

Het 2e leven van spoorstaven in een modulaire
demontabele spoortraverse

DEELRAPPORT 6
ANALYSE CO2-EMISSIE

MARTIJN ZEGERS

Versie 15 augustus 2018

Contactinformatie

Afstudeerder:

Martijn Zegers

Studentnummer: 500723411

E: martijn.zegers@hva.nl

M: +31 6 54696863

Afstudeerbegeleiders:

1^e begeleider HvA:

Dr. Ir. M.P. Horikx

m.p.horikx@hva.nl

2^e begeleider HvA:

Ing. J. Falek MSE

j.falek@hva.nl

Werkvelddeskundige:

Ir. A. van der Sluis

a.vdsluis@vanrossumbv.nl

Hogeschoolgegevens:

Hogeschool van Amsterdam

Adres: Weesperzijde 190, 1097 DZ Amsterdam

Telefoon : 020 5951111

Website: www.hva.nl

Faculteit: Techniek

Opleiding: Master Structural Engineering

Vakcode: Module 3.4 Proeve van bekwaamheid

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	3
2.	CO ₂ -emissieberekening volgens EN 15804	5
2.1	Productiefase A	7
2.2	De gebruiksfase B	8
2.3	Einde levensduur C.....	8
2.4	Na de levensduur D	8
2.5	Kengetallen CO ₂ -emissie	9
2.6	Bepalen van hoeveelheden op basis van uitgangspunten.....	10
3.	Berekening CO ₂ -emissie traverse met spoorstaven	11
3.1	Building lifecycle information traverse met spoorstaven.....	11
3.2	CO ₂ -emissie-berekening traverse met spoorstaven	12
3.3	Conclusie	13
4.	Berekening CO ₂ -emissie traverse met constructiestaal	15
4.1	Building lifecycle information traverse met constructiestaal.....	15
4.2	CO ₂ -emissie-berekening traverse met constructiestaal	16
4.3	Conclusie	17
5.	Conclusie	19
6.	Bibliografie	22
Bijlage 1	EPD Constructiestaal Heavy Construction Products	24

1. Inleiding

In het deelrapport “Literatuuronderzoek” is in hoofdstuk 2 de noodzaak voor het reduceren van CO₂-uitstoot te lezen. Op internationaal en nationaal niveau is hiervoor middels klimaatakkoorden beleid op ontwikkeld.

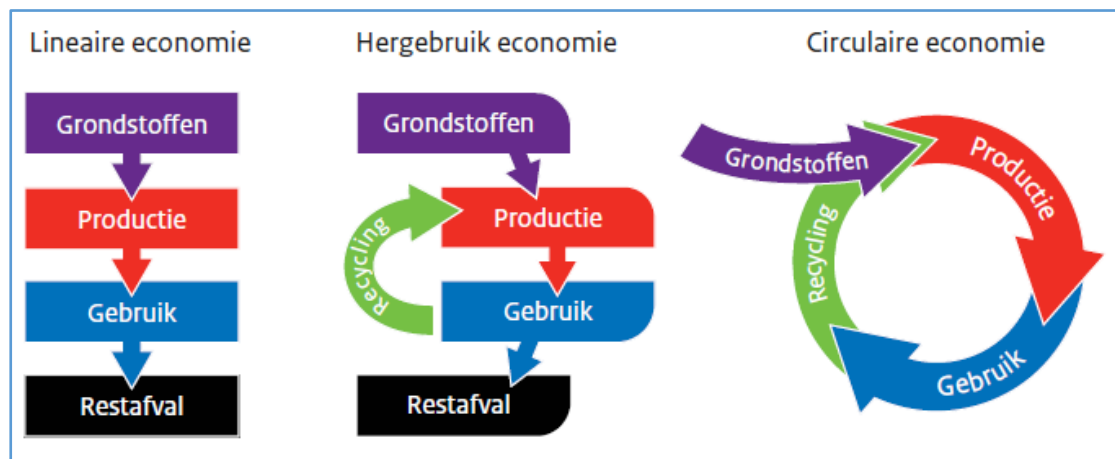
In grove lijnen zijn de doelstellingen uit het klimaatakkoord van Parijs:

De temperatuurstijging van de aarde beperken in 2050 tot 2°C, maar bij voorkeur tot 1,5°C ten opzichte van 1990, te bereiken door:

- 20% minder CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990
- 20% minder energieverbruik
- 20% van het totale energiegebruik moet afkomstig zijn uit hernieuwbare energie, zoals wind- en zonne-energie.

Het ministerie van Economische zaken van Nederland zet met: *Nederland Circulair in 2050*, vol in op: reductie van, hergebruik van en gebruik van hernieuwbare, grondstoffen.

Hiervoor moet het traditionele bouwproces getransformeerd worden naar een circulair bouwproces, Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Van Lineair naar circulair, (Ministerie van Economische Zaken)

ProRail, stelt innovatieve eisen aan leveranciers met betrekking tot CO₂-emissies op basis van de CO₂ prestatieladder en wil daarom zelf ook invulling hieraan geven door te voldoen aan de eisen van niveau 4. (ProRail, 2010)

Ondanks dat spoorstaven slechts 7% van de CO₂-emissies van ProRail leveren, kan ook hier een bijdrage in de reductie gerealiseerd worden.

In dit kader heeft dit onderzoek “Het 2^e leven van spoorstaven in een modulaire en demontabele spoortraverse” plaats gevonden.

In dit deelrapport 6: “Analyse CO₂-emissie”, zijn de varianten de ‘modulaire en demontabele spoortraverse met spoorstaven(staal)’ en de ‘modulaire en demontabele spoortraverse met spoorstaven constructiestaal’ op het gebied van CO₂-emissies met elkaar vergeleken.

In hoofdstuk 2 vindt de uitleg plaats, hoe de berekeningen van emissies volgens de laatste versie van EN 15804: *“Sustainability of construction works – Environmental Product- Declarations – Core rules for the product category of construction products”* moeten worden uitgevoerd.

In hoofdstuk 3 is de CO₂-emissie berekend van de traverse opgebouwd met spoorstaven.

In hoofdstuk 4 is de CO₂-emissie berekend van de traverse opgebouwd met constructiestaal.

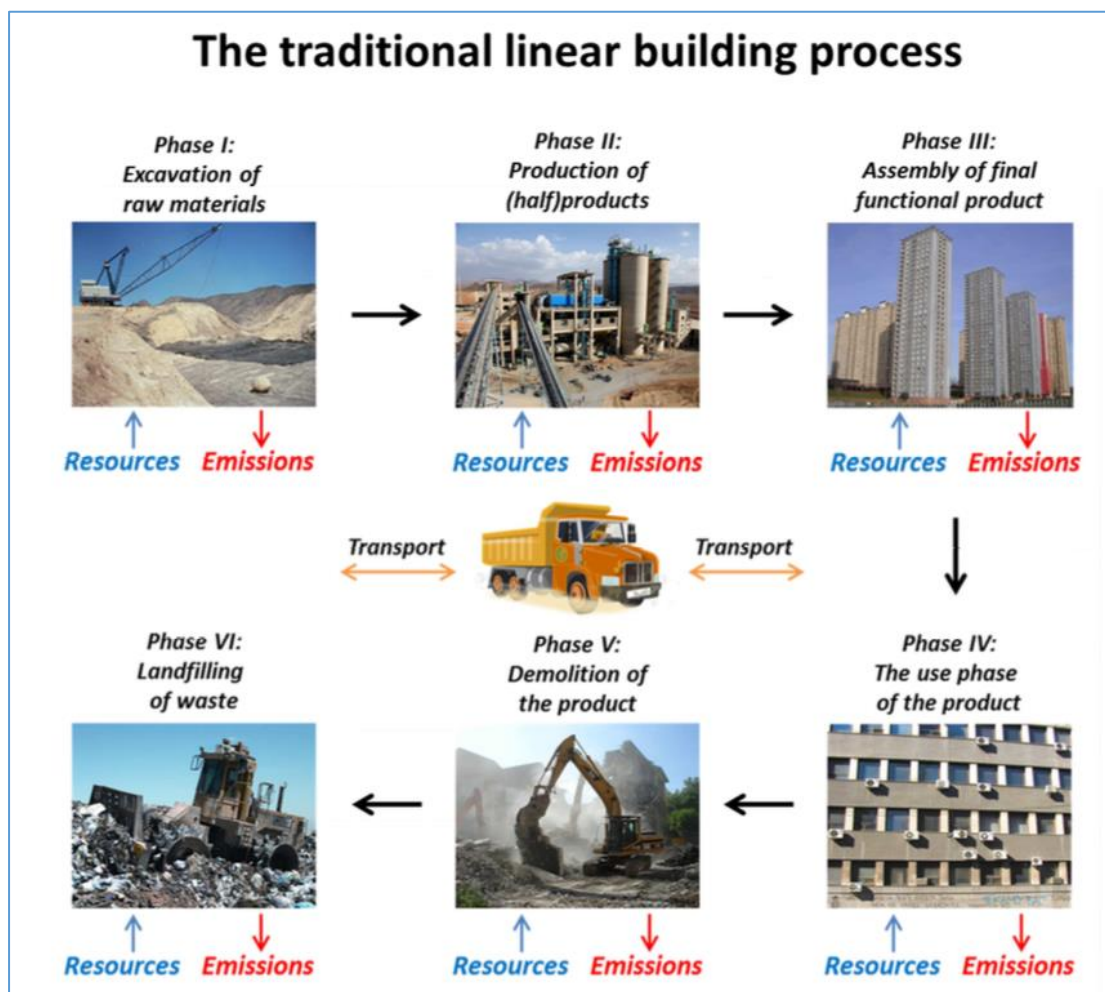
In hoofdstuk 5 zijn de emissies van de varianten met elkaar vergeleken. De conclusies uit de vergelijking zijn in dit hoofdstuk weergegeven.

2. CO₂-emissieberekening volgens EN 15804

In Figuur 2-1 is het lineaire bouwproces gevisualiseerd. Hierin zijn de fases van het leven een bouwwerk zichtbaar gemaakt.

Bij de lineaire levensloop van een bouwwerk zijn de globale fases weergegeven, dit zijn: productie → gebruik → sloop → afval.

In iedere levensfase worden er grondstoffen gebruikt en emissies uitgestoten.

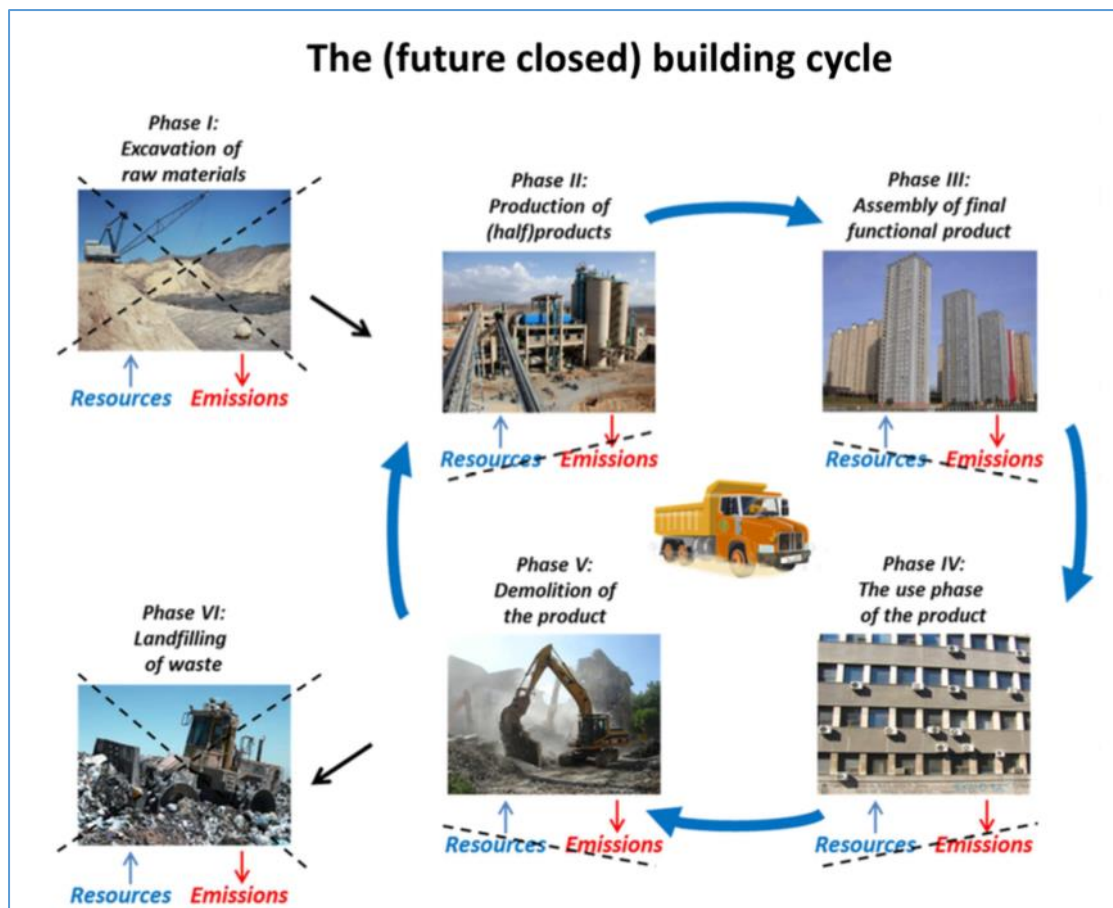


Figuur 2-1: Schema van lineair bouwproces (Jonkers, 2018)

In Figuur 2-2 is het circulaire bouwproces gevisualiseerd. Hierin zijn ook de fases van het leven van een bouwwerk zichtbaar gemaakt.

Bij de circulaire levensloop van een bouwwerk zijn ook de globale fases weergegeven, dit zijn : productie → gebruik → demontage/sloop → hergebruik van materialen/grondstoffen.

Omdat er geen nieuwe grondstoffen gebruikt worden, ontstaan door de winning ook geen emissies, dit zelfde geldt voor de verwerking en opslag van het afval.



Figuur 2-2: : Schema circulair bouwproces (Jonkers, 2018)

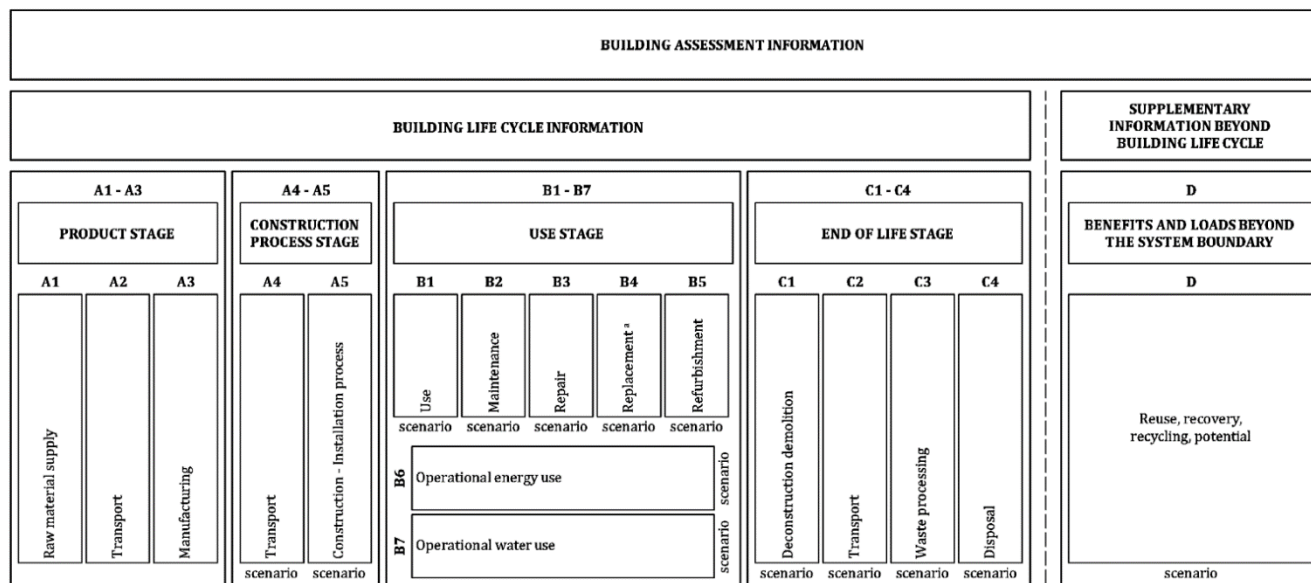
Een vergelijkbaar systeem voor het circulaire proces is gebruikt bij in de EN 15804. EN15804 (Technical Committee CEN / TC 350, 2017) biedt een methode om een emissie te berekenen voor bouwwerken. In dit hoofdstuk wordt hiermee uitsluitend de CO₂-emissie bedoeld. Vanwege de circulaire economie wordt in deze norm niet meer alleen naar de lasten, CO₂-load, maar ook naar de lusten, CO₂-benefit, voor de emissies gekeken: CO₂-emissie = CO₂-Load – CO₂-benefit.

Allereerst wordt de levenscyclus, life cycle inventory analysis, opgesteld. Hierin staan de fases A: productie, B gebruik en C einde levensduur. Voor iedere fase moeten de emissies, waaronder de CO₂, bepaald worden. De som van deze “load-emissies” bepalen de Milieu Kosten Indicator-waarde, MKI-waarde. Om hergebruik en recycling mee te nemen in de berekening voor de MKI-waarde is fase D toegevoegd. Hierin worden de restwaarden voor hergebruik en recycling omgezet in “benefit-emissies”.

Bovenstaand systeem is in EN15804 vertaald naar het schema Figuur 2-3.

Voor de verantwoording van emissies zullen van alle levensfasen van het bouwwerk zoals aangegeven in het schema Figuur 2-3, de processen geanalyseerd en beschreven moeten worden, zodat de emissies per levensfase bepaald kunnen worden.

In de volgende paragrafen zijn de verschillende levensfasen beschreven.



Figuur 2-3: Schema voor de beoordeling van de gebouwinformatie

2.1 Productiefase A

Uit het schema Figuur 2-3 kunnen de onderdelen A1 t/m A5 gehaald worden voor het tot stand komen van het gerede product.

- A1: Delven van grondstoffen
- A2: Transport naar fabriek voor half-fabricaten
- A3: Productie van half-fabricaten
- A4: Transport naar de bouwplaats
- A5: Het bouwproces van het bouwwerk

Producenten van producten maken deze processen niet voor iedereen toegankelijk. De taak is aan de producenten om de load-emissies vast te stellen. Om greenwashing, dit wil zeggen het groener doen voorkomen van een product dan dat het daadwerkelijk is, te voorkomen, moet een producent een Environmental Product Declaration, EPD, opstellen.

Dit is een document dat geverifieerde transparante en vergelijkbare informatie over de milieu-impact van producten op de levenscyclus weergeeft. Deze EPD's worden verzameld in een databank, de Nationale MilieuDatabase, NMD, waaruit de milieu-impact per product verkrijgbaar is. Een EPD omvat dus de milieu-impact van A1 t/m A5.

2.2 De gebruiksfase B

De gebruiksfase B wordt in schema Figuur 2-3 opgedeeld in:

- B1: Gebruik, (bijvoorbeeld energie)
- B2: Onderhoud
- B3: Reparatie
- B4: Vervanging
- B5: Opknappen voor verlenging levensduur

Voor dit onderdeel is geen onderzoek verricht omdat deze fase nauwelijks invloed heeft op het resultaat van het onderzoek. Voor beide varianten zullen deze aspecten nagenoeg gelijk zijn.

2.3 Einde levensduur C

De fase einde levensduur wordt in schema Figuur 2-3 opgedeeld in:

- C1: Demontage en sloop
- C2: Transport afval en herbruikbare producten en grondstoffen
- C3: Afvalverwerking
- C4: Landgebruik voor opslag van afval

Voor dit onderdeel is eveneens geen onderzoek verricht. Beide varianten zullen gelijkwaardig worden gesloopt en getransporteerd. Ook zal hierbij nauwelijks tot geen afval ontstaan, omdat blijkt dat meer dan 95% van alle staalconstructies wordt hergebruikt of gerecycled.

2.4 Na de levensduur D

Voor de fase na de levensduur is geen onderverdeling gemaakt.

Voor ieder product zal dit anders zijn. Producten kunnen hergebruikt of gerecycled worden. Ook bestaat de mogelijkheid dat het als afval verbrand wordt, dit kost energie maar kan ook energie opleveren als de warmte gebruikt wordt voor opwekking van energie. Zo zijn er diverse scenario's in de EN 15804 opgenomen.

De materialen die vrijkomen uit de traverse zullen, zoals onder 2.3 is omschreven, voor circa 95 % worden hergebruikt of gerecycled.

Voor dit aspect is, in de EN15804, de formule D5 opgenomen om de emissie-winst, $e_{\text{module D1}}$, te berekenen:

$$e_{\text{module D1}} = \Sigma(M_{MR \text{ out } |i} - M_{MR \text{ in } |i}) * (E_{MR \text{ after EoW out } |i} - E_{VM \text{ sub out } |i} * \frac{Q_{R \text{ out } |i}}{Q_{sub} |i})$$

$e_{\text{module D1}}$ zijn emissies en gebruikte energie per eenheid uitgedrukt in kg CO₂-eq.

$M_{MR\ out}$ is hoeveelheid materiaal dat de cyclus verlaat en wordt teruggewonnen (recycling en hergebruik) voor een volgende cyclus. Deze wordt vastgesteld na de betreffende cyclus.

$M_{MR\ in}$ is hoeveelheid materiaal dat de cyclus ingaat en afkomstig is van recycling en hergebruik uit een vorige cyclus. Deze wordt vastgesteld na de vorige cyclus.

$E_{MR\ after\ EoW\ out}$ zijn emissies en gebruikte energie per eenheid voor het recycling proces. Dit proces is te vergelijken met het productieproces van staal met een elektro-oven.

$E_{VM\ sub\ out}$ zijn emissies en gebruikte energie per eenheid voor het proces met enkel grondstoffen of proces met het gemiddelde van grondstof en gerecyclede producten. Dit proces is te vergelijken met het productieproces van staal met een hoogoven.

2.5 Kengetallen CO₂-emissie

Voor de vaststelling van de kengetallen voor de verschillende onderdelen is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:

- De CO₂ ketenanalyse van ProRail (ProRail, 2010)
- De EPD Heavy Construction Products (Bouwen met Staal, 2014)
- De CO₂ barometer <https://www.milieubarometer.nl/CO2-footprints/co2-footprint/actuele-co2-parameters-2018-en-verder/>

Hiermee zijn de kengetallen uit Tabel 2-1 samengesteld.

Tabel 2-1: Kengetallen voor de CO₂ berekeningen

Kengetallen CO ₂ -emissie						
		eenheid	eenheid	eenheid	Bron	opmerking
		kg CO ₂ /kg staal	kg CO ₂ /(ton /km)	kg CO ₂ /km		
A1 t/m A3	spoorstaal	1,930			ketenanalyse Railpro	
	constructiestaal	0,910			EPD bouwen met staal	
A3	fabriceren constructie	0,033			ketenanalyse Railpro	
A4	transport trein		0,030		ketenanalyse Railpro	leeg terug
	transport vrachtwagen			0,300	ketenanalyse Railpro	leeg terug
	transport bestelbus 8 P			0,220	ketenanalyse Railpro	
A5	montage constructie	0,130			ketenanalyse Railpro	
B1, B3, B4	n.v.t.					
B2	onderhoud	0,017			EPD bouwen met staal	
B5	refurbishment	0,020			EPD bouwen met staal	
C1	demontage / sloop	0,040			EPD bouwen met staal	
C2	transport vrachtwagen	0,028			EPD bouwen met staal	
C3, C4	n.v.t.					
D	recycling, hergebruik	-0,540			EPD bouwen met staal	

Opvallend is het grote verschil A1 t/m A3 tussen spoorstaal, 1,93 kg CO₂/kg staal ten opzichte van constructiestaal 0,91 kg CO₂/kg staal.

Dit heeft alles te maken met het productieproces van het staal. Spoorstaven staal wordt gemaakt met 80% nieuwe grondstoffen en 20% gerecycled staal in een hoogoven (Voestalpine), met een hoog energiegebruik. Constructiestaal wordt gemaakt uit 100% gerecycled staal in een elektro-oven (ArchelorMittal), met een veel lager energiegebruik.

2.6 Bepalen van hoeveelheden op basis van uitgangspunten

Om de CO₂-emissie te berekenen zijn uitgangspunten nodig voor afstanden, assemblage en demontage. In Tabel 2-2 zijn deze uitgangspunten weergegeven.

Tabel 2-2: Uitgangspunten vervoer, montage en demontage

Uitgangspunten t.b.v. CO ₂ berekening				
	afstand	aantal	gewicht	opm
	km		ton	
enkele reis Railpro gem bouwproject:	100			
vrachten voor 1 traverse		12		kan geoptimaliseerd worden
dagen voor opbouw traverse door 8P		2		ingeschat niet gecontroleerd
dagen voor demontage traverse 8P		2		ingeschat niet gecontroleerd
4 personen per bestelbus enkele reis	200			
traverse spoorstaven				
spoorstaven			35,8	
hulpstaal			6,9	
totaal gewicht traverse			82,0	
traverse constructiestaal				
constructiestaal			28,5	
totaalgewicht traverse			67,9	

Opgemerkt moet worden dat:

- het aantal dagen, 2 voor de montage met 8 personen is ingeschat en niet is geverifieerd.
- In deelverslag 3, "Ontwerp van de traverse", is vastgesteld dat het vervoer zonder ontheffing met normale opleggers moet kunnen plaatsvinden. Door deze keuze moeten de elementen van de traverse in 12 transporten vervoerd worden.
- Met de hoeveelheid hulpstaal worden staalplaten bedoeld, die benodigd zijn om de spoorstaven op een constructieve wijze aan elkaar te verbinden en de samengestelde spoorstaven een vaste maatvoering te geven. In het hoofdverslag wordt hier verder op ingegaan.

3. Berekening CO₂-emissie traverse met spoorstaven

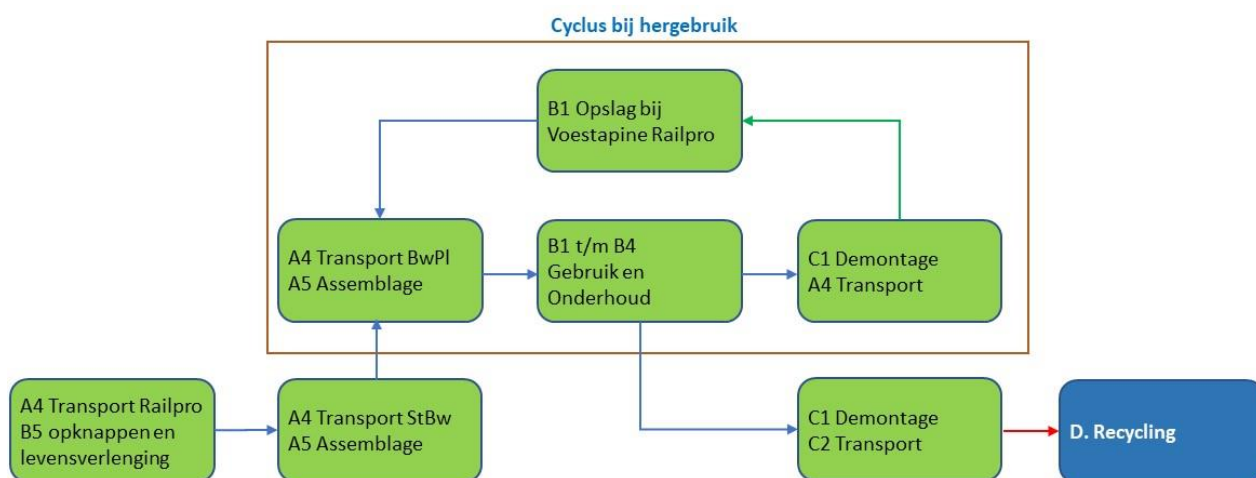
Om de CO₂-emissie voor de traverse opgebouwd uit spoorstaven te kunnen berekenen, is in paragraaf 3.1 de “levensloop”, building lifecycle information, van de traverse in kaart gebracht.

In paragraaf 3.2 is met de gegevens uit Tabel 2-1 en Tabel 2-2 en de building lifecycle information de CO₂-emissie berekend voor de traverse met spoorstaven.

3.1 Building lifecycle information traverse met spoorstaven.

Bij een groot vervangingsproject van een spoortraject hebben de spoorstaven de “einde levensduur fase” bereikt. Vanaf hier start het proces.

Bij hergebruik worden bepaalde stadia van het proces meerdere malen doorlopen. Hiervoor is allereerst gestart met de situatie dat de traverse slechts 1 maal gebruikt wordt. Daarna wordt de cyclus voor hergebruik gevolgd. De modellering van het bouwproces wordt weergegeven in Figuur 3-1. Per stap, zie toelichting, zijn de stadia van de “levensloop” volgens Figuur 2-3, EN15804 aangegeven.



Figuur 3-1: Schema Building Lifecycle Information traverse met spoorstaven

Toelichting op Figuur 3-1

Volgorde volgens Figuur 3-1

1. De spoorstaven worden per trein vervoerd (A4) van het vervangingstraject naar Railpro Voestalpine (RV). Bij RV worden de spoorstaven gerefabriceerd (B5) tot bruikbare delen.
2. De spoorstaven worden per vrachtwagen getransporteerd naar een staalbewerkingsbedrijf (A4) waar de traverse tot vervoerbare elementen wordt samengesteld. (A5)

3. De elementen worden per groot transport vervoerd (A4) naar de bouwplaats en geassembleerd tot traverse (A5)
4. In de gebruiksfase vindt incidenteel onderhoud plaats (B1 t/m B4)
5. Na de gebruiksfase wordt de traverse gedemonteerd (C1) en per vrachtwagen getransporteerd naar Esch sur Alzette, naar de elektro-oven van ArchlorMittal (C2).
6. De constructie wordt gerecycled.

Bij *hergebruik* van de traverse ontstaat de volgende cyclus:

Start cyclus vindt plaats tussen punten 4 en 5.

7. Na 4 wordt de traverse gedemonteerd (C1) en getransporteerd naar het werkterrein van RV (A4).
8. De traverse wordt met een kraan afgeladen en opgeslagen. Bij een volgende ombouw van perrons kan de traverse weer ingezet worden en wordt weer met een kraan opgeladen voor transport. (B1)
9. De elementen worden per groot transport vervoerd (A4) naar de volgende bouwplaats en geassembleerd tot traverse (A5)
10. In de gebruiksfase vindt incidenteel onderhoud plaats (B1 t/m B4)

Einde cyclus.

3.2 CO₂-emissie-berekening traverse met spoorstaven

Voor de emissie berekening zijn een aantal Excel-sheets gemaakt, welke samen de complete CO₂-emissie per onderdeel berekenen en daarna optellen. Het resultaat, zie Tabel 3-1, is voor 1-malig gebruik van de traverse gemaakt en daarnaast zijn apart de waarden berekend van één cyclus, zodat het voordeel van hergebruik inzichtelijk gemaakt kan worden.

Toelichting op Tabel 3-1:

Aan spoorstaal, A3 productie, is de hoeveelheid 0 toegekend, omdat het spoorstaal vrijkomt uit een vervangingsproject.

Voor assemblage, A5 en demontage C1 is het totale gewicht van de traverse gegeven, omdat deze in zijn geheel ge(de)monteerd moet worden.

Voor recycling is een verlies van 10% in rekening gebracht. Dit is niet geverifieerd bij een expert.

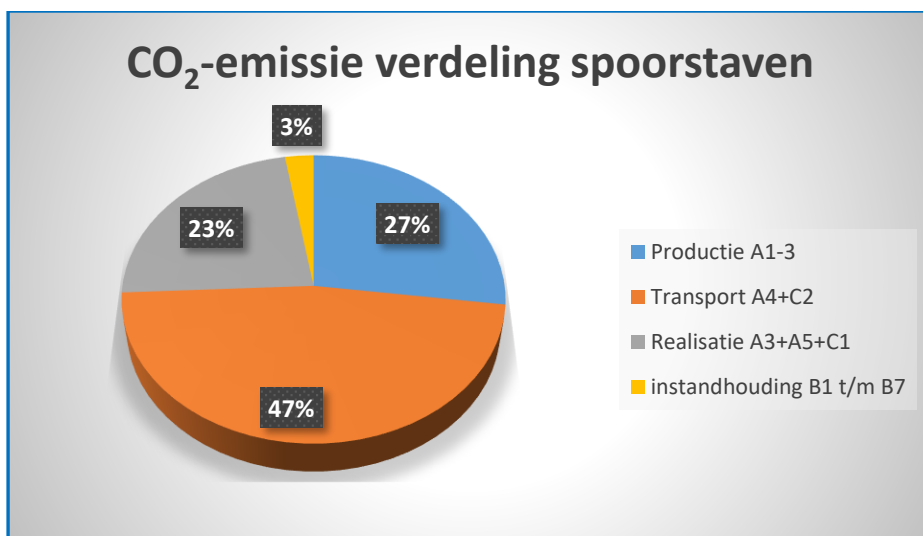
De waarde voor recycling is negatief, in rood weergegeven, omdat dit emissie-winst is, in plaats van emissie-last.

Tabel 3-1: CO₂-emissie-berekening van de variant met spoorstaven

CO ₂ berekening variant met spoorstaven							
Zonder hergebruik	categorie	hoeveelheid	hoeveelheid	eenheid	eenheid	eenheid	emissie
		ton	km	kg CO ₂ /kg staal	kg CO ₂ /(ton /km)	kg CO ₂ /km	kg CO ₂
Spoorstaal	A3	35,8		0			
Constructiestaal	A3	6,9		0,910			6234
transport spoorstaven per trein naar RV	A4	35,8	200		0,030		215
opknappen voor levensduur verlenging icl kraan	B5	35,8		0,020			716
transport vrachtwagen StBw	C2	35,8	200		0,030		215
elementen bouwen	A5	35,8		0,020			716
transport naar BwPI 12 vrachten	A4		2400			0,300	720
Assemblage op de bouwplaats	A5	82,0		0,020			1639
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Gebruik en onderhoud	B1 t/m B4	35,8		0,017			609
Demontage	C1	82,0		0,020			1639
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Transp recycling luxemburg vrachtw 90%	C2	32,2	800		0,300		7733
Recycling 90%	D	32,2		-0,540			-17399
totaal zonder extra cyclus							3388
Cyclus							
Demontage	C1	82,0		0,020			1639
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus4P	A4		800			0,220	176
Transport naar de RV 12 vrachten	A4		2400			0,300	720
opslag RV kraanbewegingen 2x	B1	163,9		0,015			2459
Transport naar de BwPI 12 vrachten	A4		2400			0,300	720
Assemblage op de bouwplaats	A5	35,5		0,020			710
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Gebruik en onderhoud	B1 t/m B4	35,5		0,017			604
totaal per cyclus							7203

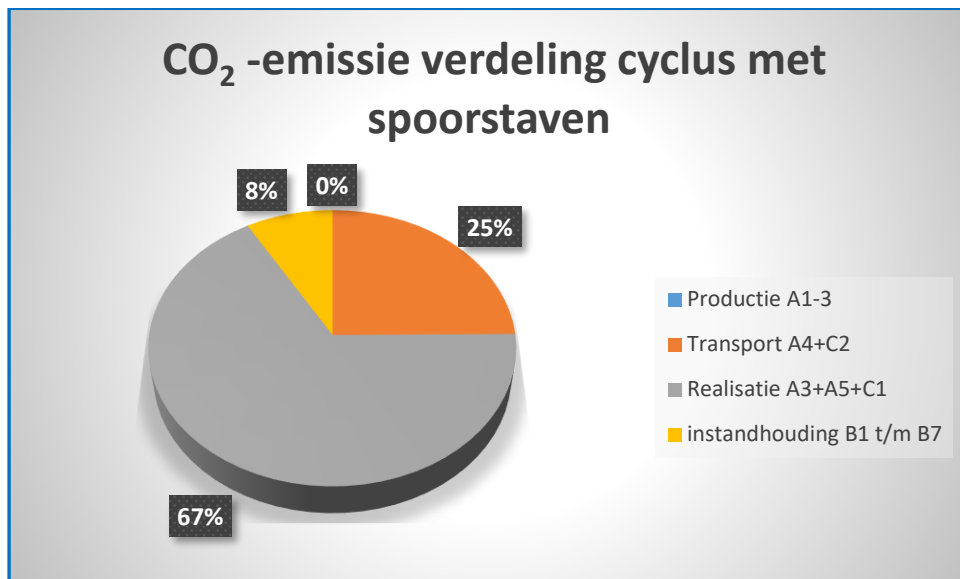
3.3 Conclusie

Om de verdeling van de CO₂-last inzichtelijk te maken is in Figuur 3-2 de verdeling weergegeven van de last verdeeld over de aspecten materiaal, vervoer, arbeid en gebruik. Bijna 50 % van de last komt voort uit vervoer. Voor een optimalisatie naar CO₂-last kan hier waarschijnlijk de meeste winst behaald worden.



Figuur 3-2: Verdeling van de CO₂-emissie bij éénmalig gebruik van de traverse

Voor één cyclus voor hergebruik ontstaat de verdeling volgens Figuur 3-3. Omdat er 4 maal arbeid verricht moet worden met kranen et cetera en 2 maal vervoer zijn dit de grootaandeelhouders van de cyclus.



Figuur 3-3: Verdeling van de CO₂-emissie de bij een cyclus bij spoorstaven

4. Berekening CO₂-emissie traverse met constructiestaal

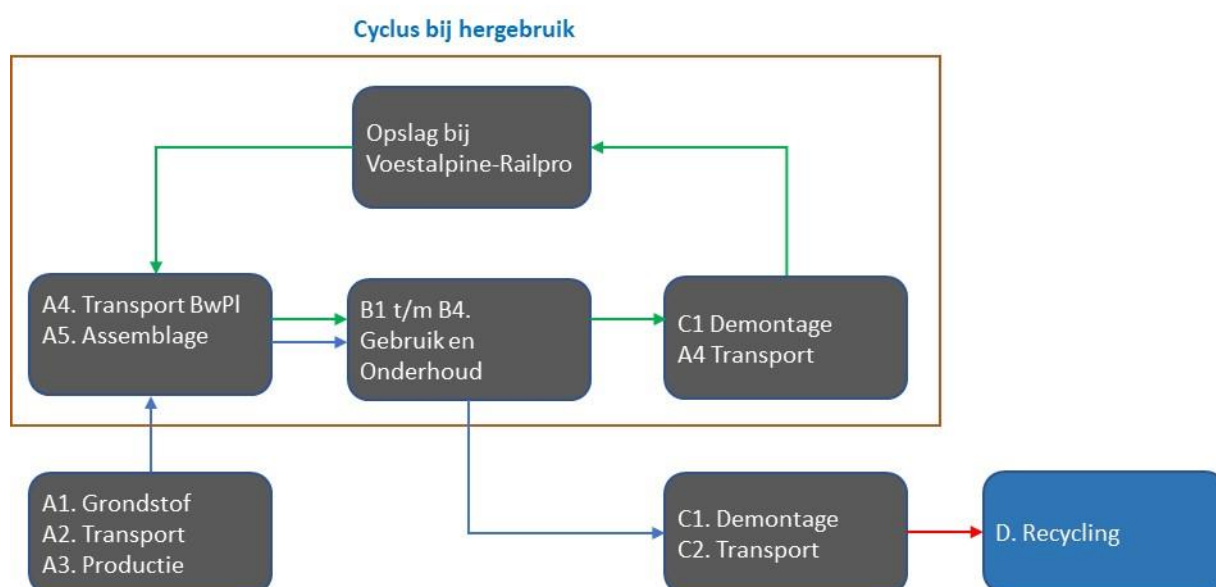
Om de CO₂-emissie voor de ‘traverse opgebouwd uit constructie staal’ te bepalen, is in paragraaf 4.1 de levensloop, building lifecycle information, van de traverse in kaart gebracht.

In paragraaf 4.2 is met de gegevens uit Tabel 2-1 en Tabel 2-2 en de building lifecycle information uit paragraaf 4.1 de CO₂-emissie berekend voor deze traverse met staven uit constructiestaal.

4.1 Building lifecycle information traverse met constructiestaal.

Bij deze variant komt de traverse in vervoerbare delen direct van de staalleverancier. Vanaf hier start het proces.

Ook hier is eerst gestart met de situatie dat de traverse slechts 1 maal gebruikt wordt. Daarna wordt de cyclus voor hergebruik aangegeven. De modellering van het bouwproces is weergegeven in Figuur 4-1. Per stap, zie toelichting, zijn de stadia van de “levensloop” volgens **Error! Reference source not found.**, EN15804 aangegeven.



Figuur 4-1: Schema Life Cycl Information traverse uit constructiestaal

Toelichting op Figuur 4-1

Volgorde volgens Figuur 4-1

1. Een staalbewerkingsbedrijf maakt de constructie uit nieuw staal (A1 t/m A3) tot vervoerbare elementen.
2. De elementen worden per groot transport vervoerd (A4) naar de bouwplaats en geassembleerd tot traverse (A5)
3. In de gebruiksfase vindt incidenteel onderhoud plaats (B1 t/m B4)

4. Na de gebruiksfase wordt de traverse gedemonteerd (C1) en per vrachtwagen getransporteerd naar Esch sur Alzette, naar de elektro-oven van ArchlorMittal (C2).
5. De constructie wordt gerecycled.

Bij *hergebruik* van de traverse ontstaat de volgende cyclus:

Start cyclus vindt plaats tussen punten 3 en 4.

6. Na 3 wordt de traverse gedemonteerd (C1) en getransporteerd naar het werkterrein van RV (A4).
7. De traverse wordt met een kraan afgeladen en opgeslagen. Bij een volgende ombouw van perrons kan de traverse weer ingezet worden en wordt weer met een kraan opgeladen voor transport. (B1)
8. De elementen worden per groot transport vervoerd (A4) naar de volgende bouwplaats en geassembleerd tot traverse (A5)
9. In de gebruiksfase vindt incidenteel onderhoud plaats (B1 t/m B4)

Einde cyclus.

4.2 CO₂-emissie-berekening traverse met constructiestaal

Voor de emissie berekening zijn een aantal Excel-sheets gemaakt, welke samen de complete CO₂-emissie per onderdeel berekenen. Daarna worden de emissies bij elkaar opgeteld. Het resultaat, zie Tabel 4-1, is voor 1-malig gebruik van de traverse gemaakt en apart voor één cyclus, zodat het voordeel van hergebruik inzichtelijk wordt.

Tabel 4-1: CO₂-emissie-berekening van de variant uit constructiestaal

CO ₂ berekening variant met constructiestaal							
actie	categorie	hoeveelheid	hoeveelheid	eenheid	eenheid	eenheid	emissie
		ton	km	kg CO ₂ /kg staal	kg CO ₂ /(ton /km)	kg CO ₂ /km	kg CO ₂
Spoorstaal	A3	0,0		0			
Constructiestaal	A3	28,5		0,910			25935
transport spoorstaven per trein naar RV	A4	0,0	200		0,030		0
opknappen voor levensduur verlenging icl kraan	B5	0,0		0,020			0
transport vrachtwagen StBw	C2	0,0	200		0,030		0
elementen bouwen, zit inconstructiestaal	A3	0,0		0,020			0
transport naar BwPI 12 vrachten	A4		2400			0,300	720
Assemblage op de bouwplaats	A5	67,9		0,020			1358
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Gebruik en onderhoud	B1 t/m B4	28,5		0,017			485
Demontage	C1	67,9		0,020			1358
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Transp recycling luxemburg vrachtw 90%	C2	25,7	800		0,300		6156
Recycling 90%	D	25,7		-0,540			-13851
totaal zonder extra cyclus							22513
Cyclus							
Demontage	C1	67,9		0,020			1358
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Transport naar de RV 12 vrachten	A4		2400			0,300	720
opslag RV kraanbewegingen 2x		135,8		0,015			2037
Transport naar de BwPI 12 vrachten	A4		2400			0,300	720
Assemblage op de bouwplaats	A5	67,9		0,020			1358
vervoer 8P 2dagen/ bestelbus 4P	A4		800			0,220	176
Gebruik en onderhoud	B1 t/m B4	28,5		0,017			485
totaal per cyclus							7030

Toelichting op Tabel 4-1

In het onderdeel constructiestaal zit de emissie voor grondstoffen, dus materiaal en het delven ervan, het maken van staal én het walsen tot constructiestaal. Het maken van de traverse, transport van de traverse naar de bouwplaats en montage op de bouwplaats zit in A4 en A5.

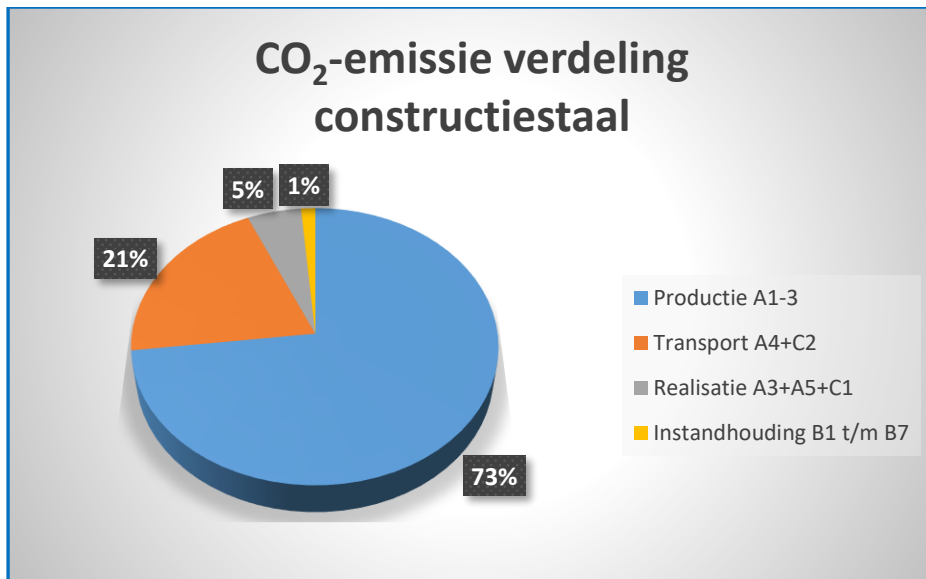
Aan assemblage, A5 en demontage C1 is het totale gewicht van de traverse toegekend, omdat dit in zijn geheel ge(de)monteerd moet worden.

Ook hier is, net als bij de uitvoering van de traverse in spoorstaven staal, voor recycling een verlies van 10% in rekening gebracht. Dit is niet geverifieerd bij een expert.

De waarde voor recycling is negatief, in rood weergegeven, omdat dit emissie-winst is in plaats van emissie-last.

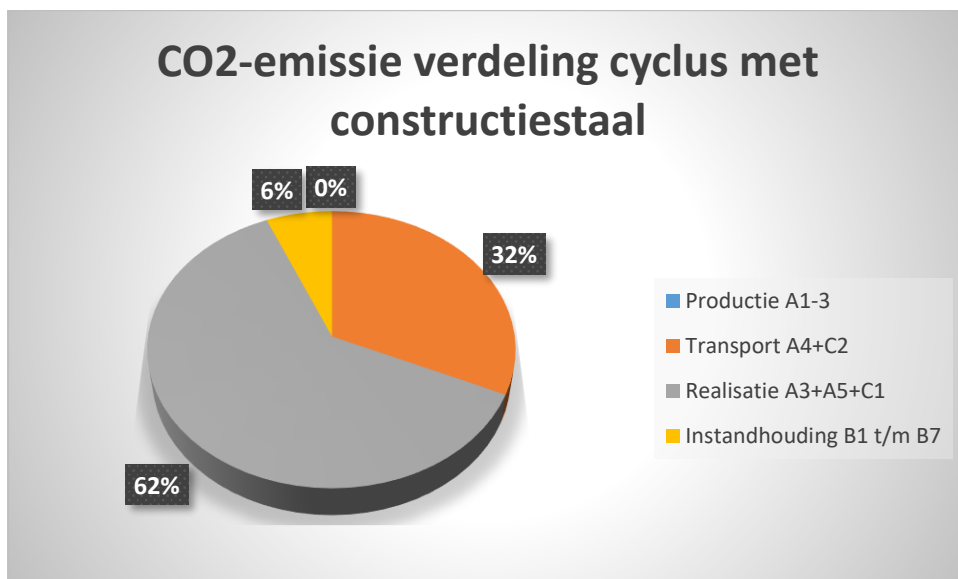
4.3 Conclusie

Om de verdeling van de CO₂-load inzichtelijk te maken is in Figuur 4-2 de verdeling weergegeven van de last verdeeld over de aspecten materiaal, vervoer, arbeid en gebruik. Meer dan 70 % van de last komt voort uit productie.



Figuur 4-2: Verdeling van de CO₂-emissie bij éénmalig gebruik van de traverse

De cyclus voor hergebruik geeft een verdeling volgens Figuur 4-3. Omdat er 4 maal arbeid verricht moet worden met kranen en cetera en er 2 maal vervoerd moet worden, zijn dit de grootaandeelhouders van de cyclus.



Figuur 4-3: Verdeling van de CO₂-emissie bij hergebruik van de traverse

5. Conclusie

De hoofdvraag van het onderzoek luidt:

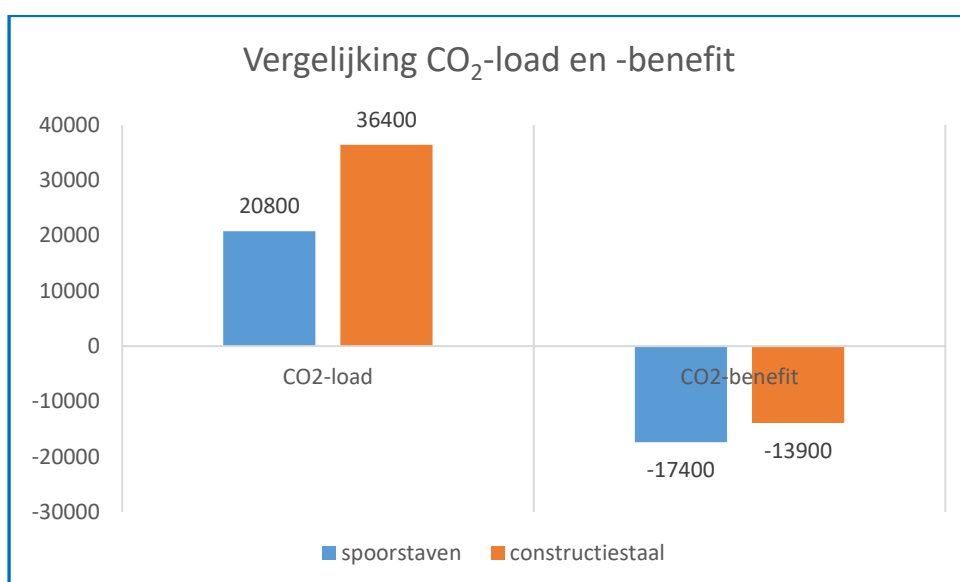
Hoe groot is de CO₂-winst bij toepassing van gebruikte spoorstaven ten opzichte van gebruik van nieuwe staalprofielen bij de bouw van een modulaire spoortraverse?

In Figuur 5-1 zijn de berekeningen gevisualiseerd in een staafgrafiek met daarin de CO₂-load en de CO₂-benefit voor 1 malig gebruik van de traverse.

Hieruit komt naar voren dat CO₂-emissie bij de variant met spoorstaven $20800 - 17400 = 3400$ kg CO₂ bedraagt.

Bij de variant met constructiestaal bedraagt de CO₂-emissie $36400 - 13900 = 22500$ kg CO₂.

De variant spoorstaven veroorzaakt slechts 15% van de emissie ten opzichte van constructiestaal.



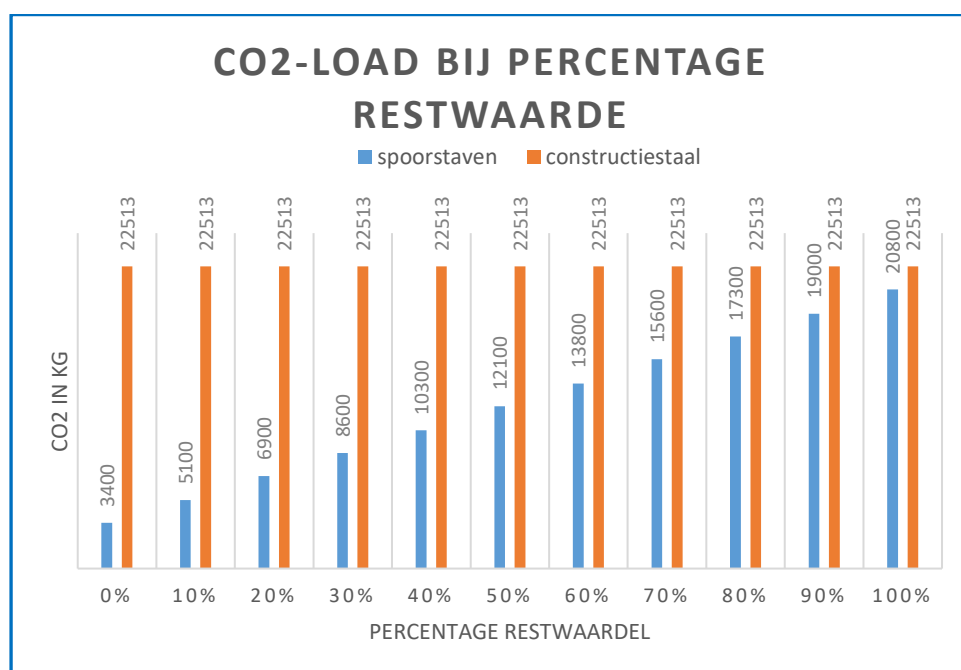
Figuur 5-1: Vergelijking CO₂-load en -benefit

Uit hoofdstuk 3 en 4 is al duidelijk geworden dat grondstof- gebruik, dit valt onder productie, een groot aandeel heeft in de CO₂-emissies. De factoren A1 t/m A3 zijn voor het aandeel spoorstaven op nul gesteld. Dit laat een heel gunstig beeld zien voor de variant met spoorstaven. Zowel op de CO₂-load als de CO₂-benefit scoort deze variant goed. Geen load op materialen, dus heel veel voordeel, maar wel de benefit, omdat er veel meer kg staal voor recycling beschikbaar komt dan bij de variant met constructiestaal, dus nog meer voordeel.

De conclusie die hier uit getrokken kan worden is: extra veel spoorstaven in de traverse gebruiken, dan wordt het voordeel ten opzicht van constructiestaal nog groter. NIET LOGISCH.

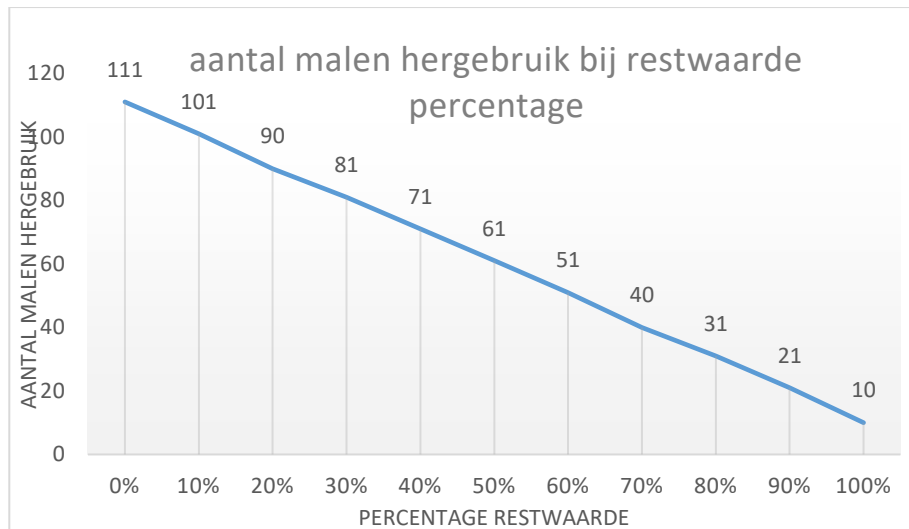
Het feit dat de factoren A1 t/m A3 op nul gesteld zijn, is onlogisch omdat de spoorstaven anders een restwaarde zouden hebben vertegenwoordigd. De restwaarde is een deel van de CO₂-benefit. De grootte van de restwaarde is afhankelijk van het vervolgproces na “einde levensduur 1^e cyclus”. In een hoogovenproces is het maximale percentage recyclebaar materiaal 20% van de grondstof. Een elektro-oven maakt staal van uitsluitend gerecycled staal. Of de spoorstaven als recyclebaar materiaal in de energievretende hoogoven of in de minder energievretende elektro-oven als grondstof worden gebruikt, heeft een grote invloed op de restwaarde. Op dit moment wordt een groot deel van het recyclebare staal naar China en India uitgevoerd. Wordt het recyclebare staal na een lange reis in een vervuilende hoogoven hergebruikt? Allemaal vragen waarop nog geen antwoord te geven is.

Om een indruk voor de invloed van restwaarde inzichtelijk te maken zijn verschillende percentages van de restwaarde, op basis van fase D uit Figuur 2-3, gebruikt om de invloed te meten. De resultaten zijn zichtbaar gemaakt in Figuur 5-2. Bij een restwaarde van 100 % nadert de CO₂-load van de variant met spoorstaven de variant met constructiestaal.



Figuur 5-2: Verloop CO₂-emissie bij stijgend percentage restwaarde

Een ander interessant aspect is het aantal malen hergebruik “n”, waarbij de CO₂-emissie ten gunste van constructiestaal omslaat. Dit is uitgezet in een grafiek, zie Figuur 5-3.



Figuur 5-3: Grafiek omslagpunt aantal hergebruik.

Aangezien de invloed van de restwaarde veel invloed heeft op de CO₂-load bij de variant met spoorstaven is nader onderzoek hiernaar gewenst.

Wat echter wel duidelijk geworden is, is dat er minimaal 10 maal hergebruik moet plaatsvinden voordat de variant in constructiestaal, op het gebied van CO₂-emissie, gunstiger wordt, ook al is de restwaarde van de spoorstaven op 100% gesteld.

6. Bibliografie

- Aan de Stegge BV. (2018). *www.adst.nl*.
- Arcadis. (2011). *Stationsgebied Driebergen-Zeist Fase 2B*.
- Arcadis. (2011). *Stationsgebied Driebergen-Zeist Planstudie fase 2B, 0756646080:C*. Amersfoort.
- Bouwen met staal. (2001). *Demonstratieproject IFD-bouwen in vernieuwende staalframebouw*. Bouwen met staal.
- DHV. (2010). *Dominatie-analyse scope 3*. Amersfoort.
- dutchengineering. (2018, 08 01). Opgehaald van Dutchengineering downloads: <https://www.dutchengineering.nl/Nederlands/page/Website/Downloads/e/p/m/84/>
- en.demarec.nl. (2018, maart 6). *en.demarec.nl*. Opgehaald van Demarec RC-30 Rail Cutter: <http://en.demarec.nl/portal/products/rail-cutter>
- Esveld, P. C. (2005). *Geometrisch en constructief ontwerp van wegen en spoorwegen Deel D*. Delft: TU Delft.
- Europese commissie. (2015). *Mededeling van de commissie aan het Europees parlement, de Raad, het Europees economisch en sociaal Comité en het comité van de Regio's*. Brussel: Europese Commissie.
- grunbauer. (2018). Opgehaald van <http://www.grunbauer.nl/ned/thq-kolomverbinding.htm>.
- Hagelaars, J. (2015, december 14). *Klimaatverandering*. Opgehaald van COP21-Het klimaatakkoord van Parijs: <https://klimaatverandering.wordpress.com/2015/12/14/cop21-het-klimaatakkoord-van-parijs-2015/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change*. WMO UNEP.
- Janssens, B. (2014, oktober 12). *Over duurzaamheid*. Opgehaald van [zeelandnet.nl: http://www.zeelandnet.nl/weblog/bduurzaam/bericht/215315?setcookie=true](http://www.zeelandnet.nl/weblog/bduurzaam/bericht/215315?setcookie=true)
- Jonkers, D. H. (2018). *Materials & Ecological Engineering*. Delft: TU Delft Faculty of Civil Engineering & Geosciences.
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2011). *NEN-EN 1991-1-1*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- Nederlandse Norm. (2017). *NEN-EN 13674-1+A1*. NEN.
- (2017). *NEN-EN 13674-1:2011 + A1:2017*. NEN.
- Prorail. (2012). *Spoorstaafgebreken*.
- Prorail. (2015). *Instandhoudingsspecificaties*. Prorail.
- prorail. (2016). *Identificatie en typering van spoorstaafdefecten*.
- Prorail Productbeheer. (2005). *Instandhoudingsdocument*.
- R.Blok. (2014). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkunde 10e druk*. Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.
- RDW. (2012). *regelingen voertuigen*.
- SBR-CUR-net. (2015). *Bepaling van de milieuprestaties van gebouwen en gww-werken*.

Stark, J. S. (2009). *Staal-beton*. Zoetermeer: Bouwen met Staal.
stationsgebied Driebergen-Zeist. (2018). Opgehaald van
<https://www.youtube.com/watch?v=ZOfGapzIif0>
Treinreiziger.nl. (2009, november 17). *ProRail bouwt perron nieuwe stijl op station
Leiden Centraal*. Opgehaald van Treinreiziger.nl:
<https://www.treinreiziger.nl/prorail-bouwt-perron-nieuwe-stijl-op-station-leiden-centraal/>

Bijlage 1 EPD Constructiestaal Heavy Construction Products

This spreadsheet includes recalculated values for the environmental parameters indicated in the EN15804
 The values follow the life cycle phases as defined by the EN 15942
 The LCIA method used is defined in the EN15804/prA1
 It is recalculated from the reviewed MRPI data as reported in SGS INTRON report A944070/R20110677 d.d. 25 januari 2012 "ACTUALISATIE MRPI VOOR CONSTRUCTIE"

January 2014, SGS INTRON PR TR SL
BO

The following steps were taken
 * check datasheets for compliance
 * rearrange life cycle phases to match the EN15492 breakdown
 * implement LCIA factors according EN15804/prA1
 * recalculate LCIA results according EN15804/prA1
 * calculation of the non-LCIA results

2011 EPD Heavy Construction Products

	Unit	Construction		Use and maintenance	End-of-life	End-of-life	Module D
		A1, A2, A3	A4, A5	B1 – B7	C1	C2, C3, C4	D
		raw materials supply	delivery construction	not included	Deconstruction	Transport Waste processing Disposal	Reuse Recovery Recycle Potential
Environmental Impacts							
Environmental profile							
Global warming potential, GWP [EN15804/prA1]	kg CO2	9.1E+02	2.0E+01	1.7E+01	4.0E+01	2.8E+01	-5.4E+02
Depletion potential of the stratospheric ozone layer, ODP [EN15804/prA1]	kg CFK-11	1.6E-05	3.2E-06	2.0E-06	6.0E-06	3.9E-06	-7.6E-06
Acidification potential of land and water resources, AP [EN15804/prA1]	kg SO2	1.3E+00	1.0E-01	9.3E-02	2.3E-01	1.4E-01	-6.4E-01
Eutrophication potential, EP [EN15804/prA1]	kg PO43-	3.7E-01	2.2E-02	1.9E-02	5.2E-02	3.0E-02	-1.8E-01
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants, POCP [EN15804/prA1]	kg ethyl	1.9E-01	3.7E-03	3.2E-03	7.5E-03	4.8E-03	-1.4E-01
Depletion of abiotic resources, elements [EN15804/prA1]	kg Sb	-2.0E-04	5.4E-05	2.2E-06	2.4E-06	6.2E-05	5.7E-05
Depletion of abiotic resources, fossil fuels [EN15804/prA1]	MJ	1.2E+04	3.0E+02	2.2E+02	5.4E+02	4.3E+02	-6.7E+03
Resource input							
Use of renewable energy primary energy, excluding renewable primary resources used as raw materials	MJ, net calorific value	4.6E+02	3.9E+00	7.4E+00	2.0E+00	1.0E+01	-2.2E+02
Use of renewable primary energy resources used as raw materials	MJ, net calorific value	3.2E-03	9.0E-04	2.1E-04	6.2E-04	1.0E-03	-1.6E-03
Total use of renewable primary resources	MJ, net calorific value	4.6E+02	3.9E+00	7.4E+00	2.0E+00	1.0E+01	-2.2E+02
Use of non renewable primary energy, excluding non renewable primary energy resources used as materials	MJ, net calorific value	1.3E+04	3.2E+02	2.7E+02	5.5E+02	4.6E+02	-7.3E+03
Use of non renewable primary energy used as raw materials	MJ, net calorific value	7.2E-02	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	-3.5E-02
Total use of non renewable primary energy resources	MJ, net calorific value	1.3E+04	3.2E+02	2.7E+02	5.5E+02	4.6E+02	-7.3E+03
Use of secondary material	kg	1.0E+03	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.8E+02	-4.1E+02
Use of renewable secondary fuels	MJ	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Use of non renewable secondary fuels	MJ	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Input of fresh water	m3	2.6E+03	2.3E+01	4.1E+01	1.1E+01	4.9E+01	-1.3E+03
Waste categories							
Hazardous waste disposed	kg	9.0E+01	7.7E+00	2.6E+01	6.4E+00	1.4E+01	-4.4E+01
Non hazardous waste disposed	kg	1.1E+02	4.9E+00	4.7E-01	3.1E-01	5.5E+00	-5.7E+01
Radioactive waste disposed	kg	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Further output material flows							
Components for reuse	kg	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	514.5
Materials for recycling	kg	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	535.5
Materials for energy recovery	kg	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0
Exported energy	kg	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0
Transport							
Parameter							
Fuel type consumption of vehicle or vehicle type used for transport e.g. long distance truck, boat etc.	l/km	0.702					
Capacity utilisation (including empty returns)	%	50 (full delivery, assumed worst-case empty return)					
Bulk density	kg/m3	not relevant, mass transport of metal is not by volume					
Volume capacity utilisation factor (factor = 1 or <1 or > 1 for compressed or nested packaged products)		1					
End of life							
Processes							
collected separately	kg	1050					
collected with mixed construction waste	kg	0					
for re-use	kg	514.5					
for recycling	kg	535.5					
for energy recovery	kg	0					
product of material for final deposition	kg	0					

(Bouwen met Staal, 2014)