

# Ketenanalyse

Optimaliseren spoorvernieuwing

**Definitieve rapportage**



**Structureel anders  
met infrastructuur**

# Verantwoording

## Titel

**Ketenanalyse**

## Subtitel

Optimaliseren spoorvernieuwing

Projectcode	Datum	Revisie
Algemeen CO <sub>2</sub>	26-02-2025	1.0

## Kenmerk

202502261103

## Auteur(s)

4Infra

## E-mail

Info@4infra.nl

## Gecontroleerd door

Klaas-Auke de Boer

## Paraaf gecontroleerd

## Goedgekeurd door

Jasper Gerressen

## Paraaf goedgekeurd

## Versiebeheer

Revisie	Datum	Doorgevoerde wijzigingen
1.0	26-02-2025	Nieuwe huisstijl

# Inhoud

	Bijlage 1: Calculatie CO <sub>2</sub> -emissies	28
<b>1</b>	<b>Bijlagen</b>	<b>29</b>
	Bijlage 2: Calculatie baanstabieleit	29
	Bijlage 3: Presentatie ProRail ophogen spoor met bovenleiding	30
	1.1. Relatie Ketenanalyse en 4Infra	4
	1.2. De plannen van ProRail	5
	1.3. Het doel	6
	1.4. Opbouw rapportage	6
<b>2</b>	<b>Methodologie</b>	<b>7</b>
	2.1. Relevante categorieën scope 3	7
	2.2. Ketenpartners	8
	2.3. Het idee achter de ketenanalyse	9
<b>3</b>	<b>De keten</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>CO<sub>2</sub>-uitstoot per (sub)onderdeel keten</b>	<b>13</b>
	4.1. De 'In' stroom	13
	4.2. De 'Binnen' stroom	14
	4.3. De 'Uit' stroom	14
	4.4. Dubbelspoor	14
	4.5. Totaaloverzicht emissies varianten	15
<b>5</b>	<b>Onderzoek randvoorwaarde baanstabieleit</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Aanvullend onderzoek verhoging spoor met bovenleiding</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Conclusie</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Discussie</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>Maatschappelijk voortschrijdend inzicht</b>	<b>22</b>
	9.1. CO <sub>2</sub> -reductie	22
	9.2. De markt	22
<b>10</b>	<b>Plan van aanpak</b>	<b>23</b>
	10.1. Te nemen stappen	23
	10.2. Stap 1: draagvlak creëren	23
	10.3. Stap 2: berekening uitstoot optimaliseren	23
	10.4. Stap 3: maatregelen opstellen en doorvoeren	23
	10.5. Stap 4: maatregelen monitoren en optimaliseren	24
	10.6. Planning	25
<b>11</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>26</b>

# 1 Inleiding

## 1.1. Relatie Ketenganalyse en 4Infra

4Infra is altijd actief bezig haar eigen CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 CO2 vrijkomt	Relatief belang van CO2-belasting van de sector en invloed van de activiteiten		Potentiële invloed op CO2 uitstoot	Rangorde
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	

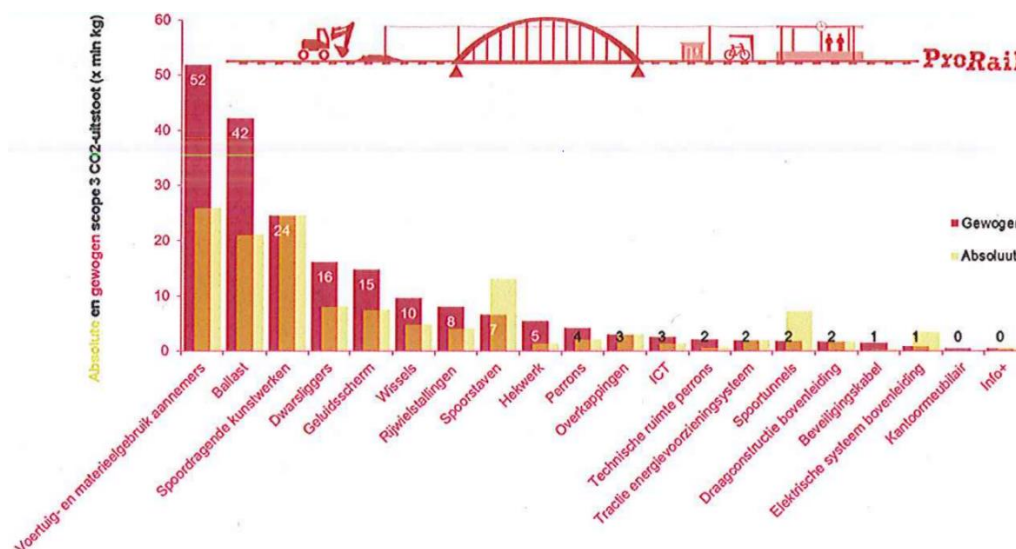
Tabel 1: Product markt combinaties uit de scope 3 rapportage van 4Infra (2020)

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 CO<sub>2</sub>-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 baanstabiliteit 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-emissies van ProRail. Deze top 20 is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Top 20 meest dominante scope3 CO<sub>2</sub>-emissies van ProRail (G. Olde Monnikhof, 2018)

In Figuur 1 wordt weergegeven dat de top 3 systemen met de hoogste CO<sub>2</sub>-emissiewaarden bestaat uit: het voertuig- en materiaalgebruik van aannemers, ballast en spoor dragende spoorconstructies. Deze top 3 is verantwoordelijk voor 50% van de absolute CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> verdeeld over 10 jaar, dus 3 kton CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-emissies bij het produceren, gebruik en hergebruik van ballast. Dit wil 4Infra verwerken in een dynamisch model die eenvoudig gebruikt kan worden om de CO<sub>2</sub>-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 baanstabieleit. Deze ketenanalyse moet een handvat zijn voor 4Infra en andere ingenieursbureaus om ontwerpen aan te passen en daardoor CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 onderscheid 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	9. Downstream transport en distributie
2. Kapitaal goederen	10. Ver- of bewerken van verkochte producten
3. Brandstof en energie gerelateerde activiteiten (niet opgenomen in scope 1 of scope 2)	11. Gebruik van verkochte producten
4. Upstream transport en distributie	12. End-of-life verwerking van verkochte producten
5. Productieafval	13. Downstream geleaste activa
6. <del>Personenvervoer onder werktijd (Business Travel)<sup>22</sup></del>	14. Franchisehouders
7. Woon-werkverkeer	15. Investerings
8. Upstream geleaste activa	

Tabel 2: Upstream en Downstream categorieën (SKAO, 2019)

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 CO<sub>2</sub>-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.

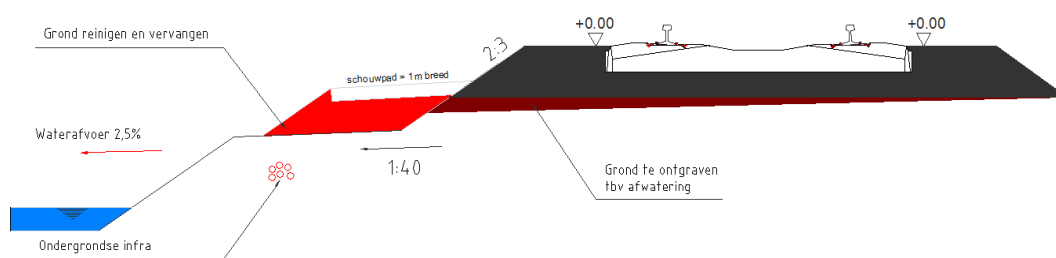


### 2.3. Het idee achter de ketenanalyse

In dit rapport gaat 4Infra een ketenanalyse uitvoeren naar het effect op de CO<sub>2</sub>-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:

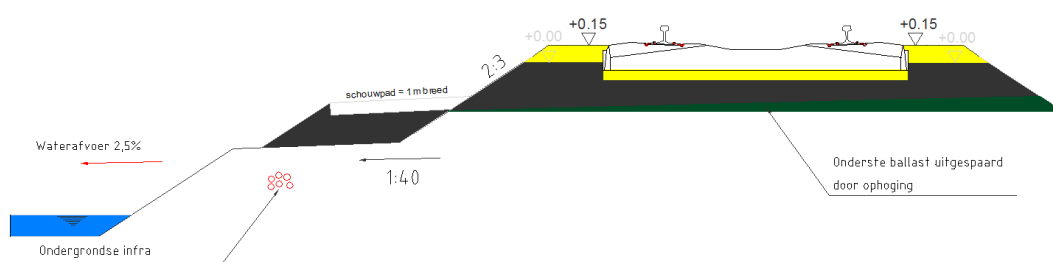
- Het laten zitten van de onderste 15 cm van de ballast, te zien in het groen, levert een vermindering in de afvalstroom van oud ballast. Het onderste deel van de ballast is namelijk gemiddeld gezien voor slechts 10% te recyclen, omdat er na verloop van tijd de kleine fractie in de onderste laag komt 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 CO<sub>2</sub>-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. Een ander mogelijk nadeel is dat de baanstabieleit kan afnemen door de toename van het gewicht. Hiernaar is onderzoek gedaan in bijlage 2 van het verslag en staat in hoofdstuk 5 een verdere uitwerking.



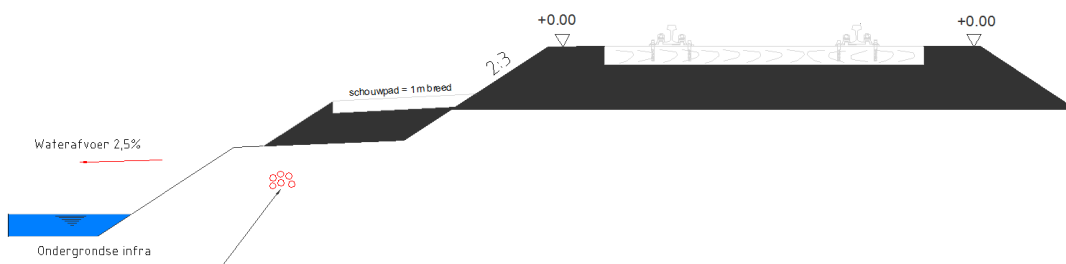
Figuur 2: Variant A enkelspoor (opgesteld door 4Infra)

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 toepast. 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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

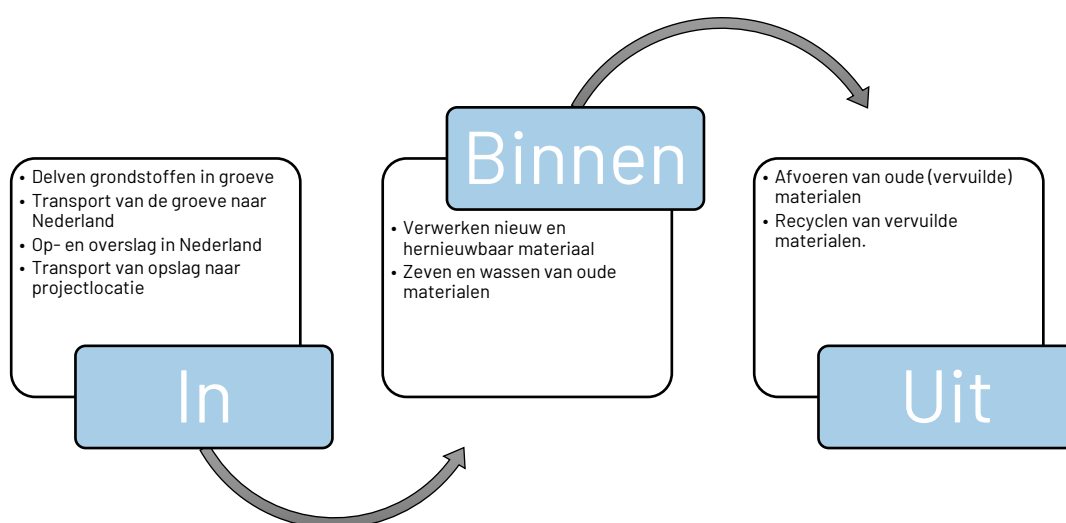
De keten van het ballast vernieuwen kan in drie groepen worden ondergebracht.

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 CO<sub>2</sub>-uitstoot per (sub)onderdeel keten

### 4.1. De 'In' stroom

Door gebruik te maken van diverse ketenanalyses heeft 4Infra inzichtelijk gekregen welke CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-uitstoot voor het winnen van zand uit een zandwinning in Nederland is.

Zowel Strukton Rail geeft aan dat per ton ingevoerd materiaal de uitstoot van het delven van ballast, gemiddeld gezien 16,2 kg CO<sub>2</sub>/ton ballast is (Strukton, 2024)<sup>1</sup>. Dit is ongeveer 46 % van de totale CO<sub>2</sub>-emissies die bij de 'In' stroom van de ballast (Bijlage 1 4Infra, 2024). In eerder calculaties was de uitstoot vele malen lager. Dit komt omdat de groeves expres de uitstoot op papier verlagen om zo gunstiger in de MKI te komen van de aannemer. We zijn blij dat we een onafhankelijke analyse hebben gevonden van de uitstoot.

Bij het zand dat gewonnen wordt uit een zandwinning komt volgens Oosterhof Holman 3.23 kg CO<sub>2</sub>/ 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 dat transport van de groeve naar Nederland voor een CO<sub>2</sub>-uitstoot zorgt van gemiddeld 6,7 kg CO<sub>2</sub>/ton ballast (Strukton, 2024). Dit komt overeen met 19% van de in totaal uitgestoten CO<sub>2</sub>-emissies van de 'In' stroom voor ballast (4Infra, 2025).

Bij het 'bewerken door Graniet Import' wordt in totaal 0,2 kg CO<sub>2</sub>/ ton ballast uitgestoten (Baas, 2019)(Strukton, 2024). Dit komt overeen met 0,5% van de in totaal uitgestoten CO<sub>2</sub>-emissies van de 'In' stroom voor ballast (4Infra, 2025).

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 CO<sub>2</sub>-uitstoot 2,625 kg CO<sub>2</sub>/ ton ballast en zand (Strukton, 2024). Voor de ballast komt dit met 7,5% van de in totaal uitgestoten CO<sub>2</sub>-emissies van de 'In' stroom (4Infra, 2025).

---

<sup>1</sup> 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 de ketenanalyses van Strukton Rail heeft 4Infra inzichtelijk gekregen welke hoeveelheid CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-uitstoot als voor het vernieuwen van de ballast. In totaal wordt gemiddeld tussen de 2,4 en 2,6 kg CO<sub>2</sub>/ ton ballast/zand uitgestoten op een project voor het ontgraven en aanbrengen van ballast en zand (4Infra, 2025) (Strukton, 2024). Tegelijkertijd wordt de oude ballast ook gezeefd en gewassen. Dit proces is ook inbegrepen bij de 2,6 kg CO<sub>2</sub>/ ton ballast.

## 4.3. De 'Uit' stroom

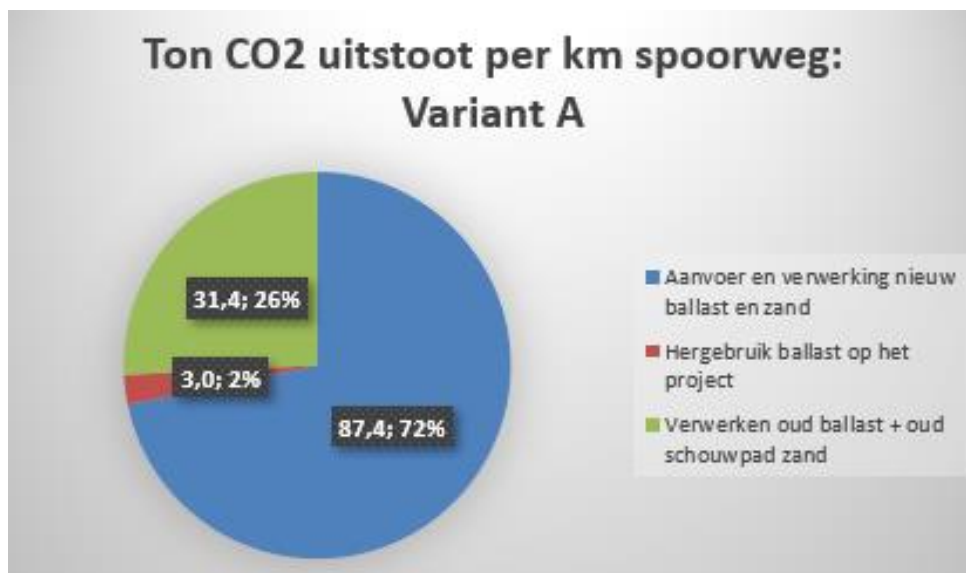
Het horzel en verontreinigd zand dat gerecycled wordt op een externe locatie wordt eerst van de projectlocatie getransporteerd naar de recyclelocatie. Op deze locatie wordt de grond, zand en horzel gereinigd. Het is niet duidelijk hoeveel CO<sub>2</sub> er exact wordt uitgestoten gedurende dit proces. Tijdens het transport zal er gemiddeld ongeveer evenveel CO<sub>2</sub> worden uitgestoten als tijdens de aanvoer van de nieuwe materialen. Dit is ongeveer 9,21 kg CO<sub>2</sub>/ ton horzel of zand dat vervoerd wordt (Strukton, 2024) (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 CO<sub>2</sub> uitgestoten. Hierbij moet wel gezegd worden dat dubbelspoor vaak niet volgens de OVS wordt gebouwd omdat er bijvoorbeeld nog een perron tussen moet komen.

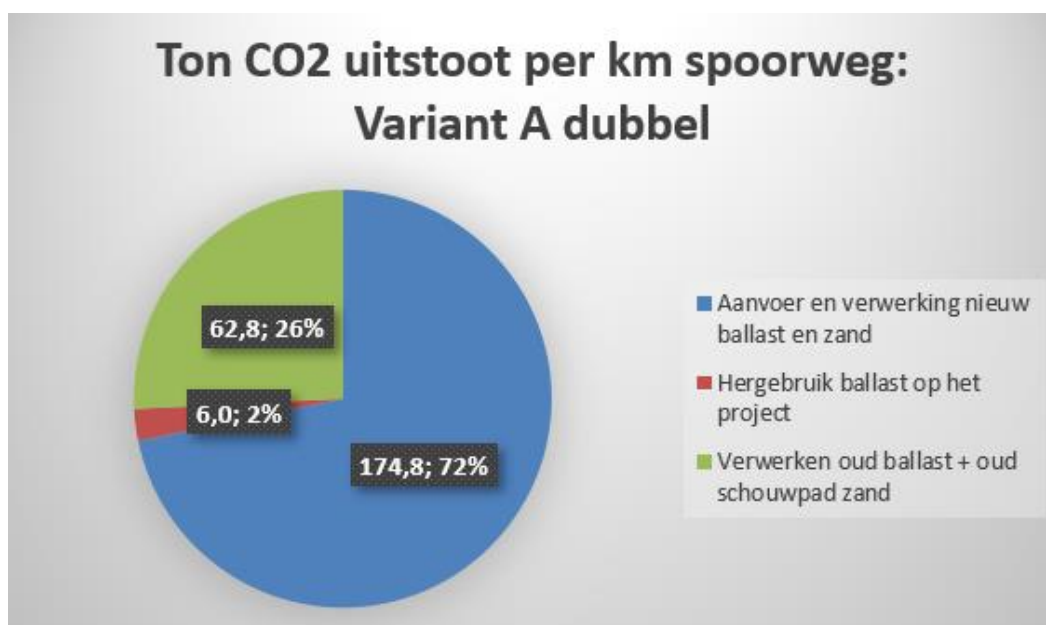
#### 4.5. Totaaloverzicht emissies varianten

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



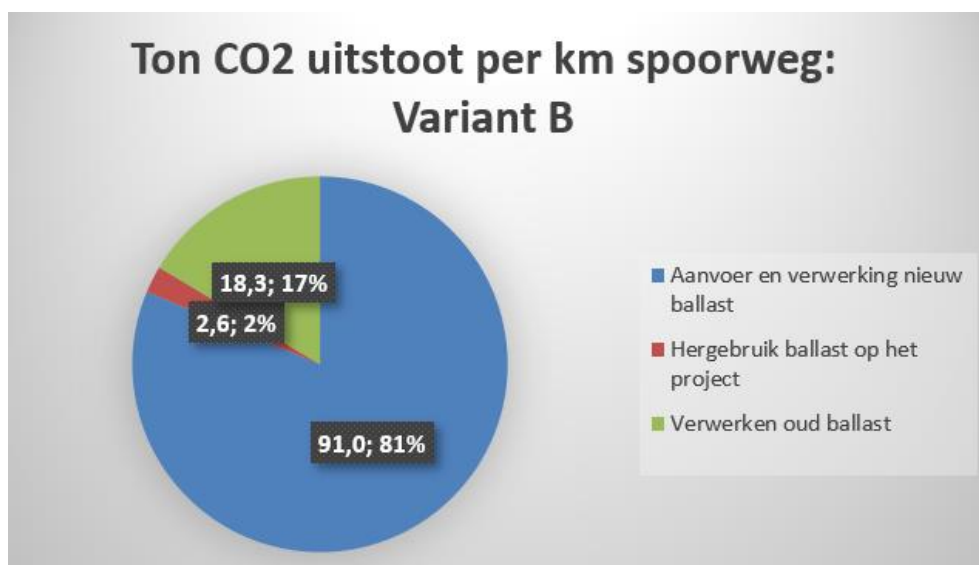
Figuur 6: Cirkeldiagram CO<sub>2</sub>-uitstoot variant A enkel (4Infra, 2025)

In het cirkeldiagram is te zien dat de aanvoer van nieuwe materialen voor 72% voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot zorgt bij een project. Verder wordt 2% van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot veroorzaakt door het hergebruik van ballast. De overige 26% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot is het gevolg van het recyclen van verontreinigd zand en horzel. Voor dubbelspoor veranderd niets aan de percentages.



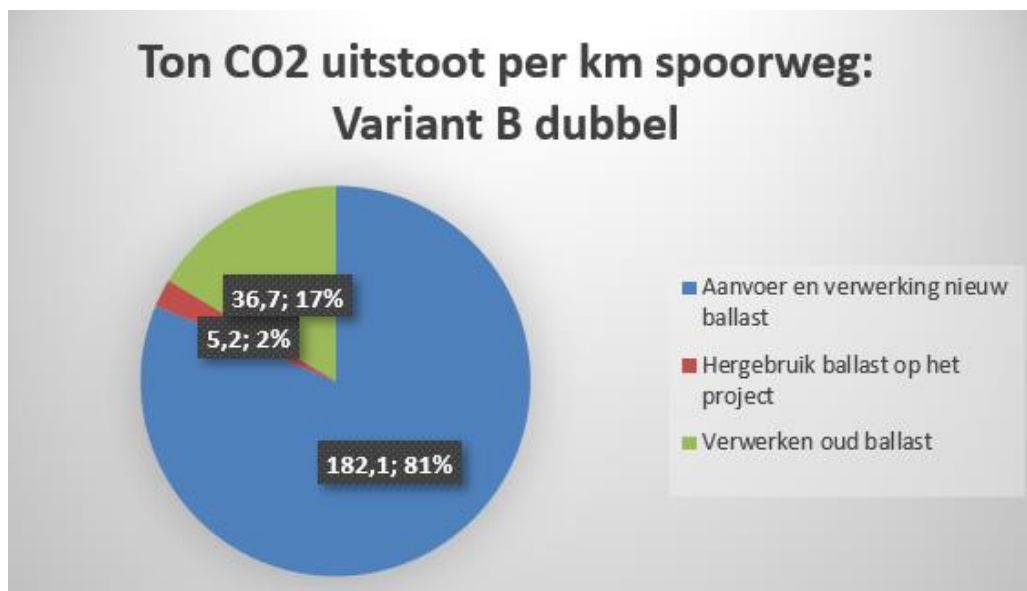
Figuur 7: Cirkeldiagram CO<sub>2</sub>-uitstoot variant A dubbel (4Infra, 2025)

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



Figuur 8: Cirkeldiagram CO<sub>2</sub>-uitstoot variant B (4Infra, 2025)

In het cirkeldiagram is te zien dat de aanvoer van nieuwe materialen voor 81% voor de CO<sub>2</sub>-uitstoot zorgt bij een project. Verder wordt 2% van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot veroorzaakt door het hergebruik van ballast. De overige 17% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot is het gevolg van het recyclen van verontreinigd zand en horzel. Voor dubbelspoor veranderd niets aan de percentages.



Figuur 9: Cirkeldiagram CO<sub>2</sub>-uitstoot variant B dubbel (4Infra, 2025)



## 5 Onderzoek randvoorwaarde baanstabieliteit

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. Dit onderwerp is zeker de afgelopen jaren norm belangrijk geworden voor ProRail, omdat uit eerdere onderzoeken is gebleken dat vele baanlichamen in Nederland niet voldoen aan de eisen.

Qua baanstabieliteit en draagkracht kan het volgende geconstateerd worden. Volgens het onderzoek heeft het ophogen van het baanvak geen negatief effect op de draagkracht en de stabieliteit. Voor de stabieliteitsberekeningen is de gevoeligheid van het verloop van de freatische grondwaterstand onderzocht door aanvullende berekeningen zonder opbolling van de grondwaterstand. Voor de stabieliteits- 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/m<sup>2</sup> ten opzichte van het bestaande ballastbed met een belasting van 10kN/m<sup>2</sup> en de treinbelasting van 45,5 kN/m<sup>2</sup> is beperkt en heeft geen negatief effect op de baanstabieliteit 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 CO<sub>2</sub>-uitstoot bij het vernieuwen van het spoor en geen ongunstige effecten heeft qua baanstabieliteit of draagkracht.

## 6 Aanvullend onderzoek verhoging spoor met bovenleiding

Tot nu toe werd ervanuit gegaan dat we het ophogen van het spoor enkel en alleen kunnen toepassen bij spoorlijnen zonder bovenleiding. Dit omdat alle kabels van de bovenleiding dan opnieuw moeten worden afgesteld.

Echter is gebleken dat door het niet ontgraven van de onderste laag van het baanlichaam de aannemer de volgende voordelen heeft:

- Een productieverhoging van een kettinghor met 30% doordat er aanzienlijk minder materiaal gezeefd hoeft te worden;
- 0,5 - 1 m<sup>3</sup> minder oude ballast per meter af te voeren inclusief depotkosten en verwerkingskosten. En dit is dan ook nog het materiaal in de onderste 15 cm van het cunet bestaande uit bijna 100% fijne fractie;
- Minder logistiek en depots voor de afvoer van oude ballast.

De nadelen zijn:

- Meer nieuwe ballast aanvoeren. De extra hoeveelheid is beperkt aangezien de zeefopbrengst van de onderste 15 cm in het cunet zeer beperkt is.

Extra nadelen baanlichaam bovenleiding:

- Meerkosten van een rijdraadverhoging á 10 euro/m<sup>1</sup> (hangdraden inkorten).

Extra voordeel baanlichaam bovenleiding:

- De locaties waarop de ketenanalyse van toepassing kan zijn neemt enorm toe door het regelen van de bovenleiding mee te nemen in de berekeningen.

Uit onderzoek van de afgelopen jaren en in overleg met ProRail en de aannemers die gewerkt hebben met deze variant wordt de besparing geschat op 40 euro per strekkende meter spoor vernieuwen. Trek daarvan af de extra 10 euro voor het inkorten van de bestaande draden en er komt een besparing uit van 30 euro per strekkende meter vernieuwd spoor.

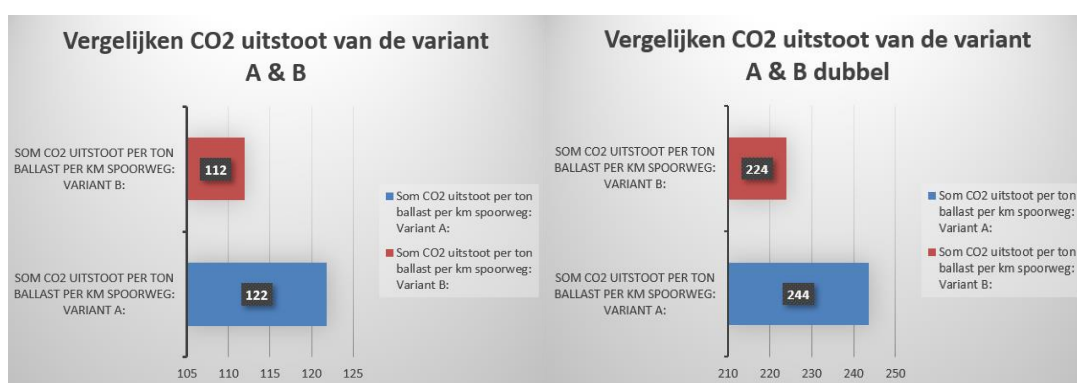
Qua CO<sub>2</sub> hebben we tot nu toe aangetoond in de ketenanalyse dat het ophogen van het spoor een positief effect heeft op het vernieuwen van het spoor. De verwachting is dat er ook een reductie plaatsvindt wanneer de kabels aangepast dienen te worden. Dit wordt grotendeels met hoogwerkers gedaan, die waarschijnlijk in de toekomst elektrisch worden maar op dit moment nog op diesel/benzine lopen.

De directe CO<sub>2</sub> voor het verhogen van de bovenleiding zit hem grotendeels niet in het werk op de bouwplaats, maar eerder het transport van het personeel naar de bouwplaats toe. De CO<sub>2</sub> uitstoot die hiervoor kan worden aangenomen bedraagt ongeveer 500 km per dag werken. In een dag kan 2.5 km draad worden verhoogd dus per km rijdraad kan 200 km reizen worden gerekend. 130 g/km is een gemiddelde uitstoot voor nieuwe bedrijfsauto's. Deze uitstoot gecombineerd met de uitstoot van een hoogwerker komt neer op 0,1 ton CO<sub>2</sub> per km spoor vernieuwen. In de praktijk is gebleken dat het regelen van de bovenleiding nauwelijks invloed heeft op de planning van de aannemer en veel van het materieel op het spoor is al elektrisch. Dit zien we ook steeds meer met het persoonsvervoer. Dit heeft op de lange termijn een nog gunstiger effect op de uitstoot

## 7 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 CO<sub>2</sub>-uitstoot variant A&B dubbel en enkel

Uit deze diagram is af te lezen hoeveel CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten bij beide varianten. Uit de ketenanalyse blijkt dat het ophogen van het spoorlichaam, variant B, resulteert in een CO<sub>2</sub>-reductie van 8,9% in vergelijking met variant A (4Infra, 2025). 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-emissies relatief toe.

Uit eerdere resultaten kwamen we op een reductie 4,5%. Door gebruik te maken van nieuwe data is deze reductie met 4,4% toegenomen. Tevens blijft het duidelijk dat het verhogen van het spoor voor een reductie in CO<sub>2</sub> zorgt.

## 8 Discussie

Voor deze ketenanalyse zijn diverse onderzoeken gebruikt van aannemers, ingenieursbureaus en leveranciers. Uit deze onderzoeken zijn verschillende gegevens gehaald die betrekking hebben op de CO<sub>2</sub>-emissies van diverse onderdelen van het spoor vernieuwen. De bronnen die de onderzoeken gebruiken zijn goed terug te leiden naar bronnen zoals leveranciers en fabrikanten van materiaal en materieel. Deze gegevens lijken niet altijd betrouwbaar te zijn, omdat fabrikanten en leveranciers belang hebben bij een zo laag mogelijke uitstoot voor de MKI. Dit jaar hebben we de gegevens dus aangevuld met onafhankelijke gegevens van ProRail/Strukton Rail. Hiermee verhogen we dus de validiteit van de ketenanalyse.

Tijdens de ketenanalyse is vooral het onderdeel horzel en verontreinigd zand recyclen een hoofdpijndossier geweest. De onderzoeken die geraadpleegd zijn, kunnen geen duidelijk goed onderbouwd antwoord geven op de vraag: Hoeveel CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> is die uitgestoten wordt bij het ballast recyclen. Dit jaar hebben we de gegevens van een onderzoek van Strukton Rail gebruikt om de waarde voor recycling nauwkeuriger te maken.

De aanvulling dubbel spoorconstructies 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.

Als extra onderzoek gaan studenten van Windesheim kijken wat het meest ideale duurzame spoor is wat op dit moment aangelegd kan worden en of het mogelijk is het complete spoor duurzaam te produceren. Dit zal mogelijk worden verwerkt in een nieuwe ketenanalyse.

Verder willen we volgend jaar meer onderzoek gaan doen naar hoe we de aannemer kunnen voorzien van betere ballastonderzoeken. Op dit moment valt op in de realisatie dat de aannemer vaak te veel ballast of te weinig ballast besteld als het spoor met 15 cm wordt verhoogd. De aannemer ziet de ballastonderzoeken als een oorzaak hiervan en dit zorgt ervoor dat de calculaties van het model vaak niet kloppen in de praktijk. Op dit moment zijn we in gesprek met een Franse partij om nauwkeurigere ballastonderzoeken te leveren en zo een reductie van CO<sub>2</sub>-emissies te bewerkstelligen.

# 9 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 CO<sub>2</sub> en geeft inzicht in de emissiebronnen in de keten.

## 9.1. CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 ingenieurbureaus zo vroeg mogelijk kunnen acteren om de uit te stoten CO<sub>2</sub>- emissie te reduceren. Zo kunnen wij samen CO<sub>2</sub>-emissies verlagen bij toekomstige spoorvernieuwingen.

## 9.2. 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 CO<sub>2</sub>-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.

# 10 Plan van aanpak

## 10.1. 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.

## 10.2. 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.

Deze fase is gereed. Het verhogen van het spoor wordt sinds 2022 standaard toegevoegd in BBV projecten in Noord Nederland.

## 10.3. 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 CO<sub>2</sub>-emissies bijgewerkt worden naar de meest up-to-date gegevens.

Dit jaar hebben we de gegevens geactualiseerd aan de hand van een onderzoek van Strukton Rail in opdracht van ProRail. Deze gegevens zijn objectiever dan de gegevens van leveranciers en fabrikanten omdat deze partijen belang hebben bij een lage uitstoot voor de MKI.

Deze fase blijven we constant monitoren en aanvullen met de laatste CO<sub>2</sub>-data uit de branche.

## 10.4. 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.

In de realisatie zien we dat nog niet optimaal gebruik wordt gemaakt van het ophogen van het baanlichaam. Vaak wordt er te veel of te weinig ballast besteld. De reden die hiervoor wordt gegeven is dat het ballastonderzoek vaak van onvoldoende kwaliteit is. Daarom willen we als onderdeel van onze ketenanalyse onderzoek doen naar een betere ballastonderzoekmethode. Hier zal vanaf 2025 onderzoek naar worden verricht.

## 10.5. 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 CO<sub>2</sub> 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 de ballast op een traditionele manier  $8,5\text{km} \cdot 122 \text{ ton/km} = 1.037 \text{ ton CO}_2$  uitgestoten. 4Infra heeft berekend dat volgens de variant B  $8,5\text{km} \cdot 112 \text{ ton/km} = 952 \text{ ton CO}_2$  wordt uitgestoten. Dit houdt in dat we op deze twee pilot projecten voor het onderdeel ballast een reductie in CO<sub>2</sub> zien van 85 ton. Dit is ongeveer 3 % van de 3kton die ProRail op jaarbasis tot 2030 wil reduceren (G. Olde Monnikhof, 2018).

In 2021 is 6,2 km aan enkelspoorvernieuwing gerealiseerd op BBV Wadden 2021. Hier is ongeveer 62 ton CO<sub>2</sub> bespaard door het verhogen van het spoor. Dit is ongeveer 2% van de totale doelstelling voor 2030.

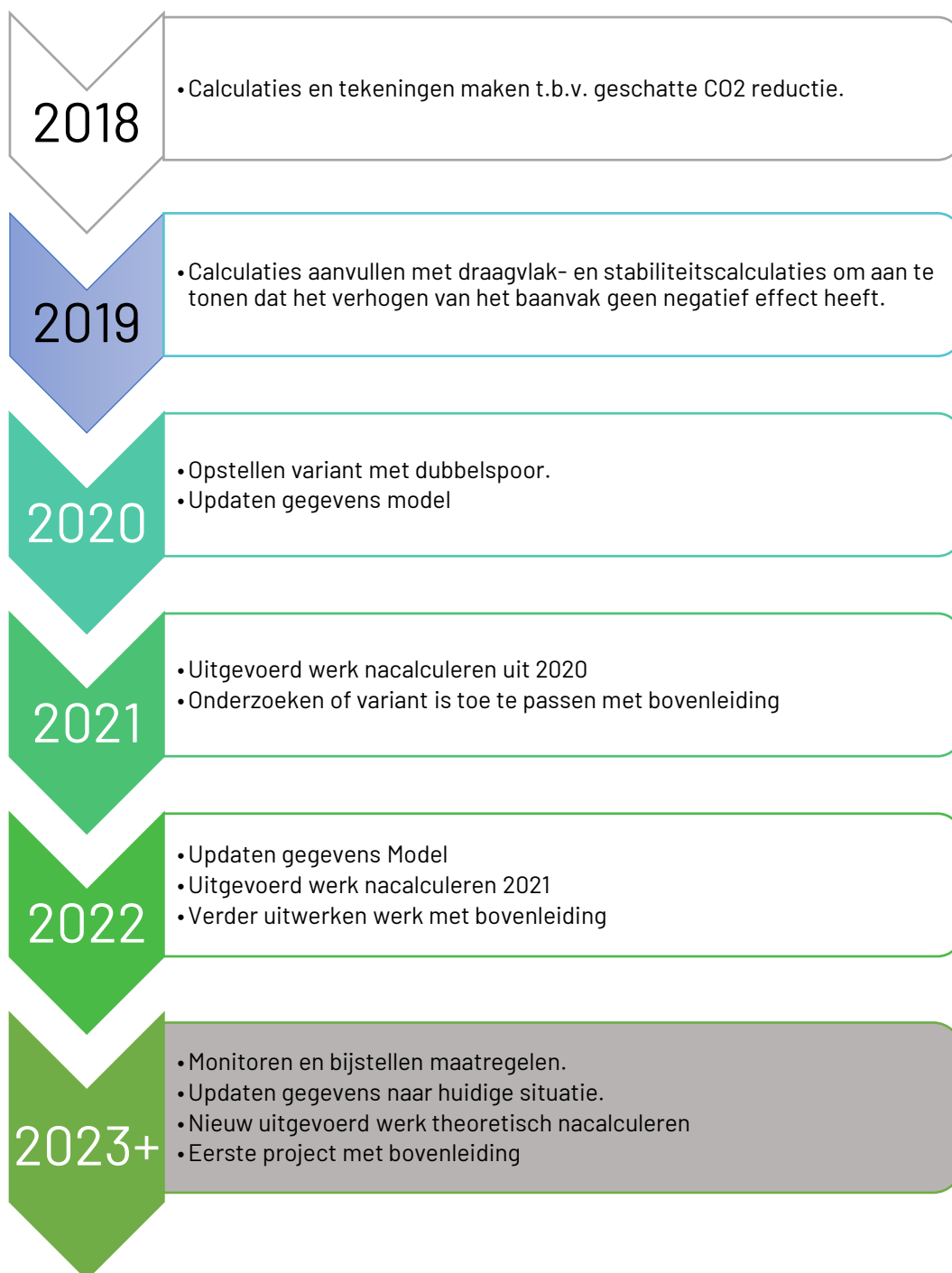
In 2022 is in BBV Noord 2022 ongeveer 10 km enkel spoor vernieuwd en hoger weggelegd. Dit heeft geresulteerd in een reductie van 100 ton CO<sub>2</sub>. Dit is ongeveer 3,5% van de totale doelstelling voor 2030.

In 2023 is in BBV Noord 2023 ongeveer 15 km enkel spoor vernieuwd en hoger weggelegd. Dit heeft geresulteerd in een reductie van 150 ton CO<sub>2</sub>. Dit is ongeveer 5% van de totale doelstelling voor 2030. Dit is het eerste project waar grootschalig ook de bovenleiding geregeld is voor het verhogen van het ballast.

In totaal heeft ProRail 7000 km spoor in Nederland in beheer. Hiervan is slechts 3000 km geschikt om hoger weg te leggen, omdat dit niet naast vaste objecten zit. Iedere 30 jaar vernieuwen we de ballast. Als we op deze 3000 km per km 10 ton CO<sub>2</sub> kunnen besparen betekent dat we per jaar ongeveer  $(3000 \text{ km} / 30 \text{ jaar} \cdot 10 \text{ ton/km}) 1.000 \text{ ton}$  aan CO<sub>2</sub> kunnen besparen. Dit is per jaar 33% van de doelstellingen van ProRail voor 2030.



## 10.6. Planning



# 11 Literatuurlijst

- 4Infra. (2025). *Bijlage 1-Calculatie ballast vernieuwen v5.0*. Zwolle: 4Infra.
- Baas, d. (2019, Januari 22). Kenniswisseling CO2 uitstoot bewerking ballast. (K. d. Boer, Interviewer)
- Bijlage 1 4Infra. (2024). *Rapportage CO2 ladder 2024 -deel 2 v1.0*. Zwolle: 4Infra.
- G. Olde Monnikhof. (2018). *CO2-Besparingsplan 2018-2020, met doorkijk*. ProRail.
- Kwast, i. E. (2019). *Risicobeschouwing spoorbanen De Wadden*. 4Infra.
- Oosterhof Holman. (2019). *Ketenanalyse Asphalt*.
- ProRail. (2023). *RailMaps*. Opgehaald van RailMaps: <https://www.railmaps.nl/>
- SKAO. (2019). *Handboek CO2-prestatieladder 3.1*. SKAO.
- Stationsweb. (2023). *Stationsweb*. Opgehaald van Stationsweb: <https://www.stationsweb.nl/>
- Strukton. (2024). *SG - update ketenanalyse ballastmateriaal*. Utrecht .
- Vroonhof, S. i. (2017). *Ketenanalyse ballast materiaal*. Rail. Strukton Rail. Opgeroepen op December 2018
- Wikipedia. (2023). *Wikipedia*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/>

# Bijlagen

# Bijlage 1: Calculatie CO<sub>2</sub>-emissies

# Bijlage 2: Calculatie baanstabieliteit

# Bijlage 3: Presentatie ProRail ophogen spoor met bovenleiding