

2014•2015
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Invloed van een Airdeck lichtgewicht vloersysteem op de levenscyclus van een kantoorgebouw

Promotor :
prof. dr. Herve DEGEE

Promotor :
ir. PIETER THIBAUT

Gertjan Beyens , Rob Christiaens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2014•2015
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Invloed van een Airdeck lichtgewicht vloersysteem op de levenscyclus van een kantoorgebouw

Promotor :
prof. dr. Herve DEGEE

Promotor :
ir. PIETER THIBAUT

Gertjan Beyens , Rob Christiaens

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Woord vooraf

Het eindresultaat van deze masterproef is te danken aan verschillende personen. Graag zouden wij deze personen willen bedanken voor hun expertise, inzet en opvolging gedurende het volledige onderzoeksproces.

In de eerste plaats zouden wij graag onze externe promotor ir. Pieter Thibaut van Airdeck Building Concepts N.V. willen bedanken voor zijn analyses en feedback gedurende de realisatie van deze masterproef. Zijn adviezen hebben ons geholpen dit werk tot een goed einde te brengen.

Vervolgens willen wij onze dank betuigen aan onze interne promotoren prof. dr. Hervé Degée en dr. ing. Bram Vandoren voor hun professionele bijstand gedurende de opbouw van dit werk.

Ook willen wij graag alle bedrijven bedanken welke kosteloos hun informatie en expertise ter beschikking stelden voor dit werk.

Graag vermelden wij ook onze beide families. Zonder hun steun en vertrouwen gedurende onze studiejaren hadden wij dit werk onmogelijk succesvol kunnen afwerken.

Tenslotte bedanken wij elkaar voor de vlotte, constructieve en fijne samenwerking met wederzijds vertrouwen en respect gedurende deze masterproef.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen.....	7
Lijst van figuren	9
Lijst van afkortingen en symbolen.....	11
Abstract	13
Abstract in English	15
1 Inleiding	17
1.1 Situering	17
1.2 Probleemstelling	18
1.3 Doelstellingen	18
1.4 Methode	18
2 Literatuurstudie	21
2.1 Vloersystemen	21
2.1.1 Breedplaat	21
2.1.2 Airdeck® vloersysteem	24
2.1.3 EPS – vloersystemen.....	33
2.2 Levenscyclusanalyse	35
2.2.1 Definitie	35
2.2.2 Opbouw levenscyclusanalyse	36
2.3 Hollandsch Huys.....	40
2.3.1 Beschrijving.....	40
2.3.2 Opbouw	41
2.4 Conclusie literatuurstudie.....	42
3 LCA – software GaBi 6	45
3.1 Algemeen	45
3.2 Werking.....	45
3.3 Resultaten in grafiekvorm.....	47
4 Studie op componentniveau	49
4.1 Inleiding.....	49
4.2 Doel en reikwijdte.....	49
4.3 Klassieke breedplaat	49
4.3.1 Tralieliggers klassieke breedplaat componentniveau	49

4.3.2	Onderwapening klassieke breedplaat componentniveau	54
4.3.3	Afstandhouders klassieke breedplaat componentniveau.....	55
4.3.4	Beton klassieke breedplaat componentniveau.....	55
4.3.5	Productieproces klassieke breedplaat componentniveau	56
4.3.6	LCA klassieke breedplaat componentniveau	57
4.3.7	Resultaten klassieke breedplaat componentniveau	57
4.4	Airdeck®	59
4.4.1	Tralieliggers Airdeck® componentniveau.....	59
4.4.2	Onderwapening Airdeck® componentniveau	61
4.4.3	Afstandhouders Airdeck® componentniveau.....	62
4.4.4	Airboxen Airdeck® componentniveau.....	62
4.4.5	Beton Airdeck® componentniveau.....	63
4.4.6	Productieproces Airdeck® componentniveau	64
4.4.7	LCA Airdeck® componentniveau	66
4.4.8	Resultaten Airdeck® componentniveau	67
4.5	Breedplaat met EPS – elementen	68
4.5.1	Tralieliggers breedplaat met EPS componentniveau	69
4.5.2	Onderwapening breedplaat met EPS componentniveau.....	70
4.5.3	Afstandhouders breedplaat met EPS componentniveau	71
4.5.4	EPS – elementen breedplaat met EPS componentniveau.....	71
4.5.5	Beton breedplaat met EPS componentniveau	73
4.5.6	Productieproces breedplaat met EPS componentniveau	73
4.5.7	LCA breedplaat met EPS componentniveau.....	75
4.5.8	Resultaten breedplaat met EPS componentniveau	75
4.6	Besluit componentniveau	77
5	Studie op systeemniveau.....	81
5.1	Inleiding.....	81
5.2	Doel en reikwijdte.....	81
5.3	Klassieke breedplaat	82
5.3.1	Onderschil klassieke breedplaat systeemniveau	82
5.3.2	Bijlegwapening klassieke breedplaat systeemniveau	82
5.3.3	Opstortbeton klassieke breedplaat systeemniveau.....	83
5.3.4	Realisatie klassieke breedplaat systeemniveau	84

5.3.5	LCA klassieke breedplaat systeemniveau	84
5.3.6	Resultaten klassieke breedplaat systeemniveau	85
5.4	Airdeck®	86
5.4.1	Onderschil Airdeck® systeemniveau	86
5.4.2	Bijlegwapening Airdeck® systeemniveau	86
5.4.3	Airboxen Airdeck® systeemniveau	87
5.4.4	Opstortbeton Airdeck® systeemniveau	88
5.4.5	LCA klassieke Airdeck® systeemniveau	89
5.4.6	Resultaten Airdeck® systeemniveau	89
5.5	EPS – elementen	91
5.5.1	Onderschil breedplaat met EPS –elementen systeemniveau	91
5.5.2	Bijlegwapening breedplaat met EPS –elementen systeemniveau	91
5.5.3	EPS – elementen breedplaat met EPS –elementen systeemniveau	91
5.5.4	Opstortbeton breedplaat met EPS –elementen systeemniveau	91
5.5.5	LCA breedplaat met EPS –elementen systeemniveau	92
5.5.6	Resultaten breedplaat met EPS –elementen systeemniveau	93
5.6	Besluit systeemniveau	95
6	Studie op gebouwniveau	99
6.1	Inleiding.....	99
6.2	Doel en reikwijdte.....	99
6.3	Abstracties en afbakening gebouwstructuur	99
6.4	Airdeck®	100
6.4.1	Vloerplaten	100
6.4.2	Dragende wanden	112
6.4.3	Kolommen	115
6.4.4	Kelder en fundering.....	116
6.4.5	Materiaalhoeveelheden Airdeck® gebouwniveau	120
6.4.6	LCA Airdeck® gebouwniveau	121
6.4.7	Resultaten Airdeck® gebouwniveau.....	122
6.5	Klassieke breedplaat	123
6.5.1	Equivalentente vloerplaat klassieke breedplaat.....	123
6.5.2	Dragende wanden klassieke breedplaat	131
6.5.3	Kolommen klassieke breedplaat	132

6.5.4	Fundering klassieke breedplaat.....	133
6.5.5	Materiaalhoeveelheden klassieke breedplaat gebouwniveau	138
6.5.6	LCA klassieke breedplaat gebouwniveau	139
6.5.7	Resultaten klassieke breedplaat gebouwniveau.....	139
6.6	EPS – elementen	141
6.6.1	Equivalentente vloerplaat breedplaat met EPS – elementen	141
6.6.2	Dragende wanden breedplaat met EPS – elementen	153
6.6.3	Kolommen breedplaat met EPS – elementen	153
6.6.4	Fundering breedplaat met EPS – elementen	154
6.6.5	Materiaalhoeveelheden breedplaat met EPS gebouwniveau.....	154
6.6.6	LCA breedplaat met EPS – elementen gebouwniveau	155
6.6.7	Resultaten breedplaat met EPS – elementen gebouwniveau.....	155
6.7	Besluit gebouwniveau.....	157
7	Besluit	161
	Literatuurlijst	163
	Bijlagen	167

Lijst van tabellen

Tabel 1: Dimensies tralieliggers [5]	27
Tabel 2: Types Airboxen [12]	27
Tabel 3: Maximale overspanningen [15]	30
Tabel 4: Brandweerstand EPS-vloersysteem [25]	34
Tabel 5: Overzicht vloersystemen	42
Tabel 6: Beschrijving ReCiPe – indicatoren [2]	48
Tabel 7: Inventarisatie klassieke breedplaat componentniveau.....	49
Tabel 8: Verbruik Kerkstoel 2000+ [35]	56
Tabel 9: Gereduceerd verbruik Kerkstoel 2000 +.....	56
Tabel 10: Energieverbruik per m ² klassieke breedplaat.....	57
Tabel 11: Materiaalhoeveelheden breedplaat componentniveau	57
Tabel 12: Resultaten LCA klassieke breedplaat componentniveau	59
Tabel 13: Inventarisatie Airdeck componentniveau	59
Tabel 14: Eigenschappen Airbox 240 mm	65
Tabel 15: Gegevens productieproces Airbox.....	65
Tabel 16: Productiegegevens intrillen Airboxen	65
Tabel 17: Materiaalhoeveelheden Airdeck Componentniveau	66
Tabel 18: Resultaten LCA Airdeck componentniveau	68
Tabel 19: Inventarisatie EPS componentniveau	68
Tabel 20: Productiegegevens intrillen EPS - elementen.....	74
Tabel 21: Materiaalhoeveelheden EPS componentniveau	75
Tabel 22: Resultaten LCA breedplaat met EPS componentniveau.....	76
Tabel 23: Samenvatting resultaten componentniveau	77
Tabel 24: Procentuele waarden resultaten componentniveau	78
Tabel 25: Eenheidsverbruik betonpompen	84
Tabel 26: Verbruik betonpomp klassieke breedplaat	84
Tabel 27: Materiaalhoeveelheden breedplaat systeemniveau.....	85
Tabel 28: Resultaten LCA klassieke breedplaat systeemniveau.....	86
Tabel 29: Materiaalhoeveelheden Airdeck systeemniveau	89
Tabel 30: Verbruik betonpomp Airdeck	89
Tabel 31: Resultaten LCA Airdeck systeemniveau.....	90
Tabel 32: Materiaalhoeveelheden EPS systeemniveau	92
Tabel 33: Verbruik betonpomp breedplaat met EPS	93
Tabel 34: Resultaten LCA breedplaat met EPS systeemniveau	94
Tabel 35: Samenvatting resultaten systeemniveau	95
Tabel 36: Procentuele waarden resultaten systeemniveau.....	96
Tabel 37: Wapeningshoeveelheden Airdeck kelderniveau	100
Tabel 38: Inventarisatie Airdeck kelderniveau	105
Tabel 39: Wapeningshoeveelheden Airdeck gelijkvloers.....	105
Tabel 40: Inventarisatie Airdeck gelijkvloers.....	109
Tabel 41: Wapeningshoeveelheden Airdeck niveau +1	109

Tabel 42: Inventarisatie Airdeck niveau +1	111
Tabel 43: Wapeningshoeveelheden Airdeck niveau +2	111
Tabel 44: Inventarisatie Airdeck niveau +2	112
Tabel 45: Dragende wanden Airdeck kelderniveau	113
Tabel 46: Dragende wanden Airdeck niveau 0, +1 en +2	114
Tabel 47: Overzicht dragende wanden Airdeck	114
Tabel 48: Overzicht kolommen Airdeck	115
Tabel 49: Overzicht fundering Airdeck	120
Tabel 50: Samenvatting materiaalhoeveelheden Airdeck	121
Tabel 51: Resultaten Airdeck gebouwniveau	122
Tabel 52: Wapening klassieke breedplaat.....	123
Tabel 53: Inventarisatie klassieke breedplaat kelderniveau	125
Tabel 54: Wapeningshoeveelheden klassieke breedplaat gelijkvloers.....	125
Tabel 55: Inventarisatie klassieke breedplaat gelijkvloers.....	127
Tabel 56: Wapeningshoeveelheden klassieke breedplaat niveau +1	127
Tabel 57: Inventarisatie klassieke breedplaat niveau +1	129
Tabel 58: Wapeningshoeveelheden klassieke breedplaat niveau +2	129
Tabel 59: Inventarisatie klassieke breedplaat niveau +2	131
Tabel 60: Overzicht dragende wanden klassieke breedplaat	132
Tabel 61: Overzicht fundering klassieke breedplaat	138
Tabel 62: Samenvatting materialen klassieke breedplaat	139
Tabel 63: Resultaten LCA klassieke breedplaat gebouwniveau	140
Tabel 64: Wapeningshoeveelheden EPS kelderniveau	141
Tabel 65: Inventarisatie EPS kelderniveau	144
Tabel 66: Materiaalhoeveelheden EPS gelijkvloers	145
Tabel 67: Inventarisatie EPS gelijkvloers	148
Tabel 68: Wapeningshoeveelheden EPS niveau +1.....	148
Tabel 69: Inventarisatie EPS niveau +1.....	151
Tabel 70: Wapeningshoeveelheden EPS niveau +2.....	151
Tabel 71: Inventarisatie EPS niveau +2.....	153
Tabel 72: Overzicht materiaalhoeveelheden breedplaat met EPS	155
Tabel 73: Resultaten breedplaat met EPS gebouwniveau	156
Tabel 74: Overzicht resultaten gebouwniveau.....	157
Tabel 75: Procentuele waarden resultaten gebouwniveau	158

Lijst van figuren

Figuur 1: Airdeck lichtgewicht vloerplaat [5]	17
Figuur 2: Fasen van een levenscyclusanalyse [2]	17
Figuur 3: Klassieke breedplaatvloerplaat [6]	18
Figuur 4: Opbouw breedplaat [8]	22
Figuur 5: Airbox [4]	24
Figuur 6: Onderscil Airdeck [4]	24
Figuur 7: Snede onderscil [4]	25
Figuur 8: Fase 2 opbouw Airdeck [13]	25
Figuur 9: Dimensionering als ribbenvloer [14]	26
Figuur 10: Afdracht in twee richtingen [14]	26
Figuur 11: Klassiek plaatsingsraster [5]	28
Figuur 12: Eindige-elementen analyse [16]	28
Figuur 13: Kanteelwapening [5]	29
Figuur 14: Ponsdeuvels [5]	29
Figuur 15: Afstorten vloerplaat [12]	29
Figuur 16: Constructieve vloerdikte [5]	30
Figuur 17: Evenaar [16]	31
Figuur 18: Plaatsing op de werf [4]	31
Figuur 19: Betonkernactivering [17]	32
Figuur 20: Airdeck Ceiling Climate [5]	33
Figuur 21: Airdeck Building Climate [5]	33
Figuur 22: EPS - vloersysteem [19]	33
Figuur 23: verschillende fasen binnen de levenscyclus [27]	36
Figuur 24: Levenscyclus van een bouwproduct [27]	37
Figuur 25: Hollandsch Huys [31]	40
Figuur 26: Meanderpatroon van betonkernactivering[30]	41
Figuur 27: Binnen-en buitentemperatuur in het Hollandsch Huys (2011) [31]	42
Figuur 28: Startscherm GaBi 6	45
Figuur 29: Stappenplan GaBi	46
Figuur 30: ReCiPe LCIA [33]	47
Figuur 31: ReCiPe resultaatcategorieën	47
Figuur 32: Dimensies tralieligger [34]	51
Figuur 33: Bepaling lengte schuine staaf	52
Figuur 34: Toepassing Pythagoras	52
Figuur 35: CC klassieke breedplaat componentniveau	58
Figuur 36: CC Airdeck componentniveau	67
Figuur 37: CC breedplaat met EPS componentniveau	76
Figuur 38: Procentuele invloed klassieke breedplaat componentniveau	79
Figuur 39: Procentuele invloed breedplaat met EPS componentniveau	80
Figuur 40: CC klassieke breedplaat systeemniveau	85
Figuur 41: CC Airdeck systeemniveau	90

Figuur 42: CC breedplaat met EPS systeemniveau.....	93
Figuur 43: Procentuele invloed klassieke breedplaat systeemniveau	97
Figuur 44: Procentuele invloed breedplaat met EPS systeemniveau	98
Figuur 45: Berekening Airdeck	106
Figuur 46: CC Airdeck gebouwniveau.....	122
Figuur 47: CC klassieke breedplaat gebouwniveau.....	140
Figuur 48: CC breedplaat met EPS gebouwniveau	156
Figuur 49: Procentuele invloed klassieke breedplaat gebouwniveau.....	159
Figuur 50: Procentuele invloed breedplaat met EPS gebouwniveau.....	159
Figuur 51: Overzicht impactverschil vloersystemen	162

Lijst van afkortingen en symbolen

ϕ	Diameter van een doorsnede
%	Percent
€	Munteenheid Euro
ρ	Soortelijk gewicht
π	Wiskundige constante ($\approx 3,14159265$)
A	Oppervlakte van een element
B	Breedte van een element
cm	Centimeter
cm ²	Vierkante centimeter
cm ³	Kubieke centimeter
D	Diameter van een doorsnede
DWG	Drawing, folder formaat
E	Elektrisch energieverbruik
EPS	Geëxpandeerd polystyreen
h	Hoogte van een element
HDPE	Polyethyleen met een hoge dichtheid
ISO	Internationale Organisatie voor Standaardisatie
kg	Kilogram
kWh	Kilowattuur
l	Liter
L	Lengte van een element
LCA	Levenscyclusanalyse
LCI	Life Cycle Impact, levenscyclusimpact
m	Meter of massa
m ²	Vierkante meter
m ³	Kubieke meter
mm	Millimeter
mm ²	Vierkante millimeter
mm ³	Kubieke millimeter
n	Aantal
N	Newton
NBN	Bureau voor normalisatie
O	Omtrek
PP	Polypropyleen
PS	Polystyreen
REI	Europese classificatie voor brandweerstand
t	Dikte
V	Volume

Abstract

Airdeck® is een lichtgewicht vloersysteem dat geproduceerd wordt door Airdeck Building Concepts N.V. Op vraag van dit bedrijf wordt de invloed van hun vloersysteem op de levenscyclus van een kantoorgebouw onderzocht. Deze invloed wordt, met behulp van het GaBi6–softwareprogramma, bepaald aan de hand van een vergelijkende studie ten opzichte van een massief vloersysteem en een systeem bestaande uit breedplaten met EPS–elementen. De resultaten worden uitgedrukt met behulp van de ReCiPe-milieu-indicatoren.

Het onderzoek wordt opgesplitst in drie niveaus: component-, systeem- en gebouwniveau. Op elk van deze niveaus wordt een vergelijkende studie gemaakt op basis van een gedetailleerde berekening van de materiaalhoeveelheden, het energieverbruik tijdens het proces en het transport naar de werf. De studie op gebouwniveau wordt uitgevoerd ten opzichte van het Hollandsch Huys te Hasselt.

Uit de resultaten blijkt dat het Airdeck® vloersysteem op elk onderzocht niveau een lagere milieu-impact realiseert dan zowel het systeem met massieve breedplaten als het systeem met EPS-elementen. Hierdoor kan besloten worden dat Airdeck® de meest positieve invloed heeft van de onderzochte systemen op de levenscyclus van een standaard kantoorgebouw.

Abstract in English

Airdeck® is a lightweight floor system produced by Airdeck Building Concepts N.V. In close connection with the company, the influence of the Airdeck® floor system on the global life-cycle performances of an entire typical office building is examined and compared to more standard floor systems such as massive slabs or floors with a slab combined with EPS-elements. This comparative study is carried out using the GaBi6-LCA-software. The results are provided in terms of ReCiPe environmental indicators.

The research is performed at three different levels, namely component, system and building level. For each of these three levels, the comparative study comprises a detailed calculation of the amount of materials, of the amount of energy consumption during the process and of the impact of transport to the building site. The case-study selected for the investigation at building level is the Hollandsch Huys office building located in Hasselt.

The results show out that the Airdeck® floor system exhibits a lower environmental impact than both the system with massive slabs as the system with EPS-elements, and this as well at component as at system and building level. Based on this, it can be concluded that, among the investigated floor systems, Airdeck® has the most positive impact on the lifecycle of a standard office building.

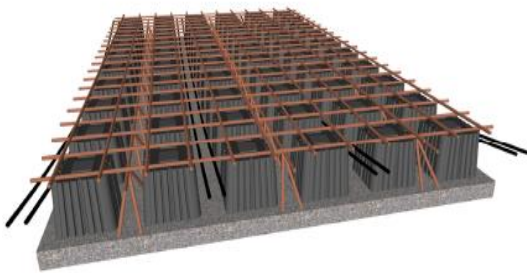
1 Inleiding

1.1 Situering

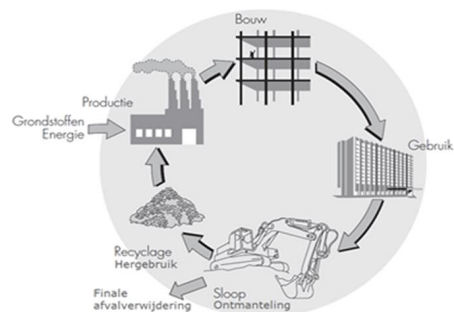
Deze masterproef werd uitgevoerd in samenwerking met Airdeck Building Concepts N.V. Tijdens deze samenwerking is de invloed van een Airdeck lichtgewichtvloersysteem, weergegeven in figuur 1, op de levenscyclusanalyse van een kantoorgebouw onderzocht.

Een levenscyclusanalyse, vaak afgekort als LCA, wordt opgebouwd uit vier fasen zoals weergegeven in figuur 2 en heeft tot doel de milieu-impact gedurende de volledige levensfase van een product te bepalen. In de eerste fase bepaalt men de impact tijdens de productie van het product. Hierna wordt er gekeken naar de impact bij installatie op de werf. De derde fase bestaat uit het bepalen van de milieu-impact tijdens het gebruik, deze fase loopt gelijk met de verwachte levensduur van een gebouw. Tot slot wordt de impact tijdens de levenseindefase van het product bepaald. De sommatie van deze vier fasen vormt de totale levenscyclusanalyse van het materiaal of het product. [1] [2]

Als referentiegebouw om de LCA-analyse op toe te passen, is tijdens deze masterproef gekozen voor het Hollandsch Huys te Hasselt. Bij de realisatie van dit kantoorcomplex heeft men enerzijds gekozen om een Airdeck lichtgewichtvloersysteem toe te passen. Anderzijds verzorgt men op duurzame wijze de energieopwekking door middel van betonkernactivering en geothermie. De combinatie van deze twee eigenschappen schetst een representatief beeld over de toekomstige kantoorcomplexen. [3]



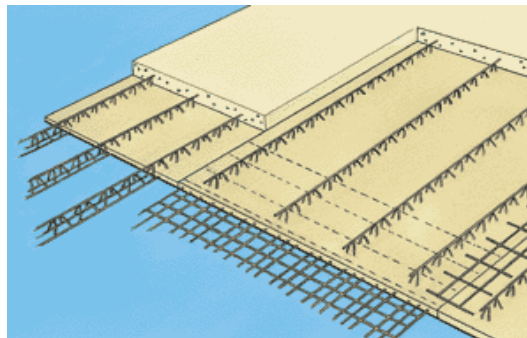
Figuur 1: Airdeck lichtgewicht vloerplaat [5]



Figuur 2: Fasen van een levenscyclusanalyse [2]

1.2 Probleemstelling

De invloed van een Airdeck lichtgewichtssysteem op de levenscyclusanalyse van een kantoorcomplex wordt op drie niveaus onderzocht. Door een analyse te maken op zowel component-, systeem- als gebouwniveau, wordt een representatiever beeld geschetst over de totale invloed van de vloerplaat. Om deze invloed te kunnen bepalen, wordt zowel op component-, systeem-, als gebouwniveau een vergelijking gemaakt tussen Airdeck, polystyreen (EPS) lichtgewichtelementen en klassieke breedplaten (weergegeven in figuur 3). [4]



Figuur 3: Klassieke breedplaatvloerplaat [6]

1.3 Doelstellingen

Het doel van deze masterproef bestaat uit de levenscyclusanalyse van een Airdeck lichtgewichtvloersysteem en de bijhorende invloed op een kantoorcomplex te bepalen. Dit gebeurt door een vergelijking te maken tussen een bestaand kantoorgebouw waarbij men gebruik gemaakt heeft van een Airdeck lichtgewichtvloerplaat en hetzelfde gebouw waarbij enerzijds wordt uitgegaan van een opbouw met klassieke breedplaatvloerelementen en anderzijds met PS-elementen. Voorafgaand wordt de Airdeckstructuur volledig ontleed waardoor op componentniveau een resultaat bekomen wordt ten opzichte van lichtgewichtelementen op basis van polystyreen en klassieke breedplaten. Op elk niveau wordt een berekening uitgevoerd ten opzichte van oppervlakte-eenheden.

1.4 Methode

Om de vooropgestelde doelen te bereiken, wordt de milieu-impact van een Airdeck lichtgewichtstructuur op drie niveaus bepaald. In eerste instantie wordt deze bepaald voor de materialen waaruit een Airdeck vloersysteem wordt opgebouwd. Op dit niveau wordt een vergelijking gemaakt tussen Airdeck en polystyreen lichtgewichtelementen. Ook klassieke breedplaten worden binnen dit niveau besproken doordat deze een grotere betonhoeveelheid vergen. Binnen het tweede niveau wordt er gekeken naar de vloerplaat als geheel. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt tussen Airdeck, polystyreen- en breedplaatvloerplaten. Tot slot is een analyse op gebouwniveau

uitgevoerd. Op dit niveau wordt de milieu-impact van het gehele gebouw bepaald voor een vloeropbouw met Airdeck, polystyreen elementen en breedplaten. Binnen deze thesis zal de analyse op gebouwniveau gebeuren ten opzichte van het referentiecomplex Hollandsch Huys te Hasselt.

2 Literatuurstudie

Deze literatuurstudie handelt over alle deelaspecten van de onderzoeksvraag waarrond deze thesis wordt opgebouwd. Er wordt gestart met een uiteenzetting van de drie relevante vloersystemen: het Airdeck® vloersysteem, EPS-vloersystemen en breedplaatvloerplaten. Hierna volgt een bespreking over het begrip levenscyclusanalyse waarbij de uit te voeren stappen aangehaald worden. Afsluitend volgt een uiteenzetting over het Hollandsch Huys, het gebouw dat als referentiegebouwstructuur gaat fungeren binnen deze masterproef.

2.1 Vloersystemen

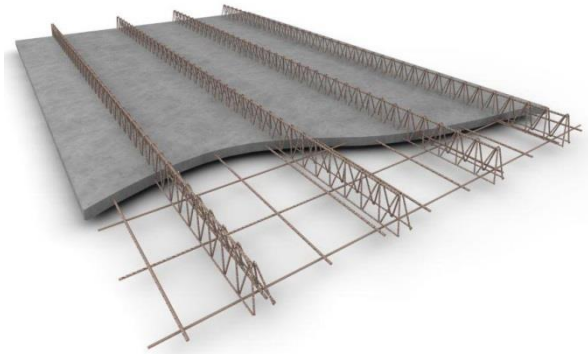
Een vloerplaat draagt de lasten werkend op deze plaat af naar de onderliggende dragende structuren zoals dragende wanden of kolommen en zo verder naar de funderingen. Binnen dit eindwerk wordt er gewerkt met drie soorten vloersystemen. Het Airdeck® vloersysteem wordt vergeleken met EPS-vloersystemen enerzijds en breedplaatvloerplaten anderzijds. Elk van deze systemen zal besproken worden in onderstaande paragrafen. Indien men gebruik maakt van gewichtsreducerende elementen zoals Airboxen of polystyreen elementen, wordt er gesproken over lichtgewicht vloersystemen doordat het volume vulbeton aanzienlijk gereduceerd wordt.

2.1.1 Breedplaat

Opbouw

De onderschil van een breedplaat is steeds opgebouwd uit een betonschil, plaatwapening en tralieliggers zoals weergegeven in figuur 4. De bovenzijde van deze onderschil wordt opgeruwd zodat men een betere hechting verkrijgt tussen de onderschil en het ter plaatste gestort beton op de werf. De onderzijde werkt men glad af zodat eenvoudig geleverd of bepleisterd kan worden.

Eenmaal de onderschil van de breedplaat geplaatst is, volgen nog twee stappen. Een eerste fase bestaat uit het plaatsen van de nodige bovenwapening, voegwapening, verdeelwapening en eventuele voorzieningen. Om de breedplaat af te werken, stort men een druklaag op het geheel. [7]



Figuur 4: Opbouw breedplaat [8]

Het beton heeft een dubbele functie. Enerzijds draagt het de optredende krachten over naar de onderwapening in de plaat. Anderzijds zorgt het voor een bescherming van de wapening tegen externe verschijnselen en aantastingen. Klassiek gebruikt men C25/30 als betontype, indien men voorgespannen wapening gebruikt, wordt deze verhoogd naar C30/37. Standaard past men milieuklasse XC1 toe, hogere klassen zijn op aanvraag te verkrijgen. Voor de brandweerstand opteert men vaak voor de klasse REI 60 overeenkomend met een gegarandeerde brandweerstand van 60 minuten. Ook hier kunnen op aanvraag hogere klassen bekomen worden.

Als plaatwapening wordt gebruik gemaakt van hoogwaardig staal. Meestal gebruikt men hiervoor het type BE 500 met verbeterde aanhechting. Om de wapening te realiseren, kan men kiezen tussen geprefabriceerde wapeningsnetten, losse staven of een combinatie van deze twee. De finale keuze is afhankelijk van de belastingen die na realisatie op de afgewerkte breedplaat gaan werken. De tralieliggers in de breedplaat spelen een belangrijke rol doordat deze meerdere functies uitoefenen. Een eerste functie is het verzorgen van de nodige stijfheid van het systeem in de fases voor de druklaag gestort wordt. Net zoals de opruwing van de betonschil, verhogen de tralieliggers de verbinding tussen de geprefabriceerde breedplaat en het ter plaatse gestorte beton. Verder functioneren deze liggers ook als geïntegreerde afstandhouders voor de bovenwapening. Tot slot gebruikt men de tralieliggers als aangrijpingspunt bij het transporteren en plaatsen van de onderschil op de werf. Zulk een tralieligger wordt opgebouwd uit twee onderstaven die functioneren als constructieve wapening. Hierop worden twee diagonale sinusvormige staven geplaatst welke zorgen voor een krachtsoverdracht tussen de boven- en onderstaven. Bijkomend vangen deze diagonale staven ook de optredende afschuifkrachten op. Tenslotte plaatst men een bovenstaaf. Deze zorgt voor een krachtenevenwicht buiten het beton. [9]-[11]

Dimensies

Het gamma van breedplaten vertoont een zeer grote diversiteit. De afmetingen verschillen per leverancier en zijn sterk afhankelijk van de bouwtechnische eisen. De dikte van de onderschil is variërend tussen 40 mm en 150 mm afhankelijk van de toepassing. Vaak wordt 50 mm aangenomen als een standaarddikte. De nodige betondikte bepaalt de totale dikte van de vloerplaat. Standaard plaatbreedtes zijn gelegen tussen 1 200 en 2 400 millimeter met een vaste stapgrootte. Pasplaten zijn in verschillende vormen te verkrijgen met een minimale breedte van 300 millimeter. Door het toepassen van breedplaten, kan men een overspanning tot 10 meter bereiken bij klassieke wapening. Door toepassing van voorgespannen wapening kunnen overspanningen tot 12 meter bereikt worden. [10]

Plaatsing

Vooraleer de breedplaten geplaatst kunnen worden, dient men ondersteuning te voorzien met behulp van schoringen. Deze dienen voorzien te worden op de aangegeven plaatsen volgens het legplan. Er wordt gebruik gemaakt van ondersteunende jukbalken die de schoren onderling met elkaar verbinden. Deze balken dienen dwars op de richting van de tralieliggers geplaatst te worden. Vervolgens kan men de geprefabriceerde onderschil met een werfkraan op de vooraf bepaalde plaats volgens het legplan leggen. De platen worden aangevoerd per vrachtwagen en worden op elkaar gestapeld. Om beschadigingen te voorkomen, plaats men tussen de platen steeds kanthouten. Doordat de platen onderling kunnen verschillen, worden deze tijdens de fabricatie genummerd. Hierdoor kan men eenvoudig de plaats van de breedplaat bepalen aan de hand van het meegeleverde legplan.

Nadat alle platen op de juiste plaats zijn gemonteerd, worden de randen en eventuele openingen bekist tot op de gewenste afwerkhoogte van de vloerplaat. Ter hoogte van de voegen tussen twee platen voorziet men voegwapening onder de vorm van losse staven of een wapeningsnet. Ook de andere bovenwapening en eventuele technieken worden tijdens deze fase geplaatst. Alvorens men overgaat tot het storten van de druklaag, reinigt en bevochtigt men het bovenoppervlak van de onderschil. Hierdoor wordt een betere hechting tussen de geprefabriceerde vloerplaat en het verse beton verkregen. Dit verse beton moet in één werkfase gestort en verdicht worden. Hierbij dient de voorgeschreven kwaliteit en consistentie steeds gecontroleerd te worden. Na voldoende uitharden van het beton, mogen de stutten verwijderd worden. Indien er geen gebruik gemaakt is van snelhardend beton, is dit na 28 dagen. [9]

2.1.2 Airdeck® vloersysteem

Algemeen

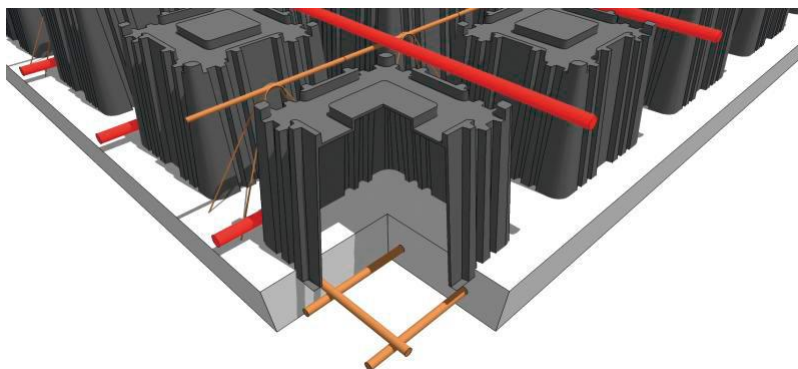
Het Airdeck® vloersysteem is op de markt gebracht door het bedrijf Airdeck Building Concepts N.V. Door het gebruik van de zogenaamde Airboxen, weergegeven in figuur 5, worden lichtgewicht vloerelementen bekomen. Een lichtere vloerplaat brengt verschillende voordelen met zich mee. Zo kunnen grotere overspanningen met een beperkte vloerdikte worden bekomen, dragende structuren kunnen slanker worden uitgevoerd en het betonverbruik kan men tot 32 procent (afhankelijke van de hoogte van de Airboxen) reduceren. [12]



Figuur 5: Airbox [4]

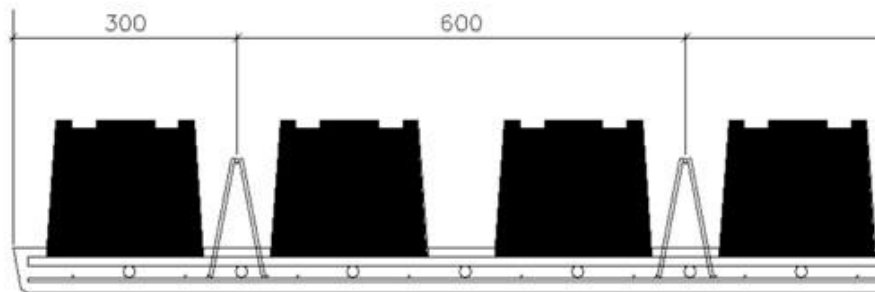
Opbouw

Bij de opbouw van een Airdeck® lichtgewicht vloersysteem kan men twee fasen onderscheiden. De eerste fase bestaat uit het prefabriceren van de gewapende onderschil met hierin de gewichtsbesparende Airboxen in verwerkt. Een schematische voorstelling hiervan wordt weergegeven in figuur 6. Tijdens deze fase worden ook de tralieliggers geplaatst. Met behulp van deze liggers kan men de afgewerkte platen makkelijk transporteren met een torenkraan.



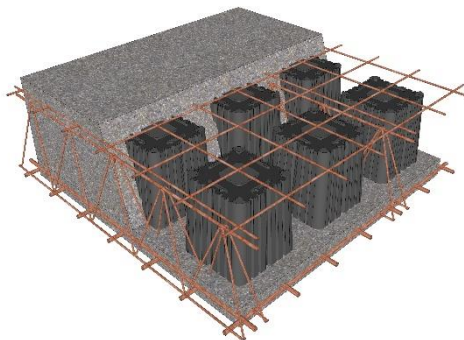
Figuur 6: Onderschil Airdeck [4]

Figuur 7 geeft een snede weer van de gewapende onderschil met ingetrilde Airboxen. Standaard worden deze Airboxen in een raster van 300 x 300 millimeter geplaatst. In functie van de toepassing past men dit rooster aan door op kritieke plaatsen geen lichtgewichtelementen te plaatsen maar de vloerplaat massief uit te voeren. Dit doet men bijvoorbeeld ter hoogte van kolommen, opleggingen en openingen.

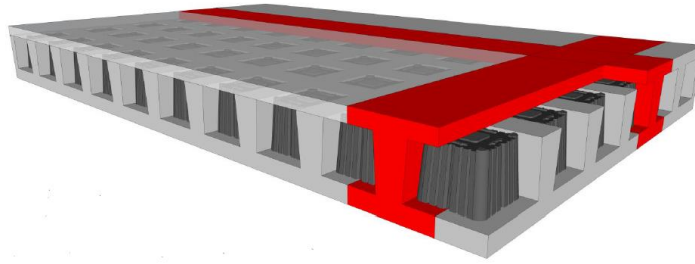


Figuur 7: Snede onderschil [4]

De gewapende betonnen onderschil met ingetrilde Airboxen wordt per vrachtwagen naar de werf getransporteerd. Eenmaal ter plaatse worden eventuele leidingen voor geïntegreerde functies geplaatst. Doordat Airboxen een puntweerstand tot 180 kilogram kunnen weerstaan, kan men veilig op deze boxen lopen zonder extra veiligheidsvoorzieningen. Na plaatsing van de eventuele leidingen en andere voorzieningen, wordt de bovenwapening, ponswapening, voegwapening en randwapening geplaatst waarna men de vloerplaat kan opstorten met beton. De volledige opbouw van een Airdeck® vloersysteem wordt weergegeven in figuur 8. Door de massieve gedeeltes tussen de Airboxen, weergegeven in het rood in figuur 9, mag men een Airdeck® vloersysteem berekenen als een ribbenvloer afdragend in twee richtingen volgens Eurocode 2. Het systeem is isotroop waardoor men niet verplicht wordt balken te plaatsen om de afdracht van de krachten te begeleiden. Enkel het plaatsen van kolommen is voldoende om de verticale stabiliteit te garanderen. Figuur 10 toont aan dat hierdoor een grotere vrije ruimte wordt bekomen. Hierin stelt de linker figuur een orthotrope plaat met afdracht in één richting voor. De rechterfiguur geeft een isotrope plaat met afdracht in twee richtingen weer.[4]



Figuur 8: Fase 2 opbouw Airdeck [13]



Figuur 9: Dimensionering als ribbenvloer [14]



Figuur 10: Afdracht in twee richtingen [14]

Technische specificaties

De onderschil van een Airdeck® vloersysteem heeft standaard een dikte van 60 millimeter. Indien men een verhoogde milieuklasse en/of brandweerstand vereist kan verhoogd worden tot een dikte van 70 millimeter. Standaard rekent men met een brandweerstand van REI 90 (overeenkomend met een gegarandeerde brandweerstand van 90 minuten) en een milieuklasse XC1. Op aanvraag kan men overgaan naar een brandweerstand van REI 120 (overeenkomend met een gegarandeerde brandweerstand van 120 minuten) en milieuklassen XC2, XC3 en XC4. Als betontype gebruikt men voor de onderschil C30/37. Indien men hogere sterktes wenst te bekomen, schakelt men over naar betontypes C35/45, C45/55 of hoger. De geprefabriceerde onderschil bevat zowel de benodigde onderwapening als tralieliggers. Beide worden uitgevoerd in het B500A wapeningsstaal welke conform is met de Belgische norm NBN. De onderwapening wordt uitgevoerd met een gelast wapeningsnet. In de hoofddraagrichting voorziet men, afhankelijk van de toepassing, wapening met diameters 6, 8, 10, 12 en 16 millimeter. In de dwarsrichting zijn dit diameters 6, 8 en 10 millimeter. De betondekking op de onderwapening bedraagt 25 millimeter bij een brandweerstand REI 90 en 35 millimeter bij een brandweerstand REI 120. [32]

Ook voorziet men tijdens de realisatie van de onderschil tralieliggers. Deze hebben tot doel de stijfheid van de plaat tijdens het plaatsen en opstorten te garanderen en te functioneren als hijspunten tijdens de plaatsing. Ook dragen ze bij tot een beter hechting tussen het bestaande en ter plaatste gestorte beton. Doordat deze tralieliggers te allen tijden minstens 30 millimeter onder de bovenrand van de Airboxen blijven, dragen deze de bovenwapening niet. Bij kritieke plaatsen, zoals boven kolommen, waar de vloerplaat massief wordt uitgevoerd, dient men extra tralieliggers of afstandhouders te voorzien om de bovenwapening op de benodigde hoogte te houden. De mogelijke types van tralieliggers worden weergegeven in tabel 1. [5]

Tabel 1: Dimensies tralieliggers [5]

Bovenstaaf – diagonaal – onderstaven (mm)	Hoogtes (mm)
ϕ 8 – 5 – 6	80 tot 350
ϕ 10 – 6 – 6	110 tot 350
ϕ 12 – 8 – 6	110 tot 350

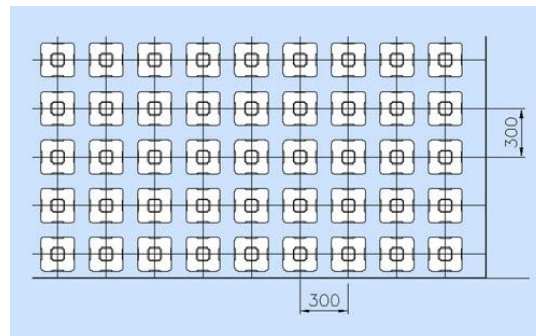
Tot slot worden in het verse beton van de prefab onderschil de zogenaamde Airbox lichtgewichtelementen voorzien volgens het vooropgestelde boxenplan met behulp van een volautomatische robot. De officiële productfiche van het AB120 – model is opgenomen als bijlage 1. Airboxen zijn te verkrijgen in vijf verschillende formaten. Voor elk model is enkel de hoogte variërend, het grondvlak in de vorm van een vierkant is telkens 210 x 210 millimeter. Tabel 2 geeft de minimale vloerdikte per model van de Airbox. Een uitgebreide tabel, opgesteld door Airdeck Building Concepts N.V. is opgenomen als bijlage 2.

Tabel 2: Types Airboxen [12]

Type	Vloertype	Hoogte Airbox (mm)	Minimale vloerdikte (mm)
B120	A220	120	220
B180	A280	180	280
B240	A340	240	340
B290	A390	290	390
B350	A450	350	450

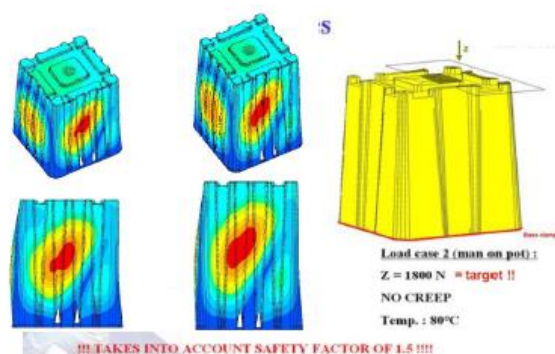
Airboxen worden vervaardigd uit 100 % gerecycleerd polypropyleen. Deze holle dozen worden machinaal 10 millimeter in de onderschil getrild. Hierdoor dient er geen bijkomende mechanische verankering te worden voorzien. Doordat ze niet aan het beton vastkleven, zijn de Airboxen makkelijk te hergebruiken bij afbraak. Klassiek worden deze boxen volgens een vast patroon van 300 x 300 millimeter geplaatst zoals weergegeven in figuur 11. Airboxen zijn zo ontworpen dat er tijdens transport en opslag tot zeven platen op elkaar kunnen worden gestapeld. Hierbij heeft men ook rekening gehouden met de horizontale lasten tijdens het transport. Bijkomend kunnen

ze een puntlast tot 180 kg weerstand. Het voordeel hiervan is dat ze veilig kunnen belopen worden tijdens het plaatsen van voorzieningen, plaatsen van wapening en afstorten van het geheel. [5]



Figuur 11: Klassiek plaatsingsraster [5]

Airboxen zijn ontwikkeld met behulp van een eindige-elementen programma. Hierdoor heeft men het ontwerp kunnen optimaliseren om een product te bekomen dat goedkoop te produceren en te transporteren is. Ook boekt het goede resultaten op sterkte en materiaalgedrag. Figuur 12 geeft de krachtswerking bepaald met een eindige-elementen programma weer voor de maximaal voorgeschreven puntlast van 1800 N.



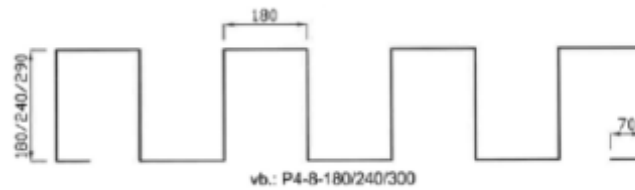
Figuur 12: Eindige-elementen analyse [16]

De standaardbreedte van de geprefabriceerde onderschil bedraagt 2 400 millimeter. Pasplaatbreedtes kunnen variabel verkregen worden van 350 tot 2 340 millimeter. De platen kunnen geleverd worden met lengtes variërend tussen 800 en 14 000 millimeter. Vaak wordt deze lengtemaat beperkt door de transport- of plaatsingsmogelijkheden op de werf. [5]

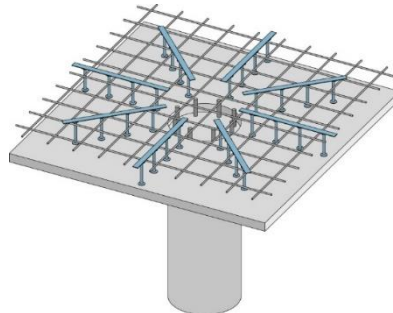
Op plaatsen waar het Airdeck® vloersysteem rust op kolommen, wordt de vloerplaat massief uitgevoerd. Op deze plaatsen dient men bijkomend ponswapening te voorzien. Deze wapening wordt tijdens de prefabricatiefase verwerkt in de onderschil. Airdeck biedt twee mogelijkheden om ponswapening uit te voeren. Een eerste mogelijkheid bestaat uit het toepassen van kanteelwapening waarvan het principe wordt weergegeven in figuur 13. Een tweede mogelijkheid is het gebruik van ponsdeuvels zoals getoond in figuur 14. Deze methode is duurder dan de kanteelwapening maar brengt ook enkele voordelen met zich mee. Enerzijds kan de wapening efficiënter en

Beyens - Christiaens

economischer geplaatst worden met een betere verwerking op de werf. Anderzijds laat dit systeem makkelijker de doorvoer van leidingen toe in de nabije omgeving van de kolommen.



Figuur 13: Kanteelwapening [5]



Figuur 14: Ponsdeuvels [5]

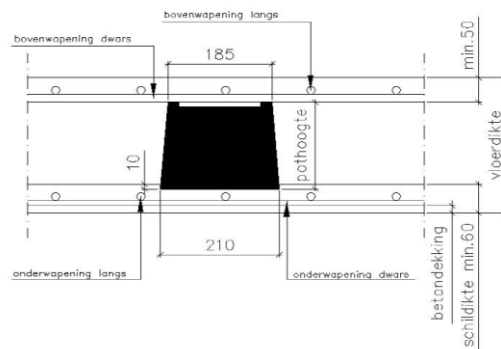
De bovenwapening bestaat uit netten welke berekend worden door de ingenieur. Indien nodig worden plaatselijk bijkomende losse staven voorzien om voldoende wapening te hebben. Na het plaatsen van de bovenwapening en de eventuele voorzieningen, kan men overgaan tot het afstorten van de vloerplaat. Dit gebeurt met een C25/30 beton. Hogere sterkteklassen kunnen bekomen worden op aanvraag indien de toepassing dit vereist. Figuur 18 schetst een beeld van het afstorten.



Figuur 15: Afstorten vloerplaat [12]

De constructieve vloerdikte, weergegeven in figuur 16, van een Airdeck® lichtgewicht vloerplaat is afhankelijk van verschillende factoren. De meest bepalende factoren zijn de overspanning en de aanwezige belasting. Bijkomend moet men rekening houden met de gewenste brandweerstand en millieuklasse. Deze hebben een geringere invloed van maximaal 10 millimeter op de totale constructieve vloerdikte van de plaat. Om de totale dikte van een Airdeck® vloerplaat te bepalen, moet men de som maken van de dikte van de onderschil, de hoogte van de Airbox min 10 millimeter en de benodigde druklaag. Hierdoor zal men een resultaat bekomen tussen 220 en 500 millimeter welke de minimale en maximale constructieve vloerdikte van een Airdeck®

lichtgewichtssysteem zijn. Een gedetailleerde tabel met de constructieve vloerhoogtes voor de verschillende modellen Airboxen en een onderschil van 60 millimeter, opgemaakt door Airdeck Building Concepts N.V., is opgenomen als bijlage 3. [5]



Figuur 16: Constructieve vloerdikte [5]

Eén van de belangrijkste kenmerken van een vloersysteem is de maximale overspanning welke deze kan overbruggen. Door het gebruik van lichtgewichtelementen in de vloerplaat, kunnen Airdeck® vloersystemen grotere overspanningen bereiken. Airdeck Building Concepts N.V. onderscheidt twee types binnen hun gamma: widespan en superspan floors. Het enige verschil tussen deze twee types is de naspanning van de wapening bij superspan floors. Dit verhoogt de kostprijs maar brengt enkele niet te verwaarlozen voordelen met zich mee. Zo kunnen er overspanningen tot 20 meter worden bereikt en kan de aanwezige plaatwapening vermindert worden. De maximale overspanning is mede afhankelijk van de opleggingen. Indien deze hyperstatisch zijn, kunnen grotere overspanningen bereikt worden. Tabel 3 geeft de maximaal te bereiken overspanningen weer voor het type widespan floors. [5]

Tabel 3: Maximale overspanningen [15]

Vloertype	Maximale overspanning (m)	
	Hyperstatisch	Isostatisch
A220	6,5	6,0
A280	7,5	7,0
A340	9,0	8,0
A390	10,5	9,5
A450	12,0	11,0

Plaatsing

De geprefabriceerde onderschil wordt per vrachtwagen naar de werf getransporteerd. Door het specifieke ontwerp van een Airbox kan men tot zeven platen hoog op elkaar stapelen. Hierbij dient men geen gebruik te maken van houten tussenblokken doordat de platen steunen op de Airboxen.

Alvorens men effectief kan overgaan tot het plaatsen van de vloerplaten, dient men stempels te voorzien. De te voorziene stutafstanden worden aangeduid op de legplannen. Klassiek bedragen deze 1 800 of 2 100 millimeter. Grotere tussenafstanden kunnen verkregen worden door meerdere en/of zwaardere tralieliggers toe te passen. Extra aandacht dient hier besteed te worden aan de onderlinge doorbuiging tussen twee stempelrijen. De onderstempeling wordt uitgezet met een tegenpeil van $L/400$ in het midden van de overspanning.

Nadat de stempels geplaatst zijn, kan men overgaan tot het leggen van de Airdeck® vloerplaten. Deze kunnen eenvoudig gehesen worden van de vrachtwagen op de constructie door middel van de voorziene hijspunten (= tralieliggers). Afhankelijk van de lengte van de plaat, moet er op vier, zes of acht punten gehesen worden. Indien de plaat langer is dan 8 000 millimeter moet men gebruik maken van een evenaar zoals weergegeven in figuur 17. Voor de plaatsing van de onderschil zijn slechts twee werknemers nodig zoals weergegeven in figuur 18.



Figuur 17: Evenaar [16]



Figuur 18: Plaatsing op de werf [4]

De volgende stap in het plaatsingsproces bestaat uit het voorzien van de koppelwapening ter hoogte van de voegen en de ponswapening. Koppelwapening heeft tot doel de overgang tussen twee platen te verankeren. Hieropvolgend kan men overgaan tot de plaatsing van de technische installaties en voorzieningen. Alvorens men de vloerplaat kan afstorten, dient men de constructieve bovenwapening te voorzien zoals beschreven op de wapeningsplannen.

Twee dagen na het afstorten van de vloerplaat mag men deze betreden zodanig dat men met de aanvang van de volgende etage kan starten. Na één week dient men een herstempeling door te voeren. De houten balken tussen de stempels en de vloerplaat

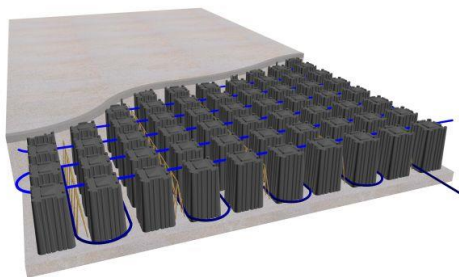
dienen verwijderd te worden. De stutten moeten hierna nog 28 dagen aanwezig blijven opdat de betonnen druklaag voldoende kan uitharden. Deze periode wordt verlengd wanneer men doorstempelt om bovenliggende vloerplaten te ondersteunen.

Indien gewenst, kan de afgestorte vloerplaat dienst doen als afwerkingslaag. Kanttekening hierbij is dat de druklaag hiervoor met een minimum dikte van 70 millimeter moet worden uitgevoerd. De onderzijde van de vloerplaat is geschikt voor zowel een spuitpleisterlaag als een afwerking met verf.

Betonkernactivering

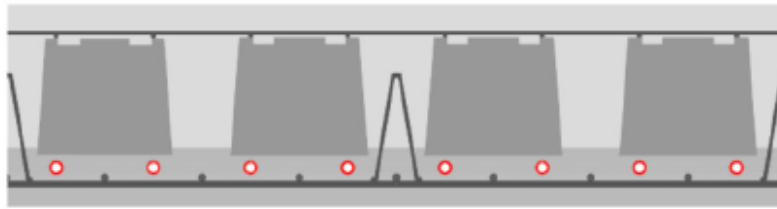
Het principe van betonkernactivering berust op het activeren van de betonmassa door een vloeistof, meestal water, met behulp van leidingen door het beton te laten stromen. De vloeistof heeft een bepaalde temperatuur waardoor het beton op temperatuur kan gebracht worden en zo warmte kan onttrekken van of afgeven aan de omgeving. Door dit proces goed te sturen en het water continu door de leidingen te pompen, kan men een zo goed als stabiele binnentemperatuur verkrijgen. Indien gewenst kan het systeem uitgebreid worden met andere technieken, bijvoorbeeld een warmtepomp, om de vloeistof op de benodigde temperatuur te brengen.

Een Airdeck® vloersysteem kan vlot gecombineerd worden met betonkernactivering doordat de leidingen makkelijk tussen de Airboxen geweven kunnen worden. Figuur 19 geeft schematisch weer hoe de leidingen in een dit vloersysteem geïntegreerd kunnen worden. Om een maximaal rendement te halen, worden de leidingen zowel in de boven- als onderzijde van de plaat geïnstalleerd. Hierdoor kan men zowel het plafond van de onderliggende verdieping als de vloer van de beschouwde verdieping warmte laten opnemen of afgeven.

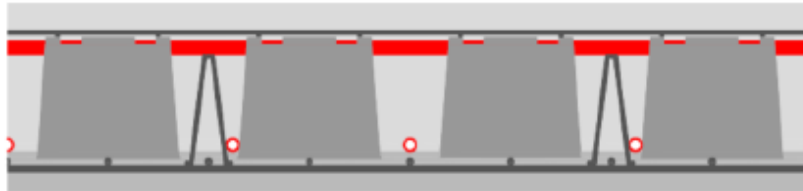


Figuur 19: Betonkernactivering [17]

Airdeck Building Concepts N.V. biedt twee mogelijkheden tot betonkernactivering onder de namen Airdeck Ceiling Climate en Airdeck Building Climate. Bij het Airdeck Ceiling Climate systeem activeert men enkel de onderschil van de vloerplaat. Dit principe wordt in figuur 20 weergegeven. Bij het Airdeck Building Climate systeem plaatst men zowel aan de boven- als onderzijde leidingen om water door te sturen waardoor de volledige plaat wordt geactiveerd. Het principe hiervan wordt schematisch voorgesteld in figuur 21. [5]



Figuur 20: Airdeck Ceiling Climate [5]



Figuur 21: Airdeck Building Climate [5]

2.1.3 EPS – vloersystemen

Analoog aan Airdeck® vloersystemen, maakt men bij EPS-vloersystemen gebruik van gewichtsreducerende elementen. Deze zorgen ervoor dat de vloerplaat niet massief wordt uitgevoerd waardoor men grotere overspanningen of slankere vloerplaten bij eenzelfde overspanning kan verkrijgen. Een voorbeeld van een EPS-vloersysteem is weergegeven in figuur 22. [18]



Figuur 22: EPS-vloersysteem [19]

Opbouw

Analoog aan bovenstaande vloersystemen wordt de onderschil geprefabriceerd. De minimale gebruikte betonklasse is van het type C20/25 en kan verhoogd worden tot C55/65. Voor druklagen tot 80 millimeter wordt meestal betontype C20/25 toegepast. Deze kan echter aangepast worden door de ingenieur. De maximaal te verkrijgen milieuklasse is vastgelegd op XA3.

Zowel de onderwapening als de tralieliggers worden tijdens de fabricatie van de onderschil geplaatst. De onderwapening functioneert als constructieve wapening terwijl de tralieliggers zowel de functie van afstandhouder als verstijver op zich nemen. Bijkomend worden deze tralieliggers ook gebruikt als aangrijpingspunt voor het verplaatsen van de platen met behulp van een kraan. De gebruikte staalkwaliteit van het wapeningsstaal is BE 500.

Na plaatsing van de geprefabriceerde onderschil op de werf, kan de aannemer de berekende boven-, verdeel-, en voegwapening aanbrengen. Indien op de plaat een zware belasting werkt, dient men ook de nodige dwarskrachtverstijvers aan te brengen.

De lichtgewichtelementen worden gemaakt van geëxpandeerd polystyreen. Deze worden uitgevoerd in balkvormige elementen van 400 x 400 x h millimeter (h = variërende hoogte). De EPS-blokken worden tijdens het productieproces van de onderschil in de verse betonspecie gedrukt. Deze verankering heeft tot doel het opdrijven van de blokken tijdens het storten van de druklaag te voorkomen. De primaire functie van de EPS-blokken bestaat uit het verminderen van het volume vulbeton. Hierdoor kan een lichtere vloerplaat bekomen worden waardoor men grotere overspanningen of slankere elementen bij eenzelfde overspanning kan verkrijgen. Waar en hoeveel van deze elementen geplaatst mogen worden, bepaalt de leverancier aan de hand van constructieberekeningen. [10][18]-[25]

Dimensies

De dikte van de onderschil en totale vloerplaat zijn in functie van verschillende eigenschappen zoals onder andere brandweerstand, belasting en milieuklasse. De onderschil wordt geleverd in gestandaardiseerde waarden gaande van 50 tot 120 millimeter. De dikte in functie van de brandweerstand wordt weergegeven in onderstaande tabel 4.

Tabel 4: Brandweerstand EPS-vloersysteem [25]

Onderschil (millimeter)	Brandweerstand (minuten)
60	30
80	60
100	90
120	120

Standaardbreedtes voor dit type vloerplaat bedragen 1 200 en 2 400 millimeter. Pasplaten zijn op aanvraag te verkrijgen in verschillende maten en vormen. De maximale overspanning voor dit type vloersysteem bedraagt 12 meter.

De totale vloerhoogte bestaat uit de som van de dikte van de onderschil, de dikte van de EPS-elementen en de dikte van de gewapende druklaag. De dikte van elk van deze onderdelen is sterk afhankelijk van de toepassing. De onderschil kan tot een dikte van

120 millimeter gaan, EPS-elementen zijn te verkrijgen in diktes van 10 tot 1 200 millimeter en de druklaag heeft een maximale dikte van 100 millimeter. Een klassieke waarde voor de volledige vloerhoogte in de utiliteitsbouw ligt tussen de 250 en 450 millimeter. [25]

Plaatsing

De plaatsing verloopt volledig analoog met de bovenstaande besproken vloersystemen. De eerste fase bestaat uit het plaatsen van de geprefabriceerde onderschil met geïntegreerde lichtgewichtelementen met behulp van een werfkraan. Ter ondersteuning dienen stutten met houten jukbalken zodoende de last gelijkmatig verdeeld wordt. Hierna worden de zijkanten en openingen bekist en kan de aannemer de berekende boven-, voeg- en verdeelwapening plaatsen. Indien men technieken wenst te integreren in de vloerplaat, dient dit tijdens deze fase eveneens te gebeuren. Aansluitend kan overgegaan worden tot het opstorten van de druklaag over het geheel. De ondersteunende schoringen mogen na het uitharden van het beton verwijderd worden, klassiek is dit na 28 dagen.

De geprefabriceerde onderschil is glad aan de onderzijde. Hierdoor kan men deze eenvoudig afwerken met behulp van een bepleistering of een verflaag. De bovenzijde kan rechtstreeks gebruikt worden als vloerafwerkingslaag.

2.2 Levenscyclusanalyse

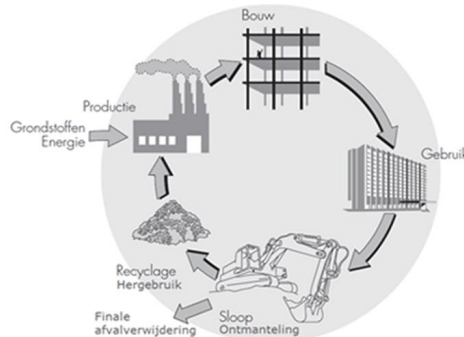
2.2.1 Definitie

Levenscyclusanalyse, vaak afgekort tot LCA, wordt toegepast om de milieu-impact van een bouwproduct, gebouwelement of volledige bouwstructuur tijdens zijn volledige levenscyclus te bepalen. Tijdens deze analyse onderscheidt men steeds volgende vier levenscyclusfasen, ook weergegeven in figuur 23:

- Productiefase;
- Installatie op de werf;
- Gebruiksfase;
- Levenseindfase.

De productiefase heeft betrekking tot de ontginning en de verwerking van zowel de primaire als secundaire grondstoffen en energie. Ook het transport van de grondstoffen naar de fabriek en de productie in de fabriek behoren tot deze fase. De fase van de installatie op de werf omhelst het transport van de producten van de fabriek naar de werf en de installatie van deze producten op de werf. Tot de gebruiksfase behoren het operationeel energie- en waterverbruik veroorzaakt door het product. Ook de schoonmaak, herstellingen, onderhoud en vervangingen van het product tijdens de volledige levensfase behoren tot deze fase. Tot slot is er de

levenseinde fase, deze start wanneer het gebouw afgeschreven is en gesloopt moet worden. Deze fase heeft betrekking tot het slopen, verzamelen en sorteren, transporteren van de werf naar een sorteerbijndrijf of een finale afvalverwerking en de finale afvalverwerking zelf. [26]



Figuur 23: verschillende fasen binnen de levenscyclus [27]

De basisprincipes voor het uitvoeren van een LCA worden vastgelegd in de ISO-normen ISO 14040 en ISO 14044. Op Europees niveau heeft men twee geharmoniseerde normen vastgelegd voor de evaluatie van gebouwen en bouwproducten: NBN EN 15804 en NBN EN 15978. De ISO-normen bepalen dat er bij het uitvoeren van een levenscyclusanalyse vier stappen gevolgd dienen te worden. Elk van deze stappen zal verder in dit werk nader verklaard worden:

- Bepaling van het doel en de reikwijdte van de analyse;
- Inventarisatie van de detailgegevens;
- Impactanalyse;
- Interpretatie van de resultaten.

2.2.2 Opbouw levenscyclusanalyse

Stap 1: doel en reikwijdte

Het doel is een omschrijving van de reden en de exacte vraagstelling van de uit te voeren analyse. Het doelpubliek wordt afgebakend in functie van het beoogde gebruik van de resultaten welke voortvloeien uit de LCA. De reikwijdte bepaalt de systeemgrenzen waarbinnen de analyse zal gebeuren en geeft een gedetailleerde systeembeschrijving. Deze beschrijving bestaat uit een analyse en beschrijving van alle fasen die voorkomen in de levenscyclus van het product. Hierbij legt men een functionele eenheid vast die de functievervulling en eigenschappen van het te analyseren product omschrijft. Voorts vervult deze functionele eenheid ook de rol van referentie-eenheid bij het bepalen van de milieu-impact. Een belangrijke opmerking hierbij is dat de reikwijdte en het doel van de levenscyclusanalyse dienen overeenstemmen.

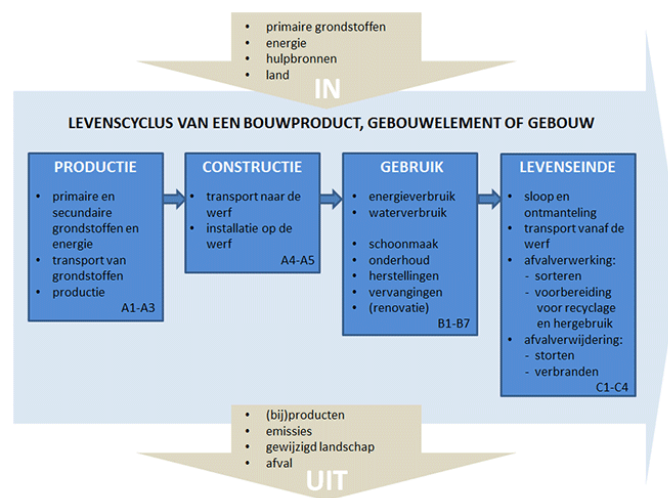
Voor de analyse van bouwproducten maakt men een onderscheid tussen drie soorten van levenscyclusanalyses:

- Van wieg tot fabriekspoort: stemt overeen met de productie van het product;
- Van wieg tot fabriekspoort met opties: stemt overeen met de productie van het product samen met enkele bijkomende factoren;
- Van wieg tot graf: stemt overeen met de volledige levensfase van het product.

Binnen deze thesis wordt het product geanalyseerd op drie niveaus. Op componentniveau zal er gekeken worden van wieg tot fabriekspoort. Voor zowel het systeem- als gebouwniveau wordt er een analyse gemaakt van wieg tot fabriekspoort met opties. De productie wordt in rekening gebracht tot en met de plaatsing en afwerking op de werf. [27]

Stap 2: inventarisatie

De tweede stap binnen een LCA-studie bestaat uit het verzamelen van de benodigde detailgegevens om de analyse uit te kunnen voeren. Om dit te verwezenlijken wordt het productiesysteem opgedeeld in de vier levenscyclusfasen zoals weergegeven in figuur 24. Voor elke fase worden alle inkomende (grondstoffen, energie, hulpbronnen, ...) en uitgaande stromen (emissies, (bij-)producten, ...) samen met hun milieueffecten geïnventariseerd.



Figuur 24: Levenscyclus van een bouwproduct [27]

Tijdens de productie kunnen er verschillende bijproducten ontstaan. Indien dit het geval is, moet men allocatie toepassen. Dit komt overeen met het toeschrijven van de bekomen milieubelasting aan de verschillende (bij)producten. Ook indien men materialen hergebruikt of gerecycleerde materialen toepast, dient een allocatie van de relevante milieubelasting toegepast te worden. Hierbij is het van belang dat men niet vergeet om de vermeden impact door hergebruik in te rekenen zodoende men een representatief beeld verkrijgt. In de meeste gevallen zorgt hergebruik of recyclage voor een besparing van energie en/of primaire grondstoffen. De som van de milieulasten en – baten dient verdeeld te worden over zowel de levenseindefase, welke het

recycleerbaar materiaal levert, als het systeem dat dit recycleerbaar materiaal hergebruikt in een ander product. [2][27]

Stap 3: impactanalyse

De impactanalyse, ook bekend onder de naam life cycle impact analysis, bepaalt de milieu-impact van het product aan de hand van een inventarisatie zoals besproken in bovenstaande paragraaf. Om deze analyse uit te voeren, dient men een aantal stappen te doorlopen. Elk van deze stappen zal kort toegelicht worden.

Milieu-impactcategorieën

In de eerste stap bepaalt men welke milieueffecten men in de analyse opneemt. Om dit te bepalen worden de inventarisatiegegevens ingedeeld in milieu-impactcategorieën volgens hun potentiële impact op het milieu. Deze categorieën komen overeen met de belangrijke milieuthema's zoals er zijn: verzuring van bodem en water, vermisting, afbraak ozonlaag, uitputting van primaire grondstoffen, Aan elke milieu-impactcategorie kent men een milieu-indicator toe. De keuze van de categorieën en de bijhorende indicatoren hangt af van de vooropgestelde doelstellingen van de LCA-studie. De eerder besproken ISO-normen geven een reeks van aanbevelingen voor de keuze van deze categorieën en leggen criteria vast waaraan deze moeten voldoen. Bijlage 4 geeft een overzicht van de verschillende milieu-impactcategorieën en mogelijke indicatoren.

Classificatie

De tweede stap binnen de impactanalyse bestaat uit de classificatie van de bekomen gegevens uit de inventarisatie. Deze gegevens worden gegroepeerd en toegeschreven aan de correcte milieu-impactcategorieën beschreven in bovenstaande paragraaf. Een belangrijke opmerking hierbij is dat de mogelijkheid bestaat dat bepaalde materialen, producten en/of stoffen in meerdere categorieën kunnen voorkomen. Dit is mogelijk doordat deze materialen in verschillende categorieën een bijdrage leveren. [27]

Karakterisering

Volgend op de classificatie, vindt de karakterisering van de materialen plaats. Tijdens deze stap worden de inventarisatiegegevens vertaald naar de correcte impactcategorieën. De bijdrage van de inkomende en uitgaande stromen aan de totale milieu-impact van het resulterende product wordt tijdens deze stap bepaald. Vervolgens drukt men deze bijdrage uit in functie van een specifieke referentie-eenheid. Doordat elke stof aan één of meerdere categorieën wordt toegewezen, is het van groot belang om de potentiële impact van de stof om te zetten naar een referentie-impact zodat men in correcte hoeveelheden een som kan maken van alle stoffen binnen een bepaalde milieu-impactcategorie. Tot slot worden de verschillende milieu-impactcategorieën gecombineerd om zo tot een globaal milieuprofiel van een product te komen. Uit dit profiel kan men besluiten welke bijdrage elke

levenscyclusfase levert per milieu-impactcategorie voor het beschouwde product. Hieruit kan men zowel de categorie, het proces als het materiaal bepalen met de grootste impact op de globale milieubelasting.[2]

Normalisatie, groepering en weging

Afsluitend voorzien de ISO-normen drie bijkomende stappen welke niet zijn opgenomen in de Europese geharmoniseerde normen voor de milieuevaluatie van bouwproducten. Hierdoor is de uitvoerder van de LCA vrij in zijn keuze om deze al dan niet uit te voeren. Deze stappen zijn: normalisatie, groepering en weging en zullen kort toegelicht worden.

- *Normalisatie*

De resultaten voor de verschillende milieu-impactcategorieën worden uitgedrukt in functie van een gemeenschappelijke referentie. Hierdoor verkrijgen de resultaten van de verschillende milieueffecten eenzelfde eenheid waardoor men ze probleemloos en op een meer correcte manier met elkaar kan vergelijken.

- *Groepering*

De genormaliseerde resultaten kunnen gegroepeerd worden volgens de verschillende milieu-impactcategorieën. Het doel van deze groepering bestaat eruit een beter zicht te verkrijgen op de globale milieu-impact.

- *Aggregatie en weging*

De genormaliseerde resultaten kan men samenvoegen en uitdrukken als een enkele score. Deze manier laat toe om zeer eenvoudig uitspraken te doen over de globale milieu-impact van verschillende alternatieven. Een niet te verwaarlozen nadeel aan deze stap is dat door het samenvoegen van genormaliseerde resultaten een gedeelte van de (belangrijke) productinformatie verloren gaat. Voordat men deze aggregatie toepast, voert men een weging uit waarbij men de verschillende milieu-impactcategorieën met een wegingsfactor vermenigvuldigt. Deze factoren zijn gebaseerd op waardeoordelen en zijn afhankelijk van de vooropgestelde doelstellingen van de levenscyclusanalyse.[2][27]

Stap 4: interpretatie van de impact

De laatste stap van een LCA-studie heeft tot doel de vooropgestelde vraag in de eerste fase van een levenscyclusanalyse te beantwoorden. Dit antwoord baseert men op de resultaten bekomen uit de impactanalyse. Op basis van dit antwoord, kunnen enkele bijkomende vragen ontstaan. Omwille hiervan is het belangrijk dat de bekomen resultaten besproken en geïnterpreteerd worden. Finaal kan men de belangrijkste domeinen binnen de levenscyclus detecteren waardoor men het product kan verbeteren met als doel de globale milieu-impact te verminderen. [2][27]

2.3 Hollandsch Huys

2.3.1 Beschrijving

Het Hollandsch Huys, figuur 25, is een duurzaam kantoorgebouw gebouwd in 2007 te Hasselt, België en zal gedurende deze thesis het referentiegebouw voorstellen. Dit gebouw bestaat uit drie verdiepingen en beschikt over een ondergrondse parkeergarage. De totale oppervlakte van het complex bedraagt 6255 m² waarvan 4000 m² bestaat uit kantoorruimte. Het Hollandsch Huys huisvest verschillende bedrijven: Houben, Airdeck Building Concepts N.V., BDO, Hartcentrum Hasselt, Securex en longartsen.



Figuur 25: Hollandsch Huys [31]

Bij het ontwerp van dit complex heeft men gestreefd naar een zo laag mogelijk energieverbruik. Om dit te realiseren heeft men gebruik gemaakt van drie technieken: geothermie, betonkernactivering en warmtepompen. Bijkomend zijn ook de oriëntatie, terugtrekking van de ramen en isolatiegraad van de constructie geoptimaliseerd. De combinatie van deze systemen leidt tot een laag-energie kantoorgebouw met een E-peil van E49 en een K-peil van K22. Het certificaat hiervan is opgenomen als bijlage 5. De totale jaarlijkse energiekost van het gebouw bedraagt minder dan € 1 / m² (€ 4 000 voor 4 400 m² [30]). Door de recente plaatsing van zonnepanelen, heeft men deze jaarlijkse kost kunnen wegwerken waardoor jaarlijks zo goed als geen energiekosten betaald moeten worden.

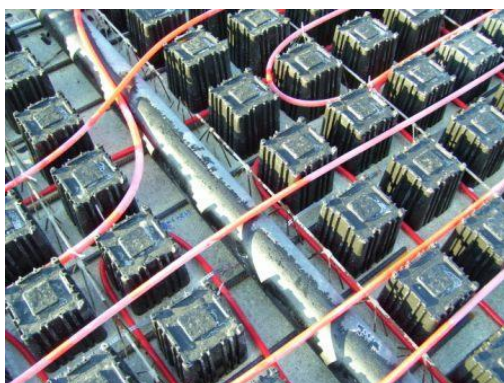
In het kader van deze thesis is de vloeropbouw met behulp van het Airdeck® vloersysteem van belang. Het gedetailleerde boxenplan met plaatsbepaling van de technieken voor de vloerplaat op niveau +2 is opgenomen als bijlage 6. Hieruit is duidelijk af te leiden dat enkel ter hoogte van de opleggingen en technieken Airboxen worden weggelaten. Enkel ter hoogte van de opleggingen wordt de vloerplaat volledig massief uitgevoerd.

2.3.2 Opbouw

Het Hollandsch Huys werd volledig opgetrokken in een betonstructuur en zo gedimensioneerd dat het Airdeck® vloersysteem met geïntegreerde betonkernactivering een belangrijke rol speelt in het streven naar een energiezuinig complex.

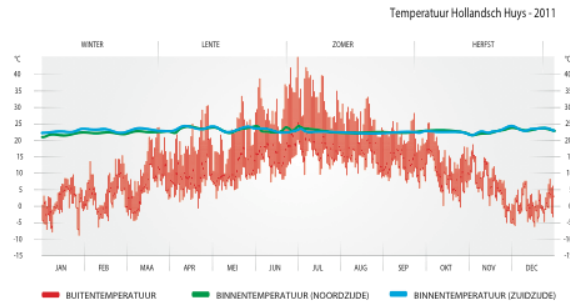
Betonkernactivering

Betonkernactivering berust op leidingen geïntegreerd in de vloerplaat waar men een vloeistof, in dit geval water, op een bepaalde temperatuur doorheen pompt. Bij de realisatie van het Hollandsch Huys heeft men de leidingen volgens het meanderpatroon, een slingerende beweging, aangebracht zoals weergegeven in figuur 26. Een nadeel aan dit patroon is de ongelijkmatige verdeling van de temperatuur over de oppervlakte van de vloerplaat doordat de temperatuur van de vloeistof afneemt naarmate men zich naar het einde van leiding begeeft.



Figuur 26: meanderpatroon van betonkernactivering[30]

Betonkernactivering is een energiezuinig klimaatbeheersingssysteem. Om tot een constante binnentemperatuur te komen, wordt er gebruikt gemaakt van het zelfregelend effect tussen de op temperatuur gebrachte betonmassa van de vloerplaat en het aanwezige luchtvolume. Een temperatuurverschil tussen het beton en de vloerplaat wordt opgevangen door het uitwisselen van warmte tussen beide elementen. Tijdens de warme zomermaanden koelt het beton af en neemt het warmte op vanuit de binnenomgeving. In de winter treedt het omgekeerde proces op: de warme betonnen vloerplaat geeft warmte af aan de koudere binnenomgeving. Het afkoelen en opwarmen van de vloerplaat gebeurt met het water dat men door de geïntegreerde leidingen stuurt. De temperatuur van dit water wordt in het Hollandsch Huys geregeld door middel van een thermostaat waardoor het zelfregelend effect extra versterkt wordt doordat deze reageert op het binnen- en buitenklimaat. Het verkregen resultaat is zo goed als constant over een volledig jaar. Figuur 27 is een weergave van zowel de binnen- als buitentemperatuur voor het jaar 2011. [30]



Figuur 27: binnen- en buitentemperatuur in het Hollandsch Huys (2011) [31]

Om het energiepeil van het kantoorcomplex verder naar beneden te halen, maakt men gebruik van geothermische warmtepompen om de betonkernactivering aan te sturen. Door middel van verticale bodemwarmtewisselaars tot op een diepte van 75 meter wordt aardwarmte met behulp van een medium afgegeven aan de warmtepomp. Deze warmtepomp regelt de temperatuur van het water gebruikt in de leidingen van de betonkernactivering. [28]-[31]

2.4 Conclusie literatuurstudie

Inzake de vloersystemen kan er gesteld worden dat deze een gelijkaardige methode van opbouw kennen. De drie besproken systemen gaan telkens uit van een geprefabriceerde onderschil. Bij het EPS- en het Airdeck® vloersysteem worden de lichtgewichtelementen geïntegreerd in de onderschil. Hierdoor zijn ze bestand tegen opdrijven tijdens het storten van de druklaag. De plaatsing van de bovenwapening en het storten van de druklaag verloopt voor de drie vloersystemen analoog. Ook de wijze van plaatsing op de werf verloopt zeer gelijkaardig. De onderschil wordt met een vrachtwagen aangeleverd waarna een werfkraan de platen, met hun ingewerkte tralieliggers als aangrijpingspunt, volgens het meegeleverde legplan plaatsen. De drie systemen dienen onderstempeld te worden totdat de maximale druksterkte van het beton bereikt wordt.

Enige verschillen tussen de drie systemen treden op bij de maximale overspanningslengtes en vloerhoogtes. Tabel 5 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 5: Overzicht vloersystemen

	BREEDPLATEN	AIRDECK®	EPS-VLOERSYSTEMEN
MAX.OVERSPANNING (M)	8,7	9	9
VLOERHOOGTE (MM)	340	340	340

De LCA-studie zal uitgevoerd worden zoals beschreven in deze literatuurstudie. Het doel en de reikwijdte van de studie worden afgebakend op basis van de onderzoeksvraag van de thesis. Hierna kunnen de benodigde materialen per onderzoeksniveau worden geïnventariseerd waarna er kan worden overgegaan naar

het uitvoeren van de impactanalyse. Afsluitend worden de bekomen resultaten geïnterpreteerd en in een besluit gegoten welke antwoord geeft op de vooropgestelde onderzoeksvraag.

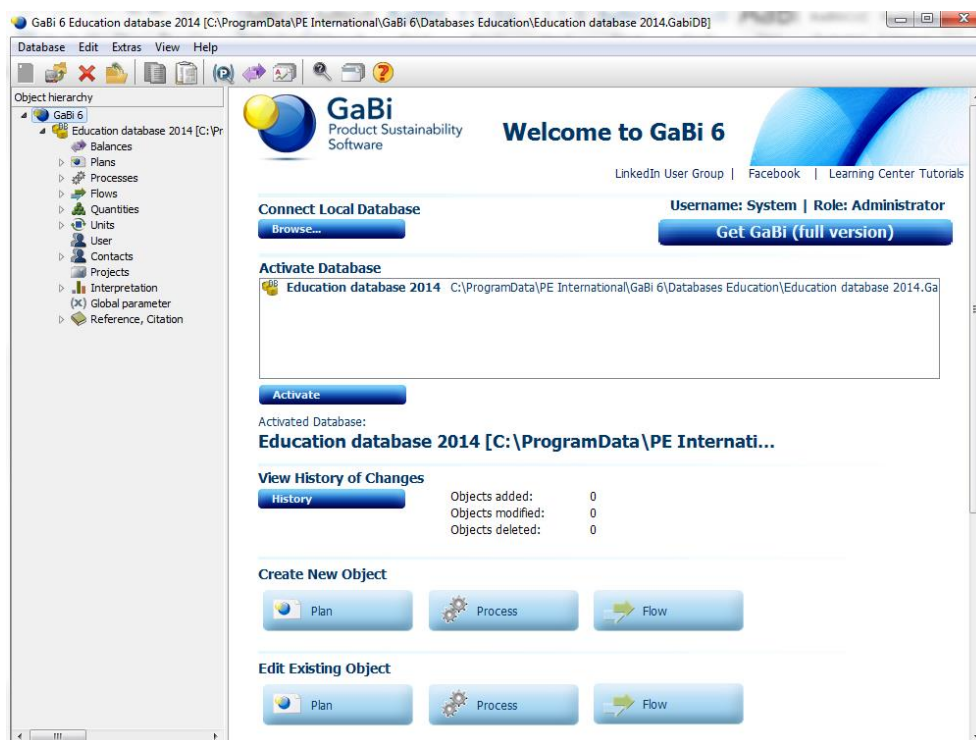
Tot slot kan aan de hand van verschillende factoren geconcludeerd worden dat het Hollandsch Huys een representatief kantoorcomplex is. Enerzijds speelt de toepassing van het Airdeck® lichtgewicht vloersysteem hier een grote rol doordat het onderzoek rond dit product draait. Anderzijds zijn er verschillende bedrijven uit totaal uiteenlopende sectoren aanwezig in dit complex. Door deze aanpasbaarheid is het complex multifunctioneel.

3 LCA – software GaBi 6

Om de studie uit te voeren wordt er gebruik gemaakt van het softwareprogramma GaBi 6 Education. Deze software wordt ontwikkeld door PE International, een bedrijf met hoofdzetel in Duitsland. Dit programma wordt gratis ter beschikking gesteld voor studenten. Een bevestiging van de registrering is opgenomen als bijlage 7.

3.1 Algemeen

Het startscherm van de software wordt weergegeven in figuur 28. De geïntegreerde GaBi database bevat meer dan 8 000 LCI-datasets voor verschillende materiaalsoorten. Deze datasets ondergaan jaarlijks een update zodat deze steeds zo goed als mogelijk voldoen aan de meest recente ontwikkelingen.

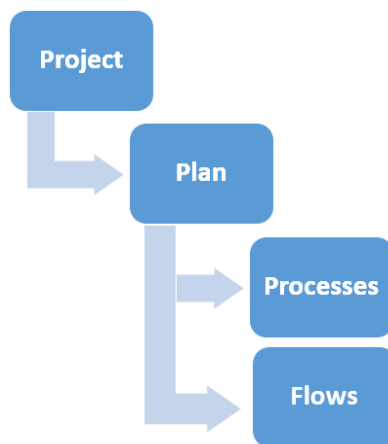


Figuur 28: Startscherm GaBi 6

3.2 Werking

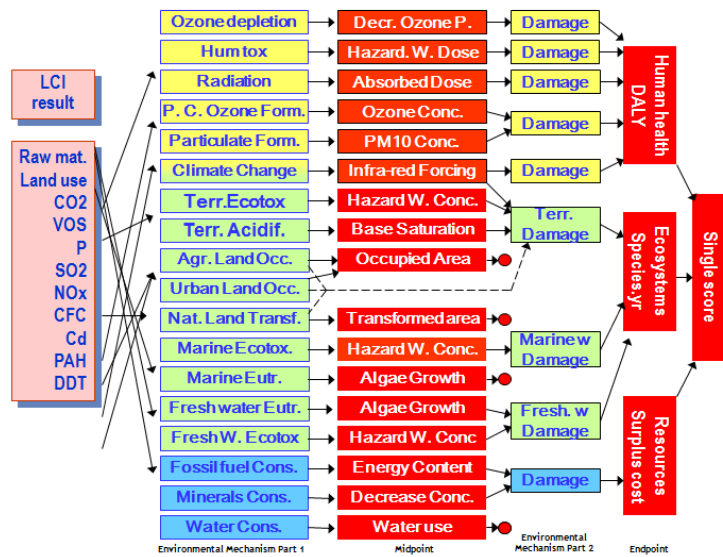
De eerste stap in het uitvoeren van een LCA bestaat uit het aanmaken van een nieuw "Project". Tijdens deze fase wordt het doel en de reikwijdte van het project bepaald. Binnen dit project wordt een "Plan" aangemaakt. Dit plan komt overeen met de levenscyclus van het te onderzoeken product. Hierna dient men de verschillende materialen in te voeren.

Deze materialen worden binnen de software aangegeven als “Processes”. Nadat alle materialen ingegeven zijn, kan men hun onderlinge relatie aanduiden onder “Flows”. Deze flows komen overeen met de stappen van het productieproces. De meeste processen en materialen zijn opgenomen in de GaBi databank. Processen en materialen die niet zijn opgenomen, kunnen handmatig worden opgesteld door deze als een afzonderlijk “Process” te bekijken. Dit principe wordt weergegeven door figuur 29.



Figuur 29: Stappenplan GaBi

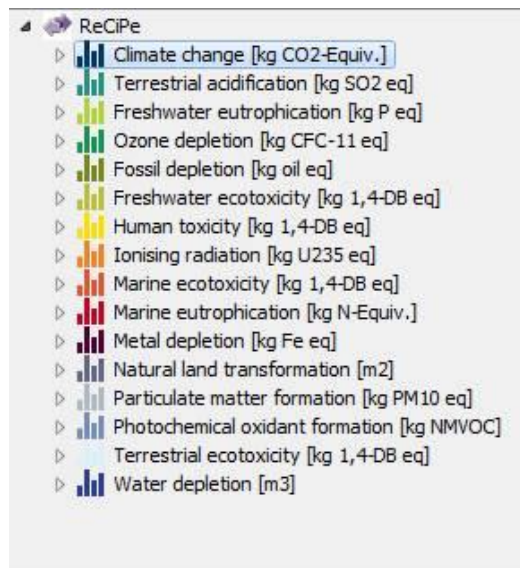
Na het vervullen van een plan, kan de milieu-impact bepaald worden door middel van de geïntegreerde functie “Balance Calculation”. Deze functie berekend voor verschillende categorieën de optredende milieu-impact. De resultaten kunnen volgens verschillende LCIA-methodes worden bepaald. Binnen dit werk zal er steeds gekozen worden om de resultaten weer te geven aan de hand van de ReCiPe LCIA methodologie. Er wordt voor deze methodologie gekozen omdat deze de meest gangbare is binnen België. Figuur 30 geeft schematisch de werking van ReCiPe weer. De grafieken bekomen uit GaBi 6 geven de ReCiPe Midpoint indicatoren weer. ReCiPe Endpoint indicatoren worden bekomen na het doorvoeren van een normalisatie en een weging. GaBi 6 biedt deze mogelijkheid aan, maar deze zal niet gebruikt worden in dit werk doordat tijdens deze fases veel informatie verloren gaat. [32][33]



Figuur 30: ReCiPe LCIA [33]

3.3 Resultaten in grafiekvorm

Na het uitvoeren van de “Balance Calculation” functie worden de resultaten weergegeven in grafiekvorm voor de categorieën bepaald in figuur 31. Elk van deze categorieën wordt onderstaand kort besproken in tabel 6.



Figuur 31: ReCiPe resultaatcategorieën

Tabel 6: Beschrijving ReCiPe – indicatoren [2]

Indicator	Vertaling	Verklaring
Climate Change (CC)	Klimaatsverandering	Emissies van broeikasgassen die zorgen voor een stijging van de temperatuur.
Terrestrial acidification (TA)	Bodemverzuring	Emissies naar de lucht van stoffen die zure regen veroorzaken.
Freshwater eutrophication (FE)	Zoetwater vermisting	Emissies naar de lucht en het water stoffen die een overmaat aan voedingsstoffen in zoetwater veroorzaken.
Ozone depletion (OD)	Aantasting ozonlaag	Emissies naar de lucht van stoffen die de stratosferische ozonlaag aantasten.
Fossil depletion (FD)	Uitputting fossiele grondstoffen	Uitputting van de fossiele grondstoffen.
Freshwater ecotoxicity (FET)	Ecotoxiciteit zoetwater	Emissies naar water en lucht die zorgen voor schade aan de ecosystemen in zoetwater.
Human toxicity (HT)	Menselijke toxiciteit	Emissies naar de bodem, het water en de lucht die resulteren in schade aan de menselijke gezondheid.
Ionising radiation (IR)	Ioniserende straling	Ioniserende of radioactieve straling.
Marine ecotoxicity (MET)	Ecotoxiciteit zoutwater	Emissies naar water en lucht die zorgen voor schade aan de ecosystemen in zoutwater.
Marine eutrophication (ME)	Zoutwater vermisting	Emissies naar de lucht en het water stoffen die een overmaat aan voedingsstoffen in zoutwater veroorzaken.
Metal depletion (MD)	Uitputting metalen	Uitputting van metalen
Natural land transformation (NLT)	Natuurlijke landomvorming	Door de mens veroorzaakte omvorming van natuurlijke landoppervlakte.
Particulate matter formation (PMF)	Fijn stofvorming	Emissies naar de lucht van deeltjes kleiner dan 10 µm.
Photochemical oxidant formation (POF)	Smogvorming	Emissies naar de lucht van stoffen die leiden tot de productie van troposferisch ozon of smog.
Terrestrial ecotoxicity (TET)	Ecotoxiciteit bodem	Emissies naar water en lucht die zorgen voor schade aan de ecosystemen in de bodem.
Water depletion (WD)	Uitputting water	Gebruik van water.

4 Studie op componentniveau

4.1 Inleiding

De studie op componentniveau wordt uitgevoerd voor een klassieke breedplaat, een breedplaat met Airboxen en een breedplaat met EPS-blokken. De LCA zal worden bepaald aan de hand van een onderschil met breedte 2 400 mm en lengte 8 000 mm. De bekomen resultaten worden omgezet naar een waarde per vierkante meter.

4.2 Doel en reikwijdte

Het doel bestaat uit het bepalen van de milieu-impact van de geprefabriceerde onderschil waarop al dan niet gewichtsreducerende elementen worden bevestigd. De analyse wordt uitgevoerd van wieg tot fabriekspoort. Voorts wordt er verondersteld dat de materialen (granulaten voor het beton, wapening, tralieliggers, ...) aanwezig zijn in de fabriek. Deze vereenvoudiging wordt gemaakt omdat de impact van deze materialen sterk afhankelijk is van verschillende factoren zoals productiemethode van de leverancier, afstand tussen fabriek en leverancier en dergelijke. Het productieproces van Airboxen en EPS-blokken wordt wel in rekening gebracht. Hierbij wordt er gekeken naar de gebruikte materialen en het productieproces. De impact volgend uit het vervoer van de afgewerkte materialen wordt niet in rekening gebracht. Deze wordt verwerkt in de studie op systeemniveau in hoofdstuk 4.

4.3 Klassieke breedplaat

In tabel 7 worden de materialen weergegeven welke in rekening zijn gebracht voor de analyse met hun bijhorend materiaaltype. Deze stap stemt overeen met de inventarisatiefase. De lengte van de onderschil wordt vastgelegd op 8 000 mm. Als breedte wordt 2 400 mm aangenomen en dikte van het beton bedraagt 50 mm. Op basis van deze referentieplaat worden de hoeveelheden omgezet naar een waarde per vierkante meter plaatoppervlakte.

Tabel 7: Inventarisatie klassieke breedplaat componentniveau

Materiaal	Materiaaltype
Beton	C30/37
Wapening	B500A
Afstandhouders	C30/37
Tralieliggers	B500A

4.3.1 Tralieliggers klassieke breedplaat componentniveau

Uit de wapeningsgegevens verkregen van Airdeck Building Concepts N.V. blijkt dat het gemiddelde gewicht van de tralieliggers 3 kg/m² bedraagt. Door deze waarde te vermenigvuldigen met plaatoppervlakte van de referentieplaat wordt de totale massa van deze wapening bekomen:

$$m_{tralieligger} = m_{tralieligger/m^2} * A_{plaat}$$

$$m_{tralieligger} = 3 * 19,2$$

$$m_{tralieligger} = 57,6 \text{ kg}$$

Door deze totale massa te delen door het soortelijk gewicht van staal, wordt het volume aan tralieliggers berekend:

$$V_{totaal,tralieligger} = \frac{m_{tralieligger}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{totaal,tralieligger} = \frac{57,6}{7800}$$

$$V_{totaal,tralieligger} = 7,385 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 7,385 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Om tot het volume aan tralieligger per vierkante meter plaatoppervlakte te komen, wordt het totale volume gedeeld door de oppervlakte van de beschouwde plaat:

$$A_{plaat} = L * B = 2,4 * 8 = 19,2 \text{ m}^2$$

$$V_{totaal,tralieligger/m^2} = \frac{7,385 * 10^6}{19,2} = 3,846 * 10^5 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

Omdat er gewerkt wordt op componentniveau, waardoor er slechts gekeken wordt naar de geprefabriceerde onderschil, dient enkel het ingebetonnerde volume aan tralieligger in rekening te worden gebracht voor de reductie van het betonvolume. De tralieliggers worden 15 mm ingebetonnerd wat overeenkomt met 30 % van het totale volume:

$$V_{tralieligger} = 0,3 * V_{totaal,tralieligger}$$

$$V_{tralieligger} = 0,3 * 7,385 * 10^6$$

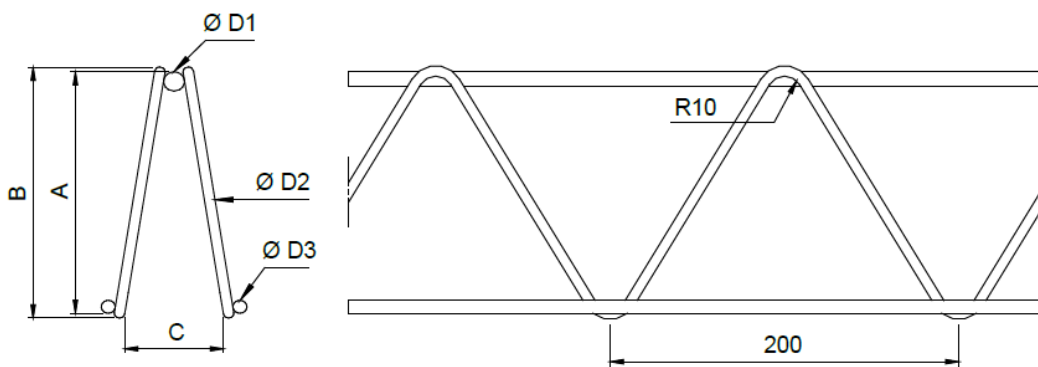
$$V_{tralieligger} = 2,215 * 10^6 \text{ mm}^3 = 2,215 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Het volume aan ingebetonnerde tralieligger per vierkante meter wordt bepaald door het bekomen totaal volume te delen door de plaatoppervlakte van 19,2 m²:

$$V_{tralieligger/m^2} = \frac{2,215 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{tralieligger/m^2} = 115,37 * 10^3 \text{ mm}^3/m^2$$

De aangenomen verhouding van 30 % tussen het volume ingebetonneerd volume en totaal volume werd bepaald op basis van figuur 32. De diameters D1, D2 en D3 bedragen 7 mm en er werd gerekend met drie rijen tralieliggers doordat de lengte van de plaat groter is dan 6 m. Deze tralieliggers worden geplaatst op een hoogte van 35 mm. De lengte C van de onderzijde bedraagt 80 mm en de hoogte B heeft een waarde van 230 mm.



Figuur 32: Dimensies tralieligger [34]

Het totale volume aan staal verwerkt in de tralieliggers wordt bepaald met volgende formule:

$$V_{totaal, tralieligger} = n * L * \left(\frac{\pi * D_1^2}{4} + \frac{2 * \pi * D_3^2}{4} \right) + n * L_{schuine\ staaf} * \frac{\pi * D_2^2}{4}$$

$$V_{totaal, tralieligger} = 3 * 8\ 000 * \left(\frac{\pi * 7^2}{4} + \frac{2 * \pi * 7^2}{4} \right) + 3 * 40\ 480 * \frac{\pi * 7^2}{4}$$

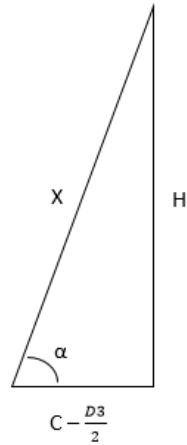
$$V_{totaal, tralieligger} = 7,44 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Met $L_{schuine\ staaf}$ bepaald aan de hand van figuren 33 en 34 en een aanname van ongebogen staven. Hierin is de hoogte H gelijk aan 220 mm, de lengte van de onderste zijde bedraagt $40 - \frac{7}{2} = 33$ mm waardoor de hoek α als volgt berekend kan worden:

$$\tan^{-1} \left(\frac{230}{33} \right) = 81,84$$

Op basis van deze hoek kan de schuine hoogte van de staaf bepaald worden aan de hand van volgende formule en figuur 34:

$$X = \frac{230}{\sin(81,84)} = 232,35 \text{ mm}$$



Figuur 33: Bepaling lengte schuine staaf

De lengte van de schuine staaf wordt nu bepaald met behulp van de formule van Pythagoras op basis van figuur 33:

$$L_{\text{staaf}} = \sqrt{X^2 + 100^2}$$

$$L_{\text{staaf}} = \sqrt{232,35^2 + 100^2}$$

$$L_{\text{staaf}} = 253 \text{ mm}$$



Figuur 34: Toepassing Pythagoras

Deze staaflengte doet zich één maal per 100 mm in de lengterichting voor. Vermits de plaat 8 000 mm lang is, kan de totale lengte van de schuine staven voor één tralieligger bepaald worden met behulp van volgende formule:

$$L_{\text{schuine staaf}} = \frac{8\,000}{100} * 253 * 2$$

$$L_{\text{schuine staaf}} = 40\,480 \text{ mm}^2$$

Het ingebetonneerd volume aan staal kan bepaald worden bepaald worden met behulp van onderstaande formule:

$$V_{\text{tralieligger}} = n * L * \frac{2 * \pi * D_3^2}{4} + n * L_{\text{schuine staaf}} * \frac{\pi * D_2^2}{4}$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 3 * 8\,000 * \frac{2 * \pi * 7^2}{4} + 3 * 3\,564 * \frac{\pi * 7^2}{4}$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 2,26 * 10^6 \text{ mm}^3 = 2,26 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Met:

$$L_{\text{schuine staaf}} = \frac{8\,000}{100} * L_{\text{staaf}} * 2$$

$$L_{\text{schuine staaf}} = \frac{8\,000}{100} * 22,275 * 2$$

$$L_{\text{schuine staaf}} = 3\,564 \text{ mm}$$

De lengte van deze schuine staaf wordt berekend op basis van de scheefstand in twee dimensies:

$$X = \frac{15}{\sin(81,84)} = 15,15 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{15}{\sin(\tan^{-1}(\frac{232,35}{100}))} = 16,33 \text{ mm}$$

$$L_{\text{staaf}} = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$L_{\text{staaf}} = \sqrt{15,15^2 + 16,33^2}$$

$$L_{\text{staaf}} = 22,275 \text{ mm}$$

Het percentage aan tralieligger aanwezig in het beton wordt nu bepaald aan de hand van volgende formule:

$$\frac{V_{tralieligger}}{V_{totaal,tralieligger}} * 100$$

$$\frac{2,26 * 10^6}{7,44 * 10^6} = 30\%$$

4.3.2 Onderwapening klassieke breedplaat componentniveau

Doordat de onderwapening, vaak beter gekend onder de benaming plaatwapening, sterk afhankelijk is van de optredende belasting, geometrie en overspanning van de plaat, werd er gekozen een gemiddelde waarde voor deze plaatwapening aan te nemen. Uit gegevens verkregen van Airdeck Building Concepts N.V. is gebleken dat 13,8 kg/m² een representatieve waarde voor deze onderwapening is. Zoals in bovenstaande paragraaf 4.3.1 bepaald, bedraagt de oppervlakte van de beschouwde vloerplaat 19,2 m². Het totale gewicht van de onderwapening kan nu berekend worden aan de hand van deze gegevens:

$$m_{onderwapening} = m_{onderwapening/m^2} * A_{plaat}$$

$$m_{onderwapening} = 13,8 * 19,2$$

$$m_{onderwapening} = 264,96 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan onderwapening en het soortelijk gewicht van staal (7800 kg/m³), kan het volume aan plaatwapening bepaald worden:

$$V_{onderwapening} = \frac{m_{onderwapening}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{onderwapening} = \frac{264,96}{7800}$$

$$V_{onderwapening} = 33,97 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 33,97 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Om het volume onderwapening per vierkante meter vloerplaat te bekomen, wordt het totale volume aan plaatwapening gedeeld door de oppervlakte van de plaat:

$$V_{onderwapening/m^2} = \frac{V_{onderwapening}}{A_{plaat}}$$

$$V_{\text{onderwapening}/m^2} = \frac{33,97 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{\text{onderwapening}/m^2} = 176,93 * 10^4 \text{ mm}^3/m^2$$

4.3.3 Afstandhouders klassieke breedplaat componentniveau

Om de onderwapening op een de correcte hoogte te houden zodoende de vereiste minimumdekking overall aanwezig is, voorziet men afstandhouders waarop men de wapeningsnetten van de onderwapening kan plaatsen. Er wordt aangenomen dat deze afstandhouders in gerecycleerd verhard beton worden uitgevoerd. Hierdoor dient er in de volgende stap geen rekening te worden gehouden met een vermindering van het betonvolume.

4.3.4 Beton klassieke breedplaat componentniveau

De onderschil heeft volgende dimensies:

- Lengte = 8 m;
- Breedte = 2,4 m;
- Hoogte = 0,05 m.

Het volume van deze onderschil wordt bepaald door deze drie dimensies met elkaar te vermenigvuldigen:

$$V_{\text{plaat}} = L * B * H$$

$$V_{\text{plaat}} = 8 * 2,4 * 0,05$$

$$V_{\text{plaat}} = 0,96 \text{ m}^3$$

Het gebruikte betonvolume kan als volgt berekend worden:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{plaat}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralieliggers}}$$

$$V_{\text{beton}} = 0,96 - 33,97 * 10^{-3} - 2,215 * 10^{-3}$$

$$V_{\text{beton}} = 0,924 \text{ m}^3$$

Het volume beton per vierkante meter plaatoppervlakte wordt aan de hand van onderstaande formule bepaald:

$$V_{\text{beton}/m^2} = \frac{V_{\text{beton}}}{A_{\text{plaat}}}$$

$$V_{beton/m^2} = \frac{0,924}{19,2}$$

$$V_{beton/m^2} = 48,13 * 10^{-3} m^3/m^2$$

4.3.5 Productieproces klassieke breedplaat componentniveau

De eerste fase bestaat uit het bekisten van de breedplaat op verplaatsbare metalen tafels. Zowel de dwars – als langs afstellingen en eventuele uitsparingen worden tijdens deze fase aangebracht. Hierna brengt men binnen deze bekisting de berekende onderwapening en tralieliggers aan. Deze plaatst men op afstandhouders zodat een beschermende betondekking onder de wapening gerealiseerd wordt. Nadat de bekisting en wapening zijn aangebracht, stort men het beton. Klassiek betonneert men met een C30/37 EE2 beton met water/cement – factor 0,5. Na verdeling van het beton over de nodige oppervlakte, wordt het geheel machinaal getrild zodat het beton verdicht. De laatste fase bestaat uit het drogen van het beton. Deze fase neemt ongeveer 8 uur in beslag. De droogoven wordt op een constante temperatuur en vochtigheidsgraad gehouden welke in functie van de betonkwaliteit variërende is. Tot slot worden de metalen tafels gereinigd waarna ze hergebruikt kunnen worden.

Doordat het energieverbruik per productiestap zeer moeilijk te bepalen is, wordt binnen deze thesis gekozen om een verbruik voor het hele proces te bepalen. Dit verbruik wordt bepaald op basis van gegevens bepaald uit het duurzaamheidsrapport van het bedrijf Kerkstoel 2000 +. Uit dit rapport kan men de gegevens van tabel 8 bepalen. [35]

Tabel 8: Verbruik Kerkstoel 2000+ [35]

	2011	2012	2013	Gemiddelde
<i>Elektriciteit (kWh)</i>	2 116 727	2 196 190	2 142 337	2 151 751
<i>Aardolie (liter)</i>	426 449	406 832	462 872	432 051
<i>Spoelwater (m³)</i>	onbekend	onbekend	43,72	43,72

Deze waarden zijn een totaalverbruik voor de volledige fabriek. Om het verbruik van de hulpafdelingen in rekening te brengen, wordt een reductie van 10 % op de gemiddelde waarde van het elektriciteit – en aardolieverbruik in rekening gebracht. Hierdoor wordt een energieverbruik volgens tabel 9 bekomen:

Tabel 9: Gereduceerd verbruik Kerkstoel 2000 +

	Gemiddelde waarde
<i>Elektriciteit (kWh)</i>	1 936 576
<i>Aardolie (liter)</i>	388 846
<i>Spoelwater (liter)</i>	43 720

Jaarlijks wordt in deze fabriek 800 000 m² aan betonoppervlakte geproduceerd. Hierdoor kunnen de bekomen energieverbruiken omgezet worden naar een energieverbruik per vierkante meter plaatoppervlakte. De resultaten hiervan worden voorgesteld in tabel 10:

Tabel 10: *Energieverbruik per m² klassieke breedplaat*

	Waarde per m ²
Elektriciteit (kWh/m ²)	2,421
Aardolie (liter/m ²)	0,486
Spoelwater (liter/m ²)	0,055

4.3.6 LCA klassieke breedplaat componentniveau

Ter bepaling van de milieu-impact met behulp van LCA werden de materiaalhoeveelheden volgens tabel 11 in rekening gebracht. Doordat er gekeken wordt van wieg tot fabriekspoort, dienen in deze fase geen transportafstanden in rekening te worden gebracht.

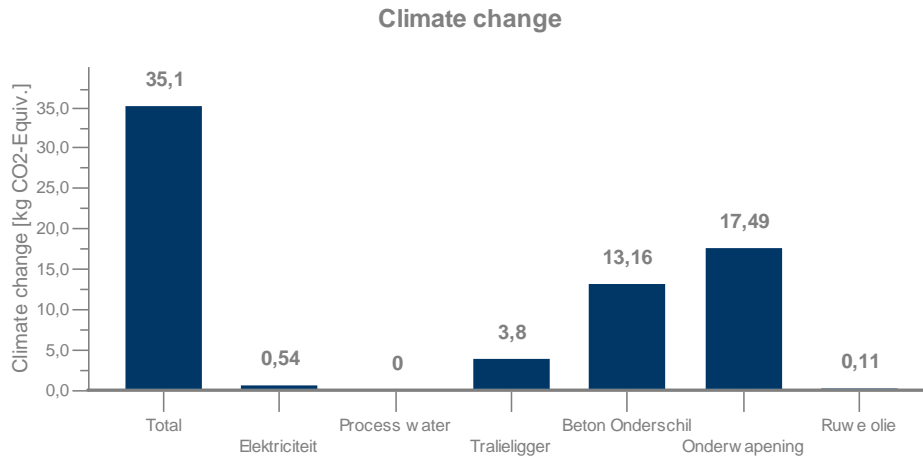
Tabel 11: *Materiaalhoeveelheden breedplaat componentniveau*

Materiaal	Materiaaltype	Hoeveelheid/m ²	Massa (kg/m ²)
Beton	C30/37	48,13 * 10 ⁻³ m ³	115,512
Wapening	B500A	176,92 * 10 ⁴ mm ³	13,8
Tralieliggers	B500A	38,46 * 10 ⁴ mm ³	3

Op basis van bovenstaande gegevens werd binnen de GaBi-software een LCA-cyclus opgesteld zoals opgenomen als bijlage 8. Om tot een geprefabriceerde klassieke breedplaat te komen, zijn er drie elementen nodig: beton (concrete), onderwapening en tralieliggers. De onderwapening en tralieliggers worden gemaakt op basis van wapeningsstaal (Steel rebar). Om deze drie elementen te combineren tot een breedplaat zijn zowel aardolie (Crude oil mix), water als elektriciteit (Electricity) nodig.

4.3.7 Resultaten klassieke breedplaat componentniveau

Door het uitvoeren van de LCA op basis van bijlage 8 verkrijgt men voor alle 16 vooropgestelde criteria een grafiek zoals in figuur 35. De overige grafieken werden opgenomen als bijlage 9.



Figuur 35: CC klassieke breedplaat componentniveau

Op basis van figuur 35 en de overige grafieken in bijlage kan men concluderen dat de onderwapening de grootste invloed heeft op de milieu-impact. Uitzonderingen hierop zijn de ioniserende straling en de uitputting van water. Bij deze impactcategorieën zijn respectievelijk de elektriciteit (65 %) en de bereiding van het beton (73 %) de bepalende factoren.

Een andere belangrijke conclusie bestaat uit het feit dat er geen transformatie van land plaatsvindt gedurende het productieproces van een breedplaat.

Tot slot kan er besloten worden dat energiebronnen elektriciteit en diesel slechts een geringe invloed uitoefenen op de totale milieu-impact ten opzichte van de gebruikte materialen. Enkel bij de ioniserende straling wordt hier een uitzondering op gemaakt voor de op te wekken elektriciteit.

Indien de resultaten in tabelvorm worden voorgesteld, bekomt men de waarden volgens tabel 12 voor een klassieke breedplaat op componentniveau:

Tabel 12: Resultaten LCA klassieke breedplaat componentniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	35,1	kg CO2 - eq
TA	7,20E-02	kg SO2 - eq
FE	3,70E-05	kg P - eq
OD	1,89E-07	kg CFC-11 - eq
FD	7,59	kg oil - eq
FET	4,25E-03	kg 1,4-DB - eq
HT	2,1	kg 1,4-DB - eq
IR	5,24E-01	kg U235 - eq
MET	1,56E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	2,01E-02	kg N - eq
MD	6,67	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	2,63E-02	kg PM-10 - eq
POF	6,99E-02	kg NMVOC - eq
TET	1,49E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	4,73	m ³

4.4 Airdeck®

De gebruikte materialen voor de LCA van een breedplaat met Airboxen worden weergegeven in tabel 13. Om tot een representatieve en eenduidige vergelijking tussen de drie varianten te komen, worden de dimensies van de klassieke breedplaat behouden (L = 8 000 mm, B = 2 400 mm). Uitzondering hierop is de dikte van de onderschil, deze bedraagt bij Airdeck® minimaal 60 mm.

Tabel 13: Inventarisatie Airdeck componentniveau

Materiaal	Materiaaltype
Beton	C30/37
Wapening	B500A
Afstandhouders	C30/37
Tralieliggers	B500A
Airboxen	PP

4.4.1 Tralieliggers Airdeck® componentniveau

Doordat de structuur minder zware lasten moet opvangen, kunnen de tralieliggers dunner worden uitgevoerd dan deze bij het systeem met massieve breedplaten zoals beschreven in paragraaf 4.3. Bij Airdeck® maakt men gebruik van tralieliggers conform tabel 1 met een boven-, diagonaal- en onderdiameter van respectievelijk 8, 5 en 6

millimeter. Het gewicht van deze tralieligger bedraagt 2,5 kg/m². Met behulp van figuur 32 kan men dan volgende vergelijkingen opstellen:

$$V_{\text{totaal, tralieligger}} = n * L * \left(\frac{\pi * D_1^2}{4} + \frac{2 * \pi * D_3^2}{4} \right) + n * L_{\text{schuine staaf}} * \frac{\pi * D_2^2}{4}$$

$$V_{\text{totaal, tralieligger}} = 3 * 8\,000 * \left(\frac{\pi * 8^2}{4} + \frac{2 * \pi * 6^2}{4} \right) + 3 * 40\,480 * \frac{\pi * 5^2}{4}$$

$$V_{\text{totaal, tralieligger}} = 4,95 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Enige wijziging ten opzicht van een klassiek breedplaat is de dikte van de onderschil (60 mm bij Airdeck, 50 mm bij de klassieke breedplaat en breedplaat met EPS-elementen). Hierdoor verhoogt de ingebetonnerde hoogte tot 25 mm wat overeen komt met 32 % van het totale volume:

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,32 * V_{\text{totaal, tralieligger}}$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,32 * 4,95 * 10^6 = 1,58 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 1,58 * 10^6 \text{ mm}^3 = 1,58 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Omgezet naar een waarde per vierkante meter wordt volgend resultaat bekomen:

$$V_{\text{tralieligger}/\text{m}^2} = \frac{1,58 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{\text{tralieligger}/\text{m}^2} = 82,292 * 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

De volume verhouding van 32 % tussen het ingebetonneerd volume en het totale volume van de tralieligger wordt analoog bepaald aan paragraaf 4.3.1. Enkel de waarde van de ingebetonnerde hoogte verandert naar 25 mm waardoor een verschil in de verhouding wordt bekomen.

$$V_{\text{tralieligger}} = n * L * \frac{2 * \pi * D_3^2}{4} + n * L_{\text{schuine staaf}} * \frac{\pi * D_2^2}{4}$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 3 * 8\,000 * \frac{2 * \pi * 6^2}{4} + 3 * 5940 * \frac{\pi * 5^2}{4}$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 1,59 * 10^6 \text{ mm}^3 = 1,59 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Met:

$$L_{\text{schuine staaf}} = \frac{8\,000}{100} * L_{\text{staaf}} * 2$$

$$L_{\text{schuine staaf}} = \frac{8\,000}{100} * 37,13 * 2$$

$$L_{\text{schuine staaf}} = 5\,940 \text{ mm}^2$$

De lengte van deze schuine staaf wordt berekend op basis van de scheefstand in twee dimensies:

$$X = \frac{25}{\sin(81,84)} = 25,25 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{25}{\sin(\tan^{-1}(\frac{232,35}{100}))} = 27,22 \text{ mm}$$

$$L_{\text{staaf}} = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$L_{\text{staaf}} = \sqrt{25,25^2 + 27,22^2}$$

$$L_{\text{staaf}} = 37,13 \text{ mm}$$

Op basis van de bekomen waarden kan het percentage ingebetonneerd volume bepaald worden aan de hand van onderstaande formule:

$$\frac{V_{\text{tralieligger}}}{V_{\text{totaal,tralieligger}}} * 100$$

$$\frac{1,58 * 10^6}{4,95 * 10^6} = 32 \%$$

4.4.2 Onderwapening Airdeck® componentniveau

De onderwapening wordt analoog aan paragraaf 4.3.2 berekend. Volgende vergelijkingen en bijhorende resultaten worden bekomen bij een plaatwapening van 12 kg/m²:

$$m_{\text{onderwapening}} = m_{\text{onderwapening/m}^2} * A_{\text{plaat}}$$

$$m_{\text{onderwapening}} = 12 * 19,2$$

$$m_{\text{onderwapening}} = 230,4 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan onderwapening en het soortelijk gewicht van staal (7800 kg/m³), kan het volume aan plaatwapening bepaald worden:

$$V_{\text{onderwapening}} = \frac{m_{\text{onderwapening}}}{\rho_{\text{staal}}}$$

$$V_{\text{onderwapening}} = \frac{230,4}{7800}$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 29,54 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 29,54 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Om het volume onderwapening per vierkante meter vloerplaat te bepalen, wordt het totaal volume aan plaatwapening gedeeld door de oppervlakte van de plaat:

$$V_{\text{onderwapening}/\text{m}^2} = \frac{V_{\text{onderwapening}}}{A_{\text{plaat}}}$$

$$V_{\text{onderwapening}/\text{m}^2} = \frac{29,54 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{\text{onderwapening}/\text{m}^2} = 153,85 * 10^4 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

4.4.3 Afstandhouders Airdeck® componentniveau

Analoog aan de veronderstelling bij de klassieke breedplaten, paragraaf 4.3.4, worden de afstandhouders uitgevoerd in beton. Hierdoor dient geen volumevermindering in rekening te worden gebracht.

4.4.4 Airboxen Airdeck® componentniveau

Het aantal Airboxen wordt berekend door de oppervlakte van de plaat te delen door de benodigde oppervlakte per Airbox. De Airboxen worden klassiek in een patroon van 300 x 300 mm geplaatst waardoor volgende vergelijkingen verkregen worden:

$$A_{\text{plaat}} = L * B$$

$$A_{\text{plaat}} = 8\ 000 * 2\ 400 = 64 * 10^6 \text{ mm}^2$$

En:

$$A_{\text{Airbox}} = L * B$$

$$A_{Airbox} = 300 * 300 = 90 * 10^3 \text{ mm}^2$$

Uit deze twee vergelijkingen kan het aantal Airboxen worden bepaald:

$$n_{Airboxen} = \frac{A_{plaat}}{A_{1 Airbox}}$$

$$n_{Airboxen} = \frac{19,2 * 10^6}{90 * 10^3}$$

$$n_{Airboxen} = 213,33$$

Vermits er enkel volledige Airboxen kunnen worden geplaatst, wordt dit aantal afgerond op 213 eenheden.

Omgerekend naar een waarde per vierkante meter wordt een resultaat van 11,09 Airboxen bekomen. Deze Airboxen worden machinaal 10 mm in de verse betonspecie getrild. Doordat dit holle elementen zijn, mag niet het volledige grondoppervlak van deze elementen in mindering worden gebracht. De in rekening te brengen oppervlakte wordt bepaald door de omtrek van het grondvlak te vermenigvuldigen met de dikte van de Airbox:

$$V_{1 Airbox} = O * t * h$$

$$V_{1 Airbox} = (4 * 210) * 1,2 * 10$$

$$V_{1 Airbox} = 10\ 080 \text{ mm}^3 = 10,08 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

Het totale volume ingenomen door de Airboxen kan bepaald worden door het aantal Airboxen te vermenigvuldigen met het volume per Airbox:

$$V_{Airboxen} = V_{1 Airbox} * n_{Airboxen}$$

$$V_{Airboxen} = 10,08 * 10^{-6} * 213$$

$$V_{Airboxen} = 2,15 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{Airboxen/m^2} = 112 * 10^3 \text{ mm}^3/\text{m}^2$$

4.4.5 Beton Airdeck® componentniveau

De onderschil heeft volgende dimensies:

- Lengte = 8 m;
- Breedte = 2,4 m;

- Hoogte = 0,06 m.

Het volume van deze onderschil wordt bepaald door deze drie dimensies met elkaar te vermenigvuldigen:

$$V_{plaat} = L * B * H$$

$$V_{plaat} = 8 * 2,4 * 0,06$$

$$V_{plaat} = 1,15 \text{ m}^3$$

Het gebruikte betonvolume kan als volgt bepaald worden:

$$V_{beton} = V_{plaat} - V_{onderwapening} - V_{tralieliggers} - V_{Airboxen}$$

$$V_{beton} = 1,15 - 29,54 * 10^{-3} - 2,51 * 10^{-3} - 2,15 * 10^{-3}$$

$$V_{beton} = 1,116 \text{ m}^3$$

$$V_{beton/m^2} = \frac{V_{beton}}{A_{plaat}}$$

$$V_{beton/m^2} = \frac{1,116}{19,2}$$

$$V_{beton/m^2} = 58,13 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$$

4.4.6 Productieproces Airdeck® componentniveau

Het productieproces van een breedplaat met Airdeck® lichtgewicht elementen verloopt grotendeels analoog aan dit van een klassieke breedplaat (paragraaf 4.3.5). Een bijkomende productiestap bestaat uit het machinaal intrillen van de Airboxen in de natte betonspecie. Deze fase gebeurt na het trillen van het beton en voor de gehele breedplaat de oven ingaat. Ook de productie van Airboxen wordt in rekening gebracht doordat dit een bijkomende component is ten opzichte van de klassieke breedplaat.

Airboxen worden geproduceerd door middel van een spuitgietproces. Deze boxen bestaan voor 100 % uit gerecycleerd PP. Hiervan is 60 % afkomstig uit de industriële sector en 40 % uit de gebruikerssector. Er wordt gerekend met het Airbox AB240 – model waardoor tabel 14 kan worden opgesteld:

Tabel 14: Eigenschappen Airbox 240 mm

Eigenschappen	Numerieke waarde
Hoogte (mm)	240
Totaal volume (mm ³)	8 016 570
Volume PP (mm ³)	2 275 000
Soortelijk gewicht (kg/cm ³)	910
Gewicht (kg)	0,400

Een producent van Airboxen is de Nederlandse firma Kreuwel Plastics B.V. In het kader van deze masterproef hebben zij een energiemeting uitgevoerd op hun spuitgietinstallatie. Tabel 15 werd opgesteld aan de hand van deze meting en geeft het elektriciteitsverbruik per Airbox weer:

Tabel 15: Gegevens productieproces Airbox

Categorie	Hoeveelheid
Elektriciteit (kWh)	0,2374

De bekomen Airboxen worden machinaal 10 mm in de verse betonspecie gedrukt. Een bedrijf dat Airdeck® breedplaten maakt is het Nederlandse De Hoop Pekso. Na contact op te nemen met hun werden de waarden volgens tabel 16 bekomen voor het intrillen van Airboxen in de onderschil. Het verbruik wordt weergegeven per vierkante meter plaatoppervlakte:

Tabel 16: Productiegegevens intrillen Airboxen

Categorie	Hoeveelheid per m ² vloerplaat
Elektriciteit (kWh)	0,0286

Bijkomend moet er bij de LCA van een Airdeck® systeem rekening gehouden worden met het transport van de Airboxen naar de fabriek. Om een zo eenduidig mogelijk resultaat te verkrijgen, wordt voor de transportafstand een eenheidswaarde van 50 km gekozen. De producent van deze Airboxen gaf aan dat de Airboxen per 500 elementen op een pallet werden geplaatst. In een klassieke vrachtwagen (lengte laadruimte = 13,4 meter) kan men 33 paletten plaatsen. Om de impact per Airbox te bepalen, dient de totale impact gedeeld te worden door het aantal vervoerde Airboxen. Deze factor kan bepaald worden aan de hand van de onderstaande formule:

$$n_{\text{totaal}} = n_{\text{paletten}} * n_{\text{Airboxen/pallet}}$$

$$n_{\text{totaal}} = 33 * 500$$

$$n_{\text{totaal}} = 16500 \text{ Airboxen}$$

4.4.7 LCA Airdeck® componentniveau

Ter bepaling van de milieu-impact op componentniveau voor een Airdeck® vloersysteem werden de materiaalhoeveelheden volgens tabel 17 in de LCA-software ingegeven. Het energieverbruik werd nader verklaard in paragraaf 3.4.6 tijdens de bespreking van het productieproces. Bij deze hoeveelheden werd een waarde van 16,67 percent toegevoegd. Deze verhoging treedt op doordat een Airdeck® vloerplaat minimaal 60 mm dik is ten opzichte van een dikte van 50 mm bij een klassieke breedplaat en een breedplaat met EPS. Het in rekening gebrachte percentage kan als volgt worden bepaald:

$$\text{Verhoging} = 1 - \left(\frac{\text{klassieke dikte}}{\text{dikte Airdeck}} * 100 \right)$$

$$\text{Verhoging} = 1 - \left(\frac{50}{60} * 100 \right)$$

$$\text{Verhoging} = 16,67 \%$$

Tabel 17: Materiaalhoeveelheden Airdeck Componentniveau

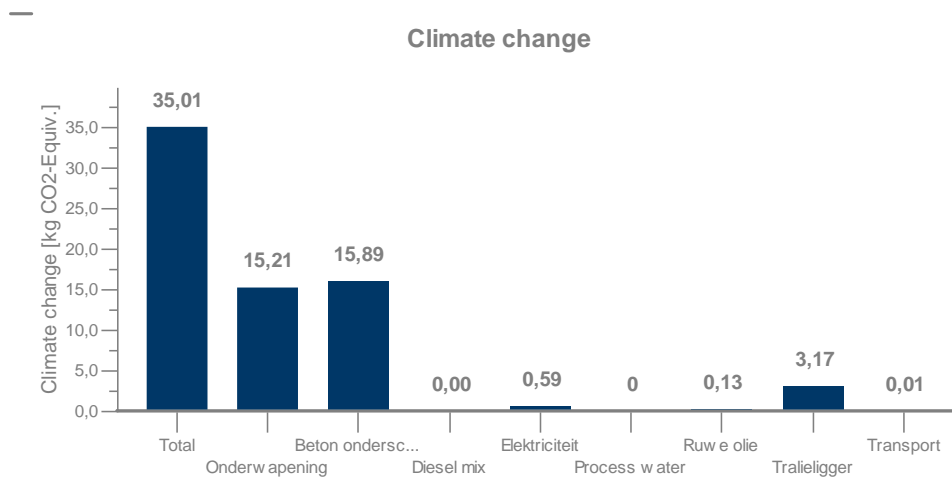
Materiaal	Materiaaltype	Hoeveelheid/m ²	Massa (kg/m ²)
Beton	C30/37	58,13 * 10 ⁻³ m ³	139,512
Wapening	B500A	153,85 * 10 ⁴ mm ³	12
Tralieliggers	B500A	82,29 * 10 ³ mm ³	3
Airboxen	PP	11,09 stuks	3,16

Bijlage 10 geeft de cyclus weer welke is opgesteld binnen de GaBi6-software voor de productie van een onderschil met Airbox lichtgewichtelementen.

Ten opzichte van een klassieke breedplaat treedt bij een Airdeck® vloersysteem een bijkomende productiefase op: het intrillen van de lichtgewicht elementen. Deze elementen bestaan uit 100 % gerecycleerd polypropyleen. Doordat het binnen de GaBi6-software niet mogelijk was om dit materiaal in te geven, is er gekozen om een gelijkaardig materiaal HDPE te kiezen. HDPE is net zoals PP een thermoplast. Dit wil zeggen dat het injecteren op een gelijkaardige manier verloopt bij beide materialen. Concreet betekent dit dat er binnen de software gekozen is om de productie van de Airboxen voor te stellen door middel van gerecycleerd HDPE te injecteren. Deze stappen worden voorgesteld door respectievelijk "Recycled postconsumer HDPE pellet" en "Plastic injection moulding part". [36]

4.4.8 Resultaten Airdeck® componentniveau

Op basis van bovenstaande gegevens worden volgende resultaten in grafiekvorm bekomen. Een overzicht van de numerieke waarden werd opgenomen als tabel 18. Voor een beschrijving van deze grafieken wordt verwezen naar hoofdstuk 3. De bekomen resultaten gelden per vierkante meter plaatoppervlakte. Enkel het resultaat voor de klimaatsverandering wordt hier weergegeven in figuur 36. De overige resultaten zijn opgenomen als bijlage 11.



Figuur 36: CC Airdeck componentniveau

Uit deze resultaten kan besloten worden dat de onderwapening samen met het beton voor de grootste impact op het milieu zorgen. Verder kan er geconcludeerd worden dat de elektriciteit gebruikt tijdens het productieproces maatgevend is voor de uitstoot aan ioniserende straling. Ook blijkt dat de hoeveelheid ruwe olie slechts een beperkte invloed heeft op de totale milieu-impact. Tot slot kan er besloten worden dat de waarden uit tabel 18 slechts zeer weinig afwijken van de waarden bij de uitvoering als klassieke breedplaat (tabel 12).

Tabel 18: Resultaten LCA Airdeck componentniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	35,01	kg CO2 - eq
TA	6,97E-02	kg SO2 - eq
FE	3,7E-05	kg P - eq
OD	1,64E-07	kg CFC-11 - eq
FD	7,14	kg oil - eq
FET	4,08E-03	kg 1,4-DB - eq
HT	1,97	kg 1,4-DB - eq
IR	0,612	kg U235 - eq
MET	1,55E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	2,02E-02	kg N - eq
MD	5,81	kg FE - eq
NLT	0,00	m ²
PMF	2,63E-02	kg PM-10 - eq
POF	6,91E-02	kg NMVOC - eq
TET	1,35E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	5,53	m ³

4.5 Breedplaat met EPS – elementen

Ter uitvoering van de studie op componentniveau voor het vloersysteem met EPS-lichtgewicht elementen werden de materialen volgens tabel 19 beschouwd. Analoog aan paragrafen 4.3 en 4.4 wordt een onderschil met lengte 8 000 mm en breedte 2 400 mm aangehouden. De dikte bedraagt 50 mm.

Tabel 19: Inventarisatie EPS componentniveau

Materiaal	Materiaaltype
Beton	C30/37
Wapening	B500A
Afstandhouders	C30/37
Tralieliggers	B500A
EPS-Blokken	EPS

4.5.1 Tralieliggers breedplaat met EPS componentniveau

Vermits de onderschil eenzelfde dikte heeft als deze van een klassieke breedplaat, kan de in rekening te brengen hoeveelheid aan tralieliggers analoog aan 4.3.1 berekend worden. Enkel het gewicht verandert hier naar 3 kg/m² doordat door de toepassing van lichtgewicht elementen een lager wapeningspercentage nodig is. Volgende vergelijkingen worden bekomen:

$$m_{tralieligger, EPS} = m_{tralieligger, EPS/m^2} * A_{plaat}$$

$$m_{tralieligger, EPS} = 3 * 19,2$$

$$m_{tralieligger, EPS} = 57,6 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan onderwapening en het soortelijk gewicht van staal (7800 kg/m³), kan het totale volume aan tralieligger worden bepaald:

$$V_{totaal, tralieligger, EPS} = \frac{m_{tralieligger, EPS}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{totaal, tralieligger, EPS} = \frac{57,6}{7800}$$

$$V_{totaal, tralieligger, EPS} = 7,38 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 7,38 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Om het volume tralieligger per vierkante meter vloerplaat te bepalen, wordt het totale volume aan tralieligger gedeeld door de oppervlakte van de plaat:

$$V_{totaal, tralieligger, EPS/m^2} = \frac{V_{tralieligger, EPS}}{A_{plaat}}$$

$$V_{totaal, tralieligger, EPS/m^2} = \frac{7,38 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{totaal, tralieligger, EPS/m^2} = 38,46 * 10^4 \text{ mm}^3/m^2$$

De dekking op de tralieligger bedraagt hier 15 mm waardoor het ingebetonneerd volume 30 % van het totale volume aan tralieligger bedraagt. Deze waarde werd uitgewerkt en verklaard in paragraaf 3.3.1

$$V_{tralieligger, EPS} = 0,3 * V_{totaal, tralieligger, EPS}$$

$$V_{tralieligger, EPS} = 0,3 * 7,385 * 10^6 = 2,215 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Het delen van dit resultaat door de totale plaatoppervlakte levert het ingebetonneerd volume tralieligger per vierkante meter:

$$V_{tralieligger, EPS/m^2} = \frac{2,215 * 10^6}{19,2} = 115,37 * 10^3 \text{ mm}^3/m^2$$

4.5.2 Onderwapening breedplaat met EPS componentniveau

De onderwapening wordt analoog aan paragraaf 4.3.2 berekend. Volgende vergelijkingen en bijhorende resultaten worden bekomen bij een plaatwapening van 16 kg/m². De verhoogde plaatwapening wordt verklaard doordat EPS een isolerend effect heeft. Hierdoor warmt het beton sneller op tijdens een brand. Om de brandweerstand te garanderen, dient hier een extra wapeningshoeveelheid van 4 kg/m² in rekening te worden gebracht.

$$m_{onderwapening} = m_{onderwapening/m^2} * A_{plaat}$$

$$m_{onderwapening} = 16 * 19,2$$

$$m_{onderwapening} = 307,2 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan onderwapening en het soortelijk gewicht van staal (7800 kg/m³), kan het volume aan plaatwapening bepaald worden:

$$V_{onderwapening} = \frac{m_{onderwapening}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{onderwapening} = \frac{307,2}{7800}$$

$$V_{onderwapening} = 39,38 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 39,38 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Om het volume onderwapening per vierkante meter vloerplaat te bepalen, wordt het totaal volume aan plaatwapening gedeeld door de oppervlakte van de plaat:

$$V_{onderwapening/m^2} = \frac{V_{onderwapening}}{A_{plaat}}$$

$$V_{onderwapening/m^2} = \frac{39,38 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{onderwapening/m^2} = 205,13 * 10^4 \text{ mm}^3/m^2$$

4.5.3 Afstandhouders breedplaat met EPS componentniveau

Analoog aan voorgaande systemen met Airdeck[®] en klassieke breedplaten (respectievelijk 4.3 en 4.4) worden de afstandhouders vervaardigd uit beton waardoor geen volumevermindering in rekening dient gebracht te worden.

4.5.4 EPS – elementen breedplaat met EPS componentniveau

Onder EPS-elementen worden blokken geëxpandeerd polystyreen met volgende dimensies verstaan:

- L = 400 mm;
- B = 400 mm;
- H = variabel.

Deze blokken worden geplaatst in een patroon van 600 x 600 mm.

Het aantal EPS-blokken wordt berekend door het oppervlakte van de plaat te delen door de benodigde oppervlakte per EPS-element:

$$A_{plaat} = L * B$$

$$A_{plaat} = 8\ 000 * 2\ 400 = 19,2 * 10^6 \text{ mm}^2$$

En:

$$A_{EPS} = L * B$$

$$A_{EPS} = 600 * 600 = 360 * 10^3 \text{ mm}^2$$

Uit deze twee vergelijkingen kan het aantal EPS-elementen bepaald worden:

$$n_{EPS\text{-elementen}} = \frac{A_{plaat}}{A_{EPS}}$$

$$n_{EPS\text{-elementen}} = \frac{19,2 * 10^6}{360 * 10^3}$$

$$n_{EPS\text{-elementen}} = 53,33$$

Deze waarde wordt afgerond op 53 EPS-elementen. Het aantal elementen per vierkante meter plaatoppervlakte wordt bekomen door het totaal aantal elementen te delen door de totale oppervlakte van de plaat:

$$n_{EPS\text{-elementen}/m^2} = \frac{n_{EPS\text{-elementen}}}{A_{plaat}}$$

$$n_{EPS\text{-elementen}/m^2} = \frac{53}{19,2}$$

$$n_{EPS\text{-elementen}/m^2} = 2,76$$

De hoogte van deze EPS-elementen is afhankelijk van de vloerhoogte en kan met behulp van onderstaande formule voor verschillende hoogtes berekend worden:

$$H_{EPS} = H_{constructie} - c_{onderzijde} - c_{bovenzijde}$$

De referentiehoogte voor deze berekeningen bedraagt 340 mm. De dikte van de onderschil bedraagt 50 mm en er wordt bovenaan een dekking voorzien van 70 mm. De elementen worden 10 mm in het beton getrild waardoor de hoogte van de elementen nu eenvoudig kan bepaald worden door bovenstaande formule numeriek in te vullen:

$$H_{EPS} = 340 - 40 - 70$$

$$H_{EPS} = 230 \text{ mm}$$

Het totale volume van deze lichtgewichtelementen kan op volgende wijze bekomen worden:

$$V_{totaal, EPS} = n * L * B * H_{EPS}$$

$$V_{totaal, EPS} = 53 * 400 * 400 * 230$$

$$V_{totaal, EPS} = 1,95 * 10^9 \text{ mm}^3 = 1,95 \text{ m}^3$$

De EPS-blokken worden 10 mm in de verse betonspecie gedrukt. Deze elementen zijn onderaan gesloten waardoor het ingebetonnerde volume bepaald kan worden door het grondoppervlak te vermenigvuldigen met de diepte in het beton:

$$V_{EPS} = n * L * B * H_{ingebetonneerd}$$

$$V_{EPS} = 53 * 400 * 400 * 10$$

$$V_{EPS} = 84,8 * 10^6 \text{ mm}^3 = 84,8 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{EPS}/m^2 = 442 * 10^4 \text{ mm}^3/m^2$$

4.5.5 Beton breedplaat met EPS componentniveau

De onderschil heeft volgende dimensies:

- Lengte = 8 m;
- Breedte = 2,4 m;
- Hoogte = 0,05 m.

Het volume van deze onderschil wordt bekomen door deze drie dimensies met elkaar te vermenigvuldigen:

$$V_{plaat} = L * B * H$$

$$V_{plaat} = 8 * 2,4 * 0,05$$

$$V_{plaat} = 0,96 \text{ m}^3$$

Het gebruikte betonvolume kan nu als volgt bepaald worden:

$$V_{beton} = V_{plaat} - V_{onderwapening} - V_{tralieliggers} - V_{EPS}$$

$$V_{beton} = 0,96 - 39,38 * 10^{-3} - 2,215 * 10^{-3} - 84,8 * 10^{-3}$$

$$V_{beton} = 0,834 \text{ m}^3$$

$$V_{beton/m^2} = \frac{0,834}{19,2}$$

$$V_{beton/m^2} = 43,42 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$$

4.5.6 Productieproces breedplaat met EPS componentniveau

Het productieproces van een breedplaat met EPS-elementen verloopt grotendeels analoog aan dit van een klassieke breedplaat. Enige uitzondering ontstaat door het intrillen van de elementen in de natte betonspecie. Deze fase loopt echter gelijkaardig aan het intrillen van de Airboxen zoals besproken in paragraaf 4.4.6. Bij de invoering in de LCA-software wordt voor de breedplaat met EPS-elementen rekening gehouden met de productie van deze EPS-elementen omdat dit een bijkomende component is. Hiervoor dienen echter geen waarden voor bepaald te worden doordat deze reeds in het gekozen proces geïntegreerd zijn.

Het machinaal intrillen van de EPS-elementen verloopt analoog aan dit bij Airboxen. In tegenstelling tot Airboxen zijn deze EPS-elementen niet hol. Hierdoor moet een groter volume in het beton worden getrild. Om dit in rekening te brengen wordt een

vergelijking gemaakt tussen de in te trillen oppervlakte bij Airdeck en bij EPS. Het oppervlakte aan Airdeck wordt bepaald aan de hand van onderstaande formule:

$$A_{intrillen,Airdeck} = O * t * n$$

$$A_{intrillen,Airdeck} = (4 * 210) * 1,2 * 213)$$

$$A_{intrillen,Airdeck} = 214\ 704\ mm^2$$

Analoog wordt de totale in te trillen oppervlakte van de EPS-elementen berekend:

$$A_{intrillen,EPS} = L * B * n$$

$$A_{intrillen,EPS} = 400 * 400 * 53$$

$$A_{intrillen,EPS} = 8\ 480\ 000$$

De verhouding tussen beide oppervlaktes kan nu eenvoudig bepaald worden met onderstaande vergelijking:

$$\frac{A_{intrillen,EPS}}{A_{intrillen,Airdeck}} = \frac{8\ 480\ 000}{214\ 704}$$

$$\frac{A_{intrillen,EPS}}{A_{intrillen,Airdeck}} = 39,496$$

Het elektriciteitsverbruik voor het intrillen van de EPS-elementen wordt bepaald door het verbruik bij Airdeck te vermenigvuldigen met de verhouding van de totaal in te trillen oppervlaktes. Het resultaat hiervan wordt weergegeven in tabel 20.

$$E_{intrillen,EPS} = E_{intrillen,Airdeck} * \frac{A_{intrillen,EPS}}{A_{intrillen,Airdeck}}$$

$$E_{intrillen,EPS} = 0,0286 * 39,496$$

$$E_{intrillen,EPS} = 1,1296\ kWh$$

Tabel 20: Productiegegevens intrillen EPS-elementen

Categorie	Hoeveelheid per m ² vloerplaat
Elektriciteit (kWh)	1,1296

Analoog aan de Airboxen, dienen de EPS-elementen vervoerd te worden van hun productieplaats naar de plaats waar ze verwerkt worden in het beton. Om dit transport in rekening te brengen, wordt er een transport van 50 km in rekening gebracht. Om het transport per element te bepalen, wordt het aantal elementen vermenigvuldigd met het aantal paletten:

$$n_{\text{totaal}} = n_{\text{paletten}} * n_{\text{EPS-elementen/pallet}}$$

$$n_{\text{totaal}} = 33 * 54$$

$$n_{\text{totaal}} = 1782 \text{ elementen}$$

4.5.7 LCA breedplaat met EPS componentniveau

De in rekening gebrachte materiaalhoeveelheden worden weergegeven in tabel 21. Voor de nodige energiehoeveelheden wordt verwezen naar paragraaf 4.3.5.

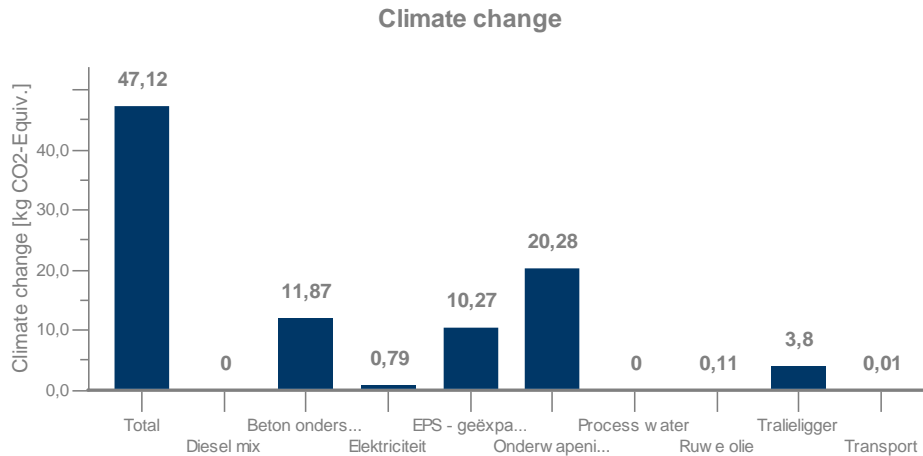
Tabel 21: Materiaalhoeveelheden EPS componentniveau

Materiaal	Materiaaltype	Hoeveelheid/m ²	Massa (kg/m ²)
Beton	C30/37	43,42 * 10 ⁻³ m ³	104,2
Wapening	B500A	205,13 * 10 ⁴ mm ³	16
Tralieliggers	B500A	38,46 * 10 ⁴ mm ³	3
EPS-blokken	EPS	2,76 stuks	2,539

Bijlage 12 stelt de beschouwde levenscyclus van een onderschil met EPS-elementen voor. De opbouw verloopt volledig analoog aan deze van een breedplaat met Airboxen als gewichtsreducerende elementen. De elektriciteit nodig voor het intrillen van deze EPS-elementen in de betonnen onderschil werd opgenomen bij het totale elektriciteitsverbruik.

4.5.8 Resultaten breedplaat met EPS componentniveau

Onderstaand worden in grafiekvorm de resultaten van de vooropgestelde criteria weergegeven. Voor de bespreking van de criteria wordt verwezen naar hoofdstuk 2. De bekomen resultaten gelden per vierkante meter plaatoppervlakte. Figuur 37 geeft het resultaat weer van de klimaatsverandering. De overige categorieën werden opgenomen als bijlage 13.



Figuur 37: CC breedplaat met EPS componentniveau

Uit de bekomen resultaten blijkt dat de onderwapening samen met de EPS-lichtgewicht elementen voor de grootste milieu-impact zorgen. Bij de uitputting van de watervoorziening zorgt het gebruikte beton voor de grootste impact (63,1 %). De uitstoot van ioniserende straling is hoofdzakelijk afkomstig van de gebruikte elektriciteit (71,4 %). Bij de overige categoriën is de invloed van de elektriciteit eerder beperkt. Net zoals bij voorgaande systemen is er geen omvorming van gronden nodig om de vloerplaat te realiseren. Indien bovenstaande resultaten in tabelvorm worden weergegeven, wordt het resultaat volgens tabel 22 verkregen:

Tabel 22: Resultaten LCA breedplaat met EPS componentniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	47,1	kg CO ₂ - eq
TA	9,86E-02	kg SO ₂ - eq
FE	7,53E-05	kg P - eq
OD	4,33E-07	kg CFC-11 - eq
FD	14,9	kg oil - eq
FET	5,73E-03	kg 1,4-DB - eq
HT	2,7	kg 1,4-DB - eq
IR	7,24E-01	kg U235 - eq
MET	3,82E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	2,64E-02	kg N - eq
MD	7,52	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	3,36E-02	kg PM-10 - eq
POF	1,65E-01	kg NMVOC - eq
TET	5,96E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	4,93	m ³

4.6 Besluit componentniveau

Het componentniveau omvat de geprefabriceerde onderschil van de drie beschouwde systemen (Airdeck®, klassieke breedplaat en breedplaat met EPS-elementen). Onderstaande tabel 23 geeft een overzicht van de bekomen resultaten per vloerplaat.

Tabel 23: Samenvatting resultaten componentniveau

Indicator	Breedplaat	Airdeck	EPS	Eenheid
CC	35,1	35,01	47,1	kg CO2 - eq
TA	7,20E-02	6,97E-02	9,86E-02	kg SO2 - eq
FE	3,70E-05	3,7E-05	7,53E-05	kg P - eq
OD	1,89E-07	1,64E-07	4,33E-07	kg CFC-11 - eq
FD	7,59	7,14	14,9	kg oil - eq
FET	4,25E-03	4,08E-03	5,73E-03	kg 1,4-DB - eq
HT	2,1	1,97	2,7	kg 1,4-DB - eq
IR	5,24E-01	0,612	7,24E-01	kg U235 - eq
MET	1,56E-03	1,55E-03	3,82E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	2,01E-02	2,02E-02	2,64E-02	kg N - eq
MD	6,67	5,81	7,52	kg FE - eq
NLT	0,00	0,00	0,00	m ²
PMF	2,63E-02	2,63E-02	3,36E-02	kg PM-10 - eq
POF	6,99E-02	6,91E-02	1,65E-01	kg NMVOC - eq
TET	1,49E-03	1,35E-03	5,96E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	4,73	5,53	4,93	m ³

Op basis van deze tabel kunnen reeds enkele besluiten worden gemaakt voor het componentniveau. Zo is het duidelijk zichtbaar dat de waarden van het systeem met klassieke breedplaten en het Airdeck®-systeem voor de meeste categorieën in elkaars buurt liggen. Uitzondering hierop is het hoge waterverbruik (16,9 % hoger) bij de vloerplaten met Airdeck®. Dit kan echter verklaard worden door het verschil in dikte en bijgevolg ook het verschil in volume beton van de onderschil. De dikte van de onderschil bedraagt bij Airdeck® 60 mm en bij klassieke breedplaten en breedplaten met EPS-elementen slechts 50 mm. Uit de grafieken van de wateruitputting is duidelijk af te leiden dat de impact hoofdzakelijk bepaald wordt door het volume aan beton. Ook kan er besloten worden dat de impactwaarden van de onderschil met EPS-elementen aanzienlijk hoger ligt dan bij de andere vloerplaten. Dit kan verklaard worden door de toepassing van de geëxpandeerde polystyreen elementen. Uit de resultaten van de LCA-analyse van de breedplaat met EPS-elementen (bijlage 13) is af te leiden dat de productie van deze elementen een aanzienlijke invloed heeft op het totale productieproces. Deze toename is minder doorslaggevend bij de toepassing met Airboxen doordat deze bestaan uit 100 % gerecycleerd polypropyleen. Enkel de impact op de wateruitputting is lager dan deze bij de onderschil met Airboxen. Dit werd in bovenstaande alinea verklaard.

Om de vloersystemen kwantitatief met elkaar te vergelijken en de invloed van Airdeck te bepalen, worden de onderschil met klassieke breedplaten en de onderschil met EPS-elementen procentueel vergeleken ten opzichte van de Airdeck®-onderschil. Voor elke impactcategorie wordt de invloed procentueel berekend waarbij als basiswaarde deze van de onderschil met Airboxen werd toegepast. Onderstaande formule werd gebruikt om de resultaten van tabel 23 om te zetten naar de waarden in tabel 24. Een negatieve waarde in deze tabel duidt op een lagere milieu-impact dan bij de Airdeck®-onderschil, een positieve waarde komt bijgevolg overeen met een hogere impact.

$$\text{Procentueel verschil} = \left(\frac{\text{Impact}_{\text{breedplaat}}}{\text{Impact}_{\text{Airdeck}}} - 1 \right) * 100 \%$$

Tabel 24: Procentuele waarden resultaten componentniveau

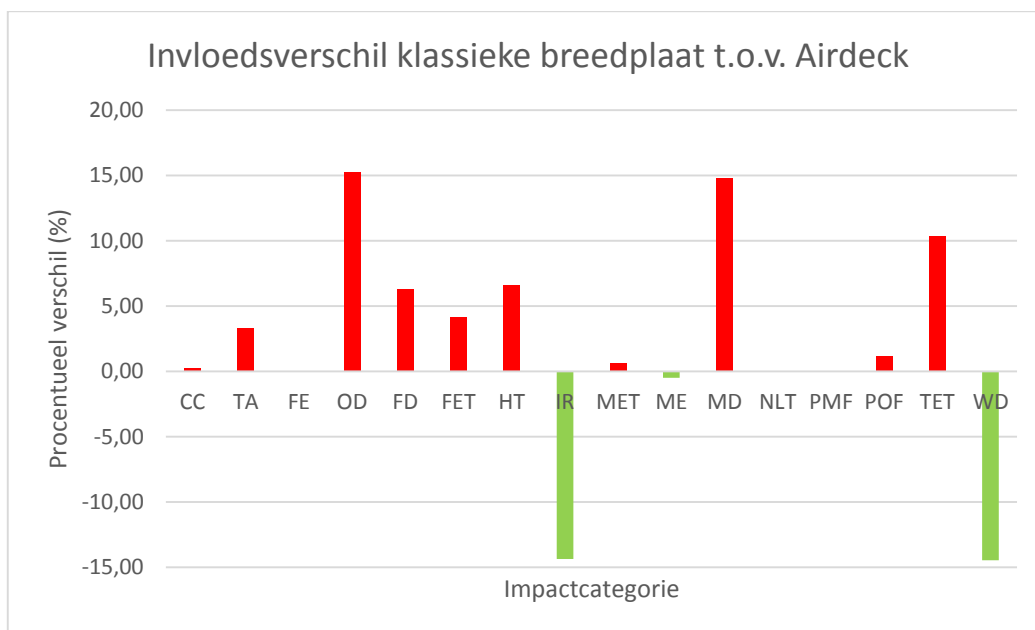
Indicator	Klassieke breedplaat (%)	Breedplaat met EPS (%)
CC	0,26	34,53
TA	3,30	41,46
FE	0,00	103,51
OD	15,24	164,02
FD	6,30	108,68
FET	4,17	40,44
HT	6,60	37,06
IR	-14,38	18,30
MET	0,65	146,45
ME	-0,50	30,69
MD	14,80	29,43
NLT	0,00	0,00
PMF	0,00	27,76
POF	1,16	138,78
TET	10,37	341,48
WD	-14,47	-10,85
Gemiddelde (%)	5,76	79,59
Vershil in impact (%)	2,09	78,24

Uit deze tabel blijkt dat voor de onderschil zonder lichtgewicht elementen de impact voor bepaalde categorieën gunstiger (negatieve waarden) en voor bepaalde categorieën ongunstiger (positieve waarden) uitkomt dan bij de onderschil met Airboxen. Het maximale verschil tussen beide elementen wordt echter nooit groter dan 15 %. Het gemiddelde verschil tussen de impactcategorieën bedraagt 5,76 %. Dit getal werd berekend met de absolute waarde (enkel positief) van elke categorie. Het globale verschil in impact tussen beide onderschillen werd bepaald op basis van de reële waarde (zowel positief als negatief mogelijk) van elke categorie. Hieruit blijkt

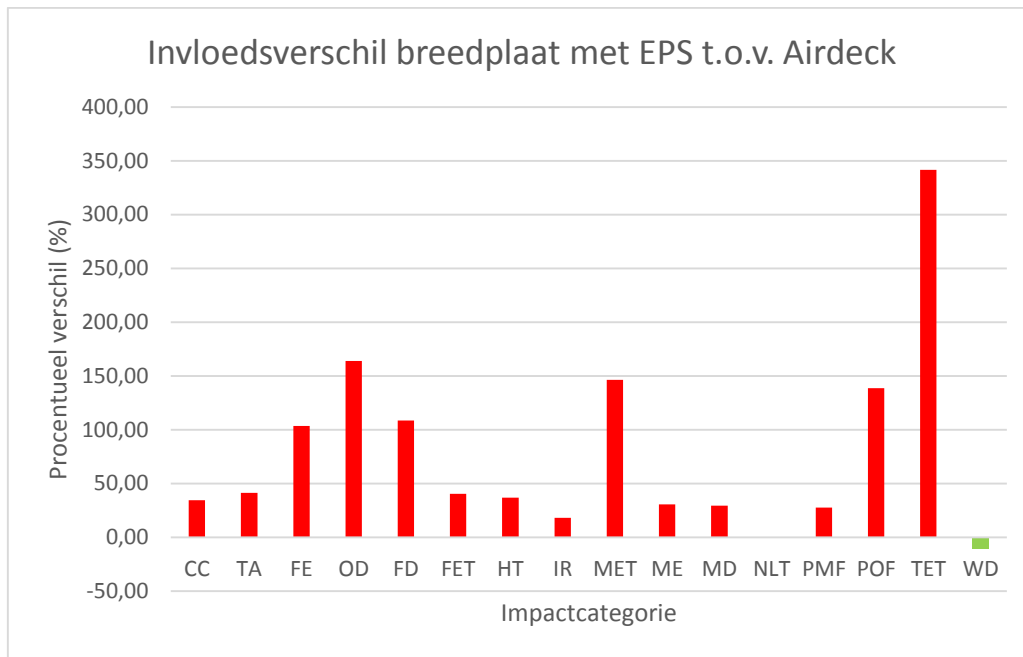
dat de onderschil zonder lichtgewicht elementen 2,09 % meer impact uitoefent op het milieu dan de onderschil met Airboxen.

Bij de vergelijking tussen Airdeck® en breedplaten met EPS-elementen, kan er besloten worden dat de onderschil met EPS-elementen, met uitzondering van de wateruitputting, steeds negatiever is voor het milieu dan een onderschil met Airboxen. Het verschil in impact tussen de categorieën bedraagt gemiddeld 79,59% met uitschieters tot 341,48 %. Globaal gezien neemt de milieu-impact met 78,24 % toe ten opzichte van de onderschil met Airboxen.

Om deze resultaten visueel voor te stellen werd tabel 24 omgezet in de grafieken volgens figuren 38 en 39. In deze grafieken wordt een verhoogde impact ten opzichte van een uitvoering met Airdeck voorgesteld door middel van rode staven. Indien de impact lager ligt, wordt deze weergegeven door een groene staaf.



Figuur 38: Procentuele invloed klassieke breedplaat componentniveau



Figuur 39: Procentuele invloed breedplaat met EPS componentniveau

Op componentniveau kan er, onder de beschouwde randvoorwaarden, besloten worden dat een Airdeck®-onderschil en een onderschil zonder lichtgewicht elementen een zo goed als gelijke invloed uitoefenen op het milieu, het verschil bedraagt slechts 2,09 %. Indien de vergelijking wordt gemaakt tussen de onderschil met Airboxen en deze met EPS-elementen is er wel een merkbaar verschil tussen beiden. Uit de resultaten blijkt dat de onderschil met EPS-elementen 78,24 % meer belastend is voor het milieu.

De dikkere onderschil van Airdeck® zorgt dus niet voor een hogere milieu-impact. Dit kan, ten opzichte van de klassieke breedplaat, verklaard worden door het lagere wapeningspercentage. In tegenstelling tot de impact van de EPS-elementen, kan de impact van Airboxen verwaarloosd worden. Dit komt doordat de Airboxen gemaakt worden uit gerecycleerd materiaal waardoor men geen nieuwe grondstoffen moet ontginnen en de resulterende impact veel kleiner wordt.

5 Studie op systeemniveau

5.1 Inleiding

Binnen het systeemniveau zal er een vergelijking worden gemaakt tussen de drie vloersystemen met telkens een vloerdikte van 340 millimeter. Onder vloerdikte wordt verstaan de onderschil met hierop de bovenwapening en de betonnen druklaag op aangebracht. De onderschil van de verschillende systemen werd uitvoerig besproken in hoofdstuk 4.

Er wordt gekozen om de LCA van elk systeem te bepalen voor een vloerplaat met volgende dimensies:

- L = 8 meter;
- B = 2,4 meter;
- H = 0,34 meter.

Deze waarden worden omgezet naar een waarde per vierkante meter plaatoppervlakte.

Vermits er enkel gekeken wordt naar het systeem op zich, speelt de lengte van de overspanning in deze fase nog geen rol. Door eenzelfde dikte voor elk systeem aan te nemen, wordt een representatiever beeld bekomen over de invloed van de lichtgewicht elementen. De resultaten worden weergegeven voor invoerparameters per vierkante meter.

5.2 Doel en reikwijdte

Op systeemniveau bestaat het doel uit het maken van een vergelijking van de drie vloersystemen met dezelfde dimensies. Aan de hand van deze aanpak kan de invloed van Airboxen bepaald worden ten opzichte van een massieve vloerplaat en EPS-elementen.

Het onderzoek wordt uitgevoerd van wieg tot fabriekspoort. Bijkomend wordt een eenheidstransport van 25 kilometer in rekening gebracht voor de onderschil, de te plaatsen bovenwapening en het beton gebruikt ter realisatie van de druklaag. Doordat het transport afhankelijk is van de ligging van de werf, wordt voor alle systemen eenzelfde transportafstand in rekening gebracht.

Binnen dit niveau wordt geen rekening gehouden met eventuele ponswapening doordat deze op dit niveau niet relevant is. Ponswapening wordt pas binnen het gebouwniveau in rekening gebracht.

5.3 Klassieke breedplaat

Op systeemniveau wordt de klassieke breedplaat onderverdeeld in drie componenten: de geprefabriceerde onderschil zoals besproken in paragraaf 4.3, de bovenwapening (ook gekend onder de naam bijlegwapening) en het beton gebruikt om de druklaag te realiseren.

5.3.1 Onderschil klassieke breedplaat systeemniveau

De onderschil voor de uitvoering als klassieke breedplaat werd uitvoerig besproken op componentniveau (hoofdstuk 4). Er wordt gekozen om de bekomen waarden binnen het systeemniveau aan te houden. Voor een overzicht van de materiaalhoeveelheden wordt verwezen naar tabel 11.

5.3.2 Bijlegwapening klassieke breedplaat systeemniveau

Aan de hand van de gegevens verkregen bij Airdeck Building Concepts N.V. blijkt dat 18,4 kg/m² een representatieve gemiddelde rekenwaarde is voor de bijlegwapening. Doordat eenzelfde referentieplaat met een lengte van 8 meter en breedte van 2,4 meter wordt aangehouden, blijft de plaatoppervlakte gelijk aan 19,2 m². Het volume van de bijlegwapening wordt bekomen door de massa per vierkante meter te vermenigvuldigen met de oppervlakte en het bekomen resultaat te delen door de dichtheid van staal:

$$m_{\text{bijlegwapening}} = m_{\text{bijlegwapening}/\text{m}^2} * A_{\text{plaat}}$$

$$m_{\text{bijlegwapening}} = 18,4 * 19,2$$

$$m_{\text{bovenwapening}} = 353,28 \text{ kg}$$

$$V_{\text{bijlegwapening}} = \frac{m_{\text{bijlegwapening}}}{\rho_{\text{staal}}}$$

$$V_{\text{bijlegwapening}} = \frac{353,28}{7800}$$

$$V_{\text{bijlegwapening}} = 45,29 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 45,29 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Het volume bijlegwapening per vierkante meter plaatoppervlakte kan nu bepaald worden door het totale volume te delen door de plaatoppervlakte van 19,2 m²:

$$V_{bijlegwapening/m^2} = \frac{V_{bijlegwapening}}{A_{plaat}}$$

$$V_{bijlegwapening/m^2} = \frac{45,29 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{bijlegwapening/m^2} = 235,89 * 10^4 \text{ mm}^3/m^2$$

5.3.3 Opstortbeton klassieke breedplaat systeemniveau

De op te storten laagbeton heeft volgende dimensies:

- Lengte = 8 m;
- Breedte = 2,4 m;
- Hoogte = 0,29 m (= 0,340 m – 0,50 m).

Het volume van deze laag wordt berekend door deze drie dimensies met elkaar te vermenigvuldigen:

$$V_{opstortlaag} = L * B * H$$

$$V_{opstortlaag} = 8 * 2,4 * 0,29$$

$$V_{opstortlaag} = 5,568 \text{ m}^3$$

Het gebruikte betonvolume wordt bepaald aan de hand van onderstaande vergelijking. Hierin is het volume aan tralieliggers gelijk aan het totale volume van deze liggers verminderd met het ingebetonneerd volume van de onderschil:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bijlegwapening} - V_{tralieliggers}$$

$$V_{opstort} = 5,568 - 45,29 * 10^{-3} - (7,385 - 2,215) * 10^{-3}$$

$$V_{opstort} = 5,518 \text{ m}^3$$

Het op te storten volume per vierkante meter wordt berekend door het totale op te storten volume te delen door de plaatoppervlakte:

$$V_{opstort/m^2} = \frac{V_{opstort}}{A_{plaat}}$$

$$V_{opstort/m^2} = \frac{5,518}{19,2}$$

$$V_{opstort/m^2} = 287,4 * 10^{-3} m^3/m^2$$

5.3.4 Realisatie klassieke breedplaat systeemniveau

De geprefabriceerde onderschil wordt per vrachtwagen naar de werf gebracht. Eenmaal de plaat op de juiste plaats geplaatst is, voorziet men deze van de nodige bijlegwapening. Uiteindelijk stort men het geheel op met een C20/25 beton.

Doordat het plaatsen van de bijlegwapening manueel gebeurt, dient hiervoor geen productieproces in rekening gebracht te worden. Het opstorten van het beton wordt verondersteld te gebeuren met een betonpomp welke worden aangedreven door diesel. Op basis van gegevens verkregen van het bedrijf Peeters Bart werd het eenheidsverbruik diesel per kubieke meter beton bepaald voor de werking van deze betonpomp. De resultaten worden weergegeven in onderstaande tabel 25:

Tabel 25: Eenheidsverbruik betonpompen

Categorie	Verbruik per m ³ beton
Diesel (l/m ³)	2,5

Om het verbruik voor de beschouwde vloerplaat te bepalen, dient deze eenheidswaarde enkel vermenigvuldigt te worden met de hoeveelheid op te storten beton (= 287,4 x 10⁻³ m³) waardoor de waarde volgens tabel 26 wordt bekomen:

Tabel 26: Verbruik betonpomp klassieke breedplaat

Categorie	Verbruik per m ² plaat
Diesel (l)	0,719

5.3.5 LCA klassieke breedplaat systeemniveau

Tabel 27 is een weergave van de materiaalhoeveelheden welke in rekening worden gebracht bij de analyse van de de klassieke breedplaat op systeemniveau. Om een representatieve vergelijking te kunnen maken, wordt voor elk systeem eenzelfde transportafstand van 25 km in rekening gebracht voor zowel de onderschil, bijlegwapening als opstortbeton.

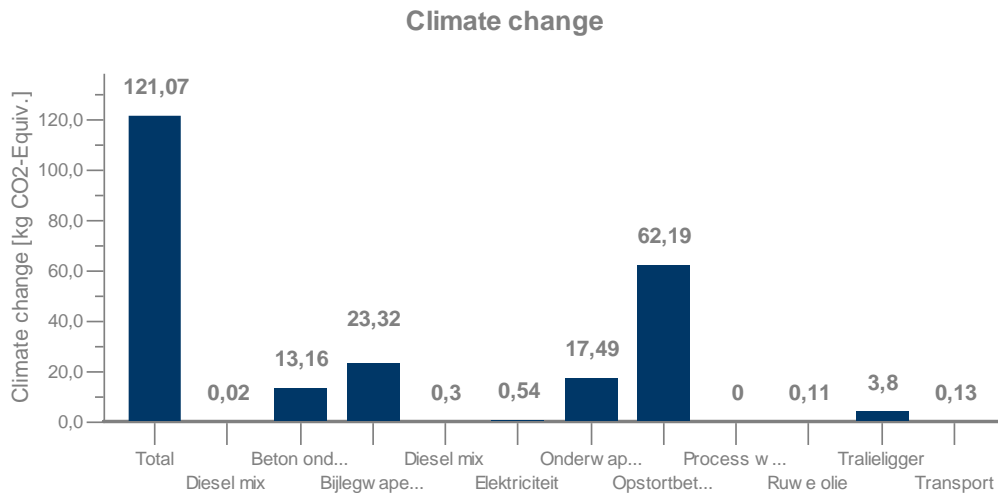
Tabel 27: Materiaalhoeveelheden breedplaat systeemniveau

Materiaal	Materiaaltype	Hoeveelheid/m ²	Massa (kg/m ²)
Betonschil	C30/37	48,13 * 10 ⁻³ m ³	115,512
Onderwapening	B500A	176,92 * 10 ⁴ mm ³	13,8
Tralieliggers	B500A	38,46 * 10 ⁴ mm ³	3
Bijlegwapening	B500A	235,85 * 10 ⁴ mm ³	18,396
Opstort	C20/25	287,4 * 10 ⁻³ m ³	689,904

Bijlage 14 geeft de implementatie van de klassieke breedplaat weer op systeemniveau binnen de GaBi-software. Ten opzicht van het componentniveau, werd op dit niveau bijkomend rekening gehouden met het transport naar de werf, de bijlegwapening en het op te storten beton (met een autobetonpomp).

5.3.6 Resultaten klassieke breedplaat systeemniveau

Onderstaande figuur 40 geeft het resultaat voor de impactcategorie klimaatverandering. De overige categorieën zijn opgenomen als bijlage 15. Uit deze resultaten blijkt dat, analoog aan het componentniveau, het beton samen met de wapening de grootste impact op het milieu uitoefenen.



Figuur 40: CC klassieke breedplaat systeemniveau

Hierbij dient wel de opmerking gemaakt te worden dat de uitstoot van ioniserende straling hoofdzakelijk afhankelijk is van de op te storten beton en de elektriciteit verbruikt tijdens het proces. Voorts kan er besloten worden dat het verbruik van de betonpomp en het transport slechts een geringe invloed uitoefent op het geheel. Tot slot blijkt dat de aantasting van de ozonlaag (Ozon depletion) grotendeels bepaald wordt door de toegepaste boven- en onderwapening. Alle resultaten worden samengevat in onderstaande tabel 28:

Tabel 28: Resultaten LCA klassieke breedplaat systeemniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	121	kg CO2 - eq
TA	2,16E-01	kg SO2 - eq
FE	1,39E-04	kg P - eq
OD	3,94E-07	kg CFC-11 - eq
FD	20,9	kg oil - eq
FET	1,12E-02	kg 1,4-DB - eq
HT	5,94	kg 1,4-DB - eq
IR	1,32	kg U235 - eq
MET	4,70E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	6,40E-02	kg N - eq
MD	14,5	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	8,72E-02	kg PM-10 - eq
POF	2,13E-01	kg NMVOC - eq
TET	3,74E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	21,1	m ³

5.4 Airdeck®

Analoog aan het systeem van de klassieke vloerplaat worden op systeemniveau drie componenten in rekening gebracht bij het Airdeck® vloertype: de geprefabriceerde onderschil, de bijlegwapening en het op te storten beton. Elk van deze componenten zal onderstaand toegelicht worden.

5.4.1 Onderschil Airdeck® systeemniveau

Voor een gedetailleerde beschrijving van de onderschil wordt verwezen naar paragraaf 4.4. De waarden bekomen tijdens deze berekeningen worden overgenomen binnen dit systeem. Voor de numerieke gegevens wordt bijgevolg verwezen naar tabel 17.

5.4.2 Bijlegwapening Airdeck® systeemniveau

De bijlegwapening wordt analoog aan paragraaf 5.3.2 berekend. Een opmerking hierbij is dat de waarde van de massa van deze bovenwapening met 15 % verminderd mag worden tot 16 kg/m² door de toepassing van lichtgewicht elementen. Volgende vergelijkingen worden verkregen:

$$m_{\text{bijlegwapening}} = m_{\text{bijlegwapening}/\text{m}^2} * A_{\text{plaat}}$$

$$m_{bijlegwapening} = 16 * 19,2$$

$$m_{bijlegwapening} = 307,2 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan bovenwapening en het soortelijk gewicht van staal (7800 kg/m³), kan het volume aan bijlegwapening bepaald worden:

$$V_{bijlegwapening} = \frac{m_{bijlegwapening}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{bijlegwapening} = \frac{307,2}{7800}$$

$$V_{bijlegwapening} = 39,38 * 10^{-3} \text{ m}^3 = 39,38 * 10^6 \text{ mm}^3$$

Door dit volume te delen door het totale plaatoppervlakte wordt het volume aan bijlegwapening per vierkante meter bekomen:

$$V_{bijlegwapening/m^2} = \frac{V_{bijlegwapening}}{A_{plaat}}$$

$$V_{bijlegwapening/m^2} = \frac{39,38 * 10^6}{19,2}$$

$$V_{bijlegwapening/m^2} = 205,10 * 10^4 \text{ mm}^3/m^2$$

5.4.3 Airboxen Airdeck® systeemniveau

Het aantal Airboxen werd reeds bepaald in hoofdstuk 4 onder paragraaf 4.3.4 en bedraagt 213 eenheden voor de volledige plaat van 8 x 2,4 meter. Omgerekend naar een waarde per vierkante meter werd een resultaat van 11,09 Airboxen/m² bekomen.

Deze Airboxen worden machinaal 10 mm in de verse betonspecie getrild tijdens de realisatie van de geprefabriceerde onderschil. Ter bepaling van het betonvolume dat men nodig heeft om de druklaag te realiseren, dient het volume boven de onderschil in mindering te worden gebracht. Dit gebeurt door de oppervlakte van het grondvlak te vermenigvuldigen met de hoogte van de uitstekende Airbox:

$$V_{1 \text{ Airbox}} = B * L * H$$

$$V_{1 \text{ Airbox}} = 210 * 210 * 230$$

$$V_{1 \text{ Airbox}} = 10,143 * 10^6 \text{ mm}^3 = 10,143 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Het totale volume ingenomen door de Airboxen kan bepaald worden door het aantal Airboxen te vermenigvuldigen met het volume per Airbox:

$$V_{Airboxen} = V_{1\ Airbox} * n_{Airboxen}$$

$$V_{Airboxen} = 10,143 * 10^{-3} * 213$$

$$V_{Airboxen} = 2,16\ m^3$$

5.4.4 Opstortbeton Airdeck® systeemniveau

De op te storten laag heeft volgende dimensies:

- Lengte = 8 m;
- Breedte = 2,4 m;
- Hoogte = 0,28 m (= 0,340 m – 0,60 m).

Het volume van het op te storten beton kan bepaald worden door deze drie dimensies met elkaar te vermenigvuldigen en het bekomen resultaat te verminderen met het volume aan Airboxen, het volume aan bijlegwapening en het volume aan uitstekende tralieliggers. Dit laatste volume wordt bepaald door het totaal volume aan tralieliggers te verminderen met het ingebetonneerd volume zoals bepaald onder paragraaf 4.4.1.

$$V_{opstortlaag} = L * B * H$$

$$V_{opstortlaag} = 8 * 2,4 * 0,28$$

$$V_{opstortlaag} = 5,376\ m^3$$

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bijlegwapening} - V_{tralieliggers} - V_{Airboxen}$$

$$V_{opstort} = 5,376 - 39,38 * 10^{-3} - (4,95 - 1,58) * 10^{-3} - 2,16$$

$$V_{opstort} = 3,173\ m^3$$

$$V_{opstort/m^2} = \frac{V_{opstort}}{A_{plaat}}$$

$$V_{opstort/m^2} = \frac{3,173}{19,2}$$

$$V_{opstort/m^2} = 165,3 * 10^{-3}\ m^3/m^2$$

5.4.5 LCA klassieke Airdeck® systeemniveau

Onderstaande tabel 29 geeft de in rekening te brengen materiaalhoeveelheden voor het Airdeck® systeem weer. Analoog aan het systeem van de klassieke breedplaat (4.3.4) wordt ook hier een transportafstand van 25 km in rekening gebracht voor de nodige materialen.

Tabel 29: Materiaalhoeveelheden Airdeck systeemniveau

Materiaal	Materiaaltype	Hoeveelheid/m ²	Massa (kg/m ²)
Beton	C30/37	$58,13 * 10^{-3} m^3$	139,512
Wapening	B500A	$153,85 * 10^4 mm^3$	12
Tralieliggers	B500A	$38,46 * 10^4 mm^3$	3
Airboxen	PP	11,09 stuks	4,436
bijlegwapening	B500A	$205,10 * 10^4 mm^3$	16
Opstort	C20/25	$165,3 * 10^{-3} m^3$	396,48

De realisatie van een Airdeck® vloerplaat verloopt hoofdzakelijk analoog aan de realisatie van een klassieke breedplaat. Enkel het te storten betonvolume wordt aanzienlijk gereduceerd door de toepassing van PP-elementen. Dit resulteert in een verminderd verbruik van de betonpomp. De in rekening te brengen waarde voor het verbruik van deze pomp wordt bepaald door het eenheidsverbruik per m³ beton bepaald in paragraaf 4.4.4 te vermenigvuldigen met de hoeveelheid op te storten beton (= $165,2 * 10^{-3} m^3$). De resulterende waarde wordt weergegeven in tabel 30:

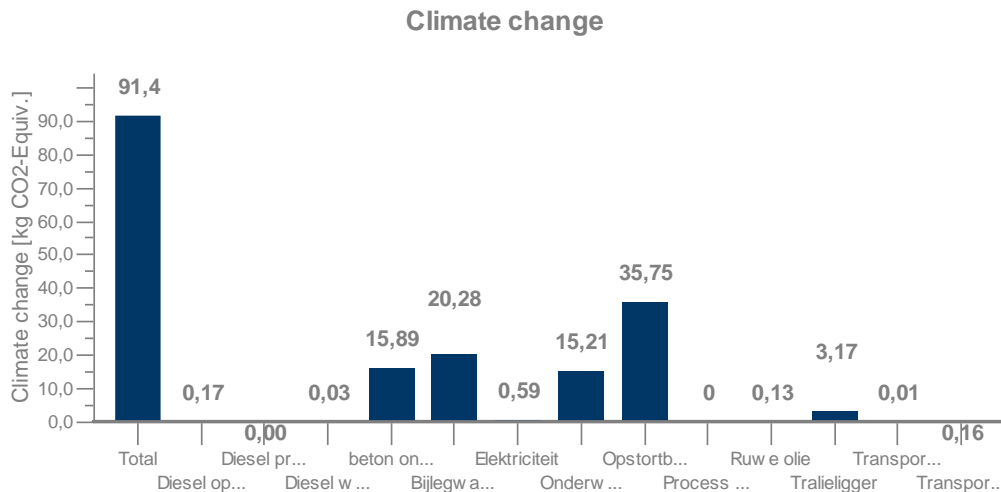
Tabel 30: Verbruik betonpomp Airdeck

Categorie	Verbruik per m ² plaat
Diesel (l)	0,413

Het componentniveau van de Airdeck® vloerplaat werd analoog opgebouwd aan dit van een klassieke breedplaat. Bijkomend werd er rekening gehouden met het transport naar de werf, de bovenwapening en de hoeveelheid op te storten beton. De implementatie in de GaBi-software wordt voorgesteld door bijlage 16.

5.4.6 Resultaten Airdeck® systeemniveau

Figuur 41 geeft per vierkante meter plaatoppervlakte het resultaat weer van de klimaatverandering volgens de ReCiPe-principes. Bijlage 17 bevat per vierkante meter plaatoppervlakte de resultaten van alle ander vooropgestelde criteria.



Figuur 41: CC Airdeck systeemniveau

Uit figuur 41 en de resultaten in bijlage 17 kan men concluderen dat het beton en de wapening de factoren zijn welke de grootste milieu-impact veroorzaken. In de categorieën ozon depletie, human toxiciteit, metaal depletie en terrestrische ecotoxiciteit is de impact hoofdzakelijk afkomstig van de gebruikte wapening. Opvallend is dat de uitputting van drinkbaar water bijna volledig ontstaat door het beton gebruikt om de vloerplaat op te storten en het beton gebruikt ter realisatie van de onderschil. Voorts kan er ook besloten worden dat de elektriciteit en het beton gebruikt tijdens het proces voor de grootste impact zorgen bij de ioniserende straling. Analoog aan de voorgaande resultaten, vindt ook hier geen omvorming van land plaats. Tabel 31 geeft in tabelvorm de bekomen waarden weer van alle criteria.

Tabel 31: Resultaten LCA Airdeck systeemniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	91,4	kg CO2 - eq
TA	1,68E-01	kg SO2 - eq
FE	1,04E-04	kg P - eq
OD	3,42E-07	kg CFC-11 - eq
FD	16,7	kg oil - eq
FET	9,02E-03	kg 1,4-DB - eq
HT	4,71	kg 1,4-DB - eq
IR	1,07	kg U235 - eq
MET	3,66E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	4,92E-02	kg N - eq
MD	12,4	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	6,65E-02	kg PM-10 - eq
POF	1,66E-01	kg NMVOC - eq
TET	3,06E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	15	m ³

5.5 EPS – elementen

Identiek aan vorige systemen (5.3 en 5.4) wordt het EPS-systeem onderverdeeld in drie componenten: de prefab onderschil, de bovenwapening en het beton ter realisatie van de druklaag. Elk van deze componenten zal onderstaand kort besproken worden.

5.5.1 Onderschil breedplaat met EPS –elementen systeemniveau

De onderschil van de breedplaat met EPS-elementen werd uitvoerig besproken in hoofdstuk 4 onder paragraaf 4.5. Voor de gedetailleerde berekeningen en aannames wordt naar deze paragraaf verwezen. Numerieke waarden zijn terug te vinden in tabel 21.

5.5.2 Bijlegwapening breedplaat met EPS –elementen systeemniveau

De bijlegwapening voor een breedplaat met EPS-elementen is identiek aan deze van het Airdeck® vloersysteem. Voor de gedetailleerde berekeningsmethode wordt er bijgevolg verwezen naar paragraaf 5.4.2. Onderstaand worden enkel de bekomen resultaten weergegeven:

$$V_{bijlegwapening} = 39,38 * 10^{-3} m^3 = 39,38 * 10^6 mm^3$$

$$V_{bijlegwapening/m^2} = 205,10 * 10^4 mm^3/m^2$$

5.5.3 EPS – elementen breedplaat met EPS –elementen systeemniveau

De EPS-blokken worden 10 mm in de verse betonspecie gedrukt. Het vrije volume kan bepaald worden door het oppervlak te vermenigvuldigen met de vrije hoogte van de EPS-elementen uitstekend boven de geprefabriceerde onderschil. De totale hoogte van de EPS-elementen bedraagt 220 mm en de het grondoppervlak heeft een vierkante vorm van 400 x 400 mm. Over de gehele plaatoppervlakte worden 53 EPS-blokken geplaatst. Dit komt overeen met 2,76 elementen per vierkante meter.

$$V_{EPS} = n * L * B * H_{vrij}$$

$$V_{EPS} = 53 * 400 * 400 * 210$$

$$V_{EPS} = 1\,780,8 * 10^6 mm^3 = 1,7808 m^3$$

5.5.4 Opstortbeton breedplaat met EPS –elementen systeemniveau

Vermits eenzelfde onderschil als bij de klassieke breedplaat gehanteerd wordt, kan het totaal volume van de op te storten laag analoog bepaald worden aan paragraaf 5.3.3 waardoor hier enkel het resultaat wordt weergegeven:

$$V_{opstortlaag} = 5,568 \text{ m}^3$$

Het effectief benodigde betonvolume dat men nodig heeft om op te storten bestaat uit het totaal volume van de opstortlaag verminderd met het volume aan bijlegwapening en het uitstekend volume aan tralieliggers en EPS-elementen. Het volume aan uitstekende tralieligger kan eenvoudig worden bepaald door het verschil te nemen tussen het totaal volume aan tralieligger en het volume dat men tijdens de prefabricatie heeft ingebetonneerd.

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bijlegwapening} - V_{tralieliggers} - V_{EPS}$$

$$V_{opstort} = 5,568 - 39,38 * 10^{-3} - (7,385 - 2,215) * 10^{-3} - 1,781$$

$$V_{opstort} = 3,742 \text{ m}^3$$

$$V_{opstort/m^2} = \frac{3,742}{19,2}$$

$$V_{opstort/m^2} = 194,9 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$$

5.5.5 LCA breedplaat met EPS –elementen systeemniveau

Tabel 32 geeft de materiaalhoeveelheden welke gebruikt worden ter uitvoering van de levenscyclusanalyse. Analoog aan voorgaande systemen (5.3.4 en 5.4.5) wordt ook hier een eenheidstransport van 25 km in rekening gebracht om de nodige componenten te vervoeren tot op de werf.

Tabel 32: Materiaalhoeveelheden EPS systeemniveau

Materiaal	Materiaaltype	Hoeveelheid/m ²	Massa (kg/m ²)
Beton	C30/37	43,42 * 10 ⁻³ m ³	104,2
Wapening	B500A	205,13 * 10 ⁴ mm ³	16
Tralieliggers	B500A	38,46 * 10 ⁴ mm ³	3
EPS-Blokken	EPS	2,76 stuks	2,539
Bijlegwapening	B500A	39,38 * 10 ⁻³ m ³	16
Opstort	C20/25	194,9 * 10 ⁻³ m ³ /m ²	467,76

De uitvoering van een breedplaat met EPS-elementen verloopt identiek aan deze van een Airdeck® systeem. Ter invoering van de waarden in de LCA-cyclus kan het energieverbruik van de betonpomp bepaald worden door het eenheidsverbruik te vermenigvuldigen met het op te storten beton (= $194,9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$). De resulterende waarde wordt weergegeven in onderstaande tabel 33:

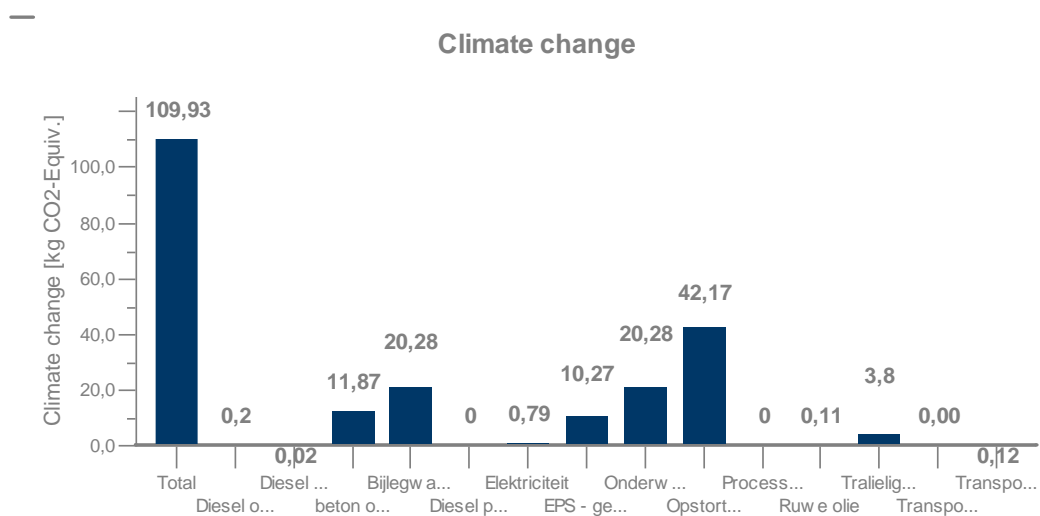
Tabel 33: Verbruik betonpomp breedplaat met EPS

Categorie	Verbruik per m ² plaat
Diesel (I)	0,487

Bijlage 18 geeft het plan van de breedplaat met EPS-elementen op systeemniveau. Ook hier is er analoog aan de twee vorige systemen gewerkt en werden transport, bovenwapening en op te storten beton bijkomend in rekening gebracht.

5.5.6 Resultaten breedplaat met EPS –elementen systeemniveau

De resultaten voor de klimaatsverandering resulterend uit de LCA-analyse van een breedplaat met EPS-elementen per vierkante meter plaatoppervlakte worden in figuur 42 weergegeven. De resultaten van de andere vooropgestelde criteria zijn terug te vinden in bijlage 19.



Figuur 42: CC breedplaat met EPS systeemniveau

Uit de resultaten blijkt dat de EPS-elementen een grote impact uitoefenen op het milieu. Zo vormen ze het grootste aandeel van de impact inzake de ecotoxiciteit van het zoutwater en de bodem, de vermessing van het zoet water en de bodem, de vorming van smog en de uitputting van fossiele brandstoffen en de ozonlaag. Het staal dat men gebruikt ter uitvoering van de wapening zorgt voor bijna de volledige impact binnen de categorie metal depletion (= uitputting van metalen). De uitputting van water (= water depletion) is voornamelijk afkomstig van het beton gebruikt tijdens de

realisatie van de onderschil en ter opstort van het geheel. Voorts kan er besloten worden dat het beton en de wapening in het algemeen voor een aanzienlijk deel van de impact op het milieu zorgen. Afsluitend volgt tabel 34 waarin de resultaten van alle criteria worden weergegeven.

Tabel 34: Resultaten LCA breedplaat met EPS systeemniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	110	kg CO2 - eq
TA	2,06E-01	kg SO2 - eq
FE	1,54E-04	kg P - eq
OD	6,11E-07	kg CFC-11 - eq
FD	25,2	kg oil - eq
FET	1,11E-02	kg 1,4-DB - eq
HT	5,65	kg 1,4-DB - eq
IR	1,26	kg U235 - eq
MET	6,15E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	5,86E-02	kg N - eq
MD	14,2	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	7,83E-02	kg PM-10 - eq
POF	2,71E-01	kg NMVOC - eq
TET	7,76E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	16,1	m ³

5.6 Besluit systeemniveau

Op systeemniveau wordt er gekeken naar de geprefabriceerde onderschil welke per vrachtwagen getransporteerd wordt over een eenheidsafstand waarna men de bovenwapening plaatst en het geheel opstort met een betonpomp. De resultaten van de drie systemen welke beschouwd worden in deze paper (Airdeck®, klassieke breedplaat en breedplaat met EPS-elementen) worden weergegeven in tabel 35:

Tabel 35: Samenvatting resultaten systeemniveau

Indicator	Breedplaat	Airdeck	EPS	Eenheid
CC	121	91,4	110	kg CO2 - eq
TA	2,16E-01	1,68E-01	2,06E-01	kg SO2 - eq
FE	1,39E-04	1,04E-04	1,54E-04	kg P - eq
OD	3,94E-07	3,42E-07	6,11E-07	kg CFC-11 - eq
FD	20,9	16,7	25,2	kg oil - eq
FET	1,12E-02	9,02E-03	1,11E-02	kg 1,4-DB - eq
HT	5,94	4,71	5,65	kg 1,4-DB - eq
IR	1,32	1,07	1,26	kg U235 - eq
MET	4,70E-03	3,66E-03	6,15E-03	kg 1,4-DB - eq
ME	6,40E-02	4,92E-02	5,86E-02	kg N - eq
MD	14,5	12,4	14,2	kg FE - eq
NLT	0	0	0	m ²
PMF	8,72E-02	6,65E-02	7,83E-02	kg PM-10 - eq
POF	2,13E-01	1,66E-01	2,71E-01	kg NMVOC - eq
TET	3,74E-03	3,06E-03	7,76E-03	kg 1,4-DB - eq
WD	21,1	15	16,1	m ³

Aan de hand van deze tabel kan besloten worden dat op systeemniveau het Airdeck® vloersysteem op elke milieu-impact indicator beter scoort dan het systeem met klassieke breedplaten en het systeem waar men EPS-elementen aanbrengt op de breedplaten. Voorts tonen deze resultaten aan dat er geen vloersysteem is welke éénduidig als meest nadelige naar boven komt.

De uitputting van water (water depletion) ligt bij beide systemen met lichtgewicht elementen aanzienlijk lager dan bij het systeem met klassieke breedplaten. Dit wordt verklaard door het lagere volume aan op te storten beton. Uit de resultaten per vloersysteem blijkt dat de uitputting van water hoofdzakelijk bepaald wordt door het volume aan beton. Doordat dit volume sterk afneemt door de toepassing van lichtgewicht elementen, wordt een gunstiger verbruik van water bekomen.

Door het lichter maken van de vloerplaat, kan er wapening bespaard worden. Dit kan afgeleid worden uit de resultaten van de indicator metal depletion (uitputting van metalen). Bij vergelijking van de drie systemen blijkt dat er bij Airdeck® tot 15 % minder impact optreedt dan bij de andere systemen. Het systeem met EPS-elementen scoort op deze indicator net beter dan het massieve systeem. Toch liggen de waarden

kort bij elkaar met slechts een verschil van 2 %. Dit kan men verklaren door de verhoogde wapening in de onderschil ten gevolge van de thermische weerstand bij brand.

Opvallend is de hoge waarde van het systeem met EPS-elementen bij de uitputting van de ozonlaag (ozone depletion). Dit wordt verklaard door de hoge aantasting welke optreedt bij de productie van de gewichtsreducerende elementen.

Om het Airdeck® vloersysteem te vergelijken met het massieve systeem en het systeem met EPS-elementen, worden de resultaten van van deze laatste twee omgerekend naar een procentueel verschil ten opzichte van Airdeck® met behulp van onderstaande formule. De resultaten van deze berekening worden weergegeven in tabel 36.

$$\text{Procentueel verschil} = \left(\frac{\text{Impact}_{\text{breedplaat}}}{\text{Impact}_{\text{Airdeck}}} - 1 \right) * 100 \%$$

Tabel 36: Procentuele waarden resultaten systeemniveau

Indicator	Klassieke breedplaat (%)	Breedplaat met EPS (%)
CC	32,39	20,35
TA	28,57	22,62
FE	33,65	48,08
OD	15,20	78,65
FD	25,15	50,90
FET	24,17	23,06
HT	26,11	19,96
IR	23,36	17,76
MET	28,42	68,03
ME	30,08	19,11
MD	16,94	14,52
NLT	0,00	0,00
PMF	31,13	17,74
POF	28,31	63,25
TET	22,22	153,59
WD	40,67	7,33
Gemiddelde (%)	25,40	39,06
Vershil in impact (%)	25,40	39,06

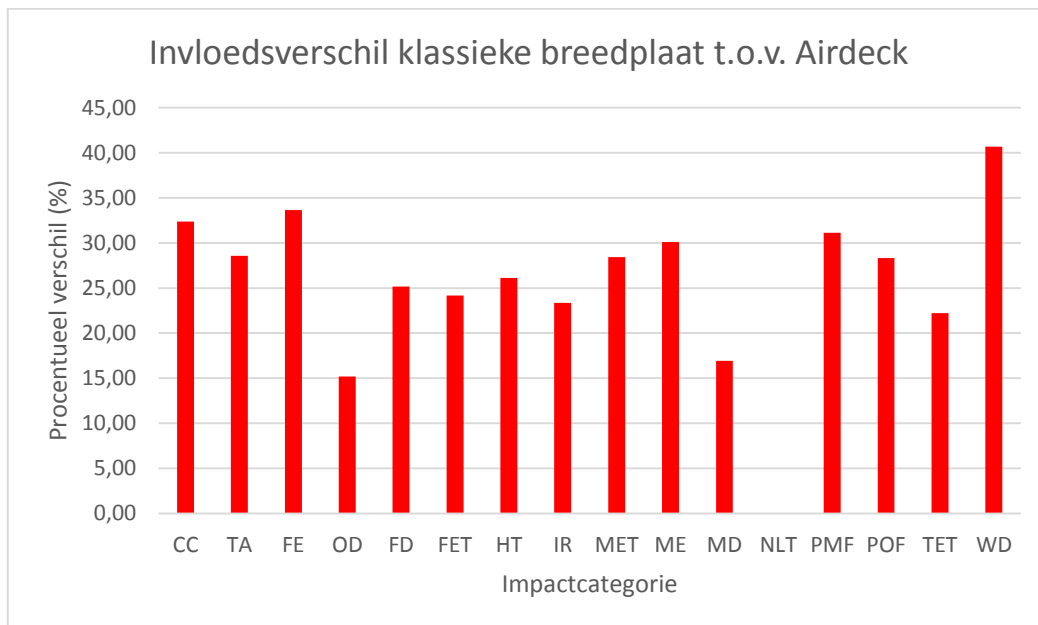
Tabel 36 toont aan dat de impact van zowel het systeem met klassieke breedplaten als het systeem met breedplaten in combinatie met EPS-elementen steeds nadeliger is dan bij het Airdeck® vloersysteem. Het gemiddelde verschil per impactcategorie en het globale verschil in impact zijn gelijk aan elkaar doordat alle categorieën steeds een

grotere impact hebben op het milieu.

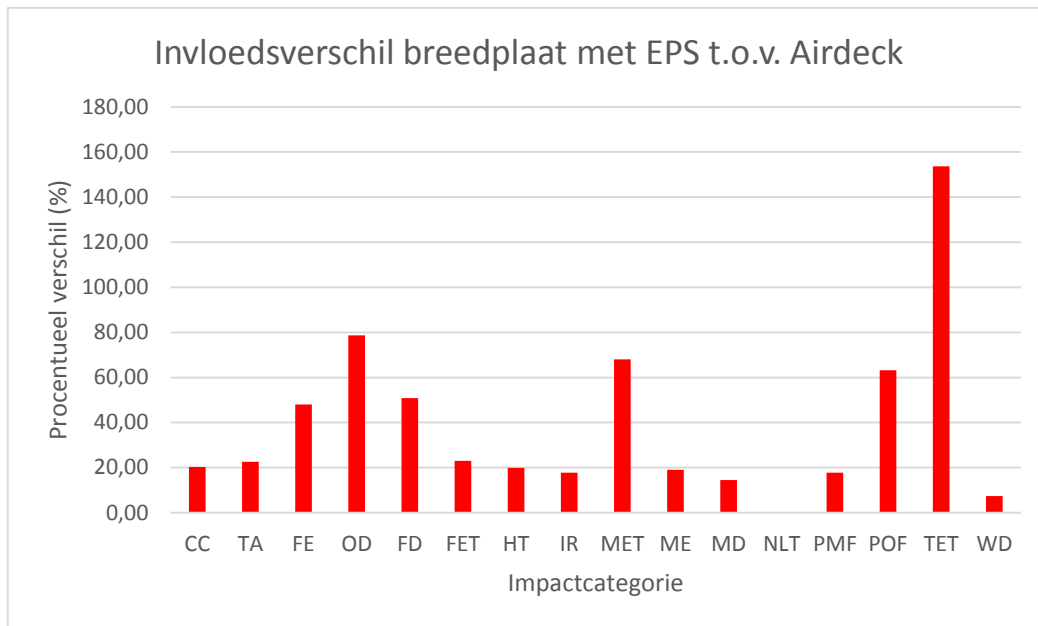
Opvallend is dat de resultaten van de klassieke breedplaat slechts een beperkte spreiding vertonen. Bij de breedplaat met EPS-elementen treden er uitschieters op tot 153 %.

Afsluitend kan er gesteld worden dat de resultaten overeenkomen met deze op componentniveau. Zowel het vloersysteem zonder lichtgewicht elementen als het systeem met EPS-blokken zorgen voor een verhoogde impact op het milieu. Hierbij is de massieve vloerplaat 13 % minder belastend dan het vloersysteem met EPS-elementen. De milieu-impact neemt met 25,40 % toe bij het systeem met een massieve opstort, bij het systeem met EPS-elementen bedraagt de toename 39,06 %.

Het procentueel verschil ten opzichte van het Airdeck® vloersysteem wordt voor beide systemen visueel voorgesteld aan de hand van onderstaande grafieken. Hierbij geeft figuur 43 het verschil per categorie voor het systeem met klassieke breedplaten. Figuur 44 geeft de procentuele verschillen weer voor het systeem met EPS-elementen.



Figuur 43: Procentuele invloed klassieke breedplaat systeemniveau



Figuur 44: Procentuele invloed breedplaat met EPS systeemniveau

Op basis van de resultaten van het systeemniveau kan er besloten worden dat het Airdeck® vloersysteem, in de context van deze thesis en onder de geldende randvoorwaarden, duidelijk een lagere invloed heeft op het milieu dan de systemen met klassieke breedplaten en EPS-elementen, deze bedraagt respectievelijk 24,44 % en 37,91 %.

De hogere impact bij breedplaten met massieve opstort kan men verklaren door het grotere volume aan beton en wapening dat men nodig heeft. Uit de resultaten blijkt dat deze twee factoren de grootste invloed uitoefenen op de totale milieu-impact van elke categorie.

Analoog aan de verklaring op systeemniveau, kan men stellen dat de hogere impact voor de breedplaat met EPS-elementen hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door deze lichtgewicht elementen. Opvallend is dat de procentuele verschillen ten opzichte van Airdeck® grote spreidingen vertonen voor bepaalde categorieën. Bij deze categorieën blijkt dat de EPS-elementen steeds de bepalende factoren zijn.

6 Studie op gebouwniveau

6.1 Inleiding

Op gebouwniveau wordt de studie aangevat met het Airdeck® vloersysteem. Deze keuze wordt gemaakt doordat men in het referentiegebouw gebruik gemaakt heeft van dit type vloerplaat. Nadien kan voor de vloerplaat met EPS-elementen en de uitvoering met een klassieke breedplaat een equivalente structuur met bijhorende materiaalhoeveelheden bepaald worden om een vergelijkende studie uit te voeren.

6.2 Doel en reikwijdte

Op gebouwniveau bestaat het doel uit het bepalen van de LCA rekening houdend met de optredende belastingen en behaalde overspanning met het Airdeck® vloersysteem. De studie vindt plaats van wieg tot bouwfase. Ten opzichte van het systeemniveau, wordt op het gebouwniveau bijkomend rekening gehouden met de besparing of verhoging van de wapenings- en betonhoeveelheden van de dragende structurelementen.

Analoog aan het systeemniveau (hoofdstuk 5) wordt voor de transportafstand van zowel de geprefabriceerde onderschillen als het beton gebruikt ter uitvoering van de druklaag, dragende structuren en fundering en de benodigde wapening een vaste waarde gekozen welke gelijk is voor elk systeem zodoende een representatieve vergelijking van het systeem kan worden gemaakt.

6.3 Abstracties en afbakening bouwstructuur

Ter vereenvoudiging van de structuur werden enkele abstracties van het gebouw gemaakt. Deze zullen onderstaand kort toegelicht worden.

Een eerste abstractie wordt gemaakt door enkel de kelder, het gelijkvloers, de eerste en de tweede verdieping in rekening te brengen. De bovenste verdieping wordt buiten beschouwing gelaten doordat deze een woongedeelte is.

Ook worden enkel de beton- en wapeningshoeveelheden van de dragende structuren in rekening gebracht. Deze abstractie wordt gemaakt doordat de keuze van afwerking sterk varieert in functie van de toepassing.

Tot slot worden de transportafstanden voor elk systeem gelijkgesteld doordat deze sterk afhankelijk zijn van de ligging van de verschillende toeleveranciers en de ligging van de bouwwerf. Transporthoeveelheden worden wel in rekening gebracht.

6.4 Airdeck®

Onderstaande berekening werden uitgevoerd op basis van de verkregen bouwplannen van het Hollandsch Huys te Hasselt. Rekening houdend met de bovenstaand vermelde vereenvoudigingen, werden voor elk deelonderwerp de in te voeren parameters bepaald.

6.4.1 Vloerplaten

Ter bepaling van de LCA worden volgende vloerplaten in rekening gebracht:

- Afdek kelderverdieping;
- Afdek gelijkvloers;
- Afdek eerste verdieping;
- Afdek tweede verdieping.

Hierbij kan gesteld worden dat de afdek van zowel de eerste als de tweede verdieping en de afdek van het gelijkvloers aan elkaar gelijk zijn inzake oppervlakte. Enkel de hoeveelheid wapening en de dikte van de vloerplaat is variërend per verdieping. Alle gegevens gebruikt in onderstaande berekeningen en vergelijkingen werden verkregen via de stabiliteitsafdeling van Airdeck Building Concepts N.V.

Afdek kelderverdieping

De afdek van de kelder werd gerealiseerd met een A350-vloerplaat waardoor de totale vloerhoogte overeen komt met 350 mm en breedplaten. De wapening per vierkante meter plaatoppervlakte wordt weergegeven in tabel 37. Deze wapening werd omgerekend naar een volume per vierkante meter plaatoppervlakte aan de hand van het soortelijk gewicht van staal (= 7800 kg/m³).

Tabel 37: Wapeningshoeveelheden Airdeck kelderniveau

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Airdeck		
Onderwapening	11	1,41*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,5	0,19*10 ⁻³
Bijlegwapening	15,5	1,99*10 ⁻³
Breedplaat		
Onderwapening	12,76	1,55*10 ⁻³
Traliwapening	2,90	0,37*10 ⁻³
Ponswapening	1,74	0,22*10 ⁻³
Bijlegwapening	17,98	2,31*10 ⁻³

De totale oppervlakte van vloerplaat werd bepaald aan de hand van de aangeleverde DWG-tekeningen in bijlage 20. Hierbij werd, rekening houdend met de uitsparingen voor de liftkoker en trappenhallen, de totale oppervlakte van de kelderafdek bepaald.

$$A_{afdek,k} = 2525,68 \text{ m}^2$$

De afdek van de kelder is niet volledig bezet met Airboxen. Aan de zijkanten werd een deel in massieve breedplaat uitgevoerd. Dit gedeelte heeft een volume van:

$$A_{breedplaat} = 836,73 \text{ m}^2$$

Het massief gedeelte van de afdek heeft een onderschil met dikte 50 mm. Het betonvolume van dit deel kan bepaald worden door deze dikte te vermenigvuldigen met de oppervlakte:

$$V_{breed,onderschil} = 836,73 * 0,05$$

$$V_{breed,onderschil} = 41,837 \text{ m}^3$$

Om tot het volume beton te komen, dient dit totale volume van de onderschil verminderd te worden met het volume aan tralieliggers en het volume aan onderwapening. Uit de berekening in paragraaf 4.3 is gebleken dat 30 % van de tralieligger ingebetonneerd wordt in de onderschil. De numerieke waarde van dit volume wordt bepaald aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{breed,tralie,ingebetonneerd} = 0,30 * (0,37 * 10^{-3} * 836,73)$$

$$V_{breed,tralie,ingebetonneerd} = 0,093 \text{ m}^3$$

Het totale volume aan onderwapening wordt berekend aan de hand van tabel 37:

$$V_{breed,onderw} = 1,55 * 10^{-3} * 836,73$$

$$V_{breed,onderw} = 1,297 \text{ m}^3$$

Het volume beton nodig ter fabricatie van de geprefabriceerde onderschil bedraagt:

$$V_{breed,beton} = V_{breed,onderschil} - V_{breed,onderw} - V_{breed,tralie,ingebetonneerd}$$

$$V_{breed,beton} = 41,837 - 0,093 - 1,297$$

$$V_{breed,beton} = 40,447 \text{ m}^3$$

Het volume ponswapening, bijlegwapening en tralieliggers in de bovenschil van de breedplaat zijn wordt bepaald met onderstaande formules:

$$V_{breed,tralie} = 0,70 * (0,37 * 10^{-3} * 836,73) = 0,217 m^3$$

$$V_{breed,ponsw} = 0,22 * 10^{-3} * 836,73 = 0,184 m^3$$

$$V_{breed,bijlegw} = 2,31 * 10^{-3} * 836,73 = 1,933 m^3$$

De hoeveelheid op te storten beton kan door toepassing van onderstaande formule berekend worden:

$$V_{breed,opstortl} = 0,34 * 836,73$$

$$V_{breed,opstortl} = 284,488 m^3$$

$$V_{breed,opstort} = V_{breed,opstortl} - V_{breed,ponsw} - V_{breed,bijlegw} - V_{breed,tralie}$$

$$V_{breed,opstort} = 284,488 - 0,184 - 1,933 - 0,217$$

$$V_{breed,opstort} = 282,154 m^3$$

De oppervlakte aan voerplaat waar men Airboxen heeft toegepast kan men bekomen door de totale oppervlakte van de afdek te verminderen met de oppervlakte aan breedplaat:

$$A_{Airdeck} = A_{afdek} - A_{breedplaat}$$

$$A_{Airdeck} = 1688,95 m^2$$

Het betonvolume van deze Airdeck onderschil kan bepaald worden aan de hand van de berekeningen uitgevoerd in paragraaf 4.4.4. Enkel de boxenbezetting dient aangepast te worden naar 85 %. Voor een boxenbezetting van 100 % werd volgende waarde bekomen:

$$V_{Airboxen/m^2} = 112 * 10^3 mm^3/m^2$$

Deze wordt omgezet naar een bezetting van 85 % om het effectief volume aan Airboxen te berekenen:

$$V_{Airboxen(85\%)/m^2} = 0,85 * 112 * 10^3$$

$$V_{Airboxen(85\%)/m^2} = 95,2 * 10^3 mm^3/m^2$$

$$V_{Airboxen(85\%)} = V_{Airboxen/m^2} * A_{Airdeck} = 95,2 * 10^{-6} * 1688,95$$

$$V_{Airboxen(85\%)} = 0,161 m^3$$

De dikte van de onderschil bedraagt 60 mm. Het totale volume van de onderschil kan berekend worden door de vermenigvuldiging van deze dikte met de totale plaatoppervlakte:

$$V_{Air,onderschil} = 1688,95 * 0,06$$

$$V_{Air,onderschil} = 101,337 m^3$$

Om tot het volume beton te komen, dient dit volume van de onderschil vermindert te worden met het volume aan tralieliggers, het volume aan onderwapening en het volume aan ingebetonnerde Airboxen. Deze volumes zullen onderstaand bepaald worden.

Uit de berekening in paragraaf 4.4 blijkt dat 34 % van de tralieligger ingebetonnerd wordt in de onderschil. De numerieke waarde van dit volume wordt berekend aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{Air,tralie,ingebetonnerd} = 0,34 * (0,32 * 10^{-3} * 1688,95)$$

$$V_{Air,tralie,ingebetonnerd} = 0,184 m^3$$

Het totale volume aan onderwapening wordt berekend door het volume per vierkante meter plaatoppervlakte te vermenigvuldigen met deze oppervlakte:

$$V_{Air,onderwapening} = 1,41 * 10^{-3} * 1688,95$$

$$V_{Air,onderwapening} = 2,381 m^3$$

Het volume beton van Airdeck nodig ter fabricatie van de prefab-onderschil bedraagt:

$$V_{Air,beton} = V_{Air,onderschil} - V_{Air,onderwap} - V_{Air,tralie,ingebetonnerd} - V_{Airboxen(85\%)}$$

$$V_{Air,beton} = 101,337 - 2,381 - 0,184 - 0,161$$

$$V_{Air,beton} = 98,611 m^3$$

Het aantal Airboxen op de afdek van de kelder wordt berekend door de oppervlakte van de afdek te delen door de oppervlakte die één Airbox in beslag neemt en de resulterende waarde te vermenigvuldigen met het bezettingspercentage:

$$n_{airboxen} = 0,85 * \frac{A_{afdek,k}}{A_{airbox}}$$

$$n_{airboxen} = 0,85 * \frac{1688,95}{0,09}$$

$$n_{airboxen} = 15951 \text{ stuks}$$

Het totale volume aan Airboxen is het aantal Airboxen vermenigvuldigd met het volume per Airbox:

$$V_{1,airbox} = 0,21 * 0,21 * 0,24$$

$$V_{1,airbox} = 0,010584 \text{ m}^3$$

$$V_{airboxen} = V_{1,airbox} * n_{airboxen}$$

$$V_{airboxen} = 0,010584 * 15951$$

$$V_{airboxen} = 168,825 \text{ m}^3$$

Het volume van het op te storten beton wordt analoog aan paragraaf 5.4.4 bepaald:

$$V_{Air,opstortlaag} = A * H$$

$$V_{Air,opstortlaag} = 1688,95 * 0,28$$

$$V_{Air,opstortlaag} = 472,906 \text{ m}^3$$

De effectieve betonhoeveelheid welke nodig is voor de opstort van de vloerplaat wordt bepaald door het totale volume te verminderen met het volume aan wapening en Airboxen:

$$V_{Air,opstort} = V_{Air,opstortlaag} - V_{Air,bovenwapening} - V_{Air,tralie} - V_{Airboxen}$$

$$V_{Air,opstort} = 472,906 - 3,682 - (0,66 * 0,32 * 10^{-3} * 1688,95) - 168,825$$

$$V_{opstort} = 300,042 \text{ m}^3$$

Tabel 38 geeft de verschillende volumes weer van de afdek van de kelder welke ingegeven worden in de GaBi 6-software.

Tabel 38: Inventarisatie Airdeck kelderniveau

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Airdeck		
Beton	C30/37	101,337
Wapening	B500A	2,381
Tralieliggers	B500A	0,54
Airboxen	PP	168,825
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,682
Opstort	C20/25	300,042
Breedplaat		
Beton	C30/37	40,447
Wapening	B500A	1,297
Tralieliggers	B500A	0,31
Bijleg- en Ponswapening	B500A	2,117
Opstort	C20/25	282,154

Afdek gelijkvloers

De afdek van het gelijkvloers werd gerealiseerd met een A340 – vloerplaat. Dit wil zeggen dat de totale vloerhoogte 340 mm bedraagt. De wapening per vierkante meter wordt weergegeven in tabel 39. Deze werd omgerekend naar een volume per vierkante meter plaatoppervlakte aan de hand van het soortelijk gewicht van staal (= 7800 kg/m³).

Tabel 39: Wapeningshoeveelheden Airdeck gelijkvloers

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	10	1,28*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1	0,13*10 ⁻³
Bijlegwapening	14,5	1,86*10 ⁻³
Totaal	28	3,59*10 ⁻³

De totale oppervlakte van vloerplaat werd bepaald aan de hand van de DWG-tekeningen, deze zijn terug te vinden in bijlage 21. Hierbij werd, rekening houdend met de uitsparingen voor de liftkoker en trappenhal, een resultaat van 1516,85 m² bekomen. In samenspraak met Airdeck Building Concepts wordt er gerekend met een gemiddelde boxenbezetting van 85 %. Met behulp van het Excel-rekenblad werden volgende waarden volgens figuur 45 bekomen:

Gewichten - volumes Airdeck - onderschil 60 mm

Vul in: Soortelijk gewicht beton:
 Schatting Airboxbezetting % :

Type	Vloer hoogte mm	hoogte Airbox mm	Druklaag op Airboxen mm	Gewicht Vloerplaat kg/m ²	Soortelijk gewicht kg/m ³	Besparing	Opstort beton m ³ /m ²
A340/60	340	240	50	621	1827	23,88%	0,199

Figuur 45: Berekening Airdeck

Het betonvolume van de onderschil kan bekomen worden aan de hand van de berekeningen uitgevoerd in paragraaf 4.4.4. Enkel de boxenbezetting dient aangepast te worden naar 85 %. Voor een boxenbezetting van 100 % werd volgende waarde bekomen:

$$V_{Airboxen/m^2} = 112 * 10^3 \text{ mm}^3/m^2$$

Deze waarde wordt vermenigvuldigt met 0,85 om het volume aan Airboxen per vierkante meter plaatoppervlakte te berekenen bij een boxenbezetting van 85 %:

$$V_{Airboxen(85\%)/m^2} = 0,85 * 112 * 10^3$$

$$V_{Airboxen(85\%)/m^2} = 95,2 * 10^3 \text{ mm}^3/m^2$$

$$V_{Airboxen(85\%)} = 95,2 * 10^{-6} * 1516,85$$

$$V_{Airboxen(85\%)} = 0,144 \text{ m}^3$$

De dikte van de onderschil bedraagt 60 mm. Het totale volume van de onderschil kan bepaald worden door de vermenigvuldiging van deze dikte met de totale oppervlakte van de vloerplaat.

$$V_{Plaat} = 1516,85 * 0,06$$

$$V_{Plaat} = 91,011 \text{ m}^3$$

Om tot het in te geven volume aan beton te komen, dient deze waarde verminderd te worden met de volumes tralieligger, onderwapening en ingetrilde Airboxen. Uit de berekening in paragraaf 4.4 blijkt dat 34 % van de tralieligger ingebetonneerd wordt in de onderschil. De numerieke waarde van dit volume wordt bepaald aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,34 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,165 \text{ m}^3$$

Het totale volume aan onderwapening wordt berekend aan de hand van de waarden uit tabel 39:

$$V_{onderwapening} = 1,28 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{onderwapening} = 1,942 \text{ m}^3$$

Het volume beton nodig ter fabricatie van de prefab-onderschil bedraagt:

$$V_{beton} = V_{plaat} - V_{onderwapening} - V_{tralie,ingebetonneerd} - V_{Airboxen(85\%)}$$

$$V_{beton} = 91,011 - 1,942 - 0,165 - 0,144$$

$$V_{beton} = 88,760 \text{ m}^3$$

De hoeveelheid op te storten beton wordt bepaald door het totaal op te storten volume te verminderen met de aanwezige wapening. Het totaal op te storten volume kan bepaald worden aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{opstort,totaal} = 1516,85 * (0,340 - 0,060)$$

$$V_{opstort,totaal} = 424,718 \text{ m}^3$$

Om tot het effectief op te storten volume te komen, dient deze totale waarde verminderd te worden met het volume van de aanwezige wapening en de Airboxen. Deze wapening bestaat uit een gedeelte van de tralieliggers, de ponswapening en de bijlegwapening. Uit paragraaf 4.4 blijkt dat 34 % van de tralieligger ingebetonneerd wordt in de onderschil, de resterende 66 % dient in mindering te worden gebracht bij de hoeveelheid op te storten beton:

$$V_{tralie} = 0,66 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralie} = 0,320 \text{ m}^3$$

De bovenwapening bestaat uit de som van de pons – en de bijlegwapening en bedraagt:

$$V_{bovenwapening} = (0,13 + 1,86) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{bovenwapening} = 3,019 \text{ m}^3$$

Om het volume aan Airboxen in rekening te brengen, wordt het totaal volume aan Airboxen berekend. Hiervoor wordt eerst het aantal te plaatsen Airboxen bepaald:

$$n_{airboxen} = 0,85 * \frac{A_{afdek,GV}}{A_{airbox}}$$

$$n_{airboxen} = 0,85 * \frac{1516,85}{0,09}$$

$$n_{airboxen} = 14325 \text{ Airboxen}$$

Het totale volume ingenomen door deze Airboxen kan nu bepaald worden aan de hand van onderstaande formules:

$$V_{1,airbox} = 0,21 * 0,21 * 0,24 = 0,010584 \text{ m}^3$$

$$V_{airboxen} = V_{1,airbox} * n_{airboxen}$$

$$V_{airboxen} = 0,010584 * 14325$$

$$V_{airboxen} = 151,616 \text{ m}^3$$

De Airboxen gebruikt in deze vloerplaat hebben een totale hoogte van 240 mm en worden 10 mm in de prefab onderschil getrild. Dit wil zeggen dat volgend volume in mindering mag worden gebracht bij de bepaling van het volume op te storten beton:

$$V_{Airbox,opstort} = (h - h_{ingetrild}) * L * B * n$$

$$V_{Airbox,opstort} = (0,240 - 0,010) * 0,21 * 0,21 * 14325$$

$$V_{Airbox,opstort} = 145,298 \text{ m}^3$$

Het volume aan op te storten beton kan nu bepaald worden met behulp van onderstaande vergelijking:

$$V_{opstort} = V_{opstort,totaal} - V_{tralie} - V_{bovenwapening} - V_{Airbox,opstort}$$

$$V_{opstort} = 424,718 - 0,320 - 3,019 - 145,298$$

$$V_{opstort} = 275,982 \text{ m}^3$$

Op basis van bovenstaande berekeningen kan tabel 40 worden opgesteld voor de afdek van het gelijkvloers:

Tabel 40: Inventarisatie Airdeck gelijkvloers

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	88,760
Wapening	B500A	1,942
Tralieliggers	B500A	0,485
Airboxen	PP	151,616
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,019
Opstort	C20/25	275,982

Afdek eerste verdieping

De afdek van de eerste verdieping heeft dezelfde oppervlakte als de afdek van het gelijkvloers. De dikte van de vloerplaat bedraagt echter 350 mm op deze verdieping. Ook de wapeningshoeveelheden wijken licht af ten opzichte van voorgaande vloerplaat. De aangepaste waarden van de wapening worden weergegeven in onderstaande tabel 41:

Tabel 41: Wapeningshoeveelheden Airdeck niveau +1

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	11	1,41*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,5	0,19*10 ⁻³
Bijlegwapening	15	1,93*10 ⁻³
Totaal	30	3,85*10 ⁻³

Het volume aan Airboxen blijft gelijk aan 85 %. Hierdoor blijft het totale volume ingenomen door deze gewichtsreducerende elementen in de onderschil gelijk aan:

$$V_{Airboxen(85\%)} = 0,144 \text{ m}^3$$

De onderschil blijft onveranderd ten opzichte van bovenstaande vloerplaat, hierdoor blijft ook het totale volume van de onderschil ongewijzigd:

$$V_{Plaat} = 91,011 \text{ m}^3$$

Ter bepaling van de effectief benodigde betonhoeveelheid voor de realisatie van de onderschil dient enkel het volume aan onderwapening aangepast te worden ten opzichte van de afdek van het gelijkvloers. Het volume aan tralieligger en ingebetonnerde Airboxen blijft gelijk ($V_{Airboxen(85\%)} = 0,144 \text{ m}^3$ en $V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,165 \text{ m}^3$).

$$V_{onderwapening} = 1,41 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,139 \text{ m}^3$$

De hoeveelheid beton nodig in de prefab – fase kan nu berekend worden aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{plaat}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} - V_{\text{Airboxen}(85\%)}$$

$$V_{\text{beton}} = 91,011 - 2,139 - 0,165 - 0,144$$

$$V_{\text{beton}} = 88,563 \text{ m}^3$$

Ter bepaling van het op te storten volume aan beton, dienen zowel de wapeningshoeveelheid als het totale opstortvolume aangepast te worden:

$$V_{\text{opstort,totaal}} = 1516,85 * (0,350 - 0,060)$$

$$V_{\text{opstort,totaal}} = 439,887 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{bovenwapening}} = (0,19 + 1,93) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{bovenwapening}} = 3,118 \text{ m}^3$$

Het volume aan op te storten beton kan nu bekomen worden aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$V_{\text{opstort}} = V_{\text{opstort,totaal}} - V_{\text{tralie}} - V_{\text{bovenwapening}} - V_{\text{Airbox,opstort}}$$

$$V_{\text{opstort}} = 439,887 - 0,320 - 3,118 - 145,298$$

$$V_{\text{opstort}} = 291,151 \text{ m}^3$$

Op basis van bovenstaande berekeningen kan onderstaande tabel 42 worden opgesteld waarin de materiaalhoeveelheden voor de afdek van de eerste verdieping worden weergegeven:

Tabel 42: Inventarisatie Airdeck niveau +1

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	88,563
Wapening	B500A	2,139
Tralieliggers	B500A	0,485
Airboxen	PP	151,616
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,118
Opstort	C20/25	291,151

Afdek tweede verdieping

De afdek van de tweede verdieping heeft identiek dezelfde dimensies als deze van de afdek van de eerste verdieping, enkel de wapening wijkt licht af. Een overzicht van de in rekening te brengen wapening wordt weergegeven in tabel 43:

Tabel 43: Wapeningshoeveelheden Airdeck niveau +2

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	10	1,28*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,5	0,19*10 ⁻³
Bijlegwapening	14,5	1,86*10 ⁻³
Totaal	28,5	3,65*10⁻³

Het volume aan onderwapening wordt bepaald door het volume per vierkante meter plaatoppervlakte te vermenigvuldigen met de plaatoppervlakte:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,28 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,942 \text{ m}^3$$

Doordat de overige parameters ongewijzigd blijven, kan men volgende vergelijking toepassen om de hoeveelheid beton te bekomen welke nodig is voor de realisatie van de onderschil:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{plaat}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} - V_{\text{Airboxen}(85\%)}$$

$$V_{\text{beton}} = 91,011 - 1,942 - 0,165 - 0,144$$

$$V_{\text{beton}} = 88,760 \text{ m}^3$$

Ter bepaling van het volume aan beton nodig op de werf om het geheel op te storten, dient het volume aan bovenwapening bepaald te worden:

$$V_{\text{bovenwapening}} = (0,19 + 1,86) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{bovenwapening}} = 3,110 \text{ m}^3$$

De benodigde betonhoeveelheid voor de opstort van de vloerplaat kan nu bepaald worden aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$V_{\text{opstort}} = V_{\text{opstort,totaal}} - V_{\text{tralie}} - V_{\text{bovenwapening}} - V_{\text{Airbox,opstort}}$$

$$V_{\text{opstort}} = 439,887 - 0,320 - 3,110 - 145,298$$

$$V_{\text{opstort}} = 291,159 \text{ m}^3$$

Tabel 44 geeft een overzicht van de materiaalhoeveelheden welke nodig zijn voor de realisatie van de afdek van het tweede niveau:

Tabel 44: Inventarisatie Airdeck niveau +2

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	88,760
Wapening	B500A	1,942
Tralieliggers	B500A	0,485
Airboxen	PP	151,616
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,110
Opstort	C20/25	291,159

6.4.2 Dragende wanden

De volumes aan dragende wanden zijn hetzelfde voor zowel het gelijkvloers als de eerste en de tweede verdieping. Op deze etages bestaat de dragende structuur enkel uit de trappenhal en de liftkokers met per etage een verdiepingshoogte van 2,78 meter. Op het kelderniveau bestaat de dragende structuur uit de volledige omringende muur samen met de liftkokers en de trappenhal. Ook hier bedraagt de verdiepingshoogte 2,78 meter. De verdiepingshoogtes werden bepaald op basis van een snede van het Hollandsch Huys. Deze doorsnede werd achteraan deze paper opgenomen als bijlage 22. Het gemiddelde wapeningspercentage in deze wanden bedraagt 60 kg/m³. Deze waarde werd bepaald door de afdeling stabiliteit van Airdeck Building Concepts.

Kelderverdieping

De oppervlaktes van de dragende wanden zijn bepaald op basis van de DWG-bestanden van het kelderniveau. De resultaten hiervan werden opgesomd in onderstaande tabel 45:

Tabel 45: Dragende wanden Airdeck kelderniveau

Kelderniveau	Oppervlakte (m ²)
Wand	62,29
Liftkoker	8,83
Trappenhal	3,48
Totaal	74,60

Het volume aan dragende wanden wordt bekomen door de berekende oppervlakte te vermenigvuldigen met de hoogte van de wand:

$$V_{wand} = A_{totaal,wand} * h_{wand}$$

$$V_{wand} = 74,60 * 2,78$$

$$V_{wand} = 207,388 \text{ m}^3$$

Het volume beton kan bepaald worden door het totaal volume aan wanden te verminderen met het volume aan wapening dat zich in deze wanden bevindt:

$$V_{wapening,wand} = \frac{60 \text{ kg/m}^3}{7800 \text{ kg/m}^3} * 207,388 \text{ m}^3$$

$$V_{wapening,wand} = 1,595 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,wand} = V_{wand} - V_{wapening,wand}$$

$$V_{beton,wand} = 207,388 - 1,595$$

$$V_{beton,wand} = 205,793 \text{ m}^3$$

Gelijkvloers, eerste en tweede verdieping

Analoog aan de oppervlaktebepaling van de kelderverdieping, werd de oppervlakte van de dragende structuur bepaald op basis van DWG-plannen per verdieping. Onderstaande resultaten volgens tabel 46 werden hierbij verkregen:

Tabel 46: Dragende wanden Airdeck niveau 0, +1 en +2

Niveau 0,+1,+2	Oppervlakte (m ²)
Liftkoker	8,24
Trappenhal	3,48
Totaal	11,72

De berekeningen voor het bepalen van het volume wand, wapening en beton gebeuren op analoge manier als voor het kelderniveau:

$$V_{wand} = 11,72 * 2,78$$

$$V_{wand} = 32,582 \text{ m}^3$$

Het volume beton kan bepaald worden door het totaal volume aan dragende structuur te verminderen met het volume aan wapening dat zich in de wanden bevindt:

$$V_{wapening,wand} = \frac{60 \text{ kg/m}^3}{7800 \text{ kg/m}^3} * 32,582 \text{ m}^3$$

$$V_{wapening,wand} = 0,251 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,wand} = V_{wand} - V_{wapening,wand}$$

$$V_{beton,wand} = 32,582 - 0,251$$

$$V_{beton,wand} = 32,331 \text{ m}^3$$

Sommatie dragende structuur

Het totale volume aan wapening en beton voor de dragende structuur is de som van de volumes voor al de verdiepingen. Tabel 47 geeft deze resultaten weer:



Tabel 47: Overzicht dragende wanden Airdeck

Niveau	$V_{beton}(\text{m}^3)$	$V_{wapening}(\text{m}^3)$
Kelder	205,793	1,595
Gelijkvloers	32,331	0,251
Niveau +1	32,331	0,251
Niveau +2	32,331	0,251
Totaal	302,786	2,348

6.4.3 kolommen

De vloerplaten worden hoofdzakelijk ondersteund door kolommen. Deze vormen samen met de wanden de volledige draagstructuur. Binnen deze constructie zijn zes verschillende types van kolommen aanwezig. Elk van deze kolommen met hun bijhorende doorsnede en wapening wordt weergegeven in onderstaande tabel 48. De lengte van elke kolom bedraagt 2,78 meter.

Tabel 48: Overzicht kolommen Airdeck

Doorsnede	$A_{kolom}(m^2)$	$V_{kolom}(m^3)$	Aantal	Wapening	$V_{wapening}(m^3)$
30 x 60	0,18	0,5004	5	10 Ø20 18 BG Ø8	0,010181
30 x 65 	0,185	0,5143	13	10 Ø20 18 BG Ø8	0,010181
30 x 45 	0,125	0,3475	21	8 Ø16 19 BG Ø8	0,005557
Ø30	0,07	0,1945	81	8 Ø16 19 BG Ø8	0,005222
40 x 40	0,16	0,4448	24	8 Ø20 19 BG Ø8	0,008324
Ø40	0,126	0,3503	21	8 Ø20 19 BG Ø8	0,008037

$$V_{kolom,totaal} = \sum V_{kolom} * n$$

$$V_{kolom,totaal} = 50,271 m^3$$

$$V_{wapening,totaal} = \sum V_{wapening} * n$$

$$V_{wapening,totaal} = 1,091 m^3$$

Het volume beton van de kolommen kan bepaald worden aan de hand van volgende formule:

$$V_{beton} = V_{kolom,totaal} - V_{wapening,totaal}$$

$$V_{beton} = 50,271 - 1,091$$

$$V_{beton} = 49,18 m^3$$

6.4.4 Kelder en fundering

De kelderplaat is onderverdeeld in twee verschillende diktes van 40 en 50 cm. Bovendien bevinden zich onder de kolommen funderingsvoeten met lengte en breedte van 350 cm en een dikte van 70 cm.

De oppervlakte van de totale funderingsplaat is berekend aan de hand van de afmetingen van het funderingsplan welke opgenomen werd als bijlage 23.

$$A_{plaat} = 70,8 * 38 = 2690,4 \text{ m}^2$$

Funderingsplaat dikte 50 cm

De oppervlakte van de funderingsplaat welke een dikte van 50 cm heeft, wordt als volgt berekend:

$$A_{plaat,50} = (14,1 * 14,1) + (14,45 * 29,3)$$

$$A_{plaat,50} = 622,195 \text{ m}^2$$

De wapening bestaat uit een onderwapening van 22 kg/m² en een bovenwapening van 33 kg/m² wat samen een totaal van 55 kg/m² levert. De massa en het overeenstemmende volume van deze wapening wordt analoog aan paragraaf 4.3.2 berekend.

$$m_{wapening,50} = m_{wapening,50/m^2} * A_{plaat,50}$$

$$m_{wapening,50} = 55 * 622,195$$

$$m_{wapening,50} = 34\ 220,7 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan wapening en het soortelijk gewicht van staal (= 7800 kg/m³), kan het volume aan plaatwapening bepaald worden:

$$V_{wapening,50} = \frac{m_{wapening,50}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{wapening,50} = \frac{34\ 220,7}{7800}$$

$$V_{wapening,50} = 4,39 \text{ m}^3$$

Het betonvolume van de funderingsplaat dikte 50 cm wordt bepaald door het volume van de massieve plaat te verminderen met het volume van de wapening die zich in deze funderingsplaat bevindt.

$$V_{plaat,50} = A_{plaat,50} * h = 622,195 \text{ m}^2 * 0,5 \text{ m}$$

$$V_{plaat,50} = 311,1 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,50} = V_{plaat,50} - V_{wapening,50} = 311,1 - 4,39$$

$$V_{beton,50} = 306,71 \text{ m}^3$$

Funderingsplaat dikte 40 cm

De oppervlakte van de funderingsplaat met een dikte heeft van 40 cm bedraagt:

$$A_{plaat,40} = A_{plaat} - A_{plaat,50} = 2690,4 - 622,195$$

$$A_{plaat,40} = 2068,21 \text{ m}^2$$

De wapening bestaat uit een onderwapening van 20 kg/m² en een bovenwapening van 30 kg/m² met een totaal van 50 kg/m². Analoog aan de plaat met een dikte van 50 cm, worden volgende resultaten bekomen:

$$m_{wapening,40} = m_{wapening,40/m^2} * A_{plaat,40}$$

$$m_{wapening,40} = 50 * 2068,21$$

$$m_{wapening,40} = 103\,410 \text{ kg}$$

$$V_{wapening,40} = \frac{m_{wapening,40}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{wapening,40} = \frac{103\,410}{7800}$$

$$V_{wapening,40} = 13,26 \text{ m}^3$$

Het betonvolume van de funderingsplaat met een dikte van 40 cm is het volume van de massieve plaat verminderd met het volume van de wapening die zich in deze funderingsplaat bevindt.

$$V_{plaat,40} = A_{plaat,40} * h = 2068,21 \text{ m}^2 * 0,4 \text{ m}$$

$$V_{plaat,40} = 827,28 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,40} = V_{plaat,40} - V_{wapening,40} = 827,28 - 13,26$$

$$V_{beton,40} = 814,02 \text{ m}^3$$

Funderingsvoeten

Elke funderingsvoet heeft een afmeting van 350 x 350 x 70 cm. Op basis van deze dimensies kunnen de oppervlakte en het volume van deze voeten bepaald worden:

$$A_{voet} = b * l = 3,5 * 3,5$$

$$A_{voet} = 12,25 \text{ m}^2$$

$$V_{voet} = A_{voet} * h = 12,25 * 0,7$$

$$V_{voet} = 8,58 \text{ m}^3$$

Het aantal funderingsvoeten werd bepaald op basis van het funderingsplan:

$$n_{voet} = 13 \text{ stuks}$$

Door het volume per voet te vermenigvuldigen met het aantal funderingsvoeten, wordt het totaal volume voor deze fundering bekomen:

$$V_{voet,tot} = V_{voet} * n_{voet} = 8,58 * 13$$

$$V_{voet,tot} = 111,54 \text{ m}^3$$

Deze funderingsvoeten hebben een onderwapening van 30 kg/m² en een bovenwapening van 40 kg/m². De totale wapening in deze fundering bedraagt bijgevolg 70 kg/m². Analoog aan bovenstaande funderingen, wordt de massa en het volume aan wapening en beton berekend.

$$A_{voet,tot} = A_{voet} * n_{voet} = 12,25 * 13$$

$$A_{voet,tot} = 159,25 \text{ m}^2$$

$$m_{wapening,voet} = m_{wapening,voet/m^2} * A_{voet,tot}$$

$$m_{wapening,voet} = 70 * 159,25$$

$$m_{wapening,voet} = 11\,147,5 \text{ kg}$$

$$V_{wapening,voet} = \frac{m_{wapening,voet}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{wapening,voet} = \frac{11\,147,5}{7800}$$

$$V_{wapening,voet} = 1,43 \text{ m}^3$$

Het betonvolume van de funderingsvoeten is het totaal volume van de funderingsvoeten vermindert met het volume van de wapening welke zich in deze voeten bevindt.

$$V_{beton,voet} = V_{voet,tot} - V_{wapening,voet} = 111,54 - 1,43$$

$$V_{beton,voet} = 110,11 \text{ m}^3$$

Totale fundering

De hoeveelheid beton van de totale fundering is de som van de betonvolumes van de funderingsplaten en funderingsvoeten.

$$V_{beton,fundering} = V_{beton,40} + V_{beton,50} + V_{beton,voet}$$

$$V_{beton,fundering} = 814,02 + 306,71 + 110,11$$

$$V_{beton,fundering} = 1\,230,84 \text{ m}^3$$

Analoog wordt de totale hoeveelheid wapening in de fundering bepaald:

$$V_{wapening,fundering} = V_{wapening,40} + V_{wapening,50} + V_{wapening,voet}$$

$$V_{wapening,fundering} = 13,26 + 4,39 + 1,43$$

$$V_{wapening,fundering} = 19,08 \text{ m}^3$$

Een overzicht van de benodigde volumes aan beton en wapening voor de fundering bij een uitvoering met Airdeck – vloerplaten wordt weergegeven in tabel 49.

Tabel 49: Overzicht fundering Airdeck

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Funderingsplaat dikte 50 cm		
Beton	C20/25	306,71
Wapening	B500A	4,39
Funderingsplaat dikte 40 cm		
Beton	C20/25	814,02
Wapening	B500A	13,26
Funderinsvoeten		
Beton	C20/25	110,11
Wapening	B500A	1,43
Totale fundering		
Beton	C20/25	1 230,84
Wapening	B500A	19,08

6.4.5 Materiaalhoeveelheden Airdeck® gebouwniveau

Tabel 50 geeft een samenvatting van de materiaalhoeveelheden welke in rekening gebracht worden bij het invoeren van het gebouw in de GaBi6-software. Deze hoeveelheden ondergaan een eenheidstransport van 25 km tot aan de werf.

Tabel 50: Samenvatting materiaalhoeveelheden Airdeck

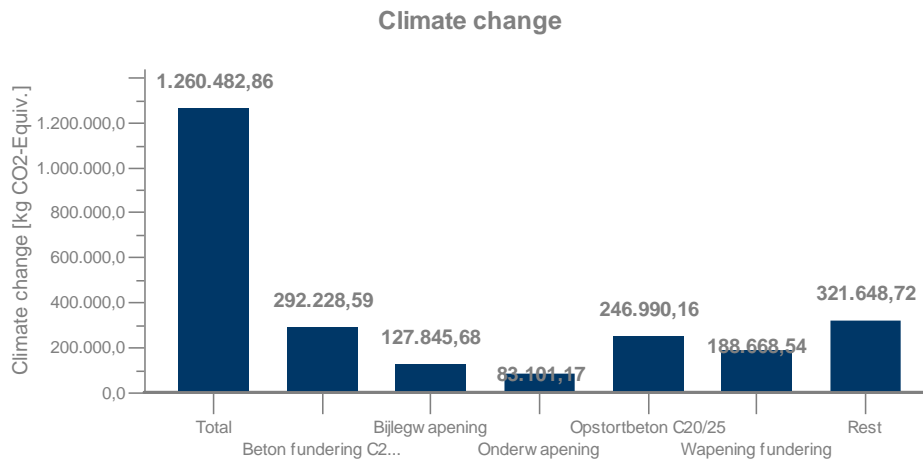
Materiaal	Materiaaltype	Volume (m³)
Vloerplaten		
Airdeck		
Beton	C30/37	257,406
Wapening	B500A	8,404
Tralieliggers	B500A	1,995
Airboxen	PP	623,673
Bijleg- en Ponswapening	B500A	12,929
Opstort	C20/25	1 158,330
Breedplaat		
Beton	C30/37	40,447
Wapening	B500A	1,297
Tralieliggers	B500A	0,310
Bijleg- en Ponswapening	B500A	2,117
Opstort	C20/25	282,154
Dragende wanden		
Beton	C25/30	302,786
Wapening	B500A	2,345
Kolommen		
Beton	C30/37	49,180
Wapening	B500A	1,091
Fundering		
Beton	C20/25	1 230,840
Wapening	B500A	19,080

6.4.6 LCA Airdeck® gebouwniveau

Om tot het Hollandsch Huys te komen, heeft men verschillende materiaalgroepen nodig. Primair dient de fundering te worden gerealiseerd. Hierna kan men overgaan tot het rechte trekken van de dragende structuur welke bestaat uit wanden en kolommen. Alle materialen gebruikt voor deze elementen worden over een eenheidstransport van 25 km getransporteerd naar de werf. De vloerplaten worden ter hoogte van de afdek van de kelderverdieping gedeeltelijk gerealiseerd met klassieke breedplaten. De overige vloerplaten worden opgebouwd met het Airdeck® systeem. Alle vloerplaten bestaan uit een geprefabriceerde onderschil en een gedeelte dat men opstort op de werf. Analoog aan de dragende structuur, wordt ook voor deze vloerplaten een eenheidstransport van 25 km in rekening gebracht voor het transport naar de werf. De modellering in de GaBi6-software werd opgenomen als bijlage 24.

6.4.7 Resultaten Airdeck® gebouwniveau

Op basis van bovenstaande gegevens en LCA-schema worden volgende resultaten per impactcategorie bekomen voor het volledige gebouw zoals besproken in paragraaf 6.3. Enkel het resultaat van de klimaatsverandering wordt hier meegegeven in figuur 46, de overige resultaten zijn terug te vinden in bijlage 25.



Figuur 46: CC Airdeck gebouwniveau

Uit de resultaten blijkt dat het grootste aandeel van de impact veroorzaakt wordt door het beton en de wapening. Overige parameters zoals polypropyleen, transport en energie welke men verbruikt tijdens het proces blijken slechts beperkt een invloed uit te oefenen op de totale milieu-impact van het gebouw tijdens de bouwfase. Een samenvatting van de resultaten is weergegeven in tabel 51.

Tabel 51: Resultaten Airdeck gebouwniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	1,26E+06	kg CO2 - eq
TA	2,32E+03	kg SO2 - eq
FE	1,41	kg P - eq
OD	4,32E-03	kg CFC-11 - eq
FD	2,17E+05	kg oil - eq
FET	116,00	kg 1,4-DB - eq
HT	6,27E+04	kg 1,4-DB - eq
IR	1,25E+04	kg U235 - eq
MET	47,60	kg 1,4-DB - eq
ME	711,00	kg N - eq
MD	1,58E+05	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	932,00	kg PM-10 - eq
POF	2,35E+03	kg NMVOC - eq
TET	40,00	kg 1,4-DB - eq
WD	2,10E+05	m ³

6.5 Klassieke breedplaat

Doordat bij een klassieke breedplaat geen gewichtsreducerende elementen gebruikt worden, stijgt het eigengewicht van deze vloerplaten. Hierdoor gaan deze elementen dikker moeten worden uitgevoerd om tot gelijke overspanning en doorbuigingseisen te komen als bij Airdeck®-vloerstructuren. Een bijkomend gevolg van deze gewichtsstijging bestaat uit het zwaarder dimensioneren van de funderingen. De informatie gebruikt in deze paragraaf is afkomstig van de stabiliteitsafdeling van Airdeck Building Concepts.

6.5.1 Equivalente vloerplaat klassieke breedplaat

Door het verhoogde eigengewicht dient de dikte van de vloerplaten aangepast te worden ten opzichte van de dikte bij het gebruik van lichtgewichtelementen. Er wordt gerekend met een dikte van 390 mm voor de afdek van de kelderverdieping, 370 mm voor de afdek van het gelijkvloers en 380 mm voor de afdek van de eerste en tweede verdieping. Ook de wapening dient aangepast te worden. Op aangeven van Airdeck Building Concepts wordt er een wapeningstoename van 16 % ten opzichte van de vloerplaten voorzien van gewichtsreducerende elementen voorzien.

Afdek kelderverdieping

Bij het realiseren van de vloerplaat zonder lichtgewichtelementen moet de plaat een dikte van 390 mm hebben. De wapening wordt hierbij met 16 % verhoogt ten opzichte van een uitvoering met gewicht reducerende elementen. De in rekening te brengen wapening wordt weergegeven in tabel 52. Deze werd omgerekend naar een volume per oppervlakte-eenheid met behulp van het soortelijk gewicht van staal (= 7800 kg/m³).

Tabel 52: Wapening klassieke breedplaat

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	12,76	1,55*10 ⁻³
Traliewapening	2,90	0,37*10 ⁻³
Ponswapening	1,74	0,22*10 ⁻³
Bijlegwapening	17,98	2,31*10 ⁻³
Totaal	35,38	4,54*10⁻³

De oppervlakte van de vloerplaat blijft ongewijzigd ten opzichte van voorgaande vloerstructuur en bedraagt 2525,68 m³. Het betonvolume van de onderschil kan nu bepaald worden door deze oppervlakte te vermenigvuldigen met een dikte van 50 millimeter.

$$V_{\text{onderschil}} = 2525,68 * 0,05$$

$$V_{\text{onderschil}} = 126,284 \text{ m}^3$$

Om tot het volume beton te komen, dient dit totale volume van de onderschil verminderd te worden met het volume aan tralieliggers en het volume aan onderwapening. Uit de berekening in paragraaf 4.3 blijkt dat 30 % van de tralieligger ingebetonneerd wordt in de onderschil. De numerieke waarde van dit volume wordt bepaald aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,30 * (0,37 * 10^{-3} * 2525,68)$$

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,28 \text{ m}^3$$

Het totale volume aan onderwapening wordt berekend aan de hand van tabel 52:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,55 * 10^{-3} * 2525,68$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 3,915 \text{ m}^3$$

Het volume beton nodig ter fabricatie van de prefab onderschil bedraagt:

$$V_{\text{beton,onder}} = V_{\text{onderschil}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}}$$

$$V_{\text{beton,onder}} = 126,284 - 3,915 - 0,28$$

$$V_{\text{beton,onder}} = 122,089 \text{ m}^3$$

Het volume ponswapening, bijlegwapening en tralieliggers in de bovenschil bedragen vervolgens:

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,70 * (0,37 * 10^{-3} * 2525,68) = 0,654 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ponswapening}} = 0,22 * 10^{-3} * 2525,68 = 0,556 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{bijlegwapening}} = 2,31 * 10^{-3} * 2525,68 = 5,834 \text{ m}^3$$

De hoeveelheid op te storten beton kan door toepassing van onderstaande formule bepaald worden:

$$V_{\text{opstortlaag}} = 0,34 * 2525,68$$

$$V_{\text{opstortlaag}} = 858,731 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{opstort}} = V_{\text{opstortlaag}} - V_{\text{ponswapening}} - V_{\text{bijlegwapening}} - V_{\text{tralieligger}}$$

$$V_{opstort} = 858,731 - 0,654 - 0,556 - 5,834$$

$$V_{opstort} = 851,687 \text{ m}^3$$

Tabel 53 geeft een overzicht van de in te voeren parameters in de LCA-software:

Tabel 53: Inventarisatie klassieke breedplaat kelderniveau

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	126,284
Wapening	B500A	3,915
Tralieliggers	B500A	0,935
Bijleg- en Ponswapening	B500A	6,39
Opstort	C20/25	851,687

Afdek gelijkvloers

De afdek van het gelijkvloers wordt gerealiseerd met een vloerplaat van 370 mm. De bijhorende wapening wordt in onderstaande tabel 54 weergegeven:

Tabel 54: Wapeningshoeveelheden klassieke breedplaat gelijkvloers

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	11,60	1,49*10 ⁻³
Traliewapening	2,90	0,37*10 ⁻³
Ponswapening	1,16	0,15*10 ⁻³
Bijlegwapening	16,82	2,16*10 ⁻³
Totaal	32,48	4,17*10⁻³

De oppervlakte van de vloerplaat blijft gelijk aan deze bij de Airdeck®-structuur en bedraagt 1516,85 m². De dikte van de onderschil bij een klassieke breedplaat bedraagt 50 mm. Op basis van deze gegevens kan het totale volume van de geprefabriceerde onderschil bepaald worden:

$$V_{onderschil} = 1516,85 * 0,05$$

$$V_{onderschil} = 75,843 \text{ m}^3$$

Van dit totaal volume moet het volume aan onderwapening en ingebetonnerde tralieligger afgetrokken worden. Het volume aan onderwapening wordt berekend door het betreffende volume per oppervlakte-eenheid te vermenigvuldigen met de plaatoppervlakte:

$$V_{onderwapening} = 1,49 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,260 \text{ m}^3$$

De tralieligger wordt niet volledig ingebetonneerd in de onderschil. Uit de berekeningen onder paragraaf 4.3 blijkt dat 30 % van deze wapening in de onderschil gestort wordt. Op basis hiervan kan het in rekening te brengen volume berekend worden aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,30 * (0,37 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,168 \text{ m}^3$$

Het volume beton nodig om de onderschil te realiseren kan nu bepaald worden door het totaal volume van de onderschil te verminderen met de wapeningsvolumes:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{onderschil}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}}$$

$$V_{\text{beton}} = 75,843 - 2,260 - 0,168$$

$$V_{\text{beton}} = 73,415 \text{ m}^3$$

Het volume op te storten beton bestaat uit het totaal op te storten volume vermindert met het volume aan bovenwapening en tralieligger. Doordat de tralieligger voor 30 % in de onderschil zit, kan het aanwezige volume in de opstort bepaald worden met behulp van volgende formule:

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,70 * (0,37 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,393 \text{ m}^3$$

De bovenwapening bestaat uit bijleg – en ponswapening. Samen hebben deze een volume van $2,31 * 10^{-3} \text{ m}^3$ per oppervlakte-eenheid. Op basis hiervan kan het volume op volgende wijze bepaald worden:

$$V_{\text{bovenwapening}} = 2,31 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{bovenwapening}} = 3,504 \text{ m}^3$$

Het totale op te storten volume kan bepaald worden door de totale vloerhoogte te verminderen met de hoogte van de onderschil en dit resultaat te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de vloerplaat:

$$V_{\text{opstortlaag}} = (0,370 - 0,050) * 1516,85$$

$$V_{\text{opstortlaag}} = 485,392 \text{ m}^3$$

Met behulp van deze gegevens kan het op te storten betonvolume bepaald worden met onderstaande formule:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieligger}$$

$$V_{opstort} = 485,392 - 3,504 - 0,393$$

$$V_{opstort} = 481,495 \text{ m}^3$$

Onderstaande tabel 55 geeft een overzicht van de materiaalhoeveelheden ter realisatie van de vloerplaat voor de afdek van het gelijkvloers:

Tabel 55: Inventarisatie klassieke breedplaat gelijkvloers

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	73,415
Wapening	B500A	2,260
Tralieliggers	B500A	0,561
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,504
Opstort	C20/25	481,495

Afdek eerste verdieping

De afdek van de eerste verdieping wordt uitgevoerd met een vloerplaat van 380 mm. De bijhorende wapening wordt weergegeven in volgende tabel 56:

Tabel 56: Wapeningshoeveelheden klassieke breedplaat niveau +1

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	12,76	1,64*10 ⁻³
Traliwapening	2,90	0,37*10 ⁻³
Ponswapening	1,74	0,22*10 ⁻³
Bijlegwapening	17,40	2,23*10 ⁻³
Totaal	34,80	4,46*10⁻³

De dimensies van de onderschil blijven identiek aan deze van de afdek van het gelijkvloers en bedragen: A = 1516,85 m² en d = 50 mm. Hierdoor blijft ook het totale volume van de onderschil gelijk:

$$V_{onderschil} = 1516,85 * 0,05$$

$$V_{onderschil} = 75,843 \text{ m}^3$$

Van dit totaal volume moet het volume aan onderwapening en ingebetonnerde tralieligger afgetrokken worden. Het volume aan onderwapening wordt berekend aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,64 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,488 \text{ m}^3$$

Uit paragraaf 4.3 blijkt dat de tralieligger slechts 30 % in de onderschil gebetonneerd wordt. Het in rekening te brengen volume wordt analoog aan dit van de afdek van het gelijkvloers bepaald:

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,30 * (0,37 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,168 \text{ m}^3$$

Het betonvolume ter realisatie van de onderschil kan nu bepaald worden door het totale volume van de onderschil te verminderen met het volume aan onderwapening en tralieligger:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{onderschil}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}}$$

$$V_{\text{beton}} = 75,843 - 2,488 - 0,168$$

$$V_{\text{beton}} = 73,187 \text{ m}^3$$

Het op te storten betonvolume wordt bepaald door het totale op te storten volume te verminderen met het volume van de aanwezige wapening. Deze wapening bestaat uit 70 % van het volume van de tralieliggers, de pons- en de bijlegwapening. Het in rekening te brengen volume aan tralieligger wordt op volgende wijze bepaald:

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,70 * (0,37 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{\text{tralieligger}} = 0,393 \text{ m}^3$$

De bijleg- en ponswapening hebben samen een volume van $2,45 * 10^{-3} \text{ m}^3$ per oppervlakte-eenheid. Het totale volume wordt bepaald door deze waarde te vermenigvuldigen met de oppervlakte:

$$V_{\text{bovenwapening}} = 2,45 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{bovenwapening}} = 3,716 \text{ m}^3$$

Het totale op te storten volume kan bepaald worden door de totale vloerhoogte te verminderen met de hoogte van de onderschil en dit resultaat te vermenigvuldigen met de oppervlakte van de vloerplaat:

$$V_{opstortlaag} = (0,380 - 0,050) * 1516,85$$

$$V_{opstortlaag} = 500,561 \text{ m}^3$$

Het op te storten betonvolume wordt bepaald door het totaal op te storten volume te verminderen met het volume aan bovenwapening en tralieligger:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieligger}$$

$$V_{opstort} = 500,561 - 3,716 - 0,393$$

$$V_{opstort} = 496,452 \text{ m}^3$$

Tabel 57 geeft een overzicht van de materiaalhoeveelheden nodig om de afdek van de eerste verdieping uit te voeren:

Tabel 57: Inventarisatie klassieke breedplaat niveau +1

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m³)
Beton	C30/37	73,187
Wapening	B500A	2,488
Tralieliggers	B500A	0,561
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,716
Opstort	C20/25	496,452

Afdek tweede verdieping

Analoog aan de afdek van de eerste verdieping, wordt de afdek van de tweede verdieping gerealiseerd met een vloerplaat van 380 mm. De bijhorende wapening wordt weergegeven in volgende tabel 58:

Tabel 58: Wapeningshoeveelheden klassieke breedplaat niveau +2

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m²)	Volume (m³/m²)
Onderwapening	11,60	1,49*10 ⁻³
Traliwapening	2,90	0,37*10 ⁻³
Ponswapening	1,74	0,22*10 ⁻³
Bijlegwapening	16,82	2,16*10 ⁻³
Totaal	33,06	4,24*10⁻³

De dimensies van de onderschil blijven onveranderd. Hierdoor wijzigt ook het totale volume van de onderschil niet:

$$V_{\text{onderschil}} = 1516,85 * 0,05$$

$$V_{\text{onderschil}} = 75,843 \text{ m}^3$$

Van dit totaalvolume moet het volume aan onderwapening en ingebetonnerde tralieligger afgetrokken worden. Het in rekening te brengen volume aan tralieligger blijft gelijk aan dit van de afdek van het gelijkvloers en de eerste verdieping:

$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,168 \text{ m}^3$. Het volume aan onderwapening wordt berekend aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,49 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,260 \text{ m}^3$$

Het benodigde betonvolume om de onderschil te realiseren kan nu bepaald worden aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{onderschil}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}}$$

$$V_{\text{beton}} = 75,843 - 2,260 - 0,168$$

$$V_{\text{beton}} = 73,415 \text{ m}^3$$

Het betonvolume nodig voor de opstort van de vloerplaat wordt bepaald door het totaal op te storten volume te verminderen met het volume aanwezige wapening en tralieligger. De hoeveelheid van deze laatste is identiek aan de afdek van de eerste verdieping: $V_{\text{tralieligger}} = 0,393 \text{ m}^3$. De bovenwapening bestaat uit de som van de pons – en bijlegwapening en wordt op volgende wijze bepaald:

$$V_{\text{bovenwapening}} = (2,16 + 0,22) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{bovenwapening}} = 3,610 \text{ m}^3$$

Het totale volume van de opstortlaag wordt berekend door het verschil te nemen van de totale vloerhoogte en de dikte van de onderschil en dit resultaat te vermenigvuldigen met de plaatoppervlakte:

$$V_{\text{opstortlaag}} = (0,380 - 0,050) * 1516,85$$

$$V_{\text{opstortlaag}} = 500,561 \text{ m}^3$$

Het volume aan op te storten beton kan nu met behulp van onderstaande vergelijking bepaald worden:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieligger}$$

$$V_{opstort} = 500,561 - 3,610 - 0,393$$

$$V_{opstort} = 496,558 \text{ m}^3$$

Tabel 59 geeft een overzicht van de bekomen materiaalhoeveelheden voor de afdek van de tweede verdieping:

Tabel 59: Inventarisatie klassieke breedplaat niveau +2

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	73,415
Wapening	B500A	2,260
Tralieliggers	B500A	0,561
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,610
Opstort	C20/25	496,558

6.5.2 Dragende wanden klassieke breedplaat

De volumes aan dragende structuren worden volgens eenzelfde methode berekend als bij het Airdeck vloersysteem. Het totale volume aan dragende structuur blijft ongewijzigd enkel het wapeningsgehalte wordt verhoogd tot 65 kg/m³ doordat grotere krachten dienen opgenomen te worden.

Kelderniveau

Het volume aan dragende wand bedraagt ook bij het gebruik van klassieke breedplaat 207,388 m³. Het volume wapening in de wand wijzigt aangezien er 5 kg/m³ meer wapening aanwezig is dan wanneer er een Airdeck vloerstructuur toegepast wordt.

$$V_{wapening,wand} = \frac{65 \text{ kg/m}^3}{7800 \text{ kg/m}^3} * 207,388 \text{ m}^3$$

$$V_{wapening,wand} = 1,728 \text{ m}^3$$

Het volume aan beton wordt bepaald door het totaal volume aan dragende wanden te verminderen met het volume wapening hierin aanwezig:

$$V_{beton,wand} = V_{wand} - V_{wapening,wand}$$

$$V_{beton,wand} = 207,388 - 1,728$$

$$V_{beton,wand} = 205,66 \text{ m}^3$$

Gelijkvloers, eerste en tweede verdieping

Voor het gelijkvloers, de eerste en de tweede verdieping bedraagt het volume aan dragende wand 32,582 m³. Het volume aan beton kan bepaald worden door dit volume te verminderen met het volume aan wapening dat zich in deze wanden bevindt:

$$V_{wapening,wand} = \frac{65 \text{ kg/m}^3}{7800 \text{ kg/m}^3} * 32,582 \text{ m}^3$$

$$V_{wapening,wand} = 0,272 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,wand} = V_{wand} - V_{wapening,wand}$$

$$V_{beton,wand} = 32,582 - 0,272$$

$$V_{beton,wand} = 32,31 \text{ m}^3$$

Sommatie volumes dragende structuur

Tabel 60 geeft een overzicht van het volume aan beton en het volume aan wapening welke gebruikt worden om de dragende wanden binnen de structuur te realiseren:

Tabel 60: Overzicht dragende wanden klassieke breedplaat

Niveau	$V_{beton}(\text{m}^3)$	$V_{wapening}(\text{m}^3)$
Kelder	205,66	1,728
Gelijkvloers	32,31	0,272
Niveau +1	32,31	0,272
Niveau +2	32,31	0,272
Totaal	302,59	2,544

6.5.3 Kolommen klassieke breedplaat

De doorsnedes en afmetingen van de kolommen blijven identiek aan deze bij de uitvoering met Airdeck®-vloerplaten. Enkel het wapeningsgehalte dient met 16 % verhoogt te worden omwille van het hogere eigengewicht van de massieve vloerplaten.

$$V_{wapening,totaal} = 1,16 * 1,091 = 1,266 \text{ m}^3$$

Het volume aan beton wordt bepaald op basis van onderstaande vergelijking:

$$V_{beton} = V_{kolom,totaal} - V_{wapening,totaal}$$

$$V_{beton} = 50,271 - 1,266$$

$$V_{beton} = 49,005 \text{ m}^3$$

6.5.4 Fundering klassieke breedplaat

Door het verhoogde eigengewicht van de vloerplaten dient de fundering zwaarder uitgevoerd te worden dan bij het toepassen van lichtgewichtelementen. Op basis van de verkregen informatie bij Airdeck Building Concepts werd er voor de fundering een toename van 10 % vastgelegd. Hierdoor wordt er gerekend met een funderingsplaat welke een dikte van 450 en 550 millimeter heeft en funderingsvoeten met volgende dimensies: 390 x 390 x 800 mm.

$$A_{plaat} = 70,8 * 38 = 2690,4 \text{ m}^2$$

Funderingsplaat dikte 55 cm

De oppervlakte van de funderingsplaat met een dikte van 55 centimeter bedraagt:

$$A_{plaat,55} = (14,1 * 14,1) + (14,45 * 29,3)$$

$$A_{plaat,55} = 622,195 \text{ m}^2$$

De wapening bestaat uit een onderwapening van 25 kg/m² en een bovenwapening van 35 kg/m² en wordt analoog aan paragraaf 4.3.2 berekend. Volgende vergelijkingen en bijhorende resultaten worden bekomen bij een gezamenlijke plaatwapening van 60 kg/m².

$$m_{wapening,55} = m_{wapening,55/m^2} * A_{plaat,55}$$

$$m_{wapening,55} = 60 * 622,195$$

$$m_{wapening,55} = 37\,331,7 \text{ kg}$$

Met behulp van de totale massa aan wapening en het soortelijk gewicht van staal (7800 kg/m³) kan het volume aan plaatwapening bepaald worden:

$$V_{wapening,55} = \frac{m_{wapening,55}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{wapening,55} = \frac{37\,331,7}{7800}$$

$$V_{wapening,55} = 4,79 \text{ m}^3$$

Het betonvolume van de funderingsplaat met een dikte van 55 cm is het volume van een volle plaat verminderd met het volume van de wapening die zich in deze funderingsplaat bevindt.

$$V_{plaat,55} = A_{plaat,55} * h$$

$$V_{plaat,55} = 622,195 \text{ m}^2 * 0,55 \text{ m}$$

$$V_{plaat,55} = 342,21 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,55} = V_{plaat,55} - V_{wapening,55}$$

$$V_{beton,55} = 342,21 - 4,79$$

$$V_{beton,55} = 337,42 \text{ m}^3$$

Funderingsplaat dikte 45 cm

Het oppervlakte van de funderingsplaat met een dikte van 45 cm bedraagt:

$$A_{plaat,45} = A_{plaat} - A_{plaat,55}$$

$$A_{plaat,45} = 2690,40 - 622,195$$

$$A_{plaat,45} = 2068,21 \text{ m}^2$$

De wapening bestaat uit een onderwapening van 22 kg/m² en een bovenwapening van 33 kg/m² en wordt analoog aan paragraaf 3.3.2 berekend. Volgende vergelijkingen en bijhorende resultaten worden bekomen bij een opgetelde plaatwapening van 55 kg/m².

$$m_{wapening,45} = m_{wapening,45/m^2} * A_{plaat,45}$$

$$m_{wapening,45} = 55 * 2068,21$$

$$m_{wapening,45} = 113\,752 \text{ kg}$$

$$V_{wapening,45} = \frac{m_{wapening,45}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{wapening,45} = \frac{113\,752}{7800}$$

$$V_{wapening,45} = 14,58 \text{ m}^3$$

Het betonvolume van de funderingsplaat dikte 45 cm wordt analoog bepaald aan deze bij een dikte van 55 cm:

$$V_{plaat,45} = A_{plaat,45} * h$$

$$V_{plaat,45} = 2068,21 \text{ m}^2 * 0,45 \text{ m}$$

$$V_{plaat,45} = 930,7 \text{ m}^3$$

$$V_{beton,45} = V_{plaat,45} - V_{wapening,45}$$

$$V_{beton,45} = 930,7 - 14,58$$

$$V_{beton,45} = 916,12 \text{ m}^3$$

Funderingsvoeten

Een funderingsvoet heeft volgende afmetingen: 390 x 390 x 80 cm. De oppervlakte wordt bepaald door de lengte en de breedte van het grondvlak met elkaar te vermenigvuldigen:

$$A_{voet} = b * l$$

$$A_{voet} = 3,9 * 3,9$$

$$A_{voet} = 15,21 \text{ m}^2$$

$$V_{voet} = A_{voet} * h$$

$$V_{voet} = 15,21 * 0,8$$

$$V_{voet} = 12,168 \text{ m}^3$$

Het aantal funderingsvoeten werd bepaald aan de hand van het funderingsplan.

$$n_{voet} = 13 \text{ stuks}$$

Het totale volume aan funderingsvoeten kan nu bepaald worden door het aantal voeten te vermenigvuldigen met het volume per voet:

$$V_{voet,tot} = V_{voet} * n_{voet}$$

$$V_{voet,tot} = 12,168 * 13$$

$$V_{voet,tot} = 158,18 \text{ m}^3$$

De wapening in deze voeten bestaat uit een onderwapening van 35 kg/m² en een bovenwapening van 45 kg/m². Volgende vergelijkingen en bijhorende resultaten worden bekomen bij een plaatwapening van 80 kg/m².

$$A_{voet,tot} = A_{voet} * n_{voet}$$

$$A_{voet,tot} = 15,21 * 13$$

$$A_{voet,tot} = 197,73 \text{ m}^2$$

$$m_{wapening,voet} = m_{wapening,voet/m^2} * A_{voet,tot}$$

$$m_{wapening,voet} = 80 * 197,73$$

$$m_{wapening,voet} = 15\ 818,4 \text{ kg}$$

$$V_{wapening,voet} = \frac{m_{wapening,voet}}{\rho_{staal}}$$

$$V_{wapening,voet} = \frac{15\ 818,4}{7800}$$

$$V_{wapening,voet} = 2,03 \text{ m}^3$$

Het betonvolume van de funderingsvoeten is het totaalvolume van de funderingsvoeten verminderd met het volume van de wapening die zich in deze voeten bevindt.

$$V_{beton,voet} = V_{voet,tot} - V_{wapening,voet}$$

$$V_{beton,voet} = 158,18 - 2,03$$

$$V_{beton,voet} = 156,15 \text{ m}^3$$

Totale fundering

De totale hoeveelheid beton van de fundering bestaat uit de som van de betonvolumes van de funderingsplaten en funderingsvoeten.

$$V_{beton,fundering} = V_{beton,45} + V_{beton,55} + V_{beton,voet}$$

$$V_{beton,fundering} = 916,12 + 337,42 + 156,15$$

$$V_{beton,fundering} = 1\,230,84 \text{ m}^3$$

De totale wapening in de fundering wordt bepaald als de som van de wapening in de funderingsplaten en funderingsvoeten.

$$V_{wapening,fundering} = V_{wapening,45} + V_{wapening,55} + V_{wapening,voet}$$

$$V_{wapening,fundering} = 14,58 + 4,79 + 2,03$$

$$V_{wapening,fundering} = 21,4 \text{ m}^3$$

In tabel 61 zijn de volume hoeveelheden van het beton en de wapening weergegeven die nodig zijn voor de fundering bij een uitvoering met massieve breedplaten:

Tabel 61: Overzicht fundering klassieke breedplaat

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Funderingsplaat dikte 55 cm		
Beton	C20/25	306,71
Wapening	B500A	4,79
Funderingsplaat dikte 45 cm		
Beton	C20/25	814,02
Wapening	B500A	15,58
Funderinsvoeten		
Beton	C20/25	110,11
Wapening	B500A	2,03
Totale fundering		
Beton	C20/25	1 230,84
Wapening	B500A	21,4

6.5.5 Materiaalhoeveelheden klassieke breedplaat gebouwniveau

Tabel 62 geeft een overzicht van de in rekening te brengen materiaalhoeveelheden op gebouwniveau bij een uitvoering met klassieke breedplaten. Voor deze hoeveelheden wordt een eenheidstransport van 25 km in rekening gebracht voor het transport naar de werf.

Tabel 62: Samenvatting materialen klassieke breedplaat

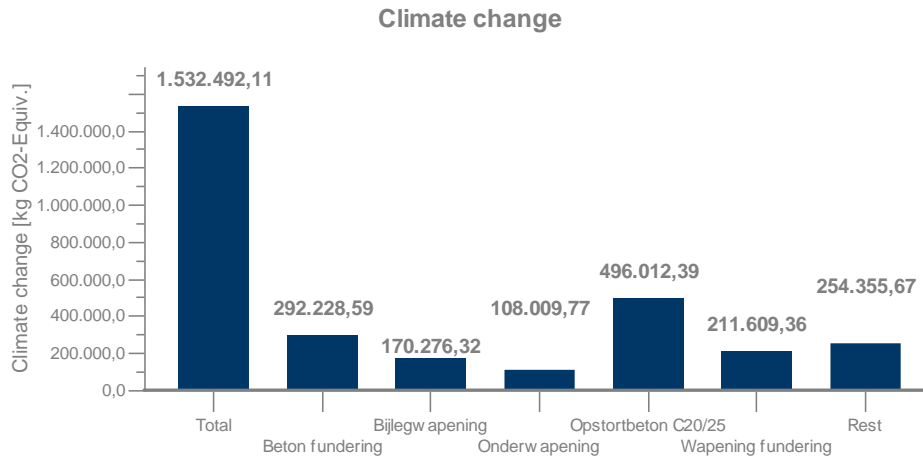
Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Vloerplaten		
Beton	C30/37	346,301
Wapening	B500A	10,923
Tralieliggers	B500A	2,618
Bijleg- en Ponswapening	B500A	17,220
Opstort	C20/25	2 326,190
Dragende wanden		
Beton	C25/30	302,590
Wapening	B500A	2,544
Kolommen		
Beton	C30/37	49,005
Wapening	B500A	1,266
Fundering		
Beton	C20/25	1 230,84
Wapening	B500A	21,4

6.5.6 LCA klassieke breedplaat gebouwniveau

Bij de uitvoering met klassieke breedplaten bezit het Hollandsch Huys volgende structuuronderdelen: de fundering, dragende wanden, kolommen en massief opgestorte breedplaten. Analoog aan de uitvoering met Airdeck® vloerplaten wordt er voor elk van deze elementen een eenheidstransport van 25 km in rekening gebracht. De opbouw van het gebouwniveau in de GaBi6-software is opgenomen als bijlage 26.

6.5.7 Resultaten klassieke breedplaat gebouwniveau

Op basis van de berekende materiaalhoeveelheden worden de resultaten volgens figuur 47 en bijlage 27 bekomen voor een uitvoering met klassieke breedplaten. De resultaten zijn geldig voor het volledige gebouw zoals beschreven in paragraaf 6.3.



Figuur 47: CC klassieke breedplaat gebouwniveau

Uit de grafieken blijkt dat, analoog aan voorgaande systemen, het beton samen met de wapening voor de grootste impact op het milieu zorgt. Doordat er geen volume aan lichtgewicht elementen aanwezig is in het beton, verhoogt het op te storten volume aan beton aanzienlijk. Dit resulteert in een grotere milieu-impact binnen verschillende categorieën zoals: uitputting van het water, smogvorming, vermisting en ecotoxiciteit van zoutwater, vorming van fijn stof, ioniserende straling, klimaatsverandering en vermisting van het zoet water. Ook kan er besloten worden dat de wapening voor een groot deel van de totale impact zorgt. Factoren zoals transport en elektriciteit hebben slechts een beperkte invloed op het geheel. Tabel 63 geeft een numeriek overzicht van de bekomen waarden.

Tabel 63: Resultaten LCA klassieke breedplaat gebouwniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	1,53E+06	kg CO2 - eq
TA	2,77E+03	kg SO2 - eq
FE	1,73	kg P - eq
OD	4,87E-03	kg CFC-11 - eq
FD	2,56E+05	kg oil - eq
FET	137,00	kg 1,4-DB - eq
HT	7,43E+04	kg 1,4-DB - eq
IR	1,49E+04	kg U235 - eq
MET	57,00	kg 1,4-DB - eq
ME	851,00	kg N - eq
MD	1,80E+05	kg FE - eq
NLT	0	m ²
PMF	1,12E+03	kg PM-10 - eq
POF	2,80E+03	kg NMVOC - eq
TET	46,60	kg 1,4-DB - eq
WD	2,64E+05	m ³

6.6 EPS – elementen

De uitvoering van de vloerplaten met EPS-lichtgewichtelementen komt grotendeels overeen met deze waarbij Airboxen werden toegepast. Zowel de vloerplaten als de kolommen en funderingen behouden dezelfde dimensies als bij Airdeck®-vloerplaten. Enkel de onderwapening van de vloerplaten dient met 4 kg/m² verhoogd te worden als gevolg van het isolerend karakter van EPS. De hoge isolerende waarde zorgt voor een grotere warmteontwikkeling onderaan het beton waardoor men extra wapening dient te voorzien. Wapeningshoeveelheden werden bepaald op basis van gegevens verkregen van de stabiliteitsafdeling van Airdeck Building Concepts.

6.6.1 Equivalente vloerplaat breedplaat met EPS – elementen

De vloerplaten met EPS-elementen hebben dezelfde dimensies als deze met Airboxen. De afdek van de kelder, eerste en tweede verdieping hebben een dikte van 350 millimeter, de afdek van het gelijkvloers heeft een dikte van 340 millimeter.

Afdek kelderverdieping

De totale hoogte van de afdek van de kelderverdieping bedraagt 350 mm. Een gedeelte is opgebouwd uit massieve breedplaten en breedplaten met EPS-elementen. De wapening per vierkante meter wordt weergegeven in tabel 64. Deze werd omgerekend naar een volume per vierkante meter plaatoppervlakte aan de hand van het soortelijk gewicht van staal (= 7800 kg/m³).

Tabel 64: Wapeningshoeveelheden EPS kelderniveau

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Breedplaat met EPS-elementen		
Onderwapening	15	1,92*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,5	0,19*10 ⁻³
Bijlegwapening	15,5	1,99*10 ⁻³
Breedplaat		
Onderwapening	12,76	1,55*10 ⁻³
Traliewapening	2,90	0,37*10 ⁻³
Ponswapening	1,74	0,22*10 ⁻³
Bijlegwapening	17,98	2,31*10 ⁻³

De oppervlakte van de vloerplaat werd eerder bepaald en bedraagt 2525,68 m². Deze oppervlakte wordt echter niet volledig bezet door EPS-elementen. Slechts 1688,95 m² van de afdek bestaat voor 85% uit breedplaten met EPS-elementen. Het gedeelte uit massieve breedplaat heeft een oppervlakte van 836,73 m². In hoofdstuk 6.4.1 zijn de

berekeningen van het gedeelte welke bestaat uit massieve breedplaten terug te vinden.

Voor een EPS-bezetting van 100 % werd volgende waarde bekomen:

$$V_{EPS,ingetrild/m^2} = 0,00442 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Dit volume wordt omgezet naar een volume bij een bezetting van 85% om het volume aan EPS-blokken per vierkante meter plaatoppervlakte te bepalen.

$$V_{EPS(85\%),ingetrild/m^2} = 0,85 * 0,00442$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild/m^2} = 0,00376 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 0,00376 * 1688,95$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 6,35 \text{ m}^3$$

De dikte van de onderschil bedraagt 50 mm. Met behulp van de plaatoppervlakte kan nu het totale volume van de onderschil berekend worden door beide waarden te vermenigvuldigen:

$$V_{onderschil} = 0,05 * 1688,95$$

$$V_{onderschil} = 84,447 \text{ m}^3$$

Om tot het volume beton te komen, dient dit plaatvolume verminderd te worden met het volume aan tralieliggers, het volume aan onderwapening en het volume aan ingebetonneerde EPS-blokken. De hoogte van deze blokken wordt bepaald met onderstaande formule:

$$H_{EPS} = H_{constructie} - c_{onderzijde} - c_{bovenzijde}$$

$$H_{EPS} = 350 - 50 - 70$$

$$H_{EPS} = 230 \text{ mm}$$

Uit de berekening in paragraaf 4.4 is gebleken dat 30% van de tralieligger ingebetonneerd wordt in de onderschil. De numerieke waarde van dit volume wordt bepaald aan de hand van onderstaande formule:

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,30 * (0,32 * 10^{-3} * 1688,95)$$

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,162 \text{ m}^3$$

Het totale volume aan onderwapening wordt berekend aan de hand van tabel 64:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,92 * 10^{-3} * 1688,95$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 3,243 \text{ m}^3$$

Het volume beton nodig ter fabricatie van de prefab-onderschil bedraagt:

$$V_{\text{beton}} = V_{\text{onderschil}} - V_{\text{onderwapening}} - V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} - V_{\text{EPS(85%),ingetrild}}$$

$$V_{\text{beton}} = 84,447 - 3,243 - 0,162 - 6,35$$

$$V_{\text{beton}} = 74,692 \text{ m}^3$$

Het aantal EPS-blokken in de afdek van de kelder wordt berekend door de oppervlakte van het afdek te delen door de oppervlakte welke één EPS-element in beslag neemt en de resulterende waarde te vermenigvuldigen met het bezettingspercentage:

$$n_{\text{EPS}} = 0,85 * \frac{A_{\text{afdek,k}}}{A_{\text{EPS}}}$$

$$n_{\text{EPS}} = 0,85 * \frac{1688,95}{0,36}$$

$$n_{\text{EPS}} = 3988 \text{ elementen}$$

Het vrije volume EPS-blok kan bepaald worden door de oppervlakte te vermenigvuldigen met de vrije hoogte van de EPS-elementen uitstekend boven de geprefabriceerde onderschil. De totale hoogte van de EPS-elementen bedraagt 230 mm en de het grondoppervlak heeft een vierkante vorm van 400 x 400 mm. Over de gehele plaatoppervlakte worden 3950 EPS-blokken geplaatst waarbij deze blokken 10 mm in de onderschil getrild worden.

$$V_{\text{EPS}} = n_{\text{EPS}} * L * B * H_{\text{vrij}}$$

$$V_{\text{EPS}} = 3988 * 0,4 * 0,4 * 0,22$$

$$V_{\text{EPS}} = 140,378 \text{ m}^3$$

Het totale volume van de op te storten laag kan bepaald worden door de oppervlakte van de afdek te vermenigvuldigen met de hoogte van deze laag:

$$V_{\text{opstortlaag}} = 0,30 * 1688,95$$

$$V_{opstortlaag} = 506,685 \text{ m}^3$$

Het volume aan bovenwapening wordt bepaald door het volume per oppervlakte-eenheid te vermenigvuldigen met de totale oppervlakte:

$$V_{bovenwapening} = (0,19 + 1,99) * 10^{-3} * 1688,95$$

$$V_{bovenwapening} = 3,682 \text{ m}^3$$

Het effectief benodigde betonvolume dat men nodig heeft om op te storten bestaat uit het totaal volume van de opstortlaag verminderd met het volume aan bijlegwapening en het uitstekend volume aan tralieliggers en EPS-elementen. Het volume aan uitstekende tralieligger kan eenvoudig worden bepaald door het verschil te nemen tussen het totaal volume aan tralieligger en het volume dat men tijdens de prefabricatie heeft ingebetonneerd.

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieliggers} - V_{EPS,opstort}$$

$$V_{opstort} = 506,685 - 3,682 - (0,7 * 0,32 * 10^{-3} * 1688,95) - 140,378$$

$$V_{opstort} = 362,247 \text{ m}^3$$

Tabel 65 geeft de verschillende volumes weer van de afdek van de kelder:

Tabel 65: Inventarisatie EPS kelderniveau

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Breedplaat met EPS-elementen		
Beton	C30/37	74,692
Wapening	B500A	3,243
Tralieliggers	B500A	0,54
EPS-blokken	EPS	140,378
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,682
Opstort	C20/25	362,247
Breedplaat		
Beton	C30/37	40,447
Wapening	B500A	1,297
Tralieliggers	B500A	0,31
Bijleg- en Ponswapening	B500A	2,117
Opstort	C20/25	282,154

Afdek gelijkvloers

De afdek van het gelijkvloers wordt gerealiseerd met een vloerplaat van 340 mm dikte. Onderstaande tabel 66 geeft de in rekening te brengen wapeningshoeveelheden weer:

Tabel 66: Materiaalhoeveelheden EPS gelijkvloers

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	14,0	1,79*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,0	0,13*10 ⁻³
Bijlegwapening	14,5	1,86*10 ⁻³
Totaal	32,0	4,10*10⁻³

Ter bepaling van de materiaalhoeveelheden dienen de hoeveelheid beton tijdens de prefab-fase en de hoeveelheid op te storten beton bepaald te worden. Het totale volume van de onderschil wordt bepaald aan de hand van de oppervlakte en de dikte van de plaat. In tegenstelling tot bij het Airdeck®-principe waar de onderschil een dikte van 60 mm heeft, gebruikt men bij EPS-elementen een dikte van 50 mm:

$$V_{\text{onderschil}} = 1516,85 * 0,05 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{onderschil}} = 75,843 \text{ m}^3$$

Van dit totaal volume moet het volume aan onderwapening, ingebetonnerde tralieligger en ingetilde EPS-elementen worden afgetrokken. Het volume aan onderwapening wordt bepaald door het volume per oppervlakte-eenheid te vermenigvuldigen met de volledige vloeroppervlakte:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,79 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,715 \text{ m}^3$$

Uit paragraaf 3.4 blijkt dat 30 % van de tralieligger in de onderschil wordt verwerkt. Op basis van dit percentage, het volume per oppervlakte-eenheid en de totale plaatoppervlakte, kan het volume aan ingebetonnerde tralieligger bepaald worden:

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,30 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,146 \text{ m}^3$$

De hoogte van de EPS-elementen wordt berekend aan de hand van volgende formule:

$$H_{EPS} = H_{constructie} - c_{onderzijde} - c_{bovenzijde}$$

$$H_{EPS} = 340 - 50 - 70$$

$$H_{EPS} = 220 \text{ mm}$$

Er wordt veronderstelt een EPS-bezetting van 85 % aanwezig te hebben in de vloerplaat. Uit paragraaf 4.4 is geweten dat bij een bezetting van 100 % volgend volume aan EPS verkregen wordt:

$$V_{EPS/m^2} = 0,102 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Indien deze waarde vermenigvuldigd wordt met het plaatoppervlakte en een percentage van 85 %, wordt het totaal volume aan EPS in de volledige vloerplaat bekomen:

$$V_{EPS} = 0,85 * 0,102 * 1516,85$$

$$V_{EPS} = 131,511 \text{ m}^3$$

De EPS-blokken worden 10 millimeter in de onderschil getrild. Dit komt overeen met 4,55 % van het totale volume. Het in rekening te brengen volume aan EPS wordt berekend met onderstaande formule:

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 0,0455 * 131,511$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 5,984 \text{ m}^3$$

Het volume beton nodig om de onderschil van de vloerplaat te realiseren kan nu bepaald worden met behulp van volgende vergelijking:

$$V_{beton} = V_{onderschil} - V_{onderwapening} - V_{tralie,ingebetonneerd} - V_{EPS(85\%),ingetrild}$$

$$V_{beto} = 75,843 - 2,715 - 0,146 - 5,984$$

$$V_{beton} = 66,998 \text{ m}^3$$

Het op te storten volume wordt bepaald door de dikte van de onderschil af te trekken van de totale dikte en dit resultaat met de oppervlakte te vermenigvuldigen:

$$V_{opstortlaag} = (0,340 - 0,050) * 1516,85$$

$$V_{opstortlaag} = 439,887 \text{ m}^3$$

Dit volume moet verminderd worden met de aan te brengen bovenwapening en het volume aan EPS-elementen. Dit laatste volume wordt berekend door het totale EPS-volume te vermenigvuldigen met het percentage aanwezig in de op te storten laag:

$$V_{EPS,opstort} = 0,9545 * 131,511$$

$$V_{EPS,opstort} = 125,527 \text{ m}^3$$

De bovenwapening bestaat uit pons- en bijlegwapening. Het in rekening te brengen volume wordt bepaald door het volume per oppervlakte-eenheid te vermenigvuldigen met de vloeroppervlakte:

$$V_{bovenwapening} = (0,13 + 1,86) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{bovenwapening} = 3,019 \text{ m}^3$$

Het volume aan tralieliggers kan berekend worden door het percentage tralieligger in de op te storten laag te vermenigvuldigen met het totaal volume aan tralieligger:

$$V_{tralieligger} = 0,70 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralieligger} = 0,340 \text{ m}^3$$

Het betonvolume nodig voor de opstort van de vloerplaat kan nu bekomen worden door het volume aan bovenwapening en EPS af te trekken van het totaal op te storten volume:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieligger} - V_{EPS,opstort}$$

$$V_{opstort} = 439,887 - 3,019 - 0,340 - 125,527$$

$$V_{opstort} = 311,001 \text{ m}^3$$

Onderstaande tabel 67 geeft de materiaalhoeveelheden weer voor de afdek van het gelijkvloers:

Tabel 67: Inventarisatie EPS gelijkvloers

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	66,998
Wapening	B500A	2,715
Tralieliggers	B500A	0,485
EPS-blokken	EPS	131,511
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,019
Opstort	C20/25	311,001

Afdek eerste verdieping

De afdek van de eerste verdieping heeft een dikte van 350 millimeter. Tabel 68 geeft de bijhorende wapeningshoeveelheden weer:

Tabel 68: Wapeningshoeveelheden EPS niveau +1

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	15,0	1,92*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,5	0,19*10 ⁻³
Bijlegwapening	15,0	1,92*10 ⁻³
Totaal	34,0	4,35*10⁻³

Het volume van de onderschil blijft gelijk aan dit van de afdek van het gelijkvloers en wordt bepaald op onderstaande wijze:

$$V_{\text{onderschil}} = 1516,85 * 0,05 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{onderschil}} = 75,843 \text{ m}^3$$

Ter bepaling van het volume beton nodig om de onderschil uit te voeren, dient van dit totaal volume het volume aan onderwapening, het volume aan ingebetonneerde tralieligger en het volume aan ingetrilde EPS-elementen afgetrokken te worden. Het volume aan onderwapening wordt op analoge wijze berekend aan deze van de afdek van het gelijkvloers:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,92 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,912 \text{ m}^3$$

30 % van de tralieligger wordt in de onderschil gebetonneerd tijdens de prefab – fase. Het in rekening te brengen volume aan tralieligger wordt met volgende formule berekend:

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,30 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,146 m^3$$

De hoogte van de EPS-elementen wordt bepaald aan de hand van volgende formule:

$$H_{EPS} = H_{constructie} - c_{onderzijde} - c_{bovenzijde}$$

$$H_{EPS} = 350 - 50 - 70$$

$$H_{EPS} = 230 mm$$

Er wordt gerekend met een EPS-bezetting van 85 % in de vloerplaat. Uit de berekeningen van de afdek van de kelder verdieping is gebleken dat het volume EPS voor een maximale EPS-bezetting per vierkante meter plaatoppervlakte overeenkomt met onderstaande waarde:

$$V_{EPS/m^2} = 0,107 m^3/m^2$$

Deze waarde wordt vermenigvuldigd met een percentage van 85 % en de plaatoppervlakte om zo te komen tot het totaal volume aan EPS in de vloerplaat.

$$V_{EPS} = 0,85 * 0,107 * 1516,85$$

$$V_{EPS} = 137,958 m^3$$

De EPS-blokken worden 10 millimeter in de onderschil getrild. Dit komt overeen met 4,35 % van het totale volume waardoor het volume aan ingetrild EPS bepaald kan worden met onderstaande formule:

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 0,0435 * 137,958$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 6,001 m^3$$

Aan de hand van bovenstaande gegevens kan het volume beton nodig om de onderschil te realiseren bepaald worden met volgende formule:

$$V_{beton} = V_{onderschil} - V_{onderwapening} - V_{tralie,ingebetonneerd} - V_{EPS(85\%),ingetrild}$$

$$V_{beto} = 75,843 - 2,912 - 0,146 - 6,001$$

$$V_{beton} = 66,784 m^3$$

Het totaal op te storten volume kan men bepalen door de dikte van de onderschil af te trekken van de totale vloerhoogte en deze waarde te vermenigvuldigen met de totale plaatoppervlakte:

$$V_{opstortlaag} = (0,350 - 0,050) * 1516,85$$

$$V_{opstortlaag} = 455,055 \text{ m}^3$$

Van dit totaal volume moet men het volume aan EPS, het volume aan bovenwapening en het volume aan tralieligger aanwezig in de op te storten laag aftrekken om tot het betonvolume te komen.

$$V_{EPS,opstort} = 0,9565 * 137,958$$

$$V_{EPS,opstort} = 131,956 \text{ m}^3$$

De bovenwapening bestaande uit de pons- en bijlegwapening wordt vermenigvuldigd met het totale plaatoppervlakte om het volume aan bovenwapening te bepalen:

$$V_{bovenwapening} = (0,19 + 1,92) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{bovenwapening} = 3,201 \text{ m}^3$$

Het in rekening te brengen volume aan tralieligger wordt bepaald door het resterende percentage ($100 - 30 = 70 \%$) te vermenigvuldigen met het volume aan tralieligger per oppervlakte-eenheid en de totale oppervlakte:

$$V_{tralieligger} = 0,70 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralieligger} = 0,340 \text{ m}^3$$

Het volume aan beton nodig om de opstort te berekenen kan nu bepaald worden aan de hand van volgende vergelijking:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieligger} - V_{EPS,opstort}$$

$$V_{opstort} = 455,055 - 3,201 - 0,340 - 131,956$$

$$V_{opstort} = 319,558 \text{ m}^3$$

Voor de afdek van de eerste verdieping dienen volgende materiaalhoeveelheden volgens tabel 69 in rekening te worden gebracht:

Tabel 69: Inventarisatie EPS niveau +1

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	66,784
Wapening	B500A	2,912
Tralieliggers	B500A	0,485
EPS-blokken	EPS	137,958
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,201
Opstort	C20/25	319,558

Afdek tweede verdieping

De afdek van de tweede verdieping wordt gerealiseerd met een vloerplaat van 350 millimeter. Tabel 70 is een weergave van de in rekening te brengen wapeningshoeveelheden:

Tabel 70: Wapeningshoeveelheden EPS niveau +2

Type wapening	Hoeveelheid (kg/m ²)	Volume (m ³ /m ²)
Onderwapening	14,0	1,79*10 ⁻³
Tralieliggers	2,5	0,32*10 ⁻³
Ponswapening	1,5	0,19*10 ⁻³
Bijlegwapening	14,5	1,86*10 ⁻³
Totaal	32,5	4,18*10⁻³

Het volume van de onderschil is identiek aan deze bij de afdek van het gelijkvloers en de afdek van de eerste verdieping:

$$V_{\text{onderschil}} = 1516,85 * 0,05 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{onderschil}} = 75,843 \text{ m}^3$$

Het volume aan onderwapening wordt met behulp van onderstaande formule berekend:

$$V_{\text{onderwapening}} = 1,79 * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{\text{onderwapening}} = 2,715 \text{ m}^3$$

Het volume aan tralieligger in de onderschil wordt bepaald door het ingebetonnerde percentage te vermenigvuldigen met het volume per oppervlakte-eenheid en de oppervlakte:

$$V_{\text{tralie,ingebetonneerd}} = 0,30 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralie,ingebetonneerd} = 0,146 \text{ m}^3$$

Het volume aan EPS-elementen in de onderschil wordt identiek aan deze bij de afdek van de eerste verdieping bepaald. Volgende resultaten wordt verkregen:

$$V_{EPS} = 0,85 * 0,107 * 1516,85$$

$$V_{EPS} = 137,958 \text{ m}^3$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 0,0435 * 137,958$$

$$V_{EPS(85\%),ingetrild} = 6,001 \text{ m}^3$$

Op basis van deze gegevens kan het volume aan beton nodig voor de realisatie van de onderschil bepaald worden:

$$V_{beton} = V_{onderschil} - V_{onderwapening} - V_{tralie,ingebetonneerd} - V_{EPS(85\%),ingetrild}$$

$$V_{beto} = 75,843 - 2,715 - 0,146 - 6,001$$

$$V_{beton} = 66,981 \text{ m}^3$$

Het totaal op te storten volume is identiek aan dit van de afdek van de eerste verdieping:

$$V_{opstortlaag} = (0,350 - 0,050) * 1516,85$$

$$V_{opstortlaag} = 455,055 \text{ m}^3$$

Bij dit volume moet een gedeelte van het volume EPS, het volume van de bovenwapening en een deel van het volume van de tralieliggers in mindering worden gebracht. Het volume aan EPS wordt analoog aan de afdek van de eerste verdieping bepaald:

$$V_{EPS,opstort} = 0,9565 * 137,958$$

$$V_{EPS,opstort} = 131,956 \text{ m}^3$$

De bovenwapening bestaande uit de pons – en bijlegwapening wordt vermenigvuldigd met de totale plaatoppervlakte om het volume aan bovenwapening te bepalen:

$$V_{bovenwapening} = (0,19 + 1,86) * 10^{-3} * 1516,85$$

$$V_{bovenwapening} = 3,110 \text{ m}^3$$

Het volume aan tralieligger is identiek aan dit van de afdek van de eerste verdieping en wordt als volgt bepaald:

$$V_{tralieligger} = 0,70 * (0,32 * 10^{-3} * 1516,85)$$

$$V_{tralieligger} = 0,340 \text{ m}^3$$

Het op te storten betonvolume kan nu gevonden worden met behulp van onderstaande vergelijking:

$$V_{opstort} = V_{opstortlaag} - V_{bovenwapening} - V_{tralieligger} - V_{EPS,opstort}$$

$$V_{opstort} = 455,055 - 3,110 - 0,340 - 131,956$$

$$V_{opstort} = 319,649 \text{ m}^3$$

Onderstaande tabel 71 geeft de in rekening te brengen materiaalhoeveelheden weer voor de afdek van de tweede verdieping:

Tabel 71: Inventarisatie EPS niveau +2

Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Beton	C30/37	66,981
Wapening	B500A	2,715
Tralieliggers	B500A	0,485
EPS-blokken	EPS	137,958
Bijleg- en Ponswapening	B500A	3,110
Opstort	C20/25	319,649

6.6.2 Dragende wanden breedplaat met EPS – elementen

De volumes van de dragende wanden komen volledig overeen met deze bij het Airdeck vloersysteem. Voor de gedetailleerde berekening wordt verwezen naar paragraaf 6.4.2. Onderstaand worden enkel de resultaten weergegeven:

$$V_{wapening} = 2,348 \text{ m}^3$$

$$V_{beton} = 302,786 \text{ m}^3$$

6.6.3 Kolommen breedplaat met EPS – elementen

De kolommen van de dragende structuur bij een vloerplaat met EPS-elementen komen volledig overeen met deze bij toepassing van Airdeck®-vloerplaten. Omwille van deze reden wordt voor een gedetailleerde berekening verwezen naar paragraaf 6.4.2 en worden onderstaand enkel de resultaten meegegeven:

$$V_{wapening,totaal} = 1,091 \text{ m}^3$$

$$V_{beton} = 49,18 \text{ m}^3$$

6.6.4 Fundering breedplaat met EPS – elementen

De fundering kent exact dezelfde opbouw als bij de uitvoering met het Airdeck – vloersysteem. Voor een gedetailleerder berekening wordt verwezen naar paragraaf 6.4.4. Onderstaand worden enkel de resultaten weergegeven:

$$V_{beton,fundering} = 1\,409,69 \text{ m}^3$$

$$V_{wapening,fundering} = 19,08 \text{ m}^3$$

6.6.5 Materiaalhoeveelheden breedplaat met EPS gebouwniveau

Tabel 72 geeft een overzicht van de materiaalhoeveelheden welke in rekening worden gebracht voor een uitvoering met vloerplaten waarin EPS-elementen zijn verwerkt. Voor het transport van deze materialen wordt een eenheidsafstand van 25 km in rekening gebracht.

Tabel 72: Overzicht materiaalhoeveelheden breedplaat met EPS

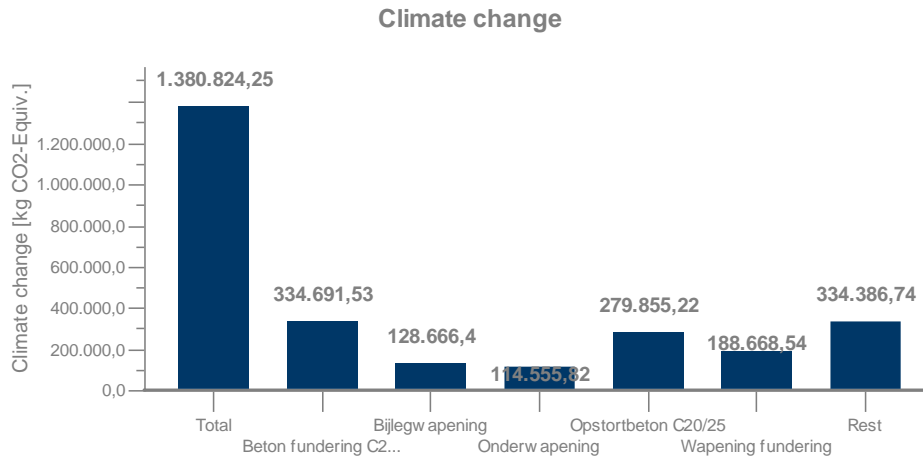
Materiaal	Materiaaltype	Volume (m ³)
Vloerplaten		
Breedplaat met EPS		
Beton	C30/37	275,455
Wapening	B500A	11,585
Tralieliggers	B500A	1,995
EPS-blokken	EPS	547,805
Bijleg- en Ponswapening	B500A	13,012
Opstort	C20/25	1 312,46
Breedplaat		
Beton	C30/37	40,447
Wapening	B500A	1,297
Tralieliggers	B500A	0,310
Bijleg- en Ponswapening	B500A	2,117
Opstort	C20/25	282,154
Dragende wanden		
Beton	C25/30	302,786
Wapening	B500A	2,348
Kolommen		
Beton	C30/37	49,180
Wapening	B500A	1,091
Fundering		
Beton	C20/25	1 409,69
Wapening	B500A	19,08

6.6.6 LCA breedplaat met EPS – elementen gebouwniveau

Bovenstaande materiaalhoeveelheden worden volgens bijlage 28 in de LCA-software ingegeven. Indien men gebruik maakt van breedplaten met EPS-elementen, verloopt de opbouw analoog aan deze bij het Airdeck® vloersysteem. Het gebouw wordt opgebouwd uit een fundering, dragende wanden, kolommen en vloerplaten. Deze vloerplaten worden onderverdeeld in massieve vloerplaten en vloerplaten met EPS-elementen. Voor alle materialen welke naar de werf getransporteerd worden, werd een eenheidstransport van 25 km in rekening gebracht.

6.6.7 Resultaten breedplaat met EPS – elementen gebouwniveau

Op basis van de LCA-analyse en materiaalhoeveelheden worden de resultaten in grafiekvorm volgens figuur 48 en bijlage 29 bekomen voor een uitvoering met breedplaten in combinatie met EPS-lichtgewicht elementen.



Figuur 48: CC breedplaat met EPS gebouwniveau

Uit deze resultaten blijkt dat naast het beton en de wapening een derde significante impactgroep ontstaat. Ten opzichte van de massieve breedplaten kan geconcludeerd worden dat de restgroep (= elektriciteit + diesel + EPS-elementen) groter wordt. Dit kan verklaard worden door de verhoogde impact welke ontstaat tijdens de productie van de EPS- lichtgewicht elementen. Tabel 73 geeft een kwantitatieve samenvatting van de resultaten van alle veronderstelde criteria op gebied van gebouwniveau voor een breedplaat met EPS-elementen als vloersysteem.

Tabel 73: Resultaten breedplaat met EPS gebouwniveau

Indicator	Waarde	Eenheid
CC	1,38E+06	kg CO2 - eq
TA	2,54E+03	kg SO2 - eq
FE	1,58	kg P - eq
OD	4,73E-03	kg CFC-11 - eq
FD	2,38E+05	kg oil - eq
FET	128,00	kg 1,4-DB - eq
HT	6,80E+04	kg 1,4-DB - eq
IR	1,44E+04	kg U235 - eq
MET	53,00	kg 1,4-DB - eq
ME	779,00	kg N - eq
MD	1,69E+05	kg FE - eq
NLT	0,00	m ²
PMF	1,02E+03	kg PM-10 - eq
POF	2,61E+03	kg NMVOC - eq
TET	45,50	kg 1,4-DB - eq
WD	2,34E+05	m ³

6.7 Besluit gebouwniveau

Het gebouwniveau bestaat uit een abstractie van het Hollandsch Huys zoals beschreven in paragraaf 6.3. Al de materialen worden via een eenheidstransport van 25 km getransporteerd naar de werf. Een overzicht van de bekomen resultaten uit hoofdstuk 5 wordt weergegeven in tabel 74.

Tabel 74: Overzicht resultaten gebouwniveau

Indicator	Breedplaat	Airdeck	EPS	Eenheid
CC	1,53E+06	1,26E+06	1,38E+06	kg CO2 - eq
TA	2,77E+03	2,32E+03	2,54E+03	kg SO2 - eq
FE	1,73	1,41	1,58	kg P - eq
OD	4,87E-03	4,32E-03	4,73E-03	kg CFC-11 - eq
FD	2,56E+05	2,17E+05	2,38E+05	kg oil - eq
FET	137,00	116,00	128,00	kg 1,4-DB - eq
HT	7,43E+04	6,27E+04	6,80E+04	kg 1,4-DB - eq
IR	1,49E+04	1,25E+04	1,44E+04	kg U235 - eq
MET	57,00	47,60	53,00	kg 1,4-DB - eq
ME	851,00	711,00	779,00	kg N - eq
MD	1,80E+05	1,58E+05	1,69E+05	kg FE - eq
NLT	0,00	0,00	0,00	m ²
PMF	1,12E+03	932,00	1,02E+03	kg PM-10 - eq
POF	2,80E+03	2,35E+03	2,61E+03	kg NMVOC - eq
TET	46,60	40,00	45,50	kg 1,4-DB - eq
WD	2,64E+05	2,10E+05	2,34E+05	m ³

Op basis van deze resultaten kan besloten worden dat op gebouwniveau een uitvoering met Airdeck® vloerplaten het meest gunstigste is voor het milieu. Op alle zestien impactcategorieën scoort dit systeem beter dan een systeem met massieve vloerplaten of een systeem met EPS-elementen. Ook blijkt dat de impactwaarden van het systeem met EPS-elementen over het algemeen lager liggen dan deze van het systeem met de massieve vloerplaten.

Om de drie vloersystemen met elkaar te kunnen vergelijken, worden de resultaten van tabel 74 omgerekend naar procentuele verschillen. Dit gebeurt aan de hand van onderstaande formule. De resultaten van deze omrekening worden weergegeven in tabel 75.

$$\text{Procentueel verschil} = \left(\frac{\text{Impact}_{\text{breedplaat}}}{\text{Impact}_{\text{Airdeck}}} - 1 \right) * 100 \%$$

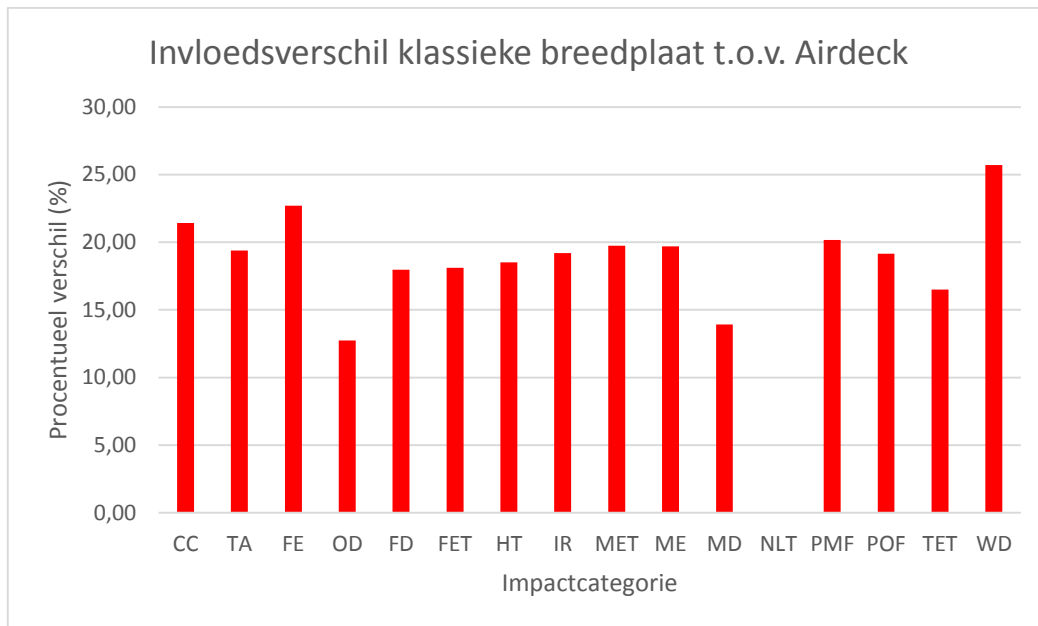
Tabel 75: Procentuele waarden resultaten gebouwniveau

Indicator	Klassieke breedplaat (%)	Breedplaat met EPS (%)
CC	21,43	9,52
TA	19,40	9,48
FE	22,70	12,06
OD	12,73	9,49
FD	17,97	9,68
FET	18,10	10,34
HT	18,50	8,45
IR	19,20	15,20
MET	19,75	11,34
ME	19,69	9,56
MD	13,92	6,96
NLT	0,00	0,00
PMF	20,17	9,44
POF	19,15	11,06
TET	16,50	13,75
WD	25,71	11,43
Gemiddelde (%)	17,81	9,86
Vershil in impact (%)	17,81	9,86

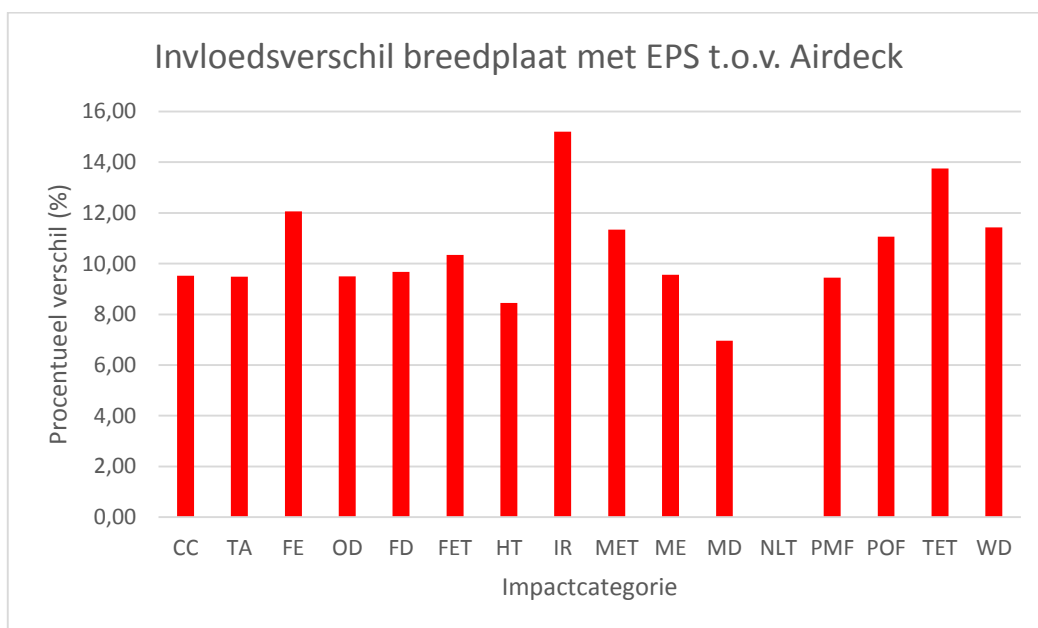
Uit tabel 75 kan besloten worden dat de impact zowel bij het toepassen van massieve breedplaten als bij het toepassen van breedplaten met EPS-elementen steeds nadeliger is dan bij de toepassing van het Airdeck® vloersysteem. Doordat alle waarden steeds nadeliger zijn, is het gemiddelde procentuele verschil gelijk aan het reële procentuele verschil in milieu-impact. Voor beide systemen blijkt dat de spreiding van de resultaten eerder beperkt is.

Globaal kan er gesteld worden dat bij toepassing van massieve breedplaten de milieu-impact met 17,81 % stijgt ten opzichte van bij de toepassing van het Airdeck® vloersysteem. Deze stijging bedraagt 9,86 % bij het toepassen van breedplaten met EPS-elementen.

Indien de procentuele impactsverschillen grafisch worden voorgesteld, worden figuur 49 voor de klassieke breedplaten en figuur 50 voor de breedplaten met EPS-elementen bekomen.



Figuur 49: Procentuele invloed klassieke breedplaat gebouwniveau



Figuur 50: Procentuele invloed breedplaat met EPS gebouwniveau

De studie op gebouwniveau toont aan dat het Airdeck® vloersysteem, binnen de geldende randvoorwaarden en veronderstellingen, een lagere milieu-impact heeft dan het systeem met massieve vloerplaten en het systeem met EPS-elementen. Deze systemen oefenen respectievelijk 17,81 % en 9,86 % meer impact uit op het milieu. De toename in impact bij het systeem met massieve breedplaten kan men verklaren door de aanzienlijke meerwaarde aan beton- en wapeningsvolume dat men nodig heeft bij dit type vloerplaat.

Bij de breedplaten met EPS-elementen kan men stellen dat de toename in impact

kleiner wordt dan deze op component – en systeemniveau. Dit kan verklaard worden doordat de relatieve invloed van de toegepaste EPS-elementen steeds kleiner wordt.

7 Besluit

Om de invloed van Airdeck® op de levenscyclus van een kantoorgebouw te bepalen werd een LCA-analyse op drie niveaus uitgevoerd. Per niveau werd eenzelfde analyse gemaakt voor een Airdeck vloersysteem, een vloersysteem bestaande uit een klassieke breedplaat met massieve opstort en een vloersysteem bestaande uit een breedplaat onderschil in combinatie met EPS-lichtgewicht elementen.

Primair werd er een analyse gemaakt op componentniveau. Dit niveau omvat de productie van de geprefabriceerde onderschil van wieg tot fabriekspoort. Uit de resultaten blijkt dat een onderschil met Airboxen en een onderschil van een klassieke breedplaat slechts een verschil van 2,09 % in milieu-impact hebben waarbij het Airdeck® systeem net beter scoort dan deze van de klassieke breedplaat. Het systeem met EPS-elementen scoort op dit niveau 78,24 % negatiever dan het Airdeck® systeem. Dit grote verschil kan verklaard worden doordat Airboxen bestaan uit gerecycleerd polypropyleen, bij de EPS-elementen past men geen gerecycleerd materiaal toe waardoor een hogere impact bekomen wordt.

Vervolgens werd een studie op systeemniveau gemaakt. Dit niveau bestaat uit de geprefabriceerde onderschil zoals besproken in het componentniveau, de bovenwapening en de opstortbeton. Voor elk van de systemen werden dezelfde dimensies in rekening gebracht. Alle materialen ondergingen eenzelfde eenheidstransport om het transport naar de werf in rekening te brengen. Uit de resultaten van dit niveau blijkt dat het Airdeck® vloersysteem 25,40 % minder impact uitoefent op het milieu dan het systeem met massieve opstort. Ten opzichte van het systeem met EPS-elementen bedraagt de milieu-impact van Airdeck® gemiddeld 39,06 % minder.

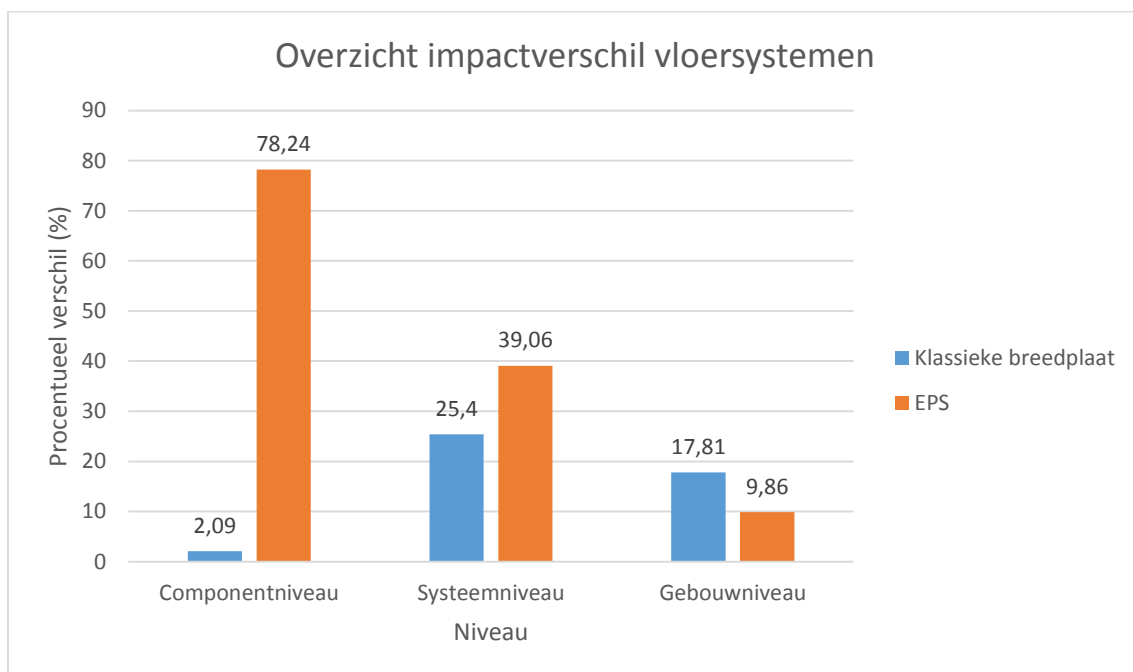
Opvallend is dat op dit niveau het verschil met massieve breedplaten veel groter wordt dan op het componentniveau. Dit kan verklaard worden doordat massieve breedplaten een veel groter op te storten volume hebben dan het systeem met Airboxen. Het verschil tussen Airdeck® en breedplaten met EPS-elementen verkleint ten opzichte van het componentniveau. Dit kan verklaard worden doordat het aandeel van de impact van de EPS-elementen minder is ten opzichte van voorgaand componentniveau en dat het op te storten beton aanzienlijk verminderd.

Tot slot werd een analyse op gebouwniveau gemaakt. Voor dit niveau werd, mits het in rekening brengen van enkele abstracties, gebruik gemaakt van het referentiegebouw het Hollandsch Huys te Hasselt. Er is voor dit gebouw gekozen omdat men hier gebruik gemaakt heeft van het Airdeck® vloersysteem. Dit niveau omvat de fundering, de vloerplaten en de dragende wanden en kolommen. Bij deze vloerplaten is rekening gehouden met de dikte welke nodig is om de nodige overspanningen te bereiken. Analooq aan het systeemniveau werd er voor alle materialen een eenheidstransport in rekening gebracht om het transport naar de fabriek en naar de werf voor te stellen.

Uit de resultaten blijkt dat bij toepassing van Airdeck® vloersysteem het gebouw een lagere milieu-impact heeft dan bij toepassing van massieve breedplaten en breedplaten met EPS-elementen. De toename in impact van beide systemen bedraagt respectievelijk 17,81 % en 9,86 %.

Ten opzichte van het systeemniveau daalt de verhoging van de milieu-impact voor beide systemen.

Globaal gezien kan men, rekening houdend met de toegepaste abstracties en gekozen vloersystemen, stellen dat op structuurniveau het Airdeck® vloersysteem een positieve invloed uitoefent op de levenscyclusanalyse van een gebouw. Figuur 51 geeft voor de twee vergelijkende vloersystemen (massieve vloerplaten en vloerplaten met EPS-elementen) de toename in milieu-impact per onderzocht niveau weer. Hieruit blijkt dat voor elk onderzocht niveau, het Airdeck® vloersysteem de meest gunstige waarden bereikt inzake impact op het milieu.



Figuur 51: Overzicht impactverschil vloersystemen

Binnen deze studie is er enkel gekeken naar de invloed van Airdeck® als structurelement. Hierdoor loopt deze analyse slechts tot de constructiefase van het gebouw. In verdere studies kan men trachten na te gaan wat de invloed is tijdens de gebruiks- en afbraakfase van het gebouw om zo tot een globaal beeld te vormen van de totale invloed van Airdeck®. Voorts kan men ook een studie uitvoeren naar het exacte productieproces van Airboxen om zo de levenscyclusanalyse te optimaliseren. Tot slot kan men ook nagaan wat de invloed van de drie systemen is bij het toepassen van betonkernactivering.

Literatuurlijst

- [1] “Levenscyclusanalyse”, RVO. [Online]. Beschikbaar: www.rvo.nl. [Geraadpleegd op 10 november 2014].
- [2] Janssen A., “Principes en aandachtspunten bij de keuze voor duurzame bouwmaterialen”, Levenscyclusanalyse, UHasselt, Diepenbeek, 2012.
- [3] Airdeck. [Online]. Beschikbaar: www.airdeck.be. [Geraadpleegd op 12 november 2014].
- [4] “Airdeck lichtgewichtvloersysteem”, Airdeck. [Online]. Beschikbaar: www.airdeckbuildingconcepts.com. [Geraadpleegd op 12 november 2014].
- [5] “Technische specificaties”, Airdeck Building Concepts, versie 8, pp. 17-24, augustus 2014.
- [6] “breedplaatvloeropbouw”, De archi~fkast. [Online]. Beschikbaar: www.bouwonderwijs.net/ARCHI~Fkast/Verzamelde-Projecten/5_Berg/ARCHI~Formulier_bestanden/Technische%20Omschrijving/Vloeren/Begane-grond-vloeren/opbouwvloeren.htm. [Geraadpleegd op 9 december 2014].
- [7] “Folder Breedplaatvloer”, Havebo Groep. [Online]. Beschikbaar: www.havebo.nl/pagina/downloads.html. [Geraadpleegd op 9 december 2014].
- [8] “Agbeelding breedplaat”, Betonson Prefab. [Online]. Beschikbaar: www.betonson.com. [Geraadpleegd op 9 december 2014].
- [9] “Breedplaten uit gewapend beton”, kerkstoel2000+. [Online]. Beschikbaar: www.kerkstoel2000.be. [Geraadpleegd op 11 december 2014].
- [10] “Technische brochure – Breedplaatvloeren”, FEBE, 2012. [Online]. Beschikbaar: www.febe.be. [Geraadpleegd op 11 december 2014].
- [11] “De Breedplaatvloer”, Breedplaatinfo. [Online]. Beschikbaar: www.breedplaatinfo.nl. [Geraadpleegd op 11 december 2014].
- [12] “bridging architecture, stability & technics.”, The lightweight floorsystem, 2013. [Online]. Beschikbaar: www.airdeckbuildingconcepts.com/assets/Airdeck-NL.pdf. [Geraadpleegd op 12 november 2014].

- [13] “3D Airdeck vloersysteem”, Airdeck.
- [14] “Airdeck Stability”, Airdeck intelligent floorsystems. [Online]. Beschikbaar: www.airdeckbuildingconcepts.com. [Geraadpleegd op 12 november 2014].
- [15] “PSB-Ponswapening”, Peikko Group, [Online]. Beschikbaar: www.peikko.nl. [Geraadpleegd op 24 november 2014].
- [16] “Evenaar”, Van Der Blij B.V., [Online]. Beschikbaar: www.vanderblij.nl/hijzen/evenaars-hijstraversen/evenaars-standaard/. [Geraadpleegd op 24 november 2014].
- [17] “Betonkernactivering”, Airdeck, [Online]. Beschikbaar: www.airdeck.be/nl/?n=152. [Geraadpleegd op 24 november 2014].
- [18] “Vloerplaten met Polystyreen”, kerkstoel2000+, [Online]. Beschikbaar: www.kerkstoel2000.be. [Geraadpleegd op 24 november 2014].
- [19] “Toepassingen van EPS”, iso-star, [Online]. Beschikbaar: www.iso-star.be/nl_produkt-eps.php. [Geraadpleegd op 29 november 2014].
- [20] prof. ir. H.W. Bennenk, “Het produceren van elementen”, Prefab Beton, 2002. [Online]. Beschikbaar: www.ab-fab.nl/Documenten/PBTO-hoofdstuk-03.pdf. [Geraadpleegd op 29 november 2014].
- [21] ir. M. den Boom, “V(l)oer voor Vernieuwing: 19 moderne vloersystemen voor de bouw”, Stichting Research Rationalisatie Bouw, 2007. [Online]. Beschikbaar: www.bouwendnederland.nl/download.php?itemID=28542. [Geraadpleegd op 29 november 2014].
- [22] OMNIA plaatvloer b.v..[Online]. Beschikbaar: www.omniaplaatvloer.nl/producten/#anchor2. [Geraadpleegd op 1 december 2014].
- [23] “Polyplaatvloer”, OMNIA plaatvloer b.v.. [Online]. Beschikbaar: <http://omniaplaatvloer.nl/uploads/downloads/OmniaPolyplaatvloer.pdf?PHPSESSID=921762ff0cbbc8c2a1c010483c6d97df>. [Geraadpleegd op 1 december 2014].
- [24] “Poly-plaatvloer”. [Online]. Beschikbaar: www.bouwonderzoek.nl/POLY-PLAATVLOER.htm. [Geraadpleegd op 15 december 2014].

- [25] “KOMO attest met productcertificaat gewapende breedplaatvloer en Polyplaatvloer”, Betonson Prefab B.V. [Online]. Beschikbaar: www.betonson.com/downloads/. [Geraadpleegd op 15 december 2014].
- [26] Janssen A., “Duurzaam bouwen – H5: milieuaspecten”, principes en aandachtspunten bij de keuze voor duurzame bouwmaterialen, UHasselt, Diepenbeek, 2012.
- [27] “Levenscyclusanalyse”, WTCB, [Online]. Beschikbaar: www.wtcb.be. [Geraadpleegd op 13 maart 2015].
- [28] Hoogmartens J., “Workshop: Dynamisch simuleren van GEOTABS-gebouwen”, Hollansch Huys, KU Leuven, Departement Leuven.
- [29] Hollandsch Huys. [Online]. Beschikbaar: www.hollandshuis.be. [Geraadpleegd op 5 februari 2015].
- [30] “Betonkernactivering”, Airdeck, 2007. [Online]. Beschikbaar: www.airdeck.be. [Geraadpleegd op 5 februari 2015].
- [31] Meers K., , “Nieuwe verwarming Houben vult verwachting in”, made in Limburg, 12 november 2012. [Online]. Beschikbaar: www.madeinlimburg.be. [Geraadpleegd op 5 februari 2015].
- [32] “GaBi 6 Learning Center“, GaBi. [Online]. Beschikbaar: www.gabi-software.com. [Geraadpleegd op 20 februari 2015].
- [33] “Quick introduction into ReCiPe LCIA Methodology”, ReCiPe, 2008.[Online]. Beschikbaar: www.lcia-recipe.net. [Geraadpleegd op 14 maart 2015].
- [34] “Tralieliggers”, INTERSIG, 2015. [Online]. Beschikbaar: www.intersig.be. [Geraadpleegd op 14 maart 2015].
- [35] “Duurzaamheidsrapport Kerkstoel2000+”, Kerkstoel2000+, Grobbendonk, 2014.
- [36] “Kunststoffen”, ECODESIGN, 2015. [Online]. Beschikbaar: www.ecodesign.be. [Geraadpleegd op 15 mei 2015].

Bijlagen

Bijlage 1: Productfiche AB120	168
Bijlage 2: Types Airboxen.....	169
Bijlage 3: Vloerhoogte i.f.v. type Airbox bij een onderschil 60 mm	170
Bijlage 4: Milieu-impactcategorieën en - indicatoren	171
Bijlage 5: Energieprestatiecertificaat Hollansch Huys.....	174
Bijlage 6: Boxenplan niveau +2.....	175
Bijlage 7: GaBi – overeenkomst.....	176
Bijlage 8: GaBi-software klassieke breedplaat componentniveau	177
Bijlage 9: Resultaten LCA klassieke breedplaat componentniveau	178
Bijlage 10: GaBi-software Airdeck componentniveau	183
Bijlage 11: Resultaten LCA Airdeck componentniveau	184
Bijlage 12: GaBi-software breedplaat met EPS componentniveau	189
Bijlage 13: Resultaten LCA breedplaat met EPS componentniveau.....	190
Bijlage 14: GaBi-software klassieke breedplaat systeemniveau	195
Bijlage 15: Resultaten LCA klassieke breedplaat systeemniveau.....	196
Bijlage 16: GaBi-software Airdeck systeemniveau	201
Bijlage 17: Resultaten LCA Airdeck systeemniveau.....	202
Bijlage 18: GaBi-software breedplaat met EPS systeemniveau	207
Bijlage 19: Resultaten LCA breedplaat met EPS systeemniveau	208
Bijlage 20: Plan afdek kelderniveau.....	213
Bijlage 21: Plan afdek gelijkvloers	214
Bijlage 22: Doorsnede Hollansch Huys	215
Bijlage 23: Plan kelderniveau.....	216
Bijlage 24: GaBi-software Airdeck gebouwniveau	217
Bijlage 25: Resultaten LCA Airdeck gebouwniveau	219
Bijlage 26: GaBi-software klassieke breedplaat gebouwniveau	224
Bijlage 27: Resultaten LCA klassieke breedplaat gebouwniveau	226
Bijlage 28: GaBi-software breedplaat met EPS gebouwniveau.....	231
Bijlage 29: Resultaten LCA breedplaat met EPS gebouwniveau	233






Bijlage 1: Productfiche AB120

The drawing includes the following views and dimensions:

- Top View:** Shows a square profile with an outer width of 211.5 mm and an inner width of 91.2 mm. The corner radius is R26.75 mm. The thickness of the top flange is 3.0 mm.
- Side View:** Shows the profile's height of 1.20 mm.
- SECTION B-B:** A detailed cross-section showing a total width of 120 mm and a height of 25 mm. It features a top flange with a thickness of 2.20 mm and a fillet radius of R1.8 mm. The bottom flange has a thickness of 1.5 mm and a chamfered edge with a 47.5° angle. A central channel has a width of 9 mm.
- 3D Perspective Views:** Two views showing the profile's depth and the arrangement of the top and bottom flanges, with a total depth of 199.58 mm.

AIRBOX 120 CLASSIC		Serial: 1:5	Size: A4
MODEL PROPERTIES: Height: 120 mm Thickness: 1.5 - 2.2 mm Scheduling: 39 mm Volume: 4371581 mm ³ Weight: 257 gr		MATERIAL PROPERTIES: Material: Recycled PP Shrinkage: 10 % Young's Modulus: 35 MPa Melting Point: 163 °C Density: 0.910 g/cc	
DIMENSIONS: Angular: 123° Radius: 123.0°		REVISIONS:	
+/- 0.5* +/- 0.1 mm +/- 0.1 mm +/- 0.01 mm		Ref. nr.: AB120CL-0	Name:
+/- 0.01 mm		Rev. 1:	Date:
+/- 0.01 mm		Rev. 2:	Date:
+/- 0.01 mm		Rev. 3:	Date:
+/- 0.01 mm		Drawing 0:	Date:
+/- 0.01 mm		Hvb:	10/03/2013

Bijlage 2: Types Airboxen

	Vloerdikte (mm)	Productnaam	Boxvolume (m ³)	Soortelijk gewicht (kg/m ³)	Gewicht A indeck (kg/m ²)	Gewichtsbesparing (%)	O p stort beton (m ³ /m ²)	O vers panning enkeivelds (m)	O verspanning meerveel ds (m)
B120 	220	A220/60/B120	0,0041	1999	437,50	20,45%	0,115	5,5	7,0
	230	A230/60/B120	0,0041	2011	462,50	19,57%	0,125	5,6	7,1
	240	A240/60/B120	0,0041	2031	487,50	18,75%	0,135	5,7	7,2
	250	A250/60/B120	0,0041	2050	512,50	18,00%	0,145	5,8	7,3
	260	A260/60/B120	0,0041	2067	537,50	17,31%	0,155	5,9	7,4
	270	A270/60/B120	0,0041	2083	562,50	16,67%	0,165	6,0	7,5
B180 	280	A280/60/B180	0,0063	1880	526,33	24,81%	0,151	6,5	8,0
	290	A290/60/B180	0,0063	1901	551,33	23,95%	0,161	6,6	8,1
	300	A300/60/B180	0,0063	1921	576,33	23,16%	0,171	6,7	8,2
	310	A310/60/B180	0,0063	1940	601,33	22,41%	0,181	6,8	8,3
	320	A320/60/B180	0,0063	1957	626,33	21,71%	0,191	6,9	8,4
	330	A330/60/B180	0,0063	1974	651,33	21,05%	0,201	7,0	8,5
B240 	340	A340/60/B240	0,0086	1798	611,22	28,09%	0,184	7,7	9,0
	350	A350/60/B240	0,0086	1818	636,22	27,29%	0,194	7,9	9,2
	360	A360/60/B240	0,0086	1837	661,22	26,53%	0,204	8,1	9,4
	370	A370/60/B240	0,0086	1855	686,22	25,81%	0,214	8,3	9,6
	380	A380/60/B240	0,0086	1872	711,22	25,13%	0,224	8,5	9,8
B290 	390	A390/60/B290	0,0105	1749	682,01	30,05%	0,213	9,3	10,5
	400	A400/60/B290	0,0105	1768	707,01	29,30%	0,223	9,5	10,7
	410	A410/60/B290	0,0105	1785	732,01	28,58%	0,233	9,7	10,9
	420	A420/60/B290	0,0105	1802	757,01	27,90%	0,243	9,9	11,1
	430	A430/60/B290	0,0105	1819	782,01	27,25%	0,253	10,1	11,3
	440	A440/60/B290	0,0105	1834	807,01	26,64%	0,263	10,3	11,5
B350 	450	A450/60/B350	0,0129	1704	766,77	31,84%	0,247	10,8	12,0
	460	A460/60/B350	0,0129	1721	791,77	31,15%	0,257	11,0	12,2
	470	A470/60/B350	0,0129	1738	816,77	30,49%	0,267	11,2	12,4
	480	A480/60/B350	0,0129	1754	841,77	29,85%	0,277	11,4	12,6
	490	A490/60/B350	0,0129	1769	866,77	29,24%	0,287	11,6	12,8
	500	A500/60/B350	0,0129	1784	891,77	28,66%	0,297	11,8	13,0

Bijlage 3: Vloerhoogte i.f.v. type Airbox bij een onderschil 60 mm

Gewichten - volumes Airdeck - onderschil 60 mm							
Vul in:		Soortelijk gewicht beton: <input type="text" value="2400"/>					
		Schatting Airboxbezetting % : <input type="text" value="100"/>					
Type	Vloer hoogte mm	hoogte Airbox mm	Druklaag op Airboxen mm	Gewicht Vloerplaat kg/m ²	Soortelijk gewicht kg/m ³	Besparing	Opstort beton m ³ /m ²
A220/60	220	120	50	420	1909	20,45%	0,115
A230/60	230	120	60	444	1930	19,56%	0,125
A240/60	240	120	70	468	1950	18,75%	0,135
A250/60	250	120	80	492	1968	18,00%	0,145
A260/60	260	120	90	516	1985	17,31%	0,155
A270/60	270	120	100	540	2000	16,67%	0,165
A280/60	280	180	50	505	1805	24,81%	0,151
A290/60	290	180	60	529	1825	23,95%	0,161
A300/60	300	180	70	553	1844	23,15%	0,171
A310/60	310	180	80	577	1862	22,41%	0,181
A320/60	320	180	90	601	1879	21,71%	0,191
A330/60	330	180	100	625	1895	21,05%	0,201
A340/60	340	240	50	587	1726	28,09%	0,184
A350/60	350	240	60	611	1745	27,29%	0,194
A360/60	360	240	70	635	1763	26,53%	0,204
A370/60	370	240	80	659	1781	25,81%	0,214
A380/60	380	240	90	683	1797	25,13%	0,224
A390/60	390	290	50	655	1679	30,05%	0,213
A400/60	400	290	60	679	1697	29,30%	0,223
A410/60	410	290	70	703	1714	28,58%	0,233
A420/60	420	290	80	727	1730	27,90%	0,243
A430/60	430	290	90	751	1746	27,25%	0,253
A440/60	440	290	100	775	1761	26,63%	0,263
A450/60	450	350	50	736	1636	31,84%	0,247
A460/60	460	350	60	760	1652	31,15%	0,257
A470/60	470	350	70	784	1668	30,48%	0,267
A480/60	480	350	80	808	1684	29,85%	0,277
A490/60	490	350	90	832	1698	29,24%	0,287
A500/60	500	350	100	856	1712	28,66%	0,297

Bijlage 4: Milieu-impactcategorieën en - indicatoren

Overzicht van de milieu-impactcategorieën en –indicatoren in de Europese geharmoniseerde normen voor de milieu-evaluatie van bouwproducten en gebouwen (CEN indicatoren)			
Indicatoren aangaande milieu-impacten			
Indicator		Eenheid	Beschrijving
Klimaatverandering, broeikaseffect	Global warming potential (GWP)	kg CO ₂ equiv	Emissies van broeikasgassen, die aanleiding geven tot een stijging van de temperatuur in de onderste atmosferelagen (vb. CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CFKs, CO, ...).
Aantasting van de stratosferische ozonlaag	Depletion potential of the stratospheric ozone layer (ODP)	kg CFC 11 equiv	Emissies naar de lucht van stoffen, die de stratosferische ozonlaag aantasten (vb. CFKs, HCFCs, CCl ₄ , ...).
Verzuring van bodem en waterbronnen	Acidification potential of land and water (AP)	kg (SO ₂) ²⁻ equiv	Emissies naar de lucht van stoffen, die zure regen veroorzaken (vb. NO _x , SO ₂ , NH ₃ , VOS, HCl, ...).
Vermesting van water	Eutrophication potential (EP)	kg (PO ₄) ³⁻ equiv	Emissies naar de lucht en het water van stoffen, die een overmaat aan voedingsstoffen in meren, rivieren en oceanen veroorzaken (vb. P- en N-verbindingen).
Vorming van fotochemische oxidanten, smogvorming	Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants (POCP)	kg ethene equiv	Emissies naar de lucht van stoffen, die leiden tot de productie van troposferisch ozon of smog (vb. NO _x , VOCs, CH ₄ , CO, ...).
Uitputting van abiotische grond-stoffen, mineralen	Abiotic resource depletion potential for elements (ADP_e)	kg SB* equiv * SB = antimoon	antimoon Uitputting van minerale grondstoffen.
Uitputting van abiotische grond-stoffen, fossiele brandstoffen	Abiotic resource depletion potential of fossil fuels (including feedstock) (ADP_f)	MJ, netto calorische waarde	Uitputting van fossiele grondstoffen.
Indicatoren aangaande grondstoffenverbruik			
Indicator		Eenheid	
Gebruik van hernieuwbare	Use of renewable primary	MJ, netto calorische waarde	

primaire energie (energiebronnen), exclusief energie gebruikt als primaire grondstof (basismateriaal)	energy (energy resources) not including energy used as raw material (feedstock)		
Gebruik van hernieuwbare primaire energie als primaire grondstof (basismateriaal)	Use of renewable primary energy used as raw material (feedstock)	MJ, netto calorische waarde	
Gebruik van niet-hernieuwbare primaire energie (energiebronnen), exclusief energie gebruikt als primaire grondstof (basismateriaal)	Use of non-renewable primary energy (energy resources) not including energy used as raw material (feedstock)	MJ, netto calorische waarde	
Gebruik van niet-hernieuwbare primaire energie als primaire grondstof (basismateriaal)	Use of non-renewable primary energy used as raw material (feedstock)	MJ, netto calorische waarde	
Gebruik van secundair materiaal	Use of secondary material	kg	
Gebruik van hernieuwbare secundaire brandstoffen	Use of renewable secondary fuels	MJ	
Gebruik van niet-hernieuwbare secundaire brandstoffen	Use of non-renewable secondary fuels	MJ	
Nettogebruik van zoetwater	Use of net fresh water	m ³	
Indicatoren aangaande afvalcategorieën			
Indicator		Eenheid	
Verwijdering van gevaarlijk afval	Hazardous waste disposed	kg	
Verwijdering van niet-gevaarlijk afval	Non-hazardous waste disposed	kg	
Verwijdering van radioactief afval	Radioactive waste disposed	kg	
Indicatoren aangaande outputstromen, die het systeem verlaten			
Indicator		Eenheid	
Componenten voor hergebruik	Components for reuse	kg	
Materialen voor recyclage	Materials for recycling	kg	
Materialen voor energierugwinning (andere dan afvalverbranding)	Materials for energy recovery (not being waste incineration)	kg	
Geëxporteerde energie	Exported energy	MJ voor elke energiedrager	
Voorbeelden van bijkomende milieu-impactcategorieën en –indicatoren, zoals opgenomen in de LCA-impactanalyse methode ReCiPe.			
Indicator		Eenheid	Beschrijving
Fijnstofvorming	Particulate matter formation	kg PM ₁₀ equiv	Emissies naar de lucht van zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer.
Ioniserende straling	Ionising radiation	kg ²³⁵ U equiv	Ioniserende of radioactieve straling.

Menselijke toxiciteit	Human toxicity	kg 1,4 DB* equiv *DB = dichloor- benzeen	Emissies naar de bodem, het water en de lucht, die (uiteindelijk) resulteren in schade aan de menselijke gezondheid (vb. zware metalen, dioxines, VOCs, NO _x , SO ₂ , fijn stof, POPs, ...).
Ecotoxiciteit, bodem	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4 DB* equiv *DB = dichloor- benzeen	Emissies naar de bodem en de lucht, die (uiteindelijk) resulteren in schade aan ecosystemen (flora en fauna) in de bodem (vb. zware metalen, pesticiden, POPs, ...).
Ecotoxiciteit, zoetwater	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4 DB* equiv *DB = dichloor- benzeen	Emissies naar het water en de lucht, die (uiteindelijk) resulteren in schade aan ecosystemen (flora en fauna) in zoetwater (vb. zware metalen, zuren, pesticiden, POPs, ...).
Ecotoxiciteit, zoutwater	Marine ecotoxicity	kg 1,4 DB* equiv *DB = dichloor- benzeen	Emissies naar het water en de lucht, die (uiteindelijk) resulteren in schade aan ecosystemen (flora en fauna) in zeeën en oceanen (vb. zware metalen, zuren, pesticiden, POPs, ...).
Landgebruik, agrarisch	Agricultural land occupation	m ² .an	Het door de mens gedurende een bepaalde tijd bezet houden van een bepaalde landoppervlakte voor agrarische doeleinden en de hierdoor veroorzaakte veranderingen aan het landschap of de ruimte.
Landgebruik, urbaan	Urban land occupation	m ² .an	Het door de mens gedurende een bepaalde tijd bezet houden van een bepaalde landoppervlakte voor urbane doeleinden en de hierdoor veroorzaakte veranderingen aan het landschap of de ruimte.
Natuurlijke landomvorming	Natural land transformation	m ² .an	De door de mens veroorzaakte omvorming en bezetting van een bepaalde natuurlijke landoppervlakte gedurende een bepaalde tijd.

energieprestatiecertificaat bouw

kantoor

nieuwbouw

aangifte nr.	71022-G-2007/00759/EV/EP10044/A435/D01/SD001	datum ingebruikname	12/03/2010
omschrijving	Kantoorcomplex	datum vergunning	02/12/2007
straat	Prins-Bisschopssingel	nummer	36 bus a
postnummer	3500 gemeente Hasselt		

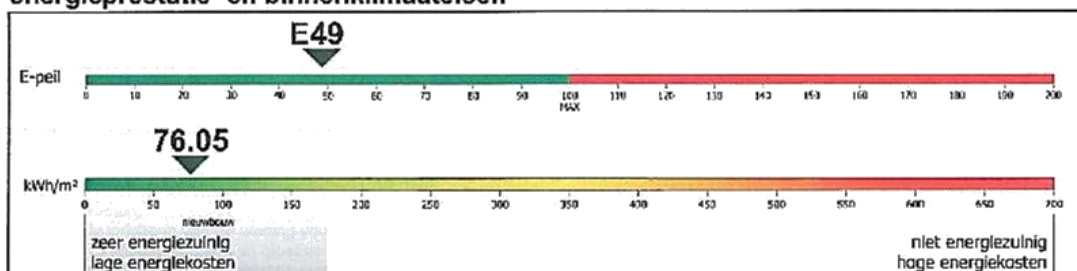
verslaggever

voornaam	Dirk	achternaam	Francois	code verslaggever	EP10044
straat	Spalbeekstraat	nummer	66 bus	land	België
postnummer	3510 gemeente Kermt (Hasselt)				
kbo-nummer	0455958297 firma	IR, FRANCOIS BOUWMANAGEMENT			
rechtsvorm	Eenmans Besloten Vennootschap met beperkte aansprakelijkheid				

software voor de berekening van de energieprestatie en het energieverbruik

softwareversie 1.4.2 De koudebruggen zijn niet meegerekend

energieprestatie- en binnenklimaatseisen



JA NEEN

- | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Het E-peil voldoet. |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Het K-peil van het volume, waarvan het kantoor deel uitmaakt, voldoet. |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Alle constructiedelen voldoen aan de maximale U-waarden of de minimale R-waarden.
De volgende constructiedelen voldoen NIET aan de maximale U-waarden of de minimale R-waarden: |
| | <input type="checkbox"/> | vloeren |
| | <input type="checkbox"/> | muren |
| | <input type="checkbox"/> | vensters |
| | <input type="checkbox"/> | dak |
| | <input type="checkbox"/> | andere constructiedelen
<small>en constructiedelen van gemeenschappelijke ruimten</small> |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Er is voldaan aan de ventilatievereisten. |

verklaring van de verslaggever

Ik bevestig dat alle gegevens op dit certificaat overeenstemmen met de werkelijke uitvoering (afmetingen, materialen, installaties).

datum: 05/08/2010

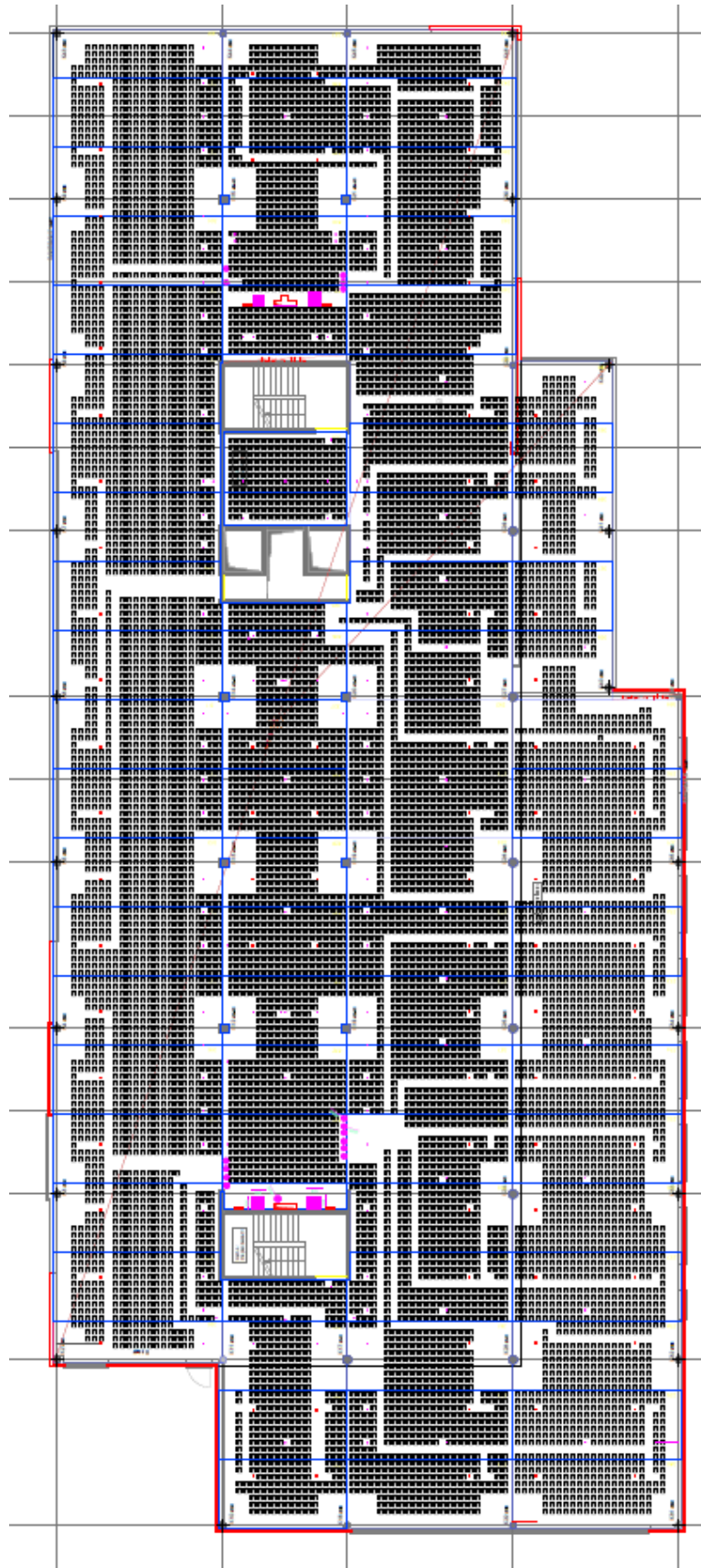
handtekening:



Dit certificaat is geldig tot en met 12/03/2020*

* De eigenaar houdt het energieprestatiecertificaat bij tijdens de volledige geldigheidsperiode. Als de gegevens op dit energieprestatiecertificaat niet overeenstemmen met de werkelijke uitvoering, kan het certificaat vervallen.

Bijlage 6: Boxenplan niveau +2



Bijlage 7: GaBi – overeenkomst

Dear Mr. Christiaens,

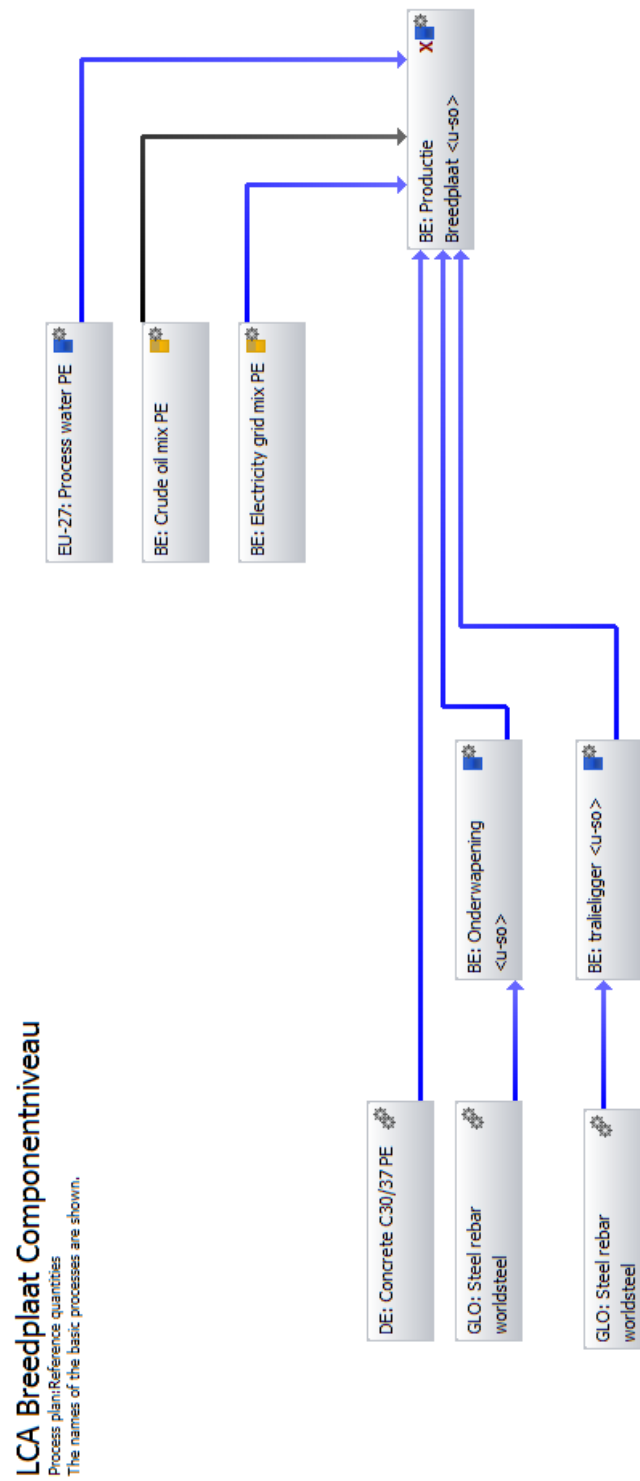
Congratulations on becoming a GaBi Education customer! We are very pleased to welcome you as a new or returning user and thank you for your confidence in our product. With GaBi software you are using the most trusted product sustainability solution by LCA practitioners on the planet.

DOWNLOADING & INSTALLING YOUR SOFTWARE

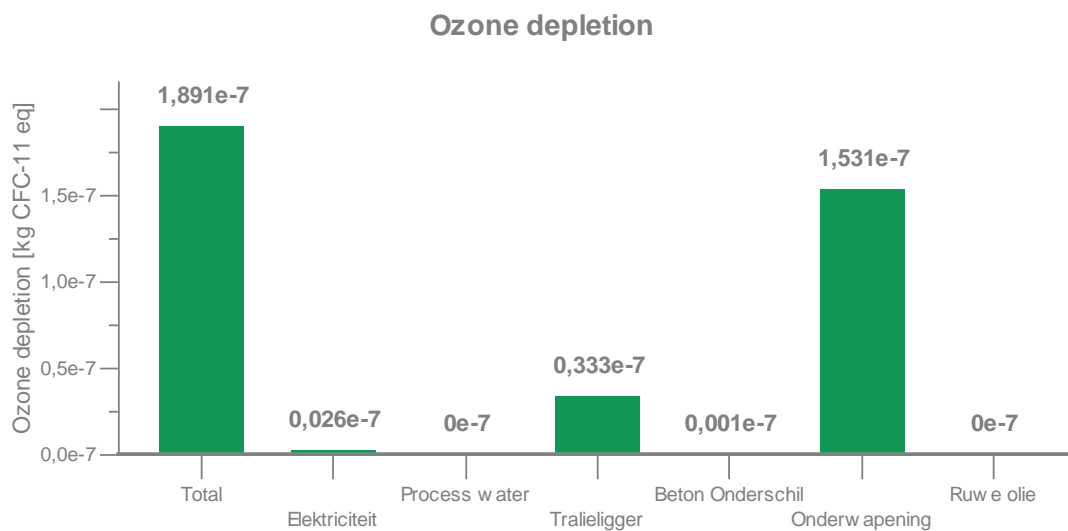
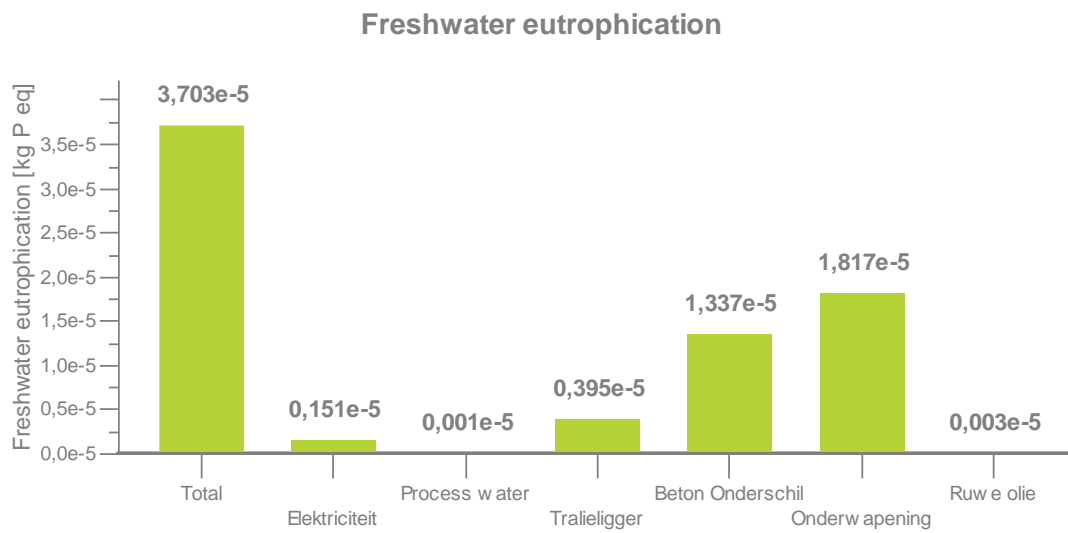
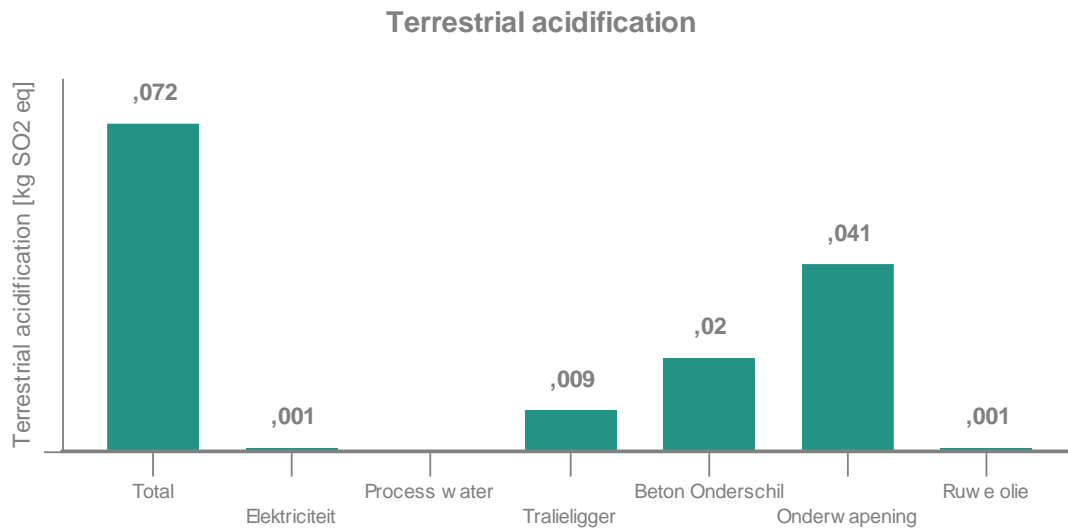
Please see attachment for full installation details.

1. To download the software please click this download link: <http://download.pe-international.com/?file=9ed1d955-d53b-4acb-b28c-522383b20d8d>
2. Unzip the contents of the download and proceed with the installation. After the installation you will be asked if you have a serial number and would like to activate or evaluate GaBi Education. Activate the software by selecting "I have a Serial Number and I want to activate GaBi Education" and enter the following code: **5NbeX-0beb3-90F5y-DXdDU-3NlaQ-5fRDp**

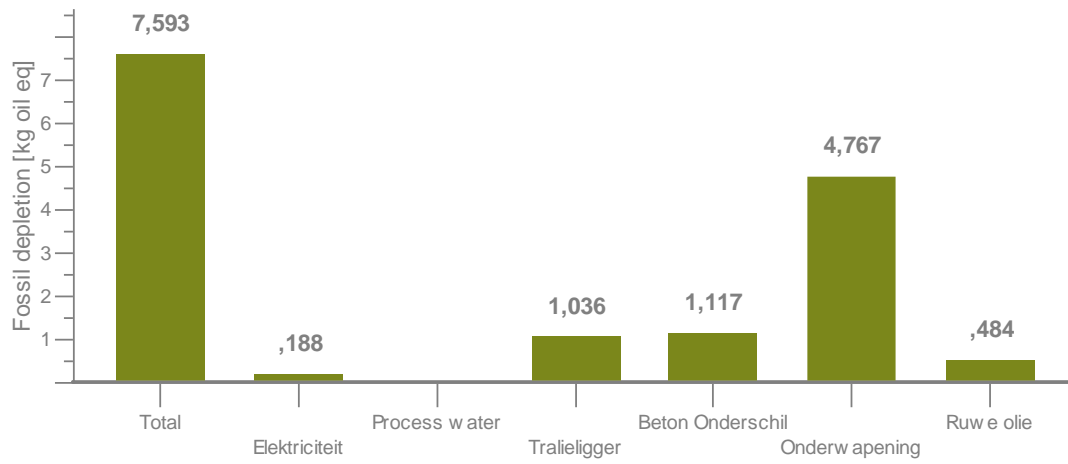
Bijlage 8: GaBi-software klassieke breedplaat componentniveau



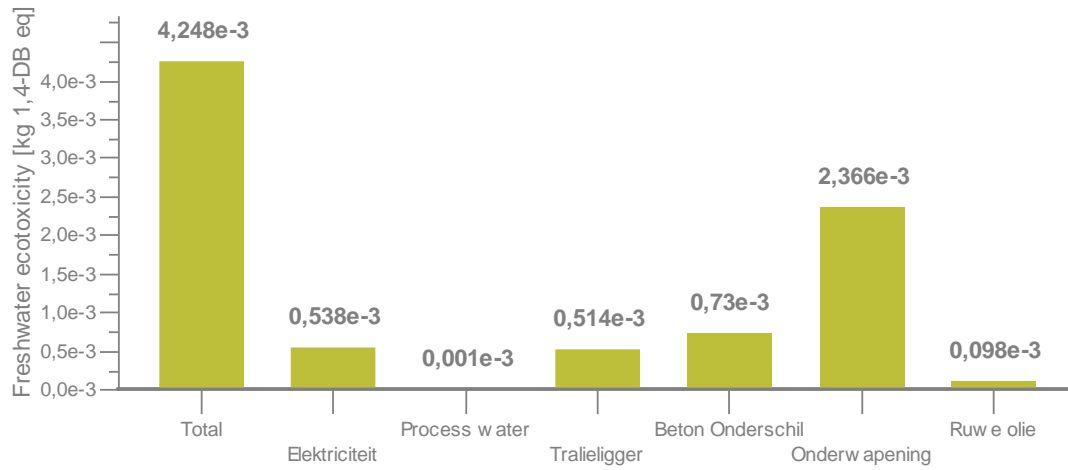
Bijlage 9: Resultaten LCA klassieke breedplaat componentniveau



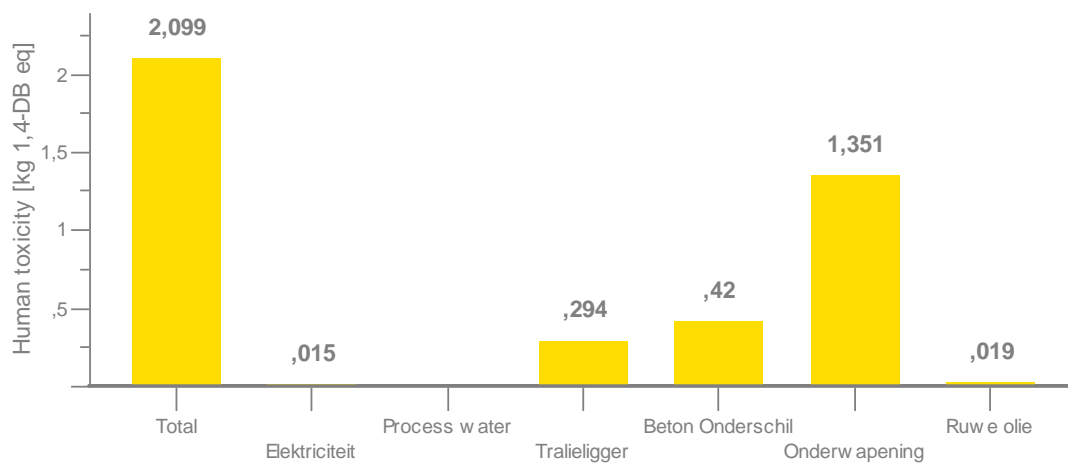
Fossil depletion



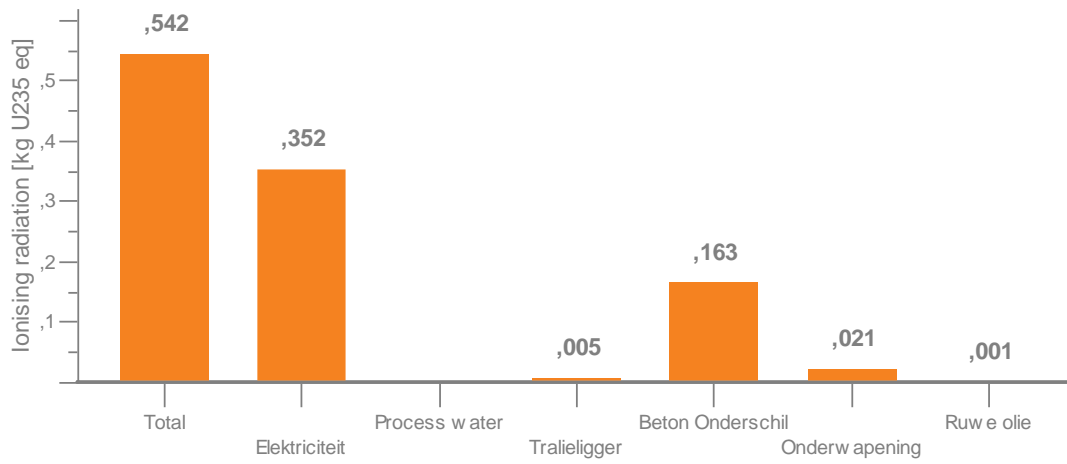
Freshwater ecotoxicity



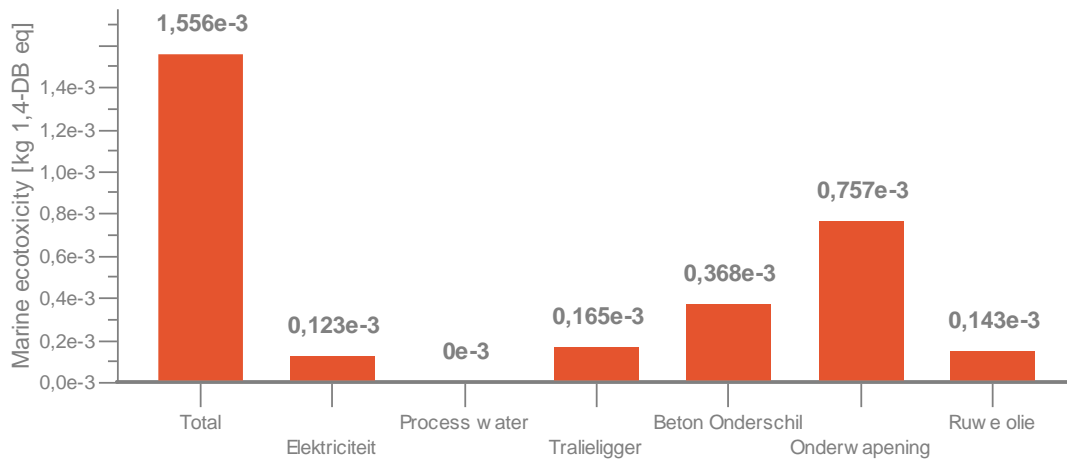
Human toxicity



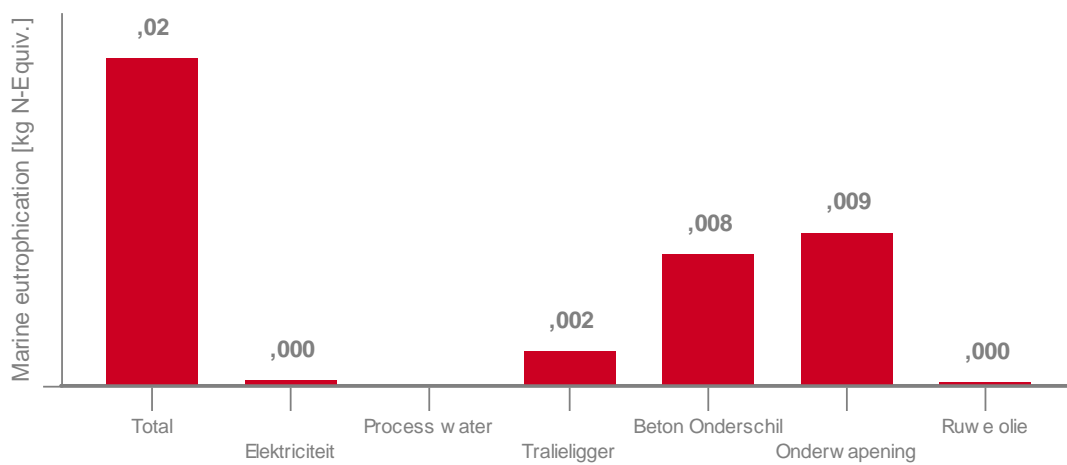
Ionising radiation



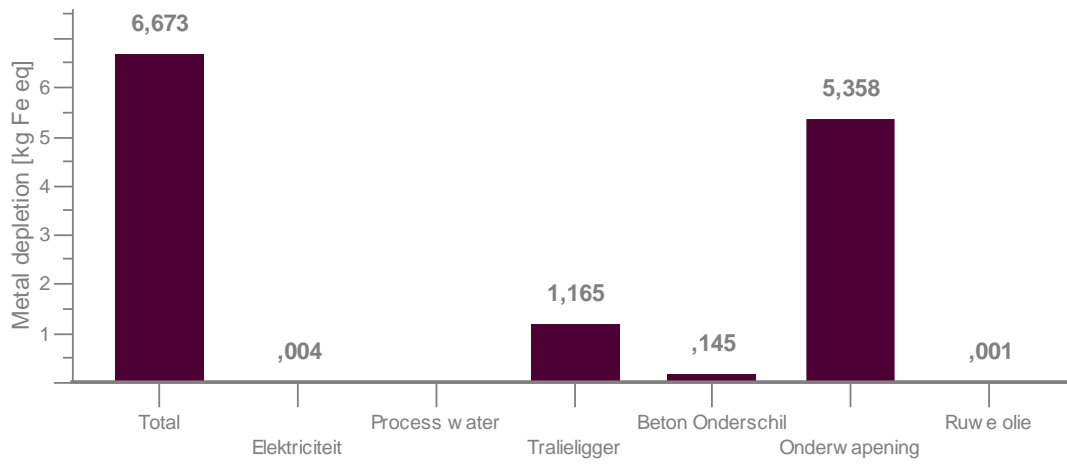
Marine ecotoxicity



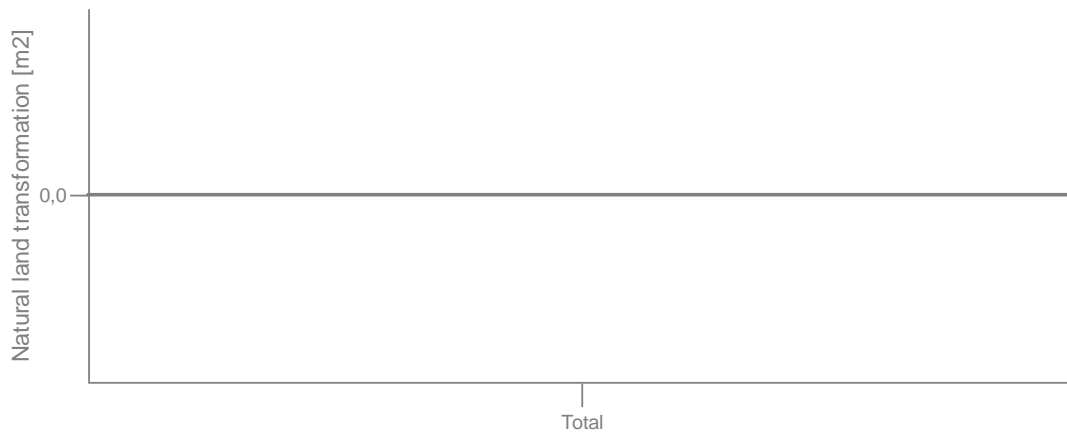
Marine eutrophication



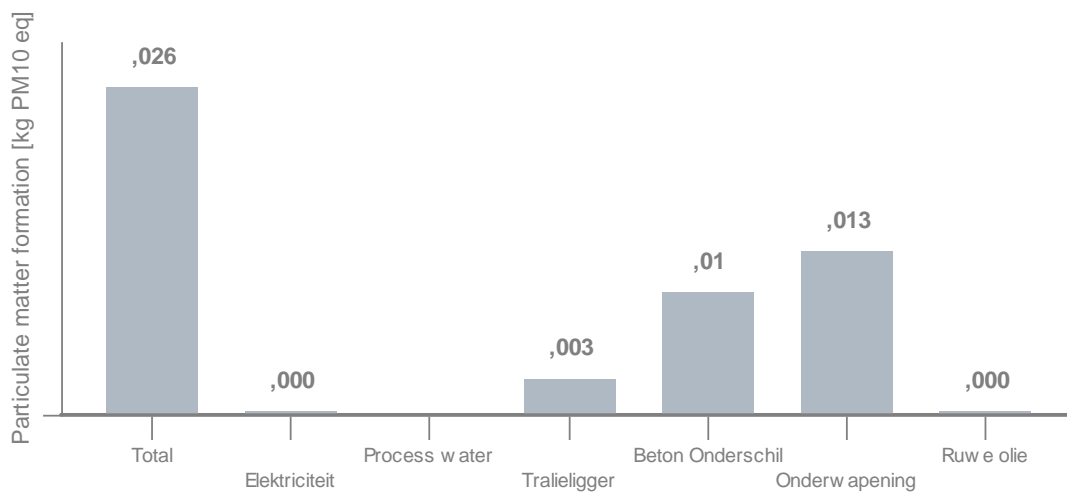
Metal depletion

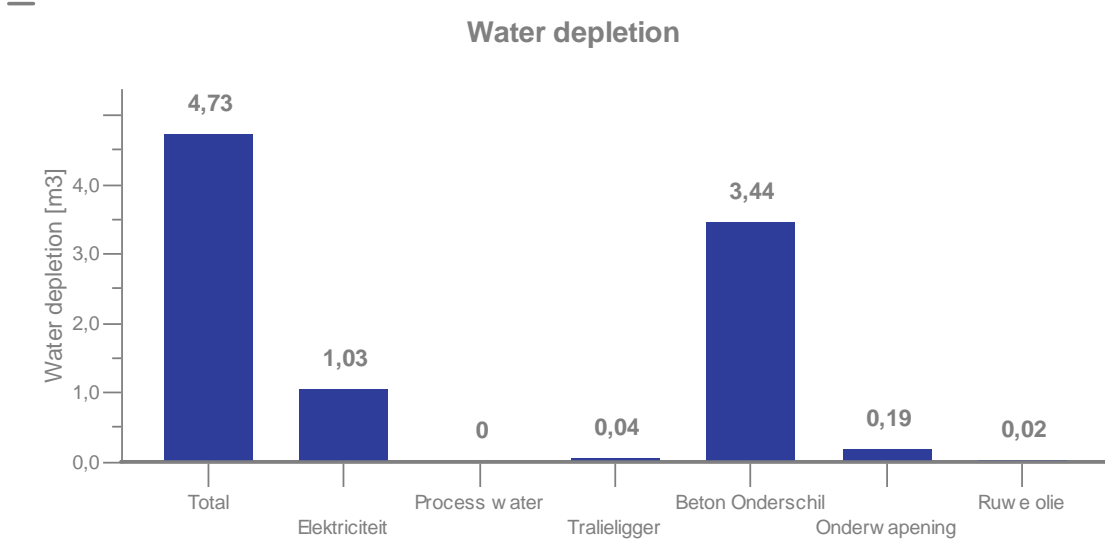
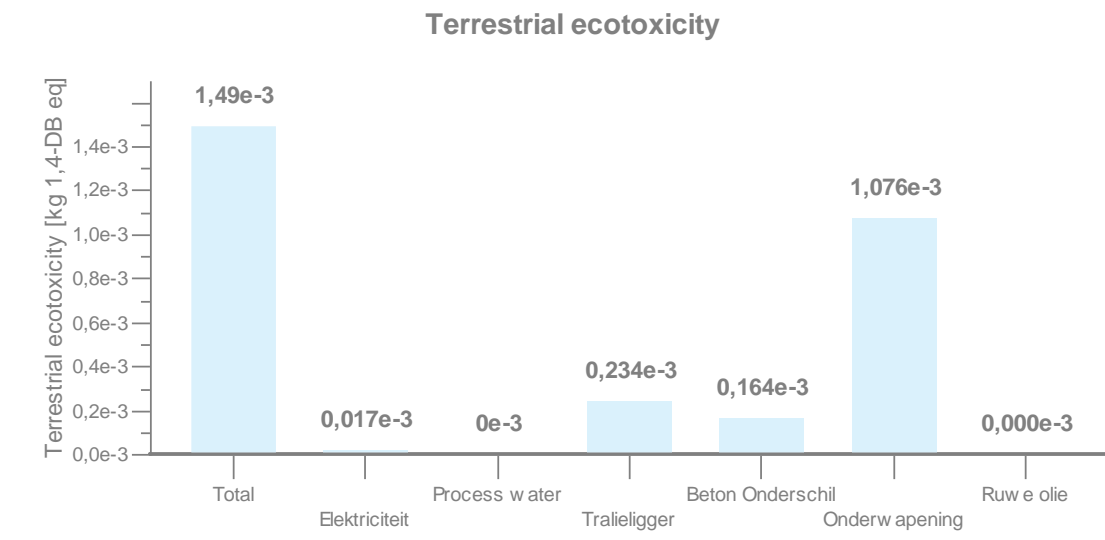
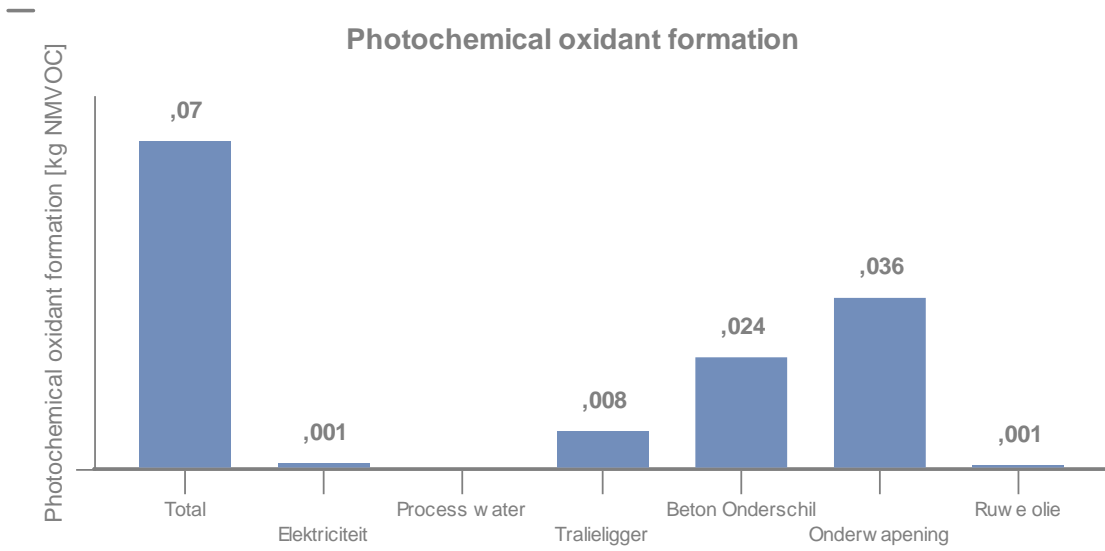


Natural land transformation



Particulate matter formation

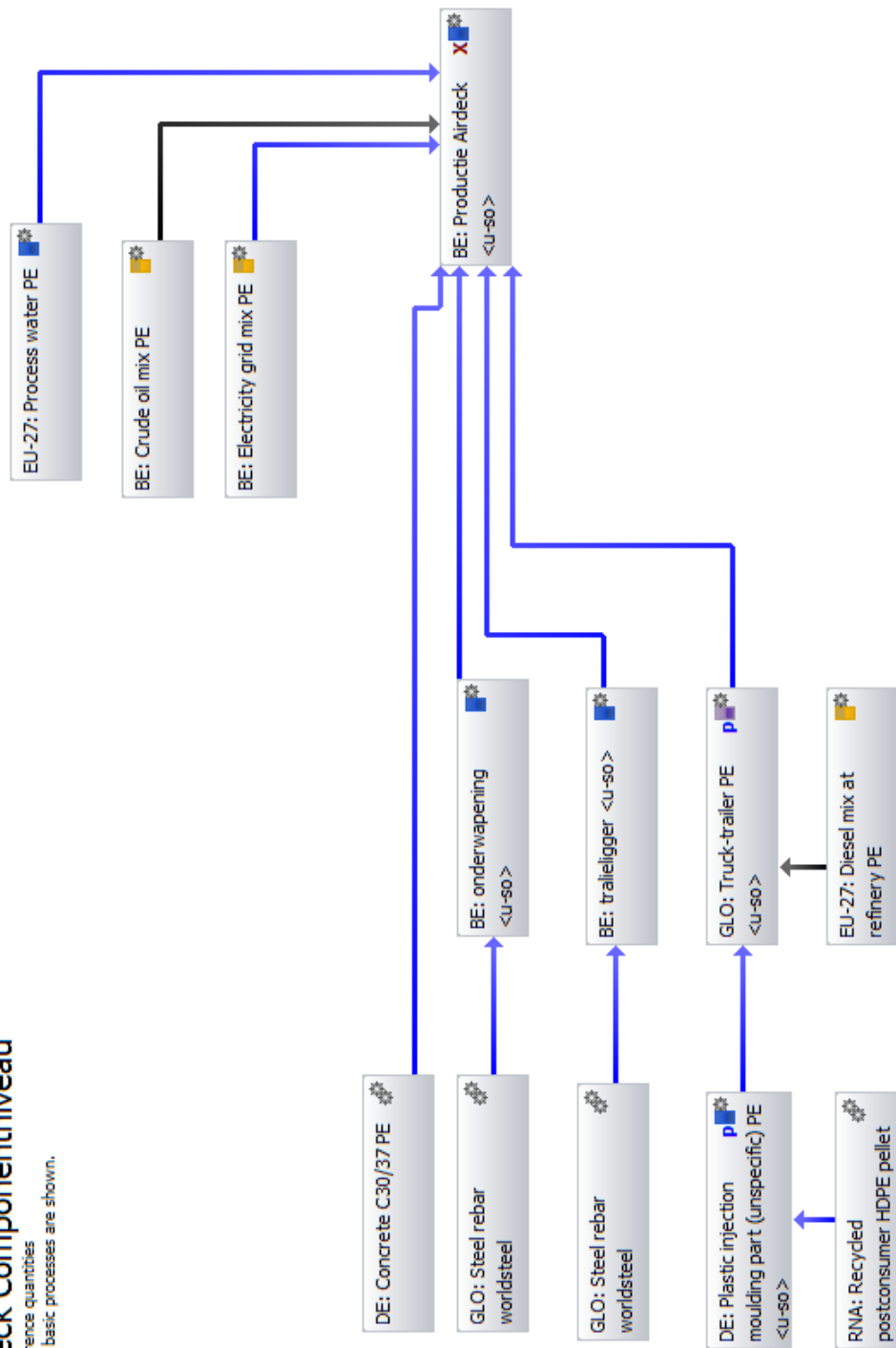




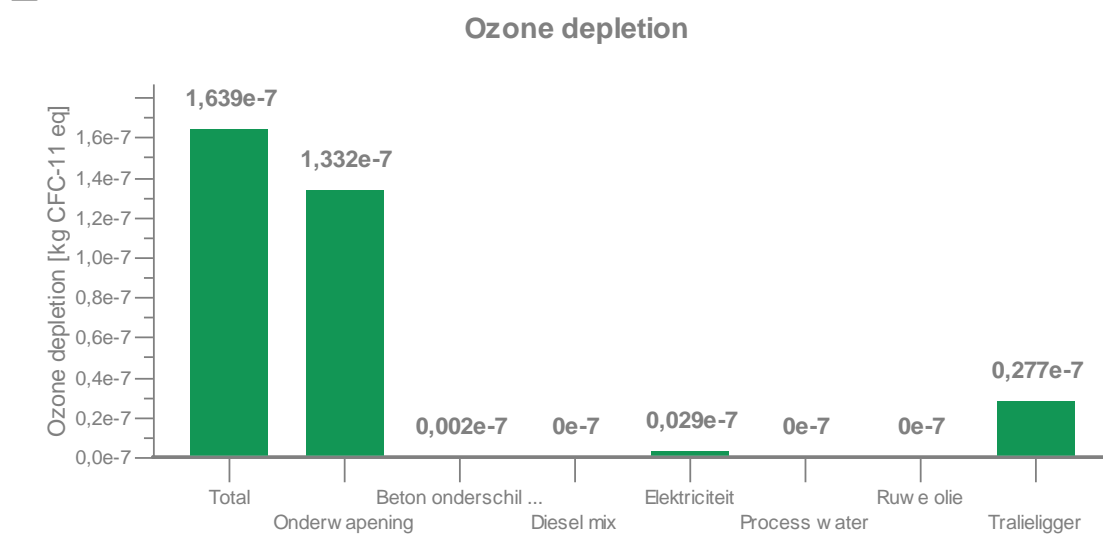
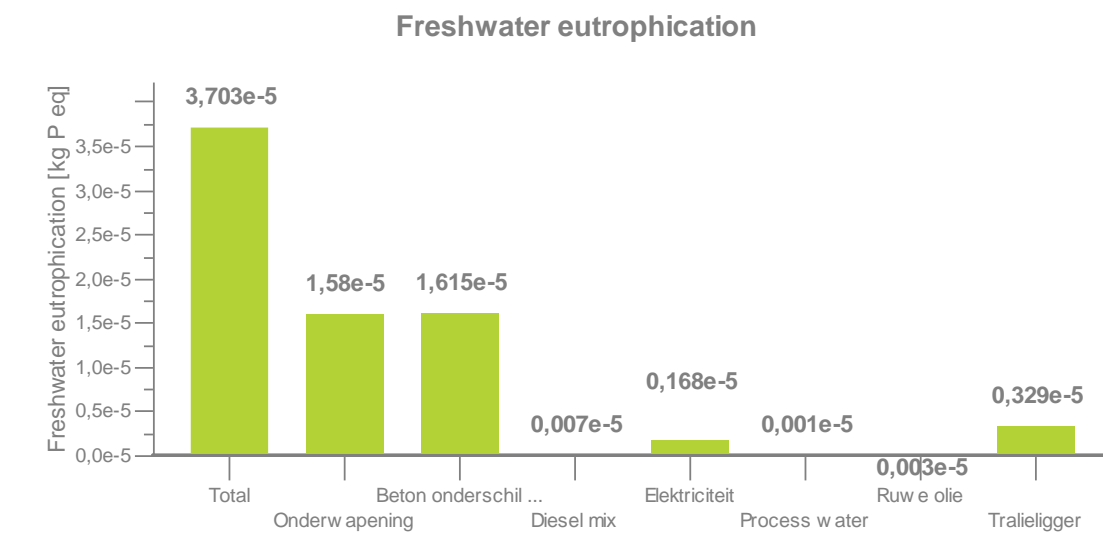
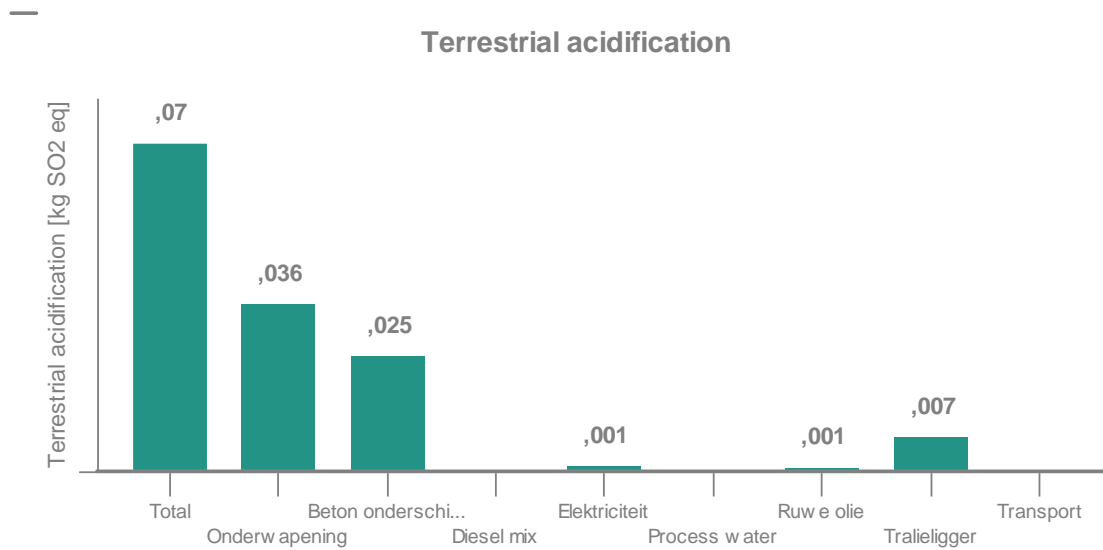
Bijlage 10: GaBi-software Airdeck componentniveau

LCA Airdeck Componentniveau

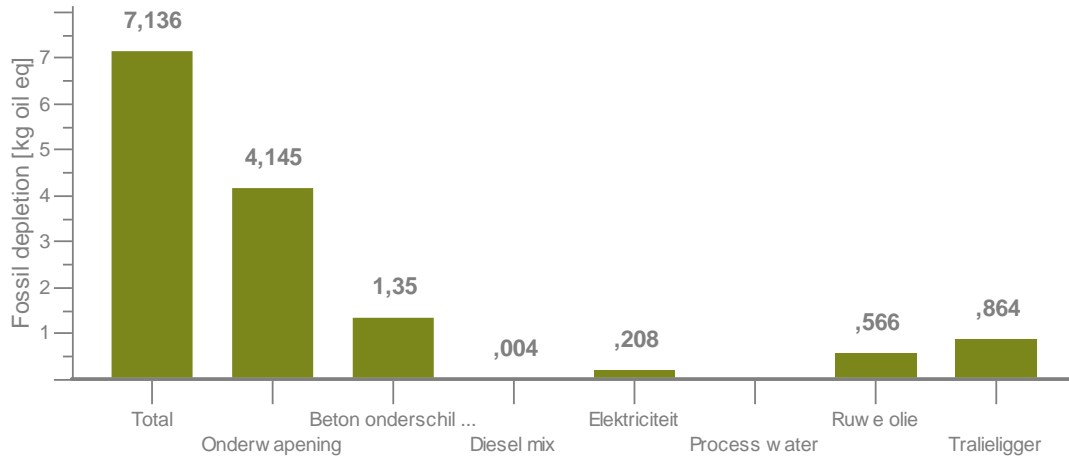
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



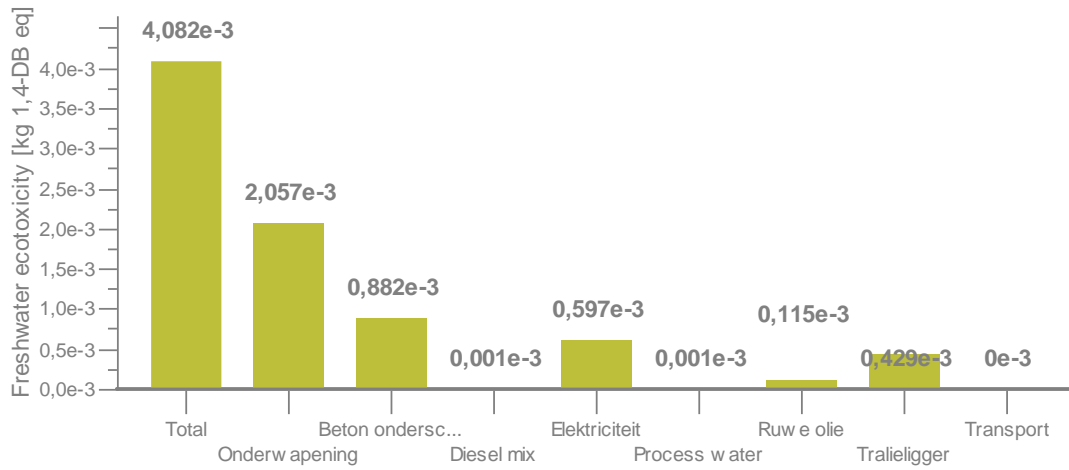
Bijlage 11: Resultaten LCA Airdeck componentniveau



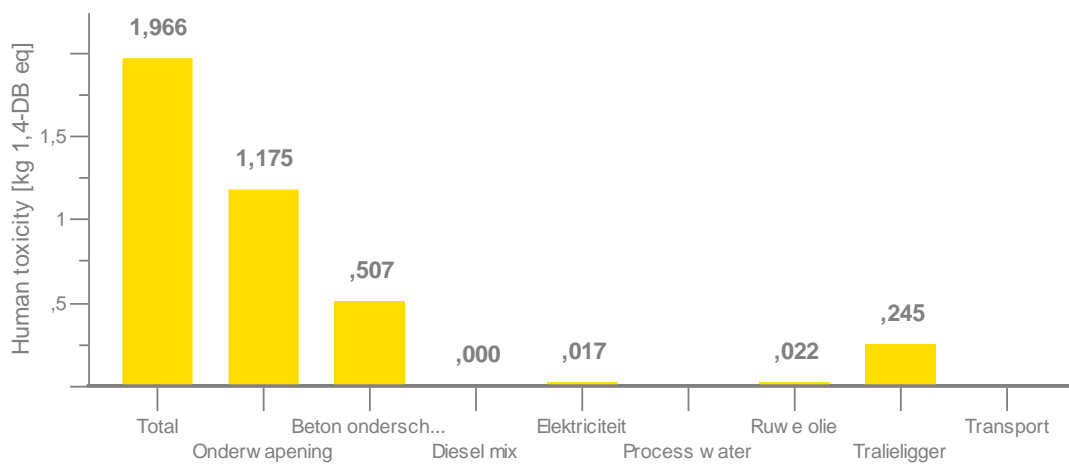
Fossil depletion



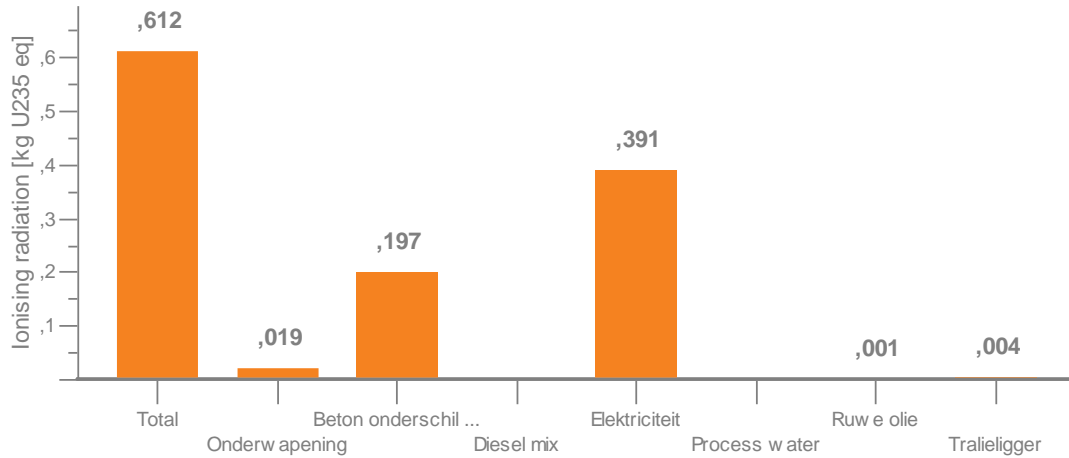
Freshwater ecotoxicity



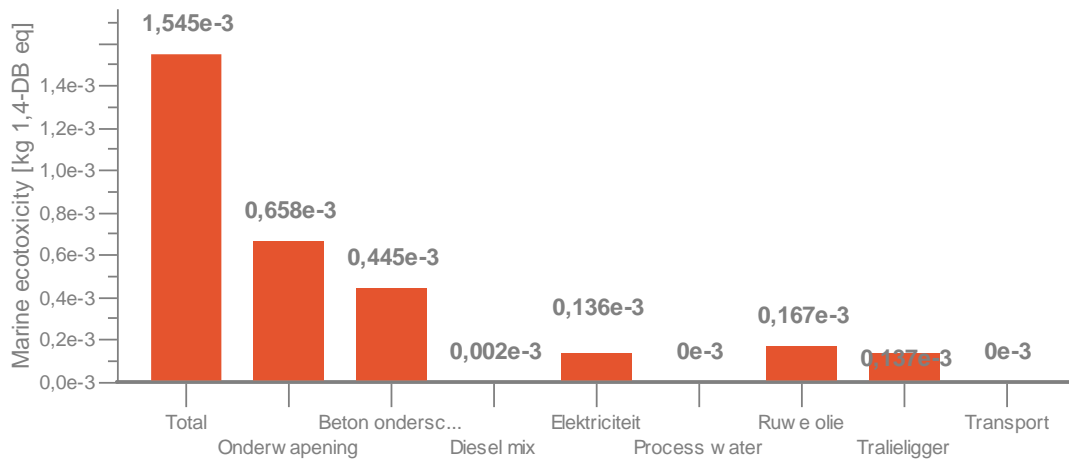
Human toxicity



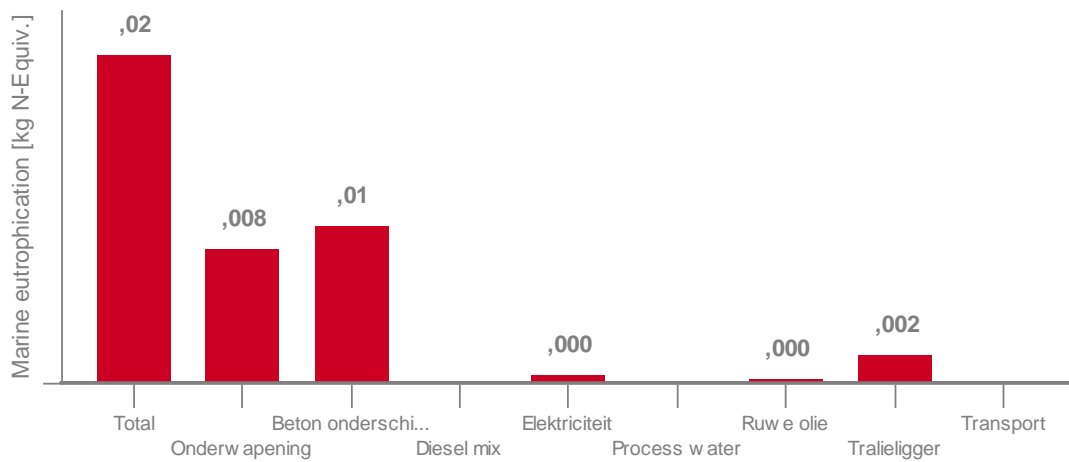
Ionising radiation



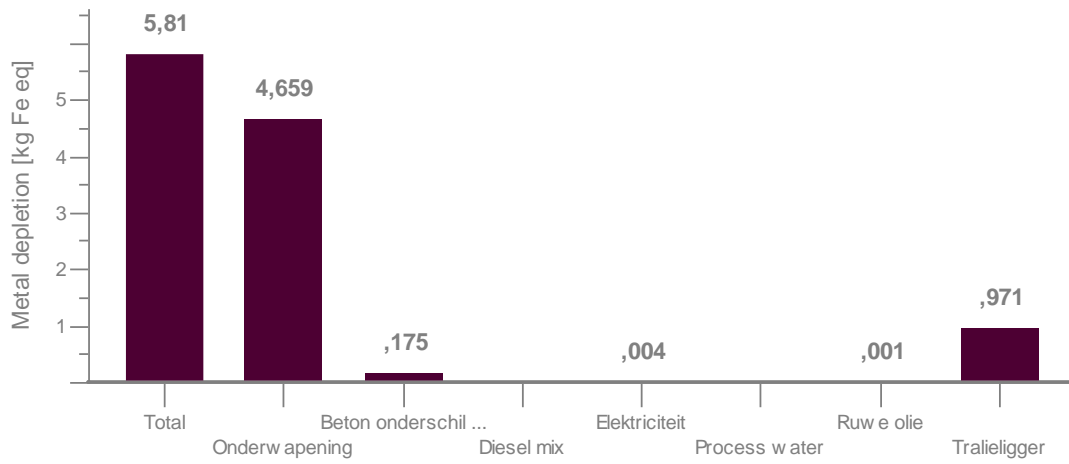
Marine ecotoxicity



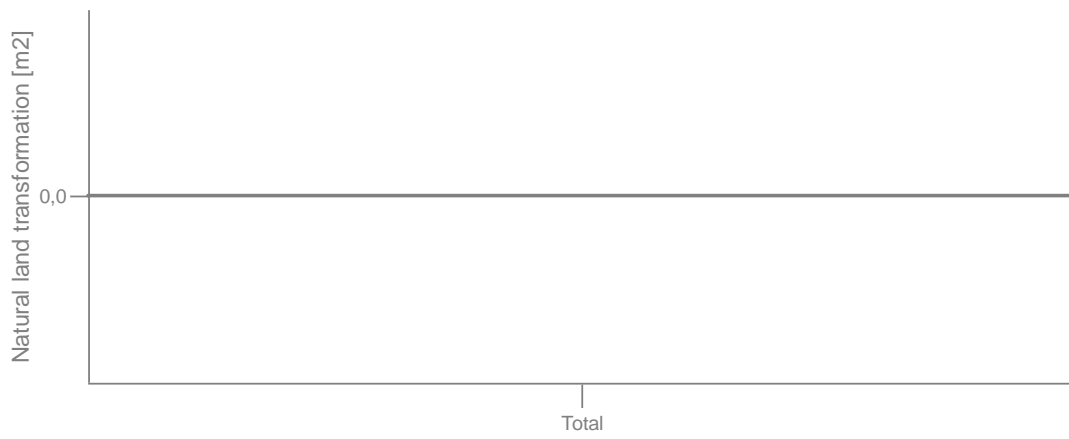
Marine eutrophication



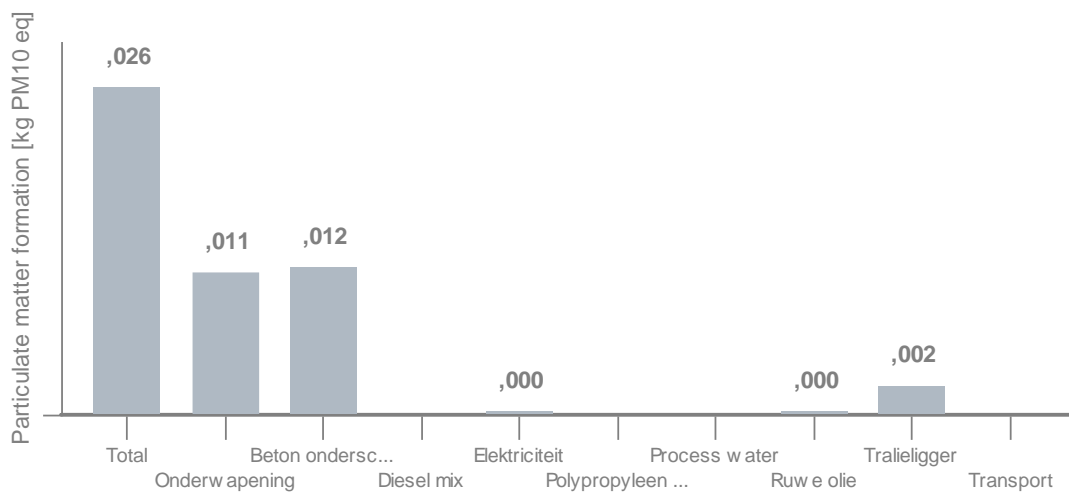
Metal depletion

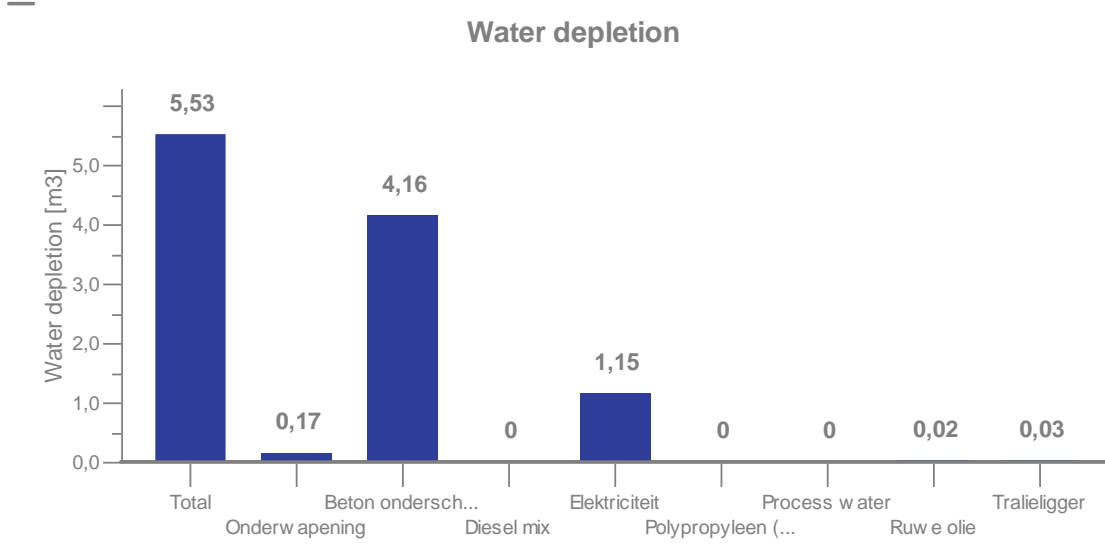
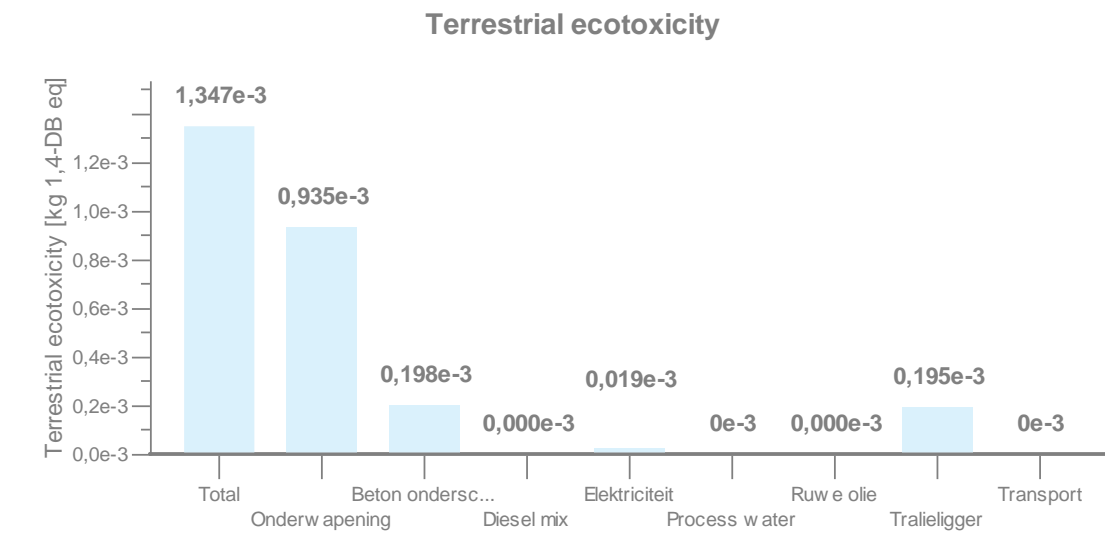
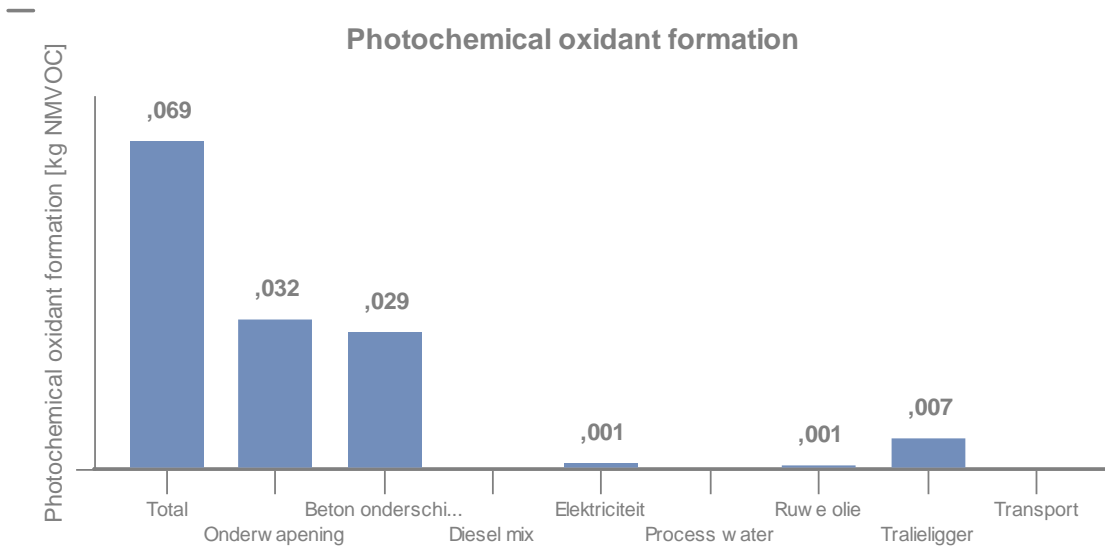


Natural land transformation



Particulate matter formation

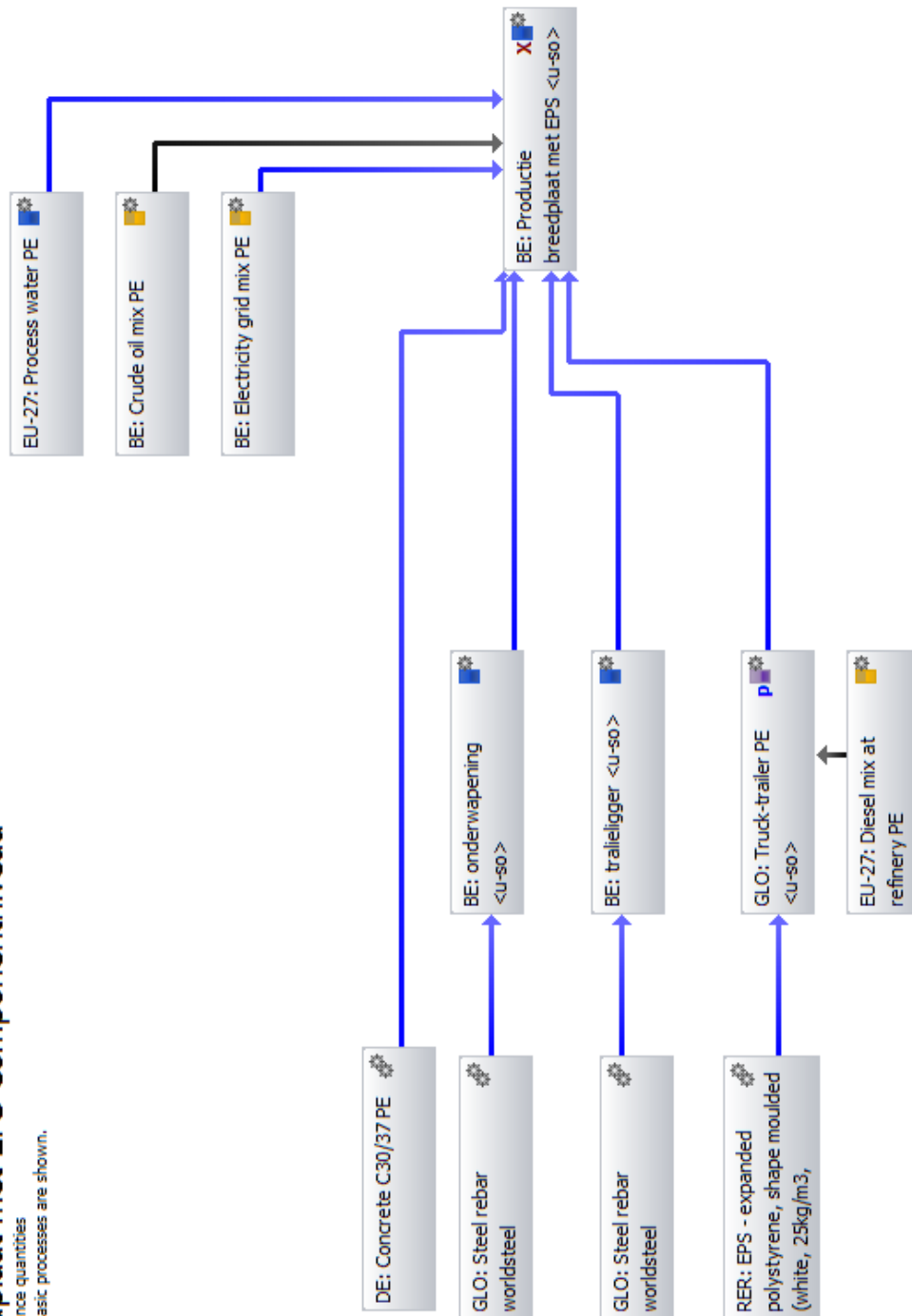




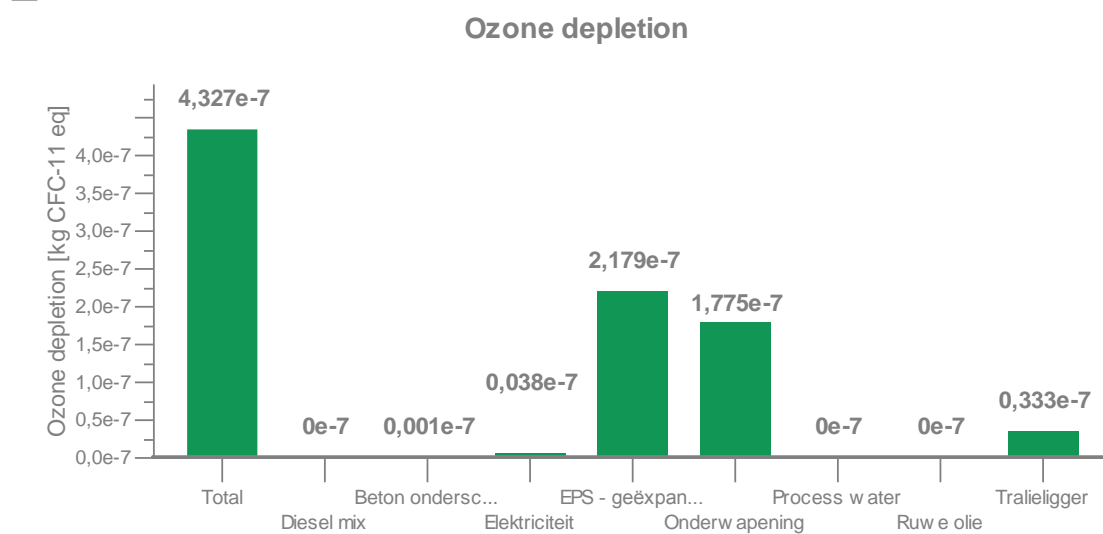
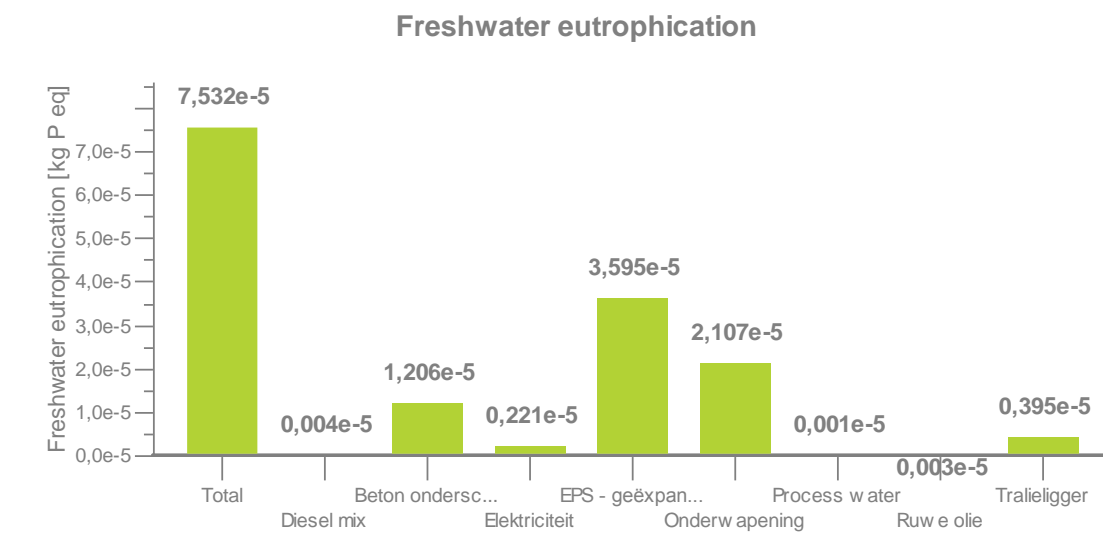
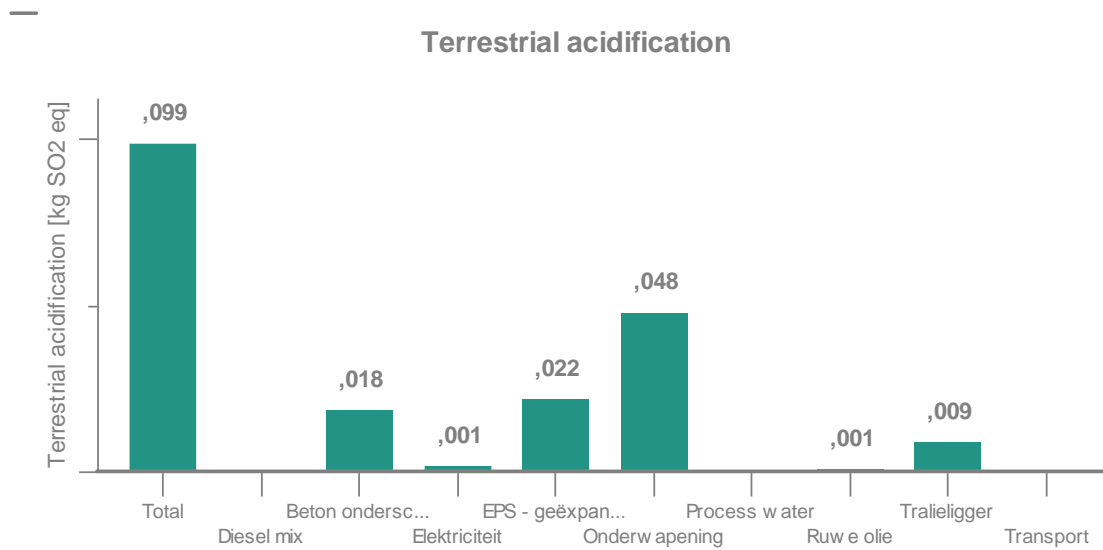
Bijlage 12: GaBi-software breedplaat met EPS componentniveau

LCA Breedplaat met EPS Componentniveau

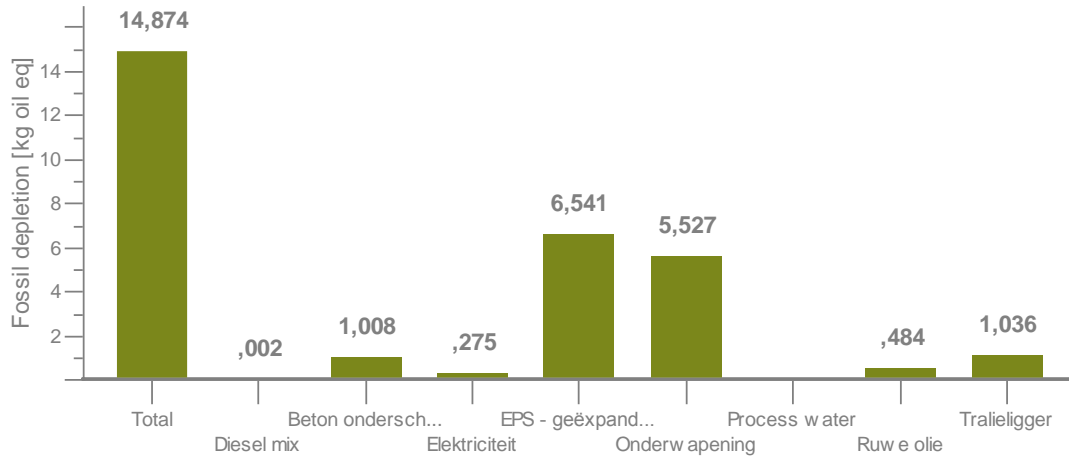
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



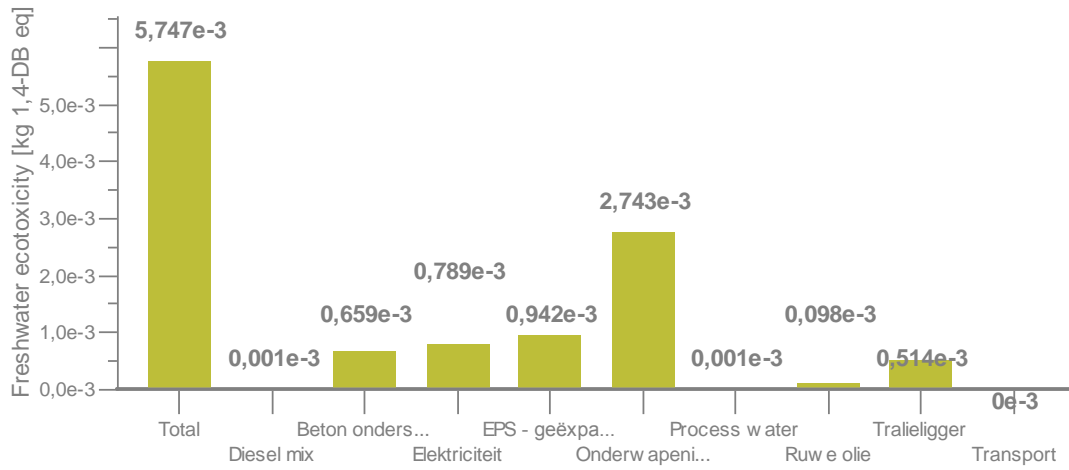
Bijlage 13: Resultaten LCA breedplaat met EPS componentniveau



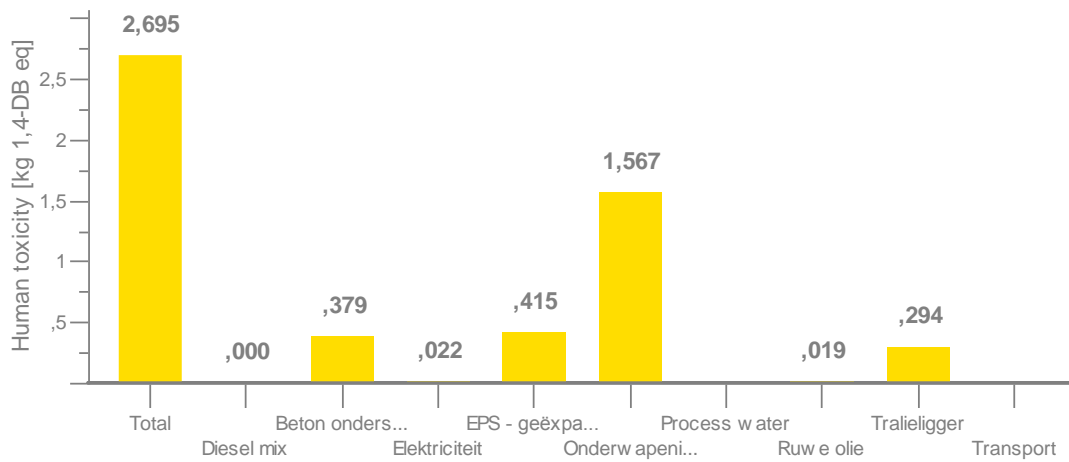
Fossil depletion



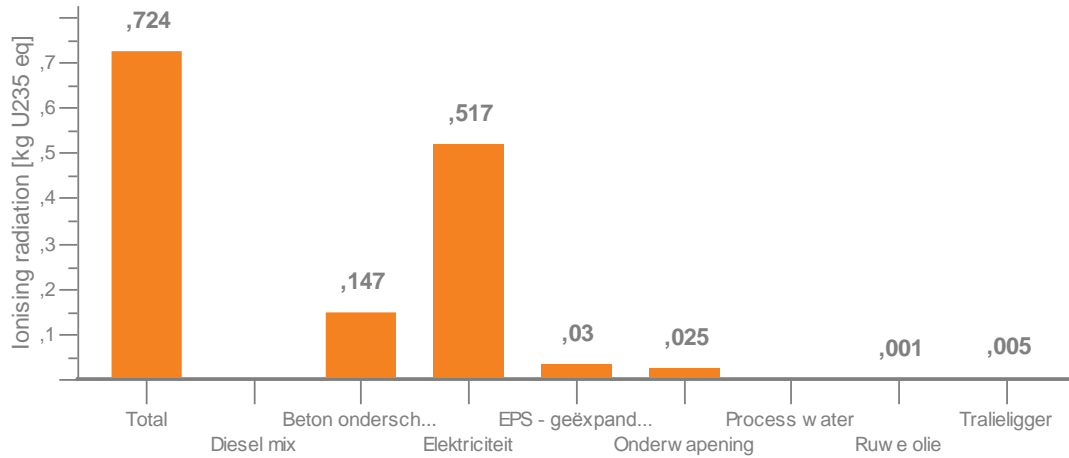
Freshwater ecotoxicity



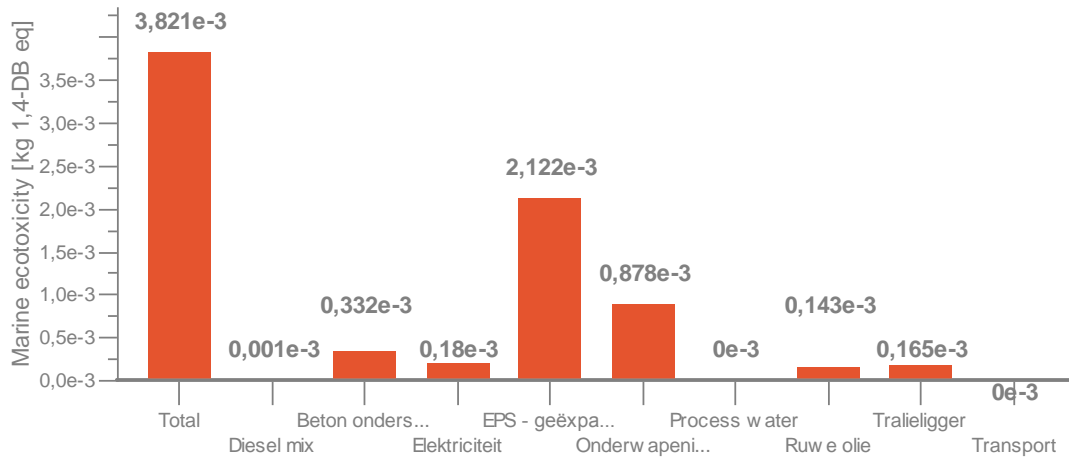
Human toxicity



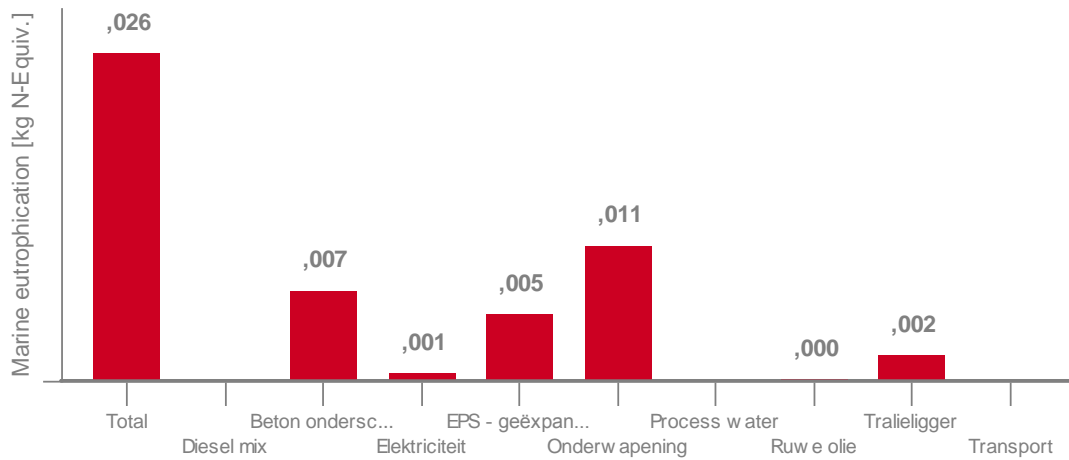
Ionising radiation



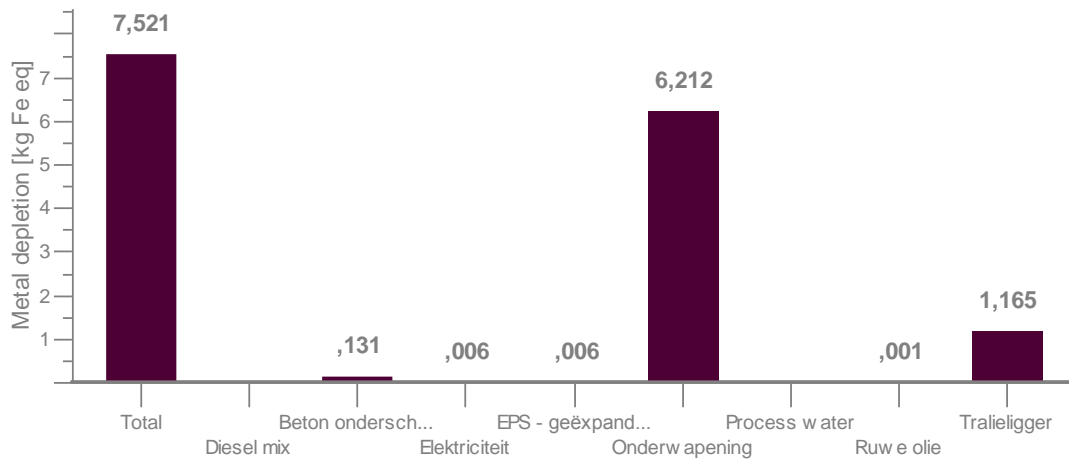
Marine ecotoxicity



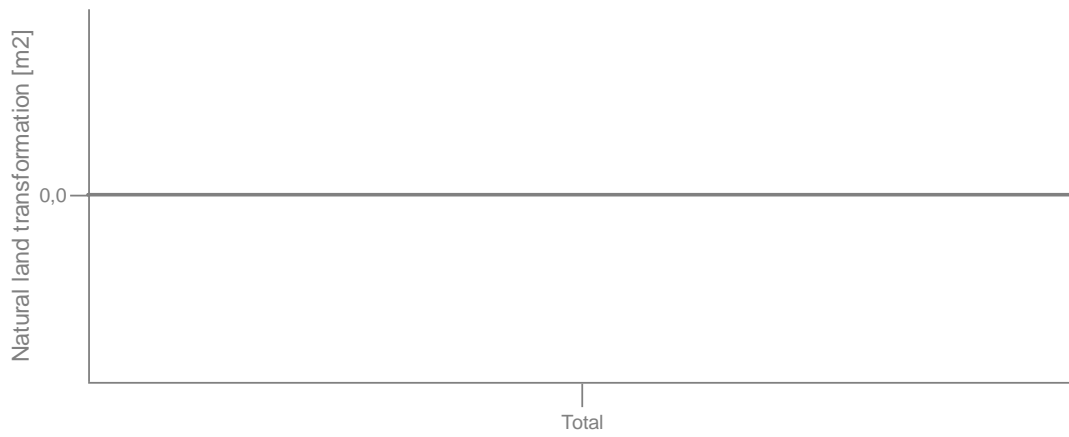
Marine eutrophication



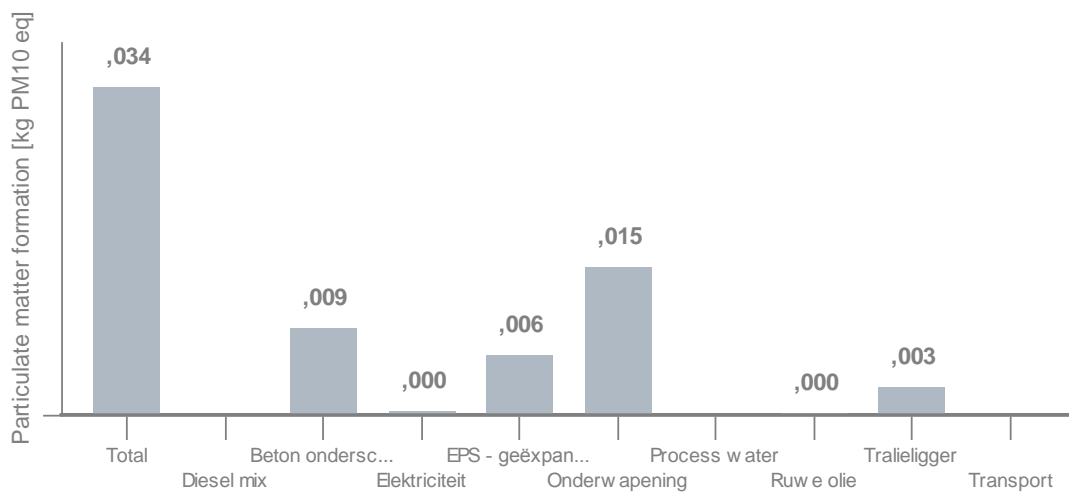
Metal depletion

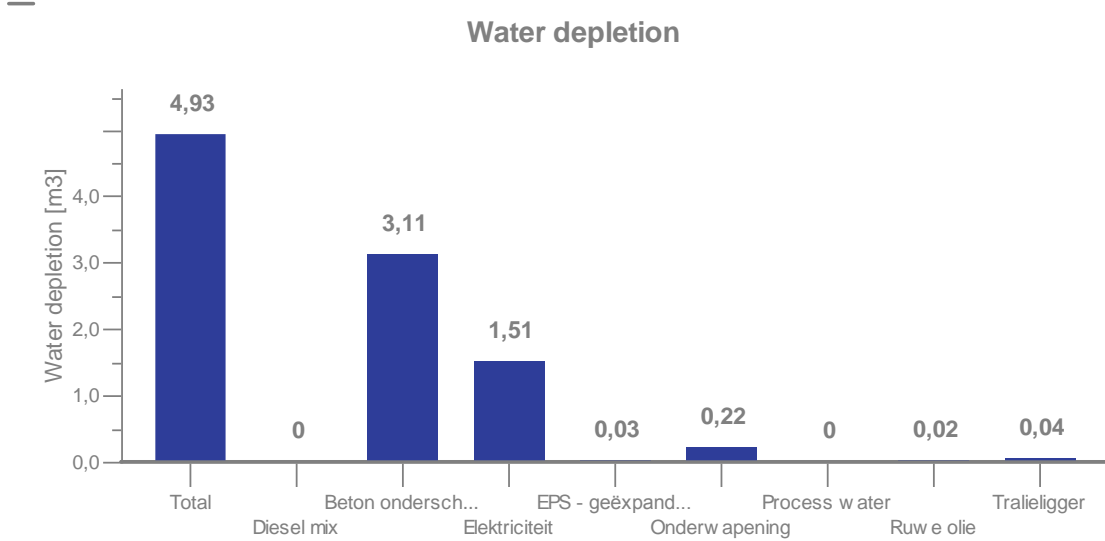
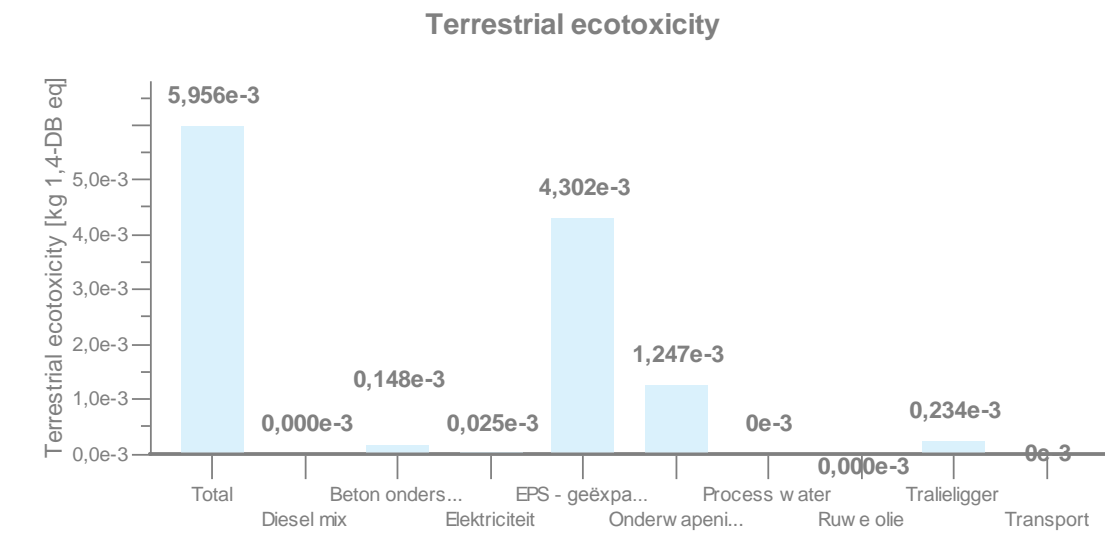
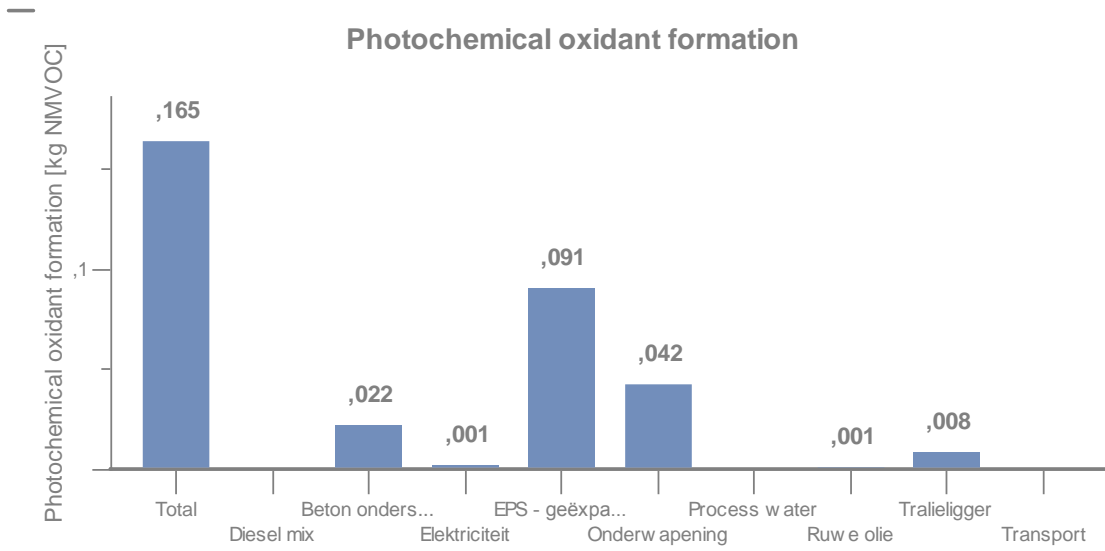


Natural land transformation



Particulate matter formation

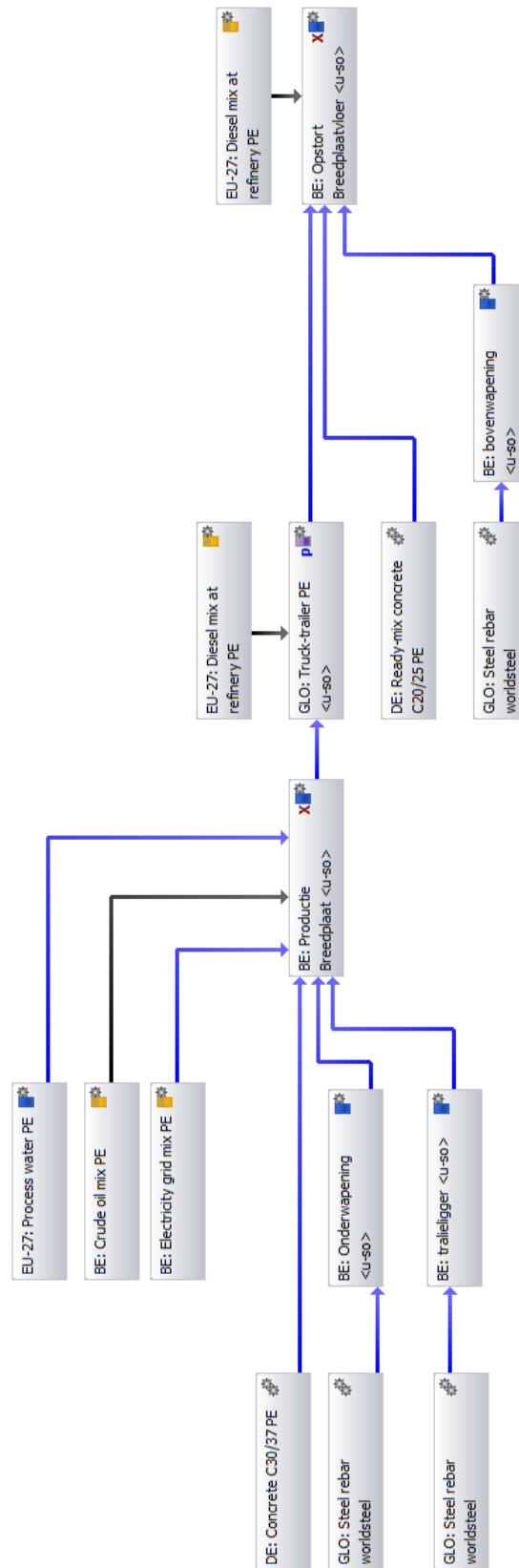




Bijlage 14: GaBi-software klassieke breedplaat systeemniveau

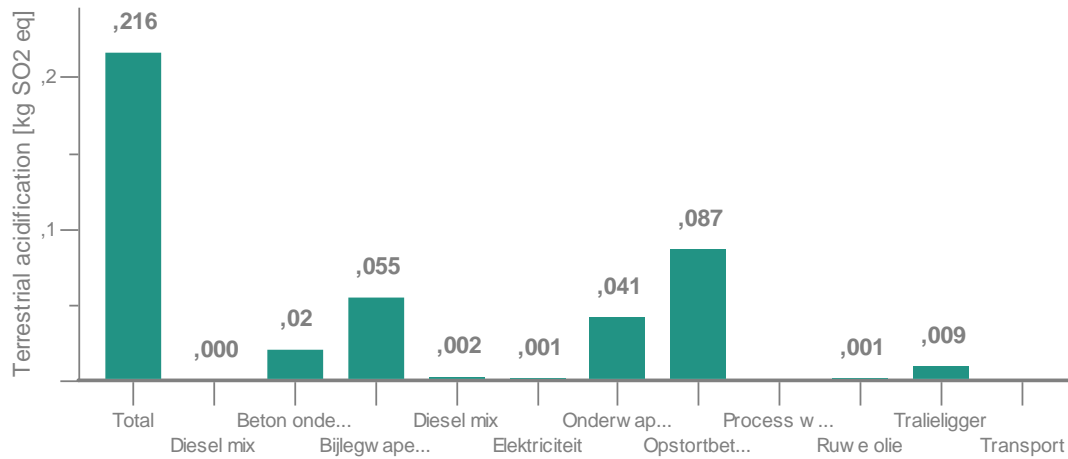
LCA Breedplaat Systeemniveau

Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.

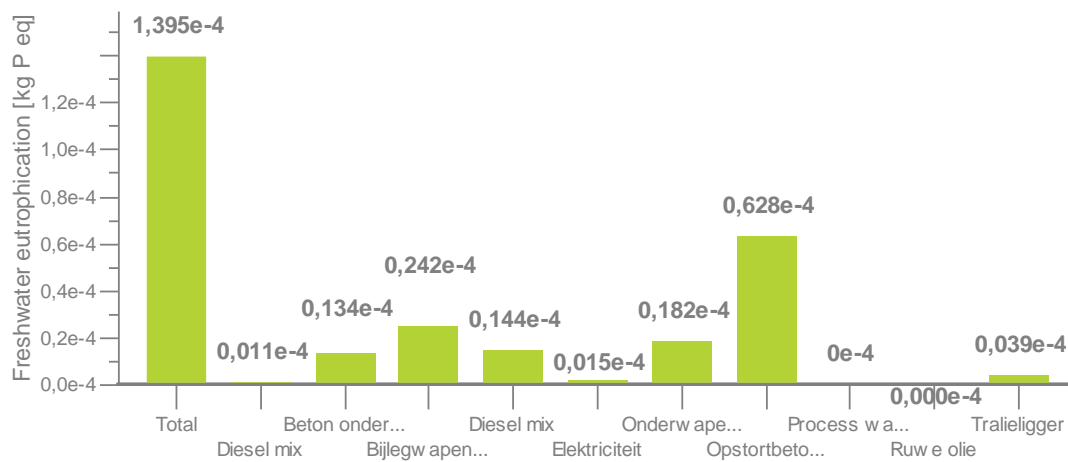


Bijlage 15: Resultaten LCA klassieke breedplaat systeemniveau

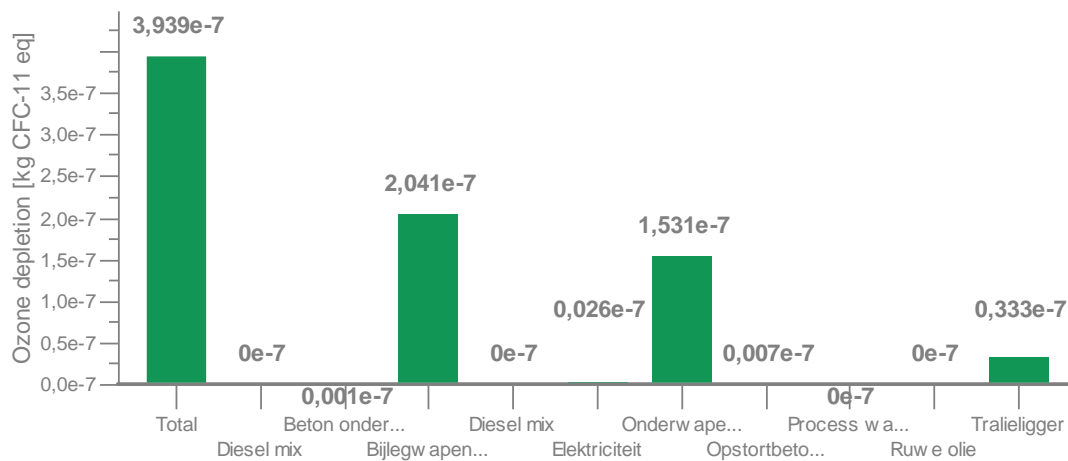
Terrestrial acidification



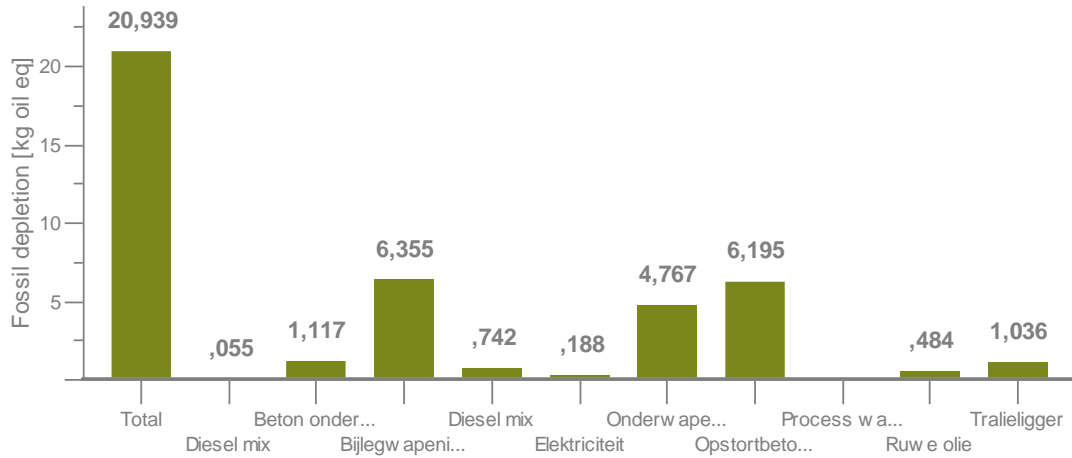
Freshwater eutrophication



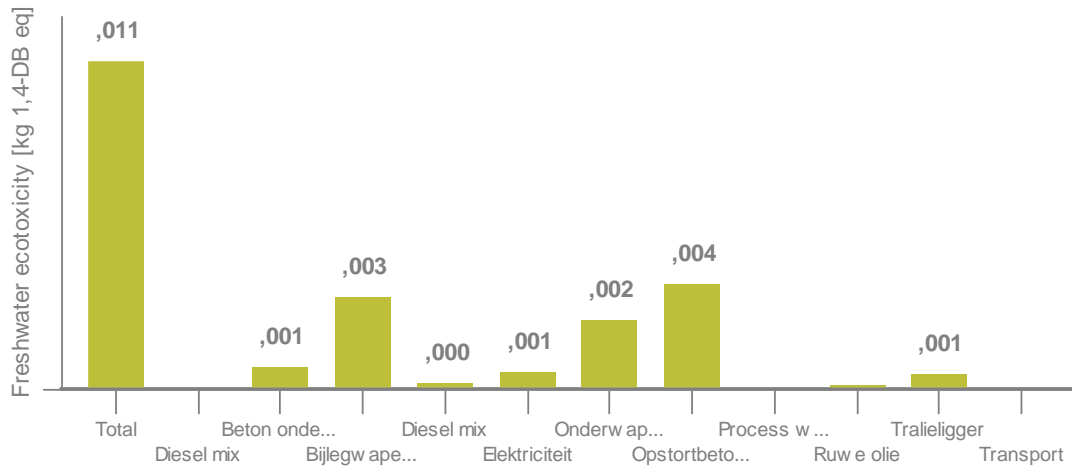
Ozone depletion



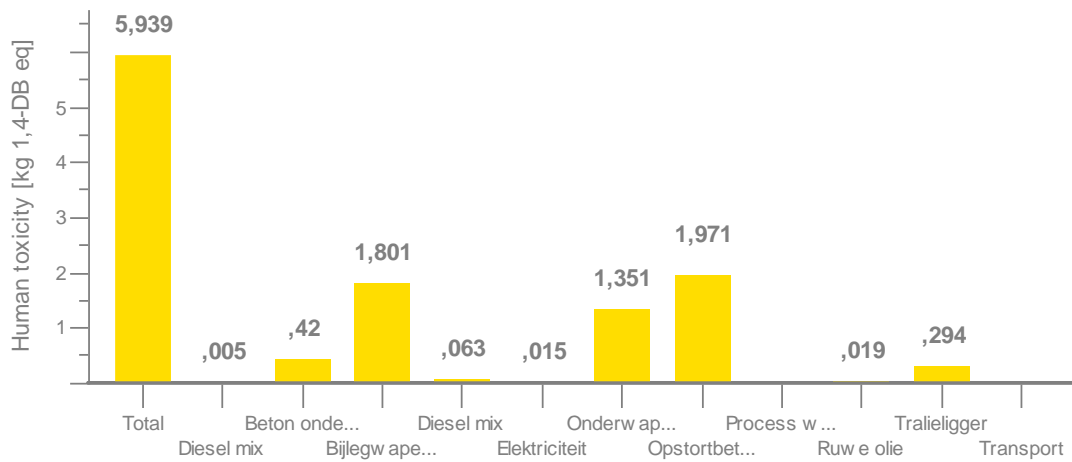
Fossil depletion



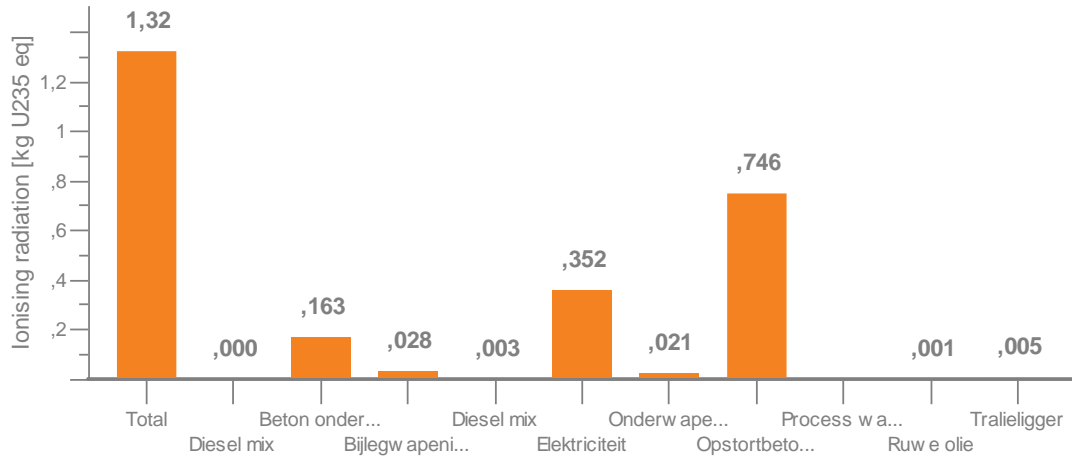
Freshwater ecotoxicity



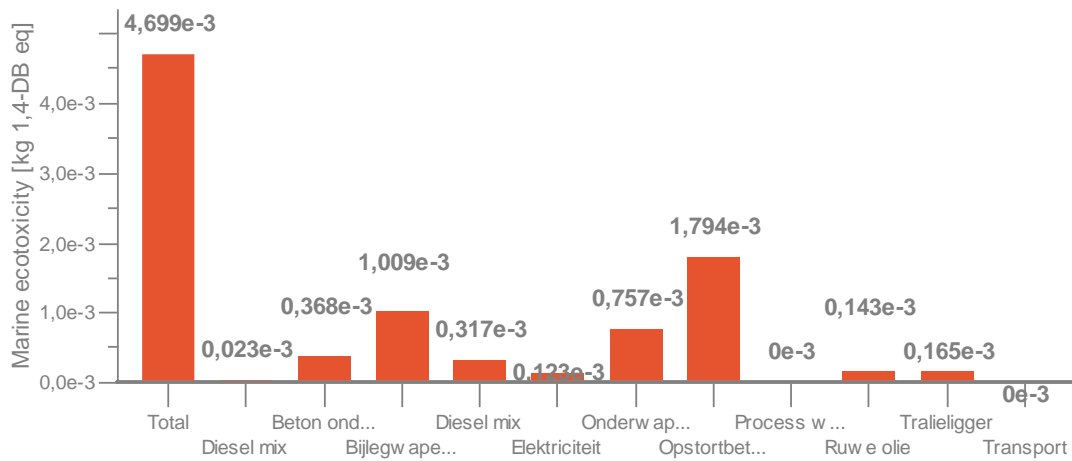
Human toxicity



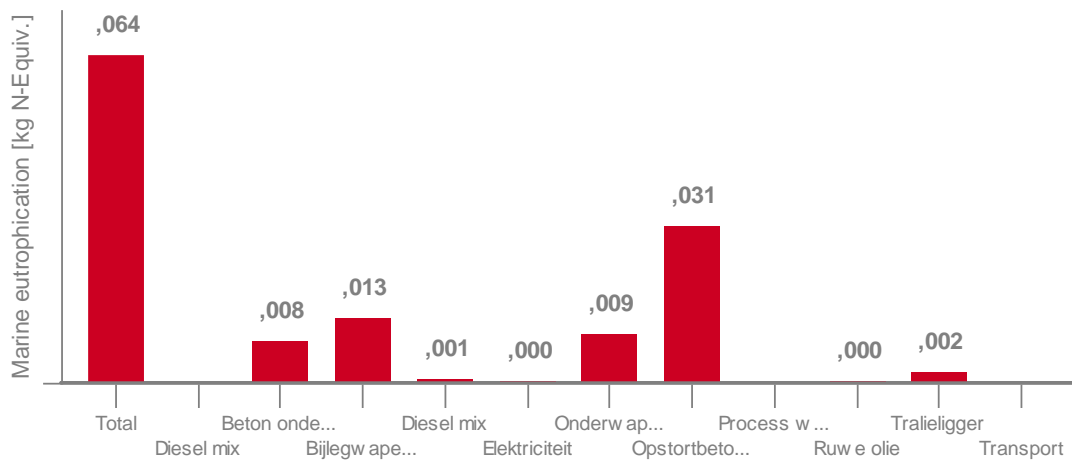
Ionising radiation



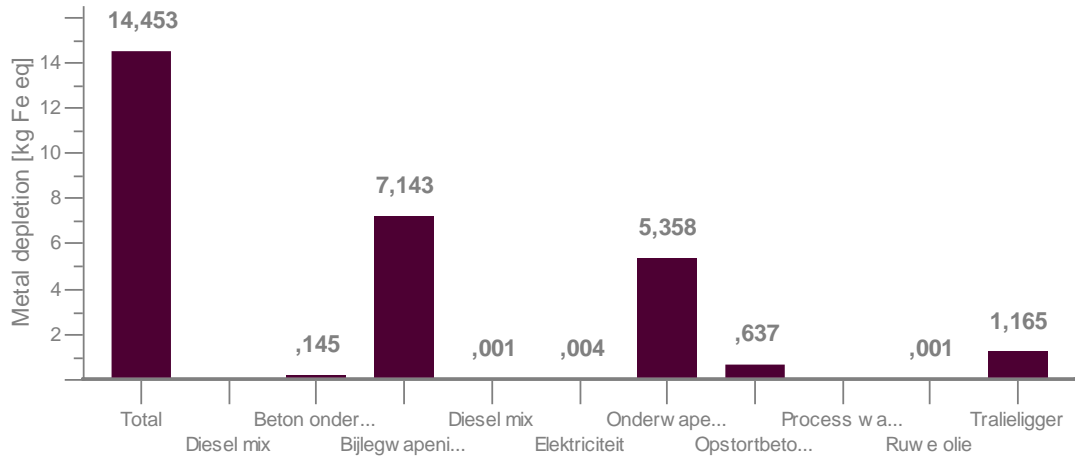
Marine ecotoxicity



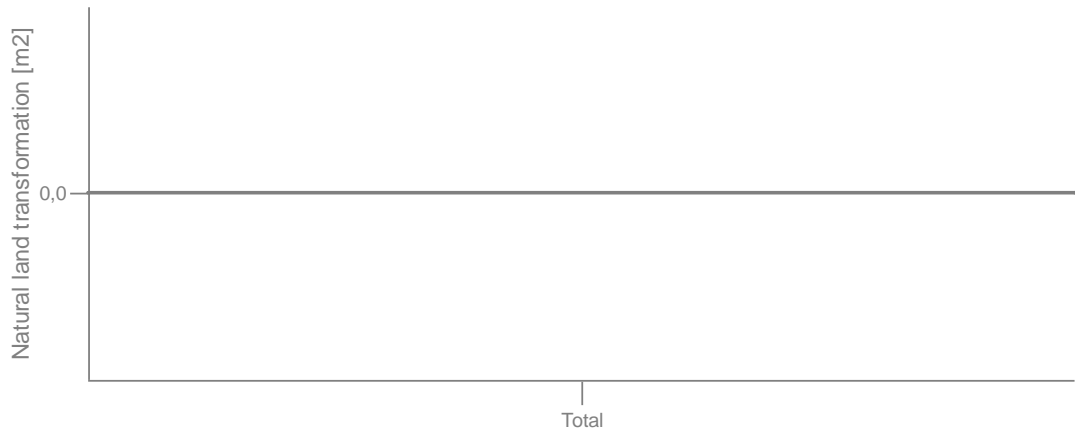
Marine eutrophication



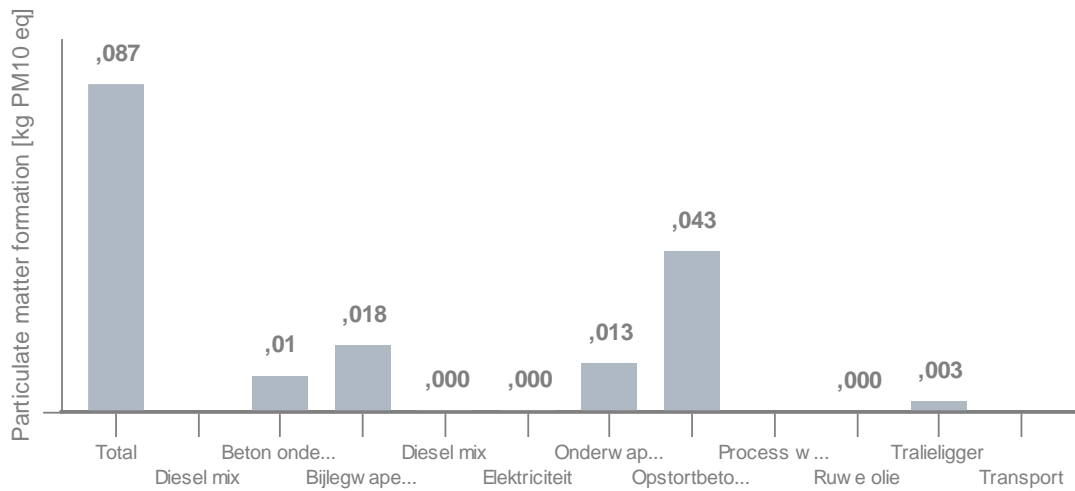
Metal depletion

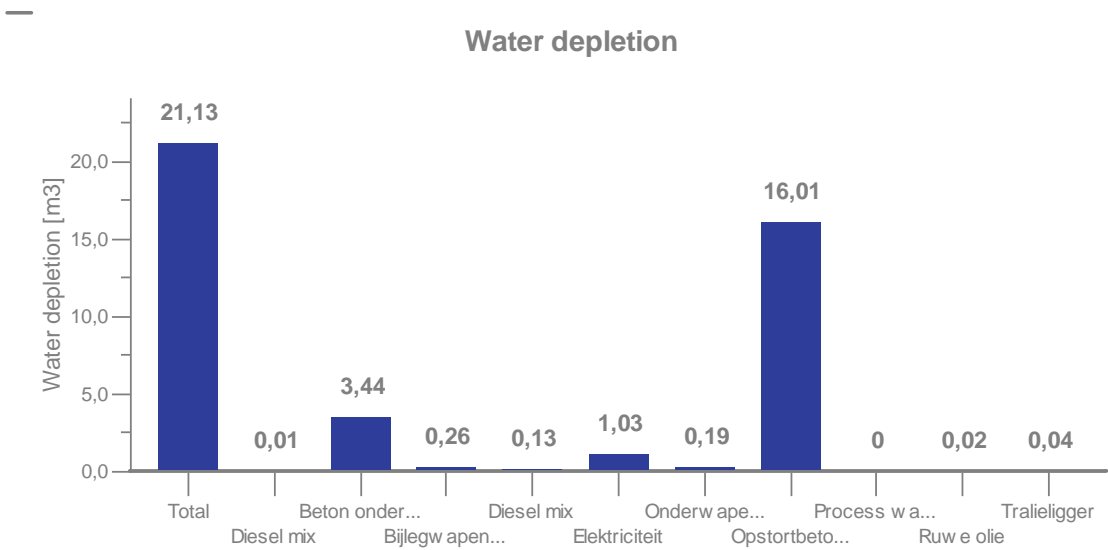
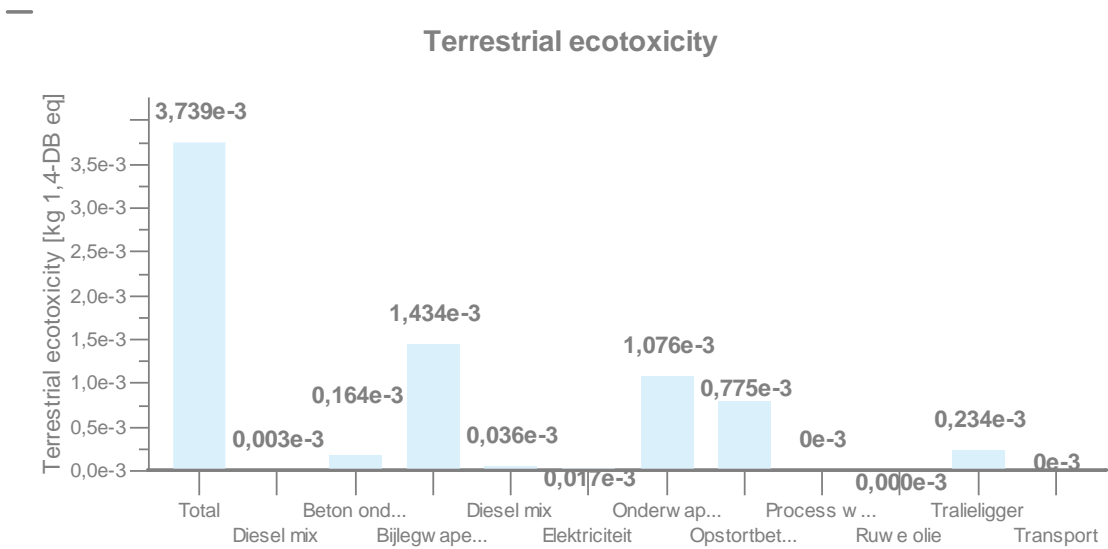
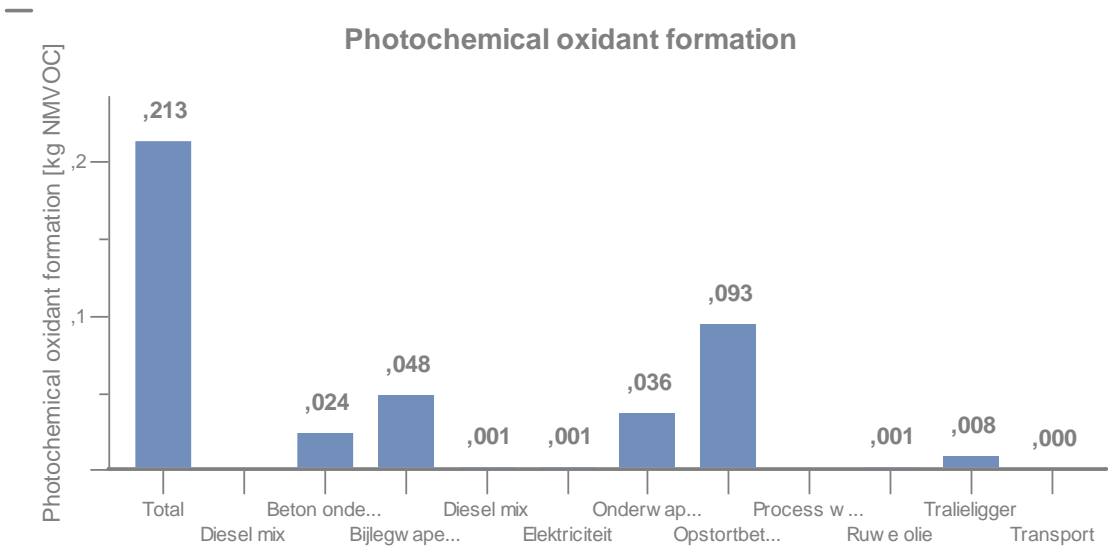


Natural land transformation



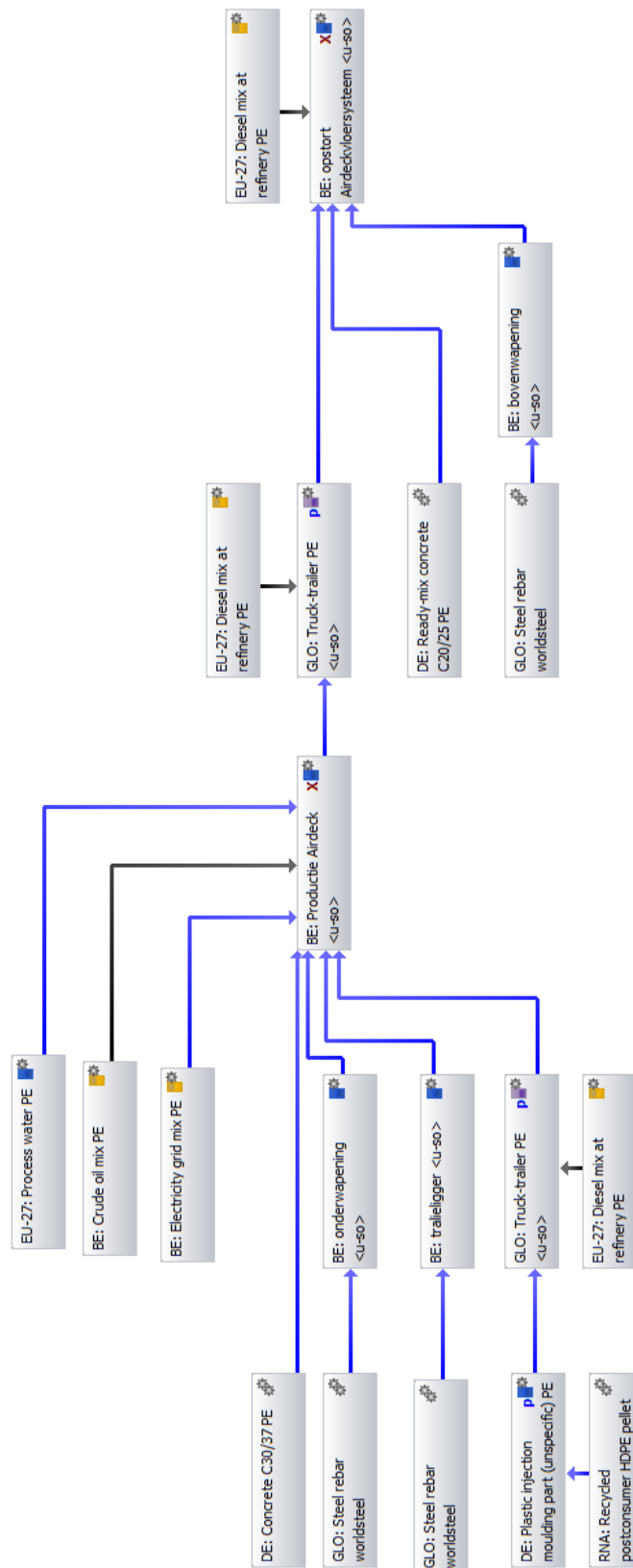
Particulate matter formation





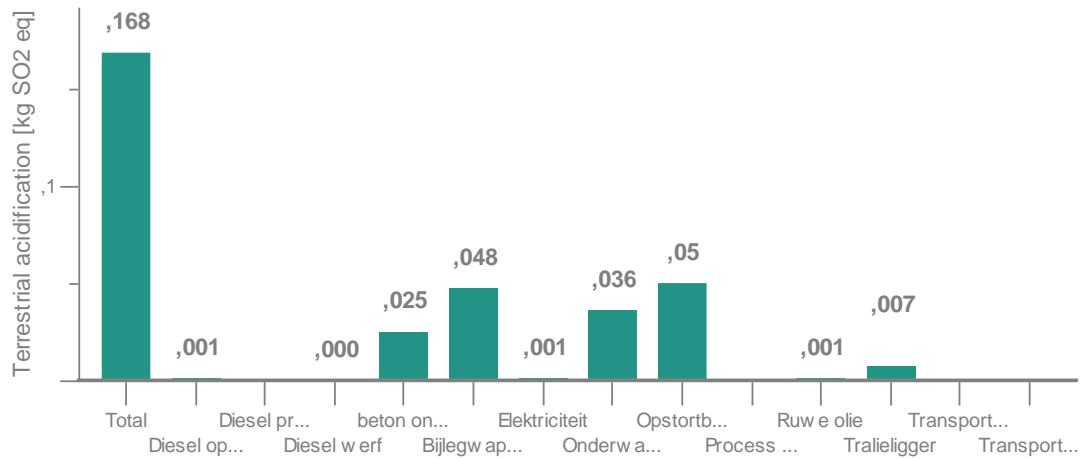
Bijlage 16: GaBi-software Airdeck systeemniveau

LCA Airdeck Systeemniveau
 Process plant/reference quantities
 The names of the basic processes are shown.

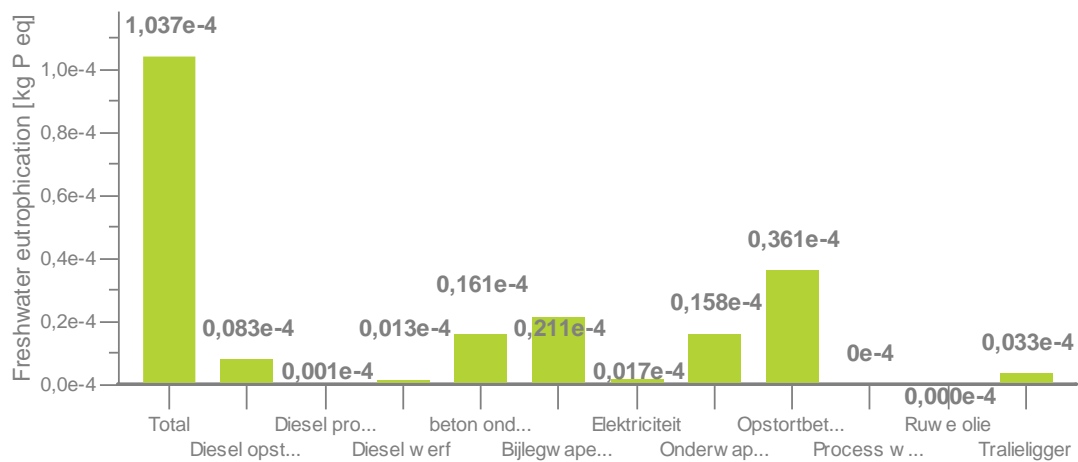


Bijlage 17: Resultaten LCA Airdeck systeemniveau

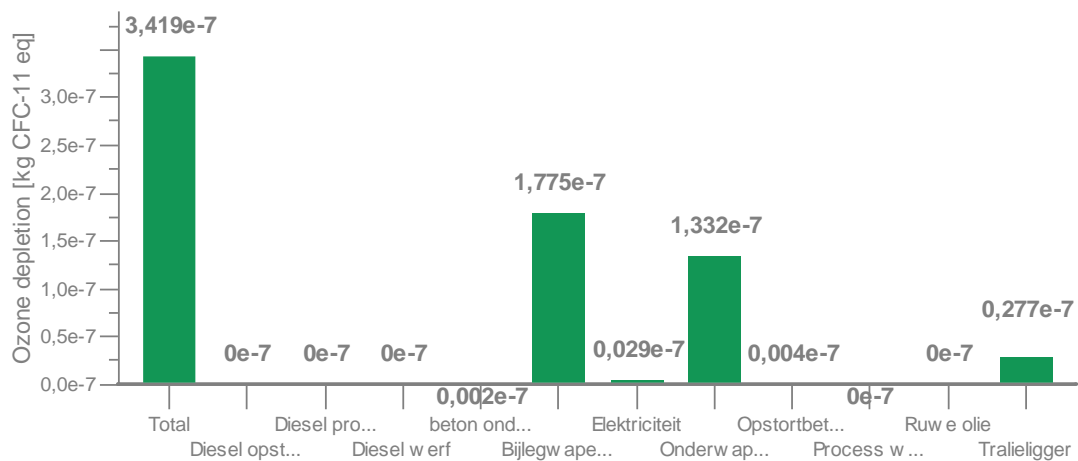
Terrestrial acidification



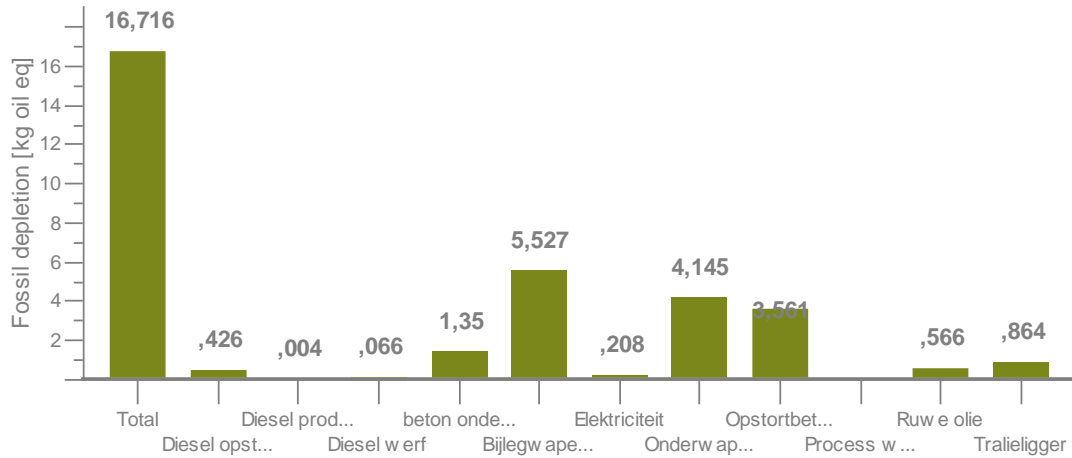
Freshwater eutrophication



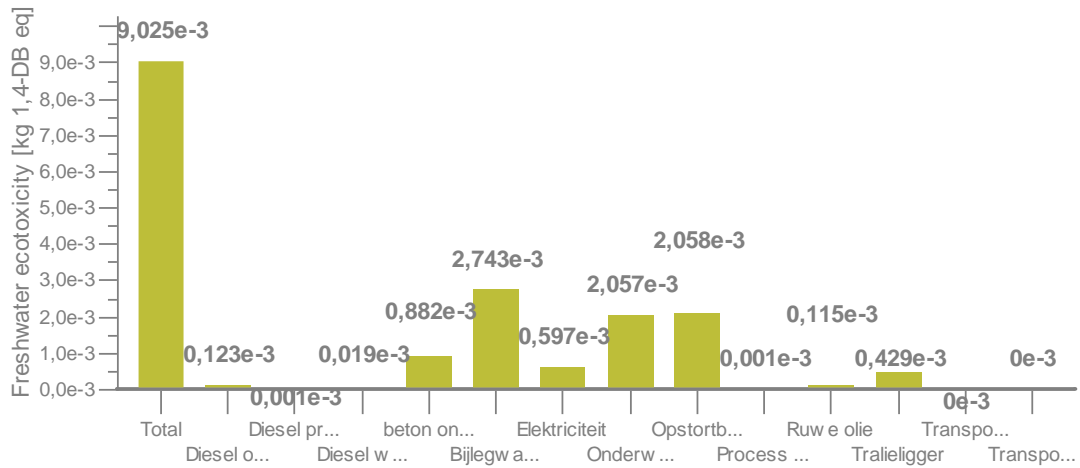
Ozone depletion



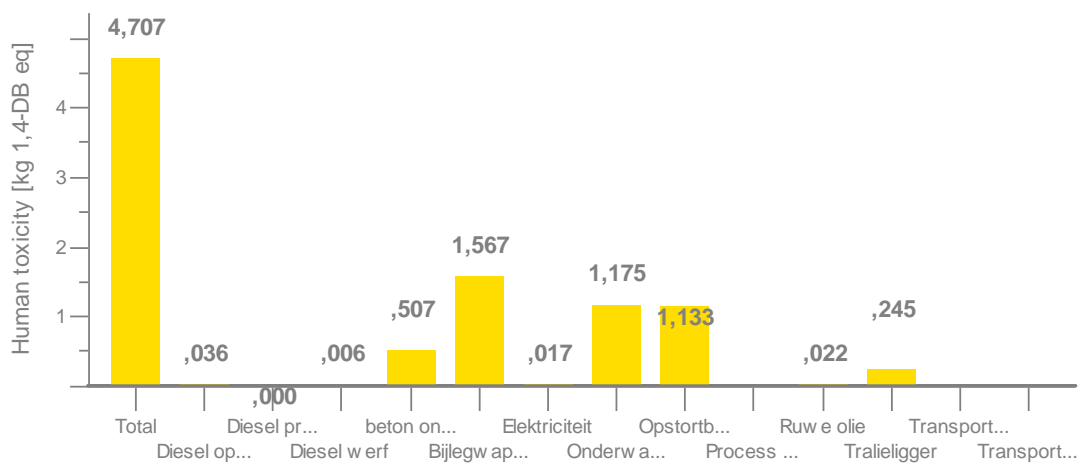
Fossil depletion



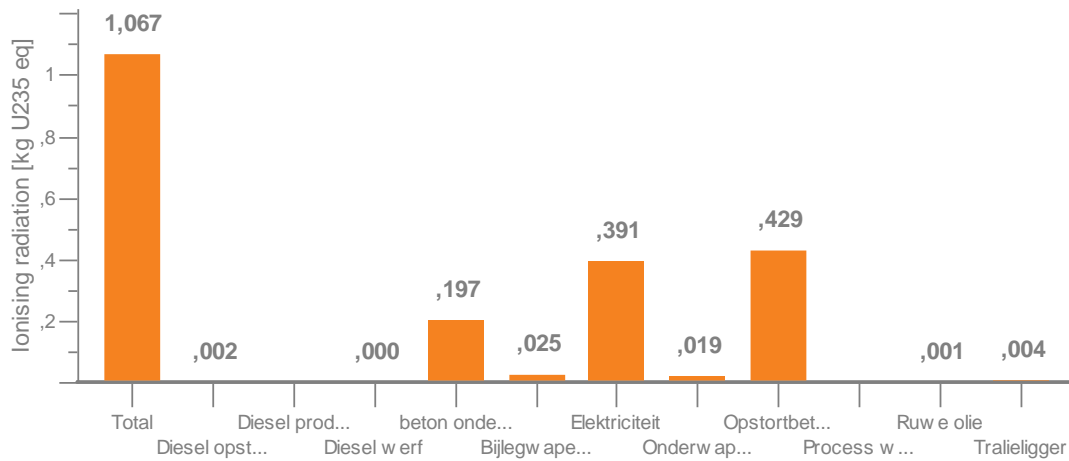
Freshwater ecotoxicity



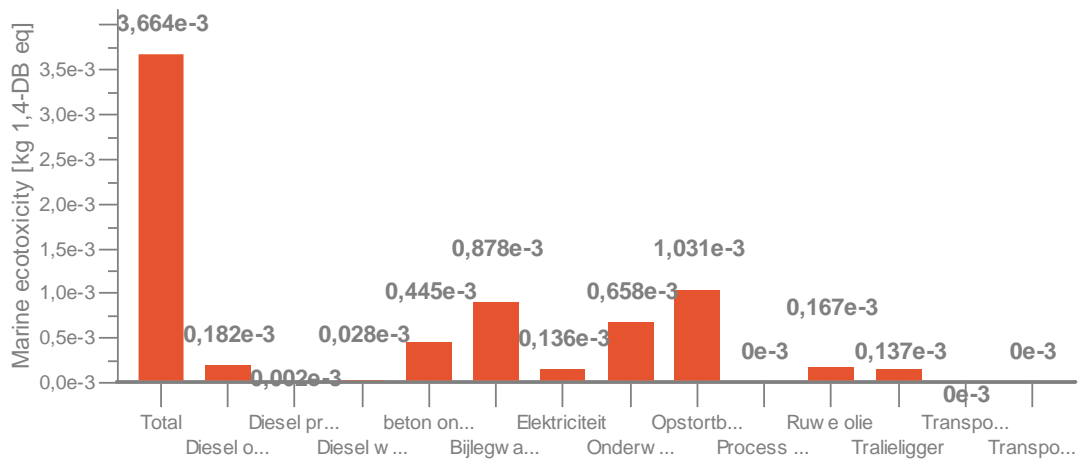
Human toxicity



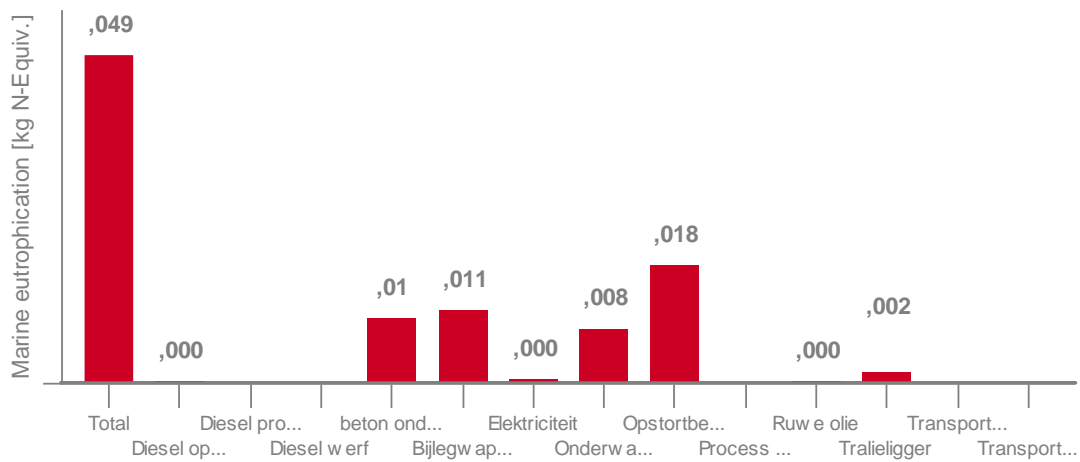
Ionising radiation



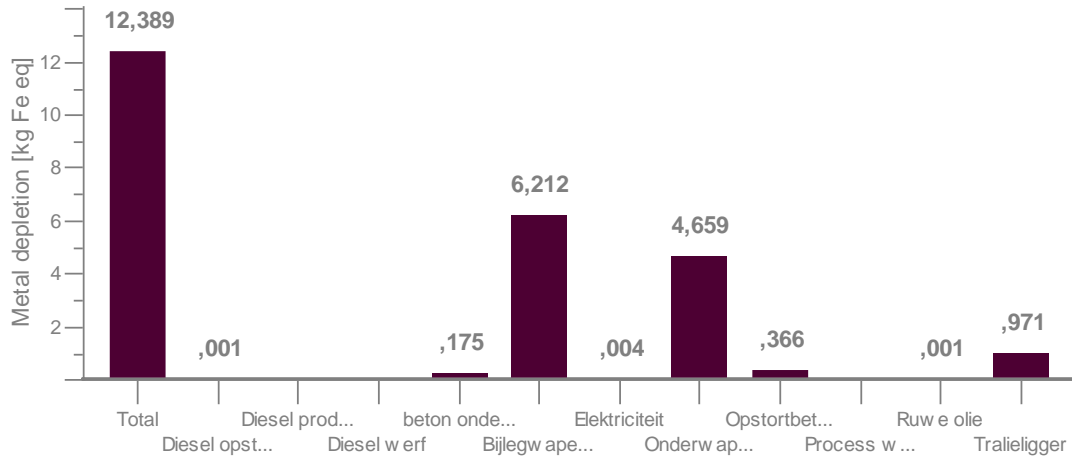
Marine ecotoxicity



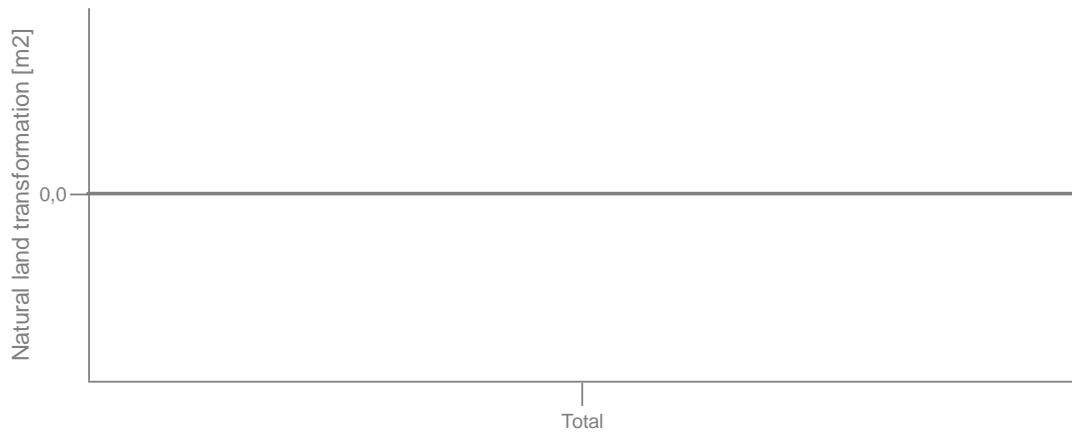
Marine eutrophication



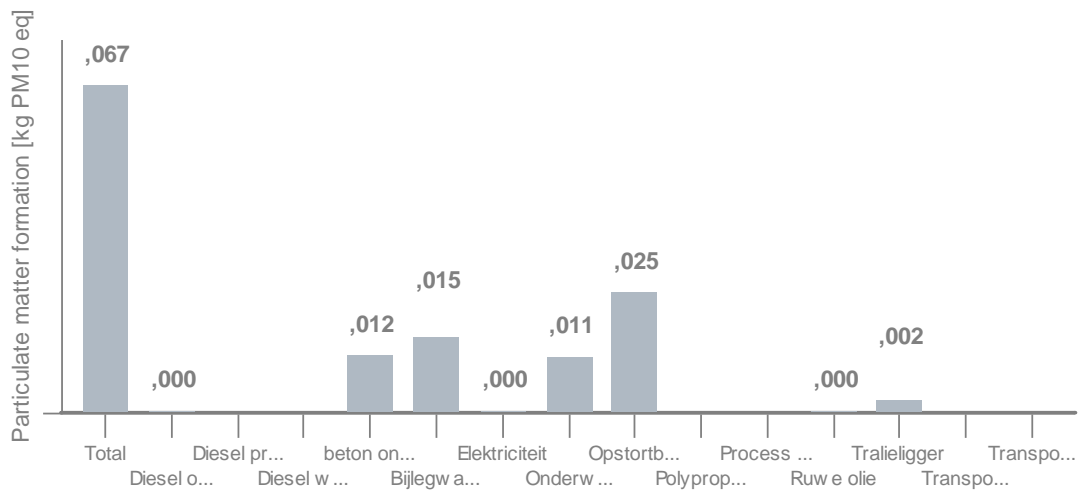
Metal depletion

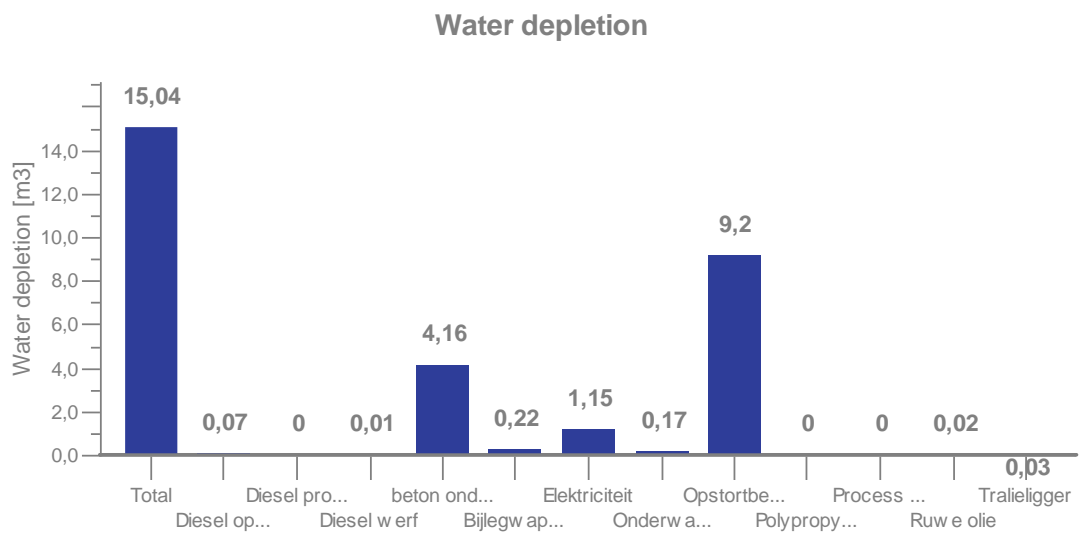
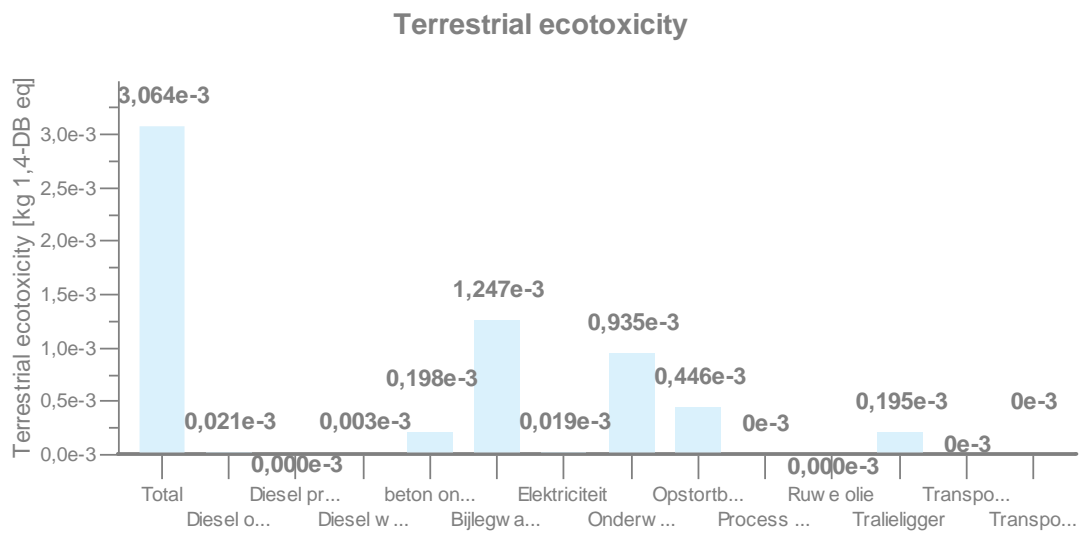
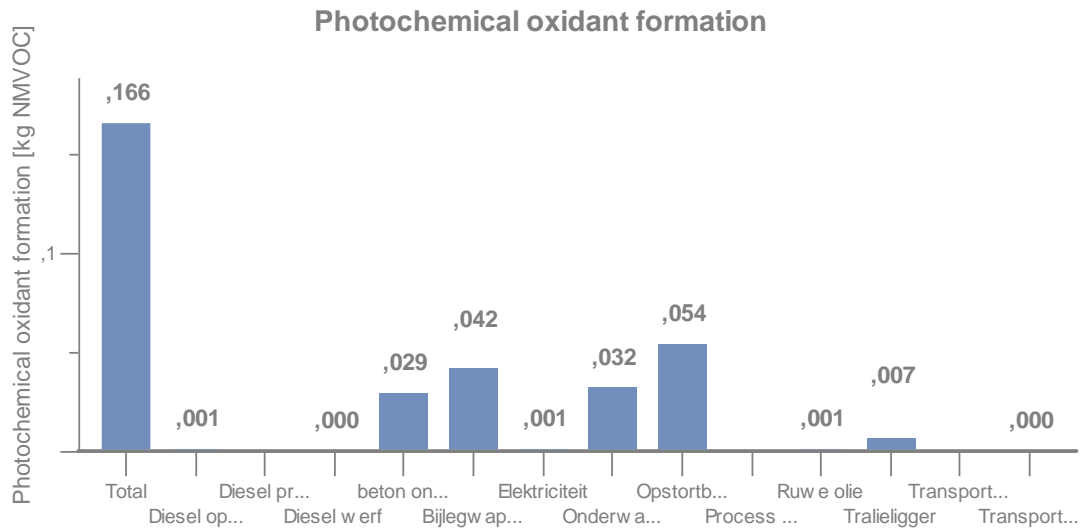


Natural land transformation



Particulate matter formation

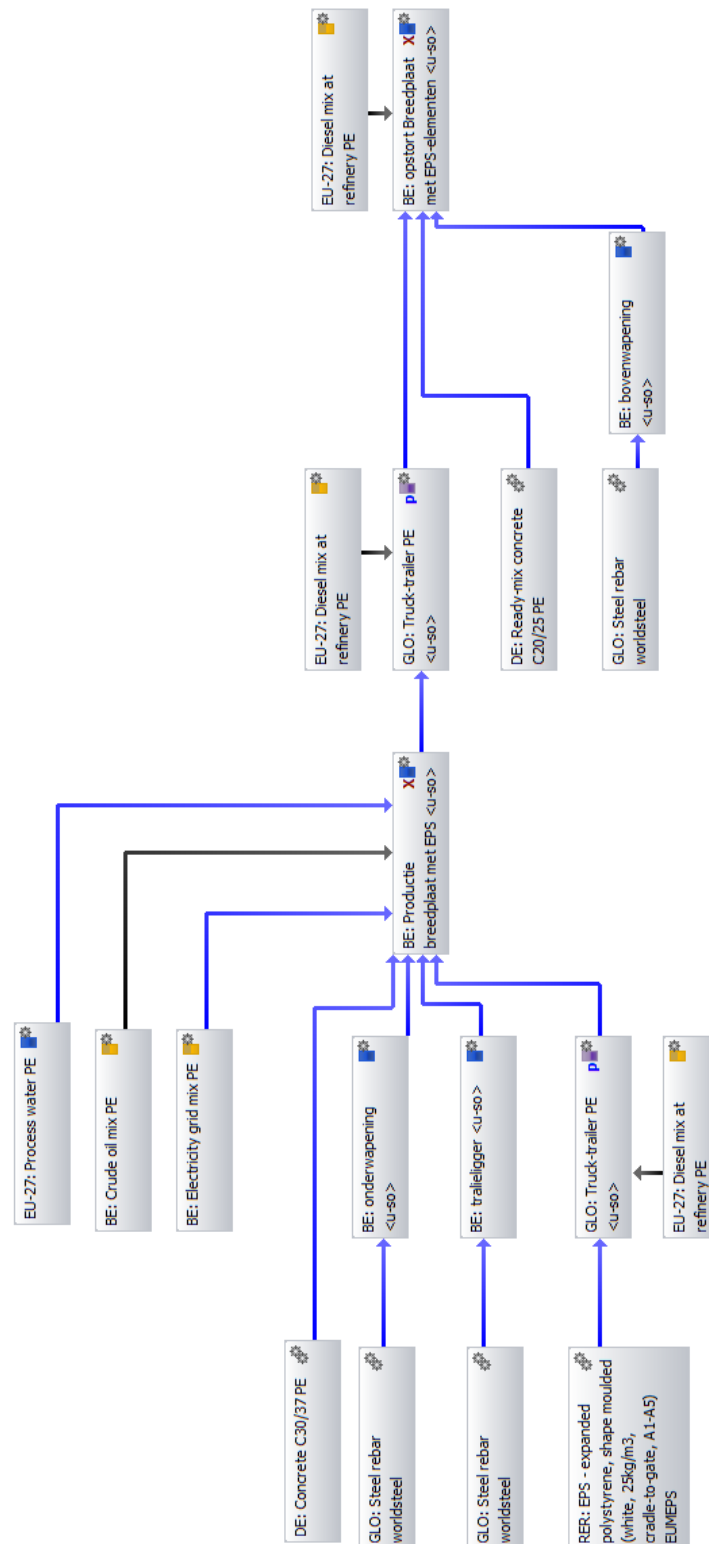




Bijlage 18: GaBi-software breedplaat met EPS systeemniveau

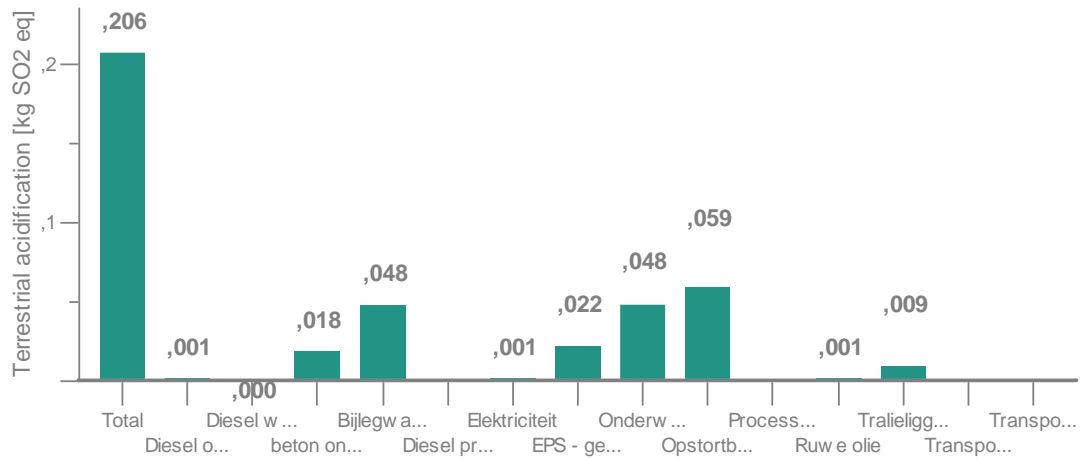
LCA Breedplaat met EPS Systeemniveau

Process plant Reference quantities
The names of the basic processes are shown.

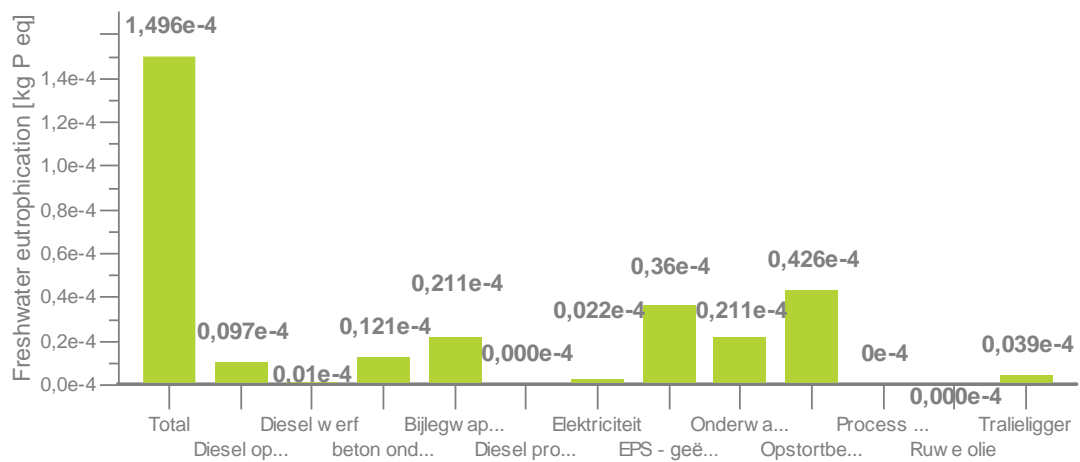


Bijlage 19: Resultaten LCA breedplaat met EPS systeemniveau

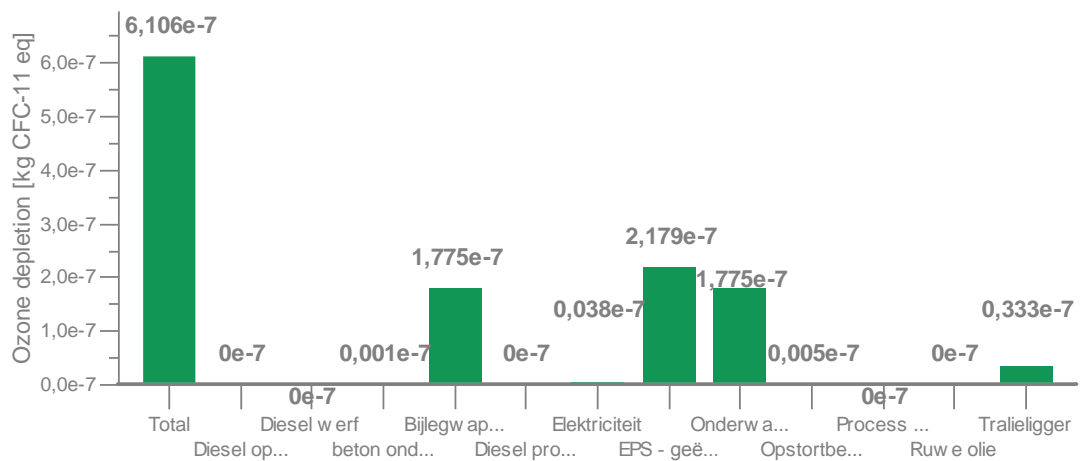
Terrestrial acidification



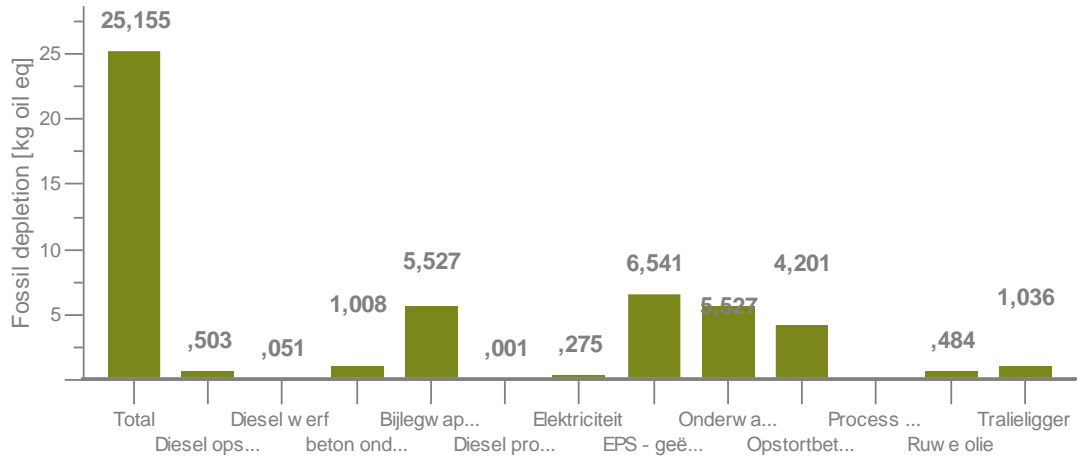
Freshwater eutrophication



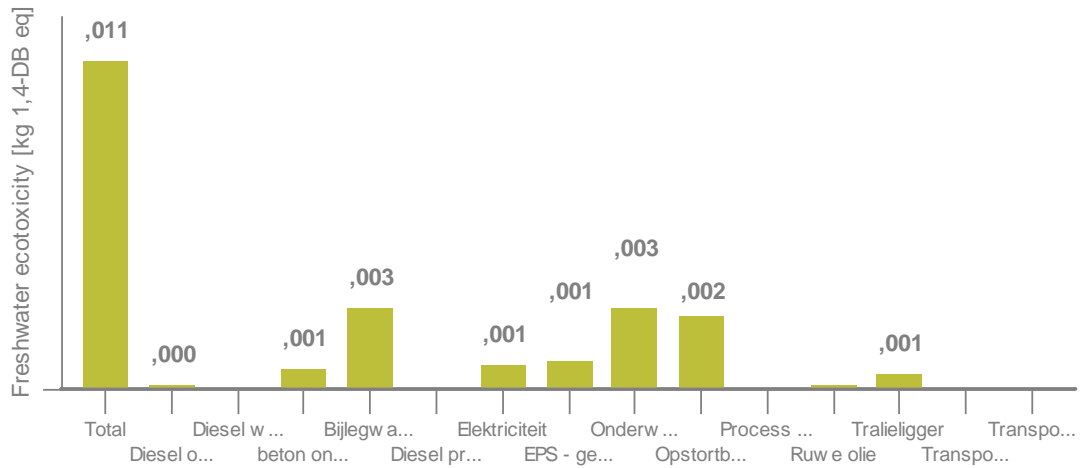
Ozone depletion



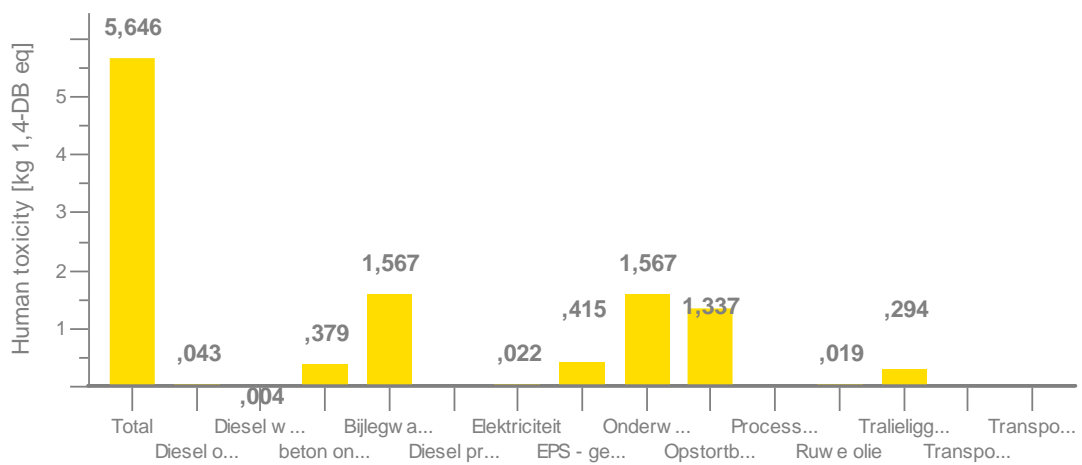
Fossil depletion



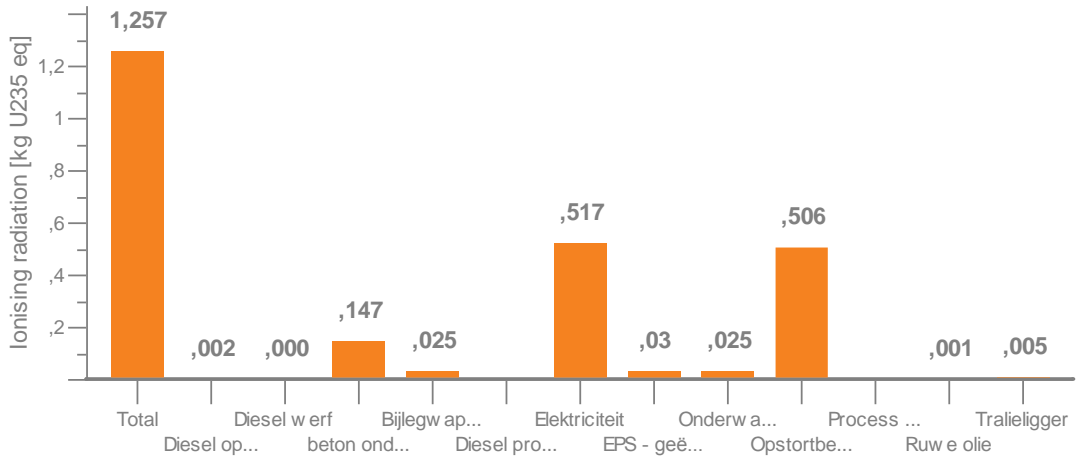
Freshwater ecotoxicity



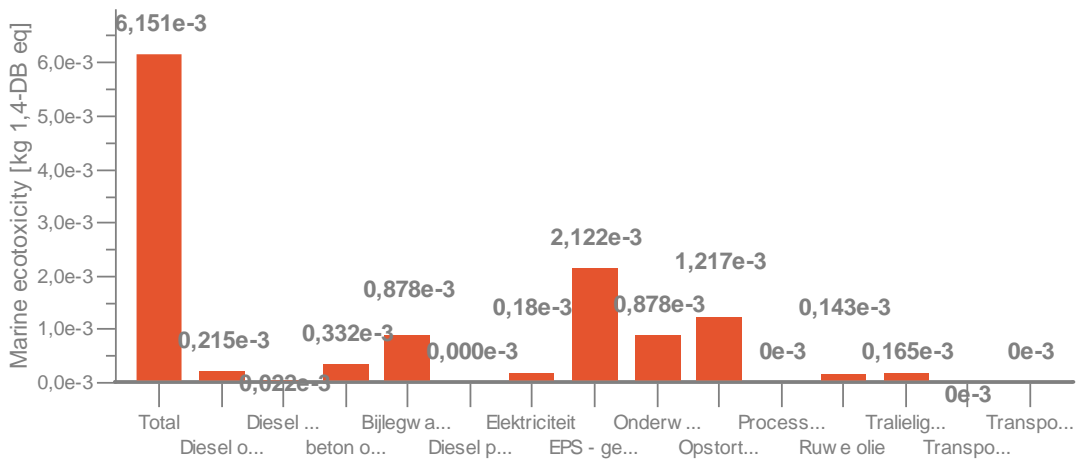
Human toxicity



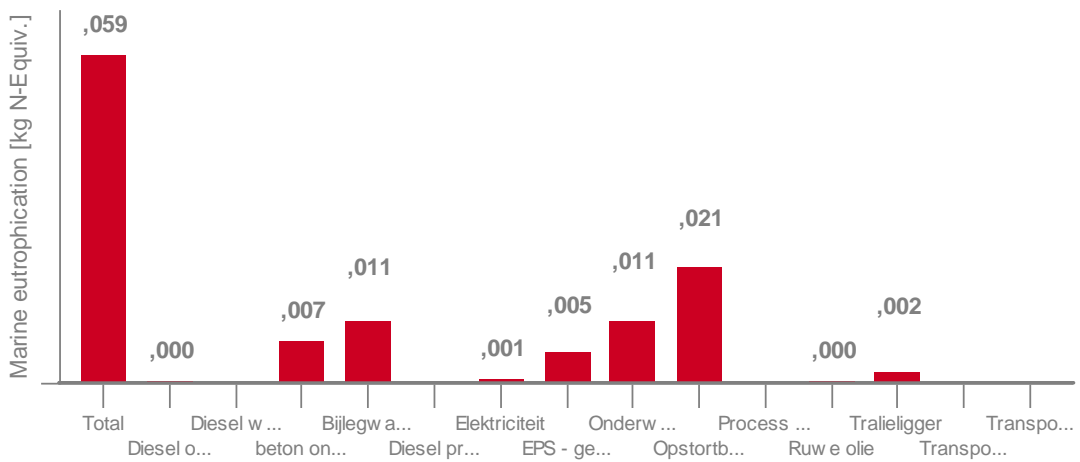
Ionising radiation



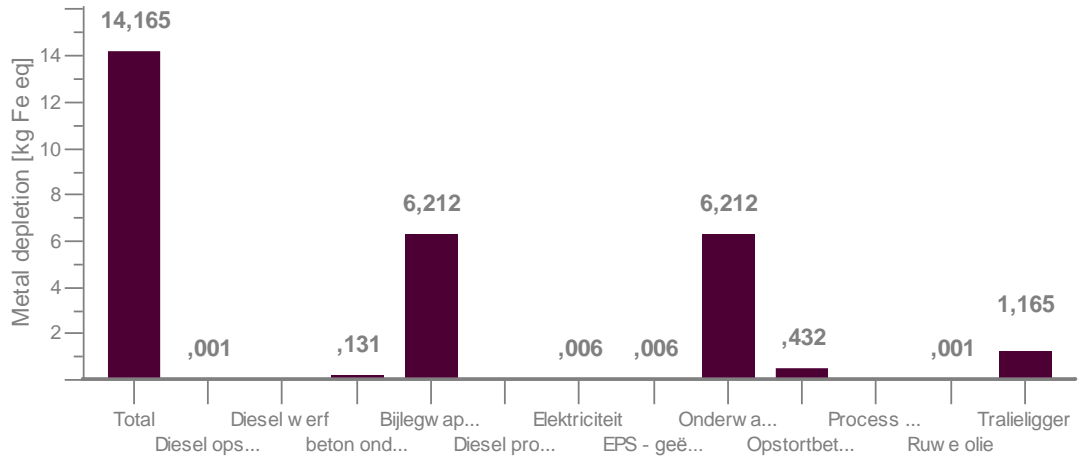
Marine ecotoxicity



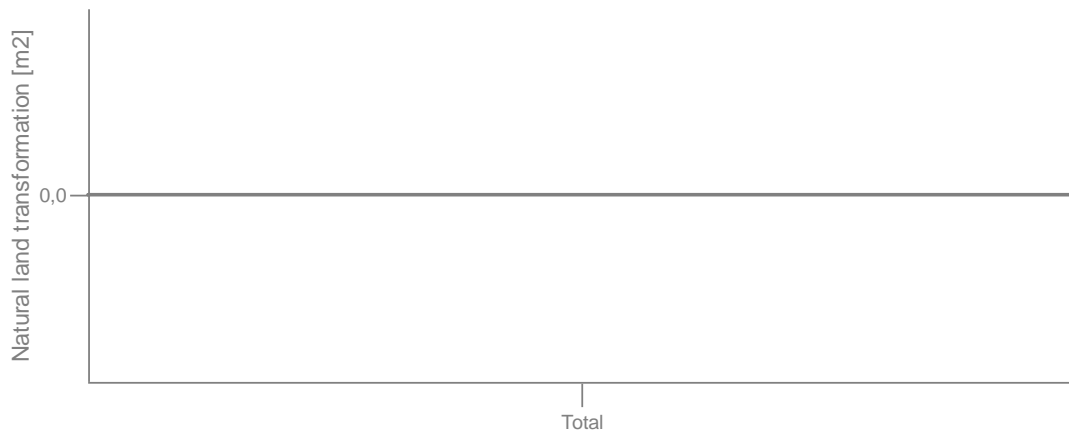
Marine eutrophication



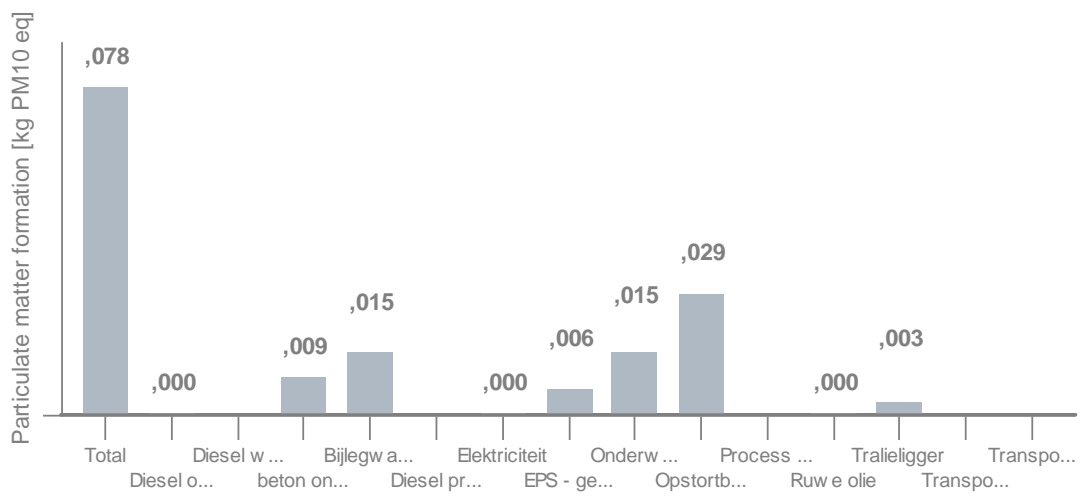
Metal depletion

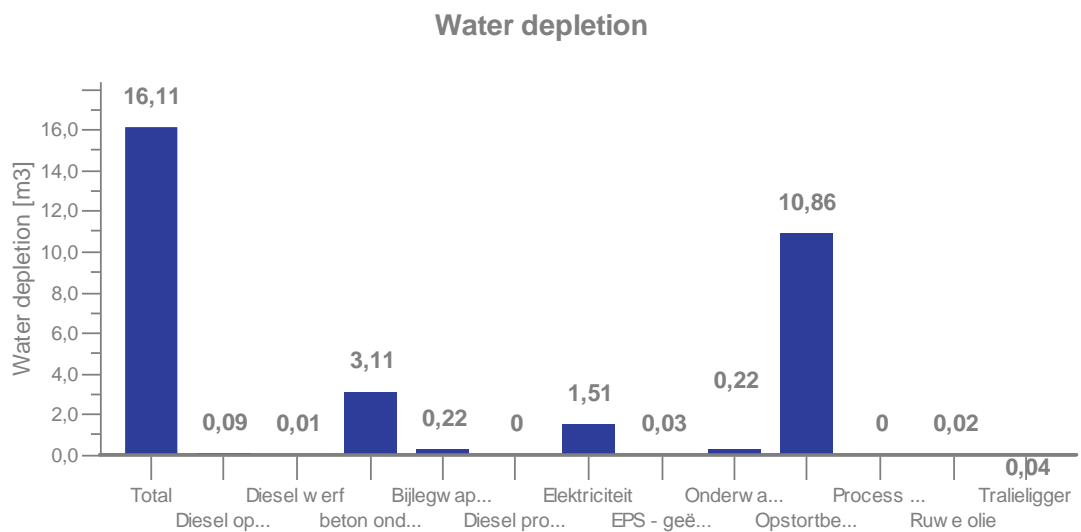
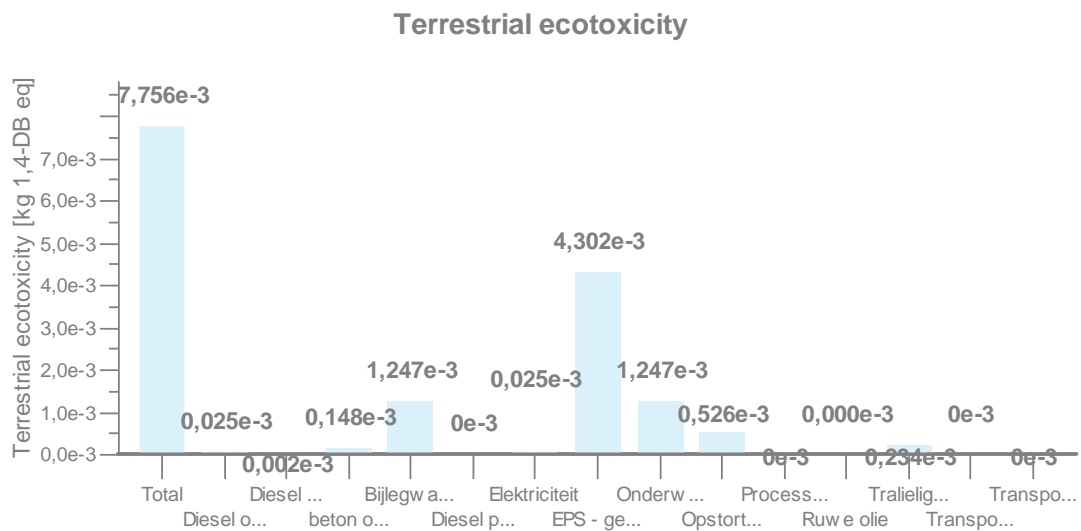
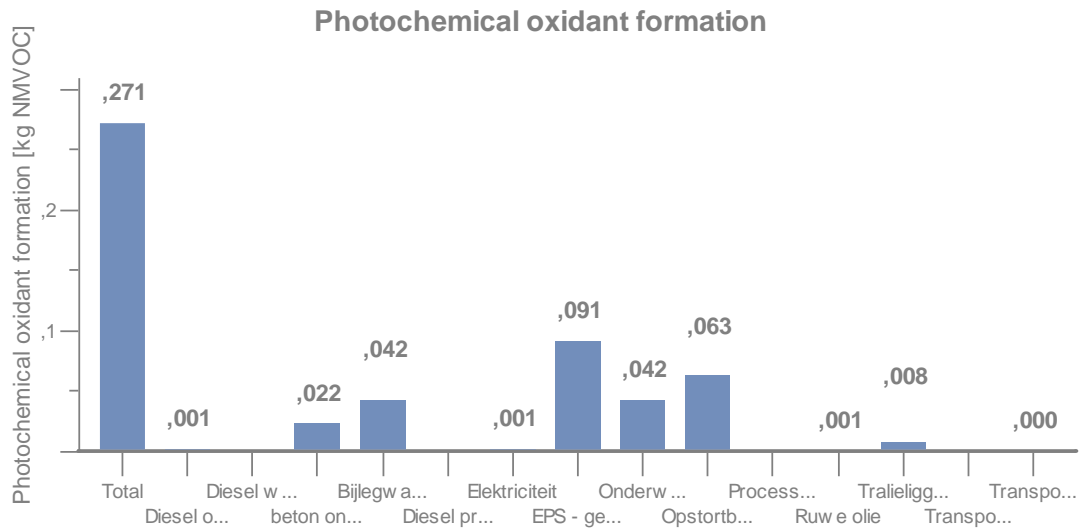


Natural land transformation

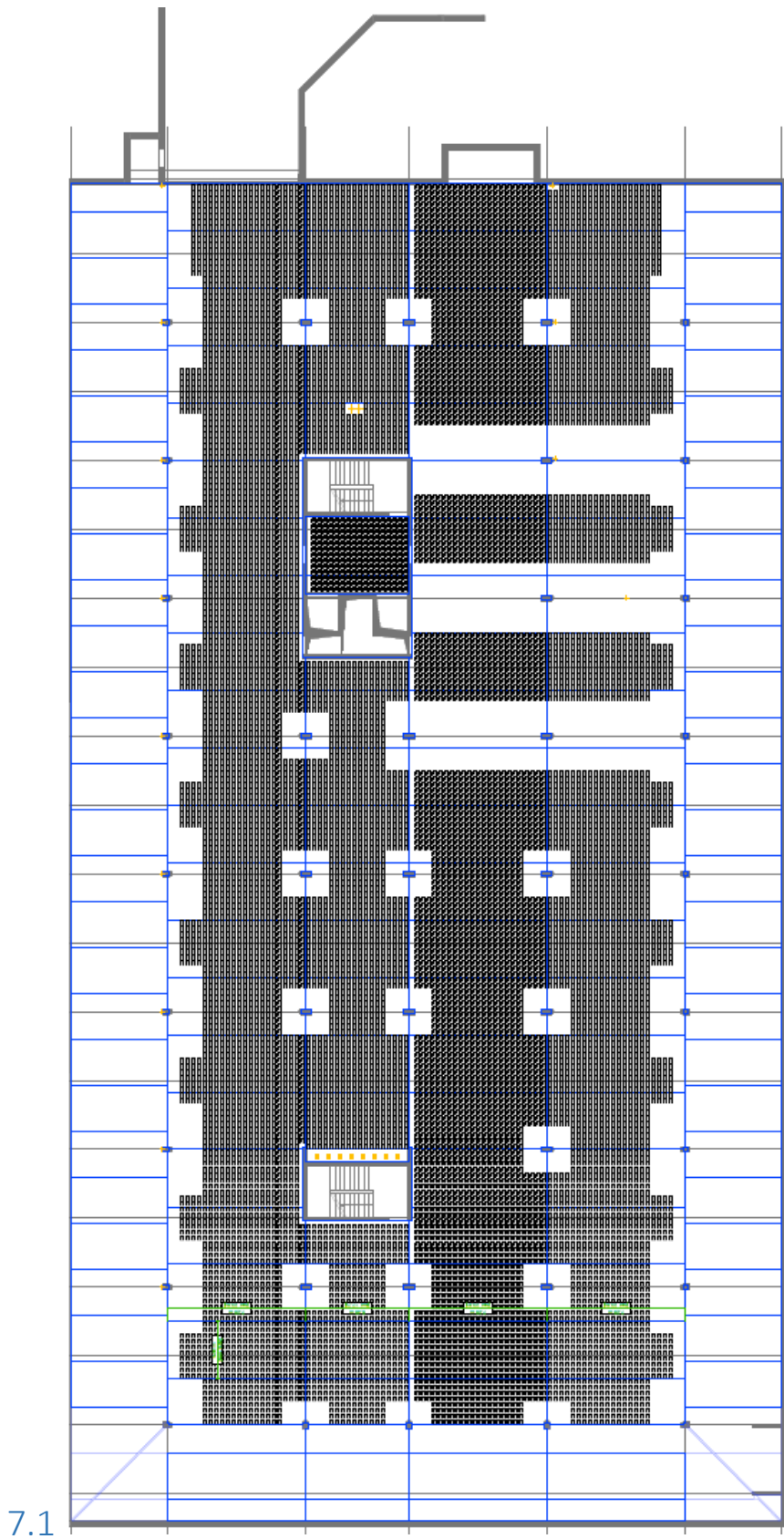


Particulate matter formation

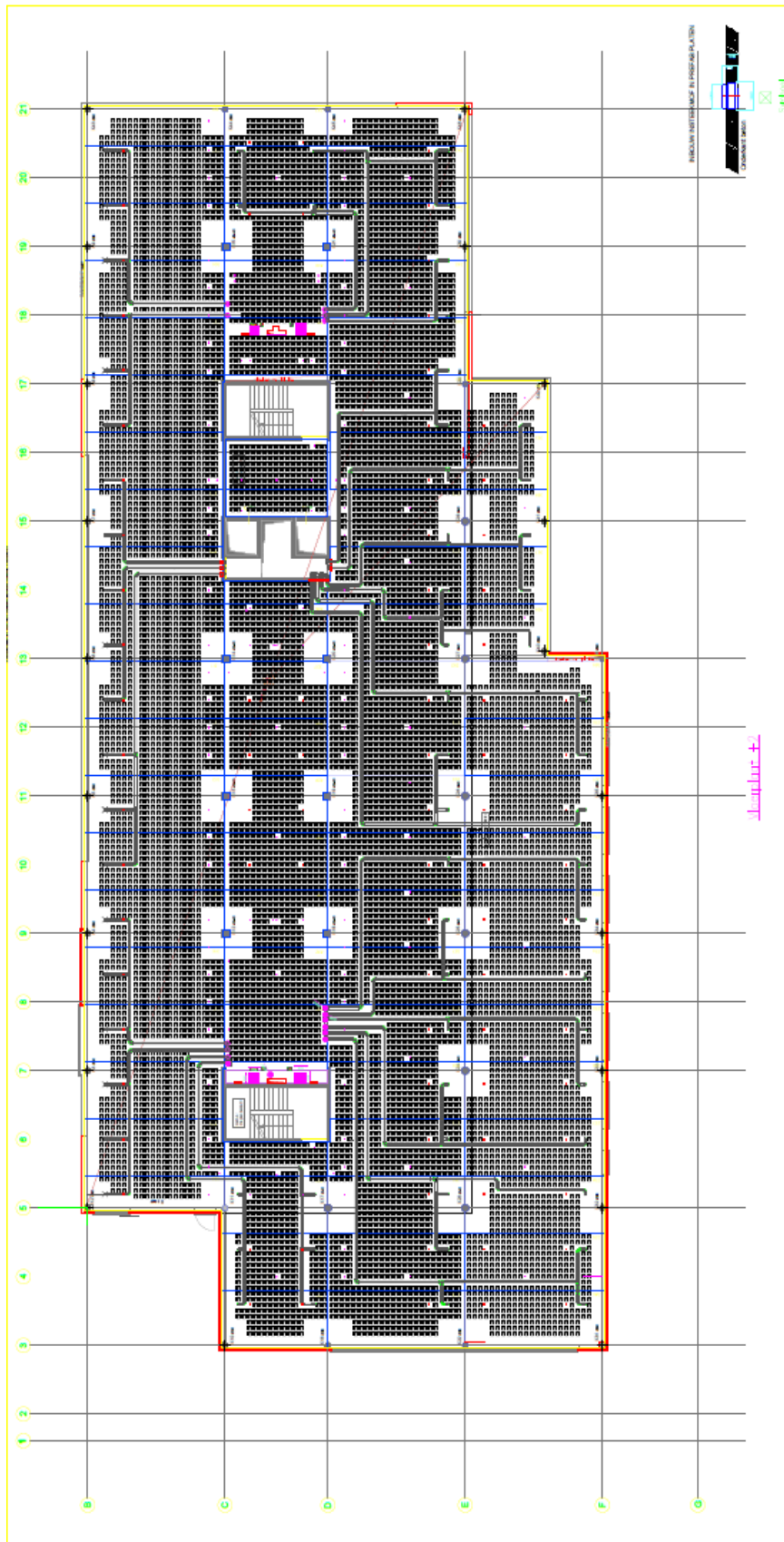




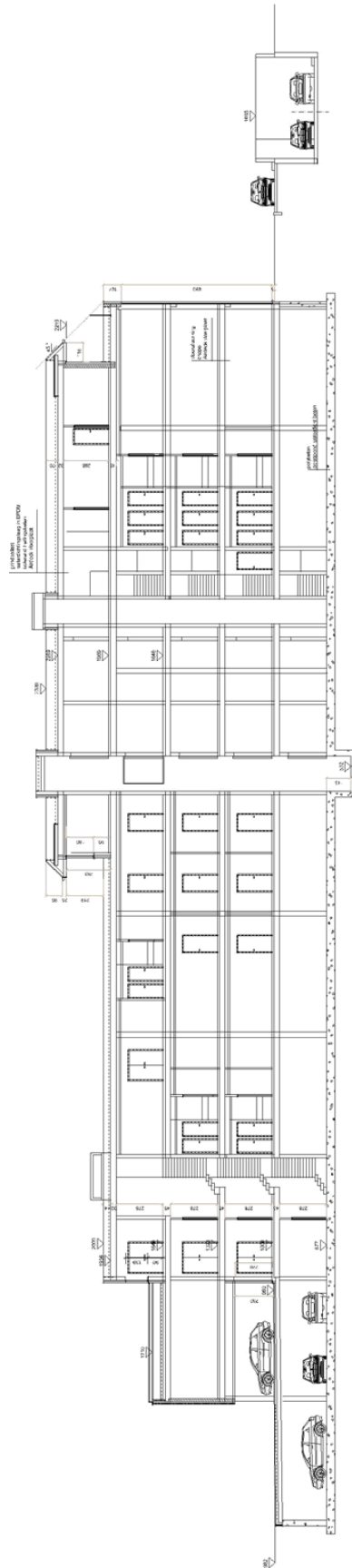
Bijlage 20: Plan afdek kelderniveau



Bijlage 21: Plan afdek gelijkvloers



Bijlage 22: Doorsnede Hollandsch Huys

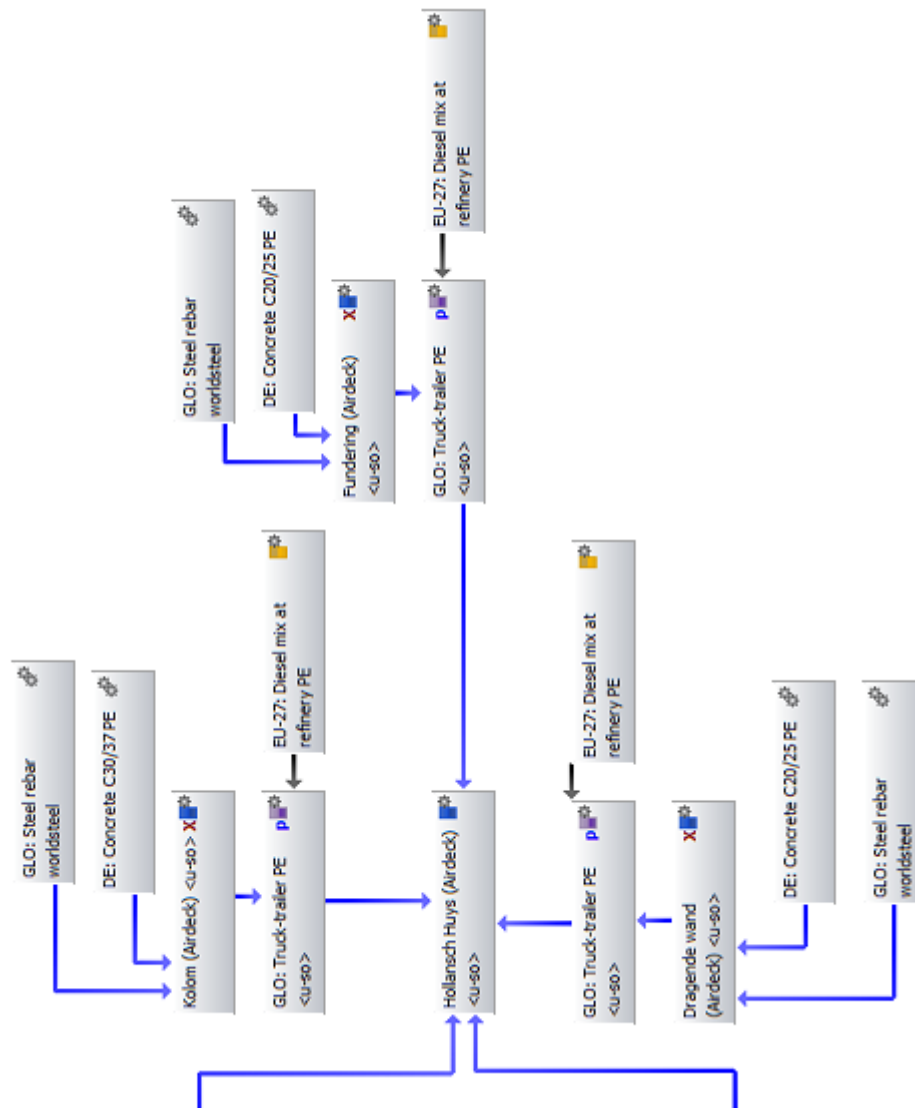


SNEDE A - B

Bijlage 23: Plan kelderniveau

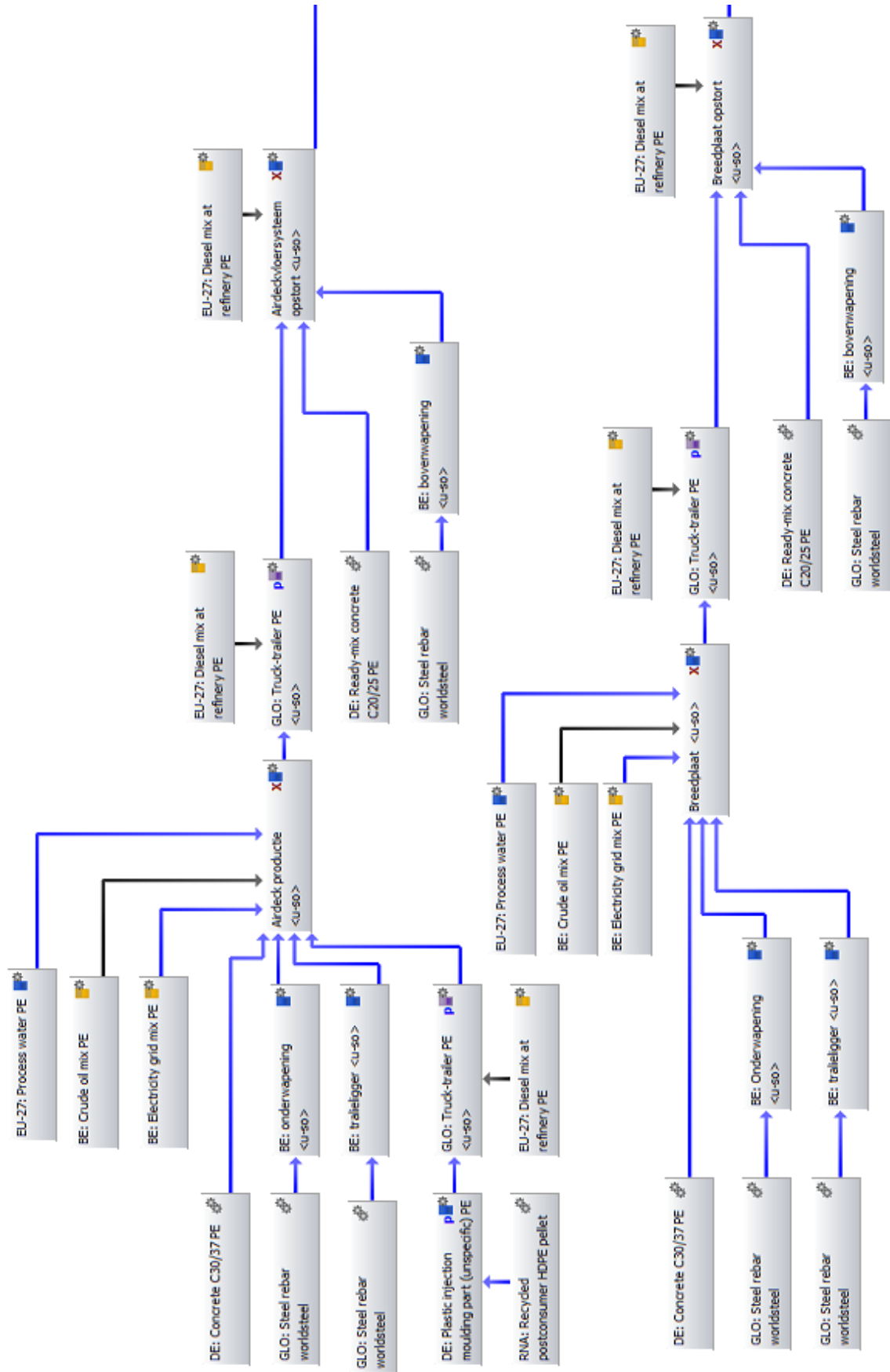


Bijlage 24: GaBi-software Airdeck gebouwniveau

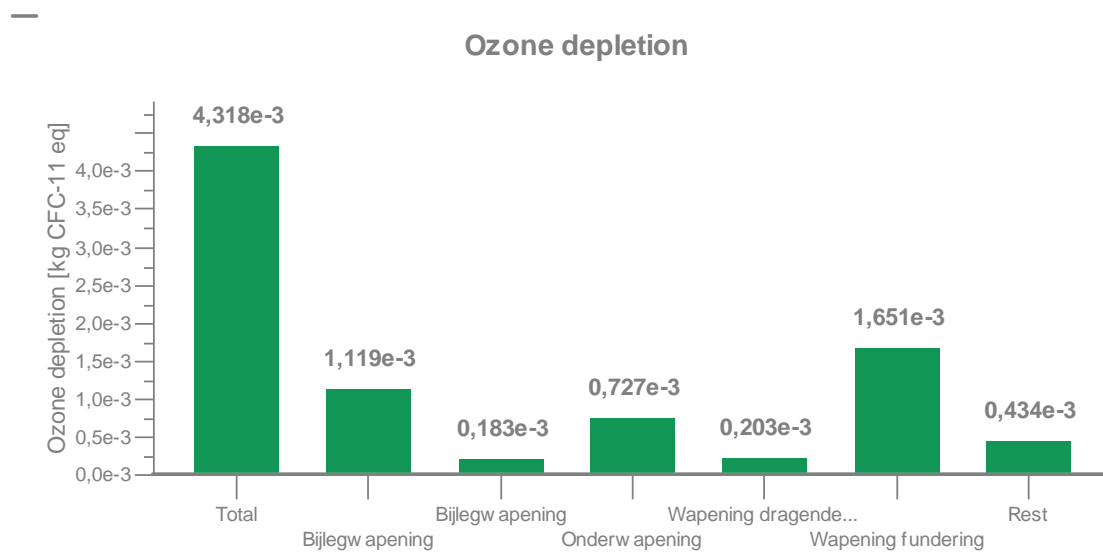
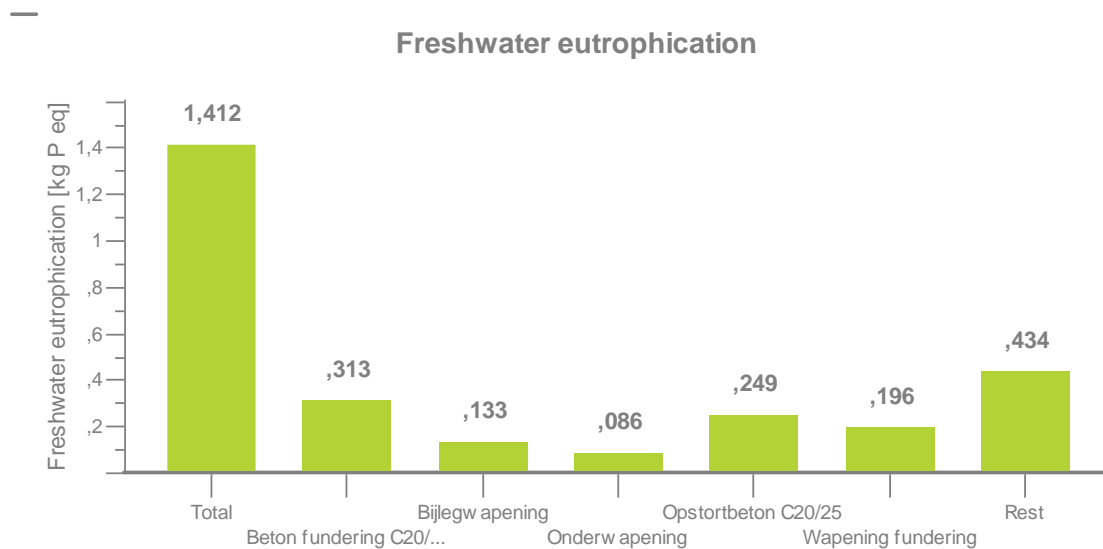
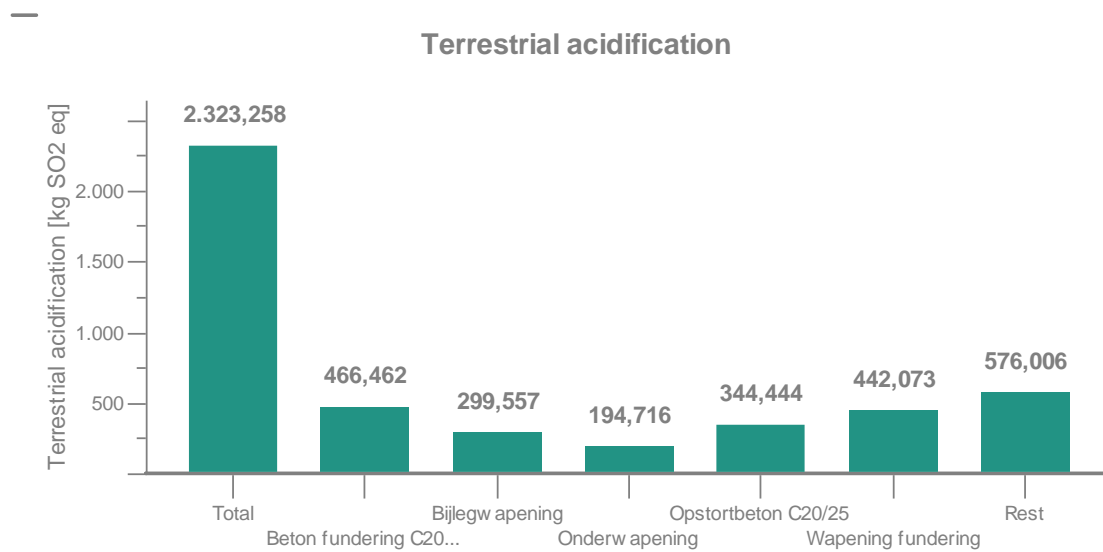


LCA Airdeck gebouwniveau

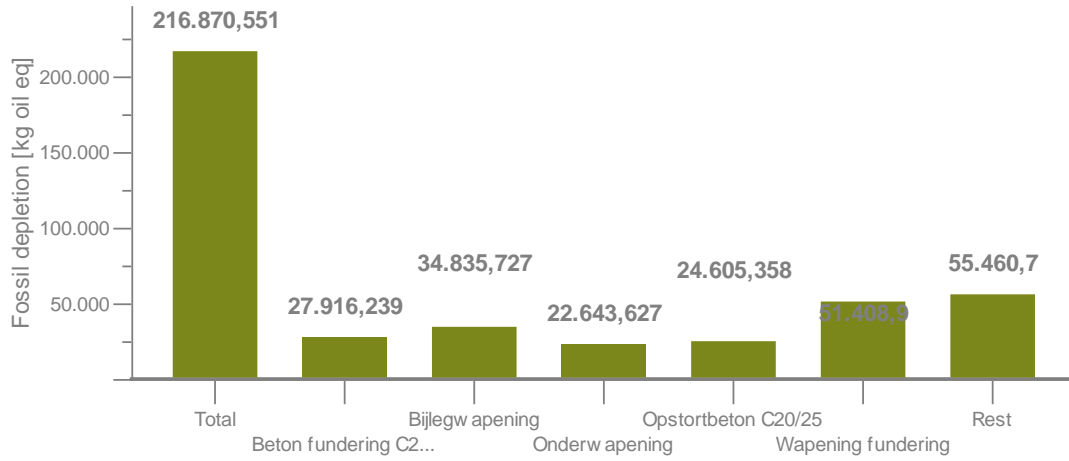
Process plant/reference quantities
The names of the basic processes are shown.



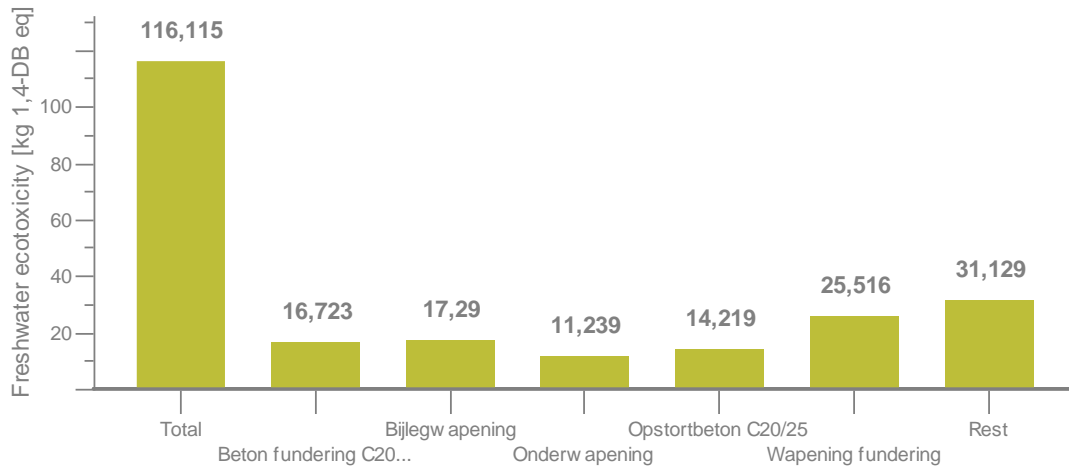
Bijlage 25: Resultaten LCA Airdeck gebouwniveau



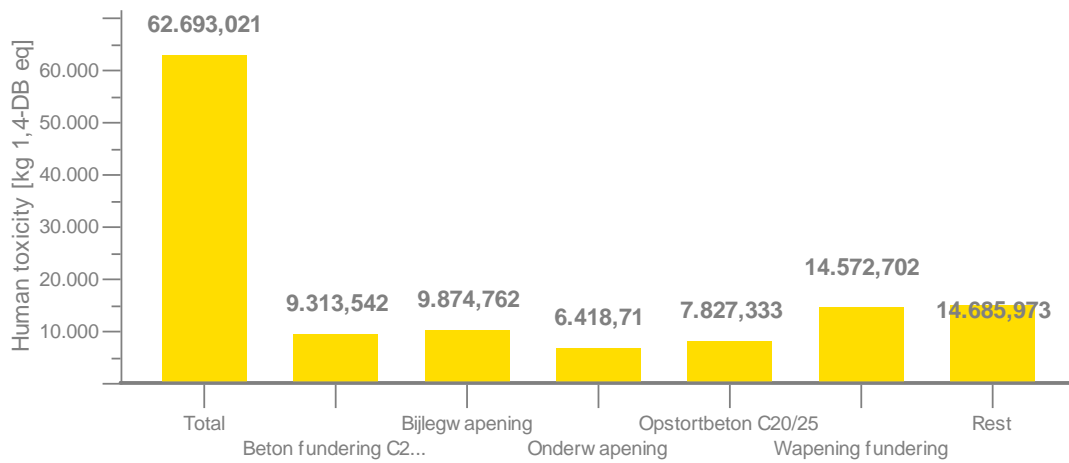
Fossil depletion



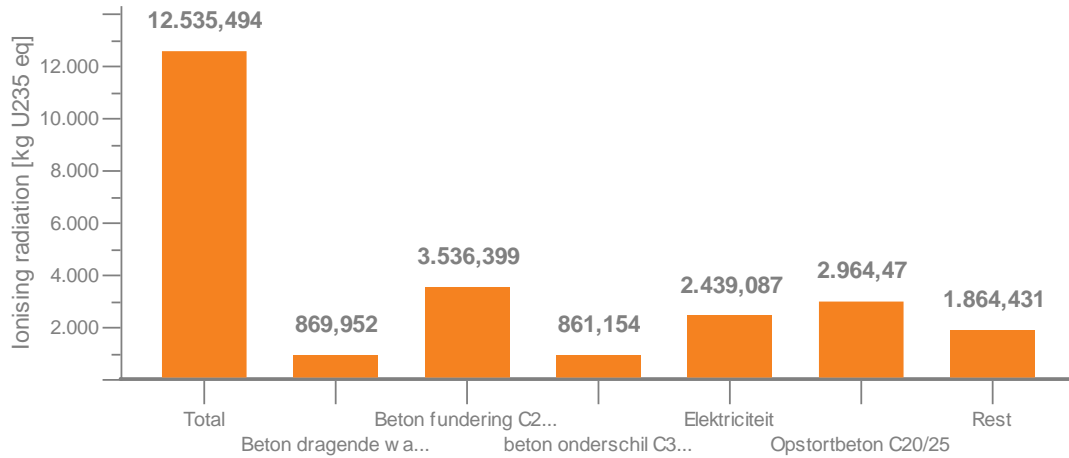
Freshwater ecotoxicity



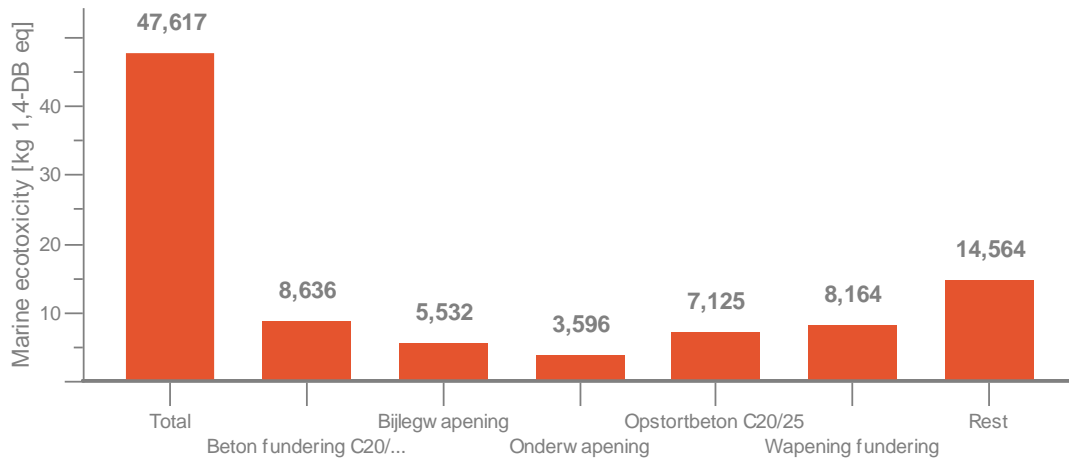
Human toxicity



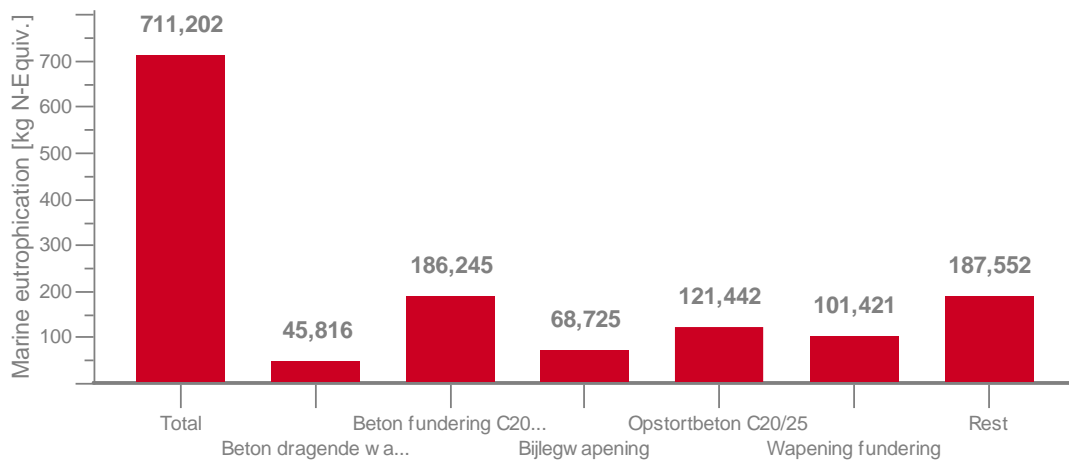
Ionising radiation



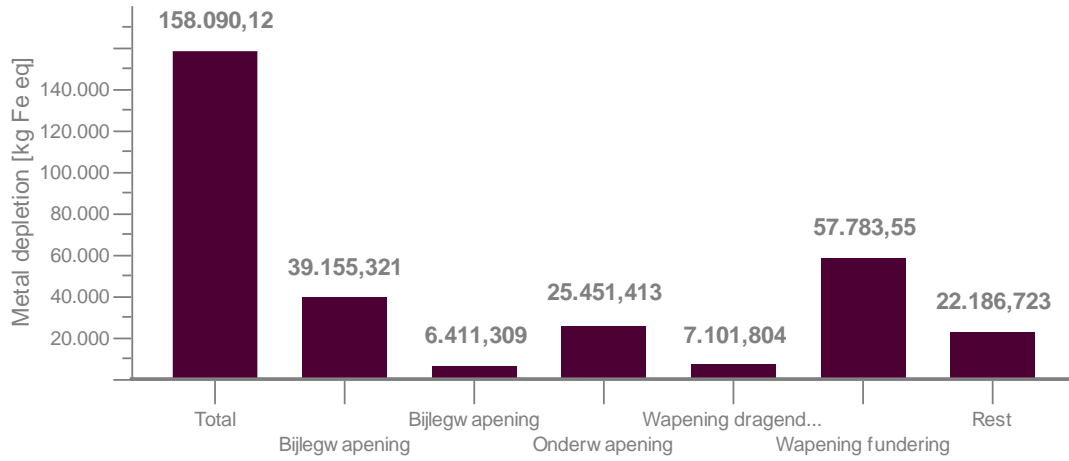
Marine ecotoxicity



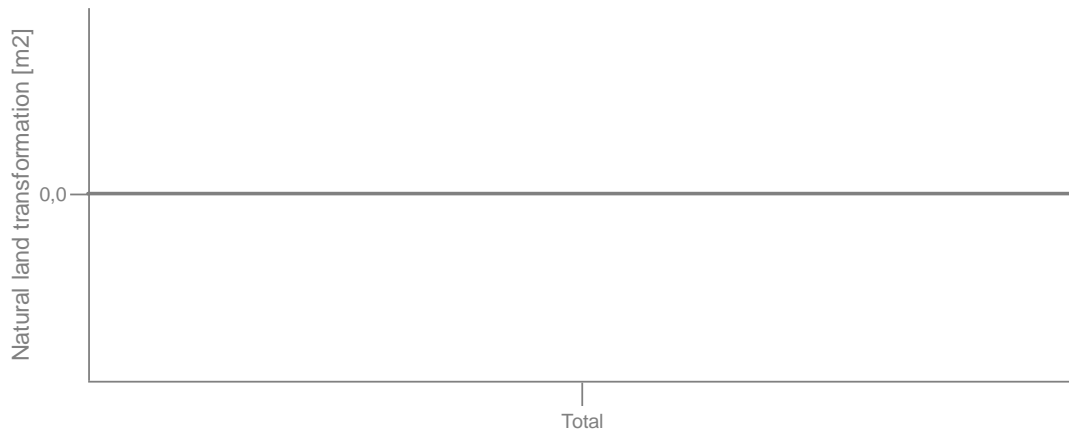
Marine eutrophication



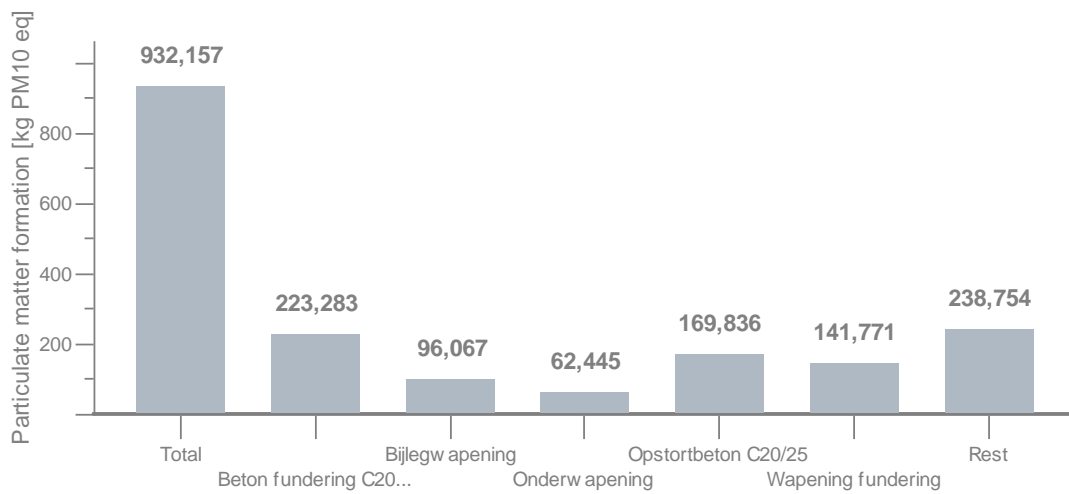
Metal depletion

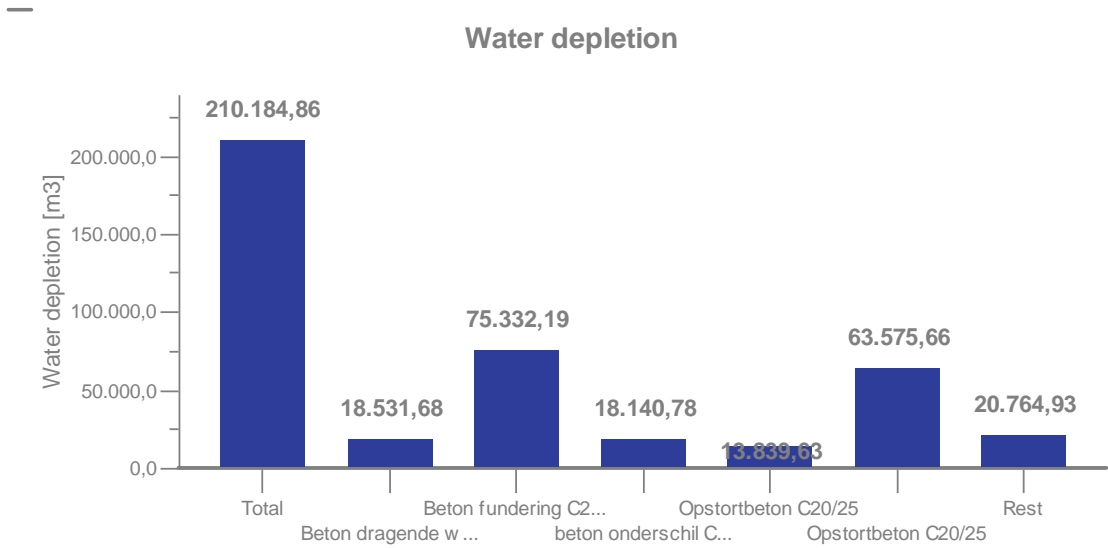
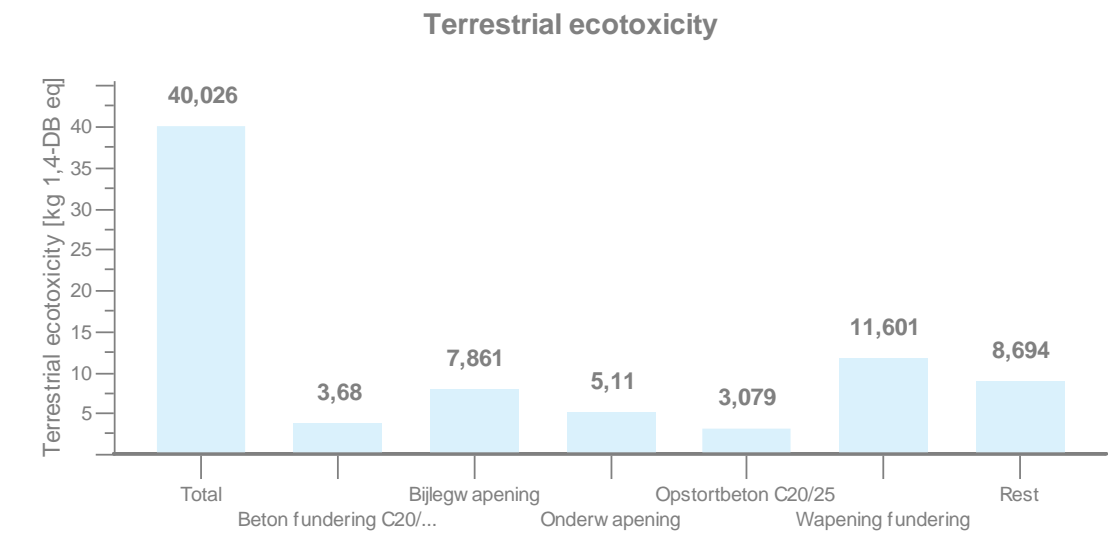
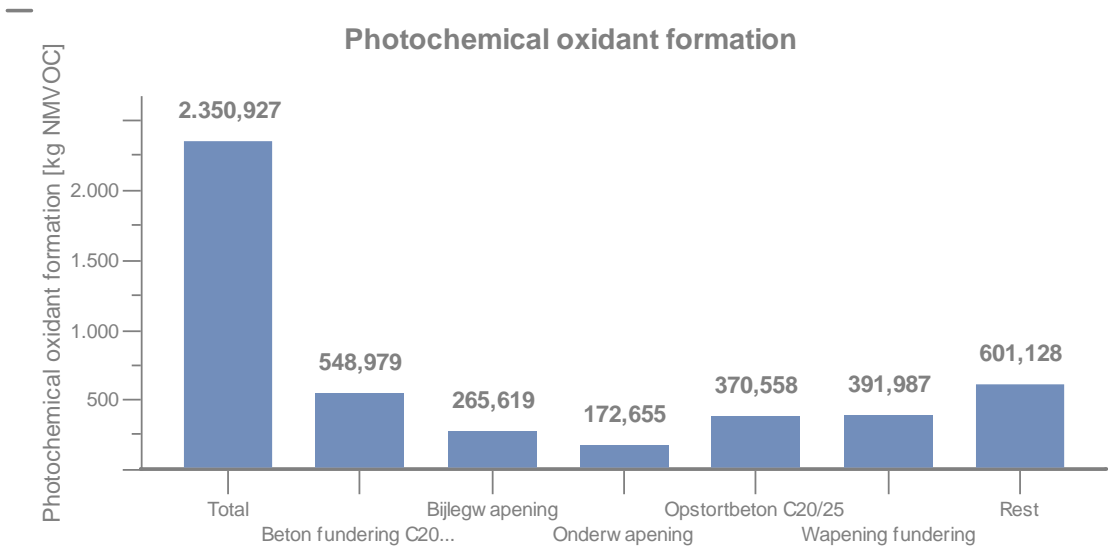


Natural land transformation

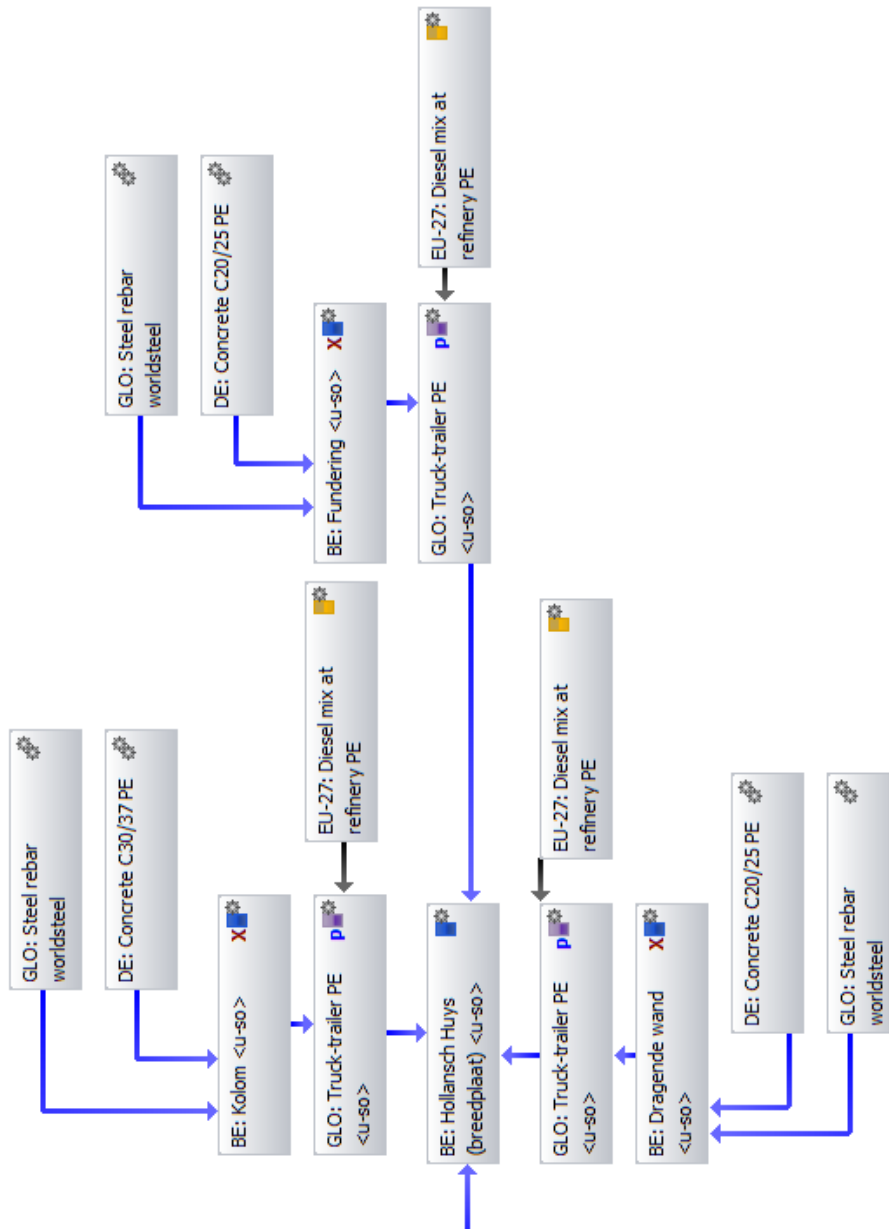


Particulate matter formation



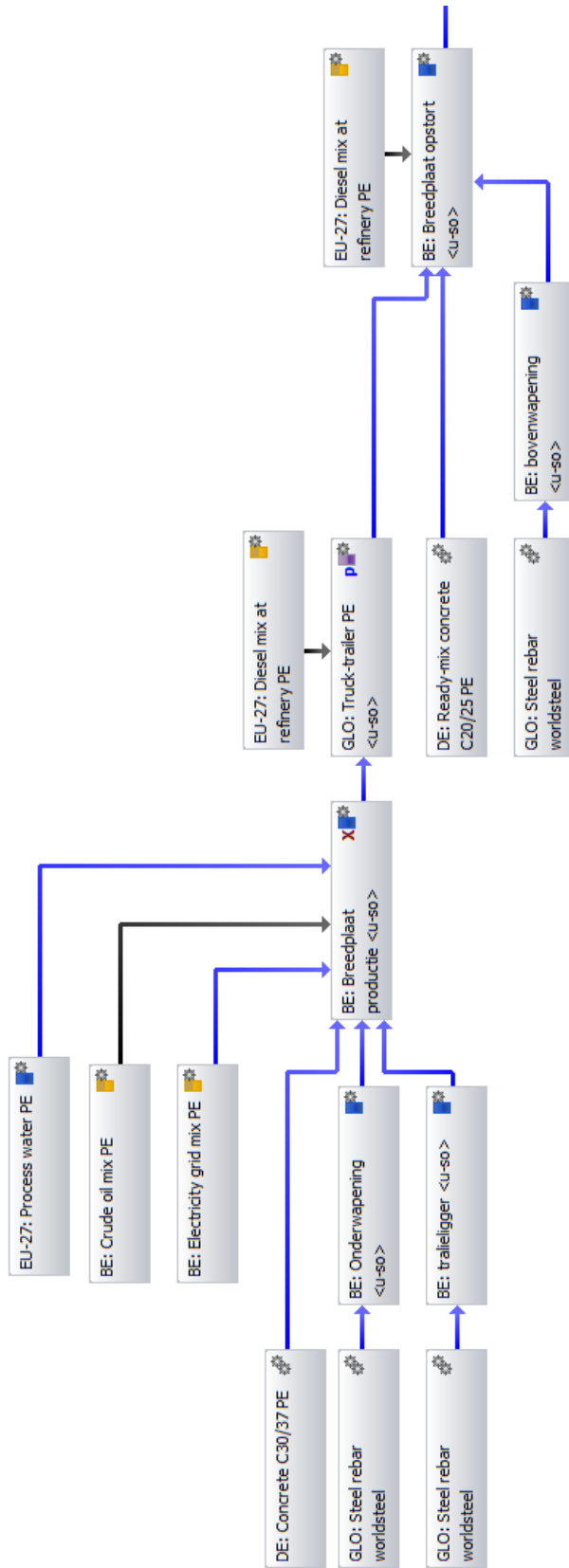


Bijlage 26: GaBi-software klassieke breedplaat gebouwniveau

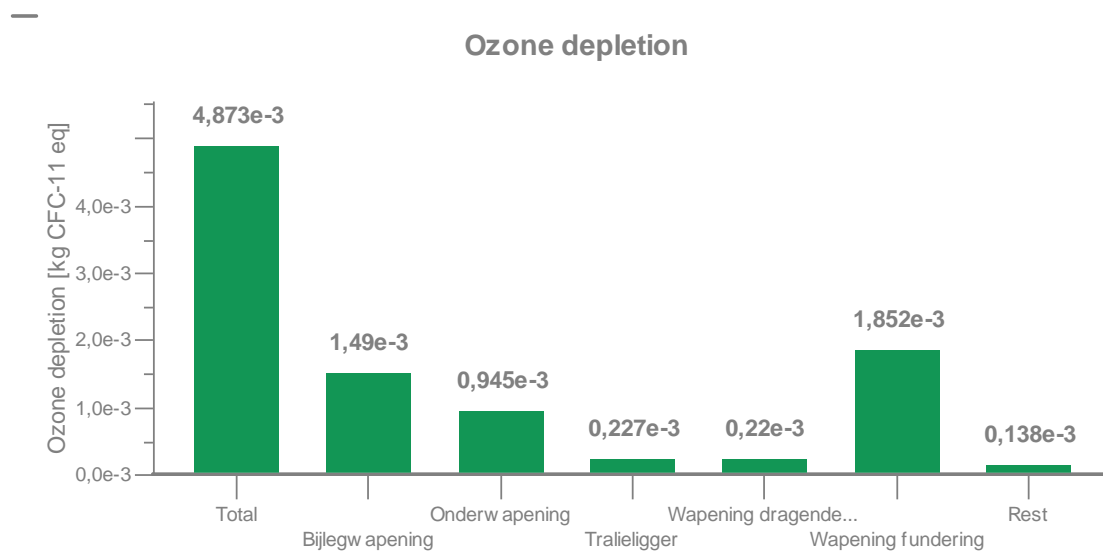
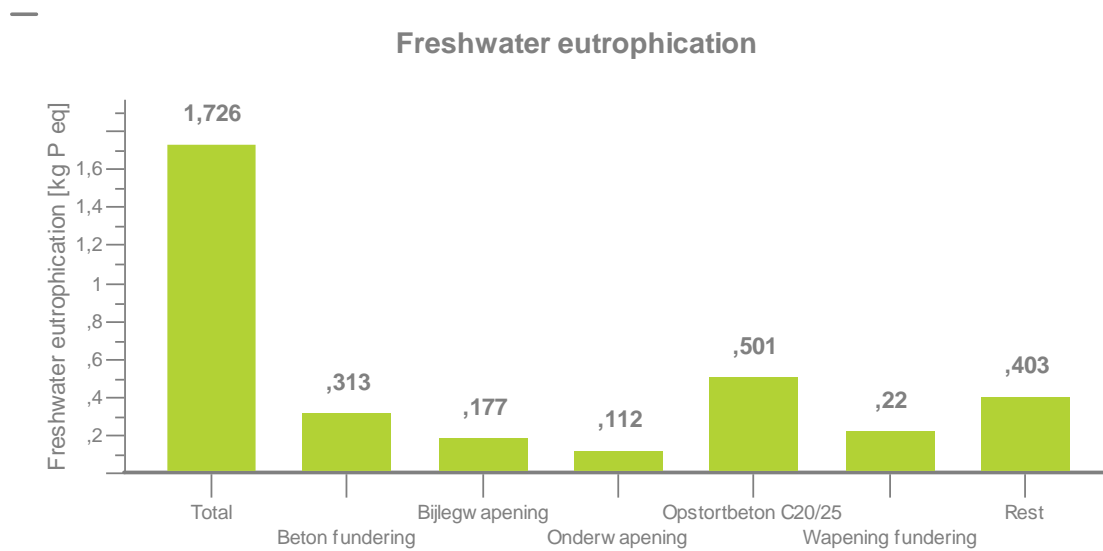
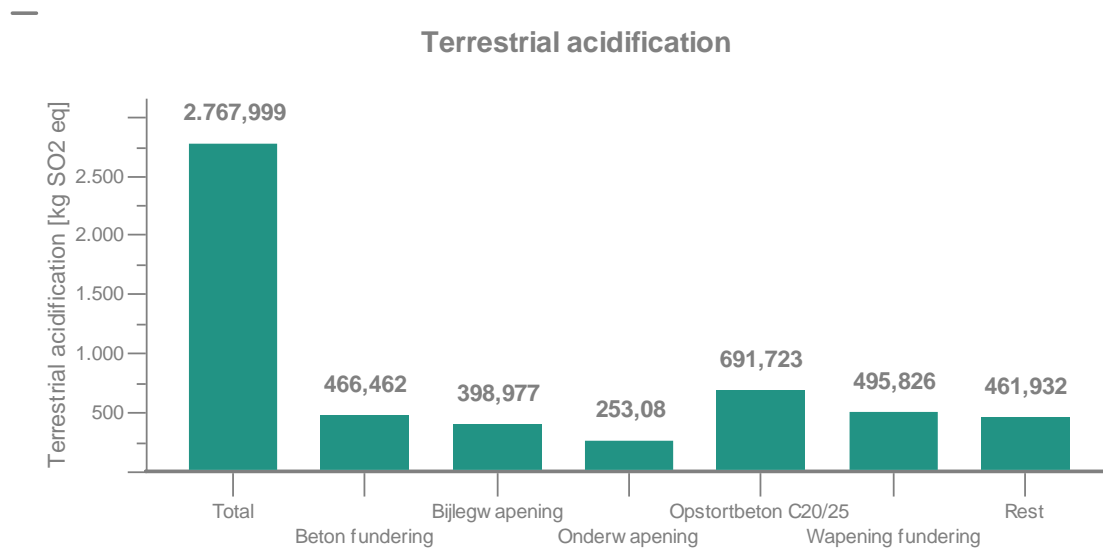


LCA Breedplaat Gebouwniveau

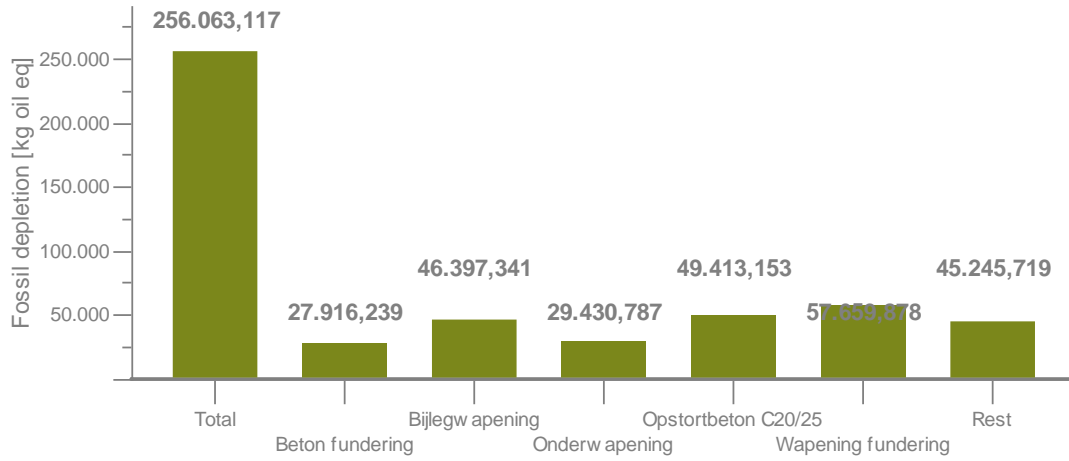
Process plan: Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.



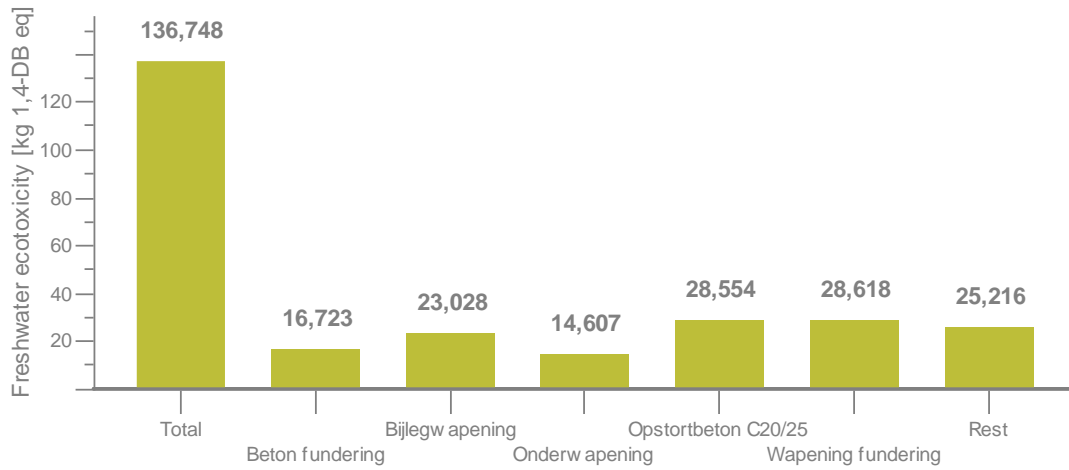
Bijlage 27: Resultaten LCA klassieke breedplaat gebouwniveau



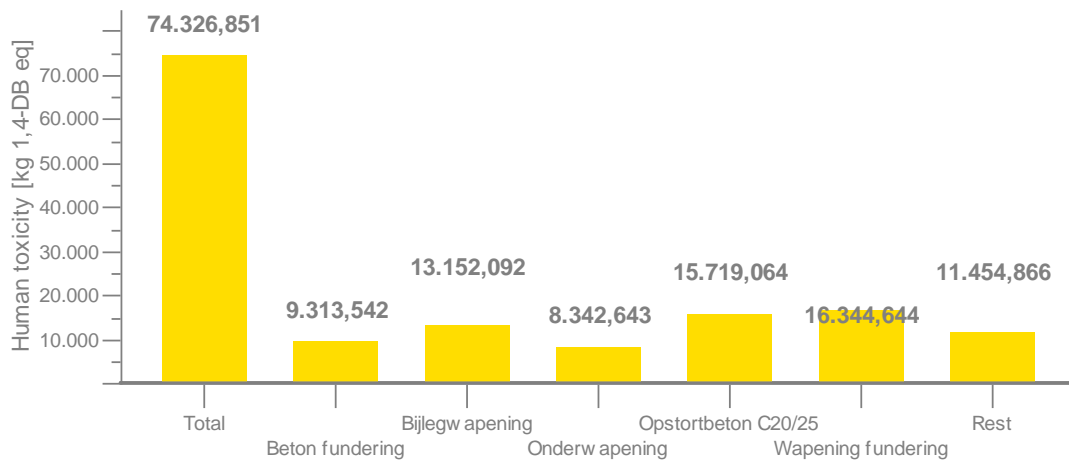
Fossil depletion



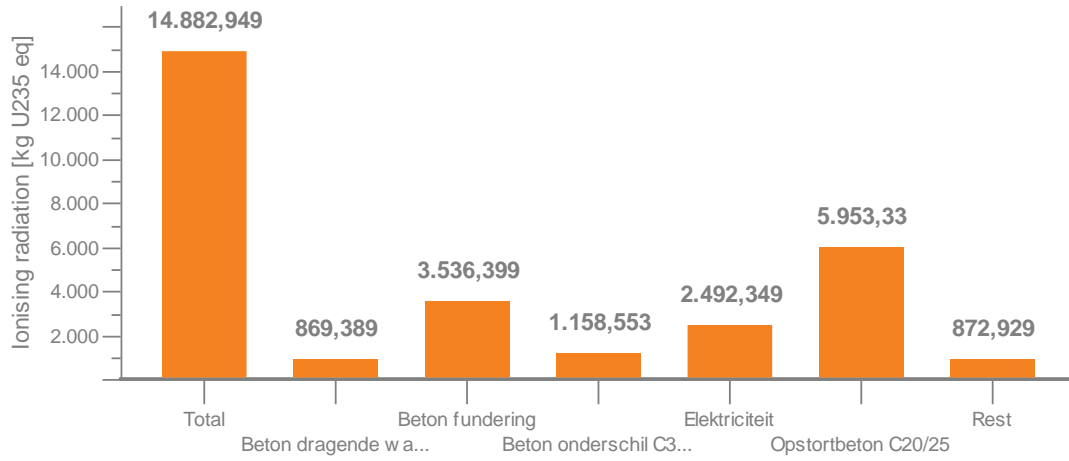
Freshwater ecotoxicity



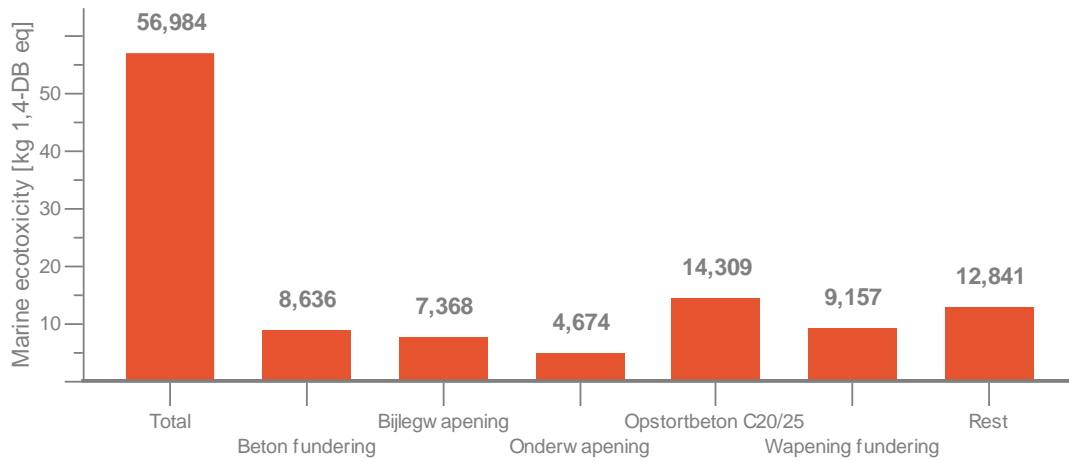
Human toxicity



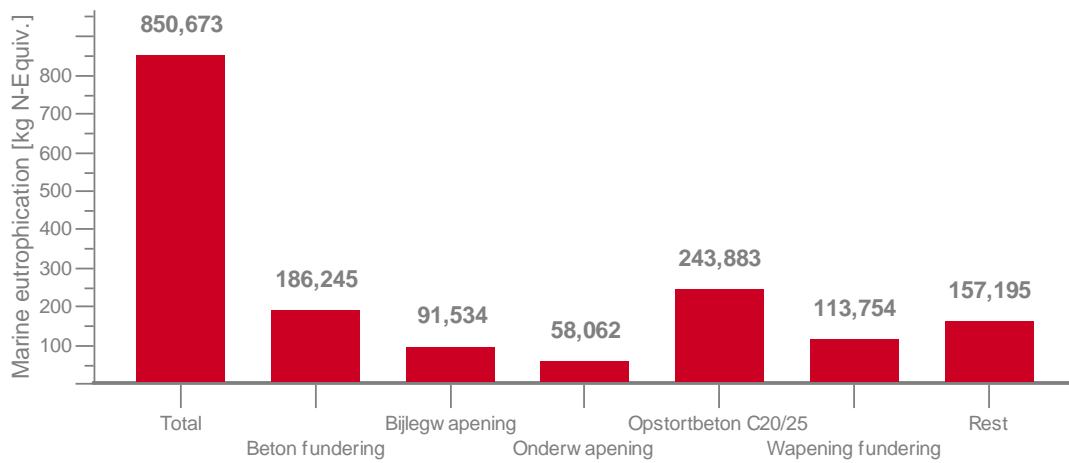
Ionising radiation



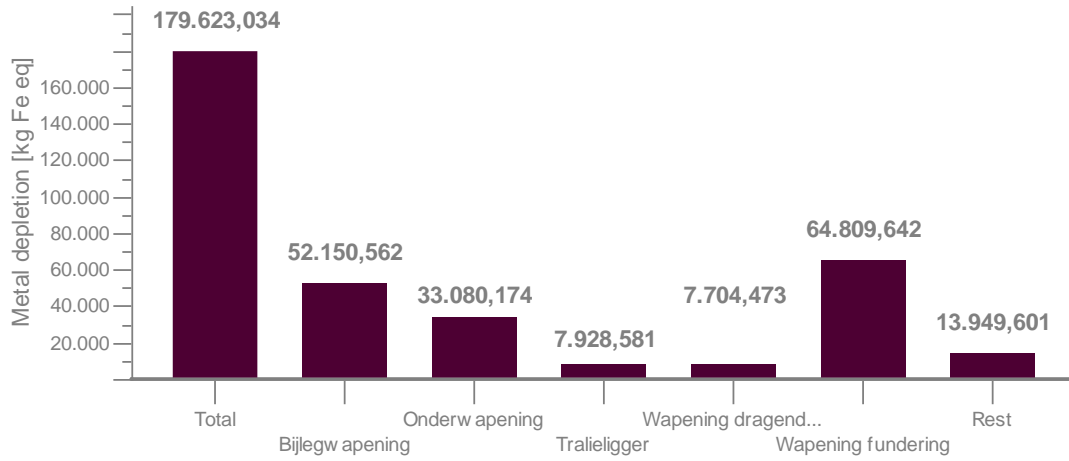
Marine ecotoxicity



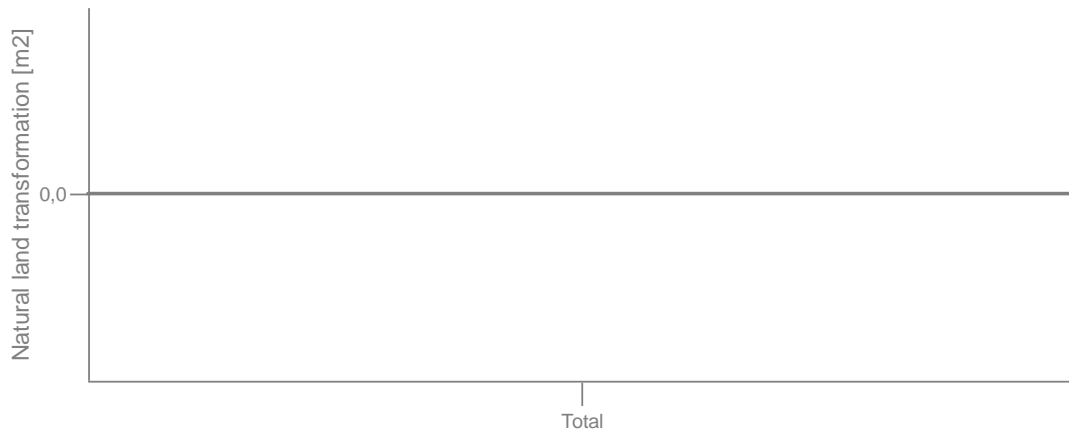
Marine eutrophication



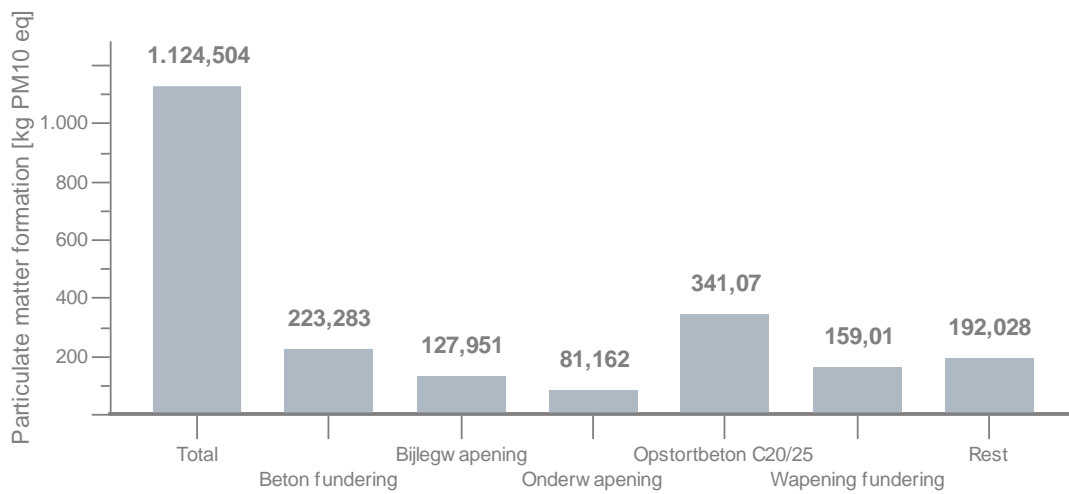
Metal depletion

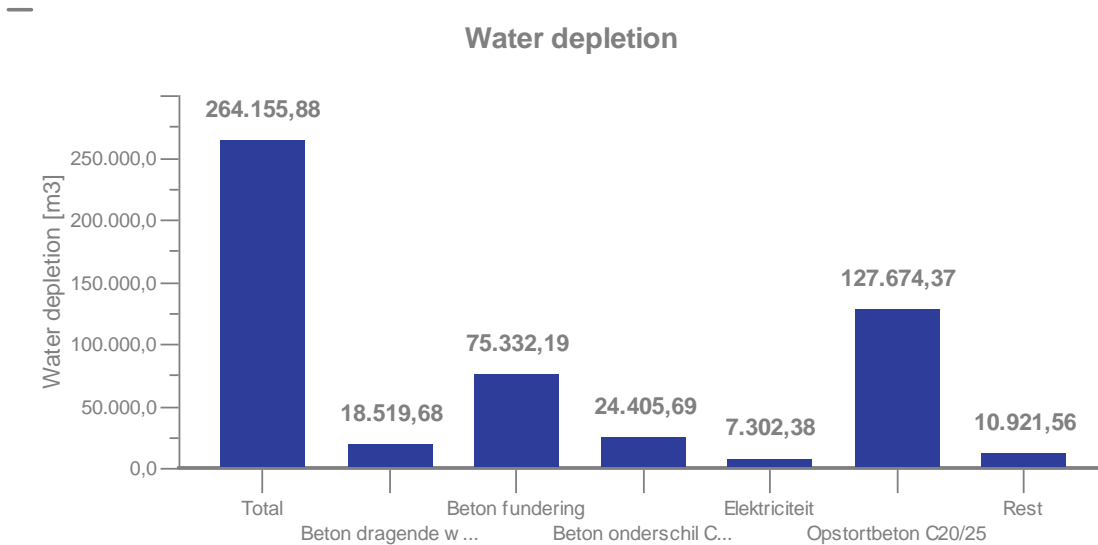
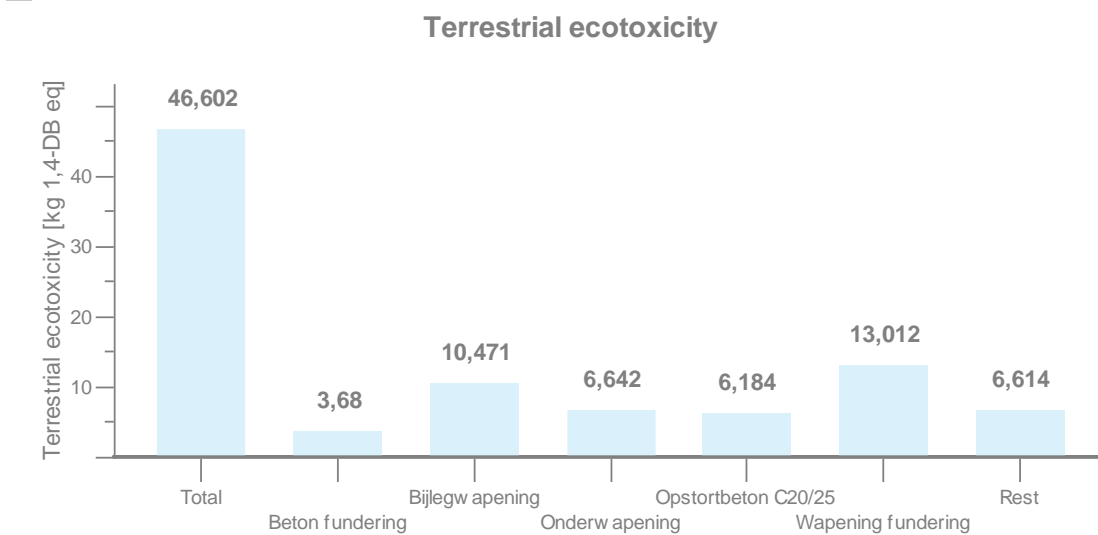
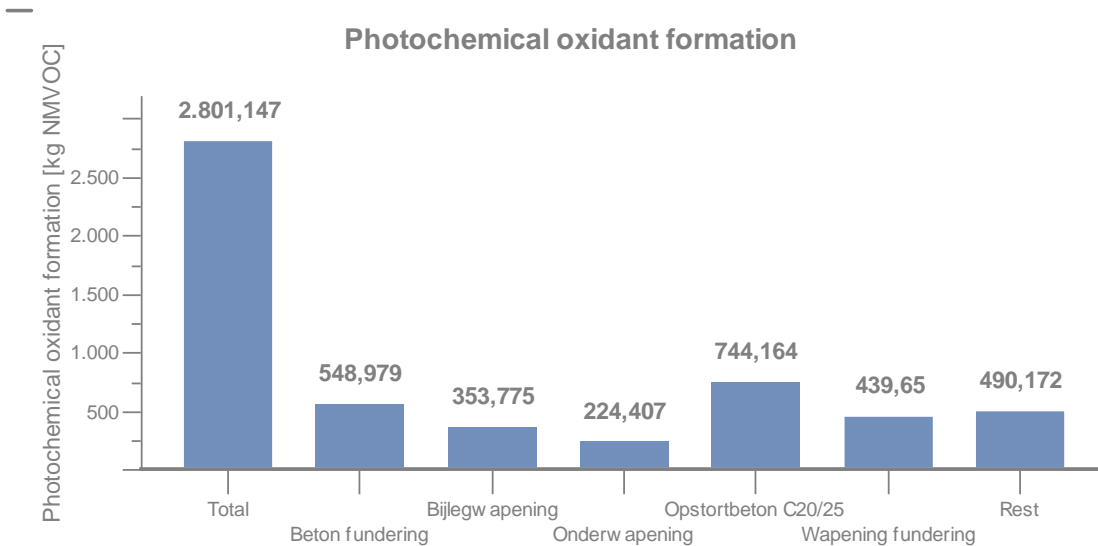


Natural land transformation

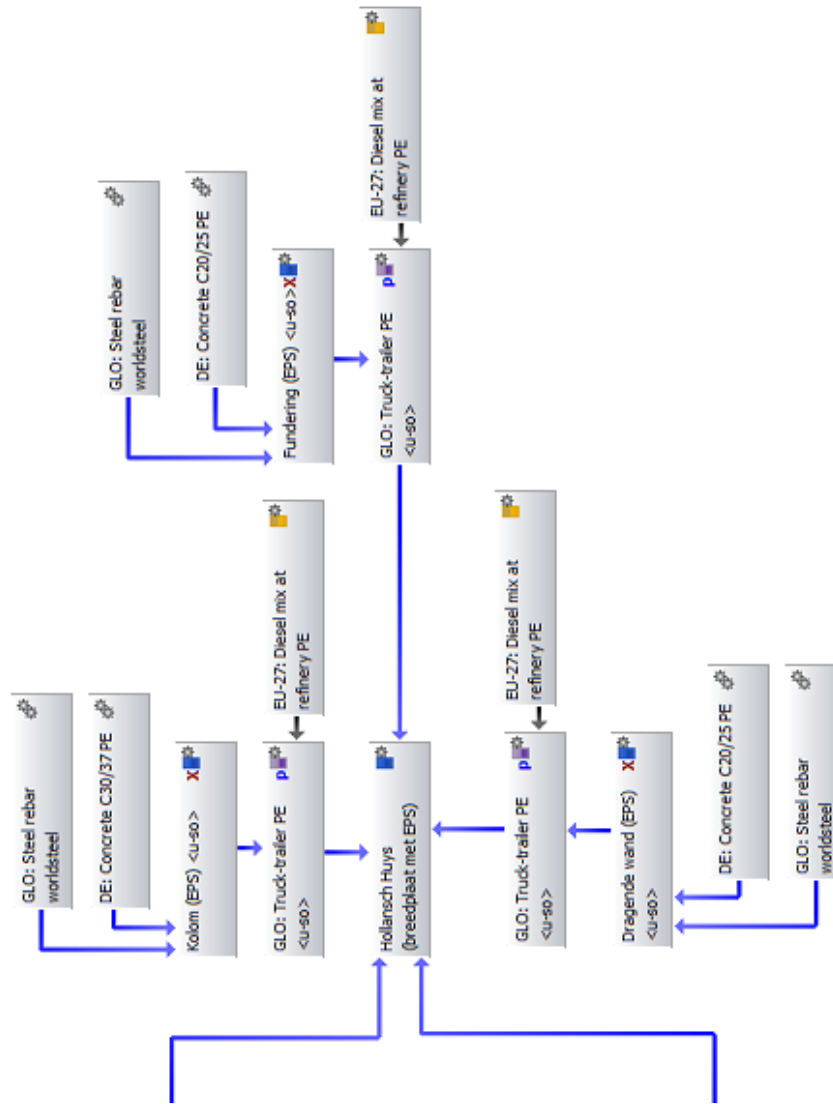


Particulate matter formation



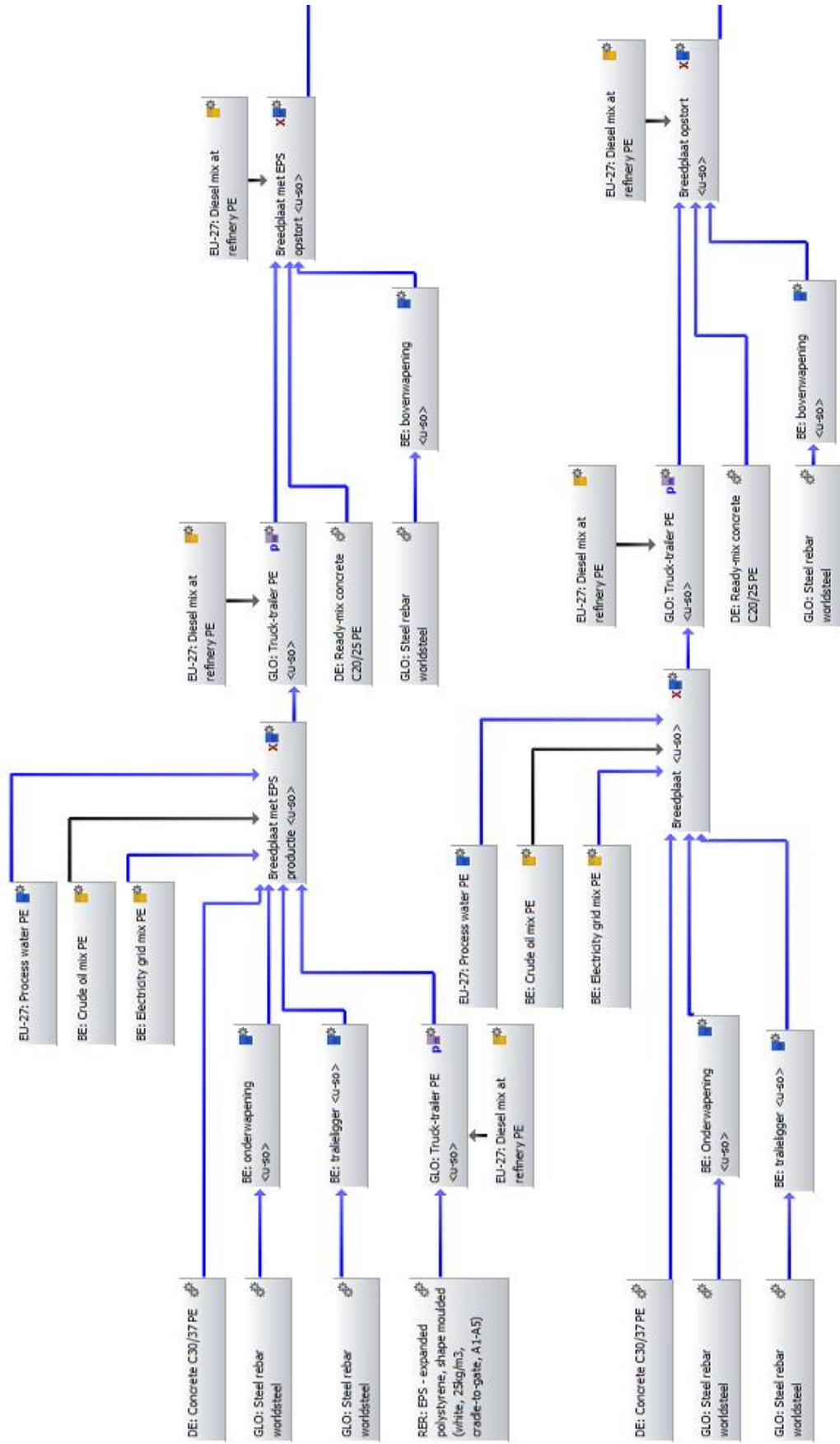


Bijlage 28: GaBi-software breedplaat met EPS gebouwniveau

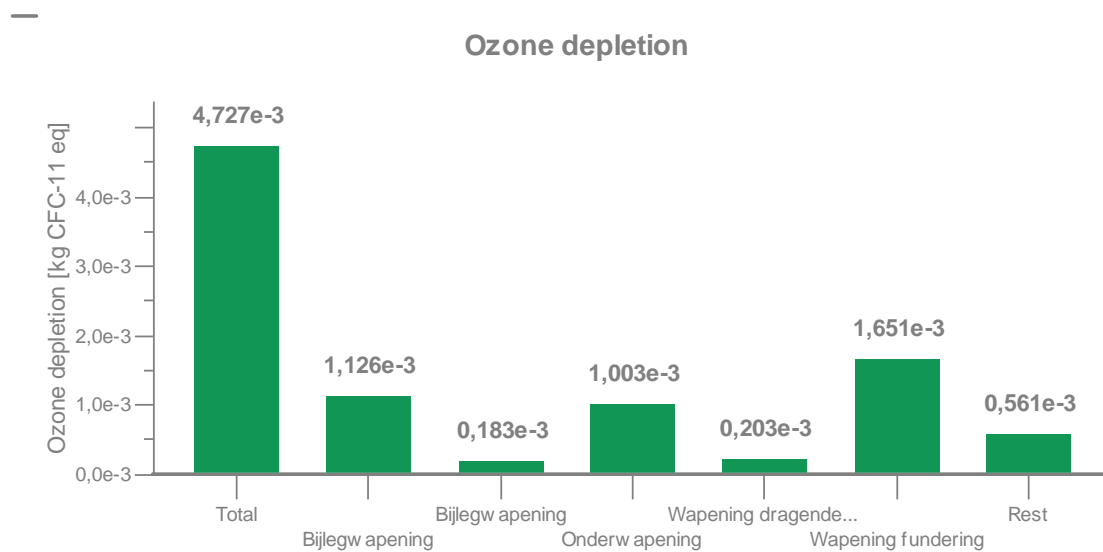
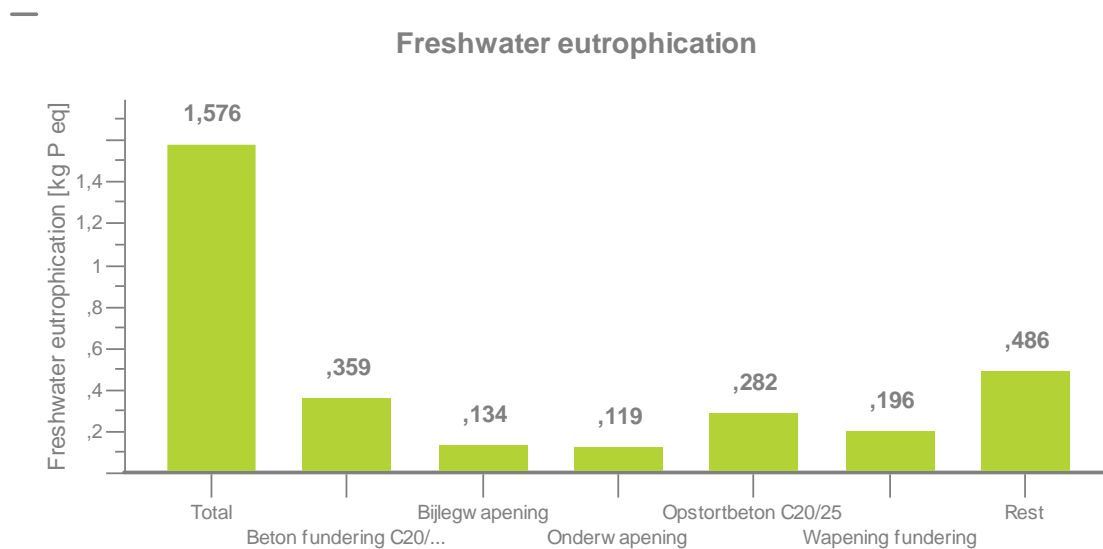
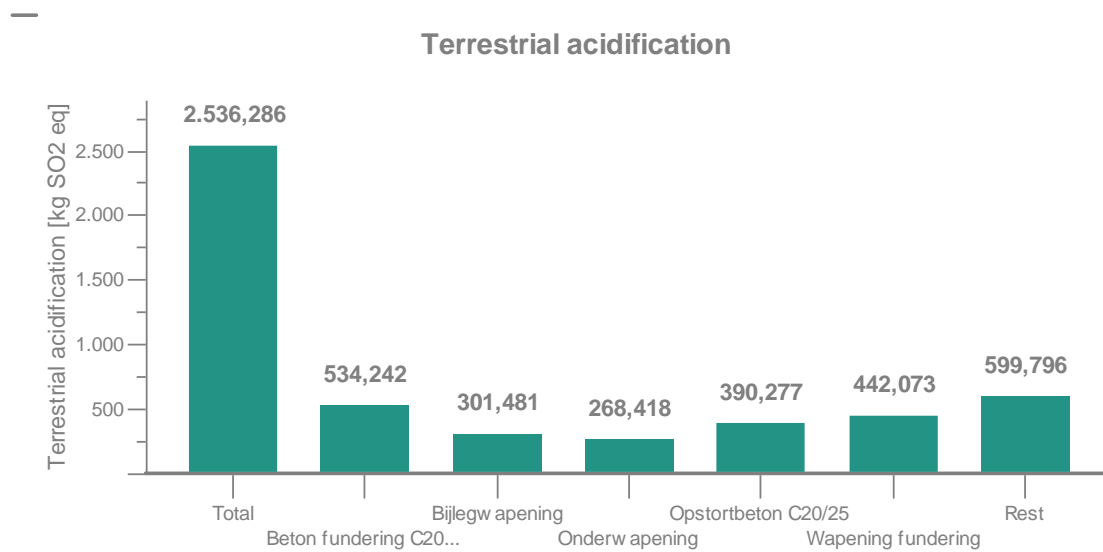


LCA Breedplaat met EPS Gebouwniveau

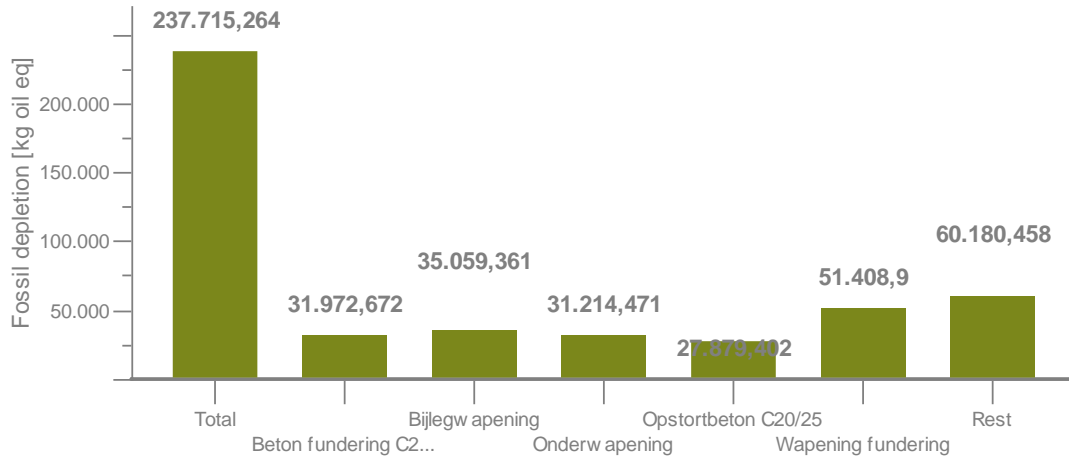
Process plant: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



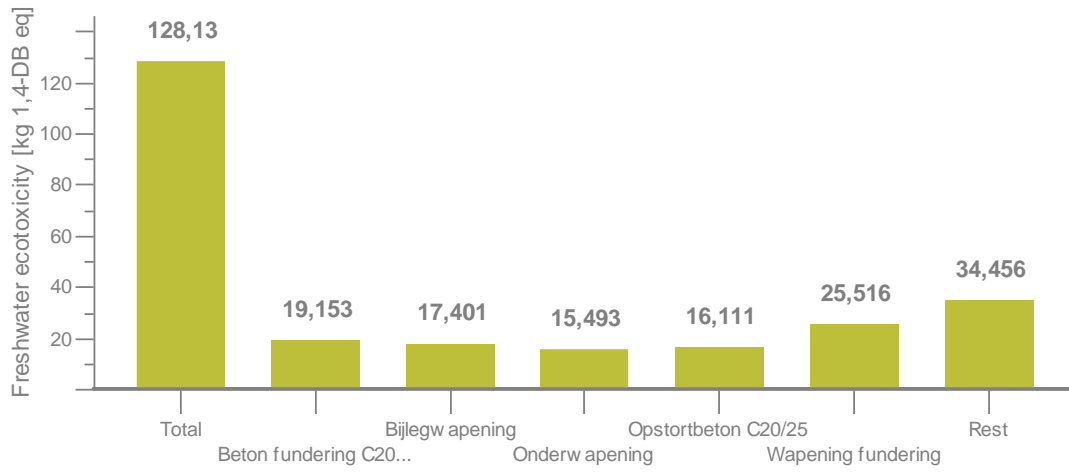
Bijlage 29: Resultaten LCA breedplaat met EPS gebouwniveau



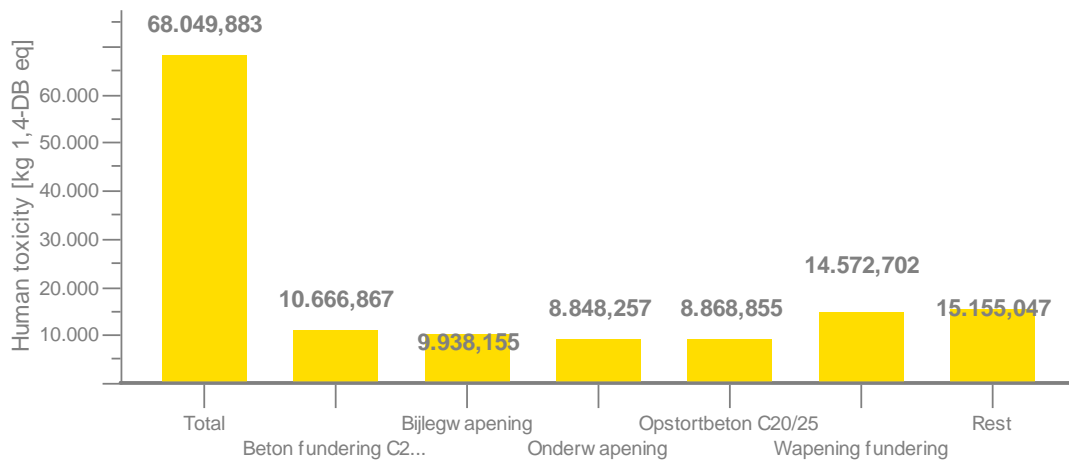
Fossil depletion



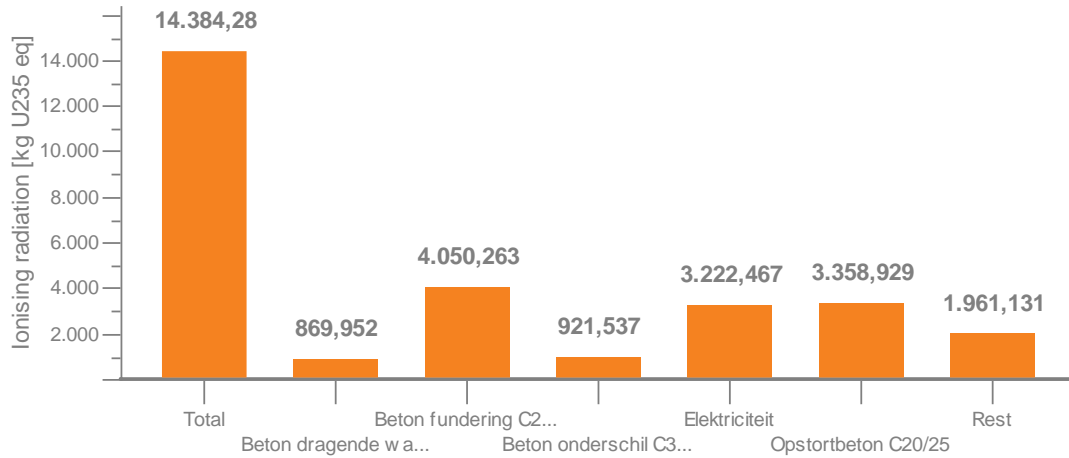
Freshwater ecotoxicity



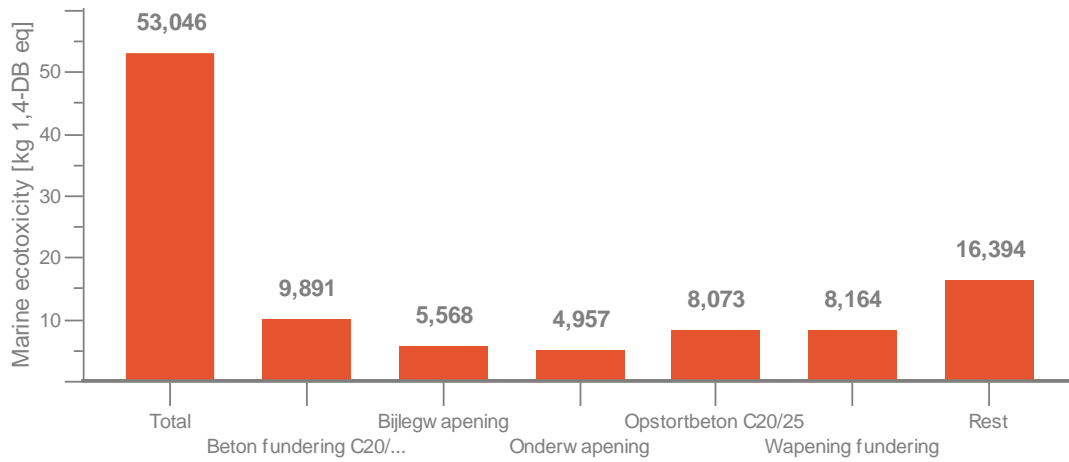
Human toxicity



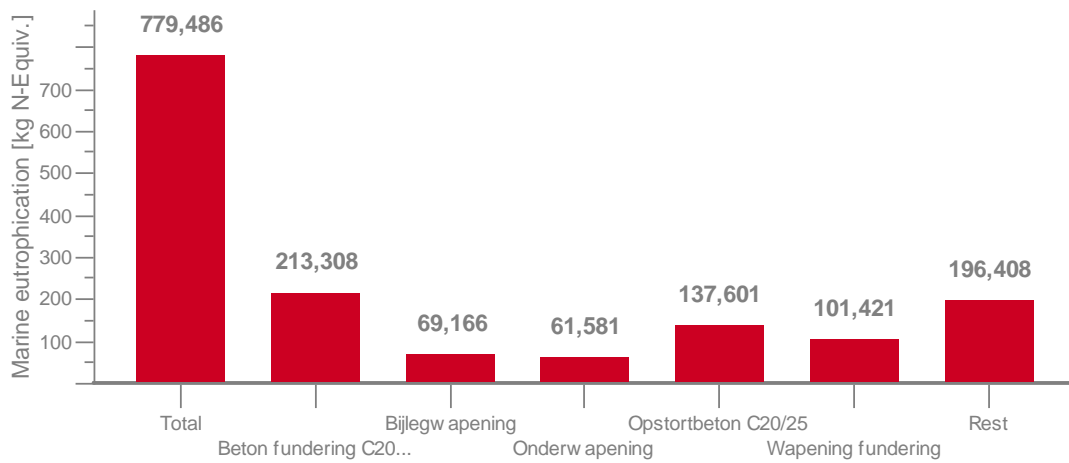
Ionising radiation



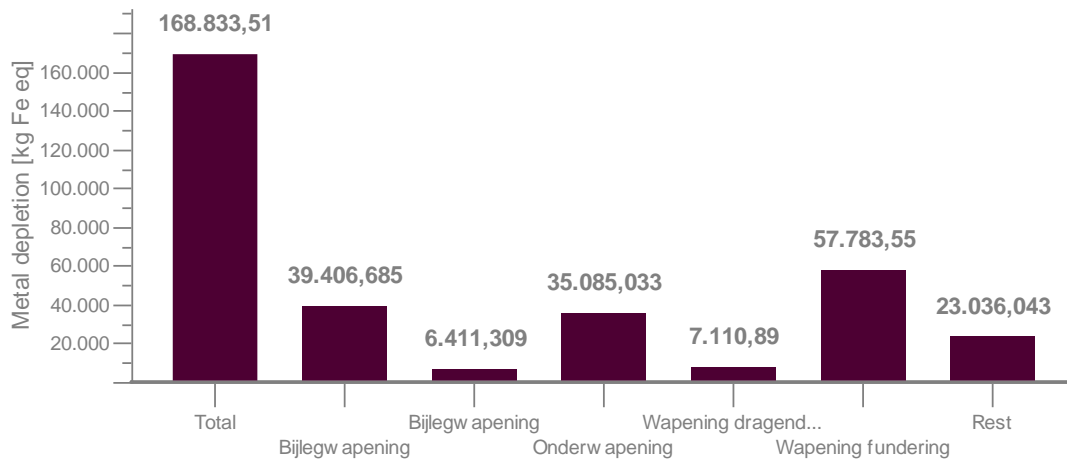
Marine ecotoxicity



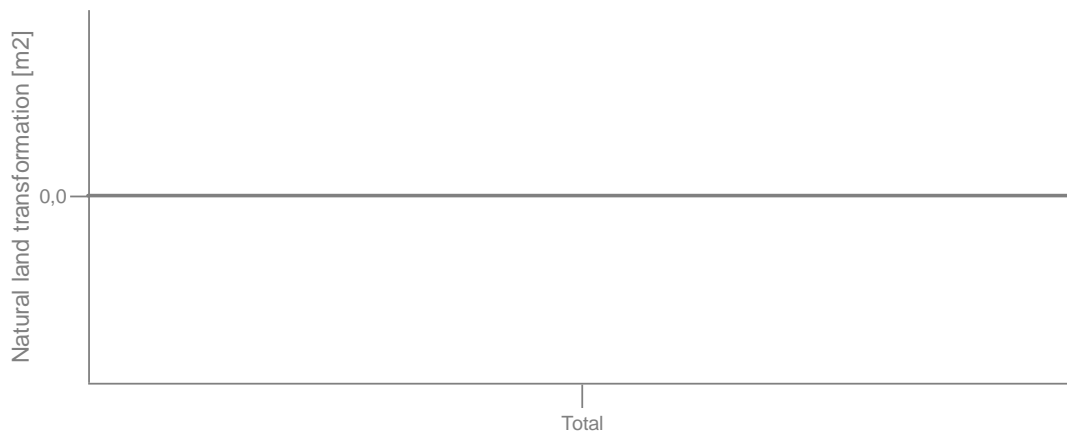
Marine eutrophication



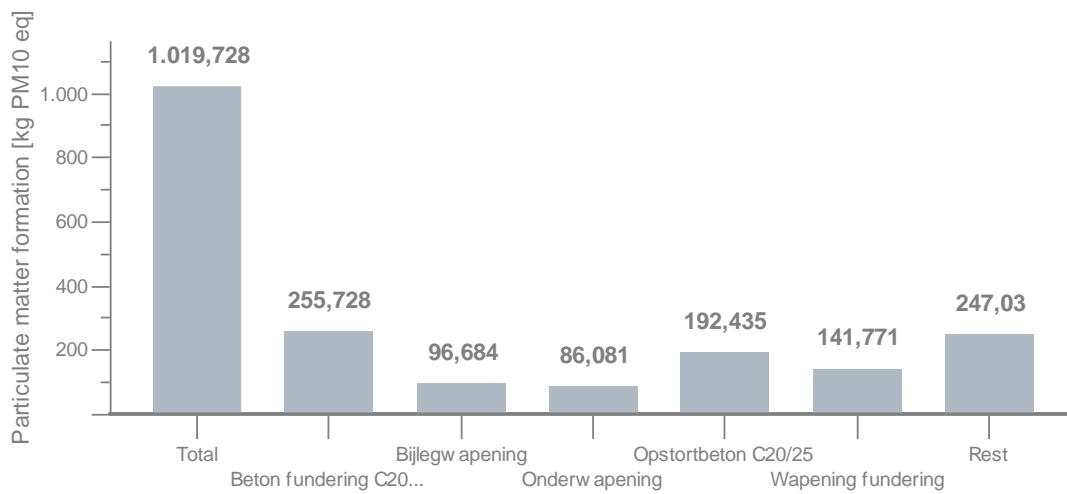
Metal depletion

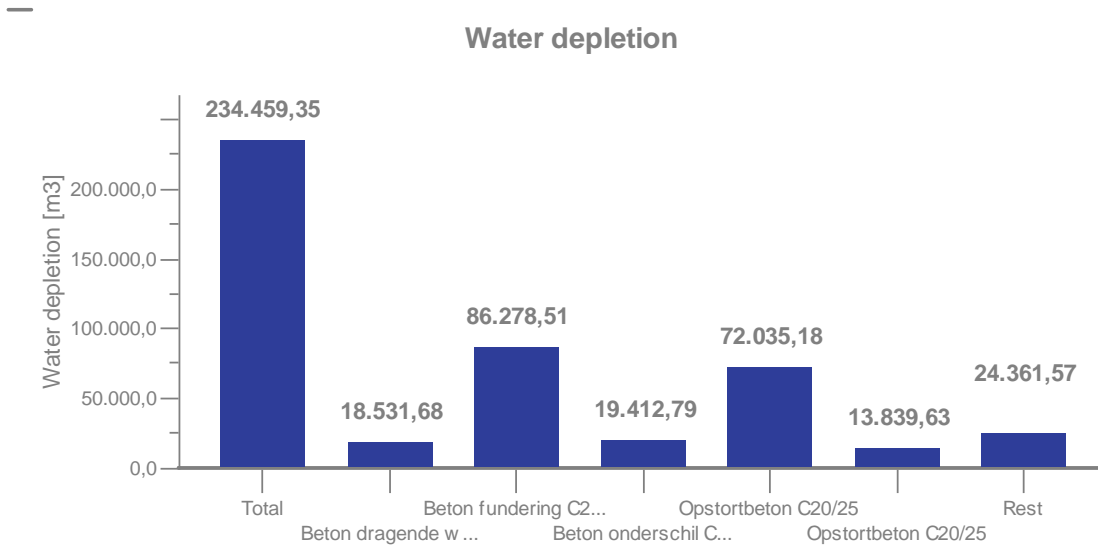
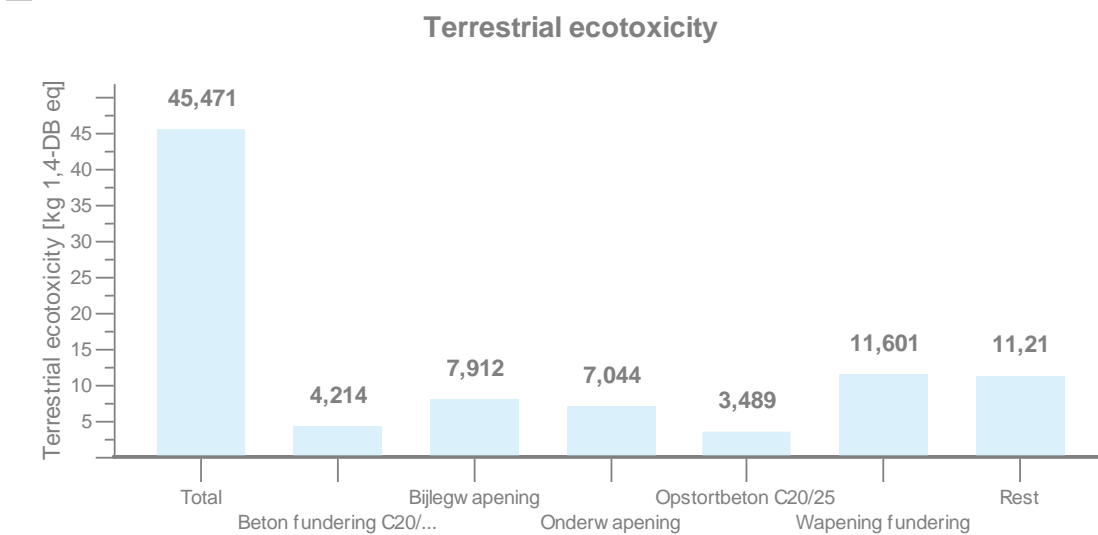
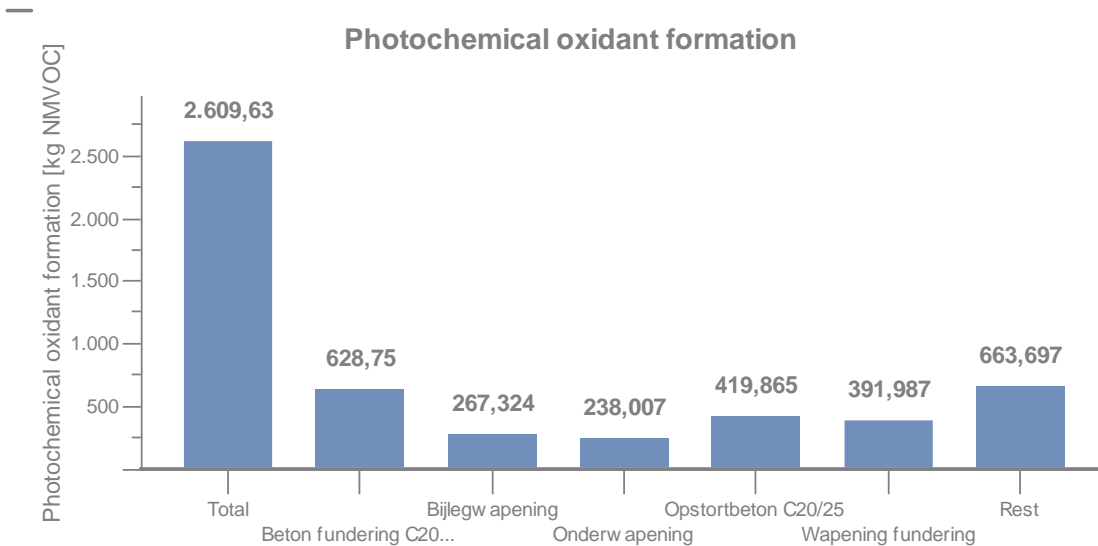


Natural land transformation



Particulate matter formation





Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Invloed van een Airdeck lichtgewicht vloersysteem op de levenscyclus van een kantoorgebouw

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2015**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Beyens, Gertjan

Christiaens, Rob

Datum: **29/05/2015**