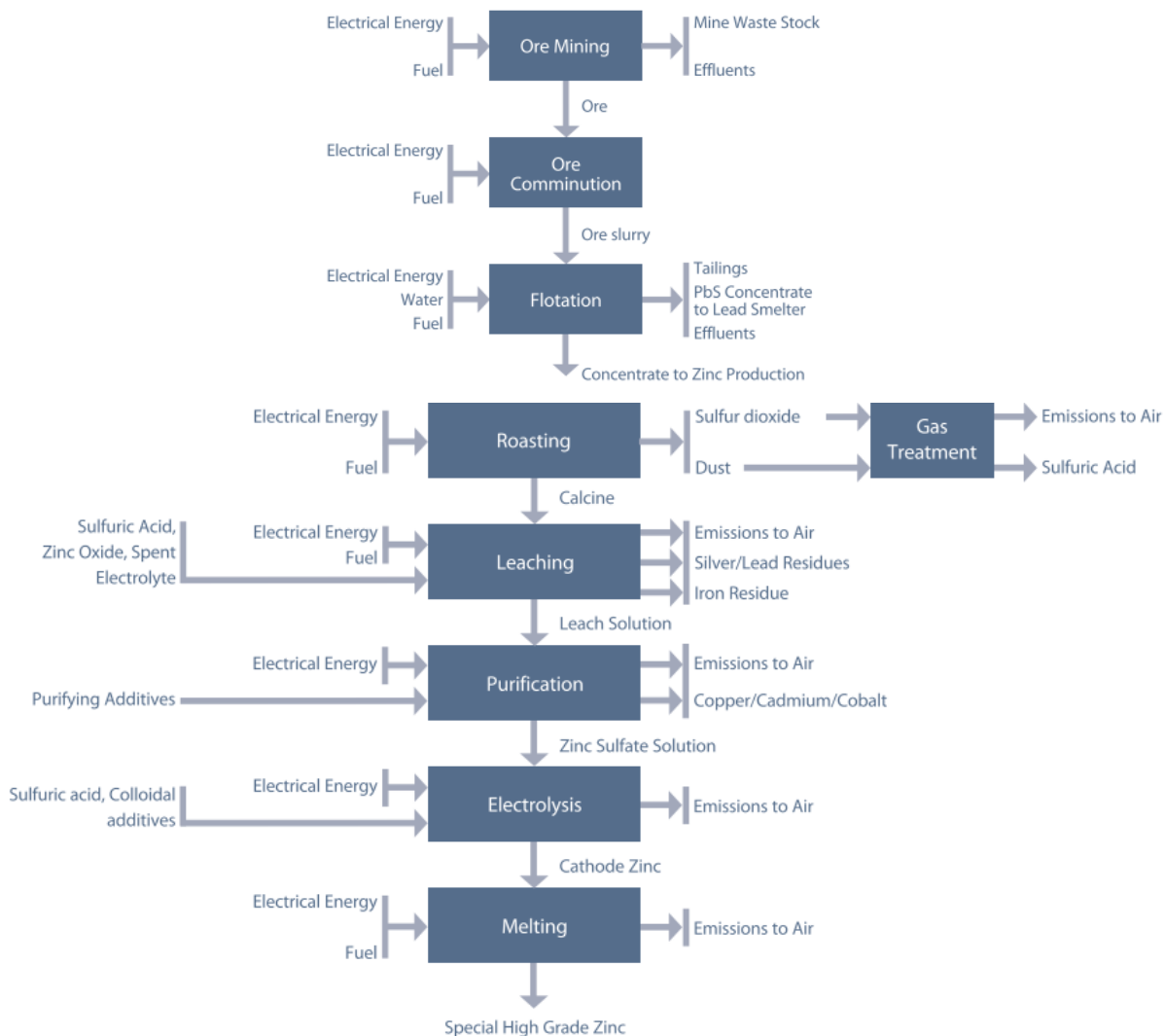
In Europa zijn er meer dan 650 loonverzinkerijen, ook gekend als discontinue verzinkerijen. Verzinkerijen zijn steeds gevestigd in de nabijheid van staalconstructiebedrijven om de economische belasting alsook de milieubelasting te beperken. België telt een 20-tal loonverzinkerijen, die zijn aangesloten bij de European General Galvanizers Association[42].

5. Productie primair zink

Zinkerts bestaat voor 5% tot 15% uit zink. Zinkconcentraat wordt verkregen door zinkerts te breken en te malen. Dit concentraat bevat gemiddeld 55% zink, veelal in de vorm van zinksulfide. Deze concentraten worden gesinterd, waarbij zinksulfide wordt omgezet in zinkoxide. Tot slot wordt aan de hand van een hydrometallurgisch proces zinkmetaal verkregen.

Hydrometallurgie is een techniek waarbij, aan de hand van chemische reacties in een waterige of organische oplossing, metalen gewonnen worden uit ertsen, concentraten of gerecycleerde materialen. Pyrometallurgie daarentegen is een techniek, die gebruik maakt van een warmtebehandeling om fysische en chemische veranderingen in het materiaal teweeg te brengen, waardoor waardevolle metalen gerecupereerd kunnen worden. Deze laatste techniek wordt onder andere toegepast bij de zinkrecuperatie.

De meest voorkomende zinkproducten hebben een zuiverheid van 99,95% tot 99,99%, ook gekend als Special High Grade (SHG) zink [42]. Figuur 5-1 geeft een schematische weergave van de basisstappen bij de productie van SHG zink.



Figuur 5-1 Schematische weergave Special High Grade zink productie [43]

Eric Van Genderen van de International Zinc Association (IZA) voerde in 2015 samen met Thinkstep een onderzoek uit omtrent 'A global life cycle assessment for primary zinc

production'[40]. Deze studie bouwt verder op een studie uit 2009 aan de hand van nieuwe productiedata uit 2012. De studie omvat 24 mijnen en 18 smelters met een verwerking van 4 700 000 ton zinkconcentraat en 3 400 000 ton SHG zink. Dit is respectievelijk 36% en 27% van de wereldwijde productie in 2012. De gemiddelde zinkconcentratie van het concentraat bedraagt 59%. De studie is beperkt tot de productiefase van de levenscyclus van primair zink en houdt doelbewust geen rekening met het gebruik en end-of-life. De aangeleverde LCI data van GaBi 6[44], aangevuld met GaBi 2013[45], werden bijgevolg verwerkt tot een cradle-to-gate Life Cycle Assessment (LCA) model. Deze LCI data zijn representatief voor 44% van de wereldwijde mijnproductie en voor 32% van de wereldwijde zinkproductie, met 2005 als referentiejaar. Daarbij werd deze gereviewd door Ecobilan, rekening houdend met ISO 14040 en 14044.

Een beperking van het onderzoek is het gebrek aan enige wereldwijde representativiteit en regionale vertegenwoordiging. De deelname van bedrijven is op vrijwillige basis, waardoor de deelname van landen met een significante SHG zinkproductie, zoals China, India en Brazilië, echter beperkt is. In 2012 was Europa verantwoordelijk voor 10% van de wereldwijde mijnproductie en voor 19% van de wereldwijde zinkproductie. De gebruikte dataset in 2014 houdt echter rekening met respectievelijk 14% en 49%. Bijgevolg hebben de data uit Europa een grotere impact op het uiteindelijke resultaat dan in de werkelijkheid.

De resultaten tonen aan dat 1 kg SHG zink gemiddeld verantwoordelijk is voor een primair energieverbruik van 37,5 MJ en 2,6 kg CO₂-equivalent. Tabel 5-1 geeft de uiteindelijke resultaten van de LCA weer en Figuur 5-2 illustreert de invloed van de verschillende stadia. Er kan worden opgemerkt dat smelting, met 56% tot 73%, de grootste impact heeft op het Global Warming Potential. De resultaten van IZA uit 2009 geven een primair energieverbruik van 35 tot 76 MJ en 3,124 kg CO₂-equivalent[43]. Het is opmerkelijk dat er op drie jaar tijd een daling van 17% in CO₂-emissies gerealiseerd werd. Tot slot geeft Figuur 5-3 de GreenHouse Gas (GHG) emissies en het energieverbruik van Nyrstar weer. In 2012 produceerde Nyrstar 2,63 kg CO₂-equivalent per kg SHG zink[46] terwijl in 2014 2,45 kg CO₂-equivalent per kg SHG zink geproduceerd werd.

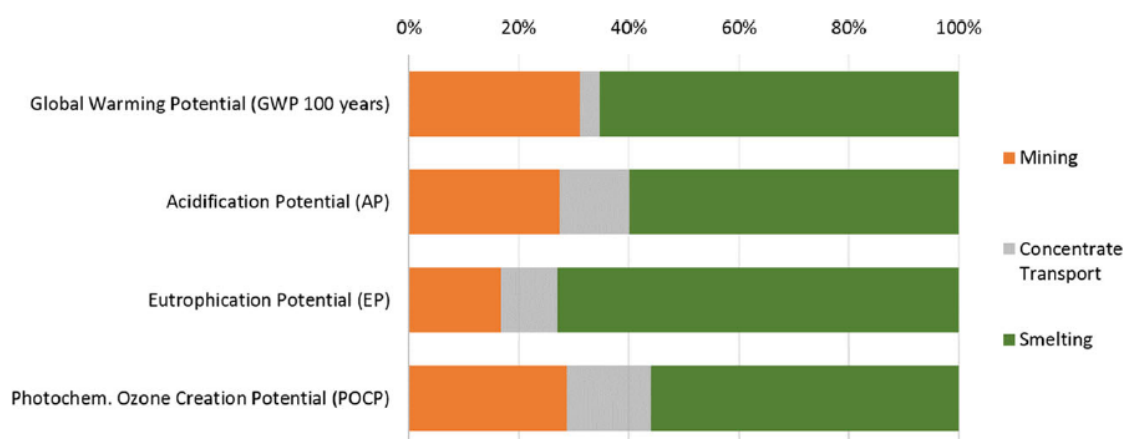
Er kan geconcludeerd worden dat de waarden van Nyrstar nauw aansluiten bij deze uit de vooropgestelde onderzoeken. Aangezien het referentiejaar van Smulders voor de huidige studie 2014 is, worden in het verdere verloop van dit onderzoek Nyrstars waarden in 2014 gebruikt: 2,45 kg CO₂-eq/kg SHG zink en 25 MJ/kg SHG zink.

Tabel 5-1 Resultaten Life Cycle Assessment primair zink [40]

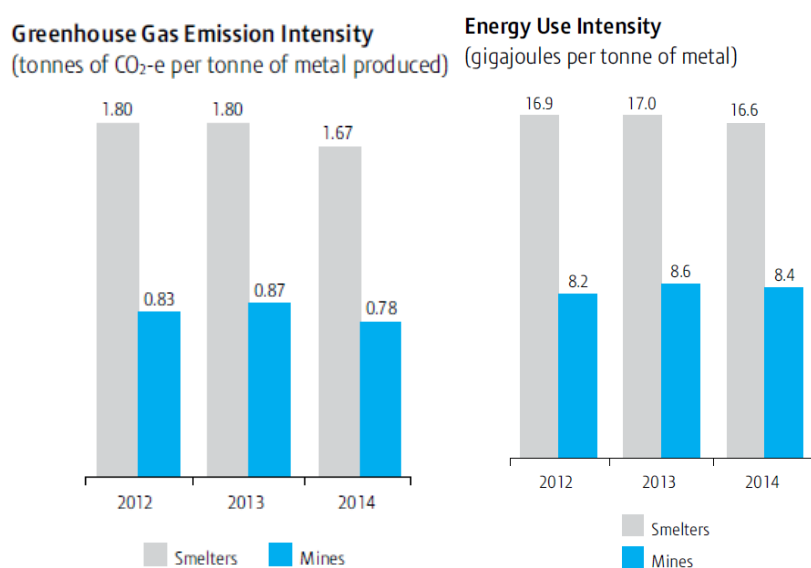
Impact category (CML 2001–April 2013)	Zinc concentrate (59 % Zn)	Special high-grade zinc	Units
Global warming potential (GWP 100 years)	431	2660	kg CO ₂ -eq.
Acidification potential (AP)	4.40	17.5	kg SO ₂ -eq.
Eutrophication potential (EP)	0.287	2.55	kg PO ₄ ³⁻ -eq.
Photochemical ozone creation potential (POCP)	0.255	0.932	kg C ₂ H ₂ -eq.
Ozone layer depletion potential (ODP, steady state)	2.69E-07	–8.30E-08 ^b	kg R11-eq.

^a Results conformant with ILCD requirements. Zinc concentrate results serve as an intermediate benchmark for the purposes of the study and will not be made available as a separate dataset; therefore, they do not conform with ILCD

^b Net negative impact results have occurred due to the energy credit associated with waste incineration and should not be interpreted in a way that an increase in consumption of the products under study will lead to any “reversal” of environmental burden elsewhere



Figuur 5-2 Invloed van de verschillende stadia op de zinkproductie [40]



Figuur 5-3 Nyrstar Global Warming Potential en energieverbruik per ton metaal [46]

Het zink, dat gebruikt wordt bij Galva Power, is voornamelijk afkomstig van Nyrstar. Specifiek wordt dan naar de site in Budel of Balen verwezen. In Figuur 5-4 wordt de herkomst van de grondstoffen per land en site weergegeven. Deze getallen worden uitgedrukt in wet metric tons (x 1000). Op te merken valt dat deze grondstoffen voor slechts 50 à 60% uit zink bestaan. Het overige gedeelte bevat onder andere zwavel, wat wordt omgezet in zwavelzuur.

		mijnen	recycling
BALEN	Europa	180	100
	Latijns Amerika	240	
	Noord Amerika	30	
	Turkije	35	
	US	6	
	Australie	34	
BUDEL	Europa	160	120
	Latijns Amerika	220	
	Noord Amerika	55	
	Turkije	48	20

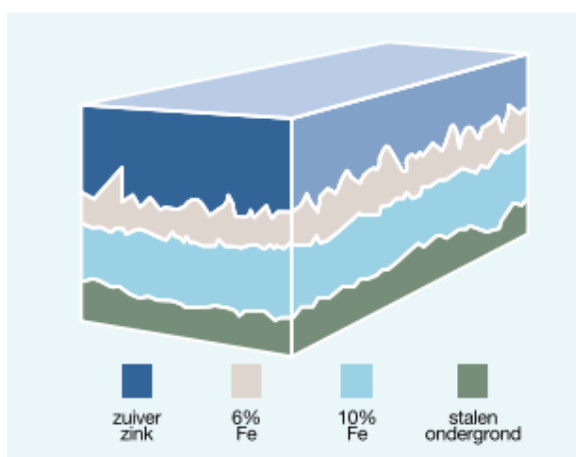
Figuur 5-4 Afkomst grondstoffen Nyrstar [47]

6. Werking van thermisch verzinken

Zoals reeds eerder vermeld, vormt thermisch verzinken een methode, die gehanteerd wordt om staal te beschermen tegen corrosie. De gestolde zinklaag op de behandelde elementen zorgt ervoor dat de duurzaamheid en de levensduur van de materialen verlengd worden. In Figuur 6-1 wordt een schematische doorsnede gegeven van een thermisch verzinkte laag op een stalen element. Het zink remt de corrosie enerzijds fysisch en anderzijds elektrochemisch af [42]:

- Door het element volledig te omhullen met zink, zal er geen vocht en zuurstof kunnen doordringen tot op het staal. Na enkele maanden zal er bovenop de zinklaag een patina gevormd worden[48]. De term 'patina' verwijst naar een natuurlijke laag, die ontstaat op de oppervlakte van materialen, zoals metalen, ten gevolge van het gebruik ervan gedurende verscheidene jaren[49]. De karakteristieken van de patina zijn afhankelijk van de omgeving. In een landelijke omgeving is de patina bijvoorbeeld minder oplosbaar, terwijl de patina in een vervuilde industrie of offshore omgeving meer oplosbaar is[48].
- Een zone van het element, die niet bedekt is door bijvoorbeeld een beschadiging, wordt beschermd door een elektrochemische werking. Wanneer het niet bedekte deel in aanraking komt met vocht zal er een galvanische cel ontstaan. De zinkomhulling rondom de beschadiging zal eerder corroderen dan het staal en de corrosieproducten van het zink zullen zich afzetten op het staal. Dit valt te verklaren aan de hand van de spanningsreeks der metalen. Uit Figuur 6-2 blijkt dat zink een lager potentiaal heeft dan ijzer, waardoor beschadigde zones eveneens beschermd zijn. Op deze manier zal het oppervlak alsnog beschermd zijn[42].

Bovenstaande methode biedt een bescherming op lange termijn, wat maakt dat de duurzaamheid gedurende een lange periode gegarandeerd is. Om één ton staal gedurende 60 jaar te beschermen zonder noemenswaardig onderhoud, volstaan enkele tientallen kilo's zink[48]. Dit duidt eveneens op een tweede duurzaamheidsaspect, met name het duurzaam omspringen met grondstoffen.



Figuur 6-1 Schematische doorsnede van een thermisch aangebrachte zinklaag [42]

Element		Potentiaalverschil in millivolt (mV).
Natrium	Na	-2700
Magnesium	Mg	-2400
Aluminium	Al	-1700
Zink	Zn	-760
Chroom	Cr	-740
IJzer	Fe	-440
Nikkel	Ni	-230
Lood	Pb	-120
Waterstofelektrode	H ₂	0
Koper	Cu	+340
Zilver	Ag	+800
Platina	Pt	+1180
Goud	Au	+1500

Figuur 6-2 Spanningsreeks der metalen [50]

De weerstand van zink tegen corrosie wordt in de eerste plaats bepaald door de beschermende laag, de patina, welke zich op het oppervlak gevormd heeft. Voor atmosferische corrosie geldt dat verontreinigende stoffen in de atmosfeer de duurzaamheid van deze laag beïnvloeden. De belangrijkste verontreinigende stof, die zink beïnvloedt, is zwaveldioxide (SO_2). De aanwezigheid van SO_2 is bijgevolg voornamelijk bepalend voor de atmosferische corrosiesnelheid van zink. Door de daling van het SO_2 -gehalte in de atmosfeer over de jaren heen, daalt de corrosiesnelheid van zink significant[42]. Eenzelfde constructie zal dus een langere levensduur hebben, wat blijkt uit een simulatie van onderstaande gegevens in de corrosiesnelheidsmeter, weergegeven in Tabel 6-1.

Tabel 6-1 Simulatie corrosiesnelheid [51]

Milieugegevens		
Regengehalte	150 mm/jaar	150 mm/jaar
Zoutgehalte	100 mg/m ² .dag	100 mg/m ² .dag
Zwaveldioxide	50 mg/m².dag	100 mg/m².dag
Relatieve vochtigheid	35%	35%
Temperatuur	20 °C	20 °C
Conditie	Open lucht	Open lucht
Corrosiesnelheid	1,9 µm/jaar	2,9 µm/jaar

Afhankelijk van de corrosiesnelheid, wordt er een opdeling gemaakt in klassen. Hoe hoger de klasse, hoe sneller de corrosie zal verlopen. Logischerwijs zal een hogere klasse meer aandacht vereisen bij het conserveren[50]. De corrosiesnelheid, uitgedrukt in µm of g/m² per jaar, alsook de specifieke klasse per metaal worden volgens NBN EN ISO 9223 weergegeven in Figuur 6-3. De betekenis van de verscheidene klassen is terug te vinden in Figuur 6-4. Meer informatie omtrent de aanbevolen bescherming per corrosiecategorie is terug te vinden in 'Bijlage 1: Infosteel – Guide to protection of steel against corrosion'.

Corrosivity category	Corrosion rates of metals				
	Unit	Carbon steel	Zinc	Copper	Aluminium
C1	g/(m ² ·a)	$r_{\text{corr}} \leq 10$	$r_{\text{corr}} \leq 0,7$	$r_{\text{corr}} \leq 0,9$	negligible
	µm/a	$r_{\text{corr}} \leq 1,3$	$r_{\text{corr}} \leq 0,1$	$r_{\text{corr}} \leq 0,1$	—
C2	g/(m ² ·a)	$10 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 5$	$0,9 < r_{\text{corr}} \leq 5$	$r_{\text{corr}} \leq 0,6$
	µm/a	$1,3 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,7$	$0,1 < r_{\text{corr}} \leq 0,6$	—
C3	g/(m ² ·a)	$200 < r_{\text{corr}} \leq 400$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 15$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 12$	$0,6 < r_{\text{corr}} \leq 2$
	µm/a	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$0,7 < r_{\text{corr}} \leq 2,1$	$0,6 < r_{\text{corr}} \leq 1,3$	—
C4	g/(m ² ·a)	$400 < r_{\text{corr}} \leq 650$	$15 < r_{\text{corr}} \leq 30$	$12 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$2 < r_{\text{corr}} \leq 5$
	µm/a	$50 < r_{\text{corr}} \leq 80$	$2,1 < r_{\text{corr}} \leq 4,2$	$1,3 < r_{\text{corr}} \leq 2,8$	—
C5	g/(m ² ·a)	$650 < r_{\text{corr}} \leq 1\,500$	$30 < r_{\text{corr}} \leq 60$	$25 < r_{\text{corr}} \leq 50$	$5 < r_{\text{corr}} \leq 10$
	µm/a	$80 < r_{\text{corr}} \leq 200$	$4,2 < r_{\text{corr}} \leq 8,4$	$2,8 < r_{\text{corr}} \leq 5,6$	—
CX	g/(m ² ·a)	$1\,500 < r_{\text{corr}} \leq 5\,500$	$60 < r_{\text{corr}} \leq 180$	$50 < r_{\text{corr}} \leq 90$	$r_{\text{corr}} > 10$
	µm/a	$200 < r_{\text{corr}} \leq 700$	$8,4 < r_{\text{corr}} \leq 25$	$5,6 < r_{\text{corr}} \leq 10$	—

Figuur 6-3 Corrosiesnelheid metalen [52]

Corrosiecategorieën voor atmosferische omgevingsomstandigheden en voorbeelden van omgevingen volgens NEN-EN-ISO-12944-2		
Corrosie categorie	Voorbeeld van typische omgevingen in een gematigd klimaat	
	Buiten	Binnen
C1 zeer laag		Verwarmde gebouwen met neutrale atmosfeer, bijv. kantoren, winkels, scholen, hotels
C2 Laag	Atmosfeer met een laag verontreinigingsniveau. Meestal landelijk	Onverwarmde gebouwen, waar condensatie op kan treden, bijv. magazijnen en sporthallen
C3 matig	Stedelijke en industriële atmosferen, matige verontreiniging door zwaveldioxide. Kustgebieden met lage zoutbelasting	Productieruimten met hoge vochtigheid en enige luchtverontreiniging, bijv. voedingsmiddelenfabrieken, wasserijen, brouwerijen en zuivelfabrieken
C4 hoog	Industriële gebieden en kustgebieden met matige zoutbelasting	Chemische fabrieken, zwembaden, scheepswerven aan de kust
C5-I zeer hoog (industrie)	Industriële gebieden met hoge vochtigheid en agressieve atmosfeer	Gebouwen of gebieden met een vrijwel permanente condensatie en met hoge verontreiniging
C5-M zeer hoog (maritiem)	Kustgebieden en offshore gebieden met hoge zoutbelasting	Gebouwen of gebieden met een vrijwel permanente condensatie en met hoge verontreiniging

Figuur 6-4 Corrosiecategorieën [53]

7. Verzinkingsprocessen

7.1. Continu thermisch verzinken

Binnen de techniek continu thermisch verzinken wordt staalband of staaldraad oxiderend en reducerend gegloeid alsook continu verzinkt[54]. De focus van deze verzinkings techniek ligt op het aanbrengen van een dunne zinklaag op de staalband of staaldraad[42].

Er wordt achtereenvolgens een onderscheid gemaakt tussen het continu thermisch verzinken van staalband en dezelfde toepassing bij staaldraad. De staalband ondergaat initieel een uitgloeibehandeling in een reducerende atmosfeer teneinde de mechanische karakteristieken van de band in te stellen alsook alle oxiden te elimineren. Het element wordt vervolgens rechtstreeks doorheen het zinkbad geleid zonder beroep te doen op een beitsbad of enige flux[55]. De flux is een vloeimiddel, vaak een zinkchloride/ammoniumchloride-oplossing, met verscheidene functies. Zo zal de flux verhinderen dat er na het beitsen opnieuw corrosie kan optreden en wordt het staaloppervlak gereinigd in het fluxbad. De aangebrachte fluxlaag zal ontbinden wanneer ze in contact komt met vloeibaar zink, waardoor een goede omhulling van het staal met het zink mogelijk wordt[55]. Bij het continu thermisch verzinken van staaldraad wordt de draad initieel aan verscheidene bewerkingen onderworpen om daarna verwerkt te worden in een beitsbad, in een fluxbad alsook in een zinkbad[55].

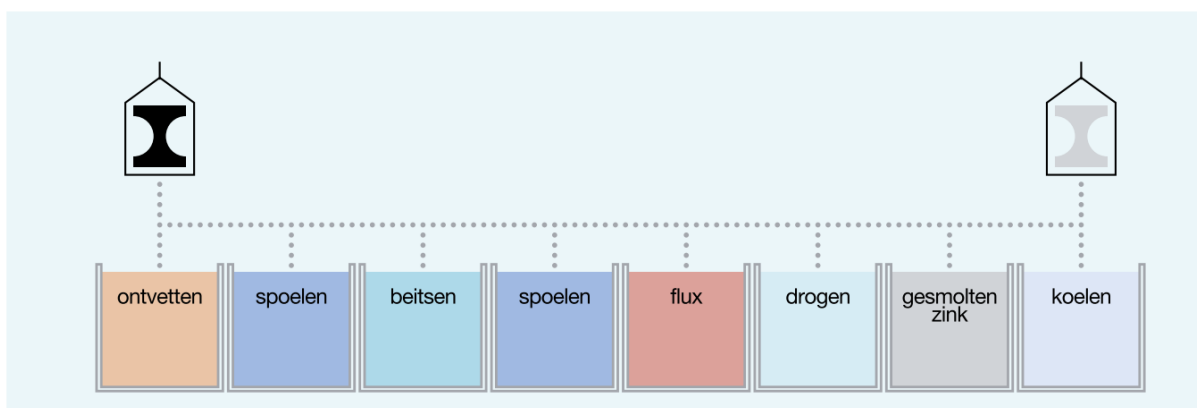
Dankzij het continu thermisch verzinken van staalband of staaldraad ontstaan zinklagen met een dikte van 15 – 30 μm . In tegenstelling tot het discontinu thermisch verzinken, wordt er in de praktijk bij continu thermisch verzinkte materialen een zinklaaggewicht per m^2 dubbelzijdig oppervlak aangegeven. Het zinklaaggewicht situeert zich tussen 200 g/m^2 en 450 g/m^2 , waarbij voornamelijk 275 g/m^2 gehanteerd wordt. Het meest gebruikelijke continu thermisch verzinkte materiaal kent een zinklaagdikte van 19 μm per plaatzijde[54].

De verwerkte elementen kunnen toegepast worden in materialen, waarvan het staal na het aanbrengen van de laag, nog omgebogen of vervormd moet worden (bijvoorbeeld wasmachines)[42].

7.2. Discontinuu thermisch verzinken

Deze toepassing van verzinking omvat het korttijdig onderdompelen van objecten bij 445°C – 465°C in vloeibaar zink[54]. Het doel van deze werkwijze is het creëren van een dikke, metallurgisch hechtende zinklaag met een lange levensduur, die eveneens geschikt dient te zijn voor corrosieklassen tot en met CX (offshore toepassingen).

Het proces, toegepast tijdens discontinuu thermisch verzinken, wordt schematisch weergegeven in Figuur 7-1. Onderstaande fasen worden steeds in een binnenklimaat doorlopen[42].



Figuur 7-1 Basisproces discontinuu thermisch verzinken [42]

Er wordt gestart met het waterig ontvetten en optioneel spoelen van de te verzinken elementen. Vervolgens wordt er overgegaan tot het beitsen ervan in een zoutzuuroplossing (HCl) in functie van de walshuid- en roestverwijdering. Hierna kan er gestart worden met het fluxen met een flux of vloeimiddel in een zinkchloride/ammoniumchloride-oplossing. Omwille van eventueel meegesleept beitsmiddel, dat de fluxkwaliteit mogelijk beïnvloedt, dient er na het beitsen gespoeld te worden met water. Onderdelen, die nog vochtig zijn van de flux, worden gedroogd aan de lucht, boven het warme zinkbad of in een droogoven. Na het drogen van de onderdelen start het verzinken in het zinkbad[55].

Het zinkbad, weergegeven in Figuur 7-2, is veelal een stalen vat waarin het gesmolten zink gecapteerd wordt. Initieel wordt het vast zink in de ton gebracht en vervolgens verwarmd. Zuiver zink heeft een smelttemperatuur van 419°C. De temperatuur van de zinkbaden ligt meestal tussen de 445°C en de 465°C. Deze temperaturen worden bereikt door het stalen vat op een indirecte wijze te verwarmen door gebruik te maken van stralingsbranders. Door het zinkbad te verwarmen ontstaat er een groot energieverbruik, wat de nodige rookgasemmissies met zich meebrengt. Een eenvoudige maatregel om het energieverbruik te reduceren, is het afdekken van de baden. Hierdoor dient minder energie toegevoegd te worden om de baden op temperatuur te houden en zullen de emissies beperkt blijven. De rookgassen, die het verwarmde zinkbad verlaten, hebben een hoge temperatuur, namelijk tussen 500°C tot 700°C, en kunnen bovendien gerecupereerd worden. Enerzijds kunnen deze gebruikt worden voor de productie van warm water en/of stoom, wat wordt gebruikt voor de verwarming van het fluxbad. Anderzijds wordt deze warmte gebruikt voor het drogen van de elementen na de fluxbehandeling[55].



Figuur 7-2 Zinkbad [55]

Ten gevolge van het dompelp proces in het zinkbad ontstaan lagen van zink- en ijzerlegeringen op het ijzer- of staaloppervlak, afgedekt door een zinklaag. De zinklaag wordt gekarakteriseerd door een dikte tussen 50 μm en 150 μm en een gewicht tussen 350 en 1050 g/m^2 [54]. Het is noodzakelijk dat alle elementen tijdens het dompelen geraakt worden door het gesmolten zink, dat er geen lucht gevangen wordt en dat het ontstaan van spatten zoveel als mogelijk beperkt wordt. Eenzelfde nauwkeurigheid en zorgzaamheid is vereist bij het hijsen van de elementen uit het zinkbad. Trillen of slagen tegen de voorwerpen kan voorkomen dat resterende zinkdruppels tijdens de nabewerking nog verwijderd moeten worden. De thermisch verzinkte onderdelen dienen vervolgens gekoeld te worden. Dit gebeurt aan de lucht of in water ('quenchen'), wanneer het massieve stukken betreft. De nabewerking omvat het losmaken en poetsen, waaronder schuren en vijlen, van de verzinkte stukken[55].

7.3. Centrifuge verzinken

Een andere toepassing van thermische verzinking betreft het centrifuge verzinken, welke gehanteerd kan worden voor kleine onderdelen zoals bijvoorbeeld bouten en moeren. Bij deze techniek worden de materialen na voorbehandeling in korven verzinkt om nadien in een centrifuge geplaatst te worden[54]. De onderdelen dienen volledig bekleed te zijn met vloeibaar zink voordat de trommel gehesen en gecentrifugeerd wordt. De centrifugefunctie verwezenlijkt de eliminatie van overtollig zink [55]. Op deze manier wordt het niet-gereageerde zink immers weggewerkt en is de uiteindelijke zinklaagdikte dunner dan bij het discontinu thermisch verzinken[54]. Ten slotte worden de gecentrifugeerde materialen gekoeld[55].

7.4. Elektrolytisch verzinken

Deze vorm van thermisch verzinken wijst op het neerslaan van dunne zinklagen op metaaloppervlakten dankzij een elektrochemische werking[54]. Tijdens dit proces kan er geen metallurgische hechting tussen zink en staal vastgesteld worden[42]. Het te verzinken element doet dienst als kathode van het elektrolyseproces van zinkzouten in een zure of alkalische waterige oplossing[56]. De elektrolytisch verzinkte elementen worden gekenmerkt door een zinklaagdikte tussen 1 μm en 25 μm en een transparant groengele, strogele tot metalliek blauwe tint ten gevolge van de nabehandeling ervan in respectievelijk chroomzuur- of bichromaatoplossingen[54]. De capaciteit van het elektrolysebad beperkt mogelijk de afmetingen van de te verzinken elementen[56]. Algemeen wordt deze techniek voornamelijk gehanteerd voor binnentoepassingen alsook voor materialen met een beperkte levensduur[42].

7.5. Zinkspuiten (metalliseren)

Zinkspuiten betreft het spuiten van gesmolten druppeltjes zink aan de hand van draad of poeder alsook metalliseerpistolen op vooraf blank gestraalde ijzer- en staaloppervlakten[42][54]. In dergelijke metalliseerpistolen vindt er een samenvoeging van de smelting van het zink en de verstuiving van het gesmolten zink plaats[56]. Deze techniek kent een hoge porositeit waardoor het aanbrengen van een organische top laag noodzakelijk is. Daarnaast vereist de methode een hoge nauwkeurigheidsgraad waarbij de temperatuur, vochtigheidsgraad alsook de tijd tussen het zinkspuiten en aanbrengen van de organische top laag grondig geëvalueerd dienen te worden. Dankzij deze toepassing kunnen laagdiktes tussen de 25 μm en 250 μm bekomen worden[54].

7.6. Sherardiseren

Deze werkwijze omvat de batchgewijze verhitting van de elementen in afgesloten, traag roterende trommels in aanwezigheid van zeer fijn zinkpoeder. Het zink verbindt zich met het basismateriaal bij temperaturen van 380°C tot 410°C ten gevolge van diffusie[54]. Deze temperaturen bevinden zich onder het smeltpunt van zink[56]. De onderdelen worden aan de hand van een lopende band doorheen het zinkbad gestuurd[55]. Het proces, waarbij er een reactie ontstaat tussen het staal en het zink, neemt meerdere uren in beslag en resulteert in de vorming van een oppervlaktelaag met beschermende karakteristieken[56]. Er worden namelijk gelijkmatige, hittebestendige, harde en slijtvaste zink/ijzer-legeringslagen met een duurzame corrosiewering en een laagdikte tussen 15 μm en 25 μm verkregen[54]. Dankzij stoom en lucht kan overmatig zink van de gesherardiseerde elementen verwijderd worden[55]. Sherardiseren wordt hoofdzakelijk gehanteerd voor het thermisch verzinken van kleinere massaelementen, welke bestaan uit ongelegeerd koolstofstaal alsook gelegeerd staal. Daarnaast kunnen ook verenstaal en producten bestaande uit gietijzer en gietstaal, gesherardiseerd worden zonder dat hierbij de eigenschappen van het basismateriaal aangetast worden.[54]

7.7. Mechanisch verzinken

Kleine metalen onderdelen kunnen ten slotte verzinkt worden via een mechanische verzinking. De elementen krijgen een chemische voorbehandeling waarna ze met glaskorrels, water en chemicaliën in een draaiende, veelhoekige trommel verder verwerkt worden. Hierbij wordt een chemisch product toegevoegd aan de draaiende massa met een koperlaag op het metallisch blanke staal als gevolg. Deze koperlaag vormt op zijn beurt een cruciale basis voor de aanhechting van de zinklaag. Vervolgens worden hulpstoffen alsook zinkpoeder toegevoegd aan het geheel. Ten gevolge van de draaibeweging drukken de glasparsels het zinkpoeder op het oxidevrije oppervlak waardoor zich een gelijkmatige zinklaag op de te verzinken elementen vormt. Ten slotte kunnen de onderdelen eventueel nauwkeurig gechromateerd of geolied worden. Bij deze verzinkingstechniek kan de laagdikte schommelen tussen 3 μm en 85 μm . [54]

8. Duplexverfsystemen

Duplexverfsystemen vormen de combinatie tussen een verfsysteem en thermisch verzinkt staal. Er zijn verschillende redenen waarom er gekozen wordt voor een dergelijk systeem. Een eerste reden betreft de esthetiek. De uitstraling van thermisch verzinkte elementen wordt gekenmerkt door verschillende grijstinten. Verder kan het zinkoppervlak corroderen waardoor er witroest gevormd wordt. Voorgaande argumenten kunnen door een bouwheer als negatief beschouwd worden, waardoor er gekozen wordt voor de aanbreng van een extra verflaag [57].

Verder worden duplexcoatings gebruikt om het element een langere levensduur mee te geven. Door duplexcoatings toe te passen, kan onderhoud langer worden uitgesteld in vergelijking met traditionele systemen. Hierdoor vormen de duplexcoatings een ideale manier om een staalstructuur, die nood heeft aan speciale bescherming, te behandelen[57]. Voor agressieve milieus zal een dergelijk systeem een absolute meerwaarde bieden, wat zich laat blijken in Figuur 8-2.

Figuur 8-2 geeft een indicatie van mogelijke oplossingen, welke het best worden toegepast om een staalconstructie te beschermen tegen corrosie. De gegevens resulteren uit de expertise van Infosteel, de Belgische vereniging voor oppervlaktetechnieken van materialen, Stichting Zinkinfo Benelux en tot slot het departement 'Mobiliteit en Openbare werken' van het Vlaams Gewest. De volledige tabel, bijbehorend aan Figuur 8-2, is opgenomen in 'Bijlage I: Infosteel – Guide to protection of steel against corrosion'.

Een duplexverfsysteem blijkt aangewezen voor de offshore-industrie. Beide systemen, het thermisch verzinken en het verven, bieden individueel een goede bescherming tegen corrosie. De combinatie van beide systemen zorgt ervoor dat onderhoud minder frequent ingepland dient te worden. De totale levensduur van het duplexsysteem zal 1,2 tot 2,5 keer hoger liggen ten opzichte van beide systemen afzonderlijk[48]. De levensduur van duplexverfsystemen voor offshore toepassingen is weergegeven in Figuur 8-1.

Duplex Service Life = Synergy Factor x (Zn Life + Paint Life)	
Example: Service Life = 1.5 x (9 years + 5 years) = 21 years to 5% rust	
Synergy Factor Values:	
Industrial/Marine	1.8 to 2.0
Sea Water (Immersion)	1.5 to 1.6
Non-Aggressive Climate	2.0 to 2.7

Figuur 8-1 Levensduur duplexverfsystemen [58]

Alvorens de stalen elementen gegalvaniseerd worden, moet bekend zijn of de elementen al dan niet behandeld zullen worden met een extra conserveringslaag. Dit omwille van de 'speciale' behandeling tijdens het verzinken. Enerzijds mag het element niet afgekoeld (gequenched) worden na het verzinken, anderzijds blijft er in sommige gevallen een typerende gestolde druppel zink achter na het verzinkingsproces. Indien het element na het verzinken nog geverfd dient te worden, zullen er extra inspanningen geleverd worden om deze druppels te verwijderen. Op scherpe kanten, zoals bijvoorbeeld bij een druppel, zal verf immers sneller afbladeren.

A. Outdoor climate Type of surroundings	Industrial areas with an high humidity and an aggressive atmosphere.					Coastal areas and maritime zones with a high salt content.			
	Buildings or zones with permanent condensation and a high contamination.					Buildings or zones with permanent condensation and a high contamination.			
B. Indoor climate Type of surroundings	C5I					C5M			
C. Corrosivity classes (atmospheric corrosion)	5/1	5/2	5/3	5/4	5/5	5/6	5/7	5/8	5/9
	paint	paint	hot-dip galvanizing	duplex paint	metallisation + paint	paint	paint	duplex paint	metallisation + paint
D. System number	EN ISO 12944-5 (system A5I.02)	EN ISO 12944-5 (system A5I.05)	EN ISO 14713 EN ISO 1461	EN ISO 14713 EN ISO 1461 EN ISO 12944-5	EN ISO 14713 EN ISO 1461 EN ISO 12944-5	EN ISO 12944-5 (system A5M.02)	EN ISO 12944-5	EN ISO 14713 EN ISO 1461 EN ISO 12944-5	EN ISO 12944-5 (system A8.02)
	SA2½ blasting	SA2½ blasting	hot-dip galvanizing 85 µm	hot-dip galvanizing 85 µm + light irradiation or chemical treatment	SA3 blasting + metallisation 120 µm	SA2½ blasting	SA2½ blasting	hot-dip galvanizing 85 µm + light irradiation or chemical treatment	SA3 blasting + metallisation 120 µm
E. Type of protection system	epoxy 80 µm	zinc rich epoxy primer 60 µm		epoxy 80 µm	mist coat	epoxy 80 µm	zinc rich epoxy primer 80 µm	2 component epoxy 80 µm	mist coat
	epoxy 180 µm	epoxy 200 µm		epoxy 100 µm	epoxy sealer 120 µm + epoxy 120	epoxy 180 µm	epoxy 180 µm	combination of epoxy 100 µm	epoxy 160 µm
F. Reference to standard or code of practice	polyurethane 60 µm	polyurethane 60 µm		polyurethane 60 µm	polyurethane or epoxy 90 µm	polyurethane 60 µm	polyurethane 60 µm	polyurethane 60 µm	polyurethane 80 µm
	320 µm	320 µm		240 µm (on zinc layer)	330 µm (on metallisation)	320 µm	320 µm	240 µm (on zinc layer)	240 µm (on metallisation)
G. Preparatory treatment	> 15 years	> 15 years	10-20 years	> 15 years	> 15 years	> 15 years	> 15 years	> 15 years	> 15 years
H. Priming coat									
I. Intermediate layer									
J. Finishing layer									
K. Total nominal thickness of the dry layer									
L. Expected working life for the first intervention									

Figuur 8-2 Aanbevolen corrosiewerend systeem [59]

9. Onderhoud

Net zoals bij de verfsystemen heeft ook een zinklaag nood aan onderhoud. Om de frequentie van het onderhoud te berekenen, moet de dikte van de aangebrachte zinklaag gekend zijn. Aan de hand van de facturatiegegevens van Smulders, welke in bepaalde gevallen vergezeld zijn van een diktemeting, wordt de laagdikte gedimensioneerd.

In totaal zijn er een negental facturen die een diktemeting ondergingen. Het gaat hierbij zowel over on- als offshore projecten. Na berekening blijkt dat de gemiddelde conserveringslaag 248,45 μm zink bevat. Tabel 9-1 geeft de gemiddelde waarden van de diktemeting weer. De getalwaarde van de derde meting is afkomstig van een offshore project, terwijl de overige waarden van onshore projecten komen.

Tabel 9-1 Diktemeting zinklaag in μm

$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$	$\bar{x}_5$	$\bar{x}_6$	$\bar{x}_7$	$\bar{x}_8$	$\bar{x}_9$	$\bar{x}_{\text{totaal}}$
331,45	182,93	290,4	178,65	237,87	298,86	167,9	291,45	256,53	248,45

Aan de hand van de corrosiesnelheid van de zinklaag kan de onderhoudsfrequentie bepaald worden. Uitgaande van een corrosieklasse CX (offshore toepassingen) varieert de corrosieklasse tussen de 8,4 μm en de 25 μm per jaar[52]. Verder wordt er een simulatie gemaakt voor de corrosiesnelheid in een kustomgeving, bijvoorbeeld Vlissingen.

Tabel 9-2 Simulatie corrosiesnelheid [51]

Milieugegevens		
Regengehalte	720,8 mm/jaar	Uit klimaatmeting[60]
Zoutgehalte	150 mg/m ² .dag	Maximaal ingerekend
Zwavel dioxide	100 mg/m ² .dag	Maximaal ingerekend
Relatieve vochtigheid	85%	Uit klimaatmeting[60]
Temperatuur	10,4 °C	Uit klimaatmeting[60]
Conditie	Open lucht	Uit klimaatmeting[60]
Corrosiesnelheid	5.9 μm/jaar	

Bovenstaande simulatie geeft een relatief lage corrosiesnelheid aan, wat doet vermoeden dat deze simulatie geen rekening houdt met offshore condities. Daarom worden de corrosiesnelheden van categorie CX ingerekend.

Tabel 9-3 Levensduur van zink in functie van de gemiddelde dikte

Dikte zinklaag	Ondergrens corrosiesnelheid - 8,4 μm /jaar	Bovengrens corrosiesnelheid - 25 μm /jaar	Gemiddelde corrosiesnelheid - 16,7 μm /jaar
248,45 μm	29,58 jaar	9,94 jaar	14,88 jaar

Gezien vele verzinkte elementen in de splash zone worden verwerkt, wordt de bovengrens ingecalculerd bij het bepalen van de levensduur. Deze aanname impliceert dat de zinklaag na 9,94 jaar is weg gecorrodeerd. Er kan opgemerkt worden dat deze elementen vaak behandeld zijn met een duplexsysteem omwille van het agressieve karakter. Verder ondergaat een boot landing fender regelmatig een impact, wat negatief is voor de conserveringslaag. De levensduur van het duplexsysteem wordt zowel bepaald door de zink- als verflaag.

Het verfsysteem bij Smulders bestaat gemiddeld uit drie lagen van 200 µm epoxy, wat wordt afgewerkt met een topcoating bestaande uit 80 µm polyurethaan[61]. Volgens Figuur 8-2 is het hierbij aannemelijk om te stellen dat de coating een levensduur heeft van 15 jaar.

Vervolgens wordt de levensduur van het duplexsysteem bepaald. Gezien de zinklaag beschermd wordt door de verflaag, zal deze minder belast worden waardoor de gemiddelde corrosiesnelheid in rekening kan gebracht worden. Aan de hand van Figuur 9-1 wordt de totale levensduur bepaald.

Duplex Service Life = Synergy Factor x (Zn Life + Paint Life)	
Example: Service Life = 1.5 x (9 years + 5 years) = 21 years to 5% rust	
Synergy Factor Values:	
Industrial/Marine	1.8 to 2.0
Sea Water (Immersion)	1.5 to 1.6
Non-Aggressive Climate	2.0 to 2.7

$$\text{Service Life} = 1,5 \times (14,88 \text{ jaar} + 15 \text{ jaar}) = 44,82 \text{ jaar}$$

Figuur 9-1 Levensduur duplexverfsystemen [58]

De gemiddelde, theoretische levensduur van een duplexcoating bedraagt aldus 44,82 jaar. Tegen de verwachtingen in zal onderhoud, zelfs bij zulke hoge levensjaren, reeds in een vroeg stadium noodzakelijk zijn. Zo wordt na installatie een inspectie ingepland om de mechanische beschadiging in te schatten. Eventuele herstellingswerken en dus onderhoudsactiviteiten zijn ten laste van de installateur. Tot slot wordt er een onderhoudsfrequentie opgelegd door de verzekeringsmaatschappijen, welke varieert van maatschappij tot maatschappij. Onderhoudsfrequenties van vijf à zeven jaar komen in de praktijk regelmatig voor[61].

10. Verwarmingstechnieken zinkbad

Een van de grootste kosten bij het verzinkingsproces, betreft het verbruik van brandstof, die nodig is voor de opwarming van het zinkbad. Een efficiënte verwarmingstechniek is cruciaal voor de ontwikkeling van kwaliteitsvolle producten aan een gunstige prijs. Afhankelijk van de grootte van de site, de beschikbaarheid en de kost van de brandstof, moet er afgewogen worden welke verwarmingsoptie het meest geschikt is[62].

De warmtebronnen, die ingezet worden om de zinkbaden te verwarmen, zijn de belangrijkste warmteverbruikers. Teneinde vast zink te verwarmen tot boven zijn smelttemperatuur, 445°C – 465°C [55], is er een enorme energiec capaciteit nodig. Om deze temperatuur te behouden wanneer er staalelementen doorheen het bad gaan, is warmte, die continu aan het zinkbad toegevoegd wordt, noodzakelijk[62].

Om slijtage zoveel mogelijk te minimaliseren, moet het verwarmingssysteem zodanig ontworpen worden dat de warmte gelijkmatig overgedragen kan worden. Ongeacht welke techniek gekozen wordt, dient de smelttemperatuur van het zink bewaard te blijven om stolling te voorkomen[62].

In de Verenigde Staten wordt hoofdzakelijk aardgas gehanteerd om de zinkbaden te verwarmen. Uiteraard zijn er overige mogelijkheden, maar wegens de beperkte beschikbaarheid en hoge kosten is de keuze vaak erg beperkt. In België valt eenzelfde tendens op te merken[62].

De beschikbaarheid van aardgas en de lage kosten hiervan, althans in vergelijking met bijvoorbeeld elektriciteit, resulteren in het gebruik van vlakbranders. De vlakbranders vormen het meest voorkomende verwarmingselement in België. Het ontwerp bestaat uit een reeks branders, gepositioneerd over de lengte van de ketelmuur. Als het staal rechtstreeks verwarmd wordt op een geconcentreerd oppervlak, zal er snel corrosie ontstaan op de wand van de ketel. Er dienen specifieke maatregelen getroffen te worden om dit effect te vermijden. Een voorbeeld van een dergelijke maatregel bestaat eruit het oppervlak, dat verwarmd wordt, zo groot mogelijk te voorzien. Zo zal niet alleen het staal van de ketel minder belast worden, maar ook het zink zal hierdoor gelijkmatig opgewarmd worden, wat gunstig is voor het galvanisatieproces[62].

Een mogelijke oplossing om deze gelijkmatige opwarming te verkrijgen, bestaat uit het indirect verwarmen van het zinkbad. Het zinkbad kan bijvoorbeeld worden omringd door een vuurvaste steen. De branders zullen nu niet het zinkbad, maar de stenen muur verwarmen. Op deze manier zal de belasting op het zinkbad afnemen en wordt het bad gelijkmatiger verwarmd. [53]

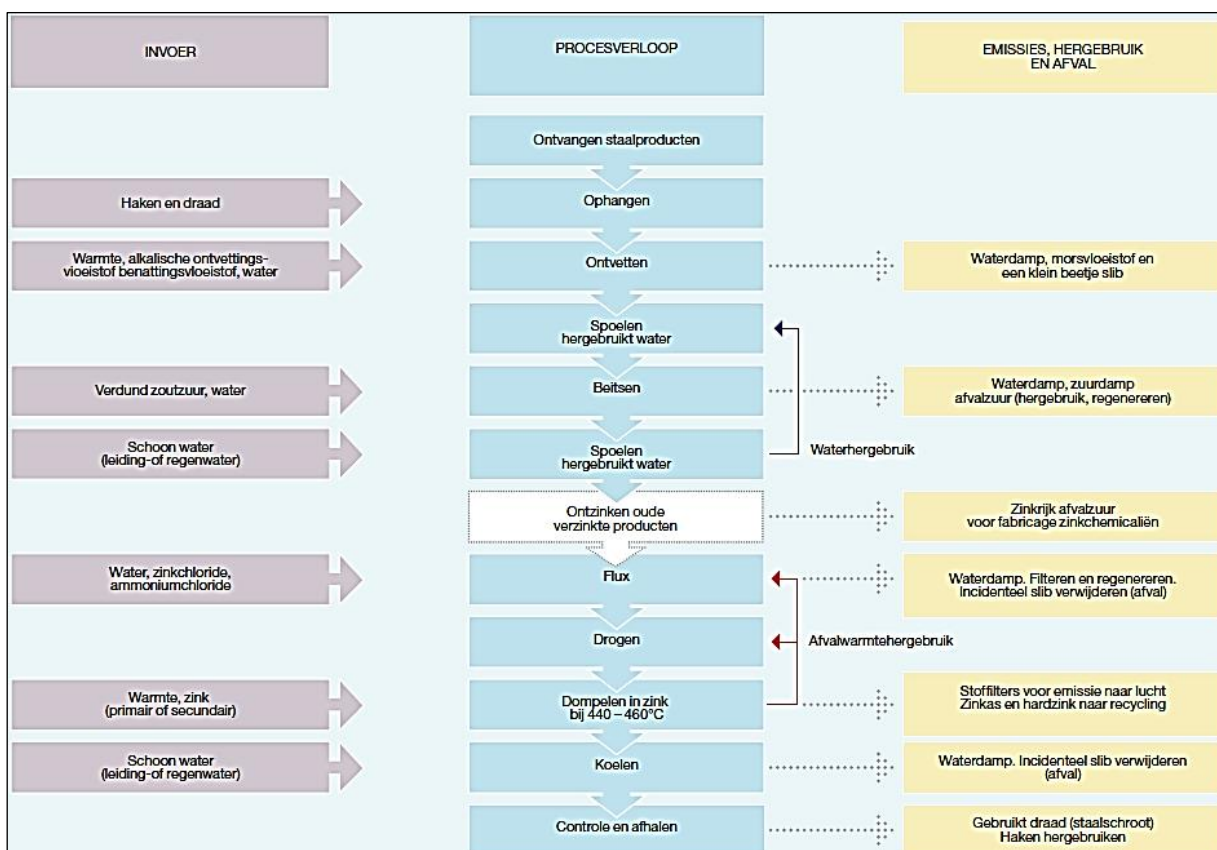
Tot slot wordt er nog vermeld dat het zinkbad verwarmd kan worden door gebruik te maken van inductie. Inductie is een goede manier om het bad gelijkmatig op te warmen, echter wordt deze slechts weinig toegepast in onze omgeving[62]. De hoge kostprijs van elektriciteit ten opzichte van aardgas is hiervoor een mogelijke verklaring.

II. Afval bij galvanisatie

II.1.1.1. Voorbehandeling

Alvorens het staal in het zinkbad gedompeld wordt, is het belangrijk om het staal vooraf te behandelen. Deze voorbehandeling omvat voornamelijk het reinigen van de stalen onderdelen. Ook in dit stadium van het productieproces is het van belang om milieubewust om te springen met de verschillende materialen, zoals onder andere de behandelingsvloeistoffen. Als voorbeeld kunnen de zoutzuuroplossingen, welke gebruikt worden voor het reinigen van het staal, gebruikt worden bij de productie van ijzerchlorides. Ook deze ijzerchlorides kunnen op hun beurt weer gerecycleerd worden. In Figuur II-1 worden enkele recycling- of regeneratietrajecten binnen de verzinkerij weergegeven[42].

Zoals te zien op Figuur II-1 komt water frequent terug. Dit is niet in verhouding met de hoeveelheid afvalwater, die de verzinkerijen lozen. Het afvalwater kan immers behandeld worden en zo grotendeels hergebruikt worden[42].



Figuur II-1 Regeneratietraject binnen de verzinkerij [42]

11.2. Productieproces

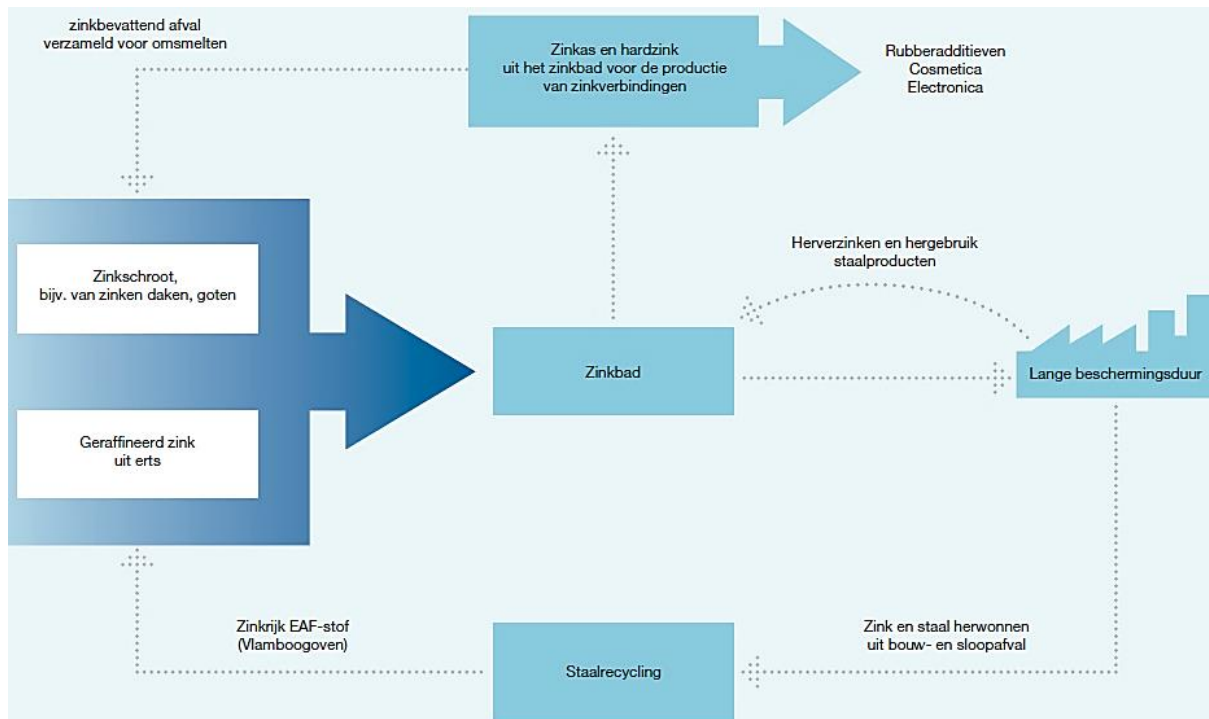
Voordat de elementen in het zinkbad gedompeld worden, worden deze opgebonden door middel van een staaldraad. Na gebruik wordt de staaldraad gerecycleerd door deze af te voeren naar een schroothandelaar. Het gereedschap, dat gebruikt werd voor het aanbinden, kan hergebruikt worden na een ontzinking[63].

In het zinkbad worden er onder andere ijzeren elementen behandeld. Enkele ijzerelementen kunnen hierbij in oplossing gaan, wat leidt tot een bepaalde hoeveelheid zink-ijzerlegering. Deze legering heeft een hoger smeltpunt en is zwaarder dan het overige gedeelte van het zinkbad. Door de eigenschappen van deze legering ontstaan kristallen, ook wel hardzink genoemd, in het gesmolten zink. De kristallen zijn zwaarder dan het vloeibare zink en zakken naar de bodem van het zinkbad. Op de bodem van het zinkbad, waar zich een laagje lood bevindt, worden de kristallen verzameld. Het hardzink zal op deze loodlaag blijven liggen, waardoor een periodieke reiniging mogelijk is[63]. Merk op dat Galva Power geen gebruik maakt van lood, maar hiervoor een alternatief gebruikt: bismut en aluminium. Lood wordt omwille van gezondheidsredenen uit het productieproces geweerd[64].

Aan het oppervlak van het zinkbad zullen zich zinkassen vormen, welke een direct gevolg zijn van de oxidatie tussen het zink en de lucht. Na iedere onderdompeling worden deze manueel van het oppervlak verwijderd. Het hardzink kan samen met de zinkassen gerecycleerd worden. Ze bevatten immers een grote concentratie aan zink, namelijk een concentratie van 80% à 90% [63][42].

De elementen, die gegalvaniseerd dienen te worden, bevatten in sommige gevallen vocht. In de industrie wordt getracht dit te allen tijde te vermijden. Het water in de constructie wordt omgevormd tot stoom, wat gepaard gaat met een enorme volumevermeerdering. De stoom tracht te verdampen, wat leidt tot zinkspatten aan het oppervlak van het bad. Door de elementen te drogen, kan de vorming van dergelijke zinkspatten vermeden worden[55]. Het is echter een utopie om te veronderstellen dat de stukken 100% droog zullen zijn. Het fenomeen 'zinkspatten' zal aldus niet geweerd kunnen worden uit het proces, maar er kan wel getracht worden om dit te beperken tot een minimum. Omwille van deze reden is het belangrijk dat de directe omgeving omheen het zinkbad zuiver blijft. De zinkspatten kunnen hierdoor gerecupereerd worden zonder dat de kwaliteit van het materiaal in het zinkbad afneemt[55].

11.3. Recyclage



Figuur 11-2 Traject van gerecycleerd zink [42]

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen volgende zinkbronnen voor het verzinkingsproces: primair (geraffineerd) zink, dat bestaat uit gewonnen erts en gerecycleerd materiaal, alsook omgesmolten zink. Het geraffineerde zink bevat gemiddeld 10-15% gerecycleerd materiaal[42].

Momenteel komt ongeveer 70-75% van het zink van de primaire raffinage van zinkerts (waarvan 40% uit gerecycleerde bronnen) en ongeveer 25-30% rechtstreeks van gerecycleerd zink. Dit is 60-80% van het voor recyclage beschikbare zink[42][65].

11.3.1. Recyclage van verzinkt staal

Verzinkt staal kan opnieuw gerecycleerd en omgesmolten worden. Vanwege de lange levensduur van staal is er slechts een beperkte aanvoer van schroot. Hieruit volgt dat de zinkproductie nog steeds afhankelijk is van een significant aandeel aan primaire productie. Daarbij heeft staal echter wel een zeer hoge recovery rate: circa 85% in de bouwsector.

Zink kan op verschillende manieren gerecycleerd of hergebruikt worden:

- 1) Tijdens de staalproductie
- 2) Via hydrometallurgische technieken
- 3) Refurbishing

B.M. Tieman stelde in 2008 een inventaris op van de uitgevoerde onderzoeken omtrent de terugwinning van zink bij de recyclage van verzinkt staal[66]. Dit rapport omvat een groot deel van de mogelijke terugwinningsprocessen. Het ligt echter niet binnen het kader van deze masterproef om deze processen uitvoerig te beschrijven. De voornaamste processen worden echter wel kort vermeld.

11.3.1.1. Blast Oxygen Furnace (BOF)

Thermisch verzinkt staal kan niet zomaar in de hoogoven aangebracht worden. Zinkdampen kunnen plots en onverwacht in hoge concentraties vrijkomen, wat schadelijk is voor het personeel. Er kan worden besloten dat het in hoogovenproces geproduceerd ruwijzer niet meer dan 150 gram zink per ton mag bevatten. De rookgasstoffen worden opgevangen in een hydrocycloon-batterij en worden vervolgens gescheiden in zinkrijke en zinkarme fracties. De zinkarme fractie wordt wederom in het proces ingevoerd. De zinkrijke fractie wordt daarentegen verder verwerkt en tot slot als zinkhoudend slib teruggewonnen[67]. Europa is jaarlijks verantwoordelijk voor ongeveer 1,5 Mt BOF-stof en 1,2 Mt BOF-sludge[66].

11.3.1.2. Electric Arc Furnace (EAF)

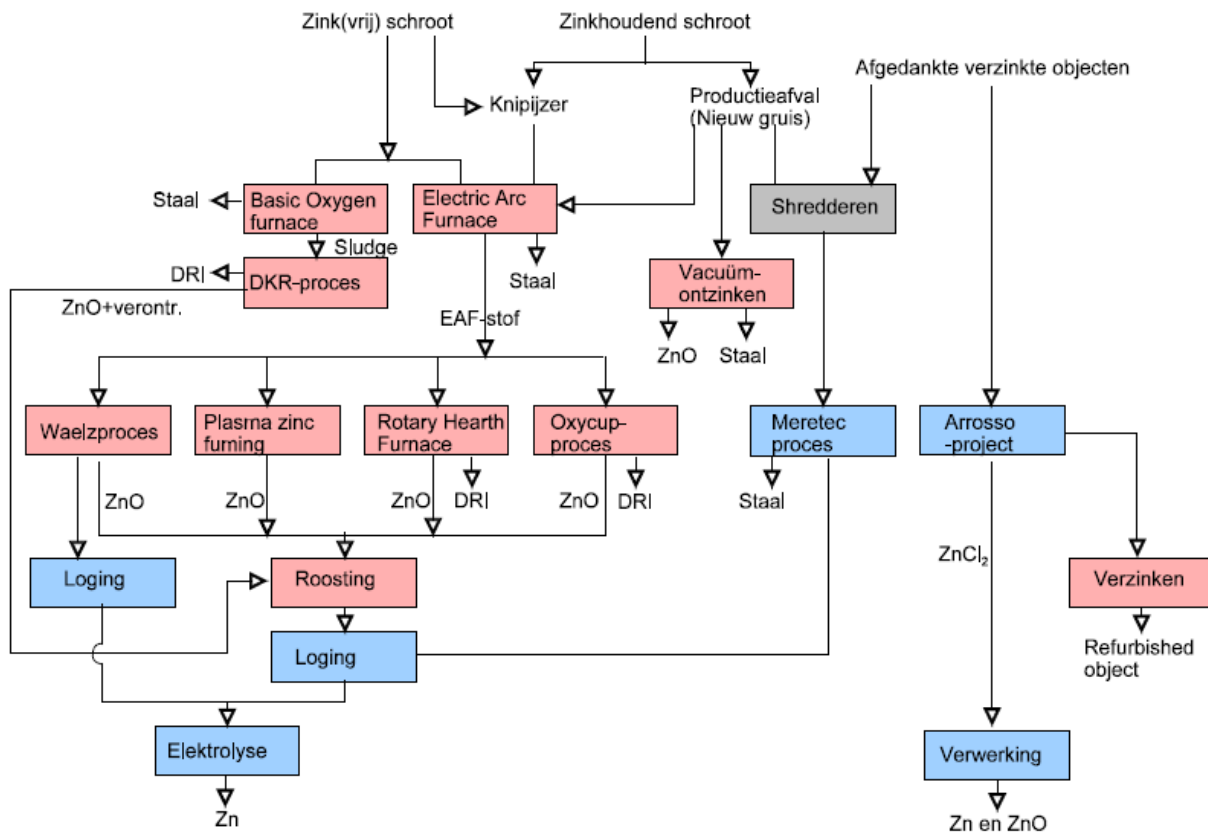
Zink vervliegt snel in een vlamboogoven en er wordt Electric Arc Furnace stof (EAF-stof) gevormd. Door het stof opnieuw in te brengen in de EAF, kan de zinkinhoud oplopen tot 40%[42]. International Lead and Zinc Study Group geeft aan dat het EAF-stof gemiddeld 25% zink bevat[65]. Dit wordt vervolgens gerecycleerd en gebruikt voor de productie van primair zink. De Europese staalindustrie produceerde zo in 2006 1 290 750 ton EAF-stof, dat 296 872 ton zink bevatte. Hiervan werd een significante 93% gerecycleerd. Er kan worden opgemerkt dat het wereldwijde recyclagepercentage van 40-47% beduidend lager ligt[42][65].

Er bestaan verscheidene pyro- en hydrometallurgische processen met zinkrecuperaties, variërend van 60% tot 94%. Het resterende zink blijft achter in de slak. 80% van de zinkverwerking in Europa gebeurt via het pyrometallurgische Waelz-Kiln proces. Met een zinkrecuperatie van 62% is dit echter niet het meest efficiënte proces. Andere processen, zoals de Rotary Hearth Furnace (RHF) en Top Submerged Lance, hebben een grotere efficiëntie, respectievelijk 92% en 68,8-72,8%. Beide processen zijn echter niet royalty-free en zijn bijgevolg economisch niet interessant[67]. Momenteel zijn er geen andere processen, die beduidend efficiënter, betrouwbaarder en economischer zijn dan het Waelz-Kiln proces. Hierdoor blijft het de meest gehanteerde techniek. Europa heeft acht EAF-stof verwerkingsfabrieken met een capaciteit van 1 000 000 ton/jaar, die gebruik maken van het Waelz-Kiln proces[65].

Het Waelz-Kiln proces werd ontwikkeld in 1910. Het EAF-stof wordt gemengd met zand en cokes, waarna het materiaal in een cementoven opgewarmd wordt tot 1300°C. Gedurende dit proces worden ijzer-, zink- en loodverbindingen gereduceerd. Zink en lood verdampen verder en via het inbrengen van zuurstof worden zink- en loodoxiden gevormd. Deze oxiden worden tot slot in de rookgasreiniging opgevangen als Waelz-oxide[67]. Het Waelz-oxide wordt verder verwerkt bij zinkproducenten zoals Nyrstar, Umicore enzovoort.

11.3.1.6. Overzicht

Figuur 11-4 geeft een overzicht van de belangrijkste recycling processen, die worden aangehaald door Drs. B.M. Tieman[66].



Figuur 11-4 Overzicht van de belangrijkste recycling processen [66]

11.3.2. Impact van recyclageprocessen

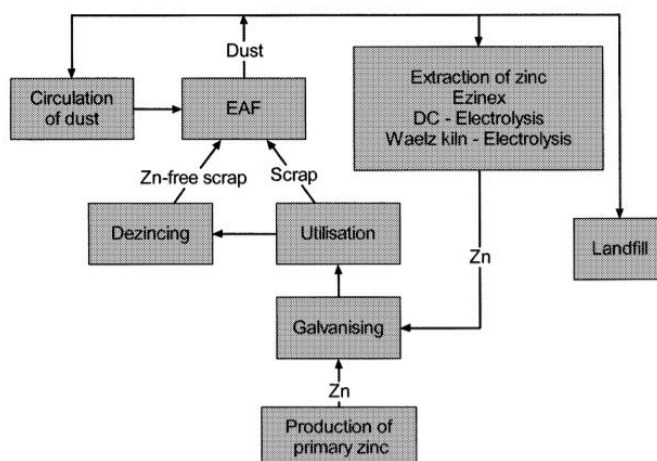
Zoals reeds werd aangehaald, is het Waelz-Kiln proces de meest toegepaste techniek omtrent de verwerking van EAF-stof. Om deze reden wordt de impact, betreffende de CO₂-emissies voor dit proces, meer in detail besproken. De andere processen, zoals bijvoorbeeld de RHF, zijn in deze paragraaf niet aan de orde.

11.3.2.1. Studie I: Viklund-White

In 1999 stelde Christina Viklund-White een LCA op omtrent de evaluatie van de recyclageprocessen voor thermisch verzinkt staal[45]. Hierbij werd een onderscheid gemaakt tussen enerzijds het ontzinken van de elementen alvorens het versmelten en anderzijds de recuperatie van zink uit het EAF-stof. Het ontzinken kan gebeuren op basis van verdamping of hydrometallurgische processen. Figuur 11-5 geeft de procesroutes en systeemvoorwaarden weer. Hierbij valt op te merken dat ook andere technieken dan het Waelz-Kiln proces, zoals EZINEX en DC-furnace, worden onderzocht. Deze overige technieken worden echter niet verder besproken.

Er wordt verondersteld dat het zink, geproduceerd door alle processen, van gelijke kwaliteit is. De milieu-impact van de staalproductie wordt niet in rekening gebracht, aangezien deze constant wordt geacht over het volledige traject. Daarbij dient echter opgemerkt te worden dat de locatie van de staalfabriek een zekere invloed heeft, aangezien de afstand tot de ontzinking en de EAF-stof verwerking hiervan afhankelijk is. Eveneens wordt om dezelfde reden het galvanisatieproces niet in rekening gebracht. Er worden echter wel cradle-to-gate data gebruikt voor additieven in de verschillende processen.

Steelmaking	EAf in Denmark
Scrap	28% galvanised scrap with 12.69 kg Zn per ton steel
Process options	1. Landfilling recirculation 2. Zinc extraction from dust a. EZINEX b. Waelz kiln - electrolysis c. DC-furnace – electrolysis 3. Zinc extraction by dezincing of scrap
Primary zinc	Weighed average between hydro- and pyrometallurgical production of zinc in Europe (85%-15%)



Figuur II-5 Procesroutes en systeemvoorwaarden [70]

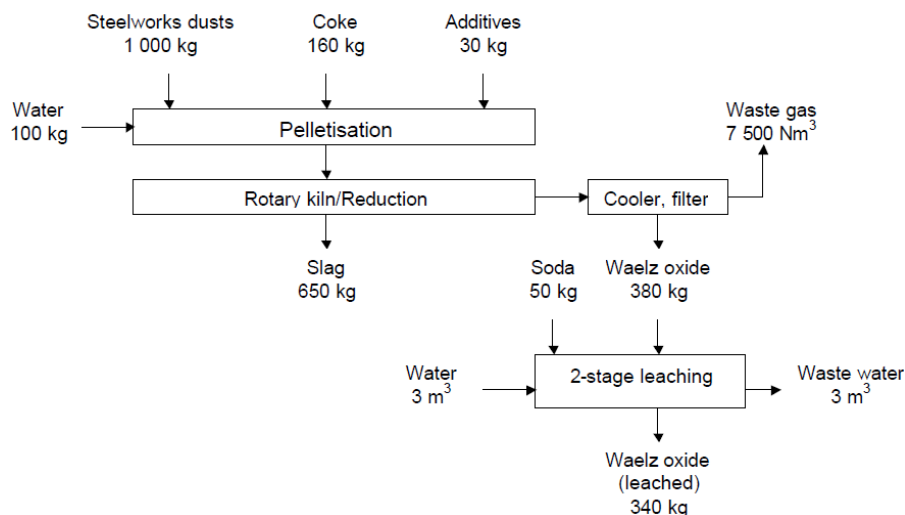
Voor deze studie wordt uitgegaan van de zinkproductie in Noord-Amerika en Noord-Europa, waarbij in Europa 85% geproduceerd wordt via een hydrometallurgisch proces en 15% via het pyrometallurgisch Imperial Smelting Process. De gebruikte data bestaan uit een gewogen gemiddelde van deze twee processen en van de geciteerde geografische locaties. Het zinkerts bevat 6% zink, waaruit een zinkconcentraat van 56,6% wordt verkregen. Door gebruik te maken van een recirculatie van het stof doorheen het proces, heeft het behandelde EAF-stof een zinkinhoud van 35%. Op deze manier wordt het rendement verhoogd ten opzichte van installaties, die geen gebruik maken van recirculatie. Gemiddeld gezien kan gesteld worden dat EAF-stof een zinkinhoud heeft van 25%[65].

De data omtrent de primaire productie van zink zijn afkomstig van het International Zinc Association en zijn representatief voor de periode van 1994-1995 in West-Europa. Industriële data worden gehanteerd voor het Waelz-Kiln proces. Inventory data voor de energieproductie en het transport zijn geaggregeerde gegevens van ETH-Zürich, welke deel uitmaken van de DEAM database van de LCA software 'TEAM'. De data voor de additieven zijn ook afkomstig van de DEAM database.

Een beperking van dit onderzoek is echter dat de afvalproductie samen met de uitstoot van metalen in de atmosfeer en in het water niet zijn opgenomen in dit onderzoek. Deze data zijn niet compleet en zouden bijgevolg incorrecte resultaten geven. Ze zouden een verdere stijging op de milieu-impact veroorzaken.

11.3.2.2. Studie 2: Krüger

In 2001 voerde Prof J. Krüger onderzoek naar onder andere het Waelz-Kiln proces[71]. Hierin werd nagegaan wat de energieconsumptie, het materiaalverbruik en de uitstoten van het Saage Dittrich Hasche Langbein (SDHL) proces zijn. Figuur 11-6 geeft een schematische voorstelling van het desbetreffende proces weer. Dit geeft aan dat 1 ton EAF-stof verantwoordelijk is voor 340 kg Waelz-oxide. Deze oxide bevat gemiddeld 62% zink, waaruit besloten kan worden dat 340 kg Waelz-oxide verder verwerkt kan worden tot 210,8 kg zink. Tabel 11-1 geeft een overzicht van het primair energieverbruik en de uitstoten tijdens de verwerking van het EAF-stof tot Waelz-oxide



Figuur 11-6 Schematische weergave van Waelz-Kiln proces [71]

Tabel 11-1 Primair energieverbruik en uitstoten van Waelz-Kiln proces [71]

Primary energy requirement (GJ)											
Process energy						5,84					
Operating materials						0,15					
Transport						0,33					
Total						6,32					
Atmospheric emissions											
	N/m ³	Dust	Zn	Cd	g/t feed material			CO	NO _x	HC	t/t CO ₂
					Pb	SO _x					
Process	7 500	15	8	< 0,1	2	750-2000	750*	150	150*	0,53	
Transport	215	40					240	210	65	0,04	
Energy/operating material supply.	400	127				250	220	355	35	0,12	
Total	8 115	182	8	< 0,1	2	1000-2250	1210	715	250	0,69	
Residual materials and by-products per t feed material											
Process	Slag from the Waelz process					650 kg					
	Active coke, charged					< 1 kg					
Energy supply for gypsum for flue gas desulphurisation						1.3 kg					
	Ash					3.3 kg					
Waste water											
Quantity m ³ /t feed material		g/t feed material									
		Zn			Pb	Cd			Cl		
3		3			< 2	< 0.5			17 000		

* Estimated value

II.3.2.3. Vergelijking

Om een beter beeld te krijgen van de resultaten van de twee vermelde studies, wordt een vergelijking opgemaakt. Hierin wordt de invloed van onder andere de zinkinhoud duidelijk aangekaart. Vanwege de recirculatie in de LCA studie van C. Viklund-White, bedraagt de zinkinhoud van het EAF-stof 35% [70]. Dit staat tegenover de zinkinhoud van 20%, welke wordt aangereikt door Prof J. Krüger [71].

Tabel II-2 geeft de belangrijkste resultaten van beide studies weer. C. Viklund-White houdt geen rekening met transport binnen het Waelz-Kiln proces, waardoor de resultaten van J. Krüger op dezelfde manier verwerkt worden. Om het primair energieverbruik om te rekenen naar een CO₂-equivalent wordt rekening gehouden met een onbekende stroombron. De conversiefactor bedraagt vervolgens 0,355 kg CO₂/kWh, waardoor de milieulast bepaald kan worden [72]. C. Viklund-White geeft geen exacte waarde aan voor het aantal kilogram CO₂ per ton EAF-stof of per ton zink. Hiervoor dient dus een conversiefactor van 0,355 kg CO₂/kWh gebruikt te worden. J. Krüger rapporteert echter dat 1 ton EAF-stof 650 kg CO₂ bevat. Hiervoor kan handmatig een conversiefactor berekend worden, namelijk de verhouding van het primair energieverbruik in kWh tot de CO₂-hoeveelheid. Dit geeft een conversiefactor van 0,391 kg CO₂/kWh, wat aantoont dat de voorgaande waarde aannemelijk is.

Om de invloed van de zinkinhoud van het EAF-stof te benadrukken, worden de resultaten van J. Krüger verwerkt met een zinkinhoud van 35% in plaats van 20%. Het primaire energieverbruik gedurende het proces blijft immers hetzelfde. Het rendement daarentegen zal aanzienlijk stijgen, waardoor de CO₂-impact per ton zink significant zal dalen. Een stijging van de zinkinhoud met 15% geeft een daling van 1,26 ton CO₂/ton zink. Dit geeft aan dat de aanwezigheid van de recirculatie van EAF-stof een cruciale rol speelt binnen dit proces en dat dergelijke data met enige omzichtigheid benaderd dienen te worden. Tot slot wordt voor de gemiddelde zinkinhoud van 25% een waarde uitgezet, die gebruikt zal worden om de volgende stappen in deze thesis te begroten.

Tabel II-2 Vergelijking studies in verband met Waelz-Kiln

Gegevens volgens	Viklund-White		Krüger (1)		Krüger (2)		Krüger (3)
% zink in het stof	35,00	%	20,00	%	35,00	%	25,00 %
Primaire energie/ton stof	6053,00	MJ	5990,00	MJ	5990,00	MJ	5990,00 MJ
	1681,39	kWh	1663,89	kWh	1663,89	kWh	1663,89 kWh
Primaire energie/ton zink	18014,00	MJ	29950,00	MJ	17114,29	MJ	23960,00 MJ
	5003,89	kWh	8319,44	kWh	4753,97	kWh	6655,56 kWh
kg CO ₂ /ton stof	596,89		650,00		650,00		650,00
kg CO ₂ /ton zink	1776,38		2953,40		1687,66		2362,72
ton CO ₂ /ton stof	0,60		0,65		0,65		0,65
ton CO ₂ /ton zink	1,78		2,95		1,69		2,36

12. EPD – Hot Dip Galvanizing

EGGA, European General Galvanizers Association, ontwikkelde in 2016 een Europese Life Cycle Inventory studie van een gemiddeld thermisch verzinkt stalen element. Hieruit ontstaat een dataset voor het “hot dip galvanizing” of discontinu verzinken, gebaseerd op gegevens conform EN ISO 14040/14044. Het discontinu verzinken wordt toegepast in overeenstemming met de eisen, opgesteld in EN ISO 1461. Life Cycle Engineering, een Italiaans consulting bureau, ontwikkelde op deze manier een sectorale EPD[73].

12.1. Methodologie

De EPD omvat 1 Mt aan productiemateriaal en 19% van EGGA's leden. Er werden data verzameld van 66 bedrijven, verspreid over 14 Europese landen. De meeste zinkbaden worden met aardgas en uitzonderlijk met LPG of elektriciteit verwarmd.

De meting van de milieuprestaties werd uitgevoerd conform de eisen, opgesteld door het International EPD system: PCR 2011:16 “Corrosion protection of fabricated steel products” v2.1. Aansluitend voldoet de methodiek ook aan de International Standard ISO 14040 serie omtrent Life Cycle Assessment. De resultaten worden weergegeven voor een stalen plaat van 1 m² met een dikte van 8 mm, zinklaagdikte van 85 µm en een beschermingsduur van 1 jaar. Tabel 12-1 geeft een overzicht van de gegevens weer.

Tabel 12-1 Overzicht gegevens Environmental Product Declaration [73]

Substrate	steel plate of dimension 1m x 1m x 8mm and weight 62.4 kg
Galvanized coating thickness	85 microns (2% in mass)
Exposure environment	Category C3 (as defined in PCR) with average zinc corrosion rate of 1.35 microns/year
Predicted maintenance-free coating life	Minimum of 63 years
Units (results)	Burdens per year of protection

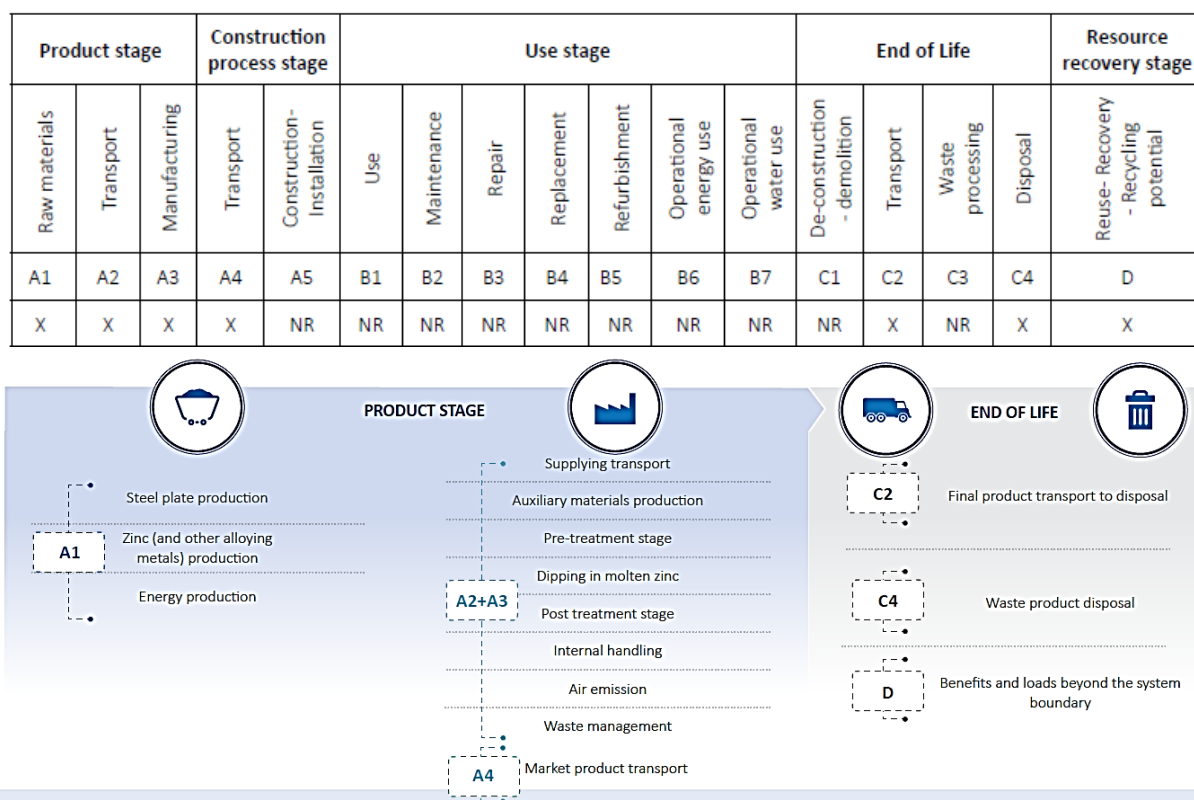
De weergegeven data houden in eerste instantie geen rekening met eventuele recyclage zoals bijvoorbeeld het gebruik van schroot bij de staalproductie. Dit wordt echter wel opgenomen in een apart onderdeel: Module D. Hierin wordt echter geen recyclage en/of verwerking van thermisch verzinkte elementen opgenomen. Er is onvoldoende informatie omtrent deze recyclageprocessen om de berekening van een credit toe te staan in een gecertificeerde EPD. Daarbij wordt deze EPD opgesteld voor een ‘gemiddeld’ product op de Europese markt en is het moeilijk om een betrouwbare ‘gemiddelde recycling rate’ op te stellen.

Volgens Murray Cook, Executive Director van EGGA, houdt de EPD echter wel rekening met de met volgende LCI data voor het zink:

- 1) omgesmolten zink, wat door de verzinkerijen rechtstreeks wordt aangekocht van recyclagebedrijven, die schroot omsmelten. Dit omgesmolten zink is onder andere afkomstig van daken en goten. Daarnaast is voor de productie van 1 kg omgesmolten zink slechts 2,5 MJ nodig[74]. Het Global Warming Potential bedraagt in dit geval 0,1268 kg CO₂-eq/kg zink[71].
- 2) primair zink, verkregen van zinkproducenten. Het teruggewonnen zink uit het EAF-stof wordt meestal reeds door deze primaire zinkproducten verwerkt, waar het de zinkconcentraten aanvult. Het primair zink bevat bijgevolg gemiddeld 10-15% gerecycleerd zink, afkomstig uit het EAF-stof. Deze impact wordt reeds opgenomen in de LCI data van het primaire zink.

12.2. Overzicht proces

Figuur 12-1 geeft een kort overzicht van het proces van de desbetreffende stalen plaat en de bijhorende thermische verzinking. Met “NR” wordt aangegeven welke onderdelen niet relevant zijn voor dit onderzoek. Er valt op te merken dat er geen rekening wordt gehouden met onder andere de plaatsing, het onderhoud, de herstellingen alsook de ontmanteling.



Figuur 12-1 Overzicht proces [73]

12.3. Resultaten

Tabel 12-2 geeft de resultaten van de EPD omtrent de milieu-impact weer. Zoals reeds werd opgemerkt, worden deze resultaten per jaar bescherming en in functie van de hoeveelheid gebruikt materiaal uitgedrukt. Om een correcte vergelijking in CO₂-emissies per kg materiaal te verkrijgen, dient een omrekening uitgevoerd te worden met een levensduur van 63 jaar alsook met een gewicht van 62,4 kg staal en 1,248 kg zink. Deze resultaten worden weergegeven in Tabel 12-3. De bijdrage van het verzinkingsproces omvat uitsluitend de productiestappen, die genomen worden in de loonverzinkerij. Hierbij dient bijgevolg geen omrekening uitgevoerd te worden in functie van de levensduur, maar echter wel met het aangebrachte zinkgewicht. Tot slot dient hierbij de impact van de productie van primair zink opgeteld te worden om een gehele impact van het verzinkingsproces te verkrijgen.

Tabel 12-2 Resultaten Environmental Product Declaration [73]

 ENVIRONMENTAL IMPACT PARAMETERS	MANUFACTURING		END OF LIFE		D Benefits and loads beyond the system boundary*	Contribution from galvanizing process [EN ISO 1461]
	A1 - A3 Product stage	A4 Distribution	C2 Product Waste transport	C4 Product Disposal		
Global Warming Potential, GWP [g CO ₂ eq]	2577,04	10,71	10,5	0,41	-1197,83	122,30
Ozone Depletion Potential, ODP [g CFC-11 eq]	5,33	0,06	0,06	<0,01	-0,96	1,05
Photochemical Ozone Creation, POCP [g C ₂ H ₄ eq]	0,09	0,01	0,01	<0,01	0,28	0,09
Acidification Potential, AP [g SO ₂ eq]	1,02	<0,01	<0,01	<0,01	-0,52	0,04
Eutrophication Potential, EP [g PO ₄ ³⁻ eq]	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<-0,01-	<0,01
Depletion of abiotic resources-elements, ADP-elements [g Sb eq]	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Depletion of abiotic resources-fossil, ADP-fossil fuels [MJ]	27,98	0,14	0,14	<0,01	-9,24	1,55

Tabel 12-3 Omgerekende resultaten Environmental Product Declaration [73]

	A1-A3 Product stage	D Bijdrage recyclage	Bijdrage verzinkingsproces
kg CO ₂ -eq per kg material	2,582	-1,210	0,098

Het “Life Cycle Assessment Methodology Report” van World Steel uit 2011 geeft data met dezelfde grootteorde weer. De data zijn gebaseerd op het wereldwijde gemiddelde, rekening houdend met cradle-to-gate, al dan niet inclusief recyclage met een RR van 85%. Tabel 12-4 geeft een overzicht van deze LCA[75].

Tabel 12-4 Life Cycle Assessment resultaten World Steel [75]

		PED MJ	GWP kg CO ₂ e	AP kg SO ₂ e	EP kg phosphate e	POCP kg ethene e
Hot-dip galvanized steel, 1 kg	Cradle-to-gate	27.5	2.5	0.0074	0.00048	0.0012
	Including recycling	17.5	1.3	0.0047	0.00041	0.00061
	Recycling benefit	-10.0	-1.2	-0.0027	-0.00007	-0.00059

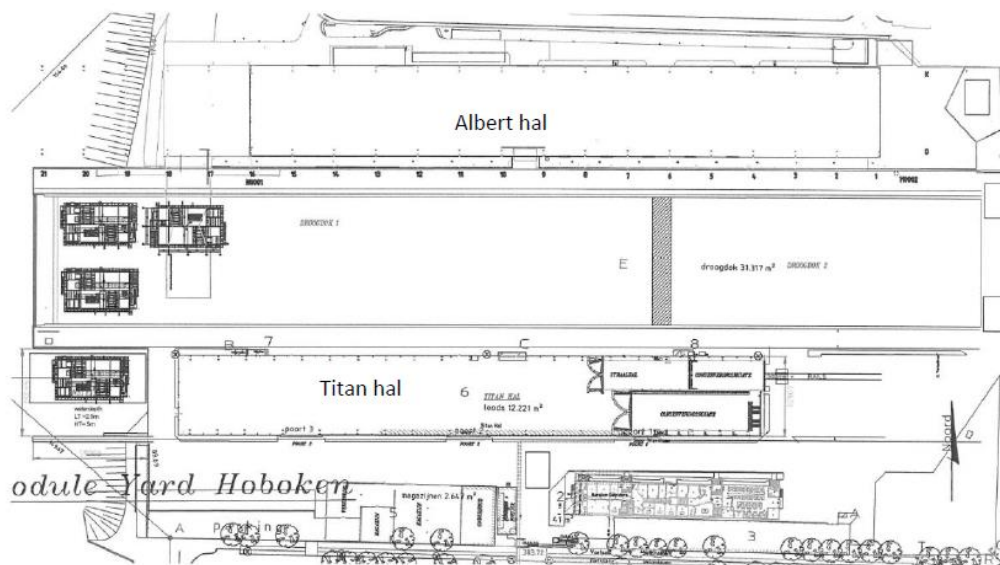
IV. Smulders Projects Belgium

13. Voorstelling Smulders

Smulders Projects Belgium (SPB) maakt deel uit van de Smulders Groep samen met Iemants, Willems en Spomazs in Polen. Deze samenwerking biedt de mogelijkheid om internationale projecten te verwerken.

Smulders specialiseert zich in de productie en assemblage van voornamelijk offshore projecten. Dankzij de aanwezigheid van verschillende hijsinstallaties alsook een droogdok aan de schelde beschikt Smulders over de mogelijkheid om zeer grote stukken te verwerken. Het bedrijf staat dan ook in voor de assemblage van deels afgewerkte stukken, die in de overige vestigingen in België gemaakt worden. Concreet voor deze masterproef vormt het feit dat Smulders wekelijks een viertal Transition Pieces realiseert, een uiterst belangrijk en interessant aspect.

De faciliteit van de site te Hoboken biedt 30 000 m² overdekte productieruimte met onder andere verschillende straal- en spuithallen. De twee grote hallen hebben een hoogte van minstens 20 m en zijn binnenin niet ingedeeld, wat toelaat om de productieruimte aan te passen aan de stukken, die verwerkt moeten worden. In Figuur 13-1 wordt een grondplan weergegeven van de site van Smulders te Hoboken.



Figuur 13-1 Grondplan Smulders te Hoboken [76]

De Albert Hal (14 711 m²) en Titan Hal (12 221 m²) zijn beiden voorzien van afgeschermd straal- en spuithallen. De Blauwe hal (2100 m²) wordt als spuithal gebruikt.

14. Energiebeheer en CO₂-emissies Smulders

Volgende gegevens zijn gebaseerd op een energiescan van Smulders, uitgevoerd in 2015 door Envicas en Raco studiebureau[76]. Uit dit uitgebreid aanbod aan gegevens worden enkel deze, relevant aan het onderwerp van deze masterproef, vermeld. Deze informatie wordt verder aangevuld door gegevens van Smulders, waar nodig[77][78].

De gebruikte gegevens dateren van 2014 en 2015, waardoor ze niet het huidige energieverbruik en de CO₂-emissies van Smulders weergeven, maar hiervan wel een realistisch beeld scheppen. Daarbij worden deze resultaten aangevuld met een overzicht van de maatregelen, die Smulders sinds 2014/2015 doorvoerde of onderzocht.

14.1. Installaties

14.1.1. Perslucht

Smulders past perslucht toe bij het stralen en verven van de geproduceerde elementen. Er wordt gebruik gemaakt van perslucht aan 9,5 bar. In Tabel 14-1 wordt een indeling van de aanwezige compressoren weergegeven.

Tabel 14-1 Aanwezige compressoren [76]

Locatie compressor	Vermogen
Albert hal	557,5 kW
Titan hal	356 kW
Blauwe hal	120 kW
Totaal	813 kW

14.1.2. Rolbruggen

Er zijn verscheidene kranen en hijsbruggen aanwezig in de productieruimte om de werkstukken te verplaatsen. Deze hebben een gezamenlijk vermogen van 2242 kW, maar worden echter niet continu gebruikt. De portaalkraan Titan wordt daarentegen wel doorgaans gebruikt en deze wordt gekenmerkt door een individueel vermogen van 1151 kW.

14.1.3. Metaalbewerking

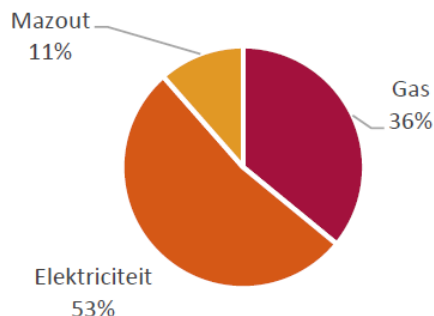
Tijdens de productie wordt gebruik gemaakt van verschillende metaalbewerkingsmachines. Deze worden op regelmatige wijze belast en hebben een gezamenlijk vermogen van 125,6 kW.

14.2. Analyse energieverbruik

In de uitgevoerde energiescan zijn de verbruiksgegevens van Smulders in 2014 opgenomen. Deze gegevens worden weergegeven in Tabel 14-2. In Figuur 14-1 wordt duidelijk dat het energieverbruik voor 53% uit elektriciteit bestaat en voor de overige 47% uit mazout en gas.

Tabel 14-2 Jaarlijks energieverbruik

Energiebron	Verbruik
Gas	5 330 066 kWh
Elektriciteit	7 795 211 kWh
Mazout	160 091 L 1 703 368 kWh
Totaal	14 828 645 kWh

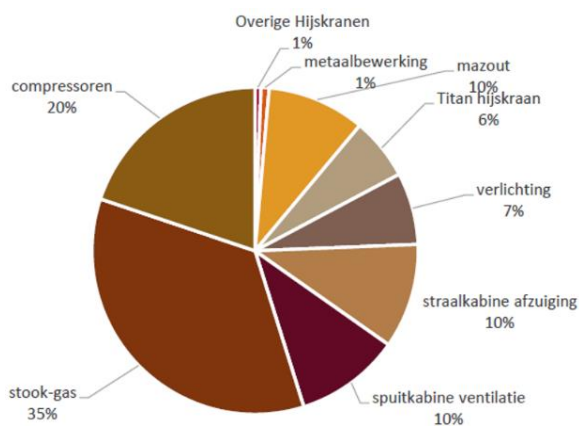


Figuur 14-1 Jaarlijks energieverbruik [76]

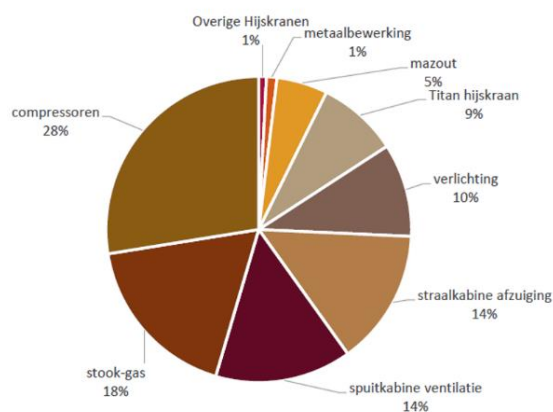
Omgezet naar primaire energie, levert dit – met een conversiefactor van 2,5 voor elektriciteit – een totaal primair energieverbruik van 26 521 462 kWh op.

14.2.1. Energiebalans

Bij het opmaken van de energiebalans wordt rekening gehouden met een schatting van de draaiuren van de verschillende verbruikers. Op deze manier wordt de werkelijkheid zo nauwkeurig mogelijk benaderd. In Figuur 14-2 en Figuur 14-3 wordt een overzicht gegeven van het aandeel van iedere verbruiker tot het totale energieverbruik. Hieruit blijkt dat verwarming en de verschillende spuit- en straalinstallaties het grootste verbruik vertegenwoordigen. Er valt echter op te merken dat bij de energiebalans in functie van de energieprijzen het elektriciteitsverbruik een significant groter aandeel bezit ten opzichte van de energiebalans in functie van kWh.



Figuur 14-2 Energiebalans per verbruiker in functie van kWh [76]



Figuur 14-3 Energiebalans per verbruiker in functie van € [76]

14.3. CO₂-Emissies

De gegevens uit '14.2 Analyse energieverbruik' geven een duidelijk overzicht van het jaarlijks energieverbruik van Smulders. Om de CO₂-emissies en de oorsprong ervan nauwkeuriger in kaart te brengen, zijn echter meer diepgaande gegevens nodig. Deze zijn terug te vinden in de emissie-inventarissen van 2014 en 2015 van Smulders[77]. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen scope 1, 2 en 3 emissies, zoals reeds vermeld bij de CO₂-prestatieladder in '3.1.3 CO₂-emissie-inventaris'. In Tabel 14-3 worden de scope 1 en 2 emissies van 2015 weergegeven.

Tabel 14-3 Overzicht Scope 1 en Scope 2 CO₂-emissies [77]

Scope	Item	Unit	Conversionfactor unit to kg CO ₂ -eq.	Data	Ton CO ₂ -eq.
1	Gas consumption for heating <i>natural gas</i>	m ³	1,884	620 936	1169,84
1	Gas consumption for welding <i>propane</i>	kg	2,974	49 716	147,86
1	Gas consumption for welding <i>acetylene</i>	kg	3,385	851	2,88
1	Gas consumption for welding <i>CO₂ + Euromix (15% CO₂)</i>	kg	1	15 147,5	15,15
1	Fuel consumption for transport of passenger <i>diesel</i>	L	3,2	28 544	91,34
1	Fuel consumption for transport of goods <i>diesel + fuel oil</i>	L	3,2	73 488	235,16
1	Fuel consumption for heating <i>fuel oil</i>	L	3,185	72 385	230,55
2	Electricity <i>gray</i>	kWh	0,526	4 992 379,3	2625,99
2	Electricity <i>wind</i>	kWh	0	3 467 530,5	0,00
2	Electricity <i>biomass</i>	kWh	0,189	38 786,7	7,33
2	Electricity <i>thermal</i>	kWh	0	15 514,7	0,00
2	Electricity <i>solar</i>	kWh	0	193 933,5	0,00
2	Business travel - plane <700km	km	0,297	0	0,00
2	Business travel - plane 700-2500km	km	0,2	66 896	13,38
2	Business travel - plane >2500km	km	0,147	0	0,00

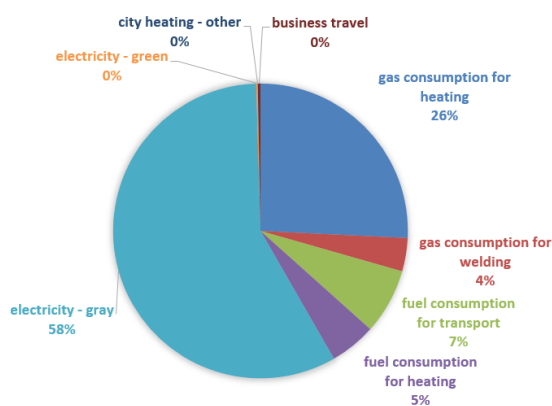
Het elektriciteitsverbruik bevat echter groene energie, aangekocht door leveranciers in het buitenland. SKAO geeft aan dat deze groenestroomcertificaten onvoldoende aangeven of er sprake is van een dubbeltelling. Als gevolg geeft Smulders een emissie-inventaris aan, waarin uitsluitend rekening gehouden wordt met groene energie, geproduceerd door Smulders zelf. De resterende energie wordt omgezet naar grijze energie. De totale grijze energie bedraagt in dit geval 7 795 211 kWh en is verantwoordelijk voor 4100,28 ton CO₂-eq.

Tabel 14-4 en Figuur 14-4 geven een samenvatting van het aandeel van ieder overkoepelend onderdeel in 2014 en 2015 weer. Uit deze gegevens kan worden nagegaan welke bronnen verantwoordelijk zijn voor de grootste CO₂-emissies. Er valt te besluiten dat elektriciteit de grootste CO₂-producent is.

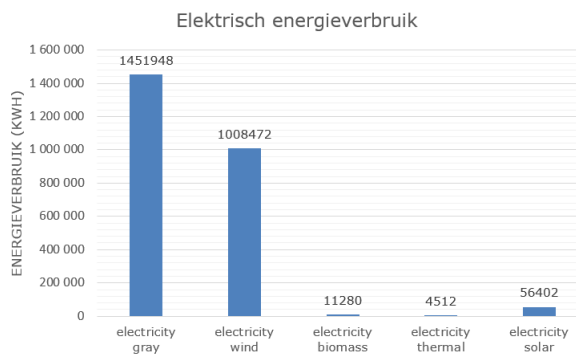
Hieruit kan bovendien worden afgeleid wat de oorsprong van de elektrische energie is. Een overzicht van het elektrisch energieverbruik wordt weergegeven in Figuur 14-5. Daarbij wordt duidelijk dat Smulders voornamelijk afhankelijk is van grijze energie, maar dat er ook een niet-verwaarloosbaar aandeel van windenergie is. Dit is echter, zoals reeds aangehaald, aangekocht door buitenlandse leveranciers.

Tabel 14-4 Samenvatting Scope 1 en Scope 2 CO₂-emissies [77]

		2014		2015	
		Ton CO ₂ -eq.	% CO ₂ -eq.	Ton CO ₂ -eq.	% CO ₂ -eq.
SCOPE 1	Gas consumption for heating	868,64	20,82%	1169,84	25,77%
	Gas consumption for welding	255,02	6,11%	165,88	3,65%
	Fuel consumption for transport	328,29	7,87%	326,50	7,19%
	Fuel consumption for heating	233,70	5,60%	230,55	5,08%
	SUM SCOPE 1	1685,66	40,40%	1892,78	41,70%
	Percentage of total scope 1	30,26%		34,59%	
SCOPE 2	Electricity - gray	2419,17	57,98%	2625,99	57,85%
	Electricity - green	66,45	1,59%	7,33	0,16%
	Business travel	1,38	0,03%	13,38	0,29%
	SUM SCOPE 2	2486,99	59,60%	2646,70	58,30%
	Percentage of total scope 2	40,98%		41,16%	
	SUM TOTAL	4172,65		4539,48	



Figuur 14-4 CO₂-emissies per bron [77]



Figuur 14-5 Elektrisch energieverbruik

Een samenvatting van de scope 3 emissies in 2014-2015 wordt weergegeven in Tabel 14-5.

Tabel 14-5 Scope 3 emissies [78]

Up/down	n°	Naam	Ton CO ₂ / jaar	%
Upstream	1	1. Aangekochte goederen en diensten	88 889	69,70%
Downstream	12	12. End-of-life verwerking van verkochte producten	13 460	10,55%
Downstream	9	9. Downstream transport en distributie	12 436	9,75%
Upstream	4	4. Upstream transport en distributie	5250	4,12%
Downstream	11	11. Gebruik van verkochte producten	3084	2,42%
Upstream	3	3. Brandstof en energie (niet in scope 1/2)	2424	1,90%
Upstream	8	8. Upstream geleaste activa	1212	0,95%
Upstream	5	5. Productieafval	779	0,61%
Upstream	2	2. Kapitaalgoederen	0	0,00%
Upstream	6	6. Business travel = scope 2	0	0,00%
Upstream	7	7. Woon-werkverkeer	0	0,00%
Downstream	10	10. Ver- en bewerken van verkochte goederen	0	0,00%
Downstream	13	13. Downstream geleaste activa	0	0,00%
Downstream	14	14. Franchisehouders	0	0,00%
Downstream	15	15. Investerings	0	0,00%
Totaal			127 534	

Hieruit blijkt dat de aangekochte goederen en diensten, end-of-life verwerking van verkochte producten alsook downstream transport en distributie de grootste scope 3 CO₂-emissies veroorzaken. Deze drie elementen worden in Tabel 14-6 verder onderverdeeld. Hieruit kan geconcludeerd worden dat staal als grondstof veruit de grootste scope 3 CO₂-emissies veroorzaakt.

Tabel 14-6 Belangrijkste Scope 3 bronnen [78]

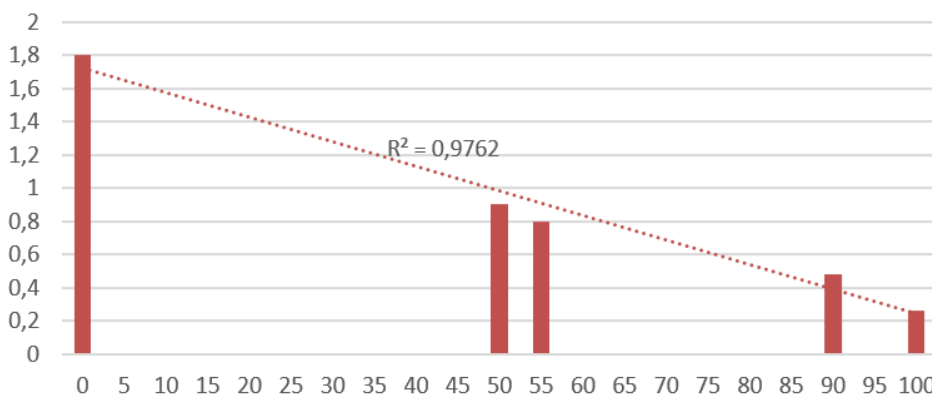
1. Aangekochte goederen en diensten	Ton CO₂ / jaar	%
Staal	63 921	71,91%
Onderaannemers	24 244	27,27%
Verf	717	0,81%
Grit	7,4	0,01%
12. End-of-life verwerking van verkochte producten	Ton CO₂ / jaar	%
Jackets, Transition Pieces	9422	70,00%
Jackets, topsides	2692	20,00%
Gebouwen, infrastructuur	1346	10,00%
9. Downstream transport en distributie	Ton CO₂ / jaar	%
Offshore transport	7747	62,29%
Niet-FQB-transport (Schelde binnenvaart)	4196	33,74%
Wegtransport	493	3,96%

14.4. Maatregelen CO₂-reductie

Sinds 2014 en 2015 heeft Smulders reeds zijn CO₂-emissie grondig onderzocht en zijn er maatregelen opgesteld, onderzocht en/of toegepast. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste maatregelen.

14.4.1. Staal

In het kader van de CO₂-reductie heeft Smulders een scope 3 ketenanalyse uitgevoerd op staal[79]. In Figuur 14-6 wordt een overzicht gegeven van de CO₂-emissies in functie van het aandeel aan schroot bij de productie van staal. Daaruit volgt dat voor nieuw staal 1,8 kg CO₂ per kg wordt uitgestoten. Deze waarde wordt ook teruggevonden bij World Steel[9].



Figuur 14-6 CO₂-emissies (ton/ton) in functie van % recyclageschroot bij staalproductie [79]

Zoals reeds vermeld in '1.2 Staalrecyclage', wordt in de Europese Unie gemiddeld 55% aan schroot gebruikt in de staalproductie. Met de trendlijn in Figuur 14-6 komt dit overeen met 0,92 ton CO₂ per ton staal. Dit staat tegenover een door Smulders gevonden literatuurwaarde van 0,80 ton CO₂ per ton staal. De ketenanalyse wordt uitgevoerd met de meest nadelige waarde, namelijk 0,92 ton CO₂ per ton staal.

Voor stalen platen zijn echter hogere waarden terug te vinden, gepubliceerd door World Steel, namelijk 1,34 kg per ton staal (zie '1.2 Staalrecyclage'). Dit kan te wijten zijn aan het feit dat 0,92 ton CO₂ per ton staal een gemiddelde waarde is, onafhankelijk van het type element.

Jaarlijks wordt er gemiddeld 69 480 ton staal aangekocht door Iemants, Willems, Smulders en Spomasz. Een groot deel van de productie van Transition Pieces wordt uitbesteed aan SIF Group. In Tabel 14-7 wordt een overzicht gegeven van de desbetreffende CO₂-emissies voor staal als grondstof.

Tabel 14-7 Overzicht staal als grondstof - CO₂-emissies

Jaar	Smulders (ton CO ₂)	SIF (ton CO ₂)	Som (ton CO ₂)
2014	22 312,5	42 761,6	65 074,1
2015	22 270,3	40 498,4	62 768,7

Verder wordt in deze ketenanalyse de invloed van upstream transport, afval bij productie, downstream transport, gebruik van het product en end-of-life opgenomen. Al deze onderdelen worden weergegeven in Tabel 14-8.

Tabel 14-8 Overzicht CO₂-emissies ketenanalyse staal [79]

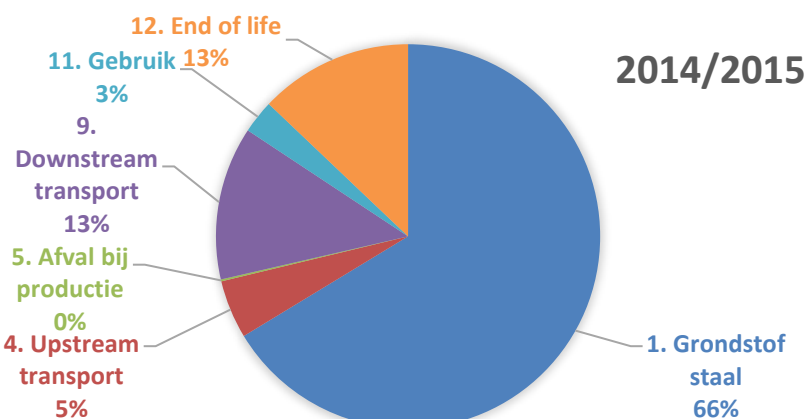
	2014 (ton CO ₂)	2014 (%)	2015 (ton CO ₂)	2015 (%)
1. Grondstof staal	65 074,10	82,43%	62 768,70	75,78%
4. Upstream transport	4 901,70	6,21%	4 569,00	5,52%
5. Afval bij productie	163,35	0,21%	150,25	0,18%
9. Downstream transport	3 060,20	3,88%	6 316,04	7,63%
11. Gebruik	2 686,20	3,40%	2 705,60	3,27%
12. End-of-life	3 060,20	3,88%	6 316,04	7,63%
Totaal scope 3	78 945,70		82 825,60	

Uit bovenstaande tabel blijkt dat er duidelijke variaties zijn wat betreft de emissies overheen de jaren. Een verklaring hiervoor is dat het in het ene jaar aangekochte staal pas getransporteerd wordt in het volgende jaar. Daarbij wordt bij downstream transport uitsluitend gerekend met eigen transport, aangezien het transport, georganiseerd door de klant, niet wordt meegerekend. Dit betekent dat downstream transport steeds projectafhankelijk is. End-of-life is, in het geval van staal, de recyclage en verwerking van de staalproducten. Aangezien deze reeds zijn opgenomen in de cijfers voor grondstofproductie, blijft uitsluitend transport over. Voor de eenvoud wordt er met dezelfde cijfers gerekend als bij downstream transport.

Vanwege deze redenen wordt er verder gegaan met de gemiddelde waarden voor de scope 3 emissies en wordt er bij downstream transport rekening gehouden met een forfaitaire vermenigvuldigingsfactor. Op deze manier wordt toch nog het volledige downstream transport meegerekend. In 2014 werd uitsluitend transport tot in Vlissingen georganiseerd, waarbij de factor 4 bedroeg. In 2015 bedroeg de factor 2. Deze waarden worden in Tabel 14-9 en Figuur 14-7 weergegeven.

Tabel 14-9 Gemiddelde Scope 3 emissies 2014/2015 [79]

	Gemiddelde 2014/2015 (ton CO ₂)	%
1. Grondstof staal	63 921,4	66,32%
4. Upstream transport	4 735,4	4,91%
5. Afval bij productie	156,8	0,16%
9. Downstream transport	12 436,4	12,90%
11. Gebruik	2 695,9	2,80%
12. End-of-life	12 436,4	12,90%
Totaal scope 3	96 382,3	



Figuur 14-7 Gemiddelde Scope 3 emissies 2014/2015 [79]

Bovenstaande gegevens bevestigen wederom het feit dat staal als grondstof in belangrijke mate verantwoordelijk is voor de grootste scope 3 CO₂-emissies. Slim design, om een vermindering in het staalverbruik te verkrijgen, speelt bijgevolg een zeer belangrijke rol. Daarbij zorgt een verlaging in staalverbruik eveneens voor een positief effect naar transport toe. De nieuwe productietechnologieën, zoals beschreven in het ULCOS-programma, zijn daarentegen momenteel nog niet voldoende ontwikkeld om op commerciële schaal toegepast te worden.

Transport is gezamenlijk verantwoordelijk voor 31% van de emissies. Locaties liggen echter vast, waardoor hier uitsluitend gekeken kan worden naar het energiezuinig transporteren van de producten.

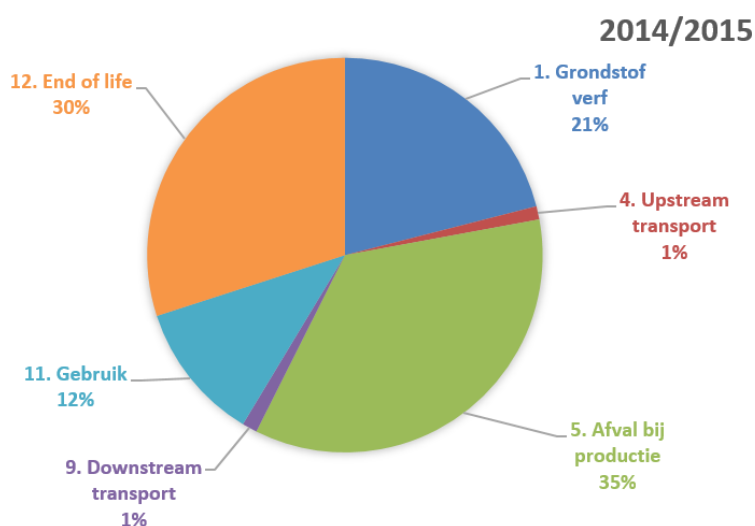
Met een totaal van 96 382,3 ton scope 3 CO₂-emissies ten opzichte van 69 480 ton aangekocht staal kan volgend reductiepotentieel bepaald worden: 1,39 kg CO₂ per kg staal. De belangrijkste maatregel blijft de vermindering van het staalverbruik. Dit kan, zoals reeds vermeld, verwezenlijkt worden door het slim ontwerpen van staalconstructies. Deze maatregel wordt verder uitgebreid besproken.

14.4.2. Verf

Smulders heeft een grondige analyse uitgevoerd omtrent het verfverbruik[80]. Hierbij worden alle beduidende factoren, zoals grondstof, upstream transport, afval bij productie enzovoort nauwkeurig geanalyseerd. Tabel 14-10 en Figuur 14-8 geven een overzicht van deze factoren en de bijhorende scope 3 CO₂-emissies.

Tabel 14-10 Ketenanalyse verf – Scope 3 emissies [80]

	2014 (ton CO ₂)	2015 (ton CO ₂)	Gemiddelde (ton CO ₂)	%
1. Grondstof verf	591,97	841,98	716,97	21,01
4. Upstream transport	28,55	45,74	37,14	1,09
5. Afval bij productie	1 256,49	1 152,23	1 204,36	35,30
9. Downstream transport	42,07	42,07	42,07	1,23
11. Gebruik	383,71	393,21	388,46	11,38
12. End-of-life	1 023,25	1 023,25	1 023,25	29,99
Totaal scope 3			3 412,26	



Figuur 14-8 Ketenanalyse verf – Gemiddelde scope 3 emissies 2014/2015 [80]

Tijdens deze periode werden verven en thinnerafval niet gerecycleerd, maar verbrand. Als gevolg hiervan hebben de elementen “5. Afval bij productie” en “12. End-of-life” duidelijk het grootste aandeel aan scope 3 CO₂-emissies. Smulders kocht in 2014/2015 gemiddeld 755 ton verf en thinner aan, welke een CO₂-emissie van 3 412 ton veroorzaakte. Dit geeft een reductiepotentieel van 4,52 kg CO₂ per kg verf.

Mogelijke maatregelen, om een reductie in CO₂-emissies te verkrijgen, zijn:

1. Beperken van solventen in grondstoffen

Er kan worden overgestapt op verfsystemen met een kleiner aandeel aan organische solventen zoals high solids, water gebaseerde coatings, natuurlijke coatings, poedercoatings en stralingsharde coatings. Smulders werkt reeds met high solids coatings. De overige alternatieven vertonen steeds beperkingen, waardoor ze niet voldoen aan de hoge eisen voor de toepassingen bij Smulders.

2. Beperken van verfverliezen

Aan het einde van de productie alsook bij overschakeling van verftype of -kleur, treden er behoorlijke verfverliezen op. Een beperking van deze verfverliezen, kan mee bijdragen tot een reductie van de CO₂-emissie. Om deze verliezen te beperken, installeert Smulders nieuwe 2K mixpompen en heaters.

3. Beperken van solventenemissies

Solventenemissies kunnen beperkt worden door zoveel mogelijk afgesloten te werken. Hierdoor worden niet-geleide emissies beperkt en omgezet in geleide emissies. Bovendien wordt de snelheid van verdamping verkleind. Bij Smulders werd gewerkt met een adsorptie-installatie om de geleide emissies te beperken. Deze installatie is echter sinds 2016 vervangen door een autotherme verbrandingsinstallatie. Deze maatregel wordt verder beschreven in '14.4.3 Autotherme naverbranding met energierecuperatie'.

4. Recyclage van verf en verpakkingen

Binnen de sectoren van verf-, lak- en vernisproductie worden verschillende producten hergebruikt. Buiten deze sectoren is dit echter technisch en/of economisch moeilijk haalbaar. De recyclage van verf en verpakkingen wijst in dit opzicht voornamelijk op water gebaseerde verven. Smulders werkt echter met solvent gebaseerde verven, waardoor er op dit vlak geen aanpassingen mogelijk zijn.

5. Beperken en recyclage van reinigingssolventen

Een mogelijkheid om het gebruik van reinigingssolventen te beperken, is het toepassen van ultrasoon reinigen. Ultrasoon reinigen is toepasbaar op het reinigen van kleine machineonderdelen en is bovendien weinig arbeidsintensief, maar het heeft echter wel een hogere kostprijs ten opzichte van manueel reinigen. Herbruikbare poetsdoeken zorgen voor een vermindering in de bedrijfsafvalstroom. Deze worden reeds veelvuldig gebruikt bij Smulders.

14.4.3. Autotherme naverbranding met energierecuperatie

De autotherme naverbranding van solventen met energierecuperatie kan toegepast worden, daar waar gewerkt wordt met high solids solventverven. Dit wordt ook wel een Regenerative Thermal Oxidizer (RTO) genoemd[81].

In de loop van 2015-2016 werden de bestaande actieve koolfiltersystemen bij Smulders vervangen door dergelijke autotherme naverbrandingsinstallaties. Gedurende een eerste periode werd het besparingspotentieel in de sector bepaald. Dit bedraagt een CO₂-besparing van 221 ton/jaar en een terugwintijd van 6,4 jaar.

14.4.4. ECO Design

Zoals reeds aangehaald bij de vergelijking van de scope 1, 2 en 3 emissies, is staal als grondstof verantwoordelijk voor de hoogste CO₂-emissies. Om het gebruik in staal te beperken, maakt Smulders gebruik van hoog sterkte staal (S355 of hoger) en stimuleert het bedrijf ontwerpers om slim te ontwerpen[82].

Een lager staalverbruik heeft als bijkomend effect dat er minder staaloppervlakte geverfd dient te worden. Daarnaast kan het luchtdicht afwerken van grote, holle staalstructuren ervoor zorgen dat een interne, primaire coating niet dient aangebracht te worden.

Tot slot probeert Smulders aluminium te vervangen door staal, waar mogelijk. Daarvoor is er 30% meer staalgewicht nodig ten opzichte van aluminium om een constructie te verwezenlijken met dezelfde stijfheid. De aluminiumproductie heeft echter een hoger energieverbruik dan de staalproductie: in 2007 werd 15,5 kWh per ton primair aluminium verbruikt[4]. Het gaat hierbij echter over de productie van primair aluminium, namelijk zonder enige vorm van recyclage. In de praktijk zal er ook tijdens de aluminiumproductie gebruik gemaakt worden van enige toevoeging van schroot. Deze opvatting dient bijgevolg met enige omzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Tabel 14-II geeft een overzicht van de vermelde maatregelen. De weergegeven emissies zijn steeds de totale scope 3 emissies.

Tabel 14-II ECO design maatregelen en scope 3 CO₂-emissies [82]

	Type emissie	Emissie 2014/2015	Reductiepotentieel
Staal	Scope 3	96 382 ton CO ₂ per jaar	1,39 kg CO ₂ per kg staal
Verf	Scope 3	2807 ton CO ₂ per jaar	4,52 kg CO ₂ per kg verf
Aluminium	Scope 3	N.v.t.	4,58 kg CO ₂ per kg omgezet

14.4.5. ICE onder poederlassen

Integrated Cold Electrode (ICE) is een techniek voor het onder poederlassen waarbij, parallel naast twee hete draden, een derde draad wordt toegevoegd zonder extra energietoevoeging. Deze derde draad is de Integrated Cold Electrode (ICE)[83].

Het ICE-proces produceert een zeer stabiele las. Het lasproces moet echter een hele reeks proeven doorstaan om als nieuw lasproces erkend te worden in de norm EN1090 voor dragende staal- en aluminiumconstructies. Deze erkenning gebeurt in samenwerking met ESAB, de ontwikkelaar van het ICE-proces. Het onder poederlassen valt onder lasmethode 12, waardoor ICE ingedeeld kan worden onder “123: Onder poederlassen met meerdere elektroden”, of onder een nieuwe, nog te identificeren, lasmethode. Daarnaast dienen er een Welding Procedure Qualification Record (WPQR) en Welding Procedure Specification (WPS) opgesteld te worden.

Dit lasproces zou in de loop van 2016 goedgekeurd worden, waardoor het proces in 2017 in een project kan worden toegepast en de nodige metingen uitgevoerd kunnen worden. De uiteindelijke doelstelling is een daling van 33% aan energieverbruik per meter las.

15. Productieproces Transition Piece

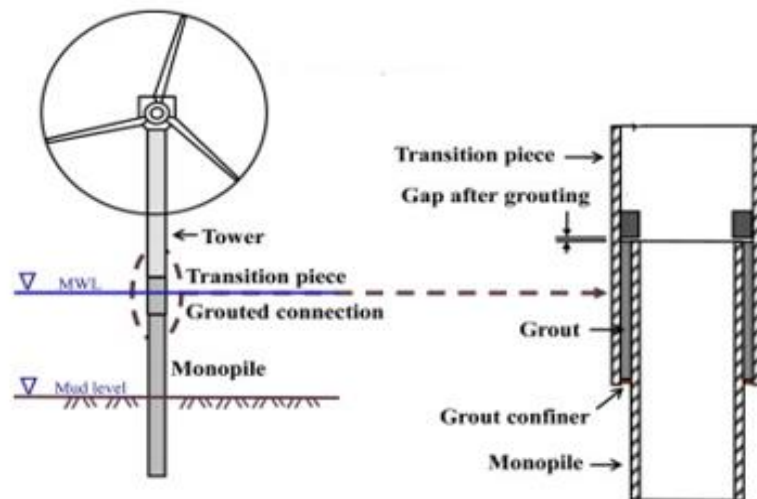
15.1. Algemeen

Alvorens de productie van het Transition Piece kan plaatsvinden, moet er staal geleverd worden. De groep Smulders heeft meer dan 60 verschillende staalleveranciers. Dit impliceert dat, ongeacht welk product er gevraagd wordt, er steeds een aanbod voorradig zal zijn. Deze leveranciers zijn zelden producenten van staal met uitzondering van enkelen, waaronder Arcelor Mittal. Voordat de productie aanvangt, dienen de verscheidene materialen aangevoerd te worden, waardoor het transport reeds een belangrijke impact heeft op de CO₂-emissies van het gehele proces[79].

Wanneer het productieproces aanvangt, wordt er gestart met de verwerking van het lichaam van het Transition Piece. Het lichaam wordt per schip naar de site van Smulders getransporteerd en is afkomstig van SIF, een partner die offshore funderingen produceert[79]. Met behulp van een portaalkraan worden de elementen gelost, zodat de verdere verwerking kan plaatsvinden. Aan de hand van een flowchart, 15.3 Flowchart productieproces Transition Piece, wordt een voorstelling gegeven van de belangrijkste stappen van een dergelijk productieproces bij Smulders. De flowchart wordt ondersteund door onderstaande verduidelijking van het proces.

15.2. Hoogtepunten productieproces

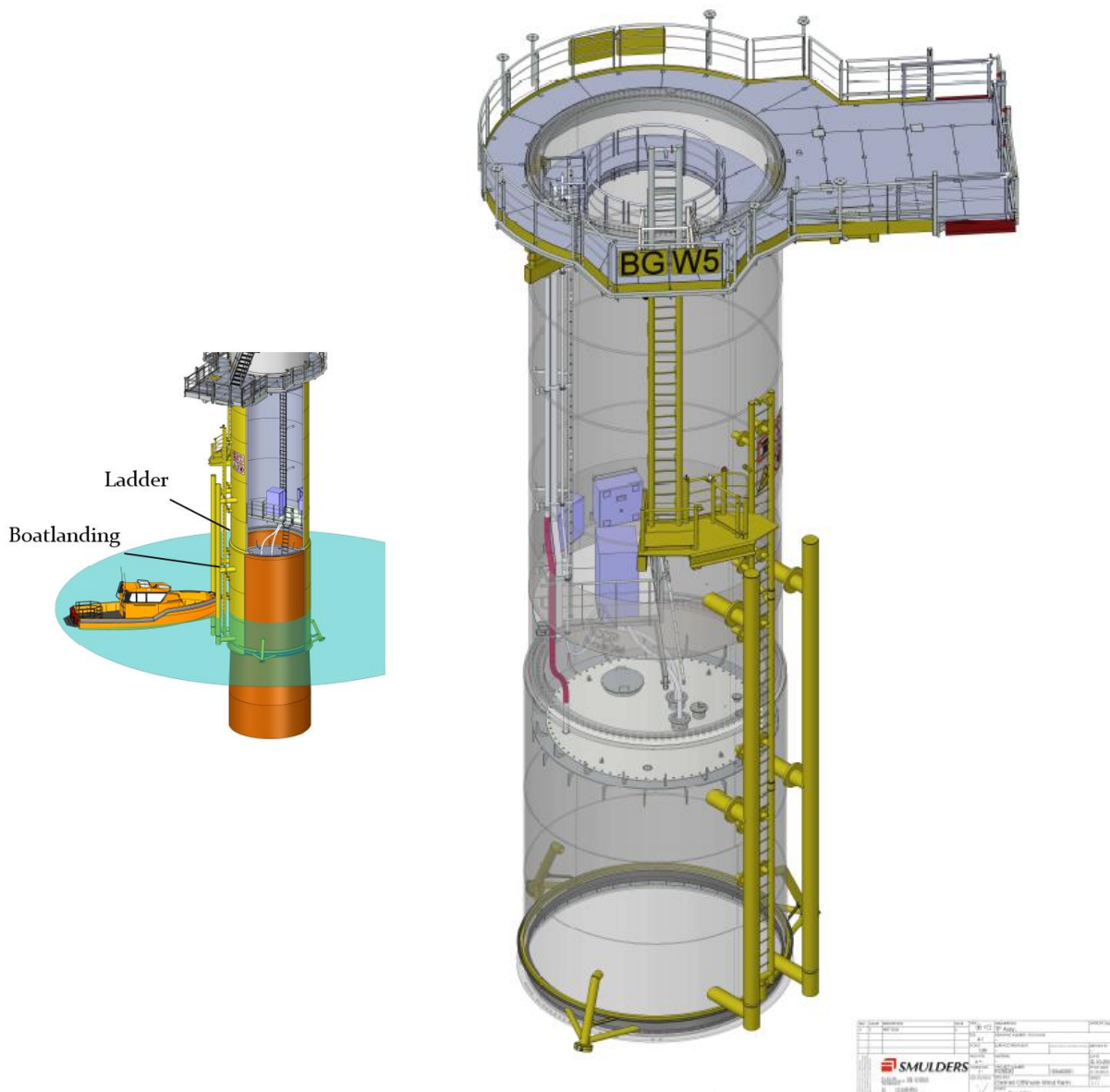
(1) Aan de binnenzijde van het lichaam wordt een groutverbinding gepositioneerd en gelast. Deze verbinding wordt gebruikt om het Transition Piece stijver te verbinden met de offshore fundering (bijvoorbeeld een monopile). Initieel wordt het Transition Piece aan de hand van een geboute flensverbinding aan de monopile bevestigd. Nadien wordt de grout via de boat landing fenders aangebracht. Figuur 15-1 geeft een principe weer van de groutverbinding[84].



Figuur 15-1 Groutverbinding [84]

(2) Om het lichaam van het Transition Piece te beschermen tegen oxidatie worden er anodes aangebracht via een lasproces. Op deze manier wordt er bijgevolg gebruik gemaakt van een kathodische bescherming.

Verder wordt er in deze fase van het proces gecontroleerd of de verbindingen tussen het hoofdplatform en het daar aangrenzend lichaam op elkaar afgestemd zijn aan de hand van templates. Vervolgens zullen aan de boven- en onderzijde van het lichaam webverstijvers worden gelast. Tenslotte worden er in dit stadium ook boat landing fenders en ladders aangebracht, zoals te zien is in Figuur 15-2. De boat landing fenders maken het mogelijk om doelgericht met een boot tot aan het Transition Piece te varen. Op het moment dat de boot contact maakt met de boat landing fender, kan een werknemer de ladder betreden[85].



Figuur 15-2 Transition Piece: boat landing - structuren en ladders [86]

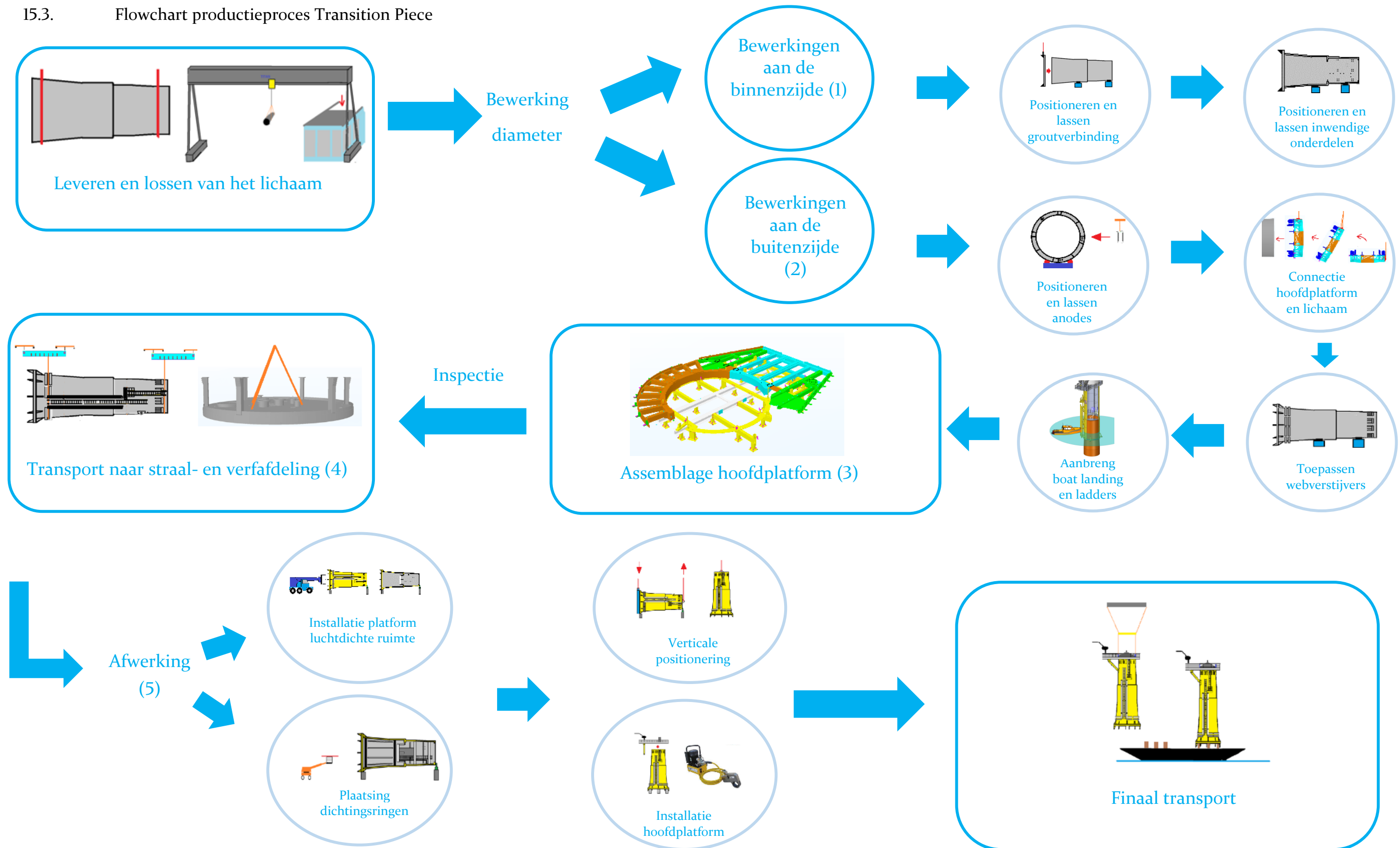
(3) Het hoofdplatform van het Transition Piece wordt grotendeels geprefabriceerd bij de firma Spomasz in Polen. De uiteindelijke assemblage van de verschillende elementen tot één geheel gebeurt bij de firma Smulders[85].

Uit stappen (1), (2) en (3) blijkt dat lassen een veel gebruikte verbindingstechniek is. De verschillende processen worden voortdurend geëvalueerd inzake CO₂-emisie en efficiëntie. Een voorbeeld hiervan is het evalueren van de integratie van ICE, wat voor een efficiëntieverhoging kan zorgen, zie '14.4.5 ICE onder poederlassen'[85].

(4) Na een grondige inspectie van de materialen, wordt er overgaan tot een volgend stadium. In deze fase van het productieproces worden de verschillende materialen getransporteerd, waarna deze behandeld worden tegen corrosie[85]. Eerst dient het oppervlak gereinigd te worden, waarvoor gebruik gemaakt wordt van straalgrit. Eens dit reinigingsproces is afgelopen, kan de structuur geleverd worden.

(5) Tijdens de afwerkingsfase van het Transition Piece wordt er een luchtdichte ruimte gecreëerd door gebruik te maken van een platvorm met rubberen dichtingsringen. Eveneens zullen er geleiders aan de onderzijde van het Transition Piece worden bevestigd, waardoor het Transition Piece beter over de monopile schuift. Hierna wordt het element verticaal gehesen. Wanneer de structuur verticaal staat, wordt het hoofdplatform bevestigd en is het geheel klaar voor finaal transport[85].

15.3. Flowchart productieproces Transition Piece



PRODUCTIEPROCES VAN EEN TRANSITION PIECE: EEN FLOWCHART

V. Ketenganalyse thermisch verzinken

16. Inleiding – ketenganalyse thermisch verzinken

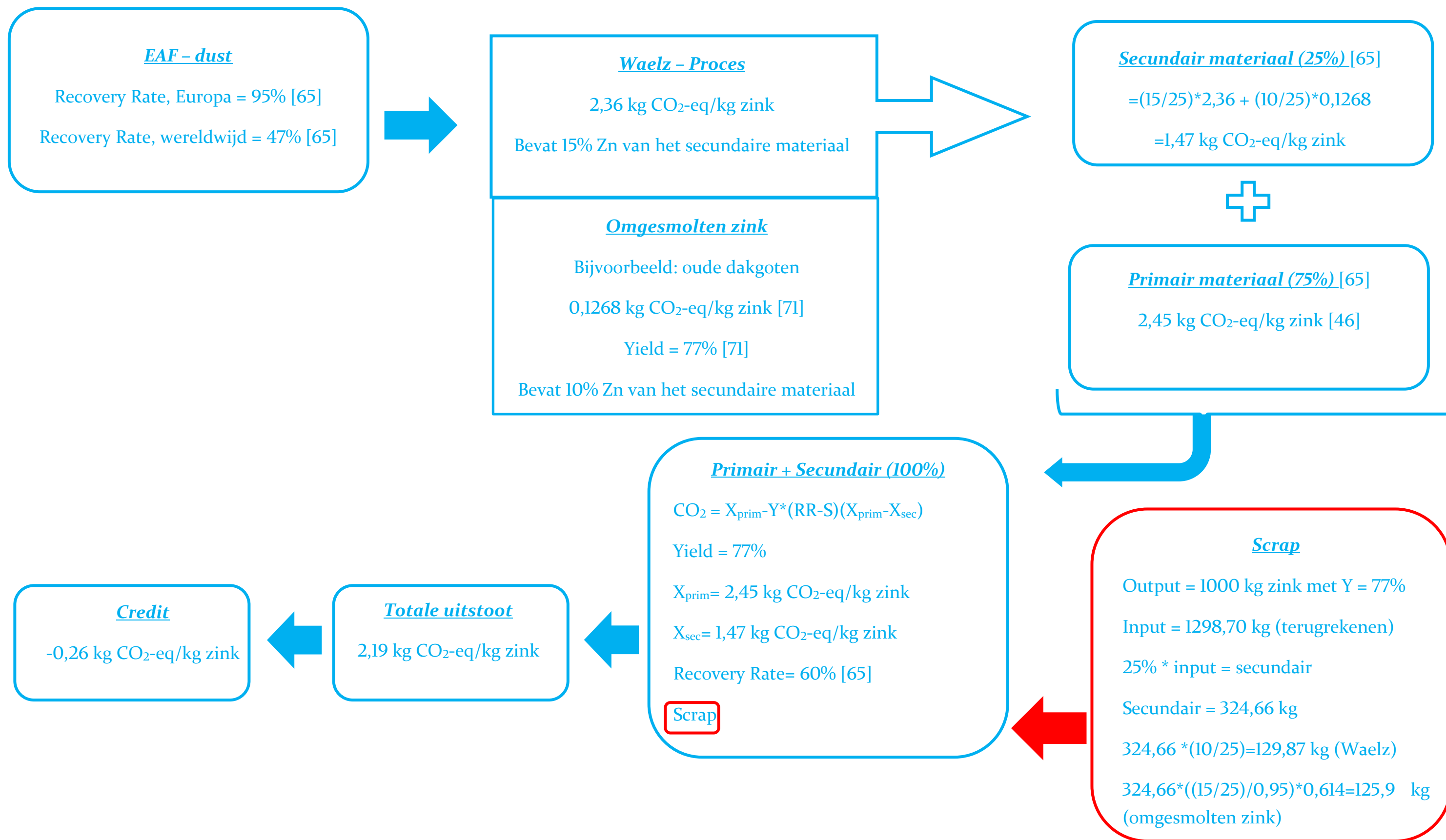
16.1. Besluit uit de literatuur

De voorafgaande literatuurstudie geeft een uitgebreide analyse van de CO₂-emissies bij de productie en de verwerking van zink weer. Er wordt geconcludeerd dat in de productie van Nyrstar in 2014 gemiddeld 2,45 kg CO₂-eq vrijkomt per kg geproduceerd primair zink[47]. Uit de EPD kan afgeleid worden dat het verzinkingsproces verantwoordelijk is voor 0,098 kg CO₂-eq[73]. Deze waarde houdt enkel rekening met het volledige productieproces in de verzinkerij en werd gecontroleerd aan de hand van scope analyses uit de praktijk. Er kan worden opgemerkt dat Nyrstar sinds 2014 mogelijk een verdere daling in CO₂-emissies heeft verwezenlijkt. Aangezien het referentiejaar bij Smulders 2014-2015 is, wordt er verder gewerkt met de gegeven waarde van Nyrstar.

16.2. Credit van zink

In de productie van primair zink kan gerecycleerd materiaal worden opgenomen. Door materiaal te recyclen, zullen de CO₂-emissies van het productieproces verlagen en kan er aldus een credit worden ingerekend. Om deze credit te berekenen, wordt een flowchart opgesteld, welke op de volgende pagina wordt weergegeven.

Uit paragraaf 11.3.2 valt op te merken dat het Global Warming Potential van het Waelz-Kiln proces relatief dicht aanleunt bij deze van de productie van primair zink, respectievelijk 2,36 en 2,45 CO₂-eq/kg zink. De zinkinhoud van het EAF-stof is hierbij van groot belang. In dit geval werd de berekening met een gemiddelde zinkinhoud van 25% uitgevoerd, aangezien dit de gemiddelde waarde in Europa betreft. Daarbij geeft de EPD eveneens een gemiddelde waarde van de Europese industrie weer. Er kan worden besloten dat onderzoek en ontwikkelingen om de zinkinhoud te verhogen, zeer gunstig zullen zijn voor het toekennen van een toekomstige credit.



16.3. Algemeen

Smulders heeft reeds enkele ketenanalyses uitgevoerd, waaronder de analyses van staal en verf. Hiermee worden de scope 3 emissies in kaart gebracht en wordt aangegeven welke mogelijkheden er zijn om deze te beperken. In het kader van deze masterproef wordt een ketenanalyse uitgevoerd voor het thermisch verzinken aan de hand van een scope 3 emissieberekening. Om een vergelijkbaar en volledig beeld te creëren, wordt het jaar 2014-2015 geanalyseerd. Hetzelfde jaartal werd immers gebruikt voor de reeds uitgevoerde analyses. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen volgende stappen, waarbij in iedere stap de desbetreffende emissies begroot worden:

- Aangekochte goederen en diensten (1)
- Upstream transport en distributie (4)
- Productieafval (5)
- Downstream transport en distributie (9)
- Gebruik van producten (11)
- End-of-life van producten (12)

De indeling van de desbetreffende categorieën is conform het 'GHG Protocol Scope 3 Standard'[87]. In Tabel 16-1 wordt ter volledigheid de volledige categorie-indeling weergegeven.

Tabel 16-1 Categorie-indeling scope 3 [87]

Upstream or downstream	Scope 3 category
Upstream scope 3 emissions	1. Purchased goods and services 2. Capital goods 3. Fuel- and energy-related activities (not included in scope 1 or scope 2) 4. Upstream transportation and distribution 5. Waste generated in operations 6. Business travel 7. Employee commuting 8. Upstream leased assets
Downstream scope 3 emissions	9. Downstream transportation and distribution 10. Processing of sold products 11. Use of sold products 12. End-of-life treatment of sold products 13. Downstream leased assets 14. Franchises 15. Investments

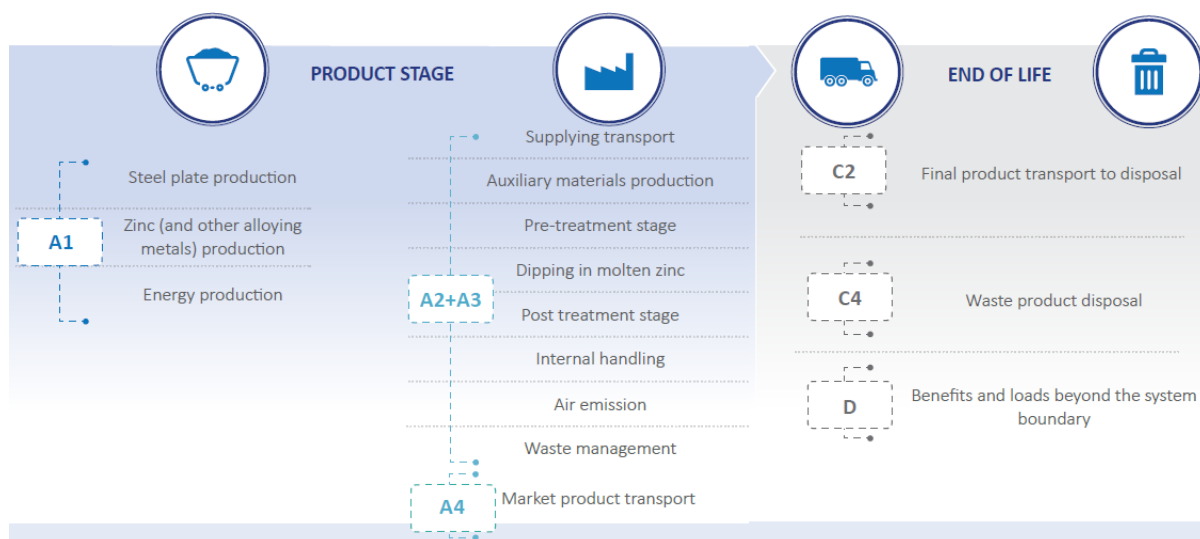
17. Kwantitatieve Scope 3 emissieberekening

Omtrent de uitwerking en berekening van onderstaande paragrafen van de ketenanalyse voor galvanisatie, wordt verwezen naar 'Bijlage 2: Ketenanalyse Excel werkblad'. Hierin wordt ook een overzicht gegeven van de desbetreffende facturatiegegevens van Smulders.

17.1. Aangekochte goederen en diensten

Deze categorie omvat de productie van het zink alsook het proces, waarbij de elementen thermisch verzinkt worden. Het GHG Protocol geeft aan dat dit minimum alle upstream, cradle-to-gate emissies bevat van de aangekochte goederen en diensten[87]. Cradle-to-gate emissies omvatten alle emissies tijdens de levenscyclus van het product tot en met aflevering aan het rapporterende bedrijf. Het metaal van Smulders wordt voor 84% verzinkt bij Galva Power, die op zijn beurt voornamelijk gebruik maakt van zink, afkomstig van Nyrstar.

Aangezien de ketenanalyse van een cradle-to-gate analyse uitgaat, wordt verder gewerkt met de 2,29 kg CO₂-eq per kg zink, resulterend uit de EPD en de gegevens van Nyrstar. Deze waarde houdt rekening met de credit, welke verkregen werd bij recyclage. De EPD omvat verschillende elementen. Ter verduidelijking wordt hierbij verwezen naar Figuur 17-1.



Figuur 17-1 Overzicht proces Environmental Product Declaration [73]

Zoals reeds werd aangehaald, is het verzinkte staal, dat gebruikt wordt binnen de Smulders groep, in 84% van de gevallen afkomstig van Galva Power. Er wordt gebruik gemaakt van 'DuroZINQ', een merk binnen Galva Power. Dit type van zink kent een hogere kwaliteit en is cradle-to-cradle gecertificeerd. Om het zinkverbruik van Smulders in kaart te brengen, wordt er gebruik gemaakt van de facturatiegegevens. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er geen onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende projecten. De facturatiegegevens hebben zowel betrekking op projecten van Smulders, als op deze van Iemants en Willems.

De hoeveelheid zink wordt bij Galva Power verrekend aan de hand van weegbonnen, welke eveneens zijn bijgevoegd aan de factuur. Een dergelijke weegschaal rondt af tot op 20 kilogram. Ondanks deze afronding levert dit de meest nauwkeurigste benadering naar zinkverbruik toe.

Om de data in te rekenen van facturen zonder weegbonnen, werd er een percentage van het staalgewicht genomen. Volgens Galva Power bedraagt het zinkverbruik gemiddeld 6% van het totale gewicht aan staal. Waar nodig werd er dan ook met dit percentage gerekend. De uiteindelijke hoeveelheden zink en Hot Dip Galvanised (HDG) staal worden weergegeven in Tabel 17-1. Hierbij valt op te merken dat de zinkverhouding 4,71% bedraagt ten opzichte van bovenstaand gemiddelde van 6%. Tabel 17-2 geeft tot slot de uiteindelijke CO₂-eq waarden weer.

Tabel 17-1 Grondstoffen galvanisatie

Jaar	Zink	HDG staal
2014	10,79 ton	223,55 ton
2015	16,90 ton	364,51 ton
Totaal	27,69 ton	588,06 ton
% zink t.o.v. staal	4,71 %	

Tabel 17-2 Emissies ten gevolge van aangekochte goederen en diensten

Jaar	CO ₂ -eq
2014	24,70 ton
2015	38,68 ton
Totaal	63,37 ton

17.2. Upstream transport en distributie

Deze categorie houdt rekening met de emissies, die vrijkomen bij het transport en de distributie van de producten, aangekocht door het rapporterende bedrijf. Hierbij worden ook de scope 1 en 2 emissies gerekend van externe transportbedrijven. Voor de begroting van de CO₂-emissies worden volgende aannamen verondersteld:

- 1) Afstand Galva Power Schoten – Iemants Arendonk: 55 km
- 2) Gemiddeld verbruik wegtransport = 5,16 L/100 ton km [88]

In de ketenanalyse van staal wordt er getransporteerd over een lange afstand, ongeveer 500km. Het gemiddelde verbruik bedraagt in dat geval 1,69 L/100 ton km, wat in deze begroting een significante onderschatting zal opleveren.

- 3) Conversiefactor Diesel – CO₂: 3,20 kg/L [72]

Uit de facturatiegegevens is niet duidelijk af te leiden waarnaar de stukken getransporteerd worden na galvanisatie. Om die reden wordt de meest nadelige situatie verondersteld en wordt de afstand tot Iemants Arendonk in rekening gebracht. Het staaltransport is reeds opgenomen in het downstream transport binnen de ketenanalyse van staal. Hierdoor dient uitsluitend nog het transport tussen Galva Power en Smulders in rekening gebracht te worden. In eerste instantie kunnen de CO₂-emissies van HDG staal bepaald worden, waaruit op zijn beurt de CO₂-emissies voor zink bepaald kunnen worden. Voorgaande berekening wordt via de gewichtsverhouding bepaald. Concrete CO₂-eq gegevens in verband met upstream transport worden opgenomen in Tabel 17-3.

Tabel 17-3 Emissies ten gevolge van upstream transport

Jaar	HDG staal	
2014	2,03	ton CO ₂ -eq
2015	3,31	ton CO ₂ -eq
Totaal	5,34	ton CO ₂ -eq

Jaar	Zink	
2014	0,10	ton CO ₂ -eq
2015	0,16	ton CO ₂ -eq
Totaal	0,25	ton CO ₂ -eq

17.3. Productieafval

Deze categorie omvat de emissies van de verwerking van het productieafval. Concreet gaat het om het afval van het rapporterende bedrijf, wat wordt verwerkt door derden. Dit topic bestaat minimaal uit de scope 1 en 2 emissies van de afvalbeheerders en optioneel de emissies van het afvaltransport. Afvalverwerking wordt aanzien als scope 3 aangezien het gaat om het aankopen van een dienst.

De thermisch verzinkte elementen worden bij Smulders zelden nog bewerkt, waardoor deze categorie verwaarloosbaar is. Er is immers nauwelijks productieafval, aangezien dit uitsluitend voorkomt wanneer Smulders zelf thermische verzinkte elementen produceert. Dit is echter zeer uitzonderlijk omdat de verzinkte stukken vaak bestaan uit leuning en roosters, die enkel gemonteerd dienen te worden. Daarnaast is de verwerking van het afval bij de productie van primair zink en het thermisch verzinken van de elementen reeds opgenomen in de EPD.

17.4. Downstream transport en distributie

Deze categorie omvat de emissies, die vrijkomen bij het transport en de distributie van de door het rapporterende bedrijf verkochte goederen. De ketenanalyse van staal heeft voor een groot deel van de desbetreffende berekeningen gezorgd. Hierin wordt zowel rekening gehouden met wegtransport als watertransport, waaruit een globaal CO₂-eq voortkomt. In principe worden de staalconstructies vanuit Willems en Iemants naar zowel eindbestemmingen als naar Smulders getransporteerd, waardoor de laatste in principe tot upstream transport behoort. Ter vereenvoudiging wordt echter aangenomen dat het volledige transport vanuit Willems en Iemants downstream transport omvat.

Het downstream transport voor het thermisch verzinken kan op een eenvoudige manier benaderd worden. Het gewicht van de totale hoeveelheid verzinkt staal is gekend, namelijk 223,55 ton HDG staal in 2014. Dit gewicht kan uitgezet worden ten opzichte van de hoeveelheid staal, die gebruikt wordt in de ketenanalyse van staal, namelijk 0,68%. De totale hoeveelheid CO₂-emissies uit de ketenanalyse van staal vermenigvuldigd met 0,68%, geeft de totale hoeveelheid CO₂ voor downstream transport voor de thermisch verzinkte elementen. Tot slot kunnen, aan de hand van de hoeveelheid gebruikt zink, de CO₂-emissies voor het zink alleen bepaald worden.

Er dient opgemerkt te worden dat in de ketenanalyse van staal reeds rekening werd gehouden met het verf- en zinkgewicht. De uiteindelijke resultaten van verf en zink omtrent downstream transport zijn echter zo laag dat ze geen significante invloed uitoefenen op de resultaten van de ketenanalyse van staal.

In de ketenanalyse van staal is de hoeveelheid getransporteerd staal via wegtransport hoger dan de aangekochte hoeveelheid. Voorgaande kan verklaard worden doordat sommige stalen elementen een 'extra' transport ondergaan, met name het vervoeren naar de verzinkerij. De ketenanalyse van staal houdt rekening met zowel het transport voor, als het transport na het verzinken. In deze ketenanalyse moet dus uitsluitend het transport van de extra kilo's zink worden ingerekend. Concrete gegevens in verband met downstream transport worden opgenomen in Tabel 17-4.

Tabel 17-4 Emissies ten gevolge van downstream transport

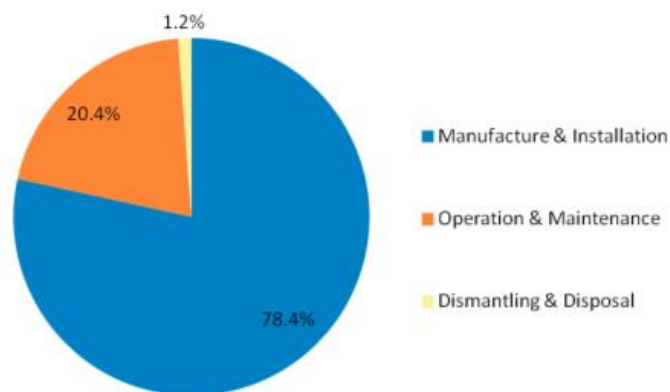
	2014	2015	Totaal
HDG staal	223,55 ton	364,51 ton	588,06 ton
Staal	32775,50 ton	26883,60 ton	59659,10 ton
Verhouding	0,68 %	1,36 %	0,99 %

	2014	2015	Totaal
CO ₂ ketenanalyse staal	3060,20 ton	6316,04 ton	9376,24 ton
CO ₂ HDG staal	20,87 ton	85,64 ton	106,51 ton
Aandeel zink t.o.v. HDG staal	4,83 %	4,64 %	4,71 %
CO ₂ zink	1,01 ton	3,97 ton	5,02 ton

17.5. Gebruik van producten

Deze categorie omvat de emissies, die vrijkomen bij het gebruik van producten, verkocht door het rapporterende bedrijf. De scope 3 emissies van het rapporterende bedrijf bevatten hierbij de scope 1 en 2 emissies van de eindgebruikers. Concreet gaat het in dit geval over het onderhoud en de inspecties van de staalconstructie gedurende zijn levensduur. De gemiddelde levensduur van een windmolenpark is 20 jaar. In principe behoeft de zinklaag geen onderhoud, aangezien zink een lange levensduur heeft en bovendien beschermd wordt door de verflaag in het duplexsysteem. Om deze ketenanalyse op gelijkaardige wijze op te bouwen aan de reeds gevoerde analyses, wordt er gekozen om alsnog een onderhoudspercentage in te rekenen.

De ketenanalyse van staal geeft aan dat de CO₂-emissies voor onderhoud, gedurende de levensduur van het windmolenpark, 3,20 tot 5,80% van de CO₂-emissies van de productiefase bedragen[89]. Hierbij kan aangenomen worden dat de bewegende onderdelen in verhouding meer onderhoud ondergaan dan de staalconstructie. Om deze reden wordt verder gerekend met 3,20%. Echter in 2015 publiceerde Climate Change een rapport van Camilla Thomson en Gareth Harrison, waarin de life cycle cost en CO₂-emissies van offshore windenergie aan bod komen[90]. Figuur 17-2 geeft de invloed van de verschillende fasen gedurende de levensduur van een offshore windmolenpark, bestaande uit stalen funderingen, weer. Hierbij valt op te merken dat 20,40% van de CO₂-emissies afkomstig is van de exploitatie en het onderhoud. Er kan geconcludeerd worden dat deze significant hoger is dan de waarde, die Smulders hanteert. Vermoedelijk is dit te verklaren door het verschil tussen off- en onshore windturbines. Om de vergelijking binnen Smulders te kunnen maken, zal er gerekend worden met 3,20% onderhoud. Daarbij wordt eveneens een berekening gemaakt met 20,40% om op de verschillen te duiden.



Figuur 17-2 Bijdrage van verschillende levenscyclus fasen omtrent CO₂-emissies [90]

Wat de gegevens van Smulders omtrent de productiefase betreft, gaat het om alle bovenstaande scope 3 emissies (grondstof, upstream transport, productieafval en downstream transport). De scope 1 en 2 emissies van Galva Power – Antwerpen (GPA) worden hiervoor verwerkt gezien het merendeel van de stukken daar verzinkt worden. Helaas heeft GPA uitsluitend milieu gerelateerde gegevens voor het jaar 2015 en niet voor 2014. Om een aannemelijke begroting van de scope 1-2 emissies te verkrijgen, worden de gegevens van 2015 eveneens gebruikt om de impact in 2014 vast te leggen. Door gebruik te maken van een gewichtsverhouding HDG staal, kan berekend worden wat het aandeel is van Smulders binnen deze emissie-categorie.[77] Tabel 17-5 geeft de totale scope 1, 2 en 3 emissies en de desbetreffende CO₂-emissies weer. Tabel 17-6 houdt rekening met een aangepast onderhoudspercentage van 20,40%.

Tabel 17-5 Totale emissie scope 1, 2 en 3

	Scope 1-2	Scope 3	Scope 1-2-3	Uitstoot gebruik
2014 - CO ₂	15,42 ton	25,80 ton	41,22 ton	1,32 ton
2015 - CO ₂	25,15 ton	42,80 ton	67,95 ton	2,17 ton

Tabel 17-6 Totale emissie scope 1, 2 en 3 – onderhoud 20,40%

	Scope 1-2	Scope 3	Scope 1-2-3	Uitstoot gebruik
2014 - CO ₂	15,42 ton	25,80 ton	41,22 ton	8,41 ton
2015 - CO ₂	25,15 ton	42,80 ton	67,95 ton	13,86 ton

17.6. End-of-Life van producten

Deze laatste categorie omvat alle end-of-life handelingen van het rapporterende bedrijf. In dit geval gaat het om de demontage en verwerking van de staalconstructie na een volledige levenscyclus. In het geval van staal en zink gaat het daarbij ook om recyclage. Deze impact zit echter reeds verwerkt in de categorie “Aangekochte goederen en diensten” vanwege een bepaald recyclagepercentage.

Deze categorie heeft aansluitend ook betrekking op het transport van de locatie, waar de stalenconstructie zich bevindt, tot aan de smeltoven. Voor de eenvoud kan dit benaderd worden met dezelfde waarde als het downstream transport, aangezien de afgelegde weg in beide gevallen min of meer gelijk zou moeten zijn. Tabel 17-7 geeft ter volledigheid deze resultaten nogmaals weer.

Tabel 17-7 Emissies ten gevolge van transport bij End-of-Life

	2014	2015	Totaal
HDG staal	223,55 ton	364,51 ton	588,06 ton
Staal	32775,50 ton	26883,60 ton	59659,10 ton
Verhouding	0,68 %	1,36 %	0,99 %

	2014	2015	Totaal
CO ₂ ketenanalyse staal	3060,20 ton	6316,04 ton	9376,24 ton
CO ₂ HDG staal	20,87 ton	85,64 ton	106,51 ton
Aandeel zink t.o.v. HDG staal	4,83 %	4,64 %	4,71 %
CO ₂ zink	1,01 ton	3,97 ton	5,02 ton

17.7. Totale Scope 3 emissies

Tabel 17-8 geeft een overzicht van de totale scope 3 emissies. Om dezelfde reden als aangehaald in 17.5 Gebruik van producten, worden deze eveneens weergegeven voor een onderhoudspercentage van 20,4% in Tabel 17-9.

Tabel 17-8 Totale scope 3 emissies

	2014		2015		Totaal	
Aangekochte goederen en diensten (	24,70 ton	87,80%	38,68 ton	79,01%	63,37 ton	82,14%
Upstream transport en distributie (4)	0,10 ton	0,34%	0,16 ton	0,32%	0,25 ton	0,33%
Productieafval (5)	0 ton	0,00%	0 ton	0,00%	0 ton	0,00%
Downstream transport en distributie	1,01 ton	3,58%	3,97 ton	8,11%	5,02 ton	6,50%
Gebruik van producten (11)	1,32 ton	4,69%	2,17 ton	4,44%	3,49 ton	4,53%
End-of-Life van producten (12)	1,01 ton	3,58%	3,97 ton	8,11%	5,02 ton	6,50%
TOTAAL	28,13 ton		48,95 ton		77,15 ton	

Tabel 17-9 Totale scope 3 emissies – onderhoud 20,40%

	2014		2015		Totaal	
Aangekochte goederen en diensten (	24,70 ton	70,13%	38,68 ton	63,78%	63,37 ton	66,06%
Upstream transport en distributie (4)	0,10 ton	0,27%	0,16 ton	0,26%	0,25 ton	0,26%
Productieafval (5)	0 ton	0,00%	0 ton	0,00%	0 ton	0,00%
Downstream transport en distributie	1,01 ton	2,86%	3,97 ton	6,55%	5,02 ton	5,23%
Gebruik van producten (11)	8,41 ton	23,88%	13,86 ton	22,86%	22,27 ton	23,22%
End-of-Life van producten (12)	1,01 ton	2,86%	3,97 ton	6,55%	5,02 ton	5,23%
TOTAAL	35,22 ton		60,64 ton		95,93 ton	

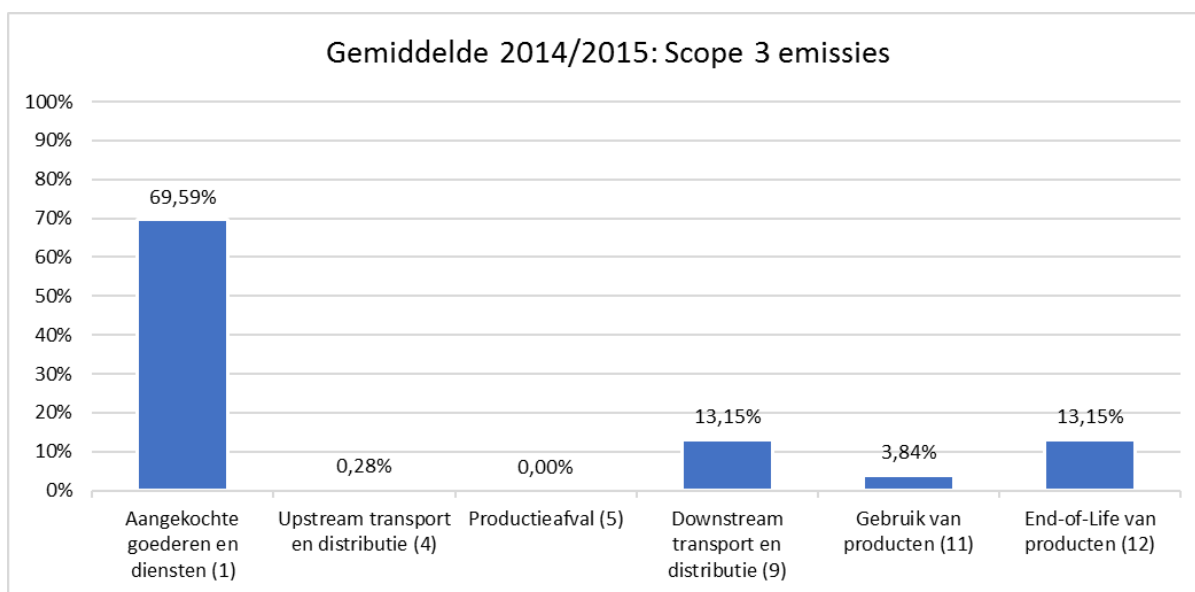
Om een eenduidig cijfer te verkrijgen, wordt het gemiddelde genomen van de vermelde jaren. Daarnaast wordt bij downstream transport uitsluitend gerekend met eigen georganiseerd transport en niet met transport georganiseerd door de klant. In 2015 werd transport door Smulders georganiseerd naar een verdere locatie dan in 2014 (respectievelijk Eemshaven en Vlissingen), hoewel uiteindelijk alles voor de sectoren Wind en Oil&Gas de Noordzee op moet. Indien het totaal van 2014-2015 in rekening wordt gebracht, zou dit het verbruik en daarbij de CO₂-uitstoot overheen de jaren uitvlakken. Om hiermee rekening te houden, wordt het downstream transport van 2014 vermenigvuldigd met 4 en dat van 2015 met 2. Tabel 17-10 en Figuur 17-3 geven de uiteindelijke gemiddelde scope 3 emissies weer. Tabel 17-11 en Figuur 17-4 geven de uiteindelijke gemiddelde scope 3 emissies weer voor een onderhoudspercentage van 20,4%.

Tabel 17-10 Totale scope 3 emissies (gemiddeld)

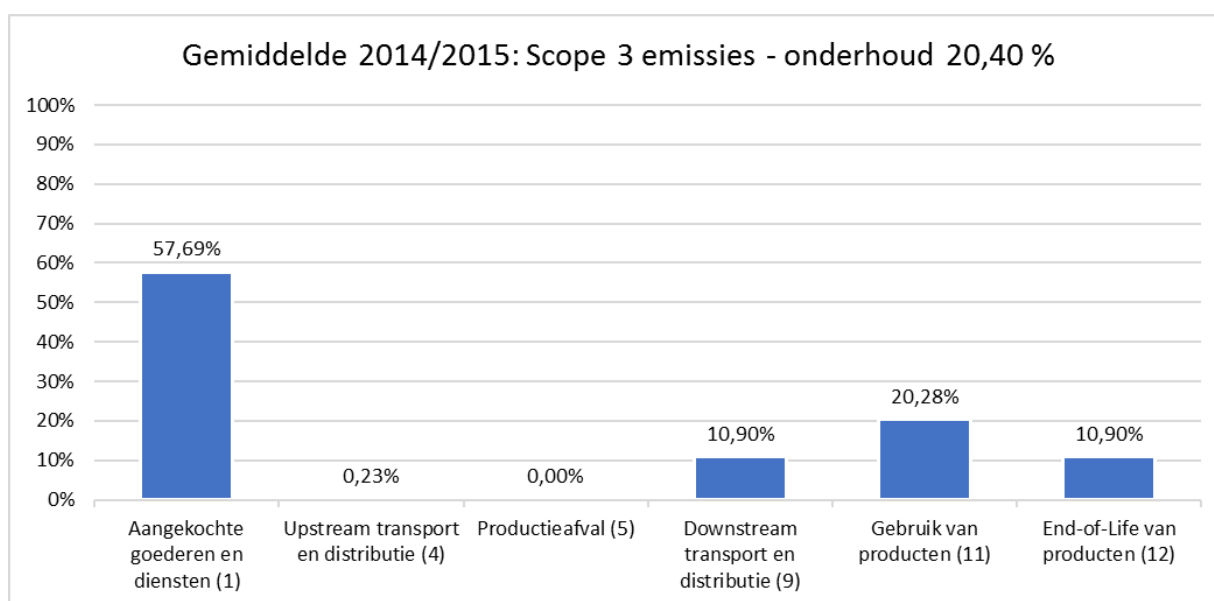
	Gemiddelde	
Aangekochte goederen en diensten (	31,69 ton	75,38%
Upstream transport en distributie (4)	0,13 ton	0,30%
Productieafval (5)	0 ton	0,00%
Downstream transport en distributie	5,99 ton	14,24%
Gebruik van producten (11)	1,75 ton	4,16%
End-of-Life van producten (12)	2,49 ton	5,92%
TOTAAL	42,03 ton	

Tabel 17-II Totale scope 3 emissies (gemiddeld) – onderhoud 20,40%

	Gemiddelde	
Aangekochte goederen en diensten (1)	31,69 ton	61,62%
Upstream transport en distributie (4)	0,13 ton	0,24%
Productieafval (5)	0 ton	0,00%
Downstream transport en distributie	5,99 ton	11,64%
Gebruik van producten (11)	11,14 ton	21,66%
End-of-Life van producten (12)	2,49 ton	4,84%
TOTAAL	51,42 ton	



Figuur 17-3 Totale scope 3 emissies (gemiddeld)



Figuur 17-4 Totale scope 3 emissies (gemiddeld) – onderhoud 20,40%

17.8. Besluit ketenanalyse

Indien de totale scope 3 emissies vergeleken worden met de totale hoeveelheid zink, wordt een Global Warming Potential bekomen. Dit cijfer zal gebruikt worden voor het bepalen en het ontwerpen van verdere reductiedoelstellingen en -mogelijkheden. Tabel 17-12 en Tabel 17-13 geven deze resultaten weer. Het verschil tussen beiden is duidelijk waarneembaar.

Tabel 17-12 Reductiepotentieel zink

Aangekocht zink	13,85 ton
Totaal CO ₂ -eq	45,53 ton
Global Warming Potential	3,29 kg CO₂ / kg zink

Tabel 17-13 Reductiepotentieel zink –onderhoud 20,40%

Aangekocht zink	13,85 ton
Totaal CO ₂ -eq	54,92 ton
Global Warming Potential	3,97 kg CO₂ / kg zink

Uit Tabel 17-12 en Tabel 17-13 blijkt dat de hoeveelheid CO₂ per kilogram zink relatief groot is, al is het belangrijk dat deze waarde correct benaderd wordt. Zoals reeds werd aangehaald in de literatuurstudie, bedraagt de dikte van een zinklaag, welke op discontinue wijze werd aangebracht, tussen de 50 en 150 µm. Het resulterende gewicht bedraagt dan 350 à 1050 g/m²[54]. Met een kleine hoeveelheid zink kan er dus een relatief groot oppervlak verzinkt worden. Gezien de lange levensduur van de zinklaag, de bescherming van staal en het feit dat onderhoud praktisch niet nodig is, dient dit getal met enige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden.

Het staaftiagram, weergegeven in Figuur 17-3, geeft aan dat de categorie ‘Aangekochte goederen en diensten’ de grootste impact heeft. Dit is voornamelijk te verklaren door het feit dat het thermisch verzinken uitgevoerd wordt door Galva Power en dat Smulders uitsluitend de elementen dient te monteren. Er valt op te merken dat ‘Downstream transport en distributie’, samen met ‘End-of-life’, met 13,15% de tweede grootste impact uitoefent. De ketenanalyse van transport formuleert reeds enkele maatregelen om het aandeel van dergelijke categorie te reduceren. Tot slot dient er aandacht besteed te worden aan de invloed van het onderhoud in de categorie ‘Gebruik van het product’. Zo zal deze categorie met een onderhoudspercentage van 3,20% en 20,40% verantwoordelijk zijn voor respectievelijk 3,84% en 20,28% van de totale scope 3 emissies. Een onderhoudspercentage van 20,40% zal eerder aan de hoge kant zijn, zeker voor thermisch verzinkte elementen aangezien deze in principe zo goed als geen onderhoud vereisen. Het geeft echter wel aan dat de invloed van onderhoud in offshore omstandigheden niet onderschat of verwaarloosd mag worden.

18. Impact omtrent Transition Piece

Om een globaal beeld te verkrijgen van de totale milieu-impact, wordt de impact van de individuele onderdelen, welke reeds behandeld werden, in kaart gebracht en samengesteld. De levenscyclus van dergelijke offshore elementen, zoals de Transition Pieces geproduceerd door Smulders, kan opgedeeld worden in verschillende fasen: productiefase, gebruiksfase en end-of-life. Ieder topic kan op zijn beurt verder worden uitgesplitst naar een reeks specifieke stappen, zoals productie, transport of recyclage. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen (1) Staal, (2) Thermisch verzinken, (3) Productie Transition Piece en (4) Onderhoud. Tabel 18-1 geeft een overzicht van deze verschillende stadia gedurende de levenscyclus van een Transition Piece. De randvoorwaarden, aannamen en veronderstellingen van iedere fase worden in de volgende paragrafen beschreven. Tot slot wordt een grafisch overzicht gegeven van de levenscyclus, betreffende de milieu-impact in de vorm van het Global Warming Potential (GWP) [ton CO₂-eq] en de Primary Energy Demand (PED) [GJ]. Omtrent de uitwerking en berekening van onderstaande paragrafen wordt verwezen naar 'Bijlage 3: Impact omtrent Transition Piece Excel werkblad'.

Tabel 18-1 Overzicht verschillende fasen van levenscyclus Transition Piece

(1) Staal	a) Extractie grondstoffen
	b) Credit (RR 85%)
	c) Upstream transport: hoogoven – factory gate
	d) End-of-life burden (transport)
(2) Thermisch verzinken	a) Extractie grondstoffen
	b) Credit
(3) Productie Transition Piece	a) Productie – Transition Piece
	b) Productie – Duplexverfsysteem
	c) Downstream transport: factory gate – offshore site
	d) Afvaltransport - Staal
	e) Afvaltransport - Verf
	f) Verfafval verwerking
(4) Onderhoud	a) Verf (3,2%)
	b) Verf (20,4%) - Extra

18.1. Staal

Het onderdeel 'Staal' omvat de extractie van de grondstoffen, een recyclage credit die rekening houdt met een RR van 85%, het upstream transport van het staal van de hoogoven naar Smulders en een end-of-life burden.

De extractie van de grondstoffen houdt rekening met de ontginning van ertsen alsook met de verwerking ervan tot en met de uiteindelijke productie van de stalen elementen. Voor staal kan gebruik gemaakt worden van Worldsteel's uitgebreide LCI dataset[13]. Hieruit kan, aan de hand van de correcte 'Characterisation Factor', een GWP berekend worden[91]. De PED dient niet omgerekend te worden. Tabel 18-2 geeft het GWP en PED weer voor de productie van 1 kg staal met een Recovery Rate van 85%.

Tabel 18-2 Berekening Global Warming Potential uit Life Cycle Inventory data per kg staal – RR 85%

		CO ₂	CH ₄	NO _x	N ₂ O
LCI data	Primair (g CO ₂ -eq)	2772,68	0,51	4,41	0,17
	Credit (g CO ₂ -eq)	-1432,77	0,25	-1,69	-0,07
	End-of-life (g CO ₂ -eq)	1339,91	0,76	2,72	0,10
Characterisation Factor		1	28	5	5
GWP	Primair (g CO ₂ -eq)	2772,68	14,40	22,06	0,86
	Credit (g CO ₂ -eq)	-1432,77	7,08	-8,46	-0,37
	End-of-life (g CO ₂ -eq)	1339,91	21,48	13,60	0,49
TOTAAL GWP	Primair (kg CO ₂ -eq)	2,81			
	Credit (kg CO ₂ -eq)	-1,43			
	End-of-life (kg CO ₂ -eq)	1,38			
PED	Primair (MJ)	40,0			
	Credit (MJ)	-13,3			
	End-of-life (MJ)	26,7			

Voor upstream transport kunnen gegevens gebruikt worden uit de desbetreffende ketenanalyses van staal, verf en thermisch verzinken. De PED kan bepaald worden uit de gegevens omtrent het brandstofverbruik. Diesel heeft namelijk gemiddeld een soortelijk gewicht van 0,84 kg/l en een energie-inhoud van 42,7 MJ/kg[92]. Tabel 18-3 geeft een overzicht van de desbetreffende gegevens.

Tabel 18-3 Overzicht gegevens upstream transport: hoogoven – factory gate

	GWP (kg CO ₂ -eq)	PED (MJ)
Upstream: hoogoven – gate		
Ketenanalyse staal [79]	4 735 350	53 077 354

Voor de verwerking van de stalen constructie wordt zowel een credit als een burden in de analyse opgenomen. De burden bestaat uit het transport van de gedemonteerde stalen elementen naar de hoogoven. De credit daarentegen houdt rekening met een aandeel aan secundaire materialen bij de productie van staal in de hoogovens. De credit kan bepaald worden uit de LCI dataset van World Steel[13] en wordt weergegeven in Tabel 18-2.

18.2. Thermisch verzinken

Dit onderdeel bestaat uit de extractie van de grondstoffen voor het thermisch verzinken en een credit in verband met recyclage. Voor de productie van primair zink wordt, zoals reeds aangehaald in paragraaf 16.1, gebruik gemaakt van de gegevens van Nyrstar: 2,45 kg CO₂-eq/kg zink en 25 MJ/kg zink. De credit kan hierbij worden ingerekend, zoals reeds aangegeven in paragraaf 16.2. Hierbij kan echter opgemerkt worden dat deze sterk afhankelijk is van de zinkinhoud. Bijgevolg kan er rekening gehouden met een zinkinhoud variërend tussen 20% en 35%. Hieruit komt een credit voor het GWP en de PED voort van respectievelijk -0,17 tot -0,26 kg CO₂-eq/kg zink en -1,7 tot -3,6 MJ/kg zink.

18.3. Productie Transition Piece

De productiefase omvat alle activiteiten en stappen, die dienen uitgevoerd te worden alvorens het element in gebruik wordt genomen. Hierbij wordt ook rekening gehouden met enkele productiestappen, die niet uitgevoerd worden door Smulders, beter bekend als de Scope 3 emissies. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen de productie van het Transition Piece en het duplexverfsysteem, het downstream transport (factory gate – offshore site), het afvaltransport voor staal en verf en de verwerking van het verfafval.

De productie bestaat uit het vervaardigen van een Transition Piece alsook het verven en thermisch verzinken. De verwerking van staal binnen Smulders betreft feitelijk scope 1-2 emissies, maar worden ter volledigheid opgenomen in deze analyse. Voor het verven kunnen wederom de gegevens uit de desbetreffende ketenanalyse gebruikt worden. Dergelijke ketenanalyse is echter een scope 3 analyse, waardoor het verven van het Transition Piece zelf niet mee in rekening wordt gebracht. Bijgevolg houdt deze analyse geen rekening met de scope 1-2 van het verfproces, maar wel met de grondstoffen en het upstream transport. De productiestap van het thermisch verzinken omvat het proces in de verzinkerij en het upstream transport. Tabel 18-4 geeft een overzicht van de desbetreffende gegevens omtrent de productiefase.

Tabel 18-4 Overzicht gegevens omtrent productiefase

	GWP (kg CO₂-eq)	PED (MJ)
Transition Piece [76][77]	14 926 625	95 477 263
Duplexverfsysteem (verf [80] + thermisch verzinken)	755 597	4 740 873

Voor downstream transport kunnen gegevens gebruikt worden uit de desbetreffende ketenanalyses van staal, verf en thermisch verzinken. Het afvaltransport omvat onder andere het transport van staalschroot, verfresten en actief kool. Het GWP en de PED worden voor het transport op dezelfde manier bepaald zoals in paragraaf 18.1. Tabel 18-5 geeft een overzicht van deze transportgegevens.

Tabel 18-5 Overzicht gegevens productie - transport

	GWP (kg CO ₂ -eq)	PED (MJ)
Downstream: gate – site		
Ketenanalyse staal [79]	12 436 400	139 396 499
Ketenanalyse verf [80]	42 070	471 552
Ketenanalyse thermisch verzinken	5 990	67 140
TOTAAL	12 484 460	139 935 191
Afvaltransport		
Ketenanalyse staal [79]	156 800	1 757 532
Ketenanalyse verf [80]	7 215	80 871
TOTAAL	164 015	1 838 403

Gedurende de productie van een Transition Piece worden grote hoeveelheden afval gevormd. De verwerking van het staalschroot wordt reeds inbegrepen in het onderdeel ‘Staal – Credit’. Hierdoor dient uitsluitend transport nog ingerekend te worden, welke reeds opgenomen wordt in de categorie afvaltransport. De verwerking van verf bestaat in dit geval uit een verbrandingsproces. De ketenanalyse van verf geeft aan dat gemiddeld 3 kg CO₂ per kg verf wordt uitgestoten[80]. Er zijn echter geen gegevens omtrent de PED van dit verbrandingsproces. Verder wordt ook het verbruik van de actief koolfilters voor de verwerking van vluchtige organische componenten in de analyse opgenomen. Het transport van het actief kool en de verfresten worden wederom opgenomen in de categorie ‘afvaltransport’.

18.4. Onderhoud

In de gebruiksfase dient uitsluitend onderhoud ingecalculeerd te worden, rekening houdend met de werkwijze van Smulders. In paragraaf 17.5 wordt duidelijk aangegeven op welke manier het onderhoud voor de desbetreffende onderwerpen wordt ingerekend. Hierbij worden onder andere waarden bepaald voor een onderhoudspercentage van 3,2% en 20,4%. Er wordt bijgevolg voor deze analyse een interval opgesteld omtrent deze uiteenlopende onderhoudspercentages. Tot slot wordt er in deze analyse aangenomen dat het thermisch verzinken geen onderhoud ondergaat, dit staat in ruim contrast met de ketenanalyse. De reden waarom het onderhoud wordt opgenomen in de ketenanalyse, is om conform te zijn met de berekeningswijze van Smulders. Hierdoor heeft Smulders de mogelijkheid om de verscheidene analyses met elkaar te vergelijken. Tabel 18-6 geeft een overzicht van de gegevens omtrent verf. Hierbij zijn de gegevens betreffende het GWP en de PED respectievelijk afkomstig uit de ketenanalyse van verf en energiescan van Smulders[76][80].

Tabel 18-6 Overzicht gegevens gebruiksfase - onderhoud

	GWP (kg CO ₂ -eq)	PED (MJ)
Onderhoud verf		
Onderhoudspercentage 3,2%	388 458	3 206 252
Onderhoudspercentage 20,4%	2 476 417	20 439 856

18.5. Grafisch overzicht

Alle voorgaande waarden worden verschaald naar eenzelfde eenheid, namelijk de productie van één Transition Piece. Deze had in het referentiejaar 2014-2015 een gemiddeld gewicht van 251 ton. Hierdoor wordt een GWP en PED bekomen, uitgedrukt in respectievelijk ton CO₂-eq en GJ.

Tabel 18-7 geeft een overzicht van de gegevens van Smulders omtrent het verbruikte staal. Elke impact, die betrekking heeft tot het thermisch verzinken, wordt verschaald aan de hand van de hoeveelheid HDG staal. Voor de verwerking van de stalen elementen binnen het productieproces van een Transition Piece, worden de scope 1-2 gegevens van Smulders gebruikt. Aangezien deze gegevens van SIF niet gekend zijn, wordt deze impact verschaald met uitsluitend het door Smulders aangekochte staal. Tot slot kan de impact voor één Transition Piece bepaald worden aan de hand van zijn gewicht.

Tabel 18-7 Gegevens staal - Smulders

Aangekocht staal (incl. SIF)	69 479 760 kg
Aangekocht staal (excl. SIF)	24 229 750 kg
HDG staal	294 031 kg

Figuur 18-1 en Figuur 18-2 geven respectievelijk het GWP en de PED weer voor de levenscyclus van een Transition Piece, uitgedrukt per geproduceerd Transition Piece van 251 ton. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een duplexverfsysteem. Er wordt aangenomen dat 10% van het staal dat verbruikt wordt bij de productie van een Transition Piece, HDG staal omvat. Omtrent het onderhoud wordt aangegeven wat de bijkomende impact is, indien er met een onderhoudspercentage van 20,4% ten opzichte van 3,2% gerekend wordt. Daarbij heeft het onderhoud slechts betrekking op 90% van het element, aangezien de resterende 10% bestaat uit HDG staal. Hiervoor wordt immers aangenomen dat er geen onderhoud uitgevoerd dient te worden.

Er kan worden besloten dat staal het grootste deel van deze impact omvat, meer bepaald staal als grondstof en de productie van de stalen elementen. Dit valt te verklaren door de grote hoeveelheden staal, die verwerkt worden in dergelijk Transition Piece en dit staat in ruim contrast met de verbruikte hoeveelheden verf en zink. Deze zullen bijgevolg een kleinere absolute impact hebben ten opzichte van staal, maar vormen desalniettemin een belangrijk onderdeel van het geheel.

Er wordt getracht een vergelijking te maken tussen het gebruik van thermisch verzinken en verf, oftewel het duplexverfsysteem, en een zuiver verfsysteem. Figuur 18-3 en Figuur 18-4 geven wederom het GWP en de PED weer voor de levenscyclus van een Transition Piece, maar in dit geval wordt gebruik gemaakt van een verfsysteem. Alle onderdelen, die te maken hebben met thermisch verzinken, worden hierbij buiten beschouwing gelaten. Tot slot heeft het onderhoud in dit geval wel betrekking op 100% van het element.

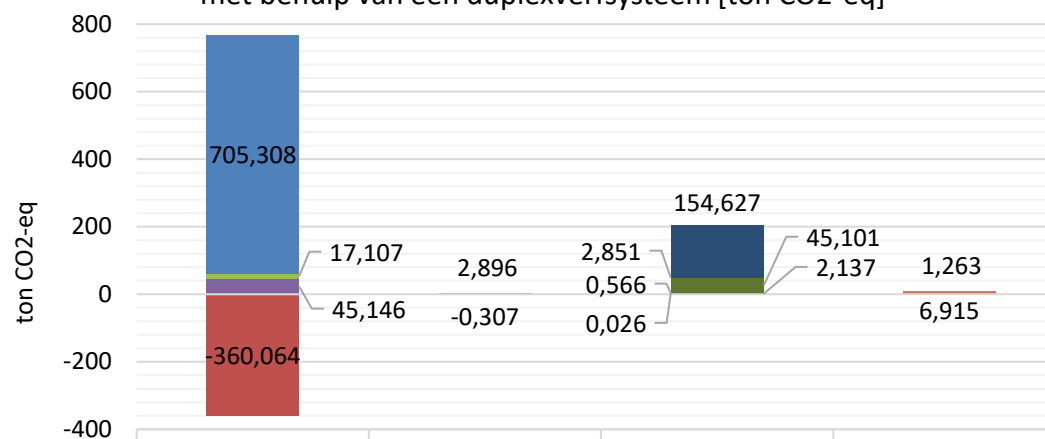
Er kan worden gesteld dat, zoals aangegeven in hoofdstuk 9, in offshore omstandigheden iedere vijf jaar onderhoud dient uitgevoerd te worden en dus viermaal gedurende de gemiddelde levensduur van een windmolenpark. Daarnaast kan bij het toepassen van een duplexverfsysteem onderhoud uitgespaard en/of minder frequent uitgevoerd worden. Indien de impact van dit uitgespaarde onderhoud groter is dan de impact, die voortkomt uit de productie en verwerking van het thermisch verzinken, dan kan gesteld worden dat het toepassen van dergelijk duplexverfsysteem voordeliger is omtrent het GWP en PED. Bijgevolg heeft dit ook een invloed op het economisch aspect in het kader van de CO₂-prestatieladder.

Met de vooropgestelde aannamen, veronderstellingen en data is het hieromtrent echter moeilijk om eenduidige conclusies te vormen. De scope 1-2 emissies van het verfproces zijn immers niet mee in rekening gebracht. Dit is in principe geen omvangrijk probleem, aangezien deze in beide systemen een even grote impact uitoefenen en bijgevolg geen invloed hebben in de vergelijking tussen beide systemen. Het onderhoud heeft daarentegen een significante invloed, aangezien deze bepaalt of er al dan niet een voordeel gehaald kan worden uit het toepassen van een duplexverfsysteem. Het onderhoud is echter niet met exacte data opgesteld, maar benaderd door een percentage te nemen van de totale uitstoot en het totale energieverbruik gedurende de productie. Dit onderhoudspercentage bevindt zich tussen de 3,2% en 20,4% en is uiteraard sterk afhankelijk van de locatie. Tabel 18-8 geeft het belang van dit onderhoudspercentage duidelijk weer. Uitsluitend wanneer het onderhoudspercentage daalt, lijkt het niet voordelig om een duplexverfsysteem toe te passen. Deze conclusie dient met enige omzichtigheid geïnterpreteerd te worden vanwege de reeds aangehaalde aannamen en beperkingen.

Tabel 18-8 Vergelijking duplexverfsysteem - verfsysteem

	GWP (ton CO ₂ -eq)	PED (GJ)
Duplexverfsysteem - Thermisch verzinken		
Extractie grondstoffen	2,896	29,552
Credit	-0,307	-3,133
Productie	0,127	1,943
TOTAAL	2,716	28,362
Verskil in onderhoud - viermaal op 20 jaar		
Onderhoud 3,2%	0,560	4,632
Onderhoud 20,4%	3,072	25,364

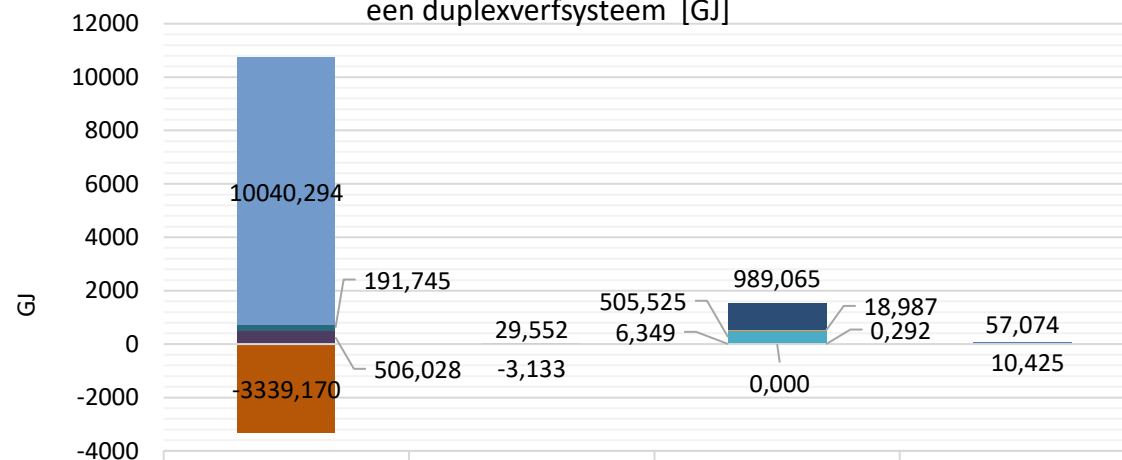
Global Warming Potential voor 1 Transition Piece gebaseerd op 2014-2015 gegevens van Smulders met behulp van een duplexverfsysteem [ton CO₂-eq]



	Staal	Thermisch verzinken	Productie 'Transition Piece'	Onderhoud - verf
■ Staal - Extractie grondstoffen	705,308			
■ Staal - Credit (RR 85%)	-360,064			
■ Staal - Upstream transport: hoogoven - factory gate	17,107			
■ Staal - End-of-life Burden (transport)	45,146			
■ Thermisch verzinken - Extractie grondstoffen		2,896		
■ Thermisch verzinken - Credit		-0,307		
■ Productie 'Transition Piece'			154,627	
■ Productie - Duplexverfsysteem			2,851	
■ Downstream transport: factory gate - offshore site			45,101	
■ Afvaltransport - staal			0,566	
■ Afvaltransport - verf			0,026	
■ Verfafval verwerking			2,137	
■ Onderhoud - Verf - 3,2%				1,263
■ Extra onderhoud - Verf - 20,4%				6,915

Figuur 18-1 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Global Warming Potential [ton CO₂-eq] - Duplexverfsysteem

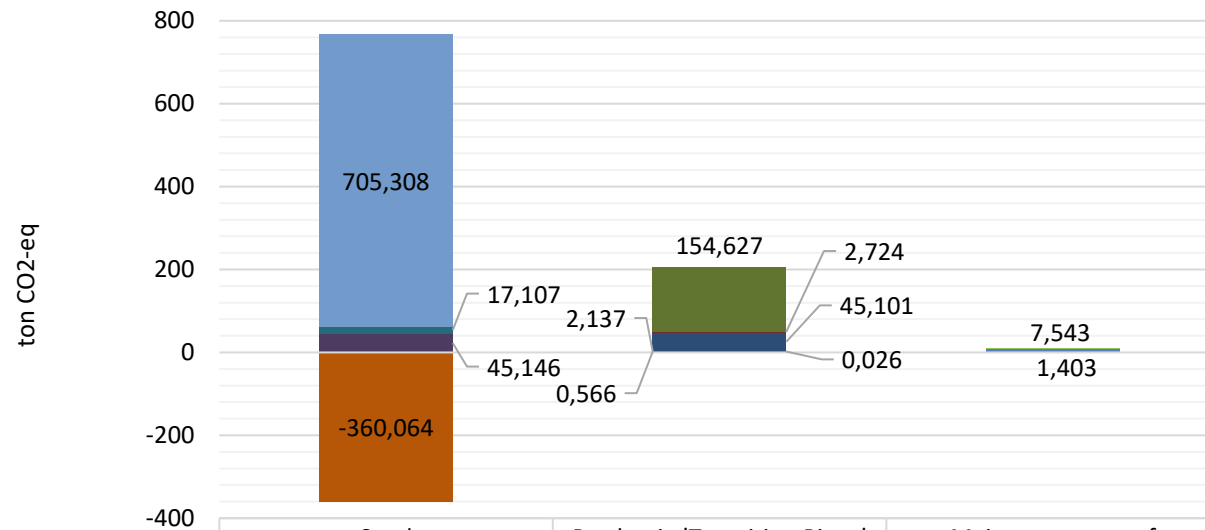
Primary Energy Demand voor 1 Transition Piece gebaseerd op 2014-2015 gegevens van Smulders met behulp van een duplexverfsysteem [GJ]



	Staal	Thermisch verzinken	Productie 'Transition Piece'	Onderhoud - verf
Staal - Extractie grondstoffen	10040,294			
Staal - Credit (RR 85%)	-3339,170			
Staal - Upstream transport: hoogoven - factory gate	191,745			
Staal - End-of-life Burden (transport)	506,028			
Thermisch verzinken - Extractie grondstoffen		29,552		
Thermisch verzinken - Credit		-3,133		
Productie 'Transition Piece'			989,065	
Productie - Duplexverfsysteem			18,987	
Downstream transport: factory gate - offshore site			505,525	
Afvaltransport - staal			6,349	
Afvaltransport - verf			0,292	
Verfafval verwerking			0,000	
Onderhoud - Verf - 3,2%				10,425
Extra onderhoud - Verf - 20,4%				57,074

Figuur 18-2 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Primary Energy Demand [GJ] – Duplexverfsysteem

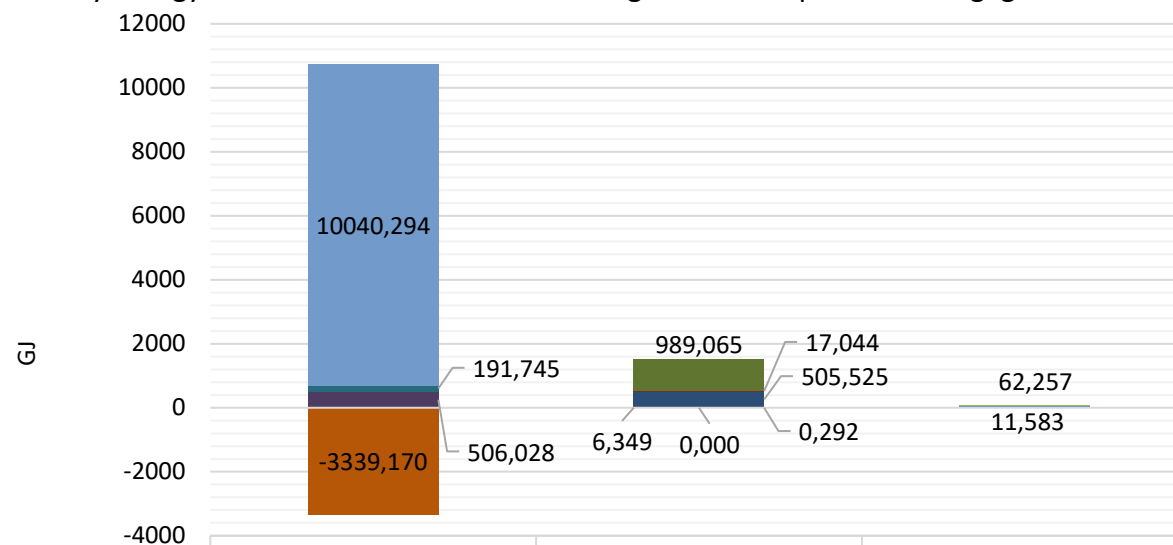
Global Warming Potential voor 1 Transition Piece gebaseerd op 2014-2015 gegevens van Smulders met behulp van een verfsysteem[ton CO₂-eq]



	Staal	Productie 'Transition Piece'	Maintenance - verf
■ Staal - Extractie grondstoffen	705,308		
■ Staal - Credit (RR 85%)	-360,064		
■ Staal - Upstream transport: hoogoven - factory gate	17,107		
■ Staal - End-of-life Burden (transport)	45,146		
■ Productie 'Transition Piece'		154,627	
■ Productie - Verfsysteem		2,724	
■ Downstream transport: factory gate - offshore site		45,101	
■ Afvaltransport - staal		0,566	
■ Afvaltransport - verf		0,026	
■ Verfafval verwerking		2,137	
■ Onderhoud - Verf - 3,2%			1,403
■ Extra onderhoud - Verf - 20,4%			7,543

Figuur 18-3 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Global Warming Potential [ton CO₂-eq] - Verfsysteem

Primary Energy Demand voor 1 Transition Piece gebaseerd op 2014-2015 gegevens van Smulders [GJ]



	Staal	Productie 'Transition Piece'	Maintenance - verf
Staal - Extractie grondstoffen	10040,294		
Staal - Credit (RR 85%)	-3339,170		
Staal - Upstream transport: hoogoven - factory gate	191,745		
Staal - End-of-life Burden (transport)	506,028		
Productie 'Transition Piece'		989,065	
Productie - Verfsysteem		17,044	
Downstream transport: factory gate - offshore site		505,525	
Afvaltransport - staal		6,349	
Afvaltransport - verf		0,292	
Verfafval verwerking		0,000	
Onderhoud - Verf - 3,2%			11,583
Extra onderhoud - Verf - 20,4%			62,257

Figuur 18-4 Grafische voorstelling levenscyclus Transition Piece – Primary Energy Demand [GJ] – Verfsysteem

VI. Besluit

Het doel van het onderzoek kaderend binnen deze masterproef, betreft het in kaart brengen van de CO₂-impact en het energieverbruik van het galvanisatie- en productieproces van een Transition Piece bij Smulders Projects. Smulders maakt hierbij gebruik van de CO₂-prestatieladder, welke bijgevolg een belangrijke rol heeft omtrent het verwerken en analyseren van de bekomen data voor deze masterproef. De hierop voorgaande literatuurstudie bevat voldoende informatie en diepgang om de vooropgestelde doelstellingen te bereiken.

Omtrent het galvanisatieproces wordt de CO₂-impact en het energieverbruik geanalyseerd aan de hand van de totale levenscyclus van de thermisch verzinkte elementen. Zo wordt er onderzoek uitgevoerd naar de primaire productie van zink, de recyclage, de onderhoudscyclussen, de levensduur en tot slot de end-of-life. In de literatuur werd er geen credit teruggevonden, welke rekening houdt met zinkrecyclage. Om de invloed van het secundaire zink in de productie van Special High Grade (SHG) zink alsnog te kunnen begroten, wordt deze credit berekend doorheen de ontwikkeling van deze masterproef. De focus ligt hierbij op het Waelz-Kiln proces, wat in Europa het meest gebruikte proces vormt teneinde zink te recyclen uit Electric Arc Furnace (EAF) stof. Een vergelijkende studie toont aan dat dit EAF-stof gemiddeld 25% zink bevat. Er wordt geconcludeerd dat primair zink verantwoordelijk is voor 2,45 kg CO₂-eq/kg zink en 25 MJ/kg zink. Indien rekening gehouden wordt met de recyclage van het EAF-stof, bedragen deze invloeden 2,19 kg CO₂-eq/kg zink en 22,35 MJ/zink. Tot slot wordt hieruit de credit begroot op -0,26 kg CO₂-eq/kg zink en -2,65 MJ/kg zink. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat de zinkinhoud van het EAF-stof een significante invloed uitoefent. Bijkomend onderzoek kan doorslaggevend zijn omtrent toekomstige bepalingen van dergelijke credit.

Om het Global Warming Potential (GWP) en de Primary Energy Demand (PED) van de verzinkerij in beeld te brengen, wordt gebruik gemaakt van de Environmental Product Declaration (EPD) van EGGA. Op deze manier wordt een beeld gevormd van de milieu-impact van thermisch verzinken in Europese omstandigheden. Deze waarden worden vervolgens getoetst en waar nodig aangevuld met actuele waarden van leveranciers van Smulders Projects.

Uit de ketenanalyse van zink, conform het Greenhouse Gass Protocol Scope 3, volgen twee GWP's. Deze vormen een beeld van de CO₂-uitstoot doorheen het galvanisatieproces van een Transition Piece. Het verschil tussen beide waarden resulteert uit een variabel onderhoudspercentage. Het onderhoudspercentage kan variëren van 3,2% tot 20,4%, dewelke respectievelijk een GWP opleveren van 3,29 en 3,97 kg CO₂-eq/kg zink.

Tot slot wordt er in dit onderzoek een vergelijking gemaakt tussen het GWP en de PED bij een verfsysteem en duplexverfsysteem. Wederom heeft het onderhoudspercentage een significante invloed op de resultaten, wat het bemoeilijkt om een concrete conclusie te formuleren. Een laag onderhoudspercentage zorgt er namelijk voor dat verfsystemen lagere emissies teweegbrengen ten opzichte van duplexverfsystemen. Gezien het offshore karakter van een Transition Piece, ligt het onderhoudspercentage vermoedelijk hoger dan initieel werd gedacht, waardoor een duplexverfsysteem gunstiger is dan een verfsysteem wat betreft het GWP.

Bibliografie

- [1] Europese Commissie, “EUROPA 2020,” 2010.
- [2] A. Sev, “A comparative analysis of building environmental assessment tools and suggestions for regional adaptations,” *Civ. Eng. Environ. Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 231–245, 2011.
- [3] Smulders Group, “Smulders.” [Online]. Available: <http://www.smulders.com/nl>. [Accessed: 05-Jan-2017].
- [4] International Energy Agency, “Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios & Strategies to 2050,” 2010.
- [5] M. A. Quader, S. Ahmed, R. A. R. Ghazilla, S. Ahmed, and M. Dahari, “A comprehensive review on energy efficient CO2 breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 594–614, 2015.
- [6] World Steel Association, “World Steel in Figures 2016,” 2016.
- [7] SETIS, “Energy Efficiency and CO2 Reduction in the Iron and Steel Industry,” 2014.
- [8] Bureau of International Recycling, “World Steel Recycling In Figures 2010 – 2014,” 2015.
- [9] World Steel Association, “Steel’s contribution to a low carbon future and climate resilient societies,” 2015.
- [10] World Steel Association, “The three Rs of sustainable steel,” 2009.
- [11] J.-P. Birat *et al.*, “The value of recycling to society and its internalization into LCA methodology,” *Rev. Métallurgie*, vol. 103, no. 2, pp. 50–61, 2006.
- [12] World Steel Association, “Sustainable steel: At the core of a green economy,” 2012.
- [13] World Steel Association, “Life Cycle Inventory Data for Steel Products,” 2000.
- [14] J. A. Moya and N. Pardo, “The potential for improvements in energy efficiency and CO2 emissions in the EU27 iron and steel industry under different payback periods,” *J. Clean. Prod.*, vol. 52, pp. 71–83, 2013.
- [15] N. Pardo and J. A. Moya, “Prospective scenarios on energy efficiency and CO2 emissions in the European Iron & Steel industry,” *Energy*, vol. 54, pp. 113–128, Jun. 2013.
- [16] E. H. M. Moors, K. F. Mulder, and P. J. Vergragt, “Towards cleaner production: barriers and strategies in the base metals producing industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 13, no. 7, pp. 657–668, 2005.
- [17] C. Rynikiewicz, “The climate change challenge and transitions for radical changes in the European steel industry,” *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 7, pp. 781–789, 2008.
- [18] E. H. M. Moors, “Technology strategies for sustainable metals production systems: a case study of primary aluminium production in The Netherlands and Norway,” *J. Clean. Prod.*, vol. 14, no. 12, pp. 1121–1138, 2006.
- [19] S.-Y. Lee, “Existing and anticipated technology strategies for reducing greenhouse gas emissions in Korea’s petrochemical and steel industries,” *J. Clean. Prod.*, vol. 40, pp. 83–92, 2013.
- [20] World Steel Association, “Tata Steel Europe - Improving energy efficiency through the economic crisis,” 2010.
- [21] World Steel Association, “Ruukki - New solutions for wind turbine towers,” 2010.
- [22] World Steel Association, “Baosteel - Packaging.” [Online]. Available: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/life-cycle-thinking/case-studies/Baosteel-->

Packaging.html.

- [23] Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden en Ondernemen (SKAO), “Handboek CO2-prestatieladder 3.0,” 2015.
- [24] SKAO, “CO2-Prestatieladder | SKAO NEW,” 2016. [Online]. Available: <http://www.skao.nl/>. [Accessed: 20-Nov-2016].
- [25] Building Research Establishment, “BREEAM.” [Online]. Available: <http://www.breeam.com/>.
- [26] BRE global, “Infrastructure (BREEAM and CEEQUAL) FAQs,” p. 9, 2016.
- [27] N. Paterson, “Learning legacy,” 2011.
- [28] J. Parker, “The Value of BREEAM,” 2012.
- [29] Building Research Establishment, “BREEAM: Why BREEAM.” [Online]. Available: <http://www.breeam.com/why-breeam>.
- [30] R. Yao, “Design and Management of Sustainable Built Environments.”
- [31] CEEQUAL, “An introduction to CEEQUAL,” 2016.
- [32] WindEurope, “WindEurope - the voice of the wind energy industry.” [Online]. Available: <https://windeurope.org/>. [Accessed: 19-Nov-2016].
- [33] B. Hoekstra Bonnema, “Carbon Footprint Offshore Wind Foundations Together we make the difference,” 2014.
- [34] M. Sathyajith, “Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics,” Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [35] K. Hanjalic, R. Van De Krol, and A. Lekic, “Sustainable Energy Technologies,” Springer Netherlands, 2008.
- [36] ETIPWind, “Strategic research and innovation agenda 2016,” 2016.
- [37] European Wind Energy Association, “The European offshore wind industry - key trends and statistics 2015,” 2015.
- [38] International Lead and Zinc Study Group, “Lead and Zinc Statistics,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ilzsg.org/static/statistics.aspx?from=7>. [Accessed: 05-Mar-2017].
- [39] D. Kemperman, “Metallurgical processing of zinc-bearing residues,” 2010.
- [40] E. Van Genderen, M. Wildnauer, N. Santero, and N. Sidi, “A global life cycle assessment for primary zinc production,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 21, no. 11, pp. 1580–1593, 2016.
- [41] International Zinc Association, “Zinc Recycling,” 2011.
- [42] T. Woolley, “Thermisch verzinken en duurzaam bouwen - Handleiding voor architecten,” 2008.
- [43] International Zinc Association, “Zinc Environmental Profile - Life Cycle Assessment,” p. 8, 2010.
- [44] GaBi, “GaBi 6 Process data set: Special high grade zinc; primary production; production mix, at plant; (en),” 2012. [Online]. Available: <http://gabi-6-lci-documentation.gabi-software.com/xml-data/processes/fd9db252-4998-11dd-ae16-0800200c9a66.xml>. [Accessed: 05-May-2017].
- [45] GaBi, “GaBi 2013 Process data set: Special high grade zinc; primary production; production mix, at plant; (en),” 2013. [Online]. Available: <http://gabi-documentation-2013.gabi-software.com/xml-data/processes/fd9db252-4998-11dd-ae16-0800200c9a66.xml>. [Accessed: 05-May-2017].

- [46] Nyrstar, “2014 Sustainability Report,” p. 30, 2014.
- [47] I. La Poutré, “Interview Nyrstar,” 2017.
- [48] Zinkinfo Benelux, “Thermisch verzinken,” 2012.
- [49] P.T. Craddock, “Patina,” *Oxford Art Online*, 2009.
- [50] Zinkinfo Benelux, “Colleges Technologiecluster Bouw KUL - 15 februari 2017 - Corrosiewering en corrosiebeheersing,” 2017, p. 37.
- [51] Zinkinfo Benelux, “Predicted Corrosion Rate of Zinc.” [Online]. Available: <http://www.galvinform.com:8080/zclp/servlet/zclp2.zclp2>. [Accessed: 12-Mar-2017].
- [52] Bureau de Normalisation, “Corrosie van metalen en legeringen - Corrosiviteit van de atmosfeer - Indeling, bepaling en schatting (ISO9223:2012),” 2012. [Online]. Available: <https://edu.mynbn.be/nbnframework/index.php/pdfMeta/ro/440553?l=E>. [Accessed: 12-Mar-2017].
- [53] G. Schmittmann, “Interview,” 2017.
- [54] Zinkinfo Benelux, “Verzinken - Verschillende technieken om te verzinken,” pp. 1–8, 2012.
- [55] K. V. A. Jacobs, L. Goovaerts, B. Gielen (Ecolas), I. Van Tomme (Ecolas), V. Fincken (VOM), M. De Bonte (SIRRIS) en E. Hooyberghs, “Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor oppervlaktebehandeling van metalen en kunststoffen,” 2008.
- [56] M. Wagneur, “Kronieken 4,” no. 3, pp. 23–28, 1981.
- [57] Zinkinfo Benelux, “Duplex-systeem,” 2011.
- [58] International Zinc Association, “Hot Dip Galvanizing in Mining,” 2014.
- [59] Infosteel, “Guide to protection of steel against corrosion,” 2012.
- [60] KNMI, “Klimatologische gegevens Nederland,” 2008.
- [61] S. Sterck, “Interview omtrent verf,” 2017.
- [62] J. Krzywicki and T. Langill, “Heat sources & furnaces,” *Galvaniz. Note*, 2003.
- [63] VITO, “Thermisch verzinken | Verzamelplaats voor interactieve studies Beste Beschikbare Studies – BBT.” [Online]. Available: <https://ibbt.emis.vito.be/node/42655>. [Accessed: 05-Mar-2017].
- [64] Flanders Cleantech Association, “Galva Power.” [Online]. Available: <http://fca.be/nl/organisation/galva-power>. [Accessed: 13-Apr-2017].
- [65] C. Stewart, “Sustainability in Action: Recovery of Zinc from EAF Dust in the Steel Industry,” 2015.
- [66] B. M. Tieman, “Terugwinning van zink bij de recycling van verzinkt staal (schroot),” 2008.
- [67] E. van Westing, V. Savran, J. Hofman, D. Bol, and B. van Haastrecht, “Recycling of metals from coatings,” 2013.
- [68] Ploos van Amstel - Milieuconsulting, “Praktijkproef Hergebruik Geleiderail Ketenproject,” 2010.
- [69] K. Nakajima, O. Takeda, T. Miki, and T. Nagasaka, “Evaluation Method of Metal Resource Recyclability Based on Thermodynamic Analysis,” *Mater. Trans.*, vol. 50, no. 3, pp. 453–460, 2009.
- [70] C. Viklund-White, “The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanised Steel,” *ISIJ Int.*, 1999.
- [71] J. Krüger *et al.*, “A Presentation of the Facts on Zinc,” no. November, 2003.

- [72] CO2emissiefactoren.nl, “Lijst emissiefactoren.” [Online]. Available: https://co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/#brandstoffen_voertuigen. [Accessed: 04-Apr-2017].
- [73] European General Galvanizers Association, “Batch hot dip galvanizing of steel products to EN ISO 1461,” 2016.
- [74] K. Joachim, “Sachbilanz Zink,” RWTH Aachen, 2001.
- [75] World Steel Association, “Life Cycle Assessment Methodology Report,” 2011.
- [76] RACO Studiebureau, “Energie Scan : Smulders Projects,” 2015.
- [77] Smulders, “D-ENV-GR-021 - Emission inventory 2015 Q1-4.” 2015.
- [78] Smulders, “D-ENV-GR-012_Scope 3 analyse.” 2015.
- [79] Smulders, “R-ENV-GR-010_1-0_Ketenanalyse Staal.” 2016.
- [80] Smulders, “R-ENV-GR-008_1-0_Ketenanalyse Verf.” 2016.
- [81] Smulders, “R-ENV-GR-xxx_Communicatiefiche RTO.” 2016.
- [82] Smulders, “R-ENV-GR-xxx_Ontwikkelingstraject ECO Design.” 2016.
- [83] Smulders, “R-ENV-GR-xxx_Communicatiefiche ICE.” 2016.
- [84] I. Lotsberg, “Structural mechanics for design of grouted connections in monopile wind turbine structures,” *Mar. Struct.*, vol. 32, pp. 113–135, 2013.
- [85] Smulders, “Stappenplan - hulpstaal.” 2016.
- [86] Nationale Staalprijs, “Transition pieces Gemini Offshore Windpark | De Nationale Staalprijs - 3D tekening doorsnede transition piece.” [Online]. Available: <http://www.nationalestaalprijs.nl/deelnemende-projecten/detail/industrialbouw/gemini-transition-pieces>. [Accessed: 11-Dec-2016].
- [87] Greenhouse Gas Protocol, “Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard,” 2011.
- [88] T. Breemers and L. Akkermans, “GHG reduction measures for the Road Freight Transport sector,” 2014.
- [89] K. R. Haapala and P. Prempreeda, “Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines,” *Int. J. Sustain. Manuf.*, vol. 3, no. 2, pp. 170–185, 2014.
- [90] R. C. Thomson and G. P. Harrison, “Life Cycle Costs and Carbon Emissions of Offshore Wind Power,” 2015.
- [91] CML, “CML-IA Database - v4.8.” 2016.
- [92] SenterNovem, “Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂-emissiefactoren,” 2009.

Bijlagen

De onderstaande bijlagen zijn terug te vinden op de CD-ROM.

Bijlage 1: Infosteel – Guide to protection of steel against corrosion

Bijlage 2: Ketenganalyse Excel werkblad

Bijlage 3: Impact omtrent Transition Piece Excel werkblad



FACULTEIT INDUSTRIELE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
TECHNOLOGIECAMPUS DE NAYER
Jan De Nayerlaan 5
2860 SINT-KATELIJNE-WAVER, België
tel. + 32 15 31 69 44
iiw.denayer@kuleuven.be
www.iiw.kuleuven.be

LID VAN **ASSOCIATIE
KU LEUVEN**