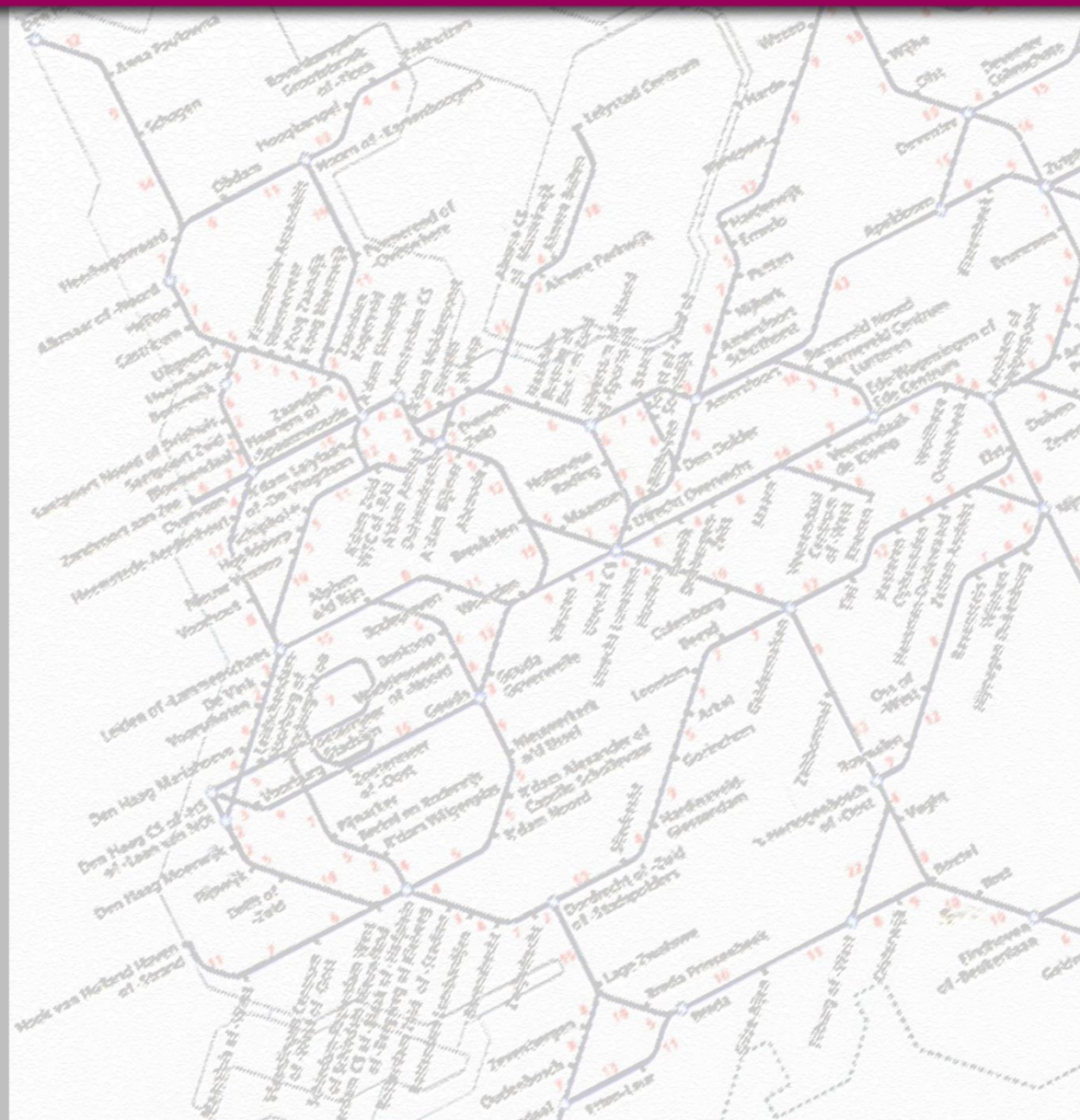




Ketenanalyse

Optimaliseren spoorvernieuwing

Datum: 21-1-2021
Versie: v5.0 Definitief
Auteur: 4Infra



Verantwoording

Titel : Optimaliseren spoorvernieuwing
Referentienummer : 202101211030
Revisie : 5.0 Definitief
Datum : 21-01-2021

Auteur(s) : 4Infra
E-mailadres : Info@4infra.nl
Gecontroleerd door : Klaas-Auke de Boer
Paraaf gecontroleerd :
Goedgekeurd door : Jasper Gerressen
Paraaf goedgekeurd :
Contact : Willemskade 29
 8011 AD Zwolle
 T +31 38 422 4402
 F +31 38 422 1999
 E info@4infra.nl

Revisiebeheer

Revisie	Datum	Doorgevoerde wijzigingen
0.1	19-12-2018	Ter inhoudelijke beoordeling
0.2	28-02-2019	Tweede inhoudelijke beoordeling
1.0	04-03-2019	Definitief
1.1	30-09-2019	Ter inhoudelijke beoordeling na update draagkracht en stabilisatie.
1.2	23-10-2019	Tweede inhoudelijke beoordeling na update draagkracht en stabilisatie.
2.0	08-01-2020	Definitief
2.1	06-02-2020	Aanpassingen op basis van opmerkingen Marco Kemper

3.0	07-02-2020	Definitief na interne controle
3.1	14-02-2020	Aanpassingen op basis van opmerkingen Marco Kemper
4.0	14-02-2020	Definitief na interne controle
4.1	05-10-2020	Aanpassingen op basis van nieuwe data dubbel spoor
5.0	21-01-2021	Definitief na laatste aanpassingen

Inhoudsopgave

Verantwoording	2
Inhoudsopgave	4
1 Inleiding	6
1.1 Relatie Ketenanalyse en 4Infra	6
1.2 De plannen van ProRail.....	7
1.3 Het doel	7
1.4 Opbouw rapportage	8
2 Methodologie	9
2.1 Relevante categorieën scope 3.....	9
2.2 Ketenpartners	10
2.3 Het idee achter de ketenanalyse	11
3 De keten.....	14
4 CO ₂ -uitstoot per (sub)onderdeel keten	15
4.1 De 'In' stroom	15
4.2 De 'Binnen' stroom.....	16
4.3 De 'Uit' stroom.....	16
4.4 Totaaloverzicht emissies varianten	17
5 Onderzoek randvoorwaarde baanstabieleit.....	19
6 Conclusie.....	20
7 Discussie.....	21
8 Maatschappelijk voortschrijdend inzicht.....	22
8.1 CO ₂ -reductie.....	22
8.2 De markt	22
9 Plan van aanpak	23
9.1 Te nemen stappen	23
9.2 Stap 1: draagvlak creëren	23
9.3 Stap 2: berekening uitstoot optimaliseren	23
9.4 Stap 3: maatregelen opstellen en doorvoeren.....	23
9.5 Stap 4: maatregelen monitoren en optimaliseren	23
9.6 Planning	24

10	Literatuurlijst	25
	Bijlage 1: Calculatie CO ₂ -emissies	26
	Bijlage 2: Calculatie baanstabieleit	27

1 Inleiding

1.1 Relatie Ketenanalyse en 4Infra

4Infra is altijd actief bezig haar eigen CO₂-footprint te reduceren. Naast het reduceren van haar eigen footprint is 4Infra ook constant op zoek naar mogelijkheden om de spoorwereld te verduurzamen. De directe emissies van 4Infra uit scope 3 zijn relatief laag. Wanneer 4Infra de uitstoot “verderop” in de keten, bijvoorbeeld in de realisatiefase, kan beïnvloeden kan er een aanzienlijk grotere besparing van de CO₂-uitstoot worden gehaald. Met behulp van onderstaande tabel “Product Markt Combinaties” is in kaart gebracht in welke sectoren binnen de railsector 4Infra werkzaam is.

PMC's sectoren en activiteiten	Omschrijving van activiteit waarbij CO ₂ vrijkomt	Relatief belang van CO ₂ -belasting van de sector en invloed van de activiteiten		Potentiële invloed van 4Infra op CO ₂ uitstoot	Rangorde
		Sector	Activiteiten		
Geluidsschermen	Engineering	Klein	Middel	Groot	3
	Bouw	Groot	Groot	Klein	
	Gebruik	0	0	0	
	Onderhoud	Middel	Groot	Klein	
	Sloop	Groot	Klein	0	
Stations	Engineering	Klein	Middel	Groot	1
	Bouw	Middel	Groot	Klein	
	Gebruik	Groot	Groot	Groot	
	Onderhoud	Middel	Groot	Middel	
	Sloop	Groot	Klein	0	
Baan en spoor	Engineering	Klein	Middel	Groot	2
	Bouw	Groot	Groot	Klein	
	Gebruik	0	0	0	
	Onderhoud	Middel	Groot	Klein	
	Sloop	Groot	Groot	0	
Kunstwerken	Engineering	Klein	Middel	Groot	4
	Bouw	Groot	Groot	Klein	
	Gebruik	0	0	0	
	Onderhoud	Middel	Groot	Klein	
	Sloop	Groot	Groot	0	

Tabel 1: Product markt combinaties uit de scope 3 rapportage van 4Infra (2020)

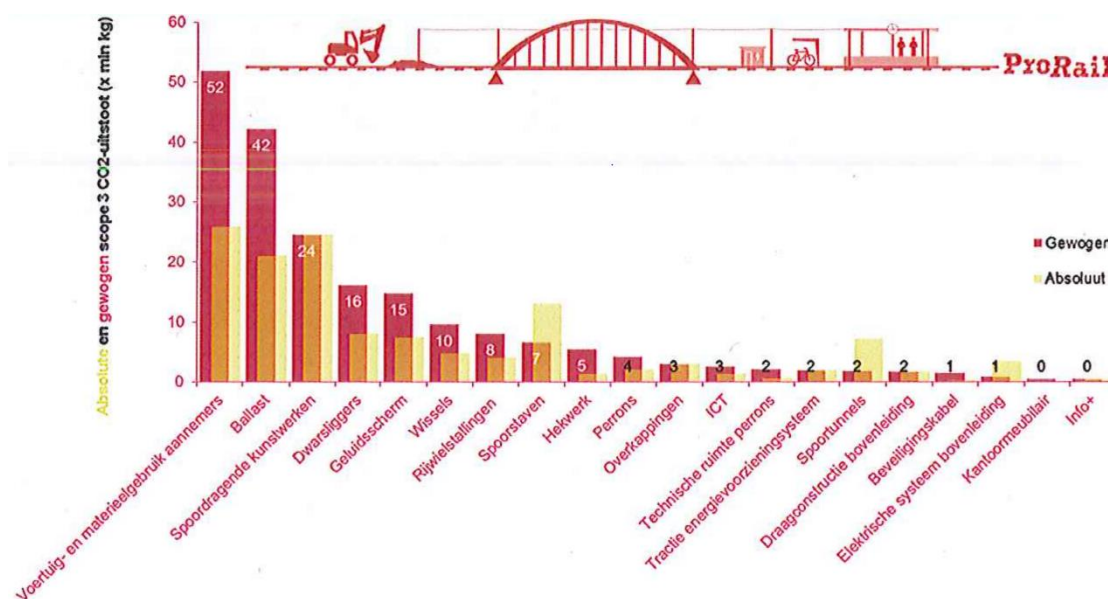
De belangrijkste opdrachtgever van 4Infra is ProRail. Deze ketenanalyse is dan ook vooral bedoeld als handvat voor ingenieursbureaus om adviezen aan ProRail te geven en hiermee ProRail te ondersteunen om diens CO₂-emissies te reduceren.

4Infra heeft deze ketenanalyse opgezet en is hierin initiatiefnemer geweest richting ProRail. Na het pitchen van het idee bij ProRail bleken er zorgen te zijn over de baanstabieleit bij het

ophogen van het baanlichaam. Als reactie hierop heeft 4Infra voor 2 trajecten onderzoek laten doen wat het effect op het baanlichaam is bij het ophogen van het spoorlichaam.

1.2 De plannen van ProRail

Uit de 'Dominantieanalyse scope 3 CO₂-emissies' uit 2017 die in opdracht van ProRail is gemaakt door Royal HaskoningDHV komt naar voren welke systemen, als gevolg van de activiteiten van ProRail, de grootste emissiebronnen zijn. Uit de analyse van Royal HaskoningDHV kwam een top 20 van de meeste dominante systemen qua CO₂-emissies van ProRail. Deze top 20 is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Top 20 meest dominante scope 3 CO₂-emissies van ProRail (G. Olde Monnikhof, 2018)

In Figuur 1 wordt weergegeven dat de top 3 systemen met de hoogste CO₂-emissiewaarden bestaat uit: het voertuig- en materiaalgebruik van aannemers, ballast en spoor dragende spoorconstructies. Deze top 3 is verantwoordelijk voor 50% van de absolute CO₂-emissies van de activiteiten van ProRail.

Voor scope 3 is het de ambitie van ProRail om voor 2030 een besparing van minimaal 25% in de materiaalketen te bereiken. Dit betekent voor ProRail een reductie van circa 30 kton CO₂ verdeeld over 10 jaar, dus 3 kton CO₂ per jaar. (G. Olde Monnikhof, 2018)

Met deze ketenanalyse hoopt 4Infra te kunnen bijdragen aan het doel van ProRail.

1.3 Het doel

Het doel van de ketenanalyse is om inzicht te krijgen in de CO₂-emissies bij het produceren, gebruik en hergebruik van ballast. Dit wil 4Infra verwerken in een dynamisch model die eenvoudig gebruikt kan worden om de CO₂-emissies te berekenen voor het onderdeel ballast voor de spoorvernieuwing. Daarnaast wil 4Infra met de aanvullende stabiliteitsonderzoeken aantonen dat de voorgestelde methode van spoor vernieuwen geen negatief effect heeft op de baanstabiliteit. Deze ketenanalyse moet een handvat zijn voor 4Infra en andere ingenieursbureaus om ontwerpen aan te passen en daardoor CO₂-emissies te reduceren.

1.4 Opbouw rapportage

De ketenanalyse wordt als volgt opgebouwd. In hoofdstuk '2 Methodologie' wordt de opbouw van de analyse uiteengezet en wordt de keten uiteengezet met de bijbehorende ketenpartners en categorieën. In hoofdstuk '3 De keten' worden de verschillende (sub)onderdelen van de keten weergegeven en worden de verschillende ketenpartners en van toepassing zijnde categorieën benoemd. In hoofdstuk '4 CO₂ uitstoot per (sub)onderdeel keten' wordt per onderdeel onderzocht welke uitstoot bij welk onderdeel voorkomt. In hoofdstuk '5 Onderzoek randvoorwaarde baanstabieleit' wordt het baanstabieleitsonderzoek kort samengevat. In hoofdstuk '6 Conclusie' worden de onderzoeksresultaten van deze ketenanalyse gegeven. In hoofdstuk '7 Discussie' worden extra mogelijkheden gegeven voor toekomstig onderzoek en worden de onzekerheden van het onderzoek besproken. In het hoofdstuk '8 Maatschappelijk voortschrijdend inzicht' wordt de maatschappelijke relevantie van de ketenanalyse aangegeven. In het hoofdstuk '9 Plan van aanpak' wordt het plan van aanpak voor de komende jaren beschreven en is er een planning opgenomen tot en met 2023. In het laatste hoofdstuk '10 Literatuurlijst' worden de bronnen vermeld die zijn raad gepleegd gedurende dit onderzoek.

2 Methodologie

Om de CO₂-uitstoot te reduceren bij spoorbaanvernieuwingen heeft 4Infra een ketenanalyse uitgevoerd naar het ophogen van het spoor als alternatief voor het ontgraven en het toepassen van grondverbeteringen. 4Infra verwacht dat het ophogen van het spoor leidt tot een lichte toename in de bouwmaterialenstroom van de ballast, maar een grotere vermindering in de stroom af te voeren oude ballast en grond.

2.1 Relevante categorieën scope 3

De scope 3 emissies kunnen in verschillende categorieën worden ingedeeld volgens hoofdstuk 5 van het GHG-Protocol Scope 3 Standard. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt tussen zogeheten upstream scope 3 emissies en downstream scope 3 emissies.

- Upstream: gerelateerd aan inkoop of verkregen goederen en diensten;
- Downstream: Gerelateerd aan verkochte goederen en diensten.

Hieronder is een tabel toegevoegd met alle scope 3 categorieën.

Upstream:	Downstream:
1. Aangekochte goederen en diensten 2. Kapitaal goederen 3. Brandstof en energie gerelateerde activiteiten (niet opgenomen in <i>scope 1</i> of <i>scope 2</i>) 4. Upstream transport en distributie 5. Productieafval 6. Personenvervoer onder werktijd (Business Travel)^{2,2} 7. Woon-werkverkeer 8. Upstream geleaste activa	9. Downstream transport en distributie 10. Ver- of bewerken van verkochte producten 11. Gebruik van verkochte producten 12. End-of-life verwerking van verkochte producten 13. Downstream geleaste activa 14. Franchisehouders 15. Investerings

Tabel 2: Upstream en Downstream categorieën (SKAO, 2015)

Zoals in de inleiding is aangegeven is een van de grootste emissies van scope 3 voor 4Infra het ontwerpen voor het vernieuwen van spoorwegen. Tijdens deze stap kan 4Infra bepalen hoe het vernieuwde spoor eruit moet komen te zien en dus bepalen hoe de aannemer dit moet uitvoeren. Dit valt onder de categorieën 10, 11 en 12. Deze ketenanalyse heeft dus direct invloed op deze 3 categorieën. De beslissing voor het ontwerp wordt uiteindelijk door ProRail gemaakt, maar 4Infra adviseert ProRail bij het maken van de beslissing.

2.2 Ketenpartners

Het identificeren van de ketenpartners is een onderdeel van de ketenanalyse. Zo wordt duidelijk wat de rol is van de ketenpartners en bij wie welke informatie opgevraagd moet worden ten behoeve van het bepalen van de CO₂-emissies in de keten.

Ketenpartners kunnen zowel direct als indirect zijn. Directe ketenpartners zijn partijen waarmee direct wordt samengewerkt door 4Infra. Vaak is het eenvoudig informatie van deze partners op te vragen, omdat er regelmatig contact is en de interne communicatielijnen bekend zijn bij 4Infra. Indirecte ketenpartners zijn partijen waar 4Infra niet direct mee in contact staat zoals leveranciers van de aannemer bijvoorbeeld.

4Infra heeft in zijn keten de volgende belangrijke ketenpartners:

De opdrachtgever (ProRail)

De opdrachtgever is in dit geval niet alleen een ketenpartner, maar ook een ketenregisseur, omdat ProRail opdrachtgever is van bijna alle spoorgebonden projecten. Het is belangrijk voor 4Infra om voor het doorvoeren van de ketenanalyse in de praktijk ProRail mee te krijgen en te kunnen overtuigen van de meerwaarde van dit onderzoek.

De (onderhouds)aannemer

De aannemer is de uitvoerende partij binnen de keten. Zonder de aannemer worden de plannen niet doorgevoerd. Naast de uitvoerende partij is de aannemer ook 1 van de partijen die 4Infra van kerngetallen kan voorzien voor de ketenanalyse en ons in contact kan brengen met de leveranciers.

De leveranciers/verwerkers

De leveranciers/verwerkers zijn de partijen die de aannemer en ingenieurbureaus voorzien van producten en onderzoeken en aan het eind van de levensduur weer verwerken tot bruikbare producten binnen een andere keten. Voor het ketenonderzoek zijn deze partijen essentieel om data van te krijgen. Dit zijn indirecte ketenpartners en daarom moeilijk te contacteren omdat de interne communicatielijnen onbekend zijn voor 4Infra.

De andere ingenieurbureaus/consultants

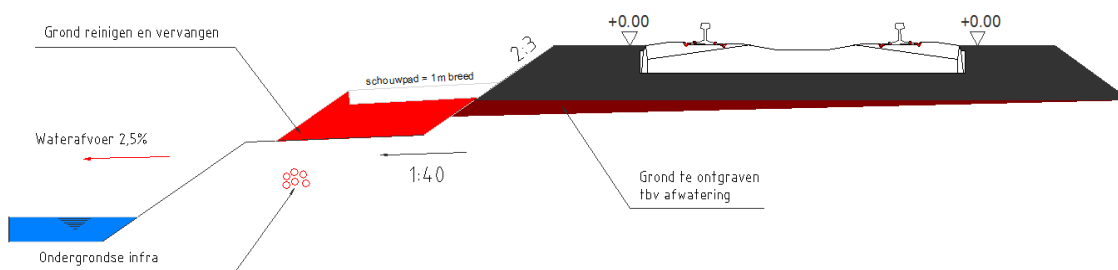
De andere ingenieurbureaus en consultants zijn partijen die 4Infra kunnen voorzien van adviezen en aanvullende onderzoeken. Deze ingenieurbureaus en consultants zijn soms directe en soms indirecte ketenpartners van 4Infra.

2.3 Het idee achter de ketenanalyse

In dit rapport gaat 4Infra een ketenanalyse uitvoeren naar het effect op de CO₂-emissies bij het ophogen van het spoorlichaam, variant B (figuur 3), in plaats van het toepassen van grondverbetering, variant A (figuur 2). Bij het ophogen, te zien in het geel, van het spoor met 15 cm blijft de onderste 15 cm van het ballast onaangetaast. Dit heeft enkele voordelen:

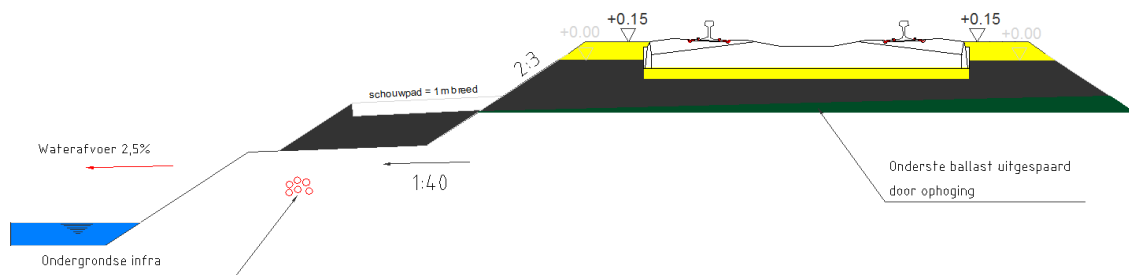
- Het laten zitten van de onderste 15 cm van de ballast, te zien in het groen, levert een vermindering in de afvalstroom van oud ballast. Het onderste deel van de ballast is namelijk gemiddeld gezien voor slechts 10% te recyclen, omdat er na verloop van tijd de kleine fractie in de onderste laag komt te zitten. Het onaangeroerd laten van deze onderste laag zal dus resulteren in een vermindering van de af te voeren (vervuilde) grond en ballast.
- Het afgraven van de oude ballast is maatgevend voor de snelheid waarmee de werktrein spoor kan vernieuwen. Uit intern onderzoek door 4Infra is de schatting gemaakt dat het laten zitten van de onderste 15 cm van de ballast zorgt voor een snelheidstoename van de werktrein van minimaal 15%. Deze snelheidstoename zorgt voor een directe CO₂-reductie, omdat het project eerder afgerond wordt.

Een nadeel aan het verhogen van het spoorlichaam is dat er extra ballast nodig zal zijn ten opzichte van de variant waar grondverbetering toegepast gaat worden. Ook zal er minder materiaal hergebruikt worden ten opzichte van variant A met grondverbetering, omdat de onderste laag van ballast onaangetaast blijft. Het percentage dat hergebruikt kan worden van de onderste laag is slechts 10% en daarom verwacht 4Infra dat de extra af te voeren grond het effect van ballast recyclen te niet doet, omdat er een onevenredig grote afvalstroom is.



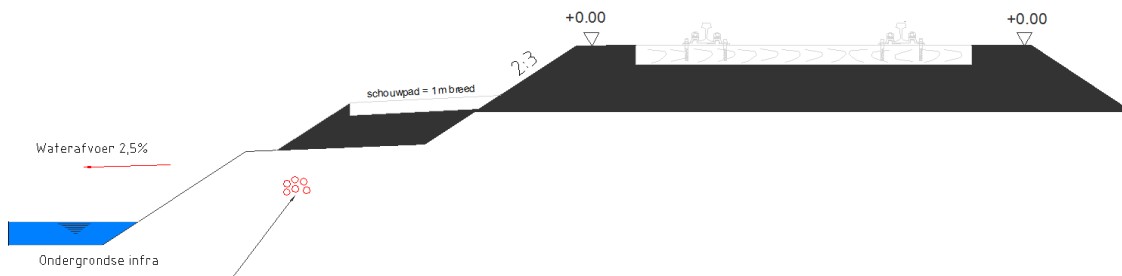
Figuur 2: Variant A enkelspoor (opgesteld door 4Infra)

Bij de bovenstaande variant wordt er een grondverbetering toegepast onder het bestaande ballastbed. In het zwarte gedeelte wordt het oude ballastbed ontgraven en voor een deel ter plaatse gerecycled. Tegelijkertijd wordt het bruine deel onder het ballastbed onder afschot ontgraven ten behoeve van de afwatering. Daarna worden beide delen (zwart en bruin) opgevuld met een combinatie van gerecycled en nieuw ballast. De ontgraven grond wordt op een externe locatie gereinigd. Het rode gedeelte onder het schouwpad wordt ontgraven en vervangen door drainagezand. Het oude zand onder het schouwpad wordt op een externe locatie gereinigd.



Figuur 3: Variant B enkelspoor (opgesteld door 4Infra)

Bij de bovenstaande variant wordt in het gele gedeelte een ophoging van 15cm van het ballastbed toegepast. Het onderste groene gedeelte van het ballastbed, en het minst recyclebare, blijft zitten. Het zwarte deel onder het schouwpad blijft gehandhaafd, maar de ballast in het zwarte gedeelte van het ballastbed wordt ontgraven en aangevuld met een combinatie van nieuw en gerecycled ballast.



Figuur 4: Bestaande situatie enkelspoor (opgesteld door 4Infra)

Deze schematisering geeft een bestaande situatie aan waarbij houten dwarsliggers zijn toegepast.

Naast de calculatie van de CO₂-emissies wordt er ook onderzoek gedaan naar het draagvlak en de stabiliteit van het baanvak voor variant B. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van 2 locaties die in de toekomst vernieuwd gaan worden.



Figuur 5: Kettinghor (uit archief 4Infra)

Wetende wat de verschillen zijn tussen de beide varianten heeft 4Infra een model gemaakt waarin berekend wordt welke hoeveelheden ballast en grond aan- en afgevoerd worden bij beide varianten. Het model is zo opgesteld dat de hoogtes en breedtes van het spoorlichaam eenvoudig aangepast kunnen worden en het model zo zeer flexibel kan omgaan met aanpassingen in ontwerpen.

Doormiddel van deze ketenanalyse op basis van literatuuronderzoek weet 4Infra hoe de keten van ballast is opgebouwd en welke hoeveelheid CO₂ wordt uitgestoten bij elk (sub)onderdeel van de keten. De informatie die is verkregen uit onderzoek en is verwerkt in het eerdergenoemde model (bijlage 2) en is gelinkt aan de 2 varianten. De bronnen die gebruikt zijn kunnen teruggevonden worden in hoofdstuk 9.

3 De keten

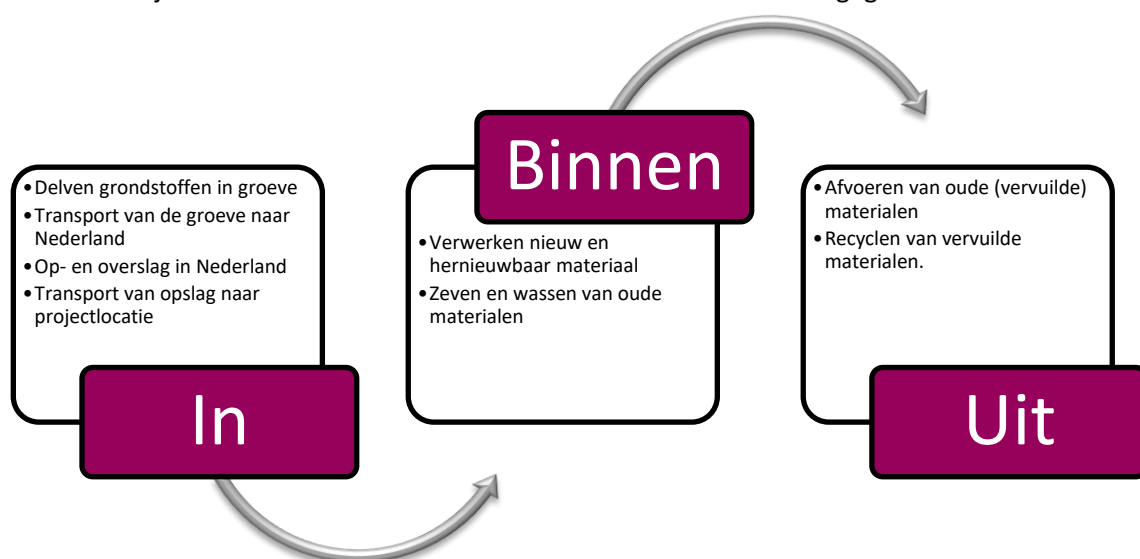
De keten van het ballast vernieuwen kan in drie groepen worden ondergebracht.

Ten eerste is er een stroom van nieuw ballast die vanuit de groeve naar het project wordt getransporteerd en daar met een werktrein samen met hergebruikt materiaal wordt aangebracht op de plek waar vroeger de oude ballast lag. Deze stroom valt onder de categorieën 9 en 10. De belangrijke partners bij deze stroom zijn de aannemer en de leveranciers van de te leveren producten (in dit geval de ballast)

Ten tweede is er de stroom van de herbruikbare materialen. Deze materialen worden op het project zelf hergebruikt, maar moeten van tevoren nog wel eerst gezeefd en gewassen worden voordat de materialen hergebruikt kunnen worden. Deze stap valt onder categorieën 11 en 12. De aannemer is de belangrijkste ketenpartner hierin.

De laatste stroom van materialen zijn de afvalstoffen. Deze (vervulde) afvalstoffen voldoen niet meer aan de gestelde eisen en kunnen daarom ook niet hergebruikt worden op het project. Omdat deze afvalstoffen vaak vervuild zijn worden deze materialen vervoert naar een bedrijf die de grond en de ballast reinigt. Pas wanneer het reinigingsproces klaar is komen de materialen terecht in een andere keten en hoeven we ze niet meer te rekenen onder de keten van het vernieuwen van het spoor. Deze stroom valt onder de categorieën 11 en 12. De ketenpartners die belangrijk zijn bij deze stroom zijn de aannemer en afvalverwerker.

Hieronder zijn de diverse stromen binnen de keten schematisch weergegeven.



4 CO₂-uitstoot per (sub)onderdeel keten

4.1 De 'In' stroom

Door gebruik te maken van diverse ketenanalyses van uitvoerders als Swietelsky en Strukton Rail heeft 4Infra inzichtelijk gekregen welke CO₂-uitstoot erbij het invoeren en transporteren van ballast naar de projectlocatie uitgestoten wordt. Daarnaast heeft Oosterhof Holman een ketenanalyse gemaakt waarin staat weergegeven wat de CO₂-uitstoot voor het winnen van zand uit een zandwinning in Nederland is.

Zowel Swietelsky als Strukton geven aan dat per ton ingevoerd materiaal de uitstoot van het delven van ballast, gemiddeld gezien over de groeven die beide partijen gebruiken, 1.24 kg CO₂/ton ballast is (Swietelsky, 2016) (Strukton, 2019)¹. Dit is slechts 8.4 % van de totale CO₂-emissies die bij de 'In' stroom van de ballast (Bijlage 1 4Infra, 2019). Dit betekent niet direct dat de groeves een lage CO₂-uitstoot hebben, maar wel dat door de enorme schaal waarop ballast wordt geproduceerd de uitstoot relatief laag is vergeleken met andere 3 onderdelen van de 'In' stroom.

Bij het zand dat gewonnen wordt uit een zandwinning komt volgens Oosterhof Holman 3.23 kg CO₂/ ton ballast vrij (Oosterhof Holman, 2019). Het zand wordt gewonnen in Nederland, dus er is geen internationaal transport nodig om het zand op de projectlocatie te krijgen.

Verder wordt aangegeven in de ketenanalyse van de uitvoerders dat transport van de groeve naar Nederland voor een CO₂-uitstoot zorgt van gemiddeld 4.26 kg CO₂/ton ballast (Swietelsky, 2016). Dit komt overeen met 28.7% van de in totaal uitgestoten CO₂-emissies van de 'In' stroom voor ballast (4Infra, 2019).

Bij het 'bewerken door Graniet Import' wordt in totaal 3.33 kg CO₂/ ton ballast uitgestoten (Baas, 2019). Dit komt overeen met 22.4% van de in totaal uitgestoten CO₂-emissies van de 'In' stroom voor ballast (4Infra, 2019).

Het laatste onderdeel van de 'In' stroom van zowel ballast als zand is het transport van de opslag naar de projectlocatie. Omdat de uitstoot sterk afhankelijk is van de projectlocatie is er gebruik gemaakt van de gemiddelde waarde van diverse projecten in Nederland. De gemiddelde CO₂-uitstoot bedraagt 6.01 kg CO₂/ ton ballast en zand (Vroonhof, 2017). Voor de ballast komt dit met 40.5% van de in totaal uitgestoten CO₂-emissies van de 'In' stroom (4Infra, 2019).

In totaal wordt erbij de gehele instroom 14.84 kg CO₂/ ton ballast en voor zand 9.24 kg CO₂/ ton (4Infra, 2019).

¹ De volledige informatie voor de bronvermeldingen kan teruggevonden worden in hoofdstuk 10 van dit rapport

4.2 De 'Binnen' stroom

Door gebruik te maken van diverse ketenanalyses van uitvoerders als Swietelsky en Strukton Rail heeft 4Infra inzichtelijk gekregen welke hoeveel CO₂ er gemiddeld per ton ballast en zand op de projectlocatie uitgestoten wordt.

De grote spoorbaanvernieuwingen worden met een werktrein uitgevoerd. Dit is een lange trein die alle werkzaamheden die nodig zijn om het spoor te vernieuwen in serie uitvoert. Dit maakt het lastig om te bepalen welke CO₂-emissies bij elk proces horen. Zo wordt bijvoorbeeld de oude ballast gezeefd en gewassen tegelijkertijd met ontgraven van de oude ballast en het aanbrengen van de nieuwe ballast. Het zand voor het nieuwe schouwpad wordt ook vaak aangebracht in combinatie met een werktrein en daarom nemen we voor het aanleggen van het schouwpad dezelfde CO₂-uitstoot als voor het vernieuwen van de ballast.

In totaal wordt gemiddeld 7.53 of 6.78 (afhankelijk van de ontgravingsdiepte) kg CO₂/ ton ballast/zand uitgestoten op een project voor het ontgraven en aanbrengen van ballast en zand (4Infra, 2019) (Swietelksy, 2016). Tegelijkertijd wordt de oude ballast ook gezeefd en gewassen. Dit proces is ook inbegrepen bij de 7.53 kg CO₂/ ton ballast (Swietelksy, 2016). Het wordt afgevoerd en niet hergebruikt op de projectlocatie.

4.3 De 'Uit' stroom

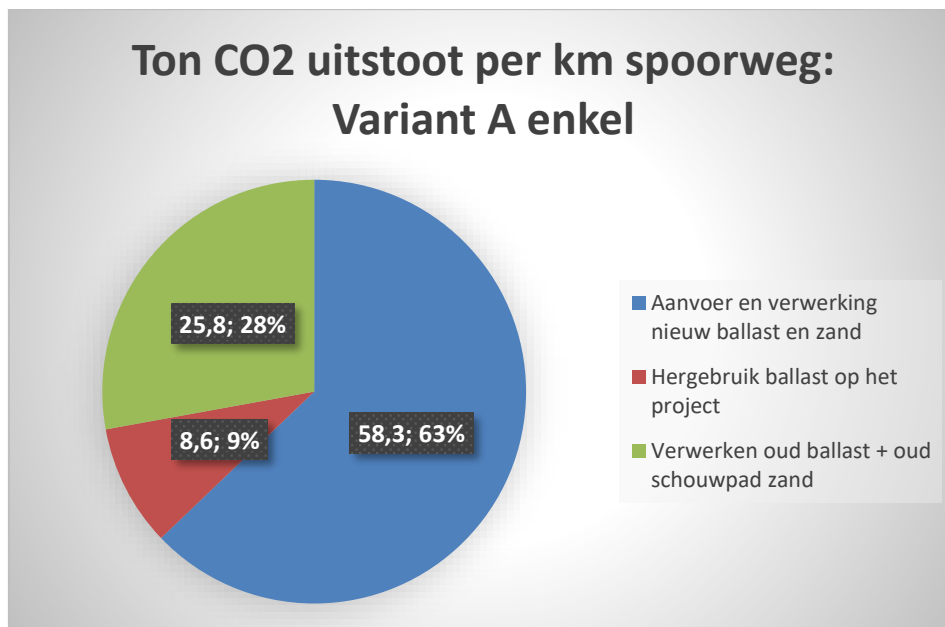
Het horzel en verontreinigde zand dat gerecycled wordt op een externe locatie wordt eerst van de projectlocatie getransporteerd naar de recyclelocatie. Op deze locatie wordt de grond, zand en horzel gereinigd. Het is niet duidelijk hoeveel CO₂ er exact wordt uitgestoten gedurende dit proces. Tijdens het transport zal er gemiddeld ongeveer evenveel CO₂ worden uitgestoten als tijdens de aanvoer van de nieuwe materialen. Dit is ongeveer 6.01 kg CO₂/ ton horzel of zand dat vervoerd wordt (Vroonhof, 2017). Na het recyclen voldoen de stoffen weer aan het bouwstoffenbesluit en kunnen ze in diverse andere sectoren weer gebruikt worden.

4.4 Dubbelspoor

Aan de hand van de OVS (ontwerpvoorschrift) heeft 4Infra dezelfde calculatie uitgevoerd voor de in, binnen en uit stroom. De OVS is echter zo ingesteld dat er eigenlijk 2 enkele sporen naast elkaar worden gelegd. Dit houdt in dat de calculatie van het dubbelspoor in de praktijk 2 keer het enkel spoor is. Op een dubbelspoor wordt voor iedere fase dubbel zoveel CO₂ uitgestoten. Hierbij moet wel gezegd worden dat dubbelspoor vaak niet volgens de OVS wordt gebouwd omdat er bijvoorbeeld nog een perron tussen moet komen.

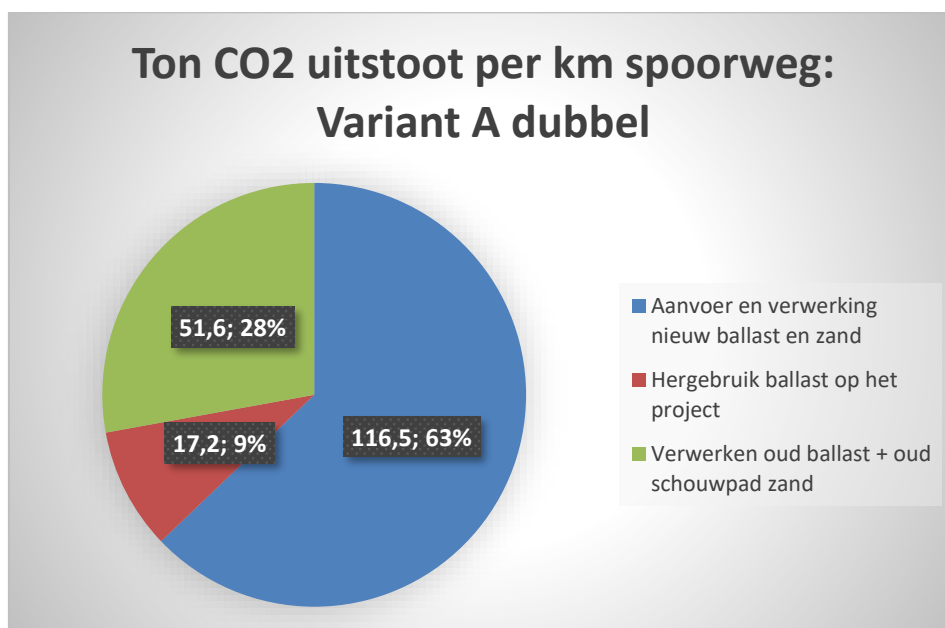
4.5 Totaaloverzicht emissies varianten

De gegevens van de variant met grondverbetering, variant A, zijn hieronder weergegeven in een cirkeldiagram.



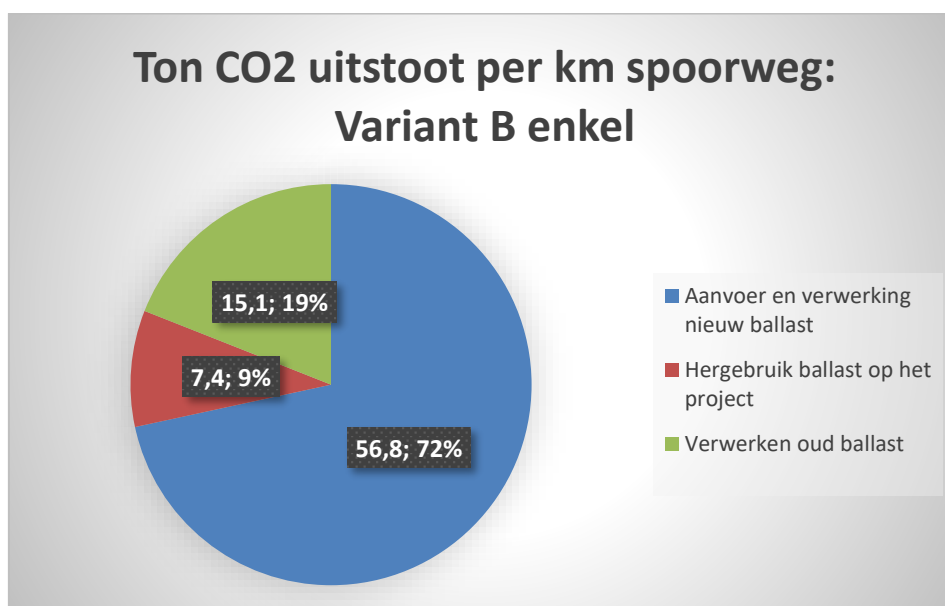
Figuur 6: Cirkeldiagram CO₂-uitstoot variant A enkel (4Infra, 2019)

In het cirkeldiagram is te zien dat de aanvoer van nieuwe materialen voor 63% voor de CO₂-uitstoot zorgt bij een project. Verder wordt 9% van de totale CO₂-uitstoot veroorzaakt door het hergebruik van ballast. De overige 28% van de CO₂-uitstoot is het gevolg van het recyclen van verontreinigd zand en horzel. Voor dubbelspoor veranderd niets aan de percentages.



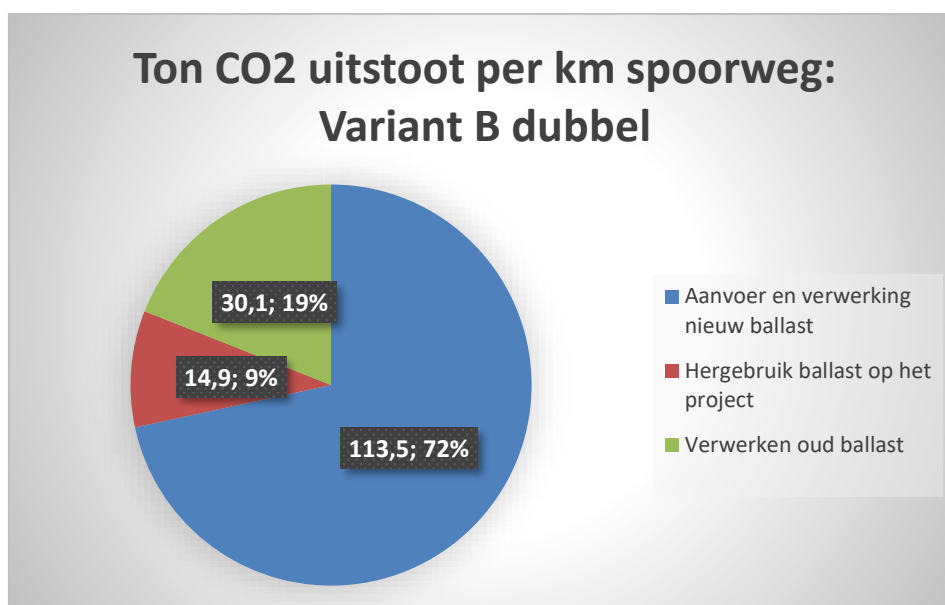
Figuur 7: Cirkeldiagram CO₂-uitstoot variant A dubbel (4Infra, 2019)

De gegevens van de variant met ballastverhoging, variant B, zijn hieronder weergegeven in een cirkeldiagram.



Figuur 8: Cirkeldiagram CO₂-uitstoot variant B (4Infra, 2019)

In het cirkeldiagram is te zien dat de aanvoer van nieuwe materialen voor 72% voor de CO₂-uitstoot zorgt bij een project. Verder wordt 9% van de totale CO₂-uitstoot veroorzaakt door het hergebruik van ballast. De overige 19% van de CO₂-uitstoot is het gevolg van het recyclen van verontreinigd zand en horzel. Voor dubbelspoor veranderd niets aan de percentages.



Figuur 9: Cirkeldiagram CO₂-uitstoot variant B dubbel (4Infra, 2019)

5 Onderzoek randvoorwaarde baanstabieleit

In dit hoofdstuk wordt de conclusie van het rapport van bijlage 2 kort samengevat. Dit aanvullende onderzoek is bedoeld als bewijs voor de randvoorwaarde dat het baanlichaam niet negatief beïnvloed wordt door de optimalisatie.

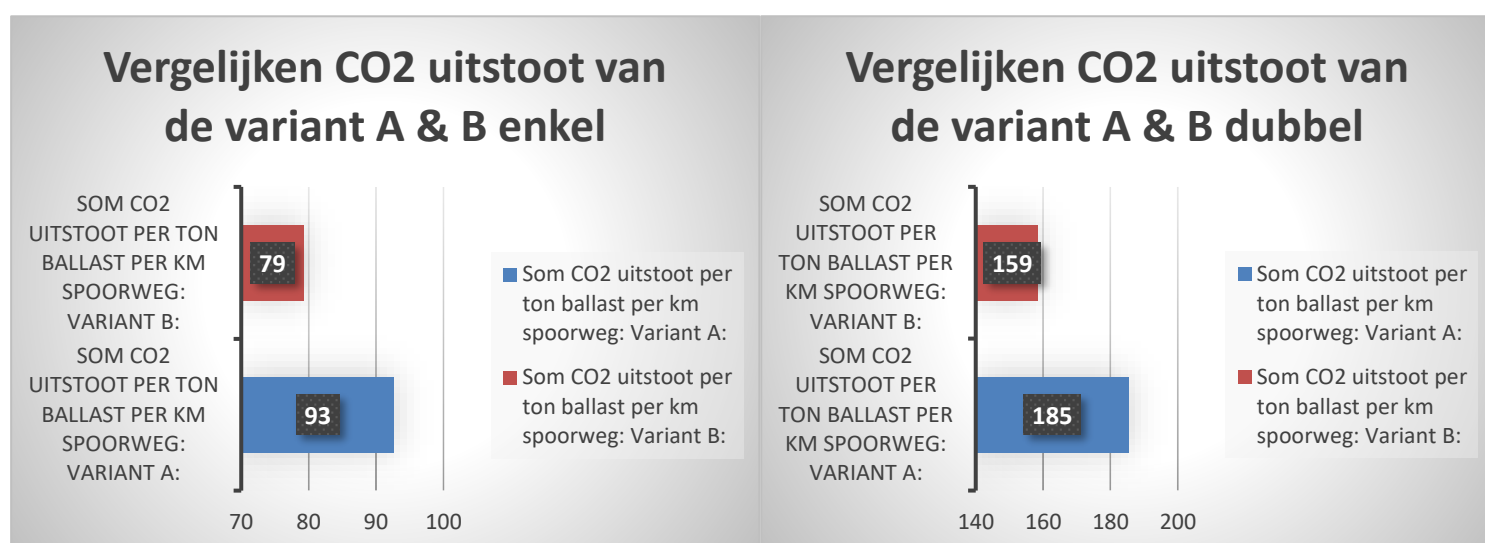
Qua baanstabieleit en draagkracht kan het volgende geconstateerd worden. Volgens het onderzoek heeft het ophogen van het baanvak geen negatief effect op de draagkracht en de stabieleit. Voor de stabieleitsberekeningen is de gevoeligheid van het verloop van de freatische grondwaterstand onderzocht door aanvullende berekeningen zonder opbolling van de grondwaterstand. Voor de stabieleits- en draagkrachtberekeningen (ULS) is voor de freatische grondwaterstand uitgegaan van het gemeten waterpeil in de spoorloot (indicatieve meting) met een opbolling tot onderzijde ballastbed in het midden van de spoorbaan als veilige aanname conform RLN00414-1. De belastingverhoging van 2,5 kN/m² ten opzichte van het bestaande ballastbed met een belasting van 10kN/m² en de treinbelasting van 45,5 kN/m² is beperkt en heeft geen negatief effect op de baanstabieleit en draagkracht in het geval van de twee onderzochte locaties (Kwast, 2019).

Daarom is te constateren dat het ophogen van het baanlichaam ten goede komt van de CO₂-uitstoot bij het vernieuwen van het spoor en geen ongunstige effecten heeft qua baanstabieleit of draagkracht.

6 Conclusie

In de vorige hoofdstukken zijn alle resultaten van de ketenanalyse besproken.

Wanneer beide grafieken uit hoofdstuk 4 tegenover elkaar worden uitgezet resulteert dit in het onderstaande diagram.



Figuur 10: Diagram vergelijking CO₂-uitstoot variant A&B dubbel en enkel

Uit deze diagram is af te lezen hoeveel CO₂ wordt uitgestoten bij beide varianten. Uit de ketenanalyse blijkt dat het ophogen van het spoorlichaam, variant B, resulteert in een CO₂-reductie van 14.5% in vergelijking met variant A (4Infra, 2019). Deze reductie komt veelal door de relatief lage uitstoot die vrijkomt bij het produceren en de lage uitstoot bij het transport ten opzichte van het recyclen van oud ballast en het transport naar de verwerker.

Mogelijk komt dit omdat transport in bulk resulteert in lage CO₂-emissies. Naarmate de ballast in de keten verder van de groeve en richting het project verplaatst worden de hoeveelheden die getransporteerd worden kleiner en daardoor nemen de CO₂-emissies relatief toe.

7 Discussie

Voor deze ketenanalyse zijn diverse onderzoeken gebruikt van aannemers, ingenieurbureaus en leveranciers. Uit deze onderzoeken zijn verschillende gegevens gehaald die betrekking hebben op de CO₂-emissies van diverse onderdelen van het spoorweg vernieuwen. De bronnen die de onderzoeken gebruiken zijn goed terug te leiden naar betrouwbare bronnen zoals leveranciers en fabrikanten van materiaal en materieel. Daarom zijn de onderzoeken die gebruikt zijn en deze ketenanalyse valide.

Tijdens de ketenanalyse is vooral het onderdeel horzel en verontreinigd zand recycleren een hoofdpijndossier geweest. De onderzoeken die geraadpleegd zijn, kunnen geen duidelijk goed onderbouwd antwoord geven op de vraag: Hoeveel CO₂ wordt uitgestoten bij het recycleproces van horzel dat niet meer voldoet aan de norm? Daarom heeft 4Infra tijdens dit onderzoek diverse ballastrecyclinginstallaties gecontacteerd, maar geen van de installaties kon vertellen wat nu de precieze uitstoot van CO₂ is die uitgestoten wordt bij het ballast recycleren.

De aanvulling dubbel spoor constructies op de ketenanalyse viel tegen. Uit de OVS is gebleken dat dubbel spoor in principe 2 keer een enkele spoor is. Qua resultaten komen we dus exact uit op 2 keer enkel spoor. In de praktijk zien we echter dat dit niet het geval is. Bijna alle dubbele spoorbanen zijn voor het jaar 2000 gebouwd en toen waren er andere regels voor het bouwen. Dit houdt in dat veel dubbelspoor dus niet voldoet aan de huidige OVS en ons model niet een goed beeld geeft van de realiteit. Dit zal in de toekomst moeten worden gecorrigeerd.

Het advies voor vervolgonderzoeken is om dieper in te gaan op het recycleproces van ballast en de CO₂ die tijdens dit proces wordt uitgestoten.

8 Maatschappelijk voortschrijdend inzicht

Door middel van de ketenanalyse draagt 4Infra bij aan het maatschappelijk inzicht ten aanzien van de mogelijkheden een emissiereductie te bewerkstelling.

4Infra heeft hier een innoverende rol en stimuleert de markt om te komen tot technische oplossingen die bijdraagt aan de reducering van CO2 en geeft inzicht in de emissiebronnen in de keten.

8.1 CO2-reductie

Deze ketenanalyse geeft inzicht in de emissies van de ballast per stap. 4Infra heeft ervoor gekozen in deze ketenanalyse direct alle stappen te onderzoeken en de waardes in de toekomst via de aannemer te valideren. Deze ketenanalyse levert aangrijpingspunten voor CO2-reductie. Deze zijn relevant omdat er in de nabij toekomst diverse spoortakken hernieuwd gaan worden. Door zo vroeg mogelijk inzicht te verkrijgen, zullen 4Infra, ProRail en andere ingenieursbureaus zo vroeg mogelijk kunnen acteren om de uit te stoten CO2- emissie te reduceren. Zo kunnen wij samen CO2-emissies verlagen bij toekomstige spoorvernieuwingen.

8.2 De markt

4Infra is een belangrijke partner voor ProRail bij het vernieuwen van spoorwegen. Met het publiceren van deze ketenanalyse voor het optimaliseren van spoorvernieuwingen stimuleert 4Infra overige partijen om zelf goed in kaart te brengen hoeveel CO2-emissies uitgestoten wordt bij de ontwerpen die de partijen maken voor het vernieuwen van baanlichamen

Dit inzicht zal 4Infra gebruiken bij toekomstige spoorvernieuwingen en het adviseren van ProRail. Daarnaast kan 4Infra de huidige gegevens gebruiken om in de toekomst met een nog efficiëntere manier van spoor vernieuwen.

9 Plan van aanpak

9.1 Te nemen stappen

Om het initiatief uit te breiden en te verbeteren zullen diverse stappen genomen moeten worden. In de onderstaande paragraaf worden diverse stappen beschreven.

9.2 Stap 1: draagvlak creëren

4Infra heeft in de ketenanalyse ophogen baanlichaam een globale berekening uitgevoerd naar de uitstoot als gevolg het ophogen van het baanlichaam. In deze berekening zijn goed onderbouwde (theoretische) gegevens gebruikt om de uitstoot te bepalen. In 2018 is het initiatief aangedragen bij ProRail. In 2019 heeft 4Infra draagkracht- en stabiliteitscalculaties laten uitvoeren voor diverse locaties waar in de toekomst het spoor vernieuwd gaat worden. Deze calculaties onderbouwen dat het ophogen van het spoor geen nadelige effecten heeft op het baanlichaam. Het voorstel van 4Infra wordt als pilot geïmplementeerd door ProRail voor 2 kleine projecten vanaf 2020.

9.3 Stap 2: berekening uitstoot optimaliseren

Aan de hand van gegevens uit de praktijk kunnen de theoretische getallen omgezet worden naar in de praktijk getoetste getallen. Hiervoor moet het project eerst wel uitgevoerd zijn. De draagkracht- en stabiliteitscalculaties kunnen ook bij nieuwe situaties gecalculeerd worden en gereed worden gemaakt voor nieuwe projecten. Gedurende de gehele periode van de ketenanalyse moeten de CO₂-emissies bijgewerkt worden naar de meest up-to-date gegevens.

9.4 Stap 3: maatregelen opstellen en doorvoeren

Aan de hand van het pilotproject kunnen er extra maatregelen worden genomen om het proces te optimaliseren. Na de optimalisatie kan de pilot worden uitgebreid en worden toegepast op meerdere projecten.

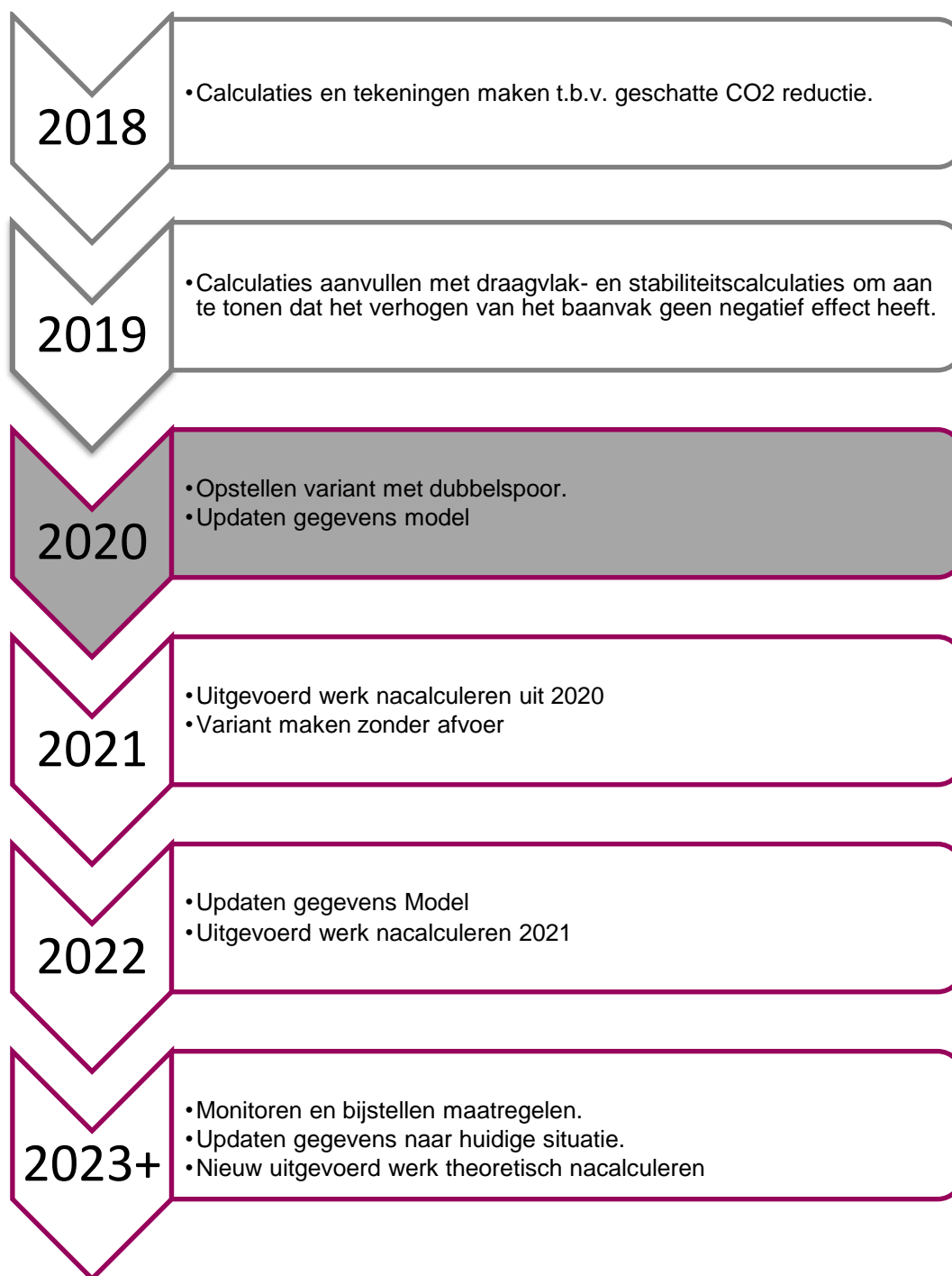
9.5 Stap 4: maatregelen monitoren en optimaliseren

Wanneer de maatregelen zoals beschreven in stap 4 zijn doorgevoerd dan zullen de maatregelen moeten worden gemonitord. Eventueel kunnen maatregelen aangepast en bijgesteld worden. De MKI (milieukostenindicator) waarden van de aannemers kunnen hier een essentiële rol in spelen.

De komende jaren is 4Infra betrokken bij twee projecten waarbij het baanlichaam wordt verhoogd. De ervaring die we opdoen tijdens deze werkzaamheden verwerken we in de ketenanalyse. Achteraf gezien kunnen we dan calculeren hoeveel CO₂ bespaard is en hoe we dit in de toekomst kunnen verbeteren. In 2020 zijn er twee pilot projecten uitgevoerd met in totaal 8,5 km aan enkelspoorvernieuwing. Volgens onze calculaties wordt erbij het vernieuwen

van het ballast op een traditionele manier $8,5\text{km} \cdot 93 \text{ ton/km} = 790,5 \text{ ton CO}_2$ uitgestoten. 4Infra heeft berekend dat volgens de variant B $8,5\text{km} \cdot 79 \text{ ton/km} = 671,5 \text{ ton CO}_2$ wordt uitgestoten. Dit houdt in dat we op deze twee pilot projecten voor het onderdeel ballast een reductie in CO_2 zien van 119 ton. Dit is ongeveer 4 % van de 3kton die ProRail op jaarbasis tot 2030 wil reduceren (G. Olde Monnikhof, 2018).

9.6 Planning



10 Literatuurlijst

- 4Infra. (2019). *202001151542 Rapportage CO2 ladder 2019 -deel 2 v1.0*. Zwolle: 4Infra.
- 4Infra. (2019). *Bijlage 1-Calculatie ballast vernieuwen v1.0*. Zwolle: 4Infra.
- Baas, d. (2019, Januari 22). Kenniswisseling CO2 uitstoot bewerking ballast. (K. d. Boer, Interviewer)
- Franken, P. (2016). *Analyse scope 3 emissies van Spitzke Spoorbouw B.V.* MiSa advies. Opgeroepen op December 2018
- G. Olde Monnikhof. (2018). *CO2-Besparingsplan 2018-2020, met doorkijk*. ProRail.
- Grانيت Import. (2019). *Environmental Product Declaration Summary*. Amsterdam.
- H.Beerda. (2016). *CO2 Footprint 2015 Scope 1, 2 en 3 emissies*. Oosterhof Holman. Opgeroepen op December 2018
- Kwast, i. E. (2019). *Risicobeschoouwing spoorbanen De Wadden*. 4Infra.
- Mentink, B., Oudman, F., & Berg, M. v. (2017). *Dominantieanalyse scope 3 CO2-emissies*. ProRail. Opgeroepen op December 2018
- Oosterhof Holman. (2019). *Ketenanalyse Asphalt*.
- SKAO. (2015). *Handboek CO2-prestatieladder 3.0*. SKAO.
- Strukton. (2019). *Update ketenanalyse ballastmateriaal Strukton Rail*.
- Swietelksy. (2016). *Ballast en onderbaanvernieuwing*.
- Vroonhof, S. i. (2017). *Ketenanalyse ballast materiaal*. Rail. Strukton Rail. Opgeroepen op December 2018
- Weijtmans, J. (2016). *Scope 3 Ketenanalyse: Ballast- en onderbaanvernieuwing*. Rail. Swietelsky Rail Benelux BV. Opgeroepen op December 2018

Bijlage 1: Calculatie CO₂-emissies

Bijlage 2: Calculatie baanstabieleit