

April 2021

Effectenstudie

Bouwproject van "**Metro Noord**"

Perceel 2: Lijn Liedts-Bordet

BOEK VI – Koolstofbalans

Aanvrager :



Gemandateerd door :



Auteur van de studie :



In samenwerking met :



Inhoudstafel

1. ALGEMENE PRINCIPES VAN EEN KOOLSTOFBALANS	1
2. METHODOLOGIE	4
2.1. Inleiding	4
2.2. Doelstellingen	5
2.3. Analyse van bestaande instrumenten	6
2.3.1. Bilan Carbone van ADEME	6
2.3.2. CarbOptimum	7
2.3.3. Base Carbone	10
2.4. Perimeters van de studie	10
2.4.1. Analyse-assen	10
2.4.2. Organisatorische perimeter	11
2.4.3. Operationele perimeters	11
2.4.4. Temorele perimeter	16
2.5. Grenzen van de studie	18
3. REKENINSTRUMENT	20
3.1. Ontwikkeling van een instrument voor Metro Noord	20
3.2. Principe en structuur van het instrument	21
4. EVALUATIE VAN DE EMISSIES VAN HET PROJECT EN DE ALTERNATIEVEN	24
4.1. Analyse van het basisproject met één buis	24
4.1.1. Bouw van de infrastructuur	24
4.1.1.1. Onderverdeling in emissiebronnen	24
4.1.1.2. Berekening van de emissies	25
A. Energie (Mobiële verbrandingsbronnen)	25
B. Energie (Elektriciteitsverbruik)	34
C. Vluchtige emissies	37
D. Productiemiddelen	38
E. Afschrijvingen	49
F. Afvalbeheer	49
G. Inkomend vrachtvervoer	52
H. Uitgaand vrachtvervoer	62
I. Verplaatsingen	68
4.1.1.3. Samenvatting van de resultaten	70
A. Basisscenario	70
B. Gevoeligheidsstudie	74
C. Conclusies	77
4.1.2. Exploitatie van de lijn	77
4.1.2.1. Onderverdeling in emissiebronnen	77
4.1.2.2. Berekening van de emissies	79
A. In de fase Werking	79
B. In de fase Service en onderhoud	91
4.1.2.3. Samenvatting van de resultaten	96
4.2. Analyse van alternatieven	103
4.2.1. Alternatief met twee buizen	103
4.2.1.1. Belangrijke verschillen met het basisproject met één buis en algemene hypothesen	103
4.2.1.2. Bouw van de infrastructuur	105
A. Energie (Mobiële verbrandingsbronnen)	105
B. Energie (Elektriciteitsverbruik)	109
C. Vluchtige emissies	111
D. Productiemiddelen	111
E. Afschrijvingen	117
F. Afvalbeheer	117
G. Inkomend vrachtvervoer	120

H. Uitgaand vrachtvervoer	124
I. Verplaatsingen.....	126
J. Samenvatting van de resultaten	128
4.2.1.3. Exploitatie van de lijn.....	135
A. Energieverbruik van de stations.....	135
B. Conclusie.....	136
4.2.2. Alternatief Tram	136
4.2.2.1. Inleiding	136
4.2.2.2. Bestaande situatie	138
A. Werking van de lijn	138
B. Samenvatting	140
4.2.2.3. Alternatief 0.....	140
A. Werking van de lijn	140
B. Optimalisatie van de infrastructuur	141
C. Samenvatting	147
4.2.2.4. Alternatief 0+	148
A. Werking van de lijn	148
B. Optimalisatie van de infrastructuur	149
C. Samenvatting	152
4.2.2.5. Samenvatting van de resultaten – vergelijking van alternatieven	153
5. CONTEXTUALISERING VAN DE RESULTATEN	156
5.1. Koppeling aan mobiliteitsindicatoren	156
5.2. Evaluatie van een emissiefactor eigen aan de uitvoering van het project.....	157
6. ONDERVONDEN MOEILIKHEDEN	162
7. AANBEVELINGEN.....	164
7.1. Rekening houden met de koolstofbalans bij de keuze van andere materialen	164
7.2. Rekening houden met de mogelijkheden van herbestemming, hergebruik en recycleerbaarheid bij de keuze van materialen	164
7.3. Inachtneming van criteria inzake koolstofbalans in het bestek voor Werken	165
8. SAMENVATTENDE TABEL VAN AANBEVELINGEN	166
9. CONCLUSIES	167
10. REFERENTIES.....	177
10.1. Referentiekader	177
10.2. Publicaties.....	177
10.3. Artikels.....	178
10.4. Geraadpleegde websites.....	178

van dit document verschijnen in 't Frans gezien ze niet in 't Nederlands konden worden uitgegeven. De vertaling van de legendes van deze figuren, is beschikbaar in een bijlage aan het einde van dit verslag

1. Algemene principes van een koolstofbalans

De uitstoot van broeikasgassen¹ (BKG) is nog nooit zo hoog geweest en hun concentratie veroorzaakt een globale opwarming van de atmosfeer, met talloze gevolgen (het smelten van de ijskappen, stijging van de zeespiegel, hogere frequentie van natuurrampen, meer perioden van droogte en vermindering van watervoorraden, enz.).

Om de opwarming van de aarde tegen te gaan, zijn sinds de jaren negentig conventies over milieu en duurzame ontwikkeling georganiseerd om klimaatdoelstellingen vast te stellen met het oog op **de stabilisering van de BKG-concentraties in de atmosfeer**. Sinds het **Kyoto-protocol** van 1997 meten landen hun uitstoot van broeikasgassen, waardoor hun koolstofvoetafdruk berekend kan worden. Het protocol is een internationale overeenkomst die tot doel had de uitstoot van zes gassen en groepen gassen met een broeikaseffect te verminderen², gedurende twee verbintenisperiodes, waarvan de tweede eindigde in 2020.

Er zijn verschillende **Europese en nationale doelstellingen ter vermindering van de uitstoot** vastgesteld:

- Op Europees niveau: vermindering van de BKG-emissies van de Europese Unie met ten minste 40% tegen 2030 ten opzichte van 1990. In december 2020 hebben de staatshoofden en regeringsleiders van de Europese Unie besloten deze doelstelling te verhogen tot 55%³;
- Op Belgisch niveau: de doelstellingen voor 2030 op Europees niveau zijn verdeeld over de lidstaten en betekenen voor België een vermindering met minstens 35% tegen 2030 ten opzichte van 2005⁴, voor de niet-ETS-sectoren⁵;
- Op gewestelijk niveau: de regering van het Brussels Gewest heeft zich ertoe verbonden haar uitstoot van broeikasgassen tegen 2025 met 30% te verminderen ten opzichte van 1990. In haar Gewestelijke algemene beleidsverklaring voor de regeerperiode 2019-2024 heeft zij zich er ook toe verbonden de emissies in 2030 met ten minste 40% te verminderen ten opzichte van 2005⁶, voor de niet-ETS-sectoren, en de Europese doelstelling van koolstofneutraliteit tegen 2050 te benaderen.

De koolstofbalans is een **evaluatie van de hoeveelheid broeikasgassen** (BKG) die in de atmosfeer vrijkomen door de activiteiten van een organisatie, een bedrijf of een gebied. Met behulp van een rekeninstrument dat aan een specifieke methode is gekoppeld, kunnen deze emissies in de loop van de tijd, uitgedrukt in **tonnen CO₂-equivalent**, worden berekend.

¹ "Gasvormige bestanddelen van de atmosfeer, natuurlijk of antropogeen, die straling absorberen en uitzenden op specifieke golflengten in het infrarode stralingsspectrum die worden uitgezonden door het aardoppervlak, de atmosfeer en de wolken. Deze eigenschap veroorzaakt het broeikaseffect." [Bron: Bilan Carbone]

² Koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), distikstofoxide (N₂O), fluorkoolwaterstoffen (HFK's), geperfluoreerde verbindingen (PFK's), zwavelhexafluoride (SF₆)

³ Bron: Europese Raad: <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/climate-change/>

⁴ Bron: Nationaal Energie- en Klimaatplan (NEKP) 2021-2030

⁵ Voor de niet-ETS-sector, d.w.z. de sectoren die niet onder het communautaire systeem voor de handel in emissierechten vallen, d.w.z. transport, gebouwen, diensten, landbouw en afval.

⁶ Bron: Energie- en Klimaatplan 2030 van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (oktober 2019)

In het algemeen zijn de **doelstellingen die aanleiding geven tot de opstelling van een koolstofbalans** meervoudig:

- Een zicht krijgen op de BKG-emissies** van een project of van de activiteiten die door een bedrijf, een gebied, een stad worden ontwikkeld, door de bronnen die aan de oorsprong van deze emissies liggen te identificeren en te kwantificeren;
- Mogelijkheden nagaan om de emissies te verminderen en een actieplan opstellen;**
- Een hulpmiddel bij de besluitvorming voorstellen** betreffende de verschillende ontwerpkeuzen van een project (vergelijking tussen verschillende alternatieven);
- Een instrument voorstellen om de bewustwording te vergroten en de emissies van BKG te verminderen** door zich in het bijzonder te richten op bronnen met een hoge uitstoot;
- Vaststellen of een project of een bestaande activiteit deel uitmaakt van een langetermijnaanpak ter vermindering van de BKG-emissies** en ter bestrijding van de opwarming van de aarde;
- Onderzoek naar de kwetsbaarheid van een economische activiteit of een gemeenschap** en haar afhankelijkheid van fossiele brandstoffen;
- Anticiperen op toekomstige veranderingen** (regelgeving, belastingwijzigingen, milieucontext, enz.);
- ...

Het **berekeningsprincipe** bestaat erin een project, de activiteiten van een bedrijf, ... op te splitsen in een reeks **emissiebronnen** waarvoor de emissies in ton CO₂-equivalent worden geëvalueerd. Een emissiebron wordt bijvoorbeeld gedefinieerd zoals voorgesteld in de Bilan Carbone-methode (een methode die oorspronkelijk in Frankrijk namens ADEME is ontwikkeld, zie hieronder. Deze methode zal in de rest van deze studie worden aangeduid met de hoofdletter (**Bilan Carbone**)), namelijk dat zij overeenkomt met een "**fysische eenheid of een proces waarbij een BKG in de atmosfeer vrijkomt**". Bij uitbreiding zal een emissiebron ook overeenkomen met activiteiten, zoals bijvoorbeeld het gebruik van materialen of verplaatsingen. Voorts zal de term "emissiebron" hierna korthedshalve soms worden afgekort tot "bron".

In het geval van het project voor de Metro bijvoorbeeld, kunnen de bronnen bestaan uit:

- Het beton dat bij de bouw van de tunnel wordt gebruikt;
- De energie die verbruikt wordt voor de bouwwerf van een station;
- Het vrachtvervoer dat nodig is om materialen aan te voeren naar de werf van een station;
- De energie die verbruikt wordt voor de tractie van de metro's gedurende een jaar;
- De energie die verbruikt wordt voor de verlichting van een station.

De **totale balans** is uiteraard gelijk aan de **som van de emissies van alle bronnen samen**.

⁷ Bron: ABC (Association Bilan Carbone), Bilan Carbone (2017). Bilan Carbone V8. Doelstellingen en principes inzake opname

1. Algemene principes van een koolstofbalans

Voor een bepaalde bron zijn de emissies gelijk aan het product van een **activiteitsgegeven** (AG) en de bijbehorende **emissiefactor** (EF).

Een **activiteitsgegeven** wordt bijvoorbeeld gedefinieerd als "*een kwantitatieve maatstaf voor de activiteit die de uitstoot van broeikasgassen veroorzaakt*". Het kan hier, aan de hand van de voorgaande voorbeelden van bronnen, gaan om:

- De hoeveelheden beton die bij de bouw van de tunnel worden gebruikt;
- Het energieverbruik voor de bouw van een station;
- De tonkilometers met betrekking tot het vrachtvervoer dat nodig is om materialen aan te voeren naar de werf van een station;
- Het energieverbruik voor de tractie van de metro's gedurende een jaar;
- Het energieverbruik in verband met de verlichting van een station.

De **emissiefactor** wordt bijvoorbeeld gedefinieerd als de "*factor die activiteitsgegevens in verband brengt met de emissies of de beperking van broeikasgassen*".

Aan de hand van bovenstaande voorbeelden kunnen de overeenkomstige emissiefactoren als volgt worden uitgedrukt:

- Ton CO₂-equivalent per ton beton gebruikt bij de bouw van de tunnel;
- Ton CO₂-equivalent per kWh verbruikt voor de bouw van een station;
- Ton CO₂-equivalent per tonkilometer in verband met het vrachtvervoer dat nodig is om materialen aan te voeren naar de werf van een station;
- Ton CO₂-equivalent per kWh verbruikt voor de tractie van de metro's gedurende één jaar;
- Ton CO₂-equivalent per kWh verbruikt voor de verlichting van een station;

Emissies kunnen bestaan uit verschillende broeikasgassen, waaronder, naast CO₂, methaan (CH₄), distikstofoxide (N₂O), les fluorkoolwaterstoffen (HFK's), zwavelhexafluoride (SF₆), perfluorkoolwaterstoffen (PFK's), ... Om de emissies van verschillende gassen te kunnen vergelijken en een balans op te maken, moeten ze worden omgerekend in **ton CO₂-equivalent**. Deze omzetting bestaat uit de vermenigvuldiging van het product activiteitsgegeven x emissiefactor met het AOV⁸ (in het Engels, GWP: Global Warming Power) die overeenstemt met het betrokken gas.

In de rest van dit document worden emissies uitgedrukt in tonnen CO₂-equivalent.

In veel gevallen zullen bronnen worden gegroepeerd in **emissieposten**, gedefinieerd als "**BKG-emissies van homogene bronnen of soorten bronnen**"⁹. Het kan bijvoorbeeld gaan om productiemiddelen, vrachtvervoer, verplaatsingen (zie hieronder). Net als bij bronnen, zal de term "emissiepost" hierna in het document korthedshalve worden afgekort tot "post".

⁸ Aardopwarmingsvermogen: "*Een term die wordt gebruikt om de relatieve sterkte van een broeikasgas (BKG) te beschrijven, rekening houdend met de duur dat het actief blijft in de atmosfeer.*

Het aardopwarmingsvermogen dat momenteel wordt gebruikt, is berekend over een periode van 100 jaar. Koolstofdioxide wordt als referentiegas beschouwd en krijgt een AOV van 1 voor 100 jaar. [Bron: Eurostat]

⁹ Bron: ABC (Association Bilan Carbone), Bilan Carbone (2017). Bilan Carbone V8. Doelstellingen en principes inzake opname

2. Methodologie

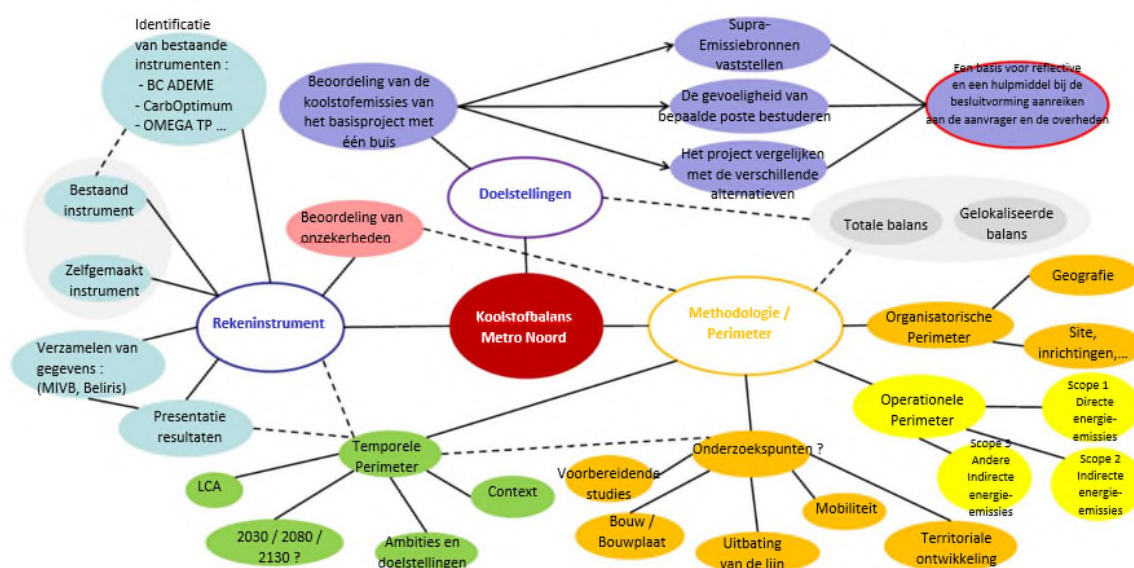
2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de methodologie voorgesteld die in het kader van deze koolstofbalans wordt aangenomen.

Deze methodologie en de gestelde hypothesen werden gedurende de hele studie gevalideerd door het Begeleidingscomité van de effectenstudie van het Metro Noord-project.

De methodologie is in fasen opgebouwd en wordt ondersteund door verschillende overwegingen. De **mindmap** hieronder toont de parameters die van invloed zijn op de gemaakte keuzes en geeft een algemeen beeld van alle kwesties die verband houden met de koolstofbalans.

De **doelstellingen**, de **analyse van de rekeninstrumenten** en de **studieperimeters**, aangegeven door de witte ballonnen, zijn de drie belangrijkste onderling afhankelijke aspecten waarop de aanpak is ontwikkeld.



Figuur 1: Mindmap van de methodologie van de koolstofbalans (ARIES, 2021)

In de volgende punten wordt elk van deze drie aspecten nader uitgewerkt. In een laatste punt worden de beperkingen van de studie besproken.

Tijdens de gehele studie ging het proces vergezeld van stappen om **projectspecifieke gegevens** te verzamelen of, bij gebrek aan informatie, realistische **hypothesen** te stellen. Deze stappen werden ondernomen in partnerschap met de aanvrager (Beliris), de exploitant (MIVB) en het studiebureau dat het project ontwikkelt (Brussel Metro Noord, kortweg BMN).

2.2. Doelstellingen

Om de perimeters en de emissiebronnen waarmee rekening moet worden gehouden in de koolstofbalans van het Metro Noord-project correct te definiëren, moeten eerst de doelstellingen van deze balans worden bepaald. De vraag die hier moet worden beantwoord is "**Wat is het resultaat dan men wenst te presenteren en wat kan het bijdragen aan de effectenstudie?**"

De eerste doelstelling van de koolstofbalans is het **evalueren van de emissies van het basisproject met één buis**. Er wordt een lijst opgesteld van de verschillende emissiebronnen, waarbij in eerste instantie volledigheid wordt nagestreefd door ze in hun totaliteit in aanmerking te nemen. Vervolgens worden sommige daarvan verwaarloosd, vooral gezien hun relatieve belang ten opzichte van andere.

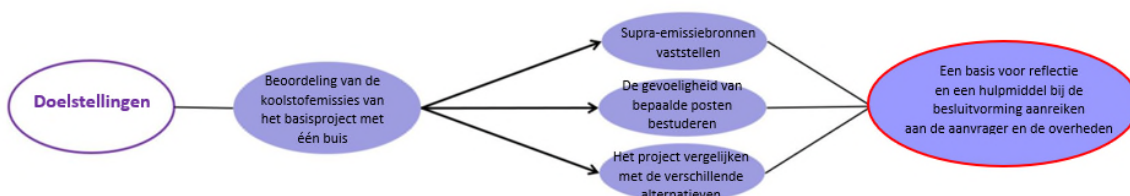
Uit deze basisdoelstelling vloeien **3 doelstellingen** voort die naast elkaar beschouwd kunnen worden:

- **Het identificeren van "supra-uitstotende" bronnen**, gedefinieerd als bronnen die de grootste hoeveelheden BKG uitstoten in verhouding tot de globaliteit;
- **Onderzoek naar de gevoeligheid van bepaalde posten** voor de variatie van bepaalde onderdelen van het project (betonsamenstelling en wijze van vrachtvervoer);
- **Het project vergelijken met de verschillende alternatieven** (alternatief met twee buizen en "tram"-alternatieven (alternatieven 0 en 0+)).

De **uiteindelijke doelstelling** bestaat erin **een basis voor reflectie en een hulpmiddel bij de besluitvorming aan te reiken aan de aanvrager en de overheden**.

De bedoeling is ook om **het project in te passen in de actuele problemen en de context van het Brusselse Gewest**. De uitvoering van een complete koolstofbalans maakt deze contextualisering mogelijk.

Het onderstaande uittreksel uit de mindmap illustreert het verband tussen deze verschillende doelstellingen.



Figuur 2: "Stroom" van doelstellingen - uittreksel uit Figuur 1 'Mindmap van de methodologie van de koolstofbalans' (ARIES, 2020)

2.3. Analyse van bestaande instrumenten

In een voorbereidende fase wordt de **stand van zaken** wat betreft de koolstofbalans **onderzocht**, zowel in het algemeen als in het geval van een specifieke transportinfrastructuur.

Deze analyse vormde de basis voor de aanpak en de verschillende aspecten die hierboven zijn genoemd en in de volgende punten worden uitgewerkt: het bepalen van de **methodologie** die in het kader van het Metro Noord-project moet worden toegepast, de vaststelling van de **perimeters** van de studie, het bepalen van de **soorten posten en bronnen** waarmee rekening moet worden gehouden, de **indeling van deze posten en bronnen**, enz.

Bij de analyse is ook de in de studie gebruikte **terminologie** vastgesteld en werden de **emissiefactoren** bepaald.

2.3.1. Bilan Carbone van ADEME

De Bilan Carbone-methode is oorspronkelijk ontwikkeld voor ADEME ('Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie' - Frans agentschap voor milieu en energiebeheer) door Jean-Marc Jancovici.

De methode stelt voor om "*voor organisaties [met name bedrijven, overheidsinstellingen en de staat] en voor gebieden [...] een **aanpak vast te stellen en toe te passen voor vooruitgang op het gebied van BKG, voor de evaluatie en de vermindering van BKG** [...]*"¹⁰. Bij de toepassing van deze methode wordt gebruik gemaakt van spreadsheets in Excel-formaat om de berekeningen uit te voeren.

Dit instrument is voortdurend in verandering en wordt sinds 2011 ontwikkeld door de Association Bilan Carbone (ABC). De nieuwste versie is versie 8, beschikbaar sinds 2017.

Het doel van het instrument, dat bedoeld is voor organisaties, is hun jaarlijkse BKG-emissies te evalueren (bv. een bedrijf). Het instrument is bedoeld om van jaar tot jaar te worden gebruikt om evoluties in de loop van de tijd te observeren en te vergelijken, en is bedoeld om organisaties te ondersteunen bij hun inspanningen om hun BKG-emissies te verminderen.

Voor de toegepaste methodologie moeten verschillende **analyseperimeters** worden vastgesteld:

- De **organisatorische perimeter**: wat zijn de **faciliteiten** (gebouwen, industriële faciliteiten, enz.) waarop de koolstofbalans betrekking heeft?
- De **operationele perimeter**: wat zijn de **bronnen** van BKG waarmee rekening moet worden gehouden in de vooraf bepaalde organisatorische perimeter?
- De **temporele perimeter**: over welke **periode** moeten de BKG-emissies worden berekend?

¹⁰ Bron: ABC (Association Bilan Carbone), Bilan Carbone (2017). *Bilan Carbone V8. Doelstellingen en principes inzake opname*

De spreadsheets van het instrument zijn gestructureerd in verschillende tabbladen, die overeenkomen met verschillende **posten**, namelijk: Energie, Niet-energie, Productiemiddelen, Toekomstige verpakking, Vrachtvervoer, Verplaatsingen, Direct afval, Stilstanden, Gebruik, Einde levensduur. Op elk tabblad kan de gebruiker gegevens invoeren met betrekking tot de betrokken bronnen, en de overeenkomstige emissies in CO₂-equivalent berekenen, met behulp van door de gebruiker ingevoerde activiteitsgegevens en emissiefactoren uit een databank die in een ander tabblad van het instrument is opgenomen.

De ingevoerde **activiteitsgegevens** zijn afkomstig van informatie waarover de onderneming beschikt:

- Hetzij direct exploiteerbaar zonder verwerking: bijvoorbeeld energieverbruik afgeleid uit energiefacturen;
- Of gegevens die verwerkt moeten worden: bv. afgelegde afstanden, vervoerde tonnages, ...

Deze methode wordt door de MIVB gebruikt om de jaarlijkse koolstofbalans van haar organisatie te bepalen (verplaatsingen van werknemers, verbruik van voorraden, ...).

In het kader van de koolstofbalans die voor de Metro Noord is uitgevoerd, heeft de analyse van deze methode het mogelijk gemaakt om:

- De aanpak te structureren**, met name door het bepalen van:
 - de verschillende potentiële analyseperimeters;
 - de posten en bronnen om in aanmerking te nemen;
- De te gebruiken **woordenschat vast te stellen** op basis van de in de methode gebruikte terminologie.

2.3.2. CarbOptimum

CarbOptimum is een instrument dat door de Société du Grand Paris is ontwikkeld om de **koolstofvoetafdruk** te ramen van de **toekomstige uitbreiding van de metro in de Parijse regio**, die deel uitmaakt van het Grand Paris Express-project.

Het instrument stelt voor om de BKG-emissies te berekenen die door het project in alle fasen - van ontwerp tot exploitatie - worden veroorzaakt, om mogelijkheden vast te stellen om deze emissies te verminderen en **het globale effect** van het project op de klimaatverandering te beoordelen¹¹. Bij de toepassing van deze methode wordt gebruik gemaakt van spreadsheets in Excel om de berekeningen uit te voeren.

Het instrument CarbOptimum werd ontwikkeld omdat er destijds geen methodologische aanpak bestond om **een groot infrastructuurproject te bestuderen** en **na verloop van tijd te evalueren**. De Bilan Carbone-methode van ADEME is namelijk niet ontworpen voor de bouw

¹¹ Bron: Société du Grand Paris (2012). *Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique – Tronçon Pont-de-Sèvres <> Noisy-Champs (ligne rouge – 15 sud) – Etude d'impact - Méthodologie d'élaboration de CarbOptimum, outil de calcul pour l'estimation des émissions et consommations de CO₂ induites par la réalisation du Réseau de transport public du Grand Paris*

van infrastructuur en integreert de notie tijd niet in zijn methodologie en Excel-instrument, maar stelt in plaats daarvan voor een jaarlijkse evaluatie uit te voeren.

Grand Paris Express is een "project voor een openbaar vervoernetwerk dat bestaat uit de aanleg van een nieuwe 200 km lange automatische metro, met 68 stations en 7 technische centra die verbonden zijn met de verschillende lijnen¹²". Hoewel de Grand Paris Express qua schaal veel groter is dan de Metro Noord, hebben de projecten toch een aantal punten gemeen: bouw van stations en tunnels, exploitatie van metrolijnen, ... Derhalve is de analyse van deze methodologie relevant.

De methodologie is gebaseerd op uitgebreid onderzoek naar bestaande instrumenten die erop gericht zijn de berekening van BKG-emissies aan te passen aan de context van het project Grand Paris Express. Ze bevat namelijk de belangrijkste principes en woordenschat die in de Bilan Carbone-methode van ADEME worden gebruikt.

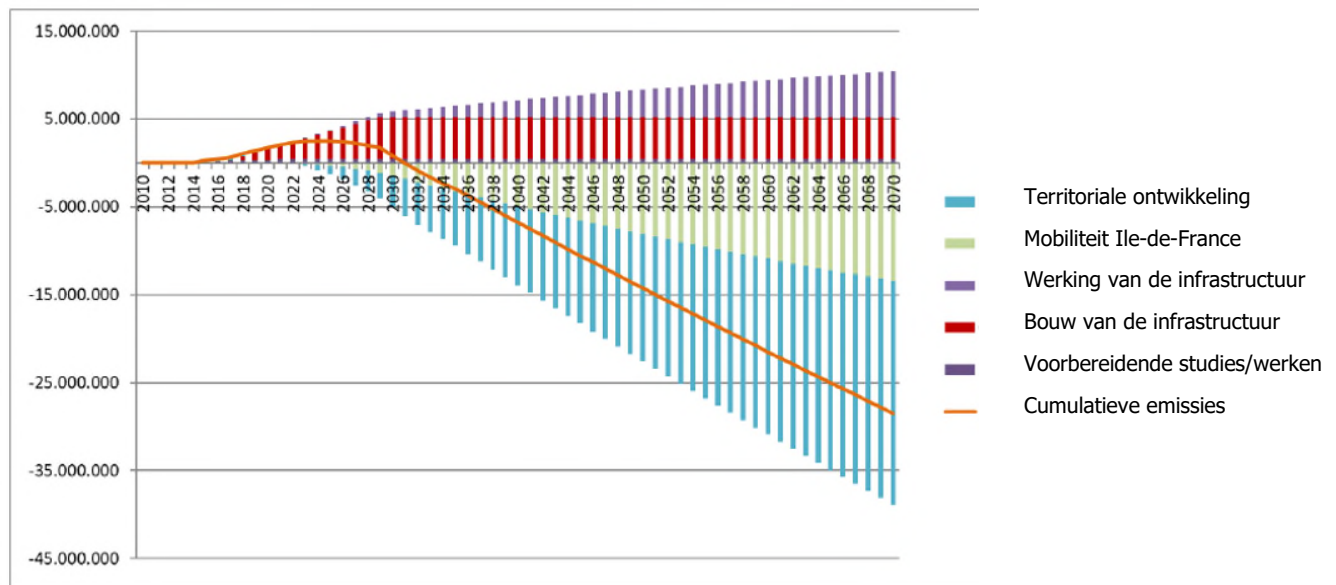
De berekeningsmethode van het instrument is gestructureerd in verschillende tabbladen, die overeenkomen met de **5 analyse-assen** die in de methodologie afzonderlijk zijn ontwikkeld:

- **As Studies en werk voorafgaand aan de bouw:** betreft de emissies in verband met de talrijke voorbereidende raadplegingen en studies voor de projecten (effectenstudies, geotechnische studies, openbare debatten en enquêtes, enz.), en meer in het bijzonder de emissies gerelateerd aan het bureauwerk;
- **As Bouw van infrastructuur:** betreft de emissies in verband met de werven en de productie, het transport en het gebruik van bouwmaterialen;
- **As Werking van de lijn:** betreft emissies die hoofdzakelijk verband houden met het energieverbruik in de stations en de stelplaatsen, de tractie van de metrostellen, alsook de emissies die worden veroorzaakt door het beheer, het service en onderhoud van de volledige lijn en infrastructuur;
- **As Mobiliteit:** betreft de emissies die worden vermeden dankzij de modal shift van personenwagens naar het openbaar vervoer, die moet leiden tot een vermindering van de afstand die met dit soort voertuigen wordt afgelegd;
- **As Territoriale ontwikkeling:** stelt hypothesen met betrekking tot de te verwachten bevolkingstoename en de werkgelegenheid die voortvloeit uit de uitbreiding van het netwerk van Grand Paris, omdat het vastgoedpark kan ontwikkelen met een nieuw aanbod van woningen en tertiaire gebouwen rond Parijs.

Elke analyse-as is gebaseerd op een specifiek tijdschema dat kan worden aangepast naar gelang van de nagestreefde doelstellingen.

Het instrument stelt vervolgens een tabblad "resultatenanalyse" voor dat de resultaten van de verschillende assen ontwikkelt en alle door het project veroorzaakte en vermeden emissies voor elke as in de vorm van grafieken weergeeft, als functie van de tijd.

¹² Bron: Stratec (2018). *Grand Paris Express – Bilan des émissions de gaz à effet de serre du Grand Paris Express (mise à jour 2018) – Impacts attendus sur les émissions de GES*



Figuur 3: Voorbeeld van een grafiek uit het tabblad "Analyse van de resultaten" met de balans van BKG-emissies gelieerd aan het project Grand Paris Express doorheen de tijd (Société du Grand Paris, 2018)

De eerste resultaten werden bekomen in 2012 en in 2018 bijgewerkt. De gebruikte hypothesen zijn in de loop van de tijd geëvolueerd en hebben het mogelijk gemaakt de resultaten enkele jaren later bij te werken.

Alleen de methodologie van het instrument wordt gedeeld. Er is geen definitieve versie beschikbaar buiten het project. Daarom was ons onderzoek uitsluitend gericht op de exploitatie van de methodologie.

In het kader van de koolstofbalans die voor de Metro Noord is uitgevoerd, heeft de analyse van deze methode het mogelijk gemaakt om:

- **De aanpak te structureren**, met name door het bepalen van:
 - de **analyse-assen**, met inachtneming van de bouw van de infrastructuur voor metro's;
 - de **posten** en **bronnen**, en enkele **emissiefactoren** waarmee in het kader van het project rekening moet worden gehouden;
- **Inspiratie te putten uit de methodologie** om die van het Metro Noord-project te ontwikkelen.

In tegenstelling tot de methodologie van Bilan Carbone van ADEME, die een groot deel van haar berekeningen baseert op de controle van activiteitsgegevens door middel van de recuperatie van facturen of andere bewijzen van werkelijk energieverbruik, analyseert CarbOptimum het effect van een toekomstig project en baseert zij haar methodologie daarom op een anticipatie van de teweeggebrachte of vermeden emissies van geselecteerde hypothesen.

2.3.3. Base Carbone

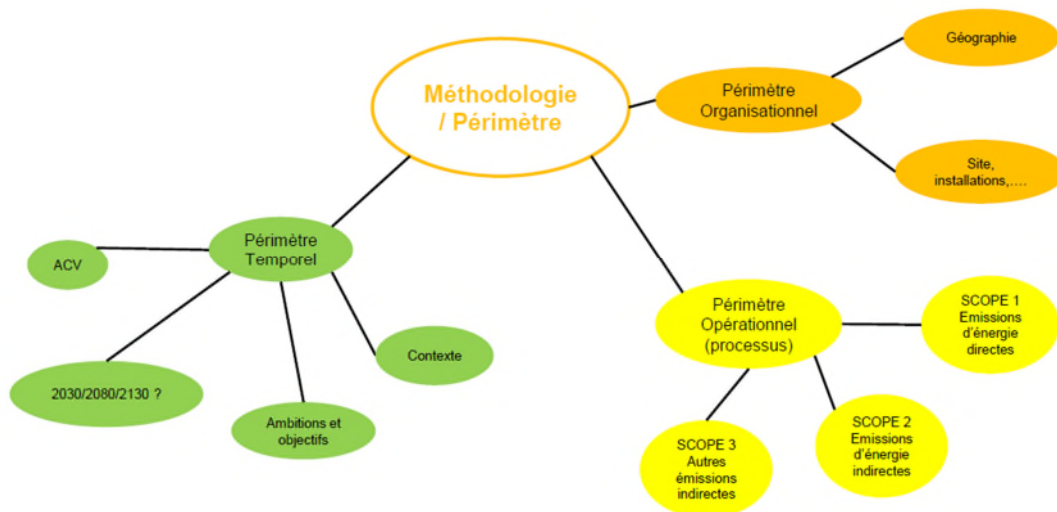
De Base Carbone is een **online databank van emissiefactoren** die wordt beheerd door ADEME. Het is een gecentraliseerde gegevensbron, opgezet met het oog op de homogenisering van de gegevens. Ze bevat bijna 5000 gevalideerde emissiefactoren en wordt voortdurend bijgewerkt. De totstandkoming van de gegevens wordt gedocumenteerd.

De Base Carbone is gestructureerd volgens de 3 scopes en de posten die zijn gedefinieerd in de Bilan Carbone-methode (zie hieronder).

Het instrument kan door iedereen gratis worden geraadpleegd en kan door derden worden aangevuld, na evaluatie en validering van de voorgestelde gegevens.

2.4. Perimeters van de studie

De vragen die hier beantwoord moeten worden, zijn: Welke soorten emissies moeten worden opgenomen? Welke onderdelen van het project moeten in aanmerking worden genomen?



Figuur 4: Uittreksel uit Figuur 1 'Mindmap van de methodologie van de koolstofbalans' (ARIES, 2020)

2.4.1. Analyse-assen

De analyse-assen komen overeen met de verschillende onderdelen van de uitvoering van het project (voorbereidende fasen, werf, werking, enz.). De beoordeling van de koolstofbalans van het Metro Noord-project is gericht op twee analyse-assen:

- Bouw van de infrastructuur;
- Exploitatie van de lijn M3.

Naast de hieronder ontwikkelde analyseperimeters maken deze het mogelijk de reflectie te structureren en de verschillende posten en bronnen die bij de balans betrokken zijn vast te stellen.

De geëvalueerde emissies worden vervolgens in de Brusselse context geplaatst en gerelateerd aan verschillende mobiliteitsindicatoren.

2.4.2. Organisatorische perimeter

De **organisatorische perimeter** wordt gedefinieerd als de "*reeks locaties, faciliteiten en competenties die in de koolstofberekening van een organisatie in aanmerking worden genomen*"¹³. Zoals hierboven vermeld bij het voorstellen van de Bilan Carbone-methode, is de vraag die moet worden beantwoord: "Met welke faciliteiten wordt rekening gehouden in de koolstofbalans?"

In het geval van het Metro Noord-project komt de organisatorische perimeter overeen met de **tunnel**, de **7 stations**, de **schacht P0** en de **toegangshelling**, alsook met de **stelplaats**, zowel in de bouw- als in de exploitatiefase.

2.4.3. Operationele perimeters

De **operationele perimeter** "*komt overeen met alle emissies die door de activiteit [of het project] van de organisatie ontstaan en die worden opgenomen in de berekening (directe of indirecte emissies)*"¹⁴. Zoals hierboven vermeld, is de vraag die moet worden beantwoord: Wat zijn de bronnen van BKG waarmee rekening moet worden gehouden in de vooraf bepaalde organisatorische perimeter?

Directe BKG-emissies worden gedefinieerd als "*emissies uit vaste en mobiele BKG-bronnen die worden gecontroleerd door de rechtspersoon/organisatie*"¹⁵. In het geval van het Metro Noord-project gaat het bijvoorbeeld om directe emissies ten gevolge van bouwwerk van de infrastructuur of de exploitatie van de toekomstige lijn. Dit zijn voornamelijk emissies die het gevolg zijn van het verbruik van fossiele brandstoffen.

Indirecte BKG-emissies worden gedefinieerd als "*emissies van BKG die voortvloeien uit de activiteiten van de rechtspersoon/organisatie maar afkomstig zijn van bronnen van BKG die door andere entiteiten worden gecontroleerd*"¹⁶. In het geval van het Metro Noord-project gaat het bijvoorbeeld om emissies die het gevolg zijn van de uitvoering van het project, door het gebruik van materialen bij de bouw van de infrastructuur, het vrachtvervoer dat ontstaat voor de aanvoer naar de werf of het gebruik van metrostellen tijdens de exploitatie van de toekomstige lijn.

¹³ Bron: ABC (Association Bilan Carbone), Bilan Carbone (2017). Bilan Carbone V8. Doelstellingen en principes inzake opname

¹⁴ Ibid

¹⁵ Ibid

¹⁶ Ibid

Indirecte emissies worden vaak onderverdeeld in 2 families:

- **Indirecte BKG-emissies in verband met energie**, die overeenstemmen met het energieverbruik van elektriciteit¹⁷ of het verbruik van stoom, koude, warmte, van distributienetwerken;
- **Andere indirecte BKG-emissies**, die een breed scala van posten omvatten: gebruikte materialen, vrachtvervoer, verplaatsingen, afschrijvingen, enz.

In het jargon van de koolstofbalans:

- De term "**Scope 1**" omvat **directe** BKG-emissies;
- De term "**Scope 2**" omvat **indirecte emissies in verband met energie**;
- De term "**Scope 3**" omvat **andere indirecte emissies**.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de definitie van deze 3 scopes.

Scope 1	De som van de directe emissies door de verbranding van fossiele brandstoffen (aardolie, gas, steenkool, turf, enz.), de verbranding van brandstoffen, de emissies van industriële processen en vluchtige emissies (b.v. door lekkend gas van klimaatregelingssystemen).
Scope 2	De som van de indirecte emissies door het verbruik van elektriciteit, of het verbruik van stoom, koude of warmte via distributienetwerken.
Scope 3	Som van alle andere indirecte emissies: aankoop van materialen, afschrijvingen, verplaatsingen, verplaatsingen van werknemers, vrachtvervoer stroomopwaarts/stroomafwaarts, direct afval, enz.

Tabel 1: Definitie van de 3 scopes (ADEME en FNTF, 2015)

Deze 3 scopes **kunnen vervolgens worden onderverdeeld in verschillende posten**. De normen ISO 14064-1:2006 en ISO 14069:2013 stellen een onderverdeling in **23 posten** voor. Deze onderverdeling, die fijner is, komt niet overeen met die welke in de Excel-spreadsheets van de hierboven gepresenteerde Bilan Carbone-methode wordt gebruikt. Elk van deze 23 posten kan echter worden opgenomen in een van de posten van dit Excel-instrument.

¹⁷ De verbruikte elektriciteit (bv. op de werf of tijdens de exploitatie) wordt meestal niet ter plaatse, binnen de organisatorische perimeter, geproduceerd, maar geleverd door externe producenten (kerncentrales, hogesnelheidslijn, enz.). De overeenkomstige BKG-emissies hebben derhalve buiten de perimeter van het project plaats.

		Posten	Nr.
Scope 1	Directe emissies	Vaste verbrandingsbronnen	1
		Mobiele verbrandingsbronnen	2
		Niet-energetische processen	3
		Vluchtige emissies	4
		Landgebruik, verandering in landgebruik en bosbouw	5
Scope 2	Indirecte emissies in verband met energie	Elektriciteitsverbruik	6
		Verbruik van stoom, warmte of koude	7
Scope 3	Andere indirecte emissies	Via een fysiek netwerk ingevoerde verbruikte energie	8
		Aankoop van producten	9
		Immobilisatie	10
		Afval	11
		Goederenvervoer stroomopwaarts	12
		Professionele verplaatsingen	13
		Geleasde activa stroomopwaarts	14
		Investering	15
		Vervoer van klanten en bezoekers	16
		Goederenvervoer stroomafwaarts	17
		Gebruik van de verkochte producten	18
		Einde levensduur van verkochte producten	19
		Franchises stroomafwaarts	20
		Geleende activa stroomafwaarts	21
		Woon-werkverkeer van werknemers	22
Andere emissies die niet in de bovenstaande posten zijn	23		

Tabel 2: Overeenkomsten tussen scopes en posten (Bilan Carbone, 2017)

Deze posten zijn niet in hun totaliteit vertegenwoordigd in het Metro Noord-project. Wat de as "Bouw van de infrastructuren" betreft, wordt er in de *Guide sectoriel Travaux publics* van ADEME op gewezen dat de posten 3, 5, 14, 15, 18, 19, 20 en 21 in deze sector niet voorkomen, en dat post 16 te verwaarlozen is.

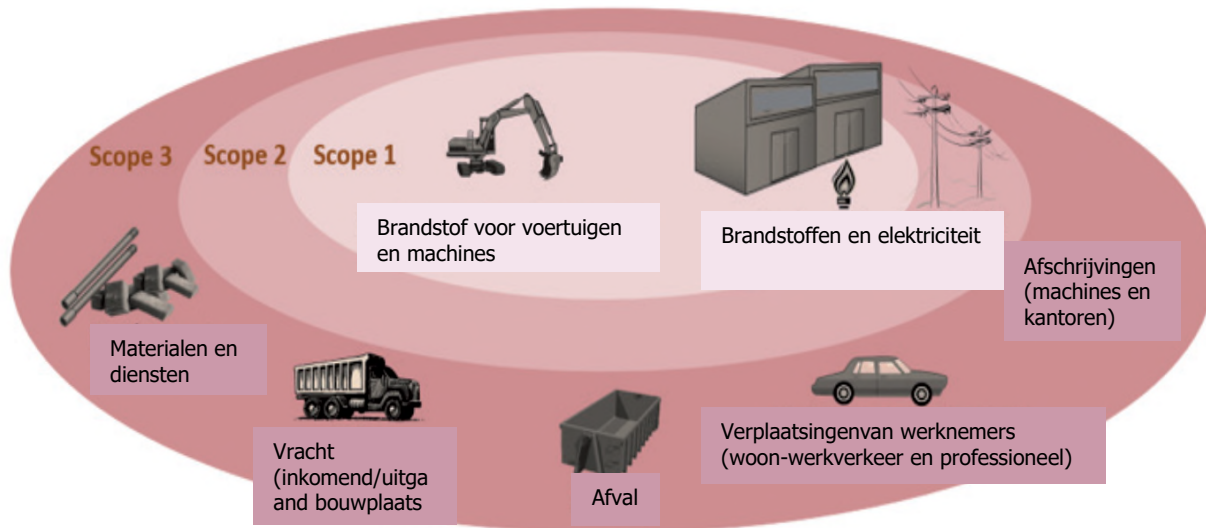
De belangrijkste posten worden hieronder toegelicht¹⁸:

- **SCOPE 1: Directe emissies:**
 - **Post 1: Directe emissies van vaste verbrandingsbronnen:** komen overeen met emissies van brandstofverbranding, binnen het project (ketels, generatoren, enz.)
 - **Post 2: Directe emissies van mobiele verbrandingsbronnen:** komen overeen met emissies van brandstofverbranding die plaatsvindt in voorzieningen, machines, rijdende voertuigen, binnen het project (motoren van voertuigen, van bouwmachines, enz.);

¹⁸ Aangepast op basis van de Bilan Carbone-methode

- **Post 4: Directe vluchtige emissies:** komen overeen met de uitstoot van BKG uit diverse bronnen (bv. koelmiddelen);
- **SCOPE 2: Indirecte emissies:**
 - **Post 6: Indirecte emissies in verband met elektriciteitsverbruik:** omvatten ook de productie en het transport van elektriciteit;
- **SCOPE 3: Andere indirecte emissies:**
 - **Post 9: Aankopen van producten en diensten:** komen met name overeen met de emissies die verband houden met de vervaardiging van goederen die binnen het project worden verbruikt (winning van grondstoffen, verwerking, vervoer tussen verwerkingsstadia, verwerking van afvalstoffen);
 - **Post 10: Kapitaalgoederen:** komen overeen met de emissies die verband houden met de productie van goederen die voor de uitvoering van het project worden gebruikt (bouwmachines, metrostellen, enz.);
 - **Post 11: Voortgebracht afval:** komt overeen met emissies die verband houden met de verwerking van afval;
 - **Post 12: Goederenvervoer stroomopwaarts:** komt overeen met emissies die verband houden met stroomopwaarts vrachtvervoer en houdt rekening met de energie die nodig is om de goederen te vervoeren en het rollend materieel te vervaardigen;
 - **Post 17: Goederenvervoer stroomafwaarts:** komt overeen met de emissies die verband houden met stroomafwaarts vrachtvervoer en houdt rekening met de energie die nodig is om de goederen te vervoeren en het rollend materieel te vervaardigen;
 - **Post 22: Woon-werkverkeer:** komt overeen met de emissies die verband houden met de verplaatsingen van werknemers en arbeiders naar hun werk en houdt rekening met de energie die nodig is voor het vervaardigen van rollend materieel en voor het vervoer.

In bovenstaand schema zijn de belangrijkste posten en hun verdeling binnen de 3 scopes weergegeven, in het geval van een aanneming voor openbare werken.



Figuur 5: Scopes en belangrijkste posten (ADEME, 2015)

Voor meer duidelijkheid zal in de rest van dit verslag naar de posten worden verwezen met de in onderstaande tabel vermelde nomenclatuur. Deze is voor bepaalde posten gebaseerd op de benamingen van de *Guide sectoriel Travaux publics* van ADEME of de spreadsheets van de Bilan Carbone-methode.

De resultaten worden soms ook gepresenteerd voor groepen van posten, zoals aangegeven in de laatste kolom van de tabel.

Nr.	Posten	Gebruikte benaming	Groep
1	Vaste verbrandingsbronnen		Energie
2	Mobiele verbrandingsbronnen	Energie (Mobiele verbrandingsbronnen)	
6	Elektriciteitsverbruik	Elektriciteitsverbruik	
4	Vluchtige emissies	Vluchtige emissies	Niet-energie
9	Aankopen van producten	Productiemiddelen	Productiemiddelen
10	Kapitaalgoederen	Afschrijvingen	Afschrijvingen
11	Voortgebracht afval	Voortgebracht afval	Afval
12	Goederenvervoer stroomopwaarts	Inkomend vrachtovervoer	Vrachtovervoer
17	Goederenvervoer stroomafwaarts	Uitgaand vrachtovervoer	
22	Woon-werkverkeer	Woon-werkverkeer	Verplaatsingen

Tabel 3: Nomenclatuur van de posten in de koolstofbalans van Metro Noord (ARIES, 2020)

Zoals eerder vermeld, verzamelt elk van deze posten een reeks bronnen.

2.4.4. Temorele perimeter

De **temporele perimeter** is de periode waarover de koolstofbalans wordt berekend.

In het geval van aannemingen bedraagt deze periode doorgaans één jaar. De balans wordt dan elk jaar geëvalueerd om de evolutie van de emissies te analyseren en mogelijke punten van verbetering te bepalen.

Voor een infrastructuurproject, zoals dat van Metro Noord, is de analyse vooral gericht op de duur van de aanleg en eventueel de duur van de exploitatie en zelfs van de ontmanteling. In dit geval zal de koolstofbalans worden gebruikt als een hulpmiddel bij de besluitvorming.

De levensduur van een grote transportinfrastructuur zoals een metro bedraagt meer dan 50 jaar, tot zelfs 100 jaar. Uitgaande van een **ingebruikneming van de lijn in 2030** is het realistisch om een levensduur tot 2130 te overwegen. Het lijkt echter moeilijk te voorspellen wat de aard en de omvang zullen zijn van de emissies die tegen 2130 zullen worden teweeggebracht en vermeden.

Vanwege deze onzekerheden, die toenemen met het tijdsbestek, en de moeilijkheid om plausibele hypothesen te stellen op schaal van een eeuw, werd besloten te werken met een periode van 50 jaar (d.w.z. tot 2080).

De **gekozen temporele perimeter van de studie is derhalve 50 jaar**.

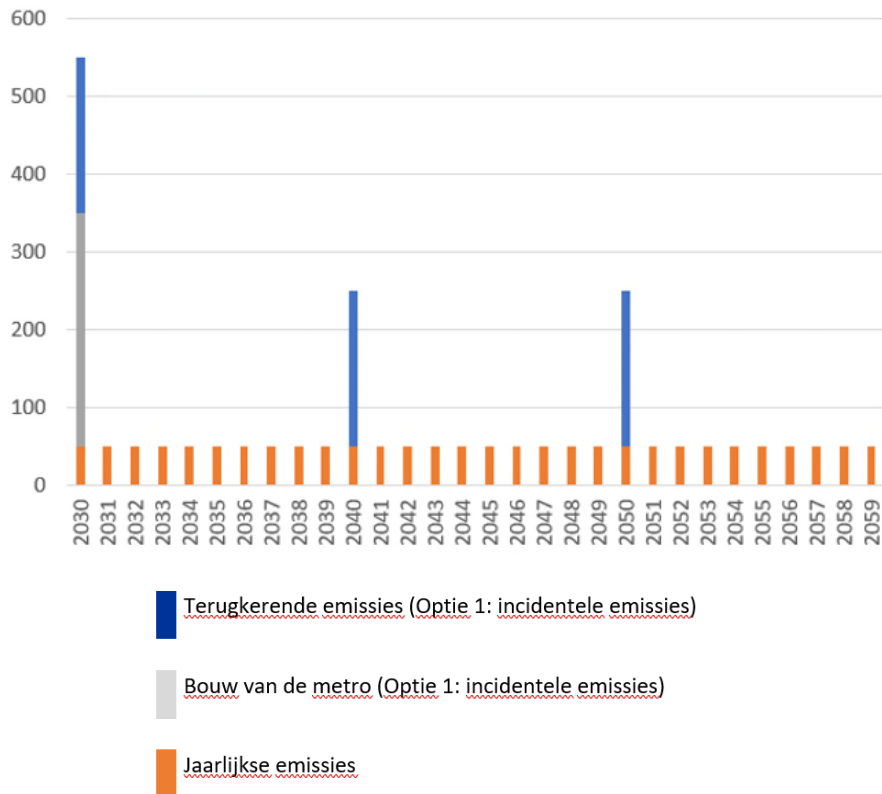
Ervan uitgaande dat de lijn in de loop 2030 in gebruik wordt genomen, is het zeer waarschijnlijk dat dit niet precies op 1 januari zal zijn, maar op een ander tijdstip. Wanneer in de rest van het verslag (zowel in de grafieken als in de hoofdtekst of de tabellen) een jaartal wordt vermeld, zal dit volgens de notatieafspraken dan ook overeenkomen met de periode van één jaar vanaf de verjaardag van deze ingebruikneming en niet met het kalenderjaar¹⁹.

Gedurende deze periode worden veroorzaakte en vermeden emissies vermeld met verschillende tijdsbestekken. Worden vermeld:

- **Jaarlijkse emissies**, die elk jaar tot 2080 worden berekend. Sommige daarvan zullen constant blijven, terwijl andere in de loop van de tijd zullen veranderen;
- **"Eenmalige" incidentele emissies**, die slechts één keer zullen voorkomen tijdens de levensduur van de infrastructuur. Dit zijn voornamelijk emissies die verband houden met de bouw van de infrastructuren van het project.
- **"Terugkerende" incidentele emissies**, die zullen bestaan uit emissies die zich zelden herhalen. De emissies, bijvoorbeeld, die gepaard gaan met het vernieuwen van de rails om de 15 jaar.
- **Afschrijvingen**, waarbij het gaat om jaarlijkse emissies gedefinieerd over een bepaalde levensduur.

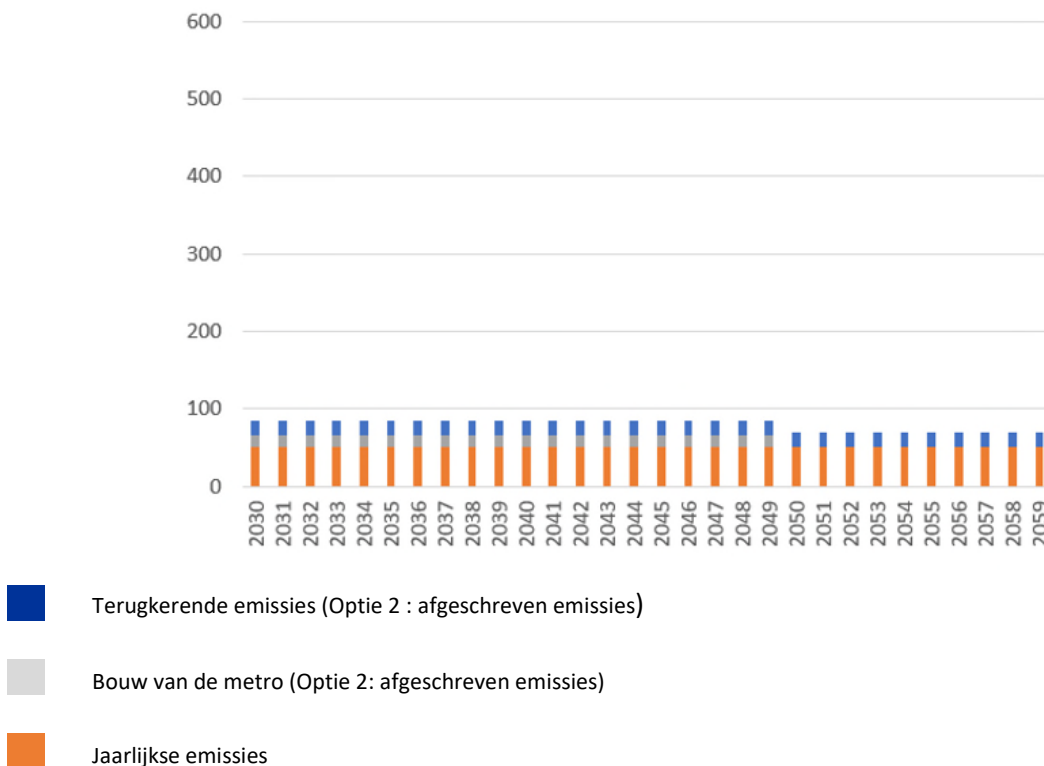
Er zijn twee manieren om de resultaten van deze emissies te presenteren, zoals geïllustreerd in de twee onderstaande theoretische grafieken. De eerste is om de emissies te presenteren **op het moment dat ze ontstaan**. Dit geeft een **getrouw beeld van de milieueffecten van de bouw van een infrastructuur en de exploitatie ervan in de loop van de tijd**.

¹⁹ Indien de inbedrijfstelling bijvoorbeeld plaatsvindt op 16 januari, zal de vermelding van het jaar 2045 betrekking hebben op de periode van 16 januari 2045 tot 15 januari 2046.



Figuur 6: Theoretische grafiek van de evolutie van de emissies – "reële effecten" (ARIES, 2020)

Het is ook mogelijk de resultaten te presenteren door alle incidentele emissies over meerdere jaren af te schrijven. Dit maakt het mogelijk de door het project ontstane **emissies in hun totaliteit** op jaarbasis te illustreren en contextualiseren, bijvoorbeeld op gewestelijk niveau. Het Metro Noord-project kan dan worden vergeleken met de belangrijkste problemen van het Brussels Gewest en het land op het vlak van BKG-emissies.



Figuur 7: Theoretische grafiek van de evolutie van de emissies – "afgeschreven emissies" (ARIES, 2020)

Afhankelijk van de vastgestelde conclusies en doelstellingen zullen deze twee presentatietypes worden voorgesteld om de verschillende problemen van het project zo goed mogelijk te vertalen.

2.5. Grenzen van de studie

Emissies die verband houden met voorbereidende studies, die als marginaal worden beschouwd in verhouding tot het project in zijn geheel, worden in het kader van deze koolstofbalans niet geëvalueerd.

De modal shift naar de metro wordt niet geëvalueerd, aangezien de metro, zoals elke andere transportinfrastructuur, op zichzelf geen hefboom vormt voor actie die een modal shift teweegbrengt. Deze wordt alleen teweeggebracht aan de hand van alle beleidslijnen op vlak van mobiliteit die op een gecoördineerde manier worden vastgesteld. Het isoleren van één enkele infrastructuur in deze beschouwing is derhalve niet relevant. Dergelijke modal shift is bovendien niet kwantificeerbaar.

De omvang van deze modal shift zal immers afhangen van een reeks mobiliteitsmaatregelen die op nationaal, gewestelijk of meer lokaal niveau in het noordoostelijk kwadrant van het gewest worden genomen. Deze elementen worden nader omschreven in het hoofdstuk over de mobiliteitseffecten op macroniveau (zie het boek "Tunnel").

Ook de effecten van de territoriale ontwikkeling komen niet aan bod. In tegenstelling tot andere projecten voor de aanleg of uitbreiding van infrastructuur voor het openbaar vervoer, die soms kunnen leiden tot de verdichting van stadskernen of nieuwe verstedelijking, zal het toekomstige traject Liedts-Bordet worden aangelegd in een context die reeds grotendeels verstedelijkt is en waarvoor betrekkelijk weinig speelruimte bestaat wat vastgoedontwikkeling betreft.

Om deze redenen, en in overleg met het Begeleidingscomité, spitsen wij de studie van de koolstofbalans toe op de bouw en de exploitatie van de infrastructuur zoals voorgesteld in de vergunningsaanvraag, alsook op de alternatieven die in het bestek zijn opgenomen.

3. Rekeninstrument

3.1. Ontwikkeling van een instrument voor Metro Noord

Na analyse van de bestaande instrumenten blijkt dat deze niet direct zijn afgestemd op het Metro Noord-project en dat er een specifiek instrument moet worden ontwikkeld.

Een van de redenen hiervoor is de wens om het **beheer onder controle te houden van de talrijke gemanipuleerde gegevens en uit te voeren berekeningen**. Het opstellen van de koolstofbalans van het Metro Noord-project vereist, gezien de omvang ervan, de bepaling van een groot aantal activiteitsgegevens, waarvoor stroomopwaarts tal van operaties moeten worden verricht.

Dit vereist een **structurering van het rekeninstrument die aangepast is aan het project**, te meer daar het bestaat uit "deelprojecten" (tunnel, stations, P0-schacht en toegangshelling, stelplaats, enz.), die in het geval van de stations verder kunnen worden opgesplitst in 7 onderdelen. Dit instrument maakt het ook mogelijk rekening te houden met de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief met twee buizen van het project, dat ook is bestudeerd in het kader van deze koolstofbalans.

Vanuit dit oogpunt lijkt het essentieel om **alle berekeningen in één enkel bestand te centraliseren**, om het risico te vermijden op fouten die inherent zijn aan de vele verbanden die zouden bestaan indien zij over verschillende bestanden zouden zijn opgesplitst.

Een andere doelstelling bestaat erin **om de recuperatie mogelijk te maken van resultaten op de verschillende niveaus van onderverdeling van het project**: bijvoorbeeld per deelproject (emissies ten gevolge van de bouw van de tunnel of van een of meer stations, ...), per analyse-as (emissies ten gevolge van de bouw van infrastructuren, van de exploitatie van de lijn, ...) of per post (emissies met betrekking tot productiemiddelen, tot het vrachtvervoer, ...), enz. Het instrument moet het dus mogelijk maken deze deelresultaten te beheren en te verstrekken.

De emissiebronnen, onderverdeeld tot op het laagst mogelijke niveau op basis van de beschikbare gegevens, moeten ook worden geïdentificeerd en zo duidelijk mogelijk worden benoemd om de structuur van het project te weerspiegelen.

Een instrument als de Bilan Carbone kan slechts tot op zekere hoogte aan deze doelstellingen voldoen, aangezien het meer geschikt is voor de berekening van jaarlijkse emissies. Het is namelijk bedoeld voor de evaluatie en rapportage van een situatie uit het verleden, waarvoor veel gegevens bekend en betrekkelijk gemakkelijk beschikbaar zijn. De activiteitsgegevens worden bepaald via een betrekkelijk eenvoudige voorbewerking, waarbij sommige gegevens zelfs rechtstreeks kunnen worden ingevoerd (zoals energieverbruik ontleend aan facturen), in tegenstelling tot het Metro Noord-project, waarvoor alle bronnen een min of meer complexe evaluatie moeten ondergaan. De emissiebronnen worden hierbij globaal vooraf bepaald en het is niet de bedoeling dat zij worden gewijzigd. Het instrument mist derhalve de flexibiliteit om aan de projectstructuur te worden aangepast en om deelresultaten op te leveren.

Ook het instrument CarbOptimum biedt geen direct antwoord op de doelstellingen. De niveaus van complexiteit waarop het instrument ingaat, komen niet noodzakelijk overeen met die van het Metro Noord-project.

Ook is het van belang gebleken **over een zekere flexibiliteit te beschikken** bij de invoering van de gegevens naar gelang van de vorm en het type ervan: voor bepaalde deelprojecten zullen de beschikbare geometrische gegevens bijvoorbeeld overeenkomen met lengtes die vervolgens zullen worden behandeld om de volumes te bepalen, terwijl voor andere deelprojecten de volumes rechtstreeks bekend zullen zijn (via een reeds verrichte meting).

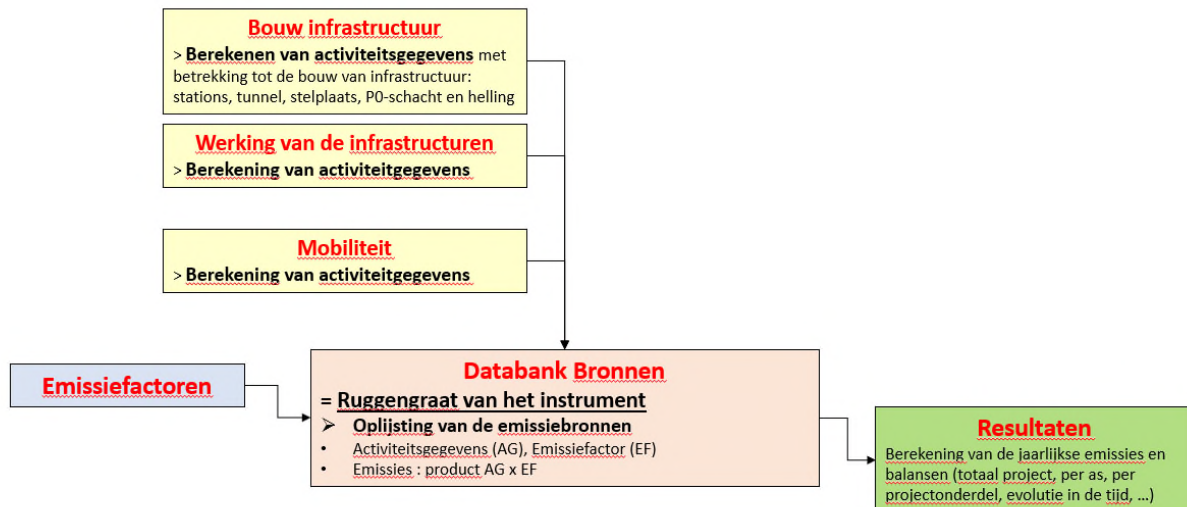
De mogelijkheid om het geheel van berekeningen te parametren was ook een doelstelling, aangezien de koolstofbalans in wezen gebaseerd is op een groot aantal hypothesen die tijdens de studie gemakkelijk moeten kunnen variëren, en daarbij van invloed zijn op de gehele koolstofbalans. Ook worden exogene gegevens in het hele instrument duidelijk aangegeven.

Om deze problemen aan te pakken werd een Excel-instrument ontwikkeld. Dit instrument combineert de methodologieën van het Bilan Carbone-instrument en de specifieke kenmerken van CarbOptimum om rekening te houden met de bijzonderheden van een infrastructuur zoals een metrolijn.

3.2. Principe en structuur van het instrument

Het gecreëerde Excel-instrument is gestructureerd in verschillende tabbladen:

- Tabbladen "Stroomopwaarts", met:
 - Een tabblad **Emissiefactoren**, met, zoals de naam al aangeeft, de emissiefactoren die nodig zijn voor de berekening;
 - Tabbladen **met betrekking tot de verschillende analyse-assen**, waarmee de activiteitsgegevens kunnen worden berekend ten opzichte van de bronnen die zij omvatten;
- Een tabblad met de **Databank Bronnen**, die de ruggengraat van het instrument vormt. Het is gestructureerd als een databank, waarbij elke opname overeenkomt met een bepaalde emissiebron. Deze gegevensbank wordt gevoed door de tabbladen "Stroomopwaarts" op het niveau van activiteitsgegevens en emissiefactoren.
- Een tabblad **Resultaten**, waarin balansen kunnen worden opgemaakt, op elke schaal van het project (as, deelproject, ...).



Figuur 8: Structuur van het instrument (ARIES, 2020)

In het kader van dit instrument worden de **emissieposten onderverdeeld in zo gedetailleerd mogelijke emissiebronnen**, overeenkomstig de beschikbare gegevens. Elk van deze bronnen is uniek. Hun benaming wordt bepaald op basis van een hiërarchie die is afgeleid van de projectstructuur.

De benaming van emissiebronnen wordt bepaald op basis van een hiërarchie, afgeleid van de structuur van het Metro Noord-project en opgebouwd in de loop van de ontwikkeling van het instrument, die de volgende niveaus omvat (zie onderstaande tabel)

		Voorbeelden
	As van het project	Bouw van de infrastructuren, Werking van de infrastructuren
	Deelproject	Tunnel, Stations, P0-schacht en toegangshelling, Stelplaats
	Werken	Sloop van bestaande bouwwerken, Bouw van bouwwerken
	Post	Productiemiddelen, Inkomend vrachtovervoer, Uitgaand vrachtovervoer, Verplaatsingen, Afvalbeheer, Energie, ...
	Wijze (in het geval van vrachtovervoer)	Weg, Spoor, Binnenvaart
	Categorie	Vervaardiging van materialen (voor de post Productiemiddelen), Materialen (voor de post Vrachtovervoer), Afval (voor de post Vrachtovervoer), ...
	Bron	Soort materiaal (voor de categorie Vervaardiging van materiaal), Soort afval (voor de categorie Afval), ...

Tabel 4: Definitie van emissiebronnen (ARIES, 2020)

Deze benamingen zullen bijvoorbeeld overeenstemmen met:

- Het beton dat bij de bouw van de tunnel wordt gebruikt;
- Het staal dat over de weg wordt vervoerd voor de bouw van de stations;
- Het uitgegraven materiaal van de tunnel dat met de binnenvaart wordt afgevoerd.

Elke emissiebron krijgt dus een unieke benaming.

De eerste stap is een volledige opsomming van de emissiebronnen, waarbij ze in hun totaliteit in aanmerking worden genomen. Vervolgens kunnen sommige daarvan worden verwaarloosd, gezien hun relatieve belang ten opzichte van andere bronnen, ...

In het belang van transparantie worden alle gegevens en hypothesen gedocumenteerd.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

4.1. Analyse van het basisproject met één buis

4.1.1. Bouw van de infrastructuur

4.1.1.1. Onderverdeling in emissiebronnen

De koolstofbalans van het Metro Noord-project is onderverdeeld in emissiebronnen, per **fase** en per **post**, en hetzelfde geldt voor alle deelprojecten: tunnel, stations, P0-schacht en toegangshelling, en stelplaats (zie hierboven).

Voor de volledigheid worden alle fasen in eerste instantie in aanmerking genomen. Bij de as "Bouw van de infrastructuur" gaat het om werkfasen:

- **Vorbereidende afbraakwerken;**
- **Constructies van de bouwwerken.**

In een tweede fase zal de **fase van de voorafgaande afbraakwerken van bestaande bouwwerken**, die betrekking heeft op de werkzaamheden aan bepaalde stations (Liedts, Verboekhoven en Vrede) en de stelplaats, worden verwaarloosd. Er wordt geen rekening mee gehouden in deze koolstofbalans. Deze keuze wordt verklaard door de geringe omvang van de te slopen bouwwerken en de zeer korte duur van de werken in vergelijking met die welke nodig is voor de aanleg van de infrastructuren van het project. Bovendien zijn deze fasen nog niet grondig geanalyseerd, zodat sommige gegevens in dit stadium van de studie nog niet beschikbaar zijn.

Evenzo worden in eerste instantie alle emissiebronnen in aanmerking genomen. In tweede instantie worden sommige hiervan verwaarloosd, gezien hun belang ten opzichte van andere bronnen.

Bij de as "Bouw van de infrastructuur" wordt de post "Energie (Vaste verbrandingsbronnen)" van meet af aan verwaarloosd. Er wordt geen enkele vaste verbrandingsbron in aanmerking genomen, aangezien de emissies tijdens de werken veeleer te wijten zijn aan het gebruik van mobiele machines (post "Energie (mobiele verbrandingsbronnen)").

Deze onderverdeling, specifiek voor de as "Bouw van de infrastructuren", wordt weergegeven in onderstaande tabel.

De berekeningen worden doorgaans uitgevoerd voor een **basisscenario**. Voor sommige posten, met name "Productiemiddelen", "Inkomend vrachtvervoer" en "Uitgaand vrachtvervoer", wordt ter plaatse een gevoeligheidsstudie van bepaalde parameters uitgevoerd. De invloed van deze parameters wordt gecontextualiseerd op het niveau van de globale balans van de as "Bouw van de infrastructuur", na de analyse van de verschillende posten waaruit deze bestaat, op het niveau van de samenvatting van de resultaten (zie punt 4.1.1.3).

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Fase Werken	Post	Emissiebronnen	
Tunnel, Stations, PO-schacht, Toegangshelling, Stelplaats	Vorbereidende afbraakwerken	<i>Wordt geen rekening mee gehouden in de koolstofbalans</i>		
	Bouw van de bouwwerken	Energie (Vaste verbrandingsbronnen)	<i>Wordt geen rekening mee gehouden in de koolstofbalans</i>	
		Energie (Mobiele verbrandingsbronnen)	Energieverbruik voor graafwerken	
			Energieverbruik van bouwmachines voor de toepassing van materialen	
			Bevriezing	
		Energie (Elektriciteitsverbruik)	Energieverbruik van de tunnelboormachine	
			Energieverbruik van de werfbarakken	
		Vluchtige emissies	Lekkages van koelmiddel	
		Productiemiddelen	Materialen - Beton	
			Materialen - Staal	
			Materialen - Glas	
			Voorzieningen	
		Afschrijvingen	Bouwmachines	
		Afval	Uitgravingen	
			Civieltechnisch afval	
		Inkomend vrachtvervoer	Materialen - Beton	
	Materialen - Staal			
Materialen - Vulmateriaal				
Bouwmachines				
Uitgaand vrachtvervoer	Werfafval			
	Bouwmachines			
Verplaatsingen	Woon-werk			

Tabel 5: Onderverdeling van het Metro Noord-project, as Bouw van infrastructuur (ARIES, 2020)

4.1.1.2. Berekening van de emissies

A. Energie (Mobiele verbrandingsbronnen)

Directe emissies zijn het gevolg van het brandstofverbruik van de bouwmachines.

De drie bronnen die in de koolstofbalans in aanmerking worden genomen, zijn:

- Energieverbruik als gevolg van **uitgravingen**;
- Het energieverbruik van bouwmachines voor de **uitvoering van materialen**;

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

- Het energieverbruik in verband met **bevriezing** voor de aanleg van de perrons in sommige stations.

A.1. Energieverbruik voor uitgravingen

De emissies ten gevolge van uitgravingen hebben hier alleen betrekking op de **stations**, de schacht P0, de **toegangshelling** en de **stelplaats**, deelprojecten waarvoor graafmachines op brandstof worden gebruikt. Het verbruik in verband met het uitgraven van de tunnel wordt opgenomen bij de indirecte emissies als gevolg van het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine (zie de post *Energie (Elektriciteitsverbruik)*).

De activiteitsgegevens komen overeen met dit brandstofverbruik. Zij kunnen worden geëvalueerd op basis van een specifiek verbruik, uitgedrukt in liters brandstof per m³ afgegraven of opgehoopte grond. Hypothetisch wordt hier rekening gehouden met de waarde die is voorgesteld in de koolstofbalans die is uitgevoerd in het kader van het Grand Paris-project, namelijk 1 l_{brandstof}/m³.

Het volume van het vulmateriaal van de stelplaats betreft de gehele site in Haren.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de afgegraven volumes en het overeenkomstige brandstofverbruik.

Deelproject	Volume vulmateriaal [m ³]	Verbruik [l _{brandstof}]
Stations	757.690	757.590
P0-schacht en toegangshelling	65.330	65.330
Stelplaats	317.180	317.180
Totaal	1.140.200	1.140.200

Tabel 6: Volume van vulmateriaal en energieverbruik voor de uitgraving ervan (ARIES, 2020)

De gebruikte emissiefactor, die is ontleend aan de Base Carbone, is vastgesteld op 3,17 kg eqCO₂/l (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies door graafwerken. De emissies zijn evenredig met de volumes van de uitgravingen.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Stations	2.402
P0-schacht en toegangshelling	207
Stelplaats	1.005
Totaal	3.614

Tabel 7: Emissies - As Bouw van de infrastructuur - Post Energie (Mobiele verbrandingsbronnen) - Uitgravingen (ARIES, 2020)

A.2. Verbruik van bouwmachines voor de toepassing van materialen

Het is niet eenvoudig om het energieverbruik in verband met bouwmachines concreet te evalueren vóór de eigenlijke uitvoering van het project, vanwege de grote onzekerheden in verband met de uitvoeringsmethoden die het aantal, de precieze aard van de bouwmachines (merk, model, enz.) en de gebruiksduur ervan bepalen, en die van project tot project sterk uiteenlopen. In dit stadium van de studie is er te weinig bruikbare informatie beschikbaar, aangezien de dienstverleners nog niet zijn aangewezen.

Het doel hier is een realistische **orde van grootte** te verkrijgen voor deze emissiebron. Daarom wordt de voorkeur gegeven aan een top-down-benadering op basis van globale indicatoren. Deze indicatoren worden uitgedrukt in termen van energieverbruik per m³ gebruikt materiaal (meestal beton en staal), waardoor de emissies kunnen worden gekalibreerd. De bottom-up-benadering, gebaseerd op gegevens en hypothesen betreffende het vermogen van de voorzieningen en de bedrijfstijden, lijkt namelijk riskant, aangezien de variatiemarges van deze gegevens groot kunnen zijn en een grote kans geven op fouten, die zich dan kunnen opstapelen.

De evaluatie van het verbruik van de bouwmachines is nog steeds weinig ontwikkeld en het onderwerp komt in de literatuur nog grotendeels niet aan de orde, ongeacht de bestemming van de betrokken gebouwen. In sommige studies wordt gewoon geen rekening gehouden met de emissies in verband met de werf en worden deze verwaarloosd in vergelijking met de emissies van de vervaardiging van materialen of het vrachtvervoer. Het bijzondere geval van de bouw van ondergrondse metrostations, waarvoor talrijke machines voor diverse speciale doeleinden worden gebruikt (machines voor diepwanden, enz.), is bij ons weten niet ontwikkeld.

Daarom worden in deze koolstofbalans gegevens gebruikt van een Amerikaanse studie²⁰ die in 2005 is uitgevoerd. Hoewel de studie al betrekkelijk oud is en slechts twee kantoorgebouwen van 4.400 m² betreft (de ene een staalconstructie, de andere een betonconstructie), wordt ze als referentie gebruikt in verscheidene latere studies over de milieueffecten en de koolstofvoetafdruk van infrastructuren van het openbaar vervoer (met name stations²¹). Deze studie heeft het voordeel dat rekening wordt gehouden met het verbruik van bouwmachines zoals truckmixers (voor het mengen van beton) en betonpompen voor het plaatsen van beton en kranen voor het plaatsen van staal.

Er zij op gewezen dat bij deze evaluatie geen rekening is gehouden met de in sommige stations geplande toepassing van de techniek van grondbevrozing (zie volgend punt).

De indicatoren die in de koolstofbalans in aanmerking worden genomen, zijn het specifieke brandstofverbruik uitgedrukt per volume-eenheid van de gebruikte materialen:

- 70 kWh/m³ voor beton²²;
- 80 kWh/m³ voor staal²².

²⁰ Guggemos A. (2005). *Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed Buildings*

²¹ Bijvoorbeeld: Chester M. en Horvath A. (2008). *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2* [UC Berkeley]

²² De waarden worden afgeleid uit de hoeveelheden beton en staal die in het gebouw met een betonnen structuur worden gebruikt, verminderd met de andere posten die verband houden met het gebruik van andere materialen, de bouw van bouwmachines, enz.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Aan de hand van deze indicatoren kunnen de activiteitsgegevens worden bepaald die overeenkomen met het brandstofverbruik, zoals weergegeven in de onderstaande tabel. Voor deze berekening wordt de dichtheid van het staal verondersteld 7,8 t/m³ te zijn.

De emissies ten gevolge van uitgravingen blijven beperkt tot de stations, de schacht P0 en de toegangshelling. Aangezien de tunnelboormachine wordt aangedreven door elektriciteit, is het verbruik ervan opgenomen onder de post Energie (Elektriciteitsverbruik) (zie de desbetreffende post).

Ander verbruik in verband met de werken van de tunnel (leggen van sporen, enz.) wordt verwaarloosd.

Deelproject	Materiaal	Volume [m ³]	Verbruik bouwmachines [kWh]
Stations	Beton	293.192	20.523.437
	Staal	4.772	381.744
P0-schacht en toegangshelling	Beton	24.214	1.694.974
	Staal	360	28.830
Stelplaats	Beton	30.275	2.119.250
	Staal	632	50.563

Tabel 8: Energieverbruik van bouwmachines – Stations, P0-schacht en toegangshelling (ARIES, 2020)

De gebruikte emissiefactor is ontleend aan de Base Carbone, en is vastgesteld op 0,323 kg eqCO₂/kWh PCI (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het energieverbruik van de bouwmachines.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Stations	6.752
P0-schacht en toegangshelling	557
Stelplaats	701
Totaal	8.010

Tabel 9: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Energie (Mobiele verbrandingsbronnen) – Energieverbruik van bouwmachines (ARIES, 2020)

De emissies in verband met de aanleg van de stations zijn ongeveer 10 maal hoger dan die van de schacht P0 en de toegangshelling. Dit verschil is hoofdzakelijk te wijten aan de hoeveelheden gebruikte materialen.

A.3. Energieverbruik in verband met de bevrozing

A.3.1. Algemeen

De bijzondere omstandigheden van het project maken het niet mogelijk alle stations volledig in de open lucht te bouwen (met behulp van de Cut & Cover-techniek). Langs het tracé blijven het aantal beschikbare terreinen en de oppervlakte van hun bouwterrein immers beperkt. Een deel van de zones van de perrons moet dus ondergronds worden aangelegd. Anderzijds bevinden de geplande bouwwerken zich op diepte en ter hoogte van de grondwaterspiegel kan de grond door bevrozing worden geconsolideerd en in droge omstandigheden worden gewerkt.

Er bestaan verschillende technieken. Het door ons gekozen model is gebaseerd op de kasten van de betrokken stations (die werden gemaakt met Cut & Cover). Bevrozing heeft tot doel een waterdichte en/of bestendige grondstructuur te verkrijgen, zodat de werken tijdens hun gehele duur kunnen worden uitgevoerd.

Zie Boek I, Inleiding, deel 2, punt 4.4. Algemene beschrijving van de werken en het uitvoeringsschema

Het principe van de techniek, die sinds de tweede helft van de 19e eeuw wordt toegepast, bestaat erin de grond te bevrozen met behulp van een koelmiddel dat circuleert in een netwerk van vriessondes die in de grond zijn aangebracht om de waterdichte structuur te verkrijgen. De geometrie van deze structuur is afhankelijk van de vorm van de geplande structuur en de vereiste mechanische kenmerken.

Het bevrozingsproces bestaat uit **twee hoofdfasen**, die beide energie verbruiken: de eigenlijke bevrozing en de instandhouding van de bevrozing gedurende de tijd die nodig is om de werkzaamheden uit te voeren.

De vier stations die betrokken zijn bij het project zijn Liedts, Colignon, Verboekhoven en Vrede (zie de desbetreffende boeken voor meer details).

A.3.2. Bevrozingsmethoden

Er zijn verschillende bevrozingsmethoden:

- De **open methode** (snel bevrozen met vloeibare stikstof);
- De **gesloten methode** (langzaam bevrozen met een koelmachine of pekkel);
- De **combinatie** van de eerste twee methoden.

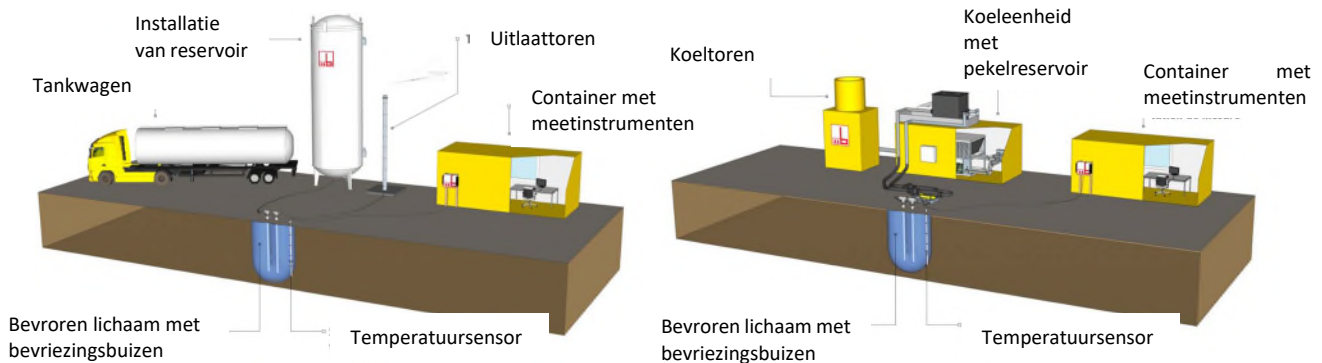
De open methode bestaat erin gebruik te maken van vloeibare stikstof bij zeer lage temperatuur (-196°C), die per tankwagen naar de werf wordt vervoerd en in opslagtanks wordt bewaard om ze in vloeibare fase te houden. Ze wordt onder druk (ongeveer 5 bar) verdeeld over het netwerk van vriessondes (of vriesbuizen), dat bestaat uit een of meer in serie geplaatste parallelle groepen van sondes. Terwijl het door het netwerk loopt, neemt de vloeibare stikstof warmte uit de grond op en verdampt. Vervolgens wordt ze bij het verlaten van het netwerk in gasvormige vorm in de atmosfeer gebracht, bij een temperatuur van ongeveer -60°C. De hoeveelheid toegevoerde vloeibare stikstof wordt geregeld naar gelang van de uitlaattemperatuur, die een bepaalde temperatuur niet mag overschrijden om de bevrozing in de laatste sondes van het netwerk te verzekeren.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De gesloten methode bestaat erin koude te produceren met behulp van een koelmachine, via een primair circuit waarvan de verdamper de koelvloeistof op lage temperatuur houdt, die circuleert in een secundair circuit dat het netwerk van vriessondes omvat. Het koelmiddel dat bij deze methode wordt gebruikt, kan van verschillende aard zijn; het meest gangbare is pekels (calciumchloride-oplossing), waarvan de temperatuur tussen -25°C en -40°C ligt. Evenals bij de open methode worden de sondes verdeeld in één of meer groepen, waarin zij in serie worden geplaatst. In tegenstelling tot de open methode, is het circuit waarin de pekels circuleert in dit geval gesloten.

De gecombineerde methode bestaat uit het gebruik van de directe methode voor de bevroeringsfase en de indirecte methode voor de fase van instandhouding van de bevroering, met gebruikmaking van dezelfde vriessondes.

De onderstaande schema's illustreren hoe de open en gesloten methode werken.



Figuur 9: Illustratie van de werking van de bevroeringsmethoden: open (links) en gesloten (rechts) (Max Bögl, sd)

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste voor- en nadelen van de verschillende methoden aangegeven, vooral wat betreft de mogelijke effecten op het energieverbruik van het proces.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

	Voordelen	Nadelen
Open methode	<ul style="list-style-type: none"> - Kortere bevroeringstijd (enkele dagen) - Meer gebruikt voor korte uitvoeringstermijnen of omwille van technische moeilijkheden - Hoger cryogeen rendement: beperkt risico van onvolledige bevroering door een lagere bodemtemperatuur 	<ul style="list-style-type: none"> - Voor de installatie en de toevoer van vloeibare stikstof naar de verschillende groepen sondes is gespecialiseerd personeel nodig. - Hogere kosten
Gesloten methode	<ul style="list-style-type: none"> - Over het algemeen lagere kosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Noodzaak van gespecialiseerd personeel om het gesloten circuit te controleren - Langere bevroeringstijd (enkele weken) - Grotere risico's als gevolg van een lager cryogeen rendement: <ul style="list-style-type: none"> o Grote zorgvuldigheid nodig bij voorstudies o Langere uitvoeringstermijnen of onmogelijkheid om de vereiste temperaturen te bereiken
Gecombineerde methode	<ul style="list-style-type: none"> - Combinatie van de voordelen van de twee andere methodes: <ul style="list-style-type: none"> o Kortere termijn en lager risico voor de bevroeringsfase met de open methode o Voordeligere instandhouding van de bevroering door de gesloten methode 	

Tabel 10: Voordelen en nadelen van de bevroeringsmethoden (ARIES, 2021)

A.3.3. Belangrijkste beïnvloedende parameters

De onderstaande verhouding geeft vereenvoudigd de **hoeveelheid netto warmte die aan 1 m³ grond moet worden onttrokken om deze van een begintemperatuur op de "bevroren grondtemperatuur" te brengen**. Dit is afhankelijk van de mechanische kenmerken van de waterdichte en/of bestendige bodemstructuur die moet worden verkregen om de uit te voeren werkzaamheden te kunnen realiseren.

De verhouding, die wordt uitgedrukt in J/m³ is afhankelijk van vier termen²³, die respectievelijk betrekking hebben op de afkoeling van droge grond, de afkoeling van vloeibaar water in de grond tot 0°C, het bevroeren van dit water bij 0°C en de afkoeling van ijs van 0°C tot de vriestemperatuur:

$$Q_{\text{netto, bevroering}} = \rho_{ts} \cdot C_{m,ts} \cdot (T_m - T_i) + w \cdot \rho_{ts} \cdot C_w \cdot (0 - T_i) - w \cdot \rho_{ts} \cdot C_f + w \cdot \rho_{ts} \cdot C_g \cdot (T_m - 0)$$

waarin:

- ρ_{ts} : dichtheid van de droge grond (komt overeen met de verhouding tussen de massa van de droge grond en totaal volume) [kg/m³];
- w : watergehalte van de bodem (komt overeen met de verhouding tussen de massa van het water in de bodem en de massa van de droge grond) [-];
- $C_{m,ts}$: soortelijke warmte van de droge grond [J/(kg.°C)];

²³ Adapté de R. Tornaghi (1982). *La congélation des sols* (in Revue Française de Géotechnique, nr. 21)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

- C_w : soortelijke warmte van water naar massa: 4.186 J/(kg.°C);
- C_g : soortelijke warmte van het ijs naar massa: 2.060 J/(kg.°C);
- C_f : latente smeltwarmte van het ijs naar massa: 334.000 J/(kg.°C);
- T_i : aanvankelijke bodemtemperatuur [°C];
- T_m : gemiddelde temperatuur van de bevroren bodem ($T_i > T_m$) [°C].

Door $\Delta T = T_i - T_m$ te stellen, dat het verschil is tussen de aanvankelijke bodemtemperatuur en de gemiddelde temperatuur van de bevroren bodem, wordt de eerste verhouding als volgt vereenvoudigd:

$$Q_{netto, bevrozing} = -\rho_{ts} \cdot C_{m,ts} \cdot \Delta T + w \cdot \rho_{ts} \cdot [(C_g - C_w) \cdot T_i - C_f - C_g \cdot \Delta T]$$

Deze theoretische verhouding geeft een netto hoeveelheid warmte, die overeenkomt met het bevroren van een volume van 1 m³ op adiabatische wijze (d.w.z. zonder warmte-uitwisseling met de omgeving, **en dus zonder verliezen** - deze "verliezen" bestaan in dit geval uit een stijging van de temperatuur) onder ideale omstandigheden. Ze is vereenvoudigd en houdt slechts rekening met een deel van de parameters die betrekking hebben op de betreffende bodem. Zij is geldig ongeacht de geplande bevrozingsmethode.

Meer in het algemeen kan het energieverbruik voor het bevroren van 1 m³ grond als volgt worden uitgedrukt, uitgaande van de hierboven beschreven netto warmtehoeveelheid en rekening houdend met de verschillende verliezen en het rendement van de koudeproductie:

$$C_{energie\ bevrozing} = \frac{abs\{Q_{netto, bevrozing}\} + \sum Q_{verliezen}}{\rho_{productie}}$$

De verliezen, hier aangeduid als $\sum Q_{verliezen}$, kunnen afhangen van een reeks factoren en bijdragen, onder andere:

- Verband houdend met de bodem: thermische geleidbaarheid van de bodem, aanwezigheid van ondergrondse waterstromen zoals het geval is voor sommige van de stations van het project, aanwezigheid van warmtebronnen in de omgeving (andere tunnels, enz.);
- Met betrekking tot de koelinstallatie: de lengte van de netwerken van vriessondes, het isolatieniveau van de externe buizen die naar het sonden netwerk leiden, de afstand tussen de sondes, de kwaliteit van de uitvoering van de installatie, ...

Het rendement van de koudeproductie, hier $\eta_{productie}$ genoemd, hangt ook af van een reeks parameters, zoals de gekozen vriesmethode, het gebruikte koelmiddel, ...

Tenslotte wordt in de hierboven voorgestelde verhouding geen rekening gehouden met tijdseffecten. Zoals hierboven vermeld, bestaat het bevrozingsproces uit twee hoofdfasen: de eigenlijke bevrozing en de instandhouding van dit bevrozingsproces gedurende de tijd die nodig is om de werkzaamheden uit te voeren. De duur van de bevrozingsfase hangt af van de gebruikte methode, de afstand tussen de sondes en hun diameter, de kenmerken van de bodem (en met name de granulometrie ervan (de vriestijden zijn langer voor bodems met een fijnere

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

granulometrie) en de volumetrische en thermische kenmerken (geleidingsvermogen) van de afgekoelde en bevroren bodem), en de thermische gradiënt voor het project wordt ingesteld.

Het energieverbruik voor het bevriezen van 1 m³ grond gedurende het gehele proces kan derhalve worden geschreven in de vorm van twee bijdragen die overeenkomen met de twee fasen:

$$C_{\text{energie bevriezing}} = C_{\text{energie,bevriezing}} + C_{\text{energie,instandhouding bevriezing}}$$

Dit zijn dus eenheidsverbruiken.

Gezien de complexiteit van het proces en de vele parameters die erbij betrokken zijn, zal de beoordeling van het energieverbruik in verband met de bevriezing moeilijk uitvoerbaar zijn. Daarom zal de raming van de broeikasgasemissies van het proces worden gebaseerd op door BMN verstrekte gegevens (zie volgend punt).

Om een beter inzicht te krijgen in het energieverbruik dat door dergelijke werkzaamheden ontstaat, wordt aanbevolen om gedurende de twee bevroeringsfasen voor alle betrokken stations een **monitoring** op te zetten. Op die manier kunnen de vooraf geraamde ordes van grootte worden geverifieerd, kunnen eventueel beïnvloedende parameters, zoals het soort aangetroffen bodem, worden bepaald en kan het proces tijdens de werken eventueel worden aangepast.

A.3.4. Broeikasgasemissies ten gevolge van energieverbruik in het geval van het Metro Noord-project

In een voorlopige evaluatienota heeft BMN in 2017 een raming gemaakt van het elektriciteitsverbruik voor de bevriezing. Deze gegevens zullen worden gebruikt in deze koolstofbalans en het totale verbruik dat daaruit wordt afgeleid vormt het activiteitsgegeven van de emissiebron.

De voor het project beoogde methode is de **gesloten methode**, waarbij pekkel wordt gebruikt.

De onderstaande verhouding is het totale elektriciteitsverbruik in verband met het bevroren gedeelte van een station, uitgedrukt in kWh:

$$C_{\text{elek bevriezing}} = V_{\text{bevr}} \cdot C_{\text{elek,bevriezing,eenheid}} + V_{\text{bevr}} \cdot C_{\text{elek,instandhouding bevriezing,eenheid}} \cdot \frac{d_{\text{instandhouding bevriezing}}}{d_{\text{bevriezing}}}$$

waarin:

- V_{bevr} : volume te bevroren grond [m³];
- $C_{\text{elek,bevriezing,eenheid}}$: elektriciteitsverbruik per eenheid voor de bevriezing [kWh/m³];
- $C_{\text{elek,instandhouding bevriezing,eenheid}}$: elektriciteitsverbruik per eenheid voor de instandhouding van de bevriezing [kWh/m³];
- $d_{\text{instandhouding bevriezing}}$: duur van de instandhouding van de bevriezing [maanden];
- $d_{\text{bevriezing}}$: duur van de bevriezing [maanden].

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deze relatie is gebaseerd op de evaluatienota opgesteld door BMN.

Het verbruik in verband met de bevroering is gelijk aan het product van het volume van de te bevroeren grond en het eenheidsverbruik voor deze fase, terwijl het verbruik voor het handhaven van de bevroering gelijk is aan het product van het volume van de te bevroeren grond, het eenheidsverbruik voor deze fase en de verhouding tussen de duur van het handhaven van de bevroering en de duur van de bevroering. Dit betekent dat de energie die wordt verbruikt om het bevroeringsproces in stand te houden, afhangt van de duur van het bevroeringsproces: hoe langer de duur, hoe korter het verbruik om het proces in stand te houden.

In de volgende tabel staan de invoergegevens. Voor de hypothese worden de gegevens voor de duur en het eenheidsverbruik van elektriciteit van de twee fasen genomen uit de voorlopige evaluatienotitie van BMN van 2017. **De hoeveelheden te bevroeren grond zijn sindsdien bijgewerkt en de meest recente beschikbare waarden, geëvalueerd door BMN, worden hieronder gebruikt.**

Station	Volume te bevroeren grond [m ³]	Bevroeringsfase			Fase van instandhouding van de bevroering			Totaal [kWh]
		Duur [maanden]	Eenheidsverbruik [kWh/m ³]	Verbruik Totaal [kWh]	Duur [maanden]	Eenheidsverbruik [kWh/m ³]	Verbruik Totaal [kWh]	
Liedts	8.500	3	110	935.000	17	44	2.119.333	3.054.333
Colignon	6.600	3	110	726.000	13	44	1.258.400	1.984.400
Verboekhoven	8.838	3	110	972.180	16	44	2.073.984	3.046.164
Vrede	9.000	3	110	990.000	16	44	2.112.000	3.102.000
Totaal	32.938							11.186.897

Tabel 11: Elektriciteitsverbruik in verband met de bevroering – Stations (ARIES, 2021, naar BMN)

De elektriciteit zal worden opgewekt door middel van generatoren. De emissiefactor wordt bepaald aan de hand van de emissiefactor die is vastgesteld door het IPCC voor dieselvebranding (74.100 kg/TJ) en het rendement van een generator, dat wordt verondersteld 30% te zijn. De resulterende emissiefactor wordt derhalve vastgesteld op 890 g eqCO₂/kWh.

De overeenkomstige emissies worden geraamd op **9.956 teqCO₂**.

B. Energie (Elektriciteitsverbruik)

De emissies zijn het gevolg van het elektriciteitsverbruik op de werf. Het gaat om indirecte emissies

De twee bronnen die in de koolstofbalans in aanmerking worden genomen, zijn:

- Elektriciteitsverbruik in verband met de **werking van de tunnelboormachine**;
- Elektriciteitsverbruik in verband met de **bezetting van de werfbarakken**.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

B.1. Energieverbruik van de tunnelboormachine

Het verbruik in verband met de werking van de tunnelboormachine kan worden geëvalueerd op basis van een specifiek verbruik, uitgedrukt per m³ uitgegraven grond, en vormt het activiteitsgegeven. Bij gebrek aan informatie over het type tunnelboormachine dat voor het Metro Noord-project²⁴ zal worden gebruikt, wordt hier uitgegaan van de in de koolstofbalans voor het Grand Paris-project voorgestelde waarde van 20 kWh/m³. Dit komt overeen met het mediane verbruik van verschillende tunnelboormachines, variërend van 5 tot 40 kWh/m³. Deze specifieke verbruiken betreffen zowel het uitgraven van de tunnel als het verwijderen van het uitgegraven materiaal.

Aangezien het volume uitgegraven materiaal in de tunnel 296.339 m³ bedraagt, komt het verbruik uit op 5.926.787 kWh.

De gebruikte emissiefactor is vastgesteld op 230 g eqCO₂/kWh²⁵, een waarde die overeenkomt met de elektriciteitsproductie in België. Tijdens de bouw van de infrastructuur wordt ervan uitgegaan dat de stroomvoeding voor de installaties en de bouwmachines afkomstig is van het conventionele distributienet en niet van het distributienet van de MIVB.

De overeenkomstige emissies worden geraamd op **1.363 tCO₂**.

B.2. Energieverbruik van de werfbarakken

De **werfbarakken** (werfcontainers) zullen worden geïnstalleerd op de werf van elk station, en ook op de site in Haren. Zij zullen een reeks faciliteiten herbergen die noodzakelijk zijn voor de bezetting door de werknemers: kantoren, kleedkamers, sanitaire voorzieningen, lunchruimte, enz.

Bovendien zal op de site in Haren in **tijdelijke huisvesting** worden voorzien.

De activiteitsgegevens komen dus overeen met het elektriciteitsverbruik. Deze worden geraamd:

- op basis van de oppervlakten van de werfbarakken die voorzien worden door BMN, alsmede de planning en de werktijden die in het door BMN opgestelde bestek zijn vastgelegd;
- het jaarlijks specifiek verbruik, hypothetisch bepaald op 250 kWh/(m².jaar)²⁶.

²⁴ Er zijn twee hoofdcategorieën van tunnelboormachines: tunnelboormachines onder gronddruk en tunnelboormachines onder slibdruk, die een verschillend energieverbruik hebben. Het gebruik van een tunnelboormachine onder slibdruk vereist een bentoniet-scheidingsinstallatie. Deze installatie wordt gebruikt om de grond voor de tunnelboormachine te dichten in een met water verzadigde omgeving en zo het pijlerfront te stabiliseren. Het uitgegraven materiaal wordt afgevoerd met behulp van een transportband in het geval van een tunnelboormachine onder gronddruk, en met behulp van een transportpijp voor slib in het geval van een tunnelboormachine onder slibdruk.

²⁵ Bron: AwAC (Agence wallonne de l'air et du climat), waarde voor België, voor het jaar 2017

²⁶ Deze waarde wordt voorgesteld in de evaluatie van de koolstofbalans van het Grand Paris-project. Het wordt afgeleid van het gemiddelde jaarlijkse verbruik van gebouwen die met elektriciteit worden verwarmd, zoals gerapporteerd door Bilan Carbone, namelijk: 283 kWh/(m².jaar) voor kantoren en 254 kWh/(m².jaar) voor cafés, hotels en restaurants. De koolstofbalans opteert voor een waarde die iets lager ligt dan dit verbruik, om rekening te houden met het feit dat in een werfbarak niet alle uitrusting aanwezig is die dergelijke bestemmingen huisvesten. Er wordt echter een soortgelijke orde van grootte aangenomen om rekening te houden met de mindere isolatie van werfcontainers. Bij wijze van hypothese wordt dezelfde waarde gebruikt voor de wooncontainers.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

In de onderstaande tabel staan de gegevens die voor elke werfbarak in aanmerking zijn genomen.

Wurfbarak		Oppervlakte [m ²]	Duur van de werf [maanden]	Gebruiksfactor [-]	Aantal gebruiksuren [u]	Totaal elektriciteitsverbruik [kWh]
Site Haren	Doorlopende werking (uitgraven van de tunnel)	*700	28	0,86	17.520	350.000
	Niet-doorlopende werking (P0-schacht, toegangshelling en stelplaats)		***39	0,48	13.557	270.833
	Huisvesting	**1000	28	0,86	****11.600	331.050
Liedts		50	74	0,74	39.872	56.895
Colignon		50	85	0,74	45.799	65.352
Verboekhoven		50	84	0,74	45.260	64.583
Riga		50	77	0,74	41.488	59.201
Linde		50	71	0,74	38.255	54.588
Vrede		50	89	0,74	47.954	68.428
Bordet		50	83	0,74	44.721	63.814
Totaal		2050	-	-	-	1.384.746

* Waarvan 500 m² kantoren en 200 m² gereserveerd voor de vestiaire, de refter, ...

** Volgens studies van BMN

*** De totale duur van de werken op de site in Haren (tunnel, P0-schacht, toegangshelling en stelplaats) is geraamd op ongeveer 67 maanden, tijdens dewelke de werf voor de tunnel doorlopend zal functioneren gedurende 28 maanden, en de rest overeenkomst met de andere werkzaamheden.

**** Bij wijze van hypothese wordt verondersteld dat de woningen tijdens het stookseizoen 24 uur per dag worden verwarmd, ervan uitgaande dat de tunnel doorlopend wordt gegraven. Het totale aantal uren (17.520) wordt gewogen met een factor 0,66 om rekening te houden met het stookseizoen (gelijk geacht aan 5.800 uur per jaar).

Tabel 12: Energieverbruik in verband met het gebruik van de werfbarakken (ARIES, 2020)

Bij wijze van hypothese worden de **werfbarakken** continu gebruikt tijdens de uren waarop de werken plaatsvinden. De fasen van de voorbereidende werken worden niet in aanmerking genomen. Deze omvatten de installatie van werfbarakken. De gebruiksfactor houdt rekening met het feit dat:

- De werken voor de tunnel vinden minstens 6 dagen op 7, 24/24u plaats²⁷. Als hypothese wordt in de gebruiksfactor rekening gehouden met deze werkduur.

²⁷ Volgens het Bestek dat door BMN is opgesteld.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

- De werken op het niveau van de stelplaats betreffen hoofdzakelijk bovengrondse constructies, waarvoor de duur van de werken beperkt is in de tijd (tussen 6 en 22 uur, 5 dagen op 7)²⁸.
- De werken aan de stations kunnen 7 dagen op 7, 24/24u plaatsvinden voor de ondergrondse werkzaamheden, de uitvoering van de bovengrondse constructies is op dezelfde wijze beperkt als voor de stelplaats (16/24u, 5 dagen op 7). Bij wijze van hypothese houdt de gebruiksfactor rekening met beide situaties door middel van een rekenkundig gemiddelde.

Er wordt ook van uitgegaan dat de **wooncontainers** worden gebruikt voor de duur van de uitgraving van de tunnel, d.w.z. ongeveer 28 maanden, en dit 10 uur per dag.

Feestdagen worden bij de evaluatie niet in aanmerking genomen.

Evenals in het geval van de tunnelboormachine wordt de gebruikte emissiefactor vastgesteld op 230 g CO eqCO₂/kWh.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het elektriciteitsverbruik voor het gebruik van de werfbarakken.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Site in Haren	219
Stations	100
Totaal	318

Tabel 13: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Energie (Elektriciteitsverbruik) – Werfbarakken (ARIES, 2020)

De emissies van de site in Haren worden geraamd op het dubbele van die van alle stations. Dit is hoofdzakelijk te wijten aan de oppervlakte van de werfbarakken (ongeveer 5 keer zo groot op de site in Haren als het totaal voor de stations) en de duur van de werken (2 à 3 keer zo groot voor de stations als voor de werven op de site in Haren).

C. Vluchtige emissies

Deze post vertegenwoordigt slechts marginale emissies in verhouding tot de totale emissies. Dit is hoofdzakelijk te wijten aan de emissies door lekkages van airconditioningsystemen van de werfinstallaties, met name de werfbarakken.

Deze post is moeilijk te kwantificeren en wordt doorgaans verwaarloosd in het geval van een koolstofbalans voor bouwwerkzaamheden²⁹. Daarom wordt ze niet in aanmerking genomen in deze koolstofbalans.

²⁸ Volgens het Bestek dat door BMN is opgesteld.

²⁹ Bron: ADEME, FNTP (2015). *Réaliser une analyse environnementale dans les Travaux Publics*

D. Productiemiddelen

De post Productiemiddelen omvat twee soorten goederen die worden verbruikt bij de uitvoering van het Metro Noord-project: de **materialen die worden gebruikt voor de bouw van de infrastructuren** en de **voorzieningen** die erin zijn ondergebracht.

Voor de koolstofbalans worden de materialen beton, staal en glas, en de voorzieningen liften en roltrappen in aanmerking genomen.

D.1. Materialen

De activiteitsgegevens komen overeen met de hoeveelheden materialen die bij de uitvoering van de verschillende bouwwerken van het project zijn gebruikt. De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in CO₂-emissies per m³ of ton materiaal.

D.1.1. *Beton*

De evaluatie wordt eerst uitgevoerd voor een **basisscenario**, waarin de verschillende soorten beton worden gedefinieerd aan de hand van hun weerstandsklasse, waarmee een emissiefactor overeenkomt.

Vervolgens wordt een **gevoeligheidsstudie** uitgevoerd, waarbij de samenstelling van het beton wordt gevarieerd en meer bepaald in functie van het soort cement.

Basisscenario

De activiteitsgegevens met betrekking tot beton zijn in verschillende categorieën ingedeeld om rekening te houden met het feit dat voor het Metro Noord-project verschillende soorten beton zullen worden gebruikt, met verschillende eigenschappen en prestaties naargelang van het gebruik. Voor deze verschillende soorten beton gelden verschillende emissiefactoren.

Het Bestek dat door BMN werd opgesteld legt voor bepaalde toepassingen van beton minimumprestaties op, uitgedrukt in weerstandsklassen, gedefinieerd in de norm NBN EN 206-1 en aangeduid met de notatie Cx/y, waarbij:

- C staat voor 'Concrete' (Engels voor beton);
- x overeenkomt met de drukweerstand op 28 dagen van een cilindrisch proefstuk³⁰ van het beton in kwestie, uitgedrukt in N/mm²;
- y overeenkomt met de drukweerstand op 28 dagen van een kubusvormig proefstuk³¹ van het beton in kwestie, uitgedrukt in N/mm².

Beton van de klasse C25/30 heeft dus een weerstand op een cilindrisch proefstuk van 25 N/mm² en een weerstand op een kubusvormig proefstuk van 30 N/mm².

Voor een gegeven weerstandsklasse is er potentieel een oneindig aantal mogelijke betonsamenstellingen, en dus potentieel ook een oneindig aantal emissiefactoren. De emissiefactoren hangen af van de aard en de hoeveelheid van de verschillende bestanddelen (cement, zand, aggregaten, water, additieven, enz.). Bij wijze van hypothese en om het probleem

³⁰ Met gestandaardiseerde afmetingen: diameter = 15 cm, hoogte = 30 cm

³¹ Met gestandaardiseerde afmetingen: zijde = 15 cm

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

van de betonsamenstelling, die in het Bestek van BMN slechts gedeeltelijk wordt vastgesteld, te omzeilen, wordt de indeling van de betonsoorten die voor de koolstofbalans wordt gebruikt daarom vastgesteld volgens de weerstandsklassen waarvoor in de literatuur emissiefactoren worden voorgesteld. Naast de weerstandsklasse geeft het Bestek van BMN aanbevelingen zoals het gebruik van cement CEM III, maar specificeert niet direct de aard en verhoudingen van de andere bestanddelen.

Het gebruik van dergelijke weerstandsklassen heeft ook het voordeel dat er op basis ervan emissiefactoren zijn bepaald. Deze maken het mogelijk bij de berekening van de emissies rekening te houden met de verscheidenheid aan betonsoorten. De waarden van de emissiefactoren die in aanmerking zijn genomen in de koolstofbalans die is uitgewerkt voor het Grand Paris Express-project worden hier gebruikt.

Bovendien worden, weerom als hypothese, bepaalde hoeveelheden beton waarvoor in het Bestek van BMN geen streefprestatie is aangegeven, gelijkgesteld met bepaalde weerstandsklassen.

In de onderstaande tabel staan de waarden voor de verschillende weerstandsklassen van het beton dat bij het Metro Noord-project wordt gebruikt, en de belangrijkste toepassingen.

De aangegeven emissiefactoren houden geen rekening met de wapening, die bij het staal in rekening wordt gebracht.

Weerstandsklasse	Emissiefactor [kg eqCO ₂ /m ³]	Belangrijkste toepassingen	
		Infrastructuren excl. tunnel**	Tunnel
C16/20	195	Beton voor netheid, vulling en helling	
C20/25	209		Funderingsplaat***, vulling van tunnelbodem***
C30/37	*248	Diepwanden, staven, funderingsplaat, tussentegels, balken, kolommen, draagzeilen, binnentrappen, perrontegels, afscherming graafwerken, palen, bevroeringszones	Beddingslaag***
C35/45	*275	Tegels en afdekliggers, randliggers boven diepwanden, zeilen tegen de grond, tegenzeilen en emergente structuren	
C45/55	*308		Gewelfstenen***
C50/60	325	Voorgespannen beton	Dwarsliggers****

* Waarden niet verstrekt en verkregen door lineaire interpolatie

** Volgens het Bestek van BMN en assimilaties uit hypothese

*** Gebaseerd op contacten met BMN of documenten van BMN. De beddingslaag is een betonnen laag onder de sporen, die boven op de funderingslaag wordt gegoten.

**** Gebaseerd op de koolstofbalans van het Grand Paris Express-project

Tabel 14: Soorten beton die gebruikt worden in het Metro Noord-project: weerstandsklassen, emissiefactoren en toepassingen (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Voor de bouw van de tunnel is ook het gebruik van **stopmortel** vereist, waarvoor een emissiefactor van 375 kg CO₂/m³ in aanmerking wordt genomen. Deze mortel wordt gebruikt om de ruimte tussen de grond en de gewelfstenen op te vullen, om te voorkomen dat de gewelfstenen verschuiven of dat de grond gaat verzakken. Hoewel het geen beton als zodanig is, wordt het toch in de koolstofbalans opgenomen, gezien de grote hoeveelheden die worden gebruikt.

In de onderstaande tabel staan de belangrijkste hoeveelheden beton die voor het Metro Noord-project zijn geëvalueerd. De totale waarde is slechts indicatief, aangezien de emissiefactoren voor de verschillende in aanmerking genomen betonsoorten per deelproject verschillen, en dus ook de bijbehorende emissies.

Deelproject		Hoeveelheid [m ³]
Tunnel	Beton	91.125
	Stopmortel	17.477
Stations		293.192
P0-schacht en toegangshelling		24.214
Stelplaats		30.275
Totaal		456.283

Tabel 15: Algemeen overzicht van de hoeveelheden beton gebruikt voor het Metro Noord-project (ARIES, 2020)

De belangrijkste geometrische gegevens voor de **tunnel** zijn hieronder weergegeven.

Grootte	Hoeveelheid [m]
Lengte (stations niet meegerekend)	3.773
Lengte (met stations)	4.544
Binnendiameter van de tunnel	8,9
Buitendiameter van de ringen van gewelfstenen	9,7
Totale buitendiameter (met laag stopmortel)	10

Tabel 16: Gegevens over de tunnelgeometrie (ARIES, 2020, gebaseerd op BMN, 2018-2020)

Deze afmetingen gaan dus uit van een dikte van de gewelfstenen van 40 cm en een gemiddelde dikte van de stopmortellaag van 15 cm.

Zie Boek II Tunnel, deel 1, punt 1.2. De tunnel

In de hypothese worden de sporen van de nodige wissels niet meegeteld.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De andere belangrijkste gegevens en hypothesen voor de tunnel, en de daarvan afgeleide hoeveelheden beton, worden hieronder getoond.

Bestanddeel	Grootte	Eenheid	Hoeveelheid
Gewelfstenen	Lengte van de ringen*	m	1,8
	Aantal gewelfstenen per ring*	st.	7
	Betonvolume	m³	44.095
Funderingsplaat	Betonvolume**	m³	35.000
Dwarsliggers	Tussenafstand**	m	0,6
	Massa beton per dwarsligger**	kg	245
	Totaal aantal dwarsliggers (2 sporen)	st.	15.147
	Betonvolume**	m³	1.613
Beddingslaag	Lineair volume**	m ³ /m	1,5
	Betonvolume**	m³	6.816
Bodem van de tunnel	Betonvolume**	m³	3.600
Totaal	Totaal betonvolume	m³	91.125

* Volgens studies van BMN

** Volgens informatie verkregen van BMN

Tabel 17: Belangrijkste gegevens en hypothesen met betrekking tot de tunnel (ARIES, 2020, volgens BMN, 2018 tot 2020)

De gegevens betreffende de stations, de schacht P0 en de toegangshelling zijn afkomstig van door BMN uitgevoerde opmetingen en omvatten gegevens die zijn geaggregeerd per gebruik (tegels, diepwanden, kolommen, balken, enz.).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies bij de productie van het beton nodig voor het project.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Tunnel	24.248
Tunnel (stopmortel)	6.554
Stations	73.069
P0-schacht en toegangshelling	6.012
Stelplaats	7.338
Totaal	117.221

Tabel 18: Emissies - As Bouw van infrastructuur - Post Productiemiddelen - Beton (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De emissies in verband met het beton dat in de stations wordt gebruikt, zijn drie keer hoger dan die voor de tunnel. Dit is hoofdzakelijk te wijten aan de hoeveelheden gebruikte materialen, die een vergelijkbare verhouding hebben³².

Gevoeligheidsstudie

Zoals hierboven vermeld, is het doel van deze gevoeligheidsstudie om het effect van de betonsamenstelling op de broeikasgasemissies te beoordelen.

De samenstelling van het beton dat daadwerkelijk op de toekomstige werven zal worden gebruikt, is in dit stadium nog niet bekend. Het Bestek van BMN geeft slechts gedeeltelijke vereisten waaraan de geselecteerde inschrijvers zullen moeten voldoen bij de betonsamenstellingen die zij voorstellen.

Het doel van deze gevoeligheidsstudie is niet om een specifieke betonsamenstelling aan te bevelen, gezien de diversiteit van de parameters, maar om te bepalen in hoeverre de emissies in verband met de betonproductie kunnen variëren.

Beton bestaat over het algemeen uit cement, zand, grind, water en diverse toevoegingen, zoals hulpstoffen, versnellers of vertragers van de verharding, enz.

Uit de literatuur blijkt dat de belangrijkste bijdrage aan emissies in verband met beton samenhangt met het gebruikte cement. Een orde van grootte van de emissiefactoren voor zand en grind kan immers worden geraamd op 0,015 kg eqCO₂/kg. De emissiefactor voor water, hoewel niet onbestaande, kan worden verwaarloosd. De onderstaande tabel, die is overgenomen uit de methodologie van Grand Paris, illustreert de bijdrage van de verschillende componenten van een betonsoort met weerstandsklasse C25/30.

Composant	Quantité (kg/m ³)	Facteur d'émission (kgCO ₂ e/kg)	Emission (kgCO ₂ e/m ³)
Ciment Type I	300	0,990	297
Sable	650	0,015	10
Grave	1300	0,015	19,5
Eau	180	0,0003	0,05
TOTAL	2430		326

**Tabel 19: Berekening van een emissiefactor voor beton C25/30 (NPK-E)
(Société du Grand Paris, 2012)**

In het geval van deze koolstofbalans worden ook de emissies in verband met additieven, waarvan de aard en hoeveelheid onbekend zijn, verwaarloosd. Daarom zal hierna alleen het effect van het cement worden geanalyseerd.

Vanuit methodologisch oogpunt wordt in eerste instantie uitgegaan van de emissiefactoren die eerder in het basisscenario zijn gebruikt en per weerstandsklasse zijn gedefinieerd. Aangezien de samenstelling van de betonsoorten die tot deze emissiefactoren hebben geleid niet bekend is, zullen bepaalde hypothesen worden gesteld om een vereenvoudigde samenstelling van de verschillende betrokken betonsoorten te bepalen, evenals de emissiefactor van het gebruikte

³² Deze verhouding is echter afhankelijk van de verhouding tussen de verschillende soorten beton die worden gebruikt.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

cement, dat als identiek wordt beschouwd. Tenslotte zullen nieuwe emissiefactoren voor deze verschillende betonsoorten worden berekend door de aard van het cement te variëren.

Bij gebrek aan gedetailleerde informatie over de samenstelling van de betonsoorten wordt de emissiefactor voor 1 m³ beton berekend aan de hand van de volgende vereenvoudigde verhouding:

$$FE_{beton} = FE_{cement} \cdot q_{cement} + FE_{andere\ bestanddelen} \cdot q_{andere\ bestanddelen}$$

waarin:

- FE_{cement} : emissiefactor van cement;
- q_{cement} : hoeveelheid (massa) cement in 1 m³ beton;
- $FE_{andere\ bestanddelen}$: emissiefactor die overeenkomt met de andere bestanddelen van het beton (zand, grind, water, additieven);
- $q_{andere\ bestanddelen}$: hoeveelheid (massa) van andere bestanddelen van het beton.

Bij wijze van hypothese:

- De totale massa van 1 m³ beton (dichtheid) wordt gelijkgesteld aan 2300 kg, ongeacht de weerstandsklasse;
- De emissiefactor van de andere bestanddelen wordt gesteld op 0,015 kg CO₂/kg.

De emissiefactor van cement kan dus aan de hand van de volgende verhouding worden bepaald:

$$FE_{cement} = \frac{FE_{beton} - 0,015 \cdot (2300 - q_{cement})}{q_{cement}}$$

De hoeveelheden cement zijn eveneens onbekend en worden geacht gelijk te zijn aan de minimumhoeveelheden cement die normatief zijn opgelegd³³ voor bepaalde weerstandsklassen (van C16/20 tot C35/45), zoals in de onderstaande tabel is aangegeven, samen met de daaruit afgeleide emissiefactoren.

	Eenheid	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45
Minimaal normatief opgelegd q_{cement}	kg/m ³	260	280	300	320	340
FE_{cement}	kg eqCO ₂ /kg	0,63	0,64	0,63	0,68	0,68

Tabel 20: Hoeveelheden cement en emissiefactoren per weerstandsklasse (ARIES, 2021)

De verkregen emissiefactoren hebben relatief vergelijkbare waarden en, met inachtneming van de hierboven gestelde hypothesen, kan redelijkerwijs worden afgeleid dat het cement dat wordt gebruikt bij de samenstelling van de betonsoorten waarvoor de emissiefactoren zijn berekend die in de methode van Grand Paris zijn gebruikt, van de ene weerstandsklasse tot de andere identiek is en een emissiefactor heeft van ongeveer 0,65 eqCO₂/kg.

³³ Volgens de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De vereenvoudigde samenstelling is dus enigszins degelijk en kan worden gebruikt als basis voor de berekening van de emissiefactoren in de gevoeligheidsstudie.

In het specifieke geval van de diepwanden, waarvan de weerstandsklasse door het Bestek van BMN op C30/37 wordt gesteld, bedraagt de hoeveelheid cement, die eveneens in dit Bestek wordt opgelegd, 380 kg/m³. Deze waarde wordt in de rest van de gevoeligheidsstudie in aanmerking genomen. Bovendien wordt in zeldzame gevallen (minder dan 1% van de totale hoeveelheid beton geraamd voor alle stations) beton C50/60 voorzien. Vervolgens wordt de omgekeerde benadering gevolgd: de hoeveelheid cement wordt afgeleid uit de emissiefactor van deze weerstandsklasse (325 kg eqCO₂/m³) en de emissiefactor van cement van 0,65 kg eqCO₂/kg.

Met realistische betonsamenstellingen is het mogelijk de emissiefactor van het cement te variëren.

Bij de analyse zal rekening worden gehouden met:

- Cement van het type CEM I, samengesteld uit minimaal 95% klinker en maximaal 5% secundaire bestanddelen;
- Cement van het type CEM III, samengesteld uit klinker (tussen 5 en 64%), hoogovenslak (tussen 36 en 94%) en eventuele secundaire bestanddelen (maximaal 5%).

In de **voorschriften van BMN inzake beton wordt het gebruik van cement van het type CEM III aanbevolen**, met uitzondering van geprefabriceerde elementen, waarvoor alleen cement van het type CEM I is toegestaan. In het geval van het metroproject gaat het hoofdzakelijk om de gewelfstenen, die ongeveer 10% uitmaken van de totale hoeveelheid beton die voor het gehele project (tunnel, stations, stelplaats, P0-schacht en toegangshelling) wordt gebruikt.

De emissiefactoren variëren naar gelang van de samenstelling van deze cementsoorten. Daarom werd besloten rekening te houden met de factoren die worden vermeld in de Guide sectoriel Travaux publics van ADEME en de Franse Fédération National des Travaux Publics³⁴.

Het document geeft slechts één emissiefactor aan voor cement CEM I, die is vastgesteld op 0,866 kg eqCO₂/kg, terwijl het een reeks emissiefactoren bevat voor verschillende soorten cement CEM III. Om conservatief te zijn is uit de verschillende emissiefactoren voor CEM III de emissiefactor gekozen die overeenkomt met cement CEM III/A, dat een hoger klinkergehalte heeft en daardoor potentieel hogere emissies veroorzaakt, en 0,461 kg eqCO₂/kg bedraagt.

Op basis van deze emissiefactoren van de cementsoorten kunnen nieuwe reeksen emissiefactoren worden berekend voor de verschillende weerstandsklassen van de betonsoorten (zie onderstaande tabel), uitgaande van dezelfde hypothesen als hierboven gesteld.

³⁴ Bron: ADEME, FNTP (2015). *Réaliser une analyse environnementale dans les Travaux Publics*

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Type cement	Emissiefactoren voor beton [kg eqCO ₂ /m ³]						
	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37 (exclusief diepwanden)	C35/45	C50/60	C30/37 (diepwanden)
Société du Grand Paris*	195	209	220	248	275	325	248
CEM I	256	273	290	307	324	424	358
CEM III	150	159	168	177	186	239	204

* Sommige waarden zijn het resultaat van lineaire interpolatie (zie boven).

** Het onderscheid tussen het beton C30/37 dat voor diepwanden wordt gebruikt en het beton dat voor andere toepassingen wordt gebruikt, wordt niet gemaakt in de waarden die zijn afgeleid van de methodologie van de Société du Grand Paris

Tabel 21: Emissiefactoren voor beton volgens weerstandsklasse en cementtype (ARIES, 2021)

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de totale broeikasgasemissies voor beton, berekend voor de 3 soorten cement in kwestie. Bij de resultaten voor cement CEM III is rekening gehouden met het feit dat de gewelfstenen zijn vervaardigd uit cement CEM I, zoals voorgeschreven in het Bestek van BMN.

	Basisscenario	Cement CEM I		Cement CEM III	
	Emissies [teqCO ₂]	Emissies [teqCO ₂]	Variatie / Basisscenario	Emissies [teqCO ₂]	Variatie / Basisscenario
Tunnel	30.802	38.138	24%	32.295	-20%
Stations	73.069	96.011	31%	55.132	-25%
P0-schacht en toegangshelling	6.012	8.097	35%	4.641	-23%
Stelplaats	7.338	9.140	25%	5.287	-28%
Totaal	117.221	151.386	29%	97.355	-23%

Tabel 22: Emissies van de post Productiemiddelen – Beton – Gevoeligheid van emissies aan cement (ARIES, 2021)

Het effect van het soort cement op de resultaten is niet te verwaarlozen: bij gebruik van cement CEM I in plaats van cement CEM III nemen de emissies in verband met de betonproductie voor het gehele project met 55% toe, d.w.z. een toename met ongeveer 55.000 teqCO₂.

Ter herinnering, het gebruik van cement CEM III wordt wel degelijk aanbevolen in de voorschriften van BMN, behalve voor de gewelfstenen. De analyse van de koolstofbalans bevestigt dus deze keuze.

Deze resultaten worden in de samenvatting van de resultaten gecontextualiseerd, samen met de emissies van andere posten (zie punt 4.1.1.3).

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

D.1.2. Staal

Wat betreft de activiteitsgegevens, vermeldt de onderstaande tabel de belangrijkste hoeveelheden staal die voor het Metro Noord-project zijn geëvalueerd.

Deelproject	Hoeveelheid [t]
Tunnel	5.461
Stations	37.220
P0-schacht en toegangshelling	2.811
Stelplaats	5.029
Totaal	50.521

Tabel 23: Algemeen overzicht van de hoeveelheden staal gebruikt voor het Metro Noord-project (ARIES, 2020)

Voor de tunnel wordt staal gebruikt voor de sporen (looprails en 3e rail) en het wapenen van de gewelfstenen. De toegangshelling naar de tunnel en de stelplaats zijn ook van sporen voorzien.

Onderstaande tabel bevat de voornaamste beschouwde gegevens en hypothesen, en de hoeveelheden staal voor de tunnel. Ter herinnering, de lengte van de metrolijn bedraagt 4,544 km (dubbel spoor). Zoals eerder vermeld, worden voor de hypothese de sporen van de nodige wissels niet meegeteld. De totale lengte van de sporen van de stelplaats bedraagt 7,3 km (enkele sporen), terwijl de lengte van de sporen van de toegangshelling 0,34 km bedraagt (enkel spoor).

Component	Lineaire massa [kg/m]	Hoeveelheid staal [t]		
		Tunnel	Toegangshelling	Stelplaats
Looprails	*49,97	908	68	730
3 ^e rail	**40	364	27	292
Wapening gewelfstenen	*95	4189	-	-

* Gebaseerd op informatie verkregen van BMN

** Gebaseerd op informatie verkregen van de MIVB

Tabel 24: Belangrijkste gegevens en hypothesen met betrekking tot de tunnel (ARIES, 2020, volgens BMN, 2018 tot 2020)

Andere hoeveelheden dan die welke betrekking hebben op de sporen, die overeenkomen met de stations, de schacht P0 en de toegangshelling, alsook de stelplaats, worden ontleend aan opmetingen verricht door BMN. Voor de stations zijn deze hoeveelheden geglobaliseerd per gebruik (armaturen, profielen, enz.), terwijl ze voor de stelplaats overeenkomen met het gebruik voor de ruwbouw (raamwerk, luifels, stalen profielplaten, enz.), en voor de onderhoudspaden, trappen, enz.

Voor staal wordt één enkele emissiefactor voor alle infrastructuren in aanmerking genomen, gelijkgesteld op 1,804 kg eqCO₂/t. Deze waarde komt overeen met het gewogen gemiddelde van de emissiefactoren voor de productie van nieuw staal (2.211 kg eqCO₂/t) en voor de productie van gerecycled staal (938 kg eqCO₂/t) uit de Bilan Carbone van ADEME, gewogen met het

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

aandeel van de hoogovenstaal- en elektrische staalproductie in België, respectievelijk gelijk aan 68 en 32%^{35,36}.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies bij de productie van het nodige staal voor het project.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Tunnel	9.849
Stations	67.132
P0-schacht en toegangshelling	5.241
Stelplaats	10.912
Totaal	93.135

Tabel 25: Emissies - As Bouw van de infrastructuur - Post Productiemiddelen - Staal (ARIES, 2020)

De emissies zijn recht evenredig met de hoeveelheden gebruikte materialen. De emissies in verband met het beton dat in de stations wordt gebruikt, zijn ongeveer 7 keer hoger dan die voor de tunnel. Dit is te wijten aan de hoeveelheden gebruikte materialen, die een vergelijkbare verhouding hebben.

D.1.3. Glas

De onderstaande tabel vermeldt, wat de activiteitsgegevens betreft, de door BMN geraamde beglazingsoppervlakken voor de 7 stations en de stelplaats. Dit zijn ramingen op het moment van het opstellen van deze studie.

Evenzo zijn de in aanmerking genomen glasdiktes hypothesen die in latere fasen van het project moeten worden bevestigd. De dichtheid van het glas wordt voor de hypothese gelijkgesteld op 2,5 t/m³.

Deelproject	Oppervlakte [m ²]	Dikte [m]	Volume [m ³]	Massa [t]
Stations	16.910	0,016	271	676
Stelplaats	8.293	0,016	133	332
	511	0,008	4	7
Totaal			407	1018

Tabel 26: Algemeen overzicht van de hoeveelheden glas gebruikt voor het Metro Noord-project (ARIES, 2020)

³⁵ Bron: GSV (Staalindustrie Verbond). *Belgisch staal in 2018 – Jaarverslag*

³⁶ Dit is een voorzichtige hypothese. Dit betekent dat al het nieuwe staal in hoogovens wordt geproduceerd, uitsluitend op basis van erts, terwijl de industrie ook schroot gebruikt, wat de emissies van BKG vermindert.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Voor glas wordt één enkele emissiefactor voor alle infrastructuren in aanmerking genomen. De in aanmerking genomen waarde, ontleend aan de Base Carbone, komt overeen met de productie van vlakglas (floatglas) en is gelijk aan 1.260 kg eqCO₂/t.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies in verband met de productie van het nodige glas voor het project.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Stations	852
Stelplaats	431
Totaal	1.283

Tabel 27: Emissies - As Bouw van de infrastructuren - Post Productiemiddelen - Glas (ARIES, 2020)

De emissies zijn recht evenredig met de hoeveelheden gebruikte materialen.

D.2. Voorzieningen

De belangrijkste voorzieningen van het Metro Noord-project die in deze koolstofbalans zijn opgenomen, zijn de **roltrappen** en **liften**. Het project voorziet 92 roltrappen en 27 liften verdeeld over de 7 stations. De activiteitsgegevens zullen hier overeenkomen met de hoeveelheid van de materialen waaruit ze zijn samengesteld.

Als hypothese wordt verondersteld dat de massa van de liften gelijk is aan 1 ton, terwijl die van de roltrappen gelijk is aan gemiddeld 12 ton, waarbij rekening wordt gehouden met de verscheidenheid aan types roltrappen voorzien in het project. Dit gemiddelde wordt berekend op basis van de massa's die zijn vermeld in de technische fiches in bijlage bij de aanvraag om een milieuvergunning voor het project.

Bij gebrek aan gedetailleerde gegevens over de aard (staal, aluminium, glas, enz.) en de massa van de onderdelen, wordt deze uitrusting geacht volledig van staal te zijn gemaakt. Dit is een voorzichtige hypothese, aangezien de emissiefactor voor staal (1.800 kg eqCO₂/t) hoger is dan voor glas (1.260 kg eqCO₂/t voor floatglas, volgens de Base Carbone). Aluminium heeft een hogere emissiefactor (6.100 kg eqCO₂/t³⁷), maar wordt in beperkte verhoudingen gebruikt (treden, bordesplaten, enz. in het geval van een roltrap).

De emissies die zijn beoordeeld voor het gedeelte voorzieningen van de post Productiemiddelen zijn in de onderstaande tabel per deelproject en per voorziening aangegeven.

³⁷ Bron: Base Carbone van ADEME

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Voorzieningen	Emissies [teqCO ₂]
Stations	Roltrappen	1.934
	Liften	49
Totaal		1.982

Tabel 28: Emissies - As Bouw van infrastructuur - Post Productiemiddelen - Voorzieningen (ARIES, 2020)

E. Afschrijvingen

De post Afschrijvingen betreft de emissies in verband met de productie van goederen die voor de uitvoering van het project worden gebruikt: machines, voertuigen, enz. De activiteitsgegevens bestaan uit het beschouwen van de hoeveelheden materialen waaruit de goederen zijn samengesteld, door deze te wegen naar een fractie van hun levensduur die overeenkomt met hun gebruik voor het project.

De activiteitsgegevens worden daarom als volgt berekend, voor een bepaalde machine, waarvan wordt aangenomen dat ze uit één materiaal is vervaardigd:

$$DA_{Afschrijvingen,machine} = \frac{t_{gebruik\ machine/project}}{levensduur\ machine} \cdot m_{materiaal\ machines}$$

Of:

- $t_{gebruik\ machine/project}$: tijd dat de machine voor het project wordt gebruikt;
- Levensduur machine: levensduur van de machine;
- $m_{materiaal\ machine}$: de massa van het materiaal waaruit de machine is opgebouwd.

In de post Afschrijvingen wordt alleen de **tunnelboormachine** in aanmerking genomen. De machines die op de andere werven van het project worden gebruikt, zijn niet in aanmerking genomen, gezien de onzekerheden over hun aantal, aard, samenstellende materialen, bedrijfstijden en levensduur in dit stadium van de studie.

De tunnelboormachine zal gedurende de gehele levensduur uitsluitend voor het Metro Noord-project worden gebruikt. Het activiteitsgegeven komt dus overeen met de massa van de machine. Er wordt van uitgegaan dat de tunnelboormachine volledig van staal is, met een massa van 1.500 ton³⁸.

De gebruiksfactor voor staal is 1.804 kg eqCO₂/t. De emissies ten gevolge van de productie van de tunnelboormachine worden derhalve geraamd op **2.705 teqCO₂**.

F. Afvalbeheer

De uitvoering van het Metro Noord-project produceert twee categorieën van afval:

- uitgegraven materiaal** door graafwerken
- en **civieltechnisch afval** van het proces zelf van de bouw van de infrastructuur. Zij zijn samengesteld uit gesloopt beton (afbraak van massieve wanden, hakwerk van

³⁸ Gemiddelde massa gevonden voor tunnelboormachines met snijwielen van vergelijkbare diameter als die welke voor het Metro Noord-project zullen worden gebruikt (ongeveer 10 m).

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

diepwanden, balken, secanspalen, afbraak van geleidewanden, enz.) en de gesloopte jet-grouting.

In het kader van deze koolstofbalans wordt geen rekening gehouden met de emissies die verband houden met de verwerking van dit afval. De emissies in verband met afval hebben alleen betrekking op het vrachtvervoer dat nodig is voor de verwijdering ervan.

In dit punt worden daarom alleen de soorten en hoeveelheden geproduceerd afval gepresenteerd. De gegevens worden vervolgens gebruikt voor de post Uitgaand vrachtvervoer.

F.1. Uitgravingen

In de onderstaande tabel zijn de verschillende volumes uitgegraven materiaal aangegeven, op basis van metingen door BMN. Het onderscheid tussen valoriseerbaar en niet valoriseerbaar afval, zowel voor de stations als voor de tunnel, is bepaald op basis van de verhoudingen die zijn beoordeeld in een voorstudie eveneens uitgevoerd door BMN.

De belangrijkste hypothesen van deze studie nemen in aanmerking:

- de **grond die van de eerste 5 meter wordt afgegraven**, wordt als verontreinigd beschouwd en zal naar een verwerkingscentrum worden gestuurd alvorens te worden begraven;
- de **bestaand vulmateriaal** worden beschouwd als niet valoriseerbaar en te begraven;
- een **bodemuitzettingsfactor** van 1,3, waarbij rekening wordt gehouden met de uitzetting van het volume van de grond bij de uitgraving.

Voor de tunnel is 77% van de grond valoriseerbaar en 23% is niet valoriseerbare inerte grond. Voor de stations is 55% van de grond valoriseerbaar (20,5% van het Brusselse zand en 34,2% van de andere grond dan het Brusselse zand), 26,3% van de verontreinigde niet valoriseerbare grond moet worden behandeld en 19% van de inerte niet valoriseerbare grond moet worden gestort.

Bij gebrek aan een dergelijk onderscheid voor de schacht P0 en de toegangshelling, alsook voor de stelplaats, werd aangenomen dat alle uitgegraven grond niet valoriseerbaar was. In tegenstelling tot de tunnel betreffen de graafwerken op deze locaties de eerste meters grond.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Volume van niet uitgezet uitgegraven materiaal [m ³]				Totaal volume niet uitgezet [m ³]	Totaal uitgezet volume [m ³]
	Valoriseerbaar		Niet valoriseerbaar			
	Brusselse aarde	Valoriseerbaar uitgegraven materiaal, met uitzondering van Brusselse aarde	Inert	Te behandelen		
Tunnel		228.181		68.158	296.339	385.241
Stations	155.320	259.119	143.955	199.264	757.657	984.954
P0-schacht en toegangshelling		0		65.321	65.321	84.917
Stelplaats		0		317.180	317.180	412.334
Totaal		642.620		793.878	1.436.497	1.867.446

Tabel 29: Volume en aard van het uitgegraven materiaal bij het Metro Noord-project (ARIES, 2020)

Afhankelijk van de aard van het uitgegraven materiaal kan het voor verschillende doeleinden worden gebruikt:

- **Valoriseerbaar uitgegraven materiaal** wordt gebruikt als bouw- of vulmateriaal. Als hypothese zal dit uitgegraven materiaal worden vervoerd naar de haven van Brussel, waar het zal worden opgeslagen, met name met het oog op hergebruik als bouw- of vulmateriaal binnen het Brusselse Gewest. De opmeting van BMN voorziet dat een verwaarloosbare fractie van het uitgegraven materiaal zal worden hergebruikt als vulmateriaal, waarvan het totale niet uitgezette volume 6.925 m³ bedraagt.
- Bij wijze van hypothese wordt gesteld dat het **verontreinigde niet valoriseerbare uitgegraven materiaal** naar een verwerkingscentrum zal worden vervoerd en vervolgens per binnenschip naar Nederland zal worden vervoerd voor hergebruik als vulmateriaal ter versterking van dijken.
- Ook **niet-recycleerbaar inert**, niet-verontreinigd uitgegraven materiaal wordt verondersteld per binnenschip naar Nederland te worden vervoerd.

De hoeveelheid uitgegraven materiaal van de stelplaats komt overeen met de uitgravingen die nodig zijn voor de egalisatie van de gehele site in Haren en heeft dus niet alleen betrekking op de terrein van de stelplaats.

F.2. Civieltechnisch afval

Het civieltechnisch afval zal ontstaan bij de bouwwerken van de stations, de schacht P0 en de toegangshelling.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Hoeveelheid [m ³]
Stations	31.876
P0-schacht en toegangshelling	1.893
Stelplaats	1.200
Totaal	34.969

Tabel 30: Volume van civieltechnisch afval dat ontstaat bij de uitvoering van het Metro Noord-project (ARIES, 2020)

Er wordt verondersteld dat dit afval vervoerd zal worden naar de haven van Brussel, waar het zal worden opgeslagen, met name met het oog op hergebruik als bouw- of vulmateriaal binnen het Brusselse Gewest.

G. Inkomend vrachtvervoer

De post Inkomend vrachtvervoer omvat het vervoer van **bouwmaterialen** die onder de post Productiemiddelen vallen, d.w.z. beton, staal en vulmateriaal. Gezien de kleine volumes wordt het vervoer van glas verwaarloosd, evenals het vervoer van **bouwmachines**.

G.1. Materialen

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtvervoer worden uitgedrukt in tonkilometer, wat betekent dat de hoeveelheden materiaal in termen van massa gekend moeten zijn, wat niet het geval is voor het beton. De opmeting van BMN geeft namelijk de volumes aan.

Aangezien de samenstelling van de verschillende soorten beton in dit stadium van de studie nog niet vaststaat, is het dus noodzakelijk een aanname te doen over de dichtheid van het beton om de volumes om te kunnen rekenen in massa's. Deze dichtheid is daarom vastgesteld op 2,3 t/m³, een standaardwaarde waarvan, in het kader van de koolstofbalans, wordt aangenomen dat zij voor alle toepassingen dezelfde is. Voor de stopmortel wordt de dichtheid gelijk geacht aan 2 t/m³ ³⁹.

Bij wijze van hypothese komen de geschatte afstanden overeen met de leveranciers die zich het dichtst bij de werven bevinden, tenzij anders vermeld (hypothese 2020).

De evaluatie wordt eerst uitgevoerd voor een **basisscenario**, waarbij voor het vervoer van grote hoeveelheden materiaal (gewelfstenen, staal) over het algemeen de voorkeur wordt gegeven aan de binnenvaart, hetgeen overeenkomt met de situatie in België.

Vervolgens wordt een **gevoeligheidsstudie** uitgevoerd, waarbij het vervoer over de binnenwateren achtereenvolgens wordt vervangen door vervoer per spoor en vervolgens door vervoer over de weg.

³⁹ Bron: N. Roussel, C. Lanos en Z. Toutou (2003). *Remontée d'un anneau de voussoir : modélisation et analyse paramétrique* (in Revue Française de Géotechnique, nr. 104)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

G.1.1. Basisscenario

Beton

Wat de analyseperimeter voor de bepaling van de activiteitsgegevens betreft, gaat de koolstofbalans ervan uit dat de aanvoer van het beton van de betoncentrale naar de verschillende werven over de weg gebeurt. Aangenomen wordt dat de emissies die verband houden met het transport van de verschillende componenten in aanmerking worden genomen via de emissiefactoren. Er wordt van uitgegaan dat het beton dat op de werven van Metro Noord wordt gebruikt, gebruiksklaar is. De oppervlakte van de werfzones is betrekkelijk klein voor de installatie van betonpompen. Het voordeel van de werven van het Metro Noord-project is dat zij niet verwijderd zijn van de betoncentrales die hen zouden kunnen bevoorraden (afstanden van minder dan 10 km). Het verkregen beton moet ook van hoge kwaliteit zijn (met name wat de dosering betreft), hetgeen moeilijker te bereiken is in het geval van productie in situ. De bevoorrading zal echter afhangen van de productiecapaciteit van de betoncentrales.

In het Brussels Gewest zijn vier centrales geïdentificeerd in de nabijheid van de werven, niet ver van het kanaal, en alle gelegen op het grondgebied van de Stad Brussel. Deze locatie maakt het mogelijk de verschillende bestanddelen van het beton (zand, cement, granulaten, enz.) stroomopwaarts over de rivier aan te brengen. Met deze gunstige situatie wordt echter, zoals hierboven vermeld, niet expliciet rekening gehouden in de emissiefactor met betrekking tot de betonproductie.

De afstanden tussen elke centrale en elk station worden vervolgens geschat met behulp van Google Maps. Wanneer meerdere routes mogelijk zijn, wordt de kortste afstand in aanmerking genomen.

Wat de bevoorrading van de werven van de stations betreft, onderscheidt geen van de 4 betoncentrales zich volledig wat de afstand betreft: wanneer een centrale het dichtst bij een station ligt, is dat niet noodzakelijk het geval voor de 6 andere stations.

Om deze reden, en gezien de verschillen tussen de hoeveelheden beton die voor elk station nodig zijn, zullen de emissies worden berekend door uit te gaan van het gemiddelde van de totale tonkilometers voor de 7 stations, berekend voor de 4 betoncentrales.

Onderstaande tabel geeft de beschouwde afstanden weer.

Betoncentrale	Adres	Afstand Betoncentrale – Werf station (kortste route) [km]						
		Liedts	Collignon	Verboekhoven	Riga	Linde	Vrede	Bordet
Inter-Béton	Havenlaan 63	2,0	2,8	3,6	3,9	4,9	5,2	6,3
CCB Cementir-Holding	Havenlaan 79	2,3	3,1	3,4	3,5	4,3	4,6	5,6
Holcim	Rederskaai, poort 12	1,8	2,6	3,2	3,4	4,1	4,4	5,2
Ready Beton Brussel	Léon Monnoyerkaai 11	3,5	2,4	2,3	1,4	1,8	2,2	3,3

Tabel 31: Afstanden tussen verschillende betoncentrales en de werven van de 7 stations (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Het gemiddelde tonkilometer wordt geraamd op 2.339.452 t.km.

Voor de tunnel, de schacht P0 en de toegangshelling, alsook de stelplaats, wordt uitgegaan van het gemiddelde van de tonkilometers van de 4 betoncentrales. Voor al deze deelprojecten is de afstand dezelfde: de werf wordt geacht bij de stelplaats te liggen. In de onderstaande tabel is het aantal tonkilometers voor de verschillende deelprojecten aangegeven.

Betoncentrale	Adres	Afstand Betoncentrale – Werf station (kortste route) [km]	Totaal ton-km [t.km]		
			Tunnel	P0-schacht en toegangshelling	Stelplaats
Inter-Béton	Havenlaan 63	6,1	637.188	339.721	424.761
CCB Cementir-Holding	Havenlaan 79	5,4	564.068	300.737	376.018
Holcim	Rederskaai, poort 12	4,9	511.839	272.891	341.202
Ready Beton Brussel	Léon Monnoyerkaai 11	2,9	302.925	161.507	201.936
Gemiddeld			504.005	268.714	335.979

Tabel 32: Tonkilometers tussen de verschillende betoncentrales en de werven van de tunnel, de schacht P0 en de toegangshelling (ARIES, 2020)

Bovengenoemde waarden hebben alleen betrekking op het **ter plaatse gestorte beton** en dus niet op de in de tunnel gebruikte gewelfstenen en dwarsliggers. Voor deze laatste worden specifieke hypothesen gesteld:

- De **gewelfstenen** worden geacht te worden geproduceerd in een fabriek in de Parijse regio (waarschijnlijk scenario volgens BMN). Als hypothese zal het hoofdtransport over de binnenwateren verlopen over een afstand van 400 km naar de haven van Brussel, terwijl het natransport naar de werven over de weg gebeurt tot aan de stelplaats in Haren, over een afstand van 3,1 km.
- De **dwarsliggers** worden hypothetisch op 60 km geproduceerd. Het transport verloopt over de weg.

De onderstaande tabel geeft de overeenkomstige tonkilometers weer.

	Totaal ton-km [t.km]	
	Weg	Binnenvaart
Gewelfstenen	314.399	40.567.674
Dwarsliggers	222.656	-

Tabel 33: Tonkilometers voor de gewelfstenen en dwarsliggers (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De emissiefactoren voor het vrachtvervoer zijn afhankelijk van de gebruikte vervoerswijze.

Voor ter plaatse **gestort beton** is het de bedoeling gebruik te maken van truckmixers met een capaciteit van 6 m³. De in aanmerking genomen emissiefactor voor het transport van beton is 0,124 kg eqCO₂/t.km. Deze waarde is ontleend aan de Base Carbone en komt, bij wijze van hypothese, overeen met een ongelede vrachtwagen, met een TMTG⁴⁰ tussen 20 en 26 ton, die rijdt op diesel voor het wegvervoer waarin 7% biodiesel is bijgemengd. De onderliggende hypothesen zijn een vulgraad van 60% en een leegtegraad bij terugkeer van 17%.

Voor **gewelfstenen** wordt de emissiefactor voor transport over de binnenwateren bepaald aan de hand van het maximaal toegestane laadprofiel op de te bevaren waterwegen. Een van de meest beperkende trajecten bevindt zich tussen Pommerœul en Brussel. Klasse ECMT IV, de tonnage is beperkt tot 1.500 ton. Daarom zal, bij wijze van hypothese, een emissiefactor van 0,0298 kg eqCO₂/t.km, ontleend aan de Base Carbone en betrekking hebbend op motorvaartuigen met een capaciteit tussen 1.000 en 1.499 ton laadvermogen⁴¹ in aanmerking worden genomen.

Het natransport van de gewelfstenen van de haven van Brussel naar de werven zal worden uitgevoerd door opleggers met een capaciteit van 20 ton, zoals ook het geval is voor het vervoer van staal (zie hieronder). De in aanmerking genomen emissiefactor bedraagt 0,0919 kg eqCO₂/t.km en is eveneens ontleend aan de Base Carbone. De emissiefactor komt, bij wijze van hypothese, overeen met een gelede vrachtwagen met een TMTG van minder dan 34 ton die rijdt op diesel voor het wegvervoer met een biodieselgehalte van 7%. De onderliggende hypothesen zijn een vulgraad van 60% en een leegtegraad bij terugkeer van 17%.

Voor het vervoer van de **dwarsliggers** wordt eveneens aangenomen dat het vervoer wordt uitgevoerd door opleggers van 20 ton.

Tenslotte wordt ervan uitgegaan dat de **stopmortel** op dezelfde wijze wordt geleverd als het beton, van dezelfde leverancier.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies die overeenkomen met het vrachtvervoer dat nodig is voor de aanvoer van beton, zowel ter plaatse gestort als gebruikt in de vorm van gewelfstenen en dwarsliggers.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		
	Weg	Binnenvaart	Totaal
Tunnel	*127	1.209	1.336
Stations	290	0	290
P0-schacht en toegangshelling	33	0	33
Stelplaats	42	0	42
Totaal	492	1.209	1.701

* Met inbegrip van stopmortel (15 teqCO₂)

Tabel 34: Emissies - As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend vrachtvervoer - Beton (ARIES, 2020)

⁴⁰ Toegestaan maximumtotaalgewicht, of TMTG (maximale toegelaten massa)

⁴¹ Laadvermogen: de maximale lading die door een vaartuig kan worden getransporteerd.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De emissies in verband met het beton dat in de tunnel wordt gebruikt, zijn hoger dan die voor de stations, hoewel de volumes van het materiaal in het laatste geval groter zijn. Dit is te wijten aan de hypothetisch veronderstelde afstanden: in het geval van de gewelfstenen en dwarsliggers van de tunnel zijn deze veel groter (respectievelijk 400 km en 60 km) dan de afgelegde afstanden van het beton voor de stations (minder dan 10 km).

Staal

Wat de analyseperimeter voor de bepaling van de activiteitsgegevens betreft, wordt in de koolstofbalans rekening gehouden met de aanvoer van staal over de weg:

- Wat betreft het **staal voor structurele doeleinden** (wapening, profielen, enz.) is de leverancier die voor de hypothese in aanmerking wordt genomen de dichtstbijzijnde. Er wordt van uitgegaan dat het voornaamste traject over de binnenwateren verloopt over 30 km, naar de haven van Brussel. Het natransport wordt geacht te gebeuren over de weg, over afstanden die variëren van de ene werf tot de andere.
- Voor het **staal dat gebruikt wordt voor de wapening van de gewelfstenen** wordt ervan uitgegaan dat, net als voor het beton, het hoofdtransport gebeurt over de binnenwateren over 400 km naar de haven van Brussel en het natransport over de weg naar de verschillende werven.
- Wat de **looprails** (tunnel, toegangshelling en stelplaats) betreft, zal volgens de informatie ontvangen van de MIVB het staal mogelijk afkomstig zijn van een van de volgende 2 bedrijven: British Steel, met een walsenrij in Hayange (België) of VoestAlpine, met een walsenrij in Donawitz (België). Uitgaande van een voorzichtige hypothese wordt deze tweede locatie in aanmerking genomen (op 1050 km van de werf).
- Wat de **3e rail** (tunnel, toegangshelling en stelplaats) betreft, zal volgens de informatie ontvangen van de MIVB het staal mogelijk afkomstig zijn van het bedrijf VoestAlpine. Uitgaande van een voorzichtige hypothese wordt de locatie van de walsenrij in Donawitz in aanmerking genomen, zoals in het geval van de looprails.

In de onderstaande tabel is het aantal tonkilometers voor de verschillende deelprojecten aangegeven.

Deelproject	Totaal ton-km [t.km]	
	Weg	Binnenvaart
Tunnel	1.335.363	1.675.621
Stations	89.441	1.116.601
P0-schacht en toegangshelling	108.631	84.326
Stelplaats	1.088.229	150.859
Totaal	2.621.664	3.027.407

Tabel 35: Tonkilometers voor de verschillende deelprojecten – Staal (ARIES, 2020)

De emissiefactoren voor het vrachtvervoer zijn afhankelijk van de gebruikte vervoerswijze.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Voor het Metro Noord-project wordt gedacht aan opleggers met een capaciteit van 20 ton. De in aanmerking genomen emissiefactor voor het transport van staal is 0,0919 kg eqCO₂/t.km, zoals in het geval van het transport van de gewelfstenen en dwarsliggers.

Voor vrachtvervoer over de binnenwateren wordt de emissiefactor bepaald aan de hand van het maximaal toegestane laadprofiel van de te bevaren waterwegen. Het Kanaal Antwerpen-Brussel-Charleroi (ABC-kanaal)⁴² is, voor het gedeelte ten zuiden van Brussel en voor de betrokken trajecten, van de klassen ECMT IV en ECMT Vib. De klasse ECMT IV komt overeen met een maximaal tonnage van 1.500 ton, terwijl de klasse ECMT Vib vaartuigen tot 12.000 ton toelaat. Daarom moet de emissiefactor worden gekozen die overeenkomt met de meest restrictieve klasse. Daarom zal, als hypothese, een emissiefactor van 0,0298 kg eqCO₂/t.km, ontleend aan de Base Carbone en betrekking hebbend op motorvaartuigen met een capaciteit tussen 1.000 en 1.499 ton draagvermogen in aanmerking worden genomen.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het vrachtvervoer dat nodig is voor de aanvoer van staal.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		
	Weg	Binnenvaart	Totaal
Tunnel	124	50	174
Stations	8	33	41
P0-schacht en toegangshelling	10	3	12
Stelplaats	100	5	105
Totaal	241	90	332

Tabel 36: Emissies - As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend vrachtvervoer – Staal (ARIES, 2020)

De emissies van het in de tunnel gebruikte staal zijn hoger dan die voor de stations (verhouding van ongeveer 1,5), hoewel de volumes van het materiaal voor de stations 7 keer groter zijn. Net als bij het beton is dit het gevolg van de veronderstelde afstanden: in het geval van het staal dat wordt gebruikt voor de vervaardiging van de gewelfstenen, de looprails en de 3e rail voor de tunnel zijn deze veel groter (respectievelijk 400, 1050 en 1050 km) dan de afstanden die door het staal voor de stations worden afgelegd (minder dan 40 km).

Vulmateriaal

Op de werven van de stations zal vulmateriaal worden aangewend, waarvan de volumes in de onderstaande tabel zijn aangegeven⁴³. De opmeting van BMN voorziet dat een verwaarloosbare fractie van het uitgegraven materiaal zal worden hergebruikt als vulmateriaal, waarvan het totale niet uitgezette volume 6.925 m³ bedraagt. Dit volume is opgesplitst in 1.800 m³ vulmateriaal

⁴² Dit kanaal omvat de Schelde voor een deel van zijn tracé.

⁴³ Voor het station Bordet wordt het vulmateriaal van dezelfde werf hergebruikt. De overeenkomstige volumes worden dus niet gerekend, aangezien het transport verwaarloosbaar is.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

voor het station Bordet en 5.125 m³ voor de bouw van de schacht P0 en de toegangshelling. Dit tweede volume omvat alle behoeften aan vulmateriaal voor de betrokken werven.

Voor vulmateriaal van buitenaf wordt, bij gebrek aan informatie over de leverancier, uitgegaan van een hypothetische aanvoer afstand van 50 km. De dichtheid van het vulmateriaal wordt vastgesteld op 2 t/m³, hetzelfde als voor het uitgegraven materiaal.

De activiteitsgegevens, die overeenkomen met de verkregen tonkilometers, zijn eveneens in de onderstaande tabel opgenomen.

Deelproject	Volume vulmateriaal [m ³]	Tonkilometer [t.km]
Stations	32.030	3.203.010
Stelplaats	7.680	768.000
Totaal	39.710	3.971.010

Tabel 37: Volumes en tonkilometers - As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend vrachtvervoer – Vulmateriaal (ARIES, 2020)

Aangenomen wordt dat het transport gebeurt met opleggers met een capaciteit van 20 ton. De in aanmerking genomen emissiefactor is derhalve 0,0919 kg eqCO₂/t.km.

De emissies die overeenkomen met het nodige vrachtvervoer voor de aanvoer van het vulmateriaal zijn in de onderstaande tabel aangegeven.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Stations	294
Stelplaats	71
Totaal	365

Tabel 38: Emissies - As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend vrachtvervoer – Vulmateriaal (ARIES, 2020)

De emissies zijn evenredig met de gebruikte hoeveelheden vulmateriaal.

G.1.2. Gevoeligheidsstudie

Beton

Aangezien de gevoeligheidsstudie alleen betrekking heeft op het hoofdtransport over de binnenwateren, wordt alleen het **transport van de gewelfstenen** geanalyseerd in de gevoeligheidsstudie voor wat betreft beton.

Onderstaande tabel bevat de activiteitsgegevens voor de verschillende gevallen, samen met de onderliggende hypothesen. Voor het spoorwegvervoer wordt het voor- en natransport verwaarloosd en wordt alleen het hoofdtransport in aanmerking genomen (de afstand van het natransport is namelijk zeer klein, gezien de nabijheid van de spoorlijn tot de werf van de stelplaats in Haren). Het vervoer over de weg geschiedt gedurende het gehele traject op dezelfde wijze.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Bovendien wordt de afstand van het traject via het spoor, gezien de moeilijkheden om deze te bepalen, bij wijze van hypothese geacht gelijk te zijn aan de afstand over de weg.

	Eenheid	Binnenvaart		Spoor	Weg
		Hoofdtransport	Natransport		
		Binnenvaart	Weg		
Afgelegde afstand	km	400	3,1	350	350
Ton-km	t.km	314.399	40.567.674	35.496.715	35.496.715

Tabel 39: Hypothesen over de toelevering van de gewelfstenen - As Bouw van de infrastructuur - Inkomend Vrachtovervoer - Gevoelighedsstudie (ARIES, 2020)

Onderstaande tabel bevat de emissiefactoren, ontleend aan de Base Carbone van ADEME. De waarde voor het transport over de binnenwateren is identiek aan het basisscenario, terwijl de waarde voor het wegvervoer overeenkomt met een gelede vrachtwagen met een TMTG van minder dan 34 ton, die rijdt op diesel voor het wegvervoer met een biodieselgehalte van 7%. De waarde met betrekking tot het spoorvervoer komt overeen met die van de goederentreinen in België. In het specifieke geval van de aanvoer van gewelfstenen is het gebruik van deze laatste waarde een conservatieve hypothese, aangezien het grootste deel van dit vervoer plaatsvindt in België, een land waar de energiemix in termen van elektriciteitsproductie minder koolstofintensief is dan in België (de emissiefactor in de koolstofbasis bedraagt minder dan 0,002 kg eqCO₂/t.km, zowel voor een lichte, middelzware als dichte lading).

	Binnenvaart
Transport over de binnenwateren	0,0298 kg eqCO ₂ /t.km
Spoorvervoer	0,0186 kg eqCO ₂ /t.km
Wegvervoer	0,0919 kg eqCO ₂ /t.km

Tabel 40: Hypothesen voor de gevoelighedsstudie met betrekking tot inkomend vrachtovervoer - Toelevering van gewelfstenen - As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend Vrachtovervoer - Vulmateriaal (ARIES, 2020)

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies voor de drie onderzochte vervoerswijzen.

Emissies [teqCO ₂]				
Binnenvaart			Spoor	Weg
Hoofdtransport	Natransport	Totaal		
Binnenvaart	Weg			
1.209	29	1.238	660	3.262

Tabel 41: Emissies – Toelevering van de gewelfstenen – As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend Vrachtovervoer - Gevoelighedsstudie (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De geraamde emissies voor de toelevering van gewelfstenen over de weg zijn het hoogst, ongeveer 2,6 maal de emissies voor het transport over de binnenwateren en 5 maal de emissies voor het transport per spoor.

Deze resultaten worden in de samenvatting van de resultaten gecontextualiseerd met de emissies van andere posten (zie punt 4.1.1.3).

Staal

Aangezien de gevoeligheidsstudie alleen betrekking heeft op het hoofdtransport over de binnenwateren, wordt in de gevoeligheidsstudie alleen het **transport van staal voor structurele doeleinden** en **staal voor de wapening van de gewelfstenen** geanalyseerd wat betreft het beton.

Wat betreft het transport van **staal dat voor structurele doeleinden wordt gebruikt**, zijn in de volgende tabel de activiteitsgegevens voor de verschillende gevallen en de daaraan ten grondslag liggende hypothesen opgenomen. Voor het spoorwegvervoer wordt het voor- en natransport verwaarloosd en wordt alleen het hoofdtransport in aanmerking genomen (de afstand van het natransport is namelijk zeer klein, gezien de nabijheid van de spoorlijn tot de werf van de stelplaats in Haren). Het vervoer over de weg geschiedt gedurende het gehele traject op dezelfde wijze.

Bovendien wordt de afstand van het traject via het spoor, gezien de moeilijkheden om deze te bepalen, bij wijze van hypothese geacht gelijk te zijn aan de afstand over de weg.

Deelproject		Eenheid	Binnenvaart		Spoor	Weg
			Hoofdtransport	Natransport		
			Binnenvaart	Weg		
Stations	Afgelegde afstand	km	30	Variabel (tussen 1,6 en 3,3)	50	50
	Ton-km	t.km	1.116.601	89.441	1.861.002	1.861.002
PO-schacht en toegangshelling	Afgelegde afstand	km	30	3,1	50	50
	Ton-km	t.km	84.326	8.714	140.544	140.544
Stelplaats	Afgelegde afstand	km	30	3,1	50	50
	Ton-km	t.km	150.859	15.589	251.432	251.432

Tabel 42: Hypothesen voor de toelevering van staal voor structurele toepassingen - As Bouw van de infrastructuren - Post Inkomend Vrachtvervoer - Gevoeligheidsstudie (ARIES, 2020)

De emissiefactoren zijn dezelfde als die welke hierboven voor het beton zijn overwogen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies voor de drie onderzochte vervoerswijzen.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]				
	Binnenvaart			Spoor	Weg
	Hoofdtransport	Natransport	Totaal		
	Binnenvaart	Weg			
Stations	33	8	41	35	171
P0-schacht en toegangshelling	3	1	3	3	13
Stelplaats	4	1	6	5	23
Totaal	40	10	51	42	207

Tabel 43: Emissies – Toelevering van staal voor structurele toepassingen – As Bouw van de infrastructuur – Post Inkomend Vrachtvervoer – Gevoeligheidsstudie (ARIES, 2020)

De geraamde emissies voor de toelevering van staal voor structurele toepassingen over de weg zijn het hoogst, ongeveer 2,6 maal de emissies voor het transport over de binnenwateren en 5 maal de emissies voor het transport per spoor.

Wat betreft het transport van **staal voor de wapening van de gewelfstenen**, zijn in de volgende tabel de activiteitsgegevens voor de verschillende gevallen en de daaraan ten grondslag liggende hypothesen opgenomen. Deze zijn uiteraard identiek aan die welke worden gebruikt voor het vervoer van het beton voor de gewelfstenen (zie boven).

	Eenheid	Binnenvaart		Spoor	Weg
		Hoofdtransport	Natransport		
		Binnenvaart	Weg		
Afgelegde afstand	km	400	3,1	350	350
Ton-km	t.km	1.675.621	12.986	1.466.169	1.466.169

Tabel 44: Hypothesen over de toelevering van staal voor de wapening van de gewelfstenen - As Bouw van de infrastructuur - Post Inkomend Vrachtvervoer - Gevoeligheidsstudie (ARIES, 2020)

De emissiefactoren zijn ook dezelfde als die welke hierboven voor de toelevering van de gewelfstenen zijn overwogen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies voor de drie onderzochte vervoerswijzen.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Emissies [teqCO ₂]				
Binnenvaart			Spoor	Weg
Hoofdtransport	Natransport	Totaal		
Binnenvaart	Weg			
50	1	51	27	135

Tabel 45: Emissies – Toelevering van staal voor de wapening van de gewelfstenen – As Bouw van de infrastructuur – Post Inkomend Vrachtovervoer – Gevoelighedsstudie (ARIES, 2020)

De geraamde emissies voor de toelevering van staal voor de wapening van de gewelfstenen over de weg zijn het hoogst, ongeveer 2,6 maal de emissies voor het transport over de binnenwateren en 5 maal de emissies voor het transport per spoor.

Deze resultaten worden in de samenvatting van de resultaten gecontextualiseerd met de emissies van andere posten (zie punt 4.1.1.3).

G.2. Bouwmachines

Gezien de onzekerheden wordt in de koolstofbalans geen rekening gehouden met het inkomend vrachtovervoer van de bouwmachines. Hun aantal en hun precieze aard zijn in dit stadium van de studie namelijk nog niet bekend. Aangezien hun massa en oorsprong niet kunnen worden bepaald, is dit ook niet mogelijk voor de daarmee verband houdende tonkilometers. Bovendien is hun massa potentieel marginaal in vergelijking met de gebruikte materialen en het ontstane vrachtovervoer.

H. Uitgaand vrachtovervoer

De post "Uitgaand vrachtovervoer" omvat de toelevering van het **afval** dat onder de post Afvalbeheer valt, alsook de **bouwmachines**.

H.1. Werfafval

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtovervoer worden uitgedrukt in ton-km, wat betekent dat de hoeveelheden afval in massa moeten worden uitgedrukt, zoals bij het vrachtovervoer voor de materialen. De opmeting van BMN verschaft echter gegevens in de vorm van volumes, zodat deze hoeveelheden moeten worden "omgezet" in massa's. Als hypothese wordt de dichtheid van het uitgegraven materiaal op 2 t/m³ gesteld, terwijl de dichtheid van civieltechnisch afval op 2,5 t/m³ wordt gesteld.

Afhankelijk van de aard van het afval (zie de post "Afvalbeheer") kan het verschillende bestemmingen hebben, die op verschillende wijzen worden bereikt.

De evaluatie wordt eerst uitgevoerd voor een **basisscenario**, waarin voor het hoofdtransport van afval de voorkeur wordt gegeven aan de binnenvaart.

Zoals bij de post Inkomend vrachtovervoer wordt een **gevoelighedsstudie** uitgevoerd, waarbij het vervoer over de binnenwateren achtereenvolgens wordt vervangen door vervoer per spoor en vervolgens door vervoer over de weg.

H.1.1. Basisscenario

De hypothesen van het basisscenario zijn weergegeven in onderstaande tabel. Het transport over de binnenwateren, per binnenschip, impliceert een voortraject naar de haven van Brussel, waarvan wordt aangenomen dat het over de weg gebeurt.

Soort afval		Voortransport		Hoofdtransport	
		Bestemming	Wijze	Bestemming	Wijze
Uitgegraven materiaal	Valoriseerbaar	-	-	Haven van Brussel	Weg
	Niet valoriseerbaar verontreinigd	Haven van Brussel	Weg	Nederland	Binnenvaart
	Niet valoriseerbaar inert	Haven van Brussel	Weg	Nederland	Binnenvaart
Civieltechnisch afval		-	-	Haven van Brussel	Weg

Tabel 46: Bestemmingen en vervoerswijzen per soort afval (ARIES, 2020)

In de studie van BMN worden 2 mogelijke overslaglocaties in aanmerking genomen (zie onderstaande figuur):

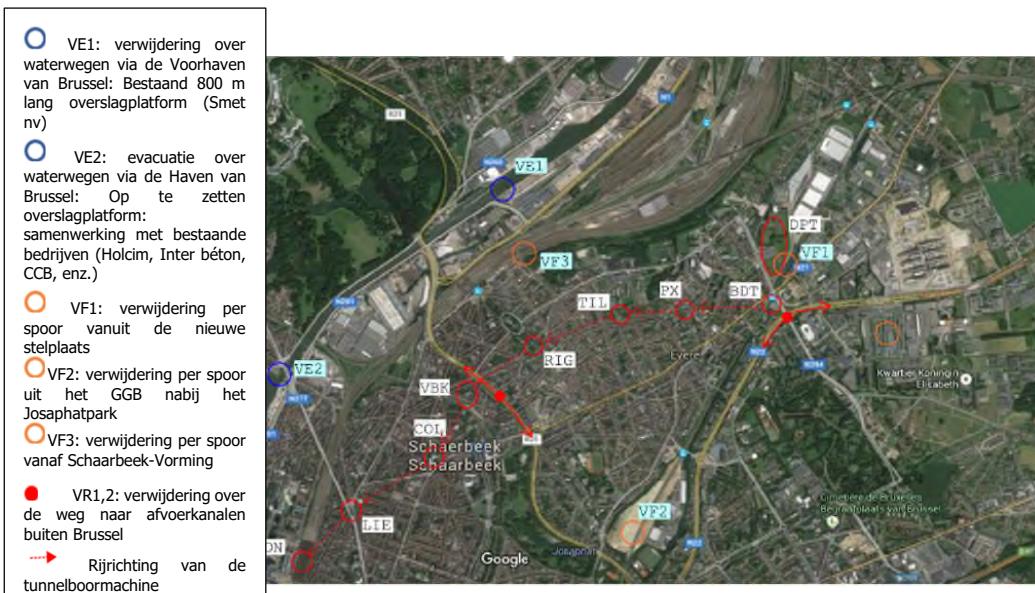
- Bij het bestaande overslagplatform (punt VE1 in de onderstaande figuur), gelegen in de voorhaven;
- In de haven, op een nieuw overslagplatform (VE2 in de onderstaande figuur), dat op het moment van het opstellen van deze studie (2016) verbouwd moet worden.

Aangezien dit tweede platform alleen vaartuigen met een capaciteit van minder dan 1.500 ton kan ontvangen (klassen tot en met ECMT IV⁴⁴), is voor de hypothese de locatie van het overslagplatform VE1 weerhouden.

⁴⁴ ECMT (Europese Conferentie van Ministers van Transport): Europese classificatie van waterwegen op basis van hun grootte en capaciteit voor het ontvangen van schepen.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De in aanmerking genomen afstanden, alsook de tonkilometers, staan in onderstaande tabel.



Figuur 10: Locatie van de overslagplatforms in de haven van Brussel (punten VE1 en VE2) (BMN, 2016)

Liedts	Colignon	Verboekhoven	Riga	Linde	Vrede	Bordet	P0- Tunnel, schacht, toegangshelling
3,1	2,5	2,1	1,6	1,7	2,1	3,3	3,1

Tabel 47: Afstand tussen de werven van de 7 stations en de haven van Brussel (ARIES, 2020)

Er wordt van uitgegaan dat de trajecten per binnenschip plaatsvinden tussen de haven van Brussel en de grens met Nederland, bij de Oudewijkwegsluis, vanwaar het mogelijk is om ofwel het Scheldebekken ofwel de kanalen naar het binnenland te gebruiken. De afstand tussen de haven van Brussel en dit punt bedraagt 70 km.

In de onderstaande tabel is het aantal tonkilometers voor de verschillende deelprojecten aangegeven.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Valoriseerbaar		Niet valoriseerbaar verontreinigd		Niet valoriseerbaar inert		Civieltechnisch afval	
	Weg	Binnenvaart	Weg	Binnenvaart	Weg	Binnenvaart	Weg	Binnenvaart
Tunnel	1.414.724	0	0	0	422.580	9.542.128	0	0
Stations	1.952.242	0	938.646	27.896.930	678.110	20.153.675	197.547	0
P0-schacht en toegangshelling	0	0	0	0	404.990	9.144.940	14.671	0
Stelplaats	0	0	0	0	1.966.516	44.405.200	9.300	0

Tabel 48: Tonkilometers voor de verschillende soorten afval afkomstig van het Metro noord-project (ARIES, 2020)

De emissiefactoren in verband met het vrachtvervoer zijn afhankelijk van de gebruikte vervoerswijze.

Wat het vrachtvervoer over de weg betreft, wordt ervan uitgegaan dat het transport plaatsvindt met opleggers met een capaciteit van 20 ton. De in aanmerking genomen emissiefactor is 0,0919 kg eqCO₂/t.km en is eveneens ontleend aan de Base Carbone. De emissiefactor komt, als hypothese, overeen met een gelede vrachtwagen met een TMTG van minder dan 34 ton die rijdt op diesel voor het wegvervoer met een biodieselgehalte van 7%. De onderliggende hypothesen zijn een vulgraad van 60% en een leegtegraad bij terugkeer van 17%.

Wat het vrachtvervoer over de binnenwateren betreft, behoort het Kanaal Antwerpen-Brussel-Charleroi (ABC-kanaal)⁴⁵, voor het gedeelte ten noorden van Brussel, tot de ECMT Vib-klasse. Dit betekent dat het vaartuigen tot 12.000 ton aankan. Er kan dus worden gedacht aan transport met grote binnenschepen. Daarom zal, als hypothese, een emissiefactor van 0,0139 kg eqCO₂/t.km, ontleend aan de Base Carbone en betrekking hebbend op motorvaartuigen met een capaciteit van meer dan 3.000 ton draagvermogen in aanmerking worden genomen⁴⁶.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het vrachtvervoer dat nodig is voor het verwijderen van werfafval.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Tunnel	301
Stations	1.014
P0-schacht en toegangshelling	166
Stelplaats	799
Totaal	2.280

Tabel 49: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Uitgaand vrachtvervoer – Werfafval (ARIES, 2020)

⁴⁵ Dit kanaal omvat de Schelde voor een deel van zijn tracé.

⁴⁶ Laadvermogen: de maximale lading die door een vaartuig kan worden getransporteerd.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De verschillen qua emissies tussen de verschillende deelprojecten zijn het gevolg van de combinatie van de volgende factoren: de hoeveelheden verwijderd afval, de voor de verschillende afvaltypes in aanmerking genomen transportwijzen en de overeenkomstige afstanden.

De emissies in verband met de stations zijn hoger door de hoeveelheid uitgegraven materiaal en een groter aandeel aan niet valoriseerbare grond, waarbij het hoofdtransport via de binnenvaart gebeurt. Hoewel deze vervoerswijze een emissiefactor heeft die 7 keer lager is dan die van vervoer over de weg, genereert zij hogere emissies per ton, gezien de grotere afstand die voor deze vervoerswijze in aanmerking wordt genomen (70 km in vergelijking met maximaal 3 km in het geval van het vrachtvervoer over de weg).

H.1.2. Gevoeligheidsstudie

Aangezien de gevoeligheidsstudie alleen betrekking heeft op het transport over de binnenwateren, wordt in de gevoeligheidsstudie alleen het **transport van niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal** geanalyseerd wat betreft afval.

Onderstaande tabel bevat de activiteitsgegevens voor de verschillende gevallen, samen met de onderliggende hypothesen. Voor het spoorwegvervoer wordt het voor- en natransport verwaarloosd en wordt alleen het hoofdtransport in aanmerking genomen (de afstand van het natransport is namelijk zeer klein, gezien de nabijheid van de spoorlijn tot de werf van de stelplaats in Haren). Het vervoer over de weg geschiedt gedurende het gehele traject op dezelfde wijze.

Bovendien wordt de afstand van het traject via het spoor, gezien de moeilijkheden om deze te bepalen, bij wijze van hypothese geacht gelijk te zijn aan de afstand over de weg. Deze afstanden zijn, in het geval van het hoofdtransport van niet valoriseerbaar afval, gelijk aan de afstand die in aanmerking wordt genomen voor vrachtvervoer over de binnenwateren tussen de haven van Brussel en de grens met Nederland, d.w.z. 70 km.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject		Eenheid	Binnenvaart		Spoor	Weg
			Voortransport	Hoofdtransport		
			Weg	Binnenvaart		
Tunnel	Afgelegde afstand	km	3,1	70	70	70
	Ton-km	t.km	422.580	9.542.128	9.542.128	9.542.128
Stations	Afgelegde afstand	km	Variabel (tussen 1,6 en 3,3)	70	70	70
	Ton-km	t.km	1.616.756	48.050.605	48.050.605	48.050.605
P0-schacht en toegangshelling	Afgelegde afstand	km	3,1	70	70	70
	Ton-km	t.km	404.990	9.144.940	9.144.940	9.144.940
Stelplaats	Afgelegde afstand	km	3,1	70	70	70
	Ton-km	t.km	1.966.516	44.405.200	44.405.200	44.405.200

Tabel 50: Hypothesen over het vervoer van niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal – As Bouw van de infrastructuur – Post Uitgaand Vrachtvervoer – Gevoeligheidsstudie (ARIES, 2020)

De emissiefactoren zijn dezelfde als die welke hierboven zijn overwogen. Ter herinnering: gezien de grotere capaciteit van het kanaal Antwerpen-Brussel-Charleroi ten noorden van Brussel, bedraagt de emissiefactor voor het vervoer per binnenschip 0,0139 kg eqCO₂/t.km.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies voor de drie onderzochte vervoerswijzen.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]				
	Binnenvaart			Spoor	Weg
	Voortransport	Hoofdtransport	Totaal		
	Weg	Binnenvaart			
Tunnel	39	133	171	177	877
Stations	149	668	816	894	4.416
P0-schacht en toegangshelling	37	127	164	170	840
Stelplaats	181	617	798	826	4081
Totaal	405	1.545	1.950	2.067	9.337

Tabel 51: Emissies – Vervoer van niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal – As Bouw van de infrastructuur – Post Uitgaand vrachtvervoer – Gevoeligheidsstudie (ARIES, 2020)

De geraamde emissies voor het vervoer van niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal over de weg zijn het hoogst, ongeveer 5 maal de emissies voor het transport over de binnenwateren en 4,5 maal de emissies voor het transport per spoor.

H.2. *Bouwmachines*

Gezien de onzekerheden wordt in de koolstofbalans geen rekening gehouden met het uitgaand vrachtvervoer van de bouwmachines. Hun aantal en hun precieze aard zijn in dit stadium van de studie namelijk nog niet bekend. Aangezien hun massa en oorsprong niet kunnen worden bepaald, is dit ook niet mogelijk voor de daarmee verband houdende tonkilometers. Bovendien is hun massa potentieel marginaal in vergelijking met de gebruikte materialen en het ontstane vrachtvervoer.

I. Verplaatsingen

De in aanmerking genomen verplaatsingen komen overeen met de **trajecten tussen de woonplaats en de verschillende werven** waar de werknemers deel van uitmaken.

Alleen verplaatsingen van werknemers die deel uitmaken van de **werven van de stations** worden meegeteld:

- De trajecten van de werknemers die de tunnelboormachine zullen bedienen, moeten worden beperkt: op de site zijn wooncontainers gepland.
- Aangezien de omvang en de duur van de werken aan de schacht P0 en de toegangshelling beperkter zijn dan die van de stations, wordt ook geen rekening gehouden met de verplaatsingen van werknemers van en naar de werf van deze deelprojecten.

De activiteitsgegevens, uitgedrukt in passagiers-kilometers, zijn bepaald op basis van een reeks hypothesen, die in de onderstaande tabellen zijn opgenomen.

De eerste tabel bevat hypothesen die algemeen gelden voor alle werven (modale aandelen en afgelegde afstanden). De modale aandelen zijn ontleend aan de hypothesen in het hoofdstuk over de werf van het boek Stations wat betreft de bestelwagens. Er wordt ook van uitgegaan dat de helft van de verplaatsingen met het openbaar vervoer en de andere helft met actieve vervoerswijzen wordt afgelegd.

Zie Boek III Stations, deel 3, punt 1.1. Voorzienbare effecten van de werf op de mobiliteit

		Eenheid	Grootte
Bestelwagen	Gemiddelde afstand afgelegd tot de werf	km	50
	Modaal aandeel	%	90
	Bezettingsgraad	Aantal personen per voertuig	3,5
Metro, tram, bus	Gemiddelde afstand afgelegd tot de werf	km	5
	Modaal aandeel	%	5
Actieve modi	Modaal aandeel	%	5

Tabel 52: Algemene hypothesen over het woon-werkverkeer van werknemers op de werven (ARIES, 2020 en FOD Mobiliteit, 2019)

De tweede tabel bevat hypothesen die specifiek zijn voor de verschillende werven:

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

- Het aantal werknemers in de stations varieert normaal gezien tussen 20 en 60, afhankelijk van de verschillende fasen. Hier wordt een vereenvoudigende hypothese gesteld, namelijk dat wordt uitgegaan van een gemiddelde van 40 personen. Er wordt verondersteld dat gemiddeld 20 werknemers zullen worden ingezet op de werf van de schacht P0 en de toegangshelling.
- Het aantal werkdagen per week bedraagt 5. De werknemers worden geacht dagelijks naar huis terug te keren.

Werk	Gemiddeld aantal werknemers per dag	Aantal verplaatsingen per week	Duur van de werf [maanden]	Aantal verplaatsingen per werknemer tijdens de duur van de werken [-]*
Liedts	40	10	74	3.208
Colignon	40	10	85	3.684
Verboekhoven	40	10	84	3.640
Riga	40	10	77	3.338
Linde	40	10	71	3.078
Vrede	40	10	89	3.858
Bordet	40	10	83	3.598

* Afgerond op het eerstvolgende hogere veelvoud van 2

Tabel 53: Algemene hypothesen over het woon-werkverkeer voor de werven van het Metro Noord-project (ARIES, 2020)

Feestdagen worden bij de evaluatie niet in aanmerking genomen.

Onderstaande tabel toont het aantal passagiers.km per vervoerswijze.

Werk	Aantal kilometers (Bestelwagen)	Aantal passagiers.kilometers (Metro, tram, bus)
Liedts	1.764.400	32.080
Colignon	2.026.200	36.840
Verboekhoven	2.002.000	36.400
Riga	1.835.900	33.380
Linde	1.692.900	30.780
Vrede	2.121.900	38.580
Bordet	1.978.900	35.980
Totaal	13.422.200	244.040

Tabel 54: Totaal aantal passagiers-kilometers per werf (ARIES, 2020)

De beschouwde emissiefactoren zijn 0,193 kg eqCO₂/km voor bestelwagens en 0,046 kg eqCO₂/passagier.km⁴⁷ voor het stedelijk openbaar vervoer (metro, tram, bus). Bij gebrek aan gegevens wordt de emissiefactor voor bestelwagens hier hypothetisch gelijkgesteld aan die voor personenauto's.

Onderstaande tabel toont per vervoerswijze de emissies in verband met het woon-werkverkeer van de werknemers die betrokken zijn bij de bouw van de stations.

Vervoerswijze	Emissies [teqCO ₂]
Bestelwagen	2.599
Metro, tram, bus	11
Totaal	2.610

Tabel 55: Emissies - As Bouw van de infrastructuren - Post Verplaatsingen - Woon-werkverkeer van werknemers op de werven van de stations (ARIES, 2020)

De geëvalueerde emissies voor de trajecten met bestelwagens zijn overheersend, wat kan worden verklaard door het grote modale aandeel van deze vervoerswijze en de hogere emissiefactor.

4.1.1.3. Samenvatting van de resultaten

A. Basisscenario

In de onderstaande tabel staan alle emissies die zijn berekend voor de verschillende posten van de as "Bouw van de infrastructuren", uitgesplitst naar de verschillende deelprojecten, voor het basisscenario.

Ter herinnering, de posten Vluchtige emissies en Afvalbeheer, waarmee geen rekening wordt gehouden, zijn niet opgenomen.

⁴⁷ Bron: website van de MIVB

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Post	Bron	Deelproject				Totaal
		Tunnel	Stations	P0-schacht en toegangshelling	Stelplaats	
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)	Verbruik van uitgegraven materiaal	-*	2.402	207	1.005	3.614
	Verbruik van bouwmachines voor de uitvoering van materialen	-**	6.752	557	701	8.010
	Bevriezing	-	9.956	-	-	9.956
	Subtotaal	-	19.111	764	1.706	21.581
Energie (elektriciteitsverbruik)	Verbruik tunnelboormachine	1.363	0	0	0	1.363
	Verbruik werfbarakken	***219	100	-***	-***	318
	Subtotaal	1.582	100	0	0	1.682
Productiemiddelen	Beton	****30.802	73.069	6.012	6.738	117.221
	Staal	9.849	67.132	5.241	10.912	93.135
	Glas	0	852	0	431	1.283
	Voorzieningen	-	1.982	-	-	1.982
	Subtotaal	40.652	143.035	11.253	18.681	213.621
Afschrijvingen	Bouwmachines	2.705	NO	NO	NO	2.705
	Subtotaal	2.705	0	0	0	2.705
Inkomend vrachtvervoer	Beton	****1.336	290	33	42	1.701
	Staal	173	41	12	105	332
	Vulmateriaal	-	294	-	71	365
	Bouwmachines	NO	NO	NO	NO	-
	Subtotaal	1.510	626	46	217	2.399
Uitgaand vrachtvervoer	Werfafval	301	1.014	166	799	2.280
	Bouwmachines	NO	NO	NO	NO	-
	Subtotaal	301	1.014	166	799	2.280
Verplaatsingen	Woon-werk	NO	2.610	NO	NO	2.610
	Subtotaal	0	2.610	0	0	2.610
Totaal		46.751	166.495	12.229	21.403	246.877

* Het verbruik in verband met het uitgraven van de tunnel wordt meegerekend in de emissies in verband met het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine.

** Het verbruik in verband met het delven van de tunnel wordt meegerekend in de emissies in verband met het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine.

*** Deze waarde komt overeen met de nodige werfbarakken voor alle werven op de site van de stelplaats in Haren, en de wooncontainers.

**** Inclusief stopmortel.

NO: Niet opgenomen in de koolstofbalans

Tabel 56: Samenvatting van de resultaten – As Bouw van de infrastructuur – Bouwwerkzaamheden (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

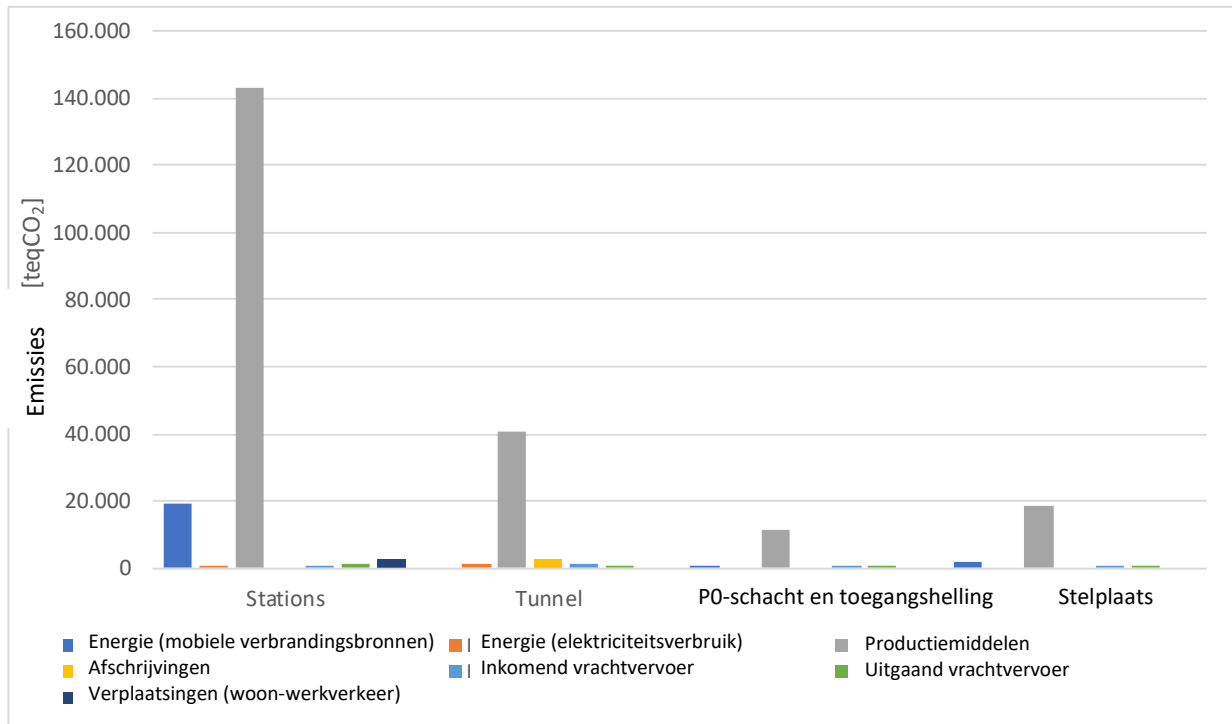
Uit deze tabel en de voorgaande punten kunnen verschillende lessen worden getrokken:

- De **totale geraamde emissies** voor de **as "Bouw van de infrastructuur"** bedragen **245.000 teqCO₂** voor alle beschouwde posten.
- De 7 stations zijn het belangrijkste deelproject met een geraamde uitstoot van ongeveer 165.000 teqCO₂, ver vóór de tunnel (ongeveer 45.000 teqCO₂), de stelplaats (ongeveer 20.000 teqCO₂) en de schacht P0 en de toegangshelling (10.000 teqCO₂).
- De **productiemiddelen zijn veruit de meest overheersende post** met meer dan 210.000 teqCO₂. De overeenkomstige emissies vertegenwoordigen de grote meerderheid (ongeveer 85%). Van de productiemiddelen zijn de stations de deelprojecten met het grootste aandeel in de emissies (ongeveer twee derde van de emissies), gevolgd door de tunnel (ongeveer 20%). Het saldo bestaat uit emissies in verband met de stelplaats en vervolgens van de schacht P0 en de toegangshelling
- De tweede post is die van de **emissies ten gevolge van het energieverbruik door mobiele verbrandingsbronnen, die verband houden met het gebruik van bouwmachines (uitgravingen en uitvoering van materialen) en met het bevriezen van de perrons in bepaalde stations**, die ongeveer 10% van de totale emissies vertegenwoordigen. Dit bevestigt de relatief beperkte rol van de uitvoering van de werken in de totale emissies in verband met de bouw van de infrastructuur waarover in de literatuur wordt bericht.
- De **emissies van inkomend en uitgaand vrachtvervoer vertegenwoordigen samen de op twee na grootste emissiepost**. De ramingen zijn afhankelijk van de vastgestelde scenario's. De hoofdtransport van de gewelfstenen en het staal, en de verwijdering van het niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal, wordt geacht via de binnenwateren te geschieden. Het bijkomende vervoer (voor- of natransport) van deze materialen, alsmede het hoofdtransport van andere materialen (stortklaar beton, dwarsliggers, rails, vulmateriaal, werfafval, valoriseerbaar uitgegraven materiaal) worden geacht over de weg plaats te vinden. Wat het inkomend vrachtvervoer betreft, vertegenwoordigt de aanvoer van beton naar de werven van de stations, beschouwd vanuit nabijgelegen betonfabrieken (minder dan 10 km), ongeveer een vijfde van de emissies in verband met de tunnel, waarvoor de elementen minder lange afstanden afleggen (gewelfstenen, dwarsliggers). Dit is in het algemeen ook het geval voor het staal. Voor het uitgaande vrachtvervoer betreffen de hoogste emissies de stations, als gevolg van een groter volume uitgegraven materiaal en een groter aandeel niet valoriseerbare grond die over de binnenwateren moet worden afgevoerd.
- De volgende post bevat de **emissies bij de fabricage van de tunnelboormachine**, die als **afschrijvingen** in rekening worden gebracht. Deze worden geëvalueerd op ongeveer het dubbele van het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine. Een van de redenen daarvoor is de grote hoeveelheid staal (ongeveer 1.500 ton) waaruit de machine is vervaardigd.
- De andere posten zijn het **woon-werkverkeer**, hoofdzakelijk voor de werken aan de stations, en het **elektriciteitsverbruik (tunnelboormachine en werfbarakken)**, die samen minder dan 2% van de totale uitstoot vertegenwoordigen.

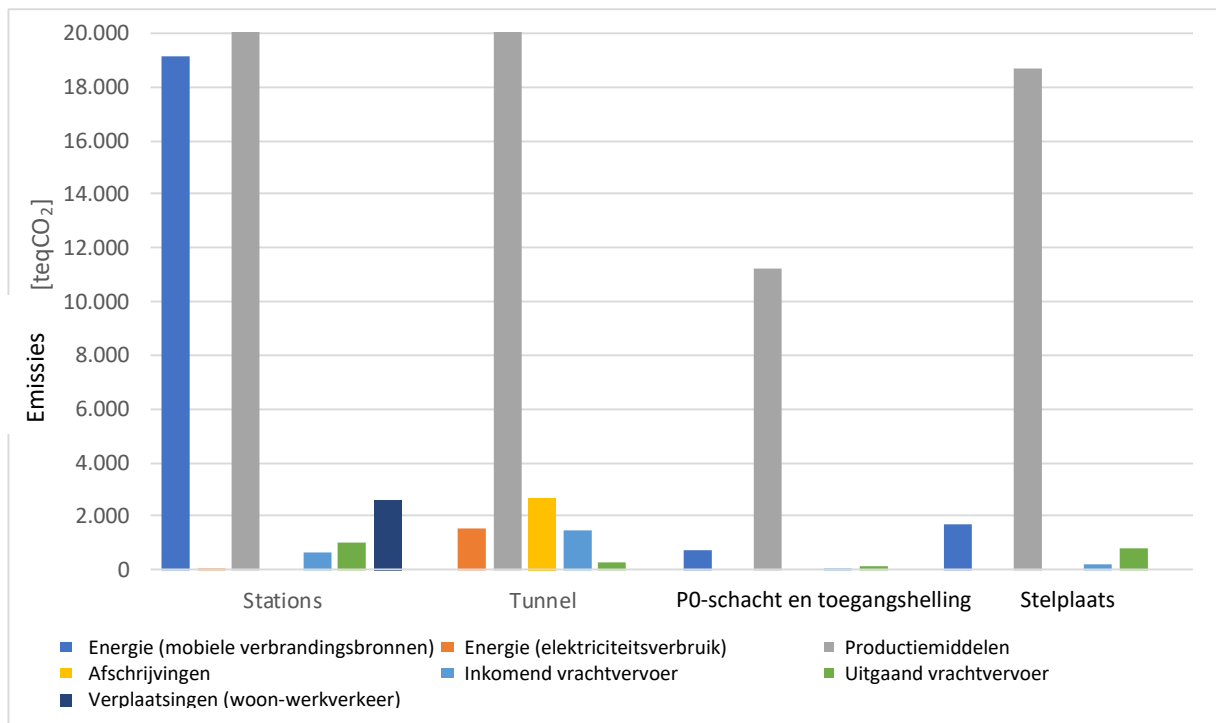
De onderstaande figuren illustreren de verdeling van de geraamde emissies volgens de verschillende deelprojecten en de verschillende in aanmerking genomen posten. Gezien het

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

schaalverschil tussen de emissies in verband met de productiemiddelen en de andere posten, is de tweede figuur een uitvergroting van de eerste grafiek van de emissies onder 20.000 teqCO₂.

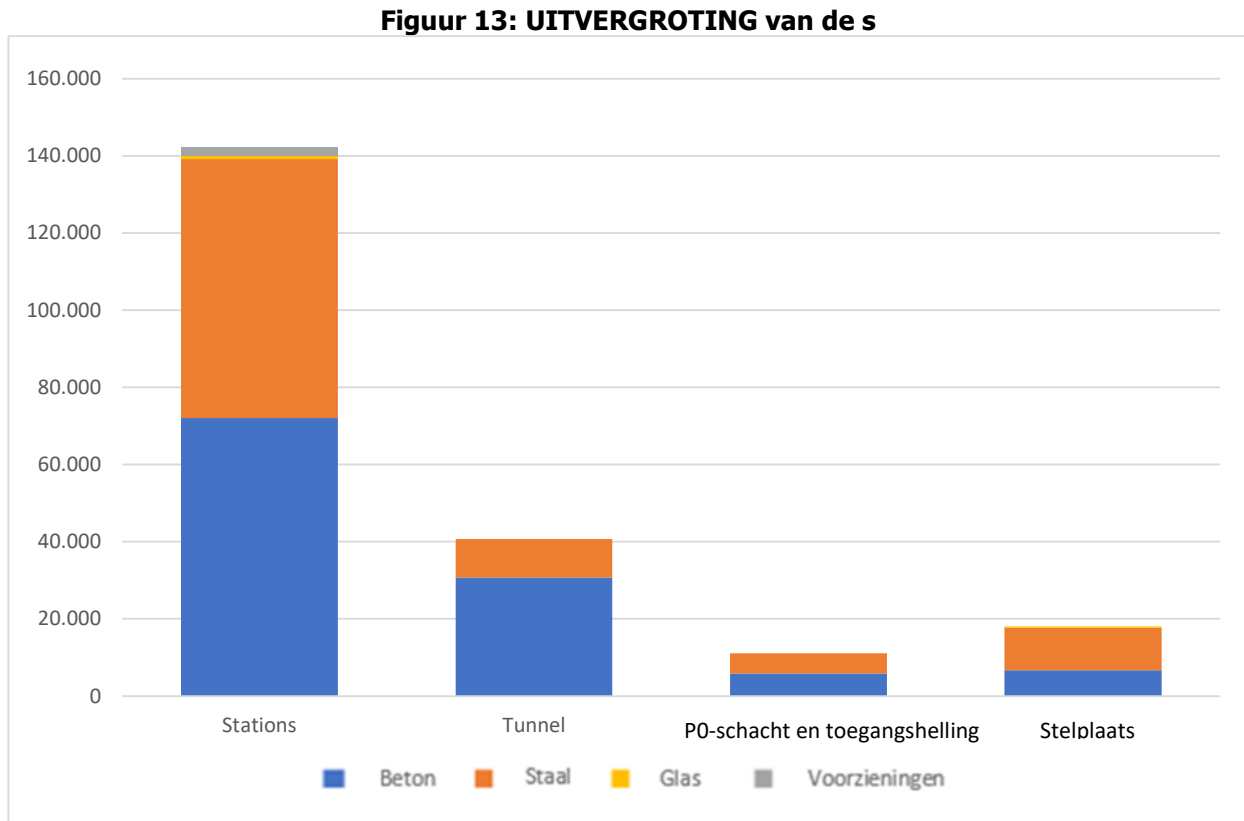


Figuur 11: Samenvatting van de resultaten - As Bouw van de infrastructuren - Bouwwerken - Onderverdeling van de emissies naar deelprojecten en posten (ARIES, 2020)



Figuur 12: UITVERGROTING van de samenvatting van de resultaten – As Bouw van de infrastructuren – Bouwwerken – Verdeling van emissies per deelproject en per post (ARIES, 2020)

De volgende grafiek geeft de emissies van de post Productiemiddelen aan, tussen beton, staal, glas en voorzieningen.



amenvatting van de resultaten - As Bouw van de infrastructuur - Verdeling van de emissies van de post Productiemiddelen (ARIES, 2020)

De emissies door beton zijn goed voor 55% van de emissies in verband met productiemiddelen, gevolgd door de emissies voor staal, 44%. De geraamde emissies voor het glas en de voorzieningen zijn marginaal.

B. Gevoeligheidsstudie

In dit punt wordt een context geschetst van de invloed van de parameters die zijn geanalyseerd tijdens verschillende gevoeligheidsstudies die plaatselijk zijn uitgevoerd in de marge van het basisscenario op de berekende emissies, met betrekking tot:

- De **post Productiemiddelen**, in termen van betonsamenstelling (zie punt 4.1.1.2.D.1.1), waarbij het effect van cementtype werd geanalyseerd;
- De **post Inkomend vrachtvervoer**, wat betreft de aanvoer van de gewelfstenen en het staal (zie punt 4.1.1.2.G.1), waarbij het vervoer over de binnenwateren, dat

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

in het basisscenario in aanmerking wordt genomen, achtereenvolgens wordt vervangen door spoorvervoer en vervolgens door wegvervoer;

- De **post Uitgaand vrachtvervoer**, voor de aanvoer van niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal (zie punt 4.1.1.2.H.1), waarbij het vervoer over de binnenwateren, dat in het basisscenario in aanmerking wordt genomen, achtereenvolgens wordt vervangen door vervoer per spoor en vervolgens door vervoer over de weg.

De laatste twee punten worden vervolgens in hetzelfde punt besproken

B.1. Effect van het type cement dat in het beton wordt gebruikt

De onderstaande tabel geeft een overzicht van alle beschouwde posten, voor de 3 in aanmerking genomen scenario's: het basisscenario waarin de emissiefactoren van de betonsoorten worden bepaald door de weerstandsklasse (afkomstig van de Société du Grand Paris) en de scenario's cement CEM I en cement CEM III waarin de emissiefactoren van de betonsoorten werden herberekend door rekening te houden met de emissiefactoren die overeenstemmen met deze cementsoorten. Bij de resultaten voor cement CEM III is echter rekening gehouden met het feit dat voor de gewelfstenen verplicht cement CEM I gebruikt moet worden).

De andere posten worden ongewijzigd geacht.

Post	Bron	Emissies [teqCO ₂]		
		Basisscenario	Cement CEM I	Cement CEM III
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)		21.581	21.581	21.581
Energie (elektriciteitsverbruik)		1.682	1.682	1.682
Productiemiddelen	Beton	117.221	151.386	97.355
	Staal	93.135	93.135	93.135
	Glas	1.283	1.283	1.283
	Voorzieningen	1.982	1.982	1.982
Afschrijvingen		2.705	2.705	2.705
Inkomend vrachtvervoer		2.399	2.399	2.399
Uitgaand vrachtvervoer		2.280	2.280	2.280
Verplaatsingen		2.610	2.610	2.610
Totaal		246.877	281.042	227.012
Variatie ten opzichte van het basisscenario		-	+13,8%	-8,0%
Variatie scenario CEM III opzichte van scenario CEM I		-	-	-19,2%

Tabel 57: Effect van het type cement dat in beton wordt gebruikt op de totale emissies – As Bouw van de infrastructuur (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De toename met iets minder dan 55.000 teqCO₂ als gevolg van het gebruik van cement CEM I in plaats van cement CEM III resulteert in een toename van de emissies met 24% op de schaal van de totale balans van de as Bouw van de infrastructuur. Hieruit blijkt de grote rol die de keuze van het te gebruiken cement speelt.

Ter herinnering, het gebruik van cement CEM III wordt in de voorschriften van BMN aanbevolen (behalve voor de gewelfstenen), zodat de totale **broeikasgasemissies die het meest representatief zijn voor de as Bouw van de infrastructuur 227.012 teqCO₂ bedragen.**

B.2. Effect van de vervoerswijze

De onderstaande tabel geeft een overzicht van alle beschouwde posten, voor de 3 beschouwde scenario's: het basisscenario waarin de aanvoer van de gewelfstenen (beton en staal voor de wapening), het staal voor structurele doeleinden en het niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal hoofdzakelijk via de binnenwateren plaatsvinden, en de scenario's waarin dit transport respectievelijk via het spoor en de weg plaatsvindt. In tegenstelling tot wat eerder in de plaatselijke gevoeligheidsstudie werd vermeld, gelden de hieronder voorgesteld resultaten nu voor het geheel van de posten Inkomend vrachtvervoer en Uitgaand vrachtvervoer, waarin andere ongewijzigde transportwijzen zijn opgenomen. Daarom worden de scenario's in de onderstaande tabel met aanhalingstekens aangegeven.

Andere posten dan Inkomend vrachtvervoer en Uitgaand vrachtvervoer worden als ongewijzigd beschouwd. De emissies in verband met het beton komen overeen met het algemene basisscenario.

Post	Emissies [teqCO ₂]		
	Basisscenario "Binnenvaart"	"Spoor"	"Weg"
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)	21.581	21.581	21.581
Energie (elektriciteitsverbruik)	1.682	1.682	1.682
Productiemiddelen	213.621	213.621	213.621
Afschrijvingen	2.705	2.705	2.705
Inkomend vrachtvervoer	2.399	1.788	4.663
Uitgaand vrachtvervoer	2.280	2.397	10.544
Verplaatsingen	2.610	2.610	2.610
Totaal	246.877	246.384	257.406
Variatie ten opzichte van het basisscenario		-0,2%	+4,5%

Tabel 58: Effect van het type cement dat in de betonsoorten wordt gebruikt op de totale emissies – As Bouw van de infrastructuur (ARIES, 2020)

Op de schaal van de totale balans van de as Bouw van de infrastructuur heeft het vervangen van het vervoer over de binnenwateren door spoorvervoer slechts een marginaal effect, terwijl

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

het vervangen ervan door wegvervoer leidt tot een toename van de emissies met ongeveer 10.500 teqCO₂, d.w.z. een toename met ongeveer 5%.

C. Conclusies

Rekening houdend met alle resultaten en de gevoeligheidsstudies die in het kader van de as Bouw van de infrastructuur zijn uitgevoerd, **bedragen de meest representatieve totale broeikasgasemissies 227.012 teqCO₂**. Deze emissies komen overeen met het gebruik van cement CEM III, dat in de voorschriften van BMN wordt aanbevolen voor de samenstelling van het beton (met uitzondering van de gewelfstenen, waarvoor het gebruik van cement CEM I wordt opgelegd), en met het transport over de binnenwateren, voor zover dit het vrachtvervoer betreft.

De **productiemiddelen** vormen veruit de grootste post, gevolgd door **energieverbruik (mobiele verbrandingsbronnen)** en **vrachtvervoer (inkomend en uitgaand vrachtvervoer samen)**.

Het over de weg vervoeren van het vrachtvervoer dat in het basisscenario over de binnenwateren gebeurt, leidt niet tot een aanzienlijke toename van de emissies.

Gezien de koolstofbalans en de grote hoeveelheden materiaal die moeten worden vervoerd, verdient het daarom de voorkeur gebruik te maken van de binnenvaart om de emissies ten gevolge van de aanleg van de lijn Metro Noord te beperken.

4.1.2. Exploitatie van de lijn

4.1.2.1. Onderverdeling in emissiebronnen

De koolstofbalans van het Metro Noord-project is onderverdeeld in emissiebronnen, per **fase** en per **post**, en op dezelfde wijze voor alle deelprojecten: tunnel, stations en metrostellen (zie hierboven).

Deze onderverdeling, specifiek voor de as "Exploitatie van de lijn", wordt weergegeven in onderstaande tabel.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Fasen	Post	Emissiebronnen
In de fase Werking	Energie (Vaste verbrandingsbronnen)	Gasverbruik van de stelplaats
	Energie (Elektriciteitsverbruik)	Verbruik van de stations
		Verbruik van de stelplaats
		Tractie-energie
	Vluchtige emissies	Lekkages van koelmiddel
	Afschrijvingen	Metrostellen
	Productiemiddelen	Materiaal – metrostellen
		Aankopen – goederen en diensten
	Inkomend vrachtovervoer	Uitzonderlijk vervoer metrostellen
		Aankopen – goederen en diensten
Afval	Afval van de stations	
	Afval van de stelplaats	
Verplaatsingen	Woon-werk	
In de fase Service en onderhoud	Productiemiddelen	Kost – service/onderhoud infrastructuur
		Kost – service/onderhoud metrostellen
		Kost – vernieuwing infrastructuur
		Materiaal – vernieuwing metrostellen
		Materiaal – vernieuwing rails

Tabel 59: Onderverdeling van het Metro Noord-project, as Exploitatie van de lijn (ARIES, 2020)

Eerst worden alle emissiebronnen in aanmerking genomen. Vervolgens worden sommige van deze emissiebronnen verwaarloosd, gezien hun geringe belang.

De rekenmethode van de tweede as baseert zich op twee afzonderlijke fasen die verschillende kwesties omvatten: de **werking** en **service/onderhoud**.

De eerste fase Werking omvat alle activiteiten die de toekomstige lijn M3 in staat stellen dagelijks naar behoren te functioneren. Deze eerste fase omvat de volgende activiteiten:

- Emissies veroorzaakt door de **stations en de stelplaats**: energieverbruik (verlichting, verwarming, ventilatie, koeling en voorzieningen), vluchtige emissies;
- Emissies veroorzaakt door de **metrostellen**: de constructie, het vervoer naar de stelplaats in Haren, de afschrijving van de bestaande metrostellen en de tractie-energie die nodig is om de metro's te laten rijden;
- Emissies ten gevolge van **beheersactiviteiten** tijdens de werking van de lijn, zoals het woon-werkverkeer van werknemers, het energieverbruik van kantoren, de afschrijving van kantoorapparatuur, het beheer van inkomende en uitgaande producten en voorzieningen (productiemiddelen in verband met aankopen en afvalbeheer).

De tweede fase Service/onderhoud omvat alle min of meer regelmatige activiteiten die de duurzaamheid en efficiëntie van de infrastructuur waarborgen. De gehele infrastructuur vergt

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

immers voortdurend onderhoud gedurende de hele levensduur ervan. De belangrijkste emissies zijn de volgende:

- Emissies ten gevolge van de **dagelijks service van de gehele infrastructuur en het regelmatige onderhoud** doorheen het jaar;
- Emissies ten gevolge van de **meer incidentele vernieuwing van grote infrastructuren** (metrostellen, rails, afwerkingen).

4.1.2.2. Berekening van de emissies

A. In de fase Werking

A.1. Energieverbruik van de stations en de stelplaats

Het energieverbruik van de infrastructuur vertegenwoordigt een aanzienlijk deel van de BKG-emissies die verband houden met de werking van de metrolijn. Voor dit verbruik worden drie posten geëvalueerd: **het indirecte energieverbruik (elektriciteit) van de verschillende stations en de stelplaats** van de toekomstige lijn, het **directe energieverbruik (gas) van de stelplaats** en de **vluchtige emissies van koelmiddelen** die ontsnappen uit de koelinstallaties (airconditioning, warmtepomp, enz.).

A.1.1. Indirecte energie (elektriciteitsverbruik)

De activiteitsgegevens komen overeen met het **verbruik** en het **specifieke verbruik** van de stations en de stelplaats (elektriciteit). Deze in kWh uitgedrukte verbruiken omvatten verwarming, ventilatie, verlichting, de voorzieningen en koeling van de verschillende kamers en ruimten. De corresponderende emissiefactor wordt daarom uitgedrukt in verbruikte kgCO_2/kWh .

Het verbruik van de stations wordt geëvalueerd op basis van de energiekarakteristieken van de verschillende voorzieningen die in elk station aanwezig zijn en de overeenkomstige oppervlakten.

Deze energieverbruiken zijn reeds berekend en zijn derhalve direct opgenomen. De gedetailleerde berekeningen zijn te vinden in het hoofdstuk Energie van het boek Algemeen Stations.

Zie Boek III Algemeen Stations – Hoofdstuk 7. Energie, punt 7.3

Het totale energieverbruik (elektriciteit, gas en post voor sanering) van de stelplaats wordt geëvalueerd op basis van een methodologie die erin bestaat het energieverbruik te gebruiken van de stelplaats Jacques Brel, waarvan de geometrie en de interne organisatie vergelijkbaar zijn met die van het toekomstige stelplaats. Deze aanpak heeft het voordeel dat realistische ordes van grootte in aanmerking kunnen worden genomen, aangezien de stelplaats Jacques Brel ook het meest recent is. In dit deel wordt alleen rekening gehouden met het indirecte energieverbruik (elektriciteit) in verband met de werking van de stelplaats.

Details over de berekeningen van het energieverbruik zijn te vinden in het hoofdstuk Energie van het boek Stelplaats.

Zie Boek IV Stelplaats – Hoofdstuk 7. Energie, punt 7.6.16

De **jaarlijkse emissies** die zijn geëvalueerd voor het energieverbruik van de stations en de stelplaats in de post Energie zijn in de onderstaande tabel per deelproject en emissiebron vermeld.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Emissiebronnen	Verbruik [kWh]	Emissies [teqCO ₂]
Stations	Koeling	548.124	86
	Verwarming	28.224	4
	Verlichting	824.615	129
	Ventilatie	412.304	65
	Voorzieningen	9.581.898	1.504
	Totaal	11.391.147	1788
Stelplaats	Totaal	1.100.000	173
Totaal – Post indirecte energie		12.491.147	1.961

Tabel 60: Emissies - As Exploitatie van de lijn - Post Indirecte energie - Stations en stelplaats (ARIES, 2020)

De gebruikte emissiefactor is die welke de MIVB gebruikt om haar eigen koolstofbalansen op te stellen, namelijk 157 geqCO₂/kWh. Deze emissiefactor is gebaseerd op de "energiemix" van de leverancier van de MIVB⁴⁸.

A.1.2. Directe emissies (vaste verbrandingsbronnen)

De activiteitsgegevens komen overeen met het **energieverbruik van gas van de stelplaats**. Deze verbruiken worden uitgedrukt in kWh. De corresponderende emissiefactor wordt daarom uitgedrukt als CO₂-uitstoot per verbruikte kWh.

Het totale energieverbruik (elektriciteit, gas en post voor sanering) van de stelplaats wordt geëvalueerd op basis van een methodologie die erin bestaat het energieverbruik te gebruiken van de stelplaats Jacques Brel, waarvan de geometrie en de interne organisatie vergelijkbaar zijn met die van het toekomstige stelplaats. Deze aanpak heeft het voordeel dat realistische ordes van grootte in aanmerking kunnen worden genomen, aangezien de stelplaats Jacques Brel ook het meest recent is. In dit deel wordt alleen rekening gehouden met het directe energieverbruik (gas) in verband met de exploitatie van de stelplaats.

Details over de berekeningen van het energieverbruik zijn te vinden in het hoofdstuk Energie van het boek Stelplaats.

Zie Boek IV Stelplaats – Hoofdstuk 7. Energie, punt 7.6.16 Evaluatie van het totale energieverbruik

Met een gasverbruik in verband met de stelplaats van 820.000 kWh per jaar worden de **jaarlijkse emissies** geraamd op **200 teqCO₂**.

De gebruikte emissiefactor is die welke de MIVB gebruikt om haar eigen koolstofbalansen op te stellen, namelijk 0,244 kg eqCO₂/kWh. Deze emissiefactor, ontleend aan de Base Carbone van ADEME, komt overeen met de waarde voor aardgas in Europa.

⁴⁸ Wordt constant geacht over de gehele periode die in de koolstofbalans in aanmerking wordt genomen, aangezien er geen langetermijnvisie is

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

A.1.3. Vluchtige emissies

De systemen voor koudeproductie die in de koelinstallaties van de technische ruimten worden aangetroffen, omvatten een circuit dat een koelmiddel bevat. Deze systemen zijn niet perfect afgedicht en vertonen lekken. De **gefluoreerde gassen die bij deze lekken vrijkomen, zijn krachtige broeikasgassen** en het is dan ook belangrijk de emissies te evalueren. In 2014 waren de verschillende gefluoreerde gassen goed voor 2% van de wereldwijde emissies⁴⁹. In een methodologie die is ontwikkeld door de Base Carbone wordt uitgelegd hoe de broeikasgasemissies van de verschillende gefluoreerde gassen worden berekend.

*"Het effect van het vrijkomen van een kilogram broeikasgas in de atmosfeer is niet voor alle gassen hetzelfde. Elk gas heeft een "aardopwarmingsvermogen" (Global Warming Potential, GWP), dat de "impact op het klimaat" kwantificeert. Hoe groter het GWP, hoe groter het bijkomende broeikaseffect dat wordt veroorzaakt door het vrijkomen van één kilogram van het gas in de atmosfeer. Bij conventie vergelijkt het GWP broeikasgassen met CO₂, dus bij conventie is het GWP van CO₂ altijd 1. Voor de andere broeikasgassen is de methode gebaseerd op het GWP over een periode van 100 jaar uit het meest recente IPCC-rapport."*⁴⁴

Het **lekken van koelgas betreft de stations en de stelplaats**. Zij hebben betrekking op warmtepompen en airconditioningsinstallaties in bepaalde gekoelde ruimten met het doel de goede werking van de installaties aldaar te garanderen en de levensduur ervan te verlengen.

De activiteitsgegevens komen overeen met de hoeveelheden koelmiddelen die door de installaties in de atmosfeer worden uitgestoten, berekend op basis van hun jaarlijkse lekkagewaarden. De emissiefactoren komen overeen met het GWP van gefluoreerde gassen, zodat de hoeveelheden uitgestoten gassen kunnen worden omgerekend in overeenkomstige hoeveelheden uitgestoten CO₂.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de soorten installaties in de stations en de stelplaats, de jaarlijkse lekkagewaarden en de gefluoreerde gassen die in de installatie zijn geïntegreerd.

Technische ruimten	Soorten installaties	Jaarlijkse lekkagewaarden	Koelmiddelen
Stations			
Ruimten voor telecommunicatie 1	CRAC (kast)	6%	R410a
Ruimten UPS	Split	5%	R410a
Ruimten ATM	DRV	10%	R410a
Warmtepomp	Multisplit	6%	R410a
Stelplaats			

⁴⁹ Bron: Base Carbone van ADEME

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Koelwateraggregaat	Airconditioning met gekoeld water	5%	R410a
Luchtdroger	Airconditioning	9%	R410a
Warmtepomp	Airconditioning met gekoeld water	5%	R410a

Tabel 61: Tabel met kenmerken van de koelinstallaties (ARIES, 2020)

De jaarlijkse lekkagewaarden waarmee in deze balans rekening wordt gehouden, zijn die welke zijn opgenomen in de Bilan Carbone van ADEME. Informatie over technische installaties (inclusief het type vloeistof) is te vinden in bijlage 16 – Lijsten van ingedeelde inrichtingen van de aanvraag voor een Milieuvergunning (BMN, 2018).

Alle installaties bevatten hetzelfde koelmiddel, R410a, dat een GWP over 100 jaar heeft van 1924⁵⁰.

De jaarlijkse emissies die zijn geëvalueerd voor de post Vluchtige emissies zijn in de onderstaande tabel per deelproject en emissiebron vermeld.

Deelproject	Emissiebronnen	Emissies BKG [t _{R410a}]	GWP	Emissies [teqCO ₂]
Stations	Koeling	0,05161	1924	99
	Verwarming	0,00264	1924	5
	Totaal			104
Stelplaats	Koeling	0,001493	1924	3
	Verwarming	0,000395	1924	1
	Totaal			4
Totale Vluchtige emissies – Koelmiddelen				108

Tabel 62: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Post Vluchtige emissies – Stations en stelplaats (ARIES, 2020)

A.2. De metrostellen

Dit deel omvat verschillende emissieposten die betrekking hebben op het **deelproject metrostellen**.

In 2016 heeft de MIVB 43 nieuwe metrostellen besteld. Deze M7-metrostellen worden vervaardigd door de Spaanse fabrikant Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF). De **eerste 22 metrostellen** worden normaal **in 2022** in het verkeer gebracht. In eerste instantie zullen deze metrostellen worden gebruikt om de lijnen 1 en 5 te versterken, voordat zij op lijn M3 zullen rijden bij het openen van de lijn. Op basis van met de MIVB geconsolideerde hypothesen wordt ervan uitgegaan dat de laatste 21 metrostellen van het contract zullen rijden vanaf 2030 voor de opening van lijn M3.

De impact van de metrostellen die vanaf 2022 in gebruik worden genomen, zal worden beoordeeld aan de hand van een afschrijvingsplan. Toekomstige metrostellen die speciaal voor het bedienen van de lijn worden gebouwd, zullen worden opgenomen in de posten

⁵⁰ Bron: Base Carbone van ADEME, gebaseerd op het 5e IPCC-verslag (2013)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Productiemiddelen - Materialen (door de emissies te berekenen in verband met de productie van de materialen die gebruikt worden voor de bouw van de metrostellen) en Inkomend vrachtvervoer.

A.2.1. Indirecte energie

De activiteitsgegevens komen overeen met de tractie-energie, d.w.z. de energie die nodig is om de metrostellen in beweging te brengen.

Het verbruik van tractie-energie tijdens de exploitatie van de toekomstige lijn werd geraamd op basis van een door de MIVB voorgestelde methodologie, die erin bestaat het verbruik te gebruiken dat tijdens het jaar 2019 is gemeten voor de posten voor de sanering van een traject van het bestaande net met soortgelijke kenmerken.

De methodologie en de gedetailleerde berekening zijn te vinden in het hoofdstuk Energie van het boek Tunnel.

Zie Boek II Tunnel – Hoofdstuk 6. Analyse van de effecten van het project ten opzichte van de uitgangssituatie en aanbevelingen, punt 6.7 Energie

Rekening houdend met de frequentie van een metro om de 5 minuten, wordt het **jaarlijkse energieverbruik** van het traject Liedts-Bordet geraamd op **8.180.000 kWh**.

De tractie-energie wordt ook in aanmerking genomen op het niveau van de stelplaats, op basis van het energieverbruik van de post voor de sanering van de stelplaats, en komt overeen met de beweging van metrostellen op het terrein van de stelplaats.

De methodologie en de gedetailleerde berekening zijn te vinden in het hoofdstuk Energie van het boek Stelplaats.

Zie Boek IV Stelplaats – Hoofdstuk 7. Energie, punt 7.6.16 Evaluatie van het totale energieverbruik

Het **jaarlijkse energieverbruik** van de post sanering van de toekomstige stelplaats wordt derhalve geëvalueerd op **3.300.000 kWh**.

De gebruikte emissiefactor is dezelfde als die voor het energieverbruik van de stations en de stelplaats, namelijk 157 geqCO₂/kWh, gebaseerd op de energiemix van de leverancier van de MIVB.

De geëvalueerde koolstofemissies van de post Energie van het deelproject Metrostellen bedragen **1.802 teqCO₂ per jaar**.

In de komende jaren wil de MIVB de frequentie van deze metro's verbeteren. Dankzij de automatisering van de toekomstige lijn M3 en de aanleg van een aangepaste infrastructuur (tunnel, stations, voorzieningen, signalisatie, enz.) zal het mogelijk zijn de frequentie tijdens de spitsuren op te trekken tot een interval van 90 seconden. De infrastructuur van deze nieuwe metro zal namelijk zo worden ontworpen dat ze met deze frequentie kan worden geëxploiteerd.

De verhoging van de frequentie van de lijn vereist een verhoging van het aantal metrostellen, meer frequent service en onderhoud van de trams en de infrastructuur, en een mogelijke uitbreiding van de stelplaats en de werkplaats om alle uitrusting te kunnen herbergen. Deze toename zal dus een effect hebben op de koolstofemissies die verband houden met de exploitatie van de lijn.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Met deze frequentietoename wordt echter geen rekening gehouden als hypothese in de koolstofbalans, omdat deze parameter momenteel nog te onbekend is. Bovendien zal deze verhoging van de frequentie naar verwachting pas over enkele decennia worden doorgevoerd, en het is niet zeker of dat ooit zal gebeuren.

In overeenstemming met de MIVB wordt er dus van uitgegaan dat de tractie-energie gedurende de eerste 50 jaar van exploitatie constant zal zijn.

A.2.2. Productiemiddelen

De oplevering van de metrostellen voor metrolijn M3 wordt rond 2027 verwacht. Van de 21 metrostellen die voor metrolijn M3 zijn gepland, zal bij de berekening van de productiemiddelen slechts van **10 stellen** worden uitgegaan, aangezien het hier gaat om het traject Liedts-Bordet, d.w.z. een deel van lijn M3. De berekening van het aantal metrostellen voor het traject Liedts-Bordet is gebaseerd op de lengte van dit traject in verhouding tot de totale lengte van de lijn (traject van 5 km op een totaal van 10,3 km)⁵¹.

De activiteitsgegevens komen overeen met de hoeveelheden materialen waaruit de M7-metrostellen zijn samengesteld. De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in de hoeveelheid CO₂ die wordt uitgestoten per ton materiaal. Deze post betreft **de materialen die nodig zijn voor de fabricage van de 10 metrostellen** die besteld zullen worden voor de ingebruikneming van de lijn M3.

De MIVB heeft ons de nodige informatie verstrekt om de effecten van de constructie van deze metrostellen te evalueren.

Leeggewicht van een metrostel [t]	Materialen	Samenstelling	Hoeveelheden [t]
166	Staal	66,5%	110
	Aluminium	33,5%	56

Tabel 63: Kenmerken van een M7-metrostel (ARIES, 2020)

Staal en aluminium zijn de voornaamste componenten van een metrostel. De evaluatie van deze post wordt vereenvoudigd door aan te nemen dat het hele stel alleen uit deze twee materialen bestaat.

De gebruikte emissiefactor voor staal is dezelfde als die voor de as constructie, gelijk aan 1.804 kg eqCO₂/t. Voor aluminium is de in aanmerking genomen emissiefactor 6.100 kg eqCO₂/t. Deze waarde komt overeen met het gewogen gemiddelde van de emissiefactoren voor de fabricage van nieuw aluminium (7.803 kg eqCO₂/t) en voor de fabricage van gerecycleerd aluminium (562 kg eqCO₂/t), ontleend aan de Base Carbone van ADEME.

De geraamde incidentele emissies van de post Productiemiddelen voor het deelproject Metrostellen worden in de onderstaande tabel per materiaal vermeld.

⁵¹ Hypothese gevalideerd door de MIVB

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Materialen	Emissies [teqCO ₂]
Staal	176,6
Aluminium	339,2
Totaal per metrostel	515,8
Totaal voor 10 metrostellen	5158

Tabel 64: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Post Productiemiddelen – Materialen – Metrostellen (ARIES, 2020)

De levensduur van metrostellen wordt geschat op 40 jaar. Het koolstofeffect in verband met de bouw van een metrostel wordt geacht **515,8 teqCO₂ per stel** te bedragen voor de post Productiemiddelen - Materialen (incidentele emissies die om de 40 jaar moeten worden vernieuwd, afhankelijk van het aantal nieuwe metrostellen), d.w.z. **in totaal 5158 teqCO₂ op 40 jaar**.

Wanneer het totale resultaat over de levensduur wordt afgeschreven, levert dit een jaarlijkse koolstofuitstoot op van **129 teqCO₂ per jaar** (tussen 2030 en 2070).

A.2.3. Inkomend vrachtvervoer

De post Inkomend vrachtvervoer betreft **het vervoer van de metrostellen** die onder de post Productiemiddelen vallen. De metrostellen zullen met uitzonderlijk vervoer worden vervoerd vanuit Spanje, waar de productiefaciliteiten van de fabrikant CAF zijn gevestigd.

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtvervoer worden uitgedrukt in ton.km en zijn gebaseerd op het leeggewicht van een metrostel (166 t) en de geschatte afstanden tussen de stelplaats in Haren en de maatschappelijk zetel van de onderneming in Guipuzcoa, Spanje. De meeste productiefaciliteiten bevinden zich in de nabijheid.

Een metrostel bestaat uit 6 wagons. Het leeggewicht van een wagon is 28 ton. Elke wagon zal met uitzonderlijk vervoer door een gelede vrachtwagen worden vervoerd.

De emissiefactor is afhankelijk van het gekozen type vrachtwagen. De emissiefactor die in aanmerking wordt genomen voor het transport van de metrostellen is 0,0666 kg eqCO₂/t.km. Deze waarde is ontleend aan de Base Carbone en komt, als hypothese, overeen met een gelede vrachtwagen, met een TMTG tussen 40 en 44 ton, die rijdt op diesel voor het wegvervoer waarin 7% biodiesel is bijgemengd.

De geraamde **incidentele emissies** van de post Inkomend vrachtvervoer van het deelproject Metrostellen worden in de onderstaande tabel vermeld.

Vervoerde materialen	Afstand [km]	Ton.km	Emissies [teqCO ₂]
1 metrostel van 166 t	1.180	195.880	13
10 metrostellen van 166 t	1.180	1.958.800	130

Tabel 65: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Post Inkomend vrachtvervoer – Metrostellen (ARIES, 2020)

Wanneer het totale resultaat over de levensduur wordt afgeschreven, levert dit een jaarlijkse koolstofuitstoot op van **3 teqCO₂ per jaar** (tussen 2030 en 2070).

A.2.4. Afschrijvingen

De post Afschrijvingen komt overeen met de emissies in verband met de productie van de **22 M7-metrostellen die vanaf 2022 zullen rijden** en die zullen worden ingezet op de bestaande lijnen M1 en M5 en ook zullen worden gebruikt wanneer de lijn M3 in gebruik wordt genomen. De activiteitsgegevens worden bepaald aan de hand van de hoeveelheden materialen waaruit zij zijn samengesteld, door deze te wegen met een fractie van hun levensduur die overeenkomt met hun gebruik voor de lijn M3. Evenals bij de productiemiddelen zullen bij deze post **slechts 11 van de in totaal 22 metrostellen** in aanmerking worden genomen, om het traject Liedts-Bordet en niet de hele lijn M3 in de berekening te betrekken.

Deze activiteitsgegevens worden daarom als volgt berekend:

$$DA_{Afschrijvingen,metrostel} = \frac{t_{gebruik\ metrostel/project}}{levensduur\ metrostel} \cdot m_{materiaal\ metrostellen}$$

Of:

- $t_{gebruik\ metrostel/project}$: tijd dat het metrostel voor de lijn M3 wordt gebruikt;
- Levensduur van de machine: levensduur van het metrostel;
- $m_{materiaal\ machine}$: de massa van het materiaal waaruit het metrostel is gemaakt.

De emissiefactor komt dus overeen met die voor de productie van de materialen waarvan de metrostellen zijn gemaakt, d.w.z. staal en aluminium.

Er wordt uitgegaan van de volgende hypothesen:

- De lijn M3 zal vanaf 2030 in gebruik worden genomen;
- Alle metrostellen zullen voor deze lijn worden gebruikt;
- Het metrostel heeft een levensduur van 40 jaar.

De **jaarlijkse emissies in verband met de afschrijving** bedragen derhalve 5.674 teqCO₂/40 jaar, of **141 teqCO₂/jaar gedurende 32 jaar** ((2022+40) - 2030).

A.3. Beheersactiviteiten

De emissies die het gevolg zijn van de **beheersactiviteiten van de lijn M3** tijdens de werking betreffen **het woon-werkverkeer van het MIVB-personeel** (chauffeurs, onderhoudspersoneel, enz.), **het energieverbruik van de kantoren, de verschillende aankopen van producten en uitrusting, de afschrijving van kantoorapparatuur en het afvalbeheer**.

In het kader van haar activiteiten **koopt de MIVB producten, goederen en diensten aan** om de goede werking van de hele infrastructuur te verzekeren en haar infrastructuur genereren **afval** dat wordt verwerkt en naar verschillende inzamelaars wordt gebracht. De aankopen en het afval zullen koolstofemissies genereren die worden beoordeeld in de posten Productiemiddelen, Afvalbeheer en Inkomend en Uitgaand vrachtvervoer.

Alle kantoren die verband houden met lijn M3 zijn gevestigd in het administratieve gebouw van de stelplaats. De koolstofemissies ten gevolge van het energieverbruik van de kantoren worden daarom berekend in het gedeelte Energieverbruik van de stelplaats. Wat de afschrijving van kantoor materiaal betreft, deze post vertegenwoordigt slechts marginale emissies in verhouding

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

tot het geheel van emissies (zoals bijvoorbeeld die welke verband houden met de afschrijving van de metrostellen). Daarom wordt deze post niet in aanmerking genomen in deze koolstofbalans. In dit deel wordt dus alleen rekening gehouden met het woon-werkverkeer en het beheer van producten en voorzieningen (inclusief afval).

A.3.1. Verplaatsingen

De activiteitsgegevens in verband met verplaatsingen worden uitgedrukt in passagiers.km naar gelang van de door de werknemers gebruikte vervoerswijze. De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in de hoeveelheid CO₂ uitgestoten per passagier.afgelegde km.

Er kon een tabel worden opgesteld met de **verdeling van de transportmiddelen die het personeel van de MIVB gebruikt** om naar het werk te komen en de **gemiddelde afstanden**. De cijfers zijn gebaseerd op gegevens van de MIVB⁵² en een analyse van de mobiliteitstrends in België en Brussel⁵³. Aangezien de werkplek rechtstreeks bereikbaar is met de metro, wordt bovendien aangenomen dat het aandeel van de werknemers dat van dit vervoermiddel gebruik maakt, hoger zal liggen dan vandaag.

Modaal aandeel van het vervoer	Verdeling [%]	Emissiefactoren
Auto	35	0,193 kg eqCO ₂ /km*
Moto	6	0,154kg eqCO ₂ /km**
Fiets	8	-
Te voet	3	-
MIVB (metro, tram, bus)	35	0,046 kg eqCO ₂ /passagier.km***
Trein	13	0,0484 kg eqCO ₂ /passagier.km****

* Base Carbone: Personenvervoer - Auto – Gemiddelde motorisering – 2018

** Base Carbone: Personenvervoer - Moto > 250 cm³ – Stedelijk – 2018

*** Gemiddelde MIVB

**** Base Carbone: Personenvervoer - Passagierstrein, België

Tabel 66: Informatie over de verplaatsingen van werknemers van de MIVB (ARIES, 2020)

Wij gaan uit van een gemiddelde van 210 werkdagen per jaar en een gemiddelde van 2 trajecten per dag (heen en terug), en van een bezettingsgraad van de auto's van 1,1 (om rekening te houden met carpoolen). Volgens informatie van de MIVB zullen 103 mensen op de site worden ingezet in verband met de lijn M3 en zullen er maximaal 35 werknemers tegelijk op de site

⁵² Modal split van de site in Haren - Mobiliteitsenquête MIVB, 2017

⁵³ Volgens de Federale enquête woon-werkverkeer van 2017 is het autogebruik in het Brussels Gewest tussen 2005 en 2017 met 20% gedaald, het gebruik van de trein met 5,5% gestegen, het gebruik van het openbaar vervoer met 27,5% gestegen, het fietsgebruik met 259% gestegen en zijn de verplaatsingen te voet met 39% gestegen. In het algemeen blijkt uit deze cijfers dat steeds meer gebruik wordt gemaakt van actieve vervoerswijzen en het openbaar vervoer, in tegenstelling tot de auto. Aangenomen wordt dat deze ontwikkeling zich in de komende jaren (tot 2030) zal voortzetten.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

aanwezig zijn. Volgens gegevens van de MIVB bedroeg de gemiddelde afstand tussen woon- en werkplaats voor werknemers van de MIVB in Haren 5,7 km in 2018.

De jaarlijkse emissies die zijn geëvalueerd voor het gedeelte Beheersactiviteit van de post Verplaatsingen zijn in de onderstaande tabel per vervoerswijze aangegeven.

Transport	Emissies [teqCO ₂]
Auto	15
Moto	2
MIVB (metro, tram, bus)	4
Trein	2
Totaal – Post verplaatsingen	23

Tabel 67: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Post Verplaatsingen (ARIES, 2020)

In tegenstelling tot de andere emissieposten worden hier alle deelprojecten in aanmerking genomen, d.w.z. de gehele infrastructuur (tunnel, stations, stelplaats, metrostellen).

A.3.2. Productiemiddelen

De activiteitsgegevens komen overeen met de bedragen die de MIVB heeft uitgegeven voor de aankoop van producten, diensten of voorzieningen. De overeenkomstige geldelijke emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in de hoeveelheid CO₂ uitgestoten per uitgegeven duizendtal euro's.

In 2017 hebben de aankopen van producten, goederen en diensten van de MIVB **26.135 teqCO₂** voortgebracht. Deze emissies komen overeen met diverse aankopen (plastic materialen, chemische producten, kleding, computers en kantooruitrusting, enz.) maar ook met productiemiddelen die verband houden met budgetten voor adviesdiensten (consultants, advocaten, enz.), verzekeringen, logies en catering, enz.⁵⁴

De raming van de toekomstige jaarlijkse uitgaven voor de toekomstige metrolijn M3 is gebaseerd op het aantal kilometers dat door de MIVB is ontwikkeld, d.w.z. 5 km van het traject Liedts-Bordet op een totaal van 39,9 km aan metrolijnen, 140 km aan tramlijnen en 351 km aan buslijnen.⁵⁵

De jaarlijkse emissies geëvalueerd voor de post Productiemiddelen in het deel over het verbruik van goederen en diensten worden geraamd op **247 teqCO₂**.

A.3.3. Inkomend vrachtvervoer

De post Inkomend vrachtvervoer dekt de aanlevering van door de MIVB aangekochte goederen, producten en materialen. Aangezien de herkomst van al deze productiemiddelen momenteel niet bekend is, zijn de daarmee samenhangende koolstofemissies beoordeeld op basis van een percentage van de totale emissies die door alle productiemiddelen worden voortgebracht.

⁵⁴ Productiemiddelen met betrekking tot het servicie en onderhoud van de lijn zijn opgenomen in het punt Partie 1 :4.1.2.2.B

⁵⁵ Bron: MIVB (2018). *Statistieken 2017*

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Volgens de informatie van de MIVB komen de BKG-emissies van inkomend vrachtvervoer in de koolstofbalans van de MIVB in 2017 overeen met ongeveer 5% van de BKG-emissies van de aankopen door de MIVB.

Als we dezelfde verhouding hanteren voor de metro Brussel-Noord, kunnen we de jaarlijkse emissies van de post Inkomend vrachtvervoer in het deel Verbruik van goederen en diensten op **12 teqCO₂** ramen.

A.3.4. Afvalbeheer

De activiteitsgegevens komen overeen met de **hoeveelheden afval die ontstaan door de reizigers in de verschillende stations en door de activiteiten van de stelplaats**. De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in de hoeveelheid CO₂ uitgestoten per ton voortgebracht, verwijderd of gerecycleerd afval.

De hoeveelheden afval die ontstaan door de exploitatie van de stations en de stelplaats in Haren van de toekomstige lijn M3 zijn geraamd op basis van een methodologie die bestaat uit het gebruik en de extrapolatie van de hoeveelheden die in 2019 door de MIVB zijn ingezameld voor twee stelplaatsen van vergelijkbare grootte als de stelplaats in Haren en voor alle metrostations.

Stelplaats

De verzamelde gegevens over het ingezamelde afval in de metrostelplaatsen Demets-4 en Jacques Brel zijn aangepast aan de omvang van de stelplaats in Haren om een schatting te kunnen maken van de hoeveelheden afval die jaarlijks zullen ontstaan.

De activiteiten van de stelplaats brengen twee categorieën afval voort:

- Gevaarlijk afval** (oliefilters, verontreinigd afval, spuitbussen, enz.);
- Ongevaarlijk afval:**
 - Het GIA (Gewoon Industrieel Afval) dat overeenkomt met huishoudelijk afval;
 - Papier/karton;
 - PMD (Plastic, Metalen verpakkingen en Drankkartons)

Op basis van door de MIVB verstrekte gegevens wordt het grootste deel van het gevaarlijk afval en het GIA verbrand, terwijl al het papier/karton en PMD wordt gerecycleerd.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende hoeveelheden afval die door de stelplaats worden voortgebracht en de verwerking die aan elk soort afval is toegewezen.

Categorieën van afval	Beschrijving van het afval	Hoeveelheden [t]	Verwerking
Gevaarlijk afval		15,25	Verbrand
Ongevaarlijk afval	GIA	30,92	Verbrand
	Papier/karton	7,69	Gerecycleerd
	PMD	1,4	Gerecycleerd

Tabel 68: Hoeveelheid en verwerking van het door de stelplaats in Haren voortgebracht afval (ARIES, 2020)

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Alle gebruikte emissiefactoren zijn ontleend aan de Base Carbone. Zij zijn afhankelijk van het soort afval en de verwerking (afhankelijk van de vraag of het afval al dan is gevaloriseerd). De emissiefactor voor de verwerking van gevaarlijk afval (Speciaal Industrieel Afval - verbranding aan het einde van de levensduur) bedraagt 706 kg eqCO₂/t. De emissiefactor voor de verwerking van GIA (huishoudelijk afval - verbranding aan het einde van de levensduur) bedraagt 362 kg eqCO₂/t. Ten slotte bedraagt de emissiefactor voor de recyclage van papier/karton en PMD 33 kg eqCO₂/t.

De jaarlijkse emissies die zijn geëvalueerd voor het gedeelte Afvalbeheer van het deelproject stelplaats zijn in de onderstaande tabel per soort afval aangegeven.

Categorieën van afval	Beschrijving van het afval	Emissies [teqCO ₂]
Gevaarlijk afval		10,8
Ongevaarlijk afval	GIA	11,2
	Papier/karton	0,25
	PMD	0,05
	Totaal – Ongevaarlijk afval	11,5
Totaal Afval - Stelplaats		22

Tabel 69: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Afval – Stelplaats (ARIES, 2020)

Stations

De gegevens van het afval dat in 2019 in alle stations van de MIVB werd ingezameld, werden aangepast aan het aantal stations van de toekomstige metrolijn, om een raming te maken van de hoeveelheid afval afkomstig van de reizigers die gebruik maken van de 7 toekomstige stations.

Alle stations zijn voorzien van vuilnisbakken voor huishoudelijk afval, maar slechts enkele hebben vuilnisbakken waarbij het afval gescheiden kan worden met extra bakken voor papier, karton en PMD.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende hoeveelheden afval afkomstig van de reizigers van de stations en de verwerking die aan elk soort afval is toegewezen.

Categorieën van afval	Beschrijving van het afval	Hoeveelheden [t]	Verwerking
Ongevaarlijk afval	GIA	109,12	Verbrand voor valorisatie
	Papier/karton	1,78	Gerecycleerd
	PMD	0,014	Gerecycleerd

Tabel 70: Hoeveelheden en verwerking van het door het stations voortgebracht afval (ARIES, 2020)

Alle gebruikte emissiefactoren zijn ontleend aan de Base Carbone. Zij zijn afhankelijk van het soort afval en de verwerking (afhankelijk van de vraag of het afval al dan is gevaloriseerd).

Op basis van door de MIVB verstrekte gegevens wordt het restafval van metrostations gevaloriseerd voor energieproductie. Bijgevolg wordt een emissiefactor die overeenstemt met de door valorisatie vermeden emissies, toegevoegd aan de emissiefactor voor de verbranding van

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

GIA. De emissiefactor voor de verwerking van GIA (huishoudelijk afval - verbranding aan het einde van de levensduur) bedraagt 362 kg eqCO₂/t. De in aanmerking genomen emissiefactor voor het vermeden GIA is -164 kg eqCO₂/t. De emissiefactor voor het recyclen van papier/karton en PMD is 33 kg eqCO₂/t, hetzelfde als voor het afval van de stelplaats.

De **jaarlijkse emissies** die zijn geëvalueerd voor het gedeelte Afvalbeheer van het deelproject stations zijn in de onderstaande tabel per soort afval aangegeven.

Categorieën van afval	Beschrijving van het afval	Emissies [teqCO ₂]
Ongevaarlijk afval	GIA	21,6
	Papier/karton	0,1
	PMD	-*
Totaal Afval - Stations		22

* De BKG-emissies van PMD in stations worden verwaarloosd vanwege hun geringe hoeveelheid

Tabel 71: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Afval – Stations (ARIES, 2020)

A.3.5. Uitgaand vrachtvervoer

De post Uitgaand vrachtvervoer omvat het vervoer van afval van de stations en de stelplaats, dat wordt behandeld in de post Afvalbeheer. Het afval van de MIVB wordt ofwel naar een verwerkingscentrum in België vervoerd, ofwel vooraf naar een afvalinzamelingscentrum vervoerd, ook in België, om te worden gesorteerd en vervolgens naar de geschikte circuits te worden geleid.

Gewoonlijk wordt de post geëvalueerd op basis van het totale gewicht van het afval en de gemiddelde afstand van de infrastructuur tot het verwerkingscentrum. De door de Base Carbone voorgestelde emissiefactoren, die voor de post Afvalbeheer worden gebruikt, omvatten echter het vervoer van afval naar de verwerkingslocatie. Gezien deze emissiefactoren **is het dan ook niet nodig het vrachtvervoer stroomafwaarts**, dat onder de post afvalbeheer valt, **te berekenen**.

B. In de fase Service en onderhoud

De vervoersinfrastructuur van de Brusselse Metro Noord zal een zeer lange levensduur hebben, tot 100 jaar en meer. Om alle stations, de stelplaats en de tunnel in optimale bedrijfstoestand te houden, zullen **doorlopend dagelijks onderhoud en regelmatige service-operaties nodig zijn**. Sommige voorzieningen zullen moeten worden **vernieuwd** en **ingrijpende renovaties** zullen moeten worden uitgevoerd tijdens hun levensduur.

De evaluatie van de koolstofemissies van de fase Service en onderhoud is gebaseerd op prognoses van **toekomstige operaties die over enkele decennia op de lijn zullen worden uitgevoerd**. Er is gekozen voor **zeer vereenvoudigde hypothesen** om het risico van fouten niet te vergroten door al te nauwkeurige gegevens, die hoe dan ook aan onzekerheid onderhevig zijn. Het doel van deze fase is een **orde van grootte voor te stellen van de koolstofemissies** die zullen ontstaan onafhankelijk van de dagelijkse werking van de metrolijn.

B.1. Onderhouds- en servicewerkzaamheden

B.1.1. Infrastructuren

Dagelijkse schoonmaak en regelmatig onderhoud gedurende het hele jaar zijn gepland voor de stations en de sporen van de tunnel. De koolstofemissies worden geëvalueerd op basis van een methodologie waarbij als activiteitsgegevens de kosten worden gebruikt van onderhouds- en service-activiteiten van bestaande stations en de sporen van de tunnel binnen de infrastructuur van de MIVB. De resultaten worden vervolgens aangepast aan de kenmerken van de toekomstige infrastructuur van de Metro Noord.

Volgens de informatie van Brussel Mobiliteit bedragen de jaarlijkse onderhoudskosten van het metrostation Kruidtuin 122.000 €, wat overeenkomt met een dagelijkse schoonmaakbeurt die de volgende taken omvat:

- Het legen van de vuilnisbakken;
- Schrobmachines;
- Het schoonmaken van zitplaatsen, AVM's (ticketverkoop), relingen, valideertoestellen, enz.

Aangezien het station Kruidtuin gelijkaardig is aan de nieuwe stations van de Brusselse Metro Noord, wordt ervan uitgegaan dat de jaarlijkse onderhoudskosten voor de zeven stations identiek zullen zijn, d.w.z. 122.000 € per station. De totale onderhoudskosten bedragen **854.000 € per jaar**.

De kosten van regelmatig onderhoud worden geraamd op **150.000 €/station/jaar**. Het omvat de volgende kleine operaties:

- Schilderwerk;
- Reparatie van tegels;
- Injecties;
- Betonreparaties en diverse kleine werken;
- Signalisatie voor visueel gehandicapten, ...

Daarom wordt een jaarlijks budget van **1.050.000 €** overwogen voor regelmatig onderhoud van de toekomstige metrolijn en al zijn stations.

Voor de sporen van de tunnel worden de onderhoudskosten geraamd op ongeveer **60.000 €/km/jaar**. De verschillende operaties die kunnen worden uitgevoerd zijn als volgt:

- Stofverwijdering in de tunnel;
- Afdichting + anti-carbonatatie;
- Rioolreiniging in de stations;
- Betonreparaties;
- Passage van grondwater (regeneratie van afvoerkanalen).

Onderstaande tabel geeft een voorbeeld van de frequentie en de duur van de interventies van de onderhoudsmetrostallen voor het onderhoud in een tunnel.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Operatie	Frequentie van de interventie	Duur van de interventie	Type trein
Slijpen van sporen	1 keer per jaar	15 nachten (500m spoor per nacht)	SPENO slijptrein
Controle op slijtage van rails	1 keer per jaar	25 nachten per jaar	SPENO en Sperry trein
Stofverwijdering	1 keer per maand	1 nacht per maand	Trein voor stofverwijdering
Aanstampen	1 keer per jaar	5 nachten per jaar	Ballaststamper of manueel
Vervanging van wissels	-	1 weekend	Werktreinen (kraanwagens)
Lassen/reparaties	3 keer per jaar	6 nachten per jaar	Werktreinen

Tabel 72: Onderhoudswerkzaamheden aan de sporen (ARIES, 2020)

Rekening houdend met de 5 km aan tunnel in het traject Liedts-Bordet (tot aan de stelplaats in Haren) wordt het jaarlijkse budget voor structureel onderhoud van de sporen in de tunnel geraamd op ongeveer **300.000 €**.

In de onderstaande tabel zijn de verschillende jaarlijkse geraamde budgetten opgenomen voor het onderhoud van de infrastructuur en de jaarlijks veroorzaakte koolstofemissies. De emissiefactor bedraagt **170 kg eqCO₂/k€**. Deze is afgeleid van de Base Carbone van ADEME, en komt overeen met de multitechnische onderhoudsservice voor gebouwen.

Operaties		Geraamd budget	Emissies [teqCO ₂]
Onderhoud		854.000 €	145
Service	Stations	1.050.000 €	178
	Tunnel	300.000 €	51
Totaal		2.204.000 €	375

Tabel 73: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Service en onderhoud - Infrastructuur (ARIES, 2020)

Er zij op gewezen dat de kosten voor de service en het onderhoud van de nieuwe infrastructuren lager zullen zijn dan de huidige kosten van de bestaande stations, dankzij voortdurende verbeteringen en **het gebruik van nieuwe en steeds efficiëntere technologie**. Om met deze technische ontwikkelingen rekening te houden, is besloten uit te gaan van een **jaarlijkse daling van 1%** van de gebruikte emissiefactoren⁵⁶ over een periode van 50 jaar (het tijdsbestek van de studie).

In de onderstaande tabel wordt de ontwikkeling van de koolstofemissies voor onderhoud tussen 2030 en 2080 weergegeven.

Jaar	2030	2040	2050	2060	2070	2080
Jaarlijkse emissies door service en onderhoud (teqCO ₂)	375	340	307	277	251	227

Tabel 74: Evolutie van de koolstofemissies door service en onderhoud over een levensduur van 50 jaar (ARIES, 2020)

⁵⁶ Jaarlijkse reductiemethode gebruikt in de koolstofbalans van Grand Paris.

B.1.2. Metrostellen

Het routine-onderhoud (schoonmaken, wassen) en de service van de metrostellen vinden plaats in de stelplaats via de verschillende sporen (stalling, testen, kuil, stofverwijdering) en ruimten voor de opslag van de metrostellen. De koolstofemissies die verband houden met het onderhoud van deze metrostellen worden geëvalueerd op basis van een methodologie waarbij de bedragen die de MIVB gedurende een jaar aan het onderhoud van de metrostellen besteedt, als activiteitsgegevens worden beschouwd. Dit resultaat werd vervolgens aangepast aan het aantal km van het traject Liedts-Bordet.

In de onderstaande tabel staan de uitgaven voor het gehele metronet en de veronderstelde uitgaven voor het traject van het project.

Uitgaven voor service van de metrostellen	MIVB-netwerk	Lijn Liedts-Bordet
Aantal km	39,9	5
Kostprijs	3.700.000 €	463.659 €

Tabel 75: Onderhoudskosten van de metrostellen (ARIES, 2020)

De emissiefactor bedraagt **170 kg eqCO₂/k€**. Deze is afkomstig van de Base Carbone van ADEME en komt overeen met de multitechnische onderhoudsservice voor gebouwen.

De jaarlijkse emissies met betrekking tot het onderhoud van de metrostellen worden geraamd op **79 teqCO₂**.

B.2. Vernieuwing van de infrastructuur en voorzieningen

Naast de kleine jaarlijkse onderhoudswerkzaamheden worden een incidentele vernieuwing van groot materieel, afwerkingen en zware renovatiewerkzaamheden uitgevoerd.

De voornaamste operaties en voorzieningen die vernieuwd dienen te worden zijn de volgende:

- Om de 20 jaar ongeveer zijn er **werkzaamheden in verband met de afwerking**⁵⁷ van nieuwe metrostations gepland;
- De **metrostellen**, met een levensduur van 40 jaar;
- De **rails**, die worden vervangen om de 15 jaar;

B.2.1. Infrastructuren

De koolstofemissies worden beoordeeld op basis van een methodologie waarbij de geraamde kosten voor vernieuwingen van de afwerkingen van nieuwe metrostations als activiteitsgegevens worden gebruikt. Volgens Brussel Mobiliteit worden de kosten van deze vernieuwing geraamd op **3.500.000 € per station**, wat neerkomt op een totaal van **24,5 M€** voor alle stations van de Metro Noord.

De emissiefactor bedraagt **170 kg eqCO₂/k€**. Deze is afkomstig van de Base Carbone van ADEME en komt overeen met de multitechnische onderhoudsservice voor gebouwen.

⁵⁷ Elektromechanische voorzieningen en ventilatiesystemen vallen niet onder de vernieuwing.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De incidentele emissies in verband met de vernieuwing van de afwerkingen om de 20 jaar voor de zeven metrostations worden geraamd op **4.165 teqCO₂**. Rekening houdend met een **afschrijving van deze emissies over 20 jaar**, geeft dit een uitstoot van **208 teqCO₂/an**.

De rails worden ook geacht ongeveer om de 15 jaar te worden vernieuwd. De koolstofemissies in verband met de bouw van de tunnelrails worden ontwikkeld in de as Bouw van de infrastructuur onder Productiemiddelen - Materialen - Staal. Het totale gewicht van de rails is 908 ton en de gebruikte emissiefactor voor het staal is 1.804 kg teqCO₂. De **BKG-emissies van de rails die vanaf 2045 om de 15 jaar worden vernieuwd**, bedragen dus **1.634 teqCO₂**. Rekening houdend met een afschrijving van **deze emissies over de levensduur van de rails**, leidt dit tot een uitstoot van **109 teqCO₂/an**.

B.2.2. Metrostellen

Volgens de post Productiemiddelen – Materialen in het deel over de metrostellen bedraagt de **emissiefactor voor één metrostel 515,8 teqCO₂**. Bovendien bedraagt de emissiefactor voor het transport van elk metrostel met uitzonderlijk vervoer **13 teqCO₂** per metrostel. Dit geeft een totaal van **528,8 teqCO₂** voor elk vernieuwd metrostel.

De levensduur van een metrostel is ongeveer 40 jaar. Volgens informatie van de MIVB zal de oplevering van de metrostellen voor de opening van de lijn M3 naar verwachting rond 2027 plaatsvinden. Daarom moet worden voorzien in een vernieuwing van de metrostellen tegen 2067 (d.w.z. 40 jaar na 2027). De 21 metrostellen op lijn M3 zullen derhalve vanaf 2067 geleidelijk worden vervangen, in een tempo van 7 treinen per jaar (d.w.z. gedurende in totaal 3 jaar).

Vervolgens moet deze vernieuwing van de metrostellen weerom in aanmerking worden genomen voor het traject Liedts-Bordet, berekend in verhouding tot de afstand (lengte van het traject in verhouding tot de totale lengte van de lijn). De berekening van de emissies wordt daarom uitgevoerd voor **10 van de in totaal 21 metrostellen**. Met behoud van de hypothese van een geleidelijke vernieuwing over 3 jaar, worden de vernieuwingen als volgt verdeeld:

- 4 metrostellen in 2067;
- 3 metrostellen in 2068;
- 3 metrostellen in 2069;

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies die gepaard gaan met de productie van de materialen die nodig zijn voor de constructie van de toekomstige metrostellen, naargelang van het tijdsbestek.

Rollend materieel	Jaar van ingebruikstelling	Incidentele emissies [teqCO ₂]	Afgeschreven emissies [teqCO ₂ /jaar]	Jaren van afschrijving
4 metrostellen	2067	2.115,2	52,9	2067-2107
3 metrostellen	2068	1.586,4	39,7	2068-2108
3 metrostellen	2069	1.586,4	39,7	2070-2110
Som van de emissies		5.288	132,2	

Tabel 76: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Post Productiemiddelen – Vernieuwing van de metrostellen (ARIES, 2020)

4.1.2.3. Samenvatting van de resultaten

In de onderstaande tabel staan alle emissies die zijn berekend voor de verschillende onderdelen van de as "Exploitatie van de lijn", gedetailleerd naar fase, post en bron, en gespecificeerd in termen van incidentele en jaarlijkse emissies. Sommige emissies variëren van jaar tot jaar en sommige emissies komen slechts in een bepaalde periode voor en niet over het gehele tijdsbestek van 50 jaar. In de tabel staan de cijfers voor het eerste jaar van exploitatie. Vervolgens worden indicaties gegeven in functie van de veranderingen in de loop van de tijd. Deze verduidelijkingen zijn in de tabel vermeld.

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Fasen	Deel	Posten - bronnen	Incidentele emissies [teqCO ₂]		Jaarlijkse of afgeschreven emissies [teqCO ₂ /jaar]
Werking	Stations en stelplaats	Indirecte energie	-	-	1.961
		Directe energie			200
		Vluchtige emissies	-	-	108
	Subtotaal Stations				2.269
	Metrostellen	Energie (tractie)	-	-	1.802
		Productiemiddelen materialen	- 40 jaar	5.158	*129
		Inkomend vrachtvervoer	40 jaar	130	*3
		Afschrijving	32 jaar		**142
	Subtotaal Metrostellen				**2.076
	Beheersactiviteit	Woon-werkverkeer	-	-	23
		Productiemiddelen Aankopen	-	-	247
		Inkomend vrachtvervoer	-	-	12
		Afvalbeheer (inclusief uitgaand vrachtvervoer)	-	-	44
	Subtotaal Beheersactiviteit				326
	Subtotaal Werking				
Onderhoud/ service	Dagelijks werken	Kosten infrastructuur	-	-	***375
		Kosten metrostellen	-	-	79
	Subtotaal Service/onderhoud				***454
	Vernieuwing	Infrastructuur	20 jaar	****4.165	****208
		Rails	15 jaar	*****1.638	*****109
		Metrostellen	40 jaar	*****5.288	*****132
Subtotaal vernieuwing				*****449	

* Emissies afgeschreven tot 2070 (40 jaar vanaf 2030)

** Emissies afgeschreven tot 2062 (32 jaar vanaf 2030)

*** Emissies in 2030 dan jaarlijkse daling van 1%

**** Emissies veroorzaakt vanaf 2050 (20 jaar na 2030)

***** Emissies veroorzaakt vanaf 2045 (15 jaar na 2030)

***** Emissies veroorzaakt vanaf 2067

Tabel 77: Samenvatting van de resultaten – As Exploitatie van de lijn (ARIES, 2020)

In tegenstelling tot de as "Bouw van de infrastructuur" zijn de methodologie en de hypothesen hier niet per post ontwikkeld, maar per "activiteit" die behoort tot de exploitatie van de metrolijn (de dagelijkse werking en het onderhoud). Om een overzicht te krijgen van de meest en minder

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

uitstotende posten, worden in onderstaande tabel de resultaten per post gegeven, uitgesplitst naar de verschillende emissiebronnen, met een indicatie van het tijdstip waarop deze emissies hebben plaatsvinden.

Posten	Bronnen	Indicaties voor het tijdstip van de emissies	Jaarlijkse of afgeschreven emissies [teqCO ₂]
Energie (vaste verbrandingsbronnen)	Gasverbruik van de stelplaats	Jaarlijks	200
Energie (elektriciteitsverbruik)	Verbruik stations en stelplaats	Jaarlijks	1.961
	Tractie-energie (metrostellen)	Jaarlijks	1.802
Subtotaal Energie			3.963
Vluchtige emissies	Koelmiddelen	Jaarlijks	108
Productiemiddelen	Metrostellen	Afgeschreven	129
	Rails	Afgeschreven op 15 jaar (vanaf 2045)	109
	Aankopen van goederen en diensten	Jaarlijks	247
	Kosten onderhoud/service metrostellen	Jaarlijks	79
	Kost onderhoud/service infrastructuren	Jaarlijks	*Van 375 tot 227
	Kosten vernieuwing infrastructuren	Afgeschreven op 20 jaar (vanaf 2050)	208
Subtotaal Productiemiddelen			*Van 781 tot 1.079
Afschrijving	Metrostellen	Afgeschreven op 32 jaar	142
Inkomend vrachtvervoer	Metrostellen	Afgeschreven op 40 jaar	3
	Aankopen van goederen en diensten	Jaarlijks	12
Subtotaal Inkomend vrachtvervoer			15
Afvalbeheer	Stations	Jaarlijks	44
Verplaatsingen	Woon-werk	Jaarlijks	23

* Jaarlijkse daling van 1%

** Minimum- en maximumwaarde, afhankelijk van de jaren van afschrijving

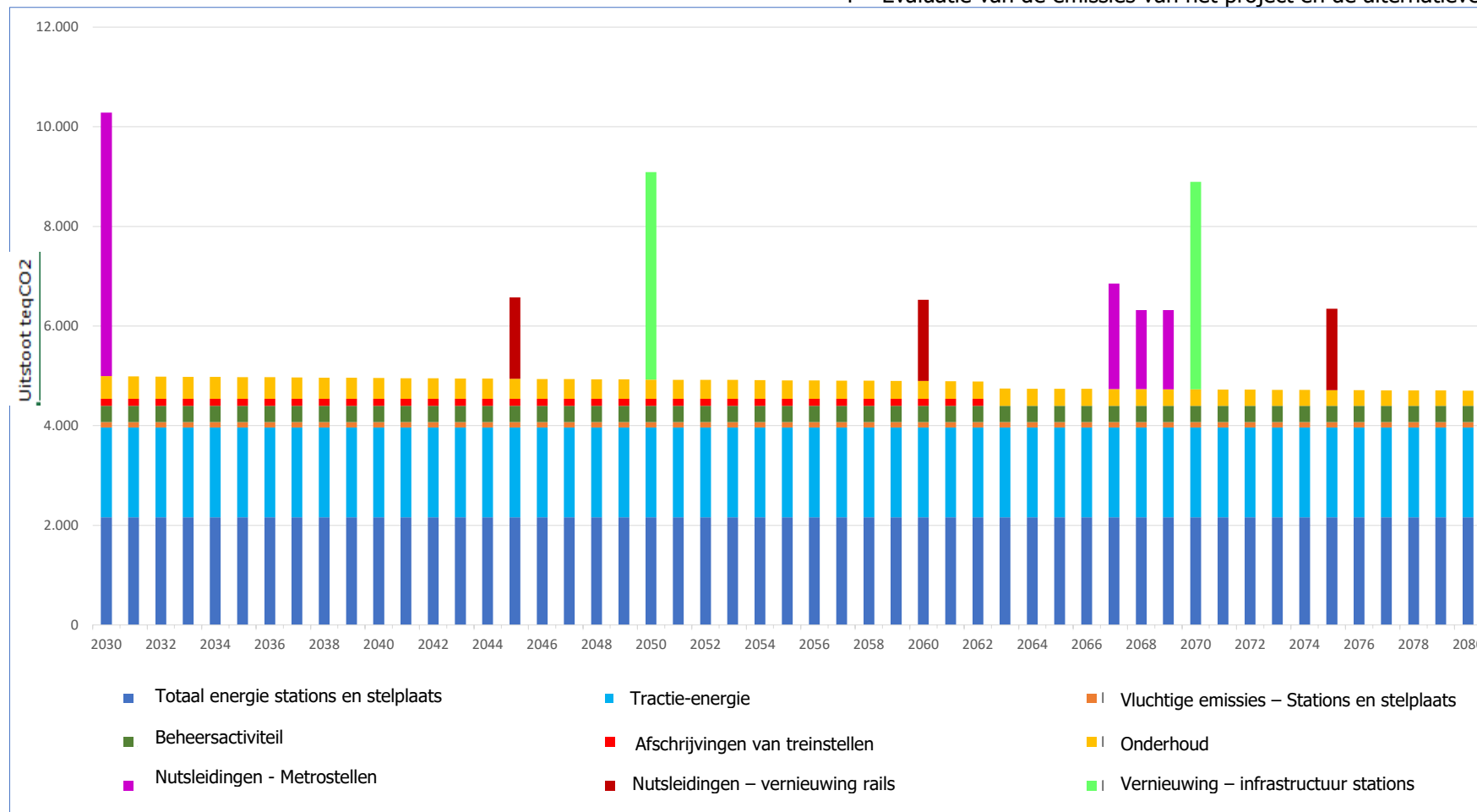
Tabel 78: Samenvatting van de resultaten per post - As Exploitatie van de lijn (ARIES, 2020)

De indicaties betreffende de tijdstippen maken het mogelijk de interpretatie van de resultaten van deze tabel te nuanceren wat betreft hun belang qua emissies, aangezien sommige bronnen jaarlijks voorkomen en andere incidenteel of zelfs eenmalig zijn. Het doel van deze samenvatting per post is de aandacht te vestigen op de posten met de grootste impact in termen van koolstofemissies.

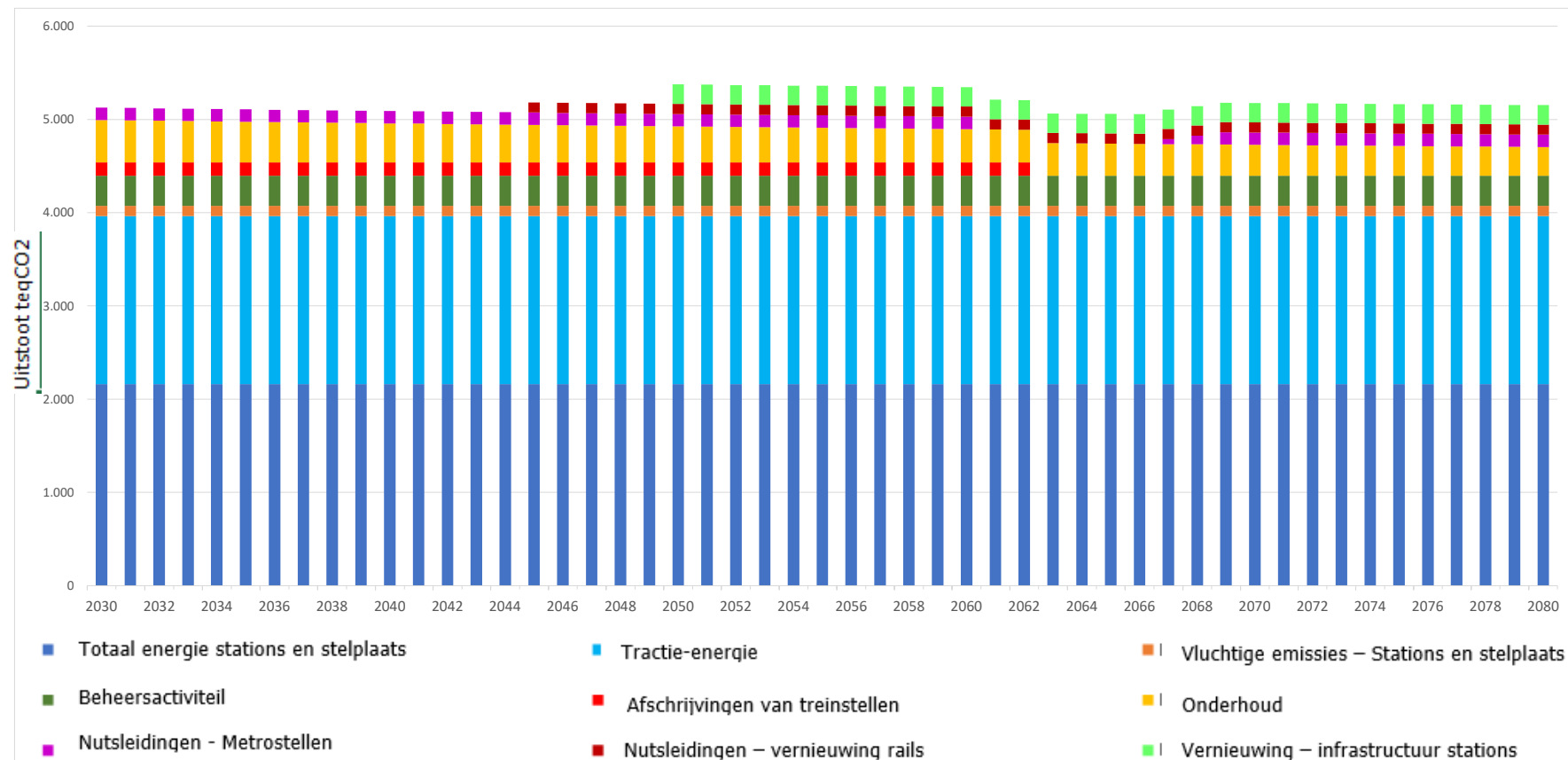
De onderstaande grafieken tonen alle emissies over een tijdsbestek van 50 jaar vanaf 2030 (tot 2080). De eerste grafiek geeft de "reële effecten" weer, ter illustratie van de emissies op het

4. Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

moment dat ze optreden. Dit geeft een realistischer beeld van de milieu-effecten van de exploitatie en de vernieuwing van voorzieningen. De tweede grafiek toont de "afgeschreven effecten", d.w.z. emissies met een afschrijving van incidentele emissies over meerdere jaren (vaak gedefinieerd in termen van een levensduur). Dit illustreert de globale door het project veroorzaakte emissies en geeft een jaarlijks gemiddelde (zie punt 2.4.4).



Figuur 14: Samenvatting van de resultaten – As Exploitatie van de lijn – "Reële effecten" (ARIES, 2020)



Figuur 15: Samenvatting van de resultaten – As Exploitatie van de lijn – "Afgeschreven effecten" (ARIES, 2020)

Uit de tabellen en de twee grafieken "Reële effecten" en "Afgeschreven effecten" kunnen verschillende lessen worden getrokken:

- De geraamde CO₂-emissies voor de as "Exploitatie van de lijn" bedragen ongeveer **5.000 ton per jaar**, met emissiepieken tot 10.000 ton in de jaren waarin infrastructuurmaterieel wordt aangekocht en vernieuwd (**metrostellen, rails en afwerkingen**). Als de incidentele emissies van de vernieuwing van de uitrusting over de levensduur ervan worden afgeschreven, bedragen de totale gemiddelde jaarlijkse emissies voor de as ongeveer 5.300 teqCO₂.
- **Energie is veruit het de grootste post.** Deze post is verantwoordelijk voor het overgrote deel van de emissies van de as. Deze post omvat het energieverbruik in de stations en de stelplaats (verwarming, verlichting, ventilatie, koeling en voorzieningen) en de tractie-energie om de metrostellen in beweging te brengen. Deze emissies worden geraamd op ongeveer 4.000 teqCO₂ per jaar.
- De post **Productiemiddelen is de tweede belangrijkste post** in termen van koolstofemissies. Deze post omvat emissies in verband met de vervaardiging van materialen voor vernieuwde voorzieningen, emissies in verband met de aankoop van producten, goederen en diensten, en emissies in verband met de geraamde budgetten voor het onderhoud en de service van de infrastructuur. De totale jaarlijkse en afgeschreven emissies bedragen ongeveer **1.000 teqCO₂**.
- De **andere emissieposten** kunnen als **verwaarloosbaar** worden beschouwd, gezien het belang van de eerste twee en hun geringe invloed op de gehele infrastructuur van de metrolijn (met name beheersactiviteiten met betrekking tot verplaatsingen en afvalbeheer). Samen vertegenwoordigen deze emissies **minder dan 10% van de globale emissies** van de as Exploitatie van de lijn.
- De **grafiek van de "reële effecten"** laat duidelijk de categorieën emissies zien die niet elk jaar worden vernieuwd en die incidenteel in 50 jaar voorkomen, en emissiepieken vertegenwoordigen:
 - Emissies in verband met de productiemiddelen van de metrostellen in het eerste jaar en de vernieuwing ervan 40 jaar later rond 2070;
 - De uitstoot die gepaard gaat met het vernieuwen van de rails om de 15 jaar;
 - Emissies in verband met de vernieuwing en afwerkingen van de infrastructuurelementen van de stations om de 20 jaar.
- Uit de **grafiek van de "afgeschreven effecten"** blijkt dat de eenmalige emissies van de productiemiddelen in verband met de vernieuwing van de metrostellen en rails een relatief geringe impact hebben op de totale CO₂-emissies van de as Exploitatie van de lijn, ten dele als gevolg van de post energie.
- Tussen 2030 en 2080 brengen de **totale emissies in verband met de volledige werking van de infrastructuur** (as Exploitatie van de lijn) van de metro in totaal ongeveer **267.121 teqCO₂** voort.
 - De emissies in verband met de dagelijkse exploitatie van de metrolijn, d.w.z. **het energieverbruik in de stations en de stelplaats, het energieverbruik van de tractie, de emissies in verband met het rollend materieel en de beheersactiviteiten**, genereren in totaal ongeveer **229.837 teqCO₂**, d.w.z. ongeveer **86%** van de totale emissies van de as Exploitatie van de lijn.

- De emissies in verband met **onderhoudswerkzaamheden, met inbegrip van de vernieuwing van de infrastructuur en voorzieningen** gedurende de periode van 50 jaar, worden geraamd op ongeveer **37.284 teqCO₂**, of **14%** van de totale emissies van de as Exploitatie van de lijn.

4.2. Analyse van alternatieven

4.2.1. Alternatief met twee buizen

4.2.1.1. Belangrijke verschillen met het basisproject met één buis en algemene hypothesen

De belangrijkste verschillen die van invloed zijn op de koolstofbalans worden in onderstaande tabel weergegeven, naargelang de analyse-assen en de posten.

Alleen de posten die in de koolstofbalans van het basisproject met één buis in aanmerking worden genomen, zijn hier opgenomen.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Vershil één buis-twee buizen	Analyse-as	Beïnvloede posten
Aanwezigheid van twee tunnels met kleinere diameter in plaats van één tunnel met grotere diameter	Bouw van de infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> Energie (Mobiële verbrandingsbronnen), Energie (Elektriciteitsverbruik) Productiemiddelen, Afschrijvingen, Afvalbeheer, Inkomend vrachtvervoer, Uitgaand vrachtvervoer
Wijzigingen in de geometrie van de stations, met name wat betreft de diepte van het perronniveau en de breedte ervan	Bouw van de infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> Energie (Mobiële verbrandingsbronnen), Energie (Elektriciteitsverbruik) Productiemiddelen, Afvalbeheer, Inkomend vrachtvervoer, Uitgaand vrachtvervoer, Verplaatsingen
	Exploitatie van de lijn	<ul style="list-style-type: none"> Energieverbruik van de stations
<p>Aanwezigheid van bouwwerken specifiek voor de oplossing met twee buizen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bouwwerken voor vertakkingen*, waardoor metrostellen van het ene spoor naar het andere kunnen gaan, Verbindingswerken tussen Liedts en het Station Brussel-Noord ("P5-verbinding"), Verbindingsstangen** waardoor voetgangers van de ene tunnel naar de andere kunnen gaan 	Bouw van de infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> Energie (Mobiële verbrandingsbronnen), Productiemiddelen, Afvalbeheer, Inkomend vrachtvervoer, Uitgaand vrachtvervoer, Verplaatsingen
Wijziging van de organisatie van de stations (centraal perron in plaats van zijperrons): wijziging van het aantal benodigde roltrappen en liften	Bouw van de infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> Productiemiddelen
	Exploitatie van de lijn	<ul style="list-style-type: none"> Energieverbruik van de stations

* Ook verbindingsstructuren genoemd

** Ook "cross-passages" genoemd

Tabel 79: Verschillen tussen oplossingen met één buis en twee buizen wat betreft de gevolgen voor de koolstofbalans (ARIES, 2020)

In het geval van het alternatief met twee buizen zijn de vereiste aanvullende bouwwerken opgenomen in een **nieuw deelproject**, hierna "**Bouwwerken voor twee buizen**" genoemd, naast de twee tunnels, de stations, de schacht P0 en de toegangshelling en de stelplaats. De afmetingen van de verschillende bouwwerken zijn weergegeven in onderstaande tabel.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Bouwwerk voor twee buizen	Eigenschappen
Bouwwerk voor vertakking Verboekhoven	Lengte: 125 m
Bouwwerk voor vertakking Linde	Lengte: 150 m
Bouwwerken voor vertakking Bordet (2 bouwwerken)	Totale lengte: 285 m
Verbindingsstructuur P5	Lengte: 185 m
Verbindingsstangen	Aantal: 6 Gemiddelde diameter: 3,94 m Lengte: 20 m

Tabel 80: Kenmerken van de specifieke bouwwerken voor het alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Deze bouwwerken worden gebouwd na de passage van de twee tunnelboormachines, die eerst de hele tunnels realiseren. De lengte van deze bouwwerken wordt dus niet afgeleid van de lengte van de tunnels, die gelijk blijft aan 3773 m zoals in het geval van het basisproject met één buis.

De emissies in verband met ondergrondse bouwwerken (exclusief stations) moeten echter worden gezien als de som van de emissies van de twee tunnels en de emissies van de bouwwerken voor de vertakking en de verbinding. In de onderstaande tabellen worden de waarden afzonderlijk weergegeven.

Bovendien wordt de stelplaats tussen het basisproject met één buis en het alternatief als identiek beschouwd. Hoewel de schacht P0 en de toegangshelling zijn gewijzigd, wordt er bij gebrek aan gegevens van uitgegaan dat ook deze ongewijzigd blijven.

Tenslotte blijven, tenzij anders vermeld, alle emissiefactoren dezelfde als die welke bij de vorige berekeningen zijn gebruikt. In de meeste gevallen zullen immers alleen de activiteitsgegevens door de bovengenoemde wijzigingen worden beïnvloed.

4.2.1.2. Bouw van de infrastructuur

A. Energie (Mobiele verbrandingsbronnen)

A.1. Energieverbruik voor uitgravingen

De hierboven toegepaste methodologie en hypothesen worden ook toegepast in het geval van het alternatief met twee buizen. Alleen de hoeveelheden uitgegraven materiaal veranderen.

Zoals uiteengezet in het geval van het basisproject met één buis, hebben de emissies die worden veroorzaakt door de uitgravingen hier alleen betrekking op de **stations**, de schacht P0, de **toegangshelling**, de stelplaats en de **bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief met twee buizen**, deelprojecten waarvoor met brandstof aangedreven graafmachines worden gebruikt. Het verbruik in verband met het uitgraven van de tunnels wordt meegerekend bij de indirecte emissies als gevolg van het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine (zie de post *Energie (Elektriciteitsverbruik)*).

De activiteitsgegevens komen overeen met het noodzakelijke brandstofverbruik en zijn gebaseerd op het volume uitgegraven grond en een specifiek verbruik van $1 \text{ l}_{\text{brandstof}}/\text{m}^3$.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de afgegraven volumes en het overeenkomstige brandstofverbruik.

Deelproject	Volume vulmateriaal [m ³]		Verbruik [lbrandstof]	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Stations	757.690	816.541	757.590	816.541
P0-schacht en toegangshelling	65.330	65.330	65.330	65.330
Stelplaats	317.180	317.180	317.180	317.180
Bouwwerken twee buizen	0	76.296	0	76.296
Totaal	1.140.200	1.275.347	1.140.200	1.275.347

Tabel 81: Volume uitgegraven materiaal en energieverbruik voor de uitgraving ervan – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Ter herinnering, de gebruikte emissiefactor is vastgesteld op 3,17 kg eqCO₂/l (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies door graafwerken. De emissies zijn evenredig met de volumes van de uitgravingen.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Stations	2.402	2.589	+8%
P0-schacht en toegangshelling	207	207	0%
Stelplaats	1.005	1.005	0%
Bouwwerken twee buizen	0	242	-
Totaal	3.614	4.043	+12%

Tabel 82: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Energie (Mobiele verbrandingsbronnen) – Uitgravingen – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Aangezien de hoeveelheid afgegraven materiaal groter is in het geval van het alternatief met twee buizen als gevolg van de grotere uitgravingen voor de stations en tunnels, en de uitgravingen die vereist zijn voor de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief, zijn de daarmee verband houdende broeikasgasemissies ook groter.

A.2. Verbruik van bouwmachines voor de toepassing van materialen

De hierboven toegepaste methodologie en hypothesen worden ook toegepast in het geval van het alternatief met twee buizen. Alleen de hoeveelheden uitgegraven materiaal veranderen.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

De activiteitsgegevens, die overeenkomen met het energieverbruik van de tunnelboormachines, zijn berekend op basis van de gebruikte hoeveelheden beton en staal en het specifieke verbruik: 70 kWh/m³ en 80 kWh/m³ voor respectievelijk beton en staal.

De emissies ten gevolge van uitgravingen blijven beperkt tot de stations, de schacht P0, de toegangshelling en de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief met twee buizen. Aangezien de tunnelboormachine wordt aangedreven door elektriciteit, is het verbruik ervan opgenomen onder de post Energie (Elektriciteitsverbruik) (zie de desbetreffende post).

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de overeenkomstige volumes en het overeenkomstige verbruik van de machines.

Deelproject	Materiaal	Volume [m ³]		Verbruik bouwmachines [kWh]	
		Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Stations	Beton	293.192	309.504	20.523.437	21.665.295
	Staal	4.772	4.772	381.744	381.744
P0-schacht en toegangshelling	Beton	24.214	24.214	1.694.974	1.694.974
	Staal	360	360	28.830	28.830
Stelplaats	Beton	30.275	30.275	2.119.250	2.119.250
	Staal	632	632	50.563	50.563
Bouwwerken twee buizen	Beton	0	51.091	0	3.576.367
	Staal	0	753	0	60.221

Tabel 83: Energieverbruik van bouwmachines – Stations, P0-schacht en toegangshelling, stelplaats en bouwwerken voor twee buizen (ARIES, 2020)

Ter herinnering, de gebruikte emissiefactor is vastgesteld op 0,323 kg eqCO₂/kWh PCI (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het energieverbruik van de bouwmachines.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Stations	6.752	7.121	+5%
P0-schacht en toegangshelling	557	557	0%
Stelplaats	701	701	0%
Bouwwerken twee buizen	0	1.175	-
Totaal	8.010	9.553	+19%

Tabel 84: Emissies – As Bouw van de infrastructuren – Post Energie (Mobiele verbrandingsbronnen) – Energieverbruik van de bouwmachines – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Aangezien de hoeveelheden te gebruiken materialen groter zijn in het geval van het alternatief met twee buizen voor de stations en de tunnels, alsook als gevolg van de aanleg van de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief, zijn de broeikasgasemissies in verband met dit alternatief ook groter.

A.3. *Energieverbruik in verband met de bevroering*

Onderstaande tabel bevat de invoergegevens voor het elektriciteitsverbruik in verband met de bevroering, die overeenkomen met de activiteitsgegevens.

De te bevroeren bodemvolumes komen overeen met de 4 stations waarvoor de techniek van grondbevroering wordt gebruikt. De berekeningen worden verklaard met betrekking tot het basisproject met één buis (zie punt 4.1.1.2.A.3.4). Als hypothese zijn de duur en het eenheidsverbruik van elektriciteit van de twee fasen identiek aan die van het basisproject en zijn overgenomen uit de voorlopige evaluatienota van BMN van 2017.

Station	Volume te bevroeren grond [m ³]	Bevroeringsfase			Fase van instandhouding van de bevroering			Totaal [kWh]
		Duur [maanden]	Eenheidsverbruik [kWh/m ³]	Verbruik Totaal [kWh]	Duur [maanden]	Eenheidsverbruik [kWh/m ³]	Verbruik Totaal [kWh]	
Liedts	10.684	3	110	1.175.240	17	44	2.663.877	3.839.117
Colignon	12.250	3	110	1.347.500	13	44	2.335.667	3.683.167
Verboekhoven	12.116	3	110	1.332.760	16	44	2.843.221	4.175.981
Vrede	15.259	3	110	1.678.490	16	44	3.580.779	5.259.269
Totaal	50.309							16.957.534

Tabel 85: Elektriciteitsverbruik in verband met de bevroering – Stations – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2021, naar BMN)

Deze techniek is ook gebruikt voor de aanleg van de bouwwerken voor twee buizen (de 4 bouwwerken voor de vertakkingen en de verbindingsstructuur), waarvan de totale gegevens in de volgende tabel zijn weergegeven.

Totaal volume van de te bevroeren bodem [m ³]	Bevroeringsfase			Fase van instandhouding van de bevroering			Totaal [kWh]
	Duur [maanden]	Eenheidsverbruik [kWh/m ³]	Verbruik Totaal [kWh]	Duur [maanden]	Eenheidsverbruik [kWh/m ³]	Verbruik Totaal [kWh]	
31.359	3	110	3.449.490	16	44	7.358.912	10.808.402

Tabel 86: Elektriciteitsverbruik in verband met de bevroering – Station (ARIES, 2021, op basis van BMN)

Ter herinnering, de gebruikte emissiefactor is vastgesteld op 890 g CO eqCO₂/kWh.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het elektriciteitsverbruik in verband met de bevrizing.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Stations	9.956	15.092	+52%
Bouwwerken twee buizen	-	9.619	-
Totaal	9.956	24.712	+148%

Tabel 87: Emissies – As Bouw van infrastructuur – Post Energie (Elektriciteitsverbruik) – Bevrizing – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De grote toename van de emissies voor het alternatief met twee buizen houdt verband met de grotere hoeveelheden grond die moeten worden bevroren voor de grotere stations en met de extra hoeveelheden grond die moeten worden bevroren in verband met de aanleg van de bouwwerken voor de vertakkingen.

B. Energie (Elektriciteitsverbruik)

B.1. Energieverbruik van de tunnelboormachine

De hierboven toegepaste methodologie en hypothesen worden ook toegepast in het geval van het alternatief met twee buizen. Alleen de hoeveelheden uitgegraven materiaal veranderen.

Het activiteitsgegeven, dat overeenkomst met het energieverbruik van de tunnelboormachines, is berekend op basis van het volume uitgegraven grond en een specifiek verbruik van 20 kWh/m³.

Aangezien het totaal volume uitgegraven materiaal van de twee tunnels 307.245 m³ bedraagt, komt het verbruik uit op 6.144.893 kWh.

Ter herinnering, de gebruikte emissiefactor is vastgesteld op 230 g CO eqCO₂/kWh.

De overeenkomstige emissies worden geraamd op **1.413 teqCO₂**, vergeleken met 1.363 teqCO₂ in het geval van het basisproject met één buis, d.w.z. een stijging met 4%. Dit verschil is eenvoudig te verklaren door de hoeveelheden uitgegraven materiaal (296.339 m³ in het geval van het basisproject).

B.2. Energieverbruik van de werfbarakken

De activiteitsgegevens komen overeen met het elektriciteitsverbruik en zijn berekend op basis van dezelfde hypothesen als voor het basisproject met één buis, met uitzondering van de planning, die is aangepast. De duur van de werken wordt met name verlengd door de aanleg van de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief met twee buizen, waarvoor de duur van de werken op ongeveer 26 maanden wordt geraamd.

In de onderstaande tabel staan de gegevens die voor elke werfbarak in aanmerking zijn genomen.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Werfbarak		Oppervlakte [m ²]	Duur van de werf [maanden]	Gebruiksfactor [-]	Aantal gebruiksuren [u]	Totaal elektriciteitsverbruik [kWh]
Site Haren	Doorlopende werking (uitgraven van de tunnels)	*700	31	0,86	19.397	387.500
	Niet-doorlopende werking (P0-schacht, toegangshelling en stelplaats)		***36	0,48	12.514	250.000
	Huisvesting	**1000	31	0,86	****12.843	366.520
Liedts		50	121	0,74	65.196	93.031
Colignon		50	110	0,74	59.269	84.573
Verboekhoven		50	116	0,74	62.502	89.187
Riga		50	101	0,74	54.420	77.654
Linde		50	96	0,74	51.726	73.810
Vrede		50	113	0,74	60.885	86.880
Bordet		50	109	0,74	58.730	83.805
Totaal		2050	-	-	-	1.592.958

* Waarvan 500 m² kantoren en 200 m² gereserveerd voor de vestiaire, de refter, ...

** Volgens studies van BMN

*** De totale duur van de werken op de site in Haren (tunnels, P0-schacht, toegangshelling en stelplaats) is geraamd op ongeveer 67 maanden, tijdens dewelke de werf voor de tunnels gedurende 28 doorlopend zal functioneren. De rest komt overeen met de andere werkzaamheden.

**** Bij wijze van hypothese wordt verondersteld dat de woningen tijdens de stookperiode 24 op 24 uur worden verwarmd, ervan uitgaande dat de graafwerken aan de tunnels doorlopend plaatsvinden. Het totale aantal uren (19.397) wordt gewogen met een factor 0,66 om rekening te houden met het stookseizoen (dat wordt geacht gelijk te zijn aan 5.800 uur per jaar).

Tabel 88: Energieverbruik in verband met het gebruik van werfbarakken (ARIES, 2020)

Ter herinnering, de gebruikte emissiefactor is vastgesteld op 230 g CO eqCO₂/kWh.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het elektriciteitsverbruik voor het gebruik van de werfbarakken.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Site in Haren	219	223	+2%
Stations	100	135	+35%
Totaal	318	358	+13%

Tabel 89: Emissies – As Bouw van infrastructuur – Post Energie (Elektriciteitsverbruik) – Werfbarakken – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de emissies is voornamelijk te wijten aan de langere duur van de werken voor het alternatief met twee buizen.

C. Vluchtige emissies

Evenals bij het basisproject met één buis, wordt met deze post geen rekening gehouden in het geval van het alternatief met twee buizen.

D. Productiemiddelen

D.1. Materialen

D.1.1. Beton

Wat de activiteitsgegevens betreft, worden de geraamde hoeveelheden benodigd beton hieronder gedetailleerd weergegeven. Voor de **twee tunnels** zijn in de volgende tabel de belangrijkste geometrische gegevens opgenomen.

Grootte	Eenheid	Eén buis	Twee buizen
Lengte (stations niet meegerekend)	m	3.773	3.773
Lengte (inclusief stations en bouwwerken voor twee buizen)	m	4.544	4.544
Binnendiameter van de tunnel(s)	m	8,9	6,2
Buitendiameter van de ringen van gewelfstenen	m	9,7	6,9
Totale buitendiameter (met laag stopmortel)	m	10	7,2

Tabel 90: Geometrische gegevens van de tunnel(s) - Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020, naar BMN, 2018-2020)

Deze afmetingen gaan dus uit van een dikte van de gewelfstenen van 35 cm en een gemiddelde dikte van de stopmortellaag van 15 cm.

Zie Boek II Tunnel, deel 2, punt 2.2.2. Modeldoorsnede tunnel

De andere belangrijkste gegevens en hypothesen voor de tunnels, en de daarvan afgeleide hoeveelheden beton, worden hieronder vermeld.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Component	Grootte	Eenheid	Hoeveelheid	
			Eén buis	Twee buizen
Gewelfstenen	Betonvolume	m ³	44.095	54.349
Funderingsplaat	Betonvolume**,**	m ³	35.000	33.970
Dwarsliggers	Tussenafstand**	m	0,6	0,6
	Massa beton per dwarsligger**	kg	245	245
	Totaal aantal dwarsliggers (2 sporen)	st.	15.147	15.147
	Betonvolume	m ³	1.613	1.613
Beddingslaag	Lineair volume (voor één tunnel)**,**	m ³ /m	1,5	0,73
	Betonvolume	m ³	6.816	6.616
Bodem van de tunnels	Betonvolume**,**	m ³	3.600	3.494
Totaal	Totaal betonvolume	m ³	91.125	100.042

* Volgens studies van BMN

** Volgens informatie verkregen van BMN

*** Bij wijze van hypothese, en in de veronderstelling van één tunnel bij de oplossing met twee buizen, wordt de hoeveelheid beton voor de oplossing met twee buizen aangepast aan het kwadraat van de verhouding tussen de binnendiameter van de gewelfstenen in de oplossing met twee buizen en de binnendiameter van de gewelfstenen in de oplossing met één buis. Deze verhouding is 0,485 (= (6,2/8,9)²). De totale hoeveelheden beton die hiermee gemeoid zijn, worden daarom met 0,97 vermenigvuldigd voor de twee tunnels van het alternatief.

Tabel 91: Belangrijkste gegevens en hypothesen met betrekking tot de tunnel(s) – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020, naar BMN, 2018-2020)

Als hypothese worden de nodige wissels niet worden meegerekend: de hoeveelheden beton die voor de dwarsliggers in aanmerking worden genomen, zijn dus identiek voor het project en het alternatief.

Voor de **stations** is de mate van detail van het alternatief met twee buizen minder dan bij het project, zodat, als hypothese, hier slechts één "gemiddeld" betontype in aanmerking wordt genomen. Bovendien, wat betreft de geschatte hoeveelheden:

- De gegevens voor de stations Colignon, Verboekhoven en Riga zijn afkomstig van de opmeting voor twee buizen uitgevoerd door BMN;
- De gegevens voor de andere stations worden bepaald op basis van de totale hoeveelheden voor het basisproject met één buis, uitgaande van de volgende hypothesen:
 - Stations Liedts, Linde en Bordet: dezelfde hoeveelheden als in het basisproject, waarbij ervan wordt uitgegaan dat de winst als gevolg van de geringere diepte van deze stations in het geval van het alternatief met twee buizen wordt gecompenseerd door de grotere breedte van de perrons of de uitsteekende delen die nodig zijn voor de aanleg van de technische ruimten;

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

- Station Vrede: de geraamde hoeveelheid beton voor het basisproject wordt met 15% verhoogd, naar analogie van het station van Colignon, dat een soortgelijke ontwikkeling kent.

Ter herinnering, bij wijze van hypothese worden de stelplaats en de schacht P0 en de toegangshelling verondersteld identiek te zijn voor het basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen.

De hoeveelheden beton die in aanmerking zijn genomen voor de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief met twee buizen, zijn aangegeven in de onderstaande tabel. Met uitzondering van de 6 verbindingstangen, zijn de hoeveelheden geschat door BMN.

Bouwwerk voor twee buizen	Hoeveelheid [m ³]
Bouwwerk voor vertakking Verboekhoven	8.503
Bouwwerk voor vertakking Linde	10.985
Bouwwerken voor vertakking Bordet (2 bouwwerken)	18.221
Verbindingsstructuur P5	12.839
Verbindingsstangen	543
Totaal	51.091

Tabel 92: Hoeveelheden beton gebruikt in de bouwwerken voor twee buizen (ARIES, 2020, gebaseerd op BMN, 2018)

In de onderstaande tabel staan de belangrijkste hoeveelheden beton die voor het basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen zijn geëvalueerd. De totale waarde is slechts indicatief, aangezien de emissiefactoren voor de verschillende in aanmerking genomen betonsoorten per deelproject verschillen, en dus ook de bijbehorende emissies.

Deelproject		Hoeveelheid [m ³]	
		Eén buis	Twee buizen
Tunnels	Beton	91.125	100.042
	Stopmortel	17.477	25.070
Stations		293.192	309.504
P0-schacht en toegangshelling		24.214	24.214
Stelplaats		30.275	30.275
Bouwwerken twee buizen		0	51.091
Totaal		456.283	540.196

Tabel 93: Algemeen overzicht van de hoeveelheden beton gebruikt voor het Metro Noord-project – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Zoals hierboven vermeld, was de mate van detail van het alternatief niet voldoende om de emissies in verband met de verschillende soorten beton te bepalen zoals voor het basisproject met één buis, zodat een gemiddelde emissiefactor in aanmerking werd genomen voor de berekening van de emissies in verband met de stations. Deze gemiddelde emissiefactor wordt, bij wijze van hypothese, gelijk gesteld aan het gemiddelde van de emissiefactoren van de verschillende soorten beton die in het basisproject in aanmerking zijn genomen, gewogen naar de respectieve hoeveelheden van deze verschillende soorten beton die voor alle 7 stations zijn gebruikt. De in aanmerking genomen waarde is derhalve 245 kg eqCO₂/m³. De emissiefactoren voor de andere elementen en deelprojecten blijven dezelfde als voor het basisproject met één buis.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies bij de productie van het nodige beton voor het project.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Tunnels	24.248	27.108	+12%
Tunnels (stopmortel)	6.554	9.401	+43%
Stations	72.044	77.067	+7%
P0-schacht en toegangshelling	6.012	6.012	0%
Stelplaats	7.338	7.338	0%
Bouwwerken twee buizen	-	15.736	-
Totaal	117.221	142.662	+22%

Tabel 94: Emissies – As Bouw van infrastructuur – Post Productiemiddelen – Beton – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de broeikasgasemissies in het geval van het alternatief met twee buizen wordt verklaard door de grotere hoeveelheden beton die nodig zijn voor de tunnels, de stations en de noodzaak van bijkomende specifieke bouwwerken (voornamelijk bouwwerken voor de aftakking).

D.1.2. Staal

Wat betreft de activiteitsgegevens, vermeldt de onderstaande tabel de belangrijkste hoeveelheden staal die voor het Metro Noord-project zijn geëvalueerd.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Hoeveelheid [t]	
	Eén buis	Twee buizen
Tunnels	5.461	6.435
Stations	37.220	37.220
P0-schacht en toegangshelling	2.811	2.811
Stelplaats	5.029	5.029
Bouwwerken twee buizen	-	5.872
Totaal	50.521	57.367

Tabel 95: Algemeen overzicht van de hoeveelheden staal gebruikt voor het Metro Noord-project – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Onderstaande tabel bevat de voornaamste in aanmerking genomen gegevens en hypothesen, alsook de hoeveelheden staal voor de **tunnels**. Ter herinnering, de lengte van de metrolijn bedraagt 4,544 km (dubbel spoor). De hoeveelheid staal voor de looprails en de 3e rail wordt identiek geacht in het alternatief met twee buizen en in het basisproject met één buis. Zoals eerder vermeld, worden voor de hypothese de sporen van de nodige wissels niet meegeteld. Alleen de hoeveelheid staal voor de gewelfstenen wordt gewijzigd. Voorts bedraagt totale lengte van de sporen van de stelplaats 7,3 km (enkele sporen), terwijl de lengte van de sporen van de toegangshelling 0,34 km bedraagt (enkel spoor).

Component	Lineaire massa [kg/m]	Hoeveelheid staal [t]			
		Tunnel(s)		Toegangshelling	Stelplaats
		Eén buis	Twee buizen	Eén buis/twee buizen	Eén buis/twee buizen
Looprails	*49,97	908	908	68	730
3 ^e rail	**40	364	364	27	292
Wapening gewelfstenen	*95	4189	5.163	-	-

* Gebaseerd op informatie verkregen van BMN

** Gebaseerd op informatie verkregen van de MIVB

Tabel 96: Belangrijkste gegevens en hypothesen met betrekking tot de tunnel(s) (ARIES, 2020, volgens BMN, 2018 tot 2020)

Wat de **stations** betreft, worden de hoeveelheden staal voor het basisproject met één buis en voor het alternatief als identiek beschouwd. De bij de opmeting door BMN berekende hoeveelheden voor de 3 stations Colignon, Verboekhoven en Riga vertoonden slechts geringe variaties wat betreft dit materiaal.

De hoeveelheden staal worden ook als ongewijzigd beschouwd voor het geheel van de schacht P0 **en de toegangshelling**, hetzelfde geldt voor de **stelplaats**.

Tenslotte zijn de hoeveelheden staal voor de **bouwwerken met twee buizen** ontleend aan de opmeting van BMN voor de vertakkingsbouwwerken en de verbindingsstructuur P5, terwijl de

hoeveelheden voor de wapening van de verbindingstaven zijn bepaald uitgaande, als hypothese, van een staal massa van 95 kg/m³ gebruikt beton.

Ter herinnering, de beschouwde emissiefactor is vastgesteld op 1.804 kg eqCO₂/t.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies bij de productie van het nodige beton voor het project.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Tunnel(s)	9.849	11.606	+18%
Stations	67.132	67.132	0%
P0-schacht en toegangshelling	5.241	5.241	0%
Stelplaats	10.912	10.912	0%
Bouwwerken twee buizen	-	10.590	-
Totaal	93.135	105.482	+13%

Tabel 97: Emissies – As Bouw van infrastructuren – Post Productiemiddelen – Staal – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de broeikasgasemissies in het geval van het alternatief met twee buizen wordt verklaard door de grotere hoeveelheden staal die nodig zijn voor de tunnels, de stations en de noodzaak van bijkomende specifieke bouwwerken.

D.1.3. Glas

In de veronderstelling dat de hoeveelheden glas voor het alternatief met twee buizen gelijk zijn aan die voor het basisproject met één buis. Aangezien wordt aangenomen dat de emissiefactor ongewijzigd blijft, blijven de emissies dat ook. Deze staan vermeld in onderstaande tabel.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]
Stations	852
Stelplaats	431
Totaal	1.283

Tabel 98: Emissies - As Bouw van de infrastructuren - Post Productiemiddelen - Glas (ARIES, 2020)

D.2. Voorzieningen

Veranderingen in de geometrie en de organisatie van de stations, met name de aanleg van een centraal perron in plaats van zijperrons, leiden tot een wijziging van het aantal **roltrappen** en **liften** in de stations, zoals blijkt uit de onderstaande tabel.

	Eén buis	Twee buizen
Liften	27	26
Roltrappen	92	76

Tabel 99: Aantal liften en roltrappen – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Bij gebrek aan gedetailleerde gegevens wordt ervan uitgegaan dat deze voorzieningen volledig van staal zijn gemaakt. De beschouwde emissiefactor is vastgesteld op 1.804 kg eqCO₂/t.

De emissies die zijn beoordeeld voor het gedeelte voorzieningen van de post Productiemiddelen zijn in de onderstaande tabel per deelproject en per voorziening aangegeven.

Deelproject	Voorzieningen	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
		Eén buis	Twee buizen	
Stations	Roltrappen	1.934	1.629	-16%
	Liften	49	47	-4%
Totaal		1.982	1.676	-15%

Tabel 100: Emissies – As Bouw van infrastructuur – Post Productiemiddelen – Voorzieningen – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De emissies zijn lager in geval van het alternatief omdat er minder voorzieningen nodig zijn als gevolg van de veranderingen in de organisatie van de stations.

E. Afschrijvingen

Voor de post Afschrijvingen worden alleen de **tunnelboormachines** in aanmerking genomen, om de hierboven vermelde redenen.

Het activiteitsgegeven komt overeen met hun totale massa. Bij wijze van hypothese, in het geval van tunnelboormachines type twee buizen, wordt de massa van de tunnelboormachine type één buis (1.500 ton) aangepast aan het kwadraat van de verhouding tussen de binnendiameter van de gewelfstenen in de oplossing met twee buizen en de binnendiameter van de gewelfstenen in de oplossing met één buis. Deze verhouding is 0,485 $(=(6,2/8,9)^2)$. De massa van een tunnelboormachine wordt daarom gelijk geacht aan 723. De twee tunnelboormachines hebben dus een totale massa van 1.456 ton.

Bij een gelijk blijvende gebruiksfactor worden de emissies in verband met de productie van de tunnelboormachine derhalve geraamd op **2.626 teqCO₂**, tegen 2.705 teqCO₂ in het geval van het basisproject met één buis, d.w.z. een vermindering met 3%.

F. Afvalbeheer

Zoals in het geval van het basisproject met één buis, wordt in het kader van deze koolstofbalans geen rekening gehouden met de emissies die verband houden met de verwerking van dit afval. De emissies in verband met afval hebben alleen betrekking op het vrachtvervoer dat nodig is om het te verwijderen.

In dit punt worden daarom alleen de soorten en hoeveelheden geproduceerd afval gepresenteerd. De gegevens worden vervolgens gebruikt voor de post Uitgaand vrachtovervoer.

F.1. Uitgravingen

De hierboven toegepaste methodologie en hypothesen worden ook toegepast in het geval van het alternatief met twee buizen. Alleen de hoeveelheden uitgegraven materiaal veranderen.

Voor de **stations** is de mate van detail van het alternatief met twee buizen minder dan bij het project, bij wijze van hypothese:

- De gegevens voor de stations Colignon, Verboekhoven en Riga zijn afkomstig van de opmeting voor twee buizen uitgevoerd door BMN;
- De gegevens voor de andere stations worden bepaald op basis van de totale hoeveelheden voor het basisproject met één buis, uitgaande van de volgende hypothesen:
 - Stations Liedts, Linde en Bordet: dezelfde hoeveelheden als in het basisproject, waarbij ervan wordt uitgegaan dat de winst als gevolg van de geringere diepte van deze stations in het geval van het alternatief met twee buizen wordt gecompenseerd door de grotere breedte van de perrons of de uitsteekende delen die nodig zijn voor de aanleg van de technische ruimten;
 - Station Vrede: de geraamde hoeveelheid uitgegraven materiaal voor het basisproject wordt met 25% verhoogd, zoals ook het geval is voor het station van Colignon, dat een soortgelijke ontwikkeling kent.

Ter herinnering, bij wijze van hypothese worden de stelplaats en de schacht P0 en de **toegangshelling** verondersteld identiek te zijn voor het basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen.

Als hypothese ook is de verdeling van het uitgegraven materiaal naar gelang van de aard van de **bouwwerken voor twee buizen** identiek aan die van het uitgegraven materiaal van de tunnels, aangezien de werkzaamheden in beide gevallen op vergelijkbare diepte plaatsvonden.

In de onderstaande tabel staan de belangrijkste hoeveelheden uitgegraven materiaal voor het basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen.

Deelproject	Valoriseerbaar				Niet valoriseerbaar				Totaal [m ³]	
	Eén buis		Twee buizen		Eén buis		Twee buizen		Eén buis	Twee buizen
	Brusselse aarde	Valoriseerbaar uitgegraven materiaal, met uitzondering van Brusselse aarde	Brusselse aarde	Valoriseerbaar uitgegraven materiaal, met uitzondering van Brusselse aarde	Inert	Te behandelen	Inert	Te behandelen		
Tunnel(s)	228.181		236.578		68.158		70.666		296.339	307.245
Stations	155.320	259.119	167.391	279.257	143.955	199.264	155.143	214.750	757.657	816.541
P0-schacht en toegangshelling	0		0		65.321		65.321		65.321	65.321
Stelplaats	0		0		317.180		317.180		317.180	317.180
Bouwwerken twee buizen	0		58.748		0		17.548		0	76.296
Totaal	642.620		741.974		793.878		840.608		1.436.497	1.582.583

Tabel 101: Volume en aard van het uitgegraven materiaal bij het Metro Noord-project – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

F.2. Civieltechnisch afval

Het civieltechnisch afval zal ontstaan bij de bouwwerken van de stations, de schacht P0 en de toegangshelling.

Voor de **stations** is de mate van detail van het alternatief met twee buizen minder dan bij het project, bij wijze van hypothese:

- De gegevens voor de stations Colignon, Verboekhoven en Riga zijn afkomstig van de opmeting voor twee buizen uitgevoerd door BMN;
- De gegevens voor de andere stations worden bepaald op basis van de totale hoeveelheden voor het basisproject met één buis, uitgaande van de volgende hypothesen:
 - Stations Liedts, Linde en Bordet: dezelfde hoeveelheden als in het basisproject, waarbij ervan wordt uitgegaan dat de winst als gevolg van de geringere diepte van deze stations in het geval van het alternatief met twee buizen wordt gecompenseerd door de grotere breedte van de perrons of de uitsteekende delen die nodig zijn voor de aanleg van de technische ruimten;
 - Station Vrede: de geraamde hoeveelheid civieltechnisch afval voor het basisproject wordt met 80% verhoogd, naar analogie van het station Colignon, dat een soortgelijke ontwikkeling doormaakt.

Ter herinnering, bij wijze van hypothese worden de stelplaats en de schacht P0 en de **toegangshelling** verondersteld identiek te zijn voor het basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen.

Het civieltechnisch afval zal ontstaan bij de bouwwerken van de stations, de schacht P0 en de toegangshelling.

Deelproject	Hoeveelheid [m ³]	
	Eén buis	Twee buizen
Stations	31.876	42.671
P0-schacht en toegangshelling	1.893	1.893
Stelplaats	1.200	1.200
Bouwwerken twee buizen	0	10.138
Totaal	34.969	55.902

Tabel 102: Volume van civieltechnisch afval geproduceerd bij de uitvoering van het Metro Noord-project – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

G. Inkomend vrachtvervoer

G.1. *Materialen*

G.1.1. *Beton*

Voor de subprojecten Tunnels, Stations, P0-schacht en toegangshelling en de Stelplaats blijven de methodologie en de hypothesen dezelfde bij het alternatief met twee buizen, alleen de hoeveelheden veranderen. Voor de bouwwerken voor twee buizen bestaan de vereenvoudigde hypothesen erin een afstand aan te nemen die gelijk is aan de gemiddelde afstand tussen de 4 betoncentrales en de verschillende betrokken werven (Liedts, Verboekhoven, Linde en Bordet), d.w.z. 3,6 km.

In de onderstaande tabel is het aantal tonkilometers voor de verschillende deelprojecten aangegeven.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

		Totaal ton-km [t.km]			
		Weg		Binnenvaart	
		Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Tunnels	Ter plaatse gestort beton (funderingsplaat, beddingslaag en tunnelbodem)	504.005	489.178	0	0
	Gewelfstenen	314.399	387.506	40.567.674	50.000.749
	Dwarsliggers	222.656	222.656	0	0
	Stopmortel	168.652	194.158	0	0
Stations		2.339.452	2.465.850	0	0
P0-schacht en toegangshelling		268.714	268.714	0	0
Stelplaats		335.979	335.979	0	0
Bouwwerken twee buizen		0	423.033	0	0

Tabel 103: Tonkilometers tussen de verschillende betoncentrales en de werven van de tunnels, de schacht P0 en de toegangshelling – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De daling van het aantal tonkilometer bij het alternatief met twee buizen voor stortbeton ter plaatse (funderingsplaat, beddingslaag en tunnelbodem) houdt verband met de geringere hoeveelheden beton die nodig zijn, ondanks het feit dat er twee tunnels zijn (zie de hypothesen gesteld voor *Productiemiddelen beton*).

De in aanmerking genomen emissiefactoren zijn, ter herinnering, 0,124 kg eqCO₂/t.km voor het vervoer van stortbeton door cementtrucks, 0,0919 kg eqCO₂/t.km voor het transport door opleggers van 20 ton en 0,0298 kg eqCO₂/t.km voor het transport per binnenschip.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de emissies die overeenkomen met het vrachtvervoer dat nodig is voor de aanvoer van beton, zowel ter plaatse gestort als gebruikt in de vorm van gewelfstenen en dwarsliggers.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]					
	Weg		Binnenvaart		Totaal	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Tunnel(s)	127	135	1.209	1.490	1.336	1.625
Stations	290	306	0	0	290	306
P0-schacht en toegangshelling	33	33	0	0	33	33
Stelplaats	42	42	0	0	42	42
Bouwwerken twee buizen	0	52	0	0	0	52
Totaal	492	568	1.209	1.490	1.701	2.058

* Met inbegrip van stopmortel (18 teqCO₂)

Tabel 104: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Inkomend vrachtvervoer – Beton – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de broeikasgasemissies in het geval van het alternatief met twee buizen wordt verklaard door de grotere hoeveelheden te vervoeren beton voor de tunnels, de stations en de bijkomende specifieke bouwwerken.

G.1.2. Staal

Voor de subprojecten Tunnels, Stations, P0-schacht en toegangshelling en de Stelplaats blijven de methodologie en de hypothesen dezelfde bij het alternatief met twee buizen, alleen de hoeveelheden veranderen. Voor de bouwwerken twee buizen is een vereenvoudigende hypothese gesteld dat de gemiddelde afstand tussen de haven van Brussel en de betrokken werven 6,6 km bedraagt.

Door extrapolatie van de hoeveelheden die gegeven worden in de opmeting van BMN voor de stations Colignon, Verboekhoven en Riga, worden de hoeveelheden staal voor alle stations geacht identiek te zijn ten opzichte van het basisproject met één buis.

De activiteitsgegevens, alsmede de tonkilometers, staan in onderstaande tabel.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Totaal ton-km [t.km]			
	Weg		Binnenvaart	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Tunnel(s)	1.348.350	1.351.369	1.675.621	2.065.248
Stations	89.441	89.441	1.116.601	1.116.601
P0-schacht en toegangshelling	108.631	108.631	84.326	84.326
Stelplaats	1.088.229	1.088.229	150.859	150.859
Bouwwerken twee buizen	0	38.752	0	176.147
Totaal	2.634.651	2.676.422	3.027.407	3.593.181

Tabel 105: Tonkilometers voor de verschillende deelprojecten – Staal – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De in aanmerking genomen emissiefactoren zijn, ter herinnering, 0,919 kg eqCO₂/t.km voor het transport door opleggers van 20 ton en 0,0298 kg eqCO₂/t.km voor het transport per binnenschip.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het vrachtvervoer dat nodig is voor de aanvoer van staal.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]					
	Weg		Binnenvaart		Totaal	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Tunnel(s)	124	124	49	62	173	186
Stations	8	8	33	33	41	41
P0-schacht en toegangshelling	10	10	3	3	12	12
Stelplaats	100	100	5	5	105	105
Bouwwerken twee buizen		4		5	0	9
Totaal	242	246	90	95	332	353

Tabel 106: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Inkomend vrachtvervoer – Staal – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de broeikasgasemissies in het geval van het alternatief met twee buizen wordt verklaard door de grotere hoeveelheden te vervoeren staal voor de tunnels en de bijkomende specifieke bouwwerken.

G.1.3. Vulmateriaal

De activiteitsgegevens, die overeenkomen met de verkregen tonkilometers, zijn in de onderstaande tabel opgenomen.

Deelproject	Volume vulmateriaal [m ³]		Tonkilometer [t.km]	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Stations	32.030	32.127	3.203.010	3.212.700
Stelplaats	7.680	7.680	768.000	768.000
Totaal	39.710	39.807	3.971.010	3.980.700

Tabel 107: Volumes en tonkilometers – As Bouw van de infrastructuren – Post Inkomend vrachtvervoer – Vulmateriaal – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De in aanmerking genomen emissiefactor is, ter herinnering, 0,0919 kg eqCO₂/t.km voor het vervoer door opleggers van 20 ton.

De emissies die overeenkomen met het nodige vrachtvervoer voor de aanvoer van het vulmateriaal zijn in de onderstaande tabel aangegeven.

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Stations	294	295	0%
Stelplaats	71	71	0%
Totaal	365	366	0%

Tabel 108: Emissies – As Bouw van de infrastructuren – Post Inkomend vrachtvervoer – Vulmateriaal – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De verschillen tussen het alternatief en het basisproject met één buis zijn praktisch onbestaande.

G.2. Bouwmachines

Evenals in het geval van het basisproject met één buis, wordt om de hierboven uiteengezette redenen geen rekening gehouden met het vrachtvervoer voor de bouwmachines.

H. Uitgaand vrachtvervoer

H.1. Werfafval

De hypothesen die voor het basisproject met één buis in aanmerking zijn genomen, worden ook in aanmerking genomen voor het alternatief met twee buizen. Alleen de hoeveelheden veranderen, behalve voor civieltechnisch afval waarvoor een verwijderingsafstand gelijk aan de

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

gemiddelde afstand tussen de haven van Brussel en de desbetreffende werven in aanmerking wordt genomen, namelijk 6,6 km.

De activiteitsgegevens, die overeenkomen met de verkregen tonkilometers, zijn in de onderstaande tabellen opgenomen, en komen respectievelijk overeen met het vrachtvervoer over de weg en het vrachtvervoer over de binnenwateren.

Deelproject	Valoriseerbaar		Niet valoriseerbaar verontreinigd		Niet valoriseerbaar inert		Civieltechnisch afval	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Tunnel(s)	1.414.724	1.466.786	0	0	422.580	438.131	0	0
Stations	1.952.242	2.096.930	938.646	1.008.213	678.110	728.367	197.547	258.101
P0-schacht en toegangshelling	0	0	0	0	404.990	404.990	14.671	14.671
Stelplaats	0	0	0	0	1.966.516	1.966.516	0	0
Bouwwerken twee buizen	0	775.473	0	0	0	340.433	0	245.847

Tabel 109: Tonkilometers voor de verschillende soorten afval van het Metro Noord-project – Vrachtvervoer over de weg – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Deelproject	Valoriseerbaar		Niet valoriseerbaar verontreinigd		Niet valoriseerbaar inert		Civieltechnisch afval	
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen
Tunnel(s)	0	0	0	0	9.542.128	9.893.278	0	0
Stations	0	0	27.896.930	30.065.054	20.153.675	21.720.001	0	0
P0-schacht en toegangshelling	0	0	0	0	9.144.940	9.144.940	0	0
Stelplaats	0	0	0	0	44.405.200	44.405.200	0	0
Bouwwerken twee buizen	0	0	0	0	0	2.456.731	0	0

Tabel 110: Tonkilometers voor verschillende soorten afval van het Metro Noord-project – Vrachtvervoer over de binnenwateren – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De in aanmerking genomen emissiefactoren zijn, ter herinnering, 0,919 kg eqCO₂/t.km voor het transport door opleggers van 20 ton en 0,0139 kg eqCO₂/t.km voor het transport per binnenschip.

Onderstaande tabel geeft de emissies weer die overeenkomen met het vrachtvervoer dat nodig is voor het verwijderen van werfafval.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Deelproject	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Tunnel(s)	301	313	+4%
Stations	1.014	1.096	+8%
P0-schacht en toegangshelling	166	166	0%
Stelplaats	799	799	0%
Bouwwerken twee buizen	0	159	-
Totaal	2.280	2.532	+11%

Tabel 111: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Uitgaand vrachtvervoer – Werfafval – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de broeikasgasemissies in het geval van het alternatief met twee buizen wordt verklaard door de grotere hoeveelheden te verwijderen werfafval voor de tunnels, de stations en de bijkomende specifieke bouwwerken.

H.2. *Bouwmachines*

Evenals in het geval van het basisproject met één buis, wordt om de hierboven uiteengezette redenen geen rekening gehouden met het vrachtvervoer voor de bouwmachines.

I. Verplaatsingen

Zoals in het geval van het basisproject met één buis, komen de in aanmerking genomen verplaatsingen overeen met de **trajecten tussen de woonplaats en de verschillende werven** waar de werknemers deel van uitmaken.

Voorts worden alleen de verplaatsingen van werknemers die deel uitmaken van de **werven van de stations** in de berekening opgenomen. De verplaatsingen die overeenkomen met de constructie van de bouwwerken voor twee buizen zijn inbegrepen.

De hierboven toegepaste methodologie en hypothesen worden ook toegepast in het geval van het alternatief met twee buizen. Alleen de duurtijden van de werken verschillen.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Werk	Gemiddeld aantal werknemers per dag	Aantal verplaatsingen per week	Duur van de werk [maanden]	Aantal verplaatsingen per werknemer tijdens de duur van de werken [-]*
Liedts	40	10	121	5.244
Colignon	40	10	110	47.68
Verboekhoven	40	10	116	5.028
Riga	40	10	101	43.78
Linde	40	10	96	4.160
Vrede	40	10	113	4.898
Bordet	40	10	109	4.724

* Afgerond op het eerstvolgende hogere veelvoud van 2

Tabel 112: Algemene hypothesen over het woon-werkverkeer voor de werven van het Metro Noord-project – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Onderstaande tabel toont het aantal passagiers.km per vervoerswijze.

Werk	Aantal passagiers.kilometers	
	Bestelwagen	Metro, tram, bus
Liedts	2.884.200	52.440
Colignon	2.622.400	47.680
Verboekhoven	2.765.400	50.280
Riga	2.407.900	43.780
Linde	2.288.000	41.600
Vrede	2.693.900	48.980
Bordet	2.598.200	47.240
Totaal	18.260.000	332.000

Tabel 113: Totaal aantal passagiers-kilometers per werk – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

Ter herinnering, de in aanmerking genomen emissiefactoren zijn de volgende: 0,193 kg eqCO₂/km voor bestelwagens en 0,046 kg eqCO₂/passagier.km voor het stedelijk openbaar vervoer (metro, tram, bus). Bij gebrek aan gegevens wordt de emissiefactor voor bestelwagens hier hypothetisch gelijkgesteld aan die voor personenauto's.

Onderstaande tabel toont per vervoerswijze de emissies in verband met het woon-werkverkeer van de werknemers die betrokken zijn bij de bouw van de stations.

Vervoerswijze	Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	
Bestelwagen	2.599	3.535	+36%
Metro, tram, bus	11	15	+36%
Totaal	2.610	3.550	+36%

Tabel 114: Emissies – As Bouw van de infrastructuur – Post Verplaatsingen – Woonwerkverkeer van werknemers aangesteld op de werven van de stations – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename van de broeikasgasemissies in het geval van het alternatief met twee buizen wordt verklaard door de langere duur van de bouw van de stations en de langere duur van de bouwwerken die specifiek zijn voor het alternatief met twee buizen.

J. Samenvatting van de resultaten

J.1. *Basisscenario*

Net als bij het project met één buis, staan in de onderstaande tabel alle emissies die zijn berekend voor de verschillende posten van de as Bouw van de infrastructuur, onderverdeeld naar de verschillende deelprojecten. Ter herinnering, de posten Vluchtige emissies en Afvalbeheer, waarmee geen rekening wordt gehouden, zijn niet opgenomen.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Post	Bron	Deelproject					Totaal
		Tunnels	Stations	P0-schacht en toegangshelling	Stelplaats	Bouwwerk en twee buizen	
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)	Verbruik uitgravingen	-*	2.589	207	1.005	242	4.043
	Verbruik van bouwmachines voor de uitvoering van materialen	**	7.121	557	701	1.175	9.553
	Bevriezing	-	15.092	-	-	9.619	24.712
	Subtotaal	-	24.802	764	1.706	11.036	38.308
Energie (elektriciteitsverbruik)	Verbruik tunnelboormachine	1.413	0	0	0	0	1.413
	Verbruik werfbarakken	223	135	***	***	***	358
	Subtotaal	1.636	135	0	0	0	1.772
Productiemiddelen	Beton	36.510	77.067	6.012	6.012	15.736	142.662
	Staal	11.606	67.132	5.241	10.912	10.590	105.482
	Glas	0	852	0	431	0	1.283
	Voorzieningen	-	1.676	-	-	-	1.676
	Subtotaal	48.116	146.726	11.253	18.681	26.326	251.103
Afschrijvingen	Bouwmachines	2.626	NO	NO	NO	NO	2.626
	Subtotaal	2.626	0	0	0	0	2.626
Inkomend vrachtvervoer	Beton	1.625	306	33	42	52	2.058
	Staal	186	41	12	105	9	353
	Vulmateriaal	-	295	-	71	0	366
	Bouwmachines	NO	NO	NO	NO	NO	-
	Subtotaal	1.495	643	46	217	61	2.777
Uitgaand vrachtvervoer	Werfafval	313	1.096	166	799	159	2.532
	Bouwmachines	NO	NO	NO	NO	NO	-
	Subtotaal	313	1.096	166	799	159	2.532
Verplaatsingen	Woon-werk	NO	3.550	NO	NO	NO	3.550
	Subtotaal	0	3.550	0	0	0	3.550
Totaal		54.501	176.952	12.229	21.403	37.583	302.667

* Het verbruik in verband met het uitgraven van de tunnels wordt meegerekend in de emissies in verband met het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine.

** Het verbruik in verband met het delven van de tunnels wordt meegerekend in de emissies in verband met het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine.

*** Deze waarde komt overeen met de nodige werfbarakken voor alle werven op de site van de stelplaats in Haren, en de wooncontainers.

**** Inclusief stopmortel.

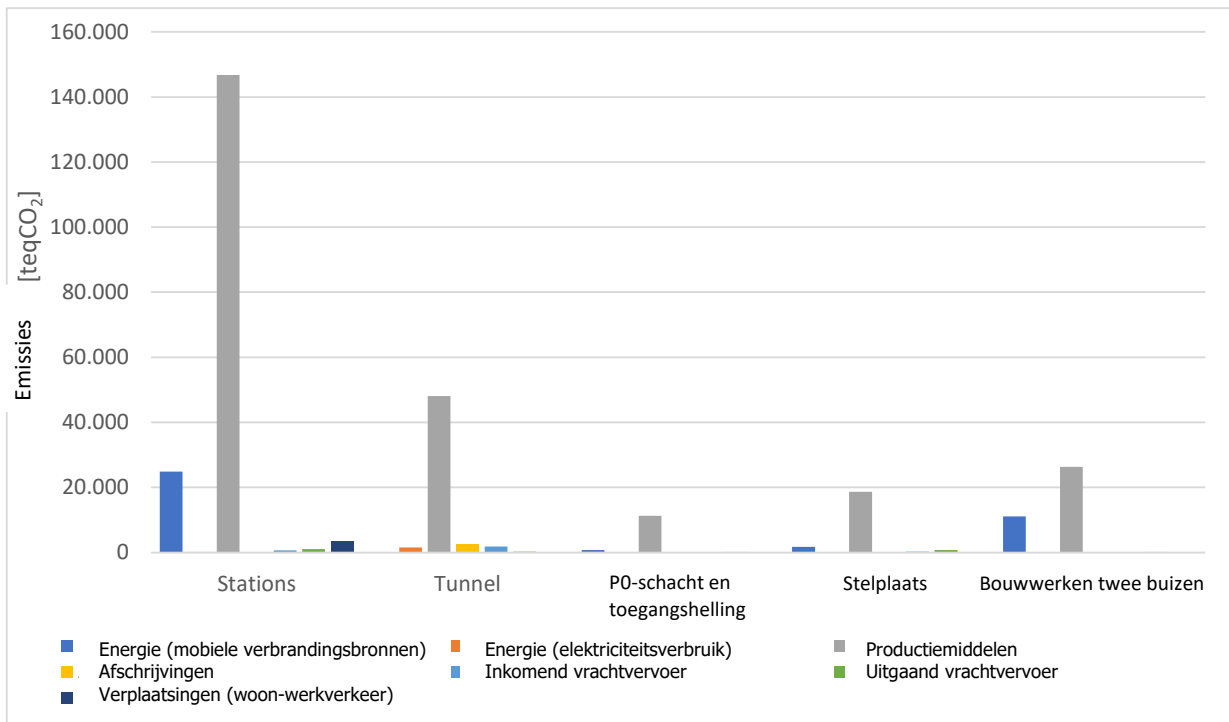
NO: Niet opgenomen in de koolstofbalans

Tabel 115: Samenvatting van de resultaten – As Bouw van de infrastructuur – Bouwwerkzaamheden – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

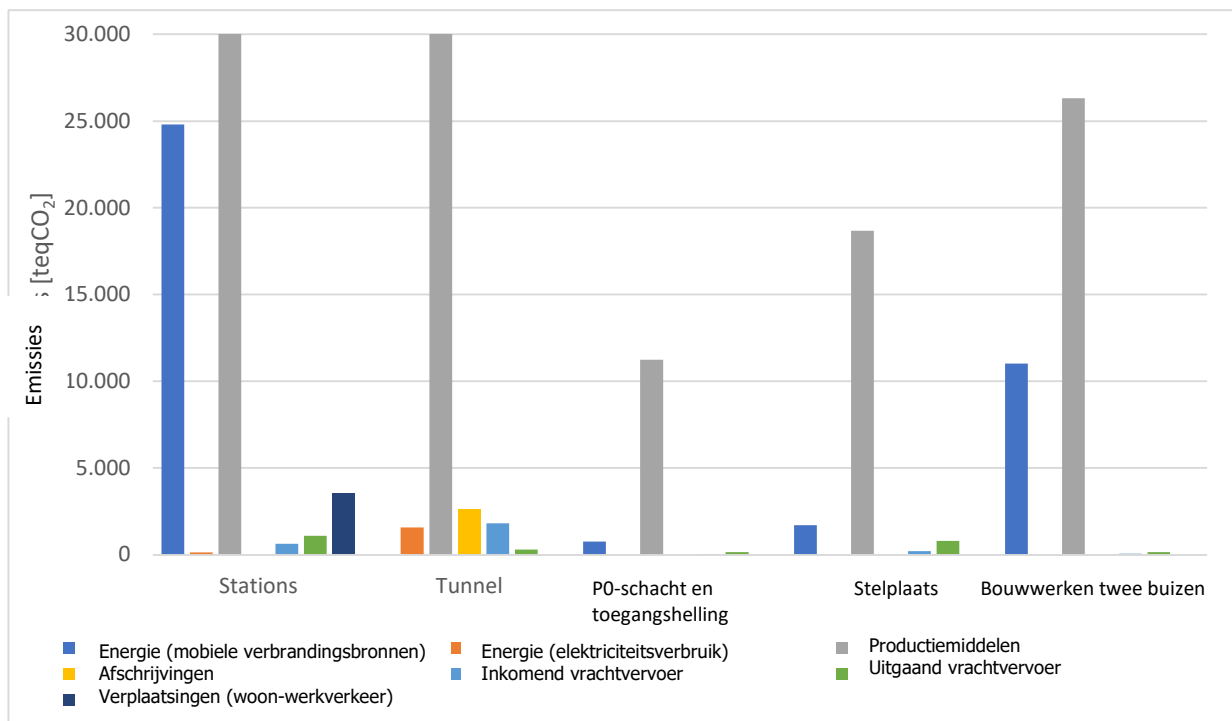
Uit deze tabel en de voorgaande punten kunnen verschillende lessen worden getrokken:

- De **totale geraamde emissies** voor de **as Bouw van de infrastructuren** liggen voor het alternatief met twee buizen in de orde van grootte van **305.000 teqCO₂**, voor alle in aanmerking genomen posten, d.w.z. ongeveer 60.000 teqCO₂ meer dan voor het basisproject met één buis. Dit komt overeen met een totale stijging van 23%.
- **Alle posten vertonen een toename van de emissies bij het alternatief**, met uitzondering van de voorzieningen (liften en roltrappen), waarvan het aantal afneemt, en de afschrijvingen in verband met het gebruik van de tunnelboormachine, gezien de gestelde hypothesen. Deze stijgingen zijn hoofdzakelijk toe te schrijven aan de grotere hoeveelheden materiaal die moeten worden gebruikt en vervoerd, en de grotere hoeveelheden uitgegraven materiaal die moeten worden verwijderd. Deze variaties leiden tot veranderingen in de meeste posten: energie, productiemiddelen, afschrijvingen, inkomend en uitgaand vrachtvervoer. De meest opvallende stijgingen betreffen de productiemiddelen (+18% over het algemeen en +22% voor beton) en het energieverbruik (mobiele verbrandingsbronnen) (+78% over het algemeen, voornamelijk als gevolg van de grote toename van de emissies in verband met de bevroering (+148%)). Dit laatste is te wijten aan de grotere bevroren volumes in de stations, maar ook aan de noodzaak om specifieke bouwwerken te realiseren voor het alternatief met twee buizen (bouwwerken voor vertakkingen en verbindingswerken) met deze techniek.
- **De volgorde van belangrijkheid van de posten blijft identiek aan die welke werd waargenomen voor het basisproject met één buis**: de productiemiddelen vertegenwoordigen ongeveer 85% van de emissies, gevolgd door het energieverbruik (mobiele verbrandingsbronnen) van de bouwmachines en de bevroering voor iets meer dan 10%. Het saldo wordt verdeeld over vrachtvervoer (inkomend en uitgaand samen), woon-werkverkeer, emissies in verband met de fabricage van de tunnelboormachine (afschrijvingen) en indirect energieverbruik (elektriciteit).

De onderstaande figuren illustreren de verdeling van de geraamde emissies volgens de verschillende deelprojecten en de verschillende in aanmerking genomen posten. Gezien het schaalverschil tussen de emissies in verband met de productiemiddelen en de andere posten, is de tweede figuur een uitvergroting van de eerste grafiek van de emissies onder 30.000 teqCO₂.

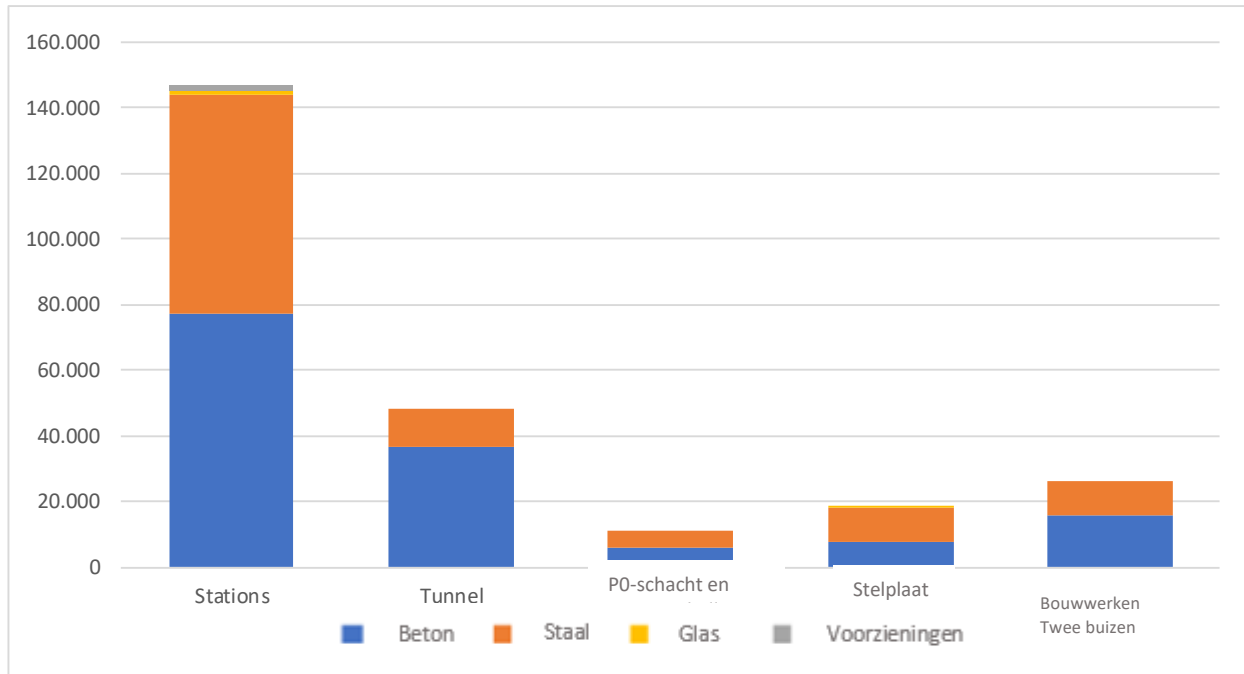


Figuur 16: Samenvatting van de resultaten – As Bouw van de infrastructuur – Bouwwerkzaamheden – Onderverdeling van de emissies naar deelprojecten en posten – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)



Figuur 17: Samenvatting van de resultaten – As Bouw van de infrastructuur – Bouwwerkzaamheden – Onderverdeling van de emissies naar deelprojecten en posten (uitvergroting) – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De volgende grafiek geeft de emissies van de post Productiemiddelen aan, tussen beton, staal, glas en voorzieningen.



Figuur 18: Samenvatting van de resultaten – As Bouw van de infrastructuur – Verdeling van de emissies van de post Productiemiddelen (ARIES, 2020)

De verdeling van de emissies is vergelijkbaar met die welke is waargenomen voor het basisproject met één buis: de emissies van beton zijn goed voor 57% van de emissies in verband met productiemiddelen, gevolgd door staal, 42%). De geraamde emissies voor het glas en de voorzieningen zijn marginaal.

De onderstaande tabel vat de verschillen samen tussen de emissies die voor het basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen zijn berekend.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

	Eén buis	Twee buizen	Variatie één buis/twee buizen
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)	21.581	38.308	+78%
Energie (Elektriciteitsverbruik)	1.682	1.772	+5%
Productiemiddelen	213.621	251.103	+18%
Afschrijvingen	2.705	2.626	-3%
Inkomend vrachtvervoer	2.399	2.777	+16%
Uitgaand vrachtvervoer	2.280	2.532	+11%
Verplaatsingen	2.610	3.550	+36%
Totaal	246.877	302.667	+23%

Tabel 116: Emissies per post – Basisproject met één buis en alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

J.2. Gevoeligheidsstudies

Aangezien de voorkeur wordt gegeven aan transport over de binnenwateren, wordt het effect van de het vervangen van deze vervoerswijze door transport per spoor of over de weg niet geanalyseerd voor het alternatief met twee buizen. Door de grotere volumes materiaal die bij dit alternatief moeten worden vervoerd, zullen de emissies in verband met vrachtvervoer hoger zijn. Zoals geanalyseerd voor het basisproject met één buis, zullen de gevolgen van de vervanging van vrachtvervoer over de binnenwateren door vrachtvervoer per spoor of over de weg echter relatief beperkt zijn (een toename van ongeveer 4,5% in het geval van vrachtvervoer over de weg, op de schaal van de totale balans van de as Bouw van de infrastructuur).

Daarom wordt alleen het effect van het soort cement uiteengezet. De onderstaande tabel geeft een overzicht van alle beschouwde posten, voor de 3 in aanmerking genomen scenario's: het basisscenario waarin de emissiefactoren van de betonsoorten worden bepaald door de weerstandsklasse (afkomstig van de Société du Grand Paris) en de scenario's cement CEM I en cement CEM III waarin de emissiefactoren van de betonsoorten werden herberekend door rekening te houden met de emissiefactoren die overeenstemmen met deze cementsoorten. Bij de resultaten voor cement CEM III is echter rekening gehouden met het feit dat voor de gewelfstenen verplicht cement CEM I gebruikt moet worden).

De andere posten worden ongewijzigd geacht.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Post	Bron	Emissies [teqCO ₂]		
		Basisscenario	Cement CEM I	Cement CEM III
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)		38.308	38.308	38.308
Energie (elektriciteitsverbruik)		1.772	1.772	1.772
Productiemiddelen	Beton	142.662	183.643	118.721
	Staal	105.482	105.482	105.482
	Glas	1.283	1.283	1.283
	Voorzieningen	1.676	1.676	1.676
Afschrijvingen		2.626	2.626	2.626
Inkomend vrachtvervoer		2.777	2.777	2.777
Uitgaand vrachtvervoer		2.532	2.532	2.532
Verplaatsingen		3.550	3.550	3.550
Totaal		302.667	343.648	278.726
Variatie ten opzichte van het basisscenario		-	+13,5%	-7,9%
Variatie scenario CEM III opzichte van scenario CEM I		-	-	-18,9%

Tabel 117: Effect van het type cement dat in het beton wordt gebruikt op de totale emissies – As Bouw van de infrastructuren – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2020)

De toename met bijna 65.000 teqCO₂ als gevolg van het gebruik van cement CEM I in plaats van cement CEM III resulteert in een toename van de emissies met 23% op de schaal van de totale balans van de as Bouw van de infrastructuren. Hieruit blijkt de grote rol die de keuze van het te gebruiken cement speelt.

Ter herinnering, het gebruik van cement CEM III wordt aanbevolen in de voorschriften van BMN (behalve voor de gewelfstenen), zodat de **totale broeikasgasemissies die het meest representatief zijn voor de as Bouw van de infrastructuren 278.726 teqCO₂ bedragen**. Deze emissies zijn 23% hoger dan de geraamde emissies voor de projectversie met één buis (227.012 teqCO₂).

J.3. Conclusies

Rekening houdend met alle resultaten en de gevoeligheidsstudies die in het kader van de as Bouw van de infrastructuren zijn uitgevoerd, **bedragen de meest representatieve totale broeikasgasemissies 278.726 teqCO₂**. Deze emissies komen namelijk overeen met het gebruik van het cement CEM III, dat in de voorschriften van BMN wordt aanbevolen voor de samenstelling van het beton, en met het vervoer over de binnenwateren, wat het vrachtvervoer betreft.

De vergelijking van de extreme gevallen, tussen het basisproject met één buis en met cement CEM III (227.012 teqCO₂) en het alternatief met twee buizen met cement CEM I (343.648 teqCO₂), geeft een toename met 51% te zien. Bovendien blijkt uit de vergelijking tussen het

basisproject met één buis en het alternatief met twee buizen, waarbij in beide gevallen cement CEM III wordt gebruikt, een toename met ongeveer 50.000 t_{eq}CO₂, of 23%.

De **productiemiddelen** vormen veruit de grootste post, gevolgd door **energieverbruik (mobiele verbrandingsbronnen)** en **vrachtvervoer** (inkomend en uitgaand vrachtvervoer samen).

Het over de weg vervoeren van het vrachtvervoer dat in het basisscenario over de binnenwateren gebeurt, leidt niet tot een aanzienlijke toename van de emissies.

4.2.1.3. Exploitatie van de lijn

De koolstofemissies in verband met de exploitatie van de lijn verschillen zeer weinig bij het alternatief met twee buizen, vergeleken met het basisproject met één buis. De **enige post die wijzigingen vertoont, is de post Indirecte energie voor het energieverbruik van stations.**

A. Energieverbruik van de stations

De geometrie van de stations, met name wat betreft de diepte en de breedte van de perrons, wordt beïnvloed door de configuratie van de tunnel bij twee buizen. Bovendien doet hun organisatie in een centraal perron het aantal nodige voorzieningen wijzigen (liften, roltrappen). Deze wijzigingen leiden dus tot een elektriciteitsverbruik dat soms afwijkt van dat van het basisproject (één buis).

Deze energieverbruiken zijn reeds berekend voor de stations en zijn hier derhalve direct opgenomen. De gedetailleerde berekeningen zijn te vinden in het hoofdstuk Energie van de boeken Stations: de informatie is verdeeld in het boek Algemeen stations en het boek voor elk station.

Zie Boek III Stations – Hoofdstuk 7. Energie, punt 7.6 Analyse van de effecten van de alternatieven en varianten in de referentiesituatie

De betreffende activiteitsgegevens komen dus overeen met het **verbruik** en het **specifieke verbruik** van de stations. Deze in kWh uitgedrukte verbruiken omvatten de verwarming, ventilatie, verlichting, voorzieningen en koeling van de verschillende lokalen en ruimten.

De corresponderende emissiefactor wordt daarom uitgedrukt als CO₂-emissies per verbruikt kWh. De in aanmerking genomen waarde is die welke de MIVB gebruikt om haar eigen koolstofbalansen op te stellen, namelijk 157 g eqCO₂/kWh. Deze emissiefactor is gebaseerd op de "energiemix" van de leverancier van de MIVB⁵⁸.

De jaarlijkse emissies die zijn geëvalueerd voor het energieverbruik van de stations bij de configuratie met twee buizen in de post Energie zijn in de onderstaande tabel per emissiebron vermeld.

⁵⁸ Ongewijzigd geacht gezien het ontbreken van een langetermijnvisie

Emissiebronnen	Verbruik [kWh]		Emissies [teqCO ₂]		Variatie één buis/twee buizen
	Eén buis	Twee buizen	Eén buis	Twee buizen	
Koeling	548.124	548.124	86	86	0%
Verwarming	28.224	28.224	4	4	0%
Verlichting	824.615	829.650	129	130	+0,6%
Ventilatie	412.304	412.304	65	65	0%
Voorzieningen	9.581.898	9.309.898	1.504	1.462	-2,8%
Totaal	11.395.165	11.128.199	1.788	1.747	-2,3%

Tabel 118: Emissies – As Exploitatie van de lijn – Post energie – Stations en stelplaats (ARIES, 2020)

B. Conclusie

De configuratie met twee buizen vermindert de koolstofemissies in verband met de exploitatie van de lijn met **41 teqCO₂ per jaar**, voornamelijk dankzij de winsten die met de configuratie met twee buizen worden gerealiseerd door een kleiner aantal liften en roltrappen, een kleinere verlichte oppervlakte (gemiddeld één verdieping minder) en de rationalisering van de ruimte dankzij een centraal perron.

Deze **vermindering kan als verwaarloosbaar worden beschouwd**, gezien de jaarlijkse impact van ongeveer 5.000 teqCO₂ voor de exploitatie van de lijn. De configuratie met twee buizen heeft derhalve geen positieve of negatieve gevolgen voor de koolstofemissies in verband met deze exploitatie, in vergelijking met de configuratie van het basisproject met één buis⁵⁹.

4.2.2. Alternatief Tram

4.2.2.1. Inleiding

Net als bij de effectenstudie van het alternatief Tram wordt bij de koolstofbalans voorgesteld om alternatieven voor het geïntroduceerde project (metro) te bestuderen en de koolstofemissies daarvan te evalueren. Twee alternatieven worden door het Begeleidingscomité weerhouden en bestudeerd in het boek Tram:

- Een **alternatief "nul"** van de niet-uitvoering van het metroproject, d.w.z. handhaving van de bestaande situatie (tramlijn 55), rekening houdend met de relevante ontwikkelingen in het studiegebied;
- Een **alternatief "nul +"** voor de niet-uitvoering van het metroproject, dat de optimalisering van de bestaande situatie van tram 55 omvat, door middel van technische ingrepen die het mogelijk maken de commerciële snelheid en frequentie te verbeteren.

De beschrijving van de bestaande tramlijn 55 in de bestaande situatie en de twee bestudeerde alternatieven is uitgewerkt in het boek Tram.

Zie Boek V Tram

⁵⁹ Details over de koolstofemissies ten gevolge van de exploitatie van de lijn van het basisproject: zie punt Partie 1 :4.1.2

Er zij aan herinnerd dat de studie van **alternatieven niet dezelfde mate van detail heeft als het geïntroduceerde project**, waaraan een volledig team verscheidene jaren heeft gewerkt. De ontwerpwerkzaamheden voor de alternatieven 0 en 0+ zijn uitgevoerd door de studieverantwoordelijke in samenwerking met de MIVB en BELIRIS. Nadere bijzonderheden over het niveau van definitie van de alternatieven zijn te vinden in het boek Tram.

De beoordeling van de koolstofbalans van de alternatieven wordt daarom **aangepast aan de ingewonnen informatie**, die soms wordt **geëxtrapoleerd en vereenvoudigd** om samenhangende resultaten en ordes van grootte te verkrijgen.

Op basis van de ingewonnen informatie is het niet mogelijk de CO₂-emissies in verband met de werking van tramlijn 55 nauwkeurig te bepalen. De MIVB beschikt namelijk niet over meetbare of bruikbare gegevens, noch voor de bestaande, noch voor de verwachte situaties van de alternatieven. De evaluatie van de koolstofemissies wordt daarom eenvoudigweg geanalyseerd aan de hand van een studie en kwalitatieve vergelijking van het rollend materieel en de verschillende kenmerken van de werking van de lijn. Er worden enkele theoretische cijfers beschreven, maar het is niet mogelijk het absolute energieverbruik in bestaande en verwachte situaties te beoordelen. Anderzijds worden de koolstofemissies van de renovatiewerken die nodig zijn om de lijn te optimaliseren, goed geëvalueerd maar zoveel mogelijk vereenvoudigd.

In het kader van de koolstofbalans worden drie scenario's bestudeerd:

1. **De bestaande situatie**, d.w.z. het huidige energieverbruik van lijn 55 met het gebruik van de **T3000 trams**, die in 2020 rijden op het huidige traject Liedts-Bordet;
2. **Het alternatief 0**, d.w.z. het energieverbruik van de lijn na de integratie van de T4000 en de technische ingrepen en operaties die nodig zijn voor de integratie van deze nieuwe trams (met name het **vervangen van versleten rails** op bepaalde trajecten en het verplaatsen van tramhaltes);
3. **Het alternatief 0+**, d.w.z. het energieverbruik van de lijn nadat voor het hele traject Liedts-Bordet een eigen bedding is aangelegd.

Wat het metroproject betreft, worden in eerste instantie volledigheidshalve alle emissiebronnen in aanmerking genomen. In tweede instantie worden sommige hiervan verwaarloosd, gezien hun belang ten opzichte van andere bronnen.

Het is belangrijk op te merken dat, net als bij de effectenstudie van het tramalternatief, bij de **koolstofbalans geen rekening is gehouden met de mogelijkheid om de stelplaats in Haren uit te breiden**, waar de T3000 trams die momenteel op lijn 55 rijden, worden opgeslagen.

Om terug te komen op de uitleg in het boek tram: *"De ingebruikname van de T4000 trams op tramlijn 55 is momenteel niet gepland door de MIVB vanuit programmatisch en budgettair oogpunt. Er is dan ook geen onderzoek gedaan naar de opslagcapaciteit van deze trams in de stelplaats in Haren en er kan niet worden geconcludeerd dat de vervanging van de T3000 trams van lijn 55 door T4000 trams qua opslag mogelijk is. Aangezien de T4000 tram 10 m langer is dan de T3000, zou dit een extra capaciteit van ongeveer 25% vereisen. [...] In deze studie wordt er echter van uitgegaan dat de T4000 trams in de stelplaats in Haren kunnen worden gestald. Dit zal waarschijnlijk gepaard gaan met logistieke reorganisaties die een watervaleffect zullen hebben op andere metrostelplaatsen. Indien dit alternatief daadwerkelijk wordt uitgevoerd, zullen niettemin grondige studies worden verricht."*⁶⁰

⁶⁰ Zie Boek V Tram – Hoofdstuk 5. Presentatie van de alternatieven "tram", punt 5.1.2.1.C

Het spreekt dan ook voor zich dat in de koolstofbalans geen rekening kan worden gehouden met een mogelijke uitbreiding van de stelplaats in Haren, aangezien dit in dit stadium niet wordt bestudeerd. De hypothesen van de koolstofbalans zijn daarom dezelfde als in de effectenstudie: in alternatieven 0 en 0+ worden de T4000 trams gewoon opgeslagen in de stelplaats in Haren.

De interventies die een zeer lage CO₂-impact hebben, worden ook verwaarloosd in de koolstofbalans, namelijk de verschillende interventies om de autostromen te beheren en de integratie van verkeersborden om het verkeer te reorganiseren, met name bij de aanleg van een eigen bedding over het volledige traject in het alternatief 0+.

De **variant van het alternatief 0+, met barrières aan weerszijden van de rijbanen**, wordt eveneens van meet af aan genegeerd. Uit de effectenstudie bleek dat deze variant zeer weinig invloed had op de snelheid van de trams op lijn 55. Het is derhalve niet nodig dit aspect in de koolstofbalans te behandelen.

4.2.2.2. Bestaande situatie

A. Werking van de lijn

A.1. *Beschrijving van het rollend materieel*

De "**T3000**" trams van het merk Bombardier rijden momenteel op tramlijn 55. Dit zijn tweerichtingstrams met een geïntegreerde lage vloer, met de volgende kenmerken:

Aantal plaatsen :

46 zitplaatsen
134 staanplaatsen (4 pers/m²)

Aantal deuren per zijde :

5 dubbele deuren + 1 enkele deur

Aantal modules : 5

Afmetingen :

Lengte : 31,85 m
Breedte : 2,30 m
Vloerhoogte bij de ingang : 35 cm
Breedte van de gang : 63 cm

Gewicht van het voertuig (onbeladen)

38,6 ton

Figuur 19: Kenmerken van de T3000 tram gebruikt op tramlijn 55 (MIVB, n.d.)

Momenteel rijden maximaal 15 trams in beladen toestand (met passagiers) op de lijn in beide richtingen. Bovendien zijn er 3 reservetrans (20%) die geen passagiers vervoeren en die zich tussen de ritten op de eindstations bevinden.



Figuur 20: Buitenprofiel van een T3000 tram (MIVB, n.d.)

Onderstaande tabel bevat de theoretische waarden van het energieverbruik van een Korte tram (gelijk aan de T3000) en de overeenkomstige koolstofemissies. Deze waarden zijn theoretisch, aangezien zij overeenkomen met de TNG (Trams New Generation), die op lijn 55 niet zullen worden gebruikt. Er zijn geen plannen om ze op middellange of lange termijn op de lijn te

integreren, hoewel ze in 2018 door de MIVB zijn besteld, compatibel zijn met de bestaande infrastructuur en gelijkaardige spoorbreedtes hebben.

Korte tram	Terugwinning van energie	Energieverbruik	CO ₂ -emissies*
Maximaal energieverbruik	0%	8,12 kWh/(km-tram)	1,27 kg eqCO ₂ /(km-tram)
Minimaal energieverbruik	100%	4,19 kWh/(km-tram)	0,66 kg eqCO ₂ /(km-tram)

* Rekening houdend met de energiemix van de MIVB: 0,157 kg eqCO₂/kWh

Tabel 119: Theoretisch energieverbruik en koolstofemissies van een T3000 (MIVB, 2018)

A.2. Kenmerken van de lijn

Op basis van het maximum aantal trams dat in beide richtingen op de lijn rijdt tijdens de spitsuren (15 trams) en de individuele capaciteit van elke T3000 tram, wordt de **theoretische maximumcapaciteit van de lijn per uur** tijdens de spits geraamd op:

- Maximaal 2.700 personen zittend en staand (verhouding 4 personen/ m²);
- 2.200 mensen zittend en staand in relatief comfort (verhouding 3 personen/ m²).

Er zijn automatische passagierstellingen uitgevoerd aan boord van tram 55 en dit leverde een aantal instappende passagiers op. De gemiddelde dagelijkse resultaten worden hieronder weergegeven, naar gelang de dag van de week.

	Werkdag	Zaterdag	Zondag
Opstappen	43.500	28.000	22.000

Tabel 120: Aantal opstappende passagiers per dag van de week (MIVB, 2018)

De **frequentie van de tram** varieert tussen 4 en 20 minuten, afhankelijk van het tijdstip van de dag, de tijd van het jaar, de locatie en externe gebeurtenissen die van invloed kunnen zijn op het verkeer. Deze frequenties komen in grote lijnen overeen met de frequenties van de tramlijnen in de stad Brussel.

Anderzijds is lijn **55 onderhevig aan talrijke verkeersrisico's**, hetgeen leidt tot oponthoud, vertragingen en zeer lange reistijden op de lijn. Het gevolg is dat de tram door deze onregelmatigheden zeer vaak moet optrekken en afremmen, wat leidt tot een aanzienlijke **toename van het energieverbruik** en bijgevolg **een toename van de CO₂-emissies op de lijn**.

B. Samenvatting

In onderstaande tabel staan de belangrijkste kenmerken en emissies die voor de T3000 trams zijn berekend, alsmede enkele kenmerken van lijn 55 in de bestaande situatie.

Werking van de lijn		
Componenten	Evaluatietype	Gegevens
Rollend materieel (T3000)	Capaciteit	180 zit- en staanplaatsen
	Energieverbruik	Max: 1,27 kg eqCO ₂ /(km-tram) Min: 0,66 kg eqCO ₂ /(km-tram)
Kenmerk van de lijn	Capaciteit van de lijn	2700 personen/u (4 personen/m ²) 2200 personen/u (3 personen/m ²)
	Frequentie	4 tot 20 minuten
	Reistijd	Zeer variabel/veel onregelmatigheden

Tabel 121: Samenvatting van de resultaten – Bestaande situatie (ARIES, 2020)

Deze tabel **biedt een context voor de gegevens** over de huidige koolstofemissies van het gebruik van de tram op lijn 55. In de studie van de twee alternatieven zullen vervolgens de resultaten worden vergeleken en de verschillen in termen van koolstofemissies en energieverbruik worden geëvalueerd.

4.2.2.3. Alternatief 0

A. Werking van de lijn

Ter herinnering, de definitie van alternatief 0 van het Metro Noord-project in de effectenstudie luidt als volgt:

"Handhaving van de huidige situatie, rekening houdend met relevante ontwikkelingen in het studiegebied (referentiesituatie).

De invoering van T4000 trams op lijn 55 is de belangrijkste wijziging in dit alternatief ten opzichte van de bestaande situatie. Deze nieuwe trams zullen gevolgen hebben voor de werking van de lijn, het energieverbruik en de capaciteit van reizigers, en zullen een reeks infrastructuurwerken met zich meebrengen om de lijn aan deze nieuwe tramstellen aan te passen.

A.1. Beschrijving van het rollend materieel

De "T4000" tram is de versie met "hoge capaciteit" van de T3000. Deze trams worden in gebruik genomen om de capaciteit van de lijn te verbeteren. De kenmerken van de tram zijn als volgt:

<p>Aantal plaatsen : 66 zitplaatsen 186 staanplaatsen (4 pers/m²)</p> <p>Aantal deuren per zijde : 7 dubbele deuren + 1 enkele deur</p> <p>Aantal modules : 7</p>	<p>Afmetingen : Lengte : 43,22 m Breedte : 2,30 m Vloerhoogte bij de ingang : 35 cm Breedte van de gang : 63 cm</p> <p>Gewicht van het voertuig (onbeladen) 51,8 ton</p>
---	--

Figuur 21: Kenmerken van de T4000 tram (MIVB, n.d.)

De tram heeft 2 extra modules in vergelijking met de T3000. De maximumcapaciteit wordt verhoogd met 20 zitplaatsen en 52 staanplaatsen, d.w.z. een toename van 40% ten opzichte van de totale capaciteit.

Onderstaande tabel bevat de theoretische waarden van het energieverbruik van een Lange tram (gelijk aan de T4000) en de overeenkomstige koolstofemissies. Net als bij de T3000 zijn deze waarden theoretisch, aangezien zij overeenkomen met de TNG (Trams New Generation), die op lijn 55 niet zullen worden gebruikt.

Korte tram	Terugwinning van energie	Energieverbruik	CO ₂ -emissies*
Maximaal	0%	10,6 kWh/(km-tram)	1,66 kg eqCO ₂ /(km-tram)
Minimaal	100%	5,22 kWh/(km-tram)	0,82 kg eqCO ₂ /(km-tram)

* Rekening houdend met de energiemix van de MIVB: 0,157 kg eqCO₂/kWh

Tabel 122: Theoretisch energieverbruik en koolstofemissies van een T4000 (MIVB, 2018)

Het theoretische energieverbruik van een lange tram (T4000) ligt 25 tot 30% hoger dan dat van een korte tram (T3000), waarschijnlijk als gevolg van de afmetingen van de T4000 tram, die langer en zwaarder is en meer mensen kan vervoeren. Bij dit energieverbruik wordt echter geen rekening gehouden met de kenmerken van de werking van de lijn zoals de frequentie, de snelheid of het rijgedrag van de tram op de lijn.

A.2. Kenmerken van de lijn

Op basis van het maximaal aantal trams dat in beide richtingen op de lijn rijdt tijdens de spitsuren (15 trams) en de individuele capaciteit van elke T4000 tram, wordt de **theoretische maximumcapaciteit van de lijn per uur** tijdens de spits geraamd op:

- Maximaal 3.780 personen zittend en staand (verhouding 4 personen/ m²);
- 3.080 mensen zittend en staand in relatief comfort (verhouding 3 personen/ m²).

De invoer van de trams T4000 en de ingrepen op de lijn om deze te optimaliseren in het kader van alternatief 0 hebben geen noemenswaardige invloed op de frequentie en de regelmaat op de lijn, die identiek blijven aan de bestaande situatie.

B. Optimalisatie van de infrastructuur

De optimalisaties van alternatief 0 zijn ondergebracht in 2 categorieën:

- Op korte termijn geplande optimalisaties: dit betreft zekere veranderingen, voorzien in de budgetten van de MIVB, die dus een voorzienbare situatie vormen.
- Mogelijke optimalisaties op middellange termijn: dit zijn ideeën die door de MIVB naar voren zijn gebracht, niet gestaafd door specifieke studies (technische, economische haalbaarheid, enz.), en die in het kader van de huidige studie naar voren zijn gebracht voor het definiëren van alternatief 0.

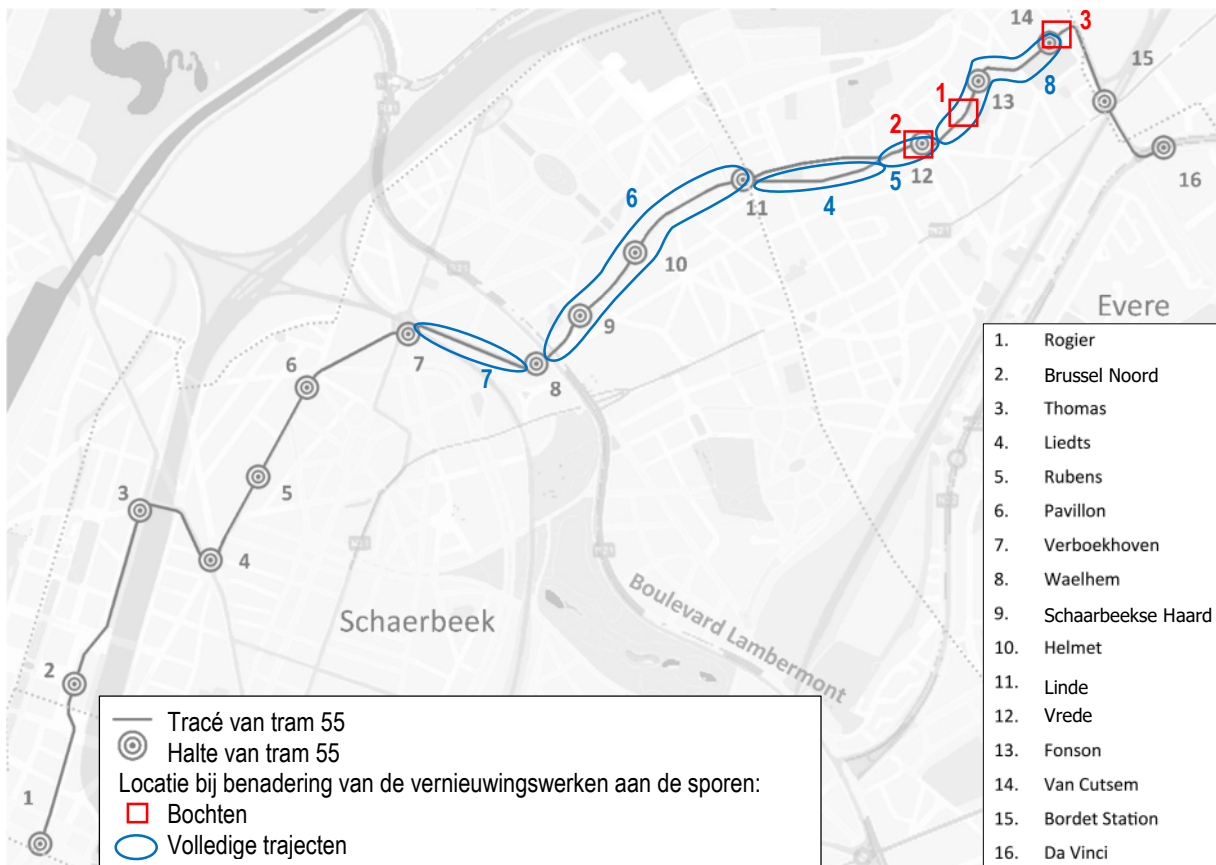
B.1. Geplande optimalisaties op korte termijn

Tussen 2020 en 2025 wil de MIVB **de rails vernieuwen van bepaalde trajecten** van tramlijn 55 wegens **slijtage of het einde van hun levensduur**. Ze dienen vervangen te worden zodra ze verouderd zijn, om een optimale snelheid te handhaven, de veiligheid van de gebruikers te garanderen en het geluidsniveau en de trillingen te beperken.

De te vernieuwen trajecten op het tracé van lijn 55 zijn de volgende (aangeduid op de volgende kaart)

	Adres	Traject	Aantal sporen	Lengte van de rails
1	Edward Dekosterstraat nr. 31	25 m	2 sporen/4 rails	100 m
2	Vredeplein nr. 23	57,7 m	2 sporen/4 rails	230 m
3	Kruispunt Tweedekkerstraat/Frans Van Cutsemstraat	25 m	2 sporen/4 rails	100 m
4	Edward Stuckensstraat	400 m	1 spoor/2 rails	800 m
5	Edward Stuckensstraat	212,5 m	1 spoor/2 rails	850 m
6	Helmetsesteenweg	1000 m	1 spoor/2 rails	2000 m
7	Waelhemstraat	350 m	1 spoor/2 rails	700 m
8	Edward Dekosterstraat en Fonsonstraat	600 m	1 spoor/2 rails	1.200 m
Totale lengte van de rails				5.980 m

Tabel 123: Gegevens voor de vernieuwing van het tracé (ARIES, 2020 naar MIVB)



Figuur 22: Locatie van de vernieuwingswerken aan de sporen van tram 55 (ARIES op achtergrondkaart BrugGIS, 2020)

De MIVB beschikt momenteel niet over nadere gegevens over de duur van de werkzaamheden, noch over de omleidingen en de signalisaties die zullen worden aangebracht. In de koolstofbalans worden dus alleen de productiemiddelen van de vernieuwde materialen, het inkomend vrachtvervoer in verband met deze materialen en het energieverbruik van de bouwmachines die nodig zijn voor de toepassing van de materialen, geëvalueerd. De rest van de posten wordt als verwaarloosbaar beschouwd, gezien het relatief geringe effect van deze werken.

B.1.1. Productiemiddelen

De post Productiemiddelen vertegenwoordigt de materialen die worden gebruikt om de rails te vernieuwen, namelijk staal. Wat betreft de activiteitsgegevens, bevat de onderstaande tabel de voornaamste in aanmerking genomen gegevens en hypothesen, alsmede de hoeveelheden staal.

Grootte	Eenheid	Hoeveelheid
Lengte van de rails	m	5.980
Lineaire massa*	kg/m ³	49,97
Hoeveelheid staal	t	299

* Gebaseerd op informatie verkregen van BMN

Tabel 124: Gegevens voor de vernieuwing van het tracé (ARIES, 2020 naar MIVB)

De beschouwde emissiefactor voor staal is 1.804 kg eqCO₂/t⁶¹. De koolstofemissies in verband met de productie van het staal dat nodig is om de versleten rails te vernieuwen, worden geraamd op **539 teqCO₂**.

B.1.2. Inkomend vrachtvervoer

De post Inkomend vrachtvervoer komt overeen met het **vervoer van staal** dat onder de post Productiemiddelen valt.

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtvervoer worden uitgedrukt in ton-km. De gehanteerde hypothesen zijn dezelfde als voor het ingevoerde project⁶², d.w.z. dat ervan wordt uitgegaan dat het staal voor de looprails afkomstig is van een walsery in Donawitz, Oostenrijk (op 1050 km van de werf).

Het aantal tonkilometers dat overeenkomt met de aanvoer van staal van het bedrijf naar de werf bedraagt derhalve **313.950 t.km**.

De emissiefactor voor het vrachtvervoer is afhankelijk van de gebruikte vervoerswijze. Zoals voor het Metro Noord-project wordt gedacht aan opleggers met een capaciteit van 20 ton. De in aanmerking genomen emissiefactor voor het transport van staal is 0,0919 kg eqCO₂/t.km.

De koolstofemissies in verband met het vrachtvervoer dat nodig is om het staal te leveren, bedragen **29 teqCO₂**.

B.1.3. Verbruik van bouwmachines voor de toepassing van materialen

Het is niet eenvoudig om het energieverbruik in verband met bouwmachines concreet te evalueren vóór de eigenlijke uitvoering van het project, vanwege de grote onzekerheden in verband met de uitvoeringsmethoden op basis waarvan het aantal, de precieze aard van de bouwmachines (merk, model, vermogen, enz.) en de gebruiksduur worden bepaald, en die van project tot project sterk uiteenlopen. Het doel is een realistische orde van grootte te verkrijgen voor deze emissiebron. Net als bij de aanleg van de metro-infrastructuur wordt de voorkeur gegeven aan een top-down-benadering op basis van globale indicatoren⁶³.

Het activiteitsgegeven is berekend op basis van een specifiek brandstofverbruik per volume-eenheid van het gebruikte materiaal, d.w.z. 80 kWh/m³ voor staal. Uitgaande van een dichtheid van 7,8 t/m³ voor het staal, leidt dit tot een totale hoeveelheid staal van 385 m³ en een brandstofverbruik van **3.040 kWh**.

De gebruikte emissiefactor is ontleend aan de Base Carbone, en is vastgesteld op 0,323 kg eqCO₂/kWh PCI (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

De koolstofemissies in verband met het energieverbruik van de bouwmachines bedragen **981 kg eqCO₂, d.w.z. 1 ton CO₂**.

B.2. Mogelijke optimalisaties op middellange termijn

⁶¹ Zie punt Partie 1 :4.1.1.2.A.2

⁶² Zie punt 0

⁶³ Zie punt Partie 1 :4.1.1.2.A.2

De T4000 tram is 43,22 m lang, een toename van 11,37 m ten opzichte van de T3000. De huidige haltes, waarvan de meeste zijn ontworpen voor de T3000 trams, moeten dus worden uitgebreid.

Afgezien van de lengte zijn de andere afmetingen van de T4000 (breedte en hoogte van de tram, binnenafmetingen, enz.) identiek aan die van de T3000. Ook de noodzakelijke infrastructuur (sporen, stroomvoorziening, stelplaats, enz.) is voor beide tramtypes identiek. De T4000 trams rijden vandaag reeds op het tracé van tram 55. De infrastructuur wordt gedeeld met lijnen die de T4000 exploiteren. Bovendien maken de T4000 er gebruik van om de stelplaats in Haren te bereiken.

In de volgende tabel staan de haltes die moeten worden uitgebreid of verplaatst.

Halte	Uitbreiding van de halte (m)	
	Richting Da Vinci	Richting Rogier
Rogier	Ongewijzigd	Ongewijzigd
Noordstation	Ongewijzigd	Ongewijzigd
Thomas	Ongewijzigd	Ongewijzigd
Liedts	Ongewijzigd	Verplaatst
Rubens	-	+1
Paviljoen	Ongewijzigd	Ongewijzigd
Verboekhoven	Verplaatst	Verplaatst
Waelhem	+11	Ongewijzigd
Schaarbeekse Haard	+5	+11
Helmet	+3	+10
Linde	+1	Verplaatst
Vrede	+8	+8
Fonson	+9	+9
Van Cutsem	+10	+10
Bordet Station	Ongewijzigd	Ongewijzigd
Da Vinci	Ongewijzigd	Ongewijzigd

Tabel 125: Uitbreidingen van de haltes van tram 55 voor de afmetingen van de T4000 (ARIES op basis van MIVB, 2020)

Volgens de informatie van de MIVB⁶⁴ moet een halte een lengte hebben die geschikt is voor de voertuigen die er gebruik van maken, d.w.z. ten minste 45 m voor een standaard tramhalte. De minimumbreedte is 3 m voor een tramhalte bij een instapheuvel bij een eigen bedding, en 1,50 m voor een halte in een gedeeld wegvlak. Tenslotte is de hoogte van de stoeprand van de halte ongeveer 27,5 cm.

Deze informatie wordt gebruikt om een schatting te maken van de hoeveelheid materiaal die nodig is om deze haltes uit te breiden of te verplaatsen als onderdeel van de optimalisering van lijn 55. Bij wijze van hypothese wordt er van uitgegaan dat al deze haltes gebouwd zijn van beton. Elke halte heeft de volgende afmetingen: 3 m breed, 0,28 m dik en een totale lengte van 45 m.

⁶⁴ Bron: MIVB (2015) 4. Principe pour l'aménagement d'un arrêt accessible et confortable dans le réseau de surface

B.2.1. Productiemiddelen

De activiteitsgegevens komen overeen met de hoeveelheden beton die bij de uitvoering van de uitbreidingswerken van de haltes worden gebruikt.

In de onderstaande tabel zijn de geraamde hoeveelheden beton voor de uitbreiding en de verplaatsing van de haltes van lijn 55 aangegeven.

Haltes	Uitbreiding van de haltes (m)			Hoeveelheid** (m ³)
	Richting Da Vinci	Richting Rogier	Totale lengte	
Liedts	-	45*	45	37,8
Rubens	-	1	1	0,84
Verboekhoven	45*	45*	90	75,6
Waelhem	11	-	11	9,24
Schaarbeekse Haard	5	11	16	13,44
Helmet	3	10	13	10,92
Linde	1	45*	46	38,64
Vrede	8	8	16	13,44
Fonson	9	9	18	15,12
Van Cutsem	10	10	20	16,8
Totaal betonvolume			276	231,84

* Voor het verplaatsen van een halte wordt een uitbreiding van 45 m overwogen, wat de standaardlengte van een tramhalte is

** De lengte wordt vermenigvuldigd met de breedte (3m) en de dikte (0,28m)

Tabel 126: Hoeveelheden beton gebruikt voor de uitbreiding en verplaatsing van de haltes op lijn 55 (ARIES op basis van de MIVB, 2020)

De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in CO₂-emissies per m³ of ton materiaal. Net als bij de bouw van de infrastructuur worden deze gedefinieerd aan de hand van de weerstandsklasse van het gebruikte beton. Voor de uitbreiding van haltes wordt over het algemeen beton van klasse C30/37 gebruikt voor de randen van perrons van trams en metro's, met een emissiefactor van **248 kg eqCO₂/m³**.

De koolstofemissies in verband met de productie van het beton dat nodig is voor de uitbreiding en verplaatsing van de haltes worden geraamd op **57 teqCO₂**.

B.2.2. Inkomend vrachtvervoer

De post Inkomend vrachtvervoer komt overeen met de **aanlevering van beton** die onder de post Productiemiddelen valt.

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtvervoer worden uitgedrukt in ton.km, wat betekent dat de hoeveelheden materiaal in massa moeten worden uitgedrukt, wat niet het geval is voor beton. De gebruikte hypothese is ontleend aan de analyse Bouw van de infrastructuur van

het metroproject, waarbij de dichtheid is vastgesteld op $2,3\text{t}/\text{m}^3$. De hoeveelheid te vervoeren beton bedraagt derhalve **533 ton**.

Ook de herkomst van het beton is dezelfde als bij het project voor de aanleg van de metro. Er wordt van uitgegaan dat het beton dat op de werven wordt gebruikt, gebruiksklaar is. Het tracé van lijn 55 ligt niet ver van betoncentrales die de verschillende bouwplaatsen zouden kunnen bevoorraden (afstanden van minder dan 10 km). Op basis van de vier elektriciteitscentrales die in het Brusselse gewest in de nabijheid van het tracé zijn geïdentificeerd, en gezien de relatief kleine hoeveelheid beton die moet worden aangevoerd (in vergelijking met het project voor de aanleg van de metro), wordt hier uitgegaan van de maximale afstand tussen de werven en de elektriciteitscentrales. Volgens Tabel 31 is de langste afstand 6,3 km, namelijk de afstand tussen de betoncentrale "Inter-Béton" en Station Bordet.

De gemiddelde tonkilometers worden geraamd op **3.359 t.km**

De emissiefactor voor het vrachtvervoer is afhankelijk van de gebruikte vervoerswijze. Het is de bedoeling gebruik te maken van truckmixers met een capaciteit van 6 m^3 . De in aanmerking genomen emissiefactor voor het transport van beton is $0,124\text{ kg eqCO}_2/\text{t.km}$. Deze waarde is ontleend aan de Base Carbone en komt, als hypothese, overeen met een ongelede vrachtwagen, met een TMTG tussen 20 t en 26 t, die rijdt op diesel voor het wegvervoer waarin 7% biodiesel is bijgemengd. De onderliggende hypothesen zijn een vulgraad van 60% en een leegtegraad bij terugkeer van 17%.

De koolstofemissies in verband met het vrachtvervoer dat nodig is voor de aanlevering van het beton bedragen **417 kg eqCO₂, of 0,4 ton CO₂**.

B.2.3. Verbruik van bouwmachines voor de toepassing van materialen

Het is niet eenvoudig om het energieverbruik in verband met bouwmachines concreet te evalueren vóór de eigenlijke uitvoering van het project, vanwege de grote onzekerheden in verband met de uitvoeringsmethoden op basis waarvan het aantal, de precieze aard van de bouwmachines (merk, model, vermogen, enz.) en de gebruiksduur worden bepaald, en die van project tot project sterk uiteenlopen. Het doel is een realistische orde van grootte te verkrijgen voor deze emissiebron. Net als bij de aanleg van de metro-infrastructuur wordt de voorkeur gegeven aan een top-down-benadering op basis van globale indicatoren⁶⁵.

Het activiteitsgegeven is berekend op basis van een specifiek brandstofverbruik per volume-eenheid van het gebruikte materiaal, d.w.z. $70\text{ kWh}/\text{m}^3$ voor beton, of **16.240 kWh**.

De gebruikte emissiefactor is ontleend aan de Base Carbone, en is vastgesteld op $0,323\text{ kg eqCO}_2/\text{kWh PCI}$ (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

De koolstofemissies in verband met het energieverbruik van de bouwmachines bedragen **5.245 kg eqCO₂, d.w.z. 5 teqCO₂**.

C. Samenvatting

In onderstaande tabel staan de belangrijkste kenmerken en emissies die voor de T4000 trams zijn berekend, alsmede enkele kenmerken van lijn 55 in het geval van alternatief 0.

⁶⁵ Zie punt Partie 1 :4.1.1.2.A.2

Werking van de lijn		
Componenten	Evaluatietype	Gegevens
Rollend materieel (T4000)	Capaciteit	252 zit- en staanplaatsen
	Energieverbruik	Max: 1,66 kg eqCO ₂ /(km-tram) Min: 0,82 kg eqCO ₂ /(km-tram)
Kenmerk van de lijn	Capaciteit van de lijn	3780 personen/u (4 personen/m ²) 3080 personen/u (3 personen/m ²)
	Frequentie	4 tot 20 minuten
	Reistijd	Zeer variabel/veel onregelmatigheden
Optimalisatie van de lijn		
Post	Bron	Hoeveelheden (teqCO ₂)
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)	Verbruik van bouwmachines voor de uitvoering van materialen	6
Productiemiddelen	Beton	57
	Staal	539
	Subtotaal Productiemiddelen	596
Inkomend vrachtvervoer	Beton	0,4
	Staal	29
	Subtotaal Inkomend vrachtvervoer	29,4
Subtotaal infrastructuur		631

Tabel 127: Samenvatting van de resultaten – Alternatief 0 (ARIES, 2020)

4.2.2.4. Alternatief 0+

A. Werking van de lijn

Ter herinnering, de definitie van alternatief 0+ van het Metro Noord-project in de effectenstudie luidt als volgt:

"Bij dit alternatief zal rekening worden gehouden met de optimalisering van lijn 55 door middel van technische ingrepen ter verbetering van de commerciële snelheid en frequentie (verplaatsing van haltes, eigen bedding, tunnels, verandering van rijrichting, enz.)"

Het gaat dus om een geoptimaliseerde situatie van de bestaande situatie, met betrekking tot de parameters frequentie en snelheid, om een lijn te verkrijgen die kan worden gekwalificeerd als Hoog Dienstniveau (HDN).

Voor dit alternatief wordt ervan uitgegaan dat alle verbeteringen van alternatief 0 reeds zijn geïntegreerd, d.w.z. de invoering van het trammodel T4000 en de nodige aanpassingen ter hoogte van de haltes (verlenging van de perrons en verplaatsing van de haltes in de evaluatie van de koolstofbalans).

Alternatief 0+ wordt gekenmerkt door het invoeren van een eigen bedding voor het hele tracé. Deze optimalisering van de lijn betreft alleen die delen van het tracé die nog niet geoptimaliseerd

zijn, d.w.z. het gedeelte dat begint bij het Liedtsplein en eindigt bij de Houtweg. De belangrijkste ontwikkelingen die zijn gepland voor de wegen waar de tram over rijdt, worden beschreven in het boek Tram.

Zie Boek V Tram – Deel 1 Hoofdstuk 5. Presentatie van het alternatief 0+, punt 5.2.3

A.1. Beschrijving van het rollend materieel

De in alternatief 0+ geplande tramlijn T4000 is in detail beschreven in punt 4.2.2.3.A.1 over alternatief 0.

A.2. Kenmerken van de lijn

In tegenstelling tot alternatief 0 verbeteren de de **interventies de aanleg van een eigen bedding langs het hele verbeterde tracé de regelmaat en de reistijd** van de trams op de lijn. De variabiliteit van de reistijd voor een gebruiker tussen 2 tijdstippen van de dag is immers kleiner. Het autoverkeer zorgt er niet langer voor dat de trams vertragen tijdens de spitsuren. Net als bij alternatief 0 hebben de ingrepen op de lijn echter geen noemenswaardige invloed op de frequentie van de lijn, die identiek blijft aan de bestaande situatie.

Het aanleggen van een eigen bedding is een voordeel voor de reizgers, die hun totale reistijd verkort zien en verzekerd zijn van een efficiënte verkeersdoorstroming. De eigen bedding heeft echter ook een voordeel wat het energieverbruik betreft. Onregelmatigheden leiden tot veelvuldig optrekken en afremmen, met een hoger energieverbruik en dus een hogere CO₂-uitstoot tot gevolg. De vermindering van deze onregelmatigheden door de invoering van een eigen bedding zal de bestuurders in staat stellen een **ecologische rijstijl aan te nemen**, hetgeen het energieverbruik zal doen dalen.

B. Optimalisatie van de infrastructuur

Om de koolstofemissies van de invoering van een eigen bedding in de koolstofbalans te berekenen, houden we rekening met de **volledige vernieuwing van de rails en de wegen langs het volledige tracé van lijn 55**. Bij wijze van hypothese worden de rijwegen berekend van gevel tot gevel, over de lengte van de verschillende straten die samen het tracé vormen (van het Liedtsplein tot de Houtweg).

B.1. Productiemiddelen

B.1.1. Beton

De activiteitsgegevens zijn de hoeveelheden van de te gebruiken materialen. Een vereenvoudigende hypothese bestaat erin ervan uit te gaan dat alle wegen worden vernieuwd, van gevel tot gevel. Deze zijn bekleed met beton (geplaveid in beton en gestabiliseerd), 50 cm dik.

De wegbreedtes zijn beschreven in de kaartenatlas van de effectenstudie. De gegevens staan vermeld in onderstaande tabel. Bij wijze van hypothese zijn de voor de wegbreedtes gebruikte waarden de minimumbreedtes.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Locatie	Breedte van de wegen	Lengte van de weg	Wegdekken
Gallaitstraat	15,5 m	625 m	9.687,5 m ²
Van Ooststraat	15,4 m	300 m	4,620 m ²
Waelhemstraat	15,8 m	400 m	6,320 m ²
Helmetsesteenweg (tunnel)	16 m	100 m	1,600 m ²
Helmetsesteenweg	18,4 m	120 m	2,208 m ²
Helmetsesteenweg	14 m	780 m	10,920 m ²
Vanhammestraat	8,4 m	217 m	1.822,8 m ²
	10,1 m	220 m	2.222 m ²
E. Stuckensstraat	6,4 m	235 m	1.504 m ²
	9,5 m	218 m	2.071 m ²
E. Stuckensstraat (Vredeplein)	14,4 m	200 m	2.880 m ²
E. Dekosterstraat	11,4 m	130 m	1.482 m ²
	13,5 m	170 m	2.295 m ²
Fonsonstraat	14,5 m	115 m	1.667,5 m ²
	9,5 m	185 m	1.757,5 m ²
Tweedekkerstraat	13,7 m	50 m	685 m ²
Totale oppervlakte			53.063,3 m²

Tabel 128: Gegevens over de oppervlaktes van de wegen (ARIES, 2020 volgens MIVB)

Door de oppervlaktes en de dikte van 50 cm van de rijbanen te vermenigvuldigen, bedraagt de totale geschatte hoeveelheid beton **26.531,65 m³**. Bij wijze van hypothese omvat het volume van beton specifieke inrichtingen zoals haltes. De activiteitsgegevens komen overeen met de hoeveelheden beton die gebruikt worden bij de uitvoering van de werken voor de aanleg van een eigen bedding. De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in hoeveelheden CO₂-emissies per m³.

De overeenkomstige emissiefactoren worden daarom uitgedrukt in CO₂-emissies per m³ of ton materiaal. Net als bij de bouw van de infrastructuur worden deze gedefinieerd aan de hand van de weerstandsklasse van het gebruikte beton. Voor de uitbreiding van haltes wordt over het algemeen beton van klasse C30/37 gebruikt voor de randen van perrons van trams en metro's, met een emissiefactor van **248 kg eqCO₂/m³**.

De koolstofemissies in verband met de productie van het beton dat nodig is voor de invoering van een eigen bedding worden geraamd op **6.580 teqCO₂**.

B.1.2. Staal

De aanleg van een eigen bedding vindt plaats tussen het Liedtsplein en de Houtweg. Het activiteitsgegeven komt overeen met de gebruikte hoeveelheden staal. In de onderstaande tabel zijn de lengtes aangegeven van de rails die nodig zijn voor de renovatiewerken.

Straat	Lengte van het tracé (m)	Lengte van de rails*(m)
Gallaitstraat	625	2.500
Van Ooststraat	300	1.200
Waelhemstraat	400	1.600
Helmetsesteenweg	1.000	4.000
Edward Stuckensstraat/ Hendrik Van Hammestraat	450	1.800
Edward Stuckensstraat (Vredeplein)	200	800
Edward Dekosterstraat	300	1.200
Fonsonstraat	300	1.200
Tweedekkerstraat	50	200
Totale lengte van de rails	3.625	14.500

* De transporen bestaan uit 2 sporen en 4 rails

Tabel 129: Gegevens over de lengtes van de rails (ARIES, 2020 volgens MIVB)

Onderstaande tabel toont de hoeveelheden staal die nodig zijn in de post Productiemiddelen – Staal naar gelang van de lengte van de rails en hun lineaire massa.

Grootte	Eenheid	Hoeveelheid
Lengte van de rails	m	14.500
Lineaire massa*	kg/m ³	49,97
Hoeveelheid staal	t	725

* Gebaseerd op informatie verkregen van BMN

Tabel 130: Gegevens voor de vernieuwing van het tracé (ARIES, 2020 naar MIVB)

De beschouwde emissiefactor voor staal is 1.804 kg eqCO₂/t. De koolstofemissies in verband met de productie van het staal dat nodig is om de versleten rails te vernieuwen, worden geraamd op **1308 teqCO₂**.

B.2. Inkomend vrachtvervoer

De post Inkomend vrachtvervoer komt overeen met **de aanlevering van beton en staal** die onder de post Productiemiddelen valt.

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtvervoer worden uitgedrukt in ton.km, wat betekent dat de hoeveelheden materiaal in massa moeten worden uitgedrukt, wat niet het geval is voor beton, waarvan de hoeveelheden worden uitgedrukt in volume. De gebruikte hypothese is ontleend aan de analyse Bouw van de infrastructuur van het metroproject, waarbij de dichtheid wordt beschouwd op 2,3 t/m³.

B.2.1. *Beton*

Voor de bepaling van het activiteitsgegeven bedraagt de hoeveelheid te vervoeren beton derhalve **61.023 ton**.

De hypothesen met betrekking tot de herkomst van het beton zijn dezelfde als die welke zijn aangenomen voor het inkomend vrachtvervoer van het beton in het geval van alternatief 0.

De gemiddelde tonnagekilometer wordt geraamd op **384.443 t.km**.

De hypothesen met betrekking tot de emissiefactor zijn ook identiek aan die voor alternatief 0 zijn aangenomen. De in aanmerking genomen emissiefactor voor het transport van beton is derhalve 0,124 kg eqCO₂/t.km.

De koolstofemissies in verband met het vrachtvervoer dat nodig is voor de aanlevering van het beton bedragen **47.671 kg eqCO₂, d.w.z. 48 teqCO₂**.

B.2.2. Staal

De activiteitsgegevens in verband met het vrachtvervoer worden uitgedrukt in ton-km. Er wordt in de hypothesen van uitgegaan dat het staal voor de looprails afkomstig is van een walsery in Donawitz, Oostenrijk. Het aantal tonkilometers dat overeenkomt met de aanvoer van staal van het bedrijf naar de werf bedraagt derhalve **761.250 t.km**.

De emissiefactor voor het vrachtvervoer is afhankelijk van de gebruikte wijze van transport. Zoals voor het Metro Noord-project wordt gedacht aan opleggers met een capaciteit van 20 ton. De in aanmerking genomen emissiefactor voor het transport van staal is 0,0919 kg eqCO₂/t.km.

De koolstofemissies in verband met het vrachtvervoer dat nodig is om het staal te leveren, bedragen **70 teqCO₂**.

B.3. Verbruik van bouwmachines voor de toepassing van materialen

Net als hierboven zijn de activiteitsgegevens berekend op basis van het specifieke brandstofverbruik per volume-eenheid van het gebruikte materiaal (70 kWh/m³ voor beton en 80 kWh/m³ voor staal).

De activiteitsgegevens komen overeen met het brandstofverbruik, namelijk **1.857.215 kWh voor beton en 7.440 kWh voor staal**⁶⁶.

De gebruikte emissiefactor is ontleend aan de Base Carbone, en is vastgesteld op 0,323 kg eqCO₂/kWh PCI (niet voor de weg bestemde gasolie voor gebruik door mobiele bronnen).

De totale koolstofemissies in verband met het energieverbruik van de bouwmachines bedragen **602 teqCO₂**.

C. Samenvatting

In onderstaande tabel staan de belangrijkste kenmerken en emissies die voor de T4000 trams zijn berekend, alsmede enkele kenmerken van lijn 55 in het geval van alternatief 0+.

⁶⁶ Uitgaande van een staaldichtheid van 7,8 t/m³

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

Werking van de lijn		
Componenten	Evaluatietype	Gegevens
Rollend materieel (T4000)	Capaciteit	252 zit- en staanplaatsen
	Energieverbruik	Max: 1,66 kg eqCO ₂ /(km-tram) Min: 0,82 kg eqCO ₂ /(km-tram)
Kenmerk van de lijn	Capaciteit van de lijn	3780 personen/u (4 personen/m ²) 3080 personen/u (3 personen/m ²)
	Frequentie	4 tot 20 minuten
	Reistijd	Regelmaat/verkorting reistijd
Optimalisatie van de lijn		
Post	Bron	Hoeveelheden (teqCO ₂)
Energie (mobiele verbrandingsbronnen)	Verbruik van bouwmachines voor de uitvoering van materialen	602
Productiemiddelen	Beton	6.580
	Staal	1.308
	Subtotaal Productiemiddelen	7.888
Inkomend vrachtvervoer	Beton	48
	Staal	70
	Subtotaal Inkomend vrachtvervoer	118
Subtotaal infrastructuur		8.608

Tabel 131: Samenvatting van de resultaten – Alternatief 0+ (ARIES, 2020)

4.2.2.5. Samenvatting van de resultaten – vergelijking van alternatieven

De vergelijking van de bestaande situatie met de twee alternatieven geschiedt in twee stappen. In de eerste plaats wordt een **kwalitatieve vergelijking van de belangrijkste kenmerken van het rollend materieel** (met name wat betreft de tractie-energie in verband met de werking van de lijn) **en van de lijn** gepresenteerd. Vervolgens wordt **een vereenvoudigde koolstofbalans gebruikt om de koolstofemissies te ramen die worden veroorzaakt door de renovatiewerkzaamheden aan de lijn voor de alternatieven 0 en 0+** in vergelijking met de bestaande situatie.

In de onderstaande tabel worden de algemene resultaten van de drie scenario's van de evaluatie van de koolstofbalans weergegeven. De cijfers tussen haakjes geven de veranderingen ten opzichte van de bestaande situatie aan.

4 Evaluatie van de emissies van het project en de alternatieven

	Bestaande situatie	Alternatief 0	Alternatief 0+
Informatie die van invloed is op de koolstofemissies ten gevolge van de werking van de lijn			
Rollend materieel	T3000	T4000	T4000
Capaciteit	180 zit- en staanplaatsen	252 zit- en staanplaatsen (+40%)	252 zit- en staanplaatsen (+40%)
Energieverbruik	Max*: 1,27 kg eqCO ₂ /(km-tram) Min**: 0,66 kg eqCO ₂ /(km-tram)	Max*: 1,66 kg eqCO ₂ /(km-tram) (+30%) Min**: 0,82 kg eqCO ₂ /(km-tram) (+25%)	Max*: 1,66 kg eqCO ₂ /(km-tram) (+30%) Min**: 0,82 kg eqCO ₂ /(km-tram) (+25%)
Capaciteit van de lijn	2700 personen/u (4 p/m ²) 2200 personen/u (3 p/m ²)	3780 personen/u (4 p/m ²) 3080 personen/u (3 p/m ²) (+40%)	3780 personen/u (4 p/m ²) 3080 personen/u (3 p/m ²) (+40%)
Frequentie	4 tot 20 minuten	4 tot 20 minuten	4 tot 20 minuten
Reistijd/regelmaat	Veel onregelmatigheid/Zeer variabel	Veel onregelmatigheid/Zeer variabel	Regelmaat/Verkorting reistijd
Koolstofemissies door werken voor de optimalisering van de infrastructuur in vergelijking met de bestaande situatie (tCO₂)			
Energie	-	6	602
Productiemiddelen	-	596	7.888
Inkomend vrachtvervoer	-	29	118
Totaal	-	631	8.608

* Zonder energierugwinning

** Met energierugwinning

Tabel 132: Samenvatting van de resultaten – Vergelijking van alternatieven (ARIES, 2020)

Uit deze tabel en de verschillende onderwerpen die in dit alternatief zijn besproken, kunnen verschillende conclusies worden getrokken:

- Ten eerste kan door het gebruik van een T4000 in de alternatieven 0 en 0+ de maximale capaciteit van de tram en dus van de lijn gedurende een dag met 40% worden verhoogd (2.700 personen/u → 3.780 personen/u tijdens de spits) ten opzichte van de bestaande situatie. Het effect van de gerapporteerde koolstofemissies per passagier wordt daardoor logischerwijs kleiner.
- Door het grotere gewicht en afmetingen van de tram waardoor deze meer passagiers kan vervoeren, is het **theoretische energieverbruik van een Lange tram (T4000) hoger dan dat van een Korte tram (T3000)**⁶⁷. Het stijgt met 30% (in de hypothese dat er geen energie wordt teruggewonnen), wat ook leidt tot een stijging van de theoretische koolstofemissies van de trams in het verkeer. Deze **theoretische verbruiken zijn echter niet in hun context geplaatst** en de

⁶⁷ Ter herinnering: het energieverbruik van de lange en korte trams van de TNG wordt gebruikt om het energieverbruik van de T3000 en T4000 te ramen.

parameters inzake verplaatsingen van de trams worden geacht volkomen identiek te zijn in de drie scenario's, wat in werkelijkheid niet het geval zou zijn.

- In de **bestaande situatie** zijn de trams op lijn 55 onderhevig aan talrijke onregelmatigheden, **waardoor hun energieverbruik toeneemt door het herhaaldelijk optrekken en afremmen.**
- Bij **alternatief 0** verandert het verkeer zeer weinig en blijft het onregelmatig, wat kan leiden tot een nog hoger energieverbruik, door de T4000 trams die meer verbruiken.
- Bij **alternatief 0+** daarentegen **verbetert de aanleg van een eigen bedding de regelmatigheid van de lijn** en vermindert het energieverbruik en dus de koolstofemissies. De tram kan dan op een ecologische manier gaan rijden omdat onnodig optrekken en afremmen kan worden beperkt. Deze vermindering van de emissies is bovendien gunstig op lange termijn.
- De **frequentie van de lijn blijft nagenoeg ongewijzigd** ondanks de werkzaamheden om de lijn te optimaliseren. De vergelijking van de koolstofemissies tussen de bestaande situatie en de alternatieven met betrekking tot de frequentie wordt daarom niet geëvalueerd.
- De totale geraamde CO₂-emissies voor de **werken voor de aanleg van een eigen bedding voor alternatief 0+** bedragen ongeveer **9.000 ton**, waarvan alleen de belangrijkste worden geëvalueerd. Deze emissies zijn veel hoger dan bij alternatief 0, waarbij door de werken **630 teqCO₂** vrijkomt. Het is echter belangrijk te bedenken dat deze geïnduceerde emissies **op lange termijn zullen worden gecompenseerd door de vermeden emissies als gevolg van de verbetering van het tramverkeer** op de lijn.
- Ten slotte **kan niet worden gesteld dat de alternatieven met betrekking tot de tram alleen op zich voor een significante modal shift kunnen zorgen** en de CO₂-emissies in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest kunnen verminderen. De door deze alternatieven teweeggebrachte veranderingen leiden hoofdzakelijk tot een verbetering van het passagierscomfort en van het verkeer op de lijn.

5. Contextualisering van de resultaten

5.1. Koppeling aan mobiliteitsindicatoren

De hierboven berekende emissies voor de bouw van de infrastructuur en voor de exploitatie van de lijn kunnen op jaarbasis worden berekend, zodat ze in de juiste context kunnen worden geplaatst.

Voor het basisproject met één buis werden de broeikasgasemissies in verband met de bouw van de infrastructuur geraamd op 227.012 teqCO₂ (indien het beton samengesteld is uit cement CEM III)⁶⁸, terwijl de totale emissies door de exploitatie van de lijn gedurende de eerste 50 jaar, hetgeen overeenkomt met het tijdsbestek van de studie, werden geraamd op 267.121 teqCO₂.

Uitgaande van een afschrijvingstermijn van 50 jaar voor de emissies in verband met de bouw, bedragen de jaarlijkse emissies 4.540 teqCO₂, terwijl de gemiddelde jaarlijkse emissies in verband met de exploitatie 5.342 teqCO₂ bedragen, in totaal 9.882 teqCO₂.

Als alleen rekening wordt gehouden met de exploitatie van de lijn, vertegenwoordigen de emissies op jaarbasis ongeveer 0,5% van de **jaarlijkse broeikasgasemissies van de transportsector in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest**. In 2018 bedroegen deze 991 kteqCO₂, tegen een gemiddelde van 1.018 kteqCO₂ voor de jaren 1990 tot 2018⁶⁹. Als we zowel de bouw van de infrastructuur als de exploitatie van de lijn in aanmerking nemen, bedraagt dit percentage ongeveer 1%.

Het **jaarlijkse aantal voertuigen.kilometers voor personenauto's dat met deze geannualiseerde emissies overeenstemt**, kan worden afgeleid aan de hand van de emissiefactor voor personenauto's, namelijk 0,193 kg eqCO₂/km (of 0,193 kg eqCO₂/voertuig.km). Het te vermijden aantal voertuigen.kilometers bedraagt derhalve 51.202.073 voertuigen.km per jaar. Aangezien de gemiddelde afstand die per jaar met de auto wordt afgelegd in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest ongeveer 15.000 km⁷⁰ bedraagt, komt dit neer op ongeveer 3.426 voertuigen.

Dit cijfer kan vervolgens worden **vergeleken met het aantal voertuigen.kilometers voor personenauto's in het mobiliteitsplan Good Move 2016**, dat 3.084.413.000 bedraagt voor het hele Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Ervan uitgaande, als hypothese, dat dit aantal constant blijft voor de duur van het vastgestelde tijdsbestek, vertegenwoordigen de aanleg en de exploitatie van de metro dan 1,7% van de verplaatsingen per personenwagen, uitgedrukt in voertuigen.km. De exploitatie alleen is goed voor 0,9% van deze verplaatsingen. Dit zijn indicatieve cijfers, die verband houden met een situatie op een bepaald moment. Gezien de beschouwde afschrijvingsperiode en de veranderingen in mobiliteitspraktijken, demografie, enz. die zich in de tussentijd waarschijnlijk zullen voordoen, zal deze verhouding in de tijd waarschijnlijk variëren.

⁶⁸ Behalve voor de gewelfstenen, waarvoor het gebruik van cement CEM I is vereist.

⁶⁹ Bron: inventaris van broeikasgasemissies van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (indiening 2020)

⁷⁰ Cijfer van 2016: 14.945 km/jaar. Deze afstand wordt niet noodzakelijk afgelegd in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (Bron: FOD Mobiliteit en Vervoer (2017). *Kilometers afgelegd door Belgische voertuigen in 2016*)

Deze contextualisering van de verkregen emissies kan ook worden uitgevoerd voor het **alternatief met twee buizen**. Nog steeds uitgaande van een afschrijvingstermijn van 50 jaar voor de emissies in verband met de bouw, bedragen de jaarlijkse emissies 5.575 teqCO₂, terwijl de gemiddelde jaarlijkse emissies voor de exploitatie 9.882 teqCO₂ bedragen. Het te vermijden aantal voertuigen.kilometers bedraagt 56.777.202 voertuigen.km per jaar. Het aantal voertuigen.kilometers voor personenwagens in het mobiliteitsplan Good Move 2016 vertegenwoordigt 1,8% van het aantal afgelegde verplaatsingen, uitgedrukt in voertuigen.km, waarbij steeds wordt uitgegaan van een constante evolutie over de duur van het vastgestelde tijdsbestek. De emissies op jaarbasis liggen bijgevolg 10% hoger in het geval van het alternatief met twee buizen dan in het basisproject met één buis.

Voorts vertegenwoordigen de **emissies op jaarbasis voor het basisproject met één buis**, bij wijze van indicatie voor de orde van grootte, het equivalent van de jaarlijkse emissies van ongeveer 915 Belgen, ervan uitgaande dat elke persoon gemiddeld 10,8 teqCO₂ per jaar⁷¹ uitstoot voor al zijn activiteiten (vervoer, gebruik van gebouwen, consumptie, enz.). Nogmaals, deze vergelijking heeft betrekking op een situatie op een bepaald moment en houdt geen rekening met toekomstige veranderingen in de emissies gedurende de afschrijvingsperiode, die met name verband houden met veranderingen in het mobiliteitsgedrag, of met demografische veranderingen.

5.2. Evaluatie van een emissiefactor eigen aan de uitvoering van het project

Het is interessant **de orde van grootte te ramen van de emissiefactor die overeenkomt met de uitvoering van het Metro Noord-project**, door een evaluatie te maken van:

- Een emissiefactor voor **de bouw en de exploitatie**;
- Een emissiefactor die overeenkomt met **de exploitatie alleen**. Deze emissiefactor kan vervolgens worden vergeleken met de orde van grootte die in de literatuur is gevonden.

De orde van grootte van van **de emissiefactor die overeenkomt met de bouw en exploitatie van het traject van de Metro Noord (FE_{Metro noord})** kan worden geëvalueerd op basis van de emissies op jaarbasis (zie vorig punt):

$$FE_{Metro\ noord} = \frac{E_{bouw\ infrast.} + E_{exploit}}{N_{passagiers.km}}$$

of:

- E_{bouw Infrast.}: op jaarbasis berekende emissies door de bouw van de infrastructuur;
- E_{exploit.}: gemiddelde jaarlijkse emissies die overeenkomen met de exploitatie van het traject;
- N_{passagiers.km}: jaarlijks aantal passagiers.km.

⁷¹ Bron: Eurostat (cijfer van 2018):

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd300/default/table?lang=fr

Deze emissiefactor wordt uitgedrukt in $\text{geqCO}_2/\text{passagier.km}$.

In dit stadium is alleen het aantal passagiers.km onbekend. Bij de evaluatie wordt uitgegaan van hypothesen over het jaarlijkse aantal passagiers en de afgelegde afstand.

Dit **jaarlijkse aantal passagiers** wordt berekend uit:

- Het aantal in- en uitstappende passagiers tijdens de OS⁷² (7-9u), berekend in het boek Tunnel, op basis van het Musti-model;
- Een omrekening van de gegevens OS (7-9u), waarbij ervan wordt uitgegaan dat het aantal verplaatsingen in dit tijdsbestek 20% van het dagelijkse aantal verplaatsingen vertegenwoordigt. Voorts wordt ervan uitgegaan, als hypothese, dat het aantal passagiers op alle dagen (werkdag, feestdag, weekend, enz.) gelijk is.

De **afgelegde afstand** is hoofdzakelijk gebaseerd op de gemiddelde afgelegde afstand met het openbaar vervoer in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, op basis van de gegevens van de Katernen van het Kenniscentrum van de mobiliteit van het BHG⁷³, namelijk 4,4 km.

Er moeten echter enkele nuances worden aangebracht. In het begin is het niet altijd mogelijk om 4,4 km af te leggen op de lijn. Dit is bijvoorbeeld het geval voor passagiers die de metro nemen in het station van Riga in de richting van Bordet. Wanneer het niet mogelijk is deze afstand op het traject Liedts-Bordet⁷⁴ af te leggen, wordt, afhankelijk van het station van vertrek/aankomst en de reisrichting, de maximale afstand die kan worden afgelegd in aanmerking genomen (in het geval van dit voorbeeld de afstand tussen de stations van Riga en Bordet).

In een tweede fase zijn, aangezien het project slechts betrekking heeft op een traject en niet op de hele lijn, **twee benaderingen** mogelijk:

- De afgelegde afstanden houden rekening met het gedeelte van de trajecten dat buiten het traject Liedts-Bordet wordt afgelegd: bijvoorbeeld delen van de trajecten die worden afgelegd door reizigers die de metro nemen vanaf een station van het traject Liedts-Bordet in de richting van Albert en uitstappen in een station voorbij Liedts (of meer bepaald voorbij de schacht P5).
- Bij de afgelegde afstanden is alleen rekening gehouden met de delen van de trajecten die op het traject Liedts-Bordet zijn afgelegd.

De onderstaande tabel vergelijkt de maximale potentiële afgelegde afstanden die bij elk van deze twee benaderingen zijn verkregen. De kolommen "instappen"/"uitstappen" komen overeen met de instappen/uitstappen van passagiers op de betrokken stations.

⁷² OS: Ochtendspits

⁷³ Bron: Brussel Mobiliteit (2013). *Katernen van het Kenniscentrum van de mobiliteit van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest - De verplaatsingsgewoonten in Brussel*

⁷⁴ Dit is het voor reizigers toegankelijke traject, d.w.z. het traject tussen de schacht P5 en het station Bordet. Omwille van de leesbaarheid zal dit traject in het vervolg van deze tekst het "traject Liedts-Bordet" worden genoemd.

Vertrek- /aankomststation	Verplaatsingen <u>niet beperkt</u> tot het traject Liedts-Bordet				Verplaatsingen <u>beperkt</u> tot het traject Liedts-Bordet			
	Richting Noord > Bordet		Richting Bordet > Noord		Richting Noord > Bordet		Richting Bordet > Noord	
	Opstappen	Afstappen	Opstappen	Afstappen	Opstappen	Afstappen	Opstappen	Afstappen
Liedts	3,81	4,40	4,40	3,81	3,81	0,19	0,19	3,81
Colignon	3,18	4,40	4,40	3,18	3,18	0,95	0,95	3,18
Verboekhoven	2,58	4,40	4,40	2,58	2,58	1,57	1,57	2,58
Riga	2,00	4,40	4,40	2,00	2,00	2,11	2,11	2,00
Linde	1,29	4,40	4,40	1,29	1,29	2,82	2,82	1,29
Vrede	0,87	4,40	4,40	0,87	0,87	3,26	3,26	0,87
Bordet	0,00	4,40	4,40	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00

Tabel 133: Potentiële afgelegde afstanden op het traject Liedts-Bordet volgens de 2 benaderingen: delen van trajecten die al dan niet beperkt zijn tot het traject Liedts-Bordet (ARIES, 2021)

De volgende tabel geeft het jaarlijks aantal opstappen en afstappen in elk van de stations op het traject Liedts-Bordet.

Vertrek- /aankomststation	Verplaatsingen <u>niet beperkt</u> tot het traject Liedts-Bordet		Verplaatsingen <u>beperkt</u> tot het traject Liedts-Bordet	
	Richting Noord > Bordet	Richting Bordet > Noord	Richting Noord > Bordet	Richting Bordet > Noord
Liedts	2.020.275	3.100.675	3.398.150	3.724.825
Colignon	556.625	1.576.800	2.691.875	527.425
Verboekhoven	1.164.350	4.363.575	8.073.800	1.140.625
Riga	1.116.900	1.930.850	2.294.025	981.850
Linde	335.800	1.089.525	2.757.575	197.100
Vrede	25.550	956.300	994.625	164.250
Bordet	0	7.270.800	4.602.650	0

Tabel 134: Aantal jaarlijkse opstappen en afstappen in de stations van het traject Liedts-Bordet (ARIES, 2021)

Deze gegevens leiden tot een totale jaarlijkse frequentie van 57 miljoen passagiers.

Voor elk van de twee benaderingen worden in onderstaande tabel de verkregen resultaten samengevat:

- Aantal passagiers.km per jaar, verkregen uit de bovenstaande waarden;

- Emissiefactor voor de aanleg en exploitatie van het traject Liedts-Bordet ($FE_{\text{Metro Noord}}$), geëvalueerd voor aanleg en exploitatie enerzijds en alleen voor exploitatie anderzijds.

		Verplaatsingen niet beperkt tot het traject Liedts-Bordet	Verplaatsingen beperkt tot het traject Liedts-Bordet
Aantal passagiers.km		234.766.963	134.780.170
$FE_{\text{Metro Noord}}$ [geqCO ₂ /passagier.km]	Bouw en exploitatie	42,10	73,32
	Alleen exploitatie	22,76	39,64

Tabel 135: Verkregen resultaten (aantal passagiers.km en $FE_{\text{Metro Noord}}$) van de 2 benaderingen om de afgelegde afstand te evalueren – Basisproject met één buis (ARIES, 2021)

De twee benaderingen (afgelegde afstanden beperkt tot het traject Liedts-Bordet of niet) leiden tot **zeer verschillende resultaten**, maar beide zijn van belang:

- Door de verplaatsingen niet te beperken tot het traject Liedts-Bordet kan een realistischer beeld van het gebruik van de lijn M3 worden verkregen (bij veel trajecten worden ook de andere stations op de lijn aangedaan);
- Omgekeerd maakt de beperking van de verplaatsingen tot het traject Liedts-Bordet, hoewel deze overeenkomt met een meer theoretische situatie, het mogelijk de effecten te beschouwen door zich te concentreren op het voorwerp van het verzoek.

De waargenomen afwijkingen onderstrepen de **sterke gevoeligheid van de emissiefactor voor het aantal passagiers.kilometers**.

Bij gebrek aan reële gegevens is het dan ook belangrijk en essentieel om deze twee benaderingen samen te beschouwen, zonder de verkregen overeenkomstige resultaten los van elkaar te zien.

De emissiefactor is **potentieel zeer gevoelig voor het aantal passagiers**: een halvering van het aantal passagiers op de lijn zal niet leiden tot halvering van de broeikasgasemissies die door de exploitatie van de lijn worden veroorzaakt (ervan uitgaande dat de metrostellen de dienst zullen verzorgen ongeacht het aantal passagiers), maar wel tot een verdubbeling van de emissiefactor uitgedrukt in passagiers.km⁷⁵.

Deze gevoeligheid toont aan hoe belangrijk het is dat het toekomstige traject Liedts-Bordet wordt gebruikt. Het in gebruik nemen van de metro zal daarom alleen doeltreffend en interessant zijn in termen van broeikasgasemissies als het gebruik ervan wordt aangemoedigd door een gecoördineerd mobiliteitsbeleid.

De **orde van grootte van de emissiefactoren die worden verkregen voor de exploitatie alleen**, ongeacht de gekozen benadering voor de berekening van het aantal passagiers.km (afgelegde afstanden al dan niet beperkt tot het traject Liedts-Bordet), zijn vergelijkbaar met die welke in de literatuur worden gevonden, namelijk enkele eenheden of enkele tientallen geqCO₂/passagier.km. De aangetroffen waarden zijn zeer variabel. De website van de MIVB vermeldt een emissiefactor van 20 geqCO₂/passagier.km voor de metro, terwijl de Base Carbone van ADEME een emissiefactor geeft van ongeveer 3 voor de metro in Ile-de-France (Parijs) en 5 geqCO₂/passagier.km voor trams, metro's en trolleybussen in agglomeraties van andere regio's van Frankrijk⁷⁶. Ter illustratie: de emissiefactor voor de metro van Glasgow is geraamd op 42

⁷⁵ In de veronderstelling dat de afgelegde afstanden gelijk blijven: het aantal reizigers dat een bepaalde afstand tussen 2 bepaalde stations aflegt, wordt door twee gedeeld.

⁷⁶ Deze lagere waarden kunnen met name worden verklaard door de energiemix die wordt gebruikt voor de elektriciteitsproductie in Frankrijk (waar het aandeel van kernenergie groter is dan in België).

geqCO₂/passagier.km⁷⁷, terwijl een studie⁷⁸ tamelijk uiteenlopende emissiefactoren vermeldt voor de metro's van Lissabon, Bilbao en São Paulo (respectievelijk 49, 28 en 4 geqCO₂/passagier.km). In het artikel waarin deze emissiefactoren worden vermeld, wordt aangegeven dat de verschillen te wijten zijn aan verschillende factoren, zoals de energiemix, de energie-efficiëntie, de gebruikte technologie, de ouderdom van de infrastructuur en het rollend materieel, de bezettingsgraad, de frequenties, ...

In **vergelijking met de tram en wanneer alleen de exploitatie in aanmerking wordt genomen**, zijn de voor de metro verkregen emissiefactoren eveneens van een vergelijkbare orde van grootte als de emissiefactor voor trams die vermeld wordt op de website van de MIVB (30 geqCO₂/passagier.km, alleen exploitatie).

De **verkregen emissiefactoren zijn ook aanzienlijk lager dan de emissiefactoren voor de bus** (Base Carbone (gemiddelde motorisering): ongeveer 130 tot 150 geqCO₂/passagier.km afhankelijk van de grootte van de agglomeratie, MIVB: 110 geqCO₂/passagier.km) en de auto (Base Carbone (gemiddelde motorisering): 193 geqCO₂/km of 121 geqCO₂/passagier.km, uitgaande van een gemiddelde bezetting van 1,6 passagiers per voertuig).

In het geval van het **alternatief met twee buizen** zijn de verkregen waarden weergegeven in de onderstaande tabel.

		Verplaatsingen niet beperkt tot het traject Liedts-Bordet	Verplaatsingen beperkt tot het traject Liedts-Bordet
Aantal passagiers.km		234.766.963	134.780.170
FE _{Metro Noord}	Bouw en exploitatie	46,67	81,30
[geqCO ₂ / passagier.km]	Alleen exploitatie	22,93	39,94

Tabel 136: Verkregen resultaten (aantal passagiers.km en FE_{Metro Noord}) van de 2 benaderingen om de afgelegde afstand te evalueren – Alternatief met twee buizen (ARIES, 2021)

Rekening houdend met de bouw van de infrastructuren en de exploitatie van de lijn, liggen de verkregen emissiefactoren ongeveer 10% hoger dan die welke voor het basisproject zijn verkregen, maar blijven globaal binnen de hierboven vermelde orden van grootte. Wanneer alleen naar de exploitatie van de lijn wordt gekeken, zijn de emissiefactoren van het basisproject en het alternatief vergelijkbaar. Dit is te wijten aan het marginale effect van het alternatief op de exploitatie.

Vanwege de bovengenoemde veranderingen op het vlak van mobiliteit, technologieën en ook de energiemix, die moeilijk te voorspellen en te kwantificeren zijn gezien de beschouwde tijdspanne, zijn de hier gemaakte vergelijkingen gebaseerd op hypothesen van constante emissiefactoren (auto's, trams, enz.). In de praktijk moet er rekening mee worden gehouden dat deze emissiefactoren, evenals de emissiefactor voor het traject Liedts-Bordet zoals hierboven gedefinieerd, naar verwachting in de loop van de tijd zullen variëren.

⁷⁷ Bron: Department for Business, Energy and Industrial strategy (2020). *2020 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting - Methodology Paper for Conversion factors Final Report* (Verenigd Koninkrijk)

⁷⁸ Bron: Sanches de Andrade, de Almeida d'Agosto (2015). *Procedure for Calculating CO2 Emissions in the Operation of Integrated Subway and Bus Systems: Application in Rio de Janeiro Subway*

6. Ondervonden moeilijkheden

De koolstofbalans wordt **uitgevoerd vóór de uitvoering van het project**, in een stadium waarin veel parameters nog niet zijn vastgesteld. De keuzes worden in feite overgelaten aan de ondernemingen, die bij de gunning hierop antwoorden zullen moeten geven (zoals de samenstelling van het beton, de gebruikte bouwmachines, de toekomstige onderhoudswerkzaamheden, enz.). De evaluaties zijn derhalve gemaakt op basis van de bronnen en gegevens die ten tijde van de studie beschikbaar waren. Als gevolg daarvan zijn er nog veel onbekende factoren, zowel wat de bouw van de infrastructuur als de exploitatie van de lijn betreft. Daarom moest een groot aantal hypothesen worden gesteld om ordes van grootte van emissies te verkrijgen. Deze hypothesen zijn ontwikkeld op basis van gemiddelde waarden, gegevens uit de literatuur, door de MIVB of BMN verstrekte informatie of hypothesen, alsmede tijdens de verschillende valideringsfasen van het Begeleidingscomité. In tegenstelling tot koolstofbalansen die jaarlijks worden opgesteld om verslag uit te brengen over de situatie van een bedrijf, bevatten de ramingen in deze koolstofbalans dus grote onzekerheden, die voornamelijk verband houden met de activiteitsgegevens.

De koolstofbalans wordt **gemaakt op een bepaald moment**, in een bepaalde context. Gezien de omvang en het tijdschema van het project zullen sommige parameters waarschijnlijk in de loop van de tijd veranderen, afhankelijk van technologische ontwikkelingen, innovaties, mogelijkheden, enz. In het geval van vrachtvervoer bijvoorbeeld, de op twee na grootste emissiepost bij de bouw van de infrastructuur, zou het volgens de huidige informatie waarover wij beschikken passend zijn voornamelijk gebruik te maken van de binnenwateren voor het vervoer van materialen (voornamelijk productiemiddelen en uitgegraven materiaal). Het is echter mogelijk dat de (Belgische of Europese) onderneming aan wie de opdracht wordt gegund haar productiesite voor beton, staal en gewelfstenen langs een spoorlijn heeft liggen. Deze situatie zou de keuze voor een maximale verschuiving naar het spoor en bijgevolg voor een toegenomen gebruik van de stelplaats in Haren of van Schaarbeek Formation, in plaats van de haven van Brussel, noodzakelijk maken.

Met name de mobiliteitsgerelateerde indicatoren, aan de hand waarvan de resultaten van deze studie gecontextualiseerd worden, zullen in de komende decennia ongetwijfeld ook evolueren door nieuwe reispraktijken, toekomstige technologische ontwikkelingen, enz. Aangezien deze ontwikkelingen moeilijk te ramen en te begrijpen zijn, zijn voor de desbetreffende indicatoren hypothesen gesteld. Het betreft hier de emissiefactoren voor de verschillende vervoersmodi (personenwagens, bussen, trams, enz.), het aantal voertuigen.kilometers in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (waarde van het mobiliteitsplan Good Move, waarvan de evolutie verondersteld wordt constant te zijn), het geschatte aantal passagiers op het traject Liedts-Bordet, enz.).

De koolstofbalans is dus een informatief hulpmiddel bij de besluitvorming, bedoeld om de overheden en de aanvrager te informeren over de keuzes die moeten worden gemaakt ten aanzien van bepaalde opties die door de ondernemingen zullen worden gegeven tijdens de aanbestedingsfase voor de werken.

Ten slotte vormen de **totale emissies die in deze koolstofbalans zijn berekend, en die betrekking hebben op de bouw van de infrastructuur en de exploitatie van de lijn, een brutoresultaat**. De omvang en de snelheid van de afschrijving van deze emissies dankzij de winst in termen van modal shift die de toekomstige metrolijn zal meebrengen, zullen afhangen van verschillende hefbomen op gewestelijk niveau die zullen moeten worden geactiveerd om deze modal shift te bevorderen (ontwikkeling van andere lijnen van het openbaar vervoer, parkeerbeleid, vermindering van het aantal rijstroken, belastingen, stedelijke tolheffing, enz.).

De effecten van de toekomstige metrolijn in termen van broeikasgasemissies zullen worden bepaald door de wijze waarop deze hefbomen worden toegepast en kunnen derhalve naar gelang van het geval gunstig, neutraal of ongunstig zijn. Op het moment van het opstellen van deze koolstofbalans kan dit nog niet worden bepaald, aangezien de omstandigheden van de toepassing van deze hefbomen nog grotendeels onbekend zijn.

7. Aanbevelingen

7.1. Rekening houden met de koolstofbalans bij de keuze van andere materialen

Wat de broeikasgasemissies met betrekking tot materialen (de posten productiemiddelen en vrachtvervoer) betreft, heeft deze koolstofbalans betrekking op beton, staal, glas en bepaalde voorzieningen. Dit zijn de grootste posten. Bovendien is er in dit stadium van de studie weinig informatie over andere materialen beschikbaar.

De mogelijke emissies van deze andere materialen mogen echter niet worden verwaarloosd en moeten eveneens zorgvuldig worden onderzocht, met name bij de keuze van materialen voor de afwerking van de stations, voor de vloerbedekking rondom in het hele interventiegebied, enz.

Er zal rekening worden gehouden met de **aard** van de materialen zelf, maar ook met de **graad van transformatie**, de **geografische oorsprong** en de **vervoerswijze**.

7.2. Rekening houden met de mogelijkheden van herbestemming, hergebruik en recycleerbaarheid bij de keuze van materialen

De productie van nieuwe materialen leidt tot de uitstoot van broeikasgassen, soms zeer aanzienlijk.

Om deze emissies te beperken, moet de potentiële exploitatie van materialen worden geanalyseerd vanaf het moment dat zij niet meer voor hun oorspronkelijke bestemming in het project worden gebruikt. Het gaat erom het toekomstige **potentieel voor herbestemming** (gebruik van een materiaal voor hetzelfde doel), hergebruik (nieuw gebruik van een materiaal dat afval is geworden voor hetzelfde doel of een ander doel) **of recycleerbaarheid** (gebruik van de grondstof van een afvalstof voor een ander doel, waarvoor meer verwerking nodig is dan in het geval van hergebruik) van **de gebruikte materialen** te optimaliseren.

Wat de koolstofbalans betreft, worden door de **voorkeur te geven aan herbestemming boven recycling** de emissies vermeden die gepaard gaan met afvalverwerking.

Daartoe moet, naast de in de vorige aanbeveling genoemde criteria, worden gekozen voor **kwaliteitsmaterialen** die **lang meegaan** en **goed bestand zijn tegen de belastingen** waaraan zij kunnen worden blootgesteld (slijtage, schade door vandalisme, vuil, enz.).

Deze aandacht zal in het bijzonder uitgaan naar materialen met een kortere levensduur die vaker moeten worden vervangen, zoals afwerkingsmaterialen (muren, kozijnen, beglazing, zonwering, enz.) en voorzieningen (verlichting, enz.).

Bovendien moet de voorkeur worden gegeven aan **materialen en assemblages die selectieve deconstructie bevorderen**, zodat de geplaatste elementen kunnen worden teruggewonnen zonder dat er sprake is van degradatie. Het gebruik van composietmaterialen, waarvan de onderdelen minder gemakkelijk te scheiden zijn voor eventueel hergebruik, zal zoveel mogelijk worden beperkt.

Voor bekledingsmaterialen, zoals blauwe hardsteen, zal het **gebruik van grotere elementen** ook het hergebruik ervan in de hand werken. De toekomstige gebruikers van deze materialen

zullen namelijk meer vrijheid hebben dan bij materialen die in kleinere stukken of doorsneden zijn gesneden, waarvan de gebruiksmogelijkheden beperkter zullen zijn.

7.3. Inachtneming van criteria inzake koolstofbalans in het bestek voor Werken

Van sommige posten is vastgesteld dat zij aanzienlijke broeikasgasemissies veroorzaken, zoals de bouw van de infrastructuren.

Het verdient dan ook aanbeveling in het bestek voor Werken met dit aspect rekening te houden bij de vaststelling van de criteria voor het aanwijzen van de ondernemingen. De betrokken posten kunnen onder meer de volgende zijn:

- De materialen, en meer in het bijzonder de samenstelling van de verschillende te gebruiken betonsoorten (soort cement, enz.);
- De methode voor het vervoer van materialen, met inbegrip van betonnen componenten, de gewelfstenen en het staal;
- De wijze van verwijdering van het afval.

8. Samenvattende tabel van aanbevelingen

Effecten	Aanbevelingen
Broeikasgasemissies van materialen die niet in deze koolstofbalans zijn opgenomen	Bij de keuze van andere materialen moet rekening worden gehouden met de aard, de mate van transformatie, de geografische oorsprong en de wijze van aanvoer.
Broeikasgasemissies ten gevolge van de productie van nieuwe materialen	<p>Rekening houden met de mogelijkheden van herbestemming, hergebruik en recycleerbaarheid bij de keuze van materialen. Bijvoorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De voorkeur geven aan herbestemming boven recycling om de emissies te vermijden die gepaard gaan met afvalverwerking; • Kiezen voor kwaliteitsmaterialen met een lange levensduur en een hoge weerstand tegen belastingen (slijtage, scheuren, vuil, enz.), vooral voor de afwerking en voorzieningen; • De voorkeur geven aan materialen en assemblages die selectieve deconstructie bevorderen; • De voorkeur geven aan het gebruik van grotere materialen om hergebruik ervan in de hand te werken door een grotere vrijheid wat betreft het gebruik.
Aanzienlijke broeikasgasemissies voor bepaalde posten	Rekening houden met het aspect koolstofbalans bij het opstellen van de criteria voor de aanwijzing van bedrijven in het bestek voor Werken.

Tabel 137: Samenvattende tabel van aanbevelingen (ARIES, 2021)

9. Conclusies

Deze koolstofbalans bestond uit een **evaluatie van de broeikasgasemissies die door de uitvoering van het Metro Noord-project ontstaan**, als een hulpmiddel bij de besluitvorming.

Deze koolstofbalans is opgesteld met de steun van het Begeleidingscomité van het Metro Noord-project, dat de methodologie en de hypothesen gedurende het hele proces heeft gevalideerd. Bovendien werden de projectspecifieke evaluaties en gegevensverzameling uitgevoerd in samenwerking met de aanvrager (Beliris), de exploitant (MIVB) en BMN, die ook betrokken waren bij de vaststelling van bepaalde hypothesen.

Het is belangrijk te bedenken dat de koolstofbalans noodzakelijkerwijs werd uitgevoerd voordat het project werd uitgevoerd. De evaluaties zijn derhalve gemaakt op basis van de bronnen en gegevens die ten tijde van de studie beschikbaar waren, en op basis van hypothesen uiteengezet in deze studie. De koolstofbalans wordt bovendien gemaakt op een bepaald moment, in een bepaalde context. Gezien de omvang en het tijdschema van het project zullen sommige parameters daarom waarschijnlijk in de loop van de tijd veranderen, afhankelijk van technologische ontwikkelingen, innovaties, mogelijkheden, enz.

De eerste stap bij de uitvoering van deze beoordeling was de uitwerking van een **methodologie**, gericht op **de vaststelling van bepaalde terminologie, het bepalen van de doelstellingen, de reikwijdte van de studie** (de posten en bronnen van emissies die bij de beoordeling in aanmerking moeten worden genomen), de **analyse-assen** (bouw van de infrastructuur, exploitatie van de lijn, enz.) en de ontwikkeling van een **rekeninstrument**.

Het **gekozen tijdsbestek van de studie** komt overeen met een periode van 50 jaar, van 2030 tot 2080. Aangezien het onmogelijk is om op langere termijn de vele ontwikkelingen te voorspellen (mobiliteitsgedrag, technologische vooruitgang, enz.) die zich zullen voordoen, lijkt deze doelstelling realistischer, hoewel zij uiteraard een groot aantal hypothesen impliceert.

Dit **eerste deel van de studie** is gebaseerd op een **analyse van bestaande instrumenten en literatuur**, die zich richten op het gebied van openbare werken en op infrastructuurwerken die vergelijkbaar zijn met die van het Metro Noord-project.

Deze analyse heeft met name bijgedragen tot het vaststellen van de **betekenis van bepaalde termen voor de rest van de analyse**, om deze te structureren. Zo werd een emissiebron gedefinieerd als een fysische eenheid of een proces waarbij broeikasgassen in de atmosfeer vrijkomen (bv.: het vrachtvervoer dat nodig is om materiaal te vervoeren, het energieverbruik voor de productie van beton, het energieverbruik voor het in het verkeer brengen van een metrostel, het energieverbruik voor de verlichting van de stations, enz.), terwijl een emissiepost werd gedefinieerd als overeenkomend met de broeikasgasemissies van homogene bronnen of soorten bronnen.

De **belangrijkste posten van het Metro Noord-project** zijn dus de productiemiddelen (emissies die met name verband houden met de fabricage van goederen die tijdens de uitvoering van het project worden verbruikt), vrachtvervoer (emissies die verband houden met het vervoer van inkomende of uitgaande goederen), energieverbruik (directe emissies, wanneer ze verband houden met verbrandingsprocessen, of indirecte emissies, wanneer ze met name verband houden met het elektriciteitsverbruik), vluchtige emissies (met name in verband met de accidentele emissie van koelvloeistoffen uit installaties voor klimaatregeling), afschrijvingen (emissies in verband met de productie van voor de uitvoering van het project gebruikte goederen,

zoals bouwmachines), voortgebracht afval (emissies in verband met de verwerking) en verplaatsingen (emissies met name in verband met het woon-werkverkeer).

De emissies die overeenkomen met elke bron worden bepaald door het product van een activiteitsgegeven, een kwantitatieve maatstaf voor een activiteit die deze emissies veroorzaakt, (bijvoorbeeld : tonkilometers voor de aanvoer van materialen, hoeveelheden te vervaardigen beton, energieverbruik in kWh voor het in het verkeer brengen van een metrostel, energieverbruik in kWh voor de verlichting van de stations, enz.) en een emissiefactor, waarmee het activiteitsgegeven kan worden omgezet in emissiewaarden in ton CO₂-equivalent (kg eqCO₂/t.km, kg eqCO₂/kg materiaal, kg eqCO₂/kWh, ...). Aangezien de betrokken broeikasgassen van verschillende aard kunnen zijn, worden de emissies uitgedrukt in ton CO₂-equivalent. Een groot deel van de emissiefactoren die in het kader van deze koolstofbalans worden gebruikt, zijn afkomstig uit de Base Carbone, een online databank van emissiefactoren die door ADEME wordt beheerd en voortdurend wordt bijgewerkt.

Bovendien kon door de **ontwikkeling van een specifiek instrument** voor deze koolstofbalans, gevoed door elementen uit bestaande instrumenten zoals de Bilan Carbone-methode, ontwikkeld door ADEME, en het instrument CarbOptimum, ontwikkeld door de Société du Grand Paris in het kader van de uitbreiding van het metronetwerk van de Parijse regio (project Grand Paris), worden ingespeeld op de **bijzonderheden van het Metro Noord-project** (een project dat uit verschillende "deelprojecten" bestaat: tunnel, stations, P0-schacht en toegangshelling, stelplaats, ...) en aan **bepaalde doelstellingen**, zoals de controle van talrijke te manipuleren gegevens, de recuperatie van resultaten op verschillende aggregatieniveaus van het project (per analyse-as, per deelproject, per station, per bron, ...), de flexibiliteit van de gegevensinvoer naargelang hun beschikbaarheid, de parametrisering van alle berekeningen om de hypothesen tijdens de studie te kunnen variëren, ...

Het **tweede deel van de studie** bestond vervolgens uit de **beoordeling van de emissies voor de verschillende analyse-assen**, waarbij het project werd opgesplitst in de verschillende emissieposten en -bronnen. Specifiek voor de as Bouw van de infrastructuur werden de berekeningen eerst uitgevoerd voor een **basisscenario**, dat overeenstemt met de **versie van het project met één buis**. Voor sommige posten werd op lokaal niveau een **gevoeligheidsstudie** van bepaalde parameters uitgevoerd, die vervolgens werd gecontextualiseerd op de schaal van de volledige balans voor de as. De koolstofbalans werd vervolgens beoordeeld voor het **alternatief met twee buizen** en de alternatieven met de tram (alternatief 0 en alternatief 0+).

Wat de **resultaten** betreft, kunnen uit de as **Bouw van de infrastructuur** verschillende lessen worden getrokken.

De **totale emissies werden geraamd op ongeveer 245.000 teqCO₂** voor alle posten die in aanmerking werden genomen voor het **basisscenario** dat voor deze as is vastgesteld.

De **7 stations samen vormen het belangrijkste deelproject met de hoogste emissies** (ongeveer 165.000 teqCO₂), ver vóór de tunnel (ongeveer 45.000 teqCO₂), de stelplaats (ongeveer 20.000 teqCO₂) en de schacht P0 en de toegangshelling (10.000 teqCO₂).

Wat de volgorde van belangrijkheid van de verschillende posten betreft, zijn de **productiemiddelen veruit de grootste post**, met meer dan 210.000 teqCO₂. Het gaat onder meer om emissies bij de fabricage van beton, staal, glas en de fabricage van liften en roltrappen in de stations. Van deze productiemiddelen vertegenwoordigen de stations het deelproject met het grootste aandeel in de emissies (ongeveer twee derde van de emissies), gevolgd door de

tunnel (ongeveer 20%), terwijl de rest bestaat uit emissies in verband met de stelplaats en vervolgens van de schacht P0 en de toegangshelling.

Op de schaal van het hele project zijn de **emissies in verband met beton het grootst** (ongeveer 120.000 teqCO₂) en vertegenwoordigen zij iets meer dan de helft van de emissies van de post productiemiddelen en iets minder dan de helft van de totale emissies van de bouw van de infrastructuur. Deze emissies zijn geëvalueerd aan de hand van emissiefactoren die per weerstandsklasse zijn gedefinieerd, zodat rekening kan worden gehouden met de diversiteit van de betonsoorten die nodig zijn voor de verschillende toepassingen die voor het project zijn gepland (diepwanden, balken, kolommen, platen, funderingsplaat, vulling, enz.). Het gebruik van staal veroorzaakt iets minder dan de helft van de emissies van de post productiemiddelen (ongeveer 95.000 teqCO₂). **De emissies in verband met het glas en de trappen en liften zijn marginaal, met ongeveer 3.000 teqCO₂.**

De **op een na belangrijkste post betreft de emissies ten gevolge van het energieverbruik door mobiele verbrandingsbronnen** (ongeveer 20.000 teqCO₂), die overeenkomen met het gebruik van bouwmachines (graafwerken en het gebruik van materialen) en met de bevriezing van de perrons van bepaalde stations.

De emissies in verband met de uitgravingen (ongeveer 3.500 teqCO₂) zijn geëvalueerd op basis van het volume van het uitgegraven materiaal en een specifieke verbruikswaarde die is voorgesteld in het kader van de koolstofbalans die is uitgevoerd voor het project Grand Paris. Gezien het gebrek aan informatie over dit onderwerp in de literatuur, zijn de door het gebruik van bouwmachines veroorzaakte emissies (ongeveer 8.000 teqCO₂), die over het algemeen als relatief marginaal worden beschouwd in vergelijking met posten als productiemiddelen, geraamd in functie van het volume van de gebruikte materialen, waarbij gebruik is gemaakt van specifieke verbruikscijfers die zijn afgeleid van een Amerikaanse studie. Tenslotte werden de emissies veroorzaakt door de bevriezing van de grond (ongeveer 10.000 teqCO₂), noodzakelijk voor de aanleg van de perrons van bepaalde stations, geraamd op basis van de volumes grond die moeten worden bevroren en het eenheidsverbruik dat door BMN tijdens een voorstudie werd geraamd.

Emissies van inkomend en uitgaand vrachtvervoer vertegenwoordigen samen de op twee na grootste emissiepost (ongeveer 5.000 teqCO₂) en zijn afhankelijk van de geanalyseerde scenario's.

De hypothesen met betrekking tot het vrachtvervoer zijn zo opgesteld dat zij de meest waarschijnlijke scenario's op dit moment weergeven. De belangrijkste transportwijze voor de gewelfstenen en het staal, alsmede de afvoer van het niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal, wordt geacht via de binnenwateren te geschieden. Het bijkomende vervoer (voor- of natransport) van deze materialen, alsmede het hoofdtransport van andere materialen (stortklaar beton, dwarsliggers, spoorstaven, opvulmateriaal, bouwafval, herbruikbare specie) zijn geacht over de weg plaats te vinden. De gewelfstenen worden verondersteld afkomstig te zijn uit de Parijse regio (hoofdtransport van 400 km over de binnenwateren), het beton uit betoncentrales in de buurt van de werven (minder dan 10 km), de dwarsliggers uit de buurt van Brussel (hoofdtransport van 60 km over de weg), het staal voor de structuren uit de buurt van Brussel (hoofdtransport van 30 km over de binnenwateren), de looprails en derde rails uit Oostenrijk (hoofdtransport van 1.050 km over de weg) en vulmateriaal uit de omgeving van Brussel (hoofdtransport van 50 km over de weg). Er werd van uitgegaan dat het valoriseerbare vulmateriaal en het civieltechnisch afval naar de haven van Brussel zouden worden weggevoerd (hoofdtransport over de weg), terwijl het niet-valoriseerbaar uitgegraven materiaal werd geacht te worden vervoerd naar de Nederlandse grens (hoofdtransport over de binnenwateren van 70

km), vanwaar het zal worden gebruikt als vulmateriaal voor de versterking van dijken in Nederland.

Wat het inkomend vrachtvervoer (ongeveer 2.500 teqCO₂) betreft, vertegenwoordigt de aanvoer van beton naar de werven van de stations, beschouwd vanuit betoncentrales in de buurt van de werven, ongeveer een vijfde van de emissies in verband met de tunnel, waarvoor de elementen langere afstanden afleggen (gewelfstenen, dwarsliggers), wat over het algemeen hetzelfde is voor het staal. Voor het uitgaande vrachtvervoer (ongeveer 2.500 teqCO₂) betreffen de hoogste emissies de stations, als gevolg van een groter volume uitgegraven materiaal en een groter aandeel niet valoriseerbare grond die over de binnenwateren moet worden afgevoerd.

De **volgende post** betreft de **afschrijvingen** (ongeveer 2.500 teqCO₂), bestaande uit emissies door de fabricage van de tunnelboormachine, geschat op basis van de hoeveelheid staal waarvan deze is gemaakt. Deze worden geëvalueerd op ongeveer het dubbele van het elektriciteitsverbruik van de tunnelboormachine. Een van de redenen daarvoor is de grote hoeveelheid staal (ongeveer 1.500 ton).

De laatste twee posten zijn **verplaatsingen** (ongeveer 2.500 teqCO₂), die betrekking hebben op het woon-werkverkeer, hoofdzakelijk voor de werven van de stations, en **elektriciteitsverbruik** (tunnelboormachine en werfbarakken (bouwcontainers)) (ongeveer 1.500 teqCO₂), die beide minder dan 2% van de totale emissies vertegenwoordigen. De emissies in verband met de werking van de tunnelboormachine worden geraamd op basis van de hoeveelheid uitgegraven materiaal en een specifieke verbruikswaarde die in het kader van het project Grand Paris wordt voorgesteld. De emissies in verband met het gebruik van de werfbarakken worden geëvalueerd op basis van hun oppervlakte, de duur van de verschillende werven, het dagelijks aantal gebruiksuren en het specifieke jaarlijkse verbruik, die ook worden voorgesteld in de koolstofbalans van het project Grand Paris.

In de marge van het basisscenario werden gevoeligheidsstudies uitgevoerd voor de post Productiemiddelen, de posten Inkomend vrachtvervoer en Uitgaand vrachtvervoer.

Wat de **Productiemiddelen** betreft, werd de invloed van de samenstelling van het beton geanalyseerd. Gezien het marginale belang van de andere bestanddelen (zand, grind, additieven, ...) is de studie gericht op cement. Vanuit methodologisch oogpunt was de samenstelling van de betonsoorten die overeenkomt met de emissiefactoren per weerstandklasse die in het basisscenario worden gebruikt, onbekend en moest deze in een eerste stap op basis van hypothesen worden bepaald. Op deze wijze werden een emissiefactor en de hoeveelheden voor het cement alleen bepaald voor elke gebruikte betonsoort. In een tweede stap werd de emissiefactor van cement vervangen door die van cement CEM I en vervolgens door die van cement CEM III (met een gereduceerd aandeel van klinker), ten einde nieuwe emissiefactoren voor beton vast te stellen waarbij rekening werd gehouden met deze andere soorten cement, met uitzondering van de gewelfstenen waarvoor het Bestek van BMN het gebruik van cement CEM I voorschrijven. De vervanging van de aanvankelijk in het basisscenario gebruikte emissiefactoren door emissiefactoren voor beton samengesteld met cement CEM I leidt tot een toename van de totale emissies met ongeveer 35.000 teqCO₂ (van 245.000 tot 280.000 teqCO₂, d.w.z. een toename met ongeveer 14%), terwijl het gebruik van emissiefactoren voor beton gemaakt van cement CEM III (behalve voor gewelfstenen: CEM I) leidt tot een daling van de totale emissies met ongeveer 20.000 teqCO₂ (van 245.000 naar 225.000 teqCO₂, d.w.z. een daling met ongeveer 8%).

Aangezien de voorschriften van BMN inzake betonsamenstelling het gebruik van cement CEM III aanbevelen, bedraagt de totale waarde van de emissies van de meest

representatieve as Bouw van de infrastructuur van het project 225.000 teqCO₂ (d.w.z. een vermindering met ongeveer 19% in vergelijking met het gebruik van cement CEM I).

Voor **inkomend vrachtvervoer** (voor de aanvoer van de gewelfstenen en het staal) en uitgaand vrachtvervoer (voor de afvoer van niet valoriseerbaar uitgegraven materiaal) bestond de analyse erin het vervoer over de binnenwateren, dat in het basisscenario in aanmerking werd genomen, te vervangen door vervoer per spoor en vervolgens door vervoer over de weg.

Op de schaal van de totale balans van de as Bouw van de infrastructuur heeft de vervanging van het vrachtvervoer over de binnenwateren door het vrachtvervoer per spoor nagenoeg geen impact, de emissies bedragen eveneens ongeveer 245.000 teqCO₂. De vervanging van vrachtvervoer over de binnenwateren door vrachtvervoer over de weg leidt tot een toename van de emissies met ongeveer 10.000 teqCO₂, wat ongeveer 5% meer is dan voor het basisscenario.

Aangezien het vrachtvervoer over de binnenwateren het meest waarschijnlijke scenario is, blijft de waarde van de totale emissies van de meest representatieve as Bouw van de infrastructuur van het basisproject met één buis 225.000 teqCO₂.

Wat betreft de as **Exploitatie van de lijn** worden de totale emissies geraamd op ongeveer **265.000 teqCO₂** gedurende de eerste 50 jaar, tussen 2030 en 2080.

86% van deze emissies heeft betrekking op de **dagelijkse werking van de lijn**, d.w.z. het **energieverbruik in de stations en de stelplaats, het tractie-energieverbruik, het rollend materieel en de beheersactiviteiten**.

De resterende **14%** van de totale emissies heeft betrekking op de service en het onderhoud **van de lijn, met inbegrip van de incidentele vernieuwing van de infrastructuur en uitrusting**.

Het grootste deel van de emissies ten gevolge van de exploitatie van de lijn zijn **constante jaarlijkse emissies**. Sommige emissies die verband houden met de vernieuwing van de voorzieningen en infrastructuur zijn **incidenteel** en doen zich slechts twee of drie keer voor gedurende het gehele tijdsbestek van de studie (50 jaar).

De **jaarlijkse emissies van de as** bedragen ongeveer **5.000 teqCO₂**, met **pieken tot 10.000 ton** in de jaren van aankoop en vernieuwing van materiaal en voorzieningen van de infrastructuur (metrostellen, rails, afwerking). Als de **incidentele emissies** van de vernieuwing van de voorzieningen over hun levensduur **worden afgeschreven**, bedragen de totale gemiddelde emissies voor de as ongeveer **5.300 teqCO₂ per jaar**.

Wat de volgorde van belangrijkheid van de verschillende posten betreft, is **energie veruit de grootste post**, verantwoordelijk voor het overgrote deel van de emissies als gevolg van de exploitatie van de lijn. Deze post omvat het energieverbruik in de stations en de stelplaats (verwarming, verlichting, ventilatie, koeling en uitrusting) en de besparingen van tractie-energie van de metrostellen. Deze emissies worden geraamd op ongeveer **4.000 teqCO₂ per jaar**.

De **op een na grootste post betreft de emissies van de post Productiemiddelen**. Tot de Productiemiddelen behoren emissies in verband met de vervaardiging van materialen voor de voorzieningen die tijdens de levensduur van de infrastructuur worden vernieuwd (metrostellen, rails), emissies in verband met de aankoop van producten, goederen en diensten (kantooruitrusting, adviesdiensten, verzekeringen, kleding, enz.) voor het goede beheer van de lijn en de emissies met betrekking tot de service en het onderhoud van de infrastructuur. Deze laatste, die gebaseerd zijn op begrotingsramingen, worden geëvalueerd aan de hand van vereenvoudigde hypothesen, om het risico van fouten niet te vergroten. Het gaat immers om beoordelingen van activiteiten waarvoor tal van parameters momenteel onbekend zijn. Het doel

is een orde van grootte te kunnen vaststellen voor deze toekomstige emissies. Het totaal van deze jaarlijkse afgeschreven emissies bedraagt ongeveer **1.000 teqCO₂**.

De **effecten van de andere emissieposten** kunnen als **verwaarloosbaar** worden beschouwd, gezien het belang van de eerste twee posten voor de totale infrastructuur van de metrolijn. Elke post overschrijdt niet of nauwelijks 100 ton CO₂ per jaar. Samen vertegenwoordigen deze emissies minder dan 10% van de globale emissies van de as Exploitatie van de lijn.

Deze emissieposten omvatten de **afschrijvingen** (129 teqCO₂ per jaar), die betrekking hebben op de fabricage van de metrostellen die op lijn M3 zullen rijden en die reeds verscheidene jaren in dienst zijn op andere lijnen van de MIVB. De emissies worden beoordeeld op basis van hun levensduur en hun gebruiksduur op de toekomstige metrolijn.

De **vluchtige emissies** (108 teqCO₂ per jaar) komen overeen met lekken van koelgas uit de koel- en verwarmingssystemen van de stations en de stelplaats.

Ook het **inkomend vrachtvervoer** (15 teqCO₂ per jaar) is bij de exploitatie van de lijn zeer gering, aangezien dit overeenkomt met de aanvoer van voorzieningen die van tijd tot tijd worden vernieuwd. Het omvat ook de aanvoer van de aankopen van producten en voorzieningen voor het dagelijks beheer van de infrastructuur. Voor dit punt is gekozen voor een eenvoudige hypothese van het percentage van de emissies door productiemiddelen, aangezien de herkomst van alle productiemiddelen momenteel niet bekend is.

Het **afvalbeheer** (44 teqCO₂ per jaar) betreft het afval afkomstig van de passagiers in de verschillende stations en het afval dat verband houdt met de activiteiten van de stelplaats.

Ten slotte heeft ook het **woon-werkverkeer** van werknemers (23 teqCO₂ per jaar) een zeer gering jaarlijks effect.

Vervolgens werd de **koolstofbalans van het alternatief met twee buizen** opgesteld. Het alternatief, waarbij de metro's in twee afzonderlijke tunnels met kleinere diameters rijden, brengt veranderingen in de geometrie van de stations met zich mee en vereist specifieke bouwwerken, zoals vertakkingen tussen de twee sporen en verbidingsstructuren. Dit heeft gevolgen voor de meeste posten van de balans.

De **totale geraamde emissies voor de as Bouw van de infrastructuur liggen voor het alternatief met twee buizen in de orde van grootte van 305.000 teqCO₂**, voor alle in aanmerking genomen posten **voor het basisscenario**, d.w.z. **ongeveer 60.000 teqCO₂ meer** dan voor het basisproject met één buis. Dit komt overeen met een **totale stijging van 23%**.

Deze **stijging betreft vrijwel alle posten van het alternatief**, met uitzondering van de voorzieningen (liften en roltrappen), waarvan het aantal afneemt, en de afschrijvingen in verband met het gebruik van de tunnelboormachines, ondanks het feit dat twee machines nodig zijn in plaats van één. Dit is met name te wijten aan de kleinere dwarsdoorsneden in het geval van het alternatief met twee buizen (de dwarsdoorsnede van de twee tunnels in het alternatief met twee buizen is iets kleiner dan de dwarsdoorsnede van de tunnel in het basisproject met één buis) en de gestelde hypothesen.

De **stijgingen** zijn hoofdzakelijk toe te schrijven aan de grotere hoeveelheden materiaal die moeten worden gebruikt en vervoerd, en de grotere hoeveelheden uitgegraven materiaal die moeten worden verwijderd. Deze variaties leiden tot veranderingen in de meeste posten: energie, productiemiddelen, afschrijvingen, inkomend en uitgaand vrachtvervoer. De meest opvallende stijgingen betreffen de productiemiddelen (+18% in totaal en +22% voor beton) en

het energieverbruik (mobiele verbrandingsbronnen) (+78% in totaal, voornamelijk als gevolg van de grote toename van de emissies in verband met de bevrozing (+148%)). Dit laatste is te wijten aan de grotere bevroren volumes in de stations, maar ook aan de noodzaak om specifieke bouwwerken te realiseren voor het alternatief met twee buizen (bouwwerken voor vertakkingen en verbindingswerken) met deze techniek.

De **volgorde van belangrijkheid van de posten** blijft identiek aan die welke werd waargenomen voor het basisproject met één buis: de productiemiddelen (250.000 teqCO₂) vertegenwoordigen steeds het grootste deel van de emissies, gevolgd door het energieverbruik (mobiele verbrandingsbronnen) van de bouwmachines en de bevrozing voor iets meer dan 10% (ongeveer 40.000 teqCO₂). Het saldo (ongeveer 15.000 teqCO₂) is verdeeld over het vrachtvervoer (inkomend en uitgaand samen) (ongeveer 5.000 teqCO₂), verplaatsingen (woonwerkverkeer) (3.500 teqCO₂), afschrijvingen (emissies in verband met de fabricage van de tunnelboormachine) (3.000 teqCO₂) en indirect energieverbruik (elektriciteit) (2.000 teqCO₂).

Wat betreft de **productiemiddelen** is de verdeling van de emissies vergelijkbaar met die welke is waargenomen voor het basisproject met één buis: emissies van beton zijn goed voor 57% van de emissies in verband met productiemiddelen, gevolgd door staal, 42%). De geraamde emissies voor het glas en de voorzieningen zijn marginaal. De toename van de emissies in verband met beton (met ongeveer 25.000 teqCO₂) is hoofdzakelijk toe te schrijven aan de hoeveelheden beton die nodig zijn voor de bouwwerken voor het alternatief met twee buizen en, in mindere mate, voor de bouw van de tunnel. In het geval van het alternatief vertegenwoordigen de emissies in verband met beton iets minder dan de helft van de totale emissies van de as Bouw van de infrastructuur.

In de **marge van het basisscenario** werd een gevoeligheidsstudie uitgevoerd, die alleen de post Productiemiddelen betrof. Zoals bij het basisproject zijn de effecten van het vervangen van vrachtvervoer over de binnenwateren met vrachtvervoer per spoor of vrachtvervoer over de weg redelijk beperkt.

Voor beton leidt de vervanging van de oorspronkelijk in het basisscenario gebruikte emissiefactoren door emissiefactoren voor beton samengesteld met cement CEM I tot een toename van de totale emissies met ongeveer 40.000 teqCO₂ (van 305.000 tot 345.000 teqCO₂, d.w.z. een toename met ongeveer 14%), terwijl het gebruik van emissiefactoren voor beton gemaakt samengesteld met CEM III (met uitzondering van de gewelfstenen, waarvoor het gebruik van CEM I wordt opgelegd) leidt tot een daling van de totale emissies met ongeveer 25.000 teqCO₂ (van 305.000 naar 280.000 teqCO₂, d.w.z. een daling met ongeveer 8%).

Aangezien de voorschriften van BMN inzake betonsamenstelling het gebruik van cement CEM III aanbevelen, bedraagt de totale waarde van de emissies van de meest representatieve as Bouw van de infrastructuur van het project 280.000 teqCO₂ (d.w.z. een vermindering met ongeveer 19% in vergelijking met het gebruik van cement CEM I).

Wat de bouw van de infrastructuur betreft, zijn de emissies die zijn geëvalueerd voor het alternatief met twee buizen met gebruikmaking van beton samengesteld uit CEM III, derhalve 50.000 teqCO₂ hoger dan voor het basisproject met één buis, wat neerkomt op een stijging met 23%.

Wat de **as Exploitatie van de lijn** betreft, maakt de configuratie met twee buizen het mogelijk de totale emissies te verminderen met **41 teqCO₂ per jaar**, d.w.z. **een totale vermindering met 2.050 teqCO₂ gedurende de eerste 50 jaar** van gebruik van de metro. Deze verlaging van de emissies heeft alleen betrekking op de **post Energie**, met een vermindering van het

energieverbruik in de stations als gevolg van een vermindering van het aantal uitrustingen (liften en roltrappen).

Deze **vermindering kan als verwaarloosbaar worden beschouwd**, gezien de jaarlijkse impact van ongeveer 5.000 teqCO₂ voor de exploitatie van de lijn. De configuratie met twee buizen heeft derhalve geen positieve of negatieve gevolgen voor de koolstofemissies in verband met deze exploitatie, in vergelijking met de configuratie van het basisproject met één buis.

Ook werd de koolstofbalans van het **alternatief Tram** opgesteld. Aangezien dit alternatief minder in detail is uitgewerkt dan het ingevoerde project, wordt de evaluatie vereenvoudigd op basis van de verkregen informatie.

Drie scenario's worden geëvalueerd: **de bestaande situatie**, die overeenkomt met het huidige energieverbruik van **lijn 55** met het gebruik van de T3000 trams (Korte trams) die in 2020 op het traject Liedts-Bordet rijden; **het alternatief 0**, dat overeenkomt met het energieverbruik van de lijn na de integratie van de T4000 (Lange trams) en de technische interventies en operaties die nodig zijn voor de integratie van deze nieuwe trams; en ten slotte **het alternatief 0+**, dat overeenkomt met het energieverbruik van de lijn na invoering van een eigen bedding over het hele traject Liedts-Bordet en bediend door de T4000.

De vergelijking van de bestaande situatie met de twee alternatieven geschiedt in twee stappen. In de eerste plaats wordt een kwalitatieve vergelijking gemaakt van de tractie-energie in verband met de werking van de lijn op basis van parameters voor het rollend materieel en kenmerken van de lijn. Vervolgens wordt een vereenvoudigde koolstofbalans gebruikt om de koolstofemissies te ramen die worden veroorzaakt door de renovatiewerkzaamheden aan de lijn voor de alternatieven 0 en 0+.

Met betrekking tot de **werking van de lijn** kunnen verschillende conclusies worden getrokken.

Ten eerste maakt het gebruik van een T4000 in de alternatieven 0- en 0+ een verhoging van de maximumcapaciteit van de tram met 40% mogelijk in vergelijking met de bestaande situatie, wat mogelijk leidt tot een vermindering van de koolstofemissies per persoon.

Door het grotere gewicht en afmetingen van de tram waardoor deze meer personen kan vervoeren, is het **theoretische energieverbruik van een T4000 hoger dan dat van een T3000**. Deze **theoretische verbruiken** moeten echter **worden genuanceerd door de context**: de parameters van verplaatsingen van de trams worden in de drie scenario's geacht volkomen identiek te zijn, wat niet het geval is bij de vergelijking van de bestaande situatie met de alternatieven.

In de bestaande situatie zijn de trams op lijn 55 onderhevig aan talrijke onregelmatigheden, waardoor hun energieverbruik toeneemt door het herhaaldelijk optrekken en afremmen. Bij alternatief 0 verandert het verkeer zeer weinig en blijft het onregelmatig, wat hierdoor leidt tot een nog hoger energieverbruik, door de T4000 trams die meer verbruiken. Bij alternatief 0+ daarentegen verbetert de aanleg van een eigen bedding de regelmatigheid van de lijn en vermindert het energieverbruik, door een ecologische rijstijl te bevorderen, en dus de koolstofemissies.

Voor de **renovatiewerken aan de lijn** kunnen de koolstofemissies voor de alternatieven 0 en 0+ worden beoordeeld in vergelijking met de bestaande situatie. In deze twee beoordelingen komen de emissies alleen overeen met de posten Energie en Productiemiddelen. De energiegerelateerde emissies zijn de emissies die worden veroorzaakt door de werking van de bouwmachines, terwijl de emissies in verband met de productiemiddelen overeenkomen met de

fabricage van het beton en het staal die bij de verschillende renovatiewerken worden gebruikt (rails, vloerbekleding, haltes).

In alternatief 0 worden de koolstofemissies geraamd op ongeveer **600 teqCO₂** en komen overeen met de vernieuwing van bepaalde sporen (rails) en de verplaatsing en uitbreiding van bepaalde haltes om ze aan te passen aan de integratie van de T4000, waarvan de afmetingen groter zijn dan die van de T3000.

In het alternatief 0+ bedragen de ontstane koolstofemissies ongeveer **8.000 teqCO₂** en komen overeen met het invoeren van een eigen bedding voor het traject Liedts-Bordet, rekening houdend met de volledige vernieuwing van de rails, alsook, bij wijze van hypothese, de vernieuwing van de rijwegen van gevel tot gevel, langs het volledige tracé van de lijn.

De verkregen resultaten voor de bouw van de infrastructuur en voor de exploitatie van de lijn werden vervolgens gecontextualiseerd.

Deze contextualisering is gebaseerd op **emissies op jaarbasis, rekening houdend met een afschrijvingsperiode van 50 jaar voor emissies uit de bouw.**

Zoals eerder vermeld, werden voor het **basisproject met één buis** de broeikasgasemissies in verband met de bouw van de infrastructuur geraamd op 225.000 teqCO₂ (indien het beton samengesteld is uit cement CEM III), terwijl de totale emissies door de exploitatie van de lijn gedurende de eerste 50 jaar werden geraamd op 265.000 teqCO₂.

Uitgaande van een afschrijvingstermijn van 50 jaar voor de emissies in verband met de bouw, bedragen de emissies op jaarbasis in verband met de bouw 4.540 teqCO₂, terwijl de gemiddelde emissies voor de exploitatie 5.350 teqCO₂ bedragen.

Als alleen rekening wordt gehouden met de exploitatie van de lijn, vertegenwoordigen de emissies op jaarbasis ongeveer 0,5% van de **jaarlijkse broeikasgasemissies van de transportsector in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest**. In 2018 bedroegen deze 991 kteqCO₂, tegen een gemiddelde van 1.018 kteqCO₂ voor de jaren 1990 tot 2018⁷⁹. Als we zowel de bouw van de infrastructuur als de exploitatie van de lijn in aanmerking nemen, bedraagt dit percentage ongeveer 1%.

Vervolgens **kan worden geraamd hoeveel voertuigen.kilometers van personenauto's per jaar zouden moeten worden vermeden om de emissies op jaarbasis te compenseren.**

Dit jaarlijkse overeenkomstige aantal te vermijden voertuigen.kilometers kan worden afgeleid aan de hand van de emissiefactor voor personenauto's, namelijk 0,193 kg eqCO₂/km (of 0,193 kg eqCO₂/voertuig.km). Rekening houdend met de emissies die verband houden met de bouw van de infrastructuur en de exploitatie van de lijn, komt dit neer op ongeveer 51.000.000 voertuigen.km per jaar.

Dit cijfer kan vervolgens worden **vergeleken met het aantal voertuigen.kilometers voor personenauto's in het mobiliteitsplan Good Move 2016**, dat 3.084.413.000 bedraagt voor het hele Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Ervan uitgaande dat dit aantal constant blijft voor de duur van het vastgestelde tijdsbestek, vertegenwoordigen de aanleg en de exploitatie van de metro dan 1,7% van de verplaatsingen per personenwagen op een jaar, uitgedrukt in voertuigen.km. Dit percentage bedraagt 0,9% wanneer alleen naar de exploitatie wordt gekeken. Het betreft een evaluatie die op een bepaald moment wordt gemaakt. Gezien de beschouwde

⁷⁹ Bron: inventaris van broeikasgasemissies van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (indiening 2020)

afschrijvingsperiode zal dit aandeel in de loop van de tijd waarschijnlijk veranderen ten gevolge van nieuwe mobiliteitspraktijken, technologische vooruitgang, enz.

In het geval van het alternatief met twee buizen bedragen de geannualiseerde emissies 5.600 teqCO₂ en 5.400 teqCO₂ voor respectievelijk de bouw en exploitatie. Het te vermijden aantal voertuigen.kilometers bedraagt dan ongeveer 57.000.000 voertuigen.km per jaar. Het aantal voertuigen.kilometers voor personenwegens in het mobiliteitsplan Good Move 2016 vertegenwoordigt 1,8% van het aantal afgelegde ritten op een jaar, uitgedrukt in voertuigen.km, waarbij steeds wordt uitgegaan van een constante evolutie over de duur van het vastgestelde tijdsbestek. De emissies op jaarbasis liggen bijgevolg 10% hoger in het geval van het alternatief met twee buizen dan in het basisproject met één buis.

Vervolgens werd een **projectspecifieke emissiefactor**, uitgedrukt in geqCO₂/passagier.km, geëvalueerd, waarbij enerzijds de bouw en exploitatie samen en anderzijds alleen de exploitatie inaanmerking werden genomen, zowel voor het basisproject als voor het alternatief met twee buizen. Gezien het gebrek aan reële exploitatiegegevens moet de raming van het aantal passagiers.km met de nodige voorzichtigheid worden beschouwd. Daarom zijn de emissiefactoren voor het project beoordeeld volgens twee verschillende benaderingen, waarbij ofwel alleen rekening wordt gehouden met de verplaatsingen op het traject Liedts-Bordet van de lijn M3, ofwel ook met de verplaatsingen van en naar een station op het traject Liedts-Bordet op de delen van de lijn M3 die daarbuiten liggen.

In het geval dat alleen de exploitatie in aanmerking wordt genomen, zijn de verkregen emissiefactoren van een vergelijkbare orde van grootte als die welke in de literatuur worden gevonden, d.w.z. van de orde van enkele eenheden tot enkele tientallen geqCO₂/passagier.km. Dit soort emissiefactoren varieert aanzienlijk van het ene netwerk tot het andere als gevolg van een aantal factoren: energiemix, energie-efficiëntie, gebruikte technologie, leeftijd van de infrastructuur en het rollend materieel, bezettingsgraad, frequentie, enz. De verkregen orden van grootte zijn ook vergelijkbaar met die voor trams, terwijl ze veel lager zijn dan die voor bussen (waarvan de waarden meer dan 100 geqCO₂/passagier.km bedragen). Nogmaals, deze beoordeling is op een bepaald tijdstip gemaakt en kan in de loop van de tijd veranderen, evenals de emissiefactoren waarmee de resultaten worden vergeleken.

10. Referenties

10.1. Referentiekader

- Nationaal Energie- en Klimaatplan (NEKP) 2021-2030
- Brussels Hoofdstedelijk Gewest (2019). *Energie- en Klimaatplan 2030*

10.2. Publicaties

- ABC (Association Bilan Carbone), Bilan Carbone (2017). *Bilan Carbone V8. Objectifs et principes de comptabilisation*
- ADEME, Bilan Carbone, CSTB (2010). *Bilan Carbone appliqué au bâtiment – Guide méthodologique*
- ADEME, FNTP (2015). *Réaliser une analyse environnementale dans les Travaux Publics*
- AwAC (2014). *Guide pour réaliser un bilan des émissions de Gaz à Effet de Serre en Wallonie et pour utiliser le calculateur de l'AwAC*
- Brussel Milieu (2019). *Gedocumenteerde fiche nr. 4: De internationale akkoorden en Belgische en Brusselse verbintenissen in de strijd tegen klimaatverandering*
- Brussel Mobiliteit (2013). *Katernen van het Kenniscentrum van de mobiliteit van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest - De verplaatsingsgewoonten in Brussel*
- Chester M. en Horvath A. (2008). *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2*
- CIFFUL (2013). *Praktische Gids voor hergebruik - hertoepassing van bouw materiaal*
- CSTC (2018). *Specificatie van beton volgens de normen NBN EN 206 en NBN B 15-001*
- Department for Business, Energy and Industrial strategy (2020). *2020 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting - Methodology Paper for Conversion factors Final Report (Verenigd Koninkrijk)*
- GIEC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*
- GSV. *Belgisch staal in 2018 – Jaarverslag*
- Inventaris van broeikasgasemissies van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (indiening 2020)
- Max Bögl (sd). *La technologie de congélation des sols*
- Société du Grand Paris (2012). *Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique – Tronçon Pont-de-Sèvres <> Noisy-Champs (ligne rouge – 15 sud) – Etude d'impact - Méthodologie d'élaboration de CarbOptimum, outil de calcul pour l'estimation des émissions et consommations de CO₂ induites par la réalisation du Réseau de transport public du Grand Paris*

- FOD Mobiliteit (2007). *Kaart van de waterwegen* (online beschikbaar via de volgende link: https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/downloads/Belgium_GE.pdf)
- FOD Mobiliteit (2019). *Federale diagnostiek woon-werkverkeer 2017*
- MIVB (2015). *4. Principe pour l'aménagement d'un arrêt accessible et confortable dans le réseau de surface*
- MIVB (2018). *Statistieken 2017*
- Stratec (2018). *Grand Paris Express – Bilan des émissions de gaz à effet de serre du Grand Paris Express (mise à jour 2018) – Impacts attendus sur les émissions de GES*

10.3. Artikels

- A. Guggemos en A. Horvath (2005). *Comparison of Environmental Effects of Steel- and Concrete-Framed Buildings* (in Journal of Infrastructure systems, vol. 11)
- N. Roussel, C. Lanos en Z. Toutou (2003). *Remontée d'un anneau de voussoir : modélisation et analyse paramétrique* (in Revue Française de Géotechnique, nr. 104)
- FOD Mobiliteit en Vervoer (2017). *Kilometers afgelegd door Belgische voertuigen in 2016*
- R. Tornaghi (1982). *La congélation des sols* (in Revue Française de Géotechnique, nr. 21)

10.4. Geraadpleegde websites

- Base Carbone (ADEME): <https://www.bilans-ges.ademe.fr> (geraadpleegd op 1 april 2021)
- Europese Raad: <https://www.consilium.europa.eu/fr/policies/climate-change/> (geraadpleegd op 1 april 2021)
- Eurostat: <https://ec.europa.eu> (geraadpleegd op 1 april 2021)
- FOD Mobiliteit: <https://mobilit.belgium.be> (geraadpleegd op 1 april 2021)
- MIVB: <http://www.stib-mivb.be> (geraadpleegd op 1 april 2021)
- Techni.ch: <http://www.techni.ch> (geraadpleegd op 1 april 2021)
- TOTEM: <https://www.totem-building.be> (geraadpleegd op 1 april 2021)

VERTALINGEN VAN DE LEGENDES

Blz	FR	NL
10	Figuur 4	zie figuur 1 blz 4
	Contexte	Context
	Ambitions et objectifs	Ambities en doelstellingen
	Methodologie / Périmètre	Methodologie / Perimeter
	Périmètre Organisationnel	Organisatorische Perimeter
	Géographie	Geografie
	Site, installations, ...	Site, inrichtingen, ...
	Périmètre opérationnel (processus)	Operationele perimeter (proces)



aries[®]
CONSULTANTS

Rue des Combattants 96 | B-1301 Bierges
Rue Royale 55 - 3^{ème} étage | B-1000 Bruxelles
T +32 (0) 10 430 110 | T +32 (0) 2 655 86 50
info@ariesconsultants.be | www.ariesconsultants.be