

## CO2-ketenstudie Vaste verkeersbrug

Klant:

Referentie: T&P BC1049 001D01

Versie: 01/Concept

Datum: 7 juli 2017

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52  
6534 AB Nijmegen  
Netherlands  
Industry, Energy and Mining  
Trade registration number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**  
+31 24 323 93 46 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: CO2-ketenstudie Vaste verkeersbrug

Ondertitel:  
Referentie: T&P BC1049 001D01  
Versie: 01/Concept  
Datum: 7 juli 2017  
Projectnaam: OE QHSE Manage C02 Ladder  
Projectnummer: BC1049  
Auteur(s): Ralf Speek

---

Opgesteld door: Ralf Speek, Jonna Snoek, Thomas  
Beffers

---

Gecontroleerd door: Frederik Oudman

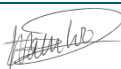
---

Datum/Initialen: 10-07-2017

---

Goedgekeurd door: Danny Waterloo

---

Datum/Initialen: 13-07-2017 

Classificatie

Open



## Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The quality management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Methode</b>	<b>2</b>
2.1	Functionele eenheid en scope	2
2.2	Beknopte ketenomschrijving en systeemgrenzen	3
2.3	Dataverzameling, validatie en methode CO <sub>2</sub> emissie berekeningen	5
2.4	Ketenpartners	6
<b>3</b>	<b>Gedetailleerde ketenbeschrijving en resultaten</b>	<b>7</b>
3.1	Grondstof- en productiefase	7
3.2	Transportfase	10
3.3	Bouwfase	11
3.4	Eindelevensduurfase	13
3.5	Samenvatting resultaten	13
3.6	Onzekerheden	14
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>15</b>
4.1	Conclusies	15
4.2	Aanbevelingen	15
4.3	Reductiemaatregelen	16
<b>5</b>	<b>Bijlage A</b>	<b>17</b>

## 1 Inleiding

Royal HaskoningDHV (Royal HaskoningDHV) heeft een ketenanalyse van een vaste verkeersbrug uitgevoerd, enerzijds om haar certificering op niveau 5 van de CO<sub>2</sub>-Prestatieladder 3.0 te behouden en anderzijds om ter promotie bij klanten te kunnen gebruiken.

Om de certificering op niveau 5 van de CO<sub>2</sub>-Prestatieladder 3.0 te behouden dient Royal HaskoningDHV aan alle eisen van de ladder (niveau 1 t/m 5) te voldoen. Om aan eis 4.A.1, 4.A.3 en 4.B.1 te voldoen moet Royal HaskoningDHV 2 ketenanalyses van haar meeste materiële indirecte (scope 3) activiteiten uitvoeren. In de scope 3-dominantie-analyse is vastgesteld dat met name de PMC Transport & Planning een grote invloed heeft op CO<sub>2</sub>-uitstoot van advies en ontwerpactiviteiten. Er vinden echter zeer veel verschillende advies- en ontwerpwerkzaamheden plaats binnen de PMC Transport & Planning. Voor deze ketenanalyse is ervoor gekozen om een concreet object te analyseren dat regelmatig toegepast wordt in infrastructurele projecten, namelijk een verkeersbrug.

De analyse is uitgevoerd op basis van een vaste verkeersbrug met een hoofdoverspanning van minder dan 100 meter, omdat dit type brug een van de meest voorkomende kunstwerken is in ons Infra-portfolio<sup>1</sup>.

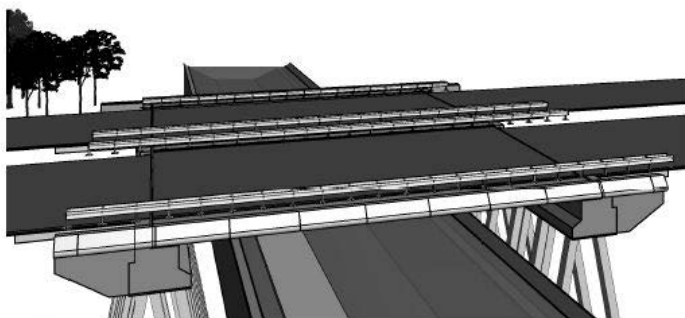
Als engineer kunnen wij invloed uitoefenen op het ontwerp en materiaalgebruik van een kunstwerk. Hierbij wordt wel opgemerkt dat de invloed van ons als engineer in opdrachten voor een private partij beperkter is dan wanneer we werken in opdracht van een publieke opdrachtgever.

De analyse is gebaseerd op een bestaand project, dat om privacy redenen anoniem is gehouden.

Deze ketenanalyse is opgesteld conform de structuur van de Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard van het Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol). De analyse sluit aan op de internationale protocollen Product Life Cycle Accounting Reporting Standard van het GHG Protocol, ISO 14040 en PAS2050, zodat de uitkomsten in de toekomst als opstap gebruikt kunnen worden naar eventuele certificering van de analyse. Om de stap van een CO<sub>2</sub> ketenanalyse te maken naar een analyse conform laatst genoemde normen is uitgebreider onderzoek nodig. Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

De oorspronkelijke ketenanalyse is opgesteld in juni 2014. Dit document bevat een actualisatie en aanscherping van deze analyse op basis van een review die op deze analyse is uitgevoerd door Witteveen en Bos in juni 2016.

In onderstaande figuur 1-1 is een impressie van de brug gegeven.



Figuur 1-1: Impressie van de geanalyseerde brug

<sup>1</sup> bron: referentielijst Swen den Ouden

## 2 Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven op welke manier de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de levenscyclus van een vaste verkeersbrug is bepaald. Hierbij zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1) Bepalen functionele eenheid en scope
- 2) Beknopte ketenbeschrijving en systeemgrenzen
- 3) Dataverzameling, validatie en methode CO<sub>2</sub>-emissie berekeningen
- 4) Bepalen ketenpartners

### 2.1 Functionele eenheid en scope

De functionele eenheid is de referentie-eenheid waarvan de CO<sub>2</sub>-emissie wordt berekend. De functionele eenheid is:

Een vaste vierbaans-verkeersbrug met een hoofdoverspanning van minder dan 100 meter<sup>2</sup>,

- exclusief aanbruggen en hellingbanen
- uitgerust met betonnen landhoofden op palen en een brugdek van betonnen liggers
- een levensduur van 100 jaar

Levensfasen waar Royal HaskoningDHV direct noch indirect invloed op kan uitoefenen zijn buiten beschouwing gelaten. Royal HaskoningDHV heeft slechts beperkte invloed op de aanleg en onderhoud van het gebruikte asfalt en andere onderdelen om de brug gebruiksklaar te maken deze onderdelen vallen dan ook buiten de scope van de analyse. Ook het verkeer dat gebruik maakt van de weg valt buiten de invloedssfeer van Royal HaskoningDHV.

Buiten de scope van de analyse vallen:

- onderdelen om de brug daadwerkelijk gebruiksklaar te maken, zoals asfalt, bewegwijzering, lantaarnpalen e.d..
- emissies van het verkeer dat gebruik maakt van de brug (buiten ons invloedssfeer)
- eventuele extra infrastructurele elementen als fietsonderdoorgangen

Er is gekozen om een specifiek bestaand project als referentie te nemen voor het maken van inschattingen van materiaal- en energiegebruik. Om privacy redenen is dit project anoniem gehouden.

CO<sub>2</sub>-emissie wordt veroorzaakt door inzet van energie en materialen. De volgende brugonderdelen, in de verdere rapportage objecten genoemd, zijn meegenomen:

- Funderingspalen
- Werkvloer
- Prefab stootplaten
- Prefab dekconstructie
- Landhoofden
- Vleugelwanden
- Schampkanten
- Leuning
- Randelementen
- Geleiderail

Tevens wordt het energiegebruik als gevolg van inzet van materieel tijdens de aanleg beschouwd.

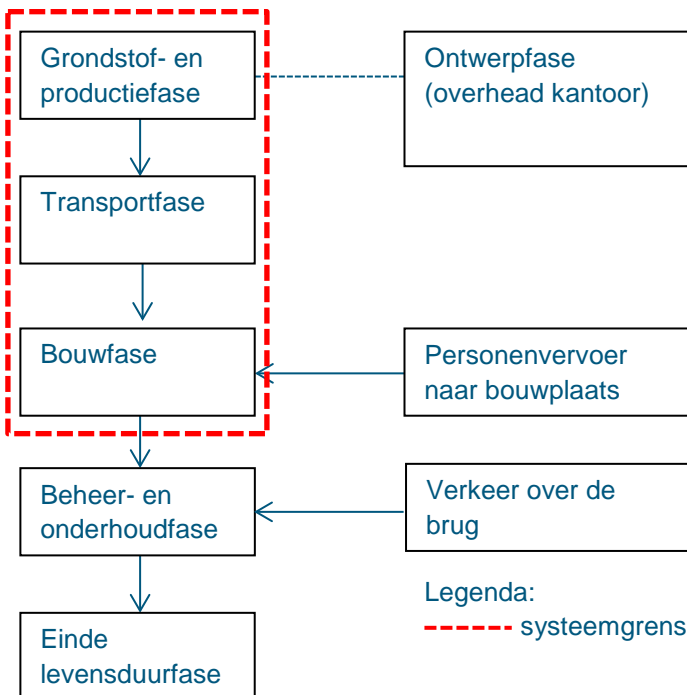
<sup>2</sup> De verkeersbrug uit het referentieproject heeft een overspanning van 25 meter

## 2.2 Beknopte ketenomschrijving en systeemgrenzen

De volgende fasen van de levenscyclus worden onderscheiden:

- Grondstof- en productiefase
- Transportfase
- Bouwfase
- Beheer- en onderhoudsfase
- Einde levensduurfase

In figuur 2-1 zijn de systeemgrenzen weergegeven voor deze analyse. Er is gekozen om die levensfasen mee te nemen waarbij wij als raadgevend ingenieur betrokken zijn.



Figuur 2-1: Systeemgrenzen

### Grondstof- en productiefase

De grondstof- en productiefase zijn in deze studie als één fase beschouwd. In deze fase worden de grondstoffen gewonnen om het beton en staal van te produceren meegenomen alsmede de productie van de (half)fabricaten (bijv. de prefab stootplaten).

### Transportfase

In de transportfase wordt het zogeheten voortransport van de materialen/(half)fabricaten naar de bouwplaats beschouwd.

### Bouwfase

In de bouwfase wordt het energiegebruik van het materieel om de brug op locatie op te bouwen (constructie) geïnventariseerd. Personenvervoer van medewerkers naar de bouw valt buiten de systeemgrenzen, omdat Royal HaskoningDHV direct noch indirect invloed kan uitoefenen op deze vervoerstroombaan.

### Beheer- en onderhoudsfase

De levensduur van de brug wordt geschat op 100 jaar. De rol van Royal HaskoningDHV in dit soort projecten is die van engineer; er is geen sprake van een DBM (Design, Build, Maintenance) contract.

Omdat het gaat om een vaste brug die grotendeels uit beton bestaat, is het onderhoud beperkt. Gezien de beperkte onderhoudswerkzaamheden, wordt de CO<sub>2</sub>-emissie hiervan als niet significant beschouwd. De beheer- en onderhoudsfase zijn daarom niet meegenomen in de verdere analyse.

De keuze voor het type asfalt is gemaakt door een externe partij en valt hierdoor buiten de invloedssfeer van Royal HaskoningDHV<sup>3</sup>.

De beheer- en onderhoudsfase beslaat de periode waarin de brug wordt gebruikt door verkeersdeelnemers. De emissie van het verkeer zelf valt echter buiten de scope van dit onderzoek, omdat Royal HaskoningDHV als engineer geen invloed heeft op de uitstoot door het verkeer over de brug.

### Einde levensduurfase

Middels hydraulische knijpers wordt de constructie in kleinere stukken geknipt en vervolgens wordt de wapening verwijderd. De reststukken worden door een zogenoemde 'crusher' verwerkt tot puin en zo ontstaat de weer herbruikbare grondstof, granulaat. Wapeningsstaal kan van het puin gescheiden worden en via de smeltoven gerecycled worden. Staal gebruikt voor leuningen, randelementen en geleiderails wordt ook volledig gerecycled via smeltovens.

De materiaalkeuze en constructiemethode beïnvloeden de sloopfase en de recyclebaarheid. We kennen echter geen emissies toe aan de sloopfasen om 2 redenen:

1. Het is de verwachting dat over 100 jaar de energietransitie dermate ver gevorderd is dat energiegebruik voor sloop en ontmanteling niet of nauwelijks tot CO<sub>2</sub>-emissies leidt. Het toekennen van emissies aan de einde levensduurfase op basis van de emissiefactoren van de huidige energiedragers zou een onrealistisch grote overschatting van de werkelijke emissies zijn.
2. Design for disassembly is absoluut een belangrijk aspect in het terugdringen van grondstofextractie en broeikasgasemissies maar leidt bij gebruik van de cut-off (of recycled content) allocatiemethode<sup>4</sup> niet of nauwelijks tot een lagere CO<sub>2</sub>-impact voor de brug – de impact van grondstofextractie wordt daarbij volledig toegerekend aan de eerste levenscyclus. De gerecyclede grondstoffen zijn vrij van impacts. Alleen als het ontmantelings- en afvalverwerkingsproces gepaard gaat met minder emissies dan wordt een lagere impact voor de brug gerapporteerd. Maar de mogelijk extra CO<sub>2</sub>-besparing met design for disassembly in de sloopfase is weer uiterst onzeker (zie punt 1).

Pré Consultants deelt de mening dat een CO<sub>2</sub>-arme benadering van de end-of-life fase het meest realistische scenario is. Echter, voor de volledigheid rapporteren we de end-of-life emissies van beton- en staalverwerking separaat en tonen hoeveel dit bijdraagt aan de impact over de gehele levenscyclus van de brug.

### Ontwerpfase

In de ontwerpfase wordt CO<sub>2</sub>-emissie veroorzaakt door energieverbruik van de kantoren van de betrokken partijen in de ontwerpfase. Naast de opdrachtgever is een van de meest relevante betrokken partijen in de ontwerpfase de engineer, in dit geval Royal HaskoningDHV. Toch is deze fase buiten beschouwing gelaten, omdat de uitstoot van de kantoren die toe te schrijven is aan dit specifieke project vergeleken bij de emissie van de grondstof- en productiefase, transportfase en bouwphase als zeer gering wordt geschat.

<sup>3</sup> Bron: Peter Gosselink, Royal HaskoningDHV

<sup>4</sup> Deze methode wordt voorgeschreven door het GHG-protocol om een CO<sub>2</sub>-footprint te kwantificeren.

## 2.3 Dataverzameling, validatie en methode CO<sub>2</sub> emissie berekeningen

Om de CO<sub>2</sub> uitstoot in de levenscyclus van een brug te bepalen zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1) Dataverzameling
- 2) Datavalidatie
- 3) Bepaling emissie factoren
- 4) CO<sub>2</sub>-emissie berekening

Hieronder worden de stappen toegelicht.

### Ad 1) Dataverzameling

Om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de vaste verkeersbrug te bepalen zijn gegevens verzameld van (inkoophoeveelheden van) materiaal- en energiegebruik van de verschillende brugobjecten van het (anoniem gehouden) referentieproject. Aan de hand van een inventariserend interview met een intern projectmedewerker van het referentieproject, een brugexpert, is een vragenlijst opgesteld. In de vragenlijst zijn de benodigde data met betrekking tot materiaal- en energiegebruik per brugonderdeel uitgevraagd. Het gaat hierbij om gegevens over hoeveelheden materiaal en brandstof, type materiaal en brandstof. Data van onderdelen die minder dan 2 gewichtsprocent uitmaken van de brug en naar verwachting tevens minder dan 5% bijdragen aan de milieueffecten zijn niet nader uitgezocht<sup>5</sup>. Het gaat hierbij om onderdelen als een trekput en voegovergangen. Op basis van expert opinion is besloten welke data er uitgesloten wordt.

Uit aangeleverde tekeningen zijn vervolgens de benodigde hoeveelheden gehaald en de brugexpert heeft de vragenlijst vervolgens zo volledig mogelijk ingevuld. Daar waar data onbekend bleek, zijn in overleg met de brug expert schattingen gemaakt op basis van expert judgement. De hoeveelheden uit de tekeningen en op basis van schattingen zijn eindhoeveelheden.

### Ad 2) Datavalidatie

De verzamelde data is gevalideerd door een intern duurzame infra expert en een LCA specialist. Hierbij is gekeken naar compleetheid van de data en opvallendheden in de data wat betreft ordegroottes opgegeven hoeveelheden en materiaal-/brandstoftypen. Opvallendheden zijn besproken met de brugexpert en indien nodig zijn inputdata en aannames aangescherpt.

### Ad 3) Bepaling emissie factoren

Er worden diverse bronnen gebruikt voor het bepalen van de emissiefactoren, de Nationale Milieu Database, CO<sub>2</sub>-emissiefactoren volgens [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl) (22-11-2016), en Ecolnvent 3.0. De geraadpleegde volgorde is de volgende:

- 1) Nationale Milieu Database
- 2) Indien niet beschikbaar bij 1): [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl) (22-11-2016)
- 3) Indien niet beschikbaar bij 2): Ecolnvent v3

### Ad 4) Methode CO<sub>2</sub>-emissie berekeningen

Om de CO<sub>2</sub>-emissie van de Vaste verkeerbrug te berekenen is het in kaart gebrachte energie- en materiaalgebruik vermenigvuldigd met emissiefactoren:

Hoeveelheid materiaal/energie x emissiefactor = CO<sub>2</sub>-uitstoot

<sup>5</sup> Deze afkapregel is gebaseerd op de NEN 8006:2004, par 5.2.4.4., opmerking 1



Bijv: 1,4 ton RVS voor leuningwerk × 4,36 ton CO<sub>2</sub>/ton RVS = 6,1 ton CO<sub>2</sub> door materiaalgebruik leuningwerk.

Alle gebruikte emissiefactoren en de geraadpleegde bronnen hiervan zijn opgenomen in Bijlage A.

#### *Methode voor CO<sub>2</sub>-berekeningen grondstof- en productiefase*

Bij het bepalen van de CO<sub>2</sub> uitstoot van de materialen is het energiegebruik om van de grondstoffen de te gebruiken materialen te maken verrekend in de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren voor de gebruikte materialen<sup>6</sup>. Voor beton is het volume op basis van een gemiddelde dichtheid van 2,4 ton/m<sup>3</sup> omgerekend naar massa.

#### *Methode voor CO<sub>2</sub>-berekeningen transportfase*

Voor transporten worden factoren uit het handboek van de CO<sub>2</sub>-Prestatieladder gebruikt. In deze studie is ervan uitgegaan dat al het transport over de weg plaatsvindt met vrachtwagens non-bulk 10-20 ton. Er is geïnventariseerd waar de leveranciers van de materialen/(half)fabricaten gevestigd zijn. Vervolgens is met hulp van Google Maps de afstand tot het kunstwerk berekend. Als de leverancier onbekend is, is een default transportafstand van 200 km gehanteerd. Voorgaande is in meer detail weergegeven in Bijlage A. Voor het transport van de prefab dekconstructie is een verder onderverdeling gemaakt in de herkomst van zand, grind en cement. Voor de andere onderdelen is geen extra onderverdeling in het transport van de grondstoffen gemaakt, omdat de bijdrage aan de totale CO<sub>2</sub> naar schatting gering (minder dan 2%) is.

#### *Methode voor CO<sub>2</sub>-berekeningen bouwfase*

Het brandstofverbruik van het materieel dat is ingezet om de brug op de locatie te bouwen is geschat.

#### *Aannemer heien*

De aannemer onderscheidt bij het heien twee fases waarbij materieel op diesel wordt ingezet. Hierbij is ervan uitgegaan dat er per ingezet werktuig 120 liter diesel wordt gebruikt op een gemiddelde werkdag. Fase 1 heeft 5 dagen geduurd en fase 2 heeft 5,5 dag geduurd.

Verder heeft de aannemer een opgave gedaan van het stellingtransport. Daarvoor zijn 3 materiaalauto's en 1 dieplader met een totaal vervoerd gewicht van 50 ton gebruikt over een afstand van 150 km.

#### *Aannemer constructie brug op geheide fundering*

Voor de bouw van de brug op de geheide fundering wordt materieel ingezet. Om de uitstoot van de materieelinzet voor dit referentieproject te bepalen is een schatting gemaakt op basis van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot die de aannemer op zijn website rapporteert en een schatting van de bijdrage<sup>7</sup> van dit referentieproject op zijn totale omzet.

## 2.4 Ketenpartners

Om CO<sub>2</sub>-reductie in de levenscyclus van een vaste verkeersbrug te realiseren is het belangrijk inzicht te hebben in de hierbij betrokken ketenpartners. Dit inzicht biedt aanknopingspunten voor samenwerking met deze partijen om zodoende efficiënte reductiemaatregelen te nemen.

De meest voorkomende ketenpartners in vaste verkeersbrugprojecten zijn:

- De opdrachtgever: privaat (bijv. een aannemerscombinatie) of overheidsinstantie (bijv. Rijkswaterstaat)
- Vormgever
- Leveranciers van grondstoffen en materialen.

<sup>6</sup> Niet voor alle materialen is het herleidbaar of transport van de grondstoffen naar de fabriek wel of niet is meegenomen in de emissiefactoren van de materialen. In de aanbevelingen is genoemd om dit verder te onderzoeken.

<sup>7</sup> Royal HaskoningDHV schat in dat de bijdrage in de orde grootte van 1% van hun bedrijfsbrede inzet van materieel voor dit project is (zeer waarschijnlijk is dit al aan de hoge kant).

- Transporteurs
- Bouwbedrijven

### 3 Gedetailleerde ketenbeschrijving en resultaten

In dit hoofdstuk wordt per fase eerst een gedetailleerde ketenbeschrijving gegeven, daarna worden de berekeningen besproken en worden de resultaten per fase weergegeven.

#### 3.1 Grondstof- en productiefase

##### Gedetailleerde ketenbeschrijving

Om een CO<sub>2</sub>-analyse van de grondstof- en productiefase van de brug uit te voeren is voor elk (sub)object van de brug geïnventariseerd welk type materiaal en hoeveel van dat materiaal gebruikt is. Bij de brug uit het referentieproject gaat het om de objecten, subobjecten en materialen zoals weergegeven in tabel 3-1.

Tabel 3-1: Objecten, subobjecten en materialen

Object	Subobject/subactiviteit	Materiaal	Hoeveelheid (ton)
Funderingspalen	Prefab betonpalen (deel)	Beton C45/55	508,7
	voorgespannen, 47 kg/m3	Voorspanstaal: FEP863	16,3
	zachtstaal (laagwaardig), 77 kg/m3	Zachtstaalwapening: B500B	10,0
Werkvloer	Werkvloer beton	Schraalbeton, geen wapening, C12/15	20,9
Prefab stootplaten	Stootplaten beton	Beton C45/55	148,8
	Zachtstaalwapening: 285 kg/m3	Zachtstaalwapening: B500B	17,7
Prefab dekconstructie	Prefab betonpalen (deel)	Beton C53/65 recept HZF04	504,0
	Zachtstaalwapening: 127 kg/m3	Zachtstaalwapening: B500A	26,7
	Voorgespannen, 51 kg/m3	Voorspanstaal: FEP863	10,7
Landhoofden	Landhoofdbalk beton	Beton C30/37	449,2
	Zachtstaalwapening: 115 kg/m3	Zachtstaalwapening: B500B	21,5
	PVC buis voor holte	Kunststof, PVC	0,0
Vleugelwanden	Vleugelwanden beton	Beton C30/37	33,8
	Zachtstaalwapening: 76 kg/m3	Zachtstaalwapening: B500B	1,1
Schampkanten	Schampkanten beton	Beton C30/37	46,8
	Zachtstaalwapening: 100 kg/m3	Zachtstaalwapening: B500B	2,0
Leuning	Leuningwerk	RVS316	1,4
Randelementen	Randelementen	RVS316	1,8
Geleiderail	164 kg / 4 meter	Verzinkt staal	13,8
			<b>1.835,2</b>

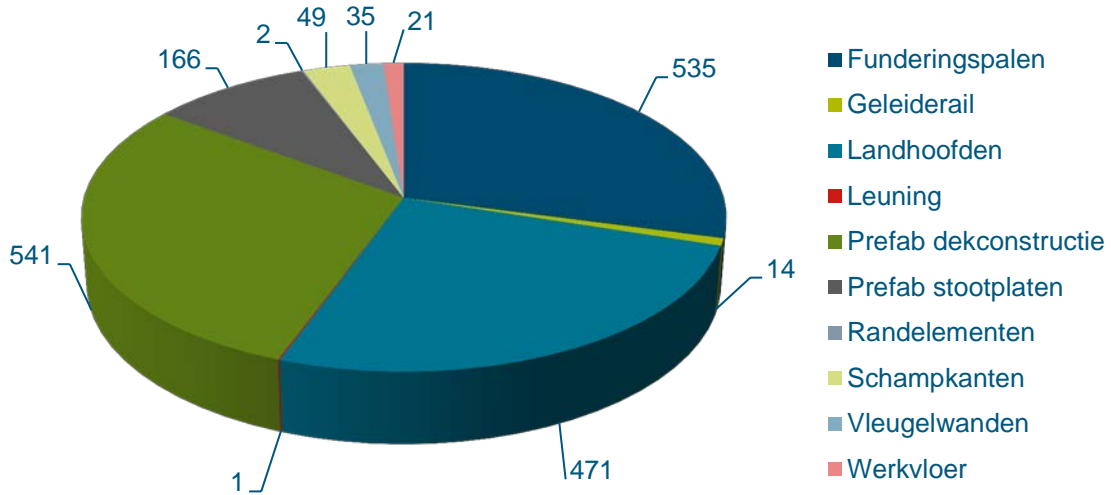
### Resultaten grondstof- en productiefase

In totaal wordt door het materiaalgebruik ruim 289 ton CO<sub>2</sub> uitgestoten, zie tabel 3-2.

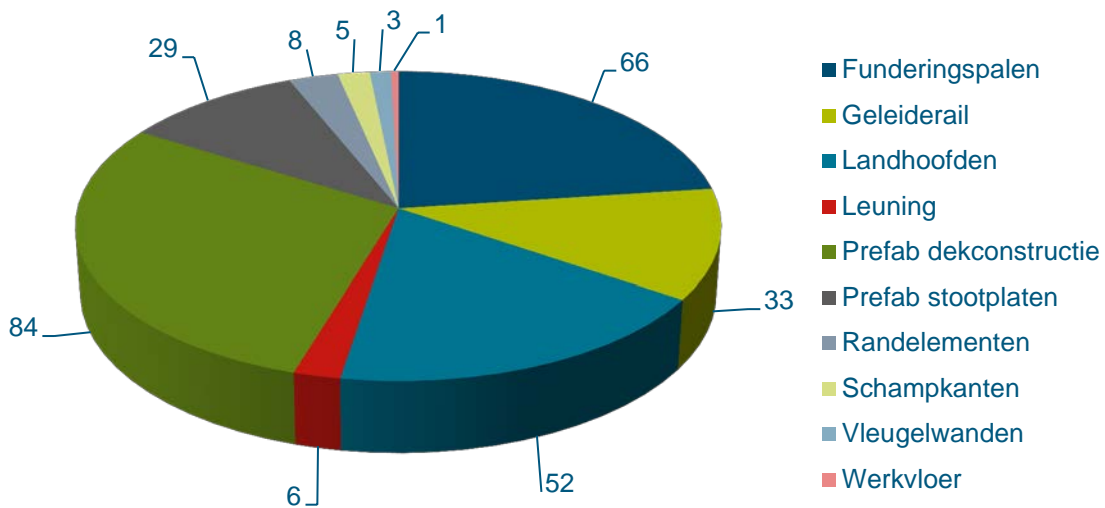
Tabel 3-2: CO<sub>2</sub>-emissie materialen

Object	Materiaal	Hoeveelheid (ton)	ton CO <sub>2</sub> / ton	Totaal ton CO <sub>2</sub>
Funderingspalen	Beton C45/55	508,7	0,080	40,9
	Voorspanstaal: FEP863	16,3	0,964	15,7
	Zachtstaalwapening: B500B	10,0	0,964	9,6
Werkvloer	Schraalbeton, geen wapening, C12/15	20,9	0,058	1,2
Prefab stootplaten	Beton C45/55	148,8	0,080	12,0
	Zachtstaalwapening: B500B	17,7	0,964	17,0
Prefab dekconstructie	Beton C53/65 recept HZF04	504,0	0,096	48,2
	Zachtstaalwapening: B500A	26,7	0,964	25,7
	Voorspanstaal: FEP863	10,7	0,964	10,3
Landhoofden	Beton C30/37	449,2	0,070	31,6
	Zachtstaalwapening: B500B	21,5	0,964	20,8
	Kunststof, PVC	0,0	0,000	0,0
Vleugelwanden	Beton C30/37	33,8	0,070	2,4
	Zachtstaalwapening: B500B	1,1	0,964	1,0
Schampkanten	Beton C30/37	46,8	0,070	3,3
	Zachtstaalwapening: B500B	2,0	0,964	1,9
Leuning	RVS316	1,4	4,360	6,1
Randelementen	RVS316	1,8	4,360	7,9
Geleiderail	Verzinkt staal	13,8	2,423	33,4
				289,1

In figuur 3-1 en figuur 3-2 zijn respectievelijk de hoeveelheden (in ton) per object en de CO<sub>2</sub>-emissie per object weergegeven. Voor de prefab dekconstructie, de funderingspalen en de landhoofden zijn de meeste materialen benodigd (zie **Error! Reference source not found.**). Deze objecten veroorzaken tevens de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot. (**Error! Reference source not found.**). Opvallend is dat de CO<sub>2</sub>-emissie door de productie van de geleiderails relatief hoog is, ondanks de beperkte hoeveelheid materiaal die hiervoor nodig is. Dit komt door de hoge CO<sub>2</sub>- uitstoot per kg materiaal voor de winning van grondstoffen voor en de productie van de rail. Ook de leuning en randelement hebben een relatief hoge CO<sub>2</sub>-uitstoot per kg materiaal.



Figuur 3-1: Verdeling hoeveelheden per object (ton)



Figuur 3-2: Verdeling CO<sub>2</sub>-emmissies per object (ton)

## 3.2 Transportfase

### Gedetailleerde ketenbeschrijving

In de transportfase worden de materialen en (half)fabricaten van de fabriek naar de bouwplaats getransporteerd. In tabel 3.3 staan de afstanden weergegeven.<sup>8</sup>

Tabel 3-3: CO<sub>2</sub>-emissie als gevolg van voortransport

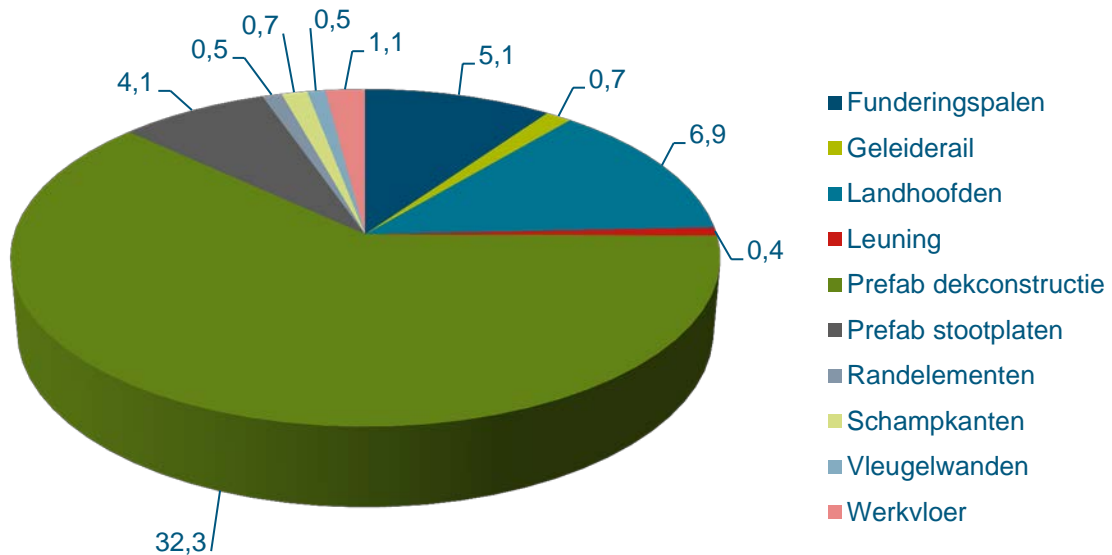
Object	Subobject/subactiviteit	Hoeveelheid (ton)	Kilometers	Totaal ton CO <sub>2</sub>
Funderingspalen	Prefab betonpalen (deel)	508,7	29	3,8
	voorgespannen, 47 kg/m <sup>3</sup>	16,3	193	0,8
	zachtstaal (laagwaardig), 77 kg/m <sup>3</sup>	10,0	193	0,5
Werkvloer	Werkvloer beton	20,9	200	1,1
Prefab stootplaten	Stootplaten beton	148,8	83	3,2
	Zachtstaalwapening: 285 kg/m <sup>3</sup>	17,7	193	0,9
Prefab dekconstructie	Prefab betonpalen (deel)	504,0	187	24,4
	Herkomst zand, voortransport	194,7	22	1,1
	Herkomst grind, voortransport	194,7	36	1,8
	Herkomst Cement, voortransport	114,5	105	3,1
	Zachtstaalwapening: 127 kg/m <sup>3</sup>	26,7	193	1,3
	voorgespannen, 51 kg/m <sup>3</sup>	10,7	193	0,5
Landhoofden	Landhoofdbalk beton	449,2	50	5,8
	Zachtstaalwapening: 115 kg/m <sup>3</sup>	21,5	193	1,1
	PVC buis voor holte	0,0		0,0
Vleugelwanden	Vleugelwanden beton	33,8	50	0,4
	Zachtstaalwapening: 76 kg/m <sup>3</sup>	1,1	193	0,1
Schampkanten	Schampkanten beton	46,8	50	0,6
	Zachtstaalwapening: 100 kg/m <sup>3</sup>	2,0	193	0,1
Leuning	Leuningwerk	1,4	1135	0,4
Randelementen	Randelementen	1,8	1135	0,5
Geleiderail	164 kg / 4 meter	13,8	200	0,7
		<b>2339,2</b>	<b>4826,0</b>	52,4

### Resultaten transportfase

In totaal leidt het voortransport tot ruim 52 ton CO<sub>2</sub>-emissie, zie tabel 3-3..

<sup>8</sup> Het gaat hierbij om afstanden van de enkele reis. Correctie voor % productieve kms, beladingsgraad en voor- en natransport is reeds verrekend in de emissiefactor.

De prefab dekconstructie zorgt voor de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit is te verklaren door zowel de flinke afstand van de leverancier alsmede de grote hoeveelheid getransporteerd materiaal, zie ook **Error! Reference source not found.**



Figuur 3-3: Verdeling CO<sub>2</sub>-emissies voor transport van de objecten (ton)

### 3.3 Bouwfase

#### Gedetailleerde ketenbeschrijving

In het referentieproject zijn twee aannemers betrokken geweest bij de constructie van de brug: een voor het heien en een voor de constructie van de brug op deze fundering. Het ingezette materieel gebruikte diesel tijdens de constructie. De verbranding van diesel veroorzaakt CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Tabel 3-4: Materieel en CO<sub>2</sub>-emissie in de bouwfase

Aannemer	Activiteit	Materieel	Hoeveelheid	Eenheid	Totaal ton CO <sub>2</sub>
Aannemer 1	Inzet materieel	1% van bedrijfsbrede inzet materiaal voor dit project			0,3
	Bekisting	Multiplex	6,8	m <sup>3</sup>	4,8
Aannemer 2	Heien fase 1	Kobelco BME 800-HD	600	liter	1,9
		Junttan HHK9	600	liter	1,9
	Heien fase 2	Kobelco BM 700C	660	liter	2,1
		Junttan HHK9	660	liter	2,1
	Transport stelling	3 materiaalauto's en 1 dieplader	50	ton	1,9

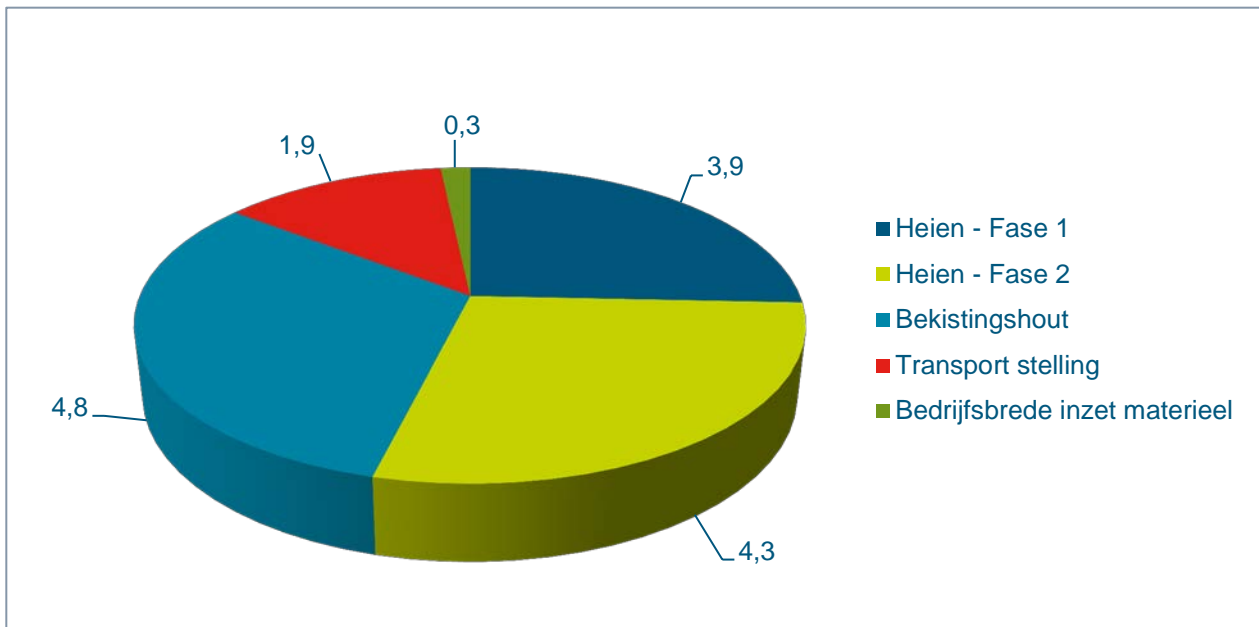
15,1

### Resultaten bouwfase

Voor dit project leiden de twee fases van het heien tot ongeveer 8 ton CO<sub>2</sub>-emissie, zie **Error! Reference source not found.**

Bij het stellingstransport wordt aanvullend 1,9 ton CO<sub>2</sub>-emissie uitgestoten.

Aan de hand van de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot van de aannemer die de brug op de heipalen bouwt is geschat dat zijn bijdrage aan de totale CO<sub>2</sub>-emissie in de bouwfase van dit project ongeveer 0,3 ton bedraagt. Hierbij wordt voor het storten van beton gebruik gemaakt van een multiplex bekisting. De CO<sub>2</sub>-emissie van de bekisting bedraagt ongeveer 4,8 ton CO<sub>2</sub>.



Figuur 3-4: Verdeling CO<sub>2</sub>-emmissies per fase van de bouw (ton)

### 3.4 Eindelevensduurfase

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.2 rapporteren we de end-of-life emissies van beton- en staalverwerking separaat en tonen hoeveel dit bijdraagt aan de impact over de gehele levenscyclus van de brug. In de eindelevensduurfase wordt de brug afgebroken en getransporteerd naar de fabriek waar een betonfabriek en staalfabriek waar de materialen respectievelijk gedowncycled en gerecycled worden.

Tabel 3-5: Materieel en CO<sub>2</sub>-emissie in de eindelevensduurfase

Object	Subobject/subactiviteit	Hoeveelheid (ton)	ton CO <sub>2</sub> / ton	Totaal ton CO <sub>2</sub>
Funderingspalen	Prefab betonpalen (deel)	508,7	0,0064	3,3
	voorgespannen, 47 kg/m <sup>3</sup>	16,3	-0,0466	-0,8
	zachtstaal (laagwaardig), 77 kg/m <sup>3</sup>	10,0	-0,0962	-1,0
Werkvloer	Werkvloer beton	20,9	0,0158	0,3
Prefab stootplaten	Stootplaten beton	148,8	0,0064	1,0
	Zachtstaalwapening: 285 kg/m <sup>3</sup>	17,7	-0,0962	-1,7
Prefab dekconstructie	Prefab betonpalen (deel)	504,0	0,0154	7,8
	Zachtstaalwapening: 127 kg/m <sup>3</sup>	26,7	-0,0962	-2,6
	voorgespannen, 51 kg/m <sup>3</sup>	10,7	-0,0466	-0,5
Landhoofden	Landhoofdbalk beton	449,2	0,0156	7,0
	Zachtstaalwapening: 115 kg/m <sup>3</sup>	21,5	-0,0962	-2,1
Vleugelwanden	Vleugelwanden beton	33,8	0,0156	0,5
	Zachtstaalwapening: 76 kg/m <sup>3</sup>	1,1	-0,0962	-0,1
Schampkanten	Schampkanten beton	46,8	0,0156	0,7
	Zachtstaalwapening: 100 kg/m <sup>3</sup>	2,0	-0,0962	-0,2
Leuning	Leuningwerk	1,4	-1,3294	-1,9
Randelementen	Randelementen	1,8	-1,3294	-2,4
Geleiderail	164 kg / 4 meter	13,8	-1,3294	-18,3
				<b>-11,4</b>

### 3.5 Samenvatting resultaten

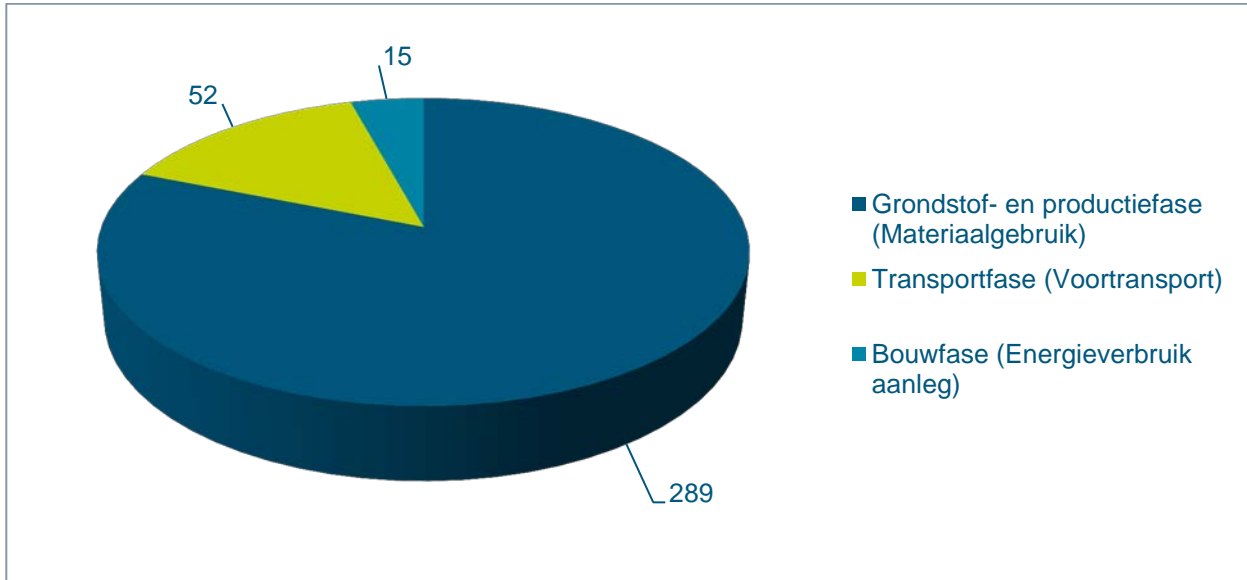
De totale emissie voor de aanleg van een vaste vierbaans-verkeersbrug met een hoofdoverspanning van minder dan 100 meter bedraagt 357 ton CO<sub>2</sub>.

In figuur 3-5 is een overzicht van de resultaten van de CO<sub>2</sub>-uitstoot per fase gegeven. Verreweg het grootste deel (ca.80%) van de CO<sub>2</sub>-emissie wordt veroorzaakt door materiaalgebruik in de grondstof- en productiefase. De bijdragen van de transportfase en de bouwphase bedragen respectievelijk



ca. 19% en ca. 3%. Op het einde van de levensduur worden het staal en beton respectievelijk gerecycled en gedowncycled waardoor er 6,6 ton CO<sub>2</sub>-emissie wordt vermeden.

In hoofdstuk 4 worden in dit kader aanbevelingen tot vervolgstappen genoemd.



Figuur 3-5: CO<sub>2</sub>-emissie per fase

### 3.6 Onzekerheden

De resultaten van deze studie hebben een onzekerheid die veroorzaakt wordt door:

- Niet significante emissies zijn niet meegenomen, waarbij we als vuistregel hebben gehanteerd dat dit hoeveelheden betreffen met minder dan 2% van de totale energie- of materialenstroom. De inschatting van de in te kopen hoeveelheden is vrij nauwkeurig gebeurd, gebruikmakend van de hoofdonderdelen uit de objectenboom. Het analyseren van alle energie –en materialen stromen zou buitenproportioneel veel werk zou zijn en uiteindelijk weinig toevoegende waarde leveren.
- De emissiefactoren zijn afkomstig van de SBK Bepalingsmethode, [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl) en Ecoinvent 3.0.. Dit betreffen veelal gemiddelde, niet project specifieke waarden voor materialen die niet noodzakelijk precies overeenkomen met de gebruikte materialen. Tevens is bij de grondstof- en productiefase aangenomen dat alle deelfasen van winning en productie al in deze factor zitten opgenomen, maar het is niet herleidbaar of transport van grondstoffen ook is opgenomen.
- Voor de transportfase is bij onbekende afstanden en modaliteit met een worst-case scenario gerekend. Bij een nadere beschouwing van de transporten zal de emissie hoogst waarschijnlijk lager uitvallen.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

- In de grondstof- en productiefase vindt de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot plaats.
- Tegelijkertijd kennen de diverse aannames in deze fase ook de meeste onzekerheden.
- Wanneer meer wordt ingezoomd op de objecten, blijkt dat de meeste CO<sub>2</sub>-emissie afkomstig is van de winning van grondstoffen en productie ten behoeve van funderingspalen, landhoofden en de prefab dekconstructie. Deze objecten worden ook in de grootste hoeveelheden gebruikt.
- De genoemde objecten bestaan zowel uit beton als staal. De gebruikte emissiefactoren zijn bij deze materialen vooral van belang, vanwege een optredend hefbouweffect.

Het uiteindelijke doel van deze studie is CO<sub>2</sub>-emissiereductie:

- Metaal en beton zijn materialen die van oudsher veel in de bouw en infrastructuur worden toegepast. Maatregelen kunnen zich richten op alternatieve materialen, maar ook naar meer duurzame processen in winning en productie.
- Voor transporten kan vaker gebruik gemaakt worden van duurzame brandstoffen zoals biodiesel.
- Voor transporten kan vaker gebruik gemaakt worden van de trein of binnenvaart (modal shift) wat leidt tot een lagere emissie dan transport per as.

### 4.2 Aanbevelingen

- Uitvoeren van gevoeligheidsanalyse om te onderzoeken welke effecten veranderingen van type materiaal en energie tot gevolg hebben
- Onzekerheden in de grondstof- en productiefase terugdringen door nader te bepalen welke activiteiten wel en niet zijn meegenomen in de emissiefactoren van staal en beton.
- Verder uitzoeken waar toeleveranciers zich bevinden en van welke modaliteit zij gebruik maken.
- Een up-to-date kennis in de markt behouden voor wat betreft:
  - duurzaam / CO<sub>2</sub>-arm bouwen
  - bedrijven / toeleveranciers die gebruik kunnen en willen maken van:
    - duurzame brandstoffen
    - meer duurzame manieren van transport

Deze kennis dient vervolgens toegepast te worden in nieuwe projecten.

### 4.3 Reductiemaatregelen

Op basis van de uitgevoerde ketenanalyse zijn reductiemaatregelen te definiëren. De kwantitatieve reductiemaatregelen worden uitgewerkt tot een CO<sub>2</sub>-reductie (zie paragraaf Doorrekening kwantitatieve reductiemaatregelen. De kwalitatieve reductiemaatregelen zijn niet kwantitatief uit te drukken en worden slechts als advies opgenomen.

#### Kwantitatieve reductiemaatregelen

- Landhoofdbalken met holte in het werk gieten. Dit geeft een besparing van ongeveer 15% in de hoeveelheid te gebruiken beton voor de landhoofdbalken en een besparing van ongeveer 7,5% in de hoeveelheid te gebruiken beton voor de funderingspalen.  
Er wordt geen besparing in het wapeningsstaal bewerkstelligd.  
Deze reductiemaatregel heeft invloed op de hoeveelheid gebruikt materiaal.  
Door afname van de hoeveelheid gebruikt materiaal neemt ook de transportbijdrage af (zie transportfase).  
Echter, om de holte in het werk te maken wordt gebruik gemaakt van extra materiaal, namelijk een PVC buis met een diameter van 900mm en een dikte van 15mm. (grondstof- & productiefase en transportfase)
- De betonsamenstelling kan worden aangepast door poederkoolvliegias als cementvanger toe te passen. Deze reductiemaatregel heeft invloed op het te hanteren CO<sub>2</sub>-emissiefactor. (grondstof- & productiefase)
- De leuning van hardhout met FSC® keurmerk in plaats van RVS. Deze reductiemaatregel heeft invloed op het te hanteren CO<sub>2</sub>-emissiefactor. (grondstof- & productiefase)
- De prefab betondelen per binnenvaartschip vervoeren in plaats van per as. (transportfase)

#### Doorrekening kwantitatieve reductiemaatregelen

##### Grondstof- en productiefase

- Landhoofdbalken met holte in het werk gieten geeft een besparing van ongeveer 15% in de hoeveelheid te gebruiken beton voor de landhoofdbalken en een besparing van ongeveer 7,5% in de hoeveelheid te gebruiken beton voor de funderingspalen. Echter, om de holte in het werk te maken wordt gebruik gemaakt van extra materiaal, namelijk voor de twee landhoofden ieder één PVC buis met een diameter van 900mm, een dikte van 15mm en een lengte van 20 meter. Hiervoor is 1,7 m<sup>3</sup> PVC benodigd<sup>9</sup>. In **Error! Reference source not found.** wordt de berekende CO<sub>2</sub>-reductie weergegeven.

<sup>9</sup>  $0,9 \times \pi \times 0,015 \times 20 \times 2 = 1,7 \text{ m}^3$ . Met een dichtheid van 1,3 ton/m<sup>3</sup> (<http://dichtheid.wordpress.com/tabel-dichtheden>) maakt dit 2,2 ton PVC.

Diameter PVC buis is geschat op basis van expert judgement brugexpert Royal HaskoningDHV. Dikte is gebaseerd op een gelijke verhouding dikte/diameter met een diameter van 160mm en dikte van 2,5mm.

Tabel 4-1: CO<sub>2</sub>-emissie reductie door holte in landhoofdbalken

Object	Hoeveelheid (ton)	Besparing te behalen (%)	Bij reductie Hoeveelheid (ton)	Emissie-factor (ton CO <sub>2</sub> / ton) <sup>10</sup>	Totaal ton CO <sub>2</sub> zonder reductie	Bij reductie Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (%)
Funderingspalen	508,7	15%	432,4	0,08	40,7	34,6	6,1	15%
Landhoofden	449,2	7,5%	415,5	0,07	31,4	29,1	2,4	7,5%
PVC buis voor holte	-	-100%	2,2	2,640	0	5,8	-5,8	-100%
Totaal	957,9		850,1				2,7	4%

- De betonsamenstelling kan aangepast worden door als cementvervanger poederkoolvliegias toe te passen. Dit geeft een afname van de emissiefactor voor beton. Per m<sup>3</sup> beton (2,4 ton) kan van de 0,36 ton cement 0,048 ton cement worden vervangen door 0,12<sup>11</sup> ton vliegias<sup>12</sup>. Gebruikmakend van de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren van poederkoolvliegias (emissiefactor 0.00326 ton CO<sub>2</sub>/ton) en CEMIII cement (emissiefactor 0,269 ton CO<sub>2</sub>/ton) wordt de afname van de emissiefactor berekend op 2%<sup>13</sup>. In **Error! Reference source not found.** wordt de berekende CO<sub>2</sub>-reductie weergegeven.

Tabel 4-2: CO<sub>2</sub>-emissie reductie door toepassen poederkoolvliegias als cementvervanger

Object	Hoeveelheid (ton)	ton CO <sub>2</sub> / ton	Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	Gereducerde emissie-factor ton CO <sub>2</sub> / ton	Bij reductie Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (%)
Funderingspalen	432,4	0,08	34,77	0,079	34,09	0,67	2%
Werkvloer	20,9	0,058	1,22	0,057	1,19	0,02	2%
Prefab stootplaten	148,8	0,08	11,96	0,079	11,73	0,23	2%
Prefab dekconstructie	504,0	0,096	48,18	0,094	47,25	0,94	2%
Landhoofden	415,5	0,07	29,25	0,069	28,68	0,57	2%
Vleugelwanden	33,8	0,07	2,38	0,069	2,34	0,05	2%
Schampkanten	46,8	0,07	3,30	0,069	3,23	0,06	2%
Totaal						2,54	2%

<sup>10</sup> Bron: SBK 209 PVC, NMD uit SimaPro LCA Software

<sup>11</sup> Aangenomen is dat de transportafstand van vliegias maximaal 48/120 = 40% van de transportafstand van het CEMIII cement is. Het cement is afkomstig uit Rotterdam, terwijl vliegias een afvalproduct is van (kolengestookte) stookinstallaties en van verschillende locaties afkomstig kan zijn.

<sup>12</sup> Op basis van expert judgement brugexpert Royal HaskoningDHV

<sup>13</sup>  $(2400-360)/2400 + 360/2400 \times 312/360 + 120/2400 \times 3.26/269 = 98\%$  van de originele emissiefactor, dus 2% reductie

- Het construeren van leuningen van hardhout met FSC® keurmerk in plaats van RVS heeft invloed op de te hanteren emissiefactor. Omdat de hoeveelheid te gebruiken hout voor een simpele leuningconstructie (1,2 ton hout<sup>14</sup>) uitkomt in dezelfde orde grootte als de hoeveelheid te gebruiken RVS (1,4 ton RVS), is gekozen om dezelfde hoeveelheid te gebruiken voor hout (1,4 ton hout). In **Error! Reference source not found.** wordt de berekende CO<sub>2</sub>-reductie weergegeven.

**Tabel 4-3: CO<sub>2</sub>-emissie reductie door toepassen houten leuning in plaats van RVS leuning**

Object	Hoeveelheid (ton)	ton CO <sub>2</sub> / ton	Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	Gereduceerde emissie-factor ton CO <sub>2</sub> / ton <sup>15</sup>	Bij reductie Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (%)
Leuning	1,4	4,360	6,1	0,412 <sup>11</sup>	0,3	5,8	94%
Totaal						5,8	94%

#### Transportfase

- Landhoofdbalken met holte in het werk gieten geeft een besparing van ongeveer 15% in de hoeveelheid te gebruiken beton voor de landhoofdbalken en een besparing van ongeveer 7,5% in de hoeveel te gebruiken beton voor de funderingspalen. Deze reductiemaatregel heeft invloed op de hoeveelheid gebruikt materiaal. Door afname van de hoeveelheid gebruikt materiaal neemt ook de transportbijdrage af. Echter, om de holte in het werk te maken wordt ook gebruik gemaakt van extra PVC. In **Error! Reference source not found.** wordt de berekende CO<sub>2</sub>-reductie weergegeven.

**Tabel 4-4: CO<sub>2</sub>-emissie reductie in transportfase door holte in landhoofdbalken**

Object	Hoeveelheid (ton)	Besparing te behalen (%)	Bij reductie Hoeveelheid (ton)	CO <sub>2</sub> /tonk m per as (kg)	Transportafstand (km)	Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	Bij reductie Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (%)
Funderingspalen	508,7	15%	432,4	0,259	29	3,82	3,25	0,57	15%
Landhoofden	449,2	7,50%	415,5	0,259	50	5,82	5,38	0,44	7,5%
PVC buis voor holte	-	-100%	2,2	0,259	200		0,11	-0,11	-100%
Totaal								0,9	9%

<sup>14</sup> Op basis van 1 paal (10 bij 10 cm en 1,5 meter hoog) en 3 tussen liggers (10 bij 5 cm en 1 meter lang) per meter (waarvan er 2 x 26 (lengte van de brug) nodig zijn) en dichtheid van 0,8 ton/m<sup>3</sup>:

= 2 x 26 x (1 x 0,1 x 0,1 x 1,5 + 3 x 0,1 x 0,05 x 1) x 0,8 = 1,2 ton hout

<sup>15</sup> Bron: NMD uit SimaPro LCA Software

- Door de prefab betondelen per binnenvaartschip te vervoeren in plaats van per as wordt de CO<sub>2</sub>-emissie gereduceerd. In **Error! Reference source not found.** wordt de berekende CO<sub>2</sub>-reductie weergegeven.

**Tabel 4-5: CO<sub>2</sub>-emissie reductie in transportfase door transport middels binnenvaartschip**

Object	Hoeveelheid (ton)	Transportafstand (km)	CO <sub>2</sub> /tonkm per as (kg)	Totaal ton CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> /tonkm per schip (kg) <sup>16</sup>	Bij reductie Totaal CO <sub>2</sub> (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (%)
Prefab betonpalen (deel)	432,4	29	0,259	3,25	0,041 <sup>13</sup>	0,51	2,73	84%
- Voorspanstaal: FEP863	16,3	193	0,259	0,81	0,041 <sup>13</sup>	0,13	0,69	84%
- Zachtstaalwapening: B500B	10,0	193	0,259	0,50	0,041 <sup>13</sup>	0,08	0,42	84%
Stootplaten beton	148,8	83	0,259	3,20	0,041 <sup>13</sup>	0,51	2,69	84%
Prefab betonpalen (deel)	504,0	187	0,259	24,41	0,041 <sup>13</sup>	3,86	20,55	84%
- Zachtstaalwapening: B500A	26,7	193	0,259	1,33	0,041 <sup>13</sup>	0,21	1,12	84%
- Voorspanstaal: FEP863	10,7	193	0,259	0,53	0,041 <sup>13</sup>	0,08	0,45	84%
Totaal							28,7	84%

### Samenvatting

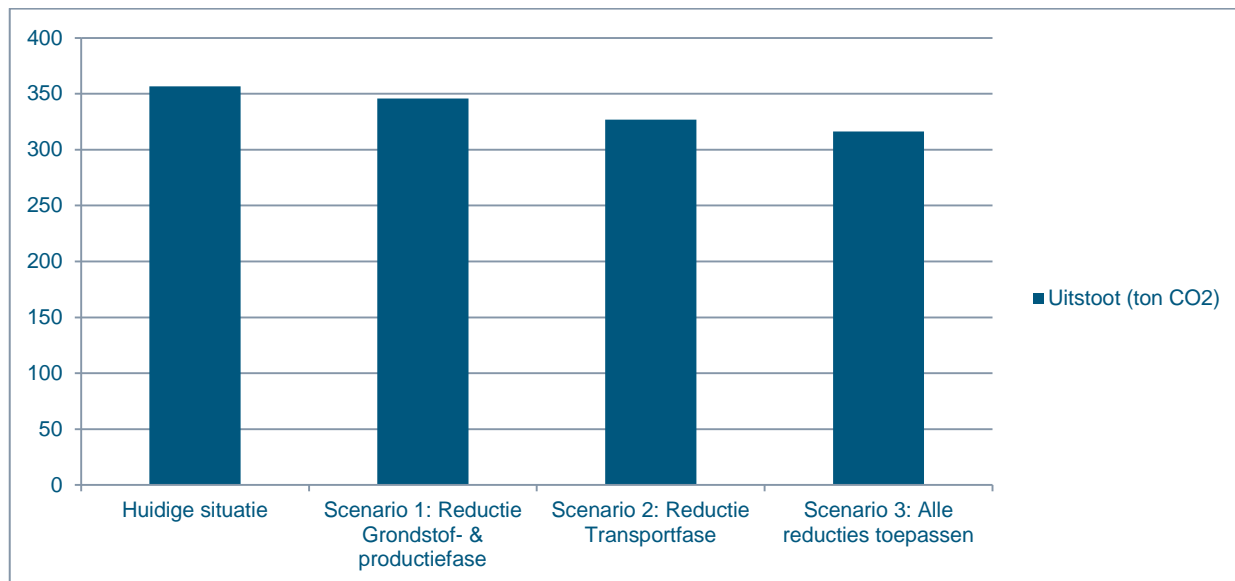
In onderstaande **Error! Reference source not found.** zijn de reducties van de verschillende maatregelen samengevat.

**Tabel 4-6: CO<sub>2</sub>-emissie reductie van reductiemaatregelen samen**

Maatregel	CO <sub>2</sub> Reductie (ton)	CO <sub>2</sub> Reductie (%)
Reductie beton hoeveelheid (grondstof- & productiefase)	2,7	0,8%
Beton samenstelling (grondstof- & productiefase)	2,54	1,0%
Houten leuning (grondstof- & productiefase)	5,8	1,6%
Gereduceerde tonnen door reductie betonhoeveelheid (transportfase)	0,9	0,3%
Gereduceerde tonnen door vervoer per binnenvaartschip (transportfase)	28,7	8,0%
Totaal	40,6	11% <sup>17</sup>

<sup>16</sup> Bron: [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl)

<sup>17</sup> 40,6 ton CO<sub>2</sub> reductie op een totaal van 356,6 ton CO<sub>2</sub> betreft een reductie van 11%



Figuur 4-1: Resultaat reductiemaatregelen

#### Kwalitatieve reductiemaatregelen

- Duurzaamheid in het contract en bij de vormgeving meenemen. Daarmee kan in een vroeg stadium worden nagedacht over toepassen van materialen die minder invloed hebben op het milieu:
  - Geleiderail van composiet
  - Leuningen van hardhout met FSC® keurmerk of composiet
- Integraal bouwen, monoliet verbinden, zodat er geen voegen benodigd zijn.
- Nauwkeuriger bouwen en betere communicatie. Hierdoor kan door minder fouten stagnatie voorkomen worden en minder materiaal toegepast worden.
- Meer standaardiseren, waardoor prefab constructies en randelementen efficiënter gemaakt kunnen worden en in het werk meer gebruikt kan worden van standaard middelen (zoals bekisting).
- Gebruik maken van biodiesel of LNG.

Object	Subobject/subactiviteit	Subobject/subactiviteit	Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	Hoeveelheid (ton)	Bron	ton CO2/ ton bron	Totaal ton CO2	Fractie van totaal	
<b>Grondstof- en product</b>											
Funderingspalen	Prefab betonpalen	Prefab betonpalen (deel) voorgespannen, 47 kg/m3	Beton C45/55	212,0	m3	508,7	RHDHV, Eelco Winter	0,080	NMID, DuboCalc	40,9	11,5%
		zachtstaal (laagw aardig), 77 kg/m3	Voorspanstaal: FEP863	16,3	ton	16,3	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	15,7	4,4%
Werkvloer	Werkvloer	Werkvloer beton	Zachtstaalw apening: B500B	10,0	ton	10,0	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	9,6	2,7%
Prefab stootplaten	Prefab stootplaten	Stootplaten beton	Schraalbeton, geen w apening, C12/15	8,7	m3	20,9	RHDHV, Eelco Winter	0,058	NMID, DuboCalc	1,2	0,3%
		Zachtstaalw apening: 285 kg/m3	Beton C45/55	62,0	m3	148,8	RHDHV, Eelco Winter	0,080	NMID, DuboCalc	12,0	3,4%
Prefab dekconstructie	Rogir-K (h=700 mm)	Prefab betonpalen (deel)	Zachtstaalw apening: B500B	17,7	ton	17,7	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	17,0	4,8%
		Zachtstaalw apening: 127 kg/m3	Beton C53/65 recept HZF04	210,0	m3	504,0	RHDHV, Eelco Winter	0,096	NMID, DuboCalc	48,2	13,5%
		voorgespannen, 51 kg/m3	Zachtstaalw apening: B500A	26,7	ton	26,7	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	25,7	7,2%
Landhoofden	Landhoofdbalk	Landhoofdbalk beton	Voorspanstaal: FEP863	10,7	ton	10,7	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	10,3	2,9%
		Zachtstaalw apening: 115 kg/m3	Beton C30/37	187,2	m3	449,2	RHDHV, Eelco Winter	0,070	NMID, DuboCalc	31,6	8,9%
		PVC buis voor holte	Zachtstaalw apening: B500B	21,5	ton	21,5	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	20,8	5,8%
Vleugelwanden	Vleugelwanden	Vleugelwanden beton	Kunststof, PVC	1,7	m3	0,0	RHDHV, Eelco Winter	0,000	-	0,0	0,0%
		Zachtstaalw apening: 76 kg/m3	Beton C30/37	14,1	m3	33,8	RHDHV, Eelco Winter	0,070	NMID, DuboCalc	2,4	0,7%
Schampkanten		Schampkanten beton	Zachtstaalw apening: B500B	1,1	ton	1,1	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	1,0	0,3%
		Zachtstaalw apening: 100 kg/m3	Beton C30/37	19,5	m3	46,8	RHDHV, Eelco Winter	0,070	NMID, DuboCalc	3,3	0,9%
Leuning	Leuningw erk	Leuningw erk	Zachtstaalw apening: B500B	2,0	ton	2,0	RHDHV, Eelco Winter	0,964	NMID, DuboCalc	1,9	0,5%
Randelementen	Randelementen	Randelementen	RVS316	1,4	z	1,4	Takke, Linda de Bruijn,	4,360	NMID, DuboCalc	6,1	1,7%
Geleiderail	Geleiderail	Geleiderail	RVS316	1,8	ton	1,8	Takke, Linda de Bruijn,	4,360	Ecolnvent 3.0	7,9	2,2%
<b>Totaal</b>		164 kg / 4 meter; motivatie: Geen	Verzinkt staal	13,8	ton	13,8	http://w w w .g w w kosten.nl/	2,423	NMID, DuboCalc	33,4	9,4%
						1835,2			289,1	81,1%	
Object	Subobject/subactiviteit	Subobject/subactiviteit		Hoeveelheid	Eenheid	Kilometers	Per as / per schip	Kg CO2/tonkm	bron	Totaal ton CO2	Fractie van totaal
<b>Transportfase (Voortr</b>											
Funderingspalen	Prefab betonpalen	Prefab betonpalen (deel) voorgespannen, 47 kg/m3		508,7	ton		29 Per as	0,259	www .co2emissiefa	3,8	1,1%
		zachtstaal (laagw aardig), 77 kg/m3		16,3	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,8	0,2%
Werkvloer	Werkvloer	Werkvloer beton		10,0	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,5	0,1%
Prefab stootplaten	Prefab stootplaten	Stootplaten beton		20,9	ton		200 Per as	0,259	www .co2emissiefa	1,1	0,3%
		Zachtstaalw apening: 285 kg/m3		148,8	ton		83 Per as	0,259	www .co2emissiefa	3,2	0,9%
Prefab dekconstructie	Rogir-K (h=700 mm)	Prefab betonpalen (deel)		17,7	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,9	0,2%
		Herkomst zand, vortransport		504,0	ton		187 Per as	0,259	www .co2emissiefa	24,4	6,8%
		Herkomst grind, vortransport		194,7	ton		22 Per as	0,259	www .co2emissiefa	1,1	0,3%
		Herkomst Cement, vortransport		194,7	ton		36 Per as	0,259	www .co2emissiefa	1,8	0,5%
		Zachtstaalw apening: 127 kg/m3		114,5	ton		105 Per as	0,259	www .co2emissiefa	3,1	0,9%
		voorgespannen, 51 kg/m3		26,7	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	1,3	0,4%
Landhoofden	Landhoofdbalk	Landhoofdbalk beton		10,7	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,5	0,2%
		Zachtstaalw apening: 115 kg/m3		449,2	ton		50 Per as	0,259	www .co2emissiefa	5,8	1,6%
		PVC buis voor holte		21,5	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	1,1	0,3%
Vleugelwanden	Vleugelwanden	Vleugelwanden beton		0,0	m3		Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,0	0,0%
		Zachtstaalw apening: 76 kg/m3		33,8	ton		50 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,4	0,1%
Schampkanten	Schampkanten	Schampkanten beton		1,1	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,1	0,0%
		Zachtstaalw apening: 100 kg/m3		46,8	ton		50 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,6	0,2%
Leuning	Leuningw erk	Leuningw erk		2,0	ton		193 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,1	0,0%
Randelementen	Randelementen	Randelementen		1,4	ton		1135 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,4	0,1%
Geleiderail	Geleiderail	Geleiderail		1,8	ton		1135 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,5	0,2%
<b>Totaal</b>		164 kg / 4 meter; motivatie: Geen		13,8	ton		200 Per as	0,259	www .co2emissiefa	0,7	0,2%
				2339,2		4826,0				52,4	14,7%
Aannemer	Activiteit	Subobject/subactiviteit	Materieel	Hoeveelheid	Eenheid	Bron	Opm	kg CO2/[ehd]	bron	Totaal ton CO2	Fractie van totaal
<b>Bouw fase (Energiever</b>											
VolkerWessels	Inzet materieel	1% (voor materiaal) van 25.8 kton	1% van bedrijfsbrede inzet materiaal			http://w w w .volke				0,3	0,1%
	Bekisting	Bekistingshout	Multiplex	6,8	m3	RHDHV, Bart		0,821	NMID	4,8	1,3%
Sterk	Heien	Fase 1	Kobelco BME 800-HD	600	liter	Sterk, Randy	diesel	3,230	www .co2emissiefa	1,9	0,5%
		Fase 2	Junttan HHK9	600	liter	Sterk, Randy	diesel	3,230	www .co2emissiefa	1,9	0,5%
			Kobelco BM 700C	660	liter	Sterk, Randy	diesel	3,230	www .co2emissiefa	2,1	0,6%
			Junttan HHK9	660	liter	Sterk, Randy	diesel	3,230	www .co2emissiefa	2,1	0,6%
		Transport stelling	3 materiaalauto's en 1 dieplader	50	ton	Sterk, Randy	150	0,259	www .co2emissiefa	1,9	0,5%
<b>Totaal</b>										15,1	4,2%
<b>Totaal generaal</b>										356,6	100,0%