

April 2021

Effectenstudie

Bouwproject "**Metro Noord**"

Perceel 2: Lijn Liedts-Bordet

BOEK II – Tunnel

Aanvrager :



Gemandateerd door :



Auteur van de studie :



In samenwerking met :



Inhoud

DEEL 1: BESCHRIJVING VAN HET PROJECT	3
1. BESCHRIJVING VAN HET ONDERGRONDSE GEDEELTE VAN HET PROJECT	5
1.1. <i>Het tracé</i>	5
1.2. <i>De tunnel</i>	8
1.3. <i>Kerncijfers van de tunnel</i>	13
1.4. <i>Aanverwante kunstwerken</i>	14
1.4.1. Schacht P0	14
1.4.2. Toegangshelling tot de stelplaats	15
1.4.3. Aansluiting op P5 station Brussel-Noord	16
2. BESCHRIJVINGEN VAN DE TECHNISCHE OPLOSSINGEN VAN HET TUNNELONTWERP EN DE AANVERWANTE KUNSTWERKEN	18
2.1. <i>Uitvoeringsprincipe van de tunnel</i>	18
2.2. <i>Keuze van de tunnelboormachine</i>	21
2.3. <i>Uitvoeringsprincipe van de schacht P0 en de toegangshelling (BMN, 2020)</i>	24
2.4. <i>Waterdichtheid van de kunstwerken</i>	24
2.4.1. Waterdichtheid van de tunnel	24
2.4.2. Waterdichtheid van de stations	25
3. BESCHRIJVING VAN DE MOEILIKHEDEN IN VERBAND MET DE CONSTRUCTIEWIJZE EN DE UITBATINGSWIJZE VAN HET PROJECT	26
3.1. <i>Moeilijkheden in verband met het boren door middel van de tunnelboormachine</i>	26
3.2. <i>Moeilijkheden in verband met de uitbating</i>	28
3.2.1. Tracé in het plan	28
3.2.2. Lengteprofiel	29
4. BESCHRIJVING VAN DE WERF	30
4.1. <i>Kwantiteit van de materialen</i>	30
4.2. <i>Uitvoeringsfase</i>	30
4.3. <i>Tijdelijke installaties en inplanting van de werf</i>	31
4.3.1. Werfinstallaties – Site van de stelplaats van Haren	33
4.3.2. Werfinstallaties - Schacht P5	37
4.4. <i>Beheer van de afgegraven grond en transport van de materialen</i>	38
4.4.1. Kerncijfers	38
4.4.2. Wat betreft specifiek de afgegraven grond van de tunnel	39
4.4.3. Transport van de afgegraven grond	41
4.4.4. Mogelijke bestemming van de afgegraven grond exclusief valorisatie	46
5. UITVOERINGSPLANNING	47
6. ANALYSE VAN DE EFFECTEN VAN HET PROJECT TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIESITUATIE EN DE AANBEVELINGEN	49
6.1. <i>Mobiliteit</i>	49
6.1.1. Vergelijkende modellering BMN - MUSTI	49
6.1.2. Conclusie van de vergelijkende analyse	56
6.1.3. Beoordeling van de modale verschuiving als gevolg van de ingebruikname van de Metro Noord.	59
6.1.4. Effecten van het vervoer van de afgegraven grond (van de tunnel) volgens de 2 weerhouden laadhypothese	63
6.2. <i>Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed</i>	73
6.2.1. Impact op de percelen	73
6.2.2. Impact op het erfgoed	91
6.2.3. Effecten van het vervoer van de afgegraven grond (van de tunnel) volgens de 2 weerhouden hypothesen	99
6.3. <i>Sociale en economische aspecten</i>	100
6.3.1. Investeringskosten	100
6.3.2. Plaatsing in perspectief van de investeringskosten	102

6.3.3. Planning van de werkzaamheden	103
6.3.4. Effecten van het vervoer van de afgegraven grond (van de tunnel) volgens de 2 weerhouden hypothesen	104
6.3.5. Impact op de grond	107
6.3.6. Conclusies	107
6.4. Bodem, ondergrond en grondwater	108
6.4.1. Geografische zone	108
6.4.2. Reglementair kader en referenties	108
6.4.3. Beschrijving van de huidige situatie.....	110
6.4.4. Analyse van de effecten van het project ten opzichte van de referentiesituatie.....	116
6.4.5. Door de aanvrager genomen maatregelen ter voorkoming, opheffing of beperking van de negatieve effecten op de bodem en het water	157
6.4.6. Aanbevelingen voor het project, alternatieven en varianten.....	158
6.4.7. Samenvattende tabel van de aanbevelingen.....	162
6.4.8. Conclusie inzake de bodem en het water	164
6.5. Fauna en flora	167
6.6. Luchtkwaliteit	167
6.7. Energie	167
6.7.1. Terugwinning van de remenergie.....	168
6.7.2. Geothermisch potentieel.....	170
6.7.3. Aanbevelingen voor het project	182
6.8. Geluids- en trillingsomgeving.....	182
6.8.1. Geografische zone	182
6.8.2. Reglementair kader en referenties	182
6.8.3. Beschrijving van de huidige situatie.....	182
6.8.4. Analyse van de effecten van het project ten opzichte van de referentiesituatie.....	191
6.8.5. Door de aanvrager genomen maatregelen ter voorkoming, opheffing of beperking van de negatieve geluids- en trillingseffecten	208
6.8.6. Aanbevelingen voor het project, alternatieven en varianten tijdens de uitbatingfase.....	208
6.8.7. Analyse van de geluids- en trillingseffecten van de werf	209
6.8.8. Conclusies inzake het geluid en de trillingen.....	233
6.9. Mens zijn	234
6.9.1. Reglementair kader en referenties	234
6.9.2. Reglementair kader en referenties voorzien in de vergunningsaanvraag	235
6.9.3. Objectieve veiligheid.....	236
6.9.4. Aanbevelingen voor het project	263
6.9.5. Samenvattende tabel van de aanbevelingen voor het enkele buisproject	268
6.9.6. Conclusie.....	271
6.10. Microklimaat.....	274
6.11. Afval	274
7. SAMENVATTENDE TABELLEN VAN DE AANBEVELINGEN VOOR HET PROJECT	275
7.1. Mobiliteit	275
7.2. Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed.....	276
7.3. Sociale en economische aspecten	276
7.4. Bodem, ondergrond en grondwater	276
7.5. Fauna en flora	278
7.6. Luchtkwaliteit.....	279
7.7. Energie	279
7.8. Geluids- en trillingsomgeving.....	279
7.9. Mens zijn	280
7.10. Microklimaat.....	283
7.11. Afval	283
DEEL 2: BESCHRIJVING VAN HET ONTWERPALTERNATIEF (DUBBELE BUIS).....	285
1. INLEIDING	287
2. PRESENTATIE VAN HET DUBBELE BUISALTERNATIEF	287

2.1. <i>Het tracé</i>	287
2.1.1. Sectie station Brussel-Noord – Liedts.....	289
2.1.2. Sectie Colignon – Verboekhoven.....	290
2.1.3. Sectie Verboekhoven - Riga.....	291
2.1.4. Sectie Riga - Linde.....	291
2.1.5. Sectie Linde - Vrede.....	292
2.1.6. Sectie Vrede - Bordet.....	293
2.1.7. Sectie Bordet – Schacht P0.....	294
2.2. <i>De tunnels</i>	295
2.2.1. Lengteprofiel.....	295
2.2.2. Typedoorsnede van de tunnel.....	297
2.3. <i>Kerncijfers van de dubbele buistunnel</i>	299
2.4. <i>Aanverwante kunstwerken</i>	299
2.4.1. Wijziging van schacht P0 en de toegangshelling.....	299
2.4.2. Aansluiting op schacht P5.....	301
2.5. <i>Onderlinge verbindingswerken tussen de sporen (vertakkingskunstwerken)</i>	304
2.5.1. Werkingsprincipe.....	304
2.5.2. De voor de lijn N/B voorziene verbindingswerken.....	307
3. <i>BESCHRIJVING VAN DE MOEILIKHEDEN IN VERBAND MET DE CONSTRUCTIEWIJZE EN DE UITBATINGSWIJZE VAN HET ALTERNATIEF</i>	312
3.1. <i>Moeilijkheden in verband met het boren van twee tunnels</i>	312
4. <i>BESCHRIJVINGEN VAN DE TECHNISCHE OPLOSSINGEN VAN HET TUNNELONTWERP MET TWEE BUIZEN</i>	314
4.1. <i>Uitvoeringsprincipe van de tunnels</i>	314
4.2. <i>Uitvoeringsprincipe van de vertakkingskunstwerken</i>	314
4.3. <i>Uitvoeringsprincipe van het verbindingskunstwerk P5 - Liedts</i>	315
4.4. <i>Uitvoeringsprincipe van de tussenverbindingen</i>	315
5. <i>BESCHRIJVING VAN DE WERF</i>	316
5.1. <i>Kwantiteit van de materialen</i>	316
5.2. <i>Uitvoeringsfase</i>	317
5.2.1. Graven van de cross-passage.....	320
5.3. <i>Tijdelijke installaties en inplanting van de werf</i>	320
5.3.1. Schacht P0 en helling.....	320
5.3.2. Tunnels.....	320
5.3.3. Vertakkingskunstwerken en verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts.....	320
5.4. <i>Beheer van het afval</i>	320
5.5. <i>Uitvoeringsplanning</i>	321
6. <i>ANALYSE VAN DE EFFECTEN VAN HET ALTERNATIEF DUBBELE BUIS TEN OPZICHTE VAN DE REFERENTIESITUATIE (TEN OPZICHTE VAN DE SITUATIE MET ÉÉN BUIS) EN AANBEVELINGEN</i>	324
6.1. <i>Mobiliteit</i>	324
6.2. <i>Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed</i>	324
6.2.1. Conformiteit van het tracé met het reglementaire kader.....	324
6.2.2. Impact op de percelen.....	324
6.2.3. Impact op het erfgoed.....	325
6.3. <i>Sociale en economische aspecten</i>	326
6.3.1. Investeringskosten.....	326
6.3.2. Planning van de werkzaamheden.....	329
6.3.3. Impact op de grond.....	329
6.4. <i>Bodem, ondergrond en grondwater</i>	330
6.4.1. Grondwater.....	330
6.4.2. Verzakkingen.....	340
6.4.3. Vertakkingskunstwerken.....	353
6.4.4. Aanbevelingen.....	353
6.5. <i>Fauna en flora</i>	355
6.6. <i>Luchtkwaliteit</i>	355
6.7. <i>Energie</i>	355

6.8. Geluids- en trillingsomgeving.....	355
6.8.1. Analyse van de effecten van de dubbele buisvariant	355
6.8.2. Aanbevelingen	356
6.9. Mens zijn	357
6.9.1. Objectieve veiligheid.....	357
6.10. Microklimaat.....	371
6.11. Afval	371
7. SAMENVATTENDE TABEL VAN DE AANBEVELINGEN VOOR DE DUBBELE BUISVARIANT	372
7.1.1. Mobiliteit	372
7.1.2. Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed.....	372
7.1.3. Sociale en economische aspecten	372
7.1.4. Bodem, ondergrond en grondwater.....	372
7.1.5. Fauna en flora.....	372
7.1.6. Luchtkwaliteit.....	372
7.1.7. Energie.....	372
7.1.8. Geluids- en trillingsomgeving.....	373
7.1.9. Mens zijn	373
8. SYNTHESE VAN DE VERGELIJKING ENKELE BUISVARIANT - DUBBELE BUISVARIANT	374
8.1. Lengteprofiel.....	374
8.2. Hoeveelheid afgegraven grond	375
8.2.1. Tunnels	375
8.2.2. Stations	375
8.2.3. Sporen	376
8.3. Conclusies.....	377
DEEL 3: NOTA INZAKE DE TECHNISCHE HAALBAARHEID VAN EEN VERLENGING VOORBIJ BORDET.....	381
1.1. Exploitatieschema van de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning en moeilijkheden.....	383
1.2. Exploitatieschema in geval van een verlenging en beperkingen	385
1.2.1. Optie Bordet	387
1.2.2. Optie Décathlon/Citydev (lang aansluitstuk).....	389
1.2.3. Optie Zweefvliegtuigstraat (kort aansluitstuk)	390
1.2.4. Optie Décathlon (korte aanloop)	392
1.3. Conclusie inzake de technische haalbaarheid van een verlengingskunstwerk naar het noordoosten	394
1.3.1. Context van de analyse.....	394
1.3.2. Synthese van het oordeel van de studiegelastigde.....	398
1.3.3. Conclusie inzake de technische haalbaarheid van een verlengingskunstwerk.....	400
1.4. Aanbevelingen inzake de technische haalbaarheid van een verlengingskunstwerk.....	401
DEEL 4: ANALYSE VAN DE EFFECTEN VAN DE VARIANT VOOR HET BEHEER VAN HET INFILTRATIEWATER.....	403
1.1. Beschrijving van de variant	405
1.1.1. Algemeen principe.....	405
1.1.2. Identificatie van de uitmondingen en bemalingspunten.....	406
1.1.3. Uitmonding 1: Liedts/station Brussel-Noord naar de Zenne.....	407
1.1.4. Uitmonding 2: Linde naar de Kerkebeek	408
1.2. Analyse van de variant - Bodem, ondergrond en grondwater.....	410
1.2.1. Debieten bij de uitmondingen.....	410
1.2.2. Principe van de bemalings-/opvoerstations	411
1.2.3. Zuivering van het draineringswater	419
1.2.4. Impact op de riolering en het zuiveringsstation	426
1.2.5. Impact op het netwerk van het oppervlaktewater	426
1.3. Analyse van de variant - Energie	430
1.4. Analyse van de variant - sociaal en economisch.....	431
1.5. Conclusie en aanbevelingen inzake de variant voor het waterbeheer.....	431

Sommige figuren 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

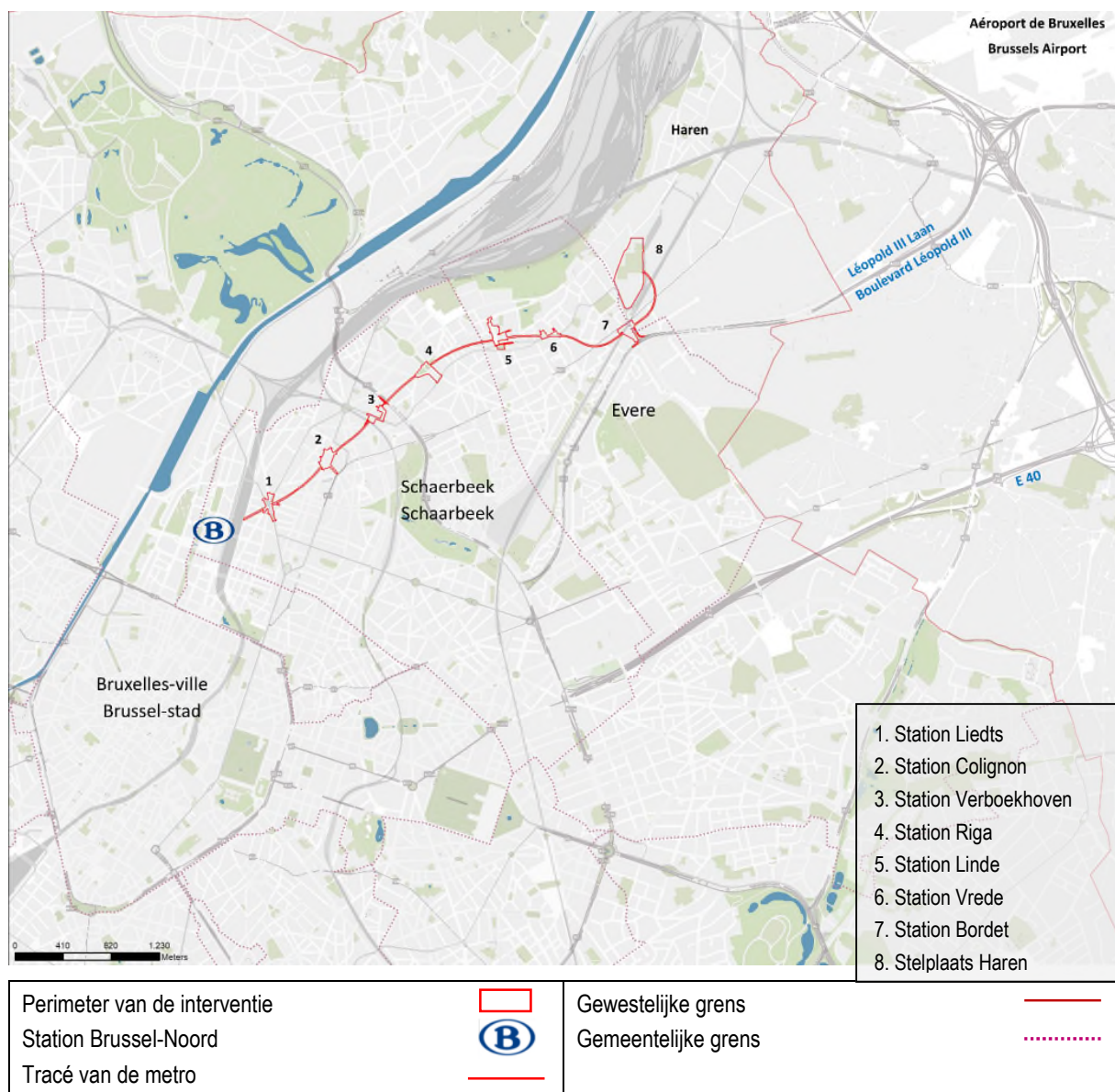
Deel 1: Beschrijving van het project

1. Beschrijving van het ondergrondse gedeelte van het project

1.1. Het tracé

Het tracé van de nieuwe metrolijn bestaat uit een door een tunnelboormachine gegraven tunnel van 4,5 km lengte. Het tracé strekt zich uit van station Brussel-Noord ter hoogte van de Aarschotstraat tot de onderhoudssite bij de stelplaats in Haren. Het verbindt in de gemeenten Schaarbeek, Evere, Brussel in de volgende volgorde de stations Liedts, Colignon, Verboekhoven, Riga, Linde, Vrede en Bordet en de stelplaats in Haren, zoals aangegeven op de onderstaande Figuur. De kaart is tevens overgenomen in de cartografische atlas.

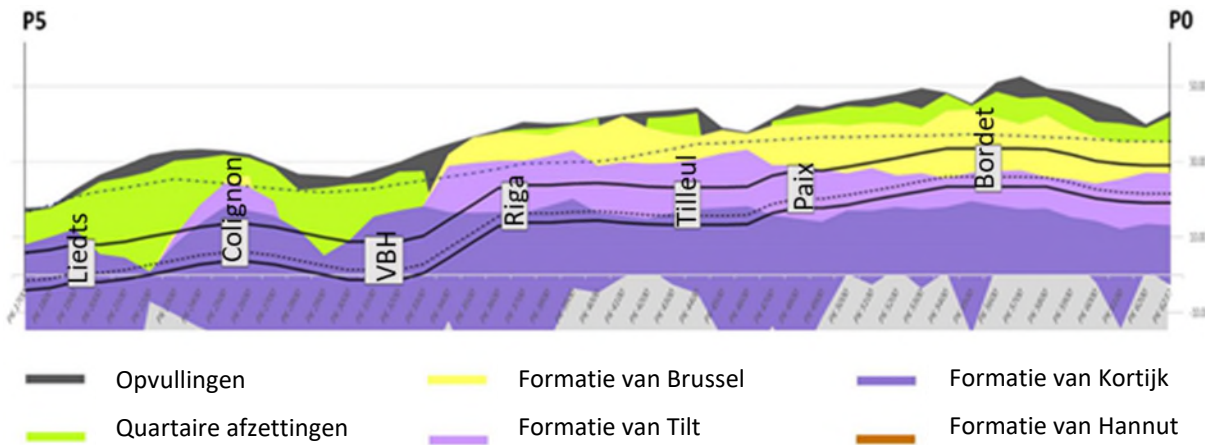
Zie cartografische atlas, kaart 1.1. Metro – Locatie in de bestaande structuur



Figuur 1: Tracé van de metro en locatie van de toekomstige stations (ARIES op basis van BruGIS, 2019)

De beschrijving van de ondergrondse situatie is opgenomen in Boek I (deel 2 – Hoofdstuk 3).

In de onderstaande figuur wordt de geologische context langs het tracé van de tunnel samengevat.



Figuur 2: Geologische synthese langs het tracé (BMN, 2020)

De ondergrond van de zone waar het project betrekking op heeft, bestaat van boven naar beneden uit de volgende terreinen:

	Beschrijving	Locatie	diktes
Diverse opvullingen	Heterogeen gesteente	Waargenomen over het gehele tracé	Variabel (0 tot 12-14m)
Quartaire afzettingen			
Nivo-eolische afzettingen van het Weichselien	Grijs-geel leem waarvan het mechanisch gedrag sterk verband houdt met de aanwezigheid van water.	Waargenomen op de vlakten en de hellingen.	De dikte van het leem is groter aan de westelijke helling (tot 16 m), terwijl op de vlakten het leem meer sporadisch voorkomt (0 tot 6 m).
Riviersediment	Aangeslibte klei, leem, zand en grint	Waargenomen in de Zennevallei (station Brussel-Noord en station Liedts) en Maalbeekvallei (station Verboekhoven).	Variabele dikte die kan oplopen tot 10 m in de Zennevallei en 15 m in de Maalbeekvallei.

Tertiaire afzettingen			
Formatie van Lede	Fijn grijs glauconifeer kalkzand, soms verdicht met enig kalkhoudend zandsteen.	Weinig of niet waargenomen over het gehele tracé, maar zou lokaal voor kunnen komen tussen station Bordet en de stelplaats in Haren.	Minder dan 3 m.
Formatie van Brussel	Het Brussels zand is van boven naar beneden samengesteld uit een laag kalkhoudend zandsteen geperforeerd door talrijke schelpen, fijn zeer kalkhoudend zand, redelijk fijn weinig kalkhoudend zand, vrij grof kwartszand en grof wit of roodachtig kiezelzand.	Aanwezig op een groot deel van het tracé behalve in de Zennevallei (station Brussel-Noord en station Liedts) en de Maalbeekvallei (station Verboekhoven).	De dikte is variabel langs het tracé van enkele meters ter hoogte van station Colignon en neemt geleidelijk toe aan de rechter oever van de Zenne en bereikt bijna 25 m tussen station Bordet en de stelplaats in Haren.
Formatie van Tielt	Heterogene, zeer fijne, kleihoudende zandafzettingen, groenachtig (glauconifeer), met lokaal kleilenzes en doorlopende of lensvormige banken van samengeklonterde fossielen	De formatie doet zich voor ten noord-westen van het tracé tussen de stations Verboeckhoven en Riga.	Met een gemiddelde dikte van 20 m neemt de formatie geleidelijk af vanaf station Riga richting het zuid-westen.
Formatie van Kortrijk	De formatie van Kortrijk kenmerkt zich door een afwisseling van zandhoudende klei en kleihoudend zand.	De formatie wordt doorkruist door het gehele tracé.	Van circa 60 m
<i>Lid van Aalbeke</i>	Donkere homogene klei en compact	Moeilijk waarneembaar en identificeerbaar wegens de geringe dikte en potentiële erosie.	Wanneer het wordt waargenomen heeft het een gemiddelde dikte van circa 4 m.
<i>Lid van Moen</i>	Zeer heterogene afzetting van leem en zand met kleihoudende zones.	Waargenomen over het gehele tracé	Variabele dikte van circa 5 m in de valleien (stations Liedts en Verboeckhoven) en van circa 20 tot 3 m op de hellingen en vlakten.

<p><i>Lid van Saint-Maur</i></p>	<p>Klei tot fijne leem met dunne leemlagen Uit het onderzoek is de aanwezigheid gebleken van twee doorlopende kleilagen, onderbroken door een laag kleihoudend zand. Op de rechter oever van de Zenne (vanaf station Riga), is alleen de bovenste kleilaag, evenals de tussenliggende laag kleihoudend zand onderzocht.</p>	<p>Waargenomen over het gehele tracé</p>	<p>Met een totale dikte van 30 m; uit het onderzoek heeft men het volgende kunnen onderscheiden: Een bovenste kleilaag met een dikte van circa 5 m. Een kleihoudende zandlaag met een dikte van circa 5 tot 8 meter. Een kleilaag waarvan de totale dikte niet onderzocht werd, maar die 15 tot 20 m zou kunnen bereiken.</p>
----------------------------------	---	--	--

Tabel 1: Synthese van de geologische formaties langs het tracé van de tunnel

Vanuit hydrogeologisch oogpunt loopt het tracé van het project voornamelijk door twee geologische formaties:

- in het Lid van Moen (aquitard) tussen station Brussel-Noord en station Verboekhoven.
- in de Formaties van Tielt (aquifeer/aquitard) en van Brussel (aquifeer) ,op de hoogtes van de oostelijke helling van de Zenne.

De stroming van het grondwater loopt overwegend naar het Noord-Noord-Westen. Op basis van de hydrogeologische modellering van Artesia (2020), blijkt dat de impact op de piëzometrie (daling van het grondwaterpeil) bij de stations iets groter is in de formaties van Tielt, na het derde station Verboekhoven tot aan Bordet. Wat betreft de gedraineerde debieten per tunneldeel (in l/u.km) zijn deze hoger bij de stations Brussel-Noord / Liedts (met waarden die kunnen oplopen tot 380 l/u.km) om geleidelijk af te nemen naarmate men naar het Noord-Oosten gaat (tot 250 l/u.km bij de stations Linde / Vrede / Bordet). Het gemiddelde totale debiet bedraagt circa 280 l/u/km voor het gehele tracé.

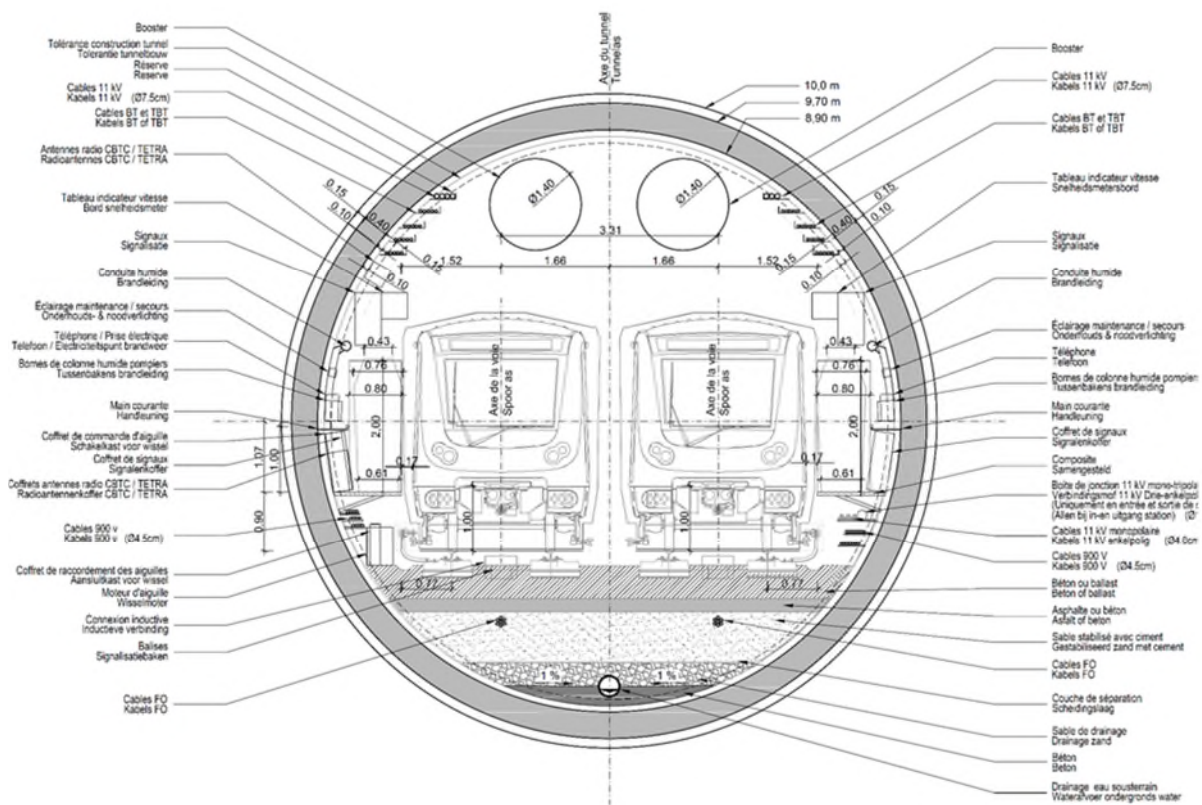
1.2. De tunnel

De onderstaande Figuur toont een doorsnede van de tunnel. Deze verbindt de verschillende stations in de vorm van een enkele buis die beide metropolen bevat.

De eigenschappen van de tunnel zijn als volgt:

- Buitendiameter van de tunnel: 9,7 m.
- Binnendiameter van de tunnel: 8,9 m.
- Functionele diameter van de tunnel: 8,7 m.

- Bekleding van gewapend beton (segmenten) van 40 cm dikte.
- Inspuiting van mortel in de ringvormige leegte (ruimte tussen de buitenzijde van de segmenten en het natuurlijke terrein).
- Aanbrenging van voegen tussen de segmenten om de waterdichtheid van de tunnel te verzekeren.
- Aanbrenging van een drain in het lage gedeelte van de tunnel voor de opvang van infiltratiewater.
- Twee looppaden aan weerszijden van de sporen zijn voorzien ter hoogte van de vloer van de metrorijtuigen voor de evacuatie van de passagiers in geval van incidenten in de tunnel.
- Twee boosters aan het plafond



Figuur 3: Dwarsdoorsnede van de enkele buistunnel (BMN, 2018)

De Figuur is tevens overgenomen in de cartografische atlas.

Zie cartografische atlas, kaart 2.1. Tunnel, Dwarsdoorsneden

De doorsnede van het lengteprofiel van de tunnel is overgenomen in de cartografische atlas.

Zie cartografische atlas, kaart 2.2. Tunnel, Lengteprofiel

De tunnel is een kunstwerk dat uitgevoerd wordt door de tunnelboormachine op een graafdiepte van gemiddeld 23 m (laagste boorpunt) onder het maaiveld. De bouw van de tunnel wordt uitgevoerd vanuit de schacht P0 bij de toekomstige stelplaats van Haren tot aan de schacht P5 in de nabijheid van station Brussel-Noord waarin de tunnelboormachine gedemonteerd zal worden.

Het lengteprofiel van de tunnel werd bepaald op basis van de bouw-, onderhouds-, uitbatings- en veiligheidshypothese. De aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning meldt de volgende voordelen:

- *"Bouw: vereenvoudiging van de besturing van de tunnelboormachine (beperkte verticale richtingveranderingen).*
- *Onderhoud: beperkt aantal lage punten en dus van het aantal bemalingsstations.*
- *Uitbating: comfort voor de reizigers in verband met de beperkte verticale richtingveranderingen.*
- *Stabiliteit en beperking van de verzakking: het lengteprofiel houdt rekening met de verschillende berekeningen die uitgevoerd werden tijdens de studiefase (op basis van de uitgevoerde bodemproeven)."*

De tunnel is verdeeld in meerdere tunnelsecties die overeenkomen met de verbindingen tussen elk station. De eigenschappen van elke sectie zijn als volgt:

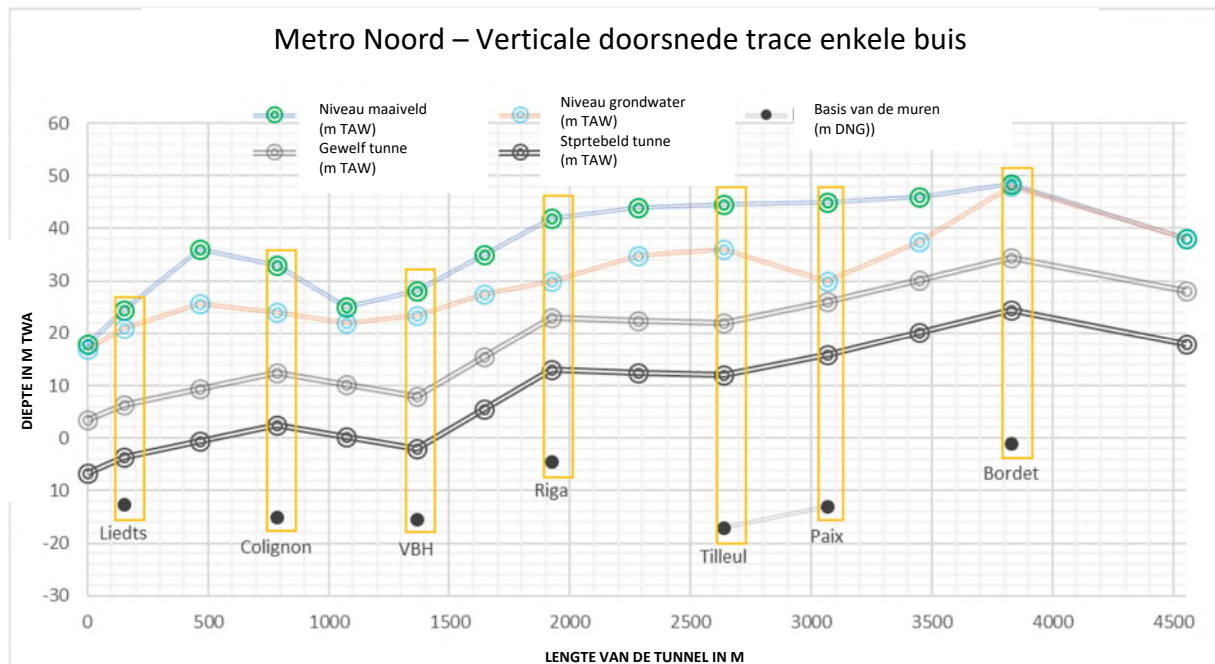
- P0 – Bordet:
 - Minimale bedekkingshoogte¹: 9,1 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 24 m.
 - Lengte van de sectie: 620,1 m.
 - Maximale helling: 1,6%
 - Minimale boogstraal: 250 m.
 - Het tracé loopt onder de proefsporen van de MIVB, lijn 26 van Infrabel, het stormbekken van de NAVO en de winkelzone van Evere.
 - Onder het niveau van het grondwater.
 - In de formaties van Brussel en Tielt.
- Bordet – Vrede:
 - Minimale bedekkingshoogte: 12,4 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 19,6 m.
 - Lengte van de sectie: 636,72 m.
 - Maximale helling: 1,2%
 - Minimale boogstraal: 250 m.
 - Het tracé loopt onder lijn 26 van Infrabel en een woongebied.
 - Onder het niveau van het grondwater.

¹ De bedekkingshoogte komt overeen met de hoogte van het terrein boven het dak van de tunnel

- In de formaties van Brussel en Tielt.
- Vrede – Linde:
 - Minimale bedekkingshoogte: 12,7 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 18,2 m.
 - Lengte van de sectie: 315,33 m.
 - Maximale helling: 3,2%
 - Minimale boogstraal: 1000 m.
 - Het tracé loopt onder de muziekacademie van Evere en 't Hoeveke (beschermd gebouw).
 - Onder het niveau van het grondwater.
 - In de formaties van Tielt en Kortrijk.
- Linde - Riga:
 - Minimale bedekkingshoogte: 15,4 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 22 m.
 - Lengte van de sectie: 603,5 m.
 - Maximale helling: 0,5%
 - Minimale boogstraal: 1000 m.
 - Het tracé loopt onder de Champagnatschool in Schaarbeek.
 - Onder het niveau van het grondwater.
 - In de formaties van Kortrijk.
- Riga – Verboekhoven:
 - Minimale bedekkingshoogte: 15,8 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 24 m.
 - Lengte van de sectie: 429,6 m.
 - Maximale helling: 4,2%
 - Minimale boogstraal: 1920 m.
 - Het tracé loopt onder het tankstation van de Eugène Demolderstraat, meerdere als zeer gevoelig beoordeelde woongebouwen en tramlijn 7.
 - Onder het niveau van het grondwater.
 - In de formaties van Kortrijk.
- Verboekhoven – Colignon :
 - Minimale bedekkingshoogte: 14,9 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 18,5 m.
 - Lengte van de sectie: 466,4 m.
 - Maximale helling: 1,4%

- Minimale boogstraal: 3000 m.
- Het tracé loopt onder lijn 161 van Infrabel, 2 grote collectoren ter hoogte van de Voltairelaan en de Metsysstraat en tramlijn 92.
- Onder het niveau van het grondwater.
- In de formaties van Kortrijk.
- Colignon – Liedts:
 - Minimale bedekkingshoogte: 19,1 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 22,4 m.
 - Lengte van de sectie: 507,8 m.
 - Maximale helling: 1,3%
 - Minimale boogstraal: 1145 m.
 - Het tracé loopt onder het Gemeentehuis van Schaarbeek.
 - Onder het niveau van het grondwater.
 - In de formaties van Kortrijk.
- Liedts – P5:
 - Minimale bedekkingshoogte: 12,1 m.
 - Maximale bedekkingshoogte: 14,4 m.
 - Lengte van de sectie: 193,66 m.
 - Maximale helling: 3%
 - Rechthoekig tracé.
 - Het tracé loopt onder meerdere als zeer gevoelig beschouwde gebouwen.
 - Onder het niveau van het grondwater.
 - In de formaties van Kortrijk.

De onderstaande Figuur vat de niveaus van het maaiveld, het grondwater en de tunnel bij de stations samen.



Figuur 4 : Schematische doorsnede van de diepte van de tunnel bij de stations (BMN 2020).

1.3. Kerncijfers van de tunnel

Totale lengte van de tunnel (inclusief stations)	4544 m.
Totale lengte van de tunnel (exclusief stations)	3773 m.
Functionele nuttige diameter	8,70 m.
Binnendiameter	8,90 m.
Buiten(boor)diameter	9,70 m.
Diameter van de tunnelboormachine	10 m.
Gemiddelde graafsnelheid	260 m per maand
Voortgangssnelheid van de tunnelboormachine	10m/d
Gemiddelde graafdiepte	Circa 23 m
Maximale graafdiepte	Circa 30 m
Uitgegraven volume (materiaal ter plaatse)	296.339 m ³
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	385.241 m ³
Uitgegraven volume per strekkende meter	79 m ³
Duur van de graafwerkzaamheden	26 maanden

Tabel 2: Kerncijfers van de tunnel (BMN, 2020)

1.4. Aanverwante kunstwerken

1.4.1. Schacht P0

De schacht P0 bevindt zich op het terrein van de toekomstige metrostelplaats van Haren, op de site van de bestaande tram-/busstelplaats van de MIVB (zie onderstaande Figuur).

Deze schacht is bestemd voor de assemblage en het vertrek van de tunnelboormachine. De tunnelboormachine wordt eerst volledig geassembleerd bij zijn fabrikant. Al deze elementen (graafwiel, schild, volgtreinen en ander componenten) worden vervolgens gedemonteerd en naar de schacht P0 gebracht in de vorm van losse onderdelen. De elementen van de tunnelboormachine worden vervolgens afgedaald en geassembleerd in deze schacht en de toegangshelling. Om de tunnelboormachine te laten werken, moet minstens het graafwiel, het schild, het installatiesysteem van de segmenten en de eerste drie wagons van de volgtrein geassembleerd zijn. De rest van de wagons wordt naarmate de voortgang toegevoegd. Opdat de tunnelboormachine kan starten, wordt een startstolp geïnstalleerd (zie onderstaande Figuur). Deze stolp wordt tegen de gegoten wand van de schacht P0 gehecht. Deze stolp maakt tevens de waterdichtheid mogelijk tussen de gegoten wand en de tunnelboormachine tijdens het begin van de graafwerkzaamheden.

Er is een drukframe (metalen structuur verankerd aan het stortebed van de schacht) voorzien zodat de tunnelboormachine door de gegoten wanden kan. Aan de oppervlakte boven de eerste meters van de tunnel is tevens een voorlading aan vulmateriaal voorzien waarvoor de bedekkingshoogte ontoereikend is voor de voortgang van het schild en de volgtrein.



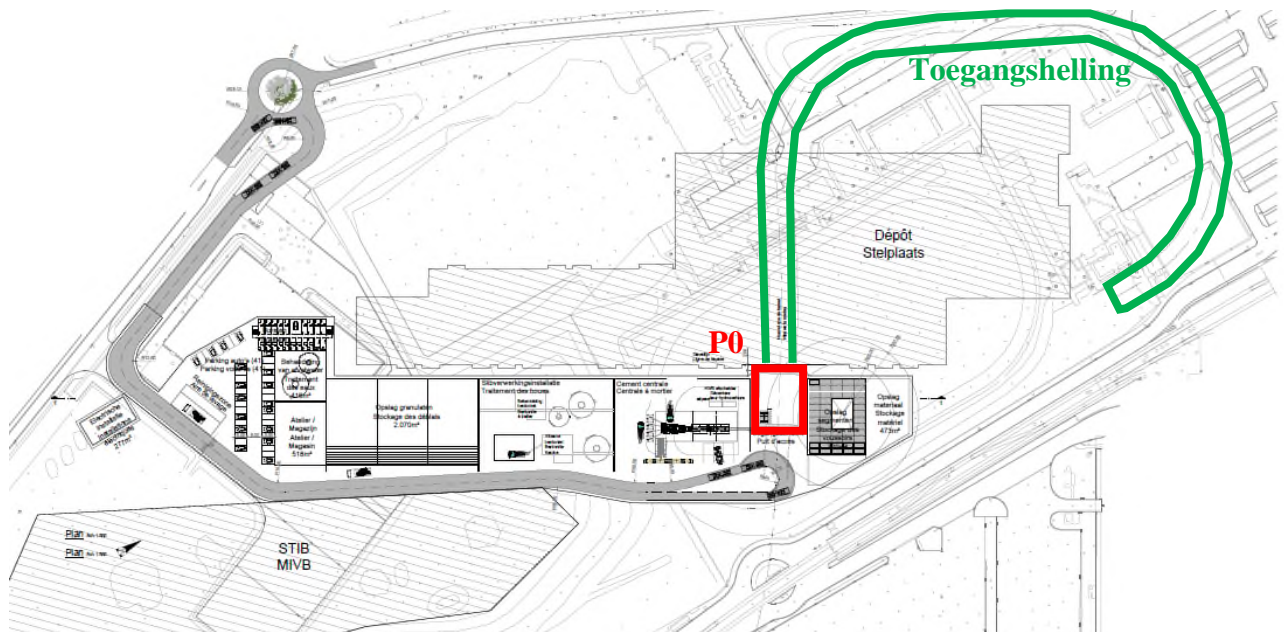
Figuur 5: Illustratie van een startstolp van een tunnelboormachine (Le Grand Paris Express, 2019)

Tijdens de start van de tunnelboormachine is de trechter van de schacht gesloten. Alle logistiek van de tunnelboormachine vindt plaats via de toegangshelling.

De eigenschappen van de tunnel zijn als volgt (volledige plannen in de cartografische atlas):

- Uitgevoerd in gegoten wanden.
- Afgraving in de open lucht.
- Diepte: 18,3 m.
- Rechthoekige schacht van 22,4 m lang en 16 m breed.

- Installatie van een wapening van glasvezel ter hoogte van de wand die door de tunnelboormachine doorboord zal worden.



Figuur 6: Locatie van de schacht P0 in Haren op de site van de MIVB en schema van de toegangshelling (BMN, 2020)

1.4.2. Toegangshelling tot de stelplaats

De toegangshelling bevindt zich eveneens op het terrein van de toekomstige metrostelplaats van Haren, op de site van de bestaande tram-/busstelplaats van de MIVB en wordt verbonden met de schacht P0 (zie onderstaande Figuur). Deze toegangshelling wordt gebouwd onder de toekomstige stelplaats van Haren.

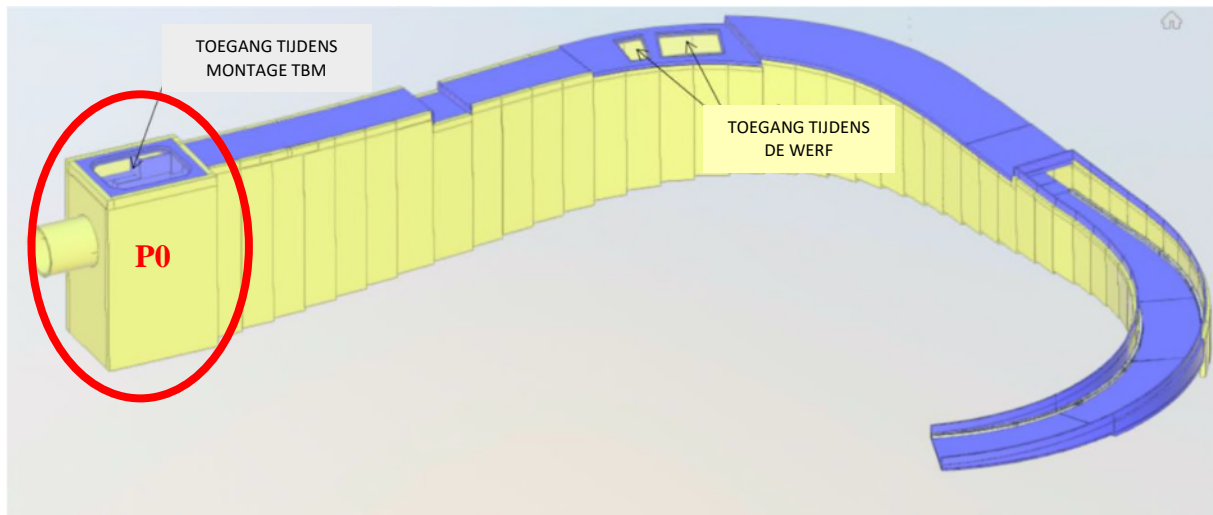
Deze helling heeft meerdere functies:

- Tijdens de bouwfase van de tunnel: de helling wordt gebruikt voor de assemblage en desassemblage van de tunnelboormachine.
- Tijdens het graven van de tunnelboormachine: de logistieke toegangszone bestaat uit 2 trechters boven de toegangshelling (zie onderstaand 3D-model). Deze trechters werden toegevoegd ten opzichte van de plannen van de stedenbouwkundige vergunning om de bouw van de tunnel en van de stelplaats te kunnen scheiden.
- Tijdens de uitbatingsfase: de toegangshelling vormt het startpunt van de metrolijn waarmee de stelplaats bereikt kan worden.

De eigenschappen van elke helling zijn als volgt:

- Uitgevoerd in gegoten wanden.
- Afgraving in de open lucht.
- Tracé met een kromme van een straal van gemiddeld 58 m.
- Helling: 5%

- Verbindt de stelzone (niveau + 37,5m TAW) met het stortebed van de schacht P0.
- Er zijn 2 trechters voorzien in het dak van de helling voor de logistieke toegang tijdens de werf (zie onderstaande Figuur).



Figuur 7: 3D-model van P0 en de toegangshelling (BMN, 2020)

1.4.3. Aansluiting op P5 station Brussel-Noord

De schacht P5 bevindt zich in de Aarschotstraat in Schaarbeek, in de nabijheid van het station Brussel-Noord (zie onderstaande Figuur).

Deze schacht heeft een dubbele functie:

- Uitvoering van de bouw van de verbinding onder het station Brussel-Noord (uitgevoerd voorafgaand aan de bouw van de metrotunnel).
- De ontvangst van de tunnelboormachine en de demontage daarvan.

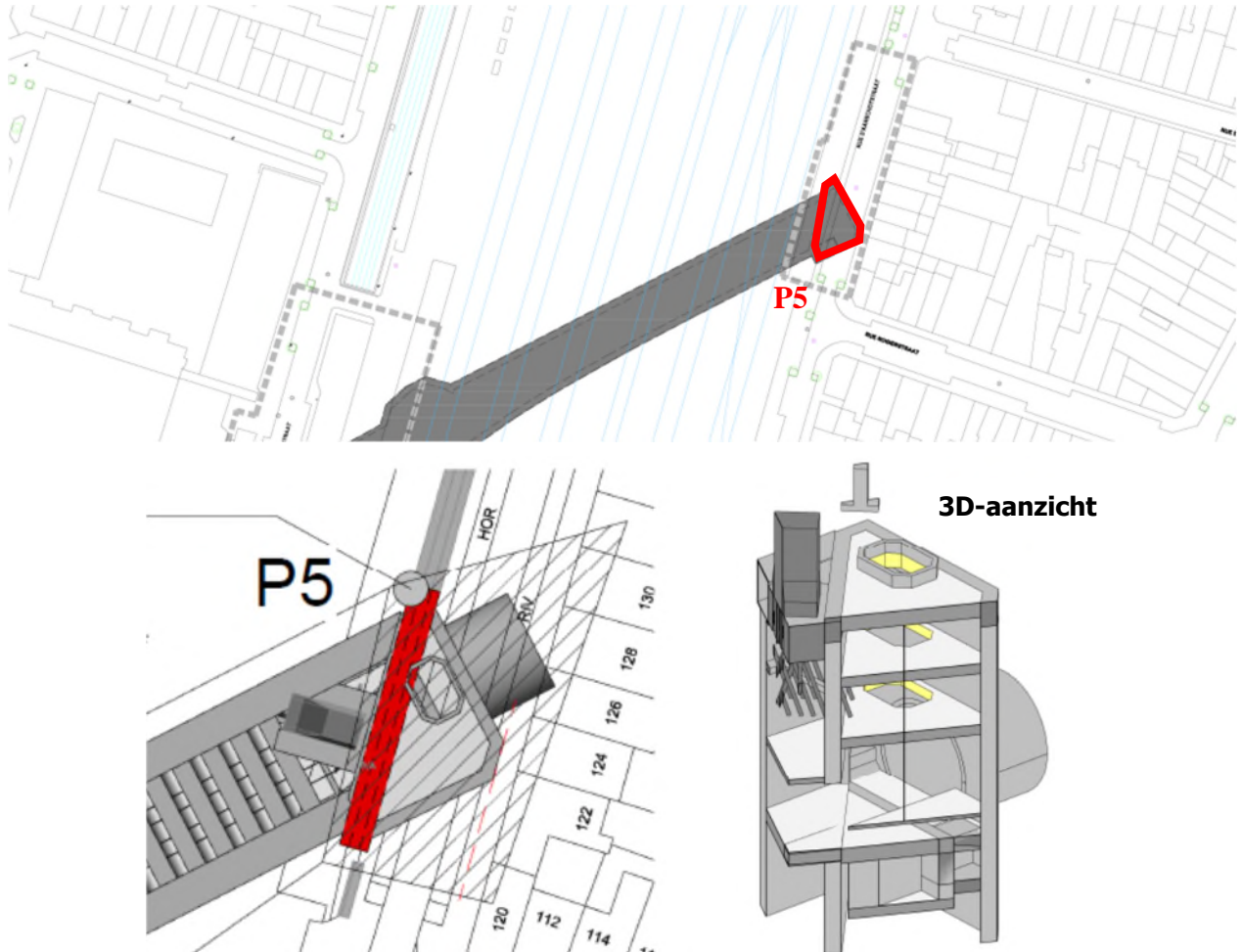
Wanneer de werf voltooid is, wordt deze put aan de oppervlakte afgesloten. Alleen een uitgang voor een technische toegang in geval van een incident in de tunnel zal behouden blijven.

De eigenschappen van de schacht zijn als volgt:

- Uitgevoerd in gegoten wanden.
- Afgraving in de open lucht.
- Diepte: 22,72 m.
- Schacht met een lengte van 14 m en een breedte 5 m.

Voor de schacht P5 is een aparte vergunning aangevraagd (perceel 1) die toegekend werd op 25 mei 2020.

De impact betreffende de vergunning waar deze studie betrekking op heeft zal dus beperkt zijn tot de tijdelijke opening van de weg om de kop van de tunnelboormachine te verwijderen.



Figuur 8: Locatie van schacht P5 en technische doorsnede (BMN – Stratec Effectenstudie station Brussel-Noord)

2. Beschrijvingen van de technische oplossingen van het tunnelontwerp en de aanverwante kunstwerken

2.1. Uitvoeringsprincipe van de tunnel

Er bestaan 3 uitvoeringstechnieken voor een tunnel:

- In een open sleuf (de tunnel wordt gegraven vanaf de oppervlakte, vaak aangeduid als "Cut & Cover").
- Ondergronds graven met behulp van traditionele middelen (springstoffen, mechanisch hakken...).
- Ondergronds boren met een tunnelboormachine.

Gelet op de geologische/hydrogeologische context, de diepte van de tunnel, maar ook de locatie (dichte stedelijke zone), wordt voorkeur gegeven aan het boren met behulp van een tunnelboormachine.

Het graven van de tunnel met een tunnelboormachine biedt namelijk meerdere voordelen:

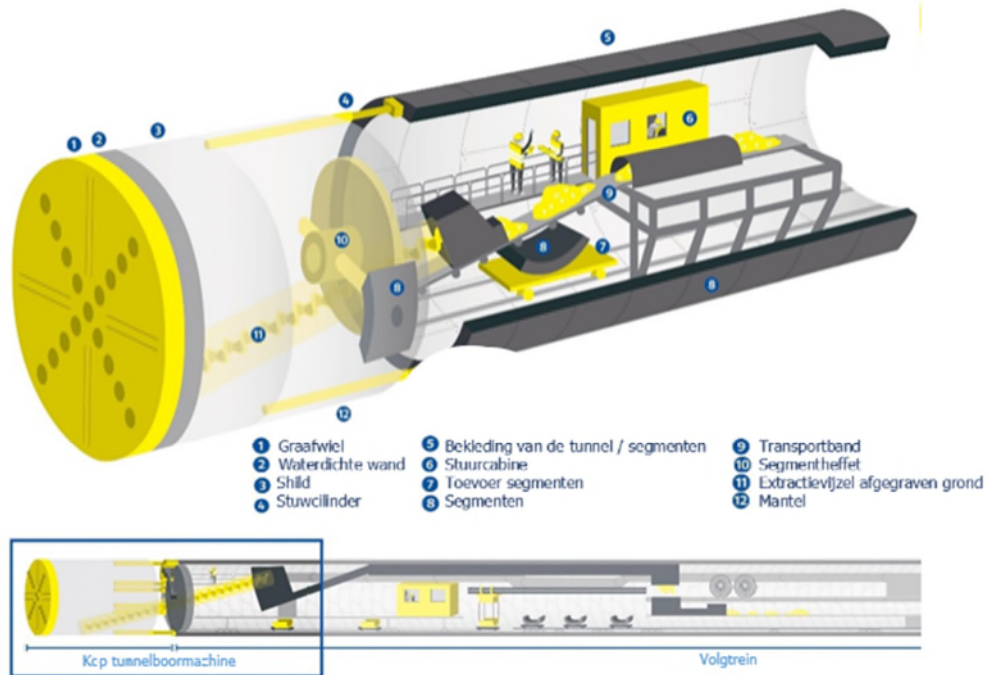
- betere controle en aanzienlijke vermindering van de verzakking en de trillingen aan de oppervlakte.
- in tegenstelling tot graven in open sleuven, wordt de hinder aan de oppervlakte beperkt of zelfs geheel voorkomen.
- het verhoogt tevens de veiligheid van de arbeiders tijdens het graven.

Een tunnelboormachine maakt het mogelijk om tunnels te graven in de aarde en in gesteente. Deze kleine ondergrondse fabriek maakt het mogelijk om meerdere werkzaamheden tegelijkertijd uit te voeren: het boren, de ondersteuning van de doorkruiste terreinen en de aanbrenging van betonwanden die de tunnel vormen.

De tunnelboormachine is verdeeld in drie grote delen (zie onderstaande Figuur):

- De kop van de tunnelboormachine, bestaande uit:
 - het graafwiel (1) dat de bodem doorboort door rotatie.
 - het schild (3), een metalen cilinder die het doorkruiste terrein op zijn plaats houdt voordat de betonwanden aangebracht worden en die de motor en de mechanische uitrusting van de tunnelboormachine beschermt.
 - de motor, waarmee niet alleen het graafwiel aangedreven wordt, maar die ook de voortgang van de tunnelboormachine mogelijk maakt.
- De volgtrein, die alle nodige logistieke elementen bevat voor de goede werking van de tunnelboormachine, aan de achterzijde van de kop van de tunnelboormachine;
- De grondtransportrein (9, 11) voor het laden en afvoeren van de afgegraven grond (aangeduid als "slurry") vanuit het graafwiel (via de extractievijzel, 11) tot de uitlading aan de oppervlakte).

De tunnelboormachine, "een treinfabriek"



Figuur 9: Tunnelboormachine, prinsipeschema (Grand Paris Express, 2019)

Het werk wordt uitgevoerd in 2 fasen: het afgraven van de grond via het graafwiel en de aanbrenging van de betonwanden van de tunnel.

De betonwanden van de tunnel bestaan uit geprefabriceerde gebogen elementen van beton, segmenten (8) genoemd, die met elkaar verbonden worden tot een ring. Een ring bestaat uit zeven segmenten van 40 cm dikte.

Naarmate de voorgang van het graven, brengt de tunnelboormachine de segmenten aan en na elke aangebrachte ring steunt de tunnelboormachine op de segmenten van de ring en gaat hij vooruit door middel van drukcilinders (4).

De door het graafwiel afgegraven grond wordt afgevoerd naar de achterzijde van de tunnelboormachine door middel van de extractievijzel (11).

De tunnelboormachine wordt eerst volledig geassembleerd bij zijn fabrikant. Al deze elementen (graafwiel, schild, volgtreinen en ander componenten) worden vervolgens gedemonteerd en met vrachtwagens voor uitzonderlijk vervoer naar de schacht P0 gebracht in de vorm van losse onderdelen. De elementen van de tunnelboormachine worden vervolgens afgedaald in de schacht P0 en geassembleerd in de schacht en de toegangshelling.



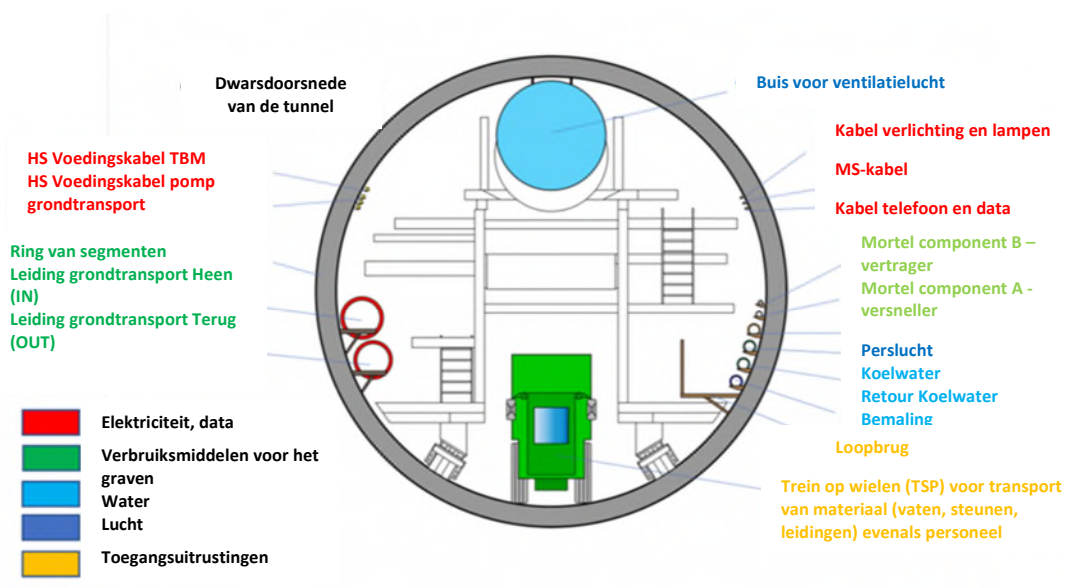
Figuur 10: voorbeeld van segmenten

De werking van de tunnelboormachine berust ook op de toevoer van een groot aantal andere verbruiksproducten dan de segmenten of de afvoer van afgegraven grond:

De toevoer van materie (flow) die kan variëren naargelang het type tunnelboormachine:

- Bentoniet
- Water
- Perslucht
- Ventilatielucht
- Mortel (voor de opvulling van de leegte tussen de segmenten en het terrein)
- Elektriciteitsvoorziening
- De toevoer van data via kabels
- De afvoer van koel- en bemalingswater (afvalwater als gevolg van alle activiteiten van de tunnelboormachine)

Al deze elementen zijn zichtbaar op de onderstaande dwarsdoorsnede van de tunnelboormachine.



Figuur 11: Klassiek schema van een dwarsdoorsnede van de achterzijde van een tunnelboormachine (Mines Paristech, 2018)

In het geval van de Metro Noord, gaat de tunnelboormachine ondergronds bij de schacht 0, P0 genoemd. Deze aanvangsschacht wordt gebouwd bij de toekomstige stelplaats van Haren en blijft tijdens de graaffase open. Door de binnenafmetingen hiervan van 15 m x 50 m kan met name de tunnelboormachine geassembleerd worden op de bodem van de schacht.

De kaart met het ruimtelijk plan en de doorsneden van schacht 0 is overgenomen in de cartografische atlas.

Zie cartografische atlas, kaart 2.3. Aanvangsschacht P0, Plannen en doorsneden

De toevoer van segmenten, evenals de afvoer van afgegraven grond vindt plaats via P0 en de toegangshelling.

De tunnelboormachine doorboort de Brusselse ondergrond 24u/24 en 7 dagen/7 op een gemiddelde voortgangssnelheid van 10 meter per dag.

Wanneer het graven van de tunnel voltooid is, wordt de kop van de tunnelboormachine gedemonteerd in P5, de werfschacht die gebouwd wordt in de nabijheid van het station Brussel-Noord, en deze elementen worden afgevoerd bij de Aarschotstraat. De volgtrein rijdt achteruit en verlaat de ondergrond via de toegangshelling (stelplaats van Haren).

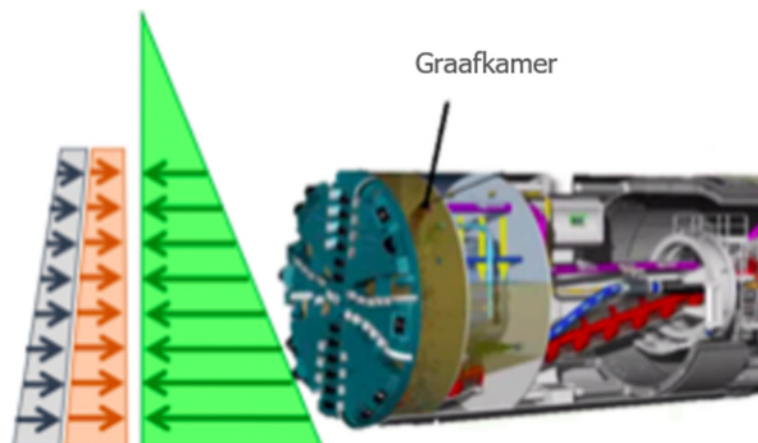
2.2. Keuze van de tunnelboormachine

Er bestaan meerdere soorten tunnelboormachines:

- Gesloten frontboormachine.
- Open frontboormachine.

De keuze van de tunnelboormachine hangt voornamelijk af van de te doorboren ondergrond en de aanwezigheid, al dan niet, van water. In het onderhavige geval ligt het gehele tracé onder het niveau van het grondwater (met een hydraulische belasting ten opzichte van de basis van de tunnel die schommelt tussen 15 en 25 m).

Voor tunnels die in stedelijke gebieden gegraven worden, die veel grondwater doorkruisen, is de gesloten tunnelboormachine de beste keuze. De kop van de tunnelboormachine is namelijk onderworpen aan een drukveld zowel als gevolg van de diepte waarop de tunnelboormachine zich bevindt (in rood aangeduid op onderstaande Figuur) als de hydrostatische belasting (invloed van het water in de grond) (in grijs aangeduid op de onderstaande Figuur).



Figuur 12: Drukprofiel van de tunnelboormachine, (2018)

De tunnelboormachine moet dus een equivalent drukprofiel daar tegenoverstellen (in het groen aangeduid op bovenstaande Figuur) om te voorkomen dat de grond instort en verzakking veroorzaakt. Het risico in geval van een slecht beheer van de omsluiting is het veroorzaken van een differentiële verzakking aan de oppervlakte (een verschil in verzakking tussen twee uiteinden van een gebouw) waardoor de structuur onstabiel kan worden of in extreme gevallen een zinkgat kan vormen (lokale instorting van de grond).

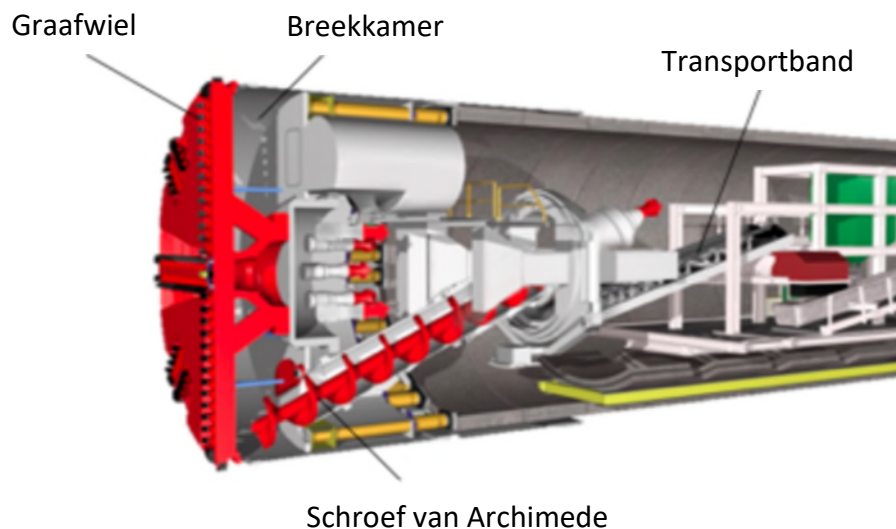
Dit verschijnsel is in bijzonder gevaarlijk in stedelijke gebieden met talrijke en soms zeer gevoelige structuren (spoorwegen, beschermde gebouwen, enz.).

Gesloten tunnelboormachines kunnen deze situatie het hoofd bieden. Aan de voorzijde van dit soort tunnelboormachines bevindt zich een graafkamer (zie bovenstaande Figuur) waarin de door het graafwiel afgegraven grond terecht komt en waar een gecontroleerde manteldruk heerst om de belasting van het terrein te compenseren.

Er bestaan 3 soorten gesloten frontboormachines:

- De machine met manteldruk door "grondaardedruk": deze is uitstekend geschikt voor leemachtige grond met een groot gehalte aan fijne substraten.

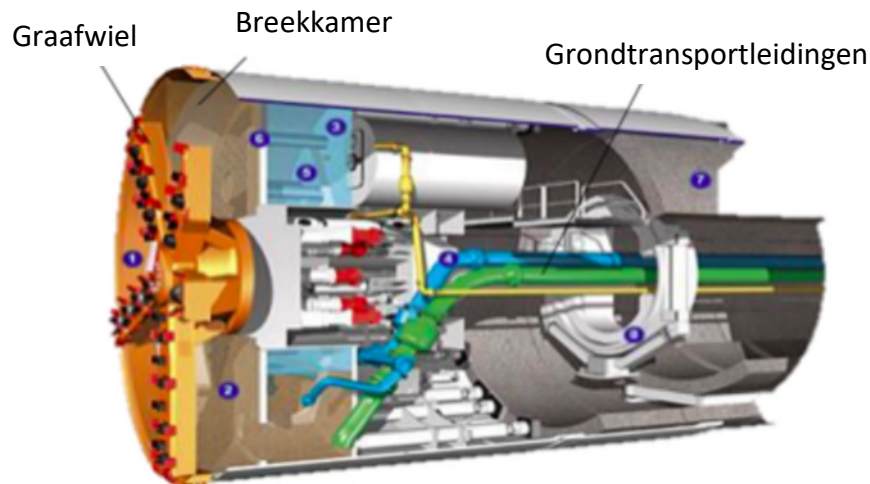
Het graafwiel treedt rechtstreeks in contact met de grond. De afgegraven grond treedt in de graafkamer (of breekkamer) waar het behouden wordt om de manteldruk tot stand te brengen. Deze afgegraven grond wordt vervolgens afgevoerd door een extractievijzel (transportvijzel) waarvan de draaisnelheid het afvoerdebiet regelt en dus de druk aan de voorzijde van de tunnelboormachine. Nadat het verwijderd is, wordt de slurry rechtstreeks door een transportband afgevoerd naar de werf aan de oppervlakte.



Figuur 13 : Tunnelboormachine met grondaardebalschild (Mines Paristech, 2018).

- De machine met manteldruk door "slurrydruk": deze machine is ideaal voor alle vrije korrelmateries die water bevatten.

Bentoniethoudende slurry wordt vanuit een fabricagekamer naar de graafkamer (breekkamer) geleid. Door deze slurry kan de manteldruk geregeld worden. Er wordt ook slurry in de bodem ingespoten om een cake te vormen (mengsel van aarde en slib) die men gaat graven. De aldus verkregen afgegraven grond is zodoende een slibachtig mengsel dat afgevoerd wordt via de transportbuizen naar het verwerkingsstation van de slurry op de werf aan de oppervlakte. Hier wordt de slurry om het fijnste en herbruikbare gedeelte te scheiden zodat de hoeveelheid af te voeren, afgegraven grond beperkt wordt.



Figuur 14: Tunnelboormachine met slurryschild (Mines Paristech, 2018).

- De machine met manteldruk door "luchtdruk": uitsluitend voor zeer weinig doorlatende grond, zeer weinig gebruikt.

De technologie van de tunnelboormachines is de afgelopen 15 jaar sterk vooruitgegaan en maakt tegenwoordig de bouw van bredere, diepere en langere tunnels dan voorheen mogelijk en bovendien in steeds moeilijker geologische omstandigheden.

Voor het onderhavige project zijn tunnelboormachines met grondaardebalansschild en met slurryschild aanbevolen. De aannemer die belast is met de bouw van de tunnel dient de keuze van de tunnelboormachine te rechtvaardigen en te garanderen dat de gekozen techniek de insijpeling van water in de tunnel en overmatige verzakkingen tijdens het graven van de tunnelboormachine beperkt worden (zie hierna, verzakkingen).

De voordelen en nadelen van deze 2 tunnelboormachines zijn de volgende:

- Slurrydruk:
 - + : Goed beheerst drukprofiel
 - : In te doorlatende, oplosbare, heterogene (leemten, karsts, blokken) of te hechte grond: risico op lekkende bentoniethoudende slurry in de bodem wat leidt tot een verlies van de manteldruk
- Grondaardedruk:
 - : Minder goed gecontroleerd drukprofiel
 - + : De hoge viscositeit of plasticiteit van de grond voorkomt het risico op verlies van de manteldruk.

2.3. Uitvoeringsprincipe van de schacht P0 en de toegangshelling (BMN, 2020)

De gebruikte uitvoeringsprincipes voor de bouw van de schacht P0 en de toegangshelling zijn:

- Uitvoering van gegoten wanden.
- Afgraving in de open lucht.

Deze technieken worden beschreven in Boek I (deel 2 – Hoofdstuk 4.4).

2.4. Waterdichtheid van de kunstwerken

2.4.1. Waterdichtheid van de tunnel

De waterdichtheid van de tunnelsegmenten wordt verzekerd door de bekleding daarvan via:

- De segmenten van beton.
- De voegen tussen de segmenten.
- Inspuiting in de ringvormige leegte (tussen de segmenten en het natuurlijke terrein).

Het kunstwerk wordt als voldoende waterdicht beschouwd als het insijpelingsdebiet in de tunnel lager is dan 300l/uur per kilometer tunnel. Deze waarde komt overeen met een van de prestatiecriteria die tijdens de ontwerpstudie van de bekleding van de tunnel in aanmerking genomen moeten worden (prestatiewaarborg die de aannemer moet bereiken).

De debietvermindering terwijl men zich onder het grondwaterpeil bevindt wordt verzekerd door de keuze van voldoende ondoordringbare segmenten, door de plaatsing van voegen tussen de segmenten en door de inspuiting in ringruimte tussen het buitenboogvlak van de segmenten en het omsluitende terrein.

De studie van Artesia heeft met een hydrogeologisch model de equivalente doorlaatbaarheid van de tunnelwanden bepaald die nodig is om het lekdebiet van 300 l/u niet te overschrijden (Men spreekt in het onderhavige geval van equivalente doorlaatbaarheid, want het betreft een globale gewogen doorlaatbaarheid die rekening houdt met de intrinsieke doorlaatbaarheid van de segmenten, de doorlaatbaarheid bij de voegen en de doorlaatbaarheid van de ingespoten zone).

De maximale equivalente doorlaatbaarheid van de tunnelwanden wordt aldus geschat op $7,5 \times 10^{-11}$ m/s. Deze equivalente doorlaatbaarheid is vooral nuttig om het hydrogeologische model te analyseren, het komt niet overeen met de doorlaatbaarheid van het beton van de segmenten. Het is namelijk uiterst moeilijk om de equivalente doorlaatbaarheid te meten van een aangebrachte bekleding.

Het grootste deel van de waterindringing is afkomstig van de voegen of, in mindere mate, scheuren in het beton.

2.4.2. Waterdichtheid van de stations

Er zijn afdichtingsmiddelen voorzien tussen de tunnelsecties en de wanden van de kunstwerken (stations, schacht P0 en schacht P5).

Deze middelen bestaan uit:

- De aanbrenging van de ontvangstmassieven tijdens de bouw van de stations.
- De verankering van de segmenten in minstens 1/3 van de dikte van de wand van het station of de schacht.
- De inspuiting tussen de buitenzijde van de segmenten en de wand.

De afdichting van de gegoten wanden van de stations wordt beschreven in de boeken over de stations.

3. Beschrijving van de moeilijkheden in verband met de constructiewijze en de uitbatingswijze van het project

3.1. Moeilijkheden in verband met het boren door middel van de tunnelboormachine

Het graven met een tunnelboormachine brengt bepaalde moeilijkheden met zich mee die van invloed zijn op het tracé van de tunnel.

Standaard gezien wordt aanbevolen:

- Over een bedekking van grond boven de tunnel te beschikken van meer dan de waarde van de diameter van de tunnel.
- Over een boogstraal te beschikken van meer dan 15 maal de waarde van de diameter van de tunnel.
- Over een maximale helling te beschikken van 10%.
- Over een minimale helling te beschikken van 5% ten behoeve van de afvoer van water.

Deze aanbevelingen kunnen variëren naargelang de aard van de bodem, de situatie aan de oppervlakte (aanwezigheid van gevoelige of beschermde gebouwen), maar ook de beperkingen van de gekozen tunnelboormachine voor de uitvoering van de werkzaamheden.

In het onderhavige project bevindt het tracé van de tunnel zich in een dichte stedelijke omgeving. De geotechnische invloedzone (die het grondvolume vertegenwoordigt waarin er interactie is tussen de tunnel en het terrein) komt overeen met 30 m aan weerszijden van de aslijn van de tunnel. Binnen deze zone worden meerdere gebouwen als gevoelig en zeer gevoelig beschouwd (rapport BMN "Tunnel: methodologie van classificatie van de gevoelige kunstwerken" Ref BMN-TUN-CIV-RP-004_P01.2), maar ook secties van het rioolstelsel van grijs gietijzer van Vivaqua, de grote hoofdbuizen van Vivaqua en bepaalde lijnen van het netwerk van Infrabel.

Hiervoor is een goede beheersing van de verzakkingen aan de oppervlakte vereist, via het beheer van de manteldruk van de tunnelboormachine, maar ook van de bedekkingshoogte boven de tunnel (hoe dieper de tunnel, des te minder impact aan de oppervlakte).

De diepte van de tunnel (en de stations daarvan) werd daarom bepaald op basis van:

- De topografie en geologie van de doorkruiste terreinen;
- De minimalisatie van de verzakkingen aan de oppervlakte;
- De beperking van het aantal lage punten om het aantal opvoerpunten van water te minimaliseren;
- De beperking van de hellingen van de tunnel.

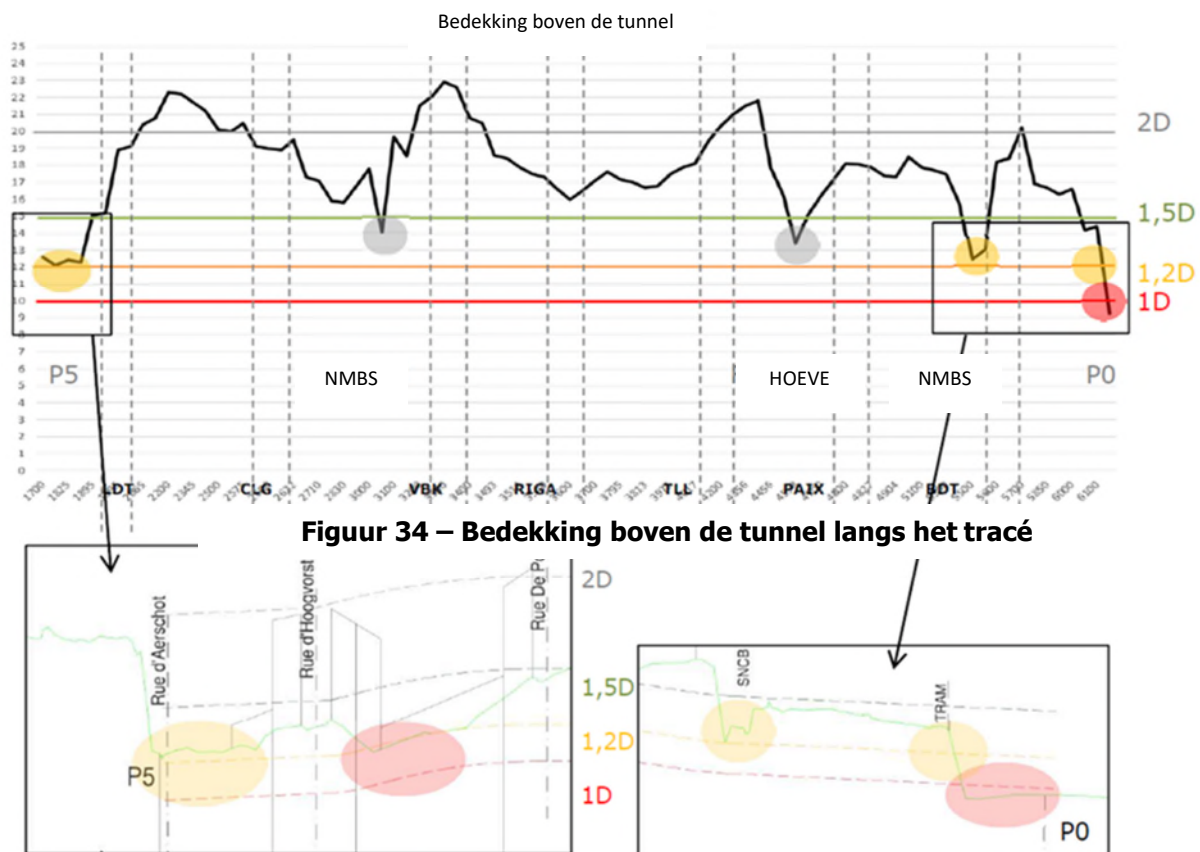
De optimalisatie van de diepte van het tracé van de tunnel wordt hieronder samengevat.

- Sectie Schacht P5 – Liedts: beperkt door de geringe bedekkingshoogte bij de schacht P5;

3. Beschrijvingen van de moeilijkheden in verband met de constructiewijze

- Sectie Liedts – Colignon: beperkt door de aanwezigheid van het Gemeentehuis (gevoelig gebouw);
- Sectie Colignon – Verboekhoven: beperkt door de kruising met de NMBS-lijn 161 en de aanwezigheid van de Maalbeek (laag topografisch punt);
- Sectie Verboekhoven – Riga - Linde: beperkt door de helling van de tunnel (4% van VBH naar Riga), evenals de minimale bedekkingshoogte ten noorden van station Linde, onder de beschermde hoeve.
- Sectie Linde – Vrede – Bordet: beperkt door de minimale bedekkingshoogte onder de NMBS-lijn L26 bij station Bordet.
- Sectie Bordet – P0: beperkt door de tweede kruising met de NMBS-lijn L26, evenals de minimale bedekkingshoogte bij P0.

De bedekkingsdikte van het tracé wordt weergegeven op de onderstaande Figuur:



Figuur 34 – Bedekking boven de tunnel langs het tracé

Figuur 15: Bedekkingsdikte van de tunnel en locatie van de beperkende punten (1 D komt overeen met een maal de diameter van de tunnel) (BMN, 2016)

3.2. Moeilijkheden in verband met de uitbating

3.2.1. Tracé in het plan

Parameter	Afkorting	Maximale waarde	Eenheid
Exploitatie snelheid	Expl S	72 km/u	Km/u
Versnelling centrifuge niet gecompenseerd	v	1	m/s ²
Toegepaste verkanting	h	150	mm
Ontoereikendheid max. verkanting	O	150	mm
Overmaat max. verkanting	Ov	70	mm
Max. variatie verkanting in functie van tijd	dh/dl	50	mm/s
Max. variatie ontoereikendheid in functie van tijd	dO/dt	60	mm/s
Max. bruuske variatie ontoereikendheid verkanting	Ä O	50	mm
Max. scheef	dh/dl	3	mm/m
Minimale boogstraal hoofdspoor in zone tunnelboormachine (op de aslijn van de tunnel)	Bs min	250m	m
Minimale boogstraal zone stelplaats op aslijn van het spoor	Bs min	50m	m
Spoor in station (100 m)		In rechte lijn	
Zone van het spoorapparaat		In rechte lijn	
Lengte rechte lijnzone aan weerszijden van het station	Lmin	20m	m
Minimale lengte van een rechte lijn in kromme en contra-kromme als $R < 100m$	Lmin	7	m
Minimale lengte rechte lijn tussen einde kromme en wisseltong van een spoortoestel		0m behalve als kromme en contra-kromme en $R < 100m$	m
Minimale lengte tussen het stoppunt bij perron en tong van een spoortoestel		20m	m

Tabel 3: Moeilijkheden van het tracé in het plan (BMN 2020)

3.2.2. Lengteprofiel

Parameter	Maximale waarde / criterium	Eenheid
Maximale helling in rechte lijn	6	%
Minimale helling tussen stations (hydraulisch)	3	mm/m
Verticale versnelling	0.3	m/s ²
Maximale helling op station	0	%
Overloopzone aan weerszijden van het station	20	m
Maximale helling spoor opstelplaats	6	%
Inschrijving van de spoortoestellen	Op plan	

Tabel 4: Moeilijkheden van het lengteprofiel (BMN, 2020)

4. Beschrijving van de werf

4.1. Kwantiteit van de materialen

De synthese van de hoeveelheden afgegraven grond en benodigde materialen voor de uitvoering van de tunnel (exclusief stations) wordt aangegeven in de onderstaande tabellen:

Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	m ³	296.339
Volume af te voeren afgegraven grond (zwellings 1.3)	m ³	385.241
Segmenten (1,8 m lang, 7 + 1 sluitsteen per ring)	stuks	14.679

Tabel 5: Kwantiteit van de materialen van de tunnel (BMN, 2020)

De synthese van de hoeveelheden afgegraven grond, vulmaterialen, afval en benodigde materialen voor de uitvoering van de schacht P0 en de toegangshelling wordt aangegeven in de onderstaande tabellen:

Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	m ³	65.321
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	m ³	84.917
Afval Civiele Bouwkunde	m ³	1.900
Vulmateriaal	m ³	5.130
Beton	m ³	24.220
Stalen wapeningen	T	2.820
Glasvezel wapeningen	T	20
Metselwerk	m ³	1.180
Opvulmateriaal voor voorbelasting van de tunnel	m ³	2.630

Tabel 6: Kwantiteit van de materialen van schacht P0 en de toegangshelling (BMN, 2020)

De afvoer en toevoer van deze materialen in verband met de schacht P0 en de eigenlijke tunnel zal plaatsvinden via de toekomstige metrostelplaats van Haren.

4.2. Uitvoeringsfase

De verschillende uitvoeringsfasen worden hieronder aangegeven:

- Voorafgaande fase: installatie van de werf.
- Fase 1: uitvoering van de gegoten wanden, afgraving van de schacht en de toegangshelling, aanbrenging van de stortebedden, tussenplaten en dakplaten.
- Fase 2: montage van de tunnelboormachine in de toegangshelling via schacht P0 en aanbrenging van het opvulmateriaal voor de voorbelasting.
- Fase 3: Start van de tunnelboormachine.

- Na 200 m graven, sluiting van het dak van schacht P0 en afvoer van het opvulmateriaal voor de voorbelasting.
- Fase 4:
 - Graven van de tunnel van P0 naar P5 door elk station heen.
 - Voorafgaand aan elke ingang op het station: aanbrenging van de nodige structuren voor de verplaatsing van de tunnelboor in het station.
 - Tijdens de ingang op het station: uitvoering van de afdichting tussen de segmenten en de wand van het station.
 - Voor elke vertrek van de tunnelboormachine uit een station: aanbrenging van de uitgangsstolp van de tunnelboormachine (net als voor schacht P0 zorgt deze stolp voor de afdichting van het kunstwerk tijdens de start van het doorboren van de wand en de opvoer van de manteldruk).
 - Tijdens de uitgang van het station: uitvoering van de afdichting tussen de segmenten en de wand van het station.
 - Aanbrenging van een buizendak (beschrijving in boek I Deel 2 Hoofdstuk 4.4) onder de huizen van de Aarschotstraat bij schacht P5 (verbinding tussen de vergunning van perceel 1 en deze vergunningsaanvraag).
- Fase 5: Aankomst van de tunnelboormachine in schacht P5 en demontage van de tunnelboormachine.
- Fase 6: sluiting van de trechters van de toegangshelling.

De demontage van de tunnelboormachine is verdeeld in subtaken:

- Onderwaterlating van schacht P5 (zodat er geen uitgangsstolp aangebracht hoeft te worden).
- Aankomst van de tunnelboormachine in schacht P5.
- Uitvoering van de afdichting tussen de tunnelboormachine en de wand van schacht P5.
- Demontage van het graafwiel en afvoer daarvan via schacht P5.
- Demontage van de rest van de tunnelboormachine en afvoer daarvan via de tunnel naar de toegangshelling (Schacht P0).
- Betonning van het schild (het schild wordt ter plaatse gelaten en vormt de laatste ring van de tunnel).
- Aanbrenging van de definitieve afdichting.
- Opening van schacht P5 naar station Brussel-Noord en sluiting aan de oppervlakte.

4.3. Tijdelijke installaties en inplanting van de werf

De werfinstallaties evolueren tijdens de duur van de uitvoering van de werkzaamheden. Er zijn 5 fasen van de werfinstallatie voorzien die overeenkomen met de 5 eerste in het vorige hoofdstuk beschreven uitvoeringsfasen (fase 1 t/m 5).

De plaats van de werf voor de bouw van schacht P0, de toegangshelling en de tunnel bevindt zich op de site van de stelplaats van Haren van de MIVB (werf perceel 3 op de onderstaande Figuur). Deze werfzone heeft een interface met de bouw van de nieuwe stelplaats (perceel 2). De 2 werfzones moeten duidelijk afgebakend worden om de interferentie tussen de 2 te beperken.

Echter, de voorbereiding van de werfzone kan gemeenschappelijk verlopen met die van de werf van de Stelplaats. De schacht P0 zal gebouwd worden tijdens de start van de civiele bouwkundige werf van de Stelplaats, zodat de zone voorbereid kan worden voor de aankomst van de tunnelboormachine.

Er zal een zone voor de busrijschool behouden blijven op de site van de MIVB (in het groen aangegeven op de onderstaande Figuur) tot aan de uitvoering van de nieuwe stelplaats van Marly waar de infrastructuur geïntegreerd zal worden (voorzien in 2024).

Het installatieplan van de werf werd gewijzigd ten opzichte van de plannen van de stedenbouwkundige vergunning om de werven van de tunnel en van de stelplaats te kunnen scheiden. De interactie tussen de werfinstallaties van de tunnel en van de stelplaats wordt behandeld in het boek over de stelplaats.



Figuur16 : Locatie van de werfzones op de site van de stelplaats van Haren (BMN, 2020)

Er is ook werfruimte nodig bij schacht P5 tijdens de demontage en de afvoer van het graafwiel van de tunnelboormachine.

4.3.1. Werfinstallaties – Site van de stelplaats van Haren

De voorziene werfinstallaties zijn de volgende:

- Een leefruimte met kantines, vestiaires, sanitair en kantoren (punt 1 op de onderstaande Figuur).
- Opslagplaatsen van materiaal (punt 2).
- Een hoogspanningspost (punt 3).
- Een machine voor gegoten wanden (punt 4).
- Een bentonietcentrale (punt 5).
- Een zone voor de tijdelijke opslag van materialen (punt 6).
- Een zone voor de opslag van de segmenten (punt 7).
- Een zone voor de opslag van afgegraven grond (punt 8).
- Een betoncentrale (punt 9).
- Een behandlungszone van de slurry van de tunnelboormachine (punt 10).
- Een wasplaats (punt 11).
- Een torenkraan (punt 12).
- Een mobiele kraan (punt 12').
- Een behandlungszone van het water (punt 13).
- Een mortelcentrale, bestemd voor de afdichting tussen de segmenten en de wanden van de stations (punt 14).
- Een zone voor de behandeling van vervuild water (punt 18).
- Een parkeerplaats (punt 20).
- Het opvulmateriaal voor de voorbelasting (punt 21).
- Een transportband voor de afgegraven grond (punt 22).

De afgegraven grond van de tunnel dient afgevoerd te worden naarmate de voortgang van de tunnelboormachine naar de schacht P0, bij voorkeur overdag. De afmeting van de opslagzone is voorzien voor de opslag van minstens 3 dagen graven in geval van problemen met de afvoer.

In het geval dat de tunnelboormachine een TBM met slurrydruk is, wordt de afgegraven grond door hydraulisch transport afgevoerd. Er is een behandlungscentrale van het slib voorzien om de grondbrij te scheiden van het betoniethoudende slib (punt 10).

De segmenten worden geprefabriceerd en opgeslagen in de fabriek. Ze worden per vrachtwagen regelmatig naar de site vervoerd en daar afgeleverd. De voorziene opslagzone is voldoende voor de opslag van segmenten voor 5 dagen voortgang op de maximale snelheid.

De toegang tot de werf vindt plaats vanuit de Houtweg. Om de toegang en de uitgang van de werf te vereenvoudigen en de verkeershinder tot een minimum te beperken, is een rotonde voorzien bij de kruising met de Tweedekkerstraat. Deze rotonde zal ook gebruikt worden voor de werfzone van de stelplaats en vereist een coördinatie van de transporten, met name het uitzonderlijke vervoer dat voorzien is voor de toevoer van de onderdelen van de

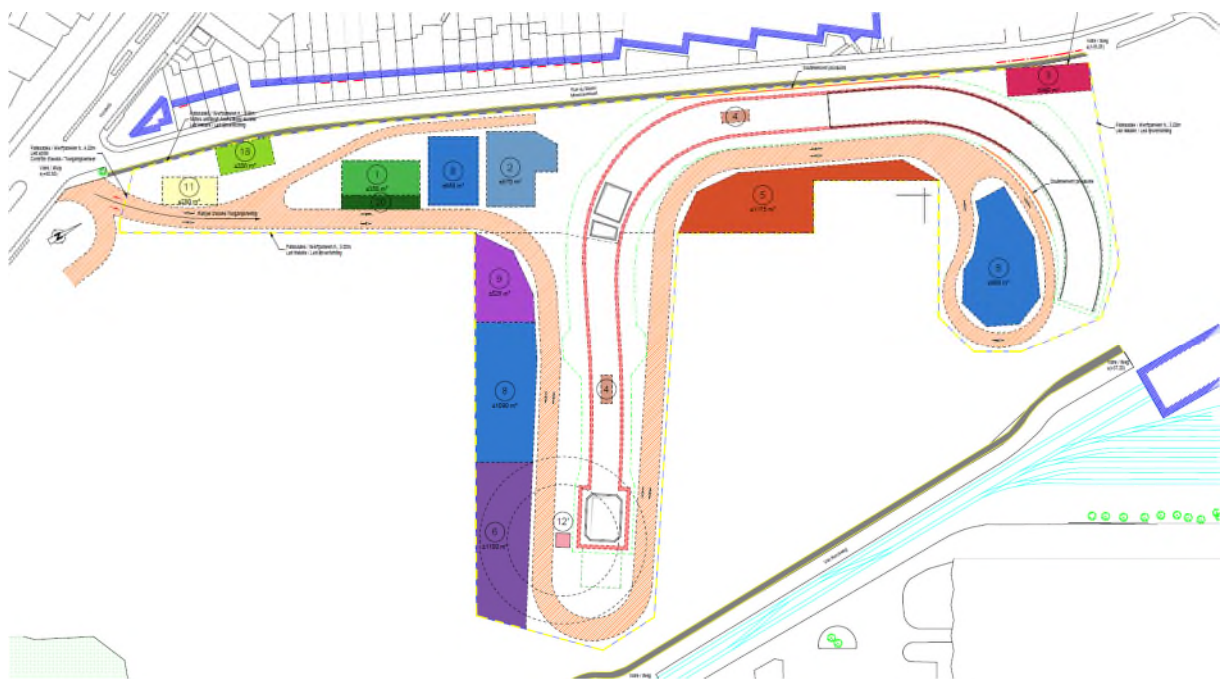
tunnelboormachine en, aan het einde van de werf, de afvoer van de grootste delen van de tunnelboormachine.

Er zijn geluidwerende omheiningen voorzien rond het gehele werfterrein.

De laad-/loszone van de vrachtwagens is voorzien bij de opslagzone.

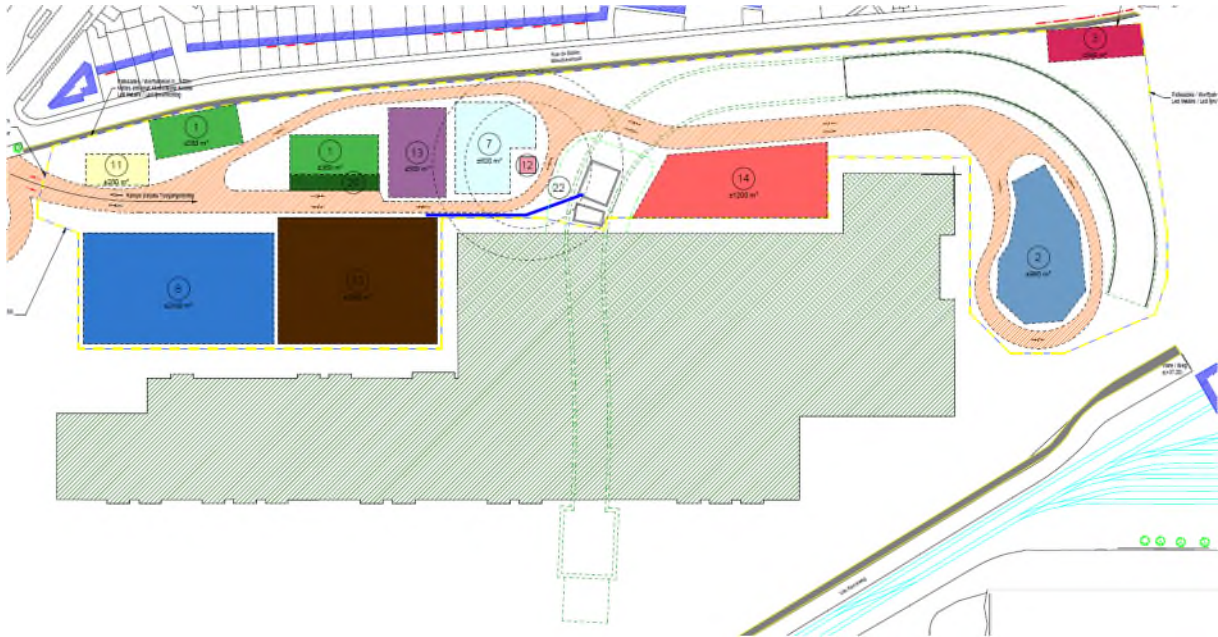
Alle installatieplannen van de werf zijn opgenomen in de cartografische atlas voor een verhoogde leesbaarheid.

Het plan van de werfinstallaties tijdens fase 1 wordt weergegeven op de onderstaande figuur



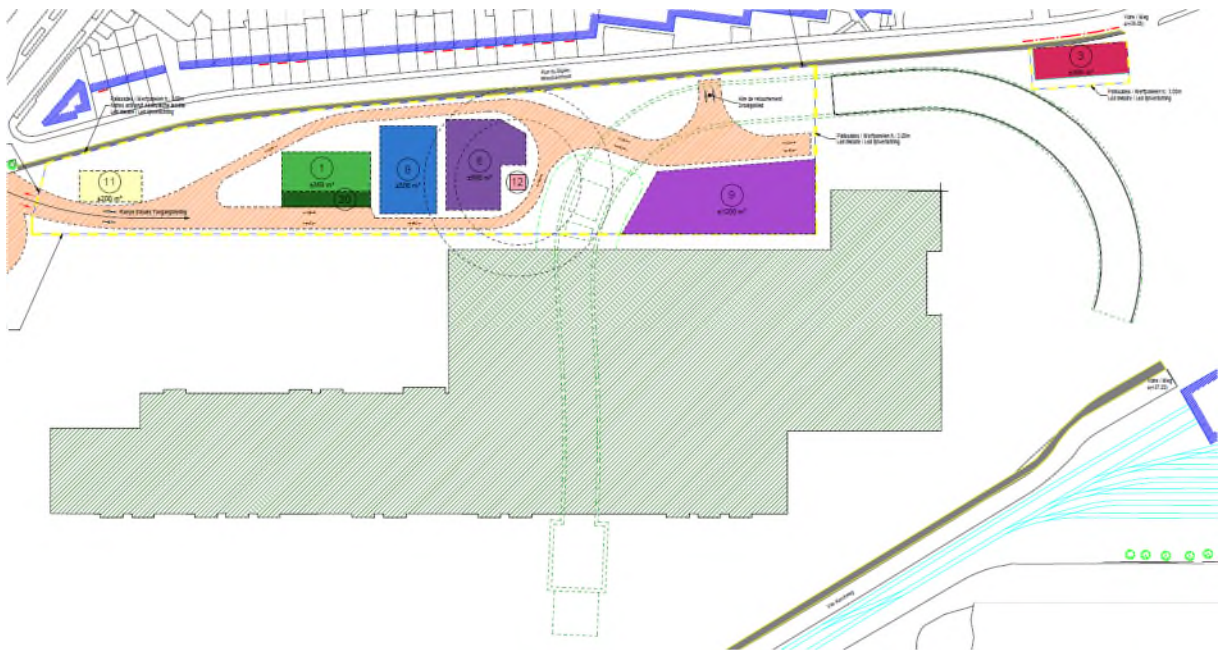
Figuur 17 - Werfinstallaties – Fase 1 (BMN 2020) –

Het plan van de werfinstallaties tijdens fase 4 wordt weergegeven op de onderstaande figuur



Figuur 20 - Werfinstallaties – Fase 4 (BMN 2020)

Het plan van de werfinstallaties tijdens fase 5 wordt weergegeven op de onderstaande figuur



Figuur 21 - Werfinstallaties – Fase 5 (BMN 2020)

4.3.2. Werfinstallaties - Schacht P5

Het werfterrein bij de schacht P5 is uitsluitend bestemd:

- Voor de werkzaamheden voorafgaand aan de aankomst van de tunnelboormachine.
- Voor de uitvoering van het buizendak.
- Voor de demontage en de afvoer van de onderdelen van de boorkop van de tunnelboormachine.
- Voor de betonning van het schild.
- Voor de uitvoering van de opening naar station Brussel-Noord.
- Voor de installatie van de dakplaat.

De bouwfases van de schacht P5 zijn niet opgenomen in onderhavig rapport (zie rapport effectenstudie Stratec).

De voorziene werfinstallaties zijn de volgende:

- Een leefruimte.
- Een kraan.
- Een opslagzone voor de onderdelen van de tunnelboormachine.

Dit werfterrein bevindt zich op de Aarschotstraat tussen de Rogierstraat en de Hoogvorststraat. Deze sectie zal voor het verkeer worden afgesloten en uitsluitend gebruikt worden als werfterrein. De rijrichting tijdens de werkfase wordt aangegeven op de onderstaande Figuur (rode pijl) Er zijn geluidwerende omheiningen voorzien rond het gehele werfterrein.



Figuur 22 - Locatie van het werfterrein van Schacht P5, groene lijn (Tractebel op basis van BMN, 2020)

4.4. Beheer van de afgegraven grond en transport van de materialen

4.4.1. Kerncijfers

4.4.1.1. Afgegraven grond (out)

Exclusief zwellings (indicatief)

- Afgegraven grond van de tunnel: 300.000 m³
- Afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling: 85.000 m³
- De afgegraven grond van de 7 stations komt neer op +/- 790.000m³ - 20.000m³ rechtstreeks her te gebruiken als opvulmateriaal = 770.000m³
 - Bordet: 127.000 m³
 - Vrede: 100.000 m³
 - Linde: 100.000 m³
 - Riga: 110.000 m³
 - Verboekhoven: 145.000 m³
 - Colignon: 100.000 m³
 - Liedts: 108.000 m³
- Afgegraven grond van de stelplaats: +/- 317.000m³ - 3.000m³ voor hergebruik ter plaatse

Het geschatte aantal kubieke meters van uitsluitend het gedeelte **tunnel en schacht** komt derhalve neer op +/-385.000m³ (exclusief zwellings). Ter vergelijking: dit komt neer op 1,3 maal de Leeuw van Waterloo. Dit komt overeen met 30.000 vrachtwagens.

Het geschatte totale aantal kubieke meters van het project bedraagt +/- **1.450 .000m³** (exclusief zwellings) wat ter vergelijking neerkomt op 5 maal de Leeuw van Waterloo. Rekening houdend met de zwellings tijdens het laden komt dit neer op circa **90.000 vrachtwagens**.

Het beheer van het werfafval van de stations wordt behandeld in Boek III: Algemene informatie over de stations

4.4.1.2. Toevoer van beton voor de ruwbouw (in)

Indicatief, uitsluitend het beton (voor nadere gegevens over de andere materialen, zie Boek koolstof):

- Voor de tunnel en de schachten: +/- 135.000m³
- Voor station Bordet: 50.500 m³
- Voor station Vrede: 44.500 m³
- Voor station Linde: 37.000 m³

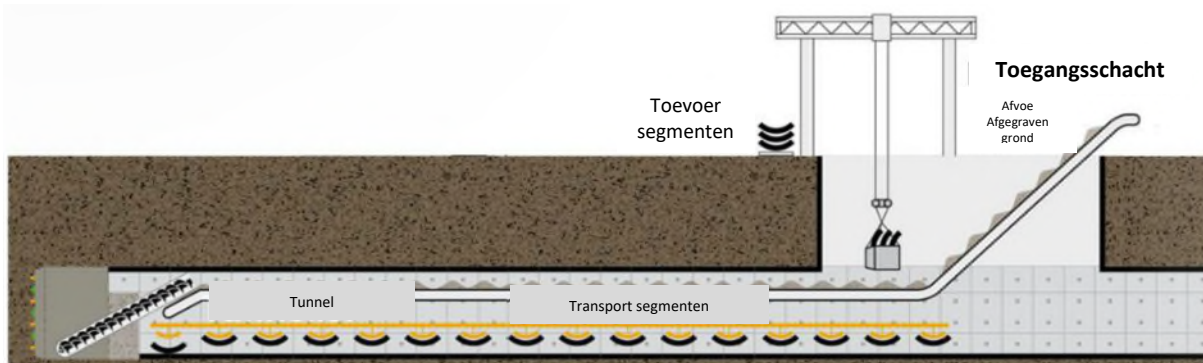
- Voor station Riga: 48.000 m³
- Voor station Verboekhoven: 54.500 m³
- Voor station Colignon: 47.000 m³
- Voor station Liedts: 48.000 m³

Voor het geheel aan in/out wordt de totale ruwbouw geschat op een equivalent van 150.000 vrachtwagens.

4.4.2. Wat betreft specifiek de afgegraven grond van de tunnel

De valorisatie van de afgegraven grond hangt in grote mate af van de kwaliteit van de afgegraven materialen naargelang de doorkruiste geologie en de graafmethode.

De tunnel wordt gegraven door een tunnelboormachine. Het afgravingsproces voorziet in de afvoer van de grond via de tunnel naar de schacht P0.



Figuur 23: Schema van de werking van de afvoer van de afgegraven grond van de tunnelboormachine (BMN, 2016)

De hoeveelheid grond wordt op een regelmatig en constant ritme afgegraven en geschat op +/- 600m³ (gezwollen) per dag, dat wil zeggen een equivalent van 24 vrachtwagens per dag.

De tijdelijke opslagzone van de afgegraven grond in de zone van de toekomstige stelplaats maakt het mogelijk om de materialen te scheiden in geval een latere valorisatie mogelijk mocht zijn. Gelet op de geringe ruimte die beschikbaar is (de stelplaats wordt gebouwd tegelijkertijd wanneer de tunnelboormachine graaft), zal deze scheiding ongetwijfeld stroomafwaarts plaats moeten plaatsvinden bij de laad- of valorisatiezones.

In geval van gebruik van een tunnelboormachine met slurrydruk wordt de afgegraven grond door hydraulisch transport afgevoerd, wat betekent dat de afgegraven grond gescheiden moet worden van het bentoniethoudende slib in een behandelingseenheid. Het bentoniet wordt gereinigd en opnieuw ingespoten naar de tunnel, terwijl de afgegraven en behandelde grond min of meer rechtstreeks hergebruikt kan worden.

De berekening van het volume aan grond houdt rekening met het volume van de tunnel, maar ook met een gemiddelde zwellingscoëfficiënt van de grond die vastgesteld is op ~1,3 op basis van standaard coëfficiënten (zie onderstaande tabel).

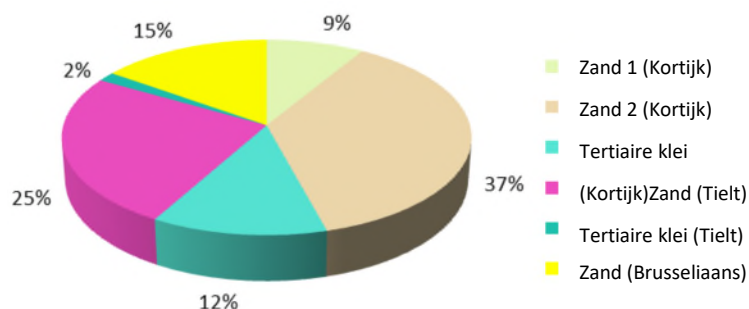
COËF. AFVOER VOLGENS TYPE GROND		
Type grond	Type grond	Type grond
Plantaardige aarde	1.1	0.010 – 0.05
Zand	1.15 1.20	0.010 – 0.03
Kiel	1.20 – 1.25	0.010 – 0.05
Mergel	1.25 – 1.30	0.010 – 0.08
Kleihoudend zand	1.2	0.1
Compacte klei	1.5	0.3
Harde aarde	1.55	0.3
Gesteente	1.60 – 1.65	0.4
Mergelgrond	1.7	0.4

Tabel 7: Zwellingscoëfficiënt naargelang bodemtype (BMN, 2016)

Het totale volume afgegraven grond van de tunnel wordt geschat op 385.000 m³ (gezwollen)
Dit volume kan verdeeld worden in meerdere categorieën naargelang de korrelgrootte, het type bodem en de herkomst van de grond.

Omdat de tunnel geboord zal worden op een diepte van 20 tot 30 meter wordt de afgegraven grond bij eerste benadering als niet vervuild beschouwd (zie Hoofdstuk Bodem).

De schatting van de verhoudingen van de afgegraven bodemsoorten wordt weergegeven op de onderstaande Figuur.



Figuur 24: Verdeling van de afgegraven bodemsoorten (BMN, 2016)

Volgens het onderzoek van BMN van het voorproject Fase 3 en Fase 4 van 18/05/2016, wordt geschat dat 77% van de afgegraven grond van de tunnelboormachine gevaloriseerd kan worden.

4.4.3. Transport van de afgegraven grond

De mogelijke transportmethoden voor het vervoer van de afgegraven grond naar een eindopslagplaats zijn de volgende:

- Over de weg (grote invloed op de overlast voor de omgeving en de slijtage van het wegennet).
- Over het spoor (voor alle grond van de stelplaats en dus ook de tunnelboormachine blijft dit zeer interessant want de spoorweg loopt langs de stelplaats). Deze optie vereist echter de inrichting van een talud om de laadzone te kunnen verwezenlijken. Dit is tevens lastig voor de uitbating van de lijn overdag.
- Over de rivier (zeer interessant wat betreft capaciteit, CO2-balans, valorisatie op de laadsite en kosten per ton). Maar hiervoor is desalniettemin een traject per vrachtwagen nodig tot aan de haven van Brussel).

Op gewestelijk niveau is een van de doelstellingen van Good Move een modale transfer ten gunste van het spoor en de waterweg voor het transport van goederen.

Er werd een vergelijkende studie van deze transportmogelijkheden uitgevoerd door BMN in 2016 (Rapport over het beheer en de valorisatie van afgegraven grond, ref. BMN-GEN-PM-RP-008). Hierin is een vergelijkende tabel opgenomen met de voordelen en nadelen van elke transportmogelijkheid. In deze tabel bedraagt het per boot vervoerde volume (per reis) maximaal 4500T* tot aan het Vergotedok, en maximaal 1350T naar het zuiden (bron: Haven van Brussel).:

	Weg	Spoor	Waterweg
Vervoerd volume per traject	30T	600	4500T*
Kosten (€/ton)	– 5 - 10	– 7,69 -,8,76	+ 2,2 – 2,7
Planning	+ Planning voorzien	+ Planning voorzien maar af te stemmen met andere beperkingen van het domein	+ Planning voorzien maar af te stemmen met andere beperkingen van het domein
Overlast	–	–	+
Geluid	–	–	+
Trillingen	–	–	+
Impact openbare ruimte (bovengrondse opslagzones en bewoonde omgeving)	–	–	+

Kwaliteit van de lucht	-	-	+
Atmosferische vervuiling	-	-	+
Logistiek werf	+ Voldoende ruimte	+/- Ruimte aan tussentijdse opslag te voorzien bij een spoorlijn	+/- Ruimte aan tussentijdse opslag te voorzien bij het kanaal
Stedelijke context	- Directe impact op de stedelijke context	+ Bestaande infrastructuur dus weinig aanvullende impact in vergelijking + met de bestaande situatie	+/- Non-residentiële context dus weinig conflicten

Tabel 8: Vergelijkende tabel van de transportmogelijkheden (BMN, 2016)

4.4.3.1. Afvoer van de afgegraven grond van de tunnel

Er is een transportzone voorzien op de site van de stelplaats van Haren tijdens de werf van de tunnel. Deze zone dient als opslag van de afgegraven grond als het uit de behandelingscentrale komt. Deze afgegraven grond moet afgevoerd worden naarmate de voortgang van de tunnelboormachine.

In geval van onvoorziene omstandigheden is een opslagzone gereserveerd op de werf waarop het mogelijk is afgegraven materiaal op te slaan gedurende 3 dagen bij maximale voortgangssnelheden (dat wil zeggen 75 m gegraven tunnel). Het benodigde oppervlak bedraagt circa 2400 m². Hoe dan ook dienen gedurende meerdere dagen zwaden uitgevoerd te worden om monsters te nemen en te wachten op de analysesresultaten.

In de veronderstelling dat een gedeelte van de zandgrond rechtstreeks voor het project van de metro gevaloriseerd zou kunnen worden, wordt rechtstreeks op de installatiesite van de werf de afgegraven grond gescheiden bij de opslagzone.

In het geval dat de tunnelboormachine een TBM met slurrydruk is, is de afgegraven grond vermengd met bentoniet. In dat geval dient een scheidingscentrale van het bentoniet op de werf voorzien te worden om het afgegraven materiaal te behandelen. Het bentoniet wordt gereinigd en ter gebruik opnieuw ingespoten naar de tunnel, terwijl de afgegraven en behandelde grond min of meer rechtstreeks gevaloriseerd kan worden.

Het volume afgegraven grond van de tunnel bedraagt 385.000 m³ aan grondmengsel (gezwollen). Dit komt neer op circa 582.000 ton. Als alle afgegraven grond afgevoerd wordt van de site naar een spoor- of riviersite, wordt in de onderstaande BMN-tabel het aantal heen- en terugtrajecten per transportmogelijkheid aangegeven:

	Vrachtwagen (30T)	Trein (600 – 1250T)	Boot (4500T)
Aantal trajecten (HT)	19.400	970 - 466	130
Aantal HT / werkdag*	70	3,5 – 2	0,5
Aantal HT / uur**	9	0,5 – 0,25	0,06

* 20 werkdagen tijdens 14 maanden = 280 werkdagen

** 8 uur in een werkdag

Tabel 9: Schatting van het aantal heen- en terugtrajecten voor de afvoer van de afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling

Gelet op de grote hoeveelheden afgegraven grond, werd het vervoer per vrachtwagen vanuit Brussel naar buiten niet weerhouden.

Er werden twee scenario's bestudeerd voor de afgegraven grond van de tunnel:

A. Afvoer naar een spoor-site:

Merk op dat deze optie gekozen werd voor de afvoer van de grond van de tunnel Schuman-Josaphat naar de site van Josaphat. Vervolgens werd de grond (gedeeltijk) afgevoerd vanuit Brussel naar buiten per vrachtwagens.

De stelplaats van Haren bevindt zich in de directe nabijheid van lijn 26 van de NMBS. Een aansluiting op het spoornet bestaat reeds op de site van de MIVB, maar er bestaan enkele moeilijkheden voor de exploitatie van deze lijn:

- De lengte van het verbindingsspoor van 100 m is ontoereikend voor het laden van de volumes afgegraven grond. Er zijn contacten nodig met MIVB / Infrabel om de haalbaarheid van een verlenging van het spoor te bestuderen;
- Het verbindingsspoor bevindt zich op 200 m van de transportzone die voorzien is op de werf van de tunnel in Haren. De afgegraven grond dient over deze afstand vervoerd te worden over de site van de MIVB. Dit zou uitgevoerd kunnen worden via een transportband. De L26-aansluiting zou zowel gebruikt kunnen worden voor de afvoer van afgegraven grond als voor de aanvoer van bouwmaterialen.



Figuur 25 : Principeschema van de afvoer van de afgegraven grond naar de lijn L26 (Aries via Google Earth geraadpleegd in februari 2021)

B. Afvoer naar het kanaal:

Merk op dat voor een recente werf van grote omvang deze optie gekozen werd voor de bouw van DocksBruxsel

Gelet op de te vervoeren volumes is dit een bijzonder interessante optie in geval van afvoer van de grond naar Nederland, maar ook naar Vlaanderen en Wallonië (zie sociaal-economisch en koolstofbalans)

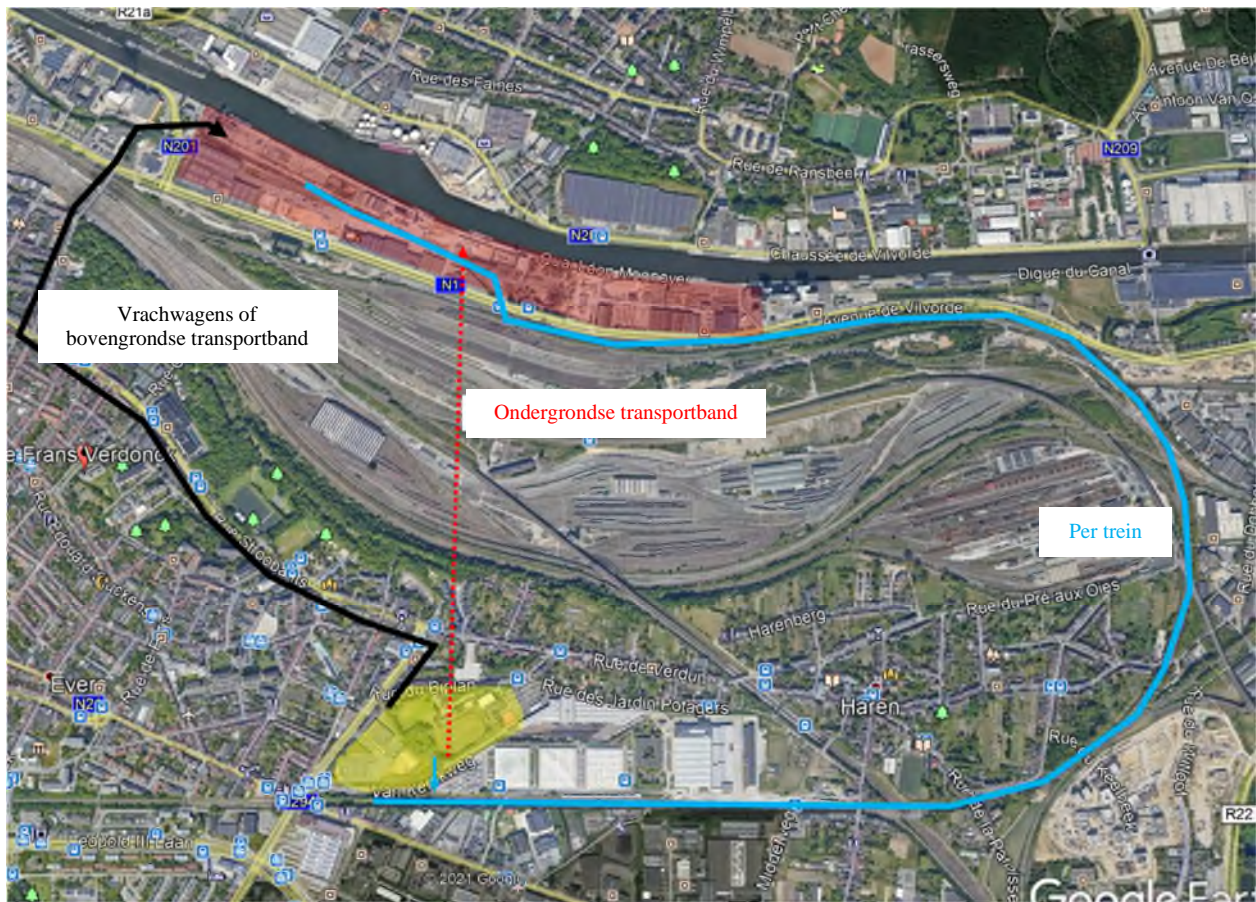
De voorhaven van Brussel aan het uiteinde van de Leeuwoprit wordt voorzien voor deze overslag, met name ter hoogte van de containerterminal van de Haven van Brussel.

Voor dit scenario is een eerste vervoer tussen de site van Haren en het Kanaal vereist. Er werden meerdere scenario's voorgenomen in de voorprojectstudie van BMN:

- Eerste vervoer per bovengrondse transportband;
- Eerste vervoer per vrachtwagen;
- Eerste vervoer per ondergrondse transportband;
- Eerste vervoer per trein naar de haven;

Deze laatste optie werd niet nader uitgewerkt door BMN. Wij achten echter dat het bestaande spoor een passage mogelijk maakt van de Vilvoordelaan naar de kade van de containerterminal van de haven van Brussel. Daarom zal deze optie uitgewerkt worden in het hoofdstuk Mobiliteit.

De details van deze verschillende mogelijkheden worden beschreven in het hoofdstuk Mobiliteit van dit boek.



Figuur 26: Principeschema van de afvoer van de afgegraven grond via de haven van Brussel (Aries via Google Earth geraadpleegd in februari 2021)

De volgende tabel toont de voordelen en nadelen van de drie door BMN weerhouden oplossingen. Volgens de door BMN uitgevoerde voorstudies lijkt een bovengrondse transportband de voorkeur te verdienen wat betreft de emissies, de logistiek en de kosten. Deze studie houdt echter geen rekening met de gevolgen op het gebied van geluid, stof, visuele impact gedurende lange tijd, enz...

	Vervoer per vrachtwagen	Vervoer per transportband	
		Bovengronds	Microtunnel
Overlast	-	-	+
Logistiek	-	+	+
Ecologie	-	+	0
Kosten	+	+	-

Tabel 10: Vergelijking van de oplossingen voor het eerste vervoer naar het kanaal (BMN, 2016)

4.4.3.2. Afvoer van de afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling

In dezelfde logica als de afvoer van de afgegraven grond van de tunnel, omvat de afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling 84.930 m³ aan grondmengsel. Dit komt neer op circa 127.395 ton. Als alle afgegraven grond afgevoerd wordt van de site naar een spoor- of riviersite, wordt in de onderstaande tabel het aantal heen- en terugtrajecten per transportmogelijkheid aangegeven:

	Vrachtwagen (30T)	Trein (600 T)	Boot (4500 T)
Aantal reizen (heen en terug)	4247	212	28
Aantal Heen en Terug / dag	15	1	1
Aantal Heen en Terug / uur	2	1	1

Tabel 11: Schatting van het aantal heen- en terugtrajecten voor de afvoer van de afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling

4.4.4. Mogelijke bestemming van de afgegraven grond exclusief valorisatie

Na analyse wordt de grond hetzij gevaloriseerd ter plaatse of op een andere site, hetzij verzonden als opvulmateriaal waarvan de bestemming in dit stadium van de uitwerking van het project onbekend is.

Deze vraag over het afzetgebied zal gesteld worden aan de ondernemingen tijdens de gunningsfase, want dit valt namelijk onder de aanpak van de "duurzame ontwikkeling". De aanvrager stelt ons in kennis dat aan de ondernemingen om creatieve oplossingen wat dit betreft gevraagd zal worden. Het is dus de ondernemer die beslist over de bestemming naargelang de staat van de markt op het moment van de indiening van de offerte.

Op dit moment bestaat er in België geen vraag naar een dergelijk groot volume. Ook al bestaan er enkele mogelijkheden in het Waalse gewest. Maar het is onmogelijk om zich uit te spreken over deze mogelijkheden op de middellange termijn.

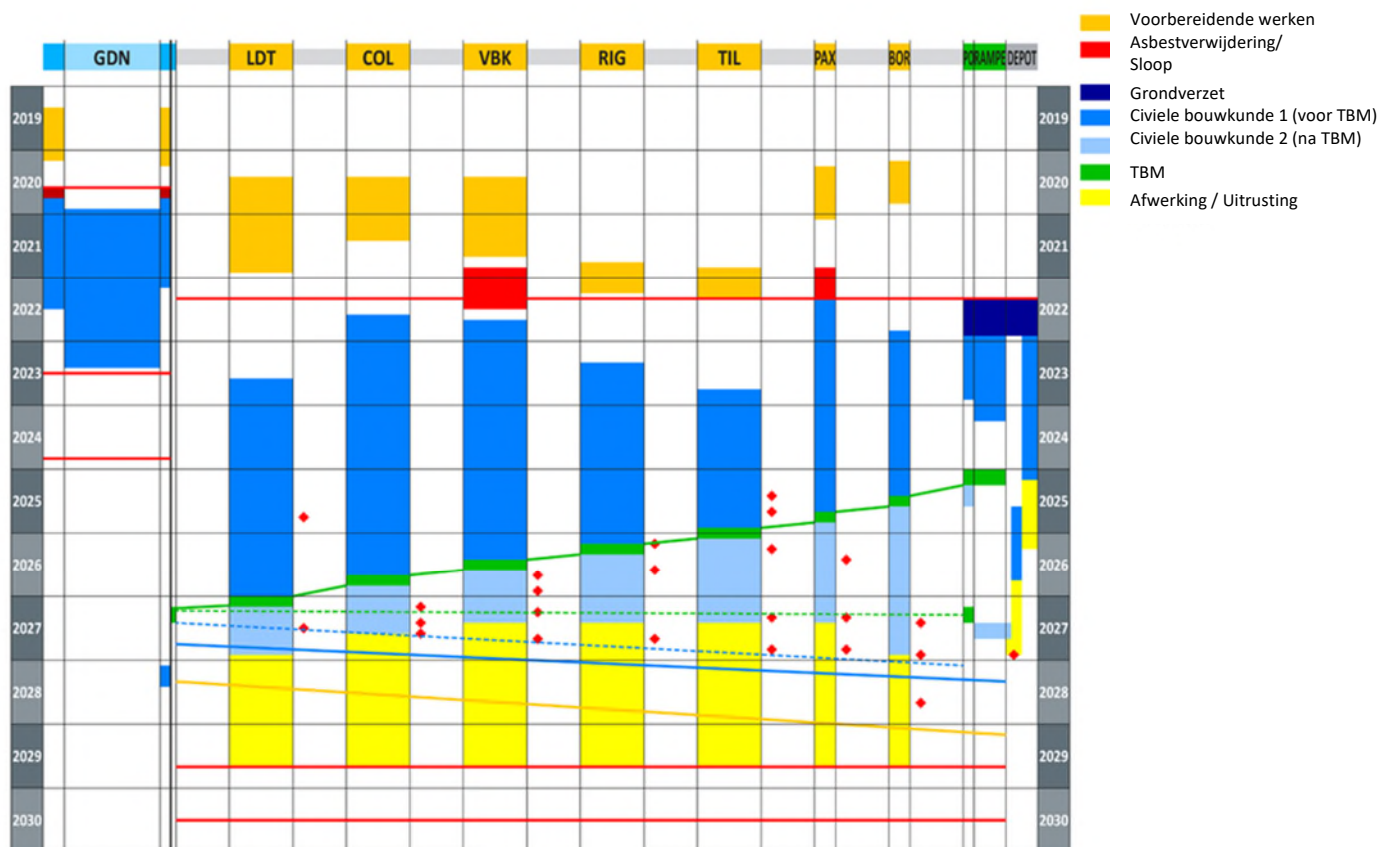
5. Uitvoeringsplanning

De algemene planning van de uitvoering van de werken wordt bepaald door de uitvoering van de tunnel. Om de doorkruising van de ondergrondse stations in afdoende veiligheidsomstandigheden te waarborgen (met name wat betreft de waterdichtheid) is het namelijk noodzakelijk dat het hoofdvolume van de stations afgegraven wordt en dat de voorlopige ondergrondse structuren uitgevoerd worden (met name nodig voor de persing en de omsluiting van de tunnelboormachine, maar ook voor de waterdichtheid).

De huidige planning van de uitvoering van de tunnel voorziet in een begin van de graafwerkzaamheden (P0) in 2025 voor een duur van circa 2 jaar. De doorkruising van elk station door verplaatsing van de tunnelboormachine wordt geschat op anderhalve maand per station.

De algemene aanvang van de werf wordt momenteel voorzien in 2022. Voorafgaand aan de aanvang van de werf moeten een bepaald aantal werken uitgevoerd worden om verzekerd te zijn van een goede doelmatigheid van de werf, zoals de omleiding van leidingen, bepaalde tramlijnen en de sloop/asbestverwijdering van bepaalde gebouwen.

De algemene planning van de uitvoering van het project wordt aangegeven in Boek I en overgenomen op de onderstaande Figuur. De planning van de uitvoering van de stations wordt nader aangegeven in het Boek Stations.



Figuur 27: Algemene uitvoeringsplanning van het project (BMN, 2019)

De duur bij benadering van elke uitvoeringsfase van de bouw van de tunnel wordt hieronder aangegeven en in het groen hierboven. Deze duur wordt ter informatie aangegeven en kan veranderen in de loop van het project.

- Voorafgaande fase: werfinstallatie: ~2 maanden.
- Fase 1: uitvoering van schacht P0 en de toegangshelling: ~8 en een halve maand.
- Fase 2: montage van de tunnelboormachine: ~3 maanden.
- Fase 3: graven van de eerste 200 meter: ~1 maand.
- Fase 4: graven van de tunnel (exclusief verplaatsing van de tunnelboormachine in de stations, dat wil zeggen de handmatige verplaatsing van de tunnelboormachine en het onderhoud van de kop van de tunnelboormachine in voorafgaand gebouwde behuizingen, operatie waarvoor 1.5 maand per station nodig is)
 - Sectie P0 - Bordet: ~2 en een halve maand.
 - Sectie Bordet – Vrede: ~2 maanden.
 - Sectie Vrede - Linde: ~1 en een halve maand.
 - Sectie Linde - Riga: ~2 en een halve maand.
 - Sectie Riga – Verboekhoven: ~2 maanden.
 - Sectie Verboekhoven – Colignon: ~2 maanden.
 - Sectie Colignon – Liedts: ~2 maanden.
 - Sectie Liedts - P5: ~1 maand.
- Fase 5:
 - Aankomst van de tunnelboormachine in schacht P5 en demontage van de tunnelboormachine: ~ 3 en een halve maand.
 - Civiele bouwkunde van P5 : ~3 en een halve maand.
 - Aanbrenging van het slijtvaste beton: ~8 maanden.
- Fase 6: sluiting van de trechters van de toegangshelling: ~ 3 weken.

Wanneer de civiele bouwkunde van de tunnel beëindigd is, beginnen de werkzaamheden van de installatie van de uitrustingen, de aanleg van de sporen en de uitvoering van de afwerking van de perrons, wat circa 2 jaar tijd in beslag neemt voor de start van de testfase van de metro.

6. Analyse van de effecten van het project ten opzichte van de referentiesituatie en de aanbevelingen

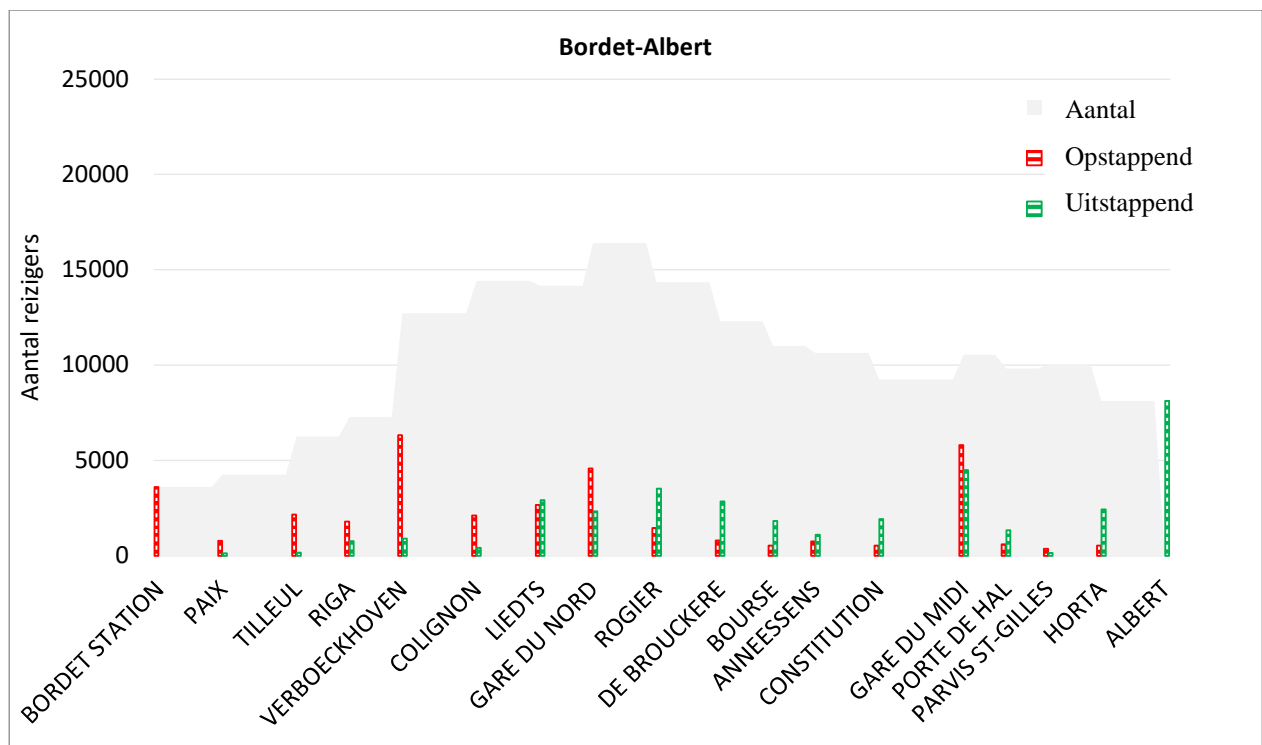
6.1. Mobiliteit

6.1.1. Vergelijkende modellering BMN - MUSTI

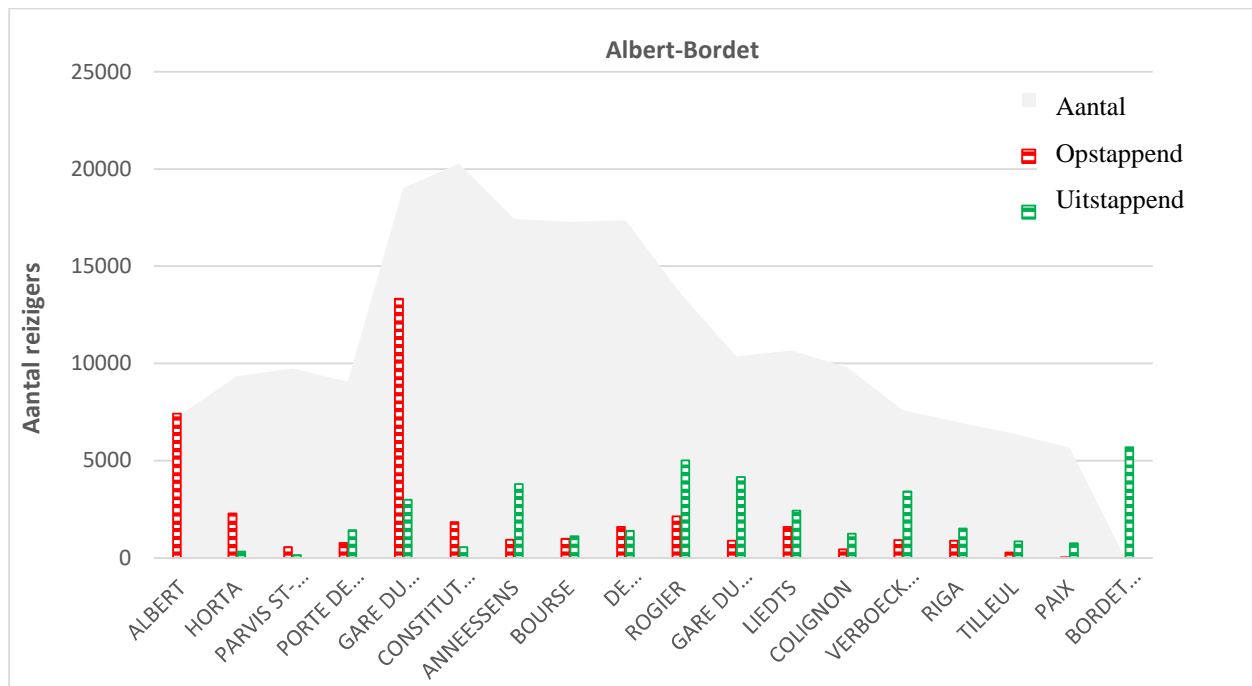
Zoals aangegeven in het Boek Inleiding punt 1.5.1.2, heeft het bureau BMN (bureau metro noord) een multimodaal prognosemodel ontwikkeld van het reizigersverkeer op de lijn M3. Dit model, "BMN" genoemd, berust grotendeels op IRIS II en de horizon 2020-2040. De hypothesen, de sterke en zwakke punten van dit model worden uitgelegd in het boek Inleiding.

De doelstelling van onderhavig punt is de vergelijking van dit model met het Musti-model dat opgebouwd is rond andere hypothesen en die de metro noord in zijn modellering integreert. De parameters en hypothesen van de modellering worden beschreven in het boek Inleiding.

De volgende grafieken tonen het aantal in- en uitstappen per station en per richting op de stations van de lijn M3 tussen 6 uur en 10 uur 's ochtends.



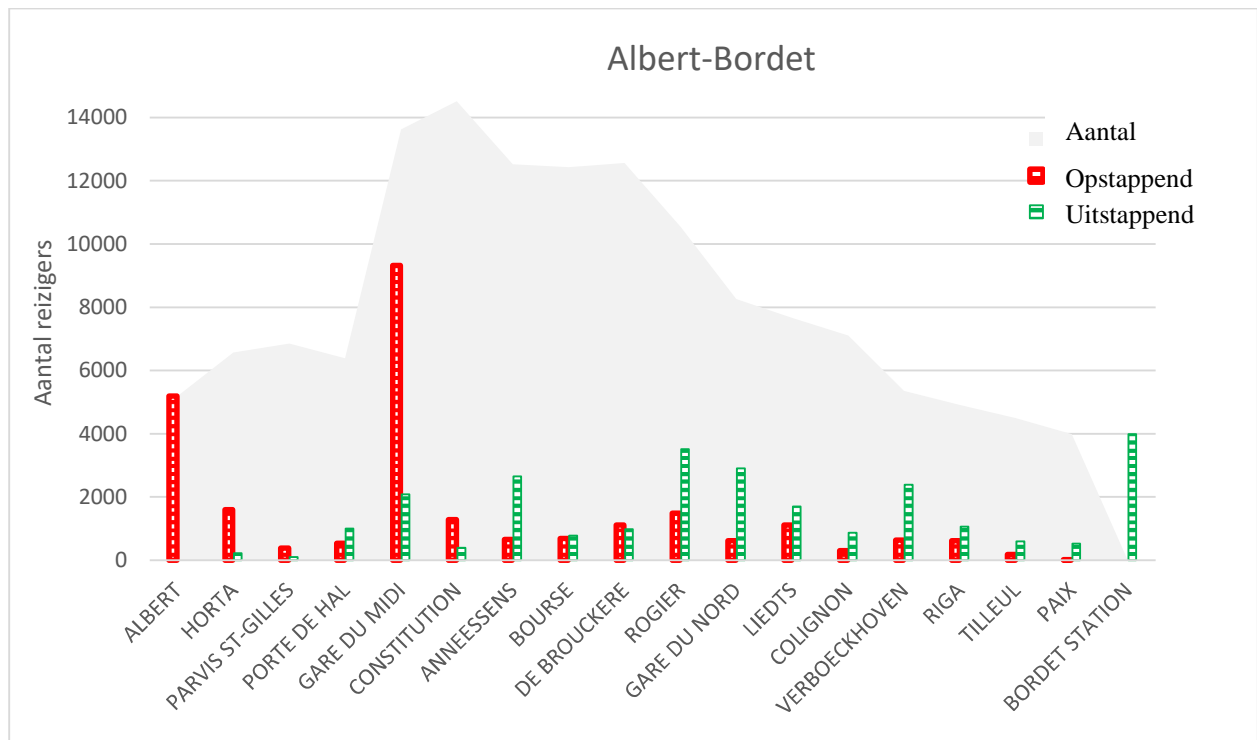
Figuur 28: Belastingsgrafiek 6u-10u van het gebruik van de lijn M3 in de richting Bordet-Albert (Gegevens Musti, Brussel Mobiliteit, 2020)



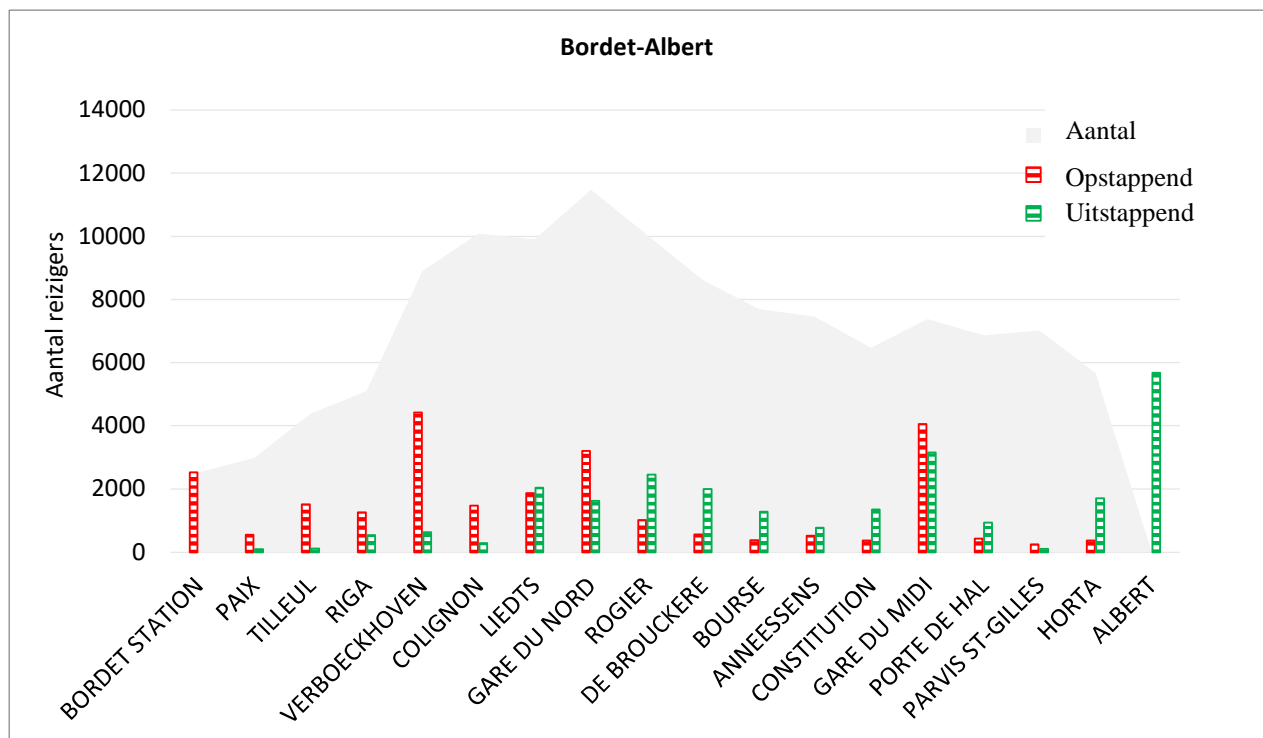
Figuur 29 : Belastingsgrafiek 6u-10u van het gebruik van de lijn M3 in de richting Albert-Bordet (Gegevens Musti, Brussel Mobiliteit, 2020)

Om deze resultaten te kunnen vergelijken met de resultaten van de BMN-simulaties die verstrekt werden voor het tijdsbestek 7u-9u 's ochtends, werd een vermenigvuldigingsfactor toegepast van 0.7 op de gegevens van Musti. Deze factor van 0.7 is gebaseerd op de tellingen op de lijn 55 door Brussel Mobiliteit. Deze tellingen werden uitgevoerd op bepaalde interstations eind 2017.

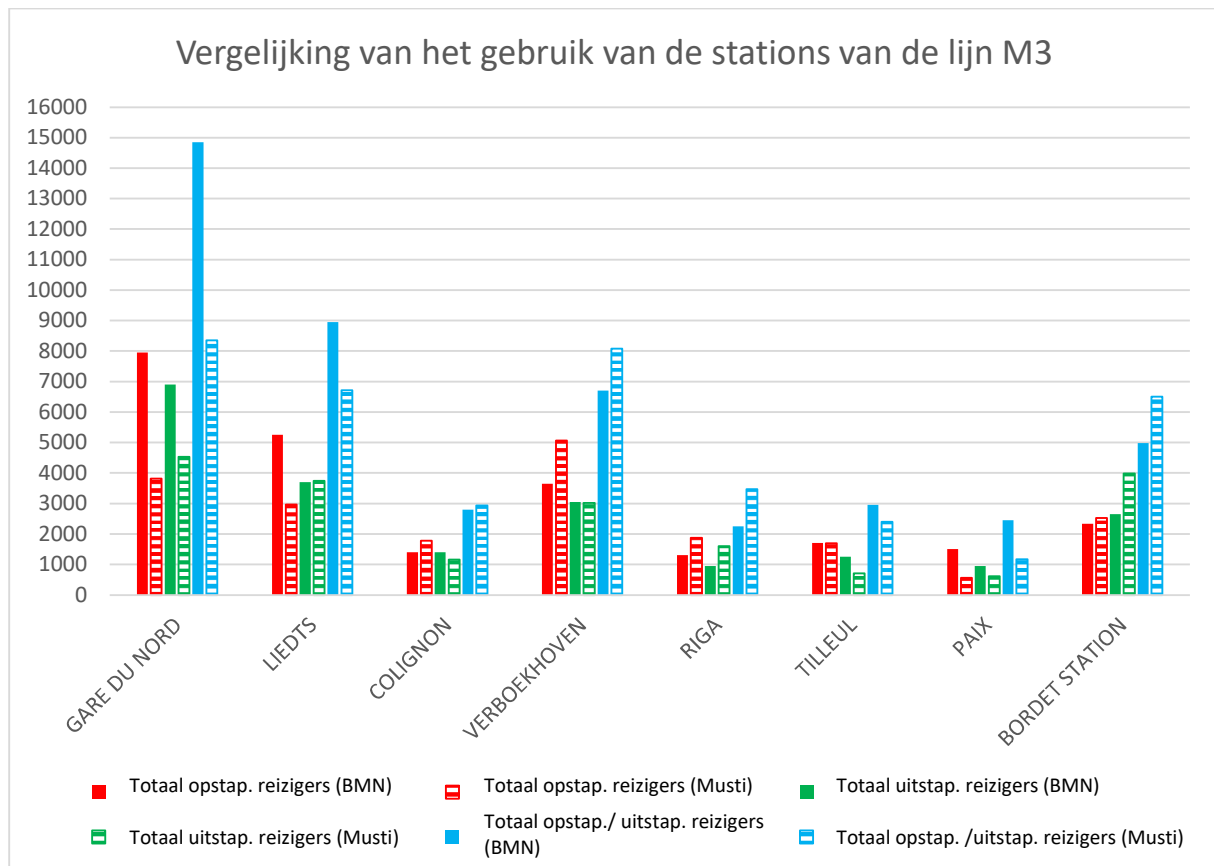
Gelet op de grote variaties in het gebruik dat een station kan ondergaan naargelang het tijdstip en de rijrichting, kan de toepassing van deze factor van invloed zijn op de hiërarchisering van de stations.



Figuur 30: Belastingen- en reizigersgrafiek 7u-9u van het gebruik van de lijn M3 in de richting Bordet-Albert (Gegevens Musti, Brussel Mobiliteit, Verwerking Tractebel 2020)



Figuur 31: Belastingen- en reizigersgrafiek 7u-9u van het gebruik van de lijn M3 in de richting Albert-Bordet (Gegevens Musti, Brussel Mobiliteit, Verwerking Tractebel 2020)

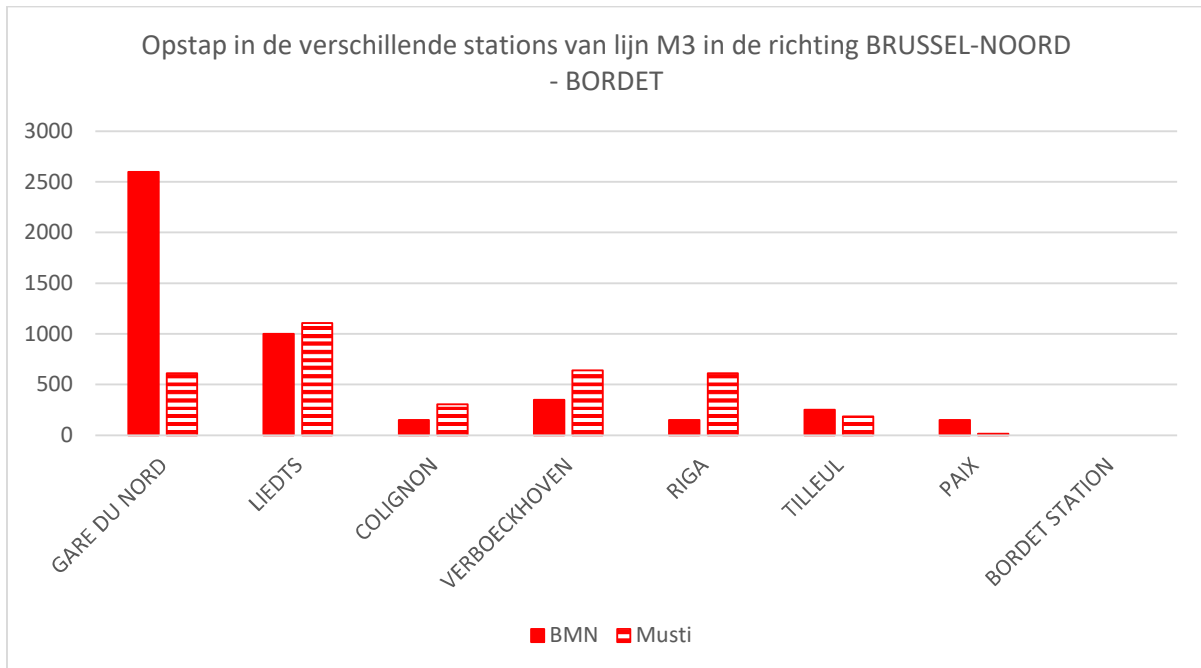


Figuur 32: Vergelijking van het gebruik van de stations van de lijn M3 op het spitsuur 7u-9u volgens de gegevens van Musti of BMN (Tractebel 2020)

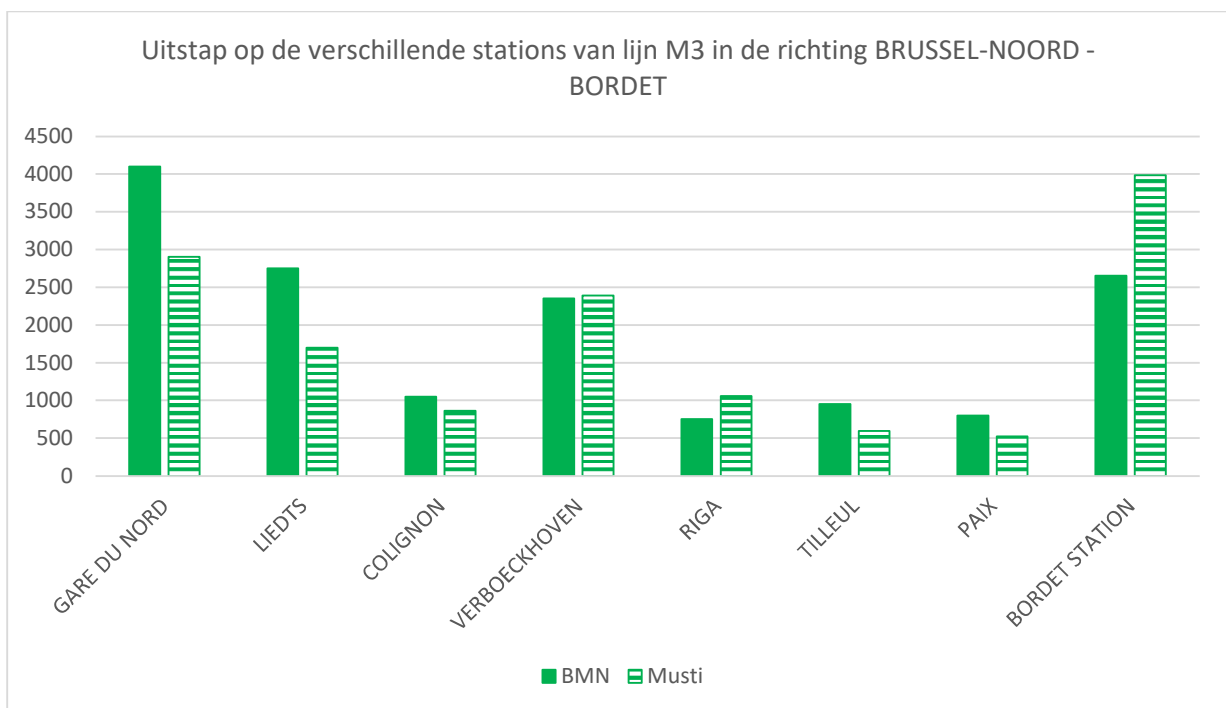
Hoewel men verschillen waarneemt tussen de twee databronnen, met name als gevolg van de modelleringshypothese die uitgelegd worden in het boek Inleiding, blijft het gebruik van de stations vergelijkbaar. Het station Brussel-Noord wordt met afstand het meest gebruikt. De stations BORDET, LIEDTS en VERBOEKHOVEN worden eveneens meer dan de andere gebruikt. De stations RIGA, LINDE, VREDE en COLIGNON zijn stations die zich kenmerken door een zogeheten "laag bezoek".

In het voor dit project uitgevoerde Musti-model, en dat goedgekeurd werd door Brussel Mobiliteit, wordt voor het station VERBOEKHOVEN de metroïsering van lijn 7 in aanmerking genomen en dus de verhoging van het overstappen tussen de twee lijnen, hetgeen het bijzonder hoge gebruik van dit station verklaart. Dit kan men waarnemen op de kaart van de door gebruikers van deze lijn gekozen wegen, aan het einde van dit hoofdstuk. Merk op dat het Musti-model geen GEN-halte bij Verboekhoven voorziet.

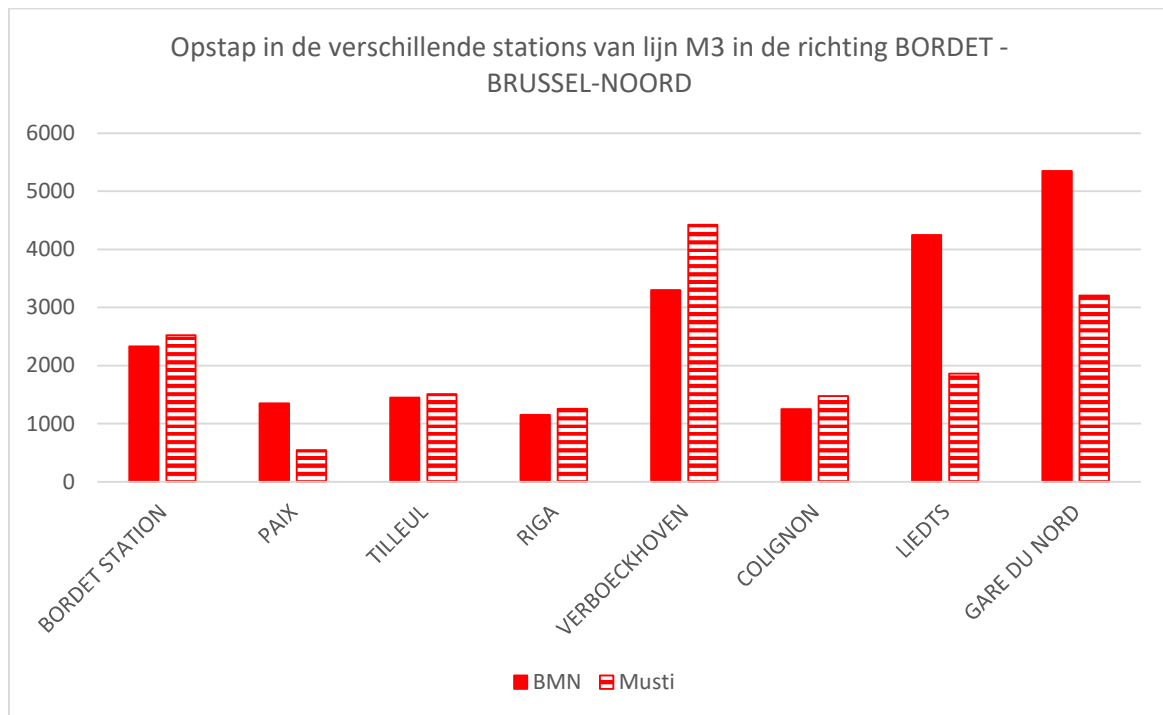
Dit betekent concreet dat de verwachte stromen op dit station dezelfde zijn in het BMN-model als het Musti-model, maar dat het verschil het gevolg is van de grote lokalisatie van de stromen in verband met de huidige tram 7 in het Musti-model. In het Musti-model wordt dus voorkeur gegeven aan een Lambermont-toegang.



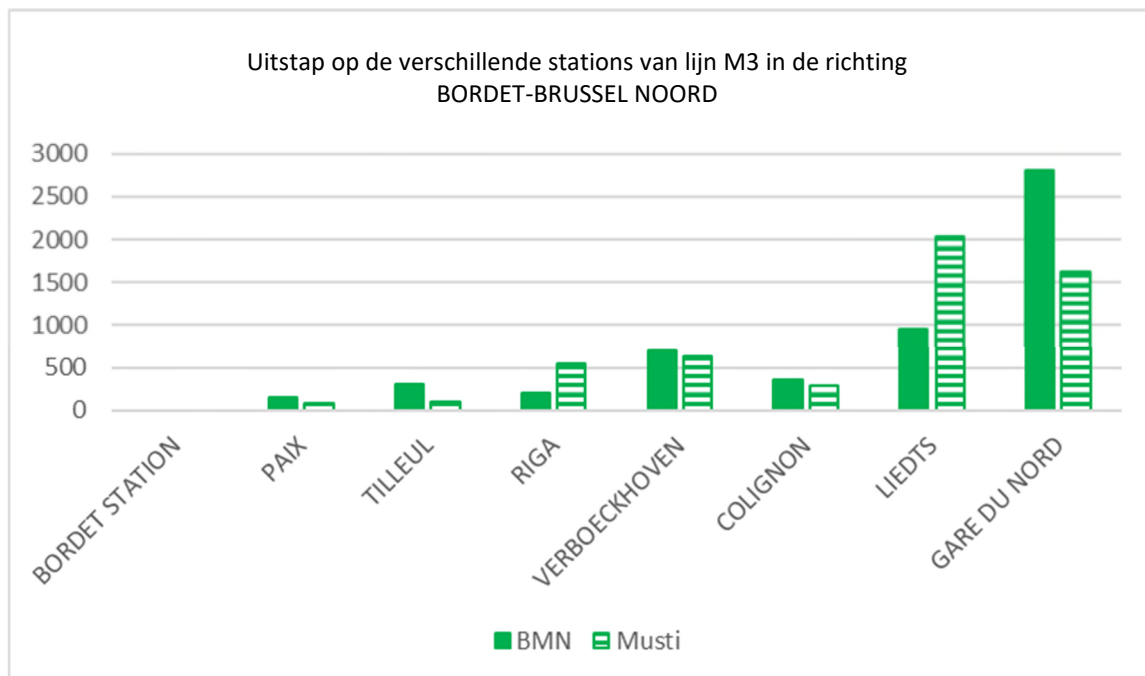
Figuur 33: Vergelijking van opstappende gebruikers op het spitsuur (7-9u) waargenomen door BMN en MUSTI in de richting Noordstation - Bordet (Tractebel 2020)



Figuur 34: Vergelijking van uitstappende gebruikers op het spitsuur (7-9u) waargenomen door BMN en MUSTI in de richting Brussel-Noord - Bordet (Tractebel 2020)



Figuur 35: Vergelijking van opstappende gebruikers op het spitsuur (7-9u) waargenomen door BMN en MUSTI in de richting Bordet - Brussel-Noord (Tractebel 2020)

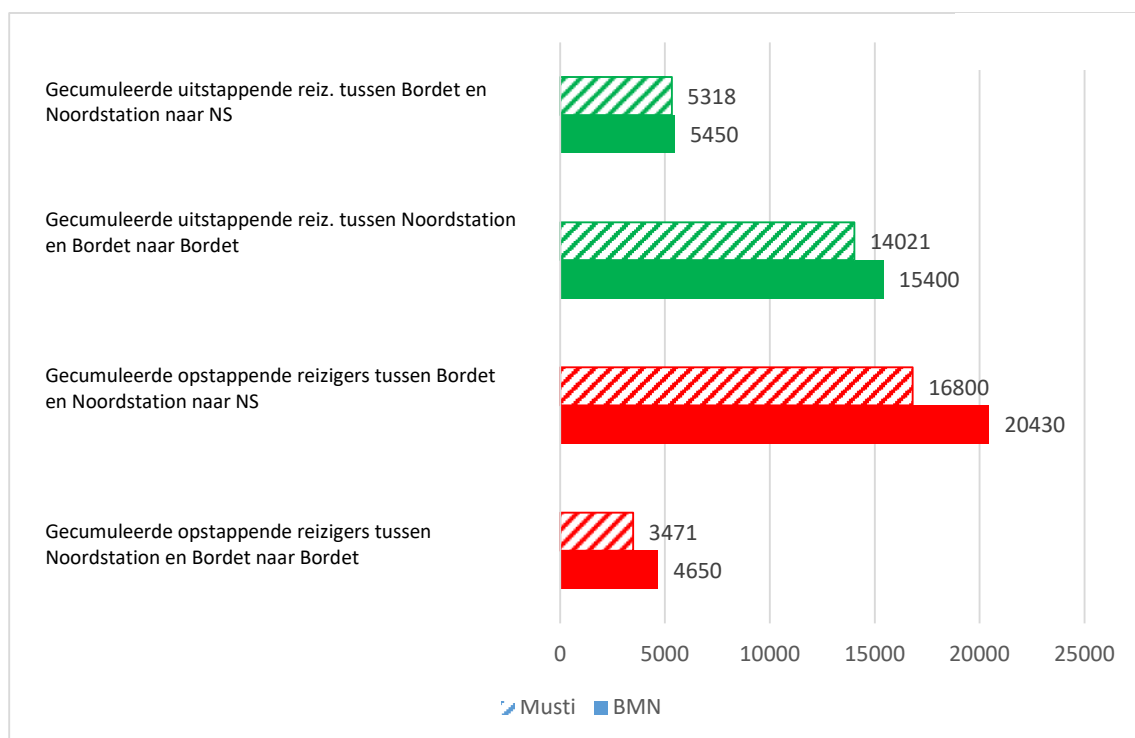


Figuur 36 Vergelijking van uitstappende gebruikers op het spitsuur (7-9u) waargenomen door BMN en MUSTI in de richting Bordet - Brussel-Noord (Tractebel 2020)

Wanneer men het gebruik van BMN en Musti vergelijkt, ongeacht de rijrichting, ziet men dat de grootste verschillen zich voordoen bij het opstappen en uitstappen op het station Brussel-Noord en Liedts. Het grotere aandeel van het gebruik van actieve vervoerswijzen voor het Musti-model verklaart ten dele deze verschillen.

Men neemt echter een licht hoger gebruik waar op de stations Colignon, Verboekhoven, Riga en Bordet in het Musti-model ten opzichte van het BMN-model.

Met name op het station Bordet waar het aantal uitstappende gebruikers hoger is tijdens de ochtendspits, wat geloofwaardig is in de veronderstelling van een gebruik van de metro door de Brusselse werknemers naar de zone Bordet/Navo en de gehele tertiaire en industriële sector rondom het station.



Figuur 37 Vergelijking van de totale cijfers op het spitsuur (7-9u) waargenomen door BMN en MUSTI (Tractebel 2020)

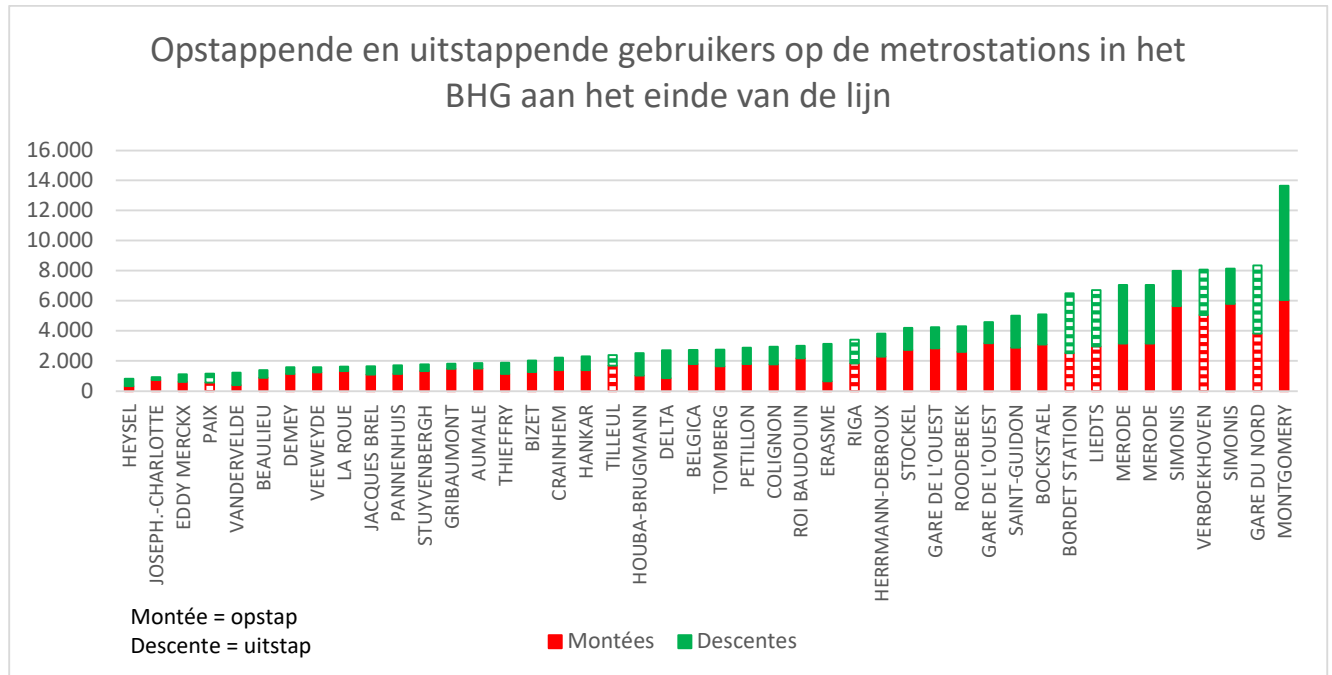
Geschatte belasting van de metro op het trace Noord-Bordet tussen 7u en 9u per richting volgens Musti

	Opstap	Uit stap	Aantal	Stations	Opstap	Uit stap	Aantal
GARE DU NORD	611	2904	8257	BORDET STATION	2522	0	2522
LIEDTS	1107	1699	7665	PAIX	545	90	2977
COLIGNON	305	864	7106	TILLEUL	1511	108	4380
VERBOECKHOVEN	638	2391	5353	RIGA	1257	538	5099
RIGA	612	1058	4907	VERBOECKHOVEN	4424	625	8898
TILLEUL	184	597	4494	COLIGNON	1475	289	10084
PAIX	14	524	3984	LIEDTS	1862	2041	9905
BORDET STATION	0	3984	0	GARE DU NORD	3204	1627	11482

Figuur 38: Hypothese van opstappende en uitstappende gebruikers op de sectie Brussel-Noord - Bordet tussen 7u en 9u (Tractebel 2021)

6.1.2. Conclusie van de vergelijkende analyse

Men neemt een hoger en gecumuleerd gebruik waar in het BMN-model in vergelijking met het Musti-model. Gecumuleerd bedraagt dit verschil tussen de 2% en 25% op de bestudeerde sectie wat dus betrekkelijk laag is ten aanzien van de verschillende hypothesen van de twee berekeningsmethoden.

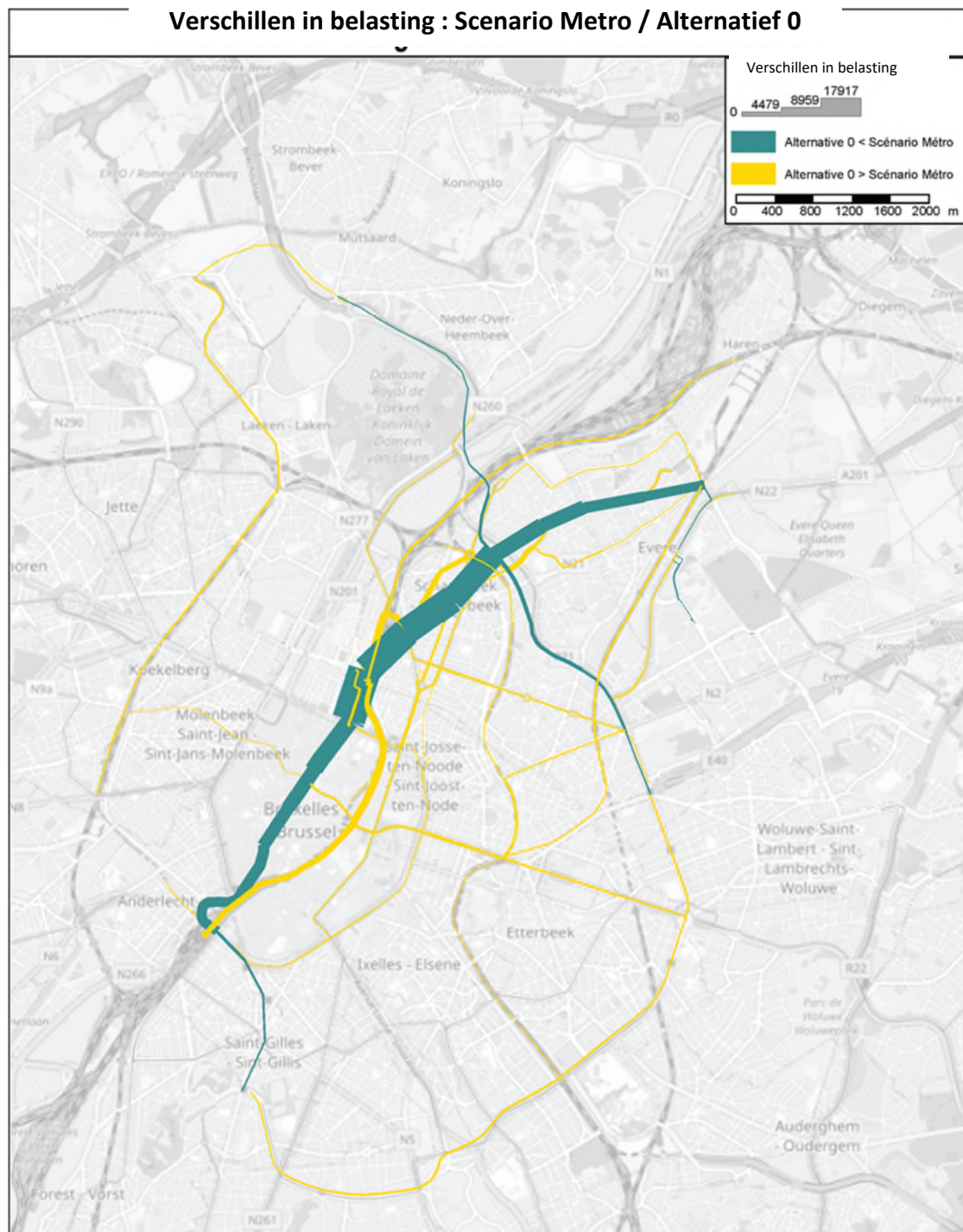


Figuur 39: Opstappende en uitstappende gebruikers op de metrostations in het BHG tussen 7u en 9u (databron MIVB 2019 en Musti 2020, verwerking Tractebel 2020)

Door middel van bovenstaande grafiek kunnen de opstappende en uitstappende gebruikers van de toekomstige stations volgens de modellering van Musti en Brussel Mobiliteit ten opzichte van de bestaande stations van het netwerk vergeleken worden. Behalve op de stations Vrede en Linde waar bijzonder weinig opstappende en uitstappende gebruikers verwacht worden, kan men waarnemen dat het gebruik van de toekomstige stations gemiddeld positief is in het Brusselse netwerk.



Figuur 40: Door de gebruikers van lijn M3 gebruikte wegen, volgens model MUSTI, Brussel Mobiliteit, 2020



Figuur 41: verschillen in belasting tussen elke situatie en het alternatief 0, volgens Model MUSTI, Brussel Mobiliteit, 2020

Volgens de bovenstaande Figuur ziet men dat lijn 7 ook meer gebruikt zal worden, als gevolg van de ingebruikname van M3. Daarentegen ziet men, en dat is inderdaad zeer positief, dat het thans verzadigde netwerk van lijn 1 tussen Montgomery en Centraal station verlicht wordt. Men ziet tevens een sterke vermindering van het gebruik van de spoorverbinding Noord-Zuid.

6.1.3. Beoordeling van de modale verschuiving als gevolg van de ingebruikname van de Metro Noord.

6.1.3.1. Context

Er bestaat een zekere correlatie tussen de verbetering van het openbaar vervoersaanbod, in het onderhavige geval de uitbreiding van de metro Noord, en de afname van het modale aandeel van particuliere auto's. Overigens maakt dit project deel uit van het plan Good Move dat tot doel heeft het gebruik van de individuele auto in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest te verminderen.

Het is echter belangrijk het vraagstuk op holistische wijze te benaderen. De vermindering van het aandeel van de individuele auto in het Gewest is geen gevolg maar wel degelijk een doelstelling waarnaar gestreefd moet worden en waarvoor noodzakelijkerwijze verschillende instrumenten gebruikt moeten worden (verbetering van het openbare vervoersaanbod, parkeerbeleid, tarifiering van het autoverkeer, fiscale maatregelen, verbetering van de inrichting van het oppervlak, integratie van diensten, promotie en communicatie, enz.).

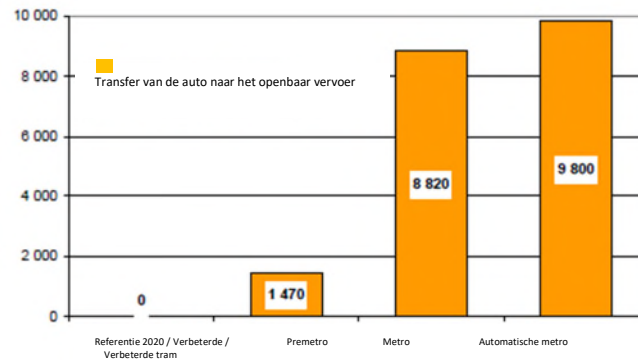
Het plan Iris 2 bevatte reeds een deel dat gewijd was aan het openbaar vervoer waarin aanbevolen werd het openbaar vervoer aantrekkelijker te maken door de ontwikkeling van het aanbod en de verbetering van de kwaliteit van de diensten, om de doelstelling van een vermindering van 20% van het modale aandeel van de auto in het BHG te bereiken. De verlenging van de premetro en de metroïsering in het kwadrant Noord-Oost werd in dit kader als "prioriteit van de Brusselse overheid" bestempeld.

Tijdens de sociaal-economische en strategische opportuniteitsstudie van het project beoordeelde BMN de rechtstreekse invloed van de verlenging van de metro op de modale verschuiving van de individuele auto's naar andere vervoerswijzen op basis van een multimodaal transportmodel in de GEN-zone (zone van circa 25km rond het Brussels Hoofdstedelijk Gewest).

A. Rechtstreekse invloed van de metro

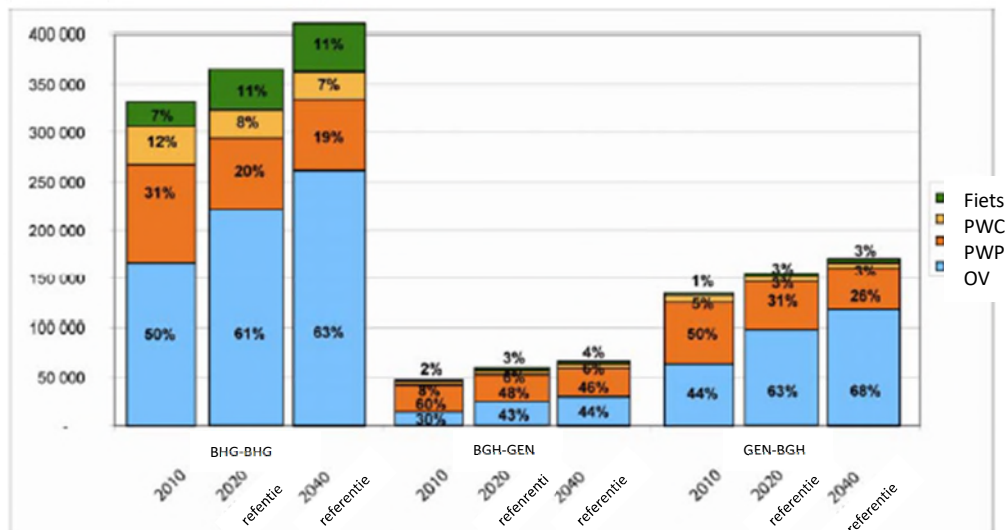
De BMN-studie⁽²⁾ die geleid heeft tot de aanbeveling van de uitvoering van het hechte metrotracé voor de ontsluiting van de corridor tussen Albert en Bordet volgt deze voorspelling. Toentertijd voorzag het in een modale transfer van de automobilisten naar het openbaar vervoer van 14% (tussen 2010 en 2020 voor een tussen toen en nu voltooide metro). De simulatiemodellen en vastgestelde scenario's waren toen gebaseerd op sociaal-demografische hypothesen over de bevolkingstoename en de werkgelegenheid en de stedelijke ontwikkelingsprojecten. Deze hypothesen waren onder andere gebaseerd op verkeerstellingen en de trajecttijden en de modale verdeling zoals gecontroleerd door het Beldamonderzoek 2010.

² BMN (2012): "Fase 1: Sociaal-economische en strategische opportuniteitsstudie", *Syntheserapport: Studie van de uitbreiding van het hoogwaardige openbare vervoersnetwerk naar het noorden van Brussel*



Figuur 42 Aantal reizigers die overstappen van de auto naar het openbaar vervoer naargelang de transportwijze (BMN, 2012)

Nog altijd volgens deze studie zou de keuze van de bouw van een metro alsdan leiden tot de overstap van het dagelijkse gebruik van de auto naar een dagelijks gebruik van het openbaar vervoer van circa 9.000 passagiers. De keuze van een automatische metro zou leiden tot een overstap van bijna 10.000 reizigers.



Figuur 43 Voorspelling van de modale verdeling (BMN, 2012)

De grote modale verschuiving van gebruikers van een particuliere auto naar het openbaar vervoer werd geschat op 11 punten net na de totstandkoming van het transportsysteem en daarna met 3 punten in de 20 jaar na de installatie daarvan. Men kan er dus van uitgaan dat het project over 20 jaar leidt tot een rechtstreekse modale transfer van 14%, zoals eerder aangegeven.

Deze voorspellingen dienen echter met de nodige voorzichtigheid in aanmerking genomen te worden. De door BMN uitgevoerde simulaties gingen uit van de invoering van een stedelijke tolheffing. Deze stedelijke tolheffing was toen voor een groot deel verantwoordelijk voor de toename van de vraag naar openbaar vervoer en uitsluitend verantwoordelijk voor de modale verschuiving van de auto naar de gewenste metro (*de invoering van de tol is de maatregel met de meeste impact die dagelijks leidt tot een verschuiving van de auto naar 260.000 extra*

*verplaatsingen met het openbaar vervoer binnen het gewest en naar meer dan 500.000 binnen de GEN-zone*³.

Horizon	Scenario	Voertuigkm [km]	Voertuiguren (u)	Inkomsten (€)
2010	Huidige situatie	701 630	33 666	-
2020	Referentie	606 200	24 008	420 900
2020	Test 1 (zonder tol)	720 200	36 962	-

Figuur 44 Simulatie met of zonder tol

Zoals blijkt uit onderstaande tabel werd bij een simulatie zonder tol geen vermindering van het aantal voertuigen op de weg voorzien. Aldus is de invloed van de aanleg van de metro op de modale verschuiving zoals voorheen gepresenteerd betwistbaar, daar de studie aangaf dat bij een simulatie zonder stedelijke tolheffing *het niet mogelijk zou zijn de doelstelling te bereiken van het plan Iris II van een vermindering van het verkeer met 20% ten opzichte van 1999*⁴.

B. Totale en onrechtstreekse invloed van de metro op de fiets

De modale verschuiving van de auto naar de fiets is eveneens belangrijk. Maar deze verschuiving staat niet geheel los van de verbetering van het openbare vervoersaanbod.

Nog altijd in de studie van BMN, wordt in de simulatie ervan uitgegaan dat het gebruik van de fiets matig zal toenemen (tot 12% in 2020). Deze toename vindt voor een derde deel plaats ten koste van het modale aandeel van de auto en voor twee derden ten koste van het openbaar vervoer, dat wil zeggen een een gebruiksafname van 5% van het openbaar vervoer. Deze gebruiksafname van het openbaar vervoer is ten dele het gevolg van de doorstroming van het verkeer door een grotere doelmatigheid van het transportnet, die de wegen geschikt maakt voor het gebruik van de fiets en die dus nieuwe fietsers aantrekt. Overigens maakt de gebruiksafname de metro minder druk, dus comfortabeler en dus aantrekkelijker voor nieuwe gebruikers die voorheen de auto gebruikten en die aangespoord worden om de auto te laten staan. Aldus wordt deze geruiksafname paradoxaal gecompenseerd door een modale verschuiving van de auto naar het openbaar vervoer, hetgeen bevordert wordt door een modale verschuiving van het openbaar vervoer naar de fiets, die op haar beurt bevordert wordt door de invoering van een doelmatiger transportnetwerk.

Deze modale verschuivingen in verband met de verbetering van het openbare vervoersaanbod leidt volgens de simulatie van BMN tot een vermindering van het wegverkeer van 16% in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (voertuigkilometers).

6.1.3.2. Plaatsing in perspectief van de analyse van de modale verschuivingen

Als een tolheffing voor de automobilisten niet inbegrepen wordt in de voorspellingen van de modale verschuivingen, concludeert de studie van BMN dat de metro slechts een geringe vermindering tot gevolg heeft van het aantal verplaatsingen met de auto.

³ BMN (2012)

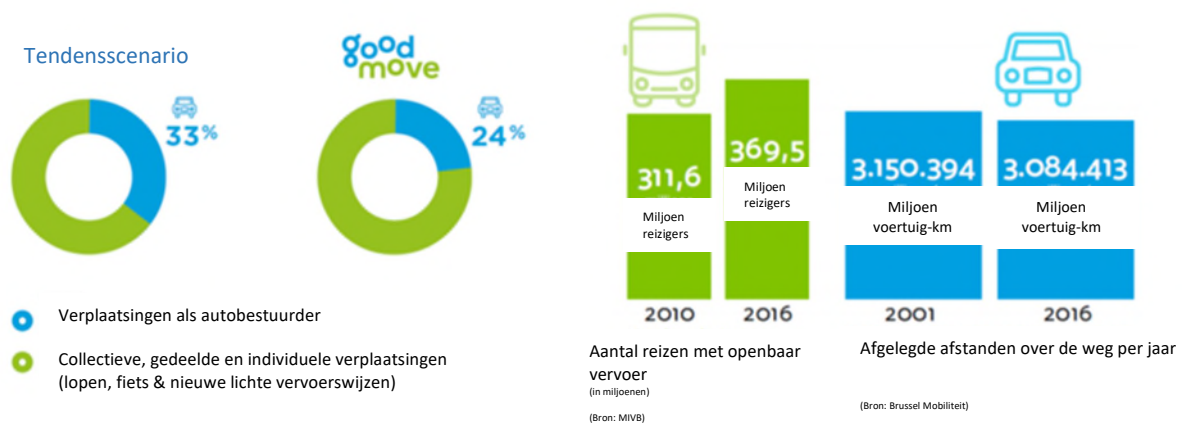
⁴ BMN (2012)

Echter, de vermindering van het modale aandeel van de individuele auto is niet de enige in aanmerking te nemen doelstelling of indicator. Men dient tevens rekening te houden met de impact van deze nieuwe metrolijn op parameters zoals tijdwinst, netwerkeffecten, valorisatie van de grond, verbetering van de toegankelijkheid van de werkgelegenheid, diensten, ...

Om te proberen de effecten van een bepaalde maatregel te isoleren, de metro Noord in het onderhavige geval, komt men in het algemeen tot de conclusie dat deze gering zijn en dat er "begeleidende maatregelen" nodig zijn... wat erop neerkomt dat een algehele mobiliteitsstrategie nodig is.

Tegenwoordig wordt deze strategie bepaald via Good Move en de metrolijn Noord-Bordet maakt daar deel van uit.

Volgens Good Move bedraagt de modale verdeling thans 33% voor alleen de automobilisten en 67% voor de overige vervoerswijzen (waaronder 9% aan carpooling). Deze verdeling wordt geacht te veranderen na de toepassing van het plan in een verdeling van 24% voor de individuele auto tegen 76% voor de overige vervoerswijzen, dat wil zeggen een afname van 9% van de dagelijkse automobilisten.



Figuur 45: Tendensscenario voorzien door Good Move en gewicht van de mobiliteit in de huidige situatie (Good Move, 2019)

De terbeschikkingstelling van een nieuwe massale en robuuste infrastructuur die een hoge capaciteit kan bieden op een hoog dienstniveau voor de klant, is een noodzakelijke voorwaarde om met succes bewuste maatregelen te treffen om het autoverkeer terug te dringen en de modale verschuiving in Brussel te bevorderen, in een context van bevolkingstoename en stedelijke verdichting zoals wij die kennen.

Met andere woorden, de modale verschuiving blijft gering als men zich ertoe beperkt om de metro aan te leggen zonder tegelijkertijd het autoverkeer te willen beperken. Omgekeerd zal een bewust beleid tot vermindering van het autoverkeer zonder voorstel van nieuwe, alternatieve, kwalitatieve openbare vervoersinfrastructuren van voldoende capaciteit de gebruikers niet tevredenstellen.

6.1.4. Effecten van het vervoer van de afgegraven grond (van de tunnel) volgens de 2 weerhouden laadhypothesen

6.1.4.1. Laden in de haven van Brussel

Het volume afgegraven grond van de tunnel maar ook van de 7 stations en de stelplaats, wordt geschat op 1.500.000m³, ofwel 90.000 vrachtwagens, hetgeen neerkomt op circa 5 maal het equivalent van de Leeuw van Waterloo.

De afgegraven grond van de tunnel en de stelplaats komt overeen met 41.500 vrachtwagens. Dagelijks produceert de werf circa 700m³ per dag, wat neerkomt op 30 vrachtwagens/dag. Hier moet het equivalent van 7 vrachtwagens aan toegevoegd worden voor de segmenten en 6 vrachtwagens voor de afdichtmortel. Dit brengt het totaal theoretisch op 43 vrachtwagens per dag wanneer de tunnelboormachine in werking is.

Hieraan moeten de vrachtwagens toegevoegd worden van de werf van de 7 stations en de stelplaats, wat geschat wordt op 15 tot 20 vrachtwagens per station, die eveneens grond moeten lossen in de haven van Brussel.

De aanvankelijk door BMN voorziene route is de volgende: Stelplaats → Houtweg → Stroobants → Leeuwoprit → haven van Brussel

De aanvankelijk voorziene route voor het lossen naar de haven van Brussel is niet mogelijk of zou een percolatie vereisen in de woonwijken. De Leeuwoprit of de Albertbrug over de spoorweg is namelijk, vanwege de stabiliteitscondities en de schade aan het kunstwerk, niet meer toegestaan voor de doorgang van zware voertuigen. Gelet op zijn staat werd de brug verboden voor vrachtwagens van meer dan 3,5 ton in 2013.



Figuur 46: Aanzicht op de toegang tot de brug vanuit Schaarbeek naar de haven (Googlestreetview, juli 2020)

Bij gebrek aan deze oversteek van de spoorweg loopt de meest directe toegang tot de haven over de Lambermontlaan via de Houtweg, de Bordetlaan, de as Leopold III, de Lambermontlaan en vervolgens de Vilvoordelaan.

Deze route is ±7 kilometer lang en vereist buiten de spits een trajecttijd die geschat wordt (via Googlemaps) op 16 minuten. Tijdens de spits loopt deze theoretische trajecttijd door het drukke verkeer en de herhaaldelijke files op de Bordetlaan, Leopold III en de Middenring aanzienlijk op.

De geschatte vrachtwagenbelasting van gemiddeld 9 vrachtwagens/u/richting zal het verkeer op deze verkeersaders van gewestelijk belang niet significant wijzigen, maar draagt echter bij aan een toename van de overlast, met name bij de kruispunten nabij de werfbasis (kruispunt Houtweg/Haacht en Bordet/Leopold III).

Het is van belang om op te merken dat deze route naar de haven van Brussel ook het vervoer conditioneert van 6 van de 7 stations waarvan het transport per vrachtwagen onvermijdelijk lijkt.

Men kan de metrowerf groeperen in 4 aparte zones wat betreft het vervoer:

- Zone 1 (Houtweg, Stroobants, Leeuwoprit): **Bordet, stelplaats, tunnel, Vrede**
- Zone 2 (Stroobants, Leeuwoprit): **Linde**
- Zone 3 (Lambermont, Van Preat, L. Monnoyer): **Riga, Verboekhoven, Colignon**
- Zone 4 (Koninginnelaan, Werkhuizenkaai): **Liedts**

Naast het alternatief Leopold/Lambermont voor de zones 1-2, zou een andere route kunnen lopen via de Haachtsesteenweg naar de Budazone en vervolgens de Vilvoordelaan tot de haven, maar dit betekent een omweg van minimaal 7km voor de site van de stelplaats en van 9-12km vanuit Linde en Vrede, waaronder een percolatie in de wijken van Evere.

Als de weerhouden optie een vervoer per vrachtwagens is naar de haven, dient de renovatie van de Leeuwoprit absoluut geactiveerd te worden. Op dit moment van schrijven is er contact opgenomen tussen de aanvrager en Infrabel over dit punt, maar geen enkele vergunning werd neergelegd.



Figuur 47: Scenario van de verbinding tussen de haven en de werf van de tunnel en de stations – zie cartografische atlas in de bijlage (ARIES, 2021)

6.1.4.2. Laden op Lijn 26

Laden van de grond op konvoeien van de L26 is technisch mogelijk, maar vereist aanpassingen van de infrastructuur langs de site van de stelplaats en het proefspoor daarvan. Eenmaal geladen kan het konvooi hetzij geleid worden naar de haven van Brussel, hetzij naar een verwerkings- of ingravingssite buiten Brussel.

Het laden naar lijn 26 zou tegelijkertijd moeten plaatsvinden met de bestaande treinsporen, tussen het proefspoor van de MIVB (verhoogd) en de huidige 2 sporen van L26. In dat geval dient het talud van het proefspoor aangepast te worden, dat hoger ligt dan de sporen van Infrabel. In dit scenario zou een steunmuur voorzien moeten worden langs het proefspoor zodat het bestaande talud afgegraven kan worden om een spoorweg voor de werftreinen in te voegen (dezelfde oplossing als voor de GEN-werken).

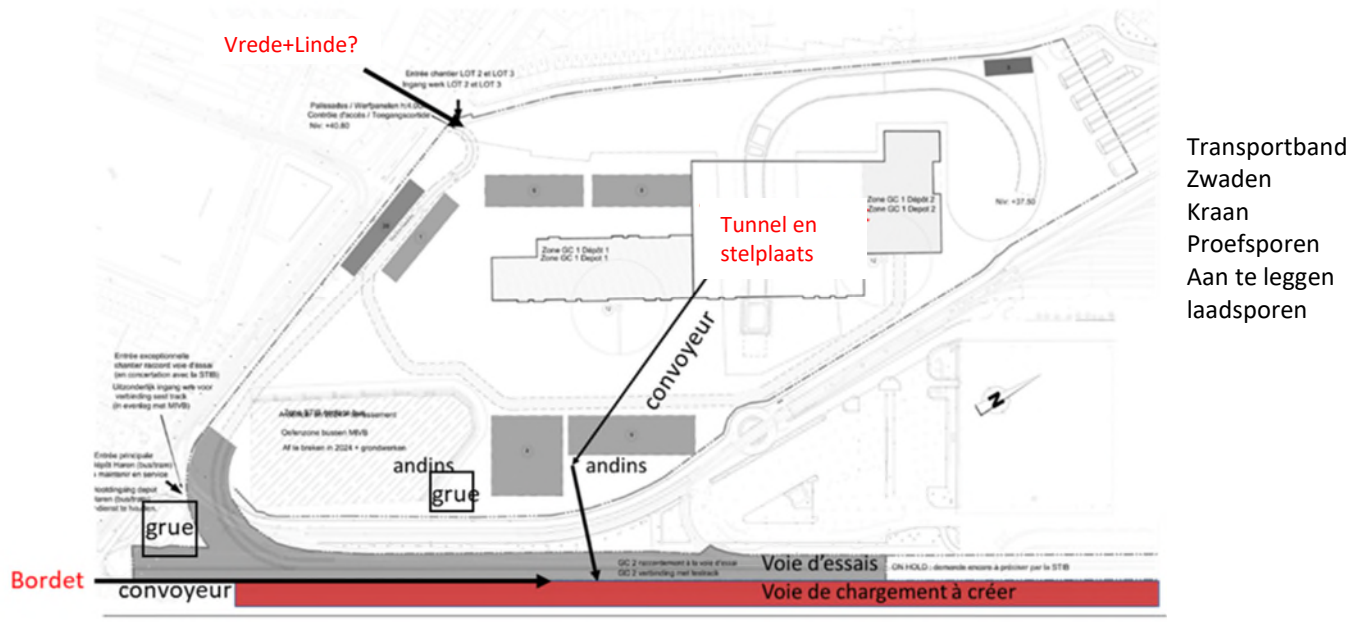


Figuur 48: Voorbeeld van de plaatsing van een steunmuur in Rixensart voor de aanleg van de GEN-sporen (Rail-be.net)

Om deze laadzone op de lijn L26 te bereiken vanuit de werfzone van de tunnel, zonder de interne zone van de MIVB te verlaten, dient de passage Van Kerkweg overgestoken te worden.

Als het laden uitgevoerd moet worden vanuit P0, dient de installatie voorzien te worden van een transportband binnen de site van de MIVB. Deze transportband zou dan lopen over de Van Kerkweg heen en over het proefspoor van de metro (die logischerwijze niet in werking zou zijn voor het begin van de uitbating). Deze transportband zou een lengte hebben van +/- 200m.

Deze optie verdient de voorkeur voor de **afgegraven grond van de tunnel** maar ook voor de afgegraven grond tijdens de bouw van **de stations in de nabijheid van de site van de stelplaats** (Bordet, Vrede en eventueel Linde) die per vrachtwagen naar de site van de stelplaats vervoerd zal moeten worden.



Figuur 49: Hypothese van de overslag van grond naar de spoorweg tussen de site van de stelplaats van Haren en een mogelijk laadspoor langs de L26 (ARIES op basis van werfplan BMN, 2021)

De trein is niet competitief voor de grond van de 4 andere stations. Gelet op hun stedelijke integratie en de afstand ten opzichte van de mogelijke laadzones via de spoorweg (Josaphat of Schaarbeek formatie) moet namelijk hoe dan ook de grond per vrachtwagen verplaatst worden. En dus is een rechtstreeks traject naar de haven van Brussel het meest geschikt voor deze stations.

Ter hoogte van de toegang tot de haven van Brussel, bevestigt Mevrouw De Norre – Attachée van de ontwikkeling van de Haven van Brussel, in 2021 dat er momenteel een toegang bestaat tussen de 'grill' van Schaarbeek formatie en de kaden van de voorhaven van Brussel (die leidt naar de containerterminal) waarmee de L26 rechtstreeks met de haven verbonden kan worden. Volgens het Koninklijk besluit van 30/12/2004 zou deze spoorweg ontmanteld moeten worden. De Haven van Brussel wenst echter deze toegangsspoorweg naar de voorhaven van Brussel te handhaven.

De Haven en het Gewest hebben een gerechtelijke procedure ingesteld om de ontmanteling te voorkomen, welke procedure nog altijd gaande is. In deze uitwisseling tussen de studiegelastigde en de Haven van Brussel werd tevens bevestigd dat de toegangsoptlossing per spoorweg de voorkeur verdient boven het vervoer over de weg.



Figuur 50: Afvoerroute van de afgegraven grond via de L26 naar de haven van Brussel (Aries via Google Earth geraadpleegd in februari 2021)

6.1.4.3. Planning en bijkomend vervoer over de weg

A. Zones 1-2

De fase 2022-2024 heeft betrekking op de werf voor het slopen van de bestaande gebouwen en de belangrijkste grondwerken voor de installatie van **P0 en de toegangshelling** waarvoor +/-30 vrachtwagens per dag gedurende 2 jaar nodig zijn.

De tunnelboormachine neemt plaats in de aanvangsschacht P0 op de site van de stelplaats van Haren in 2025 voor een geschatte graaftijd van 26 maanden die moet leiden naar de schacht P5 van de Aarschotstraat. De tunnelboormachine zal worden aangevoerd in losse onderdelen per uitzonderlijk konvooi en gemonteerd worden op de site van Haren. Tussen de verschillende verplaatsingen kan de tunnelboormachine 7d/7 24u/24 werken zodat een voortgang bereikt kan worden van 10m/d. Met de werking van de tunnelboormachine zijn 40-45 vrachtwagens gemoeid (per dag dat de tunnelboormachine werkt) gedurende 2 jaar vanuit en naar de site van Haren.

Vervolgens zijn tussen 2025 en 2029 voor de inrichting van het gebouw van de **stelplaats** 30 vrachtwagens per dag nodig.

En daarna zijn tussen 2029 en 2030 voor de inrichting van de buitenzijde van de site van de stelplaats 10 vrachtwagens per dag nodig.

Deze werf gaat tevens gepaard met die van **station Bordet**, waarvan de grote fasen verwacht worden tussen 2023 en 2027. Wat betreft het verkeer blijft de impact van het wegvervoer van deze 3 werven tezamen (stelplaats + tunnel + station) op de twee kruispunten van de Bordetlaan niet significant. Niet significant op een werfdag ten opzichte van het huidige zeer drukke verkeer op deze as en als en uitsluitend als de materialen vertrekken en aankomen vanuit het noorden en de Haven van Brussel (dat wil zeggen via Stroobants).

Daar komt de werf van station **Vrede** nog bij die in september 2022 begint. De werf zou circa 7 jaar duren (deze periode omvat het graven van de tunnel en het station, de installatie van de uitrustingen en de afwerking van de lokalen van het station). Het werftransport, voornamelijk in verband met de afgegraven grond en de toevoer van bouwmaterialen, wordt geschat op circa 15 tot 20 vrachtwagens per werkdag gedurende minstens 60 maanden. Tijdens productiepieken van de afgegraven grond kan dit getal oplopen tot 30 tot 40 vrachtwagens per werkdag, hetgeen neerkomt op een gemiddelde van 5 voertuigen per uur. Naargelang de fasen lopen de transportroutes via de Stuckensstraat en/of de Parijsstraat. De afvoer van de afgegraven grond is voorzien (volgens de vergunningsaanvraag) via de Dekosterstraat, naar de Houtweg om vervolgens uit te komen op de Leeuwoprit.

In geval deze route-optie niet denkbaar is, met name als de Leeuwoprit niet gerenoveerd zou worden, worden de kruispunten Bordet/Houtweg/Haacht en Bordet/Leopold III een verplicht passagepunt vanuit en naar de stelplaats en de toegangsschacht tot de tunnel.

Tussen 2022 en 2030 worden er niet minder dan 80.000 vrachtwagens verwacht voor de levering aan de stelplaats en de tunnelboormachine. Als men daar minstens de afgravingen van station Bordet aan toevoegt, stijgt dit aantal naar 87.500 vrachtwagens, zonder te spreken over de aanvoer van materialen van het station. Daarbij komt nog de bouw van station Vrede waarvoor nagenoeg dezelfde verhoudingen nodig zijn.

Men kan tevens zone 2 (Linde) toevoegen waarvan de uitvoeringsplanning van het station voorziet in een begin van de werf eind 2023 en voor een duur van 6 jaar. Het werftransport, voornamelijk in verband met de afgegraven grond en de toevoer van bouwmaterialen, wordt geschat op circa 15 tot 20 vrachtwagens per werkdag. Tijdens productiepieken van de afgegraven grond kan dit getal oplopen tot 30 tot 40 vrachtwagens per werkdag, hetgeen neerkomt op een gemiddelde van 5 voertuigen per uur. De door de aanvrager beoogde route voor dit transport is de Verdonckstraat naar het noorden om uit te komen op de Stroobantsstraat.

Men kan dus aannemen dat een **equivalent van 100.000 vrachtwagens** zich hetzij naar de Leeuwoprit, hetzij naar Leopold III, hetzij naar de Haachtsesteenweg begeeft. Wat betreft het aantal over de gehele duur, is dit niet alleen schadelijk voor de infrastructuur van de wegen, maar vooral ook voor de omwonenden van de zones 1-2.

Het is derhalve onontbeerlijk om het wegvervoer zoveel mogelijk te beperken om dit aantal van 100.000 vrachtwagens drastisch terug te dringen.

Om het wegvervoer naar de haven van Brussel te beperken en dus de passage door de wijk Stroobants tot alleen station Linde, bestaat de door de studiegelastigde bedachte oplossing uit het gebruik van de lijn L26 via de aanleg van een laadspoor tussen het proefspoor van de metro en de bestaande sporen van Infrabel. Het merendeel van de afvoer zou dan langs de stelplaats van de MIVB plaatsvinden (zonder vervoer voor de tunnel, de stelplaats en station Bordet) en hetzelfde geldt voor de toevoer van geprefabriceerde materialen.

Voor station Vrede wordt in dat geval het wegvervoer beperkt tot Dekoster-Fonson (met vermijding van Stroobants). De verwachte gevolgen houden verband met de geluidsoverlast

en de trillingen van het wegvervoer, dat over de straat plaatsvindt, maar er is geen gevolg voor de invoeging in het verkeer.

Dit vereist voorafgaande werkzaamheden via de ondersteuning van het proefspoor en de verbinding met de L26, maar deze werkzaamheden zijn verwaarloosbaar ten opzichte van het metroproject in zijn geheel, gelet op het feit dat dit een ondersteuning of een lichte verplaatsing omvat van een proefspoor van de metro waarvan de perimeter binnen de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning valt en waarvan het feitelijke gebruik voor het moment en tot in 2026 slechts sporadisch is.

Los van het verkeer op de L26, zouden de wagons geladen kunnen worden via een transportband die over de site van de stelplaats loopt (boven de Van Kerckweg). Tegelijkertijd zouden met een torenkraan langs de Van Kerckweg de wagons uitgeladen kunnen worden voor de toevoer van de werkbasis van de tunnelboormachine en de stelplaats met talrijke geprefabriceerde elementen.

Men gaat hier uit van de hypothese dat het merendeel van de afgegraven grond en de geprefabriceerde elementen gemobiliseerd worden via de voorhaven van Brussel, maar de hypothese van de spoorweg maakt ook andere verbindingen in België en Europa mogelijk. Overigens zou deze tijdelijke weg later eventueel gebruikt kunnen worden door Infrabel voor een bufferzone of om de L26 vierbaans te maken...

B. Zone 3

Volgens de huidige uitvoeringsplanning is de aanvang van de werf van station **Riga** voorzien halverwege 2023. De werf zou circa 6 jaar moeten duren. Het werftransport, voornamelijk in verband met de afgegraven grond en de toevoer van bouwmaterialen, wordt geschat op circa 15 tot 20 vrachtwagens per werkdag gedurende 49 maanden. Tijdens productiepieken kan dit getal oplopen tot 30 tot 40 vrachtwagens per werkdag (tussen 2023 - eind 2026), hetgeen neerkomt op een gemiddelde van 5 voertuigen per uur.

Volgens de huidige uitvoeringsplanning is de aanvang van de werf van station **Verboekhoven** voorzien halverwege 2022. De werf zou circa 7 jaar moeten duren. Het werftransport, voornamelijk in verband met de afgegraven grond en de toevoer van bouwmaterialen, wordt geschat op circa 20 tot 30 vrachtwagens per werkdag gedurende circa 58 maanden. Tijdens productiepieken kan dit getal oplopen tot 50 tot 60 vrachtwagens per werkdag (2022 - 2027), hetgeen neerkomt op een gemiddelde van 8 voertuigen per uur. Ook mag de toevoeging van het wegvervoer vanuit de werf van Colignon niet verwaarloosd worden, waarvan de cumulatie niet concreet geschat werd door de aanvrager, maar waarvan de schatting hierna uitgevoerd werd door de studiegelastigde.

De werf **Colignon** zou circa 7 jaar moeten duren. Het werftransport, voornamelijk in verband met de afgegraven grond en de toevoer van bouwmaterialen, wordt geschat op circa 15 tot 20 vrachtwagens per werkdag gedurende 61 maanden. Tijdens productiepieken (2023-eind 2026) kan dit getal oplopen tot 30 tot 40 vrachtwagens per werkdag, hetgeen neerkomt op een gemiddelde van 5 voertuigen per uur.

Voor de zone 3 is het wegvervoer onvermijdelijk, ongeacht of het een voorafgaand transport naar de haven of naar de spoorweg betreft. Men kan aannemen dat gedurende de totale werf 30.000 vrachtwagens verwacht mogen worden.

De cumulatie zal merkbaar zijn op de Lambermontlaan (bij het kruispunt Demolder) tot aan de Van Praetbrug. Men moet rekenen op pieken van +/- 15 vrachtwagens per uur die over deze route rijden (verschillende pieken over minstens 4 jaar). Gelet op het drukke verkeer op

de Lambermontlaan is dit cijfer niet significant ten opzichte van de globale mobiliteit van deze as. Het is echter onvermijdelijk dat dit overlast met zich meebrengt voor de omwonenden van deze route, die de konvooien meerdere jaren moeten ondergaan.

C. Zone 4

Voor station Liedts is volgens de huidige uitvoeringsplanning de aanvang van de werf van dit station voorzien halverwege 2023. De werf zou circa 6 jaar moeten duren. Het werftransport, voornamelijk in verband met de afgegraven grond en de toevoer van bouwmaterialen, wordt geschat op circa 20 tot 30 vrachtwagens per werkdag gedurende 53 maanden. Gelet op de ligging kan de afvoer en de toevoer van materialen uitsluitend per wegtransport plaatsvinden. Tijdens productiepieken (2023-2027) kan dit getal oplopen tot 50 tot 60 vrachtwagens per werkdag, hetgeen neerkomt op een gemiddelde van 8 voertuigen per uur tijdens de piekperiode van de werf. Het wegtransport is onvermijdelijk en wordt geschat op 8.000 vrachtwagens. De door de aanvrager beoogde route voor dit transport is een afvoer naar het noorden, via de Paleisstraat, om uit te komen op de haven van Brussel. Gelet op het drukke verkeer op deze verkeersader is dit cijfer niet significant ten opzichte van de globale mobiliteit. Het is echter onvermijdelijk dat dit overlast met zich meebrengt voor de omwonenden van deze route, die de konvooien meerdere jaren moeten ondergaan.

6.1.4.4. Conclusie

Het vervoer per vrachtwagen vanuit Brussel naar buiten werd niet weerhouden. Gelet op de hoeveelheid afgegraven grond, zijn de effecten negatief.

Het transport over het spoor is interessant **als**, op het moment van de werf van de metro, een opgehoogde zone nabij de spoorweg (Brussel, Vlaanderen, Wallonië of Europa) beschikbaar is. Het is namelijk van belang om de veelvuldige overslag te vermijden en het probleem van het wegvervoer door de bouw van de Brusselse metro naar buiten Brussel te verplaatsen.

Het vervoer per vrachtwagen naar een laad-/loszone langs de spoorwegen is echter onvermijdelijk voor de bouw van minstens 5 stations die niet verbonden zijn met de spoorweg.

Het laden van werftreinen is mogelijk door een inrichting langs het proefspoor van de stelplaats. Deze oplossing is interessant voor de werf van de tunnel en de stelplaats, want dit beperkt het vrachtwagenvervoer in Brussel.

Overigens dient de aanvrager zich er beslist van te verzekeren op het moment van de aanwijzing van de onderneming dat de controle- en beheersketen van de grond goedgekeurd en operationeel is voor het beheer van dergelijke hoeveelheden grond in de directe nabijheid van de loszone van de treinen. Het doel is uiteraard een nieuwe transfer van de afgegraven grond over grote afstanden en per vrachtwagen naar een ingravings- of valorisatiecentrum te voorkomen. Deze aanbeveling geldt ook voor de andere afvoerketen:

Het transport over de vaarweg is de oplossing die de meeste mogelijkheden biedt. Het netwerk van de vaarwegen is namelijk bijzonder goed ontwikkeld (zowel de binnenwateren als de Europese vaarwegen) en biedt andere verbindingsmogelijkheden dan het spoor. De haven van Brussel heeft reeds in het verleden grote hoeveelheden grond afgevoerd. Het transport via aken blijft momenteel de meest gunstige oplossing voor de afvoer van grote hoeveelheden grond. In dit stadium is het te vroeg om zich uit te spreken over de gebruiksmogelijkheden van deze grond.

Voor de grond afkomstig van het graven van de tunnel, de toegangshelling en de stelplaats, evenals die van de stations Vrede en Bordet, bestaan er twee oplossingen:

- Hetzij een overslag **op werktreinen** van de L26. Een bijzonder interessante oplossing om het vervoer over de weg van 30.000 vrachtwagens door de stad naar de haven van Brussel te voorkomen (aantal uitsluitend voor de tunnel en de stelplaats). Hetgeen betekent:
 - Wijziging van de ondersteuning van het proefspoor van de metro (momenteel op talud) door de aanbrenging van steunmuren
 - Aanleg van een laadspoor voor de treinen langs de L26
 - Wijziging van de opslagzone van de grond en installatie van een transportband naar de werfzone op de stelplaats van Haren naar deze laadzone;
- Hetzij een **wegtransport** naar de haven van Brussel volgens een route die momenteel, gelet op de onmogelijke overgang van de Leeuwoprit, een omweg met zich meebrengt van 7km door de stad via zeer drukke verkeersaders om de haven van Brussel te bereiken. De studiegelastigde beveelt aan deze oplossing voor de werkzaamheden, de tunnelboormachine en Bordet zoveel mogelijk te vermijden. Een andere oplossing is de route via de Haachtsesteenweg naar de Budazone en vervolgens de Vilvoordelaan naar de voorhaven, maar ook deze route is 7 km langer.

Samenvattend blijkt op individueel niveau uit het mobiliteitsonderzoek van de werf dat het wegvervoer naar en vanuit de werven van de stations niet leidt tot een blokkering, want de verwachte verkeersstromen kunnen in het verkeer opgenomen worden (verwaarloosbare verkeersstromen ten opzichte van de belasting van de verschillende gevolgde verkeersaders). Het wegvervoer van elk station leidt uiteraard tot mogelijke overlast zoals opgemerkt door de studiegelastigde in elk Boek over de stations – deel Werf.

De globaliteit en de duur van de werf maken het wegvervoer tot een moeilijk vraagstuk. Hoewel voor de zones 3 en 4 een transport over de weg volgens een meest directe route naar de Haven van Brussel onvermijdelijk lijkt, moeten hybride oplossingen beoogd worden voor de zones 1-2 om de Leeuwoprit te vermijden waarvan de renovatie momenteel onmogelijk is en die goedgekeurd zou moeten worden via een vergunningsdossier die deze optie zou consolideren. Maar zelf met de renovatie van de Leeuwoprit (op zijn best aangekondigd in 2023) is het onontbeerlijk om een alternatieve oplossing te vinden om het wegvervoer van de zone Bordet-stelplaats (waaronder werkbasis tunnel) tot het strikte minimum te beperken gelet op de mogelijkheid (volgens de studiegelastigde) om een laadspoor aan te leggen langs de stelplaats van de MIVB.

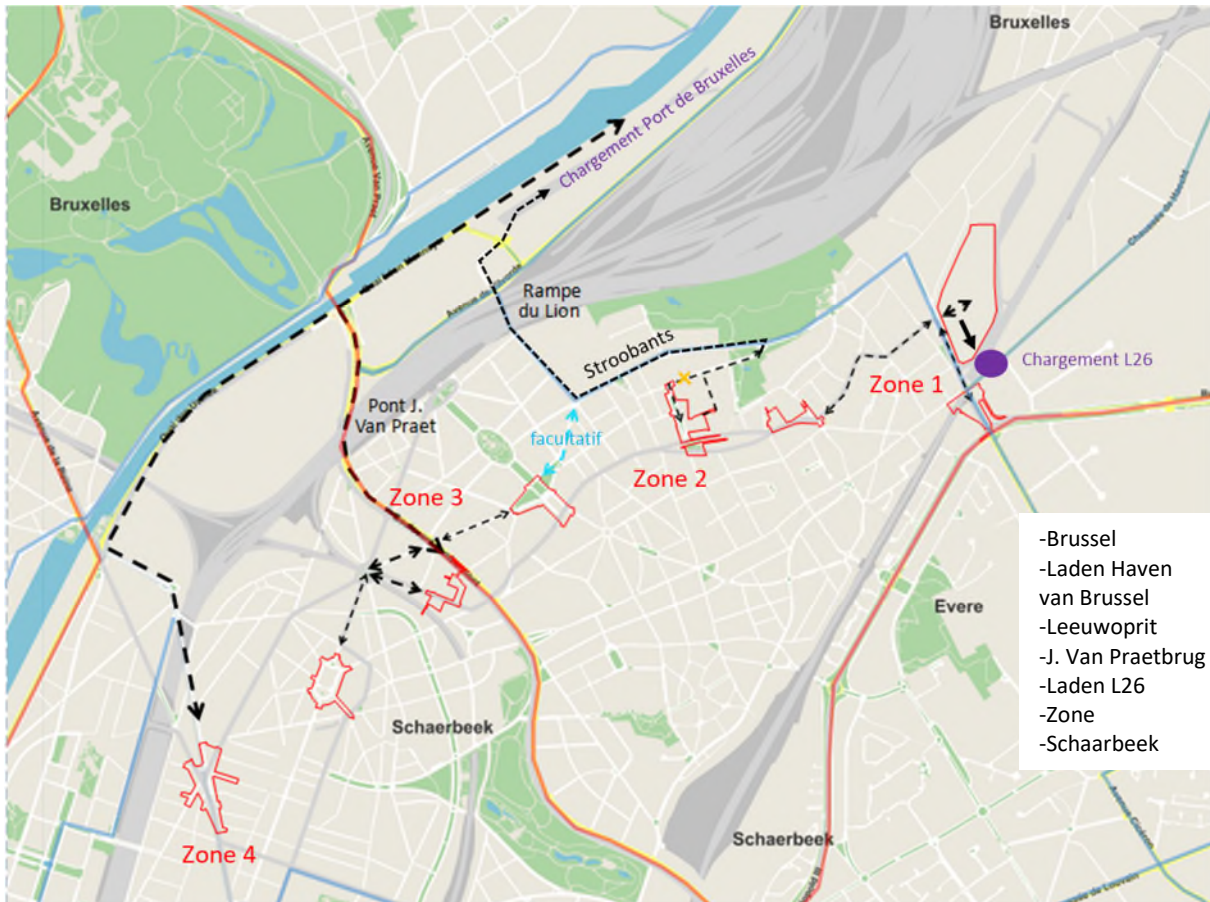
Voor de studiegelastigde is de oplossing dus hybride tussen het spoor en de vaarweg. De werf kan in dat geval opgesplitst worden in 4 zones:

Zone 1: Bordet, stelplaats, tunnel, Vrede = gebruik bij voorkeur van L26 ter hoogte van een laadkade langs de stelplaats van de MIVB

Zone 2: Linde = Stroobants – Leeuwoprit (indien op tijd gerenoveerd). Als de oprit niet gerenoveerd wordt, beveelt de studiegelastigde aan dat zone 2 en zone 1 fuseren.

Zone 3: Riga, Verboekhoven, Colignon = Lambermont, Van-Praet en bestemming voorhaven van Brussel

Zone 4: Liedts = Koninginnelaan, bestemming voorhaven van Brussel.



Figuur 51: Voorkeurschema van de studiegelastigde voor de toegangs- en overslagzones (ARIES, 2021)

Hoewel de keuze van een verbinding van de site van de stelplaats van Haren met de voorhaven van Brussel (voorkeur van de studiegeastigde) tot op heden nog mogelijk is. Maar er dient snel een politieke beslissing genomen te worden om dit spoor via de Vilvoordelaan te handhaven, want het Koninklijk Besluit van 30/12/2004 vraagt om de ontmanteling daarvan, hetgeen betekent dat de treinen geen toegang meer zouden hebben tot de haven van Brussel.

De Haven en het Gewest hebben een gerechtelijke procedure ingesteld om de ontmanteling te voorkomen, welke procedure nog altijd gaande is. Deze toegangsweg via het spoor is nog altijd operationeel **maar om deze optie te consolideren en de ondernemingen in staat te stellen een offerte in die zin in te dienen, zijn snelle beslissingen en acties nodig ten behoeve van de planning van de werven (net als geldt voor de renovatie van de Leeuwoprit).**

Wat betreft de werf in zijn geheel wordt deze in "hypercoördinatie" beheerd door de aanvrager en de overheden. Dit valt buiten het kader van deze effectenstudie, want deze hypercoördinatiegroep komt pas net tot stand, maar de in deze effectenstudie te berde gebrachte punten zullen de aanvrager en de overheden in staat stellen om met kennis van zaken beslissingen te nemen. Hoe dan ook dient de aanvrager impactcriteria in het stadium van de wijzigingen te verduidelijken en hoe deze beoordeeld zullen worden. Vervolgens dat de weerhouden keuze uitgewerkt en gepresenteerd wordt in de werfvergunning.

6.2. Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed

6.2.1. Impact op de percelen

In de onderstaande tabellen worden de percelen aangeduid die beïnvloed worden door de bouw van de metrotunnel. De nummering komt overeen met de Figuren die aan elke tabel voorafgaan.

Merk op dat de met een grijze cirkel aangeduide percelen beïnvloed worden door de bouw van de stations. Deze impact wordt nader uiteengezet in het gedeelte van de studie met betrekking tot de stations.

Zie Boek Stations

6.2.1.1. Tunnel station Brussel-Noord – Liedts



Figuur 52: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

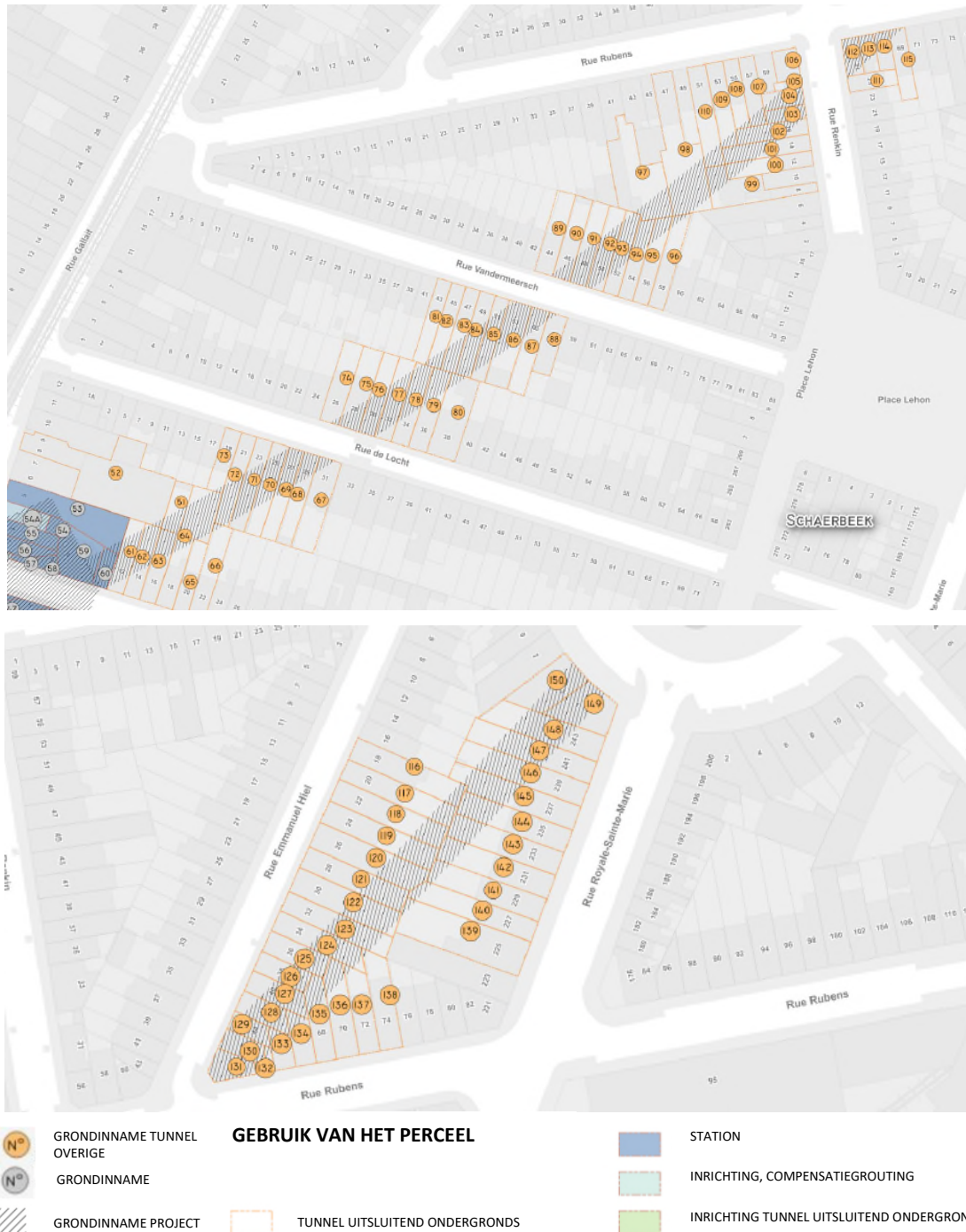
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
4	21909	E	0020/00A002	82,53 m ²	(Opp. inspuiting: 0,56 m ²)
5	21909	E	0020/00Z000	73,7 m ²	10,41 m ² (Opp. inspuiting: 18,27 m ²)
6	21909	E	0020/00G006	93,06 m ²	46,37 m ² (Opp. inspuiting: 45,51 m ²)
7	21909	E	0020/00A006	96,44 m ²	84,33 m ² (Opp. inspuiting: 17,8 m ²)
8	21909	E	0019/00K007	165,31 m ²	91,93 m ² (Opp. inspuiting: 0,01 m ²)
9	21909	E	0019/00X007	167,58 m ²	87,94 m ²
10	21909	E	0019/00E007	70,73 m ²	2,28 m ²
11	21909	E	0019/00P006	418,9 m ²	90,16 m ²
12	21909	E	0019/00T007	583,41 m ²	250,9 m ²
13	21909	E	0028/00X012	208,88 m ²	1,42 m ²
14	21909	E	0019/00W007	182,14 m ²	17,53 m ²
15	21909	E	0019/00M005	172,45 m ²	49,49 m ²
16	21909	E	0029/00N005	180,74 m ²	86,16 m ²
18	21909	E	0029/00G009	219,39 m ²	109,37 m ²
19	21909	E	0029/00E005	215,3 m ²	105,07 m ²
20	21909	E	0029/00R005	234,91 m ²	79,31 m ²
21	21909	E	0029/00V008	276,34 m ²	9,75 m ²
22	21909	E	0029/00Z007	210,51 m ²	40,47 m ²
23	21909	E	0029/00F005	244,9 m ²	82,08 m ² (Opp. inspuiting: 5,4 m ²)
24	21909	E	0029/00N008	167,48 m ²	57,87 m ² (Opp. inspuiting: 53,11 m ²)
25	21909	E	0029/00H009	200,11 m ²	88,24 m ² (Opp. inspuiting: 88,18 m ²)
26	21909	E	0029/00G007	138,69 m ²	64,84 m ² (Opp. inspuiting: 30,36 m ²)
27	21909	E	0029/00E009	140,64 m ²	83,87 m ² (Opp. inspuiting: 0,02 m ²)
28	21909	E	0029/00L009	146,07 m ²	96,94 m ²
29	21909	E	0029/00P007	82,28 m ²	22,98 m ² (Opp. inspuiting: 21,54 m ²)
30	21909	E	0029/00B005	69,9 m ²	0,34 m ² (Opp. inspuiting: 0,35 m ²)
31	21909	E	0029/00T008	163,93 m ²	20,78 m ² (Opp. inspuiting: 4,17 m ²)

Tabel 12: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel stationn Brussel-Noord – Liedts (BMN, 2020)

In totaal worden 26 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie station Brussel-Noord - Liedts, waarvan er 12 tevens beïnvloed worden door de uitvoering van inspuitingen. Een perceel wordt beïnvloed door de uitvoering van inspuitingen, maar niet door de passage van de tunnel.

6.2.1.2. Tunnel Liedts – Colignon



Figuur 53: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
51	21910	E	0182/00C010	108,93 m ²	43,32 m ²
52	21910	E	0182/00L009	795,44 m ²	6,13 m ²
61	21910	E	0182/00K004	149,1 m ²	99,35 m ²
62	21910	E	0182/00H009	143,11 m ²	87,58 m ²
63	21910	E	0182/00B010	151,2 m ²	62,81 m ²
64	21910	E	0182/00Z009	335,63 m ²	174,14 m ²
65	21910	E	0183/00R002	134,22 m ²	0,77 m ²
66	21910	E	0183/00K012	206,64 m ²	5,36 m ²
67	21910	E	0183/00B010	257,39 m ²	16,74 m ²
68	21910	E	0183/00T013	180,25 m ²	51,34 m ²
69	21910	E	0183/00K011	174,18 m ²	82,06 m ²
70	21910	E	0183/00M004	189,75 m ²	104,59 m ²
71	21910	E	0183/00Y008	184,75 m ²	100,91 m ²
72	21910	E	0183/00M012	176,33 m ²	87,42 m ²
73	21910	E	0182/00T008	123,48 m ²	4,48 m ²
74	21910	E	0183/00S010	196,58 m ²	5,58 m ²
75	21910	E	0183/00Y013	205,81 m ²	55,99 m ²
76	21910	E	0183/00D009	162,03 m ²	86,89 m ²
77	21910	E	0183/00E004	169,26 m ²	110,7 m ²
78	21910	E	0183/00D004	176,72 m ²	107,5 m ²
79	21910	E	0183/00G008	188,13 m ²	67,58 m ²
80	21910	E	0183/00A011	292,83 m ²	16,43 m ²
81	21910	E	0185/00P003	148,1 m ²	1,02 m ²
82	21910	E	0185/00P005	152,57 m ²	24,27 m ²
83	21910	E	0185/00M004	152,24 m ²	56,58 m ²
84	21910	E	0185/00R003	162,49 m ²	95,32 m ²
85	21910	E	0185/00L005	145,13 m ²	94,79 m ²
86	21910	E	0185/00S005	242,82 m ²	133,52 m ²
87	21910	E	0185/00G004	182 m ²	44,76 m ²
88	21910	E	0185/00C005	137,1 m ²	4,43 m ²
89	21910	E	0186/00F003	185,47 m ²	0,43 m ²
90	21910	E	0186/00R003	178,18 m ²	31,31 m ²
91	21910	E	0186/00B004	174,49 m ²	79,13 m ²
92	21910	E	0186/00Z003	172,8 m ²	115,91 m ²
93	21910	E	0188/00G003	155,26 m ²	102,81 m ²
94	21910	E	0188/00T002	146,02 m ²	62,88 m ²
95	21910	E	0188/00L003	168,58 m ²	39,66 m ²
96	21910	E	0188/00V002	187,02 m ²	12,57 m ²
97	21910	E	0187/00Z002	442,91 m ²	82,4 m ²
98	21910	E	0190/00W007	499,43 m ²	179,74 m ²
99	21910	E	0190/00G008	266,97 m ²	56,27 m ²
100	21910	E	0190/00M005	158,41 m ²	32,06 m ²
101	21910	E	0190/00M006	171,36 m ²	87,83 m ²
102	21910	E	0190/00P007	136,75 m ²	105,85 m ²
103	21910	E	0190/00G006	63,68 m ²	63,24 m ²
104	21910	E	0190/00E007	83,26 m ²	68,32 m ²
105	21910	E	0190/00K007	27,64 m ²	13,74 m ²

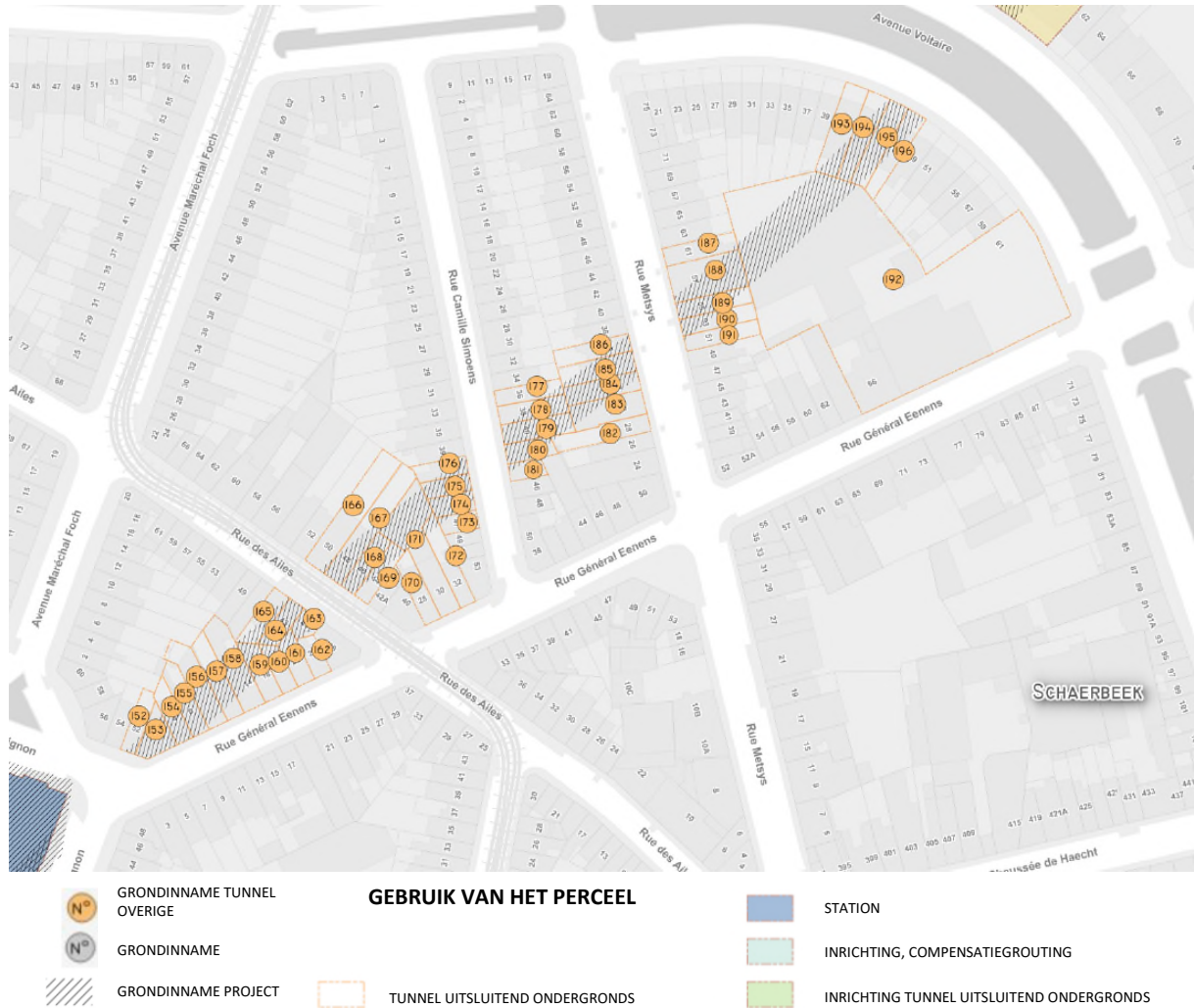
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

106	21910	E	0190/00B008	89,06 m ²	1,43 m ²
107	21910	E	0190/00Y007	133,68 m ²	25,54 m ²
108	21910	E	0190/00N006	125,87 m ²	6,85 m ²
109	21910	E	0190/00C008	175,59 m ²	20,37 m ²
110	21910	E	0189/00D003	228,59 m ²	37,25 m ²
111	21910	E	0203/00K003	93,33 m ²	0,53 m ²
112	21910	E	0203/00L003	76,27 m ²	68,95 m ²
113	21910	E	0203/00X005	69,08 m ²	43,89 m ²
114	21910	E	0203/00N003	71,88 m ²	26,49 m ²
115	21910	E	0203/00X003	136,04 m ²	7,94 m ²
116	21910	E	0195/00W005	180,63 m ²	17,36 m ²
117	21910	E	0195/00C005	166,23 m ²	26,98 m ²
118	21910	E	0195/00Z004	182,15 m ²	41,59 m ²
119	21910	E	0195/00Y004	181,74 m ²	53,98 m ²
120	21910	E	0195/00G006	201,88 m ²	71,09 m ²
121	21910	E	0195/00S003	161,04 m ²	62,14 m ²
122	21910	E	0195/00B003	189,61 m ²	84 m ²
123	21910	E	0195/00Y005	159,06 m ²	70,2 m ²
124	21910	E	0195/00A006	133,52 m ²	66,58 m ²
125	21910	E	0195/00D006	95,29 m ²	42,89 m ²
126	21910	E	0195/00E006	74,35 m ²	36,16 m ²
127	21910	E	0195/00F006	89,51 m ²	59,83 m ²
128	21910	E	0195/00P006	75,44 m ²	57,79 m ²
129	21910	E	0195/00P004	51,36 m ²	45,31 m ²
130	21910	E	0195/00T005	56,97 m ²	56,85 m ²
131	21910	E	0195/00T004	65,62 m ²	64,27 m ²
132	21910	E	0195/00M006	21,16 m ²	6,88 m ²
133	21910	E	0195/00R006	52,24 m ²	16,84 m ²
134	21910	E	0195/00S004	69,31 m ²	15,02 m ²
135	21910	E	0195/00V002	109,41 m ²	36,18 m ²
136	21910	E	0195/00A003	136,93 m ²	32,38 m ²
137	21910	E	0195/00C002	115,9 m ²	4,43 m ²
138	21910	E	0195/00D002	142,59 m ²	2,46 m ²
139	21910	E	0194/00A010	310,59 m ²	7,3 m ²
140	21910	E	0194/00P010	175,51 m ²	13,7 m ²
141	21910	E	0194/00F008	184,54 m ²	16,86 m ²
142	21910	E	0194/00E008	188,35 m ²	31,82 m ²
143	21910	E	0194/00D008	181,14 m ²	44,89 m ²
144	21910	E	0194/00L008	175,67 m ²	57,38 m ²
145	21910	E	0194/00F009	205,84 m ²	79,09 m ²
146	21910	E	0194/00R010	204,81 m ²	79,68 m ²
147	21910	E	0194/00B008	197,24 m ²	78,11 m ²
148	21910	E	0172/00T003	198,5 m ²	86,47 m ²
149	21910	E	0172/00V003	139,58 m ²	87,34 m ²
150	21910	E	0172/00Y002	153,5 m ²	71,08 m ²

Tabel 13: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Liedts - Colignon (BMN, 2020)

In totaal worden 92 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie Liedts - Colignon.

6.2.1.3. Tunnel Colignon – Verboekhoven



Figuur 54: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

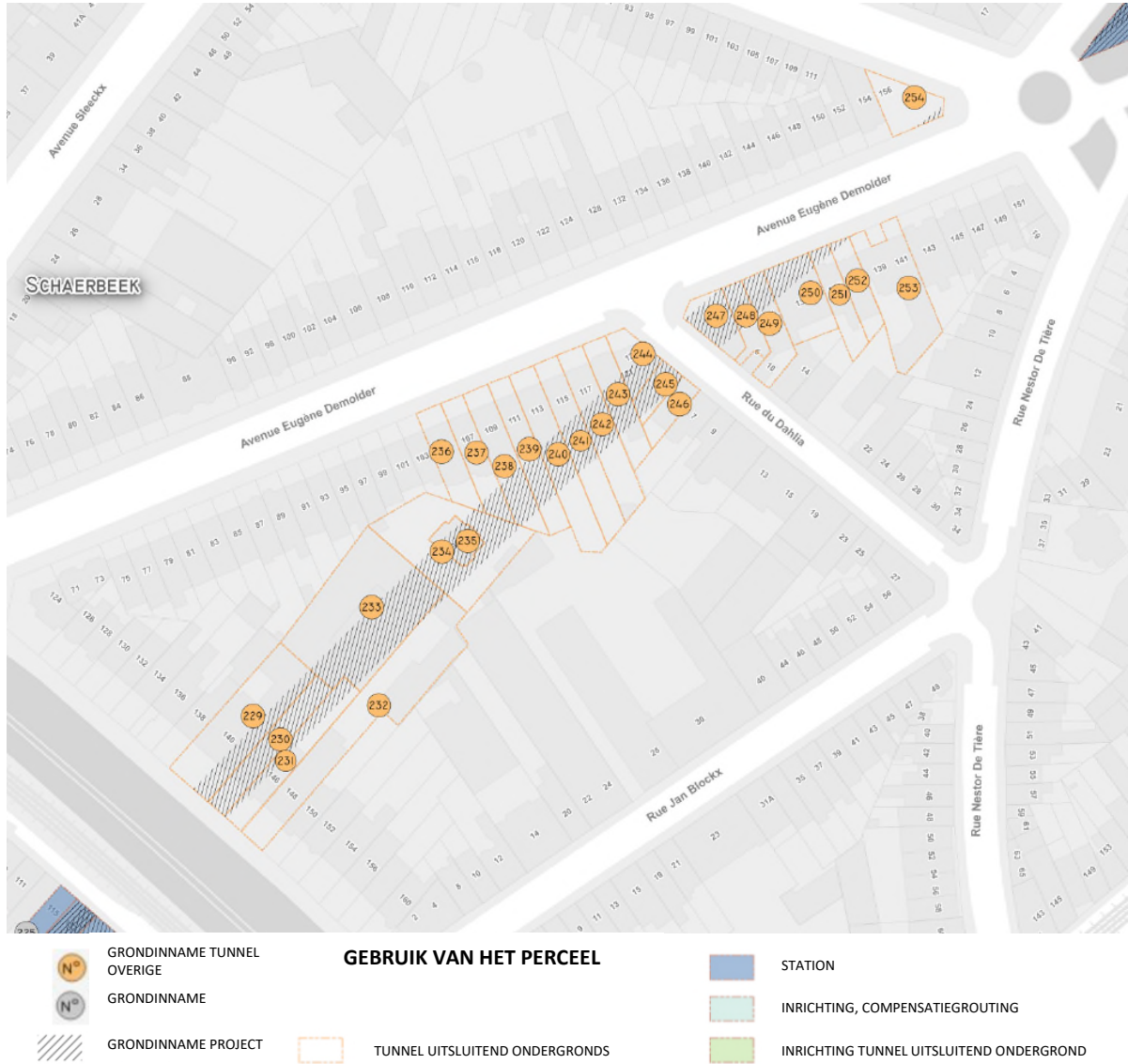
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
152	21910	E	0152/00N005	91,81 m ²	10,83 m ²
153	21910	E	0152/00T007	109,29 m ²	91,57 m ²
154	21910	E	0152/00L005	99,32 m ²	59,61 m ²
155	21910	E	0152/00F004	123,84 m ²	67,82 m ²
156	21910	E	0152/00V008	176,87 m ²	76,99 m ²
157	21910	E	0152/00K005	146,39 m ²	69,19 m ²
158	21910	E	0152/00Z007	206,27 m ²	89,08 m ²
159	21910	E	0152/00R008	108,72 m ²	59,84 m ²
160	21910	E	0152/00F008	77,94 m ²	27,28 m ²
161	21910	E	0152/00W000	88,7 m ²	23,21 m ²
162	21910	E	0152/00X000	69,69 m ²	0,88 m ²
163	21910	E	0152/00Z000	51,01 m ²	44,04 m ²
164	21910	E	0152/00K007	81,96 m ²	81,96 m ²
165	21910	E	0152/00B007	108,82 m ²	51,48 m ²
166	21910	E	0136/00T002	289,77 m ²	5,56 m ²
167	21910	E	0136/00N003	252,81 m ²	107,75 m ²
168	21910	E	0136/00P003	99,12 m ²	98,54 m ²
169	21910	E	0136/00Z000	97,2 m ²	43,34 m ²
170	21910	E	0136/00H003	117,01 m ²	0,25 m ²
172	21910	E	0136/00M003	144,07 m ²	17,97 m ²
173	21910	E	0134/00X002	64,38 m ²	5,82 m ²
174	21910	E	0134/00H002	78,85 m ²	67,13 m ²
175	21910	E	0134/00G002	74,98 m ²	72,12 m ²
176	21910	E	0134/00T002	85,82 m ²	30,86 m ²
177	21910	E	0128/00P006	99,37 m ²	9,1 m ²
178	21910	E	0128/00N006	118,87 m ²	70,27 m ²
179	21910	E	0134/00K002	128,8 m ²	122,63 m ²
180	21910	E	0134/00L002	87,47 m ²	67,05 m ²
181	21910	E	0134/00M002	57,74 m ²	7,35 m ²
182	21910	E	0128/00Y006	152,62 m ²	3,4 m ²
183	21910	E	0128/00B007	172,23 m ²	42,47 m ²
184	21910	E	0128/00V002	131,92 m ²	115,01 m ²
185	21910	E	0128/00G007	143,79 m ²	111,77 m ²
186	21910	E	0128/00T002	123,83 m ²	28,06 m ²
187	21902	E	0128/00H006	124,64 m ²	3,39 m ²
188	21902	E	0129/00S000	256,79 m ²	165,75 m ²
189	21902	E	0129/00R000	117,39 m ²	92 m ²
190	21902	E	0129/00V000	117,16 m ²	39,99 m ²
191	21902	E	0129/00K000	107,96 m ²	1,79 m ²
192	21902	A	0403/00E000	4199,64 m ²	463,15 m ²
193	21902	E	0128/00M006	200,51 m ²	44,83 m ²
194	21902	A	0404/00Y002	154,69 m ²	106,58 m ²
195	21902	A	0404/00F002	154,2 m ²	146,31 m ²
196	21902	A	0404/00G002	145,56 m ²	60,24 m ²

Tabel 14: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Colignon - VBH (BMN, 2020)

In totaal worden 44 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel Colignon - Verboekhoven.

6.2.1.4. Tunnel Verboekhoven – Riga



Figuur 55: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

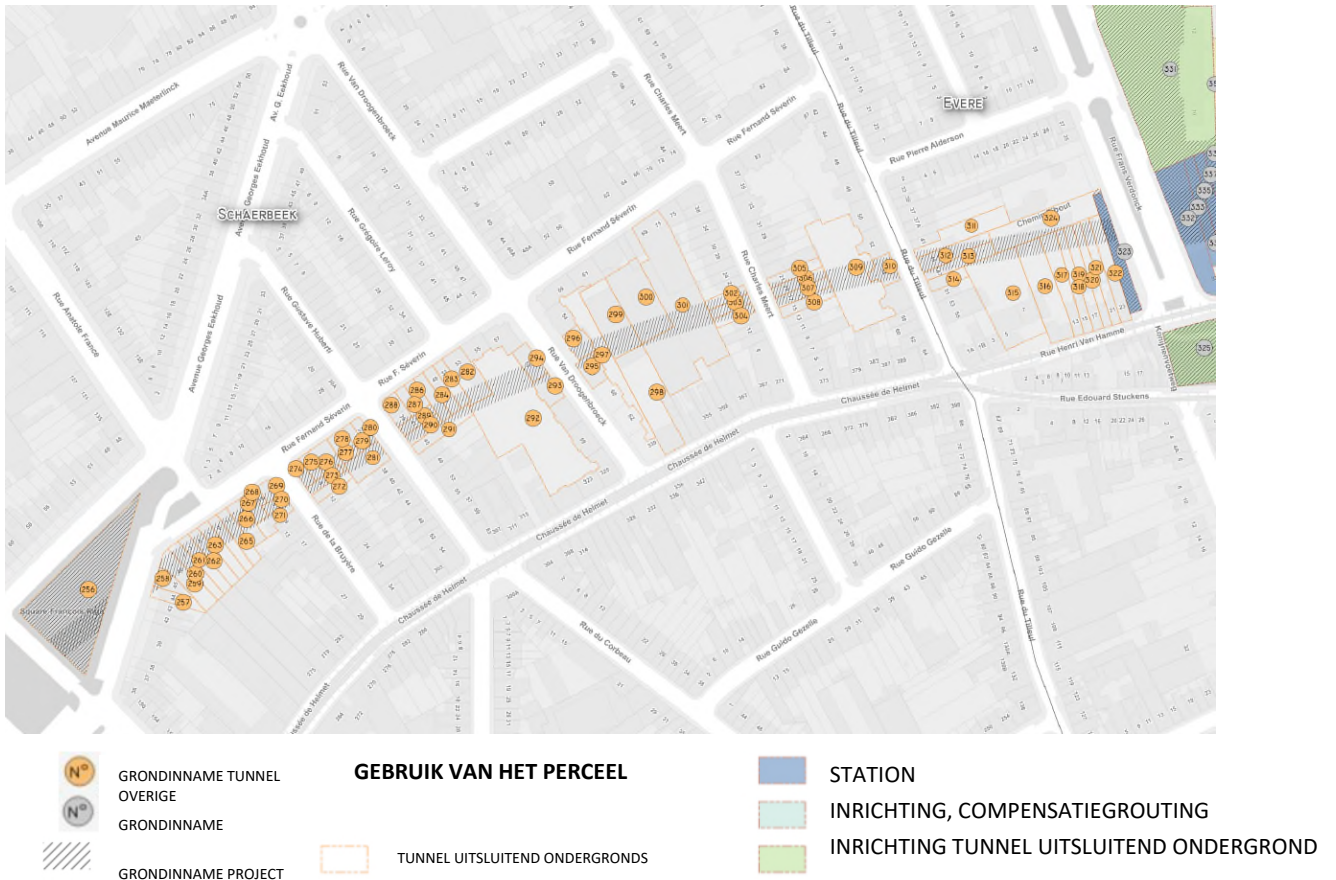
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
229	21902	A	0423/00G011	616,79 m ²	180,61 m ²
230	21902	A	0423/00C009	262,67 m ²	262,65 m ²
231	21902	A	0423/00D003	302,16 m ²	115,96 m ²
232	21902	A	0423/00C010	840,11 m ²	7,93 m ²
233	21902	A	0423/00H011	1.011,59 m ²	451,02 m ²
234	21902	A	0423/00Y008	622,39 m ²	213,64 m ²
235	21902	A	0423/00X008	110,75 m ²	85,21 m ²
236	21902	A	0433/00L000	208,61 m ²	3,8 m ²
238	21902	A	0433/00T000	303,32 m ²	93,5 m ²
239	21902	A	0433/00W000	270,29 m ²	78,17 m ²
240	21902	A	0433/00V000	381,89 m ²	92,81 m ²
241	21902	A	0433/00R000	350,02 m ²	87,99 m ²
242	21902	A	0434/00S000	343,05 m ²	93,18 m ²
243	21902	A	0434/00V000	240,91 m ²	87,36 m ²
244	21902	A	0434/00T000	146,75 m ²	69,03 m ²
245	21902	A	0434/00N000	101,42 m ²	89,85 m ²
246	21902	A	0434/00W000	114,87 m ²	2,32 m ²
247	21902	A	0444/00W000	169,57 m ²	121,05 m ²
248	21902	A	0444/00P000	126,06 m ²	65,74 m ²
249	21902	A	0444/00S000	201,39 m ²	60,35 m ²
250	21902	A	0444/00Y000	289,91 m ²	85,26 m ²
251	21902	A	0444/00T000	181,29 m ²	19,57 m ²
252	21902	A	0444/00X000	160,49 m ²	8,33 m ²
253	21902	A	0443/00T002	500,21 m ²	0,26 m ²
254	21015	A	0468/00P000	198,87 m ²	10,91 m ²

Tabel 15: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Verboekhoven - Riga (BMN, 2020)

In totaal worden 25 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie Verboekhoven - Riga.

6.2.1.5. Tunnel Riga – Tilleul



Figuur 56: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
256	21015	A	0456/00B000	2.054,81 m ²	365,11 m ²
257	21015	A	0455/00P000	153,84 m ²	8,29 m ²
258	21015	A	0455/00M000	132,16 m ²	64,93 m ²
259	21015	A	0181/02K003	293,53 m ²	99,94 m ²
260	21015	A	0178/00M002	202,61 m ²	73,7 m ²
261	21015	A	0178/00N000	207,73 m ²	72,57 m ²
262	21015	A	0178/00W000	196,35 m ²	69,92 m ²
263	21015	A	0178/00S000	196,53 m ²	72,01 m ²
264	21015	A	0178/00T000	169,92 m ²	64,96 m ²
265	21015	A	0178/00V000	192,09 m ²	71,71 m ²
266	21015	A	0178/00G002	192,76 m ²	93,17 m ²
267	21015	A	0178/00F002	120,81 m ²	85,79 m ²
268	21015	A	0179/00Y000	35,33 m ²	17,35 m ²
269	21015	A	0179/00R000	84,25 m ²	40,3 m ²
270	21015	A	0179/00T000	69 m ²	69 m ²
271	21015	A	0179/00Z000	141,34 m ²	32,19 m ²
272	21015	A	0186/00X004	114,95 m ²	13,12 m ²
273	21015	A	0186/00C007	98,57 m ²	94,18 m ²
274	21015	A	0186/00Z006	82,22 m ²	45,6 m ²
275	21015	A	0186/00A007	86,16 m ²	41,89 m ²
276	21015	A	0186/00D007	174,25 m ²	80,23 m ²
277	21015	A	0186/00W005	79,41 m ²	34,3 m ²
278	21015	A	0186/00V005	82,36 m ²	31,62 m ²
279	21015	A	0186/00T007	76,6 m ²	25,95 m ²
280	21015	A	0186/00B006	86,18 m ²	25,73 m ²
281	21015	A	0186/00V007	248,56 m ²	136,3 m ²
282	21015	A	0193/00E003	344,51 m ²	96,5 m ²
283	21015	A	0188/00L002	160,27 m ²	43,21 m ²
284	21015	A	0188/00G002	164,25 m ²	52,2 m ²
285	21015	A	0188/00N002	156,4 m ²	56,61 m ²
286	21015	A	0188/00W000	94,33 m ²	0,05 m ²
287	21015	A	0188/00R002	88,4 m ²	3,43 m ²
288	21015	A	0188/00M002	146,51 m ²	17,92 m ²
289	21015	A	0188/00S000	116,95 m ²	114,21 m ²
290	21015	A	0188/00P002	117,87 m ²	104,81 m ²
291	21015	A	0188/00F002	214,39 m ²	62,6 m ²
292	21015	A	0193/00K003	2.169,24 m ²	304,53 m ²
293	21015	A	0193/00V002	157,88 m ²	29,64 m ²
294	21015	A	0193/00L003	170,75 m ²	83,16 m ²
295	21015	A	0195/00D003	163,94 m ²	44,27 m ²
296	21015	A	0195/00C003	165,46 m ²	76,54 m ²
297	21015	A	0195/00H003	551,4 m ²	91,35 m ²
298	21015	A	0195/00L005	775,71 m ²	2,7 m ²
299	21015	A	0195/00G005	614,42 m ²	192,95 m ²
300	21015	A	0195/00N004	750,44 m ²	175,98 m ²
301	21015	A	0195/00D005	2.129,97 m ²	292,64 m ²
302	21015	A	0196/00M002	112,65 m ²	77,88 m ²

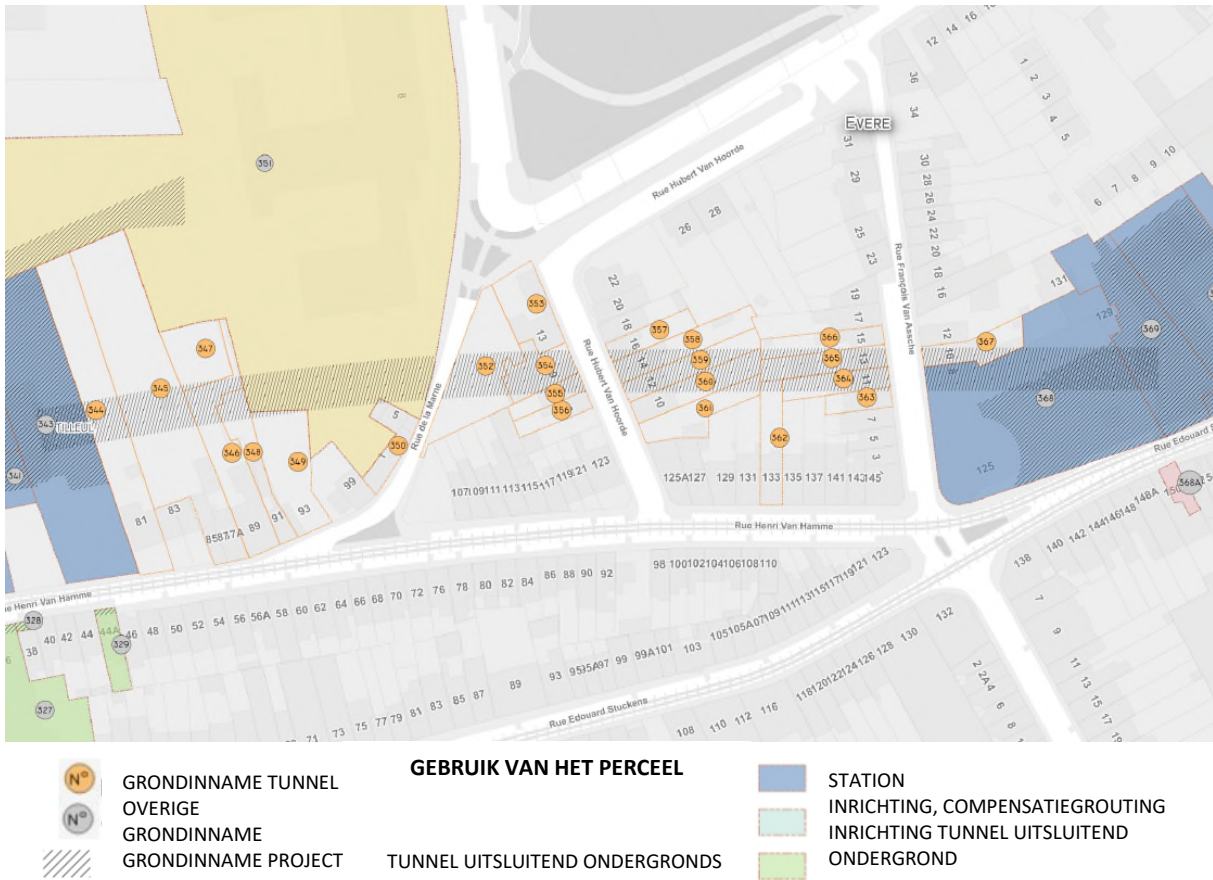
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

303	21015	A	0196/00L002	111,33 m ²	111,32 m ²
304	21015	A	0196/00K002	110,06 m ²	74,35 m ²
305	21015	A	0196/00M009	155,81 m ²	19,8 m ²
306	21015	A	0196/00Z003	166,81 m ²	152,91 m ²
307	21015	A	0196/00N009	154,55 m ²	148,55 m ²
308	21015	A	0196/00P010	162,73 m ²	33,32 m ²
309	21015	A	0203/00C002	1.337,37 m ²	271,74 m ²
310	21015	A	0203/00E002	174,43 m ²	147,53 m ²
311	21006	A	0476/00Z004	412,7 m ²	31,02 m ²
312	21006	A	0474/00G000	264,61 m ²	221,16 m ²
313	21006	A	0474/00V000	225,4 m ²	186,16 m ²
314	21006	A	0473/00R000	123,56 m ²	0,14 m ²
315	21006	A	0471/00T000	1.212,27 m ²	87,85 m ²
316	21006	A	0467/00P000	712,24 m ²	97,19 m ²
318	21006	A	0467/00V000	255,67 m ²	46,45 m ²
319	21006	A	0466/02Y000	291,92 m ²	58,17 m ²
320	21006	A	0466/02P000	241,24 m ²	50,71 m ²
321	21006	A	0466/02V000	271,65 m ²	58,51 m ²
322	21006	A	0466/02W000	327,08 m ²	70,16 m ²
324	21006	A	0474/00T000	705 m ²	173,6 m ²

Tabel 16: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Riga - Linde (BMN, 2020)

In totaal worden 67 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie Riga - Linde.

6.2.1.6. Tunnel Linde – Vrede



Figuur 57: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

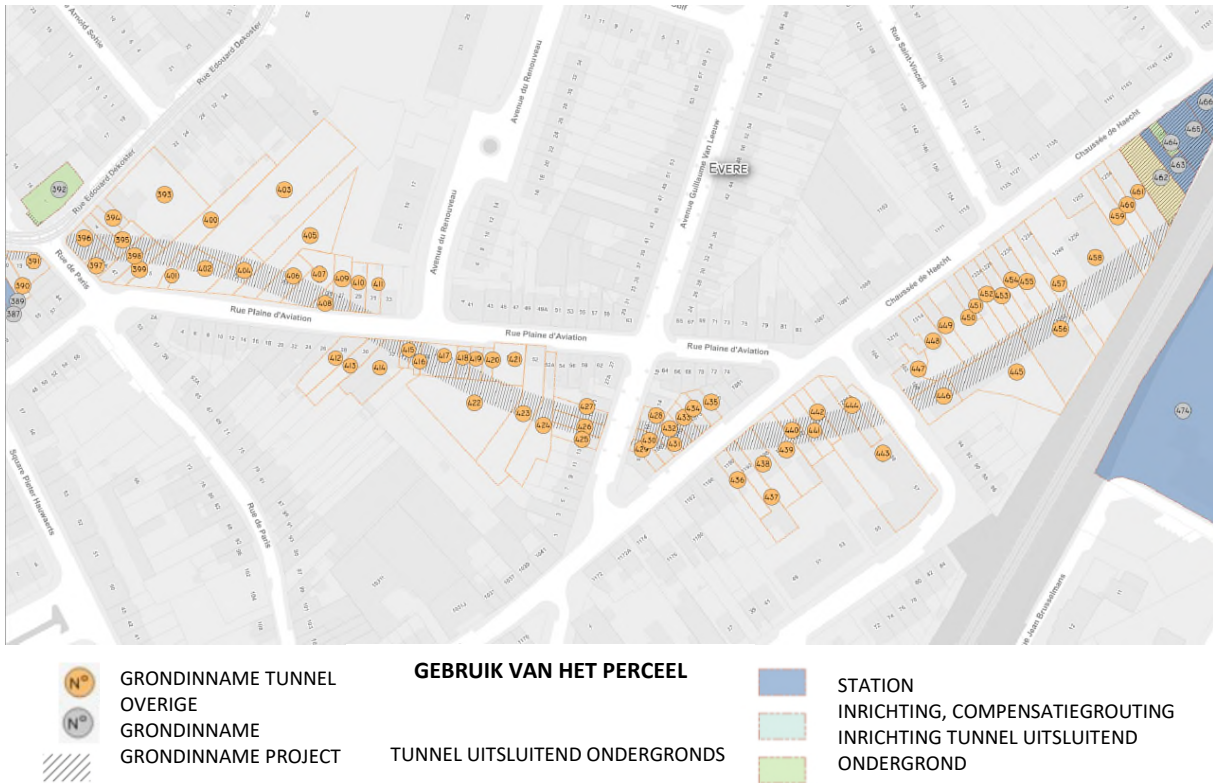
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
344	21006	A	0461/00D002	910,07 m ²	120,03 m ²
345	21006	A	0461/00F002	1.535,68 m ²	221,27 m ²
346	21006	A	0460/00N002	497,7 m ²	120,15 m ²
348	21006	A	0460/00L002	232,36 m ²	63,3 m ²
349	21006	A	0460/00F002	436,42 m ²	15,78 m ²
350	21006	A	0457/00E002	169,27 m ²	2,44 m ²
352	21006	A	0136/03E000	558,83 m ²	202,57 m ²
353	21006	A	0136/00E000	280,83 m ²	1,4 m ²
354	21006	A	0137/00K000	210,51 m ²	183,88 m ²
355	21006	A	0139/00H002	106,21 m ²	40,79 m ²
356	21006	A	0139/00M002	112,19 m ²	0,78 m ²
357	21006	A	0152/00F003	141,78 m ²	17,35 m ²
358	21006	A	0152/00T003	264,38 m ²	112,06 m ²
359	21006	A	0152/00A004	229,51 m ²	170,42 m ²
360	21006	A	0152/00Y003	252,31 m ²	151,8 m ²
361	21006	A	0152/00M003	242,97 m ²	30,89 m ²
362	21006	A	0152/00B000	217,34 m ²	19,31 m ²
363	21006	A	0156/00C002	101,74 m ²	5,23 m ²
364	21006	A	0156/00A002	176,84 m ²	148,88 m ²
365	21006	A	0156/00D002	217,92 m ²	212,85 m ²
366	21006	A	0155/00K000	188,09 m ²	40,36 m ²
367	21006	A	0162/00K003	200,07 m ²	102,32 m ²

Tabel 17: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Linde - Vrede (BMN, 2020)

In totaal worden 22 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie Linde - Vrede.

6.2.1.7. Tunnel Vrede – Bordet



Figuur 58: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
390	21006	A	0359/00T000	149,5 m ²	27,27 m ²
391	21006	A	0359/00V000	195,6 m ²	54,48 m ²
393	21006	A	0318/00H005	1.155,69 m ²	20,63 m ²
394	21006	A	0319/00L002	76,81 m ²	0,62 m ²
395	21006	A	0319/00M002	235,52 m ²	119,64 m ²
396	21006	A	0319/00P002	186,59 m ²	150,16 m ²
397	21006	A	0318/00V004	110,18 m ²	49,14 m ²
398	21006	A	0318/00B005	196,51 m ²	102,54 m ²
399	21006	A	0318/00Z004	128,78 m ²	57,61 m ²
400	21006	A	0328/00S002	721,47 m ²	120,52 m ²
401	21006	A	0328/00X000	82,43 m ²	31,41 m ²
402	21006	A	0328/00X002	345,52 m ²	168,62 m ²
403	21006	A	0328/00N002	1.564,83 m ²	81,69 m ²
404	21006	A	0328/00Z000	233,8 m ²	126,2 m ²
405	21006	A	0328/00Y002	753 m ²	112,23 m ²
406	21006	A	0328/00B002	246,44 m ²	124,67 m ²
408	21006	A	0337/00S000	76,41 m ²	66,7 m ²
410	21006	A	0337/00W000	162,21 m ²	24,08 m ²
411	21006	A	0337/00X000	159,11 m ²	3,95 m ²
412	21006	A	0338/00K004	286,93 m ²	0,53 m ²
413	21006	A	0338/00C004	269,59 m ²	14,6 m ²
414	21006	A	0338/00P004	428,29 m ²	47,83 m ²
415	21006	A	0338/00B004	57,23 m ²	40,55 m ²
416	21006	A	0338/00X002	74,1 m ²	58,22 m ²
417	21006	A	0336/00S005	253,22 m ²	196,66 m ²
418	21006	A	0336/00D003	92,62 m ²	45,7 m ²
419	21006	A	0336/00E003	88,99 m ²	29,48 m ²
420	21006	A	0336/00D005	76,71 m ²	14,91 m ²
421	21006	A	0336/00N003	278,32 m ²	10,08 m ²
422	21006	A	0336/00C005	1.141,94 m ²	304,63 m ²
423	21006	A	0336/00R005	710,5 m ²	115,35 m ²
424	21006	A	0336/00P005	535,96 m ²	88,8 m ²
425	21006	A	0336/00L004	134,53 m ²	41,25 m ²
426	21006	A	0336/00K004	139,5 m ²	139,49 m ²
427	21006	A	0336/00C004	151,81 m ²	112,15 m ²
428	21006	A	0335/00W003	113,97 m ²	48,85 m ²
429	21006	A	0335/00W002	97,74 m ²	19,04 m ²
430	21006	A	0335/00H003	112,53 m ²	71,64 m ²
431	21006	A	0335/00D003	77,11 m ²	67,06 m ²
432	21006	A	0335/00F002	90,96 m ²	74,94 m ²
433	21006	A	0335/00M002	111,21 m ²	46,23 m ²
434	21006	A	0335/00R000	114,3 m ²	16,49 m ²
435	21006	A	0335/00E002	111,73 m ²	0,2 m ²
436	21372	B	0308/00Y004	232,04 m ²	0,99 m ²
437	21372	B	0308/00L005	375,24 m ²	19,1 m ²
438	21372	B	0308/00G005	378,26 m ²	83,85 m ²
439	21372	B	0308/00P004	478,16 m ²	162,67 m ²

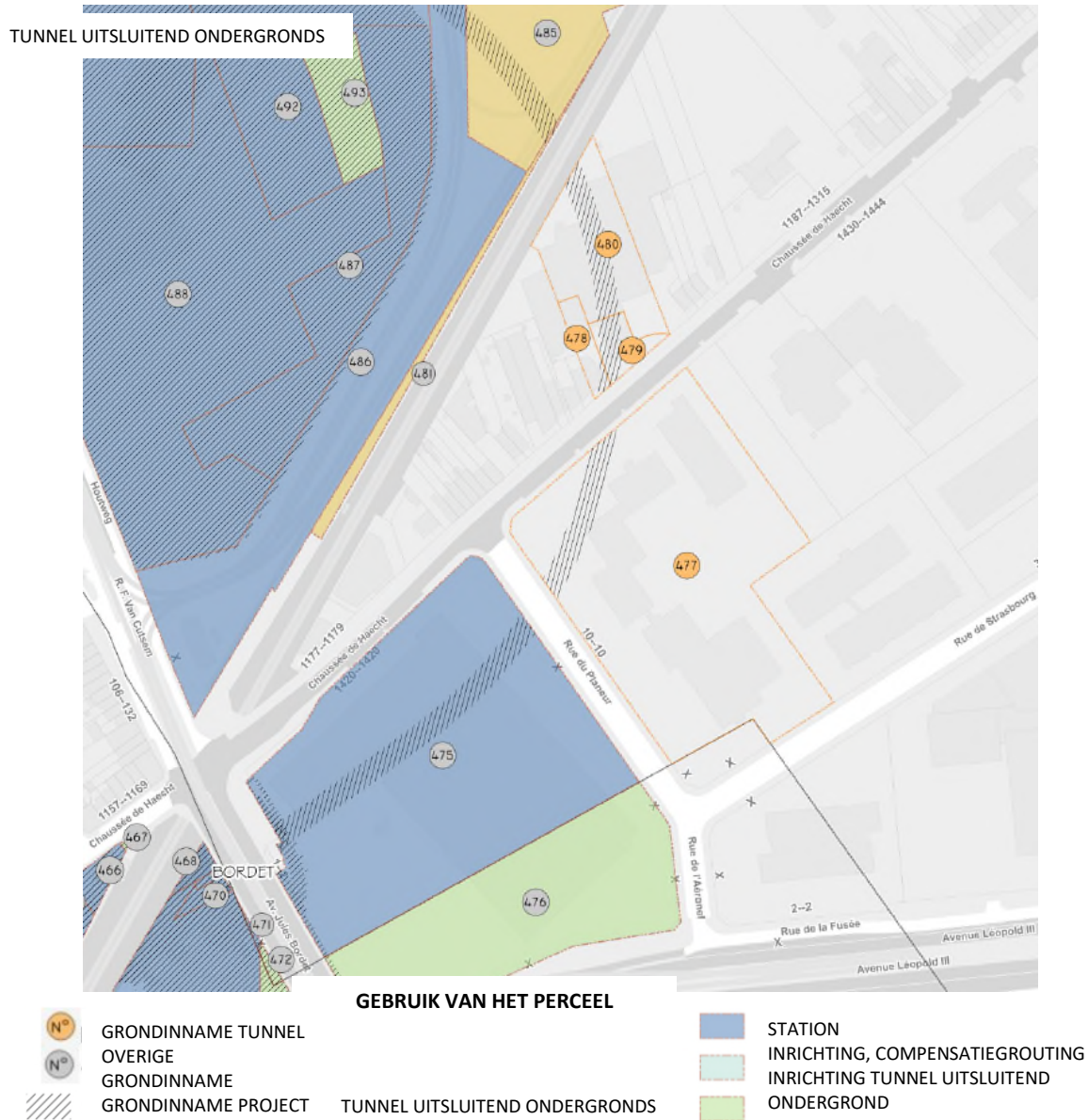
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

440	21372	B	0308/00K004	209,93 m ²	90,19 m ²
441	21372	B	0308/00X004	209,48 m ²	88,45 m ²
442	21372	B	0308/00L004	155,7 m ²	69,59 m ²
444	21372	B	0308/00S005	237,41 m ²	79,09 m ²
445	21372	B	0310/00N003	969,34 m ²	376,94 m ²
446	21372	B	0309/00E000	284,2 m ²	166,8 m ²
448	21372	B	0310/00X003	428,79 m ²	49,08 m ²
449	21372	B	0310/00G003	224,07 m ²	14,03 m ²
450	21372	B	0310/00H003	434,04 m ²	27,01 m ²
451	21372	B	0310/00Z003	221,29 m ²	10,21 m ²
452	21372	B	0310/00Y002	237,62 m ²	10,76 m ²
453	21372	B	0310/00X002	217,13 m ²	10 m ²
454	21372	B	0310/00Z002	228,51 m ²	11,12 m ²
455	21372	B	0310/00A003	238,49 m ²	12,52 m ²
456	21372	B	0311/00D000	1.051,52 m ²	247,82 m ²
457	21372	B	0314/00F002	446,53 m ²	77,39 m ²
458	21372	B	0314/00B003	1.822,33 m ²	393,65 m ²
459	21372	B	0314/00Y002	402,34 m ²	90,87 m ²
460	21372	B	0314/00L002	272,59 m ²	51,89 m ²
461	21372	B	0314/00M002	424,63 m ²	50,6 m ²

Tabel 18: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Vrede - Bordet (BMN, 2020)

In totaal worden 67 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie Vrede - Bordet.

6.2.1.8. Tunnel Bordet – stelplaats



Figuur 59: Illustratie van de percelen die beïnvloed worden door de bouw van de tunnel (BMN, 2020)

Nr. bouwterrein	Kadastrale referentie			Perceel	
	Divisie	Sectie	Nr. perceel	Oppervlakte perceel	Bouwterrein tunnel onder perceel
477	21821	C	0080/00V003	20.013,29 m ²	1.039,13 m ²
478	21821	B	0059/00Y002	597,59 m ²	73,16 m ²
479	21821	B	0063/00M000	743,34 m ²	374,46 m ²
480	21821	B	0063/00P000	3.827,68 m ²	961,86 m ²

Tabel 19: Impact op de percelen die beïnvloed worden door de Tunnel Bordet - stelplaats (BMN, 2020)

In totaal worden 4 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel (bouwterrein op grote diepte) in de sectie Bordet - stelplaats.

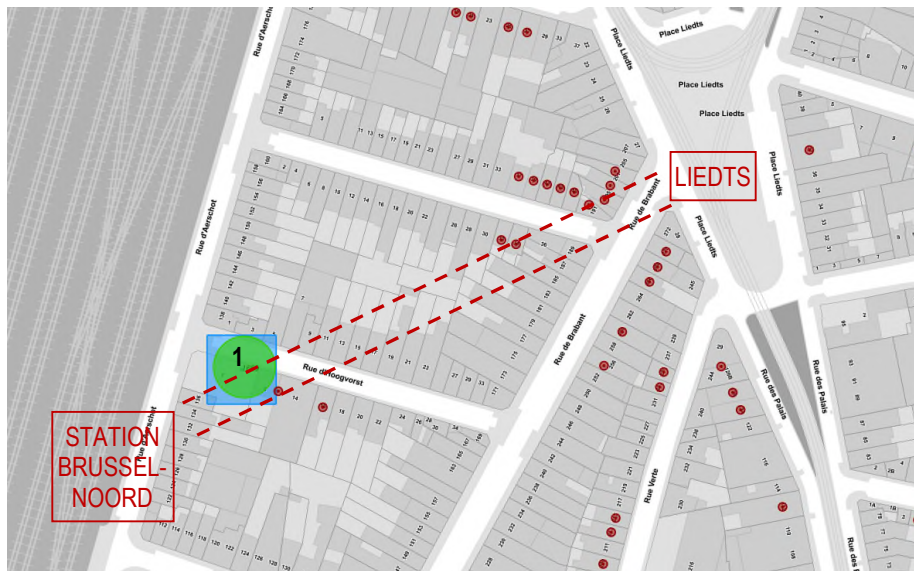
6.2.2. Impact op het erfgoed





6.2.2.1. Elementen met een patrimonieel belang op het tracé van de tunnel

Wij identificeren vervolgens elementen met een (bouwkundig, natuurlijk of archeologisch) patrimonieel belang die zich op het tracé van de tunnel bevinden. Wij herinneren eraan dat de patrimonieële elementen die rechtstreeks beïnvloed worden door de grondinname van de stations reeds geanalyseerd werden.

Zie Boek Stations

A. Tunnel station Brussel-Noord – Liedts



<u>Wettelijke status</u>	<u>Site (bewaarijst)</u>	<u>Inventaris Irismonument</u>
 Site (bewaarijst)	 Opmerkelijke boom (bewaarijst)	 Op de inventaris ingeschreven goed
		 Grondinname van de tunnel

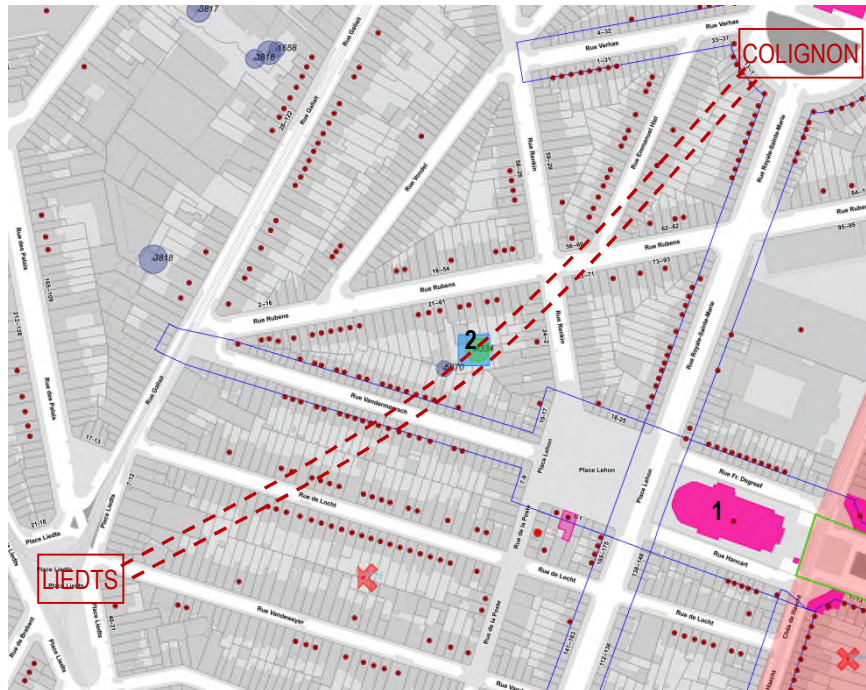
Figuur 60: Lokalisatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

De ondergrondse grondinname van de tunnel station Brussel-Noord – Liedts is van invloed op een opmerkelijke boom **[1]** (een esdoornbladige plataan), beschouwd als een op de bewaarijst ingeschreven site volgens het besluit van 13-07-2016.

De tunnel doorkruist tevens de ondergrond van bepaalde gebouwen die ingeschreven zijn op de Inventaris van het bouwkundig erfgoed ("Irismonument").

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte van 12,9 meter bevindt ter hoogte van station Liedts.

B. Tunnel Liedts – Colignon



<u>Wettelijke status</u>	<u>Natuurlijk erfgoed</u>	<u>Inventaris Irismonument</u>
Beschermd monument	Opmerkelijke boom (wetenschappelijke inventaris)	Op de inventaris ingeschreven goed
Site (bewaarijst)	Opmerkelijke boom (bewaarijst)	<u>Archeologisch erfgoed</u>
Beschermde zone	Gekapte opmerkelijke boom	Uitbreidingszone van de site
		Grondinname van de tunnel

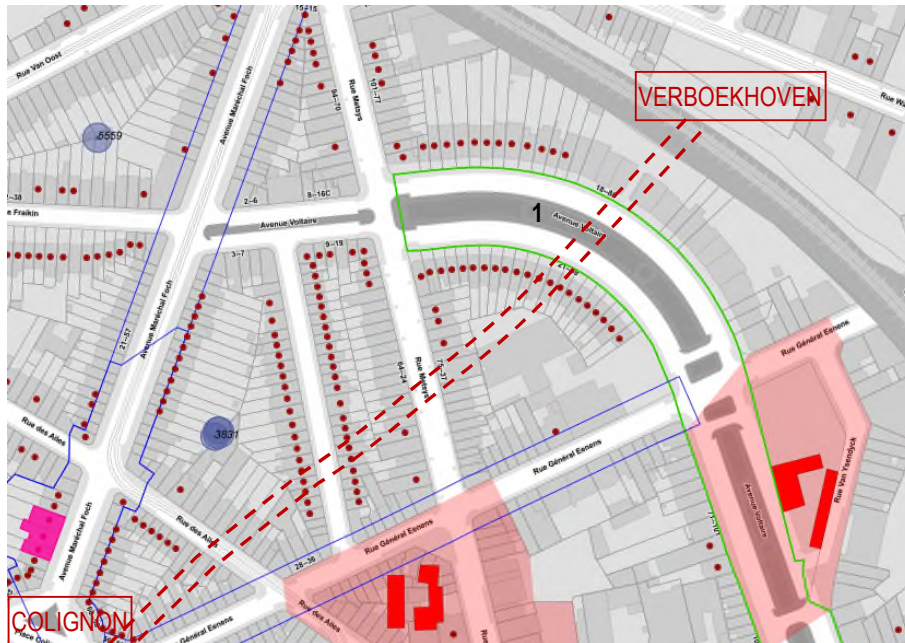
Figuur 61: Locatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

De tunnel Liedts – Colignon loopt onder de beschermde zone van de Sint-Servaaskerk **[1]**, een beschermd monument volgens het besluit van 08-03-2003, evenals een opmerkelijke boom **[2]** (een esdoornbladige plataan), beschouwd als op de bewaarijst ingeschreven site volgens het besluit van 21-12-2005.

De tunnel doorkruist tevens de ondergrond van bepaalde gebouwen die ingeschreven zijn op de Inventaris van het bouwkundig erfgoed ("Irismonument").

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte variërend tussen 16,11 en 17,11 meter bevindt tussen de stations Liedts en Colignon.

C. Tunnel Colignon – Verboekhoven



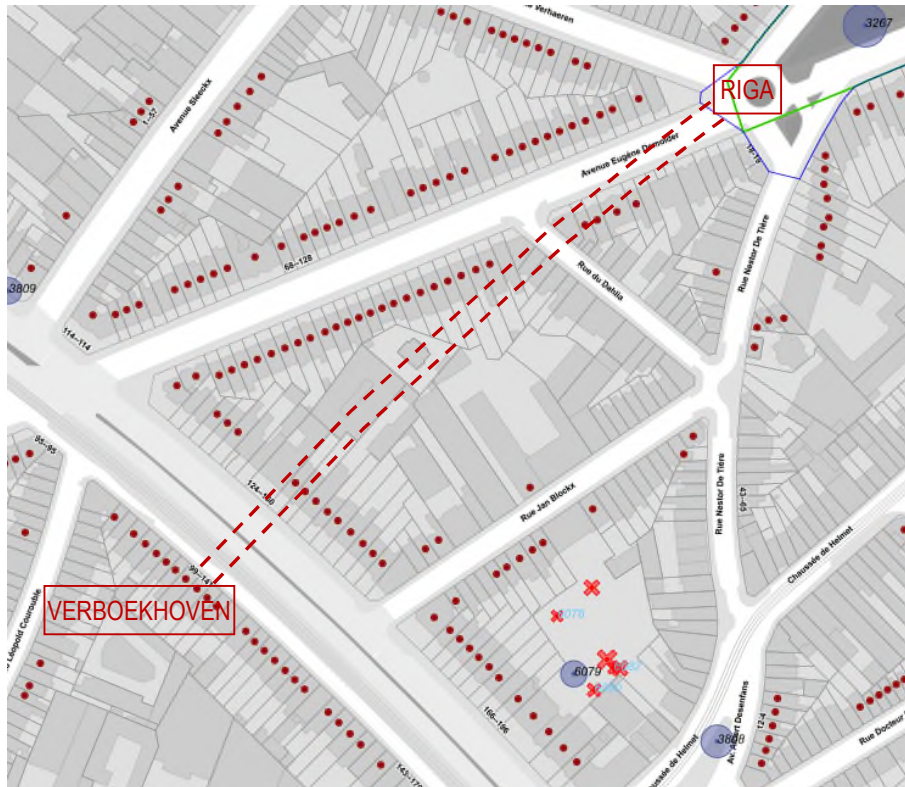
Wettelijke status	Natuurlijk erfgoed	Inventaris Irismonument
Beschermd monument	Opmerkelijke boom (wetenschappelijke inventaris)	Op de inventaris ingeschreven goed
Site (wettelijke inventaris)		
Beschermd zone	Archeologisch erfgoed	Grondinname van de tunnel
	Gelocaliseerde site met plan Uitbreidingszone van de site	

Figuur 62: Locatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

De tunnel Colignon – Verboekhoven doorkruist in de ondergrond de Voltairelaan **[1]**, die ingeschreven staat op de wettelijke inventaris van de sites. De tunnel doorkruist tevens de ondergrond van talrijke gebouwen die ingeschreven zijn op de Inventaris van het bouwkundig erfgoed ("Irismonument").

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte variërend tussen 14,81 en 14,75 meter bevindt tussen de stations Colignon en Verboekhoven.

D. Tunnel Verboekhoven – Riga



<u>Wettelijke status</u>	<u>Natuurlijk erfgoed</u>	<u>Inventaris Irismonument</u>
Site (wettelijke inventaris)	Opmerkelijke boom (wetenschappelijke inventaris)	Op de inventaris ingeschreven goed
Beschermde zone	Gekapte opmerkelijke boom	Grondinname van de tunnel

Figuur 63: Locatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

Met uitzondering van meerdere gebouwen die opgenomen zijn in de inventaris van het bouwkundig erfgoed ("Irismonument") heeft de ondergrondse tunnel Verboekhoven - Riga geen invloed op elementen met een patrimonieel belang.

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte variërend tussen 14,48 en 12,98 meter bevindt tussen de stations Verboekhoven en Riga.

E. Tunnel Riga – Linde



<u>Wettelijke status</u>		<u>Natuurlijk erfgoed</u>		<u>Inventaris Irismonument</u>	
	Site (wettelijke inventaris)		Opmerkelijke boom (wetenschappelijke inventaris)		Op de inventaris ingeschreven goed
	Beschermde zone		<u>Archeologisch erfgoed</u>		Grondinname van de tunnel
			Gelocaliseerde site met plan Uitbreidingszone van de site		

Figuur 64: Locatie van de patrimoniële elementen (BruGIS, 2020)

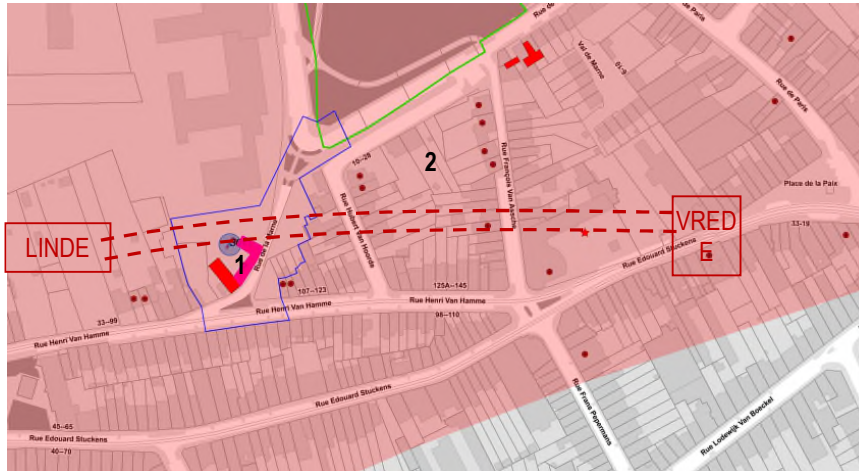
Wat betreft het bouwkundige erfgoed is de tunnel Riga – Linde op geen enkel element met een wettelijke bescherming als monument of site van invloed. De tunnel doorkruist echter de ondergrond van bepaalde gebouwen die ingeschreven zijn op de Inventaris van het bouwkundig erfgoed ("Irismonument").

Wat betreft het natuurlijke erfgoed is de tunnel van invloed op enkele opmerkelijke bomen die zich binnen de woonblokken bevinden.

Wat betreft het archeologische erfgoed loopt de tunnel ondergronds onder de uitbreidingszone van het oude centrum van Evere [1], daterend van de twaalfde eeuw.

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte variërend tussen 13,97 en 17,19 meter bevindt tussen de stations Riga en Linde.

F. Tunnel Linde – Vrede



<u>Wettelijke status</u>		<u>Natuurlijk erfgoed</u>		<u>Inventaris Irismonument</u>	
	Beschermd monument		Opmerkelijke boom (wetenschappelijke inventaris)		Op de inventaris ingeschreven goed
	Site (wettelijke inventaris)		<u>Archeologisch erfgoed</u>		Grondinname van de tunnel
	Beschermd zone		Gelokaliseerde site met plan Uitbreidingszone van de site		

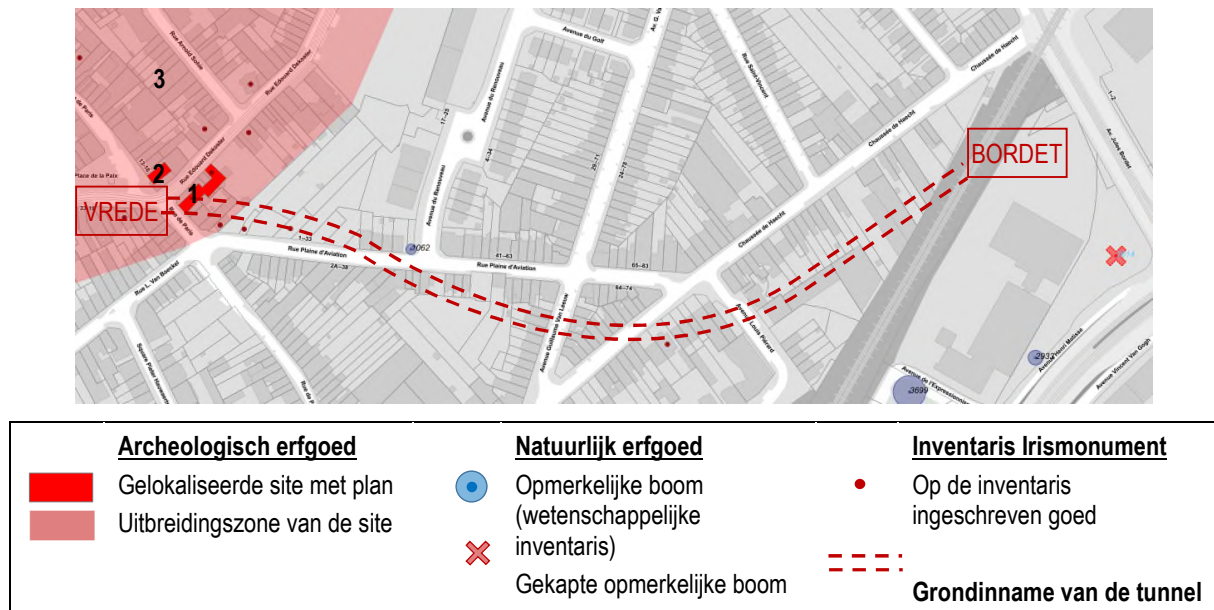
Figuur 65: Locatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

Het tracé van de tunnel Linde – Vrede is van invloed op de beschermingszone van 't Hoeveke **[1]**, een beschermd monument volgens het besluit van 16-04-1997. Merk op dat deze boerderij beschouwd wordt als een gedeeltelijk behouden gebleven archeologische site daterend van de zestiende eeuw.

Eveneens wat betreft het archeologische erfgoed loopt de tunnel ondergronds onder de uitbreidingszone van het oude centrum van Evere **[2]**, daterend van de twaalfde eeuw.

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte variërend tussen 12,04 en 14,98 meter bevindt tussen de stations Linde en Vrede.

G. Tunnel Vrede – Bordet



Figuur 66: Locatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

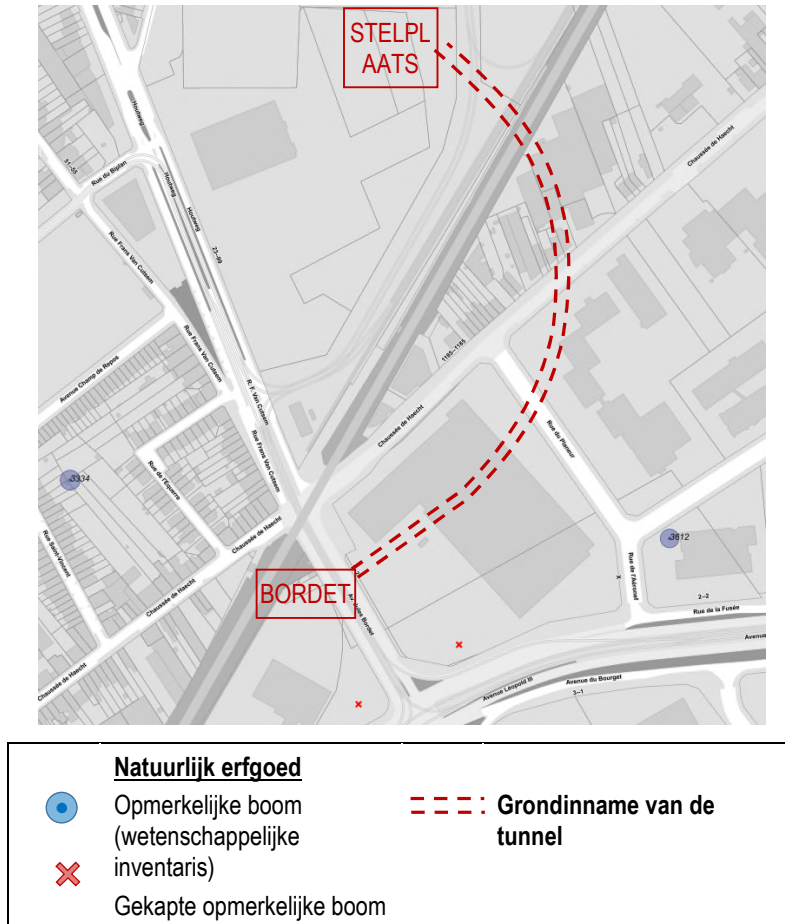
Het tracé van de tunnel Vrede – Bordet is niet van invloed op bouwkundig of natuurlijk erfgoed. Echter, wat betreft het archeologische erfgoed, is het westelijke gedeelte van het tracé van deze tunnelsectie van invloed op twee archeologische sites:

- [1]** "Den Koeckhoeck", een woning daterend van de zeventiende eeuw, gesloopt in het begin van de twintigste eeuw;
- [2]** "Het Blijtje", een boerderij en herberg daterend van de zeventiende eeuw, door brand verwoest in 1975.

Dit gedeelte van de tunnel loopt ondergronds onder de uitbreidingszone van het oude centrum van Evere **[3]**, daterend van de twaalfde eeuw.

Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte variërend tussen 14,39 en 12,75 meter bevindt tussen de stations Vrede en Bordet.

H. Tunnel Bordet – stelplaats



Figuur 67: Locatie van de patrimonieële elementen (BruGIS, 2020)

De tunnel Bordet – stelplaats is op geen enkele bouwkundig, natuurlijk of archeologisch erfgoed van invloed. Merk op dat de bovenzijde van de tunnel zich op een diepte van 17,15 meter bevindt ter hoogte van station Bordet.

6.2.2.2. Impact op het erfgoed

De diepte waarop de metrotunnel zich bevindt en de in aanmerking genomen structurele veiligheidsmaatregelen tijdens de voortgang van de tunnelboormachine beperken of elimineren zelfs de eventuele impact op het hiervoor geïdentificeerde bouwkundige en natuurlijke erfgoed.

Zie hoofdstuk Werf en werking tunnelboormachine

Het kan echter gebeuren dat archeologische resten gevonden worden tijdens bouwwerkzaamheden van de tunnel, met name rondom de archeologische sites van "t Hoeveke", "Den Koeckhoeck" en "Het Blijtje"», evenals in de uitbreidingszone van het oude centrum van Evere, waarop de tunnels Riga – Linde, Linde – Vrede en Vrede – Bordet van invloed op zijn.

Zoals aangegeven op de website van "erfgoed.brussels", "*wordt door een wettelijke verplichting opgelegd dat [deze eventuele ontdekkingen] binnen drie dagen gemeld worden aan de Directie Cultureel Erfgoed die in voorkomend geval met spoed een archeologische operatie kan organiseren*".

Zie hoofdstuk Bodem en ondergrond

6.2.3. Effecten van het vervoer van de afgegraven grond (van de tunnel) volgens de 2 weerhouden hypothesen

6.2.3.1. Naar de haven van Brussel

Wat betreft de stedenbouw leidt het transport van de afgegraven grond van de tunnel naar de haven van Brussel tot negatieve effecten via het eerste transport tussen de stelplaats van Haren en het kanaal per vrachtwagen of bovengrondse transportband.

Vanuit stedenbouwkundig standpunt leiden deze twee oplossingen tot talrijke effecten wat betreft de visuele impact voor de omwonenden van de Houtweg, de Laurent Vandenhovenstraat, de Stroobantsstraat, de Chaumontelstraat en de Zénobe Grammelaan. Het betreft een traject van meer dan 2 km tussen de stelplaats van Haren en de Leeuwoprit, die over het spoor loopt. Naast de visuele impact zouden de gevels van de gebouwen langs dit traject aangetast kunnen worden tijdens het transport van de grond.

Bovendien leiden deze oplossingen tot een zekere isolatie van de woonblokken tussen hogergenoemd traject en de spoorwegen. In dit grondgebied bevinden zich meerdere elementen met een patrimoniale waarde, zoals de Moeraske-site, de Sint-Vincentkerk of het oude Walckiersdomein. Deze isolatie is des te groter als een bovengrondse transportband permanent geïnstalleerd wordt langs het traject.

6.2.3.2. Naar de L26

Dit betreft een interessante optie om de stedenbouwkundige effecten te beperken.

Het vervoer van de afgegraven grond van de tunnel naar de lijn 26 van de NMBS brengt weinig impact met zich mee vanuit een stedenbouwkundig standpunt, omdat het eerste vervoer tussen de voorziene transportzone op de werf van de tunnel en de verbindingsweg met de spoorlijn uitgevoerd wordt over de site van de NMBS. Er is geen sprake van significante visuele impact.

6.2.3.3. Aanbevelingen

- Maatregelen voor de werfopvolging voorzien voor, tijdens en na de bouwwerkzaamheden van de metro bij 't Hoeveke om de geproduceerde verzakking te beoordelen.
- Als het vervoer van de afgegraven grond van de tunnel plaatsvindt door vrachtwagens naar de haven van Brussel, een stand van zaken opmaken van de gevels langs het traject van dit eerste vervoer.

6.3. Sociale en economische aspecten

6.3.1. Investeringskosten

In het volgende hoofdstuk worden de directe en indirecte investeringskosten gepresenteerd voor de enkele buisvariant. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de analyse van BMN voor de dubbele buisvariant⁵. Vanuit methodologisch standpunt betreft de begroting in dit hoofdstuk de directe en indirecte investeringskosten volgens het prijspeil van 2015. Voor de enkele buisvariant worden momenteel de voorbereidende werkzaamheden begroot, 20 percelen en de inrichtingsopdracht van het oppervlak rond de stations:

Perceel	Opdracht
Vorbereidende werken	Concessiehouders, sloop Medical Center, sloop voorafgaand aan werkzaamheden van de stations/stelplaats en werkzaamheden tram
Perceel 1	Werkzaamheden verbinding station Noord en schacht P5/P6
Perceel 2	Werkzaamheden stelplaats in Haren
Perceel 3	Civiele bouwkundige werkzaamheden stations, tunnel, schacht P0 en helling
Perceel 4	Afwerking en speciale technieken
Perceel 5	Mechanisatie van de toegangen tot de stations en de schacht P0
Perceel 6	Wegeniswerken
Perceel 7	Opdracht 11kV en 900V
Perceel 8	Aspecten van telecommunicatie
Perceel 9	Stationssystemen
Perceel 10	SCADA Energie
Perceel 11	Ticketsysteem
Perceel 12	Toegangscontrole
Perceel 13	VMS
Perceel 14	Call Manager
Perceel 15	Signalisatie
Perceel 16	SCADA Stationsuitrustingen
Perceel 17	Perrongewel
Perceel 18	Publiciteit
Perceel 19	Sesampoorten
Perceel 20	Spider
Overige opdrachten	Inrichting van het oppervlak rond de stations

Tabel 20 Begrote percelen voor de enkele buisvariant (ARIES op basis van de data van BMN, 2020)

⁵ BMN & Beliris. (2020). *Samenvattende nota dubbele buisvariant: Studie van de uitbreiding van het hoogwaardige openbare vervoersnetwerk naar het noorden van Brussel*, geraadpleegd in augustus 2020.

De investeringskosten zijn begroot voor de enkele buisvariant op een totaalbedrag van 936 M€. De tabel hieronder geeft de details aan van de begroting van de investeringskosten voor de 20 percelen, voorbereidende werkzaamheden en inrichting van het oppervlak rond de stations:

MONOTUBE T6a et T6b - 02/2020 NIV PU 2015	
COUTS DIRECTS ET INDIRECTS	€ 935.763.824
Travaux préparatoires	18.319.593 €
Concessionnaires	11.836.498 €
Démolition Medical Center	466.615 €
Dépôt	1.374.000 €
Lots	904.339.651 €
Lot 1 GDN/P5/P6	41.259.839 €
Lot 3 TSP0	535.046.008 €
Lot 2 Dépôt	76.290.977 €
Lot 4 Parach et TS	131.630.519 €
Lot 4 Parachèvements	65.743.840 €
Lot 4 Techniques spéciales	65.886.679 €
Lot 5 Mécanisation des accès	32.669.000 €
Lot 6 Voies	21.352.129 €
Lot 7 Marché 11kV et 900V	12.179.380 €
Lot 8 Télécom	5.657.800 €
Lot 9 Systèmes stations	2.786.000 €
Lot 10 SCADA Energie	800.000 €
Lot 11 Billetique	4.243.000 €
Lot 12 Contrôle d'accès	400.000 €
Lot 13 VMS	2.410.000 €
Lot 14 Call Manager	Compris lot 9
Lot 15 SIG	20.500.000 €
Lot 16 SCADA Equipements stations	735.000 €
Lot 17 Façades de quai	16.380.000 €
Lot 18 Publicité	- €
Lot 19 Portillons Sésame	Compris lot 11
Lot 20 SPIDER	- €
Marché Aménagement de surface	13.104.580 €

Figuur 68: Investeringskosten voor de voorbereidende werkzaamheden, 20 percelen en inrichting van het oppervlak voor de enkele buisvariant (ARIES op basis van de gegevens van BMN, 2020)

Deze kosten omvatten met name de kosten van de civiele bouwkunde van de stations, de tunnel, de schacht P0 (perceel 3), de opdracht van de inrichting van het oppervlak rond de stations, de signalisatie, de werkzaamheden van de stelplaats in Haren of bijvoorbeeld de voorbereidende werkzaamheden (concessiehouders, sloop voorafgaand aan de werkzaamheden van de stations/stelplaats). Zie voor nadere gegevens de bovenstaande presentatie van de begrote percelen.

6.3.2. Plaatsing in perspectief van de investeringskosten

Om de hierboven uiteengezette investeringskosten in perspectief te plaatsen, werd in het onderstaande punt een ruwe begroting gemaakt van de inkomsten in het jaar na de inbedrijfstelling van de lijn. Om deze inkomsten te schatten, werden de volgende hypothesen in aanmerking genomen:

Op basis van de gegevens afkomstig van het model van MUSTI en van BMN (zie DEEL 1: 6.1. Mobiliteit), werd het aantal opstappende reizigers geschat tussen 20.000 en 25.000 voor de stations van de metrolijn Noord op het spitsuur 's ochtends (7u-9u). In de hypothese wordt ervan uitgegaan dat dit aantal opstappende reizigers overeenkomt met het aantal betalende trajecten op de lijn.

Om het totale aantal opstappende reizigers te schatten tijdens een gemiddelde werkdag werd het Beldam-onderzoek (Onderzoek BELDAM-2012) geraadpleegd. Volgens dit onderzoek komt de ochtendspits (7u-9u) overeen met 22% van de dagelijkse reizigersstroom. Derhalve dient het aantal van 20.000 tot 25.000 opstappende reizigers vermenigvuldigd te worden met een factor van 4,5 om het gebruik over een gehele werkdag te berekenen. De rest van de periodes van een werkdag omvat dus 78% van de reizigersstroom. Volgens deze hypothesen bedraagt het aantal opstappende reizigers derhalve 91.000 – 114.000 tijdens een gemiddelde werkdag.

Om het totale aantal opstappende reizigers over het jaar te schatten op basis van een gemiddelde werkdag. Zijn wij uitgegaan van de volgende schatting:

- 220 werkdagen gedurende het jaar. Deze omvatten het hierboven geschatte gebruik voor een gemiddelde werkdag;
- 145 niet-werkdagen (feestdagen, weekends, schoolvakanties). Op deze dagen komt het dagelijkse gebruik overeen met 60% van het dagelijkse gebruik op een gemiddelde werkdag.

Op basis van deze hypothesen, **werd het aantal jaarlijks opstappende reizigers geschat op 28.000.000 tot 35.000.000.**

Om de door deze 28 tot 35 miljoen jaarlijks opstappende reizigers gegenereerde inkomsten te schatten, werd een gemiddelde reisprijs geschat op 2,1 euro op basis van de gemiddelde prijs van een metroticket. Het betreft dus een maximale schatting die geen rekening houdt met voorkeurstarieven die van toepassing zijn op sommige gebruikers (ouderen, kinderen jonger dan 12 jaar, enz.), maar tevens regelmatige reizigers van de lijn die eerder zullen kiezen voor een jaarabonnement met een minder hoge prijs per reis.

Volgens de hierboven uiteengezette ruwe schattingen, genereert de inbedrijfstelling van de lijn bij eerste benadering **jaarlijkse inkomsten tussen 59 en 73 miljoen euro.**

Als conclusie kan hieruit opgemaakt worden dat de **inbedrijfstelling van de lijn het mogelijk zou maken om de investeringskosten van de enkele buisvariant (936 M€) af te lossen na een uitbatingsduur die geschat wordt op circa 12 tot 15 jaar**

Ten slotte bevat de onderstaande tabel een synthese van de in aanmerking genomen hypothesen:

Aantal opstappende reizigers op een gemiddelde werkdag	
Aantal opstappende reizigers tijdens de spits (7u-9u) op een gemiddelde werkdag	20.000 – 25.000
Aandeel opstappende reizigers tijdens de ochtendspits (7u-9u)	22%
Aandeel opstappende reizigers buiten de ochtendspits	78%
Aantal opstappende reizigers op een gemiddelde werkdag	91.000 – 114.000
Aantal opstappende reizigers op een gemiddelde niet-werkdag	
Aantal opstappende reizigers op een gemiddelde niet-werkdag in vergelijking met een gemiddelde werkdag	60% van de gebruikers op een werkdag
Aantal opstappende reizigers op een gemiddelde niet-werkdag	55.000 – 68.500
Aantal opstappende reizigers over het jaar	
Aantal werkdagen	220
Aantal niet-werkdagen	145
Aantal opstappende reizigers over een jaar	28.000.000 – 35.000.000
Inkomsten over het jaar	
Gemiddelde prijs van een metroticket (in euro)	2,1
Gegeneerde inkomsten over een jaar	59.000.000 – 73.000.000

Tabel 21: Synthese van de in aanmerking genomen hypothesen ter schatting van de jaarlijks gegeneerde inkomsten door de uitbating van de metrolijn (ARIES, 2020)

6.3.3. Planning van de werkzaamheden

Voor het gehele kunstwerk van de metro, uitgaande van een begin van de werkzaamheden in juli 2022, zal de enkele buisvariant van de metro ter beschikking gesteld worden aan de MIVB in juli 2030. De werkzaamheden strekken zich dus uit over een periode van 8 jaar.

6.3.4. Effecten van het vervoer van de afgegraven grond (van de tunnel) volgens de 2 weerhouden hypothesen

6.3.4.1. Naar de haven van Brussel

Zoals aangegeven in het hoofdstuk mobiliteit (*Zie: DEEL 1: 6.1. Mobiliteit*), omvat het vervoer van de afgegraven grond naar de haven van Brussel:

- Een traject van ± 7 kilometer per vrachtwagen waarvoor buiten de spits een trajecttijd vereist is die geschat wordt (via Googlemaps) op 16 minuten.
- Een traject per schip naar een nog niet bepaalde eindbestemming.

6.3.4.2. Naar de L26

Zoals aangegeven in het hoofdstuk mobiliteit (*Zie DEEL 1: 6.1. Mobiliteit*), omvat het vervoer van de afgegraven grond naar de treinlijn L26:

- Het vervoer van de afgegraven grond via een tijdelijke transportband tussen de werfzone en de laadzone van de treinen.
- Het vervoer van de afgegraven grond per trein over de lijn 26 naar een nog niet bepaalde eindbestemming.

6.3.4.3. Vergelijking van de twee weerhouden hypothesen

Wat betreft de kosten worden in de onderstaande tabel de kosten per ton aangegeven voor het vervoer van de afgegraven grond volgens de schatting van BMN voor de drie transportwijzen naargelang de afstand (vervoer over de weg, per trein en per schip):

	Wegvervoer	Vervoer per trein	Vervoer per schip
Bestemming op 25 km	5 €/ton	7,68 €/ton	1,37 tot 2,2 €/ton
Bestemming op 50 km	7,5 €/ton	8,21 €/ton	1,60 tot 2,45 €/ton
Bestemming op 75 km	10 €/ton	8,76 €/ton	2,39 tot 2,70 €/ton

Tabel 22: Schatting van de kosten per ton voor het vervoer van de afgegraven grond naargelang de afgelegde afstand voor de drie transportwijzen over de weg, per trein en per schip (BMN, 2016)

Uitgaande van de in bovenstaande tabel aangegeven kosten, kan een vergelijking gemaakt worden tussen de twee weerhouden hypothesen wat betreft de transportkosten van de afgegraven grond. De onderstaande tabel geeft deze vergelijking aan per ton afgegraven grond:

	Hypothese Haven van Brussel			Hypothese Lijn L26
	Eerste vervoer naar de Haven ⁶	Vervoer per schip	Prijs/ton	Prijs/ton
Bestemming op 25 km	5 €/ton	1,37 tot 2,2 €/ton	6,37 tot 7,2 €/ton	7,68 €/ton
Bestemming op 50 km		1,60 tot 2,45 €/ton	6,6 tot 7,45 €/ton	8,21 €/ton
Bestemming op 75 km		2,39 tot 2,70 €/ton	7,39 tot 7,7 €/ton	8,76 €/ton

Tabel 23: Vergelijking van de prijs/ton van het vervoer van de afgegraven grond voor de twee weerhouden hypothesen (ARIES op basis van de gegevens van BMN, 2020)

Het blijkt dus uit deze analyse dat de optie Haven van Brussel de optie is waarvan het transport van de afgegraven grond het minst kostbaar is van de twee en zelfs als men rekening houdt met:

- Een eerste vervoer over de weg naar de haven van 25 km in plaats van de vereiste 7 km om de haven vanaf het project te bereiken;
- Zonder rekening te houden met de bouw- en uitbatingskosten van de vereiste tijdelijke transportband in het gebruiksscenario van de lijn L26.

Het is mogelijk om de totale transportkosten van de afgegraven grond voor de twee hypothesen te vergelijken. Zoals namelijk vermeld in deel 4.4 hierboven:

- Het volume afgegraven grond van de tunnel bedraagt circa 582.000 ton.
- Het volume afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling bedraagt circa 127.395 ton.

Er dient derhalve in totaal **circa 709.000 ton** grond afgevoerd te worden. Op deze basis kunnen in de onderstaande tabel de totale afvoerkosten van de afgegraven grond voor de twee bestudeerde hypothesen geschat worden:

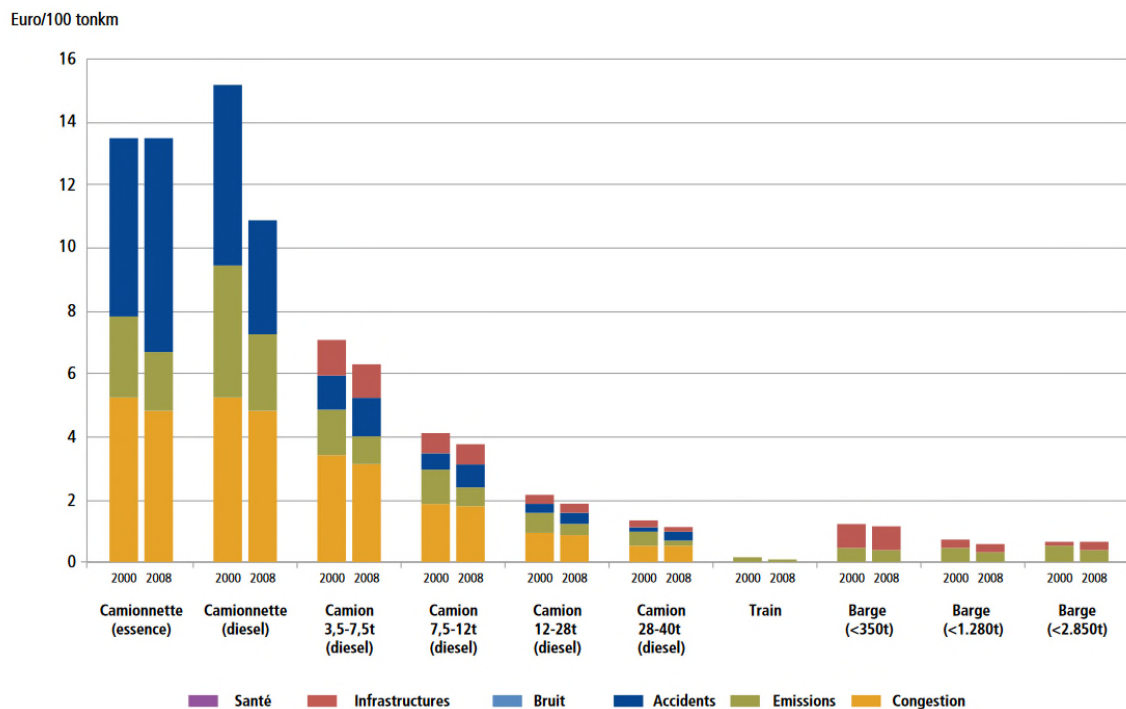
	Hypothese Haven van Brussel			Hypothese Lijn L26		
	Prijs per ton	Volume afgegraven grond (in tonnen)	Totale prijs	Prijs per ton	Volume afgegraven grond (in tonnen)	Totale prijs
Total transportkosten afgegraven grond	6,37 tot 7,7 €/ton	709.000	4.500.000 tot 5.450.000 €	7,68 tot 7,7 €/ton	709.000	5.450.000 tot 6.210.000 €

Tabel 24: Totale vervoerskosten van de afgegraven grond voor de twee weerhouden hypothesen (ARIES op basis van de gegevens van BMN, 2020)

⁶ Eerste vervoer: Hypothese van minder dan 25 km per vrachtwagen over de weg.

Naast deze financiële aspecten kunnen de twee hypothesen echter ook vergeleken worden wat betreft de negatieve impact op de omgeving (files, geluidsoverlast, gezondheid, emissie van vervuiling) via de marginale externe kosten die elke vervoerswijze met zich meebrengt.

Figure 1. Coûts externes marginaux du transport de marchandises en Flandre selon le véhicule utilisé (€/100 tonnes-km)
Source : MIRA (2010)



Tabel 25: Marginale externe kosten van het goederenvervoer in Vlaanderen naar gelang het gebruikte voertuig (€/100 ton-km) (Brussel Mobiliteit⁷, 2015)

Uit deze Figuur blijkt dat de trein de minst negatieve impact op de omgeving heeft. Derhalve, hoewel de hypothese van de Haven van Brussel (vervoer over de weg en binnenvaart) de minst dure is van de twee. Is dit daarentegen **de vervoerswijze die de meest negatieve impact op de omgeving heeft** en met name in verband met het gebruik van het vervoer over de weg in het kader van dit alternatief.

Conclusie, wat betreft de hypothesen van het vervoer van de afgegraven grond:

- Het alternatief van de Haven van Brussel biedt als voordeel dat het de minst kostbare optie is van de twee hypothesen, maar dat daarentegen een grotere impact op de omgeving heeft dan de hypothese van het gebruik van de lijn L26;

⁷ Brussel Mobiliteit (2015), *Goederenvervoer en logistiek in Brussel: stand van zaken en perspectieven*, Katernen van het Observatorium van de mobiliteit in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

- Het alternatief van de Lijn 26 brengt hogere kosten met zich mee, maar heeft een kleinere impact op de omgeving en met name in verband met de geringe overlast die teweeggebracht wordt door de trein.

6.3.5. Impact op de grond

De passage van de tunnel zal een impact hebben op de grond loodrecht op de tunnel wat mogelijk kan leiden tot een daling van de grondwaarde voor de percelen die er loodrecht op liggen. De passage van de tunnel onder de particuliere percelen vereist namelijk de onteigening van de ondergrond daarvan. Er dient echter opgemerkt te worden dat de impact van deze onteigeningen slechts weinig significant is ten opzichte van het gehele project. De tunnel zal zich namelijk op een grote diepte bevinden en zal dus weinig impact op het oppervlak hebben (zie analyse van de effecten van de overige thema's).

Men kan ook opmerken dat op 19 november 2020 het recht van doorgang van de enkele buisvariant bevestigd werd door de Regering (onteyning van de ondergrond). Dit luidt het begin in van de officiële berekeningsprocedure van de vergoedingen voor de onteigeningen. Deze vergoedingen worden begroot op basis van meerdere criteria waarvan de belangrijkste de diepte van de tunnel onder het particuliere perceel is.

6.3.6. Conclusies

De effecten van het project van de enkele buisvariant op sociaal-economisch vlak zijn de volgende:

- **Investeringskosten in totaal ter hoogte van 936 M€.** De aflossing van de investeringskosten van de enkele buis (936 M€) vereist een uitbatingsduur van de lijn die geschat wordt op circa 12 tot 15 jaar
- **De werkzaamheden strekken zich uit over een periode van 8 jaar van 2022 tot 2030.**
- **Economische en milieukundige kosten in verband met het vervoer van de afgegraven grond.** Wat betreft de twee weerhouden hypothesen van het vervoer van de afgegraven grond:
- Het alternatief van de Haven van Brussel is minder duur maar heeft een grotere impact op de omgeving. De totale transportkosten van de afgegraven grond zullen tussen de 4.500.000 en 5.450.000 € liggen.
- Het alternatief van de Lijn 26 is duurder maar heeft een kleinere impact op de omgeving. De totale transportkosten van de afgegraven grond zullen tussen de 5.450.000 en 6.210.000 € liggen.
- **Onteigening van de ondergrond van de percelen.** De impact van deze onteigeningen is slechts weinig significant is ten opzichte van het gehele project.

6.4. Bodem, ondergrond en grondwater

6.4.1. Geografische zone

Voor de bodem en het grondwater komt de geografische zone overeen met het terrein van het project zelf, evenals de verschillende infrastructuur aan de oppervlakte en in de ondergrond grenzend aan de site.

6.4.2. Reglementair kader en referenties

6.4.2.1. Bodem

- Ordonnantie van 5 maart 2009 betreffende het beheer en de sanering van verontreinigde bodems (B.S. 10/03/2009) gewijzigd door de Ordonnantie van 23 juni 2017 (B.S. 13/07/2017) ;
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van de interventienormen en saneringsnormen (B.S. 02/05/2017);
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van de type-inhoud van het verkennend bodemonderzoek en het gedetailleerd bodemonderzoek (B.S. 02/05/2018);
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van de type-inhoud van het risicobeheersvoorstel, van het saneringsvoorstel, en de behandeling van beperkte duur (B.S. 02/05/2018);
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van 16 februari 2017 betreffende het bodemattest (B.S. 20/03/2017);
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van 16 juli 2015 tot wijziging van het besluit van 17 december 2009 tot vaststelling van de lijst van de risicoactiviteiten (B.S. 10/08/2015);
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 15 december 2011 betreffende de erkenning van de bodemverontreinigings-deskundigen en de registratie van de bodemsaneringsaannemers (B.S. 30/01/2012) en de wijziging daarvan van 07 juli 2016;
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 2 juli 2001 tot vaststelling van de exploitatievoorwaarden voor de textielreiniging met behulp van solventen (bijgewerkt op 04/05/2018).

6.4.2.2. Water

- Richtlijn 2008/105/EG van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 inzake milieukwaliteitsnormen op het gebied van het waterbeleid;
 - Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 24 maart 2001 tot vaststelling van de milieukwaliteitsnormen, de basiskwaliteitsnormen en de chemische normen voor de oppervlaktewateren tegen de verontreiniging veroorzaakt door bepaalde gevaarlijke stoffen en andere verontreinigende stoffen (B.S. 08/04/2011);

- Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid (B.S. 22/12/2000), omgezet door de Ordonnantie van 20 oktober 2006 tot vaststelling van een kader voor het waterbeleid;
 - Ordonnantie van 20 oktober 2010 tot vaststelling van een kader voor het waterbeleid (B.S. 03/11/2006) (gewijzigd door de Ordonnantie van 28 oktober 2010);
 - Ordonnantie van 29 maart 1996 tot instelling van een heffing op de lozing van afvalwater (B.S. 01/04/1996) en het uitvoeringsbesluit daarvan van 7 november 1996, gewijzigd door het Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 23 december 1999 (B.S. 07/01/2000) en gedeeltelijk ingetrokken door de Ordonnantie van 20 oktober 2006 (artikel 15 t/m 21 van kracht);
 - Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 3 december 2015 tot vaststelling van een opvolgings- en rapporteringshulpmiddel ter bepaling van de reële kostprijs van het water in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en tot opheffing van het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 22 januari 2009 van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering tot vaststelling van een gestandaardiseerd boekhoudplan van de watersector in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.
- Richtlijn 2007/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2007 over de beoordeling en het beheer van overstromingsrisico's.
 - Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 24 september 2010 betreffende de beoordeling en het beheer van overstromingsrisico's (B.S. 05/10/2010) (gewijzigd door het Besluit van 28 maart 2013).
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 23 maart 1994 betreffende de behandeling van stedelijk afvalwater (B.S. 05/05/1994) (gewijzigd door het Besluit van 27/10/1998);
- Koninklijk besluit tot wijziging van het koninklijk besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen (B.S. 30/12/1997);
- Besluit van de Regering van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest tot goedkeuring van de Titels I tot VIII van de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening, van toepassing op het volledige grondgebied van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (B.S. 19/12/1996).
- De teksten en codes van goede praktijk inzake het respect van de kwaliteit van het oppervlaktewater die nageleefd moeten worden in het kader van de behandeling van afvoerwater worden vermeld in hoofdstuk 8 van deel 2 van dit boek (Analyse van de variant - Bodem, ondergrond en grondwater).

6.4.3. Beschrijving van de huidige situatie

6.4.3.1. Locatie van de ondergrondse infrastructuren

Recht op het tracé van de tunnel:

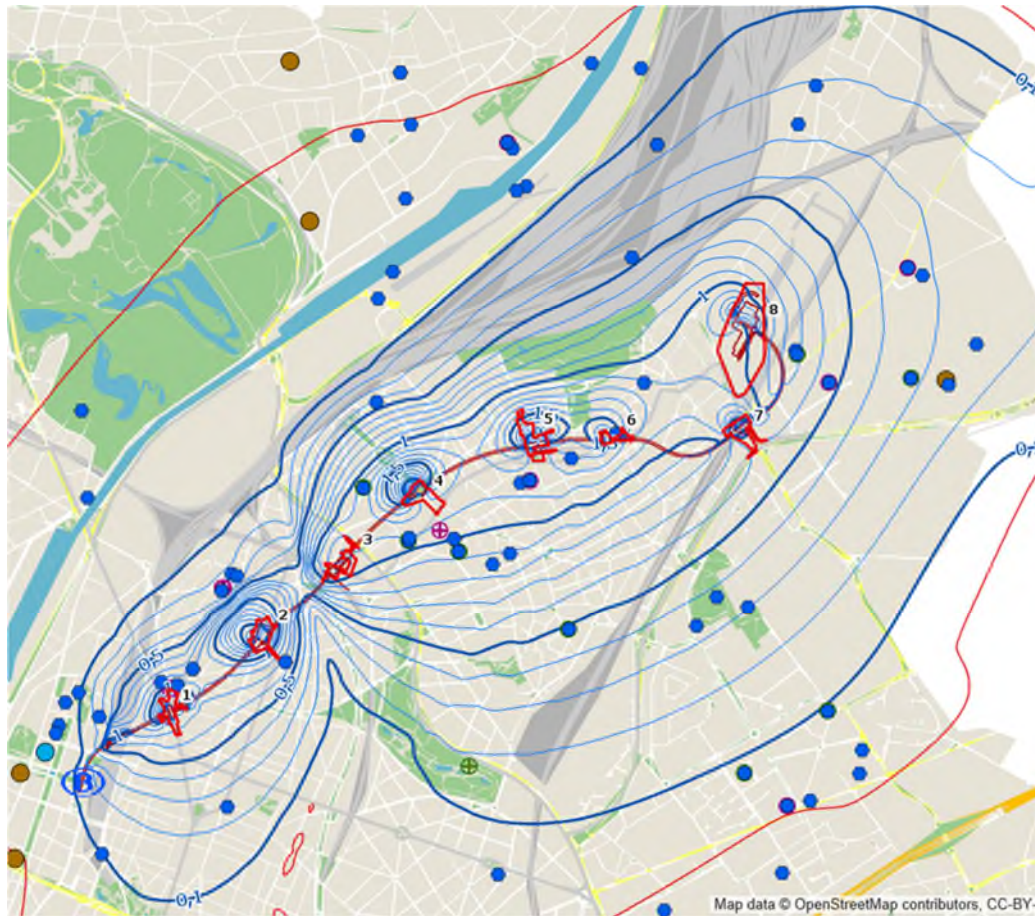
- Aanwezigheid van de verzamelleiding van de Maalbeek.
- Aanwezigheid van een stormbekken, ter hoogte van de Zweefvliegtuigstraat.
- Aanwezigheid van oude bemalingsputten vaak bestaande uit metalen vaten en waarvan de locatie soms onbekend is.
- Eventuele aanwezigheid van geothermische sondes waarvan eveneens de locatie soms onbekend is.

A. Bestaande perifere waterwinningskunstwerken

Er werd een inventaris opgesteld van de waterwinningskunstwerken binnen de invloedssperimeter van het tracé op basis van de database van Brussel-Leefmilieu (<https://geodata.environnement.brussels/client/view/>). Op de volgende kaart wordt de locatie van de gemelde actieve en historische waterwinningswerken aangegeven (permanente en tijdelijke toestemmingen) en in de omgeving van het project.

De impact van de uitbating van het tracé werd beoordeeld door over te gaan tot de inventarisatie van de waterwinningswerken binnen de perimeter beperkt tot de contourlijn van de grondwaterverlaging van 0,1 m. De in aanmerking genomen perimeter is die van de modellering ter maximalisering van de verlagingseffecten en de perifere invloed van het project.

Er werden 36 waterwinningen geteld binnen deze contourlijn van de grondwaterverlaging van 0,1 m.



Figuur 69: Locatie van de waterwinningswerken in perspectief met de invloedzone van de grondwaterverlaging tijdens de uitbating (Tractebel 2020).

In de onderstaande tabel worden deze waterwinningswerken aangegeven in de nabijheid van elk station binnen de perimeter van de grondwaterverlaging van 0,1 m, evenals met name de afstand tot de hoofdbouw, de toegestane debieten, het gebruik van het opgevangen water en de belaste watervoerende laag.

Merk op dat in de invloedzone geen enkel distributiekunstwerk van openbaar water noch een beschermingszone voor de waterwinning geïdentificeerd zijn. Het betreft voornamelijk de waterwinning voor huishoudelijke doeleinden, wasserijen, car-wash centra of opvang van tertiair afvalwater.

Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

Station	Distance (m)	Rabatte ment (m)	OBJEC TID	Id_ouvr age	Nom	Debit_ autori se (m³/j)	Debit_a utorise (m³/an)	Adresse	Code postal	Profon deur (m)	Usage de l'eau	Aquifère capté
Liedts	120	0,95	251	112	capt_5268	20	5000	Rue Gallat	1030	67	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Liedts	130	0,85	219	466	capt_5710	8	2880	Rue de la Reine	1030	17	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Liedts	220	0,80	281	1626	capt_5482	40	12000	rue gallat	1030		indéterminé	Non renseigné
Liedts	220	0,80	173	2034	capt_5801	20	720	Rue Gallat	1030		bains publics	
Liedts	370	0,25	119	71	no name			rue gaucheret	1030		exhaure / travaux GC publics ou privés	UH/RBC_01. Système aquifère du quaternaire
Liedts	560	0,25	250	152	capt_5345	8	2500	Chaussée de Haecht	1030	92	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Liedts	840	0,10	40	1768	capt_5721	480		Place Saint-Lazare	1120		exhaure / travaux GC publics ou privés	Multi-aquifère
Colignon	140	0,65	257	1660	capt_5335	6	1800	Chaussée de Haecht	1030	13	indéterminé	Non renseigné
Colignon	310	0,26	145	78	capt_5209	16	5500	Rue du Pavillon	1030	80	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Colignon	310	0,26	340	78	capt_5209	16	5500	Rue du Pavillon	1030	80	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Colignon	350	0,27	461	1673	capt_5336	10	25000	Rue François-Joseph Navez	1030	82	indéterminé	Non renseigné
Colignon	360	0,24	230	160	capt_5376	20	5300	François-Joseph Navezstraat	1030	15	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_01. Système aquifère du quaternaire
Riga	240	1,08	231	292	Lavoir Carsen	8	2500	Chaussée de Helmet	1030	88	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Riga	260	1,07	50	314	Lavoir Helmet	55	20000	Rue Nestor de Tière	1030	96	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Riga	280	1,13	362	316	Lavoir Sleecck	8	2500	Avenue Sleecck	1030	35	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_07b Aquifère des sables et argiles de Moen
Riga	310	1,00	31	320	Initial Textiles nv_1	360	90000	Rue Docteur Elie Lambotte	1030	96	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Riga	310	1,00	351	320	Initial Textiles nv_1	320	80000	Rue Docteur Elie Lambotte	1030	96	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Riga	520	0,41	212	1716	capt_1076	50		Avenue Georges Rodenbach	1030	18	indéterminé	Non renseigné
Riga	550	0,85	348	228	capt_5277	18	5500	Chaussée de Haecht	1030	96	indéterminé	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Riga	590	0,79	457	258	capt_754	70		Henri Jacobsstraat	1030	35	indéterminé	UH/RBC_07. Système aquifère des sables et argiles de Kortrijk
Riga	1090	0,48	413	300	Lavoir Tilleul	8	2500	Rue du Tilleul	1140	35	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Tilleul	180	1,15	247	10	308_Hades-Elis	10	3000	Rue du Tilleul	1140	198	indéterminé	UH/RBC_05. Système aquifère des craies du Crétacé et du socle paléozoïque
Tilleul	190	1,28	66	1718	capt_1276			rue edouard stuckens	1140		indéterminé	Non renseigné
Tilleul	210	1,15	45	1691	P2_Hades-Elis	175		rue du tilleul	1140	217	indéterminé	UH/RBC_05. Système aquifère des craies du Crétacé et du socle paléozoïque
Tilleul	590	0,79	457	258	capt_754	70		Henri Jacobsstraat	1030	35	indéterminé	UH/RBC_07. Système aquifère des sables et argiles de Kortrijk
Tilleul	670	0,85	348	228	capt_5277	18	5500	Chaussée de Haecht	1030	96	indéterminé	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Tilleul	990	0,48	413	300	Lavoir Tilleul	8	2500	Rue du Tilleul	1140	35	salon-la-voir/blanchisserie	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Paix	20	1,55	372	94	capt_5240	15	5000	Place de la Paix	1140	13	indéterminé	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Paix	200	1,28	66	1718	capt_1276			rue edouard stuckens	1140		indéterminé	Non renseigné
Paix	310	1,10	468	1888	capt_5734	10		Goede Herderstraat	1140		exhaure / travaux GC publics ou privés	UH/RBC_06 Aquifère des sables et argiles de Tielt
Paix	1000	0,37	54	1950	capt_5754	54	6000	Avenue des Anciens Combattants	1140	30	usage tertiaire: arrosage (terrain de sport,...)	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Paix	1070	0,34	109	58	capt_3938	104	38000	Avenue des Anciens Combattants	1140	48	piscine (publique ou privée)	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Paix	1120	0,30	328	183	capt_5452	80	10000	Eenboomstraat	1140	42	usage tertiaire: arrosage (terrain de sport,...)	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Bordet	470	0,72	224	1776	Car Wash Kennedy_2	2	400	Chaussée de Haecht	1130	110	car-wash	UH/RBC_08a Aquifère des sables du Landénien
Bordet	480	0,73	106	287	Car Wash Kennedy_1	2	500	Chaussée de Haecht	1000	30	car-wash	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Bordet	490	0,54	81	20	527_B11	11	3000	Rue de Strasbourg	1140	26	indéterminé	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Bordet	570	1,10	468	1888	capt_5734	10		Goede Herderstraat	1140		exhaure / travaux GC publics ou privés	UH/RBC_06 Aquifère des sables et argiles de Tielt
Bordet	910	0,32	15	467	puits_OTAN_1	450	15000	Rue de la Fusée	1130	60	usage tertiaire: arrosage, exhaure / travaux GC publics ou privés	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Bordet	1080	0,25	249	186	capt_5482	22	5000	Raketstraat	1000	40	usage industriel non alimentaire	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele
Bordet	1300	0,25	464	468	puits_OTAN_2	450	15000	Rue de la Fusée	1130	60	usage tert: arrosage, exhaure / travaux GC publics ou privés	UH/RBC_04 Aquifère des sables de Wemmel, Ledé, Bruxelles et Vlierzele

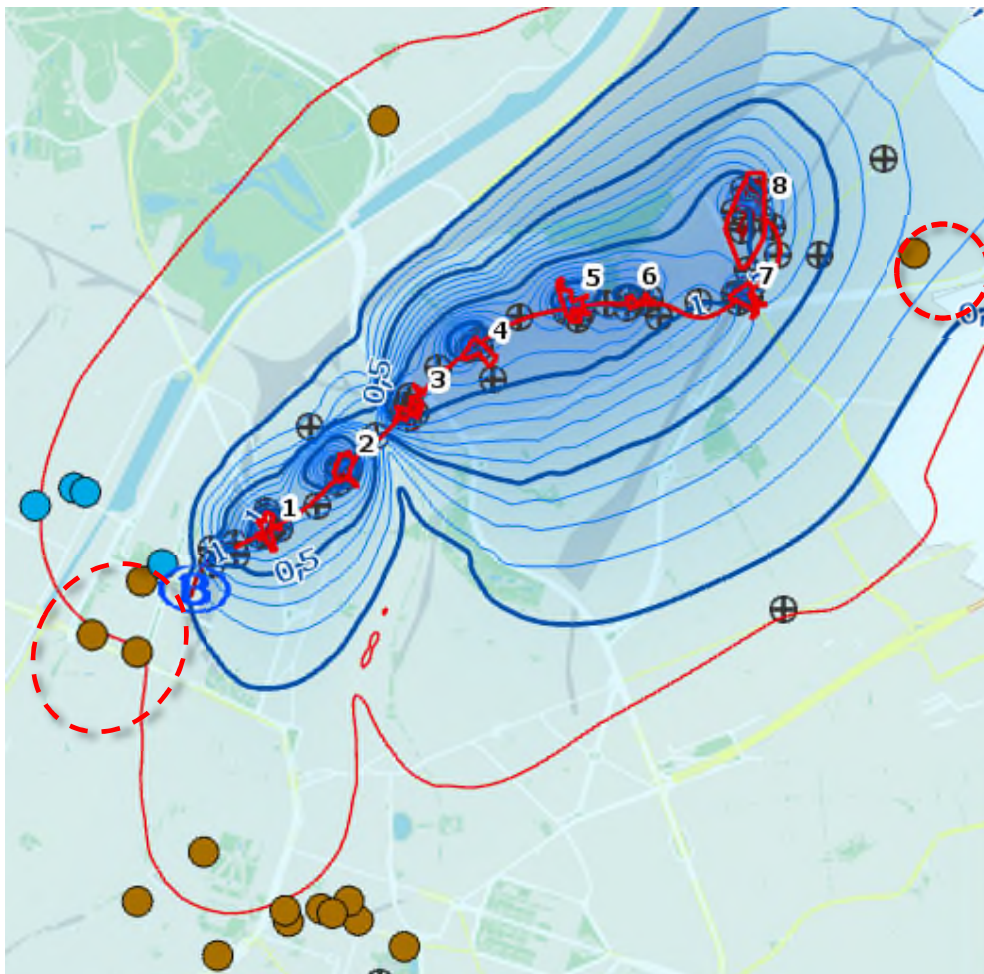
Tabel 26: Lijst van de waterwinningswerken in de invloedzone (modellering V1) en beoordeling van de verwachte verlaging tijdens de uitbating

B. Geothermisch exploitatiesysteem

Men kan twee soorten laagenergetische geothermische exploitatiesystemen onderscheiden:

- De **open systemen (ATES: Aquifer Thermal Energy Storage** – geothermie op de grondwaterspiegel), deze onttrekken of injecteren calorische energie, na passage (of niet) van het water in een warmtepomp; deze vereisen een onttrekking en herinspuiting van grondwater en zouden, in voorkomend geval, beïnvloed kunnen worden door een significante verlaging van de grondwaterspiegel;
- De **gesloten systemen (BTES: Borehole Thermal Energy Storage** – geothermie op sondes), deze onttrekken of injecteren calorische energie in omhulde terreinen via een gesloten lus, binnen de putten en waarin een warmtegeleidende vloeistof stroomt; deze systemen werken door uitstraling van warmte en vereisen geen wateruitwisseling met het grondwater.

Op de onderstaande Figuur worden de locaties van de geïnventariseerde geothermische systemen aangegeven in de nabijheid van de sectie per 07/2020 in het perspectief van de invloedzone hiervan tijdens de uitbating (contourlijnen van de grondwaterverlaging berekend door modellering V1). De Figuur maakt onderscheid tussen de open systemen (ATES) in blauw en de gesloten systemen (BTES) in bruin.



Figuur 70: Locatie van de geothermische systemen en invloedzone van de afvoer tijdens de uitbating (modellering V1, Artesia 2020 op basis van Tractebel)

Er is een gesloten type (BTES) geïnventariseerd ten oosten van station Bordet op circa 1100 m afstand daarvan.

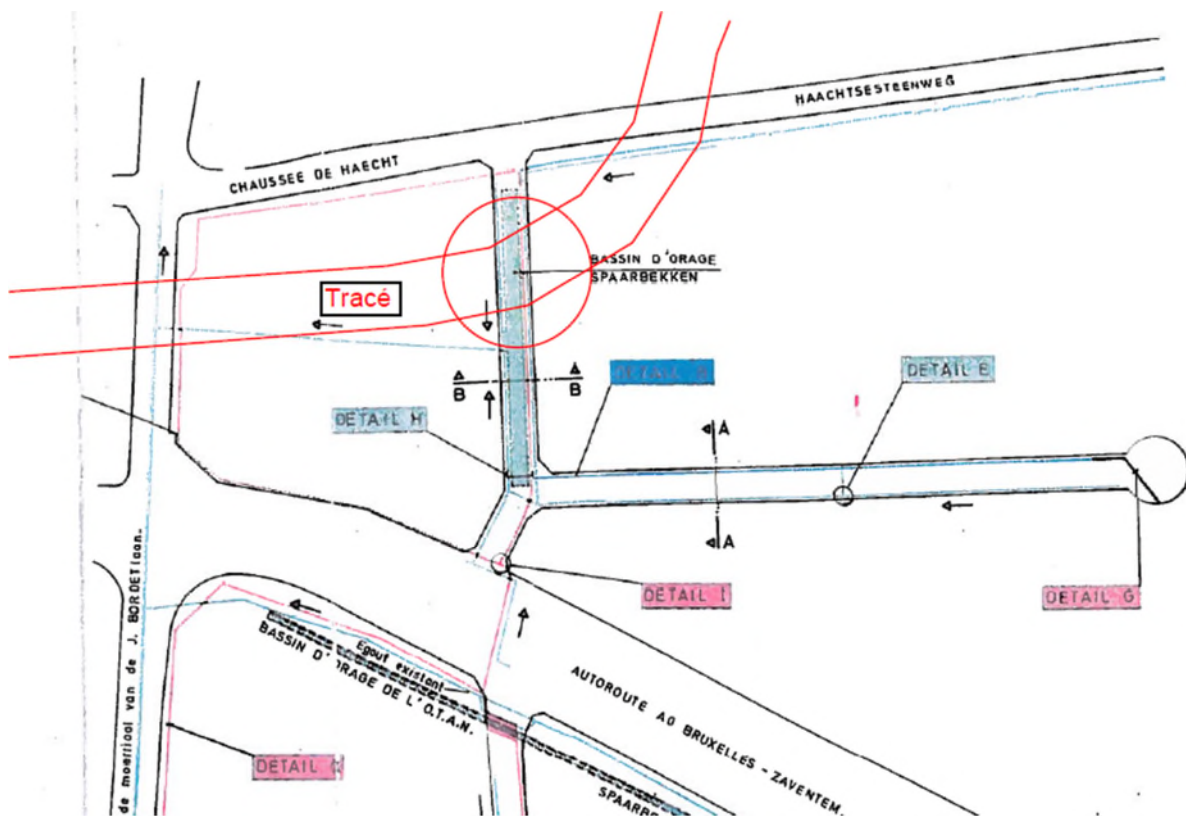
Er zijn drie gesloten systemen (BTES) geïnventariseerd ten westen van het station Brussel-Noord op afstanden van 460 m tot 900 m daar vandaan. Het betreft met name Pole Star op 460 m en Quatuor Brussels op 750 m van het station Brussel-Noord.

Er is één open systeem (ATES) geïnventariseerd ten westen van het station Brussel-Noord. Het betreft het WTC-systeem (Project ZIN) op 310 m van het station Brussel-Noord.

Van alle andere op grotere afstand geïnventariseerde systemen wordt verwacht dat deze niet beïnvloed worden door onderhavig project.

C. Stormbekken Zweefvliegtuigstraat

Er bevindt zich een stormbekken bij de Zweefvliegtuigstraat (zie onderstaande Figuur) bij het tracé van de tunnel.

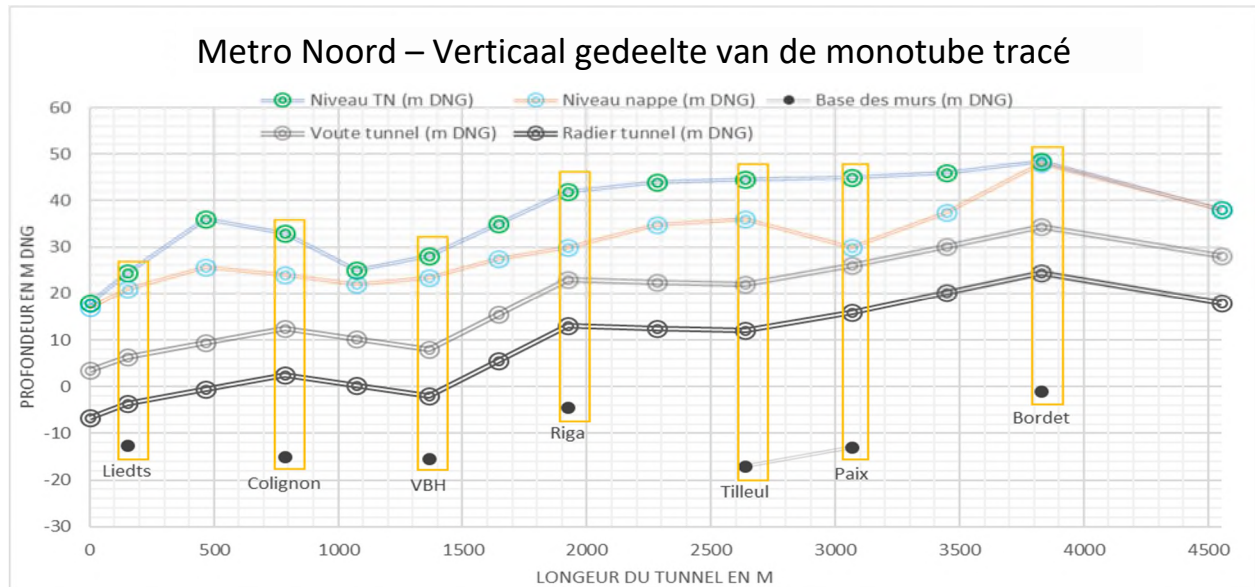


Figuur 71: Locatie van het stormbekken Zweefvliegtuigstraat (BMN, 2020)

De bodembedekking boven de tunnel bij de Zweefvliegtuigstraat bedraagt 16,3 m. Het stormbekken bevindt zich op een diepte van 5,70 m. De hoogte van de bodem tussen het dak van de tunnel en de onderzijde van het stormbekken bedraagt 10,6 m, hetgeen overeenkomt met eenmaal de diameter van de tunnel:

6.4.3.2. Beschrijving van de geologische lagen die door de tunnel doorkruist worden

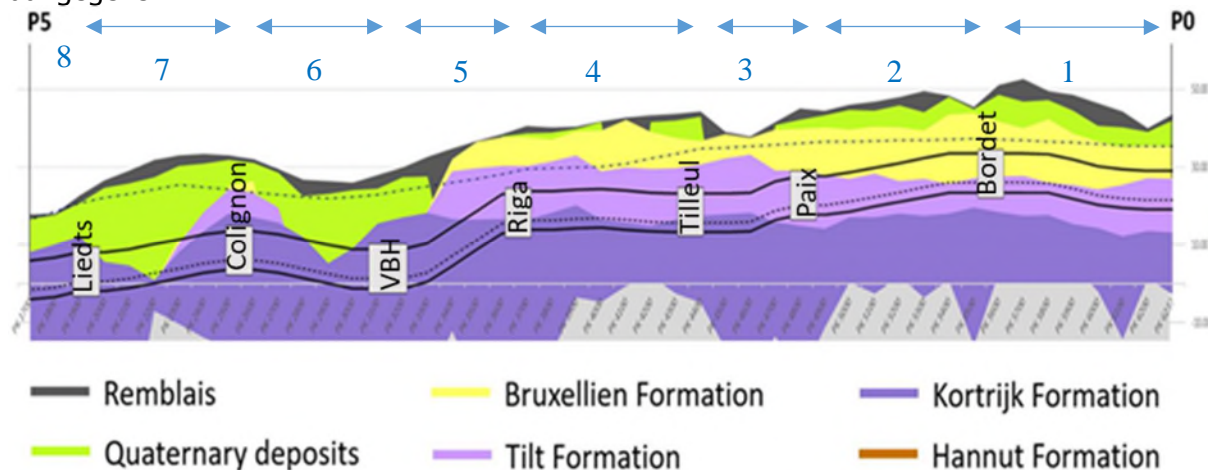
De onderstaande Figuur vat de niveaus van het maaiveld, het grondwater en de tunnel ten opzichte van het tracé van de metro samen.



Figuur 72: Schematische doorsnede van de diepte van de tunnel bij de stations (BMN 2020).

De tunnel bevindt zich in zijn geheel onder de grondwaterspiegel.

Op de onderstaande Figuur wordt de geologische context langs het tracé van de tunnel aangegeven.



Figuur 73: Geologische synthese langs het tracé (BMN, 2020)

Gelet op deze context blijkt dat de tunnel de volgende formaties doorkruist:

- Afzetting van het Quartair: aangeslibte klei, leem, zand en grint
- Formatie van Tiel: heterogene zeer fijne, kleihoudende zandafzettingen met lokaal kleilenzen.
- Formatie van Brussel: zeer fijn tot grof zand en kalkhoudend zandsteen.
- Formatie van Kortrijk: afwisseling van zandhoudende klei en kleihoudend zand (leden van Aalbeek en Moen).

De formatie van Brussel en de afzettingen van het Quartair zijn betrekkelijk doorlatende formaties. De overige formaties (Tielt en Kortrijk) worden beschouwd als semi-doorlatend.

6.4.3.3. Inventaris van de mogelijke effecten van het project

De mogelijke effecten van het project wat betreft de bodem zijn de volgende:

- Het beheer van de afgegraven grond in het kader van de bouw van een tunnel op meer dan 9m onder een stedelijke zone waar plaatselijk mogelijke vervuilende activiteiten plaatsvinden met grotendeels oppervlaktevervuiling
- De uit te voeren bodemprocedures voor de uitvoering van het project in overeenstemming met de Bodemordonnantie;

De mogelijke effecten van het project wat betreft het water zijn de volgende:

- Wijziging van de stroming van het grondwater (barrage-/drainage-effect van de kunstwerken).

De mogelijke effecten van het project wat betreft de oppervlakte zijn de volgende:

- Risico op verzakking boven het tracé en rondom de tunnel;
- Vervanging van de waterleidingen in de invloedzone van de tunnel (geschat op 30 m aan weerszijden van de tunnel): Alle waterleidingen van grijs gietijzer moeten vervangen worden door leidingen van staal of PEHD (wijziging uit te voeren voor de bouw van de tunnel, want deze worden als te kwetsbaar beschouwd). Voor de overige hydraulische werken zijn geen wijzigingen nodig.

6.4.4. Analyse van de effecten van het project ten opzichte van de referentiesituatie

6.4.4.1. Effecten op het grondwater

A. Methodologie, modelliseringsvoorwaarden en beperkingen

Het project kan mogelijk een impact hebben op het grondwater op twee manieren:

- Door de aanwezigheid van de betonbekleding van de tunnel, maar ook de ombouw van het station en in het bijzonder de gegoten wanden. Deze elementen kunnen de natuurlijke stroming wijzigen van het grondwater en, in het ergste geval, een barrage-effect veroorzaken dat kan leiden tot een stijging van het grondwater aan de stroomopwaartse zijde.
- Door de daling van de grondwaterspiegel via het draineringsnetwerk van de tunnel en de stations.

De effectenstudie van het grondwater is gebaseerd op de resultaten van de hydrogeologische modellering van de metro Noord uitgevoerd door Artesia (Rapport R/19/031 – 15/01/2020) en heeft tot doel deze mogelijke effecten te onderzoeken.

De oorspronkelijke studie van Artesia (Rapport R/19/031) had de volgende doelstellingen:

- Beoordeling van de effecten van het project op het piëzometrische niveau (als gevolg van de permanente drainering van de stations en de tunnel en het barrage-effect van de kunstwerken).

- Beoordeling van de afgevoerde debieten in de stations, maar ook door de tunnel.
- Beoordeling van de verzakkingen door de verlaging van het grondwaterpeil.

Merk op dat de inplanting van de stations en de tunnel mogelijkwijze rondom **antagonistische bij elkaar opstapelende effecten kunnen veroorzaken**: enerzijds een **verlaging buiten de omheining** als gevolg van de drainering binnen de omheining en anderzijds een **barrage-effect met een stijging van het grondwaterpeil aan de stroomopwaartse zijde**. Het model maakt het mogelijk het netto effect van deze twee verschijnselen te beoordelen.

In deze studie werd een hydrogeologisch 3D-model gerealiseerd om het effect op het grondwater tijdens de uitbating te simuleren (evenwichtssituatie na de bouw).

Er werden twee scenario's gesimuleerd door Artesia op basis van verschillende werkhypothesen:

- Een **scenario V1** – oorspronkelijk scenario en referentiescenario met als doel om het verlagingseffect en de te onttrekken debieten te maximaliseren – hiertoe werden de hoogste waarden van doorlatendheid van de wanden en hun verankeringshorizon (formatie van Saint Maur) in aanmerking genomen;
- Een **scenario V2** – scenario met als doel om het barrage-effect en de stijging die zich zou kunnen voordoen aan de stroomopwaartse zijde (ten zuiden) van het project te maximaliseren – hiertoe werden de laagste waarden van doorlatendheid van de wanden en hun verankeringshorizon in aanmerking genomen;

De modellering omvat het gehele project en is met name gebaseerd op de volgende hypothesen, voor wat betreft **scenario V1** (referentiescenario):

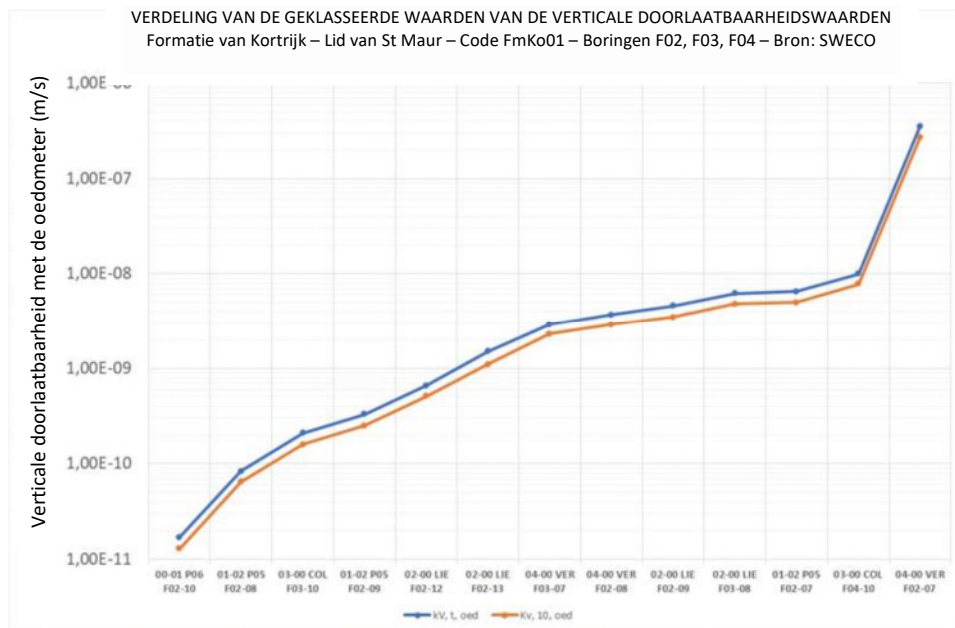
- Doorlatendheid K_h van de formatie van Saint-Maur (verankeringshorizon van de gegoten wand) van 1.10^{-7} m/s (met een anisotropie van 10 en een waarde K_v : 1.10^{-8} m/s); in het onderhavige geval heeft dit uitsluitend een impact op de stations, er is namelijk geen gegoten wand verankerd in de aquitard bij de tunnel daar de voortgang van de tunnelboormachine plaatsvindt onder het grondwater.
- Doorlatendheid van de gegoten wanden K wand van 1.10^{-8} m/s (idem, de wanden zijn uitsluitend aanwezig ter hoogte van de stations). Het betreft met name een gebruikelijke praktijk die aanbevolen wordt door het WTCB die tot doel heeft hypothetische fouten in de wand in aanmerking te nemen om de meest kritieke scenario's te modelleren voor wat betreft het bemalingsdebiet en de verlagingen daar omheen.
- Doorlaatbaarheid van de tunnelwanden, K_{tunnel} van $7,5.10^{-11}$ m/s (resultaat van een door Artesia uitgevoerd gevoeligheidsonderzoek om een lekdebiet te verkrijgen van minder dan 300 l/u per km tunnel); het betreft een equivalente doorlaatbaarheid die rekening houdt met de gehele waterdichtheidssystemen van de tunnel (segmenten, voegen tussen de segmenten en insputting in de ringvormige ruimte).
- Kalibratie in evenwichtsregime

Zoals hierboven vermeld, brengen deze hypothesen waarin rekening gehouden wordt in **scenario V1** bepaalde beperkingen met zich mee inzake het gebruik van het model en de interpretatie daarvan en met name wat betreft:

- De doorlaatbaarheid van de formatie van Saint-Maur ($K_h : 1.10^{-7}$ m/s) waarin de gegoten wanden verankerd worden ter hoogte van de stations en de doorlaatbaarheid van de gegoten wanden ($K : 1.10^{-8}$ m/s) zelf. Deze in aanmerking genomen waarden zijn:
 - Behoudend ten aanzien van de berekening van de grondwaterdaling maar ook de debieten (hoe hoger de doorlaatbaarheid, des te hoger de impact van de drainering). Zodoende kan het scenario gesimuleerd worden dat de schatting van het op te vangen debiet maximaliseert binnen de ombouw en de perifere verlaging van de grondwaterspiegel.
 - Optimistisch ten aanzien van de impact van de barrage-effecten van de kunstwerken op de stroming van het grondwater. De wand wordt beschouwd als met de hoogste doorlaatbaarheid, beoordeling van een eventueel barrage-effect de facto geminimaliseerd.
- De wand wordt beschouwd als met de hoogste doorlaatbaarheid, beoordeling van een eventueel barrage-effect de facto geminimaliseerd.
 - De gemodelleerde zone bevindt zich in een uiterst complexe stedelijke context die het niet eenvoudig mogelijk maakt het model in het overgangsregime te kalibreren.
 - De in dit model uitgevoerde simulaties maken het slechts mogelijk resultaten te verkrijgen voor een situatie in evenwicht, hetgeen betekent dat het niet mogelijk is de ontwikkeling te kennen van de verlaging van de grondwaterspiegel en de debieten in de loop der tijd, maar uitsluitend om het eindresultaat te kennen (na stabilisatie van de niveaus tijdens het uitbatingsregime).

Om het mogelijke barrage-effect en de intensiteit van de stijging van de grondwaterspiegel aan de stroomopwaartse zijde te bestuderen onder de meest kritieke condities, heeft een **scenario V2**, uitgewerkt in het kader van een aanvullend model, de volgende werkhypothesen in aanmerking genomen die afwijken van de vorige:

- De doorlaatbaarheid van de formatie van Saint-Maur werd verlaagd met een orde van grootte van 3, dat wil zeggen $K_h : 1.10^{-10}$ m/s en $K_v : 1.10^{-11}$ m/s. Deze keuze berust op een serie door de Sweco uitgevoerde doorlaatbaarheidsproeven op de formatie van Saint Maur (en met name de hogere verankeringshorizons, FmKo01). Zoals blijkt uit de volgende Figuur varieert de verticale doorlaatbaarheid, K_v , van deze terreinen, voor de gehele reeks, van 1.10^{-11} m/s tot 3.10^{-7} m/s (geometrisch gemiddelde: 5.10^{-9} m/s). De laagste en dus meest kritieke waarde van de verdeling werd in aanmerking genomen, dat wil zeggen $K_v : 1.10^{-11}$ m/s. Rekening houdend, zoals gebruikelijk, met een anisotropische factor K_h/K_v van 10, werd een waarde $K_h : 1.10^{-10}$ m/s eveneens in aanmerking genomen, een dergelijke keuze maakt deze simulatie tot de meest zekere voor het onderzoek van het barrage-effect



Figuur 74: Verdeling van de geordende doorlaatbaarheidswaarden van de bovenzijde van de formatie van Saint-Maur (FmKo01, gegevens van BMN 2020)

- De doorlaatbaarheid van de wanden voor de uitvoering van de stations werd ook verlaagd met een orde van grootte van 3, dat wil zeggen $K : 1.10^{-11}$ m/s zonder anisotropie; het betreft zeer lage doorlaatbaarheidswaarden, maar desalniettemin realistische waarden als de wanden geen gebreken vertonen tijdens hun uitvoering (voegen, krimp, ...); merk op dat de keuze van de laagste waarden niet gevoelig is voor de resultaten van de modellering
- De doorlaatbaarheid van de wanden van de tunnel werd niet gewijzigd en blijft op $7,5.10^{-11}$ m/s zonder anisotropie

B. Resultaten van modellering V1 - maximalisatie van de debieten en het verlagingseffect

Zoals hierboven vermeld, houdt de in dit gedeelte beschreven informatie rekening met hypothesen die de **overdrachtsdebieten door de wanden heen maximaliseren, evenals de omleidingsdebieten** daaronder. De facto, zijn de **perifere en uitwendige effecten eveneens de hoogste wat betreft de verlaging van de grondwaterspiegel**. Deze hypothese biedt de meest zekere situatie voor deze aspecten.

De resultaten van de studie van Artesia zijn de volgende voor wat betreft de gedraineerde debieten per tunnelsectie en per station:

- De gedraineerde debieten van de tunnelsecties worden in de onderstaande tabel aangegeven:

	Longueur [km]	m ³ /h	m ³ /j	m ³ /an	l/h/km
Tunnel Gare du Nord - Liedts	0.194	0.074	1.8	650	382
Tunnel Liedts - Colignon	0.508	0.175	4.2	1 530	345
Tunnel Colignon - Verboekhoven	0.466	0.140	3.4	1 230	300
Tunnel Verboekhoven - Riga	0.430	0.130	3.1	1 140	303
Tunnel Riga - Tilleul	0.604	0.170	4.1	1 490	282
Tunnel Tilleul - Paix	0.315	0.080	1.9	700	254
Tunnel Paix - Bordet	0.637	0.160	3.8	1 400	251
Tunnel Bordet - Dépôt	0.620	0.160	3.8	1 400	258
TOTAL	3.773	1.089	26	9 500	289

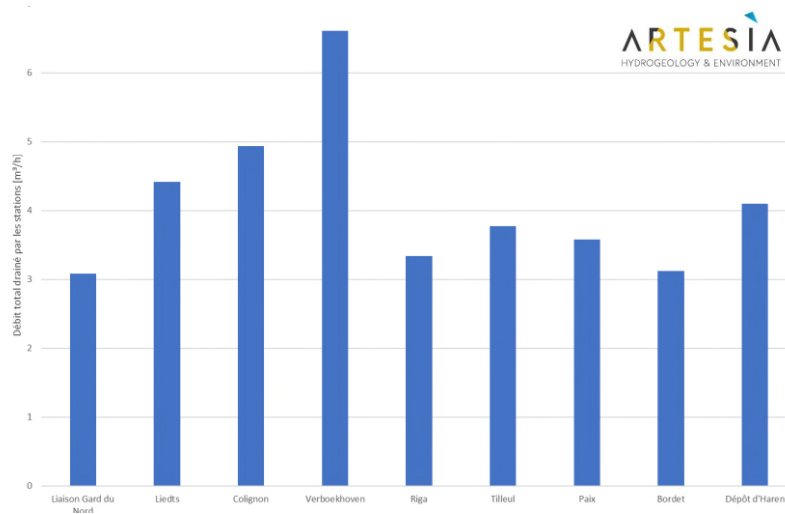
Tabel 27: Synthèse van de gedraineerde debieten van de tunnelsecties (Artesia, 2020)

- De gedraineerde debieten van de stations worden in de onderstaande tabel aangegeven:

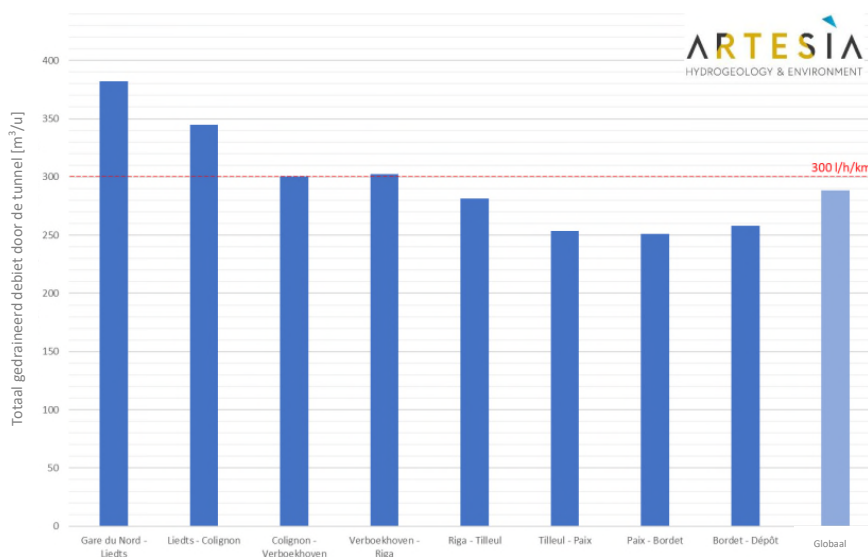
	m ³ /h	m ³ /j	m ³ /an
Liaison Gare du Nord	3.1	70	27 200
LIEDTS	4.4	110	38 500
COLIGNON	4.9	120	42 900
VERBOEKHOVEN	6.6	160	57 800
RIGA	3.3	80	28 900
TILLEUL	3.8	90	33 300
PAIX	3.6	90	31 500
BORDET	3.1	70	27 200
DÉPÔT D'HAREN	4.1	100	35 600
TOTAL	36.9	890	320 000

Tabel 28: Synthèse van de gedraineerde debieten van de stations V1 (Artesia, 2020)

Deze gegevens worden geïllustreerd op de volgende Figuren:



Figuur75: Verdeling van de totale gedraineerde debieten ter hoogte van de stations (Artesia, 2020)



Figuur 76: Verdeling van de specifieke debieten (l/u.km) per tunnelsectie (Artesia, 2020)

- Volgens deze modellering in het evenwichtsregime bedraagt het totale gedraineerde debiet door het gehele kunstwerk van het project (tunnels + stations) circa 38 m³/u; het overheersende gedeelte, dat wil zeggen 97% (@ 37 m³/u) is het gevolg van de stations; de verlaging van de grondwaterspiegel als gevolg van de tunnels komt overheen met slechts 3% (@ 1 m³/u) van het totale gedraineerde debiet.
- De impact van de permanente drainering van de tunnel en de stations op de piëzometrie wordt op de onderstaande Figuur geïllustreerd. Deze Figuur geeft de schatting aan van de verlagingen in meters voor het gehele project in de definitieve situatie (tijdens de uitbating). Met het begrip verlaging wordt hier bedoeld het verschil tussen het oorspronkelijke statische niveau en het bereikte niveau door de drainering, bij evenwicht, na de bouw van de kunstwerken.

Ter informatie, het totaal te verwerken debiet per dag komt ter vergelijking overeen met het volume van het Neptuniumzwembad van Schaarbeek.



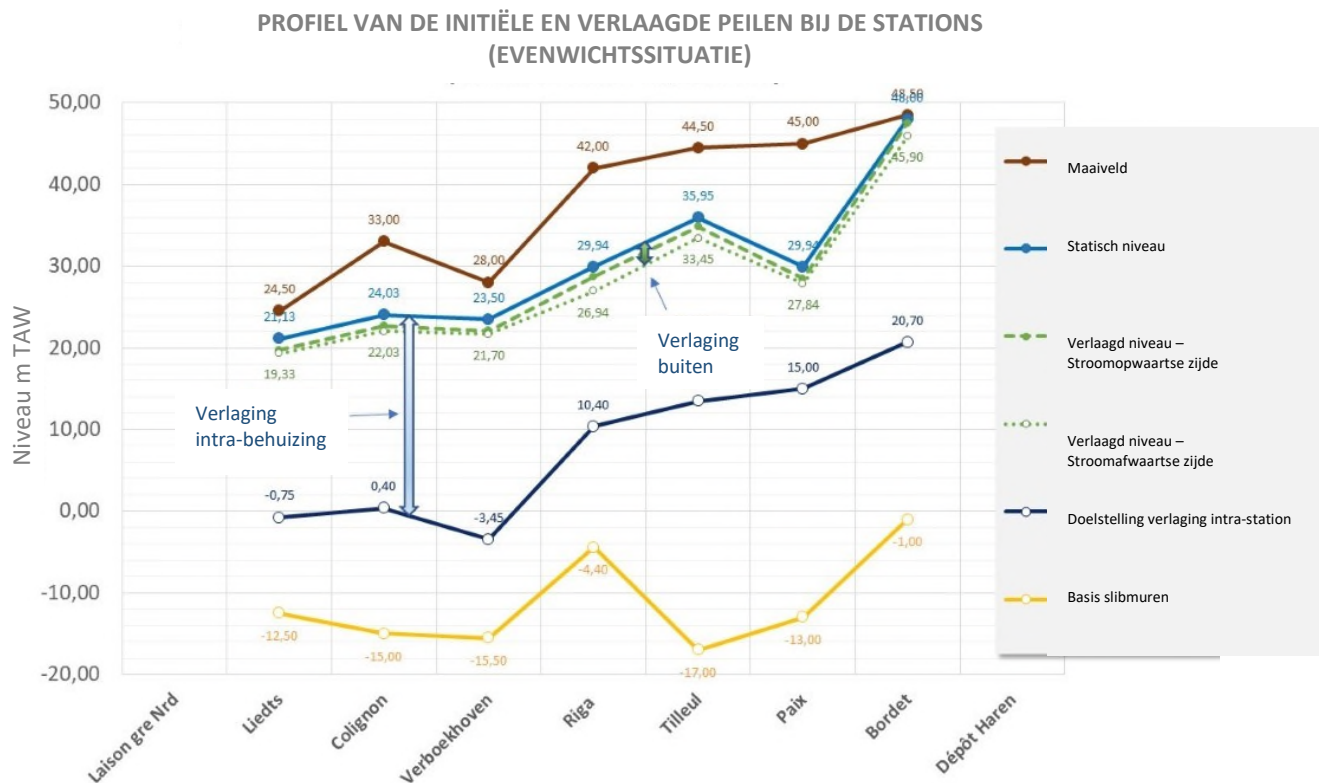
Figuur 77: Impact van de permanente drainering van de tunnel en de stations op het piëzometrische niveau - kaart van de verlagingen van de grondwaterspiegel (V1) (Artesia, 2020)

Uit de modellering is gebleken dat de maximale verlagingen (buiten de slibwanden) grenzen aan de randen van de stations (op de buitenzijde van deze wanden).

In de onderstaande tabel en Figuur worden de gemodelleerde maximale verlagingen aangegeven aan de stroomafwaartse zijde (noord) en aan de stroomopwaartse zijde (zuid) van de stations en met name de hoogtemeting van het maaiveld, het statische peil, de verlaagde peilen aan de binnenzijde en rond de ombouw en de basis van de slibwanden (verankeringsniveau).

	TN (m DNG)	Niveau statique (m DNG)	Objectif niveau rabattu intra station (m DNG)	Rabattement intra station (m)	Base des murs (m DNG)	Rabattement face aval (Nord) (m)	Rabattement face amont (Sud) (m)	Niveau rabattu face aval (m DNG)	Niveau rabattu face amont (m DNG)	Réserve non saturée (m)
	BMN	BMN	BMN	BMN	BMN	ARTESIA/INIT	ARTESIA/INIT	BMN/ARTESIA/INIT	BMN/ARTESIA/INIT	
Laison gre Nrd						1,30	0,60			
Liedts	24,50	21,13	-0,75	21,88	-12,50	1,80	1,40	19,33	19,73	4,77
Colignon	33,00	24,03	0,40	23,63	-15,00	2,00	1,30	22,03	22,73	10,27
Verboekhoven	28,00	23,50	-3,45	26,95	-15,50	1,80	1,40	21,70	22,10	5,90
Riga	42,00	29,94	10,40	19,54	-4,40	3,00	1,20	26,94	28,74	13,26
Tilleul	44,50	35,95	13,50	22,45	-17,00	2,50	1,10	33,45	34,85	9,65
Paix	45,00	29,94	15,00	14,94	-13,00	2,10	1,50	27,84	28,44	16,56
Bordet	48,50	48,00	20,70	27,30	-1,00	2,10	0,50	45,90	47,50	1,00
Dépôt Haren						1,50	1,50			

Tabel 29: Synthèse van de peilen voor en na verlaging (V1) (op basis van Artesia en BMN, 2020)



Figuur 78: Profiel van de grondwaterpeilen voor en na verlaging bij de stations (V1) (op basis van Artesia en BMN, 2020)

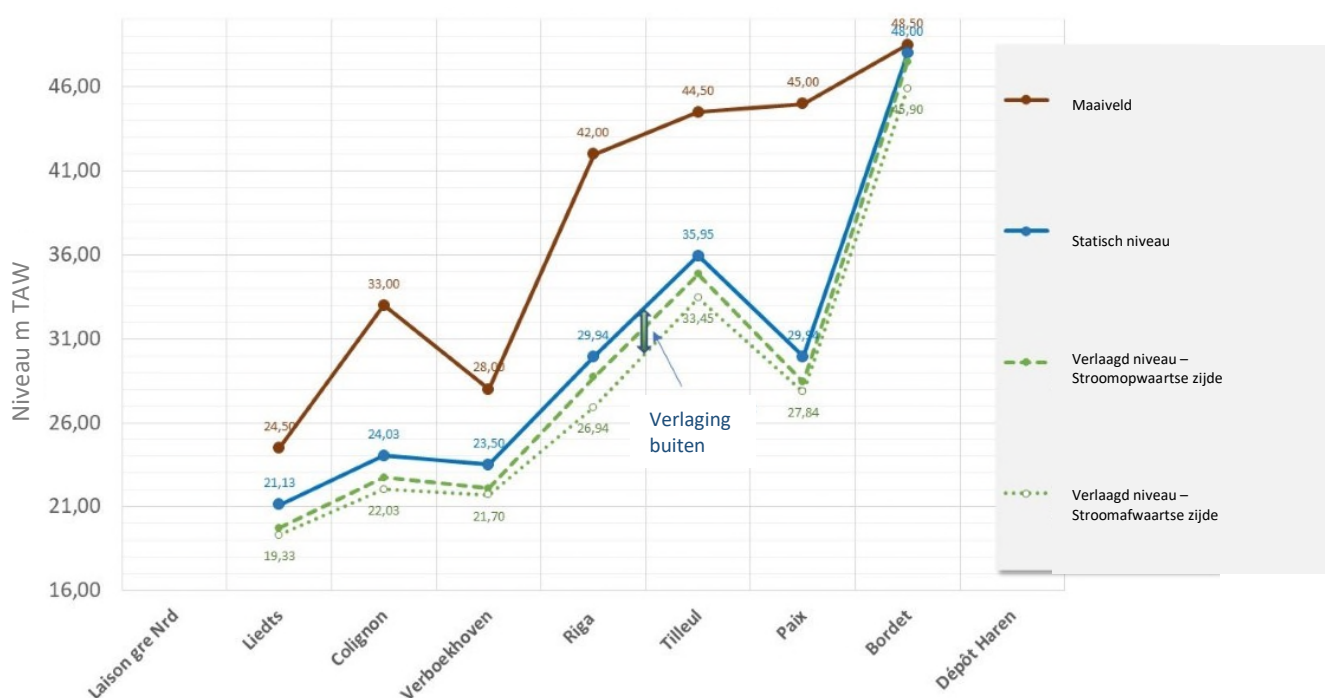
Op basis van de voorgaande contourkaart van de verlaging bemerkt men een dissymmetrie in de geometrie van de kegels van de verlaging. De impact wat betreft de verlaging is groter aan de noordzijde (stroomafwaarts) met bovendien een hogere gradiënt (helling van de

grondwaterspiegel); terwijl de zuidzijde (stroomopwaarts) minder beïnvloed wordt en de gradiënt vlakker is. Behalve voor de stelplaats van Haren schommelt het verschil tussen de stroomopwaartse en stroomafwaartse peilen tussen 0,4 en 1,8 m. Dit effect is het gevolg van het gecombineerde effect van de aanwezigheid van een grote draineringsas in het Noorden van het tracé (Zennevallei stroomafwaarts van de kunstwerken) en een barrage-effect in het Zuiden naar het stroomopwaartse deel van de kunstwerken.

De verlaging binnen de ombouw voor de drooglegging van de werken schommelt tussen 15 m (Vrede) en 27 m (Bordet) in de evenwichtssituatie. De verlagingen buiten de de ombouw kunnen schommelen tussen 1,3 m (verbinding station Bursel-Noord) en 3 m (Riga) voor de noordzijde van de stations (stroomafwaarts) en tussen 0,6 m (verbinding station Brussel-Noord) en 1,5 m (Vrede) voor de zuidzijde (stroomopwaarts).

Uit de simulatie blijkt, zoals hieronder op de Figuur te zien is en voor de in aanmerking genomen hypothesen (scenario V1), dat het gecombineerde effect verlaging / barrage leidt tot geen enkele stijging van het grondwaterpeil, met name aan de stroomopwaartse zijde van de stations, met andere woorden, de peilen rondom de stations zouden nog altijd lager zijn dan de aanvankelijke statische peilen en het project zou geen aanvullend risico op overstroming met zich meebrengen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie voor deze hypothesen van scenario V1 (de situatie zal beoordeeld worden in de modellering V2 hieronder onder condities van maximalisering van het barrage-effect).

PROFIEL VAN DE INITIËLE EN VERLAAGDE PEILEN BIJ DE STATIONS
 (EVENWICHTSSITUATIE)



Figuur 79: Profiel van de grondwaterpeilen voor en na verlaging bij de stations - zoom bovenste deel (V1) (op basis van Artesia en BMN, 2020)

Men merkt echter op dat de niet verzadigde reserve (hoogte exclusief grondwaterlaag tussen de top van de grondwaterspiegel en het bodempeil) klein blijkt, voornamelijk ter hoogte van station Bordet. Uitgaande van een statisch peil van 48 m en een verlaging van 0,5 m aan de stroomopwaartse zijde, kan het grondwater zich stabiliseren op 47,5 m, dat wil zeggen

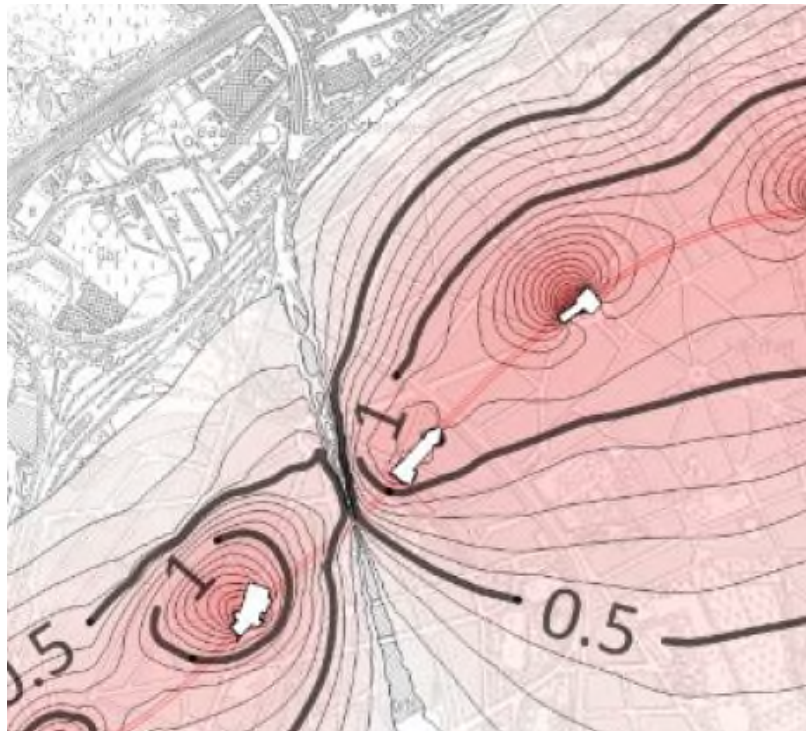
nauwelijks 1 m onder het bodempeil dat geschat wordt op 48,5 m (wetende dat deze reserve nu reeds slechts 0,5 m bedraagt in het oorspronkelijke statische regime, volgens de beschikbare gegevens). Men merkt echter een verschil op in de oorspronkelijk geregistreerde peilen in deze zone naargelang de geraadpleegde bronnen. Dit punt dient verder uitgewerkt te worden tijdens de studie van het project om overstroming in deze zone te voorkomen. Voor wat betreft de overige stations varieert de niet verzadigde reserve grenzend aan de noordzijde van de stations (stroomopwaartse zijde) na het project tussen 4,8 m voor het station Liedts tot 16,6 m voor het station Vrede volgens dit scenario V1 (zonder maximalisering van het barrage-effect).

Wat betreft de tunnelsecties tussen de stations, is het effect van de verlaging veel minder merkbaar, gelet op de afwezigheid van gegoten wanden verankerd in het onderliggende aquitard:

- Enerzijds een gedeelte van het doorstromende debiet dat stroomt naar het noordwesten kan makkelijker onder de tunnel door;
- Anderzijds bedraagt de weerhouden doorlaatbaarheid van de tunnelwanden voor de berekening $7,5 \cdot 10^{-11}$ m/s terwijl de doorlaatbaarheid van de wanden bij de stations vastgesteld werd op $1 \cdot 10^{-8}$ m/s (aanbevelingen WTCB) voor de beoordeling van de verlaging in een meer behoudende context; de facto, is het lekdebiet dat opgevangen kan worden door de tunnels duidelijk lager dan dat van de stations ($1 \text{ m}^3/\text{u}$ ten opzichte van $37 \text{ m}^3/\text{u}$, zie hierboven) en de drukverminderingkegels zijn veel minder merkbaar bij de tunnelsecties ten opzichte van de stations die hogere debieten kunnen opvangen.

Wat betreft de barrage-effecten aan de stroomopwaartse zijde (zuid) is uit de modellering gebleken dat de tunnelsecties, voor de weerhouden hypothesen, niet zouden leiden tot een verhoging van de grondwaterspiegel ten opzichte van de oorspronkelijke situatie, zelfs al is het effect van de verlaging minder dan ter hoogte van de stations zelf. Deze conclusie geldt volgens de voorwaarden van modellering V1 die niet tot doel hadden het barrage-effect te maximaliseren. De extreme situaties worden onderzocht in het onderstaande gedeelte dat gaat over de modellering volgens de condities V2.

De volgende Figuur toont de situatie voor de secties Colignon – Verboekhoven – Riga. Aldus bedraagt bijvoorbeeld de verlaging in de mediane situatie tussen Colignon en Verboekhoven circa 0,5 m (wegens de verzamelleiding van de Maalbeek) en in de mediane situatie tussen Verboekhoven en Riga circa 1,1 m. Een netto verlaging is dus nog voelbaar naar de stroomopwaartse zijde.



Figuur 80: Contourlijnen van de verlaging voor de sectie Colignon – Verboekhoven – Riga (V1) (Artesia, 2020)

Wat betreft de uitbreiding van de verlagingzones kan men bij benadering uitgaan van de volgende afstanden voor wat betreft hun maximale uitbreiding dwars op de sectie:

Naar de stroomopwaartse zijde (zuid-oost):

- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 1 m bevindt zich op circa 400 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.5 m bevindt zich op circa 1000 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.1 m bevindt zich op circa 2000 m van de sectie

Naar de stroomafwaartse zijde (noord-west):

- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 1 m bevindt zich op circa 300 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.5 m bevindt zich op circa 800 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.1 m bevindt zich op circa 1200 m van de sectie

Deze resultaten zijn niet van toepassing op de bouwfase van de stations omdat ze geen rekening houden met de fasering van de uitvoering.

Resultaten van modellering V2 - maximalisering van het barrage-effect. Zoals hierboven vermeld houdt de in dit gedeelte beschreven informatie rekening met hypothesen die de overdrachtsdebieten door de wanden heen minimaliseren, evenals de omleidingsdebieten daaronder. De facto, zijn de perifere en uitwendige effecten eveneens de hoogste wat betreft

de barrage voor het stroomopwaartse deel van het project. Deze hypothese biedt de meeste zeker situatie voor het onderzoek van de barrage-effecten.

De resultaten van de aanvullende studie van Artesia (Artesia Rev = V2) zijn de volgende voor wat betreft de gedraineerde debieten per tunnelsectie en per station. Deze resultaten worden in perspectief geplaatst met de resultaten van de referentiemodellering V1 (Artesia Ini).

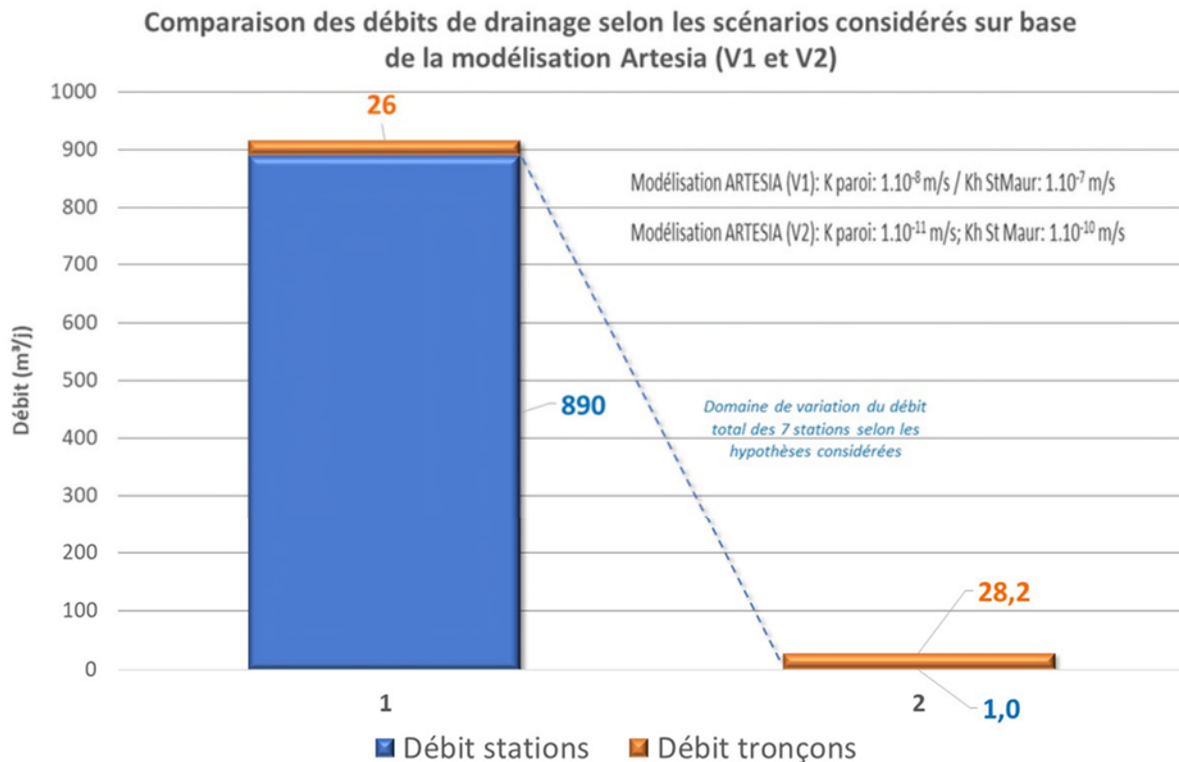
		ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA INI	ARTESIA REV
	L	Qt	Qt	Qt	Qt	Qt	Qt		Qsp
	Longueur	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /j	m ³ /j	m ³ /an	m ³ /an		l/h.km
Tunnel gare du N-Liedts	0,194	0,074	0,079	1,8	1,9	650	690	382	408
Tunnel Liedts-Colignon	0,508	0,175	0,178	4,2	4,3	1530	1560	345	351
Tunnel Colignon-Verboekhoven	0,466	0,14	0,15	3,4	3,6	1230	1310	300	322
Tunnel Verboekhoven-Riga	0,43	0,13	0,14	3,1	3,4	1140	1230	303	326
Tunnel Riga-Tilleul	0,604	0,17	0,19	4,1	4,6	1490	1660	282	315
Tunnel Tilleul-Paix	0,315	0,08	0,09	1,9	2,2	700	790	254	285
Tunnel Paix-Bordet	0,637	0,16	0,17	3,8	4,1	1400	1490	251	267
Tunnel Bordet Dépôt	0,62	0,16	0,17	3,8	4,3	1400	1580	258	290
TOTAL	3,773	1,089	1,177	26	28,2	9500	10300	289	312

Tabel 30: Synthèse van de gedraineerde debieten van de tunnelsecties (V1 ini en V2 rev) (volgens Artesia, 2020)

	ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA INI	ARTESIA INI	ARTESIA REV	ARTESIA REV
	Qt	Qt	Qt	Qt	Qt	Qt	Qlatéral	Qbasal	Qlatéral	Qbasal
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /j	m ³ /j	m ³ /an	m ³ /an	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Laison gre Nrd	3,1	0,003	70	0,07	27200	26	2,5	0,6	0,003	0,000
Liedts	4,4	0,005	110	0,12	38500	43	4,2	0,2	0,005	0,000
Colignon	4,9	0,006	120	0,14	42900	51	4,7	0,2	0,006	0,000
Verboekhoven	6,6	0,007	160	0,17	57800	63	6,4	0,2	0,006	0,001
Riga	3,3	0,004	80	0,1	28900	36	2,6	0,8	0,004	0,001
Tilleul	3,8	0,004	90	0,1	33300	38	3,1	0,6	0,004	0,000
Paix	3,6	0,005	90	0,11	31500	41	2,7	0,9	0,004	0,001
Bordet	3,1	0,003	70	0,08	27200	29	2,4	0,7	0,003	0,000
Dépôt Haren	4,1	0,005	100	0,11	35600	41	2,8	1,3	0,004	0,001
TOTAL	36,9	0,042	890	1,01	320000	368	31,4	5,5	0,038	0,004

Tabel 31: Synthèse van de gedraineerde debieten van de stations (V1 ini en V2 rev) (volgens Artesia, 2020)

De onderstaande Figuur toont een vergelijking van de geschatte totale gedraineerde debieten volgens de twee scenario's.



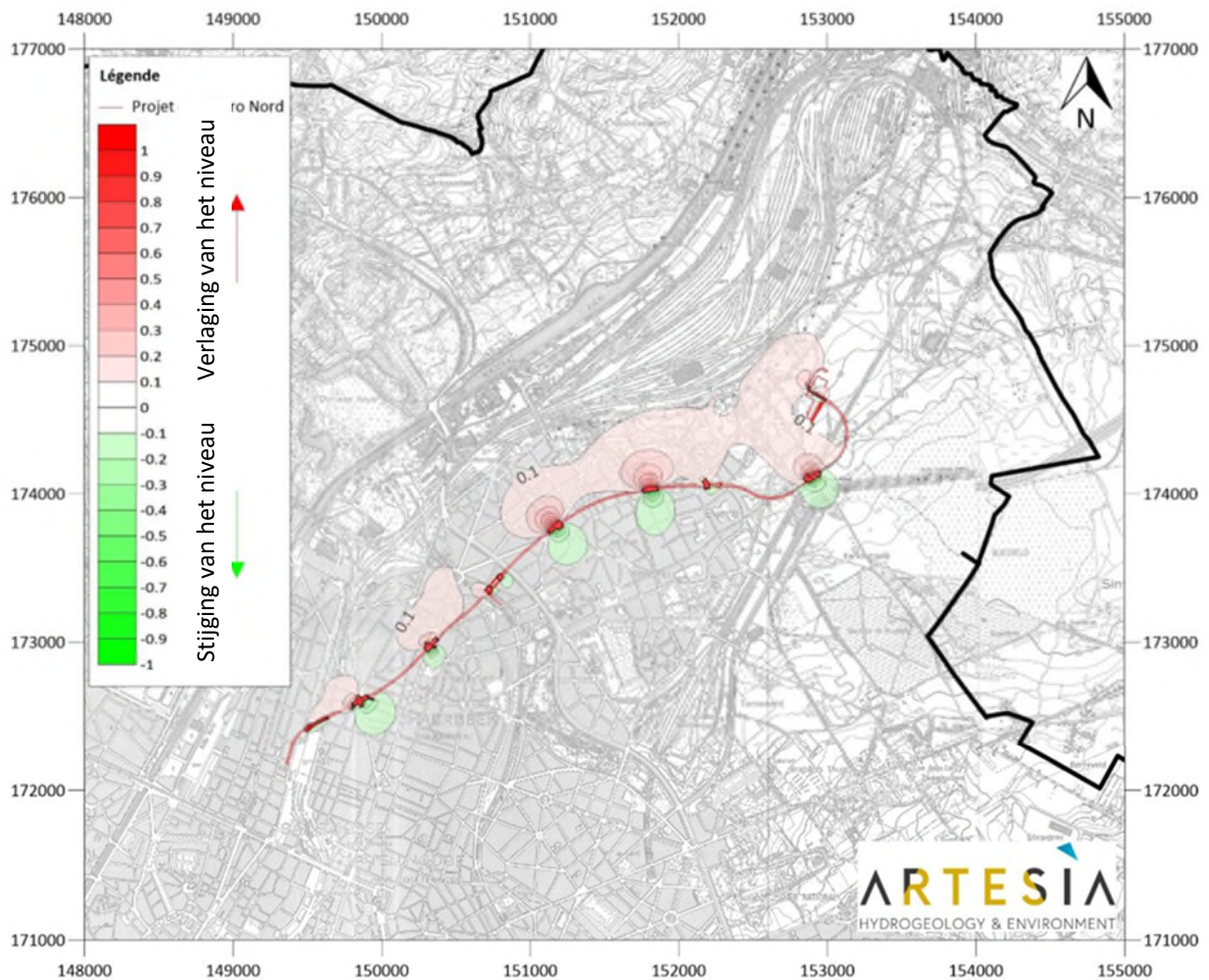
Figuur 81: Vergelijking van de totale gedraineerde debieten bij scenario V1 en V2 (volgens Artesia, 2020)

Het blijkt, zoals verwacht, dat op basis van de hypothesen van een verminderde doorlaatbaarheid zowel ter hoogte van de wanden als de horizon van St Maur, het totale gedraineerde debiet ter hoogte van de inrichting drastisch vermindert van $916 \text{ m}^3/\text{d}$ tot $29,2 \text{ m}^3/\text{d}$. Men merkt op dat de impact uitsluitend merkbaar is voor de stations waarvan het totale gedraineerde debiet overgaat van $890 \text{ m}^3/\text{d}$ bij V1 naar $1 \text{ m}^3/\text{d}$ bij V2 terwijl het debiet van de tunnels nagenoeg gelijk blijft (het gaat over van $26 \text{ m}^3/\text{d}$ bij V1 naar $28,2 \text{ m}^3/\text{d}$ bij V2).

Bij V2, ter hoogte van de stations, loopt het grootste deel van het geringe debiet nog altijd door de zijwanden ($0,91 \text{ m}^3/\text{d}$) terwijl de bijdrage van de bodem nagenoeg marginaal is ($0,1 \text{ m}^3/\text{d}$). Men neemt verder een omkering waar van de tendensen, want bij scenario V2 zijn het dus de tunnelsecties die op overheersende wijze bijdragen aan de drainering van de inrichting ($28,2 \text{ m}^3/\text{d} > 1 \text{ m}^3/\text{d}$), vanwege de aangenomen hoge waterdichtheid van de stations.

De realiteit tijdens de werking zal derhalve ergens het midden houden tussen de twee scenario's. De wateropvanginrichting dient gedimensioneerd te worden volgens de maximalistische condities van scenario V1 (Q totaal: $916 \text{ m}^3/\text{j}$) maar het werkelijk onttrokken debiet zal waarschijnlijk in het midden liggen (tussen 1000 en $30 \text{ m}^3/\text{d}$). Het evenwichtsdebiet zal afhangen van de equivalente doorlaatbaarheid van de wanden en de eventuele gebreken in de waterdichtheid tijdens de uitvoering ervan, maar ook de variatie in de doorlaatbaarheid van de horizon van St Maur.

De impact op de piëzometrie bij maximale waterdichtheidscondities (V2) wordt op de onderstaande Figuur geïllustreerd. Deze Figuur geeft de schatting aan van de verlagingen (in rood) of stijgingen (in groen) voor het gehele project in de definitieve situatie (tijdens de uitbating).



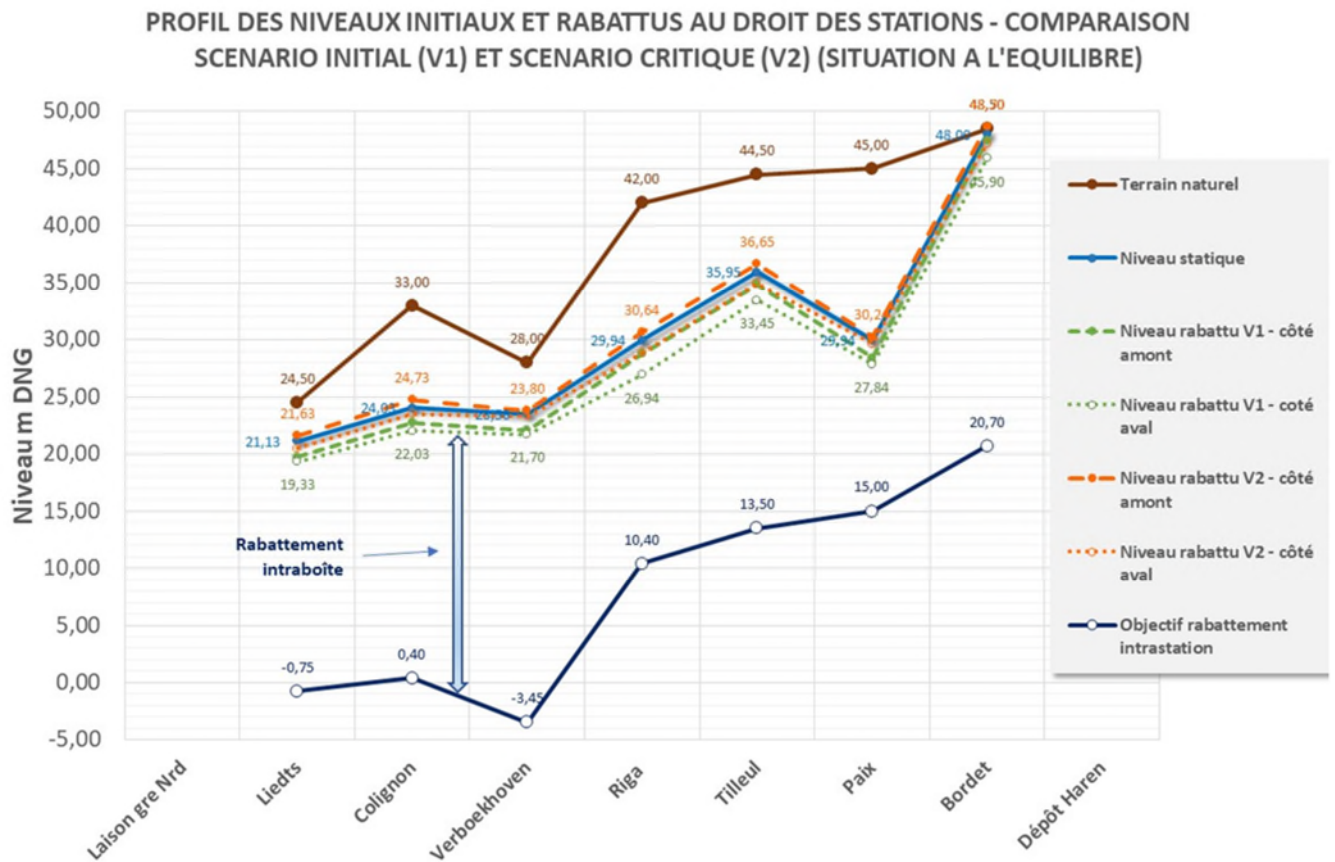
Figuur 82: Impact van de permanente drainering van de tunnel en de stations op het piëzometrische niveau - kaart van de verlagingen van de grondwaterspiegel (V2) - (Artesia, 2020)

Deze kaart van scenario V2 valt te vergelijken met de kaart van scenario V1 op Figuur 37. De effecten zijn het hoogst in de situatie grenzend aan de stations. De effecten tussen de stations lijken marginaal. Men merkt een daling op van de piëzometrische niveaus als gevolg van de verlaging aan de stroomafwaartse zijde (ten noorden), terwijl een stijgingseffect als gevolg van het barrage-effect waargenomen wordt aan de stroomopwaartse zijde (ten zuiden).

In de onderstaande tabel en Figuur worden voor de scenario's V1 en V2 de gemodelleerde maximale verlagingen aangegeven aan de stroomafwaartse zijde (noord) en aan de stroomopwaartse zijde (zuid) van de stations, evenals de hoogtemeting van het maaiveld, het statische peil, de verlaagde peilen binnen de slibwanden, evenals de verankeringsniveaus.

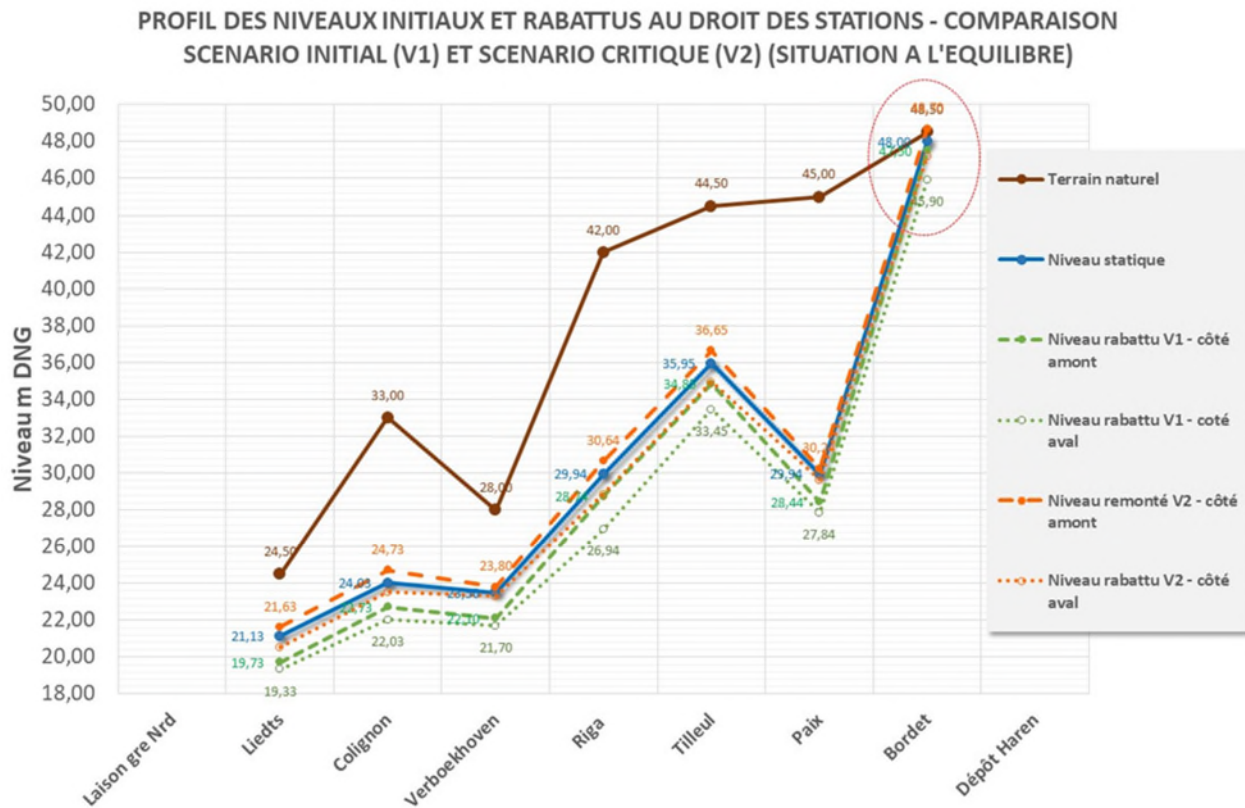
Stations	Données de base					Scénario V1					Scénario V2				
	TN (m DNG)	Niveau statique (m DNG)	Objectif niveau rabattu intrastation (m DNG)	Rabatt ement intra station (m)	Base des murs (m DNG)	Rabatte ment face aval (Nord) (m)	Rabatte ment face amont (Sud) (m)	Niveau rabattu face aval (m DNG)	Niveau rabattu face amont (m DNG)	Réserve non saturée (m)	Rabatte ment face aval (Nord) (m)	Rabatt ement face amont (Sud) (m) = remontée	Niveau rabattu face aval (m DNG)	Niveau rabattu face amont (m DNG)	Réserve non saturée (m)
	BMN	BMN	BMN	BMN	BMN	ARTESIA INIT	ARTESIA INIT	BMN/ARTESIA INIT	BMN/ARTESIA INIT		ARTESIA COMP	ARTESIA COMP	BMN/ARTESIA COMP	BMN/ARTESIA COMP	
Liaison gre Nrd						1,30	0,60				0,30	-0,20			
Liedts	24,50	21,13	-0,75	21,88	-12,50	1,80	1,40	19,33	19,73	4,77	0,60	-0,50	20,53	21,63	2,87
Colignon	33,00	24,03	0,40	23,63	-15,00	2,00	1,30	22,03	22,73	10,27	0,50	-0,70	23,53	24,73	8,27
Verboekhoven	28,00	23,50	-3,45	26,95	-15,50	1,80	1,40	21,70	22,10	5,90	0,20	-0,30	23,30	23,80	4,20
Riga	42,00	29,94	10,40	19,54	-4,40	3,00	1,20	26,94	28,74	13,26	1,10	-0,70	28,84	30,64	11,36
Tilleul	44,50	35,95	13,50	22,45	-17,00	2,50	1,10	33,45	34,85	9,65	1,00	-0,70	34,95	36,65	7,85
Paix	45,00	29,94	15,00	14,94	-13,00	2,10	1,50	27,84	28,44	16,56	0,30	-0,30	29,64	30,24	14,76
Bordet	48,50	48,00	20,70	27,30	-1,00	2,10	0,50	45,90	47,50	1,00	0,80	-0,70	47,20	48,70	-0,20
Dépôt Haren						1,50	1,50				0,50	-0,20			

Figuur 83: Synthèse van de peilen voor en na verlaging in de scenario's V1 en V2 (op basis van Artesia en BMN, 2020)



Figuur 84: Profiel van de grondwaterpeilen voor en na verlaging bij de stations - vergelijking V1 en V2 - (op basis van Artesia en BMN, 2020)

De volgende Figuur geeft een zoom weer van de voorgaande Figuur, uitsluitend op de grondwaterpeilen.



Figuur 85: Profiel van de grondwaterpeilen voor en na verlaging bij de stations - vergelijking V1 en V2 - zoom - (op basis van Artesia en BMN, 2020)

In tegenstelling tot scenario V1 dat geen aanleiding gaf tot enige stijging ten opzichte van het oorspronkelijke statische peil, blijkt uit scenario V2 waarin het barrage-effect gemaximaliseerd wordt, een verlaging aan de stroomafwaartse zijde (noord) en dit maal een **stijging van het grondwaterpeil aan de stroomopwaartse zijde (zuid)**. De orde van grootte van deze stijging blijft echter **zeer gematigd**, en varieert van 0,3 m (Vrede, Verboekhoven) tot 0,7 m (Colignon, Riga, Linde, Bordet).

Het barrage-/verhogingseffect blijkt uitsluitend ter hoogte van de stations en lijkt zich zijwaarts te verspreiden daar de tunnelsecties niet neigen tot de vorming van een significante barrage (vrije doorgang van het grondwater onder de tunnels). Men merkt op dat in dit geval (V2) het verlagingseffect aan de stroomafwaartse zijde (noord) minder groot is dan in het geval van scenario V1, omdat de debieten van de drainering drastisch lager zijn. De verlaging in dit geval zou variëren tussen 0,3 m (Vrede) en 1,1 m (Riga).

Men merkt ook op dat in dit geval van V2 de uitbreiding van de effecten op afstand van de inrichting van minder grote omvang zijn dan in het geval van scenario V1. Ter informatie, voor station Linde, dat de invloeden toont op de grootste afstanden:

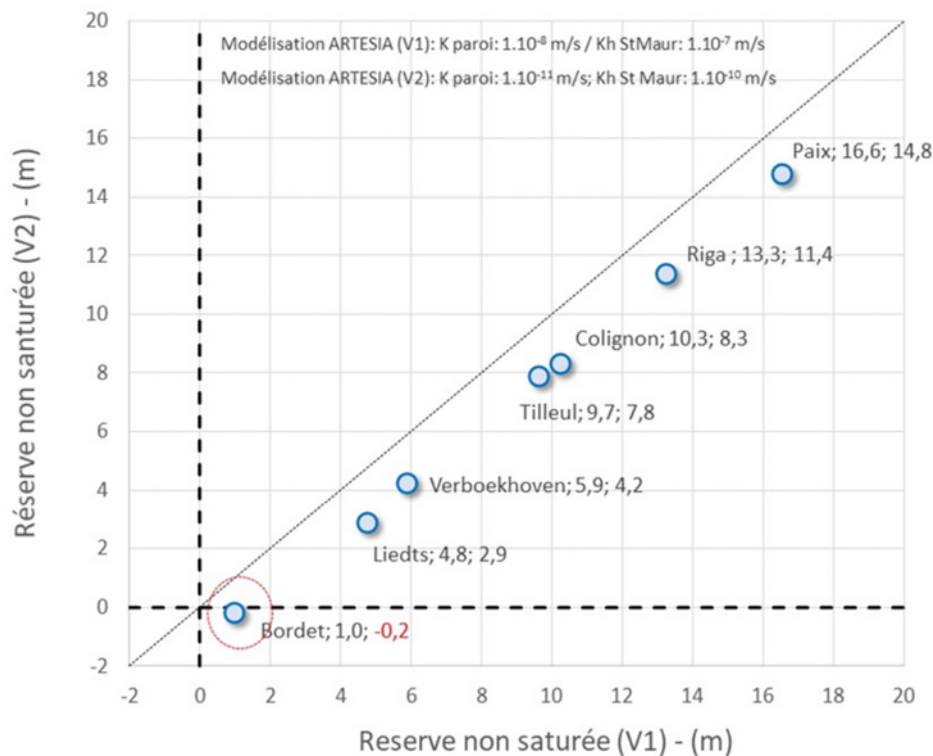
- Voor wat betreft de daling in de stroomafwaartse situatie (noord) werd een verlaging van 0,1 m waargenomen tot 1000 m naar het noorden bij V1 terwijl bij V2 deze invloedsafstand beperkt is tot circa 500 m

- Voor wat betreft de stijging in de stroomopwaartse situatie (zuid) werd een stijging van 0,1 m waargenomen bij V2 tot een beperkte afstand van circa 300 m.

Voor de overige stations zijn de invloedsafstanden nog beperkter.

De volgende grafiek toont een vergelijking van de niet verzadigde reserve tussen de twee modelleringen V1 en V2 aan de stroomopwaartse zijde van de inrichting na de uitvoering van de drainering (onder niet verzadigde reserve wordt de afstand verstaan tussen het maaiveld en de grondwaterspiegel na de uitvoering van de inrichting).

Evaluation de la réserve de terrains non saturés dans les deux scénarios modélisés par Artesia (V1 - modélisation initiale / V2 - modélisation critique)



Figuur 86: Vergelijking van de niet verzadigde reserves tussen de scenario's V1 en V2 (volgens Artesia, 2020)

Zoals aangegeven in het voorgaande deel, varieert in de oorspronkelijke situatie de niet verzadigde reserve aan de stroomopwaartse zijde van 4,8 m (Liedts) tot 16,6 m (Bordet) behalve bij Bordet waar, volgens het door BMN in de modellering van de permanente drainering deze slechts 0,5 m zou zijn met een potentieel grondwaterpeil zeer dicht bij de grond. Na de uitvoering van de inrichting zou de niet verzadigde reserve in scenario V1 wegens de daling naar de stroomopwaartse zijde overgaan op 1 m terwijl bij scenario V2 deze -0,2 m zou bedragen; hetgeen betekent dat een barrage-effect aanleiding zou kunnen geven tot een stijging van het grondwater tot boven het maaiveld in de onmiddellijke omgeving van station Bordet aan de stroomopwaartse zijde. Ter herinnering zij opgemerkt dat volgens de verschillende door de aanvrager verstrekte bronnen, de statische peilen bij Bordet sterk van elkaar afwijken. Men kan derhalve geen onaanvaardbare stijging in deze zone uitsluiten en de noodzaak om deze te beheersen. Derhalve wordt het volgende aanbevolen:

- De verschillende grondwaterpeilen in de nabijheid van Bordet nader documenteren en met name door de uitgeruste niveaus te controleren waarnaar verwezen wordt om deze situatie te controleren;
- Zo nodig overgaan tot de inplanting van minstens een dubbele piëzometer in de rechtstreekse stroomopwaartse zone ten opzichte van het toekomstige station Bordet, de ene in het hogere gedeelte uitgerust met Brusseliaans zand (bij eerste benadering op 42 tot 45 m TAW boven een klein niet-doorlatende laag leem), de andere lager uitgerust (bij eerste benadering op 30 tot 35 m TAW daaronder);
- Overgaan tot een monitoring van de piëzometrische ontwikkeling;
- Als de totstandkoming van een ontoereikende niet-verzadigde reserve zich mocht voordoen, de aanbrengring onderzoek van een passage van het grondwater bij het station om het optreden van een te groot barrage-effect teniet te doen.

Naargelang de waargenomen peilen ten opzichte van de uitgeruste niveaus, kunnen er verschillende opties voor de passage van het grondwater bestudeerd worden, mits de noodzaak daarvan bevestigd wordt op basis van aanvullende waarnemingen:

- hetzij een passage van het grondwater door het station door een voorkeursweg te creëren via passieve drains ter hoogte van de stations (bijv.: van het type sifon) die de hydrogeologische stroomopwaartse en stroomafwaartse zijden met elkaar verbinden zodat op passieve wijze een stroming door zwaartekracht plaatsvindt wanneer het piëzometrische niveau aan de stroomopwaartse zijde abnormaal stijgt (doch tamelijk invasieve technieken),
- hetzij een passage van het grondwater met perifere drains aan de buitenzijde, passage onder de tunnels en verdeelzones aan de stroomafwaartse zijde; bij deze optie zou een voorkeursweg buiten het station om lopen door een verhoging van de doorlaatbaarheid in de zone waarin het station direct ingebouwd is.

Deze aspecten dienen onderzocht te worden tijdens de uitvoeringsstudies. Dit type inrichting heeft tot doel het barrage-effect te verminderen en de grondwaterpeilen aan de stroomopwaartse zijde lager uit te balanceren dan die welke door de omhullende muren veroorzaakt worden.

De studie en in voorkomend geval de uitvoering van dergelijke systemen is gerechtvaardigd voor station Bordet waar de niet-verzadigde reserve te gering zou kunnen zijn. Wat betreft de overige stations, hoewel op basis van de bestaande gegevens de niet-verzadigde reserve voldoende lijkt, inclusief vanuit een veiliger opzicht (modellering met de hypothesen V2), is de uitvoering van inrichtingen voor de passage van het grondwater in dit stadium niet uitgesloten. Er bestaat namelijk op dit moment geen maximaal toelaatbare drempel voor de stijging van de grondwaterspiegel. Deze beslissing wordt per geval beoordeeld door Brussel Leefmilieu, met name naargelang alle andere projecten dan de Metro-Noord en/of toekomstige projecten, die buiten het kader van deze studie vallen.

Overigens zijn er reeds passages van het grondwater uitgevoerd voor de bestaande Brusselse metro en wel op preventieve wijze, gepaard gaande met een netwerk van controlepiëzometers die het mogelijk maken om te controleren of het barrage-effect goed beheerst wordt.

Krachtens het voorzorgsprincipe en bij gebrek aan aanvullende studies om het risico van een stijging van het grondwater beter te beoordelen, dienen tijdens de uitvoeringsstudie inrichtingen voorzien te worden voor een passage van het grondwater in combinatie met een

piëzometrische monitoring. Het onderhoud van deze inrichtingen dient eveneens verzekerd te worden om iedere gevaar voor verstopping van de drains te vermijden.

C. Impact op de bestaande, perifere waterwinningskunstwerken

Er werden 36 waterwinningswerken geteld binnen de contourlijn van de verlaging van het grondwaterpeil van 0,1 m.

Voor elk van deze waterwinningswerken is de waarde van de verwachte verlaging aangegeven tijdens de uitbating bij het berekende evenwicht door modellering V1 die de verlaging en de perifere effecten maximaliseert.

Merk op dat er slechts één waterwinning geïnventariseerd werd rechtstreeks grenzend aan een van de stations; dit betreft waterwinning_5240 (Object_Id 372 – Id_kunstwerk 94) op circa 20 m van de hoofdbouw van station Vrede (Vredeplein).

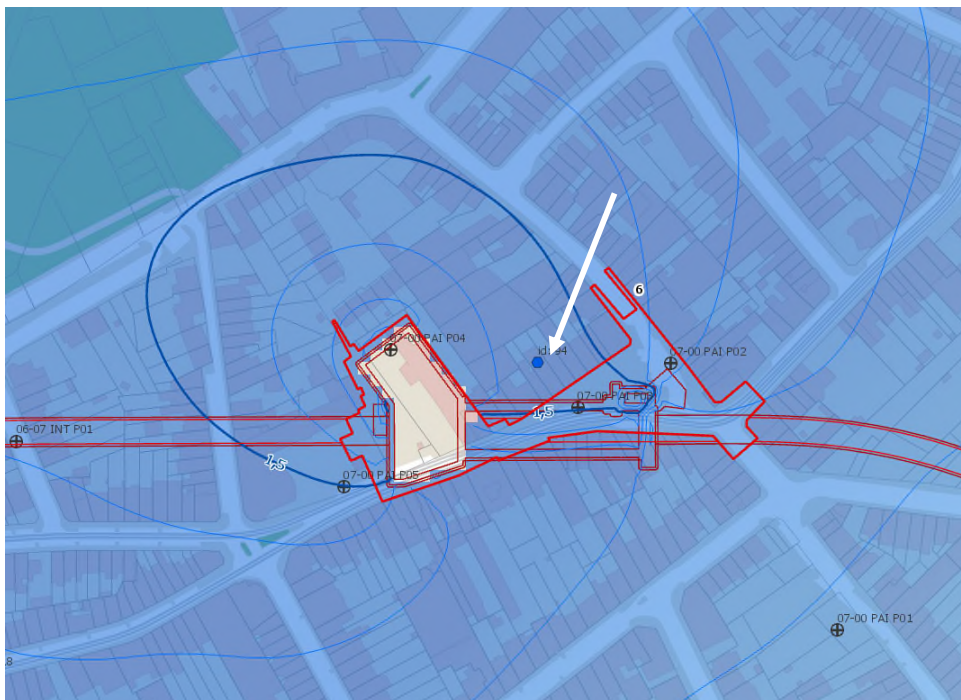
Het betreft een kleine afwatering van 13 m diep dat toegestaan is voor een debiet van 15 m³/d. De verlaging tijdens de uitbating zou circa 1,55 m bedragen.

Doordat het zeer dicht bij het station ligt, zou het een negatieve impact kunnen ondergaan door de inrichting:

- hetzij op de productiviteit daarvan omdat het op geringe diepte ligt (13 m) en het onttrokken debiet gering is;
- hetzij op de kwaliteit of de integriteit daarvan.

De situatie zou de opheffing ervan kunnen vereisen. Dit punt dient in aanmerking genomen te worden tijdens de uitvoeringssudies (overleg met de eigenaar en opheffing / opvulling van de put volgens de voorschriften).

De locatie van de waterwinning wordt weergegeven in de volgende figuren:



Figuur 87: Locatie van de mogelijk beïnvloede waterwinning grenzend aan station Vrede (op basis van plan UrbiS, Tractebel 2020)



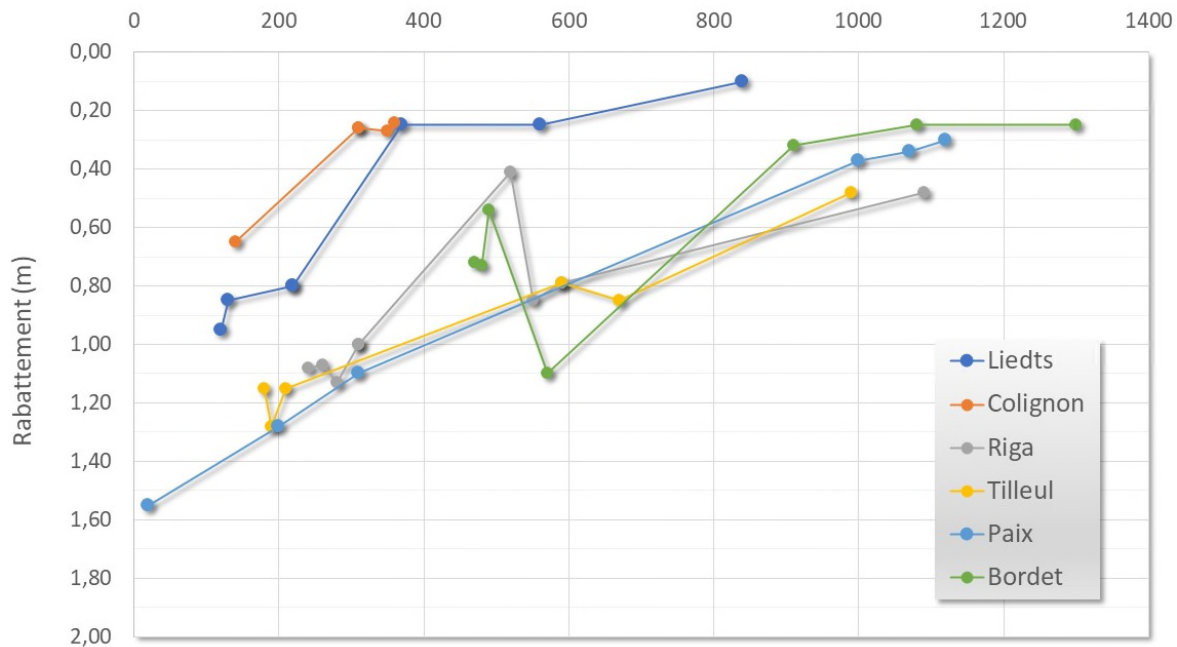
Figuur 88: Locatie van de mogelijk beïnvloede waterwinning grenzend aan station Vrede (op basis van orthophotoplan)

De overige waterwinningswerken spreiden zich uit over afstanden tussen 120 en 1300 m van de belangrijkste ombouwwerken. Men telt, naast de hiervoor genoemde waterwinning bij Vrede (grenzend aan het station):

- 6 waterwinningswerken op een afstand van 0 – 200 m ten opzichte van de stations
- 11 waterwinningswerken op een afstand van 200 – 400 m ten opzichte van de stations
- 8 waterwinningswerken op een afstand van 400 – 600 m ten opzichte van de stations
- 5 waterwinningswerken op een afstand van 600 – 1000 m ten opzichte van de stations
- 5 waterwinningswerken op een afstand van 1000 – 1300 m ten opzichte van de stations

Op de onderstaande Figuur wordt voor elk station de verwachte verlaging aangegeven naargelang de afstand ten opzichte van de hoofdbouw (beoordeeld op basis van modellering V1).

Modellering V1 – Verlaging tijdens de exploitatie bij de geïnventariseerde putten naargelang hun afstand tot de stations



Figuur 89: Verlaging naargelang de afstand bij de geïnventariseerde putten rondom de stations (gegevens Artesia 2020)

De te verwachten grootste verlaging betreft waterwinning_1276 in de nabijheid van station Vrede (op 200 m) en station Linde (op 190 m), met een geschatte verlaging van 1,28 m; de aard van de waterwinning en de toegestane debieten zijn niet opgegeven.

De grootste invloeden op de omringende waterwinningen betreffen de stations Vrede, Linde en Riga waarvoor de verlaging zou variëren tussen 1,28 m en 0,25 m naargelang de afstand. De verlaging als gevolg van de stations Liedt en Colignon zouden kunnen variëren tussen 0,95 en 0,10 m voor de omringende waterwinningen.

Merk op dat de veroorzaakte verlaging in het algemeen van een orde van grootte is die betrekkelijk vergelijkbaar is met de seizoensschommelingen van het hier betreffende grondwaterpeil (verschil tussen hoog water / laag water)

Met uitzondering van de waterwinning grenzend aan station Vrede (waterwinning_5240) die waarschijnlijk opgeheven zal moeten worden wegens de nabijheid daarvan, zijn geschatte niveaus van de verlaging voor de overige geïnventariseerde waterwinningen in de invloedzone bij eerste benadering niet van dien aard dat hun productiviteit aangetast wordt, dat hun uitbating bedreigd wordt of dat er correctieve maatregelen getroffen moeten worden.

D. Impact van de bestaande, perifere geothermische exploitatiesystemen

Er zijn 5 geothermische systemen geteld binnen de perimeter van de contourlijn van de verlaging van het grondwaterpeil van 0,1 m.

Er is een gesloten type (BTES) geïnventariseerd ten oosten van station Bordet op circa 1100 m afstand daarvan. Dit systeem is van de NAVO en de exploitatie ervan wordt niet beïnvloed door de sectie. Ter informatie, de verwachte verlaging op deze plaats zou minder dan 0,3 m zijn op basis van modellering V1.

Er zijn drie gesloten systemen (BTES) geïnventariseerd ten westen van het station Brussel-Noord op afstanden van 460 m tot 900 m daar vandaan. Het betreft met name Pole Star op 460 m en Quatuor Brussels op 750 m van het station Brussel-Noord. De exploitatie van deze systemen zal niet beïnvloed worden door de sectie. Ter informatie, de verwachte verlaging op basis van modellering V1 is minder dan 0,1 m en de systemen werken door thermische diffusie.

Er is één open systeem (ATES) geïnventariseerd ten westen van het station Brussel-Noord. Het betreft het WTC-systeem (Project ZIN) op 310 m van het station Brussel-Noord. De verwachte verlaging door de drainering van de sectie zal minder zijn dan 0,1 m volgens modellering V1. Hoewel het systeem in een open systeem werkt, zal het niet beïnvloed worden door de uitvoering van het project van de Metro Noord.

Van alle andere op grotere afstand geïnventariseerde systemen wordt verwacht dat deze niet beïnvloed worden door onderhavig project.

E. Impact van de drainering tijdens de bouw – bouw van de tunnel

Het graven met een tunnelboormachine heeft geen (of zeer weinig) invloed op de grondwaterstand, omdat geen enkele verlaging nodig is tijdens het graven, in voorkomend geval vindt het werk van de tunnelboormachine plaats onder het grondwater. Men verwacht derhalve bij de tunnelsecties geen enkel groter effect dan dat wat gebleken is uit de modellering in de evenwichtssituatie.

6.4.4.2. Effecten voor de bodem – risico op vervuiling

A. Algemeen

De tunnel wordt gegraven op een gemiddelde diepte van 23 m. Deze grote graafdiepte beperkt sterk het gevaar voor de aanwezigheid van vervuilde grond.

De aanwezigheid van vervuild vulmateriaal met zware metalen en PAK kan met name volledig uitgesloten worden. Het tracé doorkruist overigens geen gesteente van het type vulmateriaal. De vervuiling van de bodem met zware metalen en PAK wordt dan ook niet uiteengezet in het kader van dit rapport.

De aanwezigheid van vervuiling van de bodem met minerale oliën en BTEX kan eveneens redelijkerwijze uitgesloten worden wanneer de tunnel op een diepte van meer dan 15 m ligt bij semi-doorlaatbare formaties (formaties van Tielt en van Kortijk). Bij doorlaatbare formaties (formatie van Brussel en quartaire afzetting) en voor de minder diep gelegen secties kan het risico op vervuiling niet uitgesloten worden.

Ten slotte is de aanwezigheid van vervuiling van de bodem met chloorhoudende solventen mogelijk over het gehele tracé. Chloorhoudende solventen kenmerken zich namelijk door een sterke dichtheid en hebben daardoor de neiging verticaal in de bodem te migreren. Verder kan de migratie van deze vervuiling bijzonder heterogeen zijn naargelang de doorlaatbaarheid van de bodem, wat "zakken" van vervuiling kan veroorzaken op min of meer grote afstanden van de vervuiliingsbronnen en op grote dieptes. Er dient bijzondere aandacht geschonken te worden aan de identificatie van mogelijke vervuiliingsbronnen en vervuiling door chloorhoudende solventen ten opzichte van het tracé, evenals de omgeving daarvan (30m van de aslijn van de tunnel).

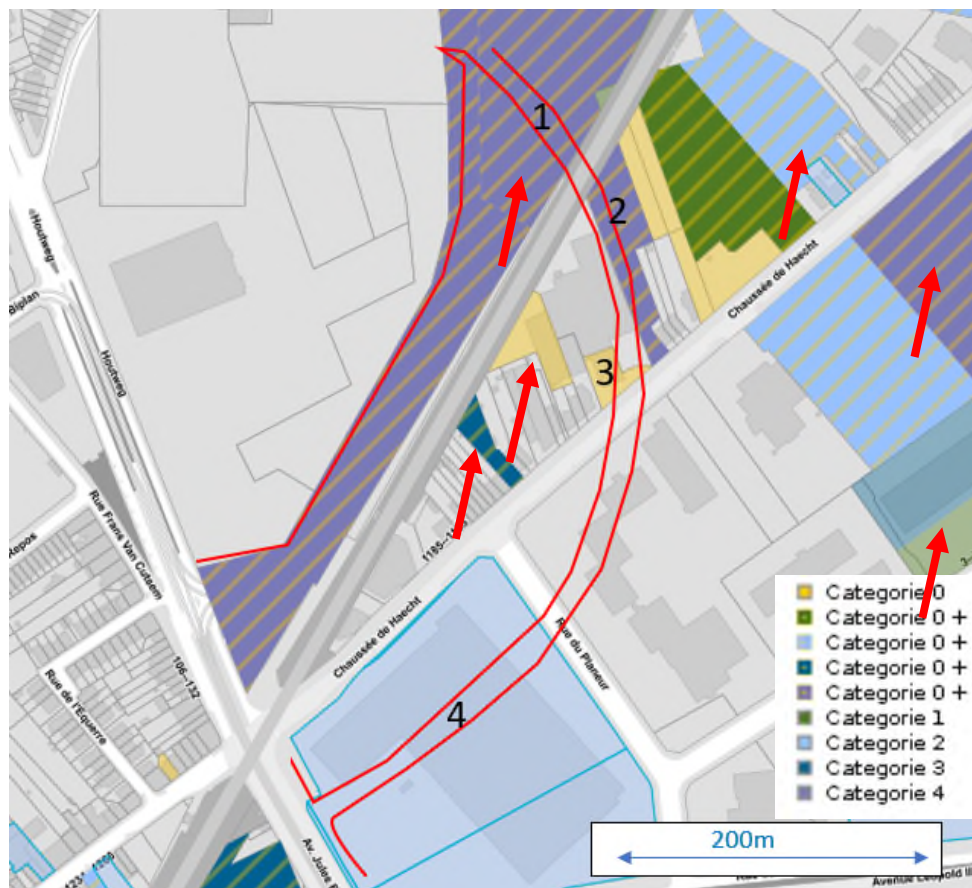
Op alle onderstaande plannen worden de terreinen waar vervuilende activiteiten door chloorhoudende solventen plaatsvinden of plaatsgevonden hebben, met een rode pijl aangegeven.

Het is belangrijk om op te merken dat deze analyse gebaseerd is op de bodem en niet op het beheer van de vervuiling in het grondwater (zie analyse van de variant "waterbeheer").

B. Analyse

B.1. Sectie 1: P0 - Bordet

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 90: Sectie 1: P0-Bordet op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 9 en 24 m onder het maaiveld, in de formaties van Brussel en Tielt.

Conform de hiervoor uiteengezette inleidende analyse, kan de afgegraven grond van deze sectie 1 vervuild zijn met minerale oliën, BTEX en chloorhoudende solventen.

De percelen die beïnvloed zijn en/of kunnen zijn door deze verontreiniging worden hierna aangegeven:

- Perceel nr. 1 (perceel 91A2) bevat meerdere verontreinigingen door minerale oliën C10-C40 die zich verticaal uitstrekken tot maximaal 8,5m-mv.
- Perceel nr. 2 (perceel 65X3) bevat een vervuiling door minerale oliën C10-C40 evenals door chloorhoudende solventen. Deze verontreinigingen zijn tot op heden nog niet verticaal afgebakend.
- Perceel nr. 3 (perceel 63M) bevat of heeft in het verleden mogelijk vervuilende installaties bevat door minerale oliën en BTEX (onderhoudswerkplaats van motorvoertuigen, opslagplaats van ontvlambare vloeistoffen). De bodem van dit perceel werd echter nog nooit onderzocht.
- Perceel nr. 4 (perceel 80W5) werd onderworpen aan een bodemonderzoek en er werd geen vervuiling gedetecteerd.

Merk tevens de aanwezigheid op van meerdere percelen die mogelijk vervuilingbronnen door chloorhoudende solventen bevatten rondom sectie 1. Het merendeel van deze terreinen werd recentelijk onderzocht. De eventuele verontreinigingen zijn derhalve bekend. Merk echter de aanwezigheid op, op perceel 59W2 (aangegeven door de rode pijl op de voorgaande Figuur), van eventueel vervuilende activiteiten door chloorhoudende solventen (in het verleden of heden) die tot op heden nog nooit onderzocht zijn.

Wat dit betreft werd de site van SABCA (100m ten oosten) onderzocht in het kader waarvan vervuiling gedetecteerd werd op een grote diepte (tot 20m-mv): bodem- en grondwatervervuiling door chloorhoudende solventen, bodemvervuiling door minerale oliën. Het lijkt erop dat deze vervuiling rechtstreeks naar het noorden van de site loopt en niet naar de tunnel.

B.2. Sectie 2: Bordet – Vrede

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 91: Sectie 2: Bordet-Vrede op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 12,4 en 19,6 m onder het maaiveld, in de formaties van Brussel en Tielt.

Conform de hiervoor uiteengezette inleidende analyse, kan de afgegraven grond van deze sectie 2 vervuild zijn met minerale oliën, BTEX en chloorhoudende solventen.

De percelen die beïnvloed zijn en/of kunnen zijn door deze verontreiniging worden hierna aangegeven:

- Aan het begin van de sectie loopt de tunnel onder twee percelen (nr. 5 en 6 op de bovenstaande Figuur, percelen 316N en 314M2) waarvan de bodem onderzocht werd en die naar aanleiding van deze onderzoeken opgenomen zijn in de categorie 2⁸ op de inventaris van de bodemtoestand, dat wil zeggen als niet verontreinigde percelen. Een van deze percelen werd tevens opgenomen in de categorie 0 (mogelijk verontreinigd perceel). Het laatste bodemonderzoek dateert echter van 2017. De aanwezigheid van een nieuwe verontreiniging op meer dan 10m ten opzichte van dit terrein is dus redelijkerwijze niet mogelijk.
- De sectie doorkruist vervolgens een perceel (nr. 7 op de bovenstaande Figuur, perceel 314B3) dat mogelijk verontreinigende installaties bevat of heeft bevat door minerale oliën en BTEX (opslagplaats van ontvlambare vloeistoffen) evenals chloorhoudende solventen. De bodem van dit perceel werd echter nog nooit onderzocht.
- De sectie doorkruist vervolgens een perceel (nr. 8 op de bovenstaande Figuur, perceel 311D) dat opgenomen is in de categorie 2 naar aanleiding van een in 2012 uitgevoerd bodemonderzoek (in 2012 geen verontreiniging). Dit perceel werd eveneens opgenomen in de categorie 0 naar aanleiding van de uitbating, sinds 2012, van een onderhouds- en reparatiewerkplaats. Gelet op de huidige beschermingsnormen van dergelijke werkplaatsen wordt geen enkele vervuiling verwacht op meer dan 10 m onder het maaiveld op dit terrein.

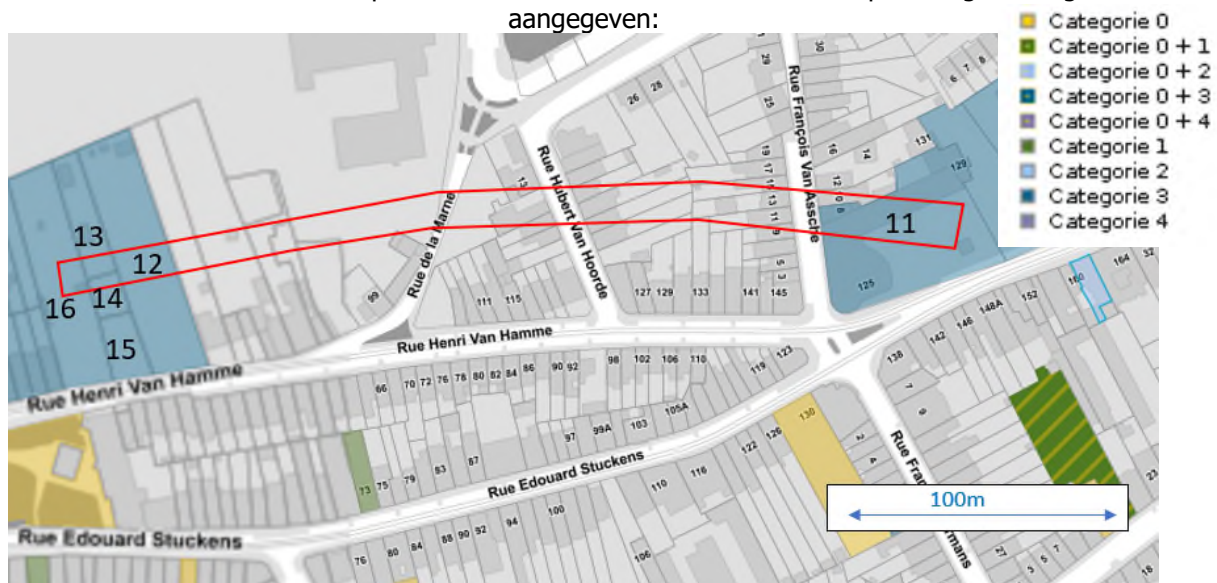
⁸ Percelen die de (niet verontreinigde) interventienormen naleven maar niet de saneringsnormen

- Alvorens de Vliegpleinstraat te doorkruisen, loopt de tunnel door een perceel (nr. 9 op de bovenstaande Figuur, perceel 338P) dat opgenomen is in de categorie 0 op de inventaris van de bodemtoestand (mogelijk verontreinigd) en dat tot op heden nog nooit werd onderzocht. De aangegeven risico-activiteit is een opslagplaats van ontvlambare vloeistoffen, zeer zeker koolwaterstoffen. De begindatum van de uitbating van deze opslagplaats is niet bekend op basis van de informatie van de kaart van de bodemtoestand. Een eventuele vervuiling door koolwaterstoffen zou zich niet kunnen verspreiden in de grond onder de grondwaterspiegel tussen naar verwachting 6 en 8m-mv. Het is dan ook weinig waarschijnlijk dat de afgegraven grond in het kader van de bouw van tunnel vervuild zou zijn.
- Ten slotte doorkruist de sectie een perceel (nr. 10 op de bovenstaande Figuur) dat opgenomen is in de categorie 4 naar aanleiding van een in 2015 uitgevoerd bodemonderzoek. Uit het bodemonderzoek is namelijk de aanwezigheid gebleken van een bodemvervuiling door chloorhoudende solventen (perchloorethyleen) aan de oppervlakte (monster 5-25cm-mv) bij een van de 3 tijdens dit onderzoek uitgevoerde boringen. De overschrijdingsfactor van de norm bedraagt 1,6 x NI. Hoewel in dit stadium geen enkel gedetailleerd onderzoek beschikbaar is, betreft het waarschijnlijk een vervuiling van geringe omvang (geringe in de oppervlaktehorizon gedetecteerde overschrijding van de norm).

Merk ten slotte de aanwezigheid op, op perceel 334C5, gelegen op +/-60m ten noorden van het tracé (zie rode pijl op de voorgaande Figuur), van een bodemvervuiling door met name chloorhoudende solcenten. Er werd een gedetailleerd onderzoek uitgevoerd voor dit perceel, maar de niet-technische samenvatting van deze studie is niet beschikbaar. Uitgaande van het feit, echter, dat de aangrenzende percelen van dit perceel niet opgenomen zijn in de inventaris van de bodemtoestand, wordt hieruit herleidt dat de vervuiling van dit perceel afgebakend is en geen impact heeft op de omringende percelen en derhalve afgebakend is alvorens het tracé de tunnel te bereiken.

B.3. Sectie 3: Vrede – Linde

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 92: Sectie 3 - Vrede-Linde op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 12,7 en 18,2 m onder het maaiveld, in de formaties van Tielt en Kortrijk.

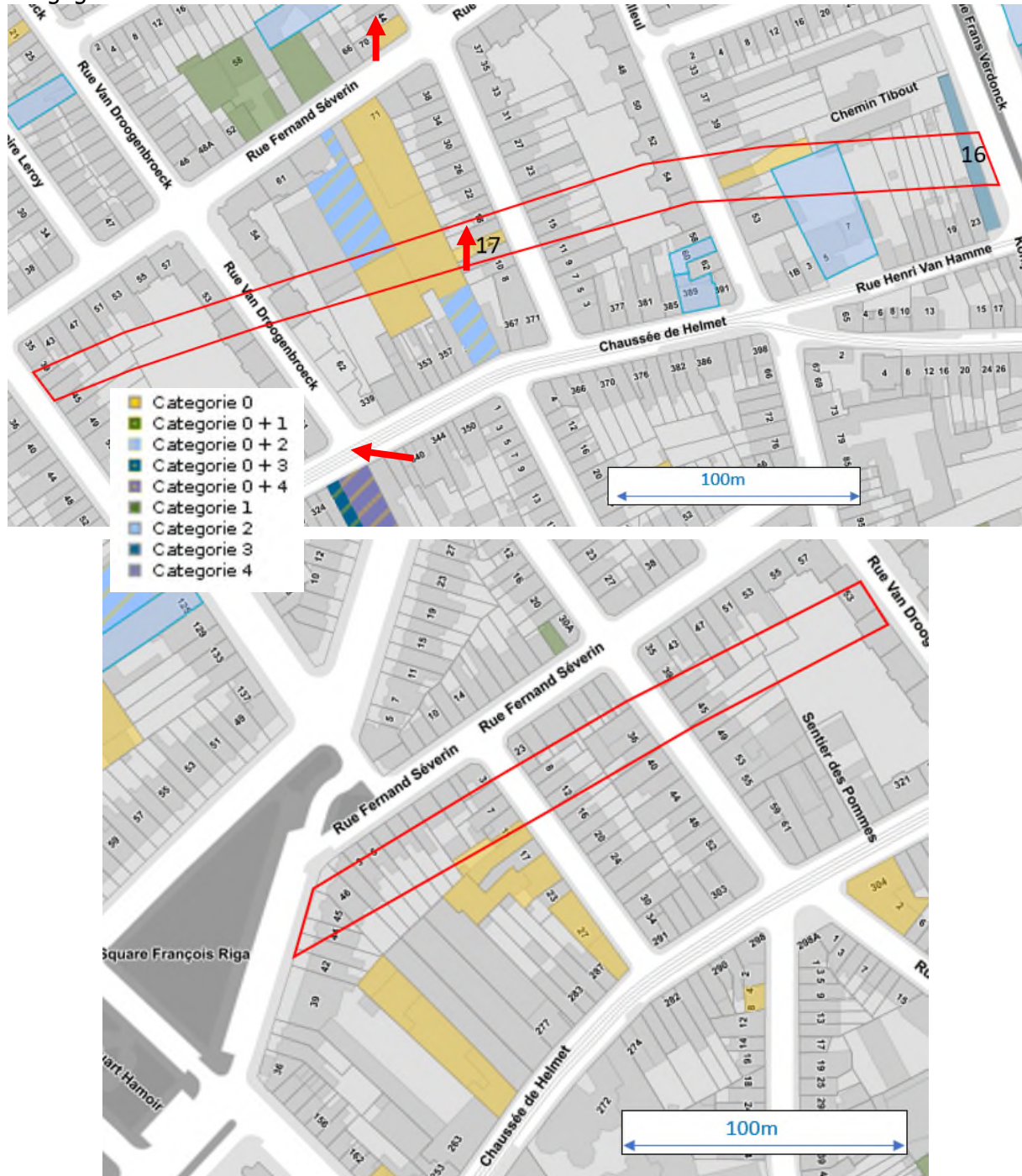
Conform de hiervoor uiteengezette inleidende analyse kan de afgegraven grond van de sectie 3 vervuild zijn met chloorhoudende solventen, evenals met minerale oliën en BTEX (gelet op de plaatselijke diepte van minder dan 15m).

De percelen die beïnvloed zijn en/of kunnen zijn door deze verontreiniging worden hierna aangegeven:

- Perceel 11 (perceel 163M): Dit perceel wordt beïnvloed door een vervuiling van het grondwater, maar niet de bodem. Er wordt geen vervuilde grond verwacht van dit perceel in het kader van de bouw van de tunnel.
- De percelen nr. 12, 13, 14, 15 en 16: Deze percelen werden onderzocht met het oog op de bouw van station Linde. Er werd geen enkele vervuiling van de bodem door minerale olie, BTEX en chloorhoudende solventen in deze percelen gedetecteerd.

Sectie 4: Linde - Riga

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 93: Sectie 4 - Linde - Riga op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 15,4 en 22 m onder het maaiveld, in de formaties van Tielt en Kortrijk (semi-doorlaatbare formaties).

Conform de hiervoor uiteengezette inleidende analyse, kan de afgegraven grond van deze sectie 4 vervuild zijn met uitsluitend chloorhoudende solventen. Derhalve:

- Meerdere terreinen van de categorie 0 die door de tunnel doorkruist worden, worden hierna niet aangeduid, want hierop hebben nooit mogelijk met chloorhoudende solventen vervuilende activiteiten plaatsgevonden.
- Verontreinigingen door minerale oliën, BTEX worden hierna niet uiteengezet. De beschikbare niet-technische samenvattingen op de kaart van de bodemtoestand werden echter allemaal geraadpleegd.

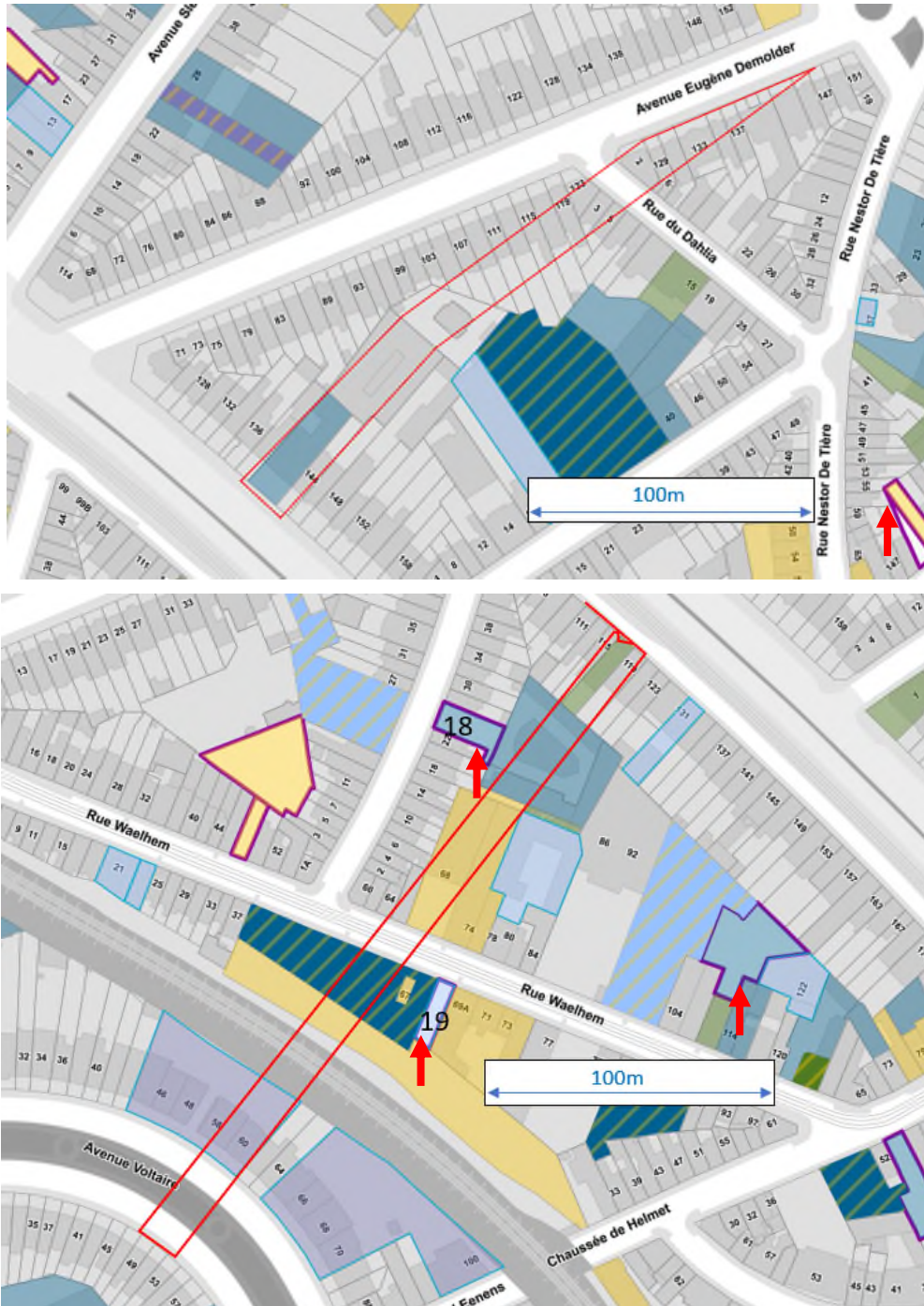
De verontreinigingen en mogelijke verontreinigingsbronnen door chloorhoudende solventen bij de sectie 4 worden hierna aangeduid:

- Perceel nr. 16: Dit perceel werd onderzocht met het oog op de bouw van station Linde. Er werd geen verontreiniging in de bodem gedetecteerd.
- In het verleden hebben op perceel nr. 17 mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (ontvetting van textiel). De bodem van dit perceel werd nog nooit onderzocht.

Merk tevens de aanwezigheid op van een perceel, op iets minder dan 100 m ten noorden van het tracé (zie rode pijl op de bovenstaande Figuur) waarop mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties staan of gestaan hebben.

B.4. Sectie 5: Riga – Verboekhoven

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 94: Sectie 5 - Riga - Verboekhoven op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

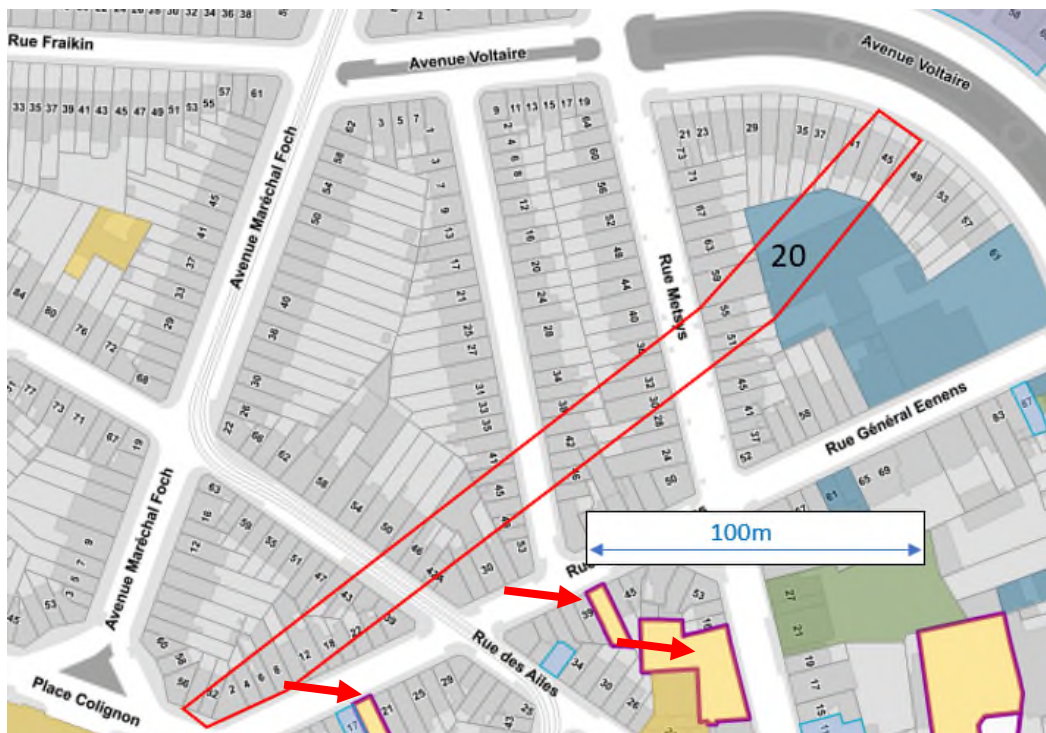
Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 15,8 en 24 m onder het maaiveld, in de formatie (merendeels) van Kortrijk en van Tielt voor een klein gedeelte van deze sectie.

Conform de hiervoor uiteengezette inleidende analyse, kan de afgegraven grond van deze sectie 5 vervuild zijn met uitsluitend chloorhoudende solventen. De verontreinigingen en mogelijke verontreinigingsbronnen door chloorhoudende solventen bij de 5 worden hierna aangeduid:

- In het verleden hebben op perceel nr. 18 mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (ontvetting van metalen). Deze oude installaties werden onderzocht en geen enkele vervuiling van de bodem door chloorhoudende solventen werd gedetecteerd.
- In het verleden hebben op perceel nr. 19 mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (drukkerij, lakproductie, lak, verf). Deze oude installaties werden onderzocht en geen enkele vervuiling van de bodem door chloorhoudende solventen werd gedetecteerd (categorie 2).

B.5. Sectie 6: Verboekhoven – Colignon

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 95: Sectie 6 - Vrede-Linde op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

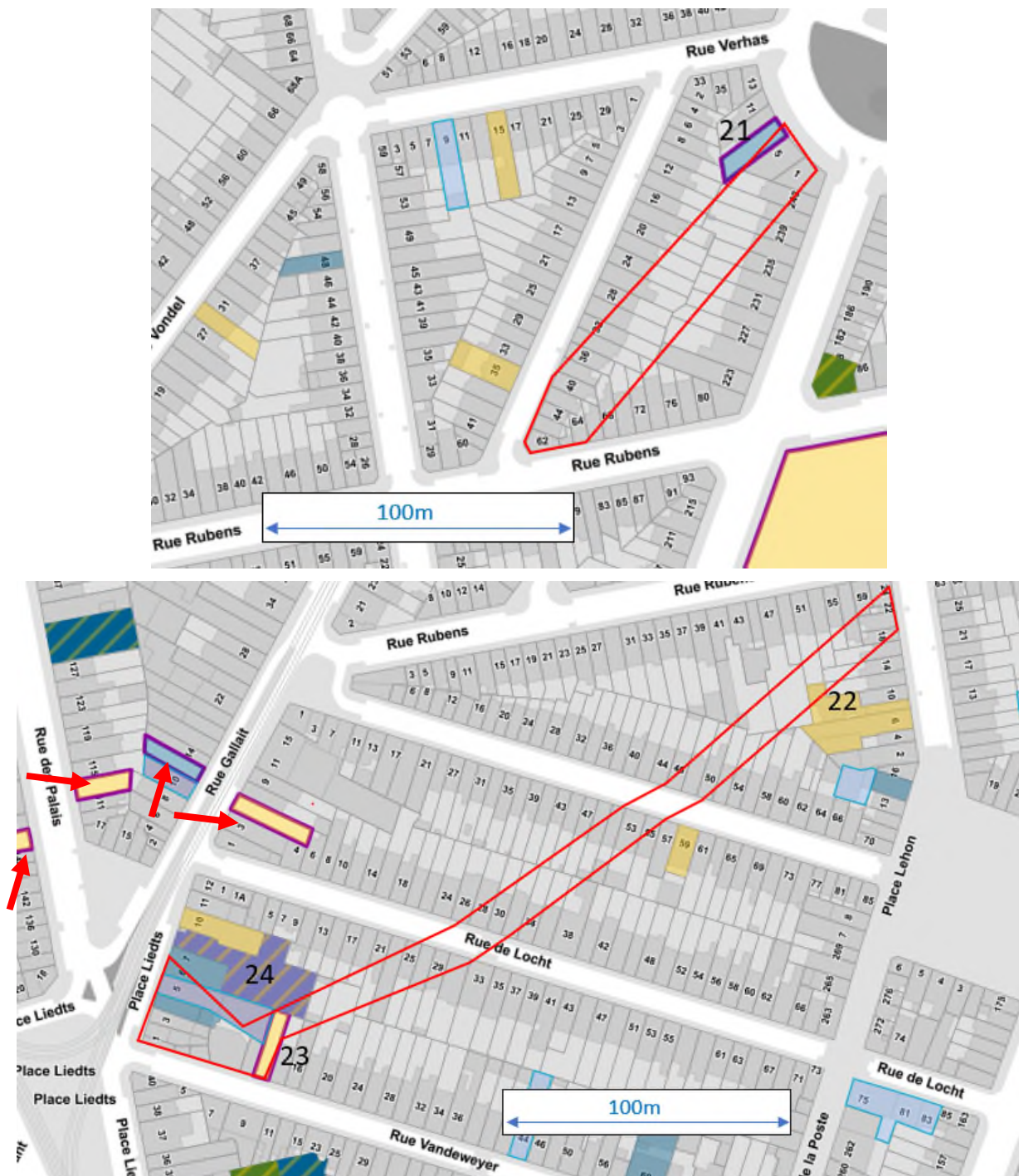
Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 14,9 en 18,5 m onder het maaiveld, in de formatie van Kortrijk en in quartaire afzettingen.

Perceel nr. 20 (perceel 403E) bevat geen enkele bodemvervuiling door minerale oliën, BTEX of chloorhoudende solventen.

Merk de aanwezigheid op van meerdere mogelijke vervuilingsbronnen door solventen op +-50m ten zuiden van het tracé (zie rode pijl op de bovenstaande Figuur). Meerdere bronnen daarvan zijn tot op heden nog niet onderzocht.

B.6. Sectie 7: Colignon – Liedts

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 96: Sectie 7 - Colignon - Liedts op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 19,1 en 22,4 m onder het maaiveld, in de formatie van Kortrijk en in quartaire afzettingen.

Gelet op de diepte (circa 20 m diepte) en het gesteente dat deze sectie bedekt (formatie van Kortrijk en quartaire afzetting) wordt ervan uitgegaan dat het risico op verontreiniging alleen verband houdt met chloorhoudende solventen. De verontreinigingen en mogelijke verontreinigingsbronnen door chloorhoudende solventen bij de sectie 7 worden hierna aangeduid:

- In het verleden hebben op perceel nr. 21 (perceel 193V8) mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (ontvetting van textiel). De bodemtoestand van dit perceel werd in 2007 verkend en werd naar aanleiding van dit onderzoek ingeschreven op de inventaris van de bodemtoestand onder de categorie 3 (verontreinigd perceel zonder risico). De verontreinigingen van de bodem van dit perceel zijn niet bekend (niet-technische samenvatting niet beschikbaar).
- In het verleden hebben op perceel nr. 22 (perceel 193V8) mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (pneumatische aanbrenging van coating en spuitcabines) die tot op heden nog nooit onderzocht zijn.
- In het verleden hebben op perceel nr. 23 (perceel 182K4) mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (voorbereiding, chemische behandeling van textiel) die tot op heden nog nooit onderzocht zijn.
- In het verleden hebben op perceel nr. 24 (perceel 182L9) mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (pneumatische aanbrenging van coating en spuitcabines). De op de kaart van de bodemtoestand beschikbare informatie maakt het niet mogelijk te weten of deze installatie recentelijk onderzocht werd.

Dit perceel is overigens ingeschreven onder de categorie 4 (verontreinigd perceel), maar er is geen niet-technische samenvatting beschikbaar zodat de sanitaire staat van de bodem van dit perceel niet bekend is.

Merk verder de aanwezigheid op van meerdere mogelijke vervuilingbronnen door solventen op +-50m ten noorden van het tracé (zie rode pijl op de bovenstaande Figuur). Drie van deze percelen zijn tot op heden nog niet onderzocht. Een van deze percelen (in het blauw op de Figuur) wordt beïnvloed door een bodemverontreiniging door chloorhoudende solventen.

B.7. Sectie 8: Liedts – P5

Het tracé van deze sectie op de kaart van de bodemtoestand wordt op de volgende Figuur aangegeven:



Figuur 97: Sectie 7 Liedts - P5 op de kaart van de bodemtoestand (ARIESoil op kaart van de bodemtoestand, geraadpleegd in september 2020)

Het gewelf van dit deel van de tunnel ligt op een diepte tussen 12,1 en 14,4 m onder het maaiveld, in de formaties van Kortrijk.

Conform de hiervoor uiteengezette inleidende analyse, kan de afgegraven grond van deze sectie 1 vervuild zijn met minerale oliën, BTEX en chloorhoudende solventen.

De percelen die beïnvloed zijn en/of kunnen zijn door deze verontreiniging worden hierna aangegeven:

- In het verleden hebben op perceel nr. 25 mogelijk door chloorhoudende solventen vervuilende installaties gestaan (ontvetting van textiel, voorbereiding en chemische behandeling van textiel). Deze oude installaties werden onderzocht en geen enkele vervuiling van de bodem door chloorhoudende solventen werd gedetecteerd.

Merk verder de aanwezigheid op van meerdere mogelijke vervuilingsbronnen door solventen die tot op heden nog niet onderzocht werden binnen straal van 50m rond het tracé van dit deel van de tunnel (zie rode pijl op de bovenstaande Figuur).

6.4.4.3. Effecten op de bodem - beheer van de afgegraven grond van de tunnel

A. Beheer

De afgegraven grond wordt afgevoerd naargelang de voortgang van de tunnelboormachine vanuit schacht P0 bij de toekomstige stelplaats van Haren.

In totaal wordt het volume van de afgegraven grond van de tunnel, van de helling en P0 (385.000m³) geschat op +-500.000 m³ (gezwollen) over een duur van +-700 dagen, hetgeen overeenkomt met een afgevoerd volume van gemiddeld +-710 m³/dag, dat wil zeggen een omvang van +/- 30 vrachtwagens.

De valorisatie hangt af van de kwaliteit van de grond en van het gewest waar naartoe de grond wordt afgevoerd. In dit stadium van de studie is het onmogelijk om zich uit te spreken over dit onderwerp, want de aanvrager kan ons nog niet zeggen of de grond gevaloriseerd wordt in Brussel of elders in België (er zijn meerdere op te vullen sites van grote omvang in het Waalse gewest maar hoe is dat over enkele jaren) of geheel naar Nederland.

Het risico op verontreiniging in de grond is tamelijk beperkt voor het gehele tracé wegens de grote diepte van de afgraving (>9m). Dit risico is iets groter voor het eerste gedeelte van het tracé (tussen P0 en station Vrede) gelet op het gesteente van de horizon boven dit deel van de tunnel (Brusseliaans zand, doorlaatbaar).

Voor het tweede deel van het tracé (van station Vrede naar P5, ligt de tunnel grotendeels in de formatie van Tielt en van Kortrijk (semi-doorlaatbare grond). Hierdoor is het risico op vervuiling in verband met activiteiten aan de oppervlakte beperkter.

Door het tracé over de kaart van de bodemgesteldheid te leggen, kunnen de meest risicovolle zones geïdentificeerd worden in de nabijheid waar het risico op vervuiling iets groter is (al blijft dit sterk beperkt). Deze studie, die uiteengezet werd in het voorgaande hoofdstuk, kan dienen als basis voor de uitwerking van een controle- en opvolgingsprocedure van de kwaliteit van de afgegraven grond tijdens de werkzaamheden.

In het geval de afgegraven grond over het water naar Nederland afgevoerd wordt. De toepasselijke controleprocedure van de kwaliteit van de afgegraven grond zal bepaald worden door de Nederlandse regelgeving. De test dienen uitgevoerd te worden vóór de lading.

In geval van een valorisatie van deze afgegraven grond in Brussel (anekdotiek). Een hergebruik van een deel van de afgegraven grond in het kader van de werkzaamheden voor de metro of een andere werf is eveneens mogelijk mits de voorwaarden voor een hergebruik volgens de goede praktijken met betrekking tot het gebruik van afgegraven grond en granulaat in of op de bodem nageleefd worden. Dit gebruik wordt begeleid door een technisch rapport en vereist de interventie van een bodemexpert en de voorafgaande goedkeuring van Leefmilieu Brussel en dus de opslag op de site in afwachting van de toestemming van LB.

In geval van een afvoer naar het Waals Gewest dient een rapport opgesteld te worden over de kwaliteit van de grond voorafgaand aan de afvoer ervan. Dit betekent een opslag via zwaden op de site van de stelplaats om de kwaliteitsrapporten van de grond op te kunnen stellen.

In geval van een afvoer naar Vlaanderen is het principe hetzelfde met een technisch verslag.

B. Verplichtingen in verband met de naleving van de bodemordonnantie

Krachtens artikel 13§4 van de Bodemordonnantie: "*Er dient een verkennend bodemonderzoek (VBO) voor rekening van de aanvrager van een stedenbouwkundige vergunning uitgevoerd te worden dat betrekking heeft op werkzaamheden in contact met de bodem over meer dan 20 m² op een perceel dat ingeschreven is op de inventaris van de bodemtoestand in de categorie 0 of een gecombineerde categorie met 0 dat betrokken is bij deze aanvraag en wel voorafgaand aan de afgifte van de vergunning*".

De uitvoering van een dergelijk bodemonderzoek is echter weinig relevant in het kader van de bouw van de tunnel. De doelstellingen namelijk hiervan, te weten:

- Controle van de geschiktheid van de kwaliteit van de grond voor het toekomstige gebruik;
- Voorafgaande detectie van verontreinigde grond en
- Vermijden om toekomstige bodemonderzoeken of behandelingen te bemoeilijken;

Zijn niet van toepassing of niet haalbaar in het kader van de bouw van de tunnel.

Verder houdt het onderzoek in het kader van een VBO doorgaans op een diepte tussen 5 en 15 m op terwijl het merendeel van de afgegraven grond op meer dan 15m diepte ligt. Merk ten slotte op dat door de diepte van de tunnel en het gesteente van de bovenliggende lagen het risico op vervuiling van de afgegraven grond door activiteiten aan de oppervlakte zeer beperkt is.

Aldus zal een met redenen omklede aanvraag om de omvang van de door het verkennend bodemonderzoek betrokken zone te beperken door uitsluiting van de zones buiten de stations (tunnel) ingediend worden bij Leefmilieu Brussel overeenkomstig artikel 14§2 van de Ordonnantie.

De bouw van een tunnel op meer dan 9m van de verontreinigde terreinen zal het risico in verband met een verontreiniging van de bodem van dit terrein niet veranderen. Dit geldt niet voor het grondwater, want de bemaling in verband met het project kan een impact hebben op de migratie van verontreinigingen in het water. Het is zeer moeilijk in het projectstadium om dit risico te bepalen gelet op de diepte van de tunnel en de gegevens die voor deze diepte niet beschikbaar zijn. Maar er werden hypothesen uitgewerkt in het hoofdstuk "Variant voor het waterbeheer" in dit boek.

De risicostudies met betrekking tot de verontreiniging als gevolg van het tunnelproject zullen niet worden bijgewerkt. Dit project brengt geen opheffing van de gebruikelijke beperkingen met betrekking tot de bodemverontreiniging met zich mee. Overigens hebben de afgravingen a priori geen betrekking op verontreinigde grond vanwege de grote diepte. Aldus is geen enkel risicobeheersplan vereist voor de bodemverontreiniging in het kader van de bouw van de tunnel.

6.4.4.4. Effecten op ondergrondse leidingen en netwerken

Op het ingenomen bouwterrein van de tunnel hoeven geen ondergrondse leidingen of netwerken omgeleid te worden.

Over de 30 m aan weerszijden van het tunneltracé moeten alle waterleidingen van grijs gietijzer vervangen worden door leidingen van staal of PEHD. Deze wijzigingen moeten uitgevoerd worden voor het begin van de bouw van de tunnel.

6.4.4.5. Effecten op de verzakkingen

Het graven van een tunnel kan een verstoring met zich meebrengen van de bebouwde omgeving. Hieronder vallen meestal grondverschuivingen (verlaging of verhoging) waarvan de intensiteit afhangt van meerdere factoren zoals, onder andere, de graaftechniek, de aard van de doorkruiste grond (mechanische eigenschappen) en de verhouding tussen de afmetingen van de tunnel en de diepte daarvan. Bij een eerste benadering kan men ervan uitgaan dat de omvang van de verzakkingen evenredig is met het verloren volume tijdens het graven van de tunnel (dat wil zeggen het verschil tussen de uiteindelijke doorsnede van de tunnel en de werkelijk gegraven doorsnede).

De beoordeling van de impact van het graven van een tunnel op zijn omgeving is voornamelijk gebaseerd op

- De beoordeling van de gevoeligheid voor verzakkingen van de bebouwing bij de invloedzone van het tracé van de tunnel.
- De inschatting van de verwachte verzakkingen langs het tracé van de tunnel naargelang de geologie en de mechanische eigenschappen van de doorkruiste lagen.

De effectenstudie inzake de verzakkingen is gebaseerd op de volgende BMN rapporten:

[1] "Tunnel: methodologie van de classificatie van gevoelige kunstwerken" ref. BMN-TUN-CIV-RP-004-P01.2 daté du 23/11/2015.

[2] "Nota Verzakkingen" ref. BMN-TUN-CIV-RP-013-P01.3 daté du 22/04/2016.

A. Gevoeligheid van de bebouwing:

De gevoeligheidsstudie van de gebouwen voor verzakkingen is gebaseerd op de volgende parameters:

- De aard, de eigenschappen en de staat van de structuur.
- De functie ervan.
- De omgeving ervan.

De classificatiecriteria van de gevoeligheid voor verzakkingen van gebouwen wordt in de onderstaande tabel samengevat:

Zeer gevoelig	Gevoelig	Weinig gevoelig
Gebouwen met gemetselde structuur	Gebouwen van homogene betonnen structuur en gemetselde bekleding	Braakliggende terreinen en bovengrondse parkings
Openbare gebouwen (scholen, ziekenhuizen...) en beschermde gebouwen	Gebouwen daterend van voor 1930; funderingen zonder gewapend beton	Garageboxen
Gebouwen met meer dan 4 verdiepingen, m.u.v. nieuwe gebouwen	Gebouwen van 2 tot 4 verdiepingen	Gebouwen met een niveau
Gebouwen met meer dan een ondergronds niveau	Gebouwen met een ondergronds niveau	Nieuwe gebouwen
Zeer brede en zeer lange gebouwen onder het tracé van de tunnel	Gebouwen van normale breedte	Zeer smalle gebouwen
Gebouw met aanwezigheid van een put	Pleinen, lanen (druk bezochte zones)	Gebouwen in meerdere eenheden
Spoor- en tramzones		Straten (minder druk bezochte zones) / openbare tuinen

Tabel 32: De classificatiecriteria van de gevoeligheid voor verzakkingen van gebouwen (BMN, 2016)

Naar gelang hun gevoeligheid worden als volgt maximaal toelaatbare verzakkingswaarden bepaald:

Grenswaarde	Absolute verzakking	Differentiële verzakking
Zeer gevoelige gebouwen		
Gevoelige gebouwen		
Weinig gevoelige gebouwen		
Spoorwegen		10 mm

*als de snelheid van de trein lager is dan 40 km/u

Tabel 33: Maximaal toelaatbare verzakkingen naargelang de gevoeligheid van de gebouwen (BMN, 2016)

De differentiële verzakking komt overeen met de gradiënt tussen 2 absolute verzakkingspunten (S op de Figuur van de Peck-methode in de volgende paragraaf).

De lijst van de als zeer gevoelig geklasseerde kunstwerken langs het tracé van de tunnel is de volgende:

- Hoeve 't Hoeveke (Evere). Etages = verdiepingen
- Gemeentehuis van Schaarbeek. Avec bcp de vitrage = met veel ramen
- Champagnat-school. Maison communal de S. = gemeentehuis van S
- Overige gebouwen: Mitoyen d'un côté = slechts aan een aangrenzend

PK	Adresse	Écart à l'axe du tracé	Zone de criticité	Couverture	Description
1825	Rue Brabant 173	15,3 m	2-3	12,4 m	5 étages avec beaucoup de vitrage
1834	Rue Brabant 175	1,5 m	2-3	12,3 m	5 étages avec beaucoup de vitrage
2000	Rue Vandeweyer 8	2,7 m	1-2	19,1 m	5 étages
2065	Rue Loch 23	3,7 m	2-1-2	20,4 m	6 étages
2345	Rue Rubens 75	13,6 m	2-3	21,7 m	5 étages
2593	Place de Colignon s/n	Sur l'axe	Toutes	19,1 m	Maison Communale de Schaarbeek*
2830	Rue Metsys 24	15,6 m	2-3	15,8 m	5 étages
3324	Boulevard Lambermont 136	21,8 m	2-3	22,6 m	7 étages avec beaucoup de vitrage
3324	Boulevard Lambermont 138	15,3 m	2	22,6 m	7 étages avec beaucoup de vitrages
3324	Boulevard Lambermont 140	1,5 m	1-2	22,6 m	7 étages avec beaucoup de vitrage
3493	Rue Dahlia 4	5,8 m	1-2	18,6 m	5 étages avec beaucoup de vitrage et mitoyen que d'un côté
3527	Eugène Demolder 137	8,1 m	2-3	17,5 m	6 étages
3540	Eugène Demolder 139-141	11 m	2-3	17,3 m	6 étages avec beaucoup de vitrage
3577	Avenue E. Demolder 151	22,2 m	3	16,6 m	5 étages et mitoyen que d'un côté
3813	Place de Riga 39	18,4 m	2-3	16,7 m	Institut Champagnat de Schaarbeek
4017	Rue F. Severin 53	5,9 m	Toutes	18,1 m	5 étages avec beaucoup de vitrage
4558	Rue de Marne 1	6 m	2-3	13,4 m	Fermette't Hoeveke (XVI ^{ème} siècle)
4720	Rue de Stuckens 125	Sur l'axe	Toutes	17,2 m	Académie de Musique d'Evere
4827	Place de la Paix 2-3	4,9 m	1-2	17,9 m	5 étages
5850	Rue du Planeur 4	5,6 m	Toutes	16,7 m	Bâtiment très large de 7 étages

Tabel 34: Lijst van de als zeer gevoelig geklasseerde gebouwen (BMN, 2016)

- De spoorlijnen:
 - Lijn 161.
 - Lijn 26.
- Het stormbekken van CityDev.

Naast deze als zeer gevoelig geklasseerde gebouwen, bestaat er een lijst van gebouwen die zich daar bevinden waar de bedekking boven de tunnel gering is (minder dan 1,5 maal de diameter)

PK	Adresse	Écart à l'axe du tracé	Zone de criticité	Couverture	Description
1706	Rue d'Aerschot 126	2,7 m	1-2	12,7 m	3 étages
1710	Rue d'Aerschot 128	Sur l'axe	1-2	12,6 m	3 étages
1715	Rue d'Aerschot 130	Sur l'axe	1-2	12,5 m	4 étages
1719	Rue d'Aerschot 132	Sur l'axe	1-2	12,5 m	4 étages
1722	Rue d'Aerschot 134	Sur l'axe	1-2	12,5 m	3 étages
1725	Rue d'Aerschot 136	4,5 m	1-2	12,5 m	4 étages et mitoyen que d'un côté
1751	Rue d'Hoogvorst 8	Sur l'axe	1-2	13,6 m	3 étages et mitoyen que d'un côté
1752	Rue d'Hoogvorst 14	Sur l'axe	1-2	13,6 m	2 étages
1790	Rue d'Hoogvorst 17	Sur l'axe	1-2	12,7 m	4 étages
1799	Rue d'Hoogvorst 19	Sur l'axe	1-2	12,1 m	4 étages
1802	Rue d'Hoogvorst 21	1,9 m	1-2	12,2 m	3 étages
1805	Rue d'Hoogvorst 23	8,2 m	2-3	12,2 m	3 étages
1825	Rue Brabant 173	8,6 m	2-3	12,4 m	5 étages
1835	Rue Brabant 175	13,5 m	2-3	12,3 m	5 étages
1839	Rue Brabant 177	10,5 m	2-3	12,2 m	3 étages
1842	Rue Brabant 179	Sur l'axe	Toutes	12,4 m	3 étages

Tabel 35: Lijst van de als gevoelig geklasseerde gebouwen (BMN, 2016)

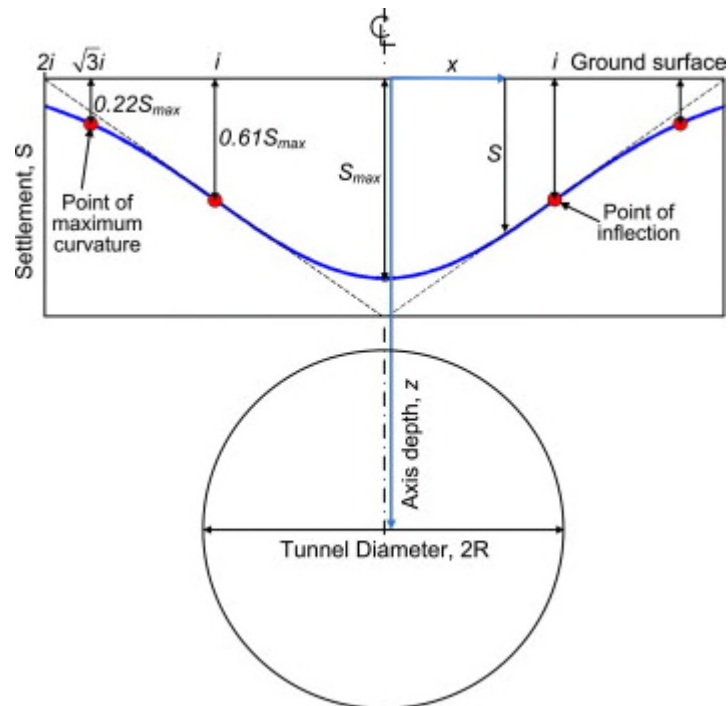
Er werden tevens enkele opmerkelijke bomen geïdentificeerd langs het tracé, waarvan de lijst opgenomen is in het hoofdstuk "Impact op het erfgoed".

Hoe groter de diepte van de tunnel ten opzichte van zijn diameter, des minder de effecten merkbaar zijn aan de oppervlakte. Het is daarom belangrijk de zones aan te duiden waar deze bedekking beperkt is wegens de vereisten van het project (topografie van de locaties, te respecteren helling voor de metro's...). Een geringere bedekking brengt een grotere gevoeligheid voor de omringende bebouwing met zich mee.

B. Inschatting van de verzakkingen:

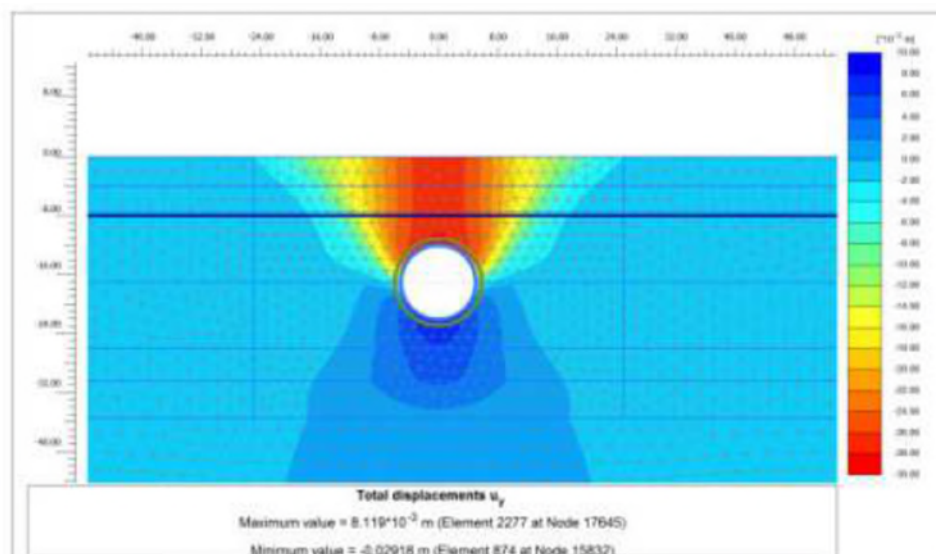
De aan het oppervlak te verwachten verzakking langs het tunneltracé wordt geschat volgens twee aanvullende methoden:

- Een analytische methode (de Peck-methode, zie onderstaande Figuur) wordt intensief gebruikt langs het gehele tracé (een berekening om de 100 m). Deze methode is gebaseerd op de hypothese dat het volume van de verzakkingskom aan het oppervlak (S) gelijk is aan het contractievolumen van de tunnel (verschil tussen de uiteindelijke doorsnede van de tunnel en de werkelijke gegraven doorsnede). De vorm van de kom (de diepte en uitspreiding daarvan) wordt bepaald op basis van de aard van de doorkruiste grond en de graafmethode van de tunnel. Dit soort analytische berekeningen vereist weinig rekenvermogen en kan eenvoudig geïmplementeerd worden op een rekenblad (spreadsheet van het type Excel). Het is dus een doelmatige tool voor een herhaaldelijke berekening langs het tracé van de tunnel.



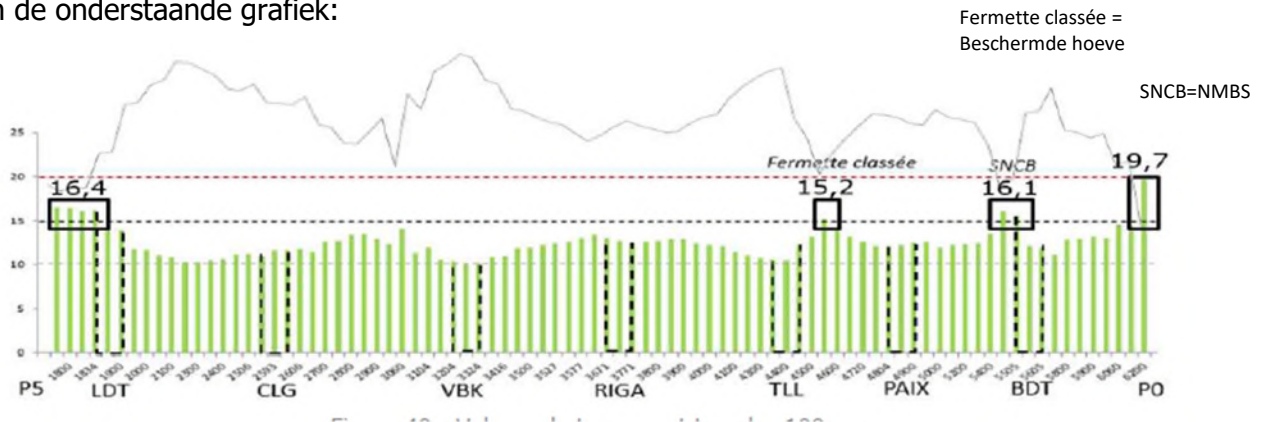
Figuur 98: Schatting van de verzakking, Peckmethode – Theoretische Figuur voor een homogene grond (Tunnelling and Underground Space Technology, 2012)

- Er wordt ook een digitale berekening gebruikt om de eerste methode te kalibreren. Hier ziet men een gedetailleerde berekening (eindige elementenmethode, Plaxis) waarin op expliciete wijze rekening gehouden wordt met de stratigrafie en de mechanische eigenschappen van de doorkruiste grond. Deze berekening houdt eveneens nog explicieter rekening met de fasering van de bouw van de tunnel, evenals de mechanische eigenschappen daarvan (bijvoorbeeld de dikte van de wanden van de tunnel). Deze berekening wordt ter kalibratie uitgevoerd op vier plaatsen van het tracé: de schacht P5 en de stations Liedts, Linde en Bordet. Merk op dat de hier uitgevoerde berekening een tweedimensionale berekening is.



Figuur 99: Voorbeeld van een Plaxis-resultaat bij station Liedts (BMN, 2016)

De resultaten van de verzakkingsberekeningen, via de Peck-methode, worden weergegeven in de onderstaande grafiek:

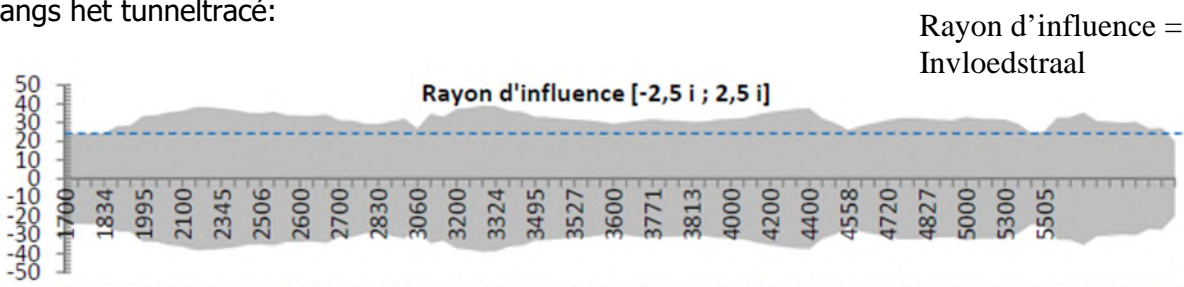


Figuur 100: Waarde van de verzakkingen (in mm) langs het tracé van de tunnel (BMN, 2016)

De schattingen van de maximale verzakkingen werden vergeleken met de op het project toepasselijke criteria (20 mm absolute verzakking van de bestaande bebouwing, 10 mm voor de spoorlijnen). Volgens de uitgevoerde berekeningen, wordt het criterium van 20 mm nooit overschreden. Die van 10 mm daarentegen wordt overschreden bij drie passages van de tunnel onder de spoorlijnen, waarvoor derhalve compensatiemaatregelen nodig zijn, die later beschreven zullen worden.

De invloedstralen ("breedte" van de verzakkingskom) bepalen de zone waarin de differentieelverzakkingen geanalyseerd moeten worden, die eveneens schadelijk kunnen zijn voor de bestaande bebouwing en beperkt zijn tot waarden lager dan 1/500 voor de weinig gevoelige gebouwen en 1/1000 voor zeer gevoelige gebouwen (1/1000 komt overeen met een differentieelverzakking van 1 mm tussen twee punten die 1 m van elkaar afliggen).

De onderstaande grafiek geeft de resultaten weer van de berekeningen van de invloedstralen langs het tunneltracé:



Figuur 101: Waarden van de invloedstralen (in mm) langs het tracé van de tunnel (BMN, 2016)

Deze stralen liggen tussen 20 m bij P0 en 38 m rond Verboekhoven. De berekende gemiddelde straal is 32 m.

6.4.4.6. Conformiteit van het distributienet in geval van brand

Zie Boek Stations

6.4.5. Door de aanvrager genomen maatregelen ter voorkoming, opheffing of beperking van de negatieve effecten op de bodem en het water

6.4.5.1. Verontreiniging

De aanvrager heeft de volgende studies verricht:

- Een Standaard Technisch Verslag, uitgevoerd door Envirosoil in 2019;
- Een Beheersrapport van de grond, uitgevoerd door Envirosoil in 2019;

Deze studies hebben het mogelijk gemaakt om de gezondheidskwaliteit van de grond en het grondwater te beoordelen voor de aanvang van de werken.

6.4.5.2. Grondwater

De door de aanvrager genomen maatregelen ter beperking van de negatieve effecten op het grondwater:

- Vanuit kwantitatief oogpunt,
 - De uitvoering van gegoten wanden verankerd in een minder doorlaatbare horizon (aquitard) om de draineringsdebieten tot een minimum te beperken (omleiding) en hun perifere effecten door de verlaging van het waterpeil;
 - De voortzetting van de piëzometrische maatregelen voor de bestaande piëzometers rondom het project;
 - De monitoring van de debieten van het gedraineerde water.
- Vanuit kwalitatief oogpunt,
 - Een periodieke monitoring van de kwaliteit van het gedraineerde water bij de stations en de tunnel ter controle van de staat en de schommeling van de verontreiniging;
 - In de vergunning zoals deze bestudeerd is stelde de aanvrager aanvankelijk voor om het grondwater rechtstreeks te lozen in het riool om het water rechtstreeks af te voeren naar een zuiveringsstation (voor iedere mogelijke vervuiling).

6.4.5.3. Verzakkingen

Onder de door de aanvrager voorziene maatregelen voor de preventie van schade door verzakkingen en om deze te voorkomen als dat mogelijk is, kunnen genoemd worden:

- Een beschrijving van de bestaande structuren (afmetingen, aanwezigheid van ondergrondse ruimten, aard van de materialen, aanwezigheid van voorgaande beschadigingen,...).
- Een monitoring, dat wil zeggen een opvolging van de verzakkingen en vervormingen van de terreinen en gebouwen, in real time. Deze monitoring maakt een vergelijking mogelijk van de gemeten vervormingen met de voor de verschillende structuren vastgestelde bewakings- en alarmdrempels.

- Versterkingsmaatregelen: voor de gevallen waarbij de voorzienbare verzakkingen de vastgestelde criteria overschrijden of voor de gevallen waarbij 70% van de (absolute of differentiële) verzakkingen worden gemeten tijdens de werf (voor, tijdens of na de passage van de tunnelboormachine), worden verschillende maatregelen getroffen om de beschadiging van het betreffende gebouw te vermijden. Hiertoe behoren:
 - Versterking a priori van de terreinen door injectie (verbetering en/of homogenisatie van de mechanische eigenschappen van de bodems).
 - Versterking en/of bescherming a priori van de structuur van het bestaande gebouw (uitvoering van een beschermwand tussen de tunnel en het kunstwerk, aaneenschakeling van de funderingen, verstijving van de structuur door omringing of trekstangen, onderstopping van de fundamenteën).
 - Compensatie-injectie: uitvoering van injecties in het terrein ter compensatie (door expansie van het geïnjecteerde terrein) in real time van de verzakkingen die veroorzaakt worden door het graven van de tunnel.
 - Versterking van de spoorlijnen: voor de gevallen waarin het niet mogelijk is om het treinverkeer lokaal te stoppen wanneer de tunnelboormachine onder het spoor doorgaat (de verzakkingen worden vervolgens gecompenseerd door de opvulling met ballast onder de spoorlijnen voordat het verkeer weer hervat wordt) is het mogelijk om deze te versterken met name door de uitvoering van een buizendak (boren van buizen) onder het spoor vanuit tijdelijk gegraven schachten in de nabijheid van de te doorkruisen zone.
- Aanpassing van de bouwmethode: voor delicate passages is het belangrijk dat het onderhoud van de tunnelboormachine uitgevoerd werd alvorens te beginnen met de zone om onderbrekingen van het graafwerk te vermijden. Het is ook mogelijk om de graafparameters en/of de graafsnelheid aan te passen.

6.4.6. Aanbevelingen voor het project, alternatieven en varianten

Op grond van deze evaluatie zijn de aanbevelingen betreffende de aspecten van het **grondwater** de volgende (de algemene aanbevelingen zijn zowel geldig voor het scenario enkele buis als voor het scenario dubbele buis, evenals voor zowel alle stations als de tunnels):

Inzake de piëzometrische opvolging:

- Een synthese maken van de bestaande piëzometers in de periferie van het project en identificatie van de grondwaterpeilen voor elk daarvan;
- Controleren of bepaalde bestaande piëzometers zich in de zone van de werf bevinden en hierdoor beïnvloed worden en zo nodig deze vervangen door nieuwe piëzometers;
- In voorkomend geval, en na onderzoek van het bestaande netwerk, dit zo nodig aanvullen door aanvullende piëzometers om de momenteel niet gedekte zones te documenteren (bijvoorbeeld de zones tussen de stations) en de verschillende waterpeilen waar het project betrekking op heeft; aldus kan men voor elk station, stroomopwaarts of stroomafwaarts, aanbevelen dat minstens een dubbele aangrenzende of zelfs een driedubbele aangrenzende piëzometer operationeel is bij de verschillende waterhoudende lagen op de verlaagde hoogte;

- De continue monitoring voortzetten van de piëzometrische niveaus van alle piëzometers die zich in de directe periferie bevinden van het project en de aanvullende piëzometers; deze opvolging geldt voor de huidige periode voorafgaand aan de werfwerkzaamheden (background), de periode tijdens de werf (overgangperiode) en de uitbatingsperiode (evenwichtsperiode na de werfwerkzaamheden). De opvolging dient uitgevoerd te worden met geautomatiseerde loggers. Deze opvolging maakt het mogelijk om de impact van het project te kwantificeren en onderhavige conclusies te bekrachtigen.

Inzake de barrage-effecten Voor station Bordet

- De beoordeling van de in dit document aangegeven impact kan als behoudend beschouwd worden. Het wordt aanbevolen om op gedetailleerdere wijze de verschillende grondwaterpeilen in de nabijheid van Bordet te documenteren en met name door voor alle bestaande piëzometers de uitgeruste niveaus te controleren waarnaar verwezen wordt om deze situatie te controleren;
- Zodra dat mogelijk is, overgaan tot de inplanting van minstens een dubbele piëzometer in de rechtstreekse stroomopwaartse zone ten opzichte van het toekomstige station Bordet, de ene in het hogere gedeelte uitgerust met Brusseliaans zand (bij eerste benadering op 42 tot 45 m TAW boven een kleine niet-doorlatende laag leem), de andere lager uitgerust (bij eerste benadering op 30 tot 35 m TAW daaronder);
- Overgaan tot een voortdurende monitoring van de piëzometrische ontwikkeling in deze zone (automatische loggers);

Voor alle stations:

De uitvoering van inrichtingen voor de passage van het grondwater is in dit stadium niet uitgesloten. Krachtens het voorzorgsprincipe en bij gebrek aan aanvullende studies om het risico van een stijging van het grondwater beter te beoordelen, dienen tijdens de uitvoeringsstudie inrichtingen voorzien te worden voor een passage van het grondwater in combinatie met een piëzometrische monitoring. Het onderhoud van deze inrichtingen dient eveneens verzekerd te worden om ieder gevaar voor verstopping van de drains te vermijden.

Er kunnen verschillende opties voor de passage van het grondwater bestudeerd worden, mits de noodzaak daarvan bevestigd wordt op basis van aanvullende waarnemingen:

- hetzij een passage van het grondwater door het station door een voorkeursweg te creëren via leidingen die door het station lopen (doch tamelijk invasieve technieken),
- hetzij een passage van het grondwater met perifere drains aan de buitenzijde, passage onder de tunnels en verdeelzones aan de stroomafwaartse zijde; bij deze optie zou een voorkeursweg buiten het station om lopen door een verhoging van de doorlaatbaarheid in de zone waarin het station direct ingebouwd is.

Deze aspecten dienen onderzocht te worden tijdens de uitvoeringsstudies. Dit type inrichting heeft tot doel het barrage-effect van het station te verminderen en de grondwaterpeilen aan de stroomopwaartse zijde lager uit te balanceren dan die welke door de omhullende muren veroorzaakt worden.

Inzake de opvolging van de debieten:

- Een voortdurende monitoring uitvoeren van de gedraineerde waterdebieten bij elk station, elke tunnelsectie, de twee tussenopvoerstations (P0 en Verboekhoven) en de

twee hoofdopvoerstations (P5 en Linder) om hun stabiliteit, hun geschiktheid ten aanzien van de seizoensschommelingen en de afwezigheid van abnormale condities te beoordelen (die tekenen zouden kunnen zijn van een gebrek van de waterdichtheid in de loop der tijd en waarvoor met de tijd correctieve maatregelen getroffen zouden moeten worden).

- Een opvolging van de totale debieten bij de twee uitmondingen wordt eveneens aanbevolen (afgevoerd water + regenwater) om de conformiteit met de gegeven lozingstoestemmingen te controleren).

Inzake de impact van de verlaging op de verzakking bij de stations:

- De beoordeling die gedaan is verfijnen van de impact van de verlaging op de verzakking, de Terzaghi-methode (Artesia) wordt namelijk als zeer veilig beschouwd en heeft geleid tot de meest ongunstige conclusies wat betreft de CPT's. Op basis van de meest kritieke CPT's werd vastgesteld dat dat mogelijkwijze in de nabijheid van de stations Riga en Linde de verlaging de toelaatbare drempels zou kunnen overschrijden (leidend tot een verzakking van de meer dan 20 mm). De methode moet uitgevoerd worden op basis van een digitale berekening en een geotechnische karakterisering (CPT) in de zone van de maximale verlaging aan de stroomafwaartse zijde van de betreffende stations.
- Mocht bevestigd worden dat de verlaging plaatselijk (op een beperkte zone) kan leiden tot een verzakking die de toelaatbare waarde overschrijdt, dient een plaatselijke bijvulling van de waterhoudende laag overwogen worden om lokaal het verlagingseffect te beperken (specifiek bij Riga en Linde).
- In voorkomend geval dient de doelhorizon geïdentificeerd te worden en aldus een dimensionering van de herinspuitingsinrichting (uitbreiding aan de oppervlakte, diepte, debiet). In dit geval wordt aanbevolen het model van Artsia te gebruiken om het stijgingseffect te beoordelen en de bij te vullende debieten te verfijnen.

Inzake het bestaande hydrogeologische model:

- De bestaande kalibrering verfijnen op basis van eventuele aanvullende piëzometers.
- De kalibrering verfijnen op basis van enkele bemalingsproeven in het overgangsregime (met in het bijzonder de identificatie van de hydraulische doorlaatbaarheid en geleidbaarheid).
- De volgende aanvullende modelleringen uitvoeren:
 - Een modellering van de definitieve situatie in de hoge waterstandperiode (met als doel om de diagnose van de stijging te maximaliseren);
 - Een modellering van de definitieve situatie in de lage waterstandperiode (met als doel om de perifere effecten als gevolg van de verlaging te maximaliseren);
 - Achteraf een retrofit-modellering van het model waarbij de piëzometrische waarnemingen en de werkelijke debietchronieken in aanmerking genomen worden zoals deze waargenomen worden na een jaar uitbating.

Inzake het ontwerp van de bemalings-/opvoerstations

- Controleren of het hydraulische ontwerp van de stations in voldoende opvangcapaciteit voorziet voor de afvoer van de opvoercircuits (in geval van stilstand, onderhoud of pech) zodat het afgevoerde water opgevangen kan worden en het pompen van het afvoerwater gehandhaafd kan worden gedurende een voldoende duur die bepaald moet worden naargelang de uitbatingsvereisten. Uit te voeren controle en in voorkomend geval integratie in het ontwerp.

Inzake de kwaliteit van het afgevoerde water en de behandeling van het afvoerwater:

- Minstens tweemandelijks een opvolging uitvoeren van de kwaliteit van het afgevoerde water **bij elk station tijdens behandelingsfase 1 (pilot-station)**. Door deze monitoringperiode moet het ontwerp en de grootte van het vervolgens uit te voeren station geobjectiveerd kunnen worden gelet op het feit dat de verontreiniging van het afvoerwater in het verlagingsregime niet bekend is. Deze opvolging moet betrekking hebben op de parameters die onderworpen zijn aan de afvoervergunning waaronder minstens: temperatuur, pH, elektrische geleidbaarheid, DBO5, DCO, COT, zwevende deeltjes, totale stikstof, totale fosfor, BTEX, minerale oliën, HAP, chloorhoudende solventen (waaronder tetrachloroethyleen en trichloroethyleen), zware metalen, nitraten.
- Gebruik van deze gegevens om een aangepaste behandeling voor te stellen in de **situatie van de definitieve behandeling – fase 2**; uitvoeringsstudie te onderwerpen aan Leefmilieu Brussel. Handhaving van het proces fase 1 (door aanpassing van de debieten), verlichting van het proces of versterking daarvan.
- Op basis van de opvolgingsresultaten van fase 1, de noodzaak bestuderen of voor de nitraten een specifieke behandeling nodig is.
- Een opvolging uitvoeren van de kwaliteit van het afgevoerde water naar elke uitmonding tijdens fase 2 volgens een minimale halfjaarlijkse frequentie van de lijst van parameters die aan de afvoervergunning onderworpen zullen worden.
- Ongeacht of het tijdens fase 1 of fase 2 is, monitoring van de werking van het zuiveringsstation van het afvoerwater door de monitoring van het ingangswater (zie hierboven) aan te vullen door een monitoring na elke zuivering.
- Onderhoud van de zuiveringsinstallaties: ontstopping van de zandfilters, afvoer van de afgescheiden koolwaterstoffen, opvolging van de verzadigingsstaat van de actieve koolstofkolommen, en in voorkomend geval vervanging van de patronen wanneer deze geperforeerd zijn.

Inzake de put in de nabijheid van station Vrede (waterwinning 5240)

- Identificatie van de eigenaar en gebruik van het kunstwerk;

- Zo nodig naargelang de situatie van het station en het gebruik van het terrein voor de werken, opheffingsprocedure (opvulling van de put volgens de regels van vakmanschap) en in voorkomend geval vergoeding van de eigenaar.

Inzake de impact op de waterhoudende laag van het Landenien:

In dit stadium van het project zijn er geen kunstwerken waarvoor een verlaging nodig is in de waterhoudende laag van het Landenien. De diepste kunstwerken beperken zich tot de formatie van Saint-Maur.

Het wordt echter aanbevolen om de afwezigheid van kunstwerken en/of verlagingen in de waterhoudende laag van het Landenien tijdens de uitvoeringsstudies van het project te bevestigen. Tijdens de aanvraag inzake de verlagingen dienen bewijsstukken ter bevestiging van de afwezigheid van impact op het Landenien eveneens aan Leefmilieu Brussel overlegd te worden.

Dit punt vereist bijzondere aandacht want geen enkele significante impact op het Landenien is toegestaan.

Inzake de bodemverontreiniging

- Een procedure opstellen voor de opvolging van de kwaliteit van de afgegraven grond tijdens de werkzaamheden.
- Attent blijven op de aanwezigheid van organoleptische verontreinigingssignalen (geur) tijdens de werkzaamheden en controle-analyses uitvoeren in geval van verdenking van verontreiniging.

6.4.7. Samenvattende tabel van de aanbevelingen

GRONDWATER	
Thema	Aanbevelingen
Grondwaterspiegel langs het tracé	Synthese / beschrijving van het bestaande piëzometrische netwerk–controle van de uitgeruste waterlagen en zo nodig uitvoering van nieuwe piëzometers (minstens clusters stroomopwaarts en stroomafwaarts van de stations en dekking van de weinig gedocumenteerde zones tussen de stations).
	Controle of de bestaande piëzometers beïnvloed kunnen worden door het door de werf gebruikte terrein en zo nodig deze vervangen. In voorkomend geval opheffing van de piëzometers volgens de regels van vakmanschap (cementering).
	Voortdurende monitoring met automatische loggers van alle piëzometers (voor, tijdens en na de werf in de definitieve situatie).
	Het verschil verduidelijken van de piëzometrische niveaus naargelang de bronnen (verschillende grondwaterpeilen ?)

Niet-verzadigde reserve mogelijk onvoldoende bij station Bordet.	Een dubbele piëzometer installeren (uitgerust op verschillende waterpeilen en monitoring van de peilen).
	Als de niet-verzadigde reserve onvoldoende blijkt, uitvoering bestuderen van een passage van het grondwater bij station Bordet om het optreden van een barrage-effect teniet te doen.
Barrage-effect	Bij gebrek aan een aanvullende studie om het risico van een stijging van het grondwater beter te beoordelen, inrichtingen voorzien voor een passage van het grondwater in combinatie met een piëzometrische monitoring.
Opvolging van de debieten	Voortdurende monitoring van de afvoerdebieten bij alle stations, tunnelsecties, tussenopvoerstations (2) en hoofdopvoerstations (2) - controle van het stabiele karakter, naast de seizoensschommelingen. In geval van eventuele afwijkingen, opsporing en oplossing van de oorzaak.
	Monitoring van de afvoerdebieten bij de uitmondingen (afvoerwater + regenwater).
Impact van de verlaging op de verzakkingen	De geotechnische methode verfijnen inzake de impact van de verlaging op de verzakkingen (Terzaghi is te behoudend) met een focus op de stations Riga en Linde, aan de rechtstreeks aangrenzende stroomafwaartse zijde. Op deze basis controleren of de verwachte verlaging een niet toelaatbare verzakking zou kunnen veroorzaken (> 20 mm).
	Als de toelaatbare drempel overschreden wordt, een lokale wateraanvulling voor de inrichting voorzien. Dit behelst een identificatie van de doelhorizon, de grootte van de inrichting naargelang de beschikbare plaats en een schatting van het optimale aanvuldebiet.
	Dimensionering en controle van de ontwerpparameters met behulp van de bestaande hydrogeologische modellering. Bepaling van het optimale debiet om de verlaging te beperken tot de drempelwaarde zonder een onaanvaardbare stijging te veroorzaken.
Terbeschikkingstelling van een tool voor de modellering voor prognose en opvolging.	Op basis van het bestaande model: verfijning van de kalibratie van het model op basis van de nieuwe piëzometers en tijdens het overgangsregime.
	Aanvullende modelleringen: definitieve situatie tijdens de perioden van hoog en laag water + modellering van de retrofitting van het model op basis van de werkelijk waargenomen debietgamma's.
Bemalings-/opvoerstations	Controleren of het hydraulische ontwerp van de stations in voldoende opvangcapaciteit voorziet voor de afvoer van de opvoercircuits (in geval van stilstand, onderhoud of pech) zodat het afgevoerde water opgevangen kan worden en het pompen van het afvoerwater gehandhaafd kan worden gedurende een voldoende duur. Zo nodig aanpassing van het ontwerp om rekening te houden met dit aspect.
Kwaliteit en behandeling van het afvoerwater	Uitvoering van een behandeling van het afgevoerde water voor een fase 1 - pilotstation, bij elke station, tijdens de werf en tijdens een eerste exploitatiejaar. Voorgestelde eenheidsprocessen: scheiding van koolwaterstoffen, filtering op zand of gelijksoortig materiaal en absorptie op actieve koolstof.

	<p>Minimaal tweemaandelijks opvolging van de kwaliteit van het afgevoerde water bij elk station tijdens deze pilotfase (fase 1). Bepaling van de ontwikkeling van de verontreinigingsbelasting. Opvolging van het behandelde water minstens op dezelfde frequentie + opvolging van de afstelling van het zuiveringsstation.</p> <p>Op basis van de opvolging tijdens fase 1, ontwerp van het uit te voeren definitieve station bij de hoofdopvoerpunten (uitsmondingsstation P5 en Linde). Minstens halfjaarlijkse uitvoering en opvolging.</p> <p>Op basis van de opvolging van fase 1, de relevantie bestuderen of voor de nitraten een specifieke behandeling nodig is in overleg met Leefmilieu Brussel.</p> <p>Voortdurend onderhoud van de zuiveringsinstallaties: ontstopping van de filters, afvoer van de koolwaterstoffen en het afval, vervanging van de actieve koolstofpatronen wanneer deze verzadigd zijn.</p>
Put voor huishoudelijke doeleinden in de nabijheid van station Vrede (opvang 5240)	Identificatie van de eigenaar, gebruik van het kunstwerk en zo nodig opheffings- en vergoedingsprocedure.
Ondergrondse leidingen	Over de 30 m aan weerszijden van het tunneltracé moeten alle waterleidingen van grijs gietijzer vervangen worden door leidingen van staal of PEHD. Deze wijzigingen moeten uitgevoerd worden voor het begin van de bouw van de tunnel.

6.4.8. Conclusie inzake de bodem en het water

Het project kan mogelijk een impact hebben op het grondwater op twee manieren:

- Door de aanwezigheid van de betonbekleding van de tunnel, maar ook de ombouw van het station en in het bijzonder de gegoten wanden. Deze elementen kunnen de natuurlijke stroming wijzigen van het grondwater en, in het ergste geval, een barrage-effect veroorzaken dat kan leiden tot een stijging van het grondwater aan de stroomopwaartse zijde.
- Door de daling van de grondwaterspiegel via het draineringsnetwerk van de tunnel en de stations.

Merk op dat de inplanting van de stations en de tunnel mogelijkwijze rondom **antagonistische bij elkaar opstapelende effecten kunnen veroorzaken**: enerzijds een **verlaging buiten de omheining** als gevolg van de drainering binnen de omheining en anderzijds een **barrage-effect met een stijging van het grondwaterpeil aan de stroomopwaartse zijde**.

Door een hydrogeologische 3D-modellering kon de impact van het project op het grondwater beoordeeld worden. Het totale door het kunstwerk (tunnels + stations) afgevoerde debiet werd geschat op circa 38 m³/u, met 97% (37 m³/u) als gevolg van de stations en slechts 3% (1 m³/u) als gevolg van de tunnel.

Uit de modellering is gebleken dat de maximale verlagingen (buiten de slibwanden) grenzen aan de noordelijke randen (stroomafwaarts) van de stations. Behalve voor de stelplaats van Haren schommelt het verschil tussen de stroomopwaartse en stroomafwaartse peilen tussen 0,4 en 1,8 m.

Wat betreft de uitbreiding van de verlagingszones kan men bij benadering uitgaan van de volgende afstanden voor wat betreft hun maximale uitbreiding dwars op de sectie:

Naar de stroomopwaartse zijde (zuid-oost):

- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 1 m bevindt zich op circa 400 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.5 m bevindt zich op circa 1000 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.1 m bevindt zich op circa 2000 m van de sectie

Naar de stroomafwaartse zijde (noord-west):

- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 1 m bevindt zich op circa 300 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.5 m bevindt zich op circa 800 m van de sectie
- De contourlijn van de verlaging van de grondwaterspiegel van 0.1 m bevindt zich op circa 1200 m van de sectie

Een aanvullende simulatie (scenario V2) werd uitgevoerd om het barrage-effect te beoordelen van de kunstwerken (met aanname van meer behoudende hypothesen ten aanzien van het barrage-effect). Uit de resultaten van deze simulatie blijkt een stijging van het grondwater aan de stroomopwaartse zijde (zuid). De orde van grootte van deze stijging blijft echter **zeer gematigd** en varieert van 0,3 m (Vrede, Verboekhoven) tot 0,7 m (Colignon, Riga, Linde, Bordet).

Het barrage-/verhogingseffect blijkt uitsluitend ter hoogte van de stations en lijkt zich zijwaarts te verspreiden daar de tunnelsecties niet neigen tot de vorming van een significante barrage (vrije doorgang van het grondwater onder de tunnels).

Het door BMN in haar modellering van de permanente drainage in aanmerking genomen zeer hoge statische niveau bij station Bordet leidt tot een barrage-effect dat aanleiding zou kunnen geven tot een stijging van het grondwater tot boven het maaiveld in de onmiddellijke omgeving van station Bordet aan de stroomopwaartse zijde. Ter herinnering zij opgemerkt dat volgens de verschillende door de aanvrager verstrekte bronnen, de statische peilen bij Bordet sterk van elkaar afwijken. Men kan derhalve geen onaanvaardbare stijging in deze zone uitsluiten, vandaar de noodzaak om aanvullende studies uit te voeren bij station Bordet (zie aanbevelingen).

Wat betreft de overige stations, hoewel op basis van de bestaande gegevens de niet-verzadigde reserve voldoende lijkt, inclusief vanuit een veiliger opzicht (modellering met de hypothesen V2), is de uitvoering van inrichtingen voor de passage van het grondwater in dit stadium niet uitgesloten. Er bestaat namelijk op dit moment geen maximaal toelaatbare drempel voor de stijging van de grondwaterspiegel. Deze beslissing wordt per geval beoordeeld door Brussel Leefmilieu, met name naargelang alle andere projecten dan de Metro-Noord en/of toekomstige projecten, die buiten het kader van deze studie vallen.

Het graven met een tunnelboormachine heeft geen (of zeer weinig) invloed op de grondwaterstand, omdat geen enkele verlaging nodig is tijdens het graven, in voorkomend geval vindt het werk van de tunnelboormachine plaats onder het grondwater.

Wat betreft de gerefereerde waterwinningen in de invloedzone van het project werd slechts één waterwinning geïnventariseerd rechtstreeks grenzend aan een van de stations, dit betreft waterwinning_5240 (Object_Id 372 – Id_kunstwerk 94) op circa 20 m van de hoofdbouw van station Vrede (Vredeplein). Deze waterwinning zal waarschijnlijk opgeheven moeten worden wegens de nabijheid daarvan ten opzichte van het station. De geschatte niveaus van de verlaging voor de overige geïnventariseerde waterwinningen in de invloedzone zijn bij eerste benadering niet van dien aard dat hun productiviteit aangetast wordt, dat hun uitbating bedreigd wordt of dat er correctieve maatregelen getroffen moeten worden.

Er werden 5 geothermische systemen geteld binnen de perimeter van de contourlijn van de verlaging van het grondwaterpeil van 0,1 m. Geen van deze systemen wordt significant beïnvloed door uitvoering van het project van de Noordmetro.

Wat betreft de bodemverontreiniging, wordt de tunnel gegraven op een gemiddelde diepte van 23 m. Deze grote graafdiepte beperkt sterk het gevaar voor de aanwezigheid van vervuilde grond:

- De aanwezigheid van vervuild vulmateriaal met zware metalen en PAK kan met name volledig uitgesloten worden.
- De aanwezigheid van vervuiling van de bodem met minerale oliën en BTEX kan eveneens redelijkerwijze uitgesloten worden wanneer de tunnel op een diepte van meer dan 15 m ligt bij semi-doorlaatbare formaties (formaties van Tielt en van Kortijk). Bij doorlaatbare formaties (formatie van Brussel en quartaire afzetting) en voor de minder diep gelegen secties kan het risico op vervuiling niet uitgesloten worden.
- Ten slotte is de aanwezigheid van vervuiling van de bodem met chloorhoudende solventen mogelijk over het gehele tracé. Chloorhoudende solventen kenmerken zich namelijk door een sterke dichtheid en hebben daardoor de neiging verticaal in de bodem te migreren. Verder kan de migratie van deze vervuiling bijzonder heterogeen zijn naargelang de doorlaatbaarheid van de bodem, wat "zakken" van vervuiling kan veroorzaken op min of meer grote afstanden van de vervuilsbronnen en op grote dieptes.

Wat betreft het beheer van de afgegraven grond van de tunnel, wordt het totale volume afgegraven grond geschat op +-472.000 m³. De valorisatie hangt af van de kwaliteit van de grond en van het gewest waar naartoe de grond wordt afgevoerd. In dit stadium van de studie is het onmogelijk om zich uit te spreken over dit onderwerp, want de aanvrager kan ons nog niet zeggen of de grond gevaloriseerd wordt in Brussel of elders in België (er zijn meerdere op te vullen sites van grote omvang in het Waalse gewest maar hoe is dat over enkele jaren) of geheel naar Nederland.

De aanvrager dient zich op het moment van de ontvangst van de offertes van de ondernemingen ervan te verzekeren of de stroomafwaartse keten operationeel is, dat zij over de installaties en infrastructuren van voldoende capaciteit beschikken en die gereguleerd zijn om de grond van metroterrein te beheren.

In het huidige stadium dient de aanvrager reeds te werken aan de juridische borging van de vereiste installaties en de mogelijke spelers in het beheer van deze grond.

Op het ingenomen bouwterrein van de tunnel hoeven geen ondergrondse leidingen of netwerken omgeleid te worden. Over de 30 m aan weerszijden van het tunneltracé moeten alle waterleidingen van grijs gietijzer vervangen worden door leidingen van staal of PEHD. Deze wijzigingen moeten uitgevoerd worden voor het begin van de bouw van de tunnel.

Er meerdere als gevoelig of zelfs zeer gevoelig geklasseerde kunstwerken geïdentificeerd langs het tracé van de tunnel (beschermde gebouwen, spoorwegen, ...).

De schattingen van de maximale verzakkingen werden vergeleken met de op het project toepasselijke criteria (20 mm absolute verzakking van de bestaande bebouwing, 10 mm voor de spoorlijnen). Volgens de uitgevoerde berekeningen, wordt het criterium van **20 mm nooit overschreden**. Die van **10 mm daarentegen wordt overschreden bij drie passages van de tunnel onder de spoorlijnen**, waarvoor derhalve compensatiemaatregelen nodig zijn.

De invloedstralen van de tunnel liggen tussen 20 m bij P0 en 38 m rond Verboekhoven. De berekende gemiddelde straal is 32 m.

6.5. Fauna en flora

Niet van toepassing in het kader van het boek over de tunnel.

6.6. Luchtkwaliteit

Niet van toepassing in het kader van het boek over de tunnel (zie Veiligheid voor de rook, zie Boek Station voor de luchtkwaliteit)

6.7. Energie

Het verbruik van de tractie-energie tijdens de uitbating van de toekomstige lijn werd geschat op basis van een door de MIVB voorgestelde methode, waarbij het gemeten verbruik tijdens het jaar 2019 gebruikt wordt bij de gelijkrichtinstallaties van een sectie van het bestaande netwerk met gelijksoortige eigenschappen.

Hiertoe werd de sectie van lijn 1 tussen de stations Mérode en Stockel gekozen, om de volgende redenen:

- Deze lijn wordt voornamelijk gebruikt door de metrorijtuigen M6 waarvan het verbruik vergelijkbaar is met die van de rijtuigen M7 die voor de toekomstige lijn gebruikt worden;

- De sectie Mérode-Stockel bevindt zich aan het einde van de lijn, net als de toekomstige lijn 3;
- De twee lijnen vertonen een gelijksoortig topografisch profiel, minder heuvelachtig dan de middensecties van het netwerk.

Vervolgens dient het verbruik van deze sectie Mérode-Stockel aangepast te worden naargelang:

- de **frequentie**: om de 5 minuten tijdens de spits voor de sectie Mérode-Stockel (12 voertuigen per uur), terwijl de doelstelling tegen 2030 3 minuten is voor de toekomstige lijn 3 (20 voertuigen per uur).
- de **afstand**: de toekomstige lijn is 4,5 km lang, terwijl de sectie Mérode-Stockel 6,5 km lang is.

Daarom werd de volgende verhouding toegepast

$$verbruik_{sectie\ Noord-Bordet} = verbruik_{sectie\ Merode-Stockel} \cdot \frac{d_{sectie\ Noord-Bordet}}{d_{sectie\ Merode-Stockel}} \cdot \frac{N_{vh\ Noord-Bordet}}{N_{vh\ Merode-Stockel}} = 8.660.000\ kWh$$

Waarbij:

- $verbruik_{sectie\ Noord-Bordet}$: verbruik van de sectie Noord-Bordet, geschat op 7.500.000 kWh (som van het verbruik van de gelijkrichtinstallaties Pauwels, Ombrages, Groenberg, Saint-Luc en Saint-Luc Recup), inclusief het verbruik van hulpvoorzieningen (7.000.000 kWh exclusief hulpvoorzieningen);
- $d_{sectie\ Noord-Bordet}$ en $d_{sectie\ Merode-Stockel}$: afstanden van de secties Noord-Bordet en Merode-Stockel ;
- $N_{vh\ Noord-Bordet}$ en $N_{vh\ Merode-Stockel}$: aantal voertuigen per uur dat over de secties Noord-Bordet en Merode-Stockel rijdt.

Inclusief de hulpvoorzieningen bedroeg het totale tractieverbruik exclusief stelplaatsen 86.000.000 kWh in 2019. Uitgaande van de hypothese van een constante evolutie van dit verbruik tegen het jaar 2030, is het extra verbruik als gevolg van de uitbating van de sectie Noord-Bordet circa 9% van het verbruik van het netwerk.

Uitgaande van een scenario van één metro om de 2 minuten in 2040 tijdens de gehele exploitatie, wordt het verbruik voor de uitbating van de sectie Noord-Bordet geschat op 13.000.000 kWh. Dit keer uitgaande van een drukker gebruik tijdens de spitsuren (om de 1,5 minuut gedurende 2 maal 2 uur) stijgt dit verbruik tot 15.600.000 kWh.

6.7.1. Terugwinning van de remenergie

De stroom wordt geleverd op 900 V en als gelijkstroom door een aparte rail, vaak de "derde rail" genoemd. De derde rail wordt tussen de hoofd rails geplaatst en bevindt zich buiten de bundel - hetzij links, hetzij rechts, naargelang de externe omstandigheden (aanwezigheid van wissels, aanwezigheid van een dienstweg,...)

Het elektrische contact tussen de metro en de derde rail vindt plaats door een collector, door de MIVB ook wel sleepstuk genoemd. De afname tussen het sleepstuk en de derde rail vindt van onderuit plaats. Dit verhoogt de veiligheid voor de arbeiders door de bevestiging van een isolerende overkapping over de derde rail.

Het sleepstuk bevindt zich aan elke zijde van de metro om de stroom van de derde rail op te nemen. Het contact tussen het sleepstuk en de derde rail vindt plaats via een veersysteem in het sleepstuk. Dankzij hellingen in de derde rail kunnen de sleepstukken van de metro eenvoudig de derde rail verlaten en geleidelijk overgaan op de volgende.

De wielen zijn voorzien van een elektrische geleider zodat de stroom er doorheen kan om de hoofdrails te bereiken.

De metro's rijden door middel van een elektromotor die gevoed wordt door substations langs de sporen via de derde rail die alle verschillende lijnen van het netwerk bestrijkt. De meest recente rijkstrijtuigen kunnen elektrisch remmen. Dankzij deze technologie kan de kinetische energie van het voertuig teruggewonnen en omgezet worden in elektriciteit.

Het algemene principe bestaat in eerste instantie uit het hergebruik van de teruggewonnen energie voor de voeding van de hulpvoorzieningen (verwarming, airconditioning, schermen, ...) en de resterende energie terug te sturen naar het netwerk zodat een ander voertuig in de nabijheid het kan gebruiken tijdens een acceleratiefase.

Deze energie-overdracht tussen metro's hangt af van verschillende parameters, zoals de dichtheid van het verkeer, de afstand tussen de stations, de topografie, ... Het vertegenwoordigt circa 20 tot 30% van het totale verbruik.

Er bestaan meerdere systemen voor de terugwinning van de remenergie:

- De boord-opslagsystemen:** indien het niet gebruikt kan worden door een ander voertuig, wordt de remenergie doorgezonden naar een opslagsysteem dat verbonden is met het voertuig (doorgaans op het dak) en voedt het dit wanneer een ander voertuig in acceleratiefase zich niet in de nabijheid bevindt. De opslagen energie voedt in dat geval het voertuig tijdens latere acceleratiefasen of de hulpvoorzieningen daarvan.
- De **vaste opslagsystemen:** deze bevinden zich langs de sporen en maken het mogelijk de energie van de voertuigen tijdens remfasen op te vangen en dit door te geven aan voertuigen in acceleratiefasen;
- De vaste systemen met doorgifte aan het netwerk:** de opgevangen energie wordt niet opgeslagen, maar opnieuw naar het netwerk geleid zodat het gebruikt kan worden voor andere toepassingen, zoals de apparatuur van de stations. Het betreft in dit geval een omkeerbaar substation, die het mogelijk maakt om de opgevangen gelijkstroom om te zetten in wisselstroom die gebruikt kan worden voor de voeding van deze apparatuur, ...

Elk systeem heeft voordelen en nadelen.

Het vraagstuk inzake de terugwinning van de remenergie werd tussen 2010 en 2014 in overweging genomen door de MIVB, met name tijdens het Europese project Ticket to Kyoto om de CO₂ uitstoot van het openbaar vervoer te verminderen.

Bij de MIVB kunnen alle metrorijkstrijtuigen de remenergie terugwinnen, welk vermogen groter is bij de meest recente M6-rijtuigen van de Spaanse fabrikant CAF.

De technologie van de **vaste systemen met doorgifte naar het netwerk** werd onderzocht door de MIVB: hoewel het complexer is om uit te voeren, werd de teruggave van de opgevangen energie aan het 11 kV netwerk met behulp van een substation interessant en rendabel geacht. De MIVB beschikt namelijk over zijn eigen elektrische distributie- en transformatienet. Naar aanleiding van theoretische simulaties werd een oproep om prototypes gestart. In 2016 werd begonnen met tests op ware grootte na de plaatsing van 7 omkeerbare substations op het bestaande netwerk naargelang de beschikbare ruimte. De bestaande stroomnetten werden namelijk niet ontworpen om rekening te houden met een eventuele terugwinning van energie. Bovendien werd het gehele potentieel niet geëxploiteerd, daar de gekozen plaatsen bepaald werden om de terugwinning te maximaliseren ten opzichte van de kosten en de prestaties.

Als gevolg van een brand van een daarvan eind 2017, werden alle 7 omkeerbare substations uitgeschakeld en werd de testfase tot op heden opgeschort.

Volgens de van de MIVB verkregen informatie kon de teruggewonnen energie door een omkeerbaar substation gemeten worden tijdens deze testfase en bedroeg dit tussen 809 en 1533 kWh per dag. Op basis van deze waarden kan men de jaarlijkse besparing schatten op circa 2.100.000 kWh tot 3.900.000 kWh. Dit vertegenwoordigt tussen 2 en 4% van het verbruik voor de tractie (die 93.000.000 kWh bedroeg in 2017, het jaar waarin de tests werden uitgevoerd). Deze cijfers weerspiegelen echter niet het gehele potentieel van het volledige netwerk, want slechts 7 substations werden uitgevoerd.

Voor de toekomstige lijn kunnen er omkeerbare substations geïnstalleerd worden, mits de benodigde ruimte voor hun plaatsing en aansluiting voorzien zijn in de stations. Het benodigde oppervlak van dergelijke substations bedraagt circa 2 x 4 m. De installatie van een dergelijk substation voor de opvang van de energie van de toekomstige lijn bij de stelplaats kan niet in overweging genomen worden. Om het hoogste niveau van elektrische veiligheid te garanderen, beschikt deze over zijn eigen tractie-substation, dat elektrisch onafhankelijk is van de rest van het netwerk.

Overigens zal de winst met betrekking tot een degelijke terugwinning waarschijnlijk afnemen in de toekomst: het remmen van de metrorijtuigen zal namelijk nog meer geoptimaliseerd worden door de automatisering van de metro en de verminderde verliezen daardoor.

Ten slotte werd de **terugwinning van de energie en doorgifte daarvan aan een metro in de acceleratiefase** van de hand gewezen omdat dit niet gemakkelijk uitgevoerd kan worden bij een netwerk als dat van de MIVB. Omdat dit netwerk elektrisch sterk gesegmenteerd is, bevinden de metro's zich vaak alleen op hun tussen-station, waardoor de doorgifte naar andere voertuigen onmogelijk is.

6.7.2. Geothermisch potentieel

De bouw van tunnels kan een niet te verwaarlozen geothermisch potentieel met zich meebrengen. De thermische activering van ondergrondse structuren, zoals weg- of spoortunnels, die een breed contactvlak hebben met de ondergrond is onlangs in de gehele wereld breder in de belangstelling komen te staan.

Dit soort systemen die ook wel hydride systemen genoemd worden bestaat uit de installatie van **geothermische absorbers** in de wand van de tunnels (gesloten kringen waar een warmtegeleidende vloeistof doorheen stroomt).

Hoewel het aantal tunnels waarin deze toepassing geïnstalleerd is tot op heden beperkt is (voornamelijk in Duitsland en Oostenrijk) wordt in dit gedeelte ter informatie aan de hand van enkele voorbeelden de feedback uiteengezet en de in het buitenland verworven bepalende factoren van dit soort toepassingen of experimenten.

6.7.2.1. FEEDBACK 1: Experimenten in Duitsland (Buhmann & Al, 2016)

In Duitsland werden als experiment tunnelsecties geothermisch geactiveerd⁹ in Jenbach en in Stuttgart-Fasanenhof.

In Stuttgart vindt het transport van de warmte in de bodem voornamelijk plaats door geleiding in de bodem-water matrix terwijl in Jenbach het transport van de warmte in de bodem plaatsvindt door convectie dankzij een hogere circulatiesnelheid van het grondwater.

Comparison between Jenbach and Stuttgart tunnels.

General	Tunnel Jenbach	Tunnel Stuttgart
Utilization	Railway tunnel	Metro tunnel
Tunnel length	3470 m	380 m
Excavated section	134 m ²	72 m ²
Construction method	Mechanically driven	Mined tunnel
Absorber system		
Absorber pipes	4700 m $d = 25$ mm	800 m $d = 25$ mm
Activated area	2200 m ²	360 m ²
Section activated	54 m tunnel	2 blocks with 10 m each

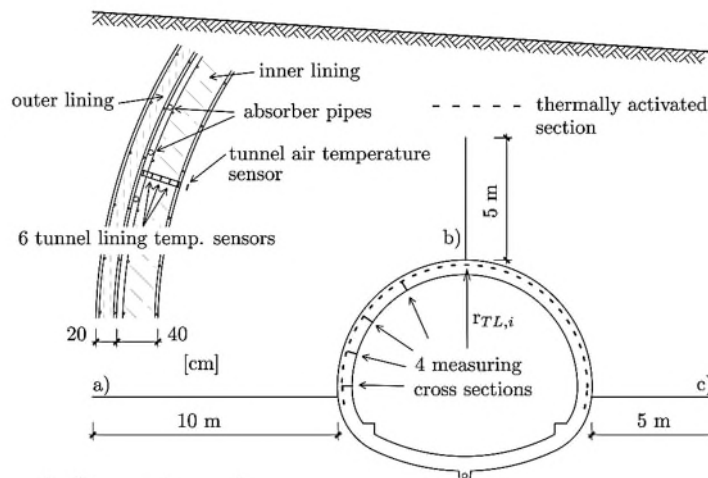
Tabel 36: Vergelijking van de geothermische activeringsexperimenten van de tunnels van Jenbach en Stuttgart (Buhmann & Al, 2016)

Voor de tunnel van Stuttgart bijvoorbeeld bestaan de absorbers uit PE-slangen (25 / 23 mm) die in een gesloten lus bevestigd zijn tussen de bekledingen van de binnen- en buitenzijde van de tunnel. 800 m slang werd gebruikt voor de uitrusting van 360 m² bekleding.

⁹ Buhmann, Moormann, Westrich, Pralle, Friedemann 2016; *Tunnel Geothermics – A German experience with renewable energy concepts in tunnel projects*, Geomechanics for Energy and the Environment, 8, 1-7



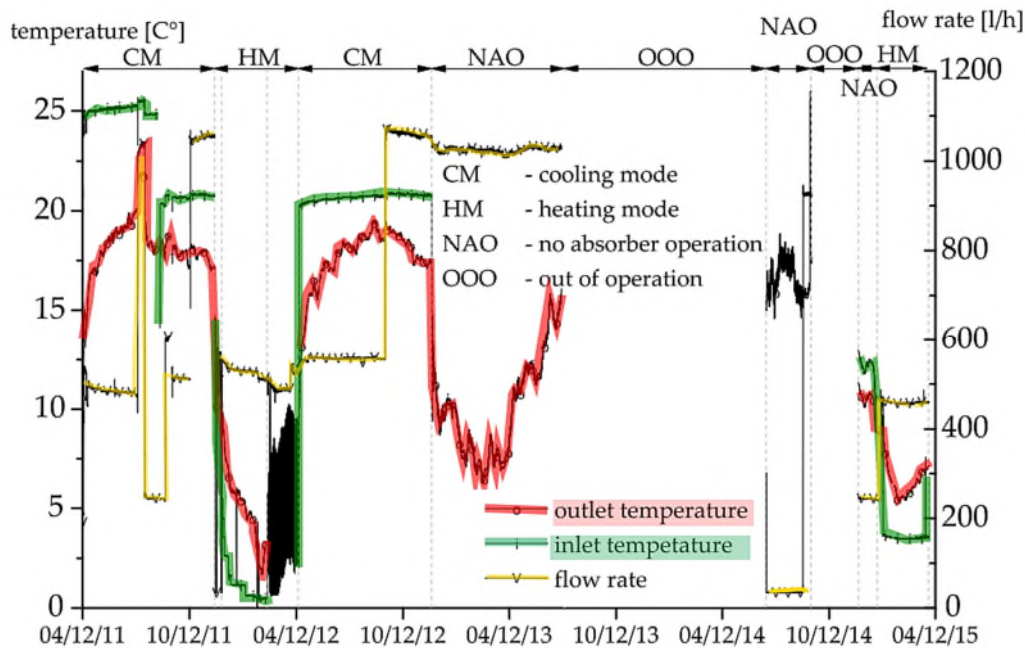
Figuur 102: Absorptieslangen bevestigd aan de buitenbekleding van de tunnel (Buhmann & AI, 2016)



Figuur 103: Installatie van de monitoring: dwarsdoorsnede en detail van de geactiveerde bekleding (Buhmann & AI, 2016)

Deze lussen zijn verbonden met slangen met een diameter van 50 mm en aangesloten op een systeem van warmtepompen.

Het systeem kan werken in de verwarmingsmodus in de winter (HM) en in de koelmodus (CM) in de zomer. In de verwarmingsmodus (HM: heating mode) bedraagt de uitgangstemperatuur van de lussen circa 3 tot 5°C meer dan de ingangstemperatuur, die in dit deel van het jaar het laagst zijn. In de koelmodus (CM: colling mode) bedraagt de uitgangstemperatuur van de lussen circa 3 tot 9°C minder dan de ingangstemperatuur, die rond de 20-25°C ligt.



Figuur 104: Tunnel-Fasanenhof: overzicht van de operaties (Buhmann & Al, 2016)

Samenvattend blijkt dat bij alle geteste functioneringswijzen de waargenomen dichtheid van de thermische stromen volgens de verschillende proeven tussen **5 tot 30 W/m²** ligt. De auteurs zijn van oordeel dat door het systeem te optimaliseren en uitgaande van een realistische vraag naar warmte en koude, de thermische extractie nog verhoogd kan worden. De auteurs benadrukken echter dat tijdens de uitrol van installaties met een vermogen van meer dan 30 kW, rekening gehouden moet worden met effecten die van invloed kunnen zijn op een temperatuurverandering van de ondergrond en die verlicht kunnen worden door geschikte operationele condities.

*Om ter vergelijking een orde van grootte aan te geven voor het project van de Metro Noord: uitgaande van 3800 m tunnel (scenario enkele buis) met een binnendiameter van 8,90 m die over 2/3 van zijn perimeter actief zou zijn, wat neerkomt op een theoretisch activeerbaar oppervlak van circa 70.000 m² en met dezelfde ratio als hierboven, komt men uit op een theoretisch thermisch vermogen tussen de **0,35 à 2,1 MW** naargelang de functioneringswijze (piek of basis) en dat nog verhoogd kan worden naargelang de operationele condities.*

6.7.2.2. FEEDBACK 2: Modellerings van de warmte-overdracht door convectie - metrotunnel van Lausanne - EPFL (Peltier & Al, 2016)

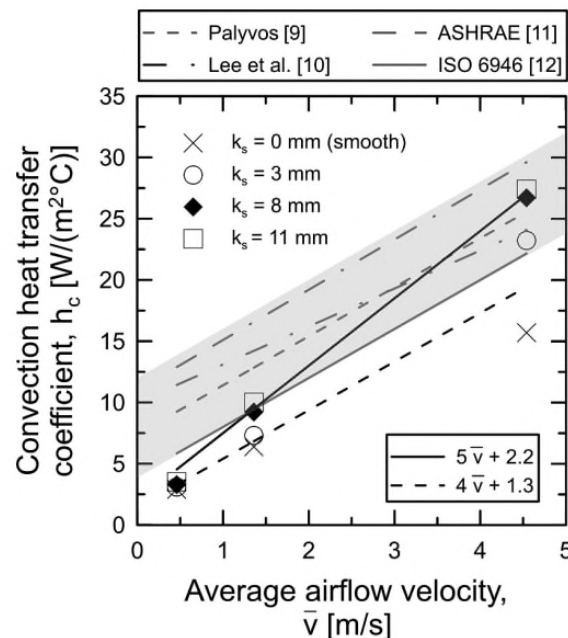
In Zwitserland hebben onderzoekers van het EPFL (Peltier & Al, 2019)¹⁰ zich toegelegd op de kwantificering van de warmte-uitwisseling in een tunnel door hun berekening toe te passen op de toekomstige metrolijn M3 van Lausanne en hebben zij de energiebesparing geschat voor

¹⁰ Peltier, Rotta Loria, Lepage, Garin, Laloui, 2019 ; *Numerical investigation of the convection heat transfer driven by airflows in underground tunnel*, Applied Thermal Engineering, 159 (2019) 113844 <https://www.enerzine.com/un-tunnel-de-metro-converti-en-source-denergie-geothermique/28075-2019-07>

de stad als de tunnel uitgerust zou worden met een geothermisch activeringssysteem.

Het procedé is gebaseerd op de activering van de tunnelbekleding door een serie lussen van PE-slangen, verbonden aan een of meer warmtepomp(en).

Wanneer in een metrotunnel de metro remt of versnelt, ondergaat de tunnel een warmtepiek. Deze warme lucht vermengt zich met de natuurlijk in de tunnel aanwezige lucht en de warmte van geothermische oorsprong. Het onderzoek had tot doel om een nauwkeurige schatting te maken van de door de thermische convectie aangevoerde warmte in de thermische absorbers naargelang de stroomsnelheid van de lucht in de tunnel, de ruwheid van de bekleding, enz... Op de volgende Figuur wordt ter informatie het verband aangegeven tussen de thermische overdrachtscoëfficiënt door convectie, zoals berekend, en de stroomsnelheid van de lucht bij verschillende ruwheden van de bekleding.



Figuur 105: Correlatie tussen de thermische overdrachtscoëfficiënt door convectie en de stroomsnelheid van de lucht in de tunnel (Peltier & Al, 2019)

In de gesloten lussen stroomt een warmtegeleidende vloeistof. Tijdens de winter treedt er koud water in het systeem dat verwarmd wordt door een thermische uitwisseling en wat teruggevoerd wordt in het verwarmingscircuit. In de zomer wordt het systeem omgekeerd: warm water, afkomstig van de te koelen ruimten, wordt in de lus gevoerd en gekoeld door de thermische uitwisselingen. Het systeem heeft het voordeel dat het warmte kan opslaan en wanneer nodig in de woningen kan restitueren.

Het Peltier-team schat dat bij een activering van 50 tot 60% van het geplande tracé voor de metro van Lausanne, circa 60.000 m² van de tunnel geactiveerd zou kunnen worden met dit geothermische systeem (zelfde orde van grootte als het project van de Noordmetro) dat circa 1.500 standaard appartementen van gemiddelde grootte van 80 m² of 4.000 Minenergie-appartementen (geoptimaliseerde energetische voorziening) zou kunnen voeden. Zij schatten dat het systeem 80% van de energetische behoeften zou kunnen dekken, waarbij de resterende behoefte aangevuld moet worden door een andere energiebron. Dit

investeringsstype heeft een levensduur van 50 tot 100 jaar; alleen de warmtepompen moeten om de 25 jaar vervangen worden.

*Uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse behoefte voor verwarming van 8.000 kWh/jaar (gas) voor een traditioneel appartement van 80 m², een dekking van 80% door het geothermische activeringssysteem en een jaarlijkse verwarmingsduur van 5.500 uur, kan hieruit een gemiddeld vermogen in de verwarmingsmodus herleid worden van circa 1,8 MW. Dit zou overeenkomen met een dichtheid van de theoretische thermische stroming van circa **30 W/m² tunnel** (overeenkomstig de Duitse experimenten).*

De vermindering van de uitstoot wordt geschat op 2 miljoen ton CO₂ per jaar, in vergelijking met een verwarmingssysteem op gas.

Wanneer deze orde van grootte toegepast wordt op de Noordmetro, kan bij eerste benadering en naar analogie van de schattingen van EPFL, het theoretische potentieel op de volgende wijze geschat worden voor het gehele tracé:

- Activeerbare lengte: 3800 m
- Diameter: 8,9 m – Uitgeruste perimeter over 2/3 van zijn lengte
- Activeerbaar oppervlak: 70.000 m²
- Theoretische dichtheid van de thermische stroming: 30 W/m²
- Gemiddeld thermisch vermogen: 2,10 MW
- Jaarlijkse thermische levering voor 5500 uur verwarming: circa 11,6.10⁶ kWh/jaar

Uitgaande van een verbruik voor verwarming van circa 100 kWh/m².jaar en om een orde van grootte vast te stellen, komt dit theoretisch neer op de verwarming van een woonoppervlak dat geschat wordt op 116.000 m² of 1200 woningen van 100 m² in de veronderstelling van een dekkingsgraad van 100% (gemaximaliseerde schatting).

6.7.2.3. FEEDBACK 3: Ontwerp van geothermische tunnelsecties in Engeland (Crossrail, London) (Nicholson & Al, 2014)

Nicholson & Al (2014)¹¹ gaan uit van de vaststelling dat een grote hoeveelheid warmte geproduceerd wordt door de metro's, met name tijdens het remmen, het stoppen en de herstart op de stations. Traditioneel wordt een grote hoeveelheid energie gebruikt voor de ventilatie en wordt de mogelijkheid om de onttrokken warmte te gebruiken in de gebouwen aan de oppervlakte verwaarloosd.

Tunnelsegmenten waarvan de bekleding uitgerust wordt met warmtewisselaars (absorbers) zouden een alternatieve oplossing kunnen bieden om de tunnels en omsloten ruimten te koelen en warmte te leveren aan de aangrenzende gebouwen.

Deze oplossing biedt tevens een voordeel dat het verbruik voor de ventilatie verminderd kan worden.

¹¹ Nicholson, Chen, de Silva, Winter, Winterling, 2014 ; *The design of thermal tunnel energy segments for Crossrail, UK, Energy Sustainability*, Volume 67, Issue ES3, ICE Publishing

De auteurs stellen vast dat honderd jaar geleden de temperatuur in de tunnel constant circa 15°C bedroeg. Gedurende een eeuw is de omringende bodem niet in staat geweest om de fatale warmte die afgegeven wordt door de treinen bij talrijke ondergrondse lijnen te absorberen, zodat de temperatuur gestegen is en thans vaak in sommige secties meer bedraagt dan 30°C. In de toekomst zullen de klimaatveranderingen deze tendens nog versnellen.

De auteurs maken een eerste schatting van de door de motoren en de airconditioningssystemen van de treinen afgegeven warmte. Hun schatting betreft een dubbele buissectie tussen Whitechapel en Abbey Wood in Londen (spoorlijn 118).

Het schattingsvoorbeeld wordt hierna aangegeven voor een illustratie van de methode en de orde van grootte op basis van:

- Lengte van de sectie: 21 km
- Feitelijke lengte (dubbele buis): 42 km
- Tijdens de spits:
 - 24 treinen/uur, d.w.z. een trein om de 2,5 min
 - uitgaande van een gemiddelde snelheid van 60 km/u, duurt het 21 min om het traject af te leggen en het aantal treinen in de tunnel tijdens de spits bedraagt $21 / 2,5 = 8,4$ treinen
 - uitgaande van een door de motor en het remmen afgegeven thermisch vermogen van 1 MW en door de airconditioningssystemen van 0,1 MW, wordt het gegenereerde thermische vermogen door 8,4 treinen geschat op $1,1 \text{ MW} \times 8,4 = 9,2 \text{ MW}$
 - uitgaande van een tunneldiameter van 6,2 m, bedraagt het totale oppervlak van de bekleding 410.000 m² en kan het beschikbare thermische vermogen van de bekleding tijdens de spits geschat worden op $9,2 \text{ MW} / 410.000 \text{ m}^2 = \mathbf{22 \text{ W/m}^2}$ bekledingsoppervlak
- Op wekelijkse basis:
 - 14 treinen/uur
 - Gemiddeld thermisch vermogen ter hoogte van de bekleding: $22 \text{ W/m}^2 \times 14/24 = 13 \text{ W/m}^2$

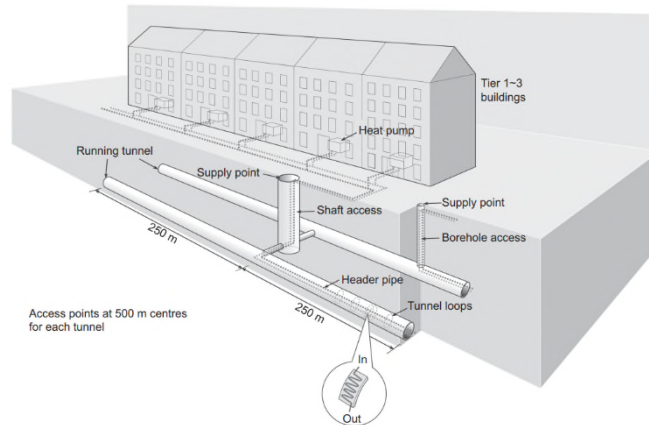
Aan dit vermogen dient de door het remmen en het omringende terrein geleverde warmte toegevoegd te worden. In totaal gaan de auteurs uit van een thermisch vermogen dat kan variëren van **7 W/m² in de basissituatie tot 30 W/m² tijdens de verkeerspieken.**

Op basis van deze berekeningen schatten de auteurs dat een tunnelsectie van 500 m in staat moet zijn te voldoen aan de thermische vraag van 100 gezinsappartementen met een totale vraag van 1200 MWh/jaar voorzien door een warmtepomp van 400 kW aangevuld met een verwarmingsketel van 400 kW. Het door het geothermische systeem over de sectielengte van 500 m afgegeven verwarmingsvermogen wordt geschat op 70 kW in de basissituatie en op 300 kW tijdens de spits. Uitgaande van een totale lengte van 2 x 21 km, komt dit neer op een geëxtrapoleerd verwarmingsvermogen voor 8400 gezinnen, op basis van de in aanmerking genomen ratio's.

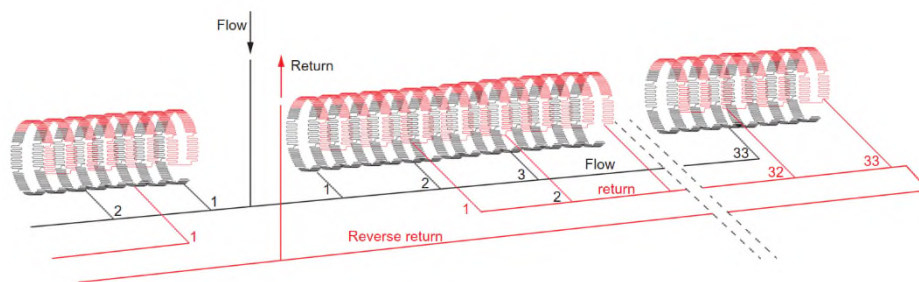
Uit deze methode blijkt dat het beschikbare vermogen afhangt van de verkeersdrukke in de tunnel en dus varieert tijdens de spits of de basisperiode. De dimensionering van het systeem

dient rekening te houden met dit aspect, maar ook met de "monotone" kromme van de thermische behoeften (dat wil zeggen spreiding van het vereiste vermogen naargelang het aantal dagen en van de temperatuurdistributie).

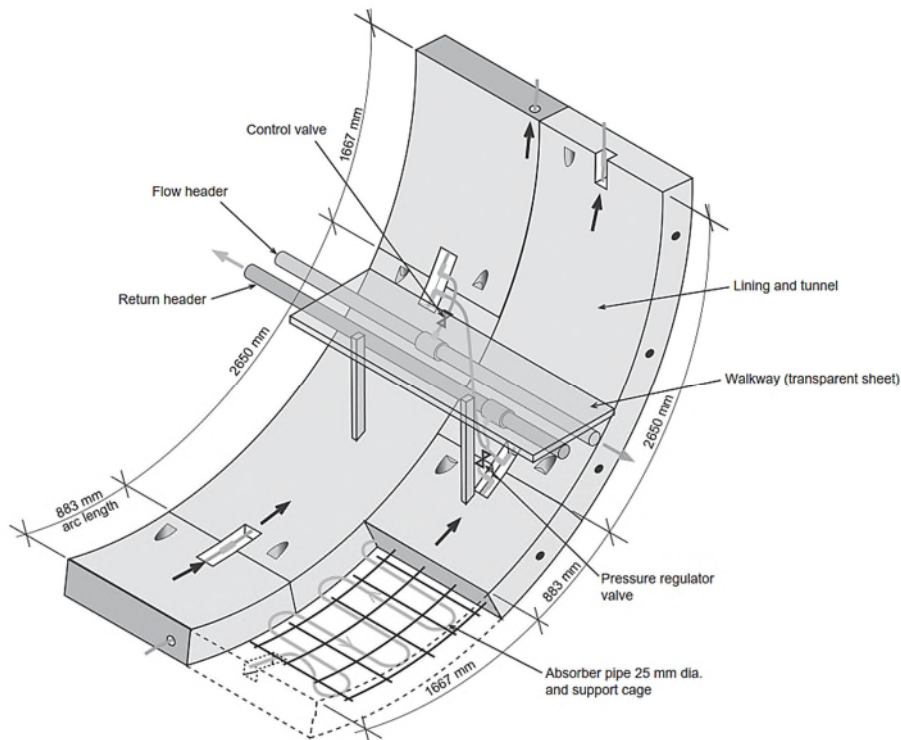
Op de volgende Figuren wordt een schematisch ontwerp van het systeem weergegeven:



Figuur 106: Principeschema van een geothermisch tunnelsegment (Nicholson, 2014)



Figuur 107: Principeschema van de flow/return aansluitingen (Nicholson, 2014)



Figuur 108: Ontwerp van een sectie met geothermische absorber (Nicholson, 2014)

Wat betreft de gebruikers, werd in het geval van Londen een inventaris opgesteld van de gebouwen langs het tracé en die gebruik zouden kunnen maken van de levering van geothermische warmte. De inventaris werd overgenomen op een GIS volgens twee selectiecriteria:

1. het bestaan van een toereikende vraag naar warmte om de aansluiting op het systeem te rechtvaardigen; De gebouwen werden ingedeeld naargelang hun jaarlijkse thermische vraag: 600 MWh/jaar, 1200 MWh/jaar, 1800 MWh/jaar en 2400 MWh/jaar
2. een thermisch vraagprofiel dat geschikt is voor een efficiënt gebruik van de warmtepompen, dat wil zeggen een voldoende stabiele thermische basisvraag

Op grond van deze criteria konden er 3 klassen van de gebouwen aangeduid worden:

- **Tier 1:** de meest geschikte gebouwen: hotels, grote wooncomplexen, ziekenhuizen,...
- **Tier 2:** de matig aangepaste gebouwen: scholen, openbare bibliotheken, musea,...
- **Tier 3:** weinig aangepaste gebouwen: kantoren, recreatiecentra, winkels,...

Op deze basis werden er in Londen 365 gebouwen geteld met een thermische vraag van meer dan 600 MWh/jaar op een afstand van minder dan 100 m van het tracé. In deze inventaris van potentiële gebruikers vallen 34 gebouwen onder tier 1, 4 gebouwen onder tier 2 en 327 gebouwen onder 3.

Door middel van deze studie konden de mogelijke aansluitpunten op het geothermische netwerk bepaald worden en de zones waar een verhoging van de grootte van de thermische absorbers beoogd zou moeten worden.

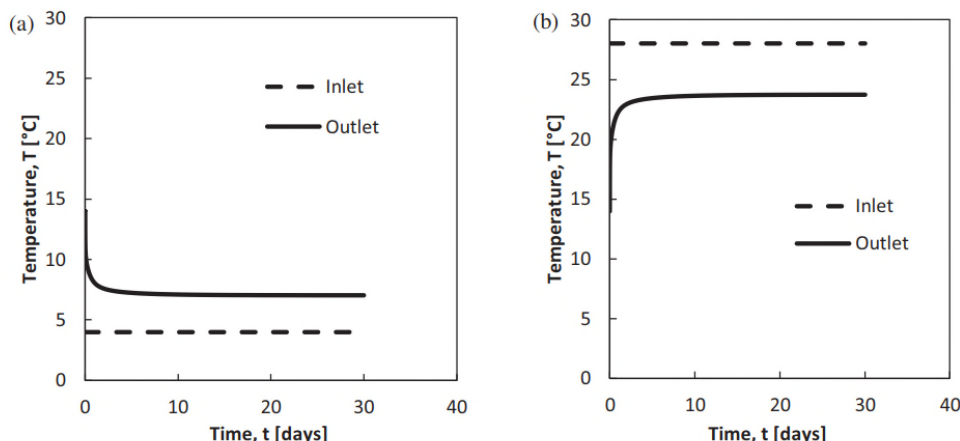
Uit deze studie blijkt dat de haalbaarheid en de relevantie van een dergelijk geothermisch systeem bovenal afhangt van de positie en de aard van de gebruikers in de nabijheid van het tracé.

6.7.2.4. FEEDBACK 4: Modellering van de geothermische valorisatie van een metrosectie in Turijn, Italië (Barla & Al, 2016)

Barla & Al¹², 2016, zijn in het kader van een haalbaarheidsstudie overgegaan tot de modellering van de geothermische activering van een sectie van 1350 m van de metrolijn 1 van Turijn met een gebruik voor verwarming en voor koeling. De voor de activering voorgestelde sectie maakt deel uit van de uitbreiding (1,9 km met 2 stations) van het reeds bestaande netwerk van 13,4 km en 21 stations.

Uit de modellering blijken de potentiële goede prestaties wat betreft de thermische stroming voor deze tunnelsectie, volgens de condities van de modellering.

Bij een temperatuur van de bodem van 14°C, een ingangstemperatuur in het systeem van 4°C in de winter en 28°C in de zomer, zou de Δt (t outlet – t inlet) variëren tussen + 1,4 en 4°C in de winter en -1,9 tot - 4,3°C in de zomer volgens de stroomsnelheid van de vloeistof in de thermische lussen.



Figuur 109: Ingangs- en uitgangstemperaturen in de winter en zomer (Barla & Al, 2016)

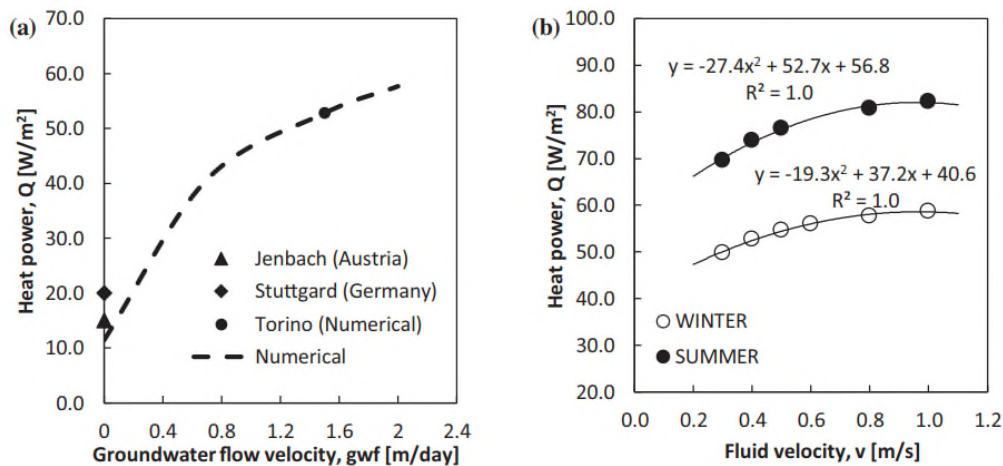
Het ontwikkelde vermogen van het systeem hangt af van de stroomsnelheid van de vloeistof in de lussen. Bij een snelheid van 0,4 m/s wordt het vermogen in de verwarmingsmodus geschat op **53 W/m²** en het vermogen in de koelmodus op **74 W/m²**.

Season	Total extracted/injected power, Q [kW]	Extracted/injected power per square meter, Q [W/m ²]	Extracted/injected power per meter of tunnel, Q [W/m]
Winter	1.67	52.76	1193.42
Summer	2.34	73.87	1670.81

Figuur 110: Vergelijking van het onttrokken en ingevoerde calorische vermogen in de winter en de zomer (Barla & Al, 2016)

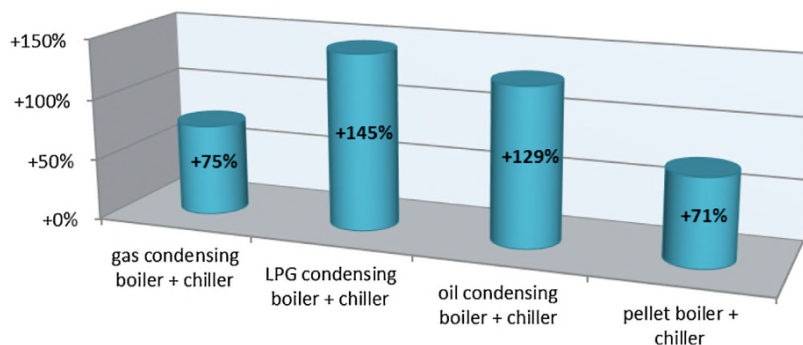
¹² Barla, Di Donna, Perino, 2016 ; *Application of energy tunnels to an urban environment*, Geothermics 61 (2016), 104-113

Merk op dat in vergelijking met de waargenomen waarden in de andere voorbeelden (bijvoorbeeld Jenbach en Stuttgart) het gevaloriseerde vermogen hier hoger is. De belangrijkste door de auteurs hiervoor verstrekte reden is dat de stroomsnelheid van het grondwater loodrecht op het tracé hoger is en gunstiger voor een hogere thermische aanvulling van de bodem wat de energetische doelmatigheid verbetert. Merk op dat deze stroomsnelheid van het water overigens afhangt van de verlaging van het grondwaterpeil tijdens de uitbatingsperiode.



Figuur 111: Effect van de snelheid van het grondwater en de snelheid van de vloeistof in de lus op de energetische doelmatigheid (Barla & Al, 2016)

De auteurs hebben verder de operationele exploitatiekosten van het geothermische systeem vergeleken voor de sectie van 1350 m met de volgende door het warmtepompsysteem afgegeven vermogen: 2,8 MW bij verwarming (met COP: 4) en 3,8 MW bij koeling (met EER: 5) in vergelijking met traditionele warm-koud thermische systemen. Volgens hun schatting zouden de operationele exploitatiekosten van de traditionele systemen tussen 75 en 145% hoger zijn dan de operationele kosten van het systeem met een geothermische activering.



Figuur 112: Besparing (%) van de operationele kosten van de geothermische activering in vergelijking met traditionele systemen (Barla & Al, 2016)

Zij schatten tevens dat de uitvoering van het geothermische activeringssysteem aanleiding zou geven tot extra investeringskosten van slechts 0,78% ten opzichte van de kosten van de bouw van de tunnel. De paybackperiode van de extra kosten wordt door deze auteurs geschat op 5 jaar.

6.7.2.5. Conclusies inzake het geothermische potentieel van het project

Uit deze 4 voorbeelden blijkt dat een geothermische activering van de tunnels in kader van het project Metro Noord mogelijk een significant economisch en milieukundig potentieel biedt. Potentieel zou dit kunnen leiden tot een vermindering van de energetische verwarmingskosten van de stations zelf of de gebruikers van warmte of koude, evenals een vermindering van de CO₂-uitstoot.

Bij eerste benadering en naar analogie van de andere situaties, wordt geschat dat het project een verwarmingspotentieel kan hebben voor 1200 woningen van 100m² in de veronderstelling van een dekkinggraad van 100%. In de praktijk dient de dekkinggraad geschat te worden op basis van een economische studie.

Merk echter op dat de relevantie van een dergelijke activering bovenal afhankelijk is van het bestaan van gebruikers op beperkte afstand van het tracé (idealiter binnen een perimeter van 100 m aan weerszijden). De meest geschikte gebruikers zijn die waarvan de thermische vraag voldoende hoog en stabiel is over het gehele jaar. Wat dit betreft dient ook de vraag naar warmte en koeling voor de stations zelf in aanmerking genomen te worden.

In dit kader wordt een ruimtelijke inventaris (GIS) van de gebruikers lang het tracé van de Metro Noord aanbevolen wat de eerste haalbaarheidsfase zou zijn om de relevantie van een dergelijke ontwikkeling te beoordelen.

Merk op dat naargelang de ruimtelijke verdeling de geothermische activering bepaalde stukken van het tracé zou kunnen betreffen en niet het tracé in zijn geheel.

In tweede instantie en in het kader van een haalbaarheidsstudie, zouden op basis van een inventaris van de verwarmings- en airconditioningsbehoeften evenals een beoordeling van de vereiste dekkinggraad van de behoeften (op basis van monotone krommen) de te activeren secties gekozen kunnen worden en de dimensionering van het systeem.

Ook de rijfrequentie van de metro's in de basisperiode en de spits moet onder de parameters in aanmerking genomen worden, want dit speelt een rol in de door het systeem te onttrekken thermische stroming.

Merk op dat idealiter en om iedere thermische afwijking op termijn te vermijden, het aanbevolen wordt dat het systeem zowel voor verwarming als voor koeling gebruikt kan worden.

Merk tevens op dat de hydrogeologische context en met name de stroomsnelheid van het grondwater tijdens de uitbating een zekere invloed kan hebben op de energetische doelmatigheid van het systeem.

In dit kader kan het feitelijke geothermische potentieel pas beoordeeld worden na een haalbaarheidsstudie waarin al deze parameters in aanmerking genomen worden. Dit wordt aanbevolen door de auteur van de effectenstudie.

Ten slotte dient opgemerkt te worden dat de beslissing om de gehele of een gedeelte van het tracé van de metro geothermisch te activeren vroegtijdig genomen moet worden tijdens het definitieve ontwerp van het project omdat de samenstellende delen van deze activering

(thermische lussen) ingevoegd moeten worden binnen de structurelementen en bekleding van de tunnels, maar niet naderhand uitgevoerd kunnen worden.

In het onderhavige geval, als de haalbaarheidsstudies het belang van een dergelijk systeem bevestigen, dienen het ontwerp van de bekleding, de uitvoering van de geothermische lussen en alle HVAC-aspecten meteen tijdens de eerste uitvoeringsstudies in aanmerking genomen te worden.

6.7.3. Aanbevelingen voor het project

Het wordt aanbevolen om de relevantie te analyseren van de installatie van omkeerbare substations.

Het wordt aanbevolen om de ruimte te voorzien om de substations voor de terugwinning te kunnen plaatsen, idealiter in de 7 stations.

Het wordt aanbevolen om tijdens het gewijzigde project de geschiktheid van het gebruik van de geothermische energie van de tunnel bij de stations nader te onderzoeken, en daartoe de meest gunstige tunneldelen te bepalen.

6.8. Geluids- en trillingsomgeving

6.8.1. Geografische zone

De geografische zone wordt aangegeven in het Boek Inleiding.

Daar de metro meer dan 10 meter onder de grond in uitsluitend een stedelijk gebied rijdt, zal de in aanmerking te nemen hinder uitsluitend betrekking hebben op trillingen voor de omwonenden. Deze trillingshinder vloeit voort uit de gevoelsmatige waarneming en een geluidsoverlast in verband met de trillingen van de muren die een contactgeluid genereren. Het mechanisme van de voortbrenging van de trillingen wordt hieronder uitgelegd.

6.8.2. Reglementair kader en referenties

Het reglementaire kader, de referenties en de definities en begrippen van de geluids- en trillingsstudies worden aangegeven in het Boek Inleiding.

In het kader van dit project, zijn geen luidruchtige installaties voorzien bij de schachten die uitsluitend dienen als diensttoegang.

6.8.3. Beschrijving van de huidige situatie

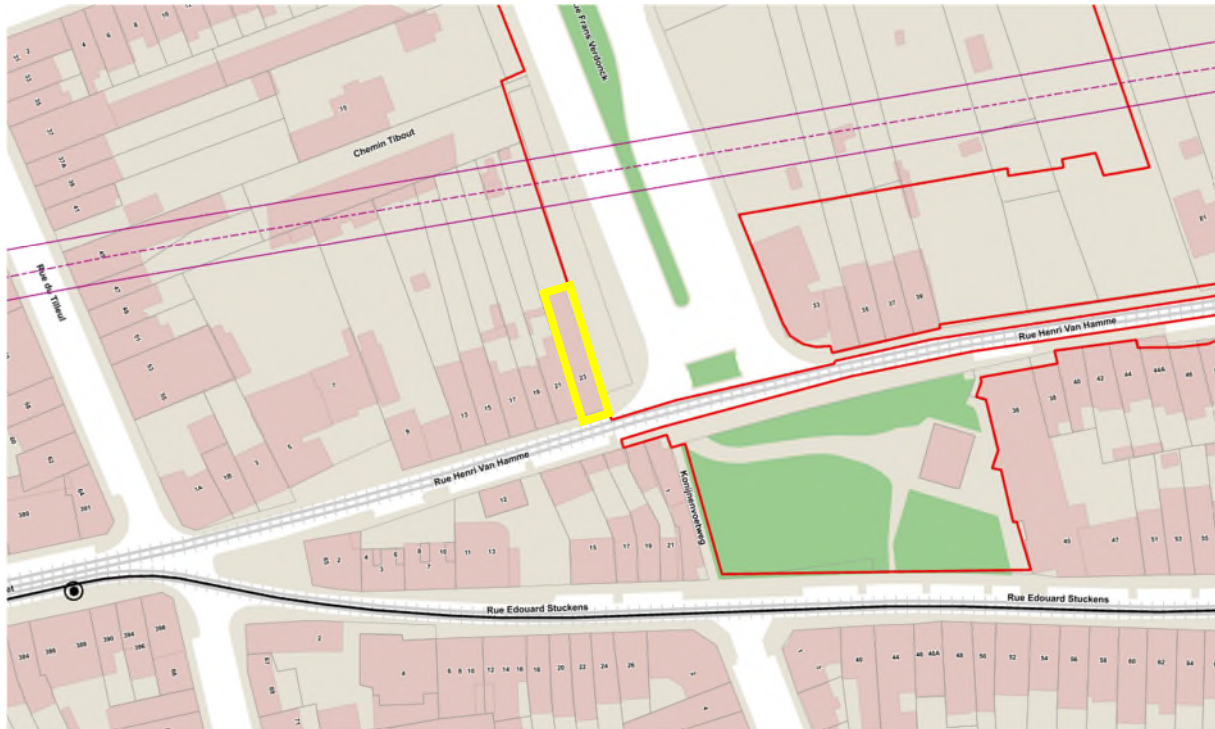
In stedelijke gebieden worden de door de bewoners waarneembare trillingen veroorzaakt door het wegverkeer en het treinverkeer. Deze trillingen kunnen hinderlijk zijn.

Om de huidige situatie te bepalen, werden trillingsmetingen verricht in twee gebouwen. De metingen werden uitgevoerd volgens de norm DIN 4150. De metingen werden verricht gedurende 24 uur.

6.8.3.1. Henri Van Hammestraat 21

De metingen werden verricht vanaf dinsdag 8 september om 14.00 uur gedurende 24 uur.

Dit gebouw bevindt zich tussen de tramlijn en het tracé van de tunnel. De tram rijdt op korte afstand net langs de gevel.



Figuur 113: Ligging Henri Van Hammestraat (Tractebel, 2020)

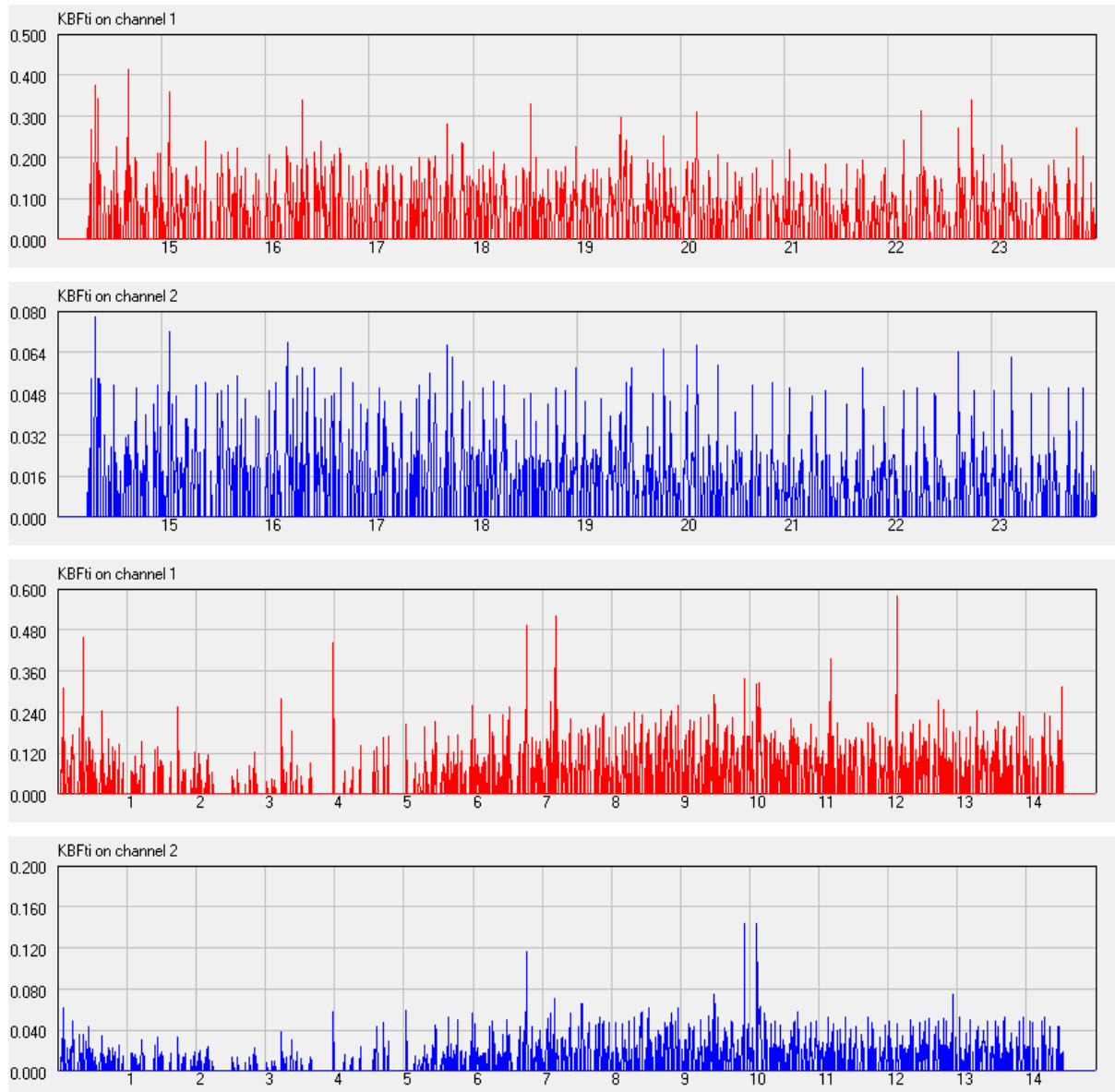


Figuur 114: Zicht op de Henri Van Hammestraat (Tractebel, 2020)



Figuur 115: Figuur van de meters (Tractebel, 2020)

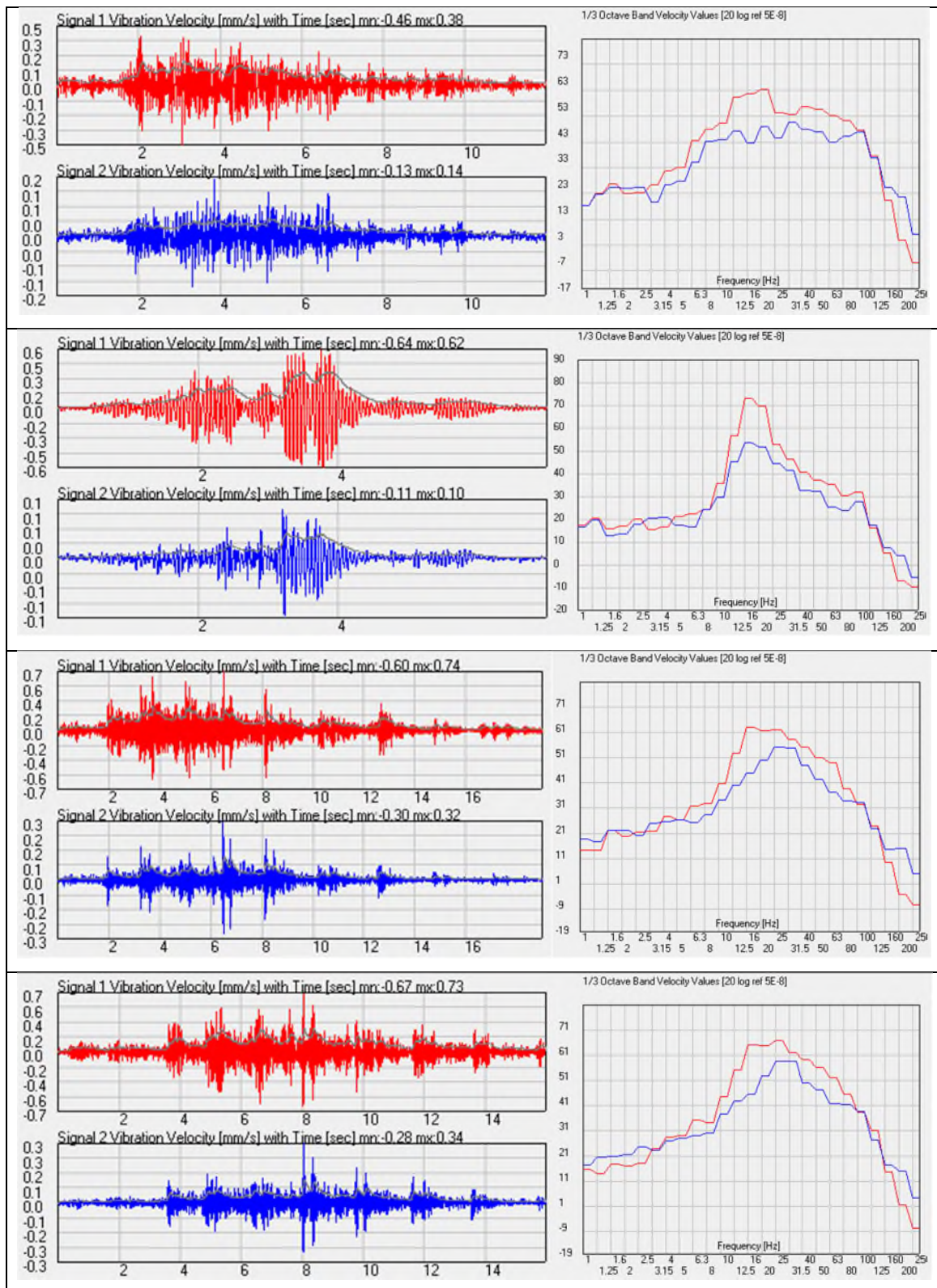
De metingen werden uitgevoerd op de eerste verdieping. De meters werd geplaatst bij de voorgevel, wat representatief is voor de meting van de beweging van het gebouw, en midden op de vloer, om de structurele resonantie-effecten te meten.



Figuur 116: Resultaten van de KBFTi metingen gedurende 24 uur (Tractebel, 2020)

De waargenomen pieken komen overeen met de passages van de trams en auto's.

Deel 1 : Beschrijving van het project
 6. Analyse van de effecten van het project



Figuur 117: Gebeurtenis om 14.58 u, 03.59 u, 09.55 u en 10.06 u (Tractebel, 2020)

De onderstaande Figuren tonen de details van enkele passages in het tijdvlak en het spectrale vlak.

De beoordeling van de trillingen volgens de norm toont aan dat de gemeten trillingen nog net aanvaardbaar zijn gelet op de nabijheid van de tram. De toepasselijke norm moet namelijk vermenigvuldigd worden met 1,5 als men zich dit bij het bestaande stedelijke bovengrondse vervoer bevindt (trams, light rail, netwerken van de voorsteden). Dit geldt niet voor nieuwe inrichtingen of projecten.

Periode	overdag		's nachts	
	gevel	midden op de vloer	gevel	midden op de vloer
KBFmax	0.144	0.580	0.064	0.460
KBFtr	0.022	0.098	0.014	0.069
Criterium	0.07 (x 1.5) = 0.105		0.05 (x 1.5) = 0.075	

Tabel 37: Beoordeling van de gemeten trillingen volgens DIN 4150

6.8.3.2. Haachtsesteenweg 1200

Dit gebouw bevindt zich net boven het tracé van de tunnel.

De metingen werden verricht vanaf dinsdag 10 september om middernacht gedurende 24 uur.



Figuur 118: Ligging Haachtsesteenweg (Tractebel, 2020)

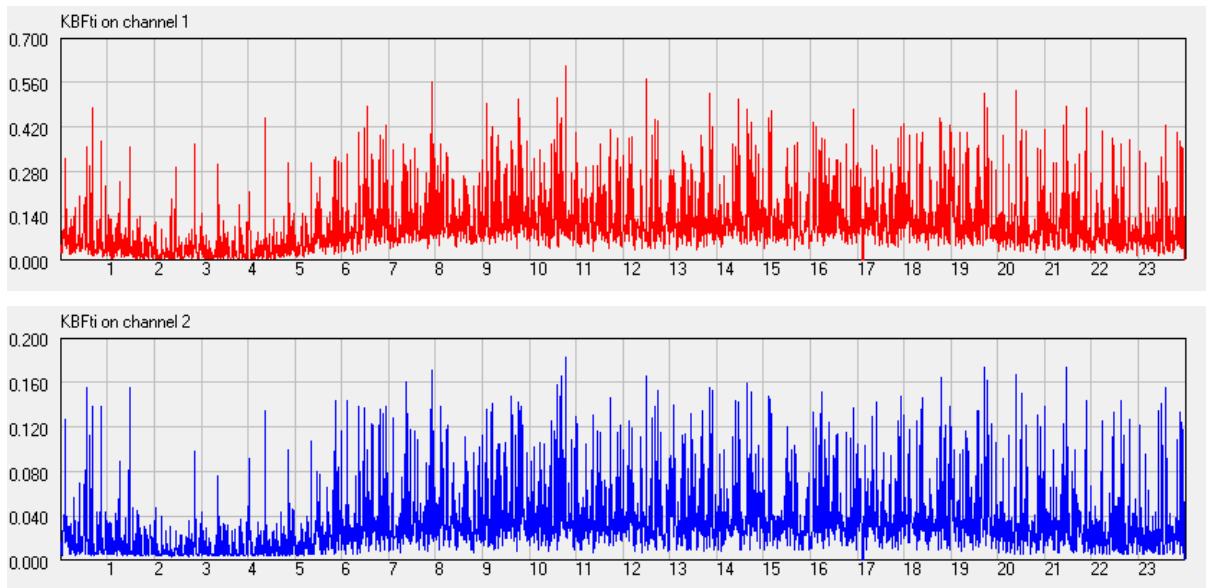


Figuur 119: Zicht op de Haachtsesteenweg (Tractebel, 2020)



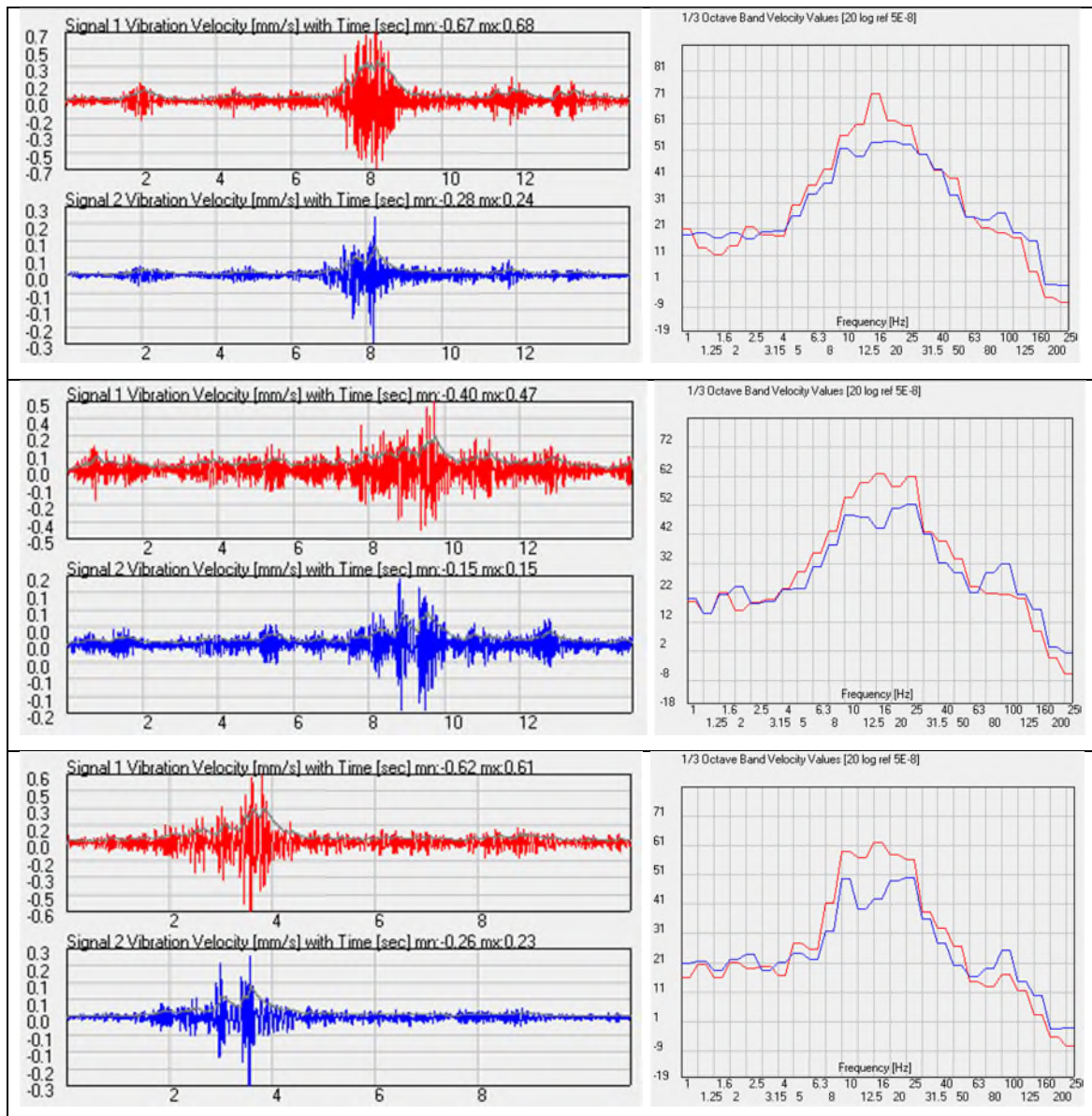
Figuur 120: Figuur van de positie van de meters (Tractebel, 2020)

De metingen werden verricht op de tweede verdieping. De meters werden geplaatst bij de voorgevel, wat representatief is voor de meting van de beweging van het gebouw, en midden op de vloer, om de structurele resonantie-effecten te meten.



Figuur 121: Resultaten van de KBFTi metingen gedurende 24 uur (Tractebel, 2020)

De waargenomen pieken komen overeen met de passages van de auto's.



Figuur 122: Gebeurtenis om 04.22 u, 13.04 u en 20.51 u (Tractebel, 2020)

De onderstaande Figuren tonen de details van enkele passages in het tijdvlak en het spectrale vlak.

De beoordeling van de trillingen ten opzichte van de norm leidt tot waarden die reeds veel hoger zijn dan het toepasselijke criterium.

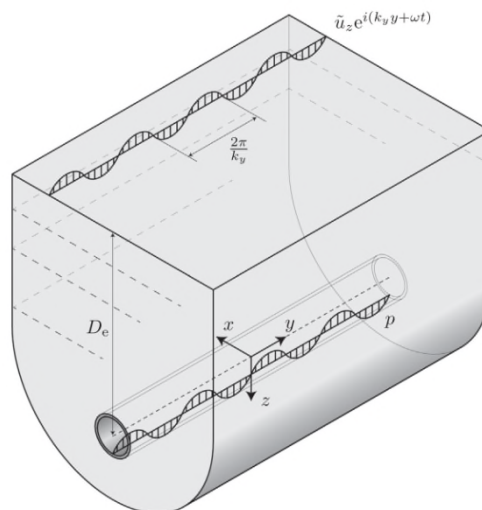
periode	overdag		's nachts	
	gevel	midden op de vloer	gevel	midden op de vloer
KBFmax	0.183	0.611	0.155	0.478
KBFtr	0.037	0.151	0.021	0.082
Criterium	0.07		0.05	

Tabel 38: Beoordeling van de gemeten trillingen volgens DIN 4150

6.8.4. Analyse van de effecten van het project ten opzichte van de referentiesituatie

6.8.4.1. Inleiding

De door de passage van de metro gegenereerde trillingen variëren sterk van de ene tot de andere configuratie. Daarom is het moeilijk om van tevoren met nauwkeurigheid de gevoelige plaatsen te voorzien. Bovendien bestaan er weinig volledig betrouwbare methoden om de trillingen te voorzien die veroorzaakt worden door de metro ten dele vanwege de moeilijkheid om trillingsmetingen te verrichten die dezelfde condities reproduceren.



Figuur 123: Transmissie van golven van de tunnel naar de oppervlakte (Tractebel, 2020)

In het algemeen worden de berekeningen van trillingen (semi-empirisch) voor de beoogde situatie verricht met behulp van een digitale simulatie, gekalibreerd met in situ metingen.

Dit model houdt rekening met details zoals:

- de diepte van de tunnel
- de gelaagdheid van de bodem (CPT data; stijfheid van de bodem)

- diameter van de tunnel
- de dynamische eigenschappen van de rails
- het trillingsspectrum door de metro
- de snelheid van de rytuigen

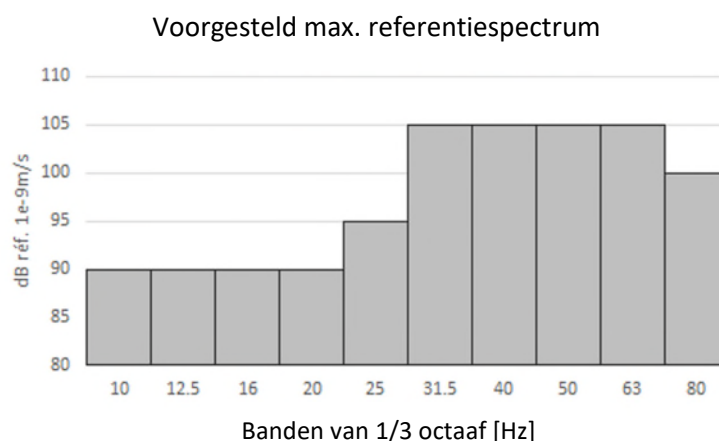
In het onderhavige geval heeft BMN in samenwerking met kantoor D2S international, op aanvraag van Beliris, begin 2016 een studie verricht om de voorzienbare trillingen te beoordelen tijdens de uitbating van de toekomstige metro M3. Merk op dat deze simulatie van toepassing is op het gehele project van de metro tijdens de uitbating en niet alleen voor het gedeelte onder het station Brussel-Noord voor een tunnelsectie waar de snelheid stabiel is (exclusief stations).

Dit hoofdstuk zet allereerst het toepasselijke normatieve trillingskader uiteen en vervolgens de trillingsbronnen die gegenereerd worden door de passage van de metro's. Ten slotte worden de belangrijkste resultaten van de prognosestudie van BMN aangegeven met aanbevelingen.

6.8.4.2. Normatief trillingskader

Ter herinnering: het normatieve kader dat van toepassing is op nieuwe metrolijnen wordt beschreven in de "milieu-overeenkomst tussen het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en de MIVB betreffende geluid en trillingen". Deze overeenkomst stelt voor de grenswaarden te gebruiken van de norm DIN 4150-2 voor trams en metro's. Deze norm is echter niet direct bruikbaar voor voorspellende berekeningen in geval van uitbreidingen en nieuwe lijnen.

Voor de voorspellende berekeningen definieert de overeenkomst MIVB / Brussels Hoofdstedelijk Gewest een globaal trillingsniveau en een referentie-trillingsspectrum dat niet overschreden mag worden bij een referentiepunt, net voor de gevels van de gebouwen gelegen (gemiddelde voor 10 passages). De gebruikte waarden van het maximale referentiespectrum zijn aangegeven in de volgende tabel:



Figuur 124: Referentie-trillingsspectrum in dB (ref 1e-9 m/s) van de overeenkomst MIVB / BHG

Frequentie in Hz	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Trillingsamplitude in dB (ref 1e-9 m/s)	90	90	90	90	95	105	105	105	105	100

Tabel 39: Referentie-trillingsspectrum van de overeenkomst MIVB / BHG

Bovendien stelt de overeenkomst voor de metro een maximaal contactgeluid vast van 40 dB(A) 's nachts binnen de gebouwen.

6.8.4.3. Trillingsbronnen in verband met de passages van de metro's

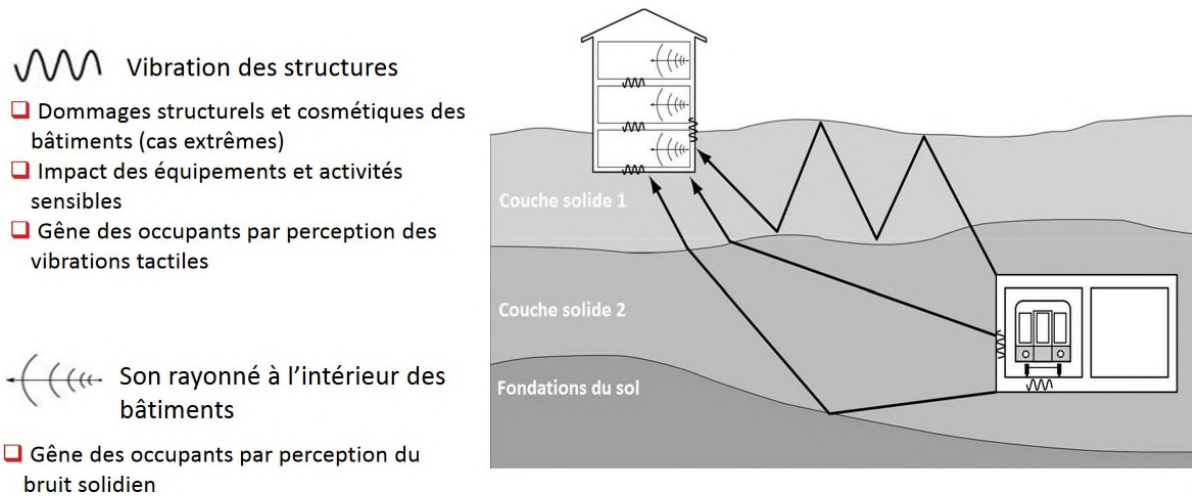
De door de passage van de metro gegenereerde trillingen variëren sterk van de ene tot de andere configuratie. Daarom is het moeilijk om van tevoren met nauwkeurigheid de gevoelige plaatsen te voorzien.

Transmissie van de trillingen

De passage van een metro veroorzaakt trillingen ter hoogte van het spoor. Deze worden doorgegeven door de grond naar de gebouwen en aangrenzende structuren waarvan de wanden beginnen te trillen. Deze trillingen kunnen overlast voor mensen veroorzaken en zelfs, bij zware trillingen, de bebouwing beschadigen.

De transmissie van de trillingen en hun potentiële vervorming tot contactgeluid in een lokaal is een complex verschijnsel dat verband houdt met meerdere raakvlakken:

- Het raakvlak rail - bodem;
- Het raakvlak bodem - gebouw;
- De transmissie en dissipatie in het gebouw;
- De uitstralingsefficiëntie van de wanden van het gebouw.



De volgende Figuur toont de verspreidingsverschijnselen van de trillingen tijdens de passage van rollend materieel zoals een ondergrondse metro.

Figuur 125: Principeschema van de transmissie van trillingen in de bodem, veroorzaakt door het ondergrondse spoorverkeer van het type metro (Rapport BMN – Dynamische studie van de tunnel en het stortebed: studie van de uitbreiding van het high performance openbaar vervoersnet naar het noorden van Brussel – Fasen 3 en 4: algemeen en gedetailleerd voorproject)

Het mechanisme van de voortbrenging van de trillingen is de combinatie van twee factoren:

- ❑ De nagenoeg statische belasting: veroorzaakt door de verplaatsing van een last op het systeem spoor / grond. Deze kracht werkt in op het systeem {spoor + voertuig} voornamelijk in de lage frequenties tussen 1 en 10/15 Hz;
- ❑ De dynamische belasting: verband houdend met de onregelmatigheden van het contactoppervlak van het wiel en de rail, ook wel ruwheid genoemd. Deze kracht werkt in op het systeem {spoor + voertuig} in de middelhoge frequenties tussen 15 Hz en 200 Hz.

Ten slotte veroorzaken de krachten bij de passage van aparte punten zoals wissels of voegnaden van de rails "impacterende schokken" die doorgegeven worden aan de bodem met een zeer breed frequentiegamma tot gevolg.

De belangrijkste trillingsfactoren zijn derhalve:

- ❑ Het gebruikte rijtuigtype
- ❑ De staat van de oppervlakken van de rails en de wielen
- ❑ De snelheid van het rijtuig
- ❑ De aanlegwijze van het spoor

6.8.4.4. Prognostische studie van de voortgebrachte trillingen tijdens de uitbatingfase

Hierna worden de belangrijkste resultaten van de prognostische studie van BMN aangegeven met de aanbevelingen op basis van de conclusies van deze studie.

Ter herinnering: het doel van deze studie was de analyse van het dynamische gedrag van de tunnel met behulp van een eindige-elementen-modellering, de analyse van de aanleg van het spoor en de bepaling van de eventuele anti-trillingsmaatregelen om de overschrijding te voorkomen van de door de van kracht zijnde regelgeving voorgeschreven criteria.

A. Methodologie

De prognostische studie van BMN is gebaseerd op de definitie van trillingseigenschappen van de 3 essentiële elementen voor de verspreiding van trillingen:

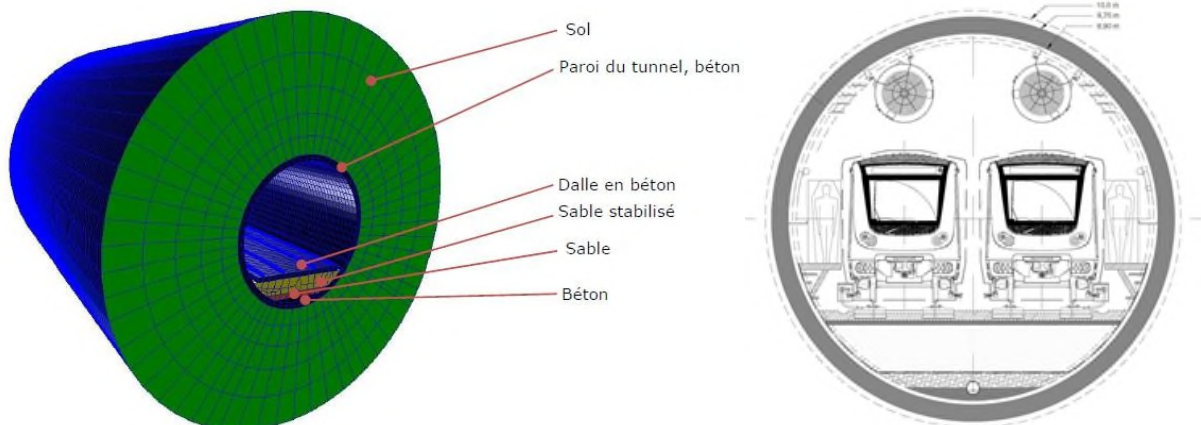
- De bron bestaande uit de tunnel en het voertuig die in het model beschouwd worden als één entiteit die verantwoordelijk is voor de trillingen.
- Het transmissiekanaal bestaande uit de grond en waarvan het dempende vermogen van de trillingen bepaald wordt op basis van berekeningen en tests in situ.
- Voor het contactgeluid, de ontvanger, bepaald door de beoordeling van het raakvlak bodem-fundering van de overeenkomst MIVB/BHG voor een standaard gebouw

Daar de berekeningen bijzonder technisch zijn, wordt de lezer uitgenodigd kennis te nemen van de bijgaande studie voor nadere informatie.

De volgende hoofdstukken hervatten ter informatie voor elk hierboven genoemd element de belangrijkste in aanmerking genomen hypothesen en zetten vervolgens de voorziene resultaten uiteen wat betreft trilling en contactgeluid tijdens de passage van een metro. Ten slotte worden de aspecten van de golfslijtage besproken.

B. Modellering van de bron (tunnel en voertuig)

De modellering van de tunnel werd uitgevoerd door de eindige-elementen-methode over een standaard tunnelsectie (exclusief station) zoals aangegeven op de onderstaande Figuur.



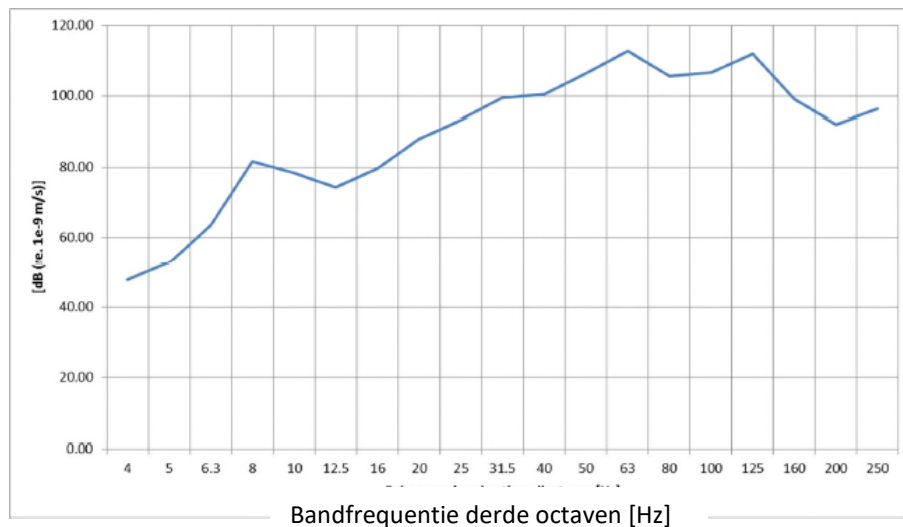
Figuur 126: Eindige-elementen-model van een typische tennelsectie (Bron: Rapport BMN – Dynamische studie van de tunnel en het stortebed: studie van de uitbreiding van het high performance openbaar vervoersnet naar het noorden van Brussel – Fasen 3 en 4: algemeen en gedetailleerd voorproject)

Het voertuig wordt voorgesteld als een massa (de niet opgehangen massa van de draaistellen), welke massa de dynamisch excitatie van het spoor veroorzaakt, en elk draaistel wordt voorgesteld door 4 punctuele massa's. Het meest ongunstige geval werd gekozen (gelijktijdige aanwezigheid van 2 voertuigen). Alle hypothesen worden in het rapport vermeld, maar de belangrijkste zijn de volgende:

- Aanleg van standaard spoor met betonnen bielzen.
- Voertuigen van het metrotype van 13,2T (niet opgehangen massa van 700kg) rijdend op een snelheid van 72km/u
- Gegeneerde trillingen tijdens het kruisen van twee voertuigen
- De tunnel en het voertuig worden beschouwd als één entiteit die verantwoordelijk is voor de trillingen

De toe te passen krachten voor elk van de contactpunten (4 per draaistel) worden vervolgens berekend op basis van trillingsformules en geïntegreerd in het eindige-elementen-model. De berekening werd uitgevoerd voor een bron waarvan de intensiteit verband houdt met een vervormd wiel, hetgeen het meest behoudende geval is.

De uit het model verkregen resultaten zijn de trillingsniveaus op het dak van de tunnel voor alle punten van het netwerk op basis waarvan het geheel van de trillingsniveaus op de wand van de tunnel verkregen kan worden.



Figuur 127: Geheel aan trillingsniveaus berekend op de wand van de tunnel (Bron: Rapport BMN – Dynamische studie van de tunnel en het stortebed: studie van de uitbreiding van het high performance openbaar vervoersnet naar het noorden van Brussel – Fasen 3 en 4: algemeen en gedetailleerd voorproject)

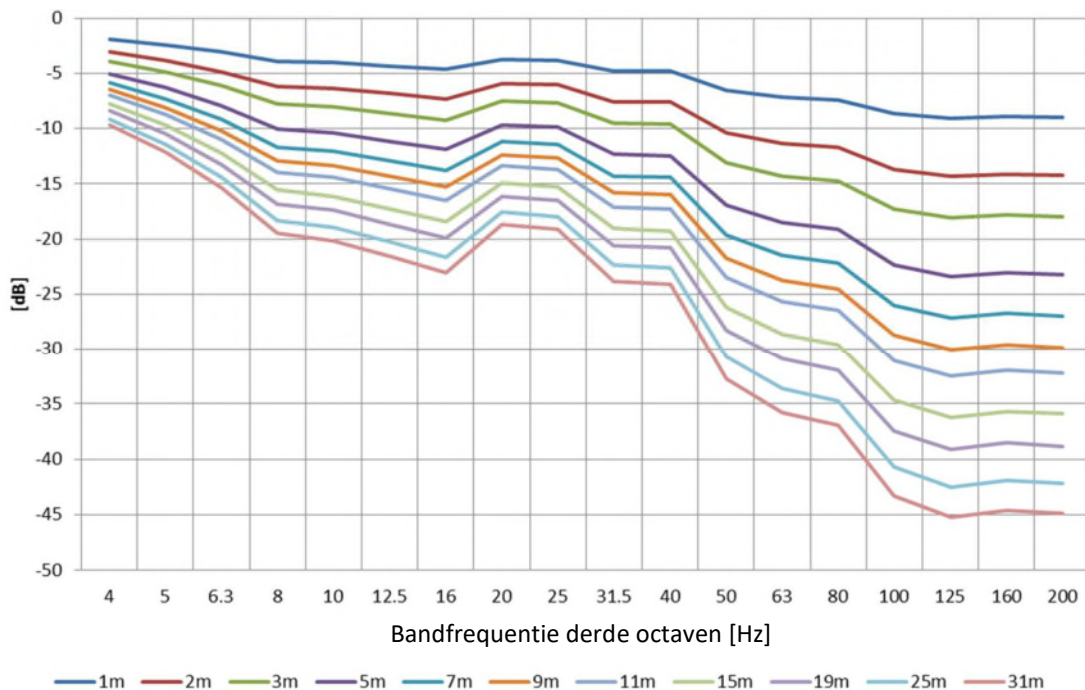
In de nabijheid van een standaard wissel zijn de trillingsniveaus circa 10 dB hoger dan die in de nabijheid van een lopend spoor. In de nabijheid van een standaard wissel zijn de trillingsniveaus circa 10 dB hoger dan die in de nabijheid van een lopend spoor.

C. Modelling van de transmissieroute (bodem)

De trillingen van de tunnel kunnen waargenomen worden als eenvoudige trillingen of als contactgeluid. Deze twee verschijnselen hangen echter af van het transmissiemiddel tussen de bron en de ontvanger.

In het geval van de tunnel, hangt de transmissie af van de diepte daarvan en de eigenschappen van de bodem tussen de bron en de ontvanger. In het onderhavige geval wordt in het model uitgegaan van een diepte van 10m tot het bovenste gedeelte van de tunnel.

De eigenschappen van de bodem werden bepaald dankzij metingen van afnemende trilling langs het tracé bij het François Rigaplein. Deze plaats werd gekozen omdat daar de zandlagen zich het meest aan de oppervlakte bevinden en het dus de meest ongunstige situatie betreft om de trillingen te dempen. Op de onderstaande Figuur wordt de demping van de trillingsniveau aangegeven, verkregen door interpolatie van de metingen tot een afstand van 31m.



Figuur 128: Damping van de trillingsniveaus naargelang de berekende afstand tot 31m op basis van in situ metingen (Bron: Rapport BMN – Dynamische studie van de tunnel en het stortebed: studie van de uitbreiding van het high performance openbaar vervoersnet naar het noorden van Brussel – Fasen 3 en 4: algemeen en gedetailleerd voorproject)

D. Karakterisering van de ontvanger

Voor de berekening van de trillingsniveaus is het niet nodig de eigenschappen van de ontvanger te bepalen, want deze worden beoordeeld op een punt op de grond aan de voorzijde van het gebouw.

Om het door de trillingen gegenereerde contactgeluid te beoordelen, dienen de eigenschappen van het raakvlak bodem-fundering bepaald te worden, evenals de structurele versterkingen met name als gevolg van de resonantie van de vloeren binnen de gebouwen.

Om dit te beoordelen volgt de studie van BMN de voorschriften van de overeenkomst tussen MIVB en BHG voor een standaard gebouw.

Het contactgeluid wordt vervolgens berekend op basis van de frequentierespons op de fundering door middel van de volgende formule:

$$L_p = L_v - 22$$

Waarbij:

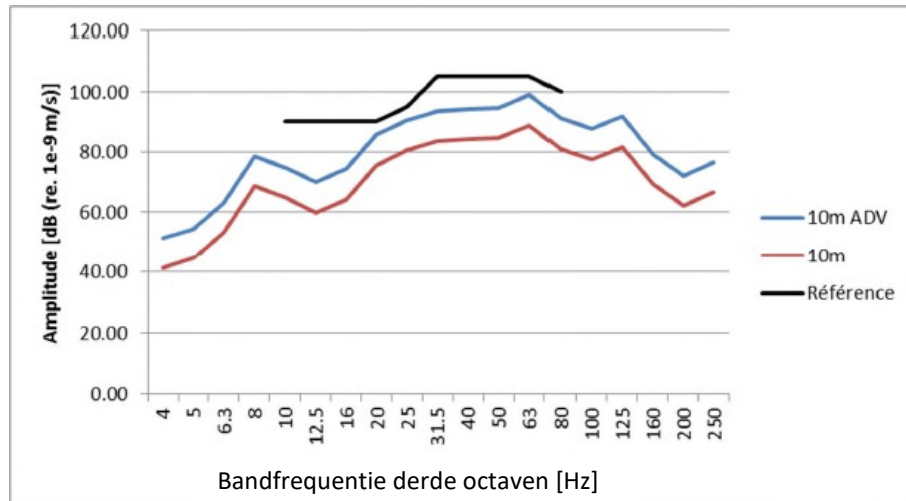
L_p : het niveau de geluidsdruk (dB, ref. $20e^{-6}$ Pa)

L_v : de resulterende trillingsnelheid binnen het gebouw (dB, ref. $1e^{-9}$ m/s)

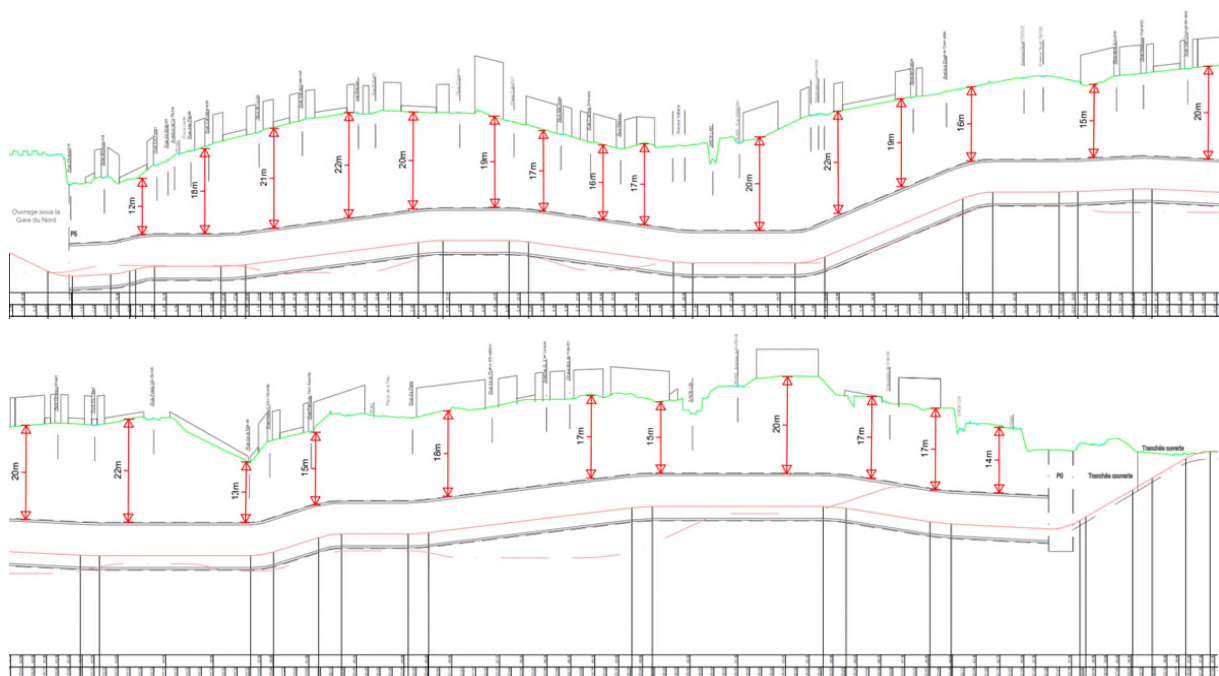
E. Analyse van de modellering inzake de trillingen

De onderstaande Figuur toont de verwachte trillingspectrums op één punt op de grond voor het gebouw en de vergelijking met het referentiespectrum van de overeenkomst, voor een

afstand van 10 m tussen de bovenzijde van de tunnel en de oppervlakte. De ADV-kromme komt overeen met het verwachte spectrum voor een spoorgedeelte dat een toestel bevat (bijvoorbeeld een wissel), dat wil zeggen 10 dB extra trilling ten opzichte van een lopend spoorgedeelte.



Figuur 129: Resultaten van de trillingsberekeningen, verwachte trillingspectrums en vergelijking met het referentiespectrum (Bron: Rapport BMN – Dynamische studie van de tunnel en het stortebed: studie van de uitbreiding van het high performance openbaar vervoersnet naar het noorden van Brussel – Fasen 3 en 4: algemeen en gedetailleerd voorproject)



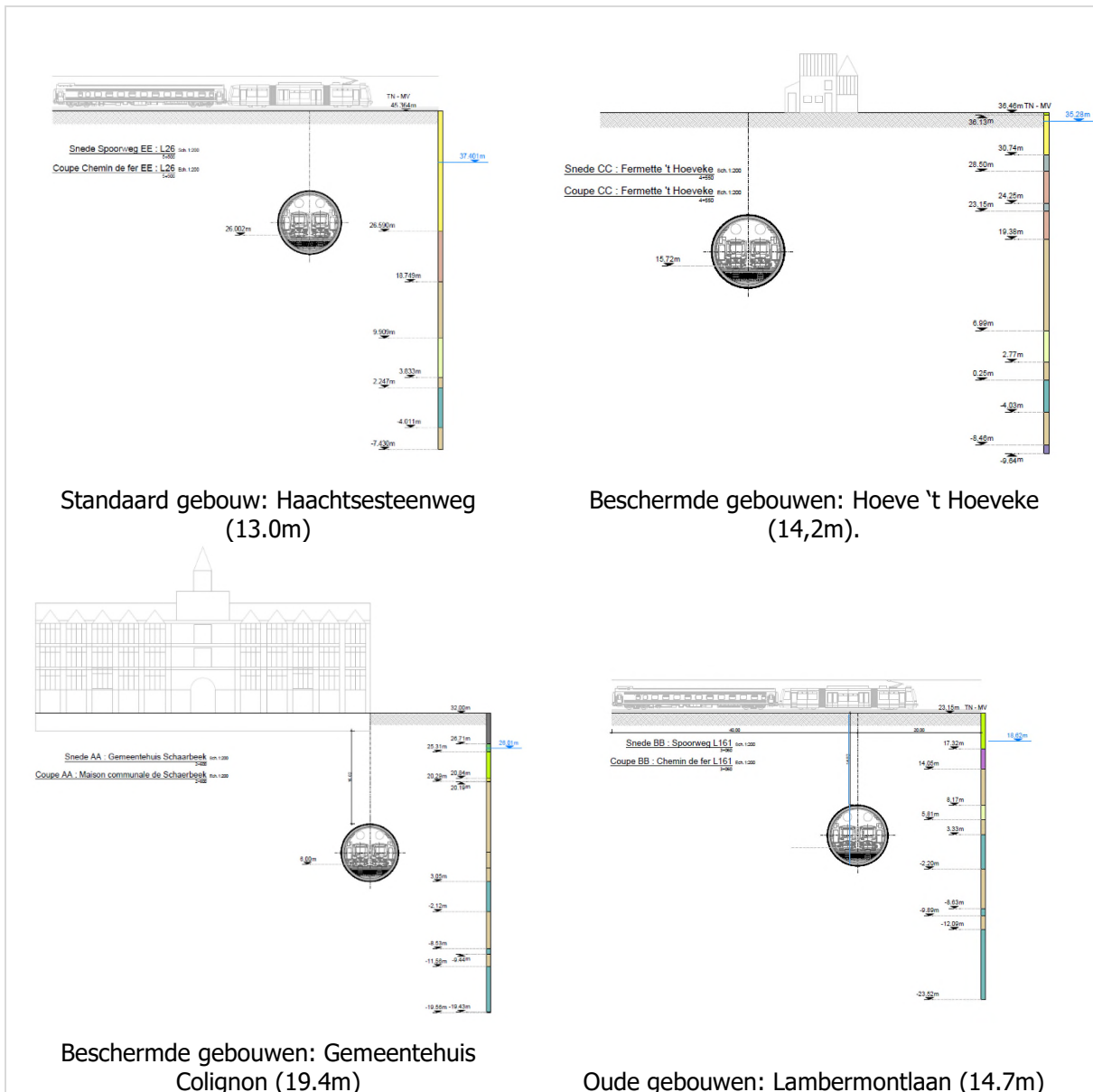
Figuur 130: De diepte van de tunnel (Tractebel, 2020)

Volgens het lengteprofiel is de minimale diepte van de tunnel nooit minder dan 10 m.

E.1. Gevoelige gebouwen

Door een screening van de gebouwen op het tracé van de metro kunnen de gebouwen geïnterpreteerd worden waar problemen kunnen ontstaan tijdens de uitbatingsfase want:

- zij huisvesten een gevoelige functie (gevoeliger dan ziekenhuizen), of
- er bestaat een risico dat de diepte van hun fundering groot is (bijvoorbeeld een toren).



Figuur 131: Screening van de gevoelige gebouwen langs de tunnel (Tractebel, 2020)

Er werd een individuele analyse per voor verzakking gevoelig gebouw uitgevoerd op basis van hogergenoemd criterium maar ten opzichte van hun ware diepte in de bodem (of bij beandering).

De gevoeligheidsstudie van de gebouwen voor verzakkingen betreft de volgende gebouwen:

- De lijst van de als zeer gevoelig geklasseerde kunstwerken langs het tracé van de tunnel is de volgende:
 - Hoeve 't Hoeveke (Evere)
 - Gemeentehuis van Schaarbeek
 - Champagnat-school
- Overige gebouwen:

Ecart à l'axe du tracé = afstand to
aslijn van het tracé
Couverture = bedekking
Description = beschrijving
Étage = verdieping
Maison communale de Schar. =
Gemeentehuis van Schar.
Avec bcp de vitrage =
Met veel ramen
Mitoyen que d'un côté =
En slechts aan een zijde aangrenzend
Académie de musique =
Muziekacademie
Bâtiment très large =
zeer breed gebouw

PK	Adresse	Ecart à l'axe du tracé	Zone de criticité	Couverture	Description
1825	Rue Brabant 173	15,3 m	2-3	12,4 m	5 étages avec beaucoup de vitrage
1834	Rue Brabant 175	1,5 m	2-3	12,3 m	5 étages avec beaucoup de vitrage
2000	Rue Vandeweyer 8	2,7 m	1-2	19,1 m	5 étages
2065	Rue Locht 23	3,7 m	2-1-2	20,4 m	6 étages
2345	Rue Rubens 75	13,6 m	2-3	21,7 m	5 étages
2593	Place de Colignon s/n	Sur l'axe	Toutes	19,1 m	Maison Communale de Schaarbeek ⁴
2830	Rue Metsys 24	15,6 m	2-3	15,8 m	5 étages
3324	Boulevard Lambermont 136	21,8 m	2-3	22,6 m	7 étages avec beaucoup de vitrage
3324	Boulevard Lambermont 138	15,3 m	2	22,6 m	7 étages avec beaucoup de vitrages
3324	Boulevard Lambermont 140	1,5 m	1-2	22,6 m	7 étages avec beaucoup de vitrage
3493	Rue Dahlia 4	5,8 m	1-2	18,6 m	5 étages avec beaucoup de vitrage et mitoyen que d'un côté
3527	Eugène Demolder 137	8,1 m	2-3	17,5 m	6 étages
3540	Eugène Demolder 139-141	11 m	2-3	17,3 m	6 étages avec beaucoup de vitrage
3577	Avenue E. Demolder 151	22,2 m	3	16,6 m	5 étages et mitoyen que d'un côté
3813	Place de Riga 39	18,4 m	2-3	16,7 m	Institut Champagnat de Schaarbeek
4017	Rue F. Severin 53	5,9 m	Toutes	18,1 m	5 étages avec beaucoup de vitrage
4558	Rue de Marne 1	6 m	2-3	13,4 m	Fermette't Hoeveke (XVI ^{ème} siècle)
4720	Rue de Stuckens 125	Sur l'axe	Toutes	17,2 m	Académie de Musique d'Evere
4827	Place de la Paix 2-3	4,9 m	1-2	17,9 m	5 étages
5850	Rue du Planeur 4	5,6 m	Toutes	16,7 m	Bâtiment très large de 7 étages

Tabel 40: Lijst van de als zeer gevoelig geklasseerde gebouwen (BMN, 2016)

- Andere gebouwen die zich daar bevinden waar de bodem boven de tunnel gering is:

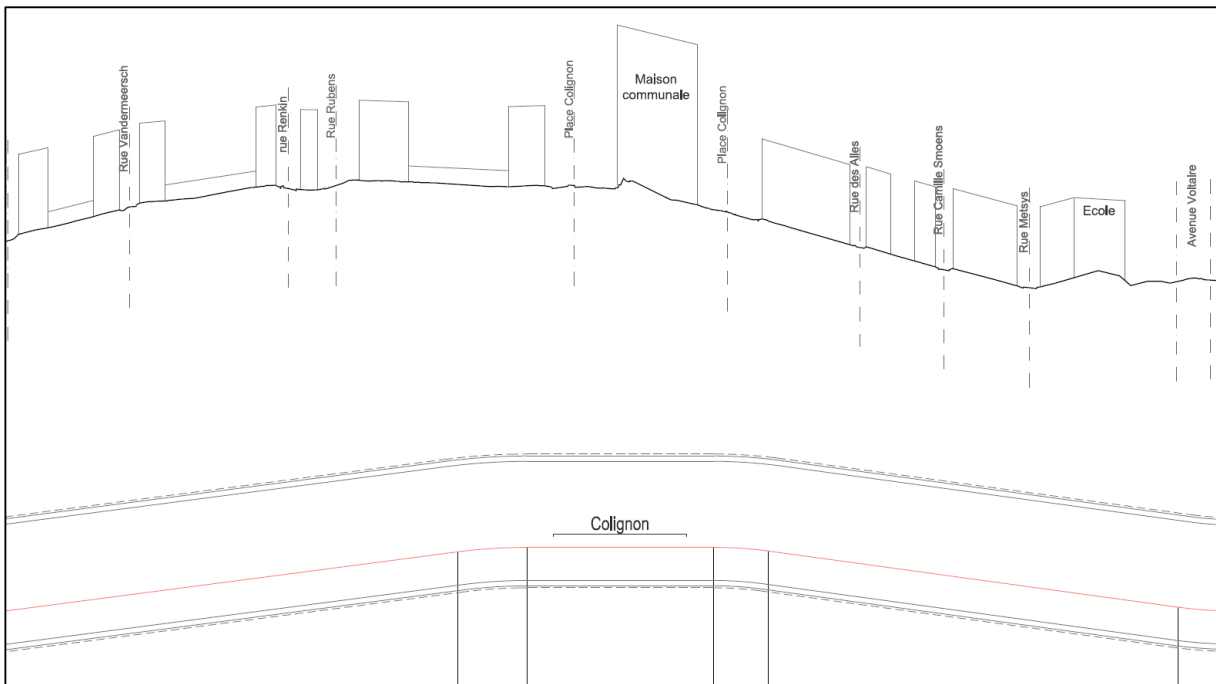
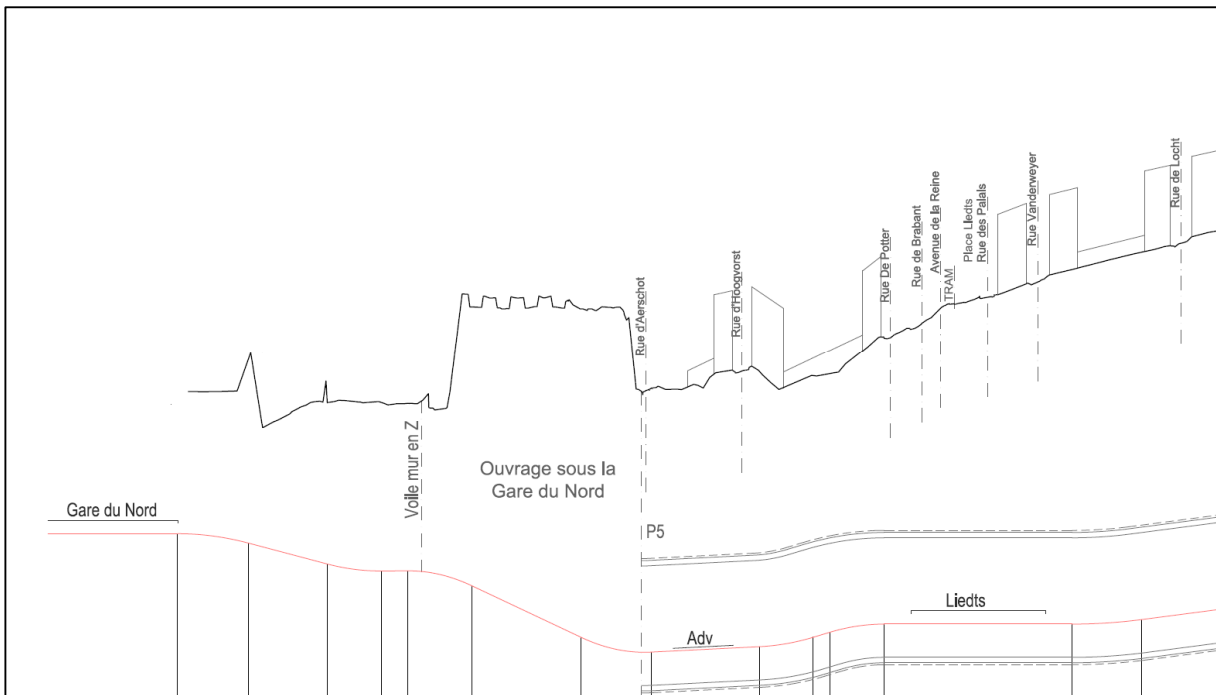
PK	Adresse	Ecart à l'axe du tracé	Zone de criticité	Couverture	Description
1706	Rue d'Aerschot 126	2,7 m	1-2	12,7 m	3 étages
1710	Rue d'Aerschot 128	Sur l'axe	1-2	12,6 m	3 étages
1715	Rue d'Aerschot 130	Sur l'axe	1-2	12,5 m	4 étages
1719	Rue d'Aerschot 132	Sur l'axe	1-2	12,5 m	4 étages
1722	Rue d'Aerschot 134	Sur l'axe	1-2	12,5 m	3 étages
1725	Rue d'Aerschot 136	4,5 m	1-2	12,5 m	4 étages et mitoyen que d'un côté
1751	Rue d'Hoogvorst 8	Sur l'axe	1-2	13,6 m	3 étages et mitoyen que d'un côté
1752	Rue d'Hoogvorst 14	Sur l'axe	1-2	13,6 m	2 étages
1790	Rue d'Hoogvorst 17	Sur l'axe	1-2	12,7 m	4 étages
1799	Rue d'Hoogvorst 19	Sur l'axe	1-2	12,1 m	4 étages
1802	Rue d'Hoogvorst 21	1,9 m	1-2	12,2 m	3 étages
1805	Rue d'Hoogvorst 23	8,2 m	2-3	12,2 m	3 étages
1825	Rue Brabant 173	8,6 m	2-3	12,4 m	5 étages
1835	Rue Brabant 175	13,5 m	2-3	12,3 m	5 étages
1839	Rue Brabant 177	10,5 m	2-3	12,2 m	3 étages
1842	Rue Brabant 179	Sur l'axe	Toutes	12,4 m	3 étages

Tabel 41: Lijst van de als gevoelig geklasseerde gebouwen (BMN, 2016)

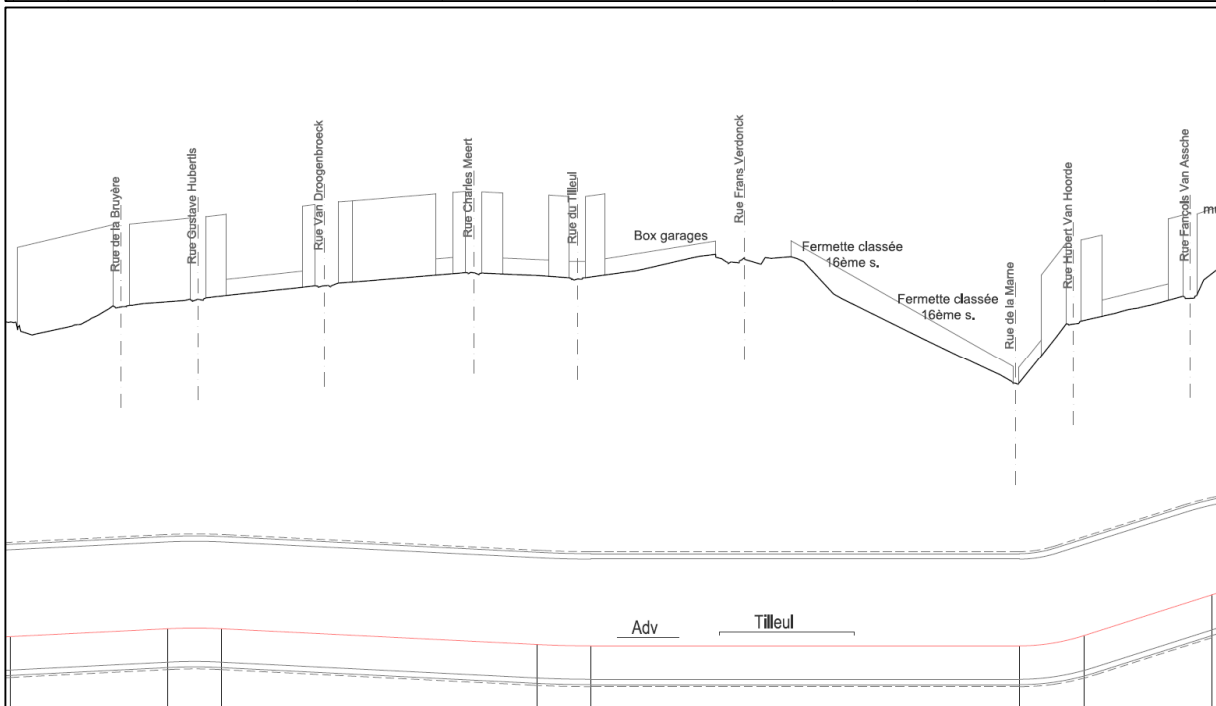
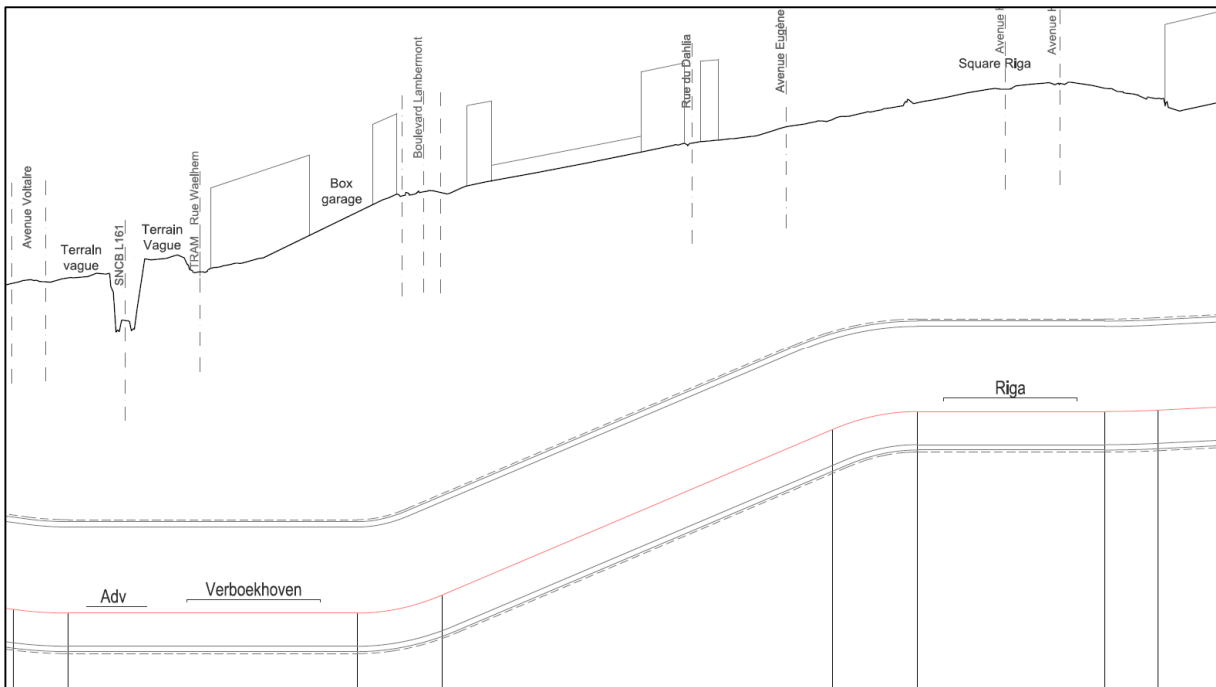
E.2. Spoortoestellen

De locatie van de spoortoestellen langs het tracé wordt hieronder weergegeven. Het is belangrijk om toe te zien op een aanleg van het spoor met een anti-trillingssysteem bij de wissels.

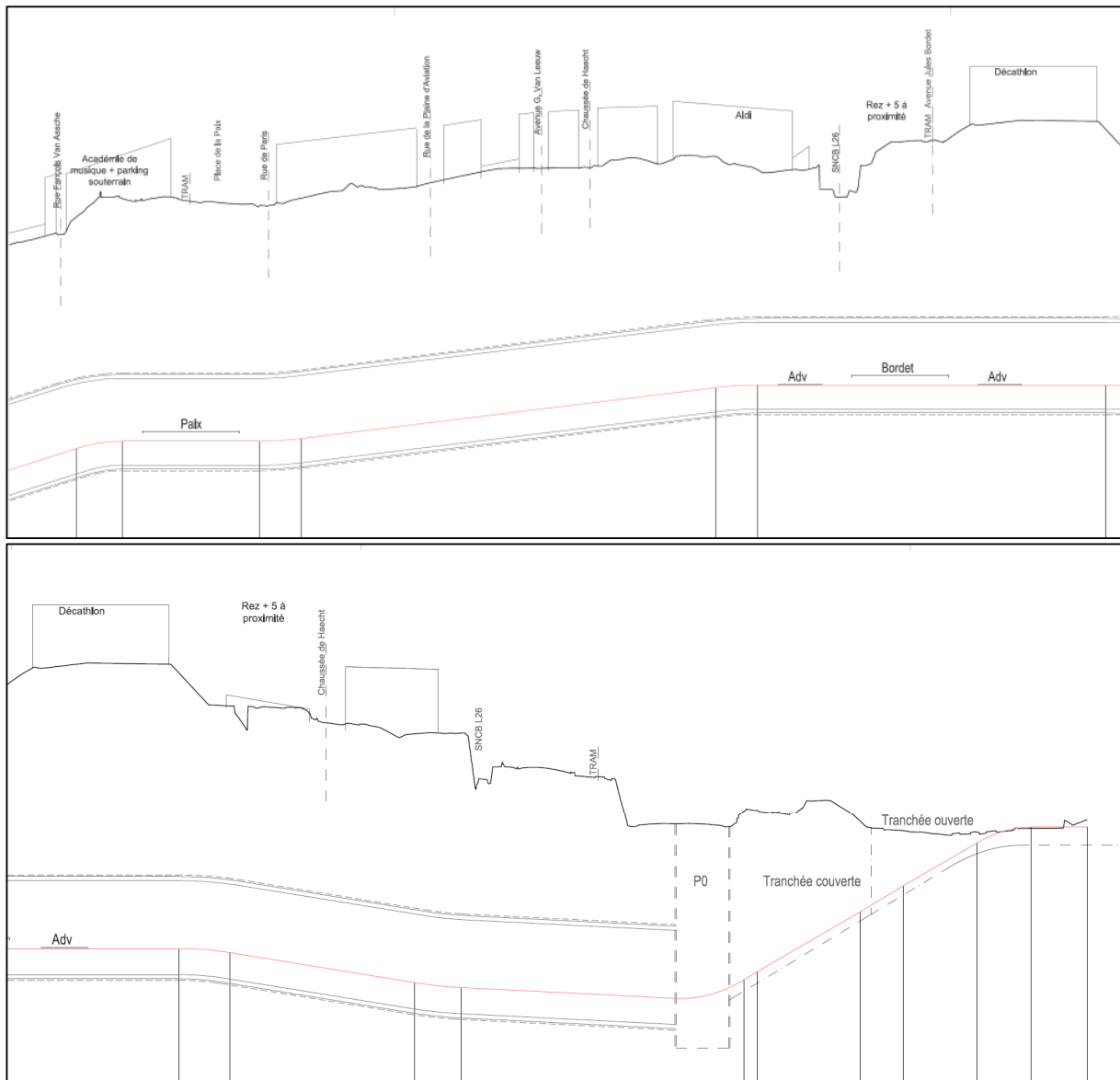
Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project



Deel 1 : Beschrijving van het project
 6. Analyse van de effecten van het project



Deel 1 : Beschrijving van het project
6. Analyse van de effecten van het project

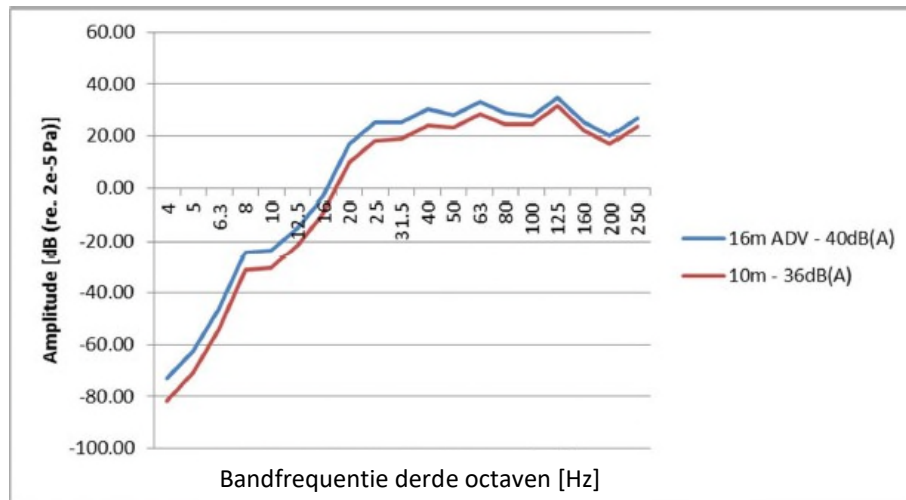


Figuur 132: Locatie van de spoortoestellen (ADV) langs het tracé, bron: MIVB

De spoortoestellen liggen allemaal in een rechte lijn. Hun locatie ten opzichte van de gebouwen aan de oppervlakte levert geen probleem op want geen enkel bestaand gevoelig gebouw ligt boven de voorgestelde locatie.

F. Analyse van de modellering inzake het contactgeluid

De verwachte spectrums van het contactgeluid worden op de onderstaande Figuur weergegeven met de globale niveaus in de legenda.



Figuur 133: Resultaten van de berekeningen - spectrums van het verwachte contactgeluid (Bron: Rapport BMN – Dynamische studie van de tunnel en het stortebed: studie van de uitbreiding van het high performance openbaar vervoersnet naar het noorden van Brussel – Fasen 3 en 4: algemeen en gedetailleerd voorproject)

Het verwachte contactgeluid zonder spoortoestel op een diepte van 10m bedraagt 36 dB(A) wat lager is dan de drempel van 40 dB(A).

Merk op dat gelet op de geschatte, voorzienbare geluidsniveaus (tussen 20 en 35 dB) eveneens gesteld kan worden dat de passage van de metro's in de bestudeerde tunnel gehoord zou kunnen worden in de gebouwen in de nabijheid.

Ondanks het feit dat het contactgeluid conform is met de voorziene drempel kan beoogd worden een aangepast spoor aan te leggen om de geluidsimpact in de gebouwen nog verder terug te dringen.

6.8.4.5. Aspecten met betrekking tot de golfslijtage

De golfslijtage van de spoorstaaf komt overeen met hoge dynamische krachten tussen de spoorstaaf en het wiel als gevolg van een vroegtijdige slijtage van de spoorstaaf en/of de componenten, hetgeen leidt tot hogere niveaus van het contactgeluid en de trillingen. De golfslijtage doet zich met name voor in scherpe bochten en bij de stations. Het project voorziet niet in scherpe bochten, maar er zijn 7 stations waar de golfslijtage zich sneller kan voordoen tijdens het stoppen en vertrekken van de rytuigen. Het is in dit stadium niet mogelijk om de toename van de trillingen of het contactgeluid te beoordelen als gevolg van de golfslijtage, want dit hangt af van veel factoren die men niet kan voorspellen.

Om dit effect te voorkomen, vermeldt BMN desalniettemin enkele technieken zoals: gebruik van een zwaardere spoorstaaf, gebruik van verende spoorstaafondersteuning, verlaging van de afstand tussen de steunpunten, verhoging van de lengte van de spoorstaafondersteuning

in de bevestigingen (bredere bielzen), vermindering van de stijfheid van de spoorstaafondersteuning, enz.

6.8.4.6. Samenvatting van de effecten inzake het geluid en de trillingen

De huidige situatie wat betreft de gemeten trillingen zijn bevredigend voor de Henri Van Dammestraat en onbevredigend voor Haachtsteenweg 1200 met betrekking tot de toepasselijke normen. De waargenomen pieken komen overeen met het verkeer van trams en auto's in het eerste geval en het drukke autoverkeer in het tweede geval.

Uit het trillingsonderzoek is gebleken dat de trillingsniveaus aan de oppervlakte lager zijn dan het referentiespectrum wanneer de diepte van de tunnel groter is dan tien meter.

De minimale diepte van het tracé is altijd groter dan 10m. Deze diepte werd gemeten ten opzichte van de funderingen (bedekking van grond tussen de tunnel en de funderingen). En overschrijding van de drempels wordt derhalve niet verwacht.

De bedekking voor een standaard gebouw van de Haachtsteenweg bedraagt 13,0 m, voor de beschermde gebouwen van 't Hoeveke bedraagt dit 14,2 m en bij het gemeentehuis van Collignon bedraagt dit 19,4 m en voor de oude gebouwen van de Lambermontlaan bedraagt de bedekking 14,7 m.





Wat betreft de voor verzakkingen gevoelige gebouwen, staan de meeste boven een voldoende bedekking. Het minimum geldt voor een gebouw van 5 verdiepingen met veel ramen te Brabantstraat 175, waar de bedekking 12,4 m bedraagt.

In de Aarschotstraat en Hoogvorststraat bestaan er andere gebouwen waar de bedekking van de ondergrond van de tunnel gering is, maar altijd meer dan 10m.

Het onderzochte contactgeluid voldoet aan de overeenkomst tussen het Gewest en de MIVB. Echter, de passage van de metrorijtuigen zou gehoord kunnen worden.

De spoortoestellen liggen allemaal in een rechte lijn. Hun locatie ten opzichte van de gebouwen aan de oppervlakte levert geen probleem op want geen enkel bestaand gevoelig gebouw ligt boven de voorgestelde locatie.

De te gebruiken criteria kunnen verdeeld worden in vier kwalitatieve categorieën.

-  Wijzigt niet fundamenteel de situatie en verbetert deze zelfs enigszins
-  Is zeer gunstig voor het criterium ten opzichte van de referentiesituatie
-  Tamelijk slecht ten opzichte van de referentiesituatie
-  Ondoenlijk, dit alternatief dient geëlimineerd te worden

Ondergrondse tracés: 

De metingen in de bestaande situatie tonen aan dat in de stedelijke omgeving de bewoners reeds onderworpen worden aan trillingen door het weg- en spoorverkeer in een mate die als aanvaardbaar beschouwd wordt.

Het metroproject, ongeacht of het een enkele buis of dubbele buis betreft, in combinatie met de opheffing van tramlijn 55 (maar met het behoud van de rails voor de toegang tot de stelplaats, de omléidingen en voor de rijkschool) leidt tot een verbetering van de geluidsomgeving, behalve wat betreft de zones rond de stations waar het geluidsniveau Lden

toeneemt (groepen mensen, incidenten waarvoor de interventie van de politie, hulpdiensten nodig is en personenwagens wachtend op reizigers...).

Er treedt ook een verbetering op van de globale trillingsomgeving van de betreffende zone door de afname van het tramverkeer aan de oppervlakte en de herinrichting van de wegen bij de huidige zwarte punten. De toepassing van artikel 10 van de ordonnantie betreffende de strijd tegen geluid in stedelijke gebieden leidt tot een vermindering van de overlast door geluid en trillingen van de trams en het autoverkeer in de Van Ooststraat. De zwarte punten van de Haachtsesteenweg tussen de Parijsstraat en de Jules Bordetlaan en op het Liedtsplein worden verbeterd door de vervanging van de tramlijn 55 door de metrotunnel en door een geschikte herinrichting van de oppervlakte.

Het wortelstelsel van de bomen, die allemaal op meer dan 9 meter boven de tunnel staan, dreigt niet aangetast te worden.

Stations: 

Er bestaat een risico op trillingseffecten voor de bestaande bebouwing bij de stations of de ventilatieschacht wanneer een gedeelte van de nieuwe structuren de bebouwing raakt en/of structureel hiermee in contact treedt (trillingsbruggen).

6.8.5. Door de aanvrager genomen maatregelen ter voorkoming, opheffing of beperking van de negatieve geluids- en trillingseffecten

Er wordt geen enkele maatregel voorgesteld in de stedenbouwkundige vergunning tijdens de uitbatingsfase. Zie hieronder de voorgestelde maatregelen tijdens de bouwfase.

6.8.6. Aanbevelingen voor het project, alternatieven en varianten tijdens de uitbatingsfase

Het wordt aanbevolen om zich ervan te verzekeren dat er antitrillingsvoorzieningen voorzien worden bij de wissels.

De impact van de snelheid van de metro's dient gekalibreerd te worden bij de aanvang van de uitbating bij de stations en bij de gevoelige gebouwen. In geval de impact hinder veroorzaakt, dient de snelheid van de metro punctueel aangepast te worden.

Het wordt aanbevolen om isolatiepanelen bij de stations en bij de openingen toe te voegen.

Het wordt aanbevolen om geluidsabsorberende voorzieningen aan te brengen bij de ventilatieroosters.

Wat betreft de aspecten van de mogelijk hoge golfslijtage op de lange termijn bij de stations en in de bochten, wordt een jaarlijkse monitoring aanbevolen en, in voorkomend geval, kan een gedeelte van de rails geslepen of vervangen worden.

De toepassing van artikel 10 van de ordonnantie betreffende de strijd tegen geluid in stedelijke gebieden leidt tot een vermindering van de overlast door geluid en trillingen van de trams en het autoverkeer in de Van Ooststraat. De zwarte punten van de Haachtsesteenweg tussen de Parijsstraat en de Jules Bordetlaan en op het Liedtsplein worden verbeterd door de vervanging

van de tramlijn 55 door de metrotunnel en door een geschikte herinrichting van de oppervlakte.

6.8.7. Analyse van de geluids- en trillingseffecten van de werf

6.8.7.1. Beschrijving van de geluids- en trillingseffecten van de werf

De geluids- en trillingseffecten van de werkzaamheden worden kwalitatief behandeld door de bestudering, enerzijds, van de belangrijkste geluidsbronnen en de voorziene methoden in het kader van de werf en, anderzijds, door de specifieke analyse van de geluids- en trillingsimpact van elke fase naargelang het type uitgevoerde werk. Er worden tevens specifieke aanbevelingen gedaan voor de bouwfase in het betreffende hoofdstuk.

A. Fasen van de werf

Wat betreft het geluid en de trillingen, zijn de belangrijkste effecten te voorzien tijdens de gebruiksperiodes van machines en technische uitrustingen tijdens de volgende fasen:

- Voorbereidende werken, sloopwerkzaamheden
- Grondverzet en werken in open schachten
- Funderingswerken
- Betonwerken (ruwbouw)
- Ondergrondse bouwwerken en riolering
- Bovenbouw.
- In mindere mate de metselwerken en afwerking.

Bovendien zorgt tijdens de gehele duur van de werkzaamheden het vervoer per vrachtwagen voor een potentieel significante geluidsimpact, want in het onderhavige geval is het volume aan af te graven grond zeer aanzienlijk.

Ter informatie worden in de volgende tabel de gemiddelde, voorzienbare geluidsniveaus voor een typische werf aangegeven naargelang de belangrijkste bouwfasen (en zonder obstakel tussen de werf en de ontvanger).

Werkfase	Indicatieve equivalente geluidsniveaus LAeq in dB(A)			
	10 tot 15 m	25 tot 30 m	50 tot 65 m	≥100 m
Grondverzet - funderingswerken	75 tot 80	71 tot 76	68 tot 73	≤ 70
Ruwbouw	78 tot 82	73 tot 77	68 tot 72	≤ 67
Afwerking	62 tot 67	57 tot 62	51 tot 57	≤ 52

Tabel 42: Voorzienbare indicatieve geluidsniveaus in de nabijheid van een werf naargelang de verschillende werkfasen (Bron: Dossiers bruit de chantier 2006 – SCETAURROUTE – J.M. Abramovitch)

De woningen, winkels en kantoorpanden die direct grenzen aan het werfterrein zijn het meest gevoelig voor de geluidsoverlast.

Omdat het een bijzonder stedelijk gebied betreft, vormen de gebouwen namelijk een obstakel van het geluid. De omwonenden en gebouwen die zich verderop bevinden, worden derhalve beschermd en zijn minder onderworpen aan het door de werf veroorzaakte geluid. Er zijn speciale inrichtingen voorzien tijdens de bouwfase om de geluids- en trillingsimpact te verminderen.

Het is voorzien om de boorwerkzaamheden te beginnen in januari 2025 om uit te komen in schacht P5, waar de tunnelboormachine twee jaar later gedemonteerd en afgevoerd zal worden in maart 2027. Om de globale termijn van het project te optimaliseren worden alle stations uitgraven voor de passage van de tunnelboormachine.

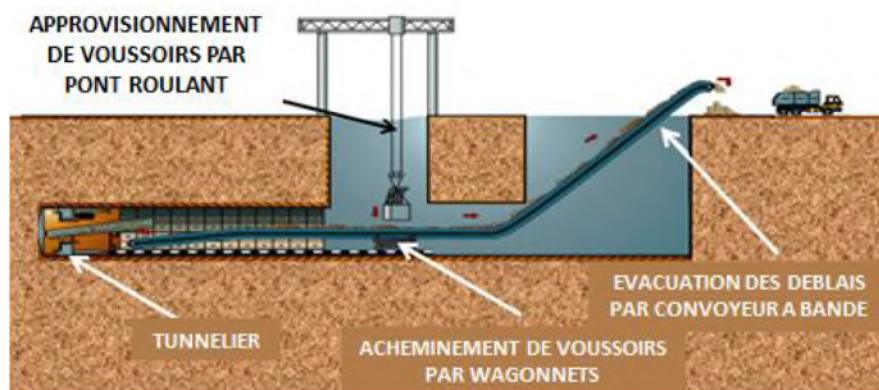


Figuur 134: Voorzien tijdschema van de tunnelboormachine (Tractebel, 2020)

De tunnelboormachine wordt aangebracht in schacht P0, de aanvangsschacht die gebouwd wordt bij de toekomstige stelplaats van Haren, en komt weer uit de grond bij P5, de daartoe gebouwde werfschacht, in de nabijheid van het station Brussel-Noord bij de Aarschotstraat. Deze schacht blijft ongebruikt tot aan de aankomst van de tunnelboormachine. Men verwijderd er de graafkop en de tunnelboormachine gaat in de omgekeerde richting terug. Dit kunstwerk werd reeds toegestaan en bestudeerd. Alleen de afvoer van de graafkop wordt in aanmerking genomen.

De tunnel is een kunstwerk dat volledig ondergronds uitgevoerd wordt, waardoor de impact op de bestaande situatie aan de oppervlakte minimaal is. De boormethode met een tunnelboormachine met manteldruk veroorzaakt een zeer laag verzakkings- en trillingsniveau.

Bovendien is tijdens de gehele duur van de werf een toezicht op de kunstwerken voorzien, met een bijzondere aandacht tijdens de passage onder bepaalde gevoelige gebouwen. De betrekkelijke afstand van de gevoelige gebouwen is een belangrijke parameter. De aanwezigheid van gevoelige gebouwen werd onderzocht (zie details hierboven in dit document).



Figuur 135: Werkingsprincipe van een tunnelboormachine

De 5 grote fasen zijn de volgende:

Fase	Beschrijving werkzaamheden	Duur
Fase 1	Voorbereidende werken P5 en P0 inclusief de sloop van het bestaande gebouw en een gedeelte van de steunmuur van de kaden, maar ook de omleidingswerken van de concessiehouders en de werfinstallaties	7 maanden (P5) en 10 maanden (P0)
Fase 2	Civiele bouwkundige werken van de schachten inclusief graafwerkzaamheden in open schacht, uitvoering van de gegoten wanden, een cementfundering (jet-grouting) in de schacht en een deklaag.	20 maanden (P5) en 24 maanden (P0)
Fase 3	Tunnelboormachine van P0 naar P5	26 maanden
Fase 4	Demontage van de tunnelboormachine bij P5	3 maanden
Fase 5	Afwerking	6 maanden

Tabel 43: Fasering van het project

Tijdens fase 3 zullen de werkzaamheden weinig geluidsimpact hebben want de werf vindt voornamelijk ondergronds plaats. Behoudens het vervoer kunnen alleen de nog resterende bovengrondse installaties nog geluid in de omgeving genereren (hijskraan, hoogspanningspost en opslag van materialen).

Voor de schacht P0 zullen de montage tijdens fase 1 en voor de schacht P5 de demontage tijdens fase 4 van de tunnelboormachine met betrekking tot het tweede deel van de noordmetro geluid genereren. De demontage van de tunnelboormachine wordt ondergronds voorzien en de verwijdering in losse onderdelen door een opening in de straat (constructief voorzien in de vergunning van station Brussel-Noord).

De afwerkingen tijdens fase 5 betreffende voornamelijk de binneninrichtingen van de schachten en zullen geen significante geluidsoverlast veroorzaken voor de omgeving.

Dit hoofdstuk beoogt in eerste instantie de verschillende geluidsbronnen op te sommen en te beschrijven in verband met de werkzaamheden voor dit project dat, wat betreft het geluid en de trillingen, bijzonder gevoelig is wegens de uitgevoerde werkzaamheden (sloop en ondergrondse werkzaamheden), maar ook door de nabijheid van woningen en kantoren.

Vervolgens zal elk werfterrein op een meer specifieke wijze bestudeerd worden met de belangen en aandachtspunten. Ten slotte worden er aanbevelingen gedaan om de geluids- en trillingsimpact te verminderen.

B. Meerdere werflocaties

Ter herinnering, de bovengrondse werkzaamheden zullen het meeste geluid veroorzaken en betreffen voornamelijk 2 zones.

B.1. Zone van schacht P5 – Aarschotstraat

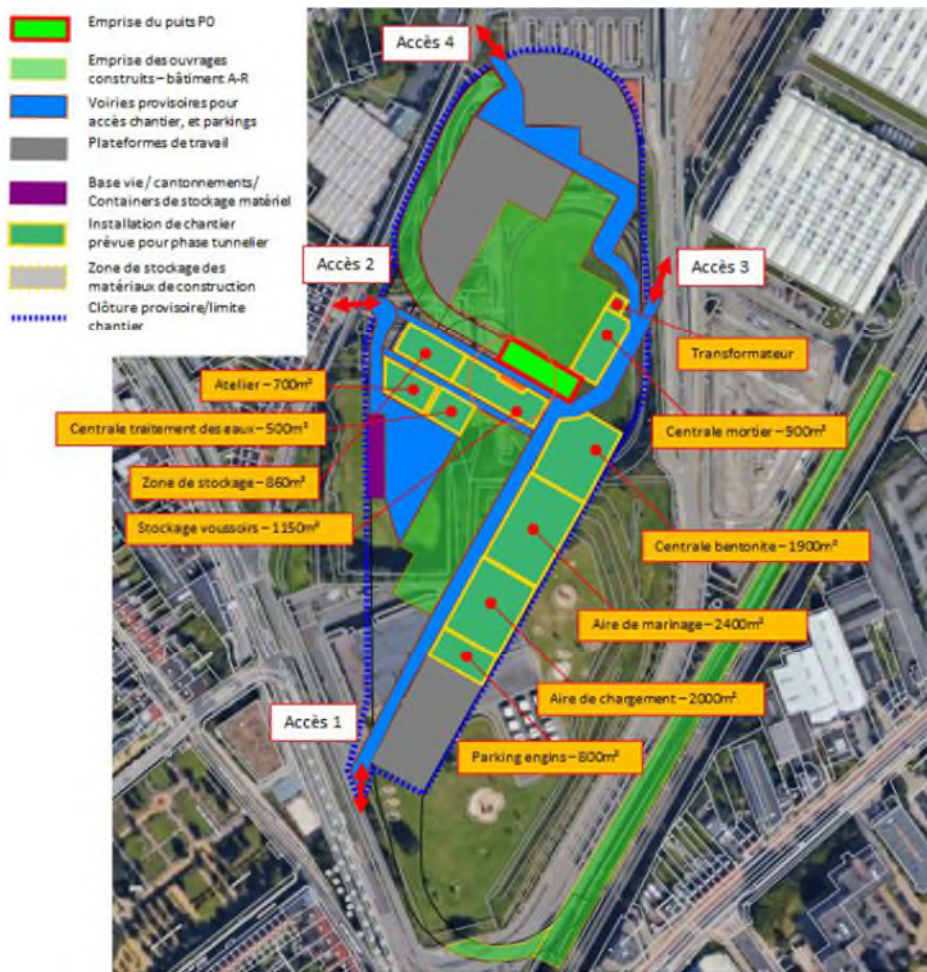
Deze zone komt overeen met de Aarschotstraat, tussen de nummers 122 en 128 en bevindt zich ten oosten van het station met veel woningen en winkels. Voor de werkzaamheden zijn omleidingen nodig tijdens de werffase. Het betreft uitsluitend de heropeningsfase van de weg voor de verwijdering van de kop van de tunnelboormachine. Voorwerp van de vergunning voor de sectie station Brussel-Noord, afgegeven in mei 2020.



Figuur 136: Locatie van de gebouwen die het meest onderworpen kunnen zijn aan het door de werf van schacht P5 veroorzaakte geluid en de trillingen (Bron: Google Earth)

B.2. Zone van schacht P0 – Stelplaats

De omwonenden op wie de geluidsoverlast het meest betrekking heeft zijn de woningen aan de Tweedekkerstraat.



Figuur 137: Werf ter hoogte van de stelplaats (Tractebel, 2020)

Er zijn verschillende toegangen tot de werf.

6.8.7.2. Geluidsniveaugrenzen

Er bestaat geen reglementair kader voor de maximale geluidsniveaus als gevolg van de verschillende activiteiten van de werf. Desalniettemin dient de geluidsoverlast voor de omwonenden beperkt te worden.

Het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 21 november 2002 betreffende de strijd tegen het buurtlawaai definieert 3 perioden A, B, C. Het betreft de volgende dagelijkse uurschijven:

	Ma	Di	Wo	Do	Vr	Za	Zo	Feestdag
07 :00-19 :00	A	A	A	A	A	B	C	C
19 :00-22 :00	B	B	B	B	B	C	C	C
22 :00-07 :00	C	C	C	C	C	C	C	C

Tabel 44: dagelijkse uurschijven

Om het geluid van de werf te beperken, zijn de activiteiten van de werf uitsluitend toegestaan tijdens de periode A. Buiten deze periode dienen alle installaties waarvan de werking noodzakelijk is te voldoen aan de geluidsdrempels van het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 21 november 2002 betreffende de strijd tegen het buurtlawaaï.

Tijdens de periode A dienen er 2 soorten geluid onderscheiden te worden waarvan het geluidsniveau beperkt dient te worden:

- Het geluid veroorzaakt door het vervoer over de weg
- Het geluid veroorzaakt door de activiteiten van de werf

Om de geluidsoverlast van het vervoer van de vrachtwagens over de weg te beperken, mag de bijdrage van het geluid van deze vrachtwagens de huidige waarde $L_d(ay)$ niet verhogen met een waarde van meer dan $L_d + 3$ dB.

Om het geluid veroorzaakt door de activiteiten van de werf te beperken, mogen de geluidsniveaus $L_{Aeq, \text{meest luidruchtige uur}}$ de drempels van tabel 7 niet overschrijden ter hoogte van het dichtstbijzijnde gebouw. In deze tabel zijn de voortdurende geluiden de geluiden die afkomstig zijn van bronnen die voortdurend werken tijdens de werfuren (pompen, generatoren, ...). De niet voortdurende geluiden zijn die welke afkomstig zijn van alle andere geluidsbronnen.

$L_{Aeq, \text{het meest luidruchtige uur}}$	Acties
Niet-voortdurend geluid:	
≤ 60 dB(A)	Het geluidsniveau is aanvaardbaar.
>60 dB(A) ≤ 65 dB(A)	Het geluidsniveau is aanvaardbaar mits de mensen die onderworpen worden aan deze overlast van tevoren geïnformeerd worden (door vermelding van de werkmethode, de feitelijke duur van de werkzaamheden van de betreffende werffase, door de overmijdelijkheid van het veroorzaakte geluid te rechtvaardigen, de gebruikte middelen om de grootste geluidsimpact van de machines die ten grondslag liggen aan het geluid te beperken, ...), de overheersende geluidsbronnen moeten geïdentificeerd, hiërarchisch ingedeeld en periodiek gecontroleerd worden.
>65 dB(A) ≤ 70 dB(A)	Het geluidsniveau dreigt onaanvaardbaar te zijn voor de mensen die aan dit geluid worden blootgesteld, de belangrijkste geïdentificeerde overheersende procedés of geluidsbronnen moeten aangepast worden (beperking uurperiode, beperking van het vermogen, controle van de bedrijfscondities, ...) of vervangen worden door minder luidruchtige installaties of procedés, de overige geïdentificeerde overheersende geluidsbronnen moeten onder nauw toezicht geplaatst worden.
≥ 70 dB(A)	Boven deze waarde is het geluidsniveau onaanvaardbaar. Alle geïdentificeerde overheersende geluidsbronnen moeten onmiddellijk gestopt worden, er dienen technische uitvoeringsalternatieven van de betreffende werfwerkzaamheden ingevoerd te worden om de voorgeschreven drempels na te leven. Als het absoluut noodzakelijke activiteiten betreft, waarvoor geen

	<p>alternatieve methoden bestaan, dient aangetoond te worden dat men gebruik maakt van de beste technieken om het geluidsniveau te beperken. De mensen die onderworpen worden aan deze overlast dienen verplicht van tevoren geïnformeerd te worden (door vermelding van de werkmethode, de feitelijke duur van de werkzaamheden van de betreffende werffase, door de overmijdelijkheid van het veroorzaakte geluid te rechtvaardigen, de gebruikte middelen om de grootste geluidsimpact van de machines die ten grondslag liggen aan het geluid te beperken, ...). Deze overheersende geluidsbronnen dienen geïdentificeerd, hiërarchisch ingedeeld en onder periodieke controle gesteld te worden. De werkduur dient sterk beperkt te worden.</p>
Voortdurende geluid:	
≤ 50 dB(A)	Het geluidsniveau is aanvaardbaar.
> 50 dB(A)	<p>Boven deze waarde is het geluidsniveau onaanvaardbaar. Alle geïdentificeerde overheersende geluidsbronnen moeten onmiddellijk gestopt worden, er dienen technische uitvoeringsalternatieven van de betreffende werfwerkzaamheden ingevoerd te worden om de voorgeschreven drempels na te leven. Als het absoluut noodzakelijke activiteiten betreft, waarvoor geen alternatieve methoden bestaan, dient aangetoond te worden dat men gebruik maakt van de beste technieken om het geluidsniveau te beperken. De mensen die onderworpen worden aan deze overlast dienen verplicht van tevoren geïnformeerd te worden (door vermelding van de werkmethode, de feitelijke duur van de werkzaamheden van de betreffende werffase, door de overmijdelijkheid van het veroorzaakte geluid te rechtvaardigen, de gebruikte middelen om de grootste geluidsimpact van de machines die ten grondslag liggen aan het geluid te beperken, ...). Deze overheersende geluidsbronnen dienen geïdentificeerd, hiërarchisch ingedeeld en onder periodieke controle gesteld te worden. De werkduur dient sterk beperkt te worden.</p>

Tabel 45: maximale geluidsniveaus ter hoogte van het dichtstbijzijnde gebouw.

6.8.7.3. Geluidsbronnen in verband met de werf

A. Identificatie van de geluidsbronnen

De belangrijkste geluidsbronnen tijdens de werffase zijn de volgende:

- Het gebruik van machines voor de uitvoering van funderingen (heimachines, hydrofrees, enz.)
- Het gebruik van gangbare werfmachines (graafmachines, bulldozers, betonbrekers, trekkers, hijskranen, enz.),
- Het gebruik van technische uitrusting (beton- of bentonietcentrale, compressors, elektrogenerators, hoogspanningsposten, enz),

- De werfgereedschappen en -apparatuur (drilboren, cirkelzagen, betonmolens, boormachinezs, enz.)
- Het laden en lossen van materialen (schokken, geluid van het laden/lossen, enz.),
- Het lawaai van geluidssignalen zoals claxons of achteruitrijsirenes,
- Het praten en schreeuwen van de arbeiders op de werf,
- Het vervoer van vrachtwagens voor de bevoorrading met materialen van de werf en de afvoer van grond,
- De omleiding van het wegverkeer.

De geluidsemissies hangen voornamelijk af van de gekozen technieken, met name voor de uitvoering van de heipalen en de tunnels, evenals het theoretische geluidsvermogen van de werfmachines en variëren naargelang de verschillende bouwfasen (grondverzet, ruwbouw, enz.).

In het kader van het project zal iedere werfzone voorzien worden van bouwketens, een hoogspanningspost, een magazijn en opslag- en leveringszones.

Naaste de gebruikelijke werfmachines zijn de op de werf gebruikte machines de volgende:

- Machine voor gegoten wanden
- Bentonietcentrale
- Betoncentrale en pomp
- Pomp- en ventilatiemachine
- Jet-grouting machine
- Torenkraan (hefmateriaal)

B. Machines en werfuitrusting

De bouwmaschinen zijn onderworpen aan de "machine"-richtlijnen 2005/88/EG en 2006/42/EG. De machines die deze Europese richtlijnen naleven dienen verplicht voorzien te zijn van het volgende pictogram:



Figuur 138: Pictogram CE-markering, conform met de Europese richtlijnen 2005/88/EG en 2006/42/EG

In algemene zin kan met ervan uitgegaan dat de bouwmachines en bijbehorende technische apparatuur (compressors, elektrogenerators, enz.) een akoestisch vermogen hebben tussen 95 en 115 dB(A).

De Europese richtlijn 2000/14/EG betreffende de geluidsemisatie in het milieu door materieel voor gebruik buitenshuis verstrekt de maximale geluidswaarden die de machines niet mogen overschrijden.

Type materiaal	Netto geïnstalleerd vermogen P , in kW Elektrisch vermogen P_{el} in kW ⁽¹⁾ Massa m van het apparaat, in kg Snijbreedte L , in cm	Toelaatbaar niveau geluidsvermogen in dB/1 pW	
		Fase I vanaf 3 januari 2002	Fase II vanaf 3 januari 2006
Verdichtingsmachines (trilwalsen en trilplaten en trilstampers)	$P \leq 8$	108	105 ⁽²⁾
	$8 < P \leq 70$	109	106 ⁽²⁾
	$P > 70$	$89 + 11 \lg P$	$86 + 11 \lg P$ ⁽²⁾
Bulldozers, laadschoppen, graaflaadmachines op wielen, stortkarren, egaliseermachines, verdichters van opvulgrond en afval van het laadtype, vorkheftrucks, met interne verbrandingsmotor, mobiele kranen, verdichtingsmachines (niet trillende walsen), asfalteermachines, hydraulische vermogensgroepen	$P \leq 55$	106	103 ⁽²⁾
	$P > 55$	$87 + 11 \lg P$	$84 + 11 \lg P$ ⁽²⁾
	$P \leq 55$	104	101 ⁽²⁾ ⁽³⁾
	$P > 55$	$85 + 11 \lg P$	$82 + 11 \lg P$ ⁽²⁾ ⁽³⁾
	$P \leq 15$	96	93
	$P > 15$	$83 + 11 \lg P$	$80 + 11 \lg P$
Schoppen, materiaallichten, werftakels, motorhakfrezen	$m \leq 15$	107	105
	$15 < m < 30$	$94 + 11 \lg m$	$92 + 11 \lg m$ ⁽²⁾
	$m \geq 30$	$96 + 11 \lg m$	$94 + 11 \lg m$
Betonbrekers en handdrilboren		$98 + \lg P$	$96 + \lg P$

Figuur 139: Maximaal geluidsvermogen van de machines (Europese richtlijn 2000/14/EG)

Stroomaggregaten voor lassen en vermogen	$P_{el} \leq 2$	$97 + \lg P_{el}$	$95 + \lg P_{el}$
	$2 < P_{el} \leq 10$	$98 + \lg P_{el}$	$96 + \lg P_{el}$
	► CI $P_{el} > 10$ ◀	$97 + \lg P_{el}$	$95 + \lg P_{el}$
Motorcompressors	$P \leq 15$	99	97
	$P > 15$	$97 + 2 \lg P$	$95 + 2 \lg P$
Grasmaaiers, weed-eaters	$L \leq 50$	96	94 (°)
	$50 < L \leq 70$	100	98
	$70 < L \leq 120$	100	98 (°)
	$L > 120$	105	103 (°)

(1) P_{el} voor lasapparaten: conventionele lasstroom vermenigvuldigd met de conventionele lastspanning voor de laagste waarde van de door de fabrikant opgegeven relatieve inschakeltijd

P_{el} voor vermogensaggregaten: primaire energie volgens de norm ISO 8528-1:1993, punt 13.3.2.

(2) De cijfers van de fase II zijn louter informatief voor de volgende soorten machines:

- rolwalzen met bestuurder te voet,
- trilplaten (> 3 kW),
- trilstampers,
- bulldozers (met stalen rupsbanden),
- laadschoppen (op stalen rupsbanden > 55 kW),
- asfalteermachines met egaliseerbalk met verdichtingssysteem,
- betonbrekers en handdrilboren met interne verbrandingsmotor ($15 < m < 30$)
- grasmaaiers, weed-eaters.

De definitieve cijfers hangen af van de wijziging van de richtlijn naar aanleiding van het in artikel 20, paragraaf 1 vermelde rapport. Indien geen wijziging blijven de cijfers van de fase I van toepassing tijdens de fase II.

(3) Voor mobiele kranen met één motor blijven de cijfers van de fase I van toepassing tot 3 januari 2008. Na deze datum zijn de cijfers van fase II van toepassing.

Het toelaatbare geluidsniveau wordt standaard afgerond of door overmaat op het dichtstbijzijnde hele getal (voor minder dan 0,5, naar beneden afgerond heel getal, voor 0,5 of meer, naar boven afgerond heel getal).

Figuur 140: (vervolg) Maximaal geluidsvermogen van de machines (Europese richtlijn 2000/14/EG)

De onderstaande tabel geeft de potentiële equivalente geluidsniveaus weer op een bepaalde afstand van de werfuitrusting (rekening houdend met het geluidsvermogen daarvan).

Afstand	Geluidsdruk Lp (dB(A)) naargelang geluidsvermogen					
	Lw-Lp	Lw=115	Lw=110	Lw=105	Lw=100	Lw=95
5 m	22.0	93.0	88.0	83.0	78.0	73.0
10 m	28.0	87.0	82.0	77.0	72.0	67.0
20 m	34.0	81.0	76.0	71.0	66.0	61.0
50 m	42.0	73.0	68.0	63.0	58.0	53.0
100 m	48.0	67.0	62.0	57.0	52.0	47.0
200 m	54.0	61.0	56.0	51.0	46.0	41.0
300 m	57.5	57.5	52.5	47.5	42.5	37.5
400 m	60.0	55.0	50.0	45.0	40.0	35.0
500 m	62.0	53.0	48.0	43.0	38.0	33.0

Tabel 46 Geluidsdrumniveaus in dB(A) naargelang de afstand overeenkomend met indicatieve geluidsdrumniveaus

Uit de analyse van deze tabel en gelet op de bestaande geluidsomgeving (60-65 dB(A) voor de drukste straten), kan men stellen dat elke werfmachine of -uitrusting op significante wijze de huidige geluidsomgeving kan verstoren minstens over de eerste 50 tot 100 meter ten opzichte van de betreffende bronnen. Naast het voortdurende geluid van de motoren op constant geluidsniveau, bestaan er op een werf tevens karakteristieke geluiden (impulsgeluid, herhaaldelijk geluid (bijv. achteruitrijbiëp) met een verstoring over meer dan 100 m voor bepaalde karakteristieke geluiden (bijv. drillboren).

Welnu, in het onderhavige geval bevinden de omwonenden zich op minder dan 5 m van de voorziene werfzones voor de verwijdering van de tunnelboormachine uit schacht P5, aan de zijde van de Vooruitgangstraat, het werfterrein bevindt zich circa 13 m van een kantoorpand en 28 m van het eerste woonpand. Op de stelplaats en in de nabijheid van P0 bevinden de woningen van de Tweedekkerstraat zich op meer dan 50m van de bouwzones van de werf, in het bijzonder de werkplaats, de opslagzone en de waterbehandelingscentrale. De afstand helpt, maar de werf zal jaren voortduren voor de mensen die aldaar wonen. Dit vereist bijzondere aandacht. Bovendien voorzien de verschillende fasen van de werf in de installatie van machines of uitrusting op minder dan 50m. De overige delen bevinden zich eerder op een afstand van 150 m waardoor de geluidsdrumniveaus lager zijn dan 60 dB(A) voor de machines met een geluidsvermogen tot 110 dB(A).

De werven zijn niet onderworpen aan het besluit van 21 november 2002 betreffende de ingedeelde inrichtingen. Daarentegen kan de milieuv vergunning bijzondere voorwaarden voorschrijven. Gelet op de nabijheid van de woningen, winkels en kantoren hebben de meest luidruchtige machines ($L_w > 105$ dB(A)), als ze niet uitgerust worden met een geluidwering, een belangrijke geluidsimpact op de omwonenden. Om de geluidsoverlast te verminderen, denkt Beliris momenteel na over geluidsbeperkende systemen, zoals isolerende hekken, isolatiekappen op de machines, enz.

Bovendien genereren tijdens bepaalde werkfasen (sloop, gebruik van de betonbreker of drillboor, verdichting van de grond, ...) de bouw machines trillingen, soms storend voor het comfort van de omwonenden, maar die in het algemeen geen gevaar met zich meebrengen voor de stabiliteit van de omringende gebouwen.

In het onderhavige geval kan gesteld worden dat door de nabijheid van bepaalde werfterreinen en de woningen, de trillingen een significante impact kunnen hebben op de omwonenden, met name bij de Aarschotstraat en de Tweedekkerstraat. Er dienen voorzorgsmaatregelen getroffen te worden om het risico van trillingsoverlast te beperken en er dient speciale

aandacht geschonken te worden aan het risico op scheuren, want gelet op de sterke nabijheid van de werf ten opzichte van de woningen (<5m) mag dit niet verwaarloosd worden.



Laadschop (mechanische graaflaadmachine) Graafmachine (of steenbreker) Boorpaalmachine Hydrofrees

Figuur 141: Illustratie van gebruikelijke bouwmachines die waarschijnlijk gebruikt zullen worden in het kader van het project

C. Werfverkeer

De geluidsoverlast van het "werfverkeer" hangt af van de volgende parameters:

- De snelheid van de vrachtwagens.
- Het laden van de vrachtwagen.
- De staat van de vrachtwagen.
- De frequentie van de vrachtwagens (aantal/dag).
- De helling van de weg (motorgeluid).
- De staat van de weg.

De onderstaande tabel geeft de equivalente geluidsniveaus weer naast een weg (10 vrachtwagens/uur).

Afstand Helling	5m	10m	15m	20m	25m	50m	75m	100m	150m	200m
Snelheid 30 km/u	65,5	62,1	60,1	58,5	57,1	53,0	51,2	49,9	48,0	46,5
40 km/u	64,4	61,0	59,0	57,4	56,0	51,9	50,0	48,8	46,9	45,3
50 km/u	63,6	60,3	58,3	56,7	55,3	51,2	49,3	48,1	46,1	44,6

Tabel 47: Gemiddelde geluidsdrukkniveaus in dB(A) verkregen naast een weg (10 vrachtwagens/uur) naargelang de afstand ten opzichte van de weg

Deze tabel toont aan dat de contourlijn van 60 dB(A) zich op circa 15 m van de weg bevindt en die van 65 dB(A) op 5m. Het is belangrijk om op te merken dat de piekniveaus tijdens de passage van een vrachtwagen beduidend hoger zijn (80 dB(A) op minder dan 20 m).

Bovendien houdt bovenstaande tabel geen rekening met het bijkomende geluid in verband met het vrachtwagenvervoer, zoals claxons, achteruitrij sirenes, rijden zonder lading (trillende

platen), parkeren van vrachtwagens met lopende motor, het lawaai van het laden en lossen van materialen, ...

Voor de werf van de stelplaats vindt de toegang tot het werfterrein plaats via de Houtweg (toegang 1), de Tweedekkerstraat (toegang 2) en de Moestuinstaat (toegang 4). De Tweedekkerstraat is smal en met eenrichtingsverkeer.

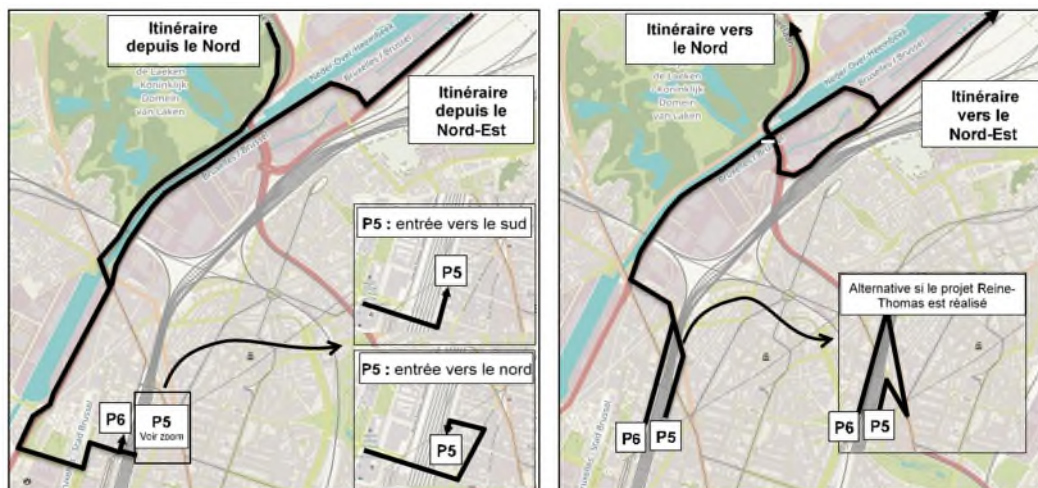
Echter, de regelmatige passage van werfvrachtwagens voor de afvoer en bevoorrading van de werf veroorzaakt eveneens een gevaar voor geluidsoverlast, met name tijdens de graaffasen.

De impact van het vrachtwagenverkeer door de werf bij de schacht zal gering zijn.

De levering van materialen en de afvoer van grond zijn voorzien via de noordzijde van de Aarschotstraat voor de werf aan de zijde van station Brussel-Noord en de verschillende toegangen tot de werf aan de zijde van de stelplaats. Het dagelijks benodigde aantal vrachtwagens voor de aanvoer en afvoer van materialen zal respectievelijk 1,5 en 10 vrachtwagens per dag bedragen voor de fasen 1, 2 en 3. Een vrachtwagen per uur op een snelheid van 40 km/u genereert equivalente geluidsniveaus van minder dan 55 dB(A) op 5m afstand van de gevel.

Tijdens de pieken telt men 15 vrachtwagens per dag, gespreid tussen 6 u en 22 u ongeveer. Teruggevoerd tot een uurverkeer en gelet op 2 passages per vrachtwagen komt dit gemiddeld neer op 3 vrachtwagens per uur tijdens de meest kritieke periode, dat wil zeggen een betrekkelijk gering verkeer ten opzichte van het reeds bestaande wegverkeer.

Ten slotte werden wat betreft de routes van de vrachtwagens de meest snelle en de meest korte routes bestudeerd.



Figuur 142: Voorstel IN/OUT routes voor de bouwzones (bron: hoofdstuk mobiliteit)

Er wordt geoordeeld voor de werf bij schacht P5 dat de route geoptimaliseerd is ten opzichte van het oorspronkelijk voorziene rijtraject omdat de plaatselijke straten vermeden worden. Naast de voorgestelde wegen (Vilvoordsesteenweg, Groendreef, Simon Bolivarlaan...) zijn de grote verkeersaders beter geschikt wegens hun huidige grote belasting maar ook wat betreft de configuratie van de wegen en de ligging/het gebruik van de gebouwen (brede lanen met voornamelijk kantoorpanden of waar de activiteiten plaatsvinden op enige afstand van de wegen).

Derhalve zal met de nieuwe trajecten het door de werf veroorzaakte vrachtverkeer minder geluidsoverlast veroorzaken voor de omwonenden dan de oorspronkelijk beoogde trajecten.

D. Omleiding van het wegverkeer

Tijdens de gehele bouwfase van de schacht P5 zal de Aarschotstraat afgesloten zijn voor het motorverkeer, wat zal leiden tot een verplaatsing van de verkeersdrukte naar de Brabantstraat en een omkering van het verkeer op de Rogierstraat en de Hoogvorststraat.

Deze omleidingen zullen een lichte verhoging van het verkeer met zich meebrengen op de betreffende wegen, maar gelet op het feit dat de Brabantstraat al veel gebruikt wordt en dat de Rogierstraat en de Hoogvorstraat eenrichtingsstraten blijven, wordt geacht dat de geluidsimpact in verband met het vrachtverkeer aan de oppervlakte gering zal zijn. Voor bepaalde wegen (Aarschotstraat en Hoogvorststraat), is dit zelfs iets positiever want er wordt een minder grote drukte op deze wegen voorzien tijdens de werffase (zie hoofdstuk mobiliteit).

Het grootste risico op geluidsoverlast in verband met de omleidingen is het gebruik van claxons door automobilisten in geval van files en verkeersstremmingen.

6.8.7.4. Trillingsniveaugrenzen

Er bestaat geen reglementair kader voor de maximale trillingsniveaus als gevolg van de verschillende activiteiten van de werf. Desalniettemin dient de overlast voor de omwonenden beperkt te worden.

Voor de trillingen wordt voorgesteld de grenswaarden te gebruiken van de norm DIN 4150-2 voor de overlast van de mensen in de gebouwen.

Deze norm geeft de grenzen aan voor de door bouwwerkzaamheden gegenereerde trillingen over een lange periode volgens 3 niveaus.

Niveau	Metingen
I	Met trillingen onder dit niveau, kan men veronderstellen dat er geen aanzienlijk ongemak zal bestaan.
II	Trillingen onder dit niveau worden verondersteld evenmin aanzienlijke ongemakken te veroorzaken, zolang de volgende maatregelen getroffen worden: <ul style="list-style-type: none"> • De mensen die waarschijnlijk blootgesteld worden aan de trillingen in kennis stellen van de duur en intensiteit van de verwachte trillingen, • Uitleggen dat tijdens de bouwwerkzaamheden de trillingen onvermijdelijk zijn, • Aanvullende maatregelen invoeren om het ongemak te beperken, zoals het inlassen van pauzes, rustige periodes behouden, enz... • Een contactpersoon benoemen met wie de mensen die blootgesteld kunnen worden aan trillingen contact kunnen opnemen in geval van problemen, • De personen die blootgesteld kunnen worden aan de trillingen informeren over het effect daarvan op de gebouwen, • Zo nodig, de werkelijke trillingen van de werf meten en hun effect op de mensen en bouwstructuren beoordelen.
III	De effecten van de trillingen boven dit niveau zijn niet aanvaardbaar.

Tabel 48 Conclusies en acties bouwtrillingen (bron: DIN4150, 1999)

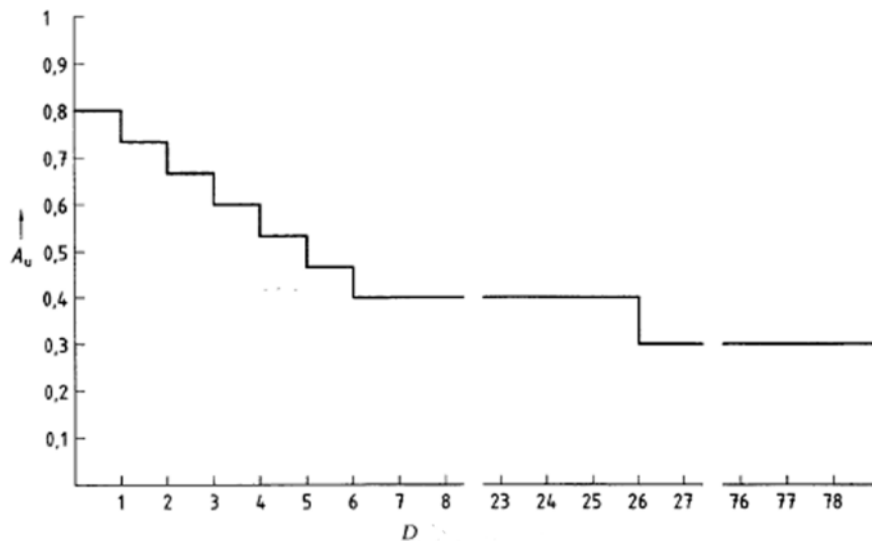
Niveau II kan gekozen worden als de verschillende maatregelen genomen worden vóór de werkzaamheden, omdat als de trillingen lager blijven dan deze waarden, men ervan uit kan gaan dat er geen sprake is van groot ongemak voor de personen. De drempels worden weergegeven in de volgende tabel.

Duur D in dagen	D ≤ 1			6 < D ≤ 26			26 < D ≤ 78		
	Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6

Tabel 49 Grenswaarden van de bouwtrillingen (Bron: DIN4150, 1999)

Parameter D van deze tabel komt uitsluitend overeen met het aantal dagen waarop er trillingen zijn en niet noodzakelijkerwijze met het totale aantal dagen van de periode van de bouwwerkzaamheden.

Voor een duur tussen 1 en 6 dagen dient een interpolatie uitgevoerd te worden zoals bijvoorbeeld hieronder aangetoond voor de waarde A_u .



Figuur 143: Interpolatie grenswaarden vs duur D (bron: DIN4150, 1999)

Als KBF_{max} lager dan of gelijk is aan A_u , zijn de vereisten vervuld. Als KBF_{max} hoger is dan A_u , zijn de eisen niet vervuld. In de andere gevallen zijn de eisen vervuld als KBF_{Tr} niet hoger is dan de waarde A_r .

KBF_{max} is de maximale waarden van de KBF_{Ti} 's tijdens een gedeelte van de dag (overdag, 's avonds, 's nachts). KBF_{Tr} komt overeen met de effectieve waarde (gemiddelde vierkantswortel) van de KBF_{Ti} 's. De KBF_{Ti} 's zijn maximale waarden van de KB 's gedurende 30 seconden. De waarde KB is de geleidelijke, effectieve en gewogen trillingswaarde en komt overeen met de snelheidswaarden.

De aanwezigheid van trillingen wordt bepaald wanneer de grenswaarden van de voortdurende trillingen onder normale omstandigheden overschreven worden:

Categorie	Zone	Overdag			's Nachts		
		Au	Ao	Ar	Au	Ao	Ar
1	Gebouwen in zuiver industriële zones, waar de woningen uitsluitend bestemd zijn voor de eigenaren of beheerders van installaties, opzichters, personeel van hulpdiensten, enz.	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Gebouwen in voornamelijk handelszones	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Gebouwen in zones die niet overwegend handelszones noch woonzones zijn.	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Gebouwen in zuiver of overwegend woonzones	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Gebouwen in speciaal beschermde zones (zoals ziekenhuizen) of in kuuroorden	0,1	3	0,05	0,1	0,15	15

Tabel 50: Grenswaarden normale omstandigheden (bron: DIN4150, 1999)

In dit project bevindt de werf van de stelplaats zich in categorie 3, maar de bewoners langs het tracé van de tunnel eerder in categorie 4, evenals de werf van station Brussel-Noord.

6.8.7.5. Impact van de trillingen van de werkzaamheden tijdens de werffase

A. Inleiding

De belangrijkste trillingen tijdens een werf zijn het gevolg van sloopwerkzaamheden (betonbreker, sloopmachines, enz.), funderingswerken (graafwerkzaamheden, heipalen, damwanden, drillboren, enz.) en bepaalde andere werkzaamheden (bijvoorbeeld jet-grouting).

Bij dit project kan de tunnelboormachine die onder de gebouwen loopt trillingen veroorzaken.

Ook het werfverkeer op een slecht ingerichte weg (verkeersdrempels, oneffenheden, gaten in het wegdek, snelheidsbeperkers) kunnen eveneens overlast veroorzaken. De activiteiten van de werf die trillingen veroorzaken houden meestal verband met tijdelijke bronnen.

Deze trillingen kunnen de volgende problemen veroorzaken:

- Overlast voor mensen > 0,1 mm/s. De trillingen worden zeer snel als hinderlijk gevoeld. De hinder wordt gevoeld naargelang de amplitude van de trilling en de frequentie (Hz).
- Schade aan standaard gebouwen > 5 mm/s = 50 maal sterker dan de gevoeligheidsdrempel van de mens. De trillingen zijn derhalve vaker hinderlijk voor mensen dan dat ze risico's met zich meebrengen voor gebouwen.

- Verstoring van gevoelige apparatuur (drukkerij, elektronische microscopen). Gevoelige apparatuur komt zelden voor, maar de toelaatbare trillingen zijn er zeer laag voor.

In Haren is de afstand ten opzichte van de gebouwen ($\pm 100\text{m}$) groter. Het risico op schade aan de gebouwen of hinder door trillingen wordt hier als verwaarloosbaar beschouwd.

In het algemeen zijn de mogelijke trillingsbronnen tijdens de bouwfase de volgende:

- Aankomst en vertrek van zware voertuigen
- Trillingen van de verdichters
- Dynamische verharding
- Graaf- en sloopwerkzaamheden
- Ontploffingen

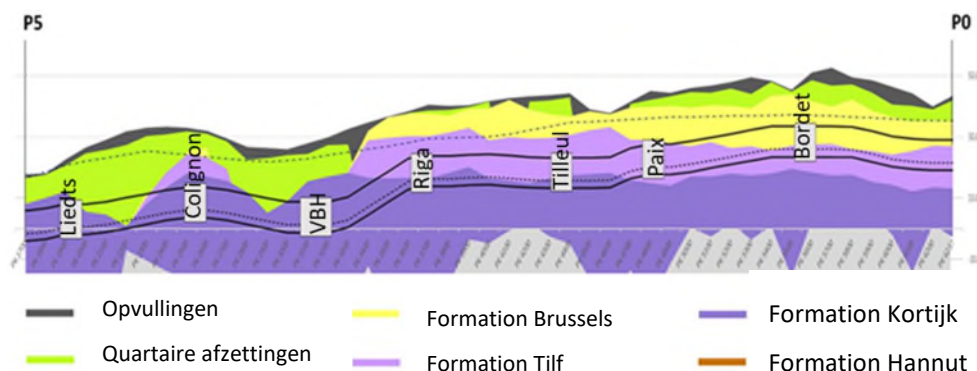
Het wortelstelsel van de bomen, die allemaal op meer dan 9 meter boven de tunnel staan, dreigt niet aangetast te worden.

B. Tunnelboormachine

Wanneer de tunnelboormachine door de bodem graaft, brengt het trillingen en geluid voort. Het geluids- en trillingsniveau hangt af van de bodemgesteldheid. De trillingen van de tunnelboormachine kunnen niet volledig voorkomen worden.

Het niveau van het contactgeluid in een gebouw als gevolg van het graven van de tunnel hangt af van het type gebouw en de nabijheid daarvan ten opzichte van het tracé van de tunnel.

Sommige mensen kunnen lichte geluids- en trillingsniveaus waarnemen wanneer de tunnelboormachine onder hun huis door gaat. 's Nachts, als het achtergrondgeluid lager is, is dit waarschijnlijker.



Figuur 144: Geologische synthese langs het tracé (BMN, 2020)

De tunnelboormachine loopt door de Kortrijk-, Tielt- en Brusseliaanse formaties die uit zand en klei bestaan. In deze lagen verloopt het graven zeer glad. Er bevindt zich zeer weinig gesteente dat bij het graven trillingen kan veroorzaken.

De kop van de tunnelboormachine draait maximaal 4 toeren per minuut en de tunnelboormachine gaat 10 meter per dag vooruit.

Rahman (2007) meldt een trillingsniveau van 1 mm/s tussen 10 tot 20Hz voor een tunnelboormachine op een diepte van 25m in Dublin in een kleilaag met veel gesteente (Dublin boulder clay).

Een monitoring van de trillingen is mogelijk tijdens de werkzaamheden op een vast punt boven de tunnel aangevuld met trillingsmetingen op de tunnelboormachine zelf. Door de draaisnelheid of de voortgangssnelheid te verminderen, kunnen de trillingen beperkt worden.

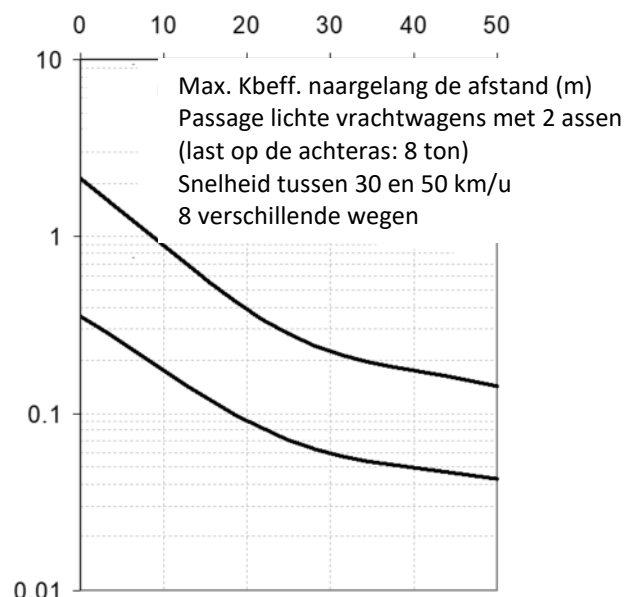
Het is mogelijk dat men de passage van de tunnelboormachine kan waarnemen. De trillingen en het contactgeluid zijn van een beperkt niveau wanneer de tunnelboormachine door weinig hard of rotsachtig materiaal graaft. Dit doet zich enkele dagen voor en zou aanvaardbaar gehouden kunnen worden volgens de Duitse standaard voor bouwwerven.

Het wordt aanbevolen dat de bewoners en ondernemingen langs het tracé van de tunnel ingelicht worden.

C. Aankomst en vertrek van zware voertuigen

De voertuigen op de site en het verkeer van en naar de site kunnen voor overlast zorgen. Er spelen twee mechanismen: de druk van de bodem rondom het voertuig vanwege zijn eigen gewicht en de snelle veranderingen van de bodemdruk bij elk wiel tijdens de passage.

De amplitude van de trillingen hangt af van de asdruk, de snelheid van het voertuig en de staat van het wegdek.



Figuur 145: De maximale trillingsnelheid voor de passage van een lichte vrachtwagen met 2 assen en een druk op de achteras van 8 ton (Ref. T.E. Frydenlund van het Norges Geotekniske Instituut)

De passage is voelbaar tot een afstand van 20 tot 30 m. Als de intensiteit van de vrachtwagens te groot is of als de afstand van de vrachtwagens ten opzichte van de huizen te laag is, kunnen de trillingen overlast veroorzaken.

Bij een normale snelheid en op een vlak wegdek, is het zeer onwaarschijnlijk dat de huizen beschadigd raken.

In geval van een slecht wegdek of bij het passeren van obstakels of verkeersdrempels kan men hinderlijke trillingen verwachten voor voertuigen vanaf 15 ton. 's Nachts zal in de bebouwde zones de toegestane waarde ongetwijfeld overschreden worden voor de huizen die het dichtst langs de straat staan.

De volgende maatregelen moeten genomen worden:

- Het vervoer door zware voertuigen in de dichte stedelijke gebieden zoveel mogelijk vermijden (vooral 's nachts)
- Beperking van de asdruk
- Beperking van de snelheid van de voertuigen, met name op slecht wegdek
- Onmiddellijke reparatie van schade aan het oppervlak van de wegen

Zo nodig dienen er controlemaatregelen genomen te worden bij een bepaald aantal woningen om de toegestane asdruk en snelheid te bepalen.

D. Trillingen van de verdichters

Men kan onder andere de volgende machines onderscheiden:

- Twee soorten trilwalsen met een gewicht van 40 tot 60kN
- Autonome trilwalsen met pneumatisch aangedreven wielen van 40 tot 100kN
- Tandemtrilwalsen met een of twee trilwals(en) van 15 tot 100kN
- Verdichters met trilplaten met een statisch gewicht van 1 tot 8kN

Er zijn geen bijzondere maatregelen vereist in geval van het gebruik van trilwalsen van minder dan 20 tot 30 kN.

De eventuele resonantie van de woningen kan schade veroorzaken aan pleister, schoorstenen en overige. De overlast van de door de verdichters veroorzaakte trillingen is groter dan die van het wegverkeer.

De volgende maatregelen moeten genomen worden:

- In de nabijheid van woningen geringe trillingsamplituden toepassen
- Vermijden om de verdichters meer dan eenmaal te starten en te stoppen
- Bij twijfel dienen er controlemaatregelen genomen te worden in de woningen
- De trilmachines (verdichters) waarvan het gewicht van de wals hoger is dan 50 kN mogen niet gebruikt worden op minder dan 10 m afstand van de huizen, vooral als de bodem bevroren is.

E. Dynamische verharding

Tijdens de bouw van sleuven in taluds (aanvulling) kan de grond verhard (verdicht) worden door middel van een vrijvallende hamer. Gewichten tot 200 kN en valhoogtes tot 20 m kunnen aanleiding geven tot een zware energietoename in de ondergrond. Het wordt aanbevolen om deze techniek te vermijden.

F. Graaf- en sloopwerkzaamheden

Er bestaat een groot verschil in de excitatie van de trillingen in een niet of wel bevroren grond. De trillingen worden voornamelijk gegenereerd door de impact van de laadschoppen en losse rotsbrokken. De beweging van de graafmachines veroorzaakt eveneens trillingen, maar doorgaans minder dan die door hogergenoemd wegverkeer. Men verwacht derhalve geen schade aan de structuren of een grote overlast als gevolg van de trillingen.

Als de sloopwerkzaamheden te dicht bij de structuur van het gebouw of kritieke installaties verricht moeten worden, dienen de volgende maatregelen genomen te worden:

- Het terrein bedekken met zand
- Gebruik van een kerfmachine in plaats van machines met graafarmen of drillboren.

6.8.7.6. Door de aanvrager genomen maatregelen tijdens de werffase

De volgende maatregelen worden genomen door de aanvrager ter voorkoming, opheffing of beperking van de negatieve geluids- en trillingseffecten

- De tunnel is een kunstwerk dat volledig ondergronds uitgevoerd wordt. De boormethode met een tunnelboormachine met manteldruk in zand- of kleilagen met weinig gesteente veroorzaakt een zeer laag trillingsniveau. Daarentegen kunnen de trillingen enkele dagen gevoeld worden tijdens de passage van de tunnelboormachine op een snelheid van circa 10 m per dag. Er zal toezicht (monitoring) op de trillingen gehouden worden.
- Het verdient de voorkeur dat tijdens de fase 1 en 2 van de werken toezicht gehouden wordt aan de uiteinden van de werven. Voor de werf van de stelplaats aan de zijde van de Tweedekkerstraat en voor de werf bij station Brussel-Noord bij de Aarschotstraat.

Inzake de werf bij de schachten:

- De meest luidruchtige technische hulpuitrustingen van de werf (compressors, elektrogenerators, enz.) binnen een geïsoleerde (overkapte) zone plaatsen en op zo groot mogelijke afstand van de omringende huizen;
- Verkeer over de woonstraten vermijden (bij P0 de Tweedekkerstraat) voor de bevoorrading van en afvoer vanuit de werf. Voorkeur geven aan leveringen en afvoer via andere toegangen of middelen;
- De rijnsnelheid beperken, zowel voor het plaatselijke verkeer (maximaal 30 km/u) als voor het transport voor de bevoorrading van / afvoer vanuit de werf.

- Aanbrengen van geluidwerende steunmuren door met steenslag gevulde draadkorven voor de werffase. Onderzoek naar de meest geschikte plaatsing van de bouwketens die zelf kunnen dienen als geluidwerend scherm.

Inzake de machine:

- Gebruik van machines en uitrustingen met de CE-markering waaruit blijkt dat de toelaatbare geluidsniveaus nageleefd worden.

6.8.7.7. Aanbevelingen voor het project, alternatieven en varianten tijdens de werffase

A. Uitrustingen en technieken

De keuze van de minst luidruchtige uitrustingen en bouwtechnieken is van het grootste belang voor de vermindering van de geluidsimpact van de werf.

Wat betreft de werfuitrustingen en -machines verdient het altijd de voorkeur om de overlast bij de bron aan te pakken; de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Gebruik van machines en uitrustingen met de CE-markering waaruit blijkt dat de maximaal toelaatbare geluidsniveaus of de laagste niveaus nageleefd worden. De geluidsnormen zijn met name van toepassing op: werfmaterieel en bouwmachines, stroomaggregaten en lasapparaten, torenkraan, drilboren, motorcompressor, hydraulische graafmachines, enz.
- Zo nodig de meest luidruchtige en de dichtst bij de woningen geplaatste uitrusting omsluiten of isoleren (pompen, motoren, stroomaggregaten...). Deze aanbeveling wordt reeds onderzocht door Beliris.
- De plaats bepalen van de geluidsbronnen in de sleuven of in de ondergrond om de verspreiding van het geluid te verminderen.
- De mogelijkheid analyseren om eerst de ruwbouw te bouwen van de stelplaats om het geluid van de bouw van de ondergrondse elementen en op de begane grond van het gebouw te isoleren.
- Gebruik maken van de minst luidruchtige en goed onderhouden machines en bouwwerktuigen.
- De duur van de productie van geluid maximaal beperken door de machines uit te schakelen zodra ze niet meer gebruikt hoeven te worden en met name 's nachts en in het weekend.
- Langdurig parkeren (met lopende motor) van de bouwvoertuigen verbieden.
- Een verkeersplan voorzien om de inschakeling van de achteruitrij sirene zoveel mogelijk te beperken.

B. Planning

Ten slotte zijn de planning van de taken en de voorlichting van de omwonenden van essentieel belang om de door de bewoners gevoelde geluidsoverlast te beperken.

Wat betreft de planning en de inrichting van de werf:

- In overeenstemming met de GSV, een vast en bindend werfrooster vaststellen: 7-19u en 7u-16u voor de meest luidruchtige werkzaamheden en voor de afvoer van de afgegraven grond (om het vervoer en het laden van vrachtwagens 's nachts te voorkomen).
- Tijdens de minst luidruchtige fasen van de werf kunnen de werktijden uitgebreid worden tot de nachtelijke periode, maar het wordt aanbevolen om deze periode voor te behouden aan de meest rustige of ondergrondse werkzaamheden. Voor werkzaamheden buiten de klassieke tijdspanne (7-19u) dienen uitzonderingen aangevraagd te worden door Beliris.
- De meest luidruchtige werkzaamheden uitvoeren volgens een zo strak mogelijke planning.
- De geluidsbronnen en de leveringszone zo ver mogelijk van de omwonenden plaatsen en geluidwerende systemen voorzien om het geluid te beperken.
- Gedurende bepaalde fasen van een werf, een monitoring uitvoeren tijdens de werf om eventuele geschillen te voorkomen.

C. Werfverkeer

Verder zijn de goede praktijken inzake de afvoer per vrachtwagen en de leveringen de volgende:

- Een verkeersplan opstellen voor de vrachtwagens zodat zij het werfterrein alleen kunnen bereiken via de grootste routes en niet via kleinere wegen. In het onderhavige geval (P5) zijn de minst hinderlijke routes wat betreft de geluidsoverlast de trajecten die voorgesteld worden in het hoofdstuk "Mobiliteit" en die over de grootste verkeersaders lopen (Vilvoordsesteenweg, Groendreef, Werkhuizenkaai ...) en die de Stephensonstraat vermijden en het vervoer beperken op de meest bevolkte straten (zie aanbeveling 2.7 van het hoofdstuk mobiliteit).
- Een van de omwonenden beschermde laad-/loszone voorzien van de vrachtwagens inrichten en waar de verplaatsingen van de vrachtwagens beperkt zijn om achteruitrijden te voorkomen (achteruitrijdsirenes).
- Het aantal vrachtwagens voor de leveringen / afvoer per dag beperken.
- Tijdens het laden/lossen van deze vrachtwagens, het impactgeluid van de verplaatste materialen zoveel mogelijk beperken.
- Strikte naleving van de snelheidsbeperkingen en verbod om te claxonneren op de site.
- Stilstand of parkeren van de vrachtwagens met lopende motor verbieden en in het bijzonder wildparkeren buiten de leveringszones.

D. Geluid in de nabijheid van de arbeiders

Ten slotte dient het geluid bij de arbeiders specifiek behandeld te worden door het personeel dat op de werf werkt voor te lichten, maar ook door zorg te dragen voor de bescherming van de arbeiders tegen de risico's die voort kunnen vloeien uit een blootstelling aan lawaai tijdens het werk. De persoonlijke dagelijkse blootstelling van de arbeider dient lager te zijn dan 80

dB(A). Als dit niet het geval is, dienen er speciale beschermingsmaatregelen genomen te worden, uiteenlopend naargelang het geluidsniveau al dan niet hoger is dan 85 dB(A) (Koninklijk besluit van 16 januari 2005). In algemene zin dient het dragen van gehoorbescherming verplicht te worden tijdens het gebruik door de arbeiders van luidruchtige machines en/of bij luidruchtige werkzaamheden (bijvoorbeeld het gebruik van een drillboor...)

E. Behandeling van de trillingen

De problematiek inzake trillingen lijkt sterk op die van het geluid: het is vaak interessanter om de problemen bij de bron aan te pakken dan de gevolgen ervan te beperken.

Om de impact van trillingen op de omgeving te beperken, luiden de aanbevelingen als volgt:

- De locatie bestuderen van de bronnen. De trillingen nemen doorgaans af met de afstand. Opgelet: de ondergrond kan grotere trillingen voortbrengen op bepaalde afgelegen plaatsen vanwege de samenstelling van de bodem.
- Tijdens het boren kan de voortgangs- of draaisnelheid tijdelijk beperkt worden om de trillingen te verminderen.
- Voor de trilwalsen dienen in de nabijheid van woningen geringe trillingsamplituden toegepast te worden. Meer dan eenmaal starten en stoppen dient vermeden te worden. De machines waarvan het gewicht van de wals hoger is dan 50 kN mogen niet gebruikt worden op minder dan 10 m afstand van de huizen.
- Houd een maximale afstand tussen de trillingsbronnen en de woningen.
- Werkzaamheden die veel trillingen teweeg brengen dienen overdag uitgevoerd te worden met zo mogelijk een pauze om twaalf uur.
- Voor de zware machines dienen antitrillingssystemen voorzien te worden voor alle vaste machines (silentblocs of veerblokken naargelang de te behandelen trillingsfrequenties).
- Ten slotte dragen een goed onderhoud van het materieel, de toegangswegen evenals een rustig gebruik van de machines en met name de zware bouwmachines en vrachtwagens eveneens bij aan een vermindering van het trillingsniveau.

F. Bescherming en voorlichting van de omwonenden

Wat betreft de geluidsoverlast is een voorlichting van de omwonenden over de planning van de taken van essentieel belang om de door de bewoners gevoelde geluidsoverlast te beperken. In dit kader zijn de aanbevelingen onder andere de volgende:

- Behoud van een goede communicatie tussen de omwonenden en de aannemer door de tussenkomst van een verantwoordelijke. Deze verantwoordelijke dient zich te belasten met de voorlichting van de omwonenden over de voortgang van de werkzaamheden en de perioden waarin luidruchtige activiteiten zullen worden uitgevoerd. Deze verantwoordelijke kan tevens de klachten van de omwonenden inzake het geluid en de trillingen behandelen.
- Aanbrengen van informatiedragers tijdens de werf (borden, plaat, website, enz.). De omwonenden kunnen zodoende de voortgang van de werkzaamheden volgen en meer begrip krijgen voor de eventuele geluidsoverlast.

G. Monitoring van het geluid en/of de trillingen

Deze maatregelen bestaan uit het plaatsen van een of meer geluidsmeter(s) en/of versnellingsmeter(s) bij de dichtstbijzijnde gevoelige woningen of gebouwen ten opzichte van de werf om toe te zien op de door de werkzaamheden voortgebrachte geluiden en/of trillingen en met name tijdens de meest kritieke fasen.

In het onderhavige geval lijkt het relevant om over te gaan tot een punctuele monitoring met name bij de woningen tegenover het werfterrein of aan de grens van de werf (fase 1 en 2 met voorrang, maar kan ook toegepast worden tijdens fase 3).

Voor de werf van de stelplaats aan de zijde van de Tweedekkerstraat en voor de werf bij station Brussel-Noord bij de Aarschotstraat.

Gelet op de verwachte effecten zou het interessant kunnen zijn om een permanente monitoring in overweging te nemen op deze plaatsen of minstens tijdens de kritieke fasen.

Het doel is ervoor te zorgen dat de geluids- en trillingsniveaus de vastgestelde drempels naleven.

De geluidsmetingen moeten alle seconden uitgevoerd worden en naar een server verzonden worden met een vertraging van enkele minuten. Tijdens een overschrijding van het geluidsniveau ten opzichte van een in onderling overleg vastgestelde limiet kan het station een SMS sturen naar de betreffende diensten. Op dat moment maakt het station een geluidsofname om de bron te identificeren.

Een toezicht op de trillingen is eerder nuttig bij het begin van fase 3 bij de eerste gebouwen waar de tunnelboormachine onder door gaat.

Tijdens het graven van de tunnel wordt toezicht (monitoring) voorzien. Bij de aanvang van het graven dient een monitoring bij de Haachtsesteenweg voorzien te worden om de impact te beoordelen.

Zo nodig dient een permanente monitoring op de tunnelboormachine in overweging genomen te worden. Op de momenten waarop de trillingsniveaus bij de tunnelboormachine toenemen kan een verlaging van de voortgangssnelheid of de draaisnelheid in overweging genomen worden.

Bovendien is een monitoring voorzien tijdens de doorgang van de tunnelboormachine onder de gevoelige gebouwen het 't Hoeveke en het gemeentehuis Colignon.

De opvolging van de trillingen bestaat uit de permanente installatie van instrumenten om de door de werkzaamheden voortgebrachte trillingsniveaus te volgen. Deze zijn uitgerust met versnellingsdetectoren. Er dienen inschakelingsdrempels geprogrammeerd te worden. De toestellen screenen permanent de trillingen van de detectoren.

6.8.8. Conclusies inzake het geluid en de trillingen

Het metroproject, ongeacht of het een enkele buis of dubbele buis betreft, in combinatie met de opheffing van tramlijn 55 (maar met het behoud van de rails voor de toegang tot de stelplaats, de omleidingen en voor de rijschool) leidt tot een verbetering van de geluidsomgeving, behalve wat betreft de zones rond de stations waar het geluidsniveau Lden toeneemt (groepen mensen, incidenten waarvoor de interventie van de politie, hulpdiensten nodig is en personenwagens wachtend op reizigers...).

Er treedt ook een verbetering op van de globale trillingsomgeving van de betreffende zone door de afname van het tramverkeer aan de oppervlakte en de herinrichting van de wegen bij de huidige zwarte punten.

Er bestaat een risico op trillingseffecten voor de bestaande bebouwing bij de stations of de ventilatieschacht wanneer een gedeelte van de nieuwe structuren de bebouwing raakt en/of structureel hiermee in contact treedt (trillingsbruggen).

Het wordt aanbevolen om zich ervan te verzekeren dat er antitrillingsvoorzieningen voorzien worden bij de wissels.

De impact van de snelheid van de metro's dient gekalibreerd te worden bij de aanvang van de uitbating bij de stations en bij de gevoelige gebouwen. In geval de impact hinder veroorzaakt, dient de snelheid van de metro punctueel aangepast te worden.

Het wordt aanbevolen om isolatiepanelen bij de stations en de openingen toe te voegen. Het wordt aanbevolen om geluidsabsorberende voorzieningen aan te brengen bij de ventilatieroosters.

Wat betreft de aspecten van de mogelijk hoge golfslijtage op de lange termijn bij de stations en in de bochten, wordt een jaarlijkse monitoring aanbevolen en, in voorkomend geval, kan een gedeelte van de rails geslepen of vervangen worden.

Tijdens de werffase dient toegezien te worden op de toepassing van de aanbevelingen voor de volgende hefbomen:

- Uitrustingen en technieken
- Planning
- Werfverkeer
- Geluid in de nabijheid van de arbeiders
- Behandeling van de trillingen
- Bescherming en voorlichting van de omwonenden
- Monitoring van het geluid en/of de trillingen

6.9. Mens zijn

6.9.1. Reglementair kader en referenties

- D'ARBOIS DE JUBAINVILLE H. en VANIER C. (ONDRP), Het onveiligheidsgevoel in het openbaar vervoer: beangstigende situaties en vermijdingsstrategieën. Grand Angle, nr. 46 (januari 2018);
- Het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 24 april 2014 houdende de uitvoering van de ordonnantie van 29 maart 2012 houdende de integratie van de genderdimensie in de beleidslijnen van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest;
- Het koninklijk besluit van 25 januari 2001 betreffende de tijdelijke of mobiele bouwplaatsen;
- Titel III van de Gewestelijke Stedenbouwkundige Verordening betreffende de bouwplaatsen;

- NOBLE J., Persoonlijke onveiligheid in het openbaar vervoer. *Déviance et Société*, vol. 39, nr. 3, pp. 343-364 (2015);
- De Europese richtlijnen en verordeningen betreffende brandveiligheid (euroklassen, eurocodes, ...);
- Indien gevraagd, de voorgeschreven eisen voor de uitzonderingen op non-conformiteiten van de Belgische autoriteiten;
- De code van goede praktijk (de van kracht zijnde normen);
- De eisen van de DBDMH;
- De norm ISO/TR 16738 - Brandveiligheidstechniek — Technische informatie van methode voor beproeving en beweging van mensen;
- De norm NFPA 130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems);
- De normen S 21-208-1 (Brandbeveiliging van gebouwen – Ontwerp en berekening van rook- en warmteafvoerinstallaties (RWA) – Deel 1: Grote onverdeelde binnenruimten met een bouwlaag).

6.9.2. Reglementair kader en referenties voorzien in de vergunningsaanvraag

6.9.2.1. Reglementair kader

Er bestaan geen Belgische reglementen of normen die van toepassing zijn op tunnels. De brandveiligheid wordt behandeld op basis van internationale normen (benchmark) en volgens de erkende technische regels. De internationale standaard is gebaseerd op de in Europa beschikbare normen (Frankrijk, Italië, Duitsland, enz.) betreffende metronetwerken of spoortunnels. Bovendien worden de recente resultaten van de onderzoeksprojecten (zoals het METRO-project van Zweden of de rapporten van Karl Fridolf over de evacuatie van personen) in aanmerking genomen. De norm NFPA130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems) werd door BMN beschouwd als normatieve referentie voor de bepaling van de grootte van de nooduitgangen en het normatieve kader voor tunnels in het algemeen.

De analyse van de toepassing van deze norm in het kader van dit project werd uitgevoerd door de studiegelastigde. Uit deze analyse blijkt dat de norm NFPA130 niet relevant is voor de evacuatie-analyse in het kader van dit project. Bovendien vermeldt deze norm geen evacuatie-tijd voor tunnels. De norm NFPA130 kan gebruikt worden voor de analyse van de statische elementen, zoals de afstand tot de nooduitgangen. Met instemming van het Begeleidend Comité werd daarom de norm ISO 16738 toegepast voor de ASET/RSET-studies van deze studie. De norm ISO 16738 omvat met name het beheer van het menselijk gedrag in geval van brand.

Voor de ASET/RSET evacuatie-simulatiestudies werd derhalve de norm ISO 16738 toegepast betreffende de evacuatiemethoden (met name inclusief het beheer van het menselijk gedrag in geval van brand).

6.9.2.2. Toe te passen procedures

Zowel de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning als de aanvraag van de milieuvergunning werden beoordeeld door de DBDMH. Deze oordelen zijn samenstellende delen van de aanvraagdossiers van de vergunningen en worden in deze studie geanalyseerd.

In geval van non-conformiteiten ten opzichte van de referentievoorschriften dient de regelgevende autoriteit de uitzonderingen ten opzichte van deze referentievoorschriften te behandelen.

Wat betreft de brandveiligheid zijn de koninklijke besluiten, "basisnormen" genoemd, van het Ministerie van Binnenlandse Zaken niet van toepassing op tunnels.

6.9.3. Objectieve veiligheid

6.9.3.1. Brandpreventie

De analysepunten B.1 t/m B.11 komen overeen met de observatiepunten A.1 t/m A.11 van het hoofdstuk "Beschrijving van het voorstel van BMN (T5)" van de vergunningsaanvraag, welke de volgende zijn:

- B.1 - Compartimentering
- B.2 - Structurele brandwerendheid
- B.3 - Branddetectie en alarmprincipes
- B.4 - Beheer van de toegangscontrole
- B.5 - HVAC / overdruk / rookafzuiging
- B.6 – Sprinklerinstallatie
- B.7 - Gasblusinstallatie
- B.8 - Eerste hulpvoorzieningen
- B.9 - Noodvoeding
- B.10 - Toegang van de hulpdiensten / brandweerliften
- B.11 – Signalisatie
- B.12 – Brandgedrag

Beschrijving van het project Uittreksels van teksten van de projectbeschrijving in de vergunningsaanvraag, BMN	Beoordeling van het project
<p><u>A.1 Compartimentering</u></p> <p>Momenteel bestaat de tunnel uit 1 compartiment.</p>	<p><u>B.1 Compartimentering</u></p> <p>Er is geen compartimentering voorzien tussen de stations en de tunnel.</p>
<p><u>A.2 Structurele brandwerendheid</u></p> <p>Er wordt voorgesteld om een bekleding te gebruiken die een bescherming van 2 uur biedt.</p>	<p><u>B.2 Structurele brandwerendheid</u></p> <p>Daar de klassen van de materialen in dit stadium nog niet bekend zijn, wordt verondersteld dat de normen en standaarden toegepast worden.</p>
<p><u>A.3 Branddetectie en alarmprincipes</u></p> <p><u>Branddetectie</u></p> <p>De branddetectie in een tunnel heeft tot doel brand te detecteren door een uitrusting die zich in de tunnel bevindt (kabels), evenals een brand die zich voordoet onder de vloer van een metro. Brand die ontstaat in de wagon zelf of vlakbij de draaistellen zullen gedetecteerd worden door de detectoren die zich in de wagon bevinden.</p> <p>Een geschikt systeem voor de detectie van brand in een tunnel is een systeem met lineaire detectoren. Deze worden geïnstalleerd in het bovenste gedeelte van de tunnel en boven de kabelgoten.</p> <p>Door middel van een dergelijk systeem kan de brand op basis van de hitte gelokaliseerd worden. Door de combinatie met punctuele rookdetectoren wordt een systeem verkregen dat in staat is om op snelle, nauwkeurige en betrouwbare wijze brand te detecteren.</p> <p>Alle detectie-elementen zijn adresseerbaar.</p> <p>Er worden drukknoppen voorzien voor het onderhoudspersoneel.</p> <p>De detectiecentrale wordt verbonden met een lokale beheerspost en/of op afstand (dispatching central). Het systeem maakt het mogelijk om onmiddellijk de geactiveerde detectievoorzieningen weer te geven. Bovendien heeft de dispatching central de mogelijkheid om een handmatige</p>	<p><u>B.3 Branddetectie en alarmprincipes</u></p> <p>Er dient een studie van alle mogelijke scenario's uitgevoerd te worden ter bepaling van de door te lopen stadia in geval van een gebeurtenis (tijdlijnen). Dit houdt sterk verband met de ondernomen acties door de operators in het OCC.</p>

detectie in te schakelen op basis van VTV-beelden of een telefonische oproep (112).

Alarmprincipes: Een Metrotransportsysteem in de exploitatiemodus UTO (Unattended Train Operation = automatische metro zonder bestuurder) garandeert de veiligheid van de passagiers en beschermt het automatische domein tegen indringing: bij afwezigheid van een bestuurder in de treinen, is het van wezenlijk belang voor de OCC-operators (Operations Control Center = de dispatching voor het toezicht op de metro) een globaal overzicht te hebben van de gehele lijn. Dit omvat de kennis van de staat en de positie van elke trein, de staat van de toegangsdeuren tot het automatische domein en de staat van de intercomapparatuur in de treinen en de stations.

Om deze informatie door te zenden naar de operators in het OCC stuurt elke inrichting automatisch, naargelang de gekozen instellingen, alarmen ter waarschuwing van:

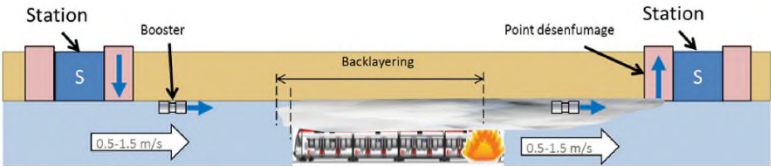
- een defect van een trein (stilstand in de tunnel, verlies van voeding, ...)
- een evacuatie van een trein in de tunnel
- een indringing in het automatische domein
- een oproep of een defect van het intercomsysteem in de treinen en de stations
- een defect van het videobewakingssysteem in de treinen of de stations

A.4 Beheer van de toegangscontrole

Het project van de Metro Noord heeft de inbedrijfstelling tot doel van een Metrotransportsysteem in UTO exploitatiemodus. Deze exploitatiemodus omvat de bescherming van het automatische domein tegen indringing: de tunnel en een gedeelte van de stelplaats waar de treinen automatisch rijden. De toegang tot het automatische domein door het personeel dient echter mogelijk te blijven voor het uitvoeren van onderhoud (buiten de exploitatie) en om een agent in staat te stellen naar de trein te gaan in geval van een defect (tijdens de exploitatie). Deze toegang tot het automatische domein vanuit de stations dient mogelijk te zijn via toegangsdeuren tot het automatische domein waarvan de toegang gecontroleerd wordt door een badge. Los van alle toegangscontrolemaatregelen blijven de evacuatiewegen vanuit de tunnels te allen tijde gewaarborgd zelfs als er geen detectie is (paniekopener) volgens artikel 52 van het Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming (ARAB) en

B.4 Beheer van de toegangscontrole

Het project is conform.

<p>het koninklijk besluit van 28 maart 2014 betreffende de preventie.</p>	
<p><u>A.5 HVAC / overdruk / rookafzuiging</u></p> <p>Er zijn geen HVAC-systemen in de tunnels. De verspreiding van rook in de tunnels in geval van brand wordt geregeld door een longitudinaal ventilatiesysteem. De rook wordt naar een van de aangrenzende stations van de tunnel gedreven waar het afgezogen wordt met het rookafzuigstelsel bij het perron van het station. De betreffende calorische belasting bedraagt 15 MW.</p> <p>De onderstaande Figuur toont een idee van het principe.</p>  <p>Figuur 146: Schematische voorstelling van de functies van het rookafzuigstelsel</p> <p>Er bestaan twee fasen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Zelfreddingsfase: boosters uit. ▪ Interventiefase: na een bepaalde tijd schakelt het stelsel (automatisch of handmatig) over op vol regime. Vanaf dat moment zuigen de ventilatoren in het station op het maximale debiet van 134 m³/s (500.000 m³/u) de rook af. Er worden boosters geïnstalleerd aan het plafond van de tunnel om de nodige snelheid te bereiken. 	<p><u>B.5 HVAC / overdruk / rookafzuiging</u></p> <p>Zie onderstaande ASET RSET-analyse.</p> <p>Station Booster Backlayering Rookafvoerpunt</p>
<p><u>A.6 Sprinklerinstallatie</u></p> <p>Er is geen sprinklerinstallatie in de tunnels.</p>	<p><u>B.6 Sprinklerinstallatie</u></p> <p>Er is geen sprinklerinstallatie in de tunnels. Dit wordt niet voorgeschreven.</p>
<p><u>A.7 Gasblusinstallatie</u></p> <p>Geen gasblusinstallatie in de tunnels.</p>	<p><u>B.7 Gasblusinstallatie</u></p> <p>Geen gasblusinstallatie in de tunnels. Dit wordt niet voorgeschreven.</p>
<p><u>A.8 Eerste hulpvoorzieningen</u></p> <p><i>"Eerste hulpvoorzieningen die de passagier kan gebruiken zijn niet voorzien in de tunnel. De tunnels worden echter uitgerust met een netwerk van brandkranen van het type DSP 70 die om de 50 m aan de wand geïnstalleerd worden, afwisselend aan beide zijden."</i></p>	<p><u>B.8 Eerste hulpvoorzieningen</u></p> <p>De toegang tot de voorzieningen wordt gewaarborgd. Het project is conform.</p>
<p><u>A.9 Noodvoeding</u></p>	<p><u>B.9 Noodvoeding</u></p>

<p><u>Veiligheidsnetwerk</u></p> <p>Elk station beschikt over een voeding van de normale circuits (veiligheidsnetwerken). De transformator en het hoofdklemmenbord wordt geïnstalleerd in een gecompartmenteerd lokaal en gescheiden van de normale. De volgende systemen worden eveneens gevoed door het netwerk van de vitale circuits volgens artikel 104 van het AREI:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ De verlichting van de tunnel; ▪ Het rookafzuigstelsysteem (ventilators op het station + boosters); ▪ De branddetectie (onafhankelijke accu van 72 uur); ▪ De brandweerkast; ▪ De no-break installatie. <p><u>No-break installatie.</u></p> <p>Er worden no-break installaties (NB) voorzien op de stations en deze bestaan uit accu's. Met een autonomie van 90 minuten voeden de NB's het hoofdbord (HBNB) uitgerust met dubbelrailstation. Dit bord voldoet aan dezelfde specificaties als het ALSB en zorgt voor een dubbele voeding van de noodverlichting in de tunnel.</p>	<p>De elektrische leidingen voeden de installaties of de apparaten (veiligheidsverlichting, ...) die in bedrijf gehouden moeten worden in geval van incidenten en dienen zodanig aangebracht te worden dat risico's op een algemene uitschakeling verdeeld worden.</p> <p>Aan het einde van de werkzaamheden dient een conformiteitsattest van de elektrische installaties verstrekt te worden.</p>
<p><u>B.10 Toegang van de hulpdiensten / brandweerliften</u></p> <p>De toegang van de hulpdiensten tot de tunnels wordt geregeld vanuit de aangrenzende stations. In de stations beschikken de diensten over de volgende verbindingen tussen de oppervlakte en het station:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ openbare trappen; ▪ openbare roltrappen; ▪ openbare liften (uitgerust als brandweerliften); ▪ noodtrappen (op overdruk). <p>Vanuit de twee perrons van een station kunnen de diensten zich toegang verschaffen tot de tunnels via poortjes die de tunnel tegen indringing beschermen. De perrons sluiten direct aan op paden die zich aan beide zijden van de tunnels bevinden.</p> <p>De verbindingen met de oppervlakte worden beschermd door maatregelen die de verspreiding van rook naar het station en de bovenste niveaus van het station verhinderen. Aan elk uiteinde van een station wordt door een rookafzuigstelsysteem de rook afkomstig van de tunnel afgezogen.</p>	<p><u>B.10 Toegang van de hulpdiensten / brandweerliften</u></p> <p>Het project is conform.</p>

<p>De interventie in de tunnels vindt plaats via de stations. Er zijn geen brandweerliften in de tunnels. De brandweerliften worden beschreven in de boeken over de stations.</p>	
<p><u><i>A.11 Signalisatie</i></u> "Een duidelijke signalisatie, conform met het KB, betreffende de veiligheids- en gezondheidssignalisatie op het werk zal toegepast worden. Er zullen pictogrammen worden aangebracht minstens bij de richtingsveranderingen van de vluchtwegen, bij de toegang tot de trappenhuizen en trappen, bij de plaatsen waar zich de brandblusapparaten bevinden, de haspels en de nood telefoons."</p>	<p><u><i>B.11 Signalisatie</i></u> Het project is conform.</p>
<p><u><i>A.12 Brandgedrag</i></u> Paragraaf niet behandeld in het referentieproject.</p>	<p><u><i>B.12 – Brandgedrag</i></u> De bijlage 5/1 van de basisnormen dient gebruikt te worden. Deze bijlage bepaalt de eisen inzake het brandgedrag.</p>

Tabel 51: Analyse van de elementen van het project inzake de brandpreventie

6.9.3.2. Noodevacuatie / alarm

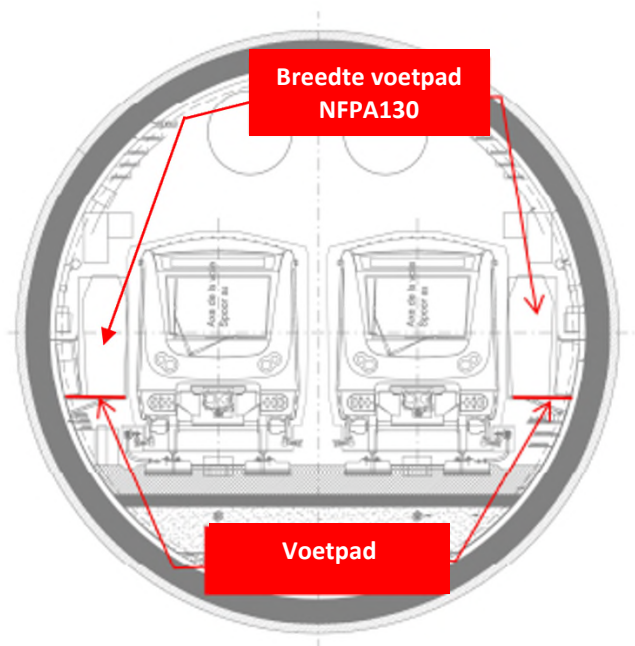
A. Beschrijving van het project

A.1. Uitgang en evacuatieafstand

A.1.1. Nooduitgangen

Elke sectie in het nieuwe netwerk beschikt over een voetgangerspad. Dit bevindt zich aan weerszijden van de tunnel ter hoogte van de vloer van het rijtuig. De personen die het rijtuig verlaten mogen niet een niveauverschil overbruggen, zodat de evacuatie vereenvoudigd wordt.

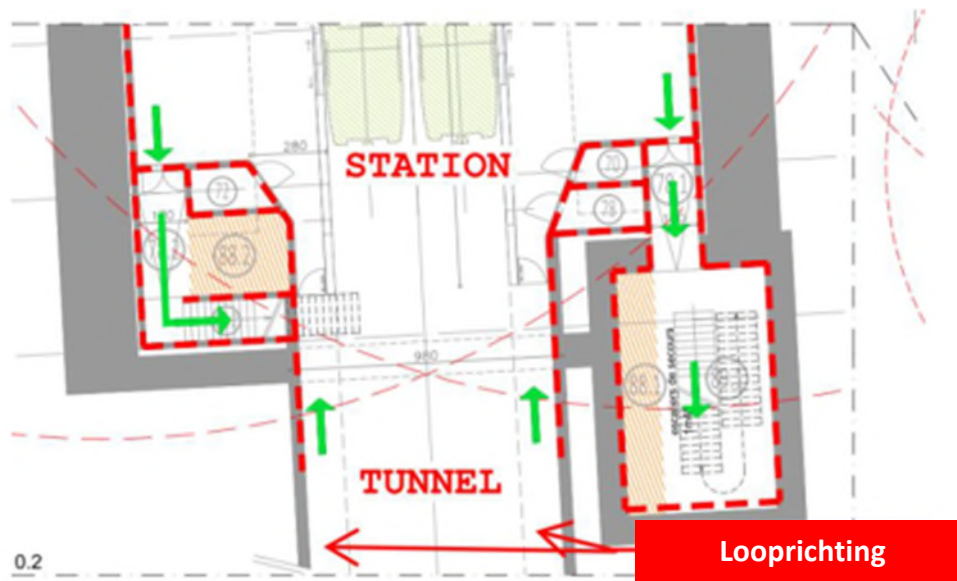
Het pad is uitgerust met een reling, bevestigd aan de tunnelwand. Het pad is 0,8 m breed en voldoet aan de eisen van NFPA130 betreffende de benodigde voetgangersruimte (vrije ruimte).



Figuur 147: Tunnel – Doorsnede – Vluchtpad (BMN, 2020)

De maximale afstand tussen de stations van 601 m is minder dan de afstand die voorgeschreven wordt door NFPA130 (762 m) betreffende de maximale afstand tussen de nooduitgangen. De vluchtweg van de tunnels leidt horizontaal naar de perrons van de aangrenzende stations. De stations beschikken over verticale vluchtroutes naar de oppervlakte waarvan de grootte voorzien is voor de evacuatie van de stations en die tevens gebruikt kunnen worden voor de evacuatie van de tunnels:

- de trappen / roltrappen tussen het niveau van het perron en de bovenste niveaus en de oppervlakte;
- de gecompartmenteerde trappenhuisen op het perron aan de uiteinden van het station.



Figuur 148: Tunnel – Aansluiting van de vluchtpaden op de perrons

Zie de respectievelijke veiligheidsnota's van de stations voor een overzicht van de nooduitgangen van de stations.

A.1.2. Perronschermen (palissades)

Het project van de Metro Noord heeft de inbedrijfname tot doel van een systeem zonder bestuurder met een integrale mate van automatisatie (Grade of Automation GoA4 of UTO) In dit kader werd de uitrol van perronschermen besloten voor de 7 stations van de lijn om de prestaties te verbeteren door de overdracht van passagiers te vereenvoudigen en de indringing op het spoor / in de tunnel te verhinderen.

De perronzevels voldoen aan de evacuatieprincipes vanuit de tunnel of vanuit een op het perron (al dan niet correct) gestopte trein. Deze zijn voorzien van:

- Deuren aan de uiteinden van het perron, uitgerust met ontgrendelingssystemen voor de evacuatie.
- Vanuit het voetpad in de tunnel;
- Ontgrendelingssystemen voor de evacuatie uit een op het station gestopte trein;
- Nooddeuren met ontgrendelingssystemen voor de evacuatie uit een niet correct op het station gestopte trein.

B. Veiligheid in geval van evacuatie: ASET/RSET-studies

B.1. Methodologie

In overeenstemming met de vraag van het Begeleidend Comité heeft het studiebureau ASET/RSET-studies verricht om aan te tonen dat de gebruikers veilig zijn in geval van evacuatie.

De ASET-berekening wordt bepaald door rooksimulaties.

De RSET-berekening wordt bepaald door evacuatiesimulaties van personen.

De ASET/RSET-studie bestaat uit het bewijzen dat de benodigde tijd voor de evacuatie van de gebruikers (RSET) lager is dan de beschikbare tijd voor de evacuatie (ASET). In het bijzonder dient gecontroleerd te worden of alle passagiers niet achterhaald worden door de rook.

Daarnaast maken de simulaties de controle mogelijk van:

- De tijd tot men veilig is (T_s)
- De evacuatie tijd van de tunnels (T_{tun})

De evacuatieprocedure van de MIVB vereist dat als zich een incident voordoet in een rijktuig, dit rijktuig naar een station rijdt.

Wij veronderstellen dat de brandbelasting van het rijktuig 15 MW bedraagt na voorstel en bevestiging door het Begeleidend Comité. Deze waarde van 15 MW is zeer behoudend.

Een gevuld rijktuig waar brand uitbreekt in het midden van het rijktuig (ergste scenario), geblokkeerd tussen twee stations (ergste locatie) met een belasting van 15 MW (zeer hoog) vormt het meest extreme geval dat zich kan voordoen. De "worst case" tunnel is de tunnel onder de langste tunnels en met slechts één afvoerrichting van de rook met een sterke helling. Dit is het meest extreme geval dat gesimuleerd wordt.

In de onderstaande tabel worden de **belangrijkste veiligheidsparameters** voor de verschillende tunnels aangegeven:

- Lengte
- Helling
- Rookafzuiging

 kritische waarde

Tunnel tussen stations:		Afstand (m)	Maximale helling (%)	Afvoerrichting rook		Kritieke gevallen	Worst case
				Naar VBH	Naar Riga		
Schacht P5	Liedts	202	3		X		
Liedts	Colignon	511	1,3	X	X		
Colignon	Verboekhoven	498	-1.4	X	X		
Verboekhoven	Riga	467	4,2		X		
Riga	Linde	585	-0.5	X	X		
Linde	Vrede	348	4		X		
Vrede	Bordet	601	1,5	X	X		
Bordet	Schacht P0 / Stelplaats	630	-1.3	X			

Tabel 52: veiligheidsparameters

De voor deze analyse in overleg met het Begeleidend Comité weerhouden "worst case" tunnel is dus de sectie tussen Verboekhoven en Riga. Deze tunnel is namelijk 467 meter lang en heeft een helling van 4,2% en één rookafvoerrichting.

De studie is gebaseerd op 5 ASET/RSET-simulaties:

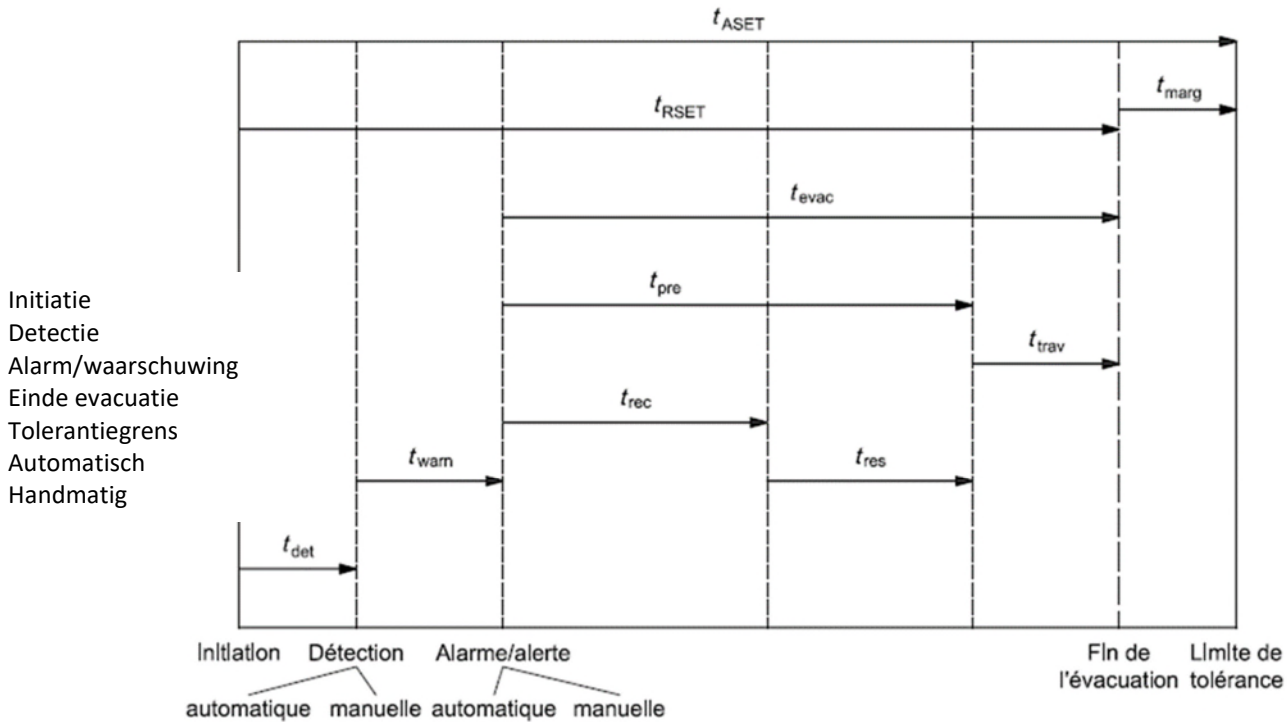
- Tunnel met enkele buis ASET
- Tunnel met enkele buis RSET
- Tunnel met dubbele buis ASET
- Tunnel met dubbele buis RSET zonder tussenverbinding
- Tunnel met dubbele buis RSET met tussenverbinding

Deze "worst case" simulaties worden als referentie genomen voor de overige secties:

- Om de criteria voor de benodigde tijd om veilig te zijn te extrapoleren
- Om de enkele buis- / dubbele buisvarianten te vergelijken

B.2. Referenties

De methode voor de prestatiemeting is gebaseerd op de norm ISO/TR 16738 versie 2009 betreffende de Brandveiligheidstechniek — Technische informatie van methode voor beproeving en beweging van mensen. Deze norm verdeelt de benodigde evacuatie tijd in meerdere delen¹³.



Figuur 149: Definitie van de tijden tijdens een evacuatie volgens de norm ISO/TR 16738

¹³ "ISO/TR 16738:2009 is bedoeld om informatie te verstrekken aan de ontwerpers, de regelgevende autoriteiten en de professionals op het gebied van de brandbeveiliging over de beschikbare brandveiligheidstechnieken voor de evacuatiestrategieën inzake de beoordeling van de veiligheid van personen op basis van een ontwerp met behulp van brandveiligheidstechnieken. De informatie betreft de beoordeling, de kwantificering en het beheer van het gedrag van de passagiers, met name het gedrag tijdens een evacuatie, in geval van brand.", bron: ISO

- TASET = Beschikbare tijd voor de evacuatie
- Tdet = Detectietijd
- Tevac = Evacuatieijd
- Tpre = Tijd vóór beweging
- TRSET = Benodigde tijd voor de evacuatie
- Trec = Herkenningstijd van het alarmsignaal door de passagiers
- Tres = Reactietijd van de passagiers
- Ttrav = Bewegingstijd
- Twarn = Alarmtijd
- Tmarg = Tijd geschikte veiligheidsmarge

De norm bepaalt tevens de verschillende parameters (tijd vóór beweging, verplaatsingstijd, ...)

B.3. Software

De simulaties werden uitgevoerd met behulp van de CFD- **software** (Computational Fluid Dynamics) PyroSim. Deze software gebruikt de FDS-code (Fire Dynamic Simulation) ontwikkeld en goedgekeurd door het NIST (National Institut of Standards Technology, US).

Merk op dat 2 tot 4 runs uitgevoerd werden voor elk scenario.

B.4. Criteria voor de benodigde tijd om veilig te zijn

De criteria voor de benodigde tijd om veilig te zijn, zijn gebaseerd op de volgende normen:

- ISO/TR 16738
- ISO 13571¹⁴
- SFPE Handbook of Fire Protection Engineering
- PD 7974-6¹⁵

¹⁴ "De norm ISO 13571:2012 is bedoeld om gebruikt te worden in combinatie met modellen voor de analyse van het ontstaan en de ontwikkeling van brand, de verspreiding van het vuur, de vorming en verplaatsing van rook, de voortbrenging, het transport en de afname van chemische stoffen, en de verplaatsing van personen evenals voor de detectie en het blussen van brand. De norm mag uitsluitend in deze context gebruikt worden.", bron: ISO

¹⁵ "Het betreft het zesde van een serie documenten ter ondersteuning van BS 7974 - een Britse norm die een kader schept voor de ontwikkeling van een rationele methodologie voor ontwerpen ter bescherming van personen, zaken en het milieu tegen brand. De norm gebruikt een alternatieve brandveiligheidstechniek gebaseerd op de toepassing van wetenschappelijke en engineeringprincipes. De gepubliceerde documenten bevatten advies en informatie over de wijze om een kwantitatieve en gedetailleerde analyse uit te voeren van specifieke ontwerpaspecten. Ze vormen een samenvatting van de "stand van zaken" en worden bijgewerkt naarmate nieuwe theorieën, berekeningsmethoden en gegevens beschikbaar komen.", tekst vertaald uit het Engels - bron: BSI

en betreffen de volgende aspecten:

- Effecten van rook op de loopsnelheid
- Effecten van de blootstelling aan vuur of hitte
- Toxiciteit van rook (grens overschreden als het zicht minder dan 10 m is)

Deze criteria dienen vervuld te worden wanneer de gebruikers hun veiligheidspositie bereiken.

B.5. RSET parameters

De bezettingsgraad van een gekozen rijtuig voor de simulatie is 548 personen. Het resultaat is bruikbaar voor de analyse van een metro met een grotere capaciteit, want de beweging wordt beperkt door de meest langzame personen. De gevoeligheid voor het totale aantal mensen is beperkt. De passagiers lopen niet door het vuur en alleen de deuren aan de zijde van het voetpad gaan open.

Het **PBM-percentage** in de rijtuigen wordt in de studies van BMN vastgesteld op 0,5%. Op federaal niveau vereisen de goede praktijken dat rekening gehouden wordt met een percentage van 1% aan niet autonome PBM in de openbare ruimten. Er werd dan ook in overleg met het Begeleidend Comité een percentage van 1% aangehouden voor de in het kader van deze studie uitgevoerde ASET / RSET-simulaties.

Het Brusselse Gewest, dat inzake personen met beperkte mobiliteit bevoegd is, werkt momenteel een gewestelijke referentienorm uit inzake het in aanmerking te nemen PBM-percentage in openbare ruimten. De huidige werkzaamheden lijken uit te gaan naar de aanname van een PBM-percentage variërend tussen 3% en 6%. Deze werkzaamheden zijn op dit moment van schrijven nog niet afgerond. De aan de studiegelastigde verstrekte aanwijzingen lijken erop te duiden dat het percentage van 3% geschikt is voor dit project. Er werd dan ook in overleg met het Begeleidend Comité een percentage van 3% aangehouden voor de bezetting van de rijtuigen.

De detectietijden (Tdet) en de alarmtijden (Twarn) zijn verwerkt in de tijd vóór beweging.

De **tijd vóór beweging** is gebaseerd op de norm ISO/TR 16738. Voor een dergelijke vervoersinfrastructuur kan op basis van de norm uitgegaan worden van een tijd vóór beweging variërend van:

- 1,5 minuut voor de eerste passagiers
- Tot 4 minuten voor de laatste passagiers

Tijd naar een veilige plaats: de simulatietijd voor het compartiment wordt berekend wanneer de laatste passagier voorbij de eerste RF deur¹⁶ of op een station (veilige plaats) is.

De **beweging** van de passagiers wordt als volgt gedefinieerd:

- De valide personen gebruiken de trappen
- De valide personen gebruiken niet de liften
- De PBM gebruiken niet de trappen, behalve als ze begeleid worden; zij worden naar de vluchtzones geleid en vervolgens begeleid naar de uitgang door de brandweer of ad-hoc personeel.

¹⁶ RF deur: brandwerende deur

- De norm ISO/TR 16738¹⁷ stelt een snelheid vast van 1,19 m/s als maximale onbeperkte verplaatsingssnelheid voor gangen, paden, hellingen en deuren. De norm ISO/TR 0.85 stelt een snelheid vast van 1,05 m/s als maximale onbeperkte verplaatsingssnelheid voor gangen, paden, hellingen en deuren. Voor niet begeleide mensen in een rolstoel wordt een gemiddelde verplaatsingssnelheid aangehouden van 0,89 m/s op horizontale oppervlakken. Een horizontale verplaatsingssnelheid van 1 tot 1,19 m/s voor valide personen
- Een horizontale verplaatsingssnelheid van 0,57 tot 0,95 m/s voor PBM

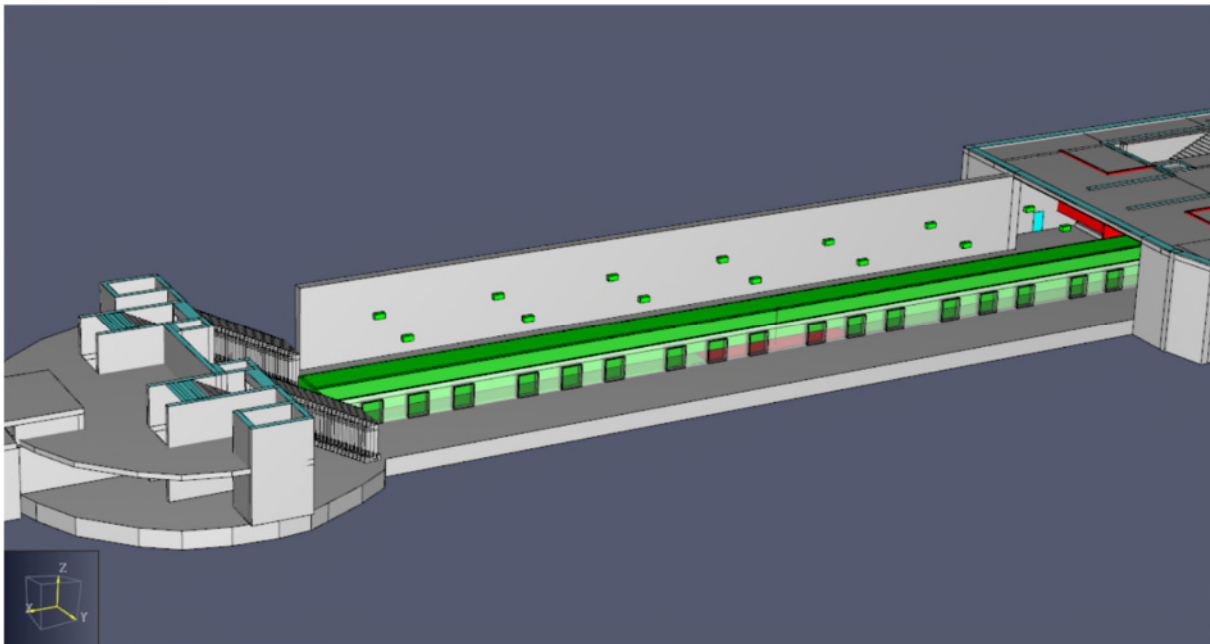
Een **gemiddelde breedte** van 45 cm wordt aangehouden voor valide personen. Een gemiddelde breedte van 65 cm wordt aangehouden voor PBM. Deze waarde komt overeen met de breedte van een rolstoel, inclusief de 2 handen van de persoon.

B.6. ASET-parameters

B.6.1. Gemeenschappelijke parameters voor alle tunnels

Brandhaard en metro:

Voor elk simulatiemodel wordt een brand in de metro gesimuleerd. Deze brand bevindt zich in het midden van een metrorijtuig.



Figuur 150: Algemeen aanzicht van de modellering van de metro - Station VBH (Tractebel, 2020)

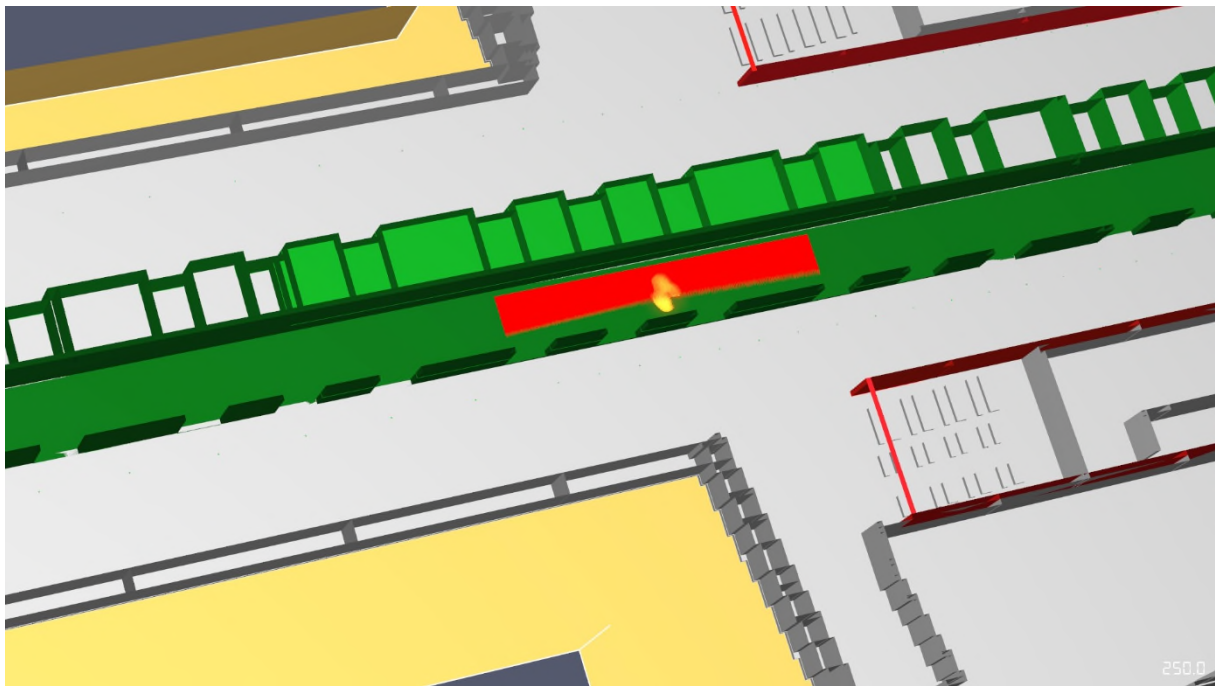
¹⁷ Bron: tabellen G2 en G4 van de norm ISO/TR 16738

Om de brand realistisch te benaderen, werd **de ontwikkeling van het vuur** gemodelleerd met behulp van een verspreidingspercentage dat de ontwikkeling van het vuur in de loop der tijd vertegenwoordigt. De gebruikte eigenschappen zijn de volgende:

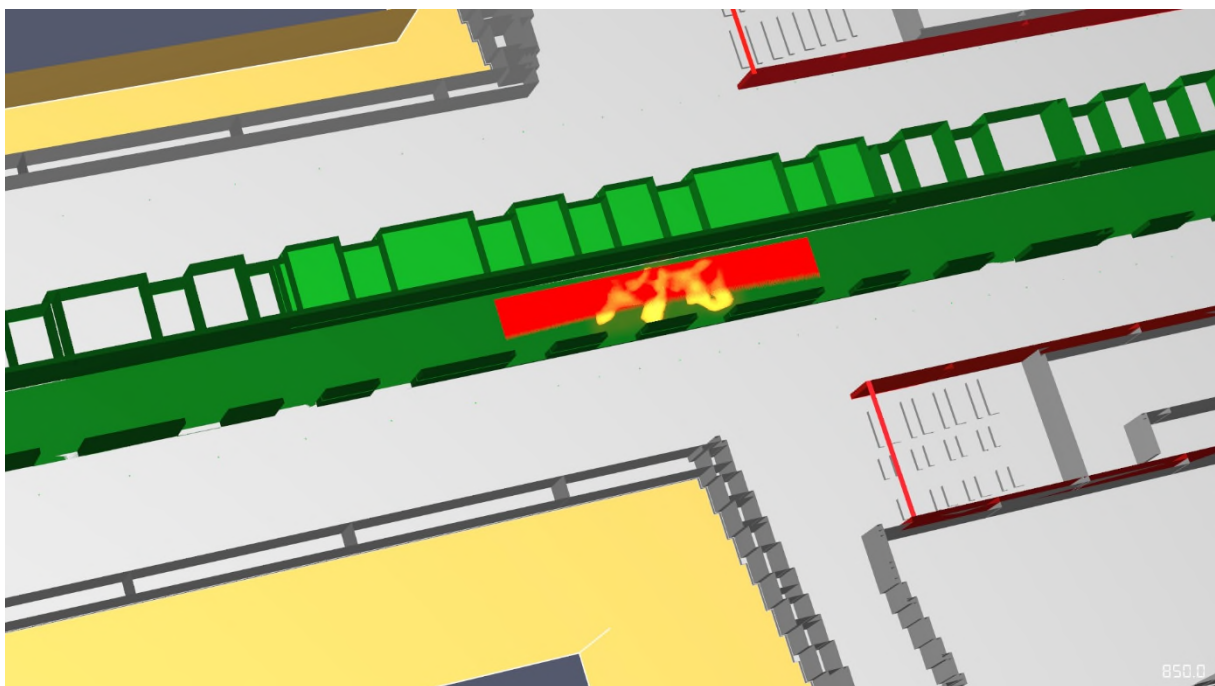
- Afmetingen: 16 m x 2,7 m
- Oppervlak van de brandhaard: 43,2 m²
- HRRPUA: 350 kW/m²
- HRR: 15 MW
- Verbrandingshitte: 24,89 MJ/kg
- Stralingsfractie: 35%
- Verspreidingsnelheid van de brand: 4,87 mm/s
- Begin van de brand: centraal
- Brandbaar materiaal: PMMA (C₅O₂H₈)
- Roetpercentage Y_s : 0,04 g/g

Merk op dat de calorische belasting van 15 MW weerhouden werd voor de simulatie op voorstel en na bevestiging van het Begeleidend Comité. Deze standaard gekozen waarde is waarschijnlijk behoudend. Deze parameter vormt een element dat van invloed is op het verkregen resultaat. Merk wat dit betreft op dat deze brandbelasting variabel is en dat met name: De "European Tunnel Network Fire In Tunnel (ETNFIT), Europese werkgroep belast met de opstelling van een consensus inzake de veiligheid in de tunnels van de Europese Unie, melding maakt van thermische vermogens van 5 tot 23 megawatt naargelang de in Europa in bedrijf zijnde rijtuigen."¹⁸. De waarde van 15 MW is dus een betrekkelijk hoge waarde binnen dit bereik en aanzienlijk lagere waarden kunnen waarschijnlijk beoogd worden. De werkelijke waarde hangt af van het metromodel dat op de lijn gaat rijden. De technologische ontwikkelingen bij een equivalente technologie gaan in de richting van een vermindering van de calorische belasting (betere verwerking van de eigenschappen van de materialen).

¹⁸ Bron: http://crd.ensosp.fr/doc_num.php?explnum_id=8263



Figuur 151: Aanzicht van de brandhaard bij geleidelijke verspreiding (Tractebel, 2020)



Figuur 152: Aanzicht van de brandhaard bij geleidelijke verspreiding (Tractebel, 2020)

De in de modellen geïmplementeerde **aanvangscondities** zijn de volgende:

- Omgevingstemperatuur: 12 °C
- Grootte bij de tunnel: 0,25 m x 0,25 m x 0,25 m

Gebruikte eigenschappen voor het beton:

- Dichtheid: 2200 kg/m³
- Geleidbaarheid: 1,2 kJ/(m.K)
- Soortelijke warmte: 0,88 kJ/(kg.K)

Gebruikte eigenschappen voor het staal:

- Dichtheid: 7850 kg/m³
- Geleidbaarheid: 45,8 kJ/(m.K)
- Soortelijke warmte: 0,46 kJ/(kg.K)

De **limieten van het domein** zijn inert.

Activeringstijd:

Om een brandscenario realistisch te benaderen dienen de tijdsbestekken overeen te komen met een bepaalde referentietijd:

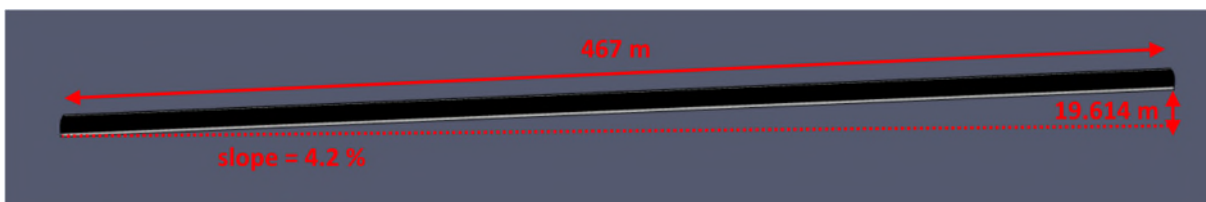
- Bij $t = 0$ s begint het vuur. Dit vuur neemt toe naarmate de ontwikkeling van de simulatie;
- Bij $t = 150$ s (2,5 min.) treedt het rookafzuigstelsel in werking;
- Bij $t = 180$ s (3 min.) werkt het rookafzuigstelsel op 100%;

B.6.2. Tunnel met enkele buis

In het volgende hoofdstuk worden de bijzondere parameters beschreven van de enkele buisvariant.

Domein, geometrie en meetpunten:

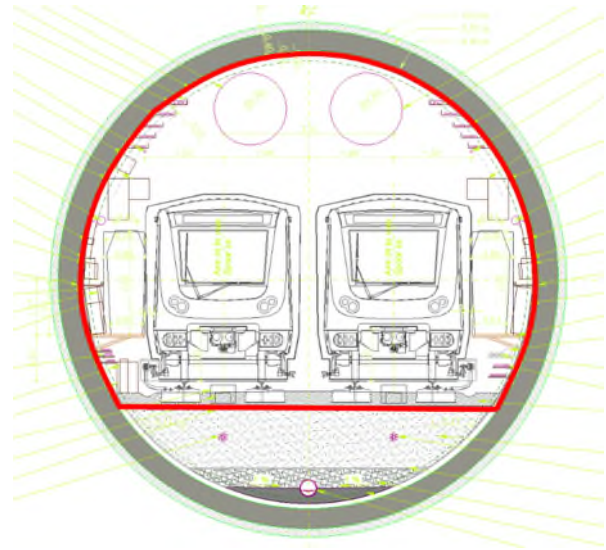
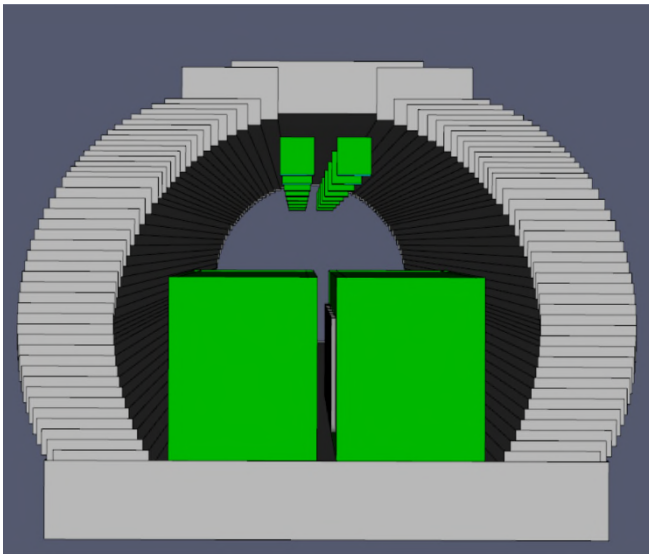
De geometrie is gebaseerd op de verstrekte informatie over de tunnel VBH - Riga.



Figuur 153: Algemeen aanzicht van het model van de enkele buisvariant (Tractebel, 2020)

De tunnel is 467 meter lang en heeft een helling van 4,2%. De gehele tunnel is ingedeeld in zones op 0,25 m met een totaal aantal van 7.038.720 cellen.

Het wordt zodanig gemodelleerd dat de helling en het circulaire tracé benaderd wordt door een opeenvolging van bouwblokken met een kleine positievariatie.



Figuur 154: Dwarsdoorsnede van de enkele buisvariant (BMN, 2020)

De tunnel heeft dezelfde eigenschappen als die van de stations Verboekhoven en Riga met bovendien dezelfde helling als die van de tunnel.

Het oppervlak van de tunnel heeft een "open" grensconditie. De snelheid van 1 m/s wordt toegepast op de blaasboosters aan het plafond van de tunnel.

Rookafzuigstelsel:

- Afzuigdebiet

De afzuiging van de rook vindt mechanisch plaats door een afzuiginstallatie waarvan het debiet en de afmetingen aangegeven worden in de onderstaande tabel.

Locatie	Hoogte ten opzichte van de vloer (m)	Afmetingen	Aantal afzuigpunten	Oppervlak per afzuigpunt (netto m ²)	Totaal oppervlak (netto m ²)	Totaal debiet (m ³ /s)
Ingang station Riga	3,75	6,4x2	1	12,8	12,8	134

Tabel 53: Afzuigdebiet in de enkele buistunnel



Figuur 155: Positie van de rookafzuiginstallatie in de enkele buistunnel (Tractebel, 2020)

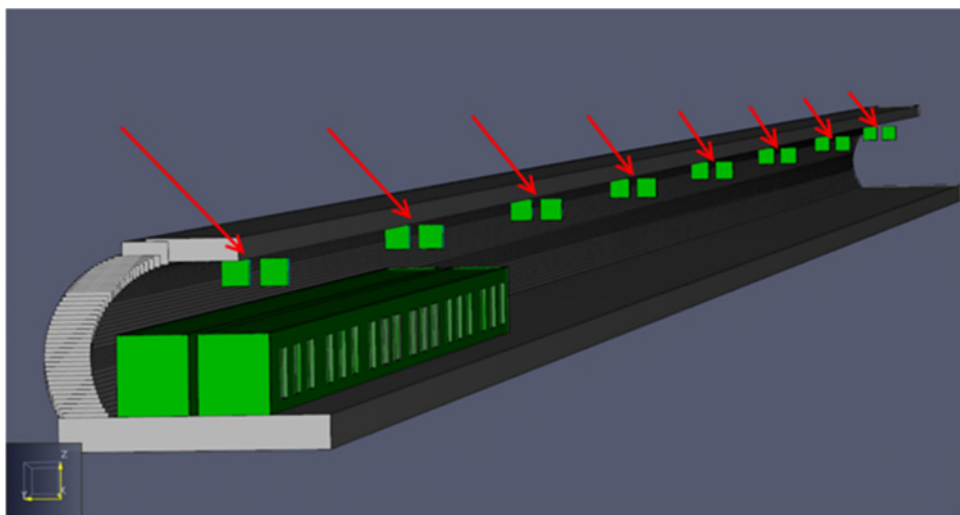
□ Blaasdebiet

Het rookafvoersysteem bestaat uit 16 boosters in de tunnel vanaf 20 m met een onderlinge afstand van 60 m die elk 1 m/s blazen om de rook naar het uiteinde van de tunnel te leiden waar het afgezogen wordt door een afzuiginstallatie waarvan de eigenschappen aangegeven worden in de onderstaande tabel.

Deze boosters zijn in werkelijkheid cirkelvormig maar in het model vierkant en leven hetzelfde oppervlak na (1,5625 m²) om op optimale wijze de berekeningscellen van het model te gebruiken.

Locatie	Hoogte ten opzichte van de vloer (m)	Aantal blaaspunten	Afmetingen	Oppervlak per blaaspunt (netto m ²)	Totaal oppervlak (netto m ²)	Totaal debiet (m ³ /s)
Ingang station Riga	3,636	16	1,25x1,25	1,5625	25	25

Tabel 54: Blaasdebiet in de enkele buistunnel



Figuur 156: Positie van de boosters in de enkele buistunnel (Tractebel, 2020)

B.7. Resultaat van de RSET-simulaties

B.7.1. Presentatie van de resultaten

Voor elk van de simulaties wordt in de onderstaande tabel het resultaat aangegeven voor de volgende tijden:

- De evacuatie tijd van de perrons (T_q)
- De evacuatie tijd van het station (T_t)
- De immobilisatie tijd van de passagiers (T_i)

In de onderstaande tabel wordt het resultaat weergegeven van de evacuatie tijden voor een brandhaard:

		brandhaard - tijd (min,sec)
T RSET = T det + T warn + T evac		ENKELE BUISTUNNEL
		T RSET
Evacuatie tijd van de tunnel	T_q	Circa 15 minuten (13,11)

Tabel 55: Maximale evacuatie tijd van de tunnel, met T det + T warn

De volledige ASET / RSET-simulaties worden gepresenteerd en goedgekeurd door het Begeleidend Comité van de effectenstudie.

Op de volgende Figuren worden voor elke simulatie de screenshots weergegeven met de volgende tijden:

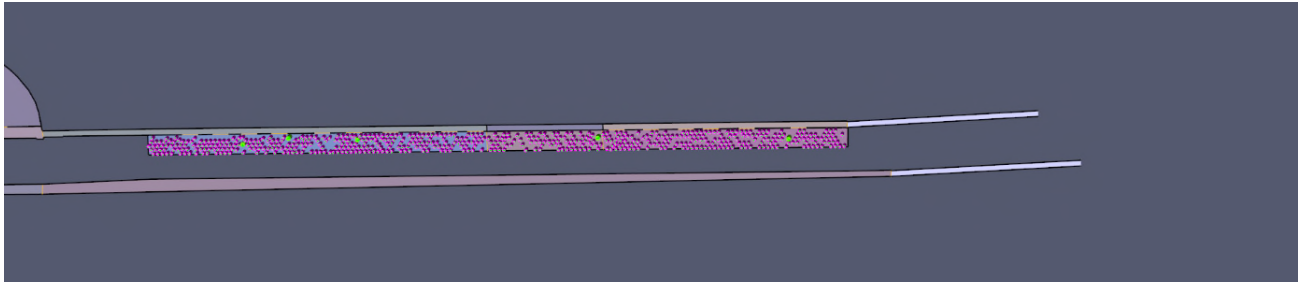
- Begin van de simulatie
- Einde van de simulatie (laatste passage van de tunnel)

Legenda van de te evacueren passagiers op de Figuren:

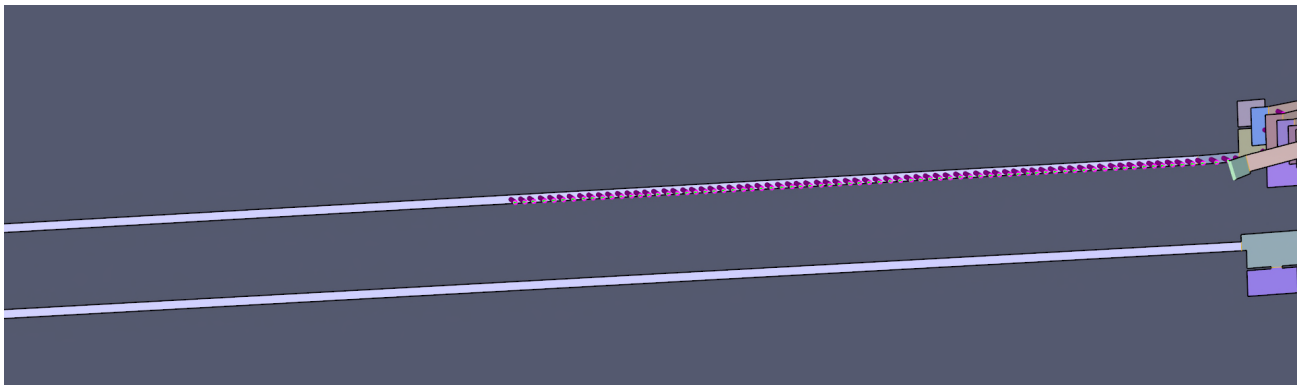
Persoon met beperkte mobiliteit (PBM): groen

Valide personen: roze

B.7.2. Enkele buistunnel



Figuur 157: RSET-simulatie tunnel met enkele buis bij 0 sec. (Tractebel, 2020)



Figuur 158: RSET-simulatie tunnel met enkele buis na 700 sec. (Tractebel, 2020)

De evacuatie van de tunnel is voltooid na 13 min en 11 sec

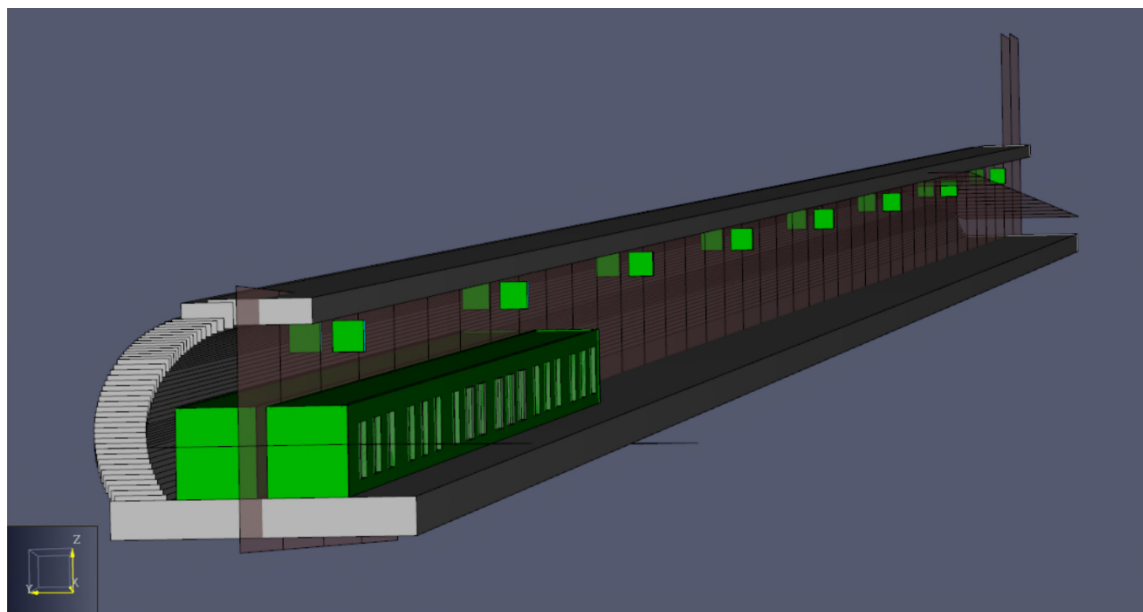
B.8. Resultaat van de ASET-simulaties

B.8.1. Presentatie van de resultaten

De bevestigingscriteria voor de CFD-simulaties van de stations werden goedgekeurd door het Begeleidend Comité en als volgt vastgesteld:

- Zicht > 10 m
- Temperatuur < 80°C
- Stralingsstroom < 2.5 kW/m²

Doorsneden op Z=2 m zijn niet mogelijk daar het model aangemaakt is met een helling. De doorsneden van het zicht en de temperatuur zijn dus longitudinaal ter hoogte van het voetpad zoals het voorbeeld op de onderstaande Figuur.

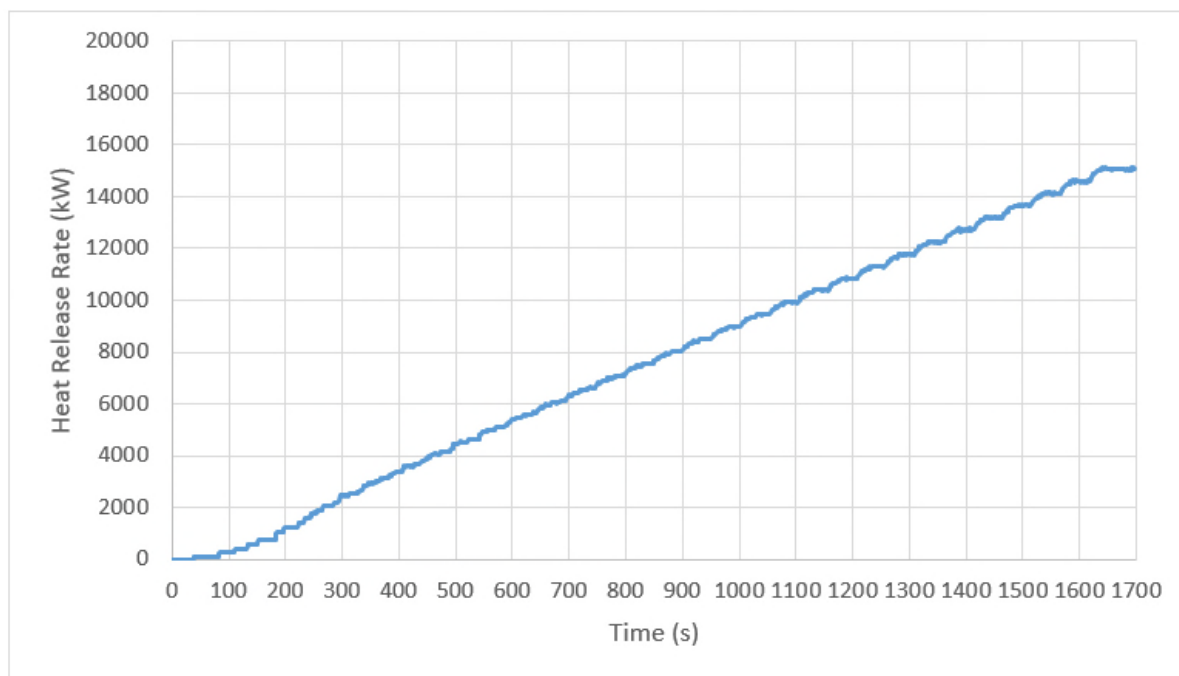


Figuur 159: Positie van de lengtedoorsneden (Tractebel, 2020)

De detectoren van de stralingsstroom bevinden zich langs het evacuatiepad op 2 meter hoogte.

B.8.2. Resultaten enkele buistunnel

- **Ontwikkeling van de HRR-kromme (in kW)**

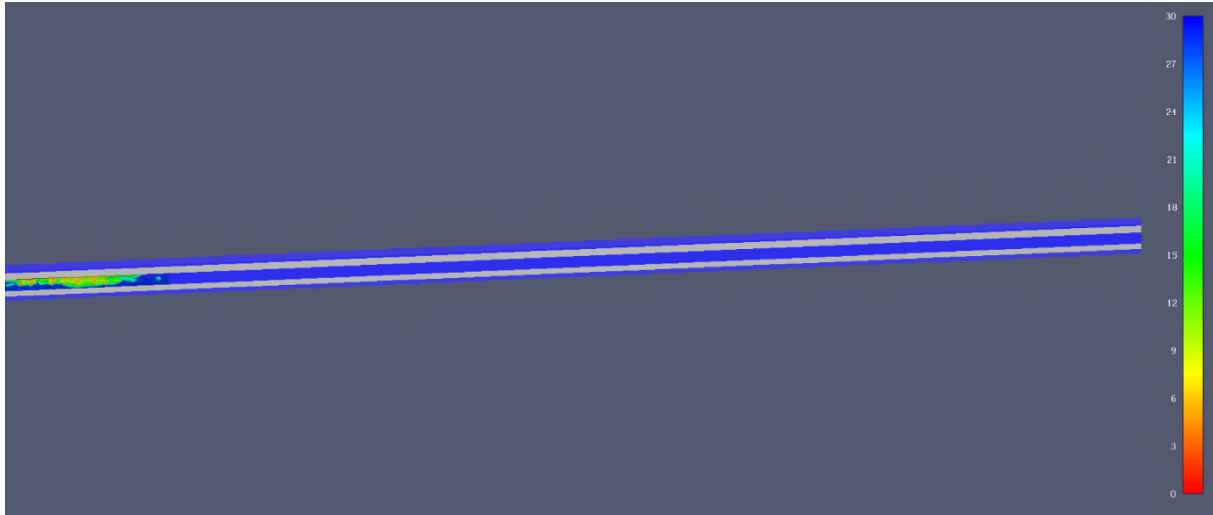


Figuur 160: Ontwikkeling HRR - Enkele buistunnel (Tractebel, 2020)

Het vermogen van het vuur neemt toe in de loop der tijd tot het 15 MW bereikt. Men stelt vast dat de ontwikkeling van het vuur de opgelegde hypothese volgt inzake de verspreiding in de tijd en ruimte.

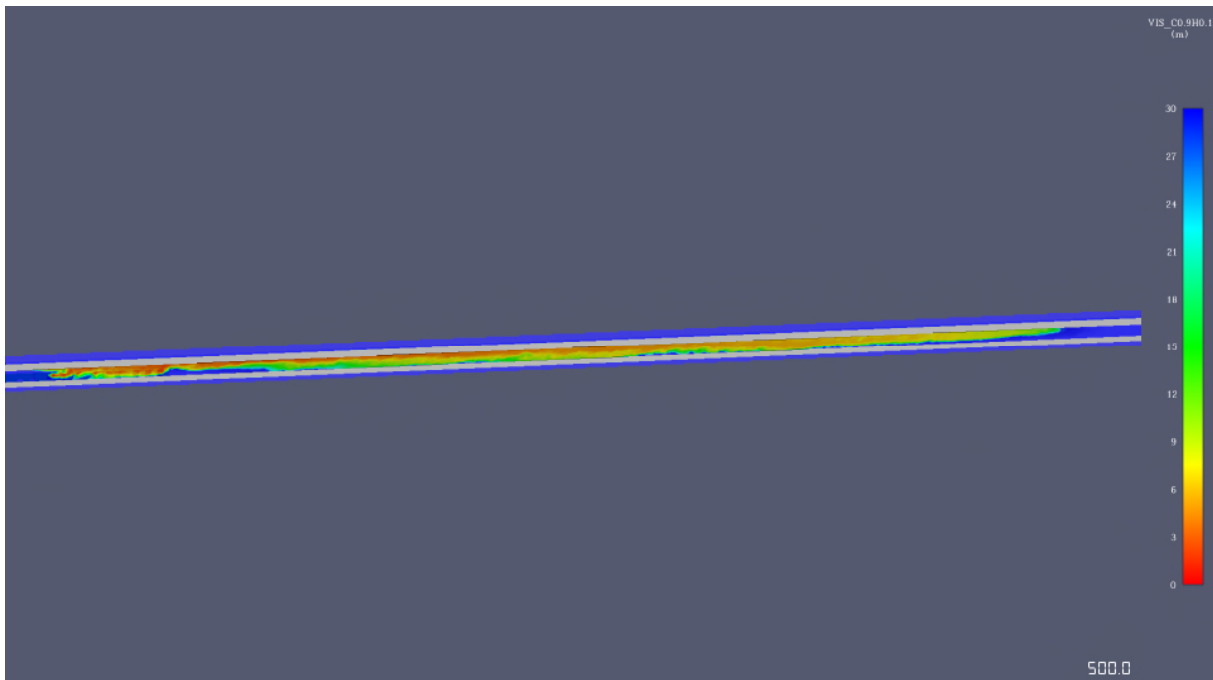
- **Zichtbaarheidsniveaus in de tunnel (in m)**

Hoe meer de kleur naar het rood neigt, des te minder is het zicht goed.



Figuur 161: Zichtbaarheid enkele buistunnel na t=200 s (Tractebel, 2020)

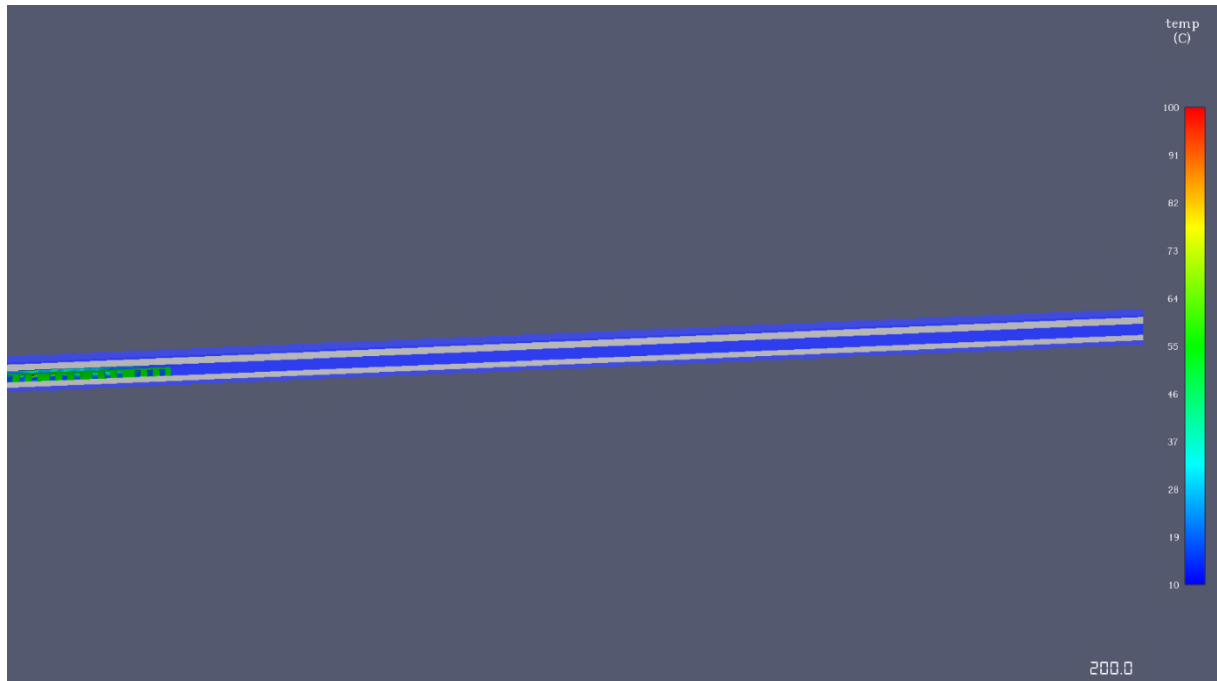
Uit het resultaat blijkt dat na 200 s het zicht in het metrorijtuig onder de toelaatbare waarde ligt (10 m) en hoger dan 10 m in de rest van de tunnel.



Figuur 162: Zichtbaarheid enkele buistunnel na t=500 s (Tractebel, 2020)

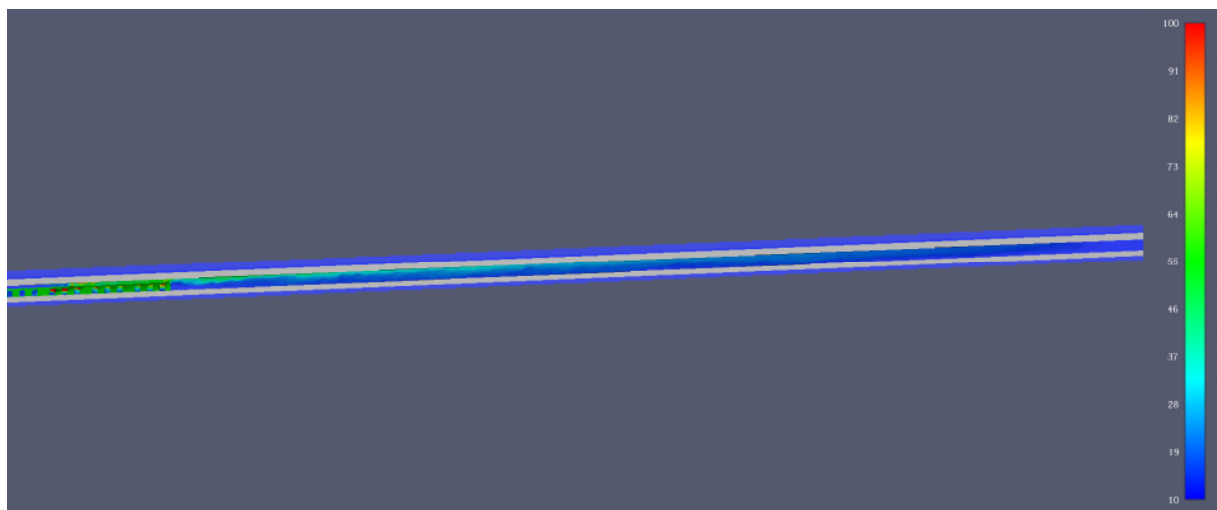
Vanaf 500 s is het zicht overal slecht, want deze overschrijdt de toelaatbare waarde van 10 meter, behalve aan de uiteinden van de tunnel.

- **Temperatuurniveaus in de tunnel (in °C)**



Figuur 163: Temperatuur enkele buistunnel na t=200 s (Tractebel, 2020)

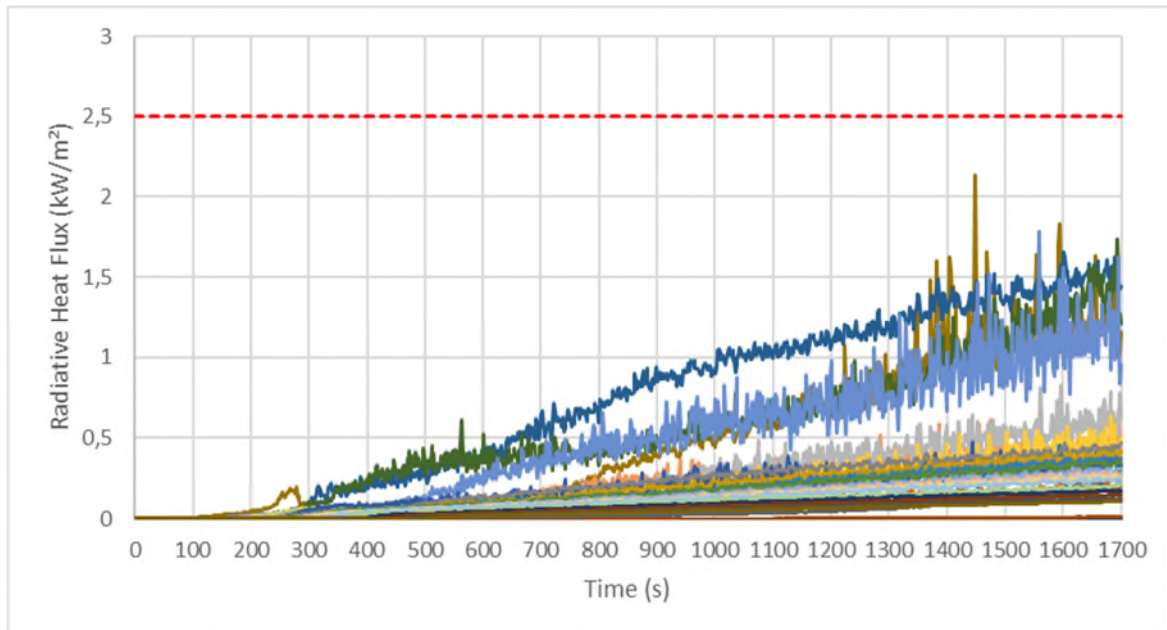
Uit de Figuur blijkt dat na 200 s de temperatuur in de tunnel lager is dan de grenswaarde van 80 °C. In het rijtuig dat in brand staat stelt men daarentegen een hogere temperatuur vast (> 80 °C) rond de brandhaard.



Figuur 164: Temperatuur enkele buistunnel na t=500 s (Tractebel, 2020)

Vanaf 500 s is de temperatuur goed in de tunnel, behalve bij het rijtuig rondom de brandhaard.

- **Niveaus van de stralingsstroom in de tunnel (in kW/m²)**



Figuur 165: Stralingsstroom enkele buistunnel (Tractebel, 2020)

Uit het resultaat blijkt dat geen enkele sensor de grenswaarde van de stralingsstroom van 2,5 kW/m² overschrijdt.

B.9. Interpretatie van de ASET-/RSET-simulaties

B.9.1. Presentatie van de resultaten

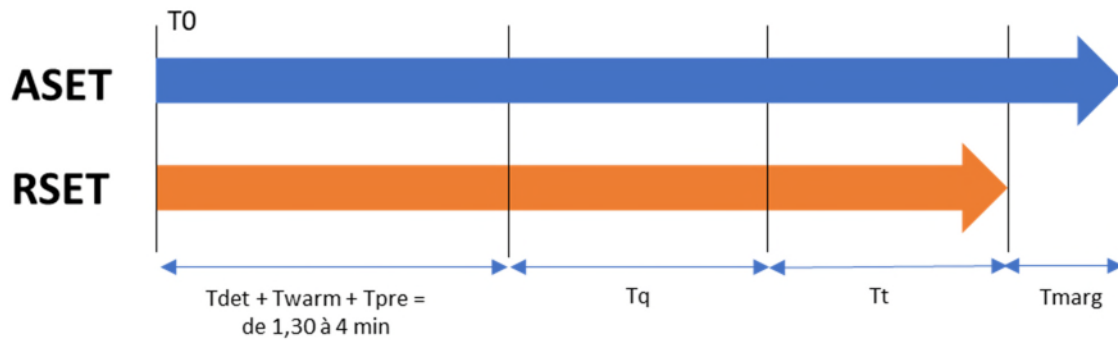
In dit hoofdstuk wordt het ASET / RSET vergelijkingsresultaat uiteengezet (Zicht in de rook / Evacuatie van mensen) op het moment waarop het bekrachtingscriterium niet bereikt is.

In het in brand staande rijtuig kunnen de passagiers niet uit de wagons geëvacueerd worden voordat ze in veiligheid zijn. De rook maakt zich namelijk meester van het rijtuig na +/- 200 s en het criterium van het zicht is bereikt.

Wanneer daarentegen het temperatuurcriterium bereikt is, hebben de passagiers het rijtuig verlaten.

Voor de rijtuigen waar de ASET (beschikbare tijd voor de evacuatie) lager is dan de RSET (benodigde tijd voor de evacuatie) is de veiligheid van de passagiers niet verzekerd in de uitgevoerde "worst case"-simulatie want zij worden achterhaald door de rook.

De onderstaande tijdlijn geeft het theoretische schema aan van de ASET- en RSET-tijden.



Figuur 166: tijdslijn (Tractebel, 2020)

De analyse voor het voetpad wordt in de volgende hoofdstukken uiteengezet.

B.9.2. Enkele buistunnel

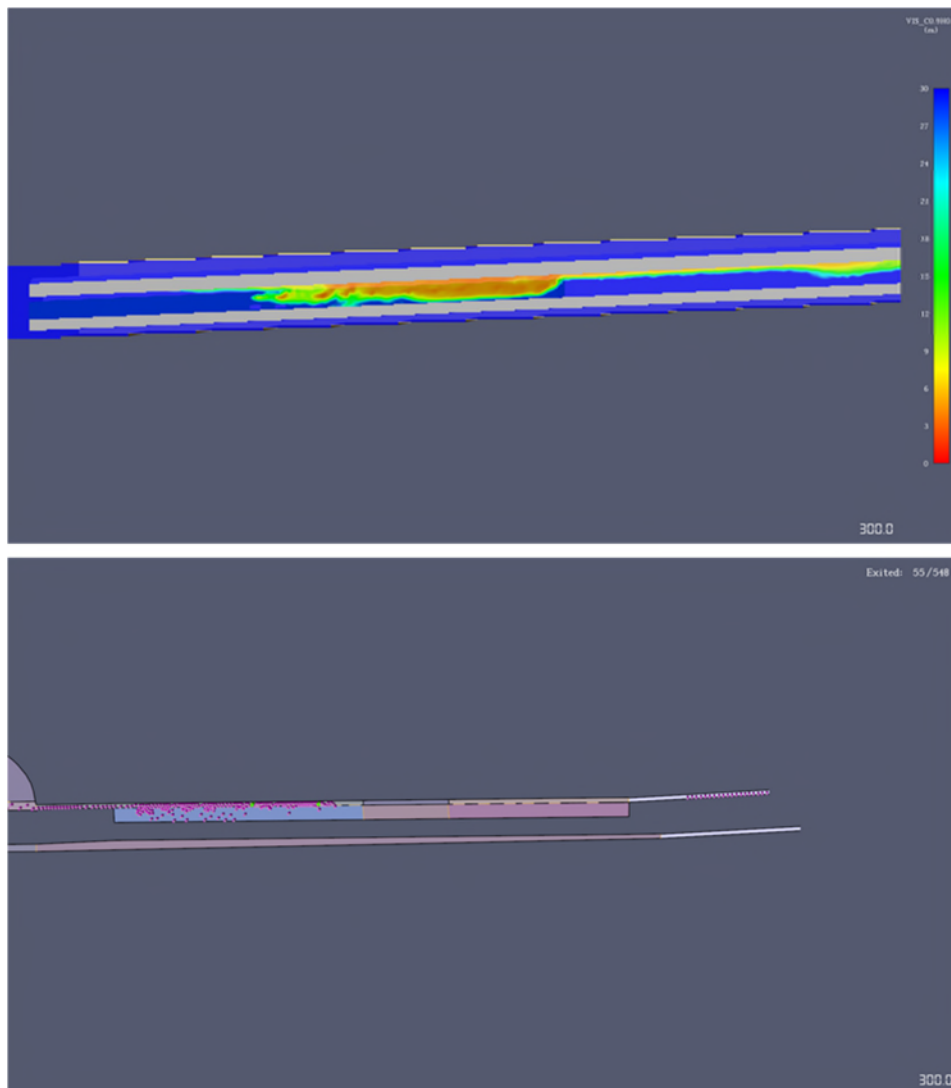
Het hoofdstuk vergelijkt de ASET-/RSET-resultaten van de enkele buistunnel ter hoogte van het evacuatievoetpad.

Het moment waarop de passagiers het zichtbaarheids criterium bereiken bedraagt +/- 300 sec. recht bij het rijtuig en +/- 400 sec. aan de voorzijde van het rijtuig.

De passagiers die de gehele tunnel door moeten worden achterhaald door de rook na circa 1/3 van de lengte van de tunnel afgelegd te hebben.

De Figuren hieronder geven bij 300 sec de zichtbaarheid van de rook in verticale doorsnede weer bij het voetpad, evenals de personen die zich nog op het voetpad bevinden.

Daarentegen, de passagiers die naar het dichtstbijzijnde station gaan, zijn allen in veiligheid wanneer zij de tunnel verlaten.



Figuur 167: vergelijking ASET / RSET van het voetpad van de tunnel met enkele buis na 300 sec. (Tractebel, 2020)

B.9.3. Vergelijking van de ASET-/RSET-simulaties voor de overige stations

De uitgevoerde simulaties in de tunnel Riga / Verboekhoven zijn representatief voor alle stations wat betreft de passagiers van het rijtuig.

Voor de passagiers op het voetpad zijn de uitgevoerde simulaties in de tunnel Riga / Verboekhoven representatief voor de stations die één rookafvoerrichting hebben, te weten:

- P5 / Liedts
- Linde / Vrede
- Bordet / P0

Voor de passagiers op het voetpad van de overige stations kan op basis van een extrapolatie van de resultaten van deze simulaties vastgesteld worden dat de 400 sec veiligheidstijd het niet mogelijk maken om het uiteinde van de tunnel te bereiken.

Ter informatie dient opgemerkt te worden dat volgens het UITP, tussen 1903 en 2015 het aantal branden dat zich heeft voorgedaan in de wereldwijd geïnventariseerde metro-infrastructuren 12 bedraagt (exclusief aanslagen).¹⁹

C. Ontploffingsgevaar

In overleg met het Begeleidend Comité werd besloten dat een analyse inzake het ontploffingsgevaar elders uitgevoerd zal worden en geen deel zal uitmaken van onderhavige studie. Dit betreft namelijk een gevoelige kwestie in verband met de veiligheid die beter in het kader van een vertrouwelijk onderzoek behandeld kan worden om de doelmatigheid van de beoogde maatregelen niet in gevaar te brengen. Het vertrouwelijk kader is namelijk niet verenigbaar met de werking van een effectenstudie.

De analyse van het ontploffingsgevaar valt buiten het kader van de milieu-effecten, want het onderwerp vloeit voort uit de plannen van federale betrokkenen en interne veiligheidsplannen van de MIVB.

Het is daarentegen belangrijk dat de opvolging van deze zorg voortgezet wordt tijdens de latere stappen van de uitvoering van het project en dat de autoriteiten die vergunningen voor dit project afgeven, betrokken worden bij deze discussie om met kennis van zaken vergunningen te kunnen afgeven en daarbij de veiligheid van deze informatie te waarborgen.

6.9.4. Aanbevelingen voor het project

Aanbevelingen inzake de brandpreventie en het ontploffingsgevaar tijdens de procedure en na de procedure van de vergunningsaanvragen

Deze vergunningsaanvraagprocedure wordt omkaderd door verplichtingen inzake de brandpreventie. Het betreft voornamelijk de vereiste oordelen van de DBDMH in het kader van de aanvraagdossiers. Wij bevelen voor de latere stappen een proactieve opvolging aan van deze zorg door de diverse betrokkenen:

1. Tijdens de wijzigingsfase die volgt op de afsluiting van de effectenstudie en het onderzoek tot aan de afgifte:
 - a. Het project zal waarschijnlijk ontwikkelingen ondergaan die bepaalde aspecten van het project inzake de brandpreventie kunnen veranderen. Wij bevelen derhalve aan dat het project zoals dit na de effectenstudie gewijzigd zal worden, onderworpen wordt aan een nieuwe aanvraag om een oordeel van de DBDMH (initiatief van de aanvrager).
 - b. Er dient vervolgens op toegezien te worden dat dit oordeel van de DBDMH doorgegeven wordt aan de autoriteiten vóór de afgifte van de vergunningen (stedenbouwkunde en milieu) binnen een in overleg met de autoriteiten, de DBDMH en de aanvrager overeen te komen termijn.
 - c. Wet betreft de werkelijke brandbelasting van de rijtuigen bevelen wij de aanvrager aan om met de DBDMH een waarde overeen te komen die voldoende veiligheid biedt zonder buitensporige kosten te veroorzaken. Er kunnen meerdere gedachten uitgewerkt worden om deze waarde te verfijnen, zoals:

¹⁹ http://crd.ensosp.fr/doc_num.php?explnum_id=8263, bijlage IV

- i. controleren in de vakliteratuur of er geen fijnere gegevens bestaan over dit vraagstuk zoals bijvoorbeeld in het kader van het "European Tunnel Network -Fire In Tunnel"
 - ii. controleren of het mogelijk is een norm op te leggen aan de leveranciers van de metrorijtuigen van de MIVB en erop toezien dat de naleving van deze norm gecontroleerd wordt op basis van door de DBDMH goedgekeurde controleerbare criteria;
 - iii. Zo nodig overgaan tot een verbrandingstest in werkelijke omstandigheden (in samenwerking met de MIVB);
 - d. om te voorkomen dat het oordeel van de DBDMH in het kader van het gewijzigde project niet tot aanzienlijke wijzigingen leidt van het project, zou het nuttig zijn bepaalde onderwerpen vóór de aanvraag van een oordeel van de DBDMH af te bakenen, zoals bijvoorbeeld:
 - i. de technische inhoud overeenkomen en de mate van gedetailleerdheid van de aan de DBDMH te verstrekken informatie om hen in staat te stellen een zo compleet en nauwkeurig mogelijk oordeel te geven
 - ii. de parameters van de ASET/RSET-simulaties overeenkomen die uitgevoerd moeten worden voor het aangepaste project en deze simulatieparameters laten goedkeuren
 - iii. een duidelijke lijst van de materialen opstellen die gedefinieerd dienen te worden in de vergunningaanvraag (ruwbouw, technische voorzieningen, gevelmaterialen, enz.) om hun eigenschappen wat betreft hun vuurvastheid te verduidelijken (bijvoorbeeld op de plannen van het gewijzigde project), maar ook wanneer dit nodig is voor het risico dat zij met zich mee meebrengen wat betreft de toxiciteit van de rook.
 - e. Wij bevelen aan om in het kader van de opstelling van het gewijzigde project over te gaan tot de uitvoering van ASET/RSET-simulaties zoals gedefinieerd door de norm ISO 16738 door de van tevoren door de DBDMH goedgekeurde parameters in aanmerking te nemen en de resultaten daarvan aan de DBDMH te verstrekken in het kader van het aanvraagdossier van het oordeel evenals aan de autoriteiten die belast zijn met de afgifte van de vergunningen. In dit kader dient gecontroleerd te worden of de evacuatie van de tunnel vergelijkbaar is in alle secties of dat de resultaten van de "worst case" sectie in het kader van deze studie een apart geval is. Met deze resultaten kan men vervolgens controleren of alle tunnelsecties op doelmatige wijze geëvacueerd kunnen worden of, in tegendeel, dat er bijzondere oplossingen gezocht moeten worden voor specifieke delen van de tunnel of dat het nodig is om over te gaan tot onderzoek naar meer structurele oplossingen voor het gehele tracé. Voor de zones die niet veilig geëvacueerd kunnen worden, dient de aanvrager oplossingen te integreren opdat de evacuatie van personen mogelijk is. Deze oplossingen moeten de gelijkwaardigheid van de veiligheid bewijzen en, zo nodig, voorwerp uitmaken van aanvragen om uitzonderingen bij de regelgevende autoriteit op basis van passieve, actieve en/of organisatorische maatregelen.

- f. In geval de resultaten van de uitgevoerde ASET/RSET-simulaties voor het gewijzigde project structureel problematisch mochten blijven voor alle secties van de tunnel, gelet op de uiteindelijk vastgestelde parameters, bevelen wij aan alle vereiste maatregelen te nemen om zo veel mogelijk te neigen naar het risico "nul" voor het leven van de mensen. Dit betekent dat alle relevante maatregelen in die zin genomen moeten zowel wat betreft de ruwbouw, als wat betreft de voorzieningen voor het beheer van het brandgevaar. De maatregelen die beoogd kunnen worden betreffen bijvoorbeeld verhoogde voorzieningen voor de evacuatie of om de mensen in veiligheid te brengen, bijzondere blus-/rookafvoervoorzieningen voor de problematische zones, enz. In voorkomend geval kan een meer diepgaande risicostudie beoogd worden om de noodzaak te controleren van de mogelijke oplossingen (merk ter herinnering op dat er wereldwijd 12 branden bekend zijn in metro-infrastructuren tussen 1903 en 2015).
- g. Wij bevelen de DBDMH aan om ervoor te zorgen om voldoende beschikbaar te zijn voor deze dialoog vóór de aanvraag van haar oordeel over het gewijzigde project en nu reeds een standpunt in te nemen inzake de vast te stellen parameters zoals hierboven beschreven.
- h. Wij bevelen tevens aan om een dialoog aan te gaan met de FOD Binnenlandse zaken om vooruit te lopen op de uitzonderingsaanvragen voor het project. Tevens dient er op toegezien te worden dat deze uitzonderingen formeel op tijd aangevraagd worden zodat ze verleend en doorgegeven kunnen worden aan de autoriteiten vóór de afgifte van de vergunningen.
- i. Wij bevelen ook aan dat de aanvrager informeert naar de voortgang van de werkzaamheden die momenteel uitgevoerd worden inzake de bepaling van de in aanmerking te nemen normen wat betreft het percentage aan personen met beperkte mobiliteit (PBM) waarmee rekening gehouden moet worden in de evacuatiestrategie. Indien mogelijk, naargelang de datum van voltooiing van deze werkzaamheden, het project aanpassen om te voldoen aan deze nieuwe norm. Als deze informatie niet afdoende vroeg beschikbaar komt bevelen wij aan (1) om de mogelijkheid te controleren om de infrastructuur aan te passen voor een percentage van 3% aan PBM, (2) om dit percentage overal waar mogelijk in het project te integreren en (3) als er meer meer complexe zones resterend die het bijzonder moeilijk maken om deze eis te halen, om deze bijzondere complexiteit uit te leggen, het percentage PBM aan te geven waaraan het project in werkelijkheid voldoet en om begeleidende maatregelen voor te stellen om het verhoogde risico dat deze bijzondere zone met zich meebrengt te verzachten.
- j. Wat betreft het ontploffingsgevaar bevelen wij aan een oordeel te beogen van Brussel Preventie en Veiligheid (BPV) in het kader van het onderzoek van het dossier (op initiatief van de aanvrager en/of de autoriteiten die de vergunningen afgeven).
- k. Om te voorkomen dat het oordeel van BPV leidt tot significante wijzigingen van het project na de neerlegging van het gewijzigde project, bevelen wij aan dat BPV zich beschikbaar stelt tijdens de wijzigingsfase om vooruit te lopen op dit oordeel zodat de belangrijkste elementen rechtstreeks opgenomen kunnen worden in het project (bijvoorbeeld structurele aspecten).

1. De studie beveelt aan voor de bijwerking te zorgen van de federale plannen van de staatsveiligheid en de noodplannen van de MIVB voordat de lijn uitgebaat wordt zodat alle diensten die betrokken zijn bij het beheer van de veiligheid deze nieuwe vervoersinfrastructuur grondig hebben geïntegreerd in hun organisatie.
2. Tijdens de bouwfase en tijdens de exploitatiefase:
 - a. Aanbevelingen aan de aanvragers: Daar de wetgeving geen specifiek referentiekader voorziet voor dit type project dat derhalve onder de toepasselijke "lage bouwnormen" valt (en de tunnel die niet onder hun toepassingsveld valt), dient men zich ervan te verzekeren dat de configuratie van de locatie de interventie van de nooddiensten daadwerkelijk toelaat. Ter aanvulling op deze normen en afgegeven oordelen, bevelen wij aan om in het bouwschema de mogelijkheid te voorzien om tests van de DBDMH uit te voeren in werkelijke omstandigheden. Daar de stations en de tunnels atypische en diepliggende infrastructuren zijn, zou de DBDMH zijn materieel en procedures in werkelijke omstandigheden kunnen testen tijdens de uitvoering van het project. Deze tests dienen gepland te worden in overleg met de DBDMH zowel wat betreft de periode (bijvoorbeeld wanneer de ruwbouw voltooid is) als wat betreft de technische invulling van de tests. De aanvrager zou vervolgens rekening kunnen houden met de resultaten van deze tests en de voorzieningen van de tunnel kunnen aanpassen. Zo nodig zou de DBDMH eventueel ook dankzij deze tests kunnen vooruitlopen op de ingebruikname van de lijn en speciaal aangepast materieel kunnen aanschaffen en haar interventieprocedures navenant kunnen opstellen.
 - b. Naast deze tests beveelt de studie aan dat de werf geïnspecteerd wordt door de DBDMH op verschillende van tevoren bepaalde momenten om opmerkingen en suggesties te kunnen doen die vervolgens door de aanvrager in aanmerking genomen kunnen worden.
 - c. Er wordt afgeraden om een brandend rijktuig in een tunnel te stoppen, vooral als deze tunnel slechts één rookafvoerrichting heeft en de positie van het vuur een gedeelte van de passagiers verplicht over de gehele lengte van de tunnel te evacueren.
 - d. Wij bevelen Beliris/MIVB aan erop toe te zien dat alle afwerkingselementen die niet onderworpen zijn aan een stedenbouwkundige of milieuvergunning (meubilair, oppervlaktebekleding, enz.) geselecteerd worden op basis van de risico's die deze elementen met zich mee kunnen brengen wat betreft de toxiciteit van de rook. Hierop dient aandachtig toegezien te worden gedurende de gehele uitbatingsduur van de lijn.
 - e. Wat betreft de noodvoeding: de elektrische noodleidingen dienen zodanig aangebracht te worden dat risico's op een algemene uitschakeling verdeeld worden. Een conformiteitsattest van de installaties moet verstrekt worden door de aanvragers vóór de voorlopige oplevering van de installaties.
 - f. Aanbevelingen aan de aanvragers: zodra de werken voltooid zijn, om een controle-inspectie verzoeken van de DBDMH om een conformiteitsattest te verkrijgen van de installaties (volgens artikel 55 van titel XIII van de Algemene Bouwverordening van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest)

Aanbevelingen inzake de in aanmerking te nemen normen (herinneringen)

Bij gebrek aan een specificatie van de gebruikte materiaalklassen, bevelen wij aan om zich te baseren op de volgende te bereiken prestaties:

- a. Het wordt aanbevolen om bijlage 5 na te leven (brandgedrag van materialen) van het KB van 19 december 1997 tot wijziging van het KB van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen. Deze basisnormen bepalen de prestaties van het brandgedrag van bouwmaterialen en de dichtheid van de vrijkomende rook. Het wordt aanbevolen om de vastgestelde waarden te gebruiken om rekening te houden met niet autonome gebruikers (PBM, kinderen...)
- b. Wat betreft de toxiciteit van de door de gebruikte bouwmaterialen afgegeven rook schrijft geen enkel specifiek reglement, ondanks dat enkele beproevingsnormen ter zake bestaan, de toxiciteitsgrenzen voor van de in de gebouwen te gebruiken materialen ten opzichte van de tijdens een brand vrijkomende gassen (CO, HBr, HF, SO₂, Nox, ... enz.) De norm ISO 16738 legt een verband tussen de toxiciteit en het zicht. Voor dit project wordt verondersteld dat de toxiciteitsgrens overschreden wordt als het zicht minder dan 10 m is. (zie norm ISO 13571 en "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering").
- c. Voor de elektrische kabels wordt aanbevolen gebruik te maken van de kabels die geen dichte en zure rook afgeven (Zie AREI)
- d. Bij gebrek aan een specificatie van de gebruikte en opgeslagen materiaalklassen, dient boek VI van de codex over het welzijn op het werk²⁰ betreffende chemische, kankerverwekkende en mutagene agentia nageleefd te worden

²⁰ Omzetting naar het Belgische recht van de Europese richtlijn 98/24/EG van de Raad van 7 april 1998 betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van werknemers tegen risico's van chemische agentia op het werk (14e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG)

6.9.5. Samenvattende tabel van de aanbevelingen voor het enkele buisproject

Effecten	Aanbevelingen
Brandveiligheid	<p data-bbox="544 443 1050 477">Aanbevelingen aan de aanvragers</p> <ul data-bbox="592 495 1394 1995" style="list-style-type: none"><li data-bbox="592 495 1394 562">□ Een nieuwe aanvraag om een oordeel van de DBDMH indienen voor het gewijzigde project<li data-bbox="592 580 1394 752">□ Erop toezien dat het oordeel van de DBDMH doorgegeven wordt aan de autoriteiten vóór de afgifte van de vergunningen (stedenbouwkunde en milieu) binnen een in overleg met de autoriteiten, de DBDMH en de aanvrager overeen te komen termijn.<li data-bbox="592 770 1394 1088">□ Wat betreft de werkelijke brandbelasting van de rijtuigen met de DBDMH een waarde overeenkomen die voldoende veiligheid biedt zonder buitensporige kosten te veroorzaken. Deze parameter kan verfijnd worden op basis van vakliteratuur (indien die bestaat) hetzij op basis van door de leveranciers van de metrorijtuigen verstrekte verbintenissen, hetzij door verbrandingstests in werkelijke omstandigheden uit te voeren (in samenwerking met de MIVB).<li data-bbox="592 1106 1394 1279">□ Bepaalde onderwerpen vóór de aanvraag van het oordeel van de DBDMH afbakenen, zoals de technische invulling en de mate van details van de aan de DBDMH te verstrekken informatie, de ASET/RSET-simulaties en een duidelijke lijst van de materiaalklassen<li data-bbox="592 1296 1394 1615">□ In het kader van de opstelling van het gewijzigde project overgaan tot de uitvoering van ASET/RSET-simulaties zoals gedefinieerd door de norm ISO 16738 door de van tevoren door de DBDMH goedgekeurde parameters in aanmerking te nemen en de resultaten daarvan aan de DBDMH te verstrekken in het kader van het aanvraagdossier van het oordeel evenals aan de autoriteiten die belast zijn met de afgifte van de vergunningen.<li data-bbox="592 1632 1394 1877">□ Door middel van de ASET/RSET-simulaties controleren of de tunnel veilig geëvacueerd kan worden of, zo niet, controleren of er punctuele of structurele correcties toegepast moeten worden door de toevoeging van de evacuatie-oplossingen of bijvoorbeeld plaatsen om mensen in veiligheid te brengen (in voorkomend geval overgaan tot een meer diepgaande studie).<li data-bbox="592 1895 1394 1995">□ Een dialoog aangaan met de FOD Binnenlandse zaken om vooruit te lopen op de uitzonderingsaanvragen voor het project. Erop toezien dat deze uitzonderingen formeel op

	<p>tijd aangevraagd worden zodat ze verleend en doorgegeven kunnen worden aan de autoriteiten vóór de afgifte van de vergunningen.</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Wij bevelen ook aan dat de aanvrager informeert naar de voortgang van de werkzaamheden die momenteel uitgevoerd worden inzake de bepaling van de in aanmerking te nemen normen wat betreft het percentage aan personen met beperkte mobiliteit (PBM) waarmee rekening gehouden moet worden in de evacuatiestrategie. Indien mogelijk, naargelang de datum van voltooiing van deze werkzaamheden, het project aanpassen om te voldoen aan deze nieuwe norm. Als er meer meer complexe zones resteren die het bijzonder moeilijk maken om deze eis te halen, deze bijzondere complexiteit uitleggen, het percentage PBM aangeven waaraan het project in werkelijkheid voldoet en begeleidende maatregelen voorstellen om het verhoogde risico dat deze bijzondere zone met zich meebrengt te verzachten.<input type="checkbox"/> Wat betreft het ontploffingsgevaar bevelen wij aan een oordeel te beogen van Brussel Preventie en Veiligheid (BPV) in het kader van het onderzoek van het dossier (op initiatief van de aanvrager en/of de autoriteiten die de vergunningen afgeven).<input type="checkbox"/> Men dient zich ervan te verzekeren dat de configuratie van de locatie de interventie van de nooddiensten daadwerkelijk toelaat. Ter aanvulling op deze normen en afgegeven oordelen, bevelen wij aan om in het bouwschema de mogelijkheid te voorzien om tests van de DBDMH uit te voeren in werkelijke omstandigheden. Deze tests dienen gepland te worden in overleg met de DBDMH zowel wat betreft de periode als wat betreft de technische invulling van de tests.<input type="checkbox"/> Inspecties van de werf voorzien door de DBDMH op verschillende van tevoren bepaalde momenten om opmerkingen en suggesties te kunnen doen die vervolgens door de aanvrager in aanmerking genomen kunnen worden.<input type="checkbox"/> Erop toezien dat alle afwerkingselementen die niet onderworpen zijn aan een stedenbouwkundige of milieuvergunning geselecteerd worden op basis van de risico's die deze elementen met zich mee kunnen brengen wat betreft de toxiciteit van de rook.<input type="checkbox"/> Wat betreft de noodvoeding: de elektrische noodleidingen dienen zodanig aangebracht te worden dat risico's op een algemene uitschakeling verdeeld worden. Een
--	--

	<p>conformiteitsattest van de installaties moet verstrekt worden.</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Het wordt aanbevolen om bijlage 5 na te leven (brandgedrag van materialen) van het KB van 19 december 1997 tot wijziging van het KB van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen.<input type="checkbox"/> De norm ISO 16738 legt een verband tussen de toxiciteit en het zicht. Voor dit project wordt verondersteld dat de toxiciteitsgrens overschreden wordt als het zicht minder dan 10 m is.<input type="checkbox"/> Voor de elektrische kabels wordt aanbevolen gebruik te maken van de kabels die geen dichte en zure rook afgeven<input type="checkbox"/> Bij gebrek aan een specificatie van de gebruikte en opgeslagen materiaalklassen, dient boek VI van de codex over het welzijn op het werk²¹ betreffende chemische, kankerverwekkende en mutagene agentia nageleefd te worden <p>Aanbevelingen aan de DBDMH</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Wij bevelen de DBDMH aan om ervoor te zorgen om voldoende beschikbaar te zijn voor deze dialoog vóór de aanvraag van haar oordeel over het gewijzigde project en nu reeds een standpunt in te nemen inzake de vast te stellen parameters zoals hierboven beschreven. <p>Aanbevelingen aan de BPV</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Om te voorkomen dat het oordeel van BPV leidt tot significante wijzigingen van het project na de neerlegging van het gewijzigde project, bevelen wij aan dat de BPV zich beschikbaar stelt tijdens de wijzigingsfase om vooruit te lopen op dit oordeel zodat de belangrijkste elementen rechtstreeks opgenomen kunnen worden in het project.
--	---

²¹ Omzetting naar het Belgische recht van de Europese richtlijn 98/24/EG van de Raad van 7 april 1998 betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van werknemers tegen risico's van chemische agentia op het werk (14e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG)

Ontploffingsgevaar	In overleg met het Begeleidend Comité werd besloten dat een analyse inzake het ontploffingsgevaar elders uitgevoerd zal worden en geen deel zal uitmaken van onderhavige studie. Dit betreft namelijk een gevoelige kwestie in verband met de veiligheid die beter in het kader van een vertrouwelijk onderzoek behandeld kan worden om de doelmatigheid van de beoogde maatregelen niet in gevaar te brengen. Het is daarentegen belangrijk dat de opvolging van deze zorg voortgezet wordt tijdens de latere stappen van de uitvoering van het project en dat de autoriteiten die vergunningen voor dit project afgeven, betrokken worden bij deze discussie om met kennis van zaken vergunningen te kunnen afgeven en daarbij de veiligheid van deze informatie te waarborgen.
--------------------	--

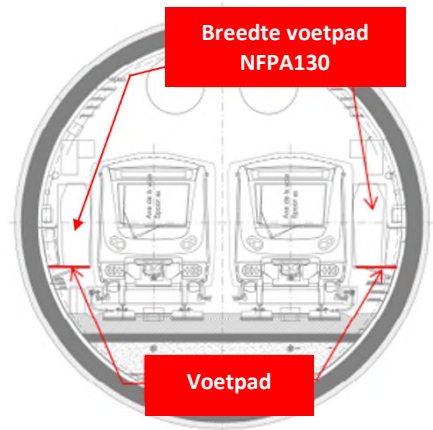
6.9.6. Conclusie

Wat betreft de brandveiligheid en brandpreventie bestaan er geen Belgische **reglementen** of **normen** die in het bijzonder van toepassing zijn op tunnels. De brandveiligheid wordt behandeld op basis van internationale normen en volgens de erkende technische regels. De internationale standaard is gebaseerd op de in Europa beschikbare normen betreffende metronetwerken of spoortunnels en de recente resultaten van de onderzoeksprojecten werden in aanmerking genomen.

De norm NFPA130 (Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems) werd door BMN beschouwd als normatieve referentie voor de bepaling van de grootte van de nooduitgangen en het normatieve kader voor tunnels in het algemeen.

De analyse van de toepassing van deze norm in het kader van dit project werd uitgevoerd door de studiegelastigde. Uit deze analyse blijkt dat de norm NFPA130 niet relevant is voor de evacuatie-analyse in het kader van dit project. Bovendien vermeldt deze norm geen evacuatie-tijd voor tunnels. De norm NFPA130 kan gebruikt worden voor de analyse van de statische elementen, zoals de afstand tot de nooduitgangen.

In het project van de Metro Noord, beschikt elke sectie van het nieuwe netwerk over een **voetgangspad** volgens de norm NFPA 130. Deze bevinden zich aan weerszijden van de tunnel ter hoogte van de vloer van het rijtuig.



Tunnel – Doorsnede – Vluchtpad (BMN, 2020)

De maximale afstand tussen de stations van 601 m is minder dan de afstand die voorgeschreven wordt door NFPA130 (762 m) betreffende de maximale afstand tussen de **nooduitgangen**.

Het project heeft de inbedrijfname tot doel van een systeem zonder bestuurder. In dit kader werd besloten een **scherm** te installeren voor de 7 stations van de lijn. De schermen voldoen aan de evacuatieprincipes vanuit de tunnel of vanuit een op het perron (al dan niet correct) gestopte trein.

Met instemming van het Begeleidend Comité werd daarom **de norm ISO 16738 toegepast voor de ASET/RSET-studies van deze studie**. De norm ISO 16738 omvat met name het beheer van het menselijk gedrag in geval van brand. Voor de uitvoering van de ASET/RSET-simulatie werd rekening gehouden met zeer behoudende, zelfs extreme voorwaarden:

- De evacuatieprocedure van de MIVB vereist dat als zich een incident voordoet in een rijktuig, dit rijktuig naar een station rijdt. Het wordt afgeraden om een brandend rijktuig in een tunnel te stoppen, vooral als deze tunnel slechts één rookafvoerrichting heeft en de positie van het vuur een gedeelte van de passagiers verplicht over de gehele lengte van de tunnel te evacueren. Het feit dat het rijktuig geblokkeerd blijft tussen twee stations is dus het ergste geval. Het is dit geval dat gesimuleerd werd.
- Wij veronderstellen dat de brandbelasting van het rijktuig 15 MW bedraagt na voorstel en bevestiging door het Begeleidend Comité. Merk op dat een thermisch vermogen 15 MW zeer behoudend is voor recent materiaal. De studiegelastigde raadt de aanvrager aan om met de DBDMH een waarde overeen te komen die voldoende veiligheid biedt zonder buitensporige kosten te veroorzaken. Zo nodig wordt aanbevolen om over te gaan tot een verbrandingstest in werkelijke omstandigheden (in samenwerking met de MIVB);
- De "worst case" tunnel is de tunnel onder de langste tunnels van de NB-lijn en met slechts één afvoerrichting van de rook met een sterke helling. Voor deze analyse werd dan ook in overleg met het Begeleidend Comité de sectie weerhouden tussen Verboekhoven en Riga. Deze tunnel is namelijk 467 meter lang en heeft een helling van 4,2% en één rookafvoerrichting.

- Wij gaan ervan uit dat er 548 personen, waaronder PBM, in het rijtuig zijn en dat de brandhaard ontstaat in het midden van het rijtuig, wat de helft van de passagiers dwingt zich naar het verste station te begeven, op 467 meter afstand, met een stijging van 4,2%.

Uit het resultaat van deze analyse van het "worst case"-scenario blijkt dat als er brand uitbreekt in het rijtuig, de veiligheid van de passagiers die naar het verste station omhoog lopen niet verzekerd is. De passagiers die naar het dichtstbijzijnde station omlaag lopen, zijn allen in veiligheid wanneer zij de tunnel verlaten.

In het kader van de opstelling van het gewijzigde project dient overgegaan te worden tot de uitvoering van **ASET/RSET-simulaties** zoals gedefinieerd door de norm ISO 16738 door de van tevoren door de DBDMH goedgekeurde parameters in aanmerking te nemen. In geval uit de simulaties blijkt dat de veiligheid van de passagiers niet verzekerd is, dienen er **oplossingen** voorgesteld te worden op het gebied van de infrastructuur, de procedures of de voorzieningen die goedgekeurd dienen te worden door de DBDMH.

Wij bevelen ook aan dat de aanvrager informeert naar de voortgang van de werkzaamheden die momenteel uitgevoerd worden inzake de bepaling van de in aanmerking te nemen normen wat betreft het percentage aan **personen met beperkte mobiliteit** (PBM) waarmee rekening gehouden moet worden in de evacuatiestrategie. Indien mogelijk, naargelang de datum van voltooiing van deze werkzaamheden, het project aanpassen om te voldoen aan deze nieuwe norm. Als deze informatie niet afdoende vroeg beschikbaar komt bevelen wij aan (1) om de mogelijkheid te controleren om de infrastructuren aan te passen voor een percentage van 3% aan PBM, (2) om dit percentage overall waar mogelijk in het project te integreren en (3) als er meer meer complexe zones resteren die het bijzonder moeilijk maken om deze eis te halen, dient de aanvrager deze bijzondere complexiteit uit te leggen, het percentage PBM aan te geven waaraan het project in werkelijkheid voldoet en om begeleidende maatregelen voor te stellen om het verhoogde risico dat deze bijzondere zone met zich meebrengt te verzachten.

In overleg met het Begeleidend Comité werd besloten dat een analyse inzake het **ontploffingsgevaar** elders uitgevoerd zal worden en geen deel zal uitmaken van onderhavige studie. Dit betreft namelijk een gevoelige kwestie in verband met de veiligheid die beter in het kader van een vertrouwelijk onderzoek behandeld kan worden om de doelmatigheid van de beoogde maatregelen niet in gevaar te brengen. Het vertrouwelijk kader is namelijk niet verenigbaar met de werking van een effectenstudie.

Daar de wetgeving geen specifiek referentiekader voorziet voor dit type project, dient men zich ervan te verzekeren dat de configuratie van de locatie de interventie van de nooddiensten daadwerkelijk toelaat. Ter aanvulling op deze normen en afgegeven oordelen, bevelen wij aan om in het bouwschema de mogelijkheid te voorzien om **tests van de DBDMH uit te voeren in werkelijke omstandigheden en wel zo vroeg mogelijk vóór de exploitatiefase.** Daar de stations en de tunnels atypische en diepliggende infrastructuren zijn, zou de DBDMH zijn materieel en procedures in werkelijke omstandigheden kunnen testen tijdens de uitvoering van het project. Deze tests dienen gepland te worden in overleg met de DBDMH zowel wat betreft de periode (bijvoorbeeld wanneer de ruwbouw voltooid is) als wat betreft de technische invulling van de tests. De aanvrager zou vervolgens rekening kunnen houden met de resultaten van deze tests en de voorzieningen van de tunnel kunnen aanpassen. Zo nodig zou de DBDMH eventueel ook dankzij deze tests kunnen vooruitlopen op de ingebruikname van de lijn en speciaal aangepast materieel kunnen aanschaffen en haar interventieprocedures navenant

kunnen opstellen. Naast deze tests beveelt de studie aan dat de werf **geïnspecteerd wordt door de DBDMH** op verschillende van tevoren bepaalde momenten om opmerkingen en suggesties te kunnen doen die vervolgens door de aanvrager in aanmerking genomen kunnen worden.

Wij bevelen aan erop toe te zien dat alle afwerkingselementen die niet onderworpen zijn aan een stedenbouwkundige of milieuvergunning (meubilair, oppervlaktebekleding, enz.) geselecteerd worden op basis van de risico's die deze elementen met zich mee kunnen brengen wat betreft de **toxiciteit van de rook**. Hierop dient aandachtig toegezien te worden gedurende de gehele uitbatingsduur van de lijn.

Wat betreft de **noodvoeding**: de elektrische noodleidingen dienen zodanig aangebracht te worden dat risico's op een algemene uitschakeling verdeeld worden.

6.10. Microklimaat

Niet van toepassing in het kader van de tunnel.

6.11. Afval

Niet van toepassing, zie de verschillende hoofdstukken over het afval in de boeken Stations, Stelplaats en Tunnelbouw

7. Samenvattende tabellen van de aanbevelingen voor het project

7.1. Mobiliteit

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Transport van de afgegraven grond en de bouwmaterialen	T.1.1	+++	<p>Op het moment van de keuze van de begunstigde van de werkzaamheden eisen dat de verschillende ondernemingen een gedetailleerde nota overleggen met de weerhouden opties voor het transport van de afgegraven grond en de bouwmaterialen voor alle werkzaamheden van de metro.</p> <p>Om het wegverkeer te beperken, dient aangetoond te worden dat de optie van de spoorweg degelijk onderzocht werd met voldoende details om de lijn 26 te gebruiken.</p> <p>Zo ook dient er voor de optie via de binnenvaart aangetoond te worden dat een spoorverbinding degelijk onderzocht werd voor het vervoer van de afgegraven grond en bouwmaterialen naar de voorhaven van Brussel.</p> <p>Minstens voor de werkzaamheden vanuit de site van de stelplaats (tunnelboormachine + stelplaats), maar ook voor station Bordet.</p>	Aanvrager
	T.1.2	+++	Gelet op het minimale maar onvermijdelijke vervoer over de weg naar en van het kanaal, wordt aanbevolen om alle nodige contacten op te nemen en voorzieningen te treffen voor een snelle renovatie van de Leeuwoprit.	Aanvrager Infrabel
	T.1.3	+++	Contact opnemen met de overheden en de haven van Brussel om de status te kennen van de juridische procedure tot handhaving van de spoorweg naar de kaden van de voorhaven van Brussel.	Aanvrager
	T.1.4	+++	<p>Voor het transport van de afgegraven grond en de bouwmaterialen:</p> <p>Zone 1: "Bordet, stelplaats, tunnel, Vrede" = gebruik bij voorkeur van L26 ter hoogte van een laadkade langs de stelplaats van de MIVB. Als de L26 niet 100% van de in/out aan kan, wordt aanbevolen om gebruik te maken van een alternatieve route over de weg te verdelen tussen de Leeuwoprit en de Haachtsesteenweg naar de Budazone en de Vilvoordelaan.</p> <p>Zone 2: "Linde" = vervoer aanbevolen naar Stroobants – Leeuwoprit (indien op tijd gerenoveerd). Als de oprit niet gerenoveerd wordt, beveelt de studiegelastigde aan dat zone 2 fuseert met zone 1.</p> <p>Zone 3: "Riga, Verboekhoven, Colignon" = vervoer aanbevolen via Lambermont, Van-Praet en vervolgens bestemming voorhaven van Brussel</p> <p>Zone 4: "Liedts" = vervoer aanbevolen via de Koninginnelaan en de werkhuisenkaai, bestemming voorhaven van Brussel.</p>	Aanvrager

7.2. Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Risico op beschadiging van woningen tijdens bouwwerkzaamheden	T.2.1	+++	Als het vervoer van de afgegraven grond van de tunnel plaatsvindt door vrachtwagens naar de haven van Brussel, een stand van zaken opmaken van de gevels langs het traject van dit eerste vervoer tussen de stations en de haven en de stelplaats en de haven.	Aanvrager
Risico voor het erfgoed op het tracé van de tunnel	T.2.2	++	Maatregelen voor de werfopvolging voorzien voor, tijdens en na de bouwwerkzaamheden van de metro bij 't Hoeveke om de geproduceerde verzakking te beoordelen.	Aanvrager

7.3. Sociale en economische aspecten

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

7.4. Bodem, ondergrond en grondwater

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Controle van de grondwaterspiegels langs het tracé	T.4.6	++	Synthese / beschrijving van het bestaande piëzometrische netwerk – controle van de uitgeruste waterlagen en zo nodig uitvoering van nieuwe piëzometers (minstens clusters stroomopwaarts en stroomafwaarts van de stations en dekking van de weinig gedocumenteerde zones tussen de stations).	Aanvrager
	T.4.7	++	Controle of de bestaande piëzometers beïnvloed kunnen worden door het door de werf gebruikte terrein en zo nodig deze vervangen. In voorkomend geval opheffing van de piëzometers volgens de regels van vakmanschap (cementering).	Aanvrager
	T.4.8	+	Voortdurende monitoring met automatische loggers van alle piëzometers (voor, tijdens en na de werf in de definitieve situatie).	Aanvrager
Niet-verzadigde reserve mogelijk onvoldoende bij station Bordet.	T.4.9	++	Het verschil verduidelijken van de piëzometrische niveaus naargelang de bronnen (verschillende grondwaterpeilen).	Aanvrager
	T.4.10	+	Een dubbele piëzometer installeren (uitgerust op verschillende waterpeilen en monitoring van de peilen).	Aanvrager
	T.4.11	+	Als de niet-verzadigde reserve onvoldoende blijkt, uitvoering bestuderen van een passage van het	Aanvrager

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
			grondwater bij station Bordet om het optreden van een barrage-effect teniet te doen.	
Barrage-effect	T.4.12	+++	Bij gebrek aan een aanvullende studie om het risico van een stijging van het grondwater beter te beoordelen, inrichtingen voorzien voor een passage van het grondwater in combinatie met een piëzometrische monitoring.	Aanvrager
Opvolging van de debieten	T.4.13	+++	Voortdurende monitoring van de afvoerdebieten bij alle stations, tunnelsecties, tussenopvoerstations (2) en hoofdopvoerstations (2) - controle van het stabiele karakter, naast de seizoensschommelingen. In geval van eventuele afwijkingen, opsporing en oplossing van de oorzaak.	Aanvrager
	T.4.14	+++	Monitoring van de afvoerdebieten bij de uitmondingen (afvoerwater + regenwater).	Aanvrager
Impact van de verlaging op de verzakkingen	T.4.15	+++	De geotechnische methode verfijnen inzake de impact van de verlaging op de verzakkingen (Terzaghi is te behoudend) met een focus op de stations Riga en Linde, aan de rechtstreeks aangrenzende stroomafwaartse zijde. Op deze basis controleren of de verwachte verlaging een niet toelaatbare verzakking zou kunnen veroorzaken (> 20 mm).	Aanvrager
	T.4.16	+++	Als de toelaatbare drempel overschreden wordt, een lokale wateraanvulling voor de inrichting voorzien. Dit behelst een identificatie van de doelhorizon, de grootte van de inrichting naargelang de beschikbare plaats en een schatting van het optimale aanvuldebiet. Dimensionering en controle van de ontwerpparameters met behulp van de bestaande hydrogeologische modellering. Bepaling van het optimale debiet om de verlaging te beperken tot de drempelwaarde zonder een onaanvaardbare stijging te veroorzaken.	Aanvrager
Terbeschikkingstelling van een tool voor de modellering voor prognose en opvolging.	T.4.17	+++	Op basis van het bestaande model: verfijning van de kalibratie van het model op basis van de nieuwe piëzometers en tijdens het overgangsregime.	Aanvrager
	T.4.18	+++	Aanvullende modelleringen: definitieve situatie tijdens de perioden van hoog en laag water + modellering van de retrofitting van het model op basis van de werkelijk waargenomen debietgamma's.	Aanvrager
Bemalings-/opvoerstations	T.4.19	+++	Controleren of het hydraulische ontwerp van de stations in voldoende opvangcapaciteit voorziet voor de afvoer van de opvoercircuits (in geval van stilstand, onderhoud of pech) zodat het afgevoerde water opgevangen kan worden en het pompen van het afvoerwater gehandhaafd kan worden gedurende een voldoende duur. Zo nodig aanpassing van het ontwerp om rekening te houden met dit aspect.	Aanvrager
Kwaliteit en behandeling van het afvoerwater (als de	T.4.20	+++	Uitvoering van een behandeling van het afgevoerde water voor een fase 1 - pilotstation, bij elke station, tijdens de werf en tijdens een eerste exploitatiejaar.	Aanvrager

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
variant van het waterbeheer niet weerhouden wordt).			Voorgestelde eenheidsprocessen: scheiding van koolwaterstoffen, filtering op zand of gelijksoortig materiaal en absorptie op actieve koolstof.	
	T.4.21	+++	Minimaal tweemaandelijke opvolging van de kwaliteit van het afgevoerde water bij elk station tijdens deze pilotfase (fase 1). Bepaling van de ontwikkeling van de verontreinigingsbelasting. Opvolging van het behandelde water minstens op dezelfde frequentie + opvolging van de afstelling van het zuiveringsstation.	Aanvrager
	T.4.22	+++	Op basis van de opvolging tijdens fase 1, ontwerp van het uit te voeren definitieve station bij de hoofdopvoer (uitmondingen P5 en Linde). Minstens halfjaarlijkse uitvoering en opvolging.	Aanvrager
	T.4.23	+++	Op basis van de opvolging van fase 1, de relevantie bestuderen of voor de nitraten een specifieke behandeling nodig is in overleg met Leefmilieu Brussel.	Aanvrager
	T.4.24	+++	Voortdurend onderhoud van de zuiveringsinstallaties: ontstopping van de filters, afvoer van de koolwaterstoffen en het afval, vervanging van de actieve koolstofpatronen wanneer deze verzadigd zijn.	Aanvrager
Put voor huishoudelijke doeleinden in de nabijheid van station Vrede (opvang 5240)	T.4.25	+	Identificatie van de eigenaar, gebruik van het kunstwerk en zo nodig opheffings- en vergoedingsprocedure.	Aanvrager
Ondergrondse leidingen	T.4.26	+++	Over de 30 m aan weerszijden van het tunneltracé moeten alle waterleidingen van grijs gietijzer vervangen worden door leidingen van staal of PEHD. Deze wijzigingen moeten uitgevoerd worden voor het begin van de bouw van de tunnel.	Aanvrager Vivaqua
Sanitaire staat van de grond en afvoerketen	T.4.27	+++	De aanvrager dient zich op het moment van de ontvangst van de offertes van de ondernemingen ervan te verzekeren of de stroomafwaartse keten operationeel is, of de ondernemingen over installaties en infrastructuren van voldoende en gereguleerde capaciteit beschikken om de grond van metrowerf te beheren. Voorafgaand wordt aanbevolen om de juridische beperkingen te controleren die van toepassing zijn op de vereiste installaties voor het beheer van deze grond.	Aanvrager
	T.4.28	+++	Momenteel moet P0 de opslag aankunnen van in 3 dagen afgegraven grond, wij bevelen aan om de mogelijkheid om grond op te slaan op de site van de stelplaats te verhogen naar 5 dagen.	Aanvrager

7.5. Fauna en flora

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

7.6. Luchtkwaliteit

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

7.7. Energie

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Terugwinning van energie	T.7.1	++	Het wordt aanbevolen om de relevantie te analyseren van de installatie van omkeerbare substations in elk station.	Aanvrager
	T.7.2	+	Het wordt aanbevolen om tijdens het gewijzigde project de geschiktheid van het gebruik van de geothermische energie van de tunnel bij de stations nader te onderzoeken, en daartoe de meest gunstige tunneldelen te bepalen.	Aanvrager

7.8. Geluids- en trillingsomgeving

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Trilling	T.8.1	++	Het wordt aanbevolen om zich ervan te verzekeren dat er antitrillingsvoorzieningen voorzien worden bij de wissels. De impact van de snelheid van de metro's dient gekalibreerd te worden bij de aanvang van de uitbating bij de stations en bij de gevoelige gebouwen. In geval de impact hinder veroorzaakt, dient de snelheid van de metro punctueel aangepast te worden.	Aanvrager
Geluid	T.8.1	+++	Het wordt aanbevolen om isolatiepanelen bij de stations en de openingen toe te voegen.	Aanvrager
	T.8.2	+++	Het wordt aanbevolen om geluidsabsorberende voorzieningen aan te brengen bij de ventilatieroosters.	Aanvrager
	T.8.3	+++	<p>Wat betreft de aspecten van de mogelijk hoge golfslijtage op de lange termijn bij de stations en in de bochten, wordt een jaarlijkse monitoring aanbevolen en, in voorkomend geval, kan een gedeelte van de rails geslepen of vervangen worden.</p> <p>Tijdens de werffase dient toegezien te worden op de toepassing van de aanbevelingen voor de volgende hefbomen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Uitrustingen en technieken ▪ Planning ▪ Werkverkeer ▪ Geluid in de nabijheid van de arbeiders ▪ Behandeling van de trillingen 	Aanvrager

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bescherming en voorlichting van de omwonenden ▪ Monitoring van het geluid en/of de trillingen 	

7.9. Mens zijn

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Brandbeveiliging	T.9.1	+++	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Een nieuwe aanvraag om een oordeel van de DBDMH indienen voor het gewijzigde project <input type="checkbox"/> Erop toezien dat het oordeel van de DBDMH doorgegeven wordt aan de autoriteiten vóór de afgifte van de vergunningen (stedenbouwkunde en milieu) binnen een in overleg met de autoriteiten, de DBDMH en de aanvrager overeen te komen termijn. <input type="checkbox"/> Wat betreft de werkelijke brandbelasting van de rytuigen met de DBDMH een waarde overeenkomen die voldoende veiligheid biedt zonder buitensporige kosten te veroorzaken. Zo nodig overgaan tot een verbrandingstest in werkelijke omstandigheden (in samenwerking met de MIVB); <input type="checkbox"/> Bepaalde onderwerpen vóór de aanvraag van het oordeel van de DBDMH afbakenen, zoals de technische invulling en de mate van details van de aan de DBDMH te verstrekken informatie, de ASET/RSET-simulaties en een duidelijke lijst van de materiaalklassen <input type="checkbox"/> In het kader van de opstelling van het gewijzigde project overgaan tot de uitvoering van ASET/RSET-simulaties zoals gedefinieerd door de norm ISO 16738 door de van tevoren door de DBDMH goedgekeurde parameters in aanmerking te nemen en de resultaten daarvan aan de DBDMH te verstrekken in het kader van het aanvraagdossier van het oordeel evenals aan de autoriteiten die belast zijn met de afgifte van de vergunningen. <input type="checkbox"/> Een dialoog aangaan met de FOD Binnenlandse zaken om vooruit te lopen op de uitzonderingsaanvragen voor het project. Erop toezien dat deze uitzonderingen formeel op tijd aangevraagd worden zodat ze verleend en doorgegeven kunnen worden aan de autoriteiten vóór de afgifte van de vergunningen. 	Aanvrager

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
			<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="715 353 1238 927">□ Wij bevelen ook aan dat de aanvrager informeert naar de voortgang van de werkzaamheden die momenteel uitgevoerd worden inzake de bepaling van de in aanmerking te nemen normen wat betreft het percentage aan personen met beperkte mobiliteit (PBM) waarmee rekening gehouden moet worden in de evacuatiestrategie. Indien mogelijk, naargelang de datum van voltooiing van deze werkzaamheden, het project aanpassen om te voldoen aan deze nieuwe norm. Als er meer meer complexe zones resteren die het bijzonder moeilijk maken om deze eis te halen, deze bijzondere complexiteit uitleggen, het percentage PBM aangeven waaraan het project in werkelijkheid voldoet en begeleidende maatregelen voorstellen om het verhoogde risico dat deze bijzondere zone met zich meebrengt te verzachten. <li data-bbox="715 949 1238 1133">□ Wat betreft het ontploffingsgevaar bevelen wij aan een oordeel te beogen van Brussel Preventie en Veiligheid (BPV) in het kader van het onderzoek van het dossier (op initiatief van de aanvrager en/of de autoriteiten die de vergunningen afgeven). <li data-bbox="715 1155 1238 1503">□ Men dient zich ervan te verzekeren dat de configuratie van de locatie de interventie van de nooddiensten daadwerkelijk toelaat. Ter aanvulling op deze normen en afgegeven oordelen, bevelen wij aan om in het bouwschema de mogelijkheid te voorzien om tests van de DBDMH uit te voeren in werkelijke omstandigheden. Deze tests dienen gepland te worden in overleg met de DBDMH zowel wat betreft de periode als wat betreft de technische invulling van de tests. <li data-bbox="715 1525 1238 1677">□ Inspecties van de werf voorzien door de DBDMH op verschillende van tevoren bepaalde momenten om opmerkingen en suggesties te kunnen doen die vervolgens door de aanvrager in aanmerking genomen kunnen worden. <li data-bbox="715 1700 1238 1883">□ Erop toezien dat alle afwerkingselementen die niet onderworpen zijn aan een stedenbouwkundige of milieuvergunning geselecteerd worden op basis van de risico's die deze elementen met zich mee kunnen brengen wat betreft de toxiciteit van de rook. <li data-bbox="715 1906 1238 2027">□ Wat betreft de noodvoeding: de elektrische noodleidingen dienen zodanig aangebracht te worden dat risico's op een algemene uitschakeling verdeeld worden. Een 	

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
			<p>conformiteitsattest van de installaties moet verstrekt worden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Het wordt aanbevolen om bijlage 5 na te leven (brandgedrag van materialen) van het KB van 19 december 1997 tot wijziging van het KB van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de nieuwe gebouwen moeten voldoen. <input type="checkbox"/> De norm ISO 16738 legt een verband tussen de toxiciteit en het zicht. Voor dit project wordt verondersteld dat de toxiciteitsgrens overschreden wordt als het zicht minder dan 10 m is. <input type="checkbox"/> Voor de elektrische kabels wordt aanbevolen gebruik te maken van de kabels die geen dichte en zure rook afgeven <input type="checkbox"/> Bij gebrek aan een specificatie van de gebruikte en opgeslagen materiaalklassen, dient boek VI van de codex over het welzijn op het werk²² betreffende chemische, kankerverwekkende en mutagene agentia nageleefd te worden. 	
	T.9.2	+++	Wij bevelen de DBDMH aan om ervoor te zorgen om voldoende beschikbaar te zijn voor deze dialoog vóór de aanvraag van haar oordeel over het gewijzigde project en nu reeds een standpunt in te nemen inzake de vast te stellen parameters zoals hierboven beschreven.	DBDMH
	T 9.3	+++	Wij bevelen aan dat BPV zich beschikbaar stelt tijdens de wijzigingsfase om vooruit te lopen op dit oordeel zodat de belangrijkste elementen rechtstreeks opgenomen kunnen worden in het project.	BPV
Ontploffingsgevaar	T 9.4	+++	<p>In overleg met het Begeleidend Comité werd besloten dat een analyse inzake het ontploffingsgevaar elders uitgevoerd zal worden en geen deel zal uitmaken van onderhavige studie. Dit betreft namelijk een gevoelige kwestie in verband met de veiligheid die beter in het kader van een vertrouwelijk onderzoek behandeld kan worden om de doelmatigheid van de beoogde maatregelen niet in gevaar te brengen.</p> <p>Het is daarentegen belangrijk dat de opvolging van deze zorg voortgezet wordt tijdens de latere stappen van de uitvoering van het project en dat de autoriteiten die vergunningen voor dit project afgeven, betrokken worden</p>	Aanvrager

²² Omzetting naar het Belgische recht van de Europese richtlijn 98/24/EG van de Raad van 7 april 1998 betreffende de bescherming van de gezondheid en de veiligheid van werknemers tegen risico's van chemische agentia op het werk (14e bijzondere richtlijn in de zin van artikel 16, lid 1, van Richtlijn 89/391/EEG)

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
			bij deze discussie om met kennis van zaken vergunningen te kunnen afgeven en daarbij de veiligheid van deze informatie te waarborgen.	

7.10. Microklimaat

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

7.11. Afval

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

Deel 2: Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)

1. Inleiding

Het bestek van deze effectenstudie schrijft de studie voor van alternatieven voor het basisproject. Deze alternatieven zijn vervangingsoplossingen "die een zeker belang behelzen, redelijk zijn wat betreft de uitvoeringskosten en beantwoorden aan de basisdoelstellingen van de aanvragen".

Onder de door het Begeleidend Comité weerhouden en in het bestek van de studie overgenomen alternatieven bevindt zich een ontwerpalternatief van de tunnel met twee buizen. Dit ontwerpalternatief resulteert in een oplossing die 2 afzonderlijke tunnels voorziet met een diameter van 7,2 m elk in plaats van één tunnel met een diameter van 9,7 m. Dit alternatief omvat tevens de dienovereenkomstige aanpassingen van de stations, inclusief de aansluiting op het station Brussel-Noord. Volgens het bestek hebben deze aanpassingen tot doel "een vermindering van de grootte en de diepte van de stations en een vermindering van hun ingenomen terreinoppervlak".

Dit alternatief zal gedetailleerd worden beschreven in het vervolg van dit hoofdstuk.

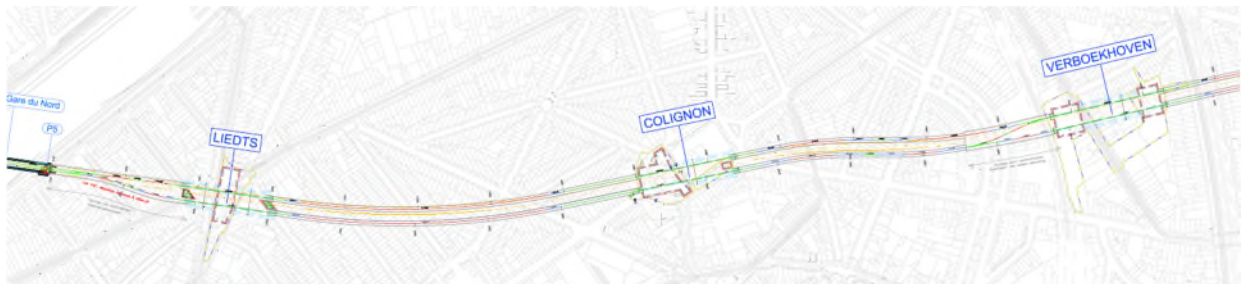
2. Presentatie van het dubbele buisalternatief

2.1. Het tracé

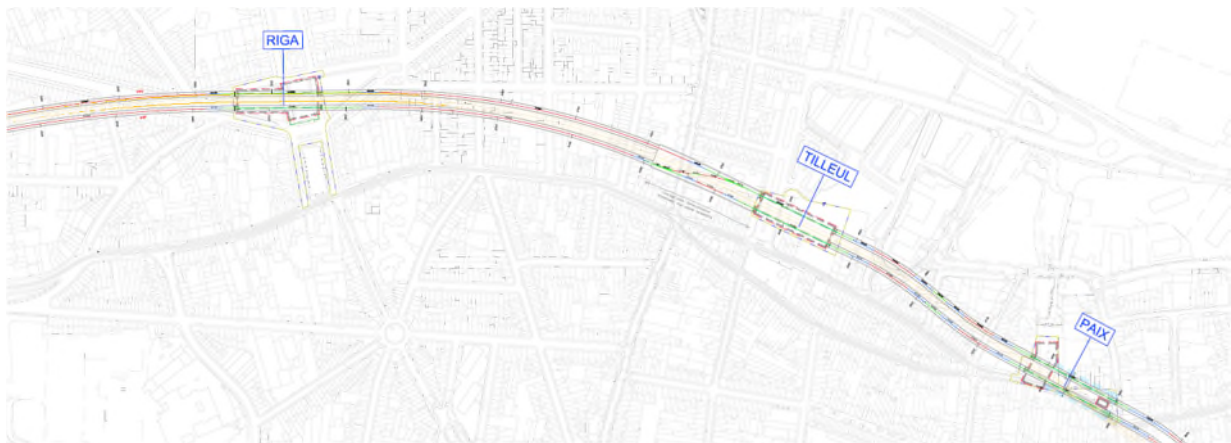
Het oppervlak van het dubbele buisalternatief blijft grotendeels gelijkwaardig aan het tracé van de enkele buis en strekt zich uit van station Brussel-Noord ter hoogte van de Aarschotstraat tot het einde van de lijn bij de stelplaats in Haren.

De twee hoofdsporen worden VVW genoemd (spoor naar de stad, in het noorden) en VVF (spoor naar de buitenwijk, in het zuiden) Merk op dat de tunnels voor deze sporen uitgevoerd worden door twee tunnelboormachines van kleinere afmeting dan die voor de enkele buistunnel. De inplanting van de verbindingswerken tussen de twee sporen wordt overgenomen in overeenstemming met het exploitatieschema van de enkele buisconfiguratie.

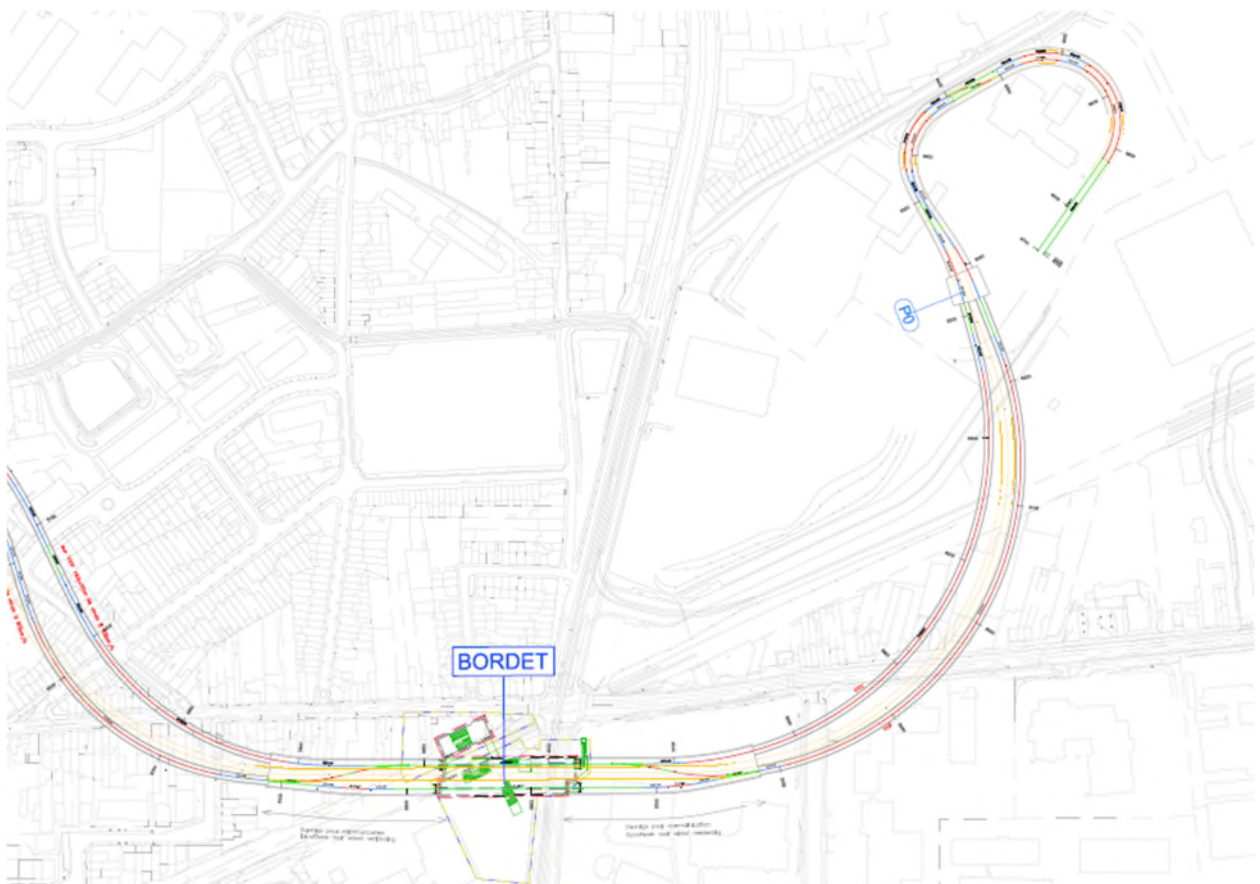
Op bepaalde plaatsen van het tracé werden vertakkingskunstwerken toegevoegd. Deze kunstwerken zijn bestemd om gedeeltelijke diensten in de fail soft mode te verzekeren (dat wil zeggen in geval van incidenten op de lijn). Ze bestaan uit 2 spoortoestellen waarmee de metro's overgeheveld kunnen worden van het ene naar het andere spoor, met name in geval van onderhoud of incidenten. Deze kunstwerken zijn een honderdtal meter lang.



Figuur 168: Tracé van de alternatieve dubbele buistunnel tussen Liedts en Verboekhoven (BMN, 2020)



Figuur 169: Tracé van de alternatieve dubbele buistunnel tussen Riga en Vrede (bron: BMN, 2020)



Figuur 170: Tracé van de alternatieve dubbele buistunnel tussen Bordet en de stelplaats (bron: BMN, 2020)

Bij een gangbare doorsnede liggen de aslijnen van elke tunnel circa 18,25 m van elkaar, hetgeen overeenkomt met een afstand van 1,5 maal hun diameter (7,20 m voor de buitendiameter en 6,40 m voor de binnendiameter). Het tracé is berekend voor een exploitatiesnelheid van 72 km/u.

De configuratie van de perrons van alle stations werd aangepast aan de eisen van de dubbele buis met de bouw van centrale perrons in plaats van zijperrons in de vergunning van de oorspronkelijke enkele buis.

De beschrijving van elke sectie wordt hieronder meer gedetailleerd aangegeven.

2.1.1. Sectie station Brussel-Noord – Liedts

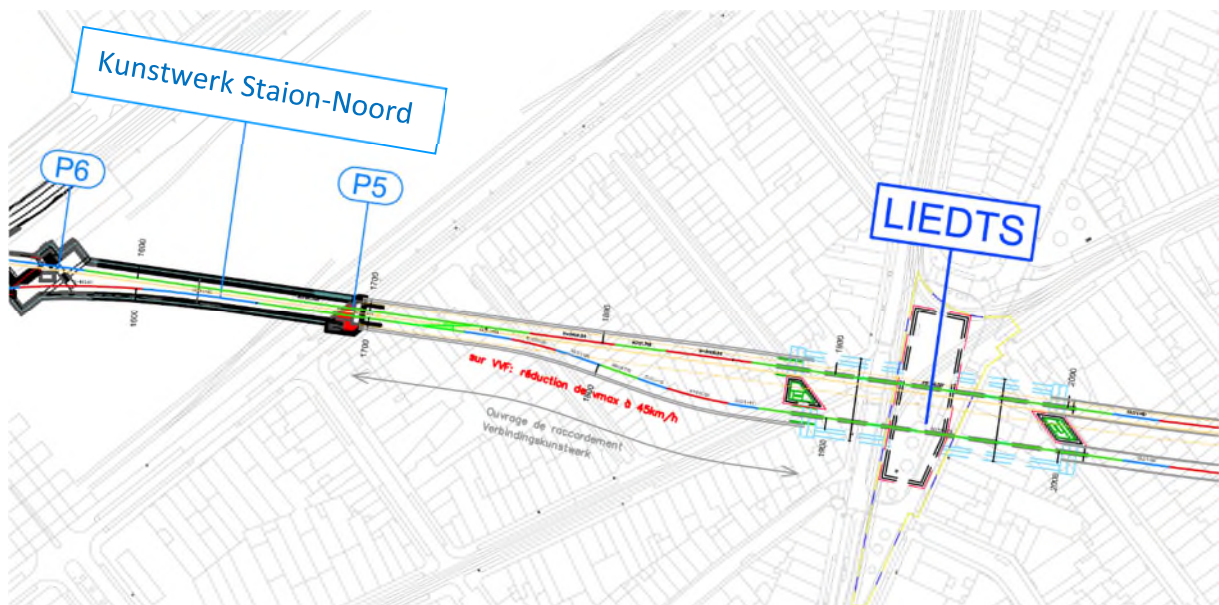
Bij het dubbele buisalternatief blijft het tracé tussen station Brussel-Noord en de schacht P5 onveranderd.

Tussen schacht P5 en station Liedts lopen de twee sporen geleidelijk uit elkaar tot de afstand tussen de twee tunnels voldoende is (1,5 maal de diameter van de tunnels).

De tussenafstand aan de uitgang van schacht P5 maakt de inplanting van een verbindingkunstwerk van de sporen mogelijk (vertakkingskunstwerk). Dit vertakkingskunstwerk dient gebouwd te worden voor de aankomst van de tunnelboormachine. Het betreft het meest moeilijk te bouwen kunstwerk van dit alternatief, want men dient met talrijke technieken te werken onder de bestaande bebouwing in plaats van met de tunnelboormachine.

De configuratie van de perrons van alle stations werd aangepast aan de eisen van de dubbele buis met de bouw van centrale perrons.

Het tracé van het VVF-spoor heeft een S-kromme (in verband met inplantingsbeperkingen) waardoor de maximale snelheid aldaar 45 km/u bedraagt.



**Figuur 171: Alternatief dubbele buis: Sectie Schacht P5 - Station Liedts (BMN, 2020)
Sectie Liedts - Colignon**

Het tracé van deze sectie volgt die van de enkele buisoplossing. De sporen zijn parallel en in het zuiden licht uit hun aslijn om de afstand tussen de 2 buizen mogelijk te maken. De globale terreinbezetting is logischerwijze circa vijftien meter groter dan die van de enkele buis.



Figuur 172: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Liedts – Station Colignon (BMN, 2020)

2.1.2. Sectie Colignon – Verboekhoven

Net als geldt voor de enkele buisvariant dwingt de afwijking van de aslijn van de 2 stations het tracé tot een S-kromme. Vanwege de aanwezigheid van een vertakkingskunstwerk vóór station Verboekhoven is het tracé van de dubbele buis anders dan dat van de enkele buis.



Figuur 173: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Colignon – Station Verboekhoven (BMN, 2020)

2.1.3. Sectie Verboekhoven - Riga

Het tracé van deze sectie volgt die van de enkele buisvariant met parallelle sporen. De breedte van het benodigde terrein is logischerwijze groter bij de dubbel buis.



Figuur 174: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Verboekhoven – Station Riga (BMN, 2020)

2.1.4. Sectie Riga - Linde

Het tracé van deze sectie volgt die van de enkele buisvariant. Vanwege de aanwezigheid echter van een vertakkingskunstwerk vóór station Linde is het tracé van de dubbele buis anders dan dat van de enkele buis.



Figuur 175: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Riga – Station Linde (BMN, 2020)

2.1.5. Sectie Linde - Vrede

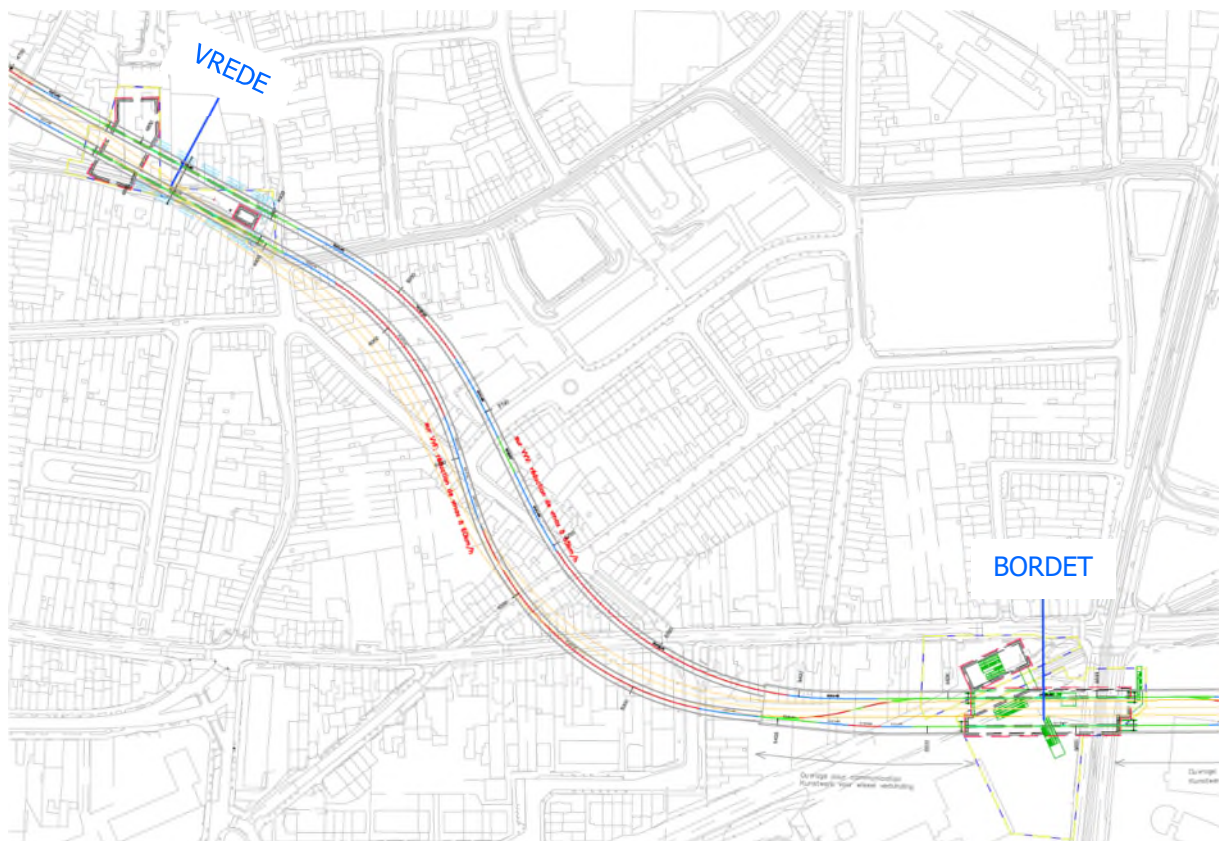
Ten opzichte van de enkele buisvariant heeft de lichte rotatie van de aslijn van het station Vrede invloed op het tracé van deze sectie. Een rotatie namelijk van enkele graden van het station VREDE wordt opgelegd door de configuratie van de dubbele buis over de volgende sectie (Vrede-Bordet). Er werd een S-kromme ingevoegd in elk van de sporen. Deze brengt echter geen snelheidsbeperking met zich mee.



Figuur 176: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Linde – Station Vrede (BMN, 2020)

2.1.6. Sectie Vrede - Bordet

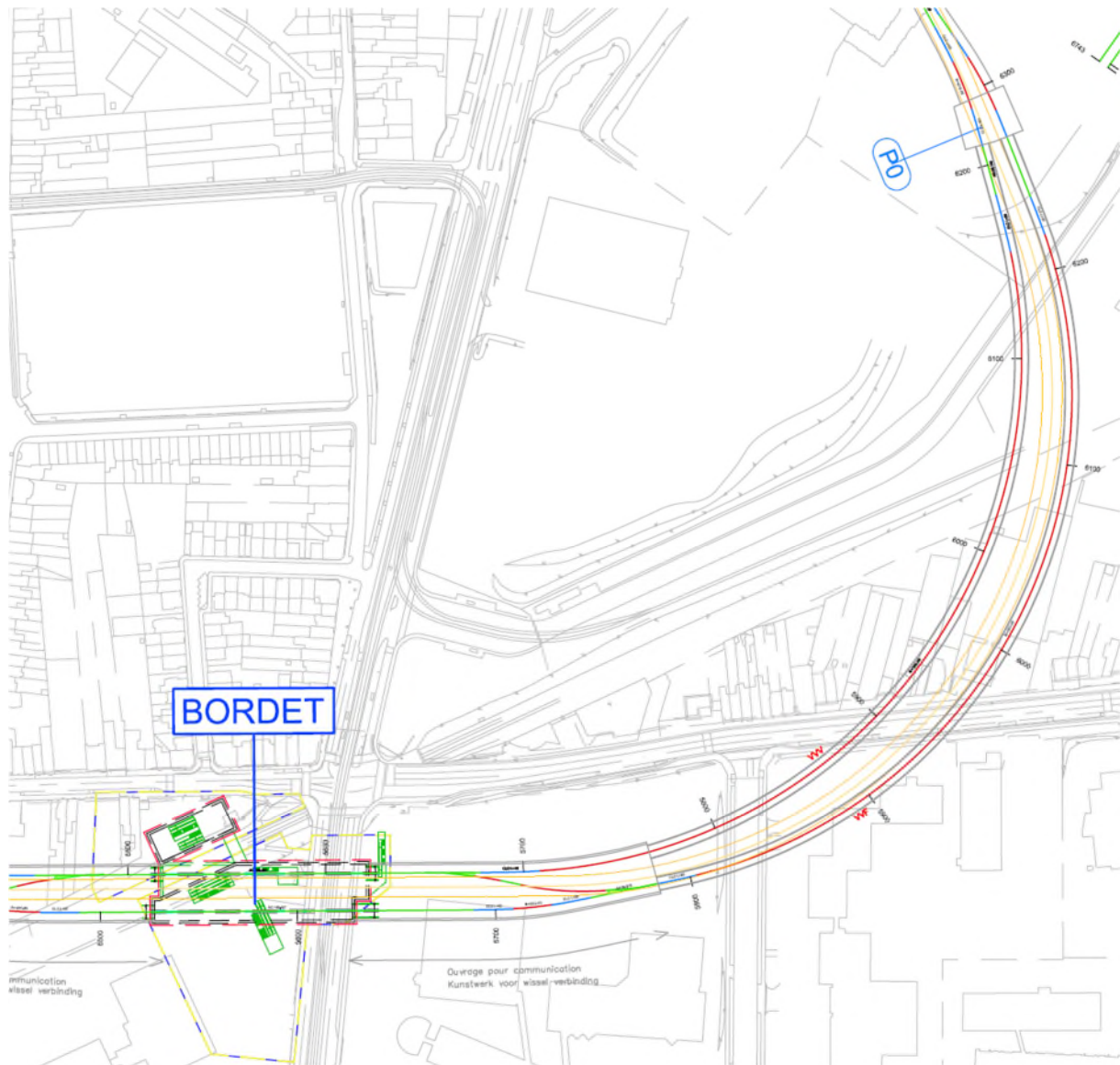
Net als geldt voor de vorige sectie, brengt de lichte rotatie van station Vrede kleinere boogstralen met zich mee en maximale snelheden die beperkt zijn tot 60 km/u voor het spoor VVF en 65 km/u voor het spoor VVV. Het betreft de grootste wijziging ten opzichte van het tracé van de enkele buistunnel. De boogparameters (Rmax) en de afstand tussen de 2 tunnels van de dubbele buis dwingen namelijk tot een ander tracé in dit bochtige gedeelte tussen Vrede en Bordet dat over een rechthoekig vertakkingskunstwerk beschikt. De technische parameters van de tunnelboormachine zijn hier dus tot hun maximum gedwongen.



Figuur 177: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Vrede – Station Bordet (BMN, 2020)

2.1.7. Sectie Bordet – Schacht P0

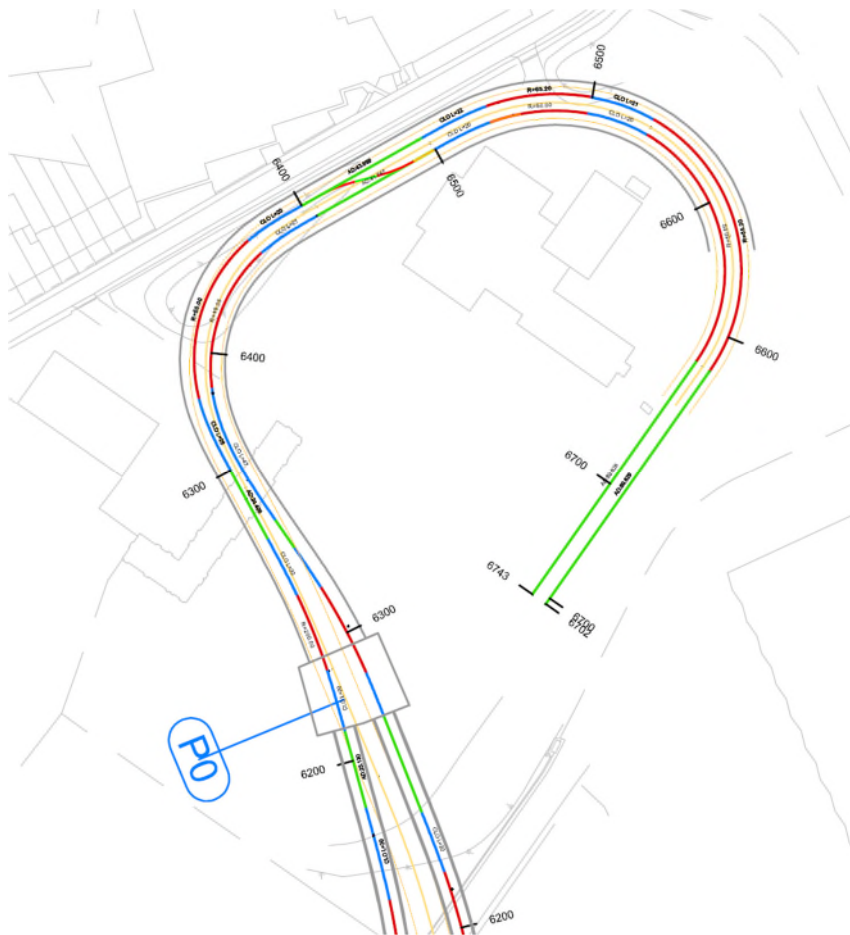
De aanwezigheid van een vertakkingskunstwerk voor station Bordet dwingt tot een lichte wijziging van het tracé. Hierdoor lopen de 2 sporen niet perfect parallel.



Figuur 178: Alternatief dubbele buis: Sectie Station Bordet – Schacht P0 (BMN, 2020)

De configuratie van de schacht P0 en de helling werd eveneens aangepast. De schacht P0 evenals een deel van de helling werden verbreed om de maximale afstand te behouden tussen de twee tunnels en het vertrek mogelijk te maken van twee tunnelboormachines vanuit schacht P0.

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
 2. Presentatie van het dubbele buisalternatief

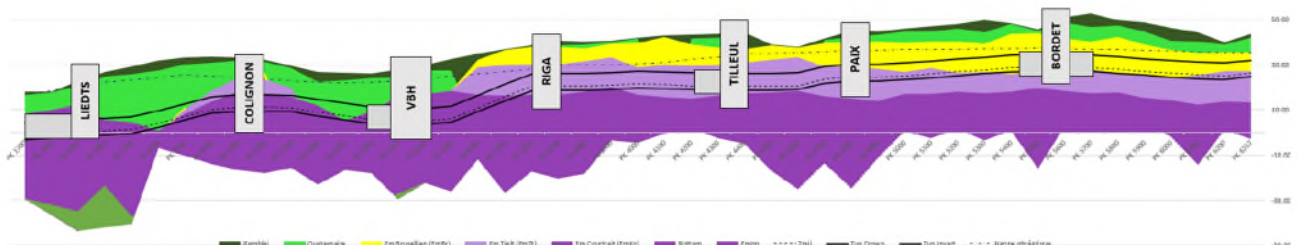


Figuur 179: Alternatief dubbele buis: Schacht P0 en helling (BMN, 2020)

2.2. De tunnels

2.2.1. Lengteprofiel

De strekkende meterafstand van elke tunnel blijft gelijksoortig als die van de enkele buis. Onderstaande Figuur toont het lengteprofiel van de tunnels voor het dubbele buisalternatief. De geologische lagen die doorkruist worden zijn dezelfde als die van de enkele buis.



Figuur 180: Lengteprofiel van de tunnel voor de dubbele buisvariant, over het geologische profiel heen (BMN, 2020)

Het lengteprofiel van de dubbele buisvariant is gebaseerd op dezelfde hypothesen als de enkele buis. De minimale waarden van de hoogte van de bedekking boven de tunnel is 1.5

maal de diameter van de tunnel (11.25 m) met hier en daar uitzonderingen van 1.2 maal de diameter van de tunnel (schacht P0 en onder 't Hoeveke).

De optimalisatie van de diepte van het tracé van de dubbele buistunnel wordt hieronder samengevat:

- Sectie Schacht P5 – Liedts: **identiek** als de enkele buisvariant (het aansluitingskunstwerk naar het station Brussel-Noord maakt het niet mogelijk om het niveau van de schacht P5 te veranderen). Omdat het lengteprofiel een constante helling moet hebben over voldoende afstand, is de diepte van de tunnel bij station Liedts eveneens gelijksoortig als die van de enkele buisoplossing.
- Sectie Liedts – Colignon: in de richting naar Colignon kan het lengteprofiel geleidelijk circa **5 m** oplopen. De stijging wordt echter beperkt door de aanwezigheid van het Gemeentehuis van Schaarbeek (minimaal te behouden dikte tussen het Gemeentehuis en het dak van de tunnel om de impact op het Gemeentehuis te beperken).
- Sectie Colignon – Verboekhoven: in de richting naar Verboekhoven kan het lengteprofiel geleidelijk circa **3.8 m** oplopen. De stijging wordt echter beperkt door de kruising met de spoorlijn NMBS 161 (vereiste minimale bedekking).
- Sectie Verboekhoven – Riga - Linde: in de richting naar Linde kan het lengteprofiel geleidelijk circa **4.7 m** oplopen (variabel over het tracé). De stijging wordt echter beperkt door de helling tussen Verboekhoven en Riga, evenals de minimale bedekkingshoogte ten noorden van station Linde, onder de beschermde hoeve.
- Sectie Linde – Vrede – Bordet: de stijging van **4.2 m** wordt beperkt door de moeilijkheden met betrekking tot de vriestechnieken bij station Vrede (noodzaak om een minimale bedekkingshoogte te behouden boven de microtunnels) evenals de minimale bedekkingshoogte onder de NMBS-lijn L26 bij station Bordet.
- Sectie Bordet – P0: de stijging wordt beperkt door de tweede kruising met de NMBS-lijn L26, evenals de minimale bedekkingshoogte bij P0.
- Bordet: **geen winst** want het basisproject bevindt zich reeds op de minimale bedekkingshoogte onder de NMBS spoorlijn L26 bij station Bordet.

De belangrijkste geometrische eigenschappen van de verschillende secties van de tunnels worden in de onderstaande tabel samengevat:

Secties	Lengte (m)	Max. diepte (m)	Min. diepte (m)	Max. helling (%)
P0 - Bordet	617	24,6	8,2	0,80
Bordet – Vrede	627	18,2	14,5	0,83
Vrede – Linde	327	16,8	10,5	3,00
Linde - Riga	600	18,6	14,6	0,50
Riga - VBH	433	24,1	15,0	4,86
VBH - Colignon	464	16,4	12,8	1,76
Colignon – Liedts	509	25,5	18,3	3,17
Liedts – P5	194	14,4	12,1	3,00

Tabel 56: Eigenschappen van de tunnelsecties voor de dubbele buisvariant (BMN, 2020)

2.2.2. Typedoorsnede van de tunnel

De typedoorsnede van de tunnel voor het alternatief met twee buizen is gebaseerd op dezelfde hypothesen als die van de oplossing met één buis met uitzondering van de volgende punten:

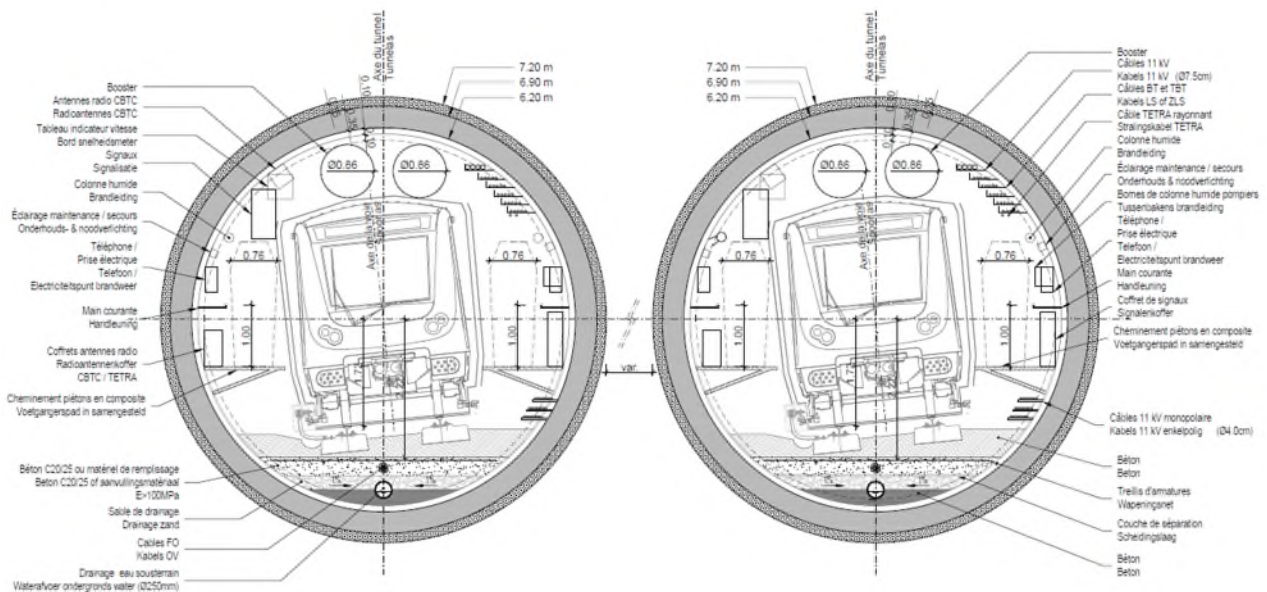
- Een spoor per tunnel.
- Minimale boogstraal van 200 m (in plaats van 250 m bij de oplossing met één buis).

Volgens deze hypothesen komt de diameter van de tunnel voornamelijk in gedrang door:

- De aanwezigheid van bundels voor de optische vezel, de waterleiding en het platform voor het basisgedeelte.
- De aanwezigheid van boosters en de signalering voor het bovengedeelte.

Ten slotte, hoewel de doorsnede zijwaarts beperkt zou kunnen worden, is het de verticale dimensie die de interne diameter van de tunnel bepaalt op 6,2 m.

De onderstaande Figuur toont de typedoorsnede van de twee tunnels. De tunnels bestaan uit een wand gemaakt van segmenten van beton met een dikte van 35 cm. De tunnels hebben een buitendiameter van 7,20 meter en een binnendiameter van 6,20 meter zodat de nodige voorzieningen voor een goede werking van de lijn geïnstalleerd kunnen worden en de veiligheid gewaarborgd is in de twee tunnels.



Figuur 181: Dwarsdoorsnede van de dubbele buis (BMN, 2020)

De Figuur is tevens overgenomen in de cartografische atlas. De afstand tussen de buizen is niet representatief voor de werkelijkheid.

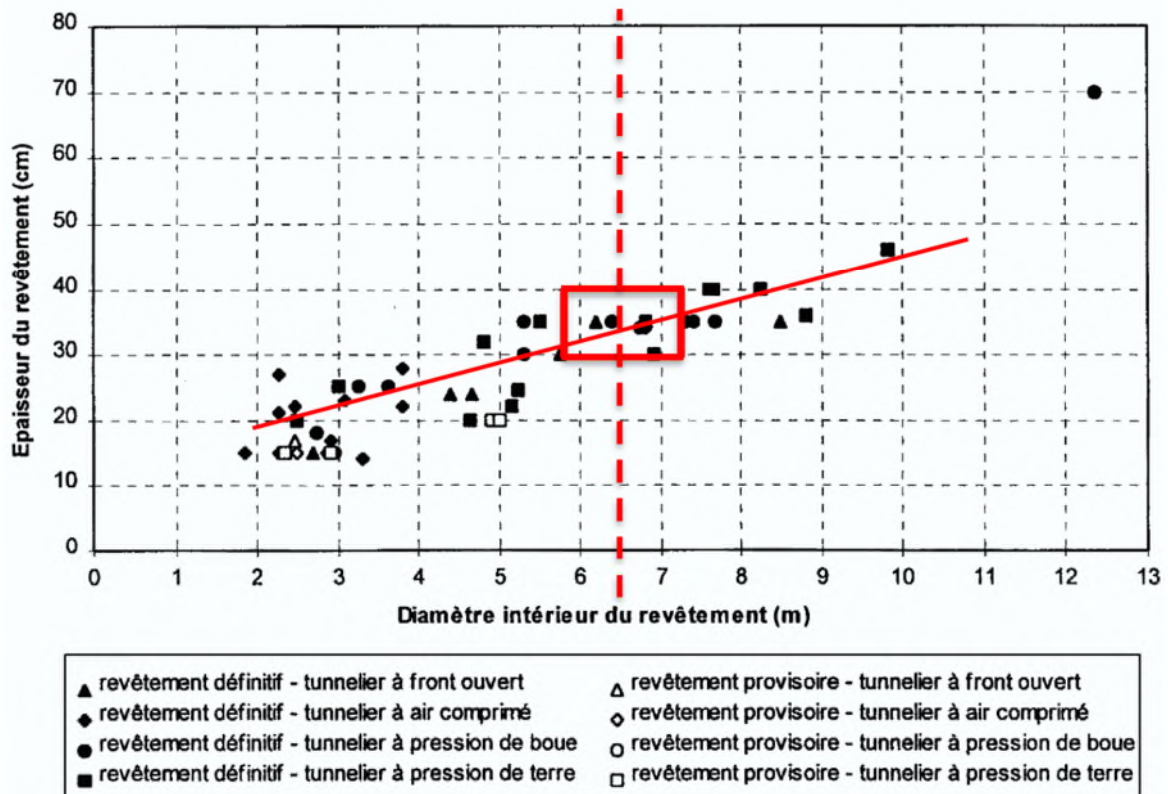
Het lengteprofiel van de tunnel is overgenomen in de cartografische atlas.

De afmetingen van de segmenten zijn in dit stadium niet vastgesteld en zijn dus gebaseerd op een feedback van het bureau BMN (ref.: BMN-INC-GEN-RP-001):

"De dikte van de bekleding hangt voornamelijk af van de bestemming van de bekleding (definitief of voorlopig), de diepte, de eigenschappen van de bodem, de druk van het water,

de stuwkracht van de tunnelboormachine, de kwaliteit van de gewenste waterdichtheid en de weerstandsklasse van het gebruikte beton.

De beoordeling van de dikte van de segmenten kan bepaald worden op basis van de AFTES-fiches van de uitgevoerde kunstwerken met de tunnelboormachine tijdens de afgelopen 20 jaar. De onderstaande grafiek vat deze feedback samen."



Figuur 182: Dikte van de bekleding naargelang de binnendiameter van de tunnel (AFTES, GT18)

2.3. Kerncijfers van de dubbele buistunnel

Totale lengte van de tunnel	4544 m
Functionele nuttige diameter	6,20 m
Binnendiameter	6,20 m
Buitendiameter	7,20 m
Diameter van de tunnelboormachine	7,40 m
Gemiddelde graafsnelheid	250 m per maand
Voortgangssnelheid	+/- 10m/dag
Gemiddelde graafdiepte (onderniveau van het graven)	20m
Maximale graafdiepte	25m
Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	303.304 m ³
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	394.342 m ³
Uitgegraven volume per strekkende meter	40 m ³ x2
Duur van de graafwerkzaamheden	26 maanden + 3 maanden verschuiving tussen de 2 tunnelboormachines

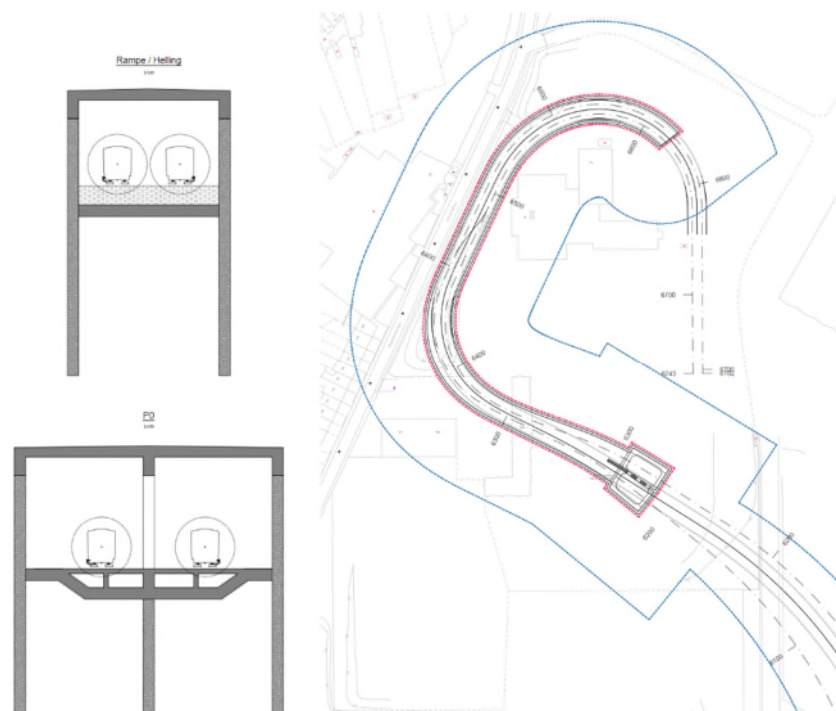
Tabel57: Kerncijfers van de tunnel (BMN, 2020)

2.4. Aanverwante kunstwerken

2.4.1. Wijziging van schacht P0 en de toegangshelling

Om het graven van de twee tunnels mogelijk te maken, moet de schacht P0 verbreed worden (zie onderstaande Figuur). De toegangshelling blijft hetzelfde als die voor de tunnel met één buis, behalve bij de aansluiting op schacht P0, waar de toegangshelling verbreed wordt om de start van de 2 tunnelboormachines mogelijk te maken.

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
2. Presentatie van het dubbele buisalternatief



Figuur 183: Schema van de toegangshelling en de schacht P0 voor het alternatief met twee buizen (BMN, 2020)

Op de bovenstaande Figuur komen de stippellijnen overeen met het midden van de 2 tunnels (van het dubbele buisalternatief) en de doorlopende lijn met het tracé van de tunnel met enkele buis.

De schacht P0 heeft een lengte van 22,4 m en een breedte van 30,5 m. De ombouw wordt uitgevoerd met gegoten wanden en de diepte bedraagt circa 18,30 m ter hoogte van het stortebed.

De wapening van de aanvangswand dient aangepast te worden aan de passage van de tunnelboormachines (toevoeging van glasvezel).

Het stortebed moet de hydrostatische druk op de lange termijn en de betonning van de wanden opvangen.

Het dak is voorzien van twee centrale trechters van 16 m (lengte) bij 9,3 m (breedte), voldoende om het afdalen en de handling van de voorziene elementen voor de montage en de start van de tunnelboormachines toe te laten. Na de start van de twee tunnelboormachines wordt deze gebetonneerd.

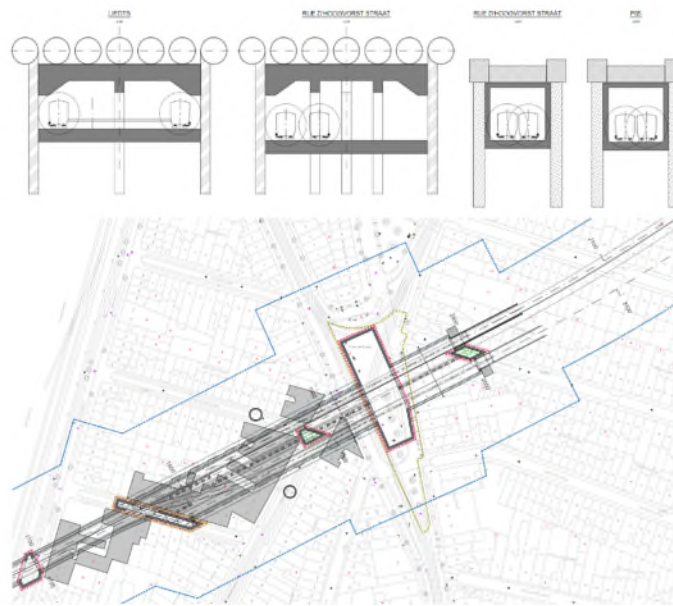
Twee kaders bestaande uit gordingbalken zorgen voor de stabiliteit van de gegoten wanden. Deze balken worden uitgevoerd tijdens de tijdelijke fase, tijdens de eerste afgravingen en verstevigen het geheel van de structuur voor de uitvoering van het stortebed.

Opgemerkt dient te worden dat de structuur van schacht P0 volledig onafhankelijk is van de structuur van de stelplaats.

2.4.2. Aansluiting op schacht P5

Zoals momenteel voorzien, kunnen in schacht P5 de 2 tunnelboormachines van de dubbele buisvariant niet gedemonteerd worden. Er werden meerdere varianten bestudeerd door bureau BMN:

- Variant 1: Uitvoering van een verbindingkunstwerk tussen schacht P5 en Liedts, uitgevoerd door grondbevriezing (zie onderstaande Figuur). Deze variant veronderstelt het stoppen van de tunnelboormachines om ze in station Liedts te demonteren.



Figuur 184: Variant 1: Verbindingskunstwerk uitgevoerd door grondbevriezing (BMN, 2020)

- Variant 2: Verlenging van de twee tunnelboormachines tot aan schacht P5 en uitvoering van het verbindingkunstwerk vanuit de tunnels (identiek als het uitvoeringsprincipe van de vertakkingskunstwerken).

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
2. Presentatie van het dubbele buisalternatief

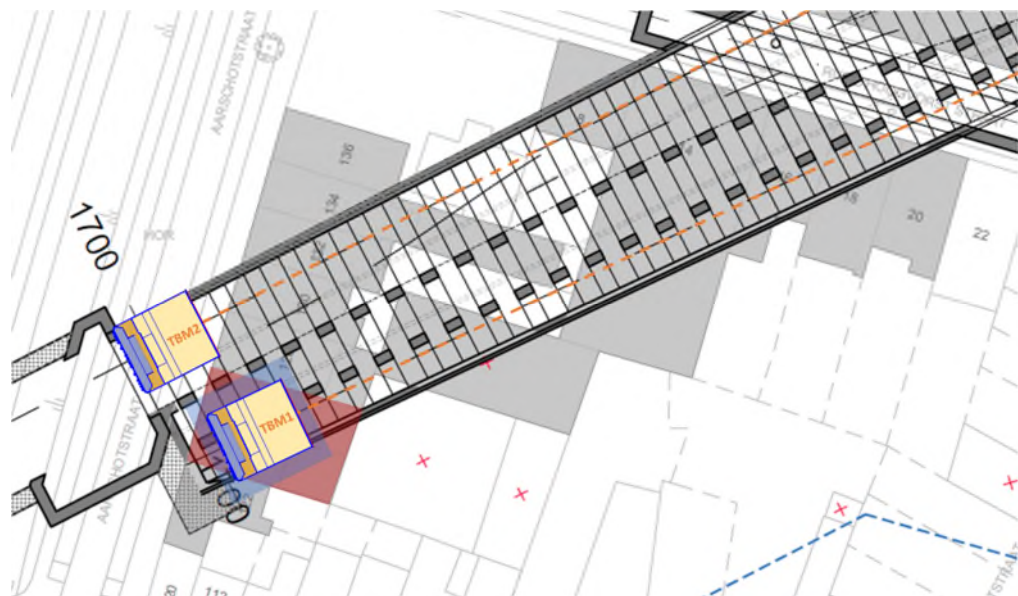


Figuur 185: Variant 2: Verlenging van de tunnelboormachines tot aan schacht P5 (BMN, 2020)

Gelet op de risico's van grote verzakkingen en de technische complexiteit van variant 1, werd variant 2 weerhouden.

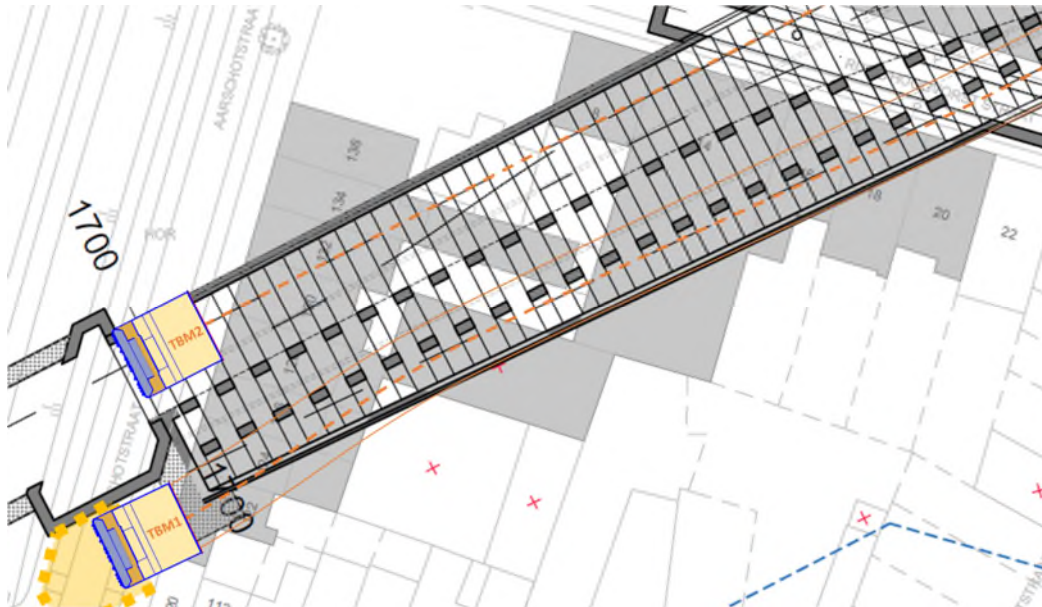
Deze 2e variant werd onderverdeeld in meerdere subvarianten, naargelang de locatie van het einde van de tunnels bij schacht P5:

- Variant 2.1: TBM 1 gestopt in een ingespoten prop en gedemonteerd vanuit de tunnel, TBM 2 gedemonteerd in de schacht P5 (zie onderstaande Figuur). Voor deze variant is de uitvoering nodig van een jet-groutingprop van 12m bij 12m vanuit de oppervlakte onder de gebouwen 122 en 128 van de Aarschotstraat.



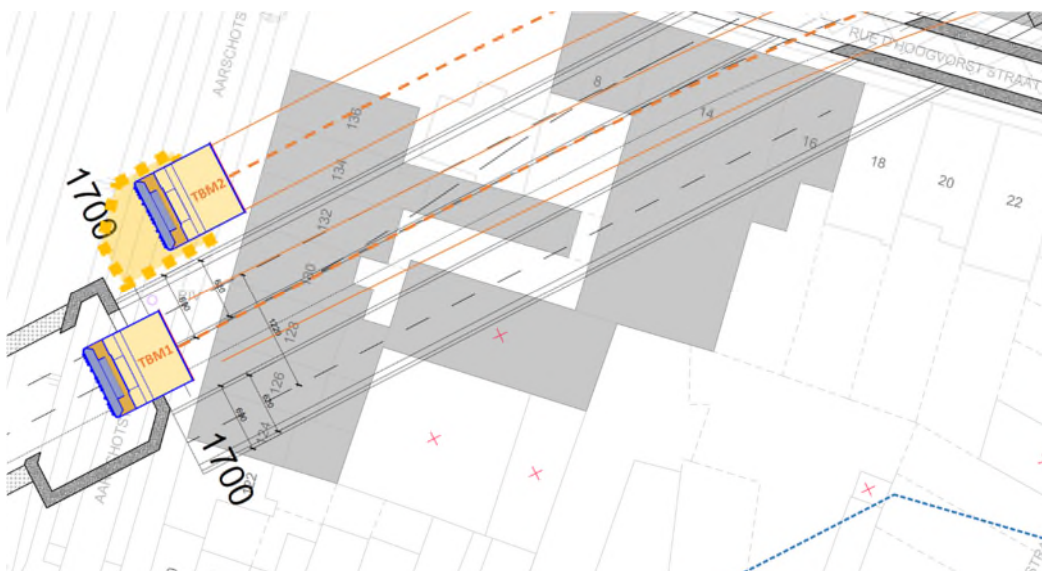
Figuur 186: Variant 2.1 (BMN, 2020)

- Variant 2.2: Uitvoering van een tweede schacht ten zuiden van schacht P5: TBM 1 wordt gedemonteerd in de nieuwe schacht en TBM 2 in schacht P5. Deze oplossing vereist geen inspuiting onder de bestaande gebouwen, maar bemoeilijkt de uitvoering van het verbindingskunstwerk (zie onderstaande Figuur).



Figuur 187: Variant 2.2 (BMN, 2020)

- Variant 2.3: Uitvoering van een tweede schacht ten noorden van schacht P5: TBM 2 wordt gedemonteerd in de nieuwe schacht en TBM 1 in schacht P5. Deze oplossing vereist geen inspuiting onder de bestaande gebouwen met een smaller verbindingskunstwerk dan dat van variant 2.2.



Figuur 188: Variant 2.3 (BMN, 2020)

Voor het vervolg van de studie werd variant 2.1 weerhouden. Bij deze variant is het niet nodig een nieuwe schacht uit te voeren in de Aarschotstraat en beschikt men tevens over het kleinst mogelijke verbindingskunstwerk.

2.5. Onderlinge verbindingswerken tussen de sporen (vertakkingskunstwerken)

2.5.1. Werkingsprincipe

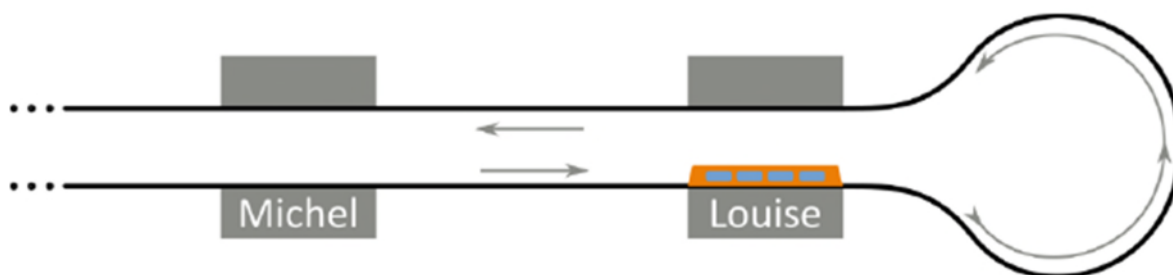
De frequentie van de passages op het station bedraagt minstens een trein om de 3 minuten tijdens de spitsuren. Het systeem is gedimensioneerd om een normale exploitatie te verzekeren voor de passage van een trein om de 90 seconden.

Een goede dienstverlening voor de reizigers wordt bepaald door een kort en regelmatig tijdsbestek tussen twee opeenvolgende treinen, evenals de rijsnelheid en de voorspelbaarheid van de dienst. Om een dergelijke regelmaat te garanderen wordt voor de sectie tussen station Brussel-Noord en Bordet in de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning voor de tunnel met één buis voorzien in 5 verbindingen om van het ene naar het andere spoor te kunnen gaan. Het voordeel van de tunnel met enkele buis, is dat deze verbindingen aangebracht kunnen worden zonder impact op de bouw/het ontwerp van de tunnel, omdat dit binnen dezelfde "buis" plaatsvindt. Voor het alternatief met de dubbele buis dient het ontwerp dus aangepast te worden, wat derhalve grote gevolgen heeft voor de bouw, de technische risico's en de financiën. Het doel van deze nota is de uitleg van het werkingsprincipe van deze kunstwerken om de noodzaak ervan uiteen te zetten voor de MIVB. De noodzaak van dit soort kunstwerken is anders aan het einde van de lijn (eindpunt) dan in het midden van de lijn (op de lijn).

2.5.1.1. Op het eindpunt

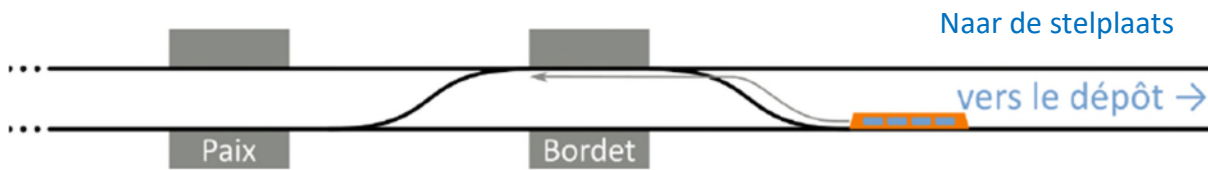
De trein die op het eindpunt aankomt bij Bordet moet van spoor wisselen om in de andere richting weer te vertrekken. Dit kan gedaan worden hetzij door een lus, hetzij door een vertakking. Het voordeel van de lus geldt voornamelijk voor een trein met bestuurder, want hierdoor hoeft deze niet van stuurpost te wisselen en voorkomt men ook menselijke fouten waar bij een vertakking grotere kans voor bestaat.

Daarentegen is voor de lus enorm veel ruimte nodig ten opzichte van een vertakking. In het geval van een automatische metro is de lus niet meer gerechtvaardigd. Temeer daar de lus in conflict zou treden met de tunnel afkomstig van de stelplaats.



Figuur189: voorbeeld van een eindpunt met lus (bron MIVB "noden inzake de verbinding van lijn M3"; 2020)

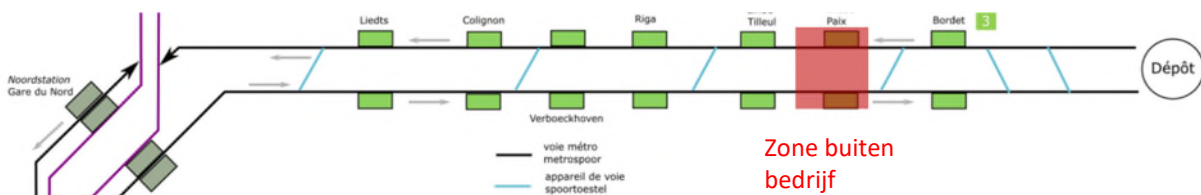
Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
2. Presentatie van het dubbele buisalternatief



Figuur190: voorbeeld van een eindpunt met verbinding (bron MIVB "noden inzake de verbinding van lijn M3"; 2020)

2.5.1.2. Op de lijn

Het is waarschijnlijk dat om technische redenen, om menselijke redenen, voor onderhoud of voor een interventie, een gedeelte van de lijn tijdelijk buiten bedrijf gesteld dient te worden voor de reizigers. Om de dienstverlening van de gehele lijn niet volledig te onderbreken, is het belangrijk om te beschikken over verbindingsporen zodat de treinen om de buiten bedrijf gestelde zone heen kunnen rijden. De reizigers worden naar de oppervlakte geleid om een ander tot hun beschikking gesteld transportmiddel te gebruiken en naar de andere zijde van de buiten bedrijf gestelde zone te gaan. Hoe groter het omleidingstraject van de reizigers, des te meer de situatie als problematisch beschouwd wordt (fail soft situatie). Het is derhalve belangrijk om over zoveel mogelijk verbindingskunstwerken te beschikken om de reizigers zo dicht mogelijk naar de buiten bedrijf gestelde zone te brengen, wat een zo kort mogelijke "sprong" mogelijk maakt tussen twee station.



Figuur191: voorbeeld van een buiten bedrijf gestelde zone op de verbinding N/B (bron: MIVB "noden inzake de verbinding van lijn M3"; aangepast door ARIES, 2020)

In algemene zin meldt de operator MIVB dat dergelijke incidenten gangbaar zijn. Zij vertegenwoordigen 50% van de exploitatie-onderbrekingen als gevolg van derden (blokkering van deur, passagiers die onwel worden, zelfdoding, ...) en voor de andere 50% is dit het gevolg van technische storingen van de infrastructuur of het rollend materieel, evenals de noodzaak om de lijn te onderhouden.

gemiddelde per jaar over het gehele bestaande metronetwerk	gemiddelde per onderbreking	extrapolatie op de sectie Bordet-Albert per jaar
196,8 onderbrekingen	—	14,21 onderbrekingen
116:44:00 uur x aantal geblokkeerde treinen per onderbreking	00:35:38 uur x aantal geblokkeerde treinen per onderbreking	08:26:34 uur x aantal geblokkeerde treinen per incident (exclusief interventietijd ter plaatse)

Tabel58: voorbeelden van onderbrekingen van het verkeer tijdens de afgelopen vijf exploitatiejaren, gemiddeld, elk jaar (bron: MIVB "noden inzake de verbinding van lijn M3")

Het rollend materieel voor de exploitatie van de lijn Bordet-Noord is van het type M7 dat beschikt over de laatste vooruitgang inzake betrouwbaarheid en automatisering.

Gelet op het gebruik van de metro dat voortdurend toeneemt, zal het aandeel incidenten dat het gevolg is van interventies of incidenten met derden steeds meer toenemen. Het totale aantal incidenten op de lijn Bordet-Noord zou echter zeer significant moeten afnemen ten opzichte van de huidige situatie op de lijnen 1-5 en 2-6, met name dankzij de installatie van toegangspoorten op de perrons. Echter, hoewel het aantal dienstonderbrekingen bij een automatische exploitatie dus zal afnemen, is de individuele impact van een dienstonderbreking veel groter, omdat hiervoor een agent zich ter plaatse moet begeven om het incident vast te stellen en de nodige maatregelen te treffen om de dienst te kunnen laten hervatten (in de huidige metro is dit vaak de bestuurder die erin slaagt het probleem op te lossen).

Als er geen regelmatig over de lijn verdeelde keerverbindingen zijn, worden tijdens de interventietijd op de trein waar zich de oorzaak van de blokkering bevindt (ongeacht of het een derde of een technische reden betreft) niet alleen de trein die de blokkering heeft veroorzaakt, maar ook de treinen daarachter geblokkeerd, eventueel in de tunnel. Deze treinen worden dan blootgesteld aan het risico van een wilde evacuatie, namelijk doordat reizigers die niet willen wachten op de hervatting van het verkeer spontaan de stilstaande trein (in de tunnel) verlaten en op ongeordende wijze op zoek gaan naar het dichtstbijzijnde station. Een dergelijke wilde evacuatie is het grootste operationele risico in verband met een automatische exploitatie van de metro. Het betreft ten slotte een tijdelijk nog hoger risico wanneer de lijn voor het eerst automatisch geëxploiteerd wordt en de reizigers niet geheel vertrouwd zijn met het interventieprincipe van ter plaatse gestuurde agenten tijdens een geblokkeerde dienst.

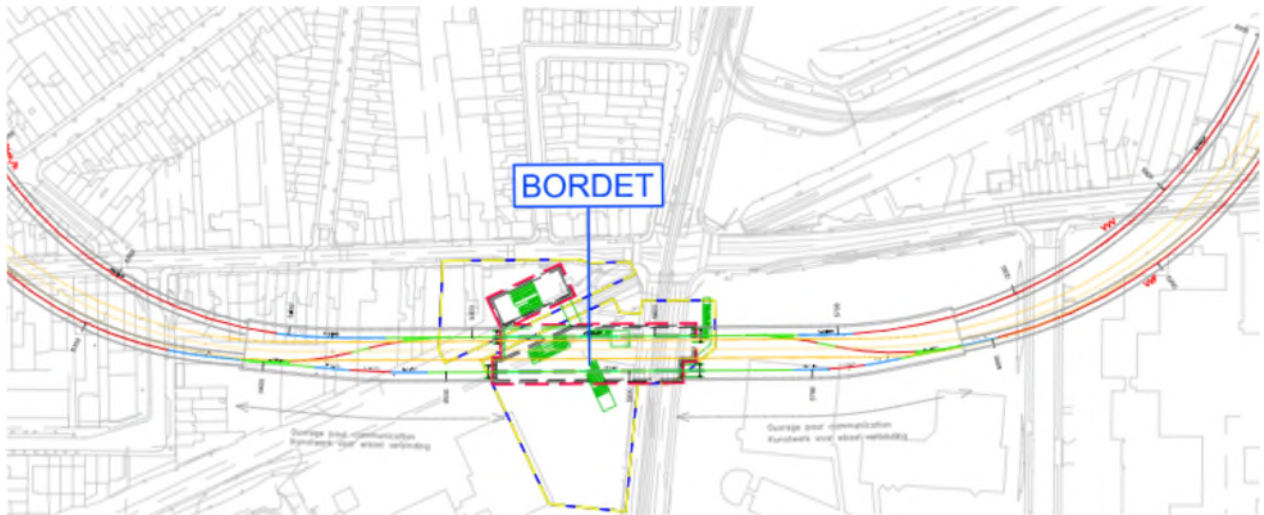
Volgens de aanvrager, en de operator, kan het installatieplan van de verbindingen zoals dit getekend is op redelijke wijze het aantal treinen beperken die gelijktijdig geblokkeerd zouden kunnen raken in geval van een incident met derden of een technische storing van een trein op de sectie Bordet-Noord. Dit plan beperkt aldus onrechtstreeks het risico van incidenten in verband met een wilde evacuatie, enerzijds door de beperking van het aantal treinen en dus het aantal blootgestelde reizigers, en anderzijds om meer aandacht te kunnen verlenen aan elke geblokkeerde trein om mogelijk rampzalige aaneenschakelingen te voorkomen tijdens een banaal incident zoals een geblokkeerde dienst.

Ten slotte werd het spoorplan niet alleen als zodanig ontworpen om veiligheidsredenen voor de exploitatie, maar maken de keerverbindingen het ook mogelijk om het aantal treinen die beïnvloed worden wat betreft de regelmaat van het verkeer drastisch te beperken, zodat ook

de periode na het incident beperkt wordt gedurende welke de regelmaat van de interval tussen de treinen in het gedrang komt.

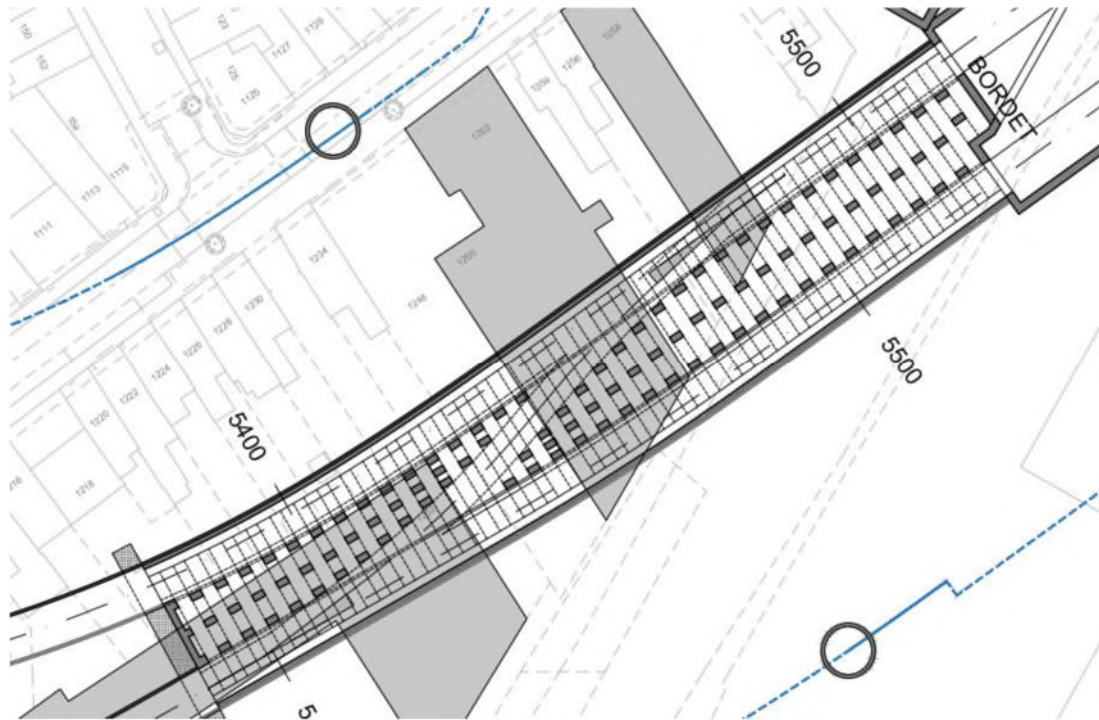
2.5.2. De voor de lijn N/B voorziene verbindingswerken

2.5.2.1. Bordet



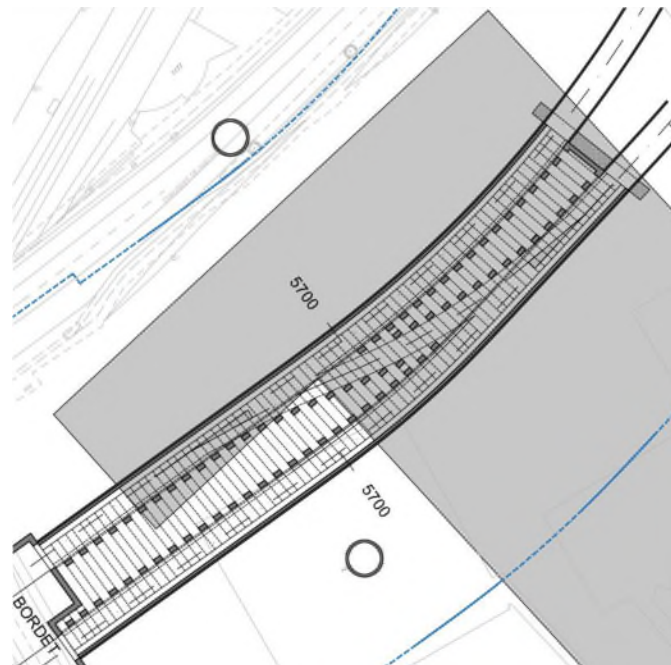
Figuur 192: Locatie van de vertakkingskunstwerken van station Bordet voor het alternatief met twee buizen (BMN, 2020)

Voor het kunstwerk voor Bordet zijn 2 schachten voor de groutingcompensatie voorzien vanuit de weg om de veroorzaakte verzakking van de gebouwen van de 2 betreffende woonblokken te compenseren:



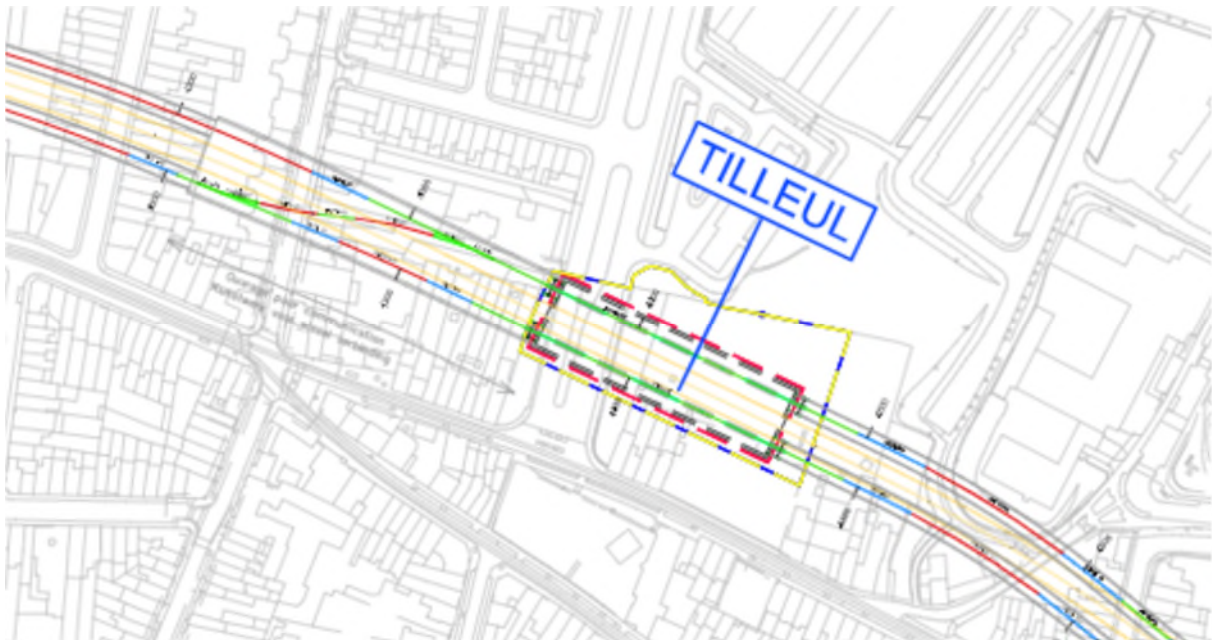
Figuur 193: Inplanting van het kunstwerk voor station Bordet (BMN, 2020)

Voor het kunstwerk na station Bordet zijn 2 schachten voorzien voor de compensatiegrouting op de Haachtsesteenweg en de parkeerplaats van Decathlon om de veroorzaakte verzakking van het gebouw van Decathlon te compenseren:



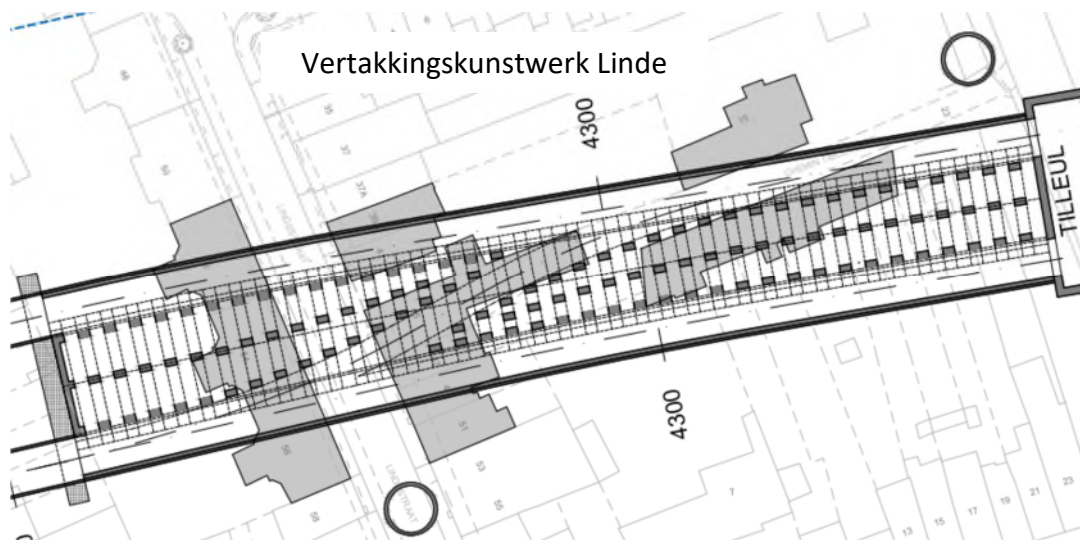
Figuur 194: Inplanting van het kunstwerk na station Bordet (BMN, 2020)

2.5.2.2. Linde



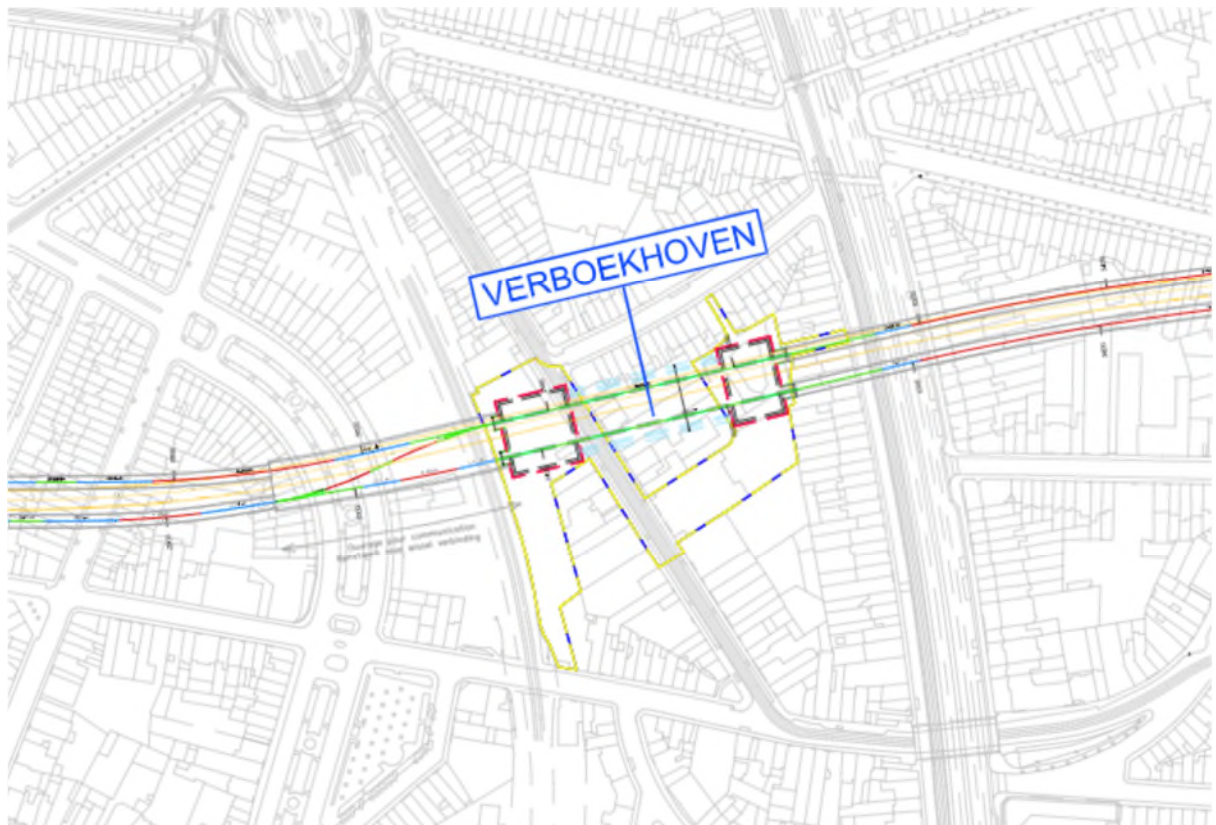
Figuur 195: Locatie van de vertakkingskunstwerken van station Linde voor het alternatief met twee buizen (BMN, 2020)

Er zijn 2 schachten voor de groutingcompensatie voorzien vanuit de weg om de veroorzaakte verzakking van de gebouwen van de 2 betreffende woonblokken te compenseren:



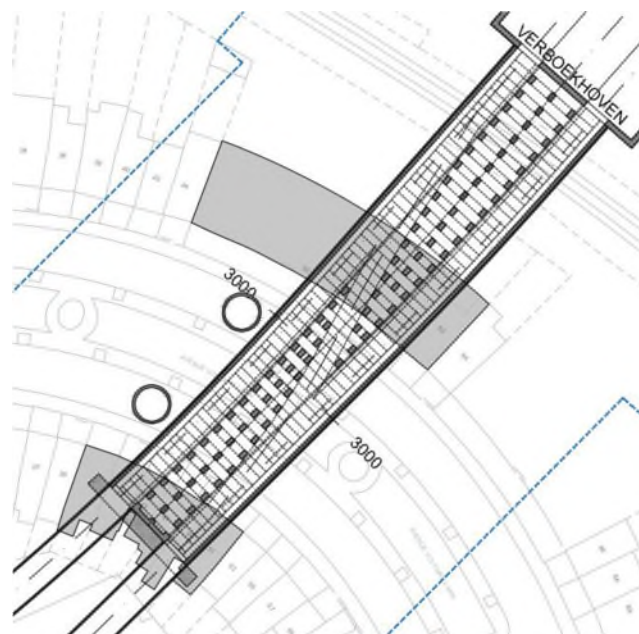
Figuur 196: Inplanting van het kunstwerk voor station Linde (BMN, 2020)

2.5.2.3. Verboekhoven:



Figuur 197: Locatie van de vertakkingskunstwerken van station Verboekhoven voor het alternatief met twee buizen (BMN, 2020)

Er zijn 2 schachten voorzien voor de uitvoering van compensatiegrouting op de Voltairelaan voor het beheer van de veroorzaakte verzakkingen van de gebouwen:



Figuur 198: Inplanting van het kunstwerk voor station Verboekhoven (BMN, 2020)

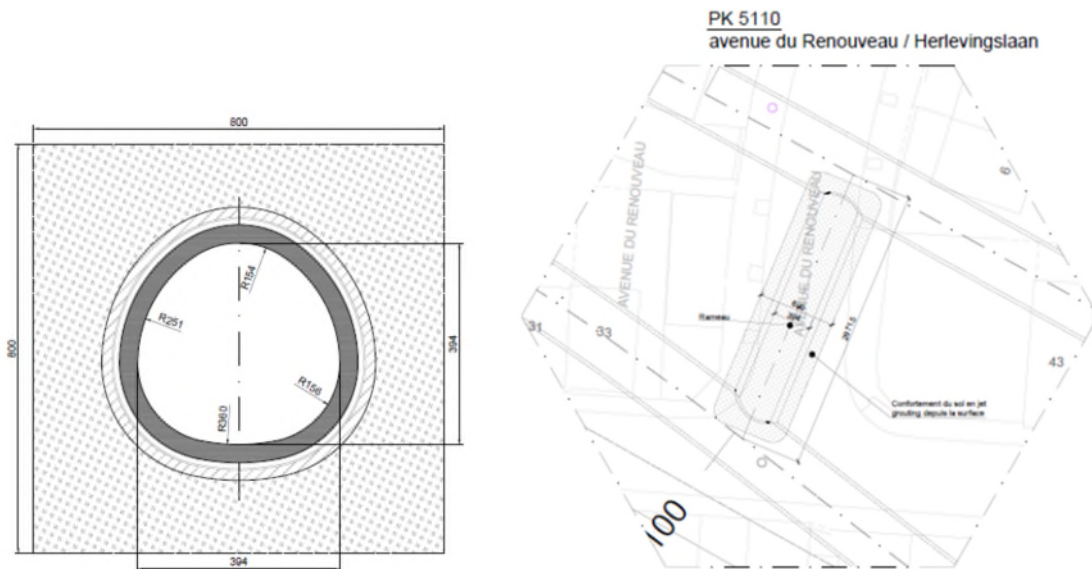
Cross-passage

Een van de voordelen van het alternatief met twee buizen is de compartimentering van de sporen wat de veiligheid van de gebruikers van de metro verhoogt. Er werden verbindingen tussen de twee tunnels toegevoegd om de evacuatie-afstand in geval van incidenten te verminderen.

In België bestaat er echter geen enkele regelgeving die een maximale afstand tussen de nooduitgangen voorschrijft.

Het project met één buis bevat geen schachten om naar de oppervlakte te gaan tussen de stations. De DBDMH achtte namelijk dat de afstand tussen de stations betrekkelijk kort is, zodat een evacuatie zonder tussenschachten niet nodig zijn. In het kader van het alternatief met twee buizen werd echter besloten de aanwezigheid van deze verbindingen te simuleren om het belang van dit alternatief te beoordelen.

In afwachting daarvan heeft de auteur van het project besloten om om de 250 m cross-passages te voorzien. De grootte van de verbindingen werd bepaald om de evacuatie mogelijk te maken van de gebruikers in geval van incidenten, zie onderstaande Figuur.



Figuur 199: Typedoorsnede van een verbinding tussen twee tunnels (BMN, 2020)

Om de bouw van de verbinding mogelijk te maken met zo weinig mogelijk impact op de omgeving werd besloten om de verbindingen zo veel mogelijk te voorzien onder de wegen.

Er zijn zes verbindingen voorzien door de ontwerpers van dit alternatief:

- Tussen Liedts en Colignon (bij de Renkinstraat)
- Tussen Colignon en VBH (bij de Camille Simoensstraat)
- Tussen VBH en Riga (bij de Dahliastraat)
- Tussen Riga en Linde (bij de Gustave Hubertstraat)
- Tussen Linde en Vrede (bij de Van Hoordestraat)
- Tussen Vrede en Bordet (bij de Herlevingslaan)

3. Beschrijving van de moeilijkheden in verband met de constructiewijze en de uitbatingswijze van het alternatief

3.1. Moeilijkheden in verband met het boren van twee tunnels

Het graven met een tunnelboormachine brengt bepaalde moeilijkheden met zich mee die van invloed zijn op het tracé van de tunnel.

Standaard gezien wordt aanbevolen:

- Over een bedekking van grond boven de tunnel te beschikken van meer dan de waarde van de diameter van de tunnel.
- Over een afstand tussen de 2 tunnels te beschikken van meer dan de waarde van de straal van de tunnels.
- Over een boogstraal te beschikken van meer dan 15 maal de waarde van de diameter van de tunnel.
- Over een maximale helling te beschikken van 10%.
- Over een minimale helling te beschikken van 5% ten behoeve van de afvoer van water.

Deze aanbevelingen kunnen variëren naargelang de aard van de bodem, de situatie aan de oppervlakte (aanwezigheid van gevoelige of beschermde gebouwen), maar ook de beperkingen van de gekozen tunnelboormachine voor de uitvoering van de werkzaamheden.

In het onderhavige project bevindt het tracé van de tunnel zich in een dichte stedelijke omgeving. De geotechnische invloedzone (die het grondvolume vertegenwoordigt waarin er interactie is tussen de tunnel en het terrein) komt overeen met 30 m aan weerszijden van de aslijn van elke tunnel.

De minimale diepte van de tunnels (en de stations daarvan) werd derhalve bepaald op basis van:

- De topografie en geologie van de doorkruiste terreinen;
- de minimalisatie van de verzakkingen aan de oppervlakte;
- de beperking van het aantal lage punten om het aantal opvoerpunten van water te minimaliseren;
- de beperking van de hellingen van de tunnel.

De optimalisatie van de diepte van het tracé van de tunnels wordt hieronder samengevat.

- Sectie Schacht P5 – Liedts: beperkt door de positie van het aansluitkunstwerk op station Brussel-Noord;
- Sectie Liedts – Colignon: beperkt door de aanwezigheid van het Gemeentehuis (gevoelig gebouw);
- Sectie Colignon – Verboekhoven: beperkt door de kruising met de NMBS-lijn 161 en de aanwezigheid van de Maalbeek (laag topografisch punt);

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)

3. Beschrijving van de moeilijkheden in verband met de constructiewijze

- Sectie Verboekhoven – Riga - Linde: beperkt door de helling van de tunnel, evenals de minimale bedekkingshoogte ten noorden van station Linde, onder de beschermde hoeve.
- Sectie Linde – Vrede – Bordet: beperkt door de minimale bedekkingshoogte onder de NMBS-lijn L26 bij station Bordet.
- Sectie Bordet – P0: beperkt door de tweede kruising met de NMBS-lijn L26, evenals de minimale bedekkingshoogte bij P0.

4. Beschrijvingen van de technische oplossingen van het tunnelontwerp met twee buizen

4.1. Uitvoeringsprincipe van de tunnels

Het uitvoeringsprincipe (graven met een tunnelboormachine) evenals de keuze van de tunnelboormachine blijven hetzelfde als voor de oplossing met één buis.

In tegenstelling tot de oplossing met één buis, zullen er twee tunnelboormachines gebruikt worden voor de uitvoering van de tunnels (een per tunnel). De start van de twee tunnelboormachines vindt plaats vanuit de stelplaats van Haren, net als het geval is voor de oplossing met één buis.

De twee tunnelboormachines starten de een voor de andere, de tweede tunnelboormachine begint pas als de eerste 100 meter van de eerste tunnel gegraven zijn.

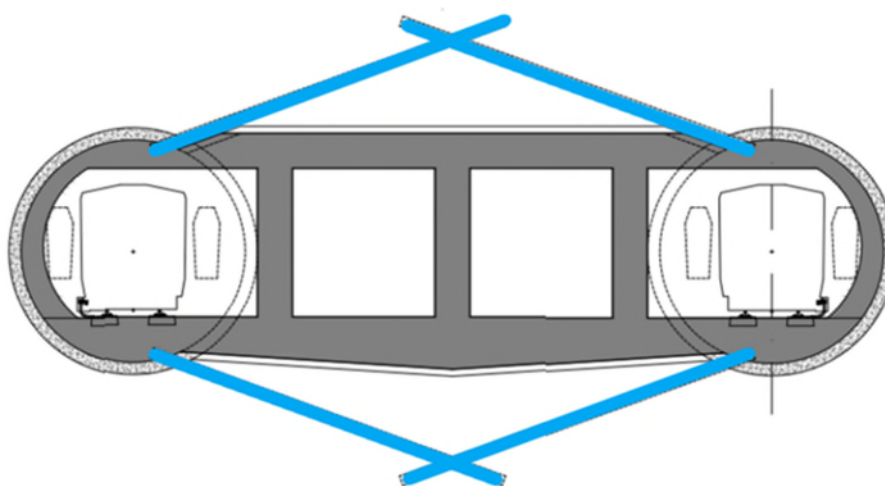
Gelet op de vergroting van de breedte van het werk en de transversale druk wordt een aanvullende steunlijn toegevoegd in het midden van het kunstwerk van P0.

4.2. Uitvoeringsprincipe van de vertakkingskunstwerken

De vertakkingskunstwerken worden uitgevoerd vanuit de gegraven tunnels en aangrenzende stations na de passage van de tunnelboormachine. De waterdichte ombouw wordt gecreëerd door grondbevriezing via boorpijpen vanuit de tunnels (in het blauw op de onderstaande Figuur).

Er wordt een compensatiemassief door jet-grouting aangebracht vanuit de oppervlakte vóór het graven van de tunnels om de kunstwerken niet te verstoren.

De binnenzijde van het kunstwerk wordt gegraven door de traditionele techniek met de plaatsing van het stortebed, gevolgd door het dak en de kolommen vanuit de tunnel. Vervolgens de uitgraving in stross tussen de kolommen vanuit het station.



Figuur 200: Dwarsdoorsnede van een vertakkingskunstwerk (BMN, 2020)

In tegenstelling tot de station kan dit constructieprincipe toegepast worden vanwege de mogelijkheid om tussensteunen langs het spoor aan te brengen.

4.3. Uitvoeringsprincipe van het verbindingskunstwerk P5 - Liedts.

Het uitvoeringsprincipe van het verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts is hetzelfde als het uitvoeringsprincipe van de bovenstaande vertakkingskunstwerken.

4.4. Uitvoeringsprincipe van de tussenverbindingen

Het uitvoeringsprincipe van de tussenverbindingen is als volgt:

- Uitgraving van de galerij door traditionele techniek.
- Voorafgaand aan de uitgraving van de galerij, versteviging van de grond door jet-grouting vanuit de oppervlakte om de waterdichtheid en de stabiliteit van het front te garanderen tijdens de uitgraving (blok van 8 bij 8 m over de gehele lengte van de tussenverbinding).
- Aanbrenging van de voorlopige steunmuur bij de vooruitgang (20 cm spuitbeton en PANTEX stutbogen).
- Aanbrenging van de definitieve steunmuur bestaande uit 35 cm gewapend beton met bekisting ter plaatse.

5. Beschrijving van de werf

5.1. Kwantiteit van de materialen

De synthese van de hoeveelheden afgegraven grond en benodigde materialen voor de uitvoering van de tunnels (exclusief stations en vertakkingskunstwerken) wordt aangegeven in de onderstaande tabellen:

Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	m ³	303.340
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	m ³	394.342

Tabel 59: Hoeveelheid materialen van de tunnels - Oplossing dubbele buis (BMN, 2020)

De synthese van de hoeveelheden afgegraven grond voor de uitvoering van de vertakkingskunstwerken (exclusief stations en verbindingkunstwerk tussen schacht P5 en Liedts) wordt aangegeven in de onderstaande tabellen:

Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	m ³	~49 750
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	m ³	~64 680

Tabel 60: Hoeveelheid materialen van de vertakkingskunstwerken - Alternatief dubbel buis (BMN, 2020)

De synthese van de hoeveelheden afgegraven grond, vulmaterialen, afval en benodigde materialen voor de uitvoering van de schacht P0 en de toegangshelling wordt aangegeven in de onderstaande tabellen:

Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	m ³	~60 150
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	m ³	~78 200

Tabel 61: Kwantiteit van de materialen van schacht P0 en de toegangshelling - Oplossing dubbele buis (BMN, 2020)

De synthese van de hoeveelheden afgegraven grond, vulmaterialen, afval en benodigde materialen voor de uitvoering van het verbindingkunstwerk tussen schacht P5 en Liedts wordt aangegeven in de onderstaande tabellen:

Afgegraven volume (materiaal ter plaatse)	m ³	~12 420
Volume af te voeren uitgegraven grond (zwellings 1.3)	m ³	~16 150

Tabel 62: Hoeveelheid materialen van het verbindingkunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts - Oplossing dubbele buis (BMN, 2020)

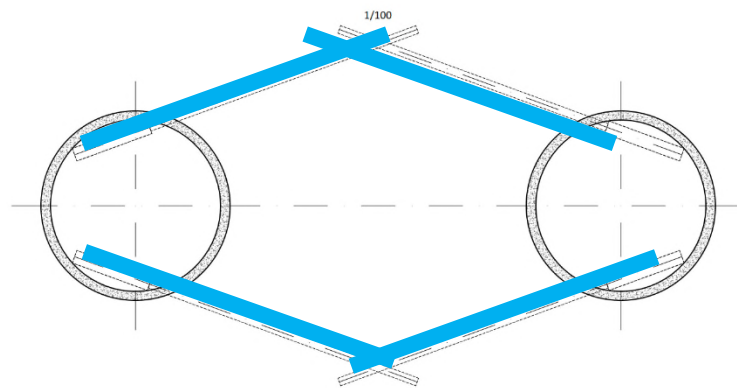
5.2. Uitvoeringsfase

De verschillende bouwfases blijven nagenoeg hetzelfde als die van de oplossing met één buis:

- Voorafgaande fase: installatie van de werf en aanbrenging van de grondverstevinging door jet-grouting bij de toekomstige tussenverbindingen.
- Fase 1: uitvoering van de gegoten wanden, afgraving van de schacht en de toegangshelling, aanbrenging van de stortebedden, tussenplaten en dakplaten.
- Fase 2: montage van de eerste tunnelboormachine in de toegangshelling via schacht P0 en aanbrenging van het vulmateriaal voor de voorbelasting.
- Fase 3: Start van de eerste tunnelboormachine
- Fase 2 bis: na de afgraving van 100 m door de eerste tunnelboormachine, montage van de tweede tunnelboormachine in de toegangshelling via schacht P0 en aanbrenging van het vulmateriaal voor de voorbelasting.
- Fase 3 bis:
 - Start van de tweede tunnelboormachine
 - Na 200 m graven, sluiting van het dak van schacht P0 en afvoer van het vulmateriaal voor de voorbelasting.
- Fase 4:
 - Gelijktijdig graven van de twee tunnels met een verschuiving van 3 maanden tussen de start van de twee tunnelboormachines) van P0 naar P5 door elk station heen.
 - Voorafgaand aan elke ingang op het station: aanbrenging van de nodige structuren voor de verplaatsing van de tunnelboor in het station.
 - Tijdens de ingang op het station: uitvoering van de afdichting tussen de segmenten en de wand van het station.
 - Voor elk vertrek van de tunnelboormachine uit een station: aanbrenging van de uitgangsstolp van de tunnelboormachine (voor de afdichting van het kunstwerk tijdens de start van het doorboren van de wand en de opvoer van de manteldruk).
 - Na het vertrek van de tunnelboormachine: uitvoering van de afdichting tussen de segmenten en de wand van het station.
 - Aanbrenging van een buizendak onder de huizen van de Aarschotstraat recht op schacht P5.
- Fase 5: Aankomst van de eerste tunnelboormachine in station Liedts en demontage van de tunnelboormachine in de voorafgaand onder water gezette schacht P5 (identiek als de oplossing met één buis).
- Fase 5 bis: Aankomst van de tweede tunnelboormachine in de nabijheid van schacht P5 in een massief van jet-grouting en demontage van de tunnelboormachine in de tunnel. Graven van de vertakkingskunstwerken

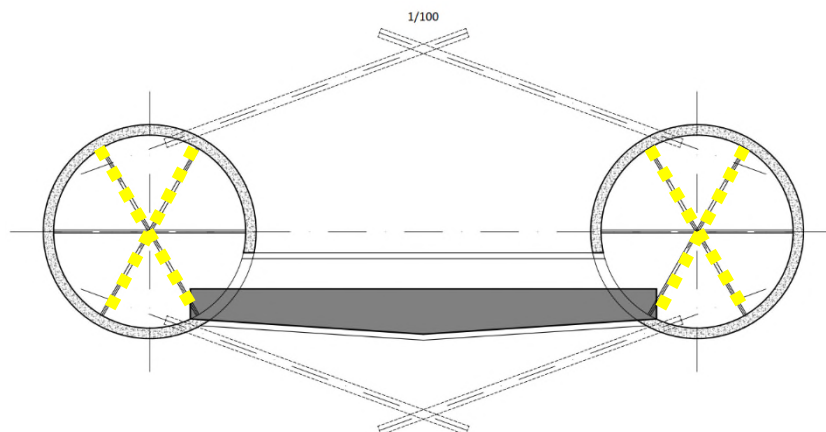
Na de demontage van de twee tunnelboormachines.

- Fase 1: Aanbrenging van een compensatiemassief door jet-grouting en het bevroingsysteem:
 - Uitvoering van een compensatiemassief door jet-grouting vanuit de oppervlakte.
 - Aanbrenging van een versteviging in elke tunnel.
 - Uitvoering van de bevroingsbuizen vanuit de twee tunnels (in het blauw op de onderstaande Figuur).
 - Bevroening van de grond boven en onder de toekomstige ombouw van de vertakking (creatie van een waterdichte ombouw voor het afgraven van de ombouw).
 - Bemaling van het grondwater binnen de ombouw.



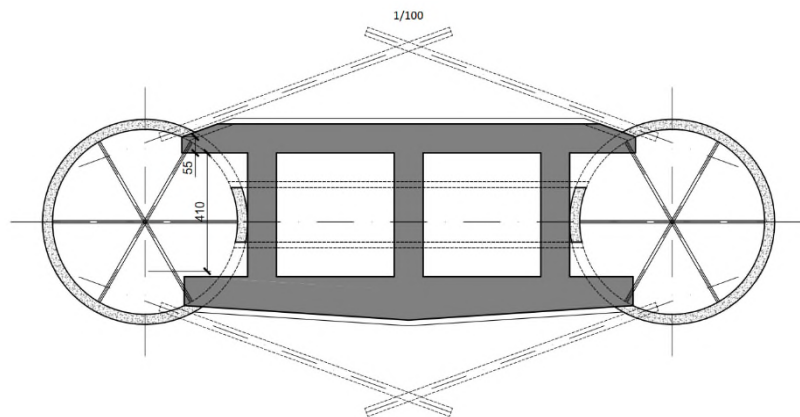
Figuur 201: Uitvoering van de bevroingsbuizen (BMN, 2020)

- Fase 2: Uitvoering van het stortebed van het kunstwerk:
 - Stutting van de tunnels om de segmenten te kunnen doorboren (in het geel op de onderstaande Figuur).
 - Afgraving van de primaire galerijen van een gedeelte van het stortebed en betonning van deze galerijen.
 - Afgraving van de secundaire galerijen van de rest van het stortebed en betonning van deze galerijen.



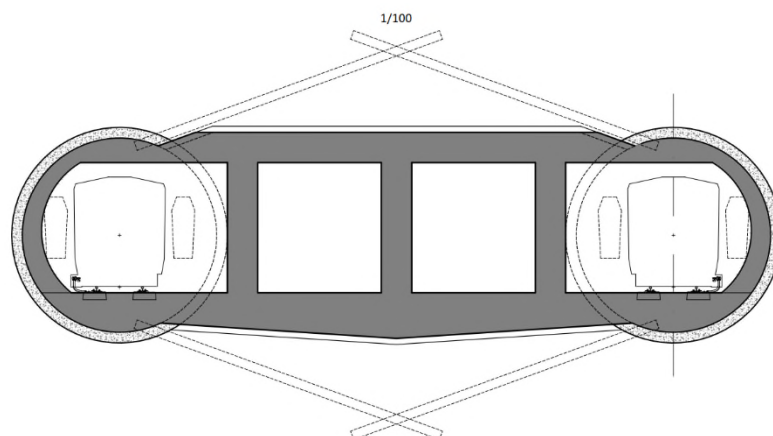
Figuur 202: Uitvoering van het stortebed van het vertakkingskunstwerk (BMN, 2020)

- Fase 3: Uitvoering van het dak van het kunstwerk:
 - Afgraving in de primaire galerijen van een gedeelte van het dak van de behuizing
 - Uitvoering van de kolommen van het kunstwerk in een beschoeide bouwput vanuit de primaire galerijen. De kolommen steunen op het stortebed.
 - Betonnering van de primaire galerijen.
 - Afgraving van de secundaire galerijen van de rest van het dak en betonnering van deze galerijen.



Figuur 203: Uitvoering van het dak en de kolommen van het vertakkingskunstwerk (BMN, 2020)

- Fase 4: Afwerking van het vertakkingskunstwerk:
 - Betonnering van de wanden van de tunnel om het kunstwerk te verstevigen.
 - Uitgraving in stross van de grond tussen de twee tunnels, tussen het dak en het stortebed.
 - Uitvoering van het sluitscherm in meerdere keren in beschoeide bouwput vanuit de bovenzijde van de stross tussen de twee tunnels.



Figuur 204: Afwerking van het vertakkingskunstwerk (BMN, 2020)

5.2.1. Graven van de cross-passage

- Fase 0: Vóór het graven van de twee tunnels, uitvoering van een versteviging van de grond door inspuiting van jet-grouting over de gehele lengte van de verbinding (dient tevens om de bodem waterdicht te maken).
- Fase 1: Na de demontage van de twee tunnelboormachines, uitvoering van een versteviging in de tunnels bij de openingen van de verbindingen en opening van de segmenten.
- Fase 2: Traditionele afgraving van de galerij met aanbrenging van een voorlopige steunmuur bij de vooruitgang (20 cm spuitbeton op de wanden + stutbogen).
- Fase 3: Aanbrenging van de definitieve steunmuur (35 cm gewapend beton).

5.3. Tijdelijke installaties en inplanting van de werf

5.3.1. Schacht P0 en helling

De installatie van de werf voor de bouw van schacht P0 en de toegangshelling blijft hetzelfde als voor de oplossing met één buis.

5.3.2. Tunnels

De installatie van de werf voor het graven van de tunnels blijft hetzelfde als voor de oplossing met één buis. De opslagzones dienen echter aangepast te worden en/of vergroot voor de opslag van de gelijktijdig afgegraven grond door de 2 tunnelboormachines.

5.3.3. Vertakkingskunstwerken en verbindingkunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts

Tijdens de bouw van deze kunstwerken wordt het ingenomen terrein voor de installatie van de werf van de stations in de nabijheid van de kunstwerken gebruikt voor de installatie van de koelinrichtingen (voor de grondbevrozing van de ombouw). De uitrusting, de aanvoer van materialen en de afvoer van de afgegraven grond kan uitgevoerd worden vanuit de tunnel om de overlast aan het oppervlak te beperken.

5.4. Beheer van het afval

Het werfafval bestaat voornamelijk uit:

- De afgegraven grond van de tunnels (gezwollen grond): ~384.350 m³.
- Afgegraven grond van schacht P0 en de toegangshelling: ~78.200 m³
- Civiel bouwkundig afval van de bouw van P0 en de toegangshelling: 1.900 m³.

Het transportprincipe van de afgegraven grond en de valorisatie zijn hetzelfde als voor de oplossing met één buis.

De afgegraven grond van de vertakkingskunstwerken en het verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts wordt eveneens afgevoerd via de tunnels naar de stelplaats van Haren.

5.5. Uitvoeringsplanning

De algemene planning van de uitvoering van de werkzaamheden is globaal gebaseerd op dezelfde logica als voor de enkele buisvariant en wordt aangegeven op de onderstaande Figuur.

Er worden aanvullende hypothesen aangenomen in het kader van het alternatief met twee buizen:

- Gelijktijdig gebruik van twee tunnelboormachines (TBM).



Figuur 205: Voorgang van de bouw met de tunnelboormachine (BMN, 2020)

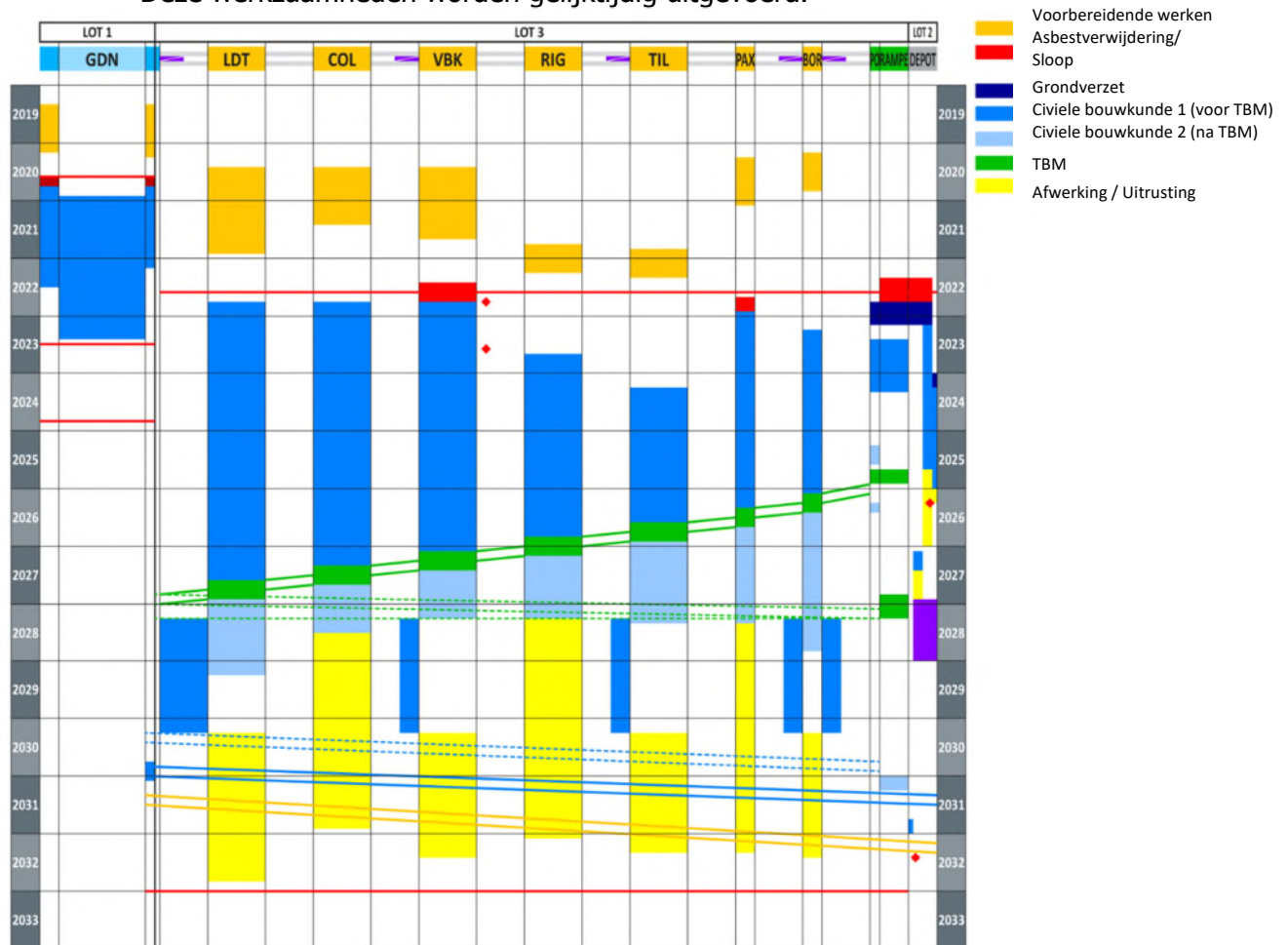
- TBM 2 begint met graven 3 maanden na het begin van TBM 1 (dat wil zeggen circa 1 station verschuiving).
- Het transport van de TBM's in de stations wordt altijd op circa anderhalve maand per station geschat.
- De montage van een TBM duurt 3 maanden.
- De voortgangssnelheid van de TBM bedraagt 250 m/maand.
- De demontage van de TBM's vindt plaats bij schacht P5 (TBM 1 gedemonteerd vanuit de tunnel, TBM 2 gedemonteerd in P5).
- De demontage wordt geschat op circa 12 weken per TBM.
- De opvulling van het stortebed wordt uitgevoerd na de demontage van de TBM en de uitvoering van de vertakkingskunstwerken, met een uitvoeringssnelheid van 400 m/maand.

Voor de tussenverbindingen:

- Er wordt een versteviging van de grond uitgevoerd door jet-grouting bij de toekomstige tussenverbindingen, voorafgaand aan het graven van de tunnels.
- Na de demontage van tunnelboormachines dienen de tunnels gestabiliseerd te worden bij de openingen van de verbindingen met plaatsing van een voorlopige steunmuur.
- Het graven van de tussenverbindingen vindt plaats vanuit tunnel 1 zodra de tunnelboormachine gedemonteerd is.
- Het graven van de tussenverbindingen wordt geschat op circa 3 maanden per verbinding.

Voor de vertakkingskunstwerken:

- De vertakkingskunstwerken worden uitgevoerd na de demontage van de tunnelboormachines in de tunnels.
- De duur van de werkzaamheden wordt geschat op circa 2 jaar per kunstwerk. Deze werkzaamheden worden gelijktijdig uitgevoerd.



Figuur 206: Algemene uitvoeringsplanning van de dubbele buisvariant (BMN, 2020)

De start van het graven van de eerste tunnelboormachine begint later dan in het geval van de oplossing met één buis. De wijziging van de stations voor het alternatief met twee buizen leidt namelijk tot een aanvullende bouwtermijn (zie onderstaande tabel).

Station	Impact dubbele buis op termijn CB1
Bordet	+ 3 maanden
Vrede	+ 3 maanden
Linde	+ 2 maanden
Riga	+ 2 maanden
Verboekhoven	+ 3 maanden
Colignon	+ 3 maanden
Liedts	+ 3 maanden

Tabel 63: Schatting van de impact van het alternatief met twee buizen op de Civiele bouwkundige bouwtermijnen, fase 1, van de stations (BMN, 2020)

Men stelt een termijn vast van circa 2 tot 3 maanden voor alle stations. Voor de Civiele bouwkundige fase, deel 2 (CB2), blijven de tijden hetzelfde als voor de oplossing met één buis.

De bouwfase van de tunnel wordt op de onderstaande Figuur in het groen aangegeven.

Op basis van dezelfde startdatum als die van de oplossing met één buis (juli 2022), wordt de terbeschikkingstelling aan de MIVB voor de testfase geschat op juli 2032 (in plaats van juli 2030 voor de oplossing met één buis). Deze termijnen zijn voornamelijk het gevolg van de bouw van de vertakkingskunstwerken omdat de voltooiing van de stations in de nabijheid van deze kunstwerken pas uitgevoerd kan worden na afloop van de bouw van deze kunstwerken.

6. Analyse van de effecten van het alternatief DUBBELE BUIS ten opzichte van de referentiesituatie (ten opzichte van de situatie met één buis) en aanbevelingen

6.1. Mobiliteit

Wat betreft de macromobiliteit wordt geen enkel verschil voorzien tussen de effecten van de enkele buisvariant en de dubbele buisvariant.

6.2. Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed

6.2.1. Conformiteit van het tracé met het reglementaire kader

Het tracé van de dubbele buis volgt dat van de enkele buis en dus dat wat goedgekeurd is op de kaart nr. 6 van het GBP.

De positie van de stations is hetzelfde als die voor de enkele buis.

het enige verschil ten opzichte van het tracé van de enkele buis is de boog tussen VREDE en Linde. Deze boog is enkele tientallen meters gewijzigd naar het noorden over een lengte van 150 m. Echter, het tracé van het GBP (lijn op de kaart) heeft niet hetzelfde niveau van nauwkeurigheid als dit alternatief. Een meer diepgaande juridische analyse zou uitgevoerd moeten worden om dit te bevestigen. Het betreft een analyse die buiten het kader van deze studie valt.

6.2.2. Impact op de percelen

Het ingenomen terrein van de dubbele buisvariant blijft grotendeels gelijkwaardig aan het tracé van de enkele buis en strekt zich uit van station Brussel-Noord ter hoogte van de Aarschotstraat tot het einde van de lijn bij de stelplaats in Haren.

Op bepaalde plaatsen van het tracé werden vertakkingskunstwerken toegevoegd. Deze kunstwerken zijn bestemd om gedeeltelijke diensten in de fail soft mode te verzekeren (dat wil zeggen in geval van incidenten op de lijn). Ze bestaan uit 2 spoortoestellen waarmee de metro's overgeheveld kunnen worden van het ene naar het andere spoor, met name in geval van onderhoud of incidenten. Deze kunstwerken zijn een honderdtal meter lang.

In een lopende sectie liggen de aslijnen van elke tunnel circa 18,25 m van elkaar, hetgeen overeenkomt met een afstand van 1,5 maal hun diameter (7,20 m voor de buitendiameter en 6,40 m voor de binnendiameter). Het tracé is berekend voor een exploitatiesnelheid van 72 km/u.

De configuratie van de perrons van alle stations werd aangepast aan de eisen van de dubbele buis met de bouw van centrale perrons in plaats van zijperrons in de vergunning van de oorspronkelijke enkele buis.

Tussen de schacht P5 en station Liedts lopen de twee sporen geleidelijk uiteen tot de afstand tussen de twee tunnels voldoende is (1,5 maal de diameter van de tunnels). De tussenafstand

aan de uitgang van schacht P5 maakt de inplanting van een verbindingskunstwerk van de sporen mogelijk (vertakkingskunstwerk).

Langs het parcours van de tunnel is de terreinbreedte bij het alternatief met de twee tunnels groter dan die van het basisproject. In de onderstaande tabel worden de extra percelen aangegeven waarvan de ondergrond beïnvloed wordt door de uitvoering van het alternatief met twee tunnels.

Secties	Oplossing met enkele buis	Alternatief met dubbele buis	Extra betrokken percelen
Station Brussel-Noord – Liedts	27	32	+5 (+19%)
Liedts – Colignon	92	125	+33 (+36%)
Colignon – Verboekhoven	49	77	+28 (+57%)
Verboekhoven – Riga	25	34	+9 (+36%)
Riga – Linde	67	87	+20 (+30%)
Linde - Vrede	22	33	+11 (+50%)
Vrede - Bordet	67	95	+28 (+42%)
Bordet – stelplaats	4	7	+3 (+75%)
<i>Totaal</i>	353	490	+137 (+39%)

Tabel 64: Percelen waarvan de ondergrond beïnvloed wordt door de tunnel: enkele buis vs. dubbele buis (ARIES, 2020)

In totaal worden 490 percelen beïnvloed door de passage van de tunnel bij het alternatief met dubbele buis (terreinbreedte op grote diepte) over de verschillende secties.

6.2.3. Impact op het erfgoed

Wat betreft het erfgoed worden de elementen van belang waarvan de ondergrond beïnvloed wordt door de tunnel van de enkele buisoplossing eveneens beïnvloed door het alternatief met twee tunnels.

Zie Deel 2:6.2.2. Impact op het erfgoed

Merk op dat vanwege de grotere terreinbreedte de tunnel van het alternatief met twee tunnels onder meerdere extra gebouwen loopt die ingeschreven zijn op de Inventaris van het bouwkundig erfgoed ("Irismonument") ten opzichte van die van de analyse van de oplossing met één buis.

In algemene zin is de tunnel van het alternatief met twee buizen minder diep dan die van de enkele buisvariant. Dit zou tot een grotere impact kunnen leiden voor wat betreft de eventuele archeologische overblijfselen die tijdens de bouwwerken van de tunnel gevonden zouden kunnen worden.

6.3. Sociale en economische aspecten

6.3.1. Investeringskosten

In het volgende hoofdstuk worden de directe en indirecte investeringskosten gepresenteerd tussen de variant met dubbele buis en de enkele buisvariant. Net als geldt voor de enkele buisvariant is dit hoofdstuk is gebaseerd op de analyse van BMN voor de dubbele buisvariant²³ en worden de belangrijkste conclusies daarvan aangegeven. De begroting voor de dubbele buisvariant is gebaseerd op verhoudingen die toegepast zijn op de begroting van de enkele buisvariant T6b van 14/02/20.

6.3.1.1. Percelen die veranderen door de overgang van de enkele buisvariant naar de dubbele buisvariant

Van de 20 begrote percelen worden de investeringskosten van 6 percelen (percelen 3, 4, 5, 6, 8 en 15) evenals de opdracht van de inrichting van de oppervlakte rond de stations beïnvloed door de overgang van de enkele buisvariant naar de dubbele buisvariant.

Voor deze percelen die beïnvloed worden, worden op de onderstaande Figuur de investeringskosten van de enkele buisvariant, de dubbele buisvariant evenals het verschil in kosten tussen de twee varianten aangegeven.

Betreffende percelen	Enkele buis	Dubbele buis	(Absolute) verhoging	(Relatieve) verhoging
Perceel 3: Tunnel, Stations, Schacht P0	535.046.008 €	858.957.150 €	323.911.142 €	+61%
Perceel 4: Afwerking	65.743.840 €	54.740.029 €	-11.003.811 €	-17%
Perceel 4: Speciale technieken	65.886.679 €	81.256.799 €	15.370.120 €	+23%
Perceel 5: Mechanisering van de toegangen	32.669.000 €	25.519.038 €	-7.149.962 €	-22%
Perceel 6: Sporen	21.352.129 €	21.723.830 €	371.701 €	+2%
Perceel 8: Telecom	5.657.800 €	8.156.833 €	2.499.033 €	+44%
Perceel 15: SIG	20.500.000 €	26.870.000 €	6.370.000 €	+31%
Opdracht inrichting van de oppervlakte	13.104.580 €	14.355.550 €	1.250.970 €	+10%
Totaal	759.960.036 €	1.091.579.229 €	331.619.193 €	+44%

Tabel 65: Vergelijking van de begrotingen van de investeringskosten enkele buis-dubbele buis voor de percelen die beïnvloed worden (ARIES op basis van de gegevens van BMN, 2020)

²³ BMN & Beliris. (2020). *Samenvattende nota dubbele buisvariant: Studie van de uitbreiding van het hoogwaardige openbare vervoersnetwerk naar het noorden van Brussel*, geraadpleegd in augustus 2020.

De overgang van de enkele buisvariant naar de dubbele buisvariant brengt een verhoging van de investeringskosten met zich mee van circa 332 M€, wat voornamelijk veroorzaakt wordt door de verhoging van de kosten van perceel 3: civiele bouwkundige werken van de stations (+323M€). Uit de analyse van Perceel 3 blijkt dat deze verhoging van de investeringskosten voornamelijk verband houdt met:

- De werkzaamheden in bevroren zone: De investeringskosten lopen op met 178 M€ (+130%), wat voornamelijk verklaard wordt door de toevoeging van de verbindingkunstwerken
- De ruwbouw van de stations (hoofdbouw): De investeringskosten lopen op met 72 M€ (+36%), wat voornamelijk verklaard wordt door de uitvoering van het nieuwe aansluitkunstwerk tussen de schacht P5 en Liedts
- De werkzaamheden met de tunnelboormachine (waaronder de verbindingen): 60M€ (+50%) duurder dan de enkele buisvariant in verband met nagenoeg de verdubbeling van het tracé van de tunnel, ondanks de vermindering van het deel P5-Liedts.

Men kan desalniettemin opmerken dat als men de meerkosten aftrekt in verband met de vertakkingskunstwerken (vertakkingskunstwerken en tussenverbindingen) Perceel 3 van de dubbele buisvariant duurder blijft.

De totale meerkosten van de dubbele buisvariant, zonder rekening te houden met de vertakkingskunstwerken, bedragen derhalve **194M€**.

Betreffende percelen	Enkele buis	Dubbele buis	(Absolute) verhoging	(Relatieve) verhoging
Perceel 3: Tunnel, Stations, Schacht P0 met vertakkingskunstwerken	535.046.008 €	858.957.150 €	323.911.142 €	+61%
Vertakkingskunstwerken Verboekhoven	-	- 24.800.000 €		
Vertakkingskunstwerken Linde	-	- 30.800.000 €		
Vertakkingskunstwerken Bordet	-	- 71.000.000 €		
Tussenverbindingen	-	- 11.000.000 €		
Perceel 3: Tunnel, Stations, Schacht P0 zonder vertakkingskunstwerken	535.046.008 €	721.357.150 €	186.311.142 €	+35%

Tabel 66: Kosten perceel 3 zonder de vertakkingskunstwerken (ARIES op basis van de gegevens van BMN, 2020)

6.3.1.2. Vergelijking van de totale investeringskosten enkele buisvariant-dubbele buisvariant

De begroting van de investeringskosten van de dubbele buisvariant bedraagt 1.267 M€. Ter herinnering, de investeringskosten voor de enkele buisvariant werden begroot op 936 M€. De dubbele buisvariant resulteert derhalve in een verhoging van de **totale investeringskosten van 35%**.

Op de onderstaande Figuur worden de details van de directe en indirecte kosten voor de dubbele buisvariant en de enkele buisvariant voor alle percelen aangegeven.

MONOTUBE T6a et T6b - 02/2020 NIV PU 2015		ratio vers bitube	BITUBE T6a et T6b - 03/2020 - NIV PU 2015		delta	
COUTS DIRECTS ET INDIRECTS € 935.763.824			€ 1.267.383.017	331.619.193 €		35%
Travaux préparatoires	18.319.593 €	1	18.319.593 €			
Concessionnaires	11.836.498 €		11.836.498 €			
Démolition Medical Center	466.615 €		466.615 €			
Dépôt	1.374.000 €	1	1.374.000 €			
Lots	904.339.651 €	1,37	1.234.707.874 €	330.368.223 €		37%
Lot 1 GDN/P5/P6	41.259.839 €	1	41.259.839 €			
Lot 3 TSP0	535.046.008 €	1,61	858.957.150 €	323.911.142 €		61%
Lot 2 Dépôt	76.290.977 €	1	76.290.977 €			
Lot 4 Parach et TS	131.630.519 €	1,03	135.996.828 €	4.366.309 €		3%
Lot 4 Parachèvements	65.743.840 €	0,83	54.740.029 €	11.003.811 €		-17%
Lot 4 Techniques spéciales	65.886.679 €	1,23	81.256.799 €	15.370.120 €		23%
Lot 5 Mécanisation des accès	32.669.000 €	0,78	25.519.038 €	7.149.962 €		-22%
Lot 6 Voies	21.352.129 €	1,02	21.723.830 €	371.700 €		2%
Lot 7 Marché 11kV et 900V	12.179.380 €	1	12.179.380 €			
Lot 8 Télécom	5.657.800 €	1,44	8.156.833 €	2.499.033 €		44%
Lot 9 Systèmes stations	2.786.000 €	1	2.786.000 €			
Lot 10 SCADA Energie	800.000 €	1	800.000 €			
Lot 11 Billetique	4.243.000 €	1	4.243.000 €			
Lot 12 Contrôle d'accès	400.000 €	1	400.000 €			
Lot 13 VMS	2.410.000 €	1	2.410.000 €			
Lot 14 Call Manager	Compris lot 9	1	Compris lot 9			
Lot 15 SIG	20.500.000 €	1,31	26.870.000 €	6.370.000 €		31%
Lot 16 SCADA Equipements stations	735.000 €	1	735.000 €			
Lot 17 Façades de quai	16.380.000 €	1	16.380.000 €			
Lot 18 Publicité	- €	1	- €			
Lot 19 Portillons Sésame	Compris lot 11	1	Compris lot 11			
Lot 20 SPIDER	- €	1	- €			
Marché Aménagement de surface	13.104.580 €	1,095	14.355.550 €	1.250.970 €		10%

Tabel 67: Begrotingen van de investeringskosten van de enkele buisvariant-dubbele buisvariant voor alle percelen (BMN, 2020)

6.3.2. Planning van de werkzaamheden

Voor het gehele kunstwerk van de metro, uitgaande van dezelfde begindatum als van de enkele buisvariant, dat wil zeggen juli 2022, zal de overgang van de enkele buisvariant naar de dubbele buisvariant een terbeschikkingstelling aan de MIVB van het kunstwerk in juli 2032 tot gevolg hebben in plaats van juli 2030, dat wil zeggen een verlenging van de werkzaamheden van 2 jaar. Dit is voornamelijk het gevolg van de tussenverbindingen, het kunstwerk P5 Liedts en de verbindingkunstwerken.

Meer specifiek, **voor de stations**, resulteert de dubbele buisvariant in een verlenging van de civiele bouwkundige fasen met 2 tot 3 maanden bij alle stations. De enige uitzondering is station Liedts waarvan de duur van de civiele bouwkundige werken toeneemt met 18 maanden.

Station	Impact van de dubbele buisvariant op de duur van de civiele bouwkundige werken
Bordet	+3 maanden
Vrede	+3 maanden
Linde	+2 maanden
Riga	+2 maanden
Verboekhoven	+3 maanden
Colignon	+3 maanden
Liedts	+18 maanden

Tabel 68: Verlenging van de duur van de civiele bouwkundige werken door de overgang van de enkele buisvariant naar de dubbele buisvariant (BMN, 2020)

6.3.3. Impact op de grond

Wat betreft de grond zullen de onteigeningskosten hoger uitvallen bij de dubbele buisvariant dan bij de enkele buisvariant. Dit vanwege:

- De grotere nabijheid van het kunstwerk ten opzichte van het maaiveld (het alternatief ligt 4 tot 5 m minder diep);
- De grotere breedte van de stations
- De bouw van twee tunnels, wat leidt tot meer percelen die beïnvloed worden.

6.3.3.1. Conclusies

De effecten van het project van de dubbele buisvariant (ten opzichte van de enkele buisvariant) op sociaal-economisch vlak zijn de volgende:

- Investeringskosten in totaal ter hoogte van 1.267 M€.** Zonder rekening te houden met de vertakkingskunstwerken, bedragen deze kosten 1.130 M€. **In vergelijking met de enkele buisvariant:**
 - Verhoging van de totale investeringskosten met 332 M€ (+35%).

- 6 percelen die beïnvloed worden waaronder voornamelijk perceel 3 (verhoging van de kosten met +323 M€).
- Zonder rekening te houden met de vertakkingskunstwerken van perceel 3, verhoging van de totale investeringskosten met 194 M€ (+21%).
- **Wat betreft de planning van de werkzaamheden**, werkzaamheden gedurende **10 jaar van 2022 tot 2032. In vergelijking met de enkele buisvariant:**
 - Verlenging van de werkzaamheden met 2 jaar;
 - Verlenging van de duur van de werkzaamheden voor de stations.
- Hogere onteigeningskosten dan voor de enkele buisvariant.

6.4. Bodem, ondergrond en grondwater

6.4.1. Grondwater

6.4.1.1. Algemeen – Situatie tijdens de exploitatie

De uitvoering van de dubbele buisvariant (DB) in vergelijking met de enkele buisvariant (EB) zou de volgende kwalitatieve effecten met zich meebrengen:

Wat betreft de tunnels (secties):

- Lichte vermindering van de diepte van de kunstwerken: Q ↘
- Lichte vermindering van de diepte van de grondwaterverlaging tijdens de exploitatie: Q ↘
- Vermindering van de diameter van de tunnels: Q ↘
- Verdubbeling van het aantal tunnels: Q ↗
- Creatie van extra vertakkingsombouwblokken waarin het niveau tijdens de exploitatie verlaagd moet worden (integratie van de 2 tunnels en de gecreëerde tussenruimte tussen deze in één ruimte): Q ↗

De uitvoering van de tunnels wordt uitgevoerd door een tunnelboormachine zonder mantelwand, ongeacht of het de enkele buisvariant of de dubbele buisvariant betreft.

De uitvoering van de aftakkingszones vindt plaats zonder mantelwand op een tijdelijke tijdens de werf vanuit elke tunnel gecreëerde vloer en een bevroren gewelf.

De bevroren vloer verankert zich niet in de aquitard en laat dus een passage vrij van het water tussen de basis van de tunnel en de aquitard. Na de werf en stopzetting van de bevroering blijft het water stromen onder de vloer van de vertakkingszone en boven het dak daarvan.

Buiten de vertakkingszone kan het grondwater grotendeels onder en boven de tunnel stromen. Het ingangsdebiet in de tunnel hangt af van de mate van doorlaatbaarheid van de bekleding daarvan (segment, ingespoten zone, ...) en de hydraulische druk. Dit geldt zowel voor de enkele buisvariant als voor de dubbele buisvariant.

Wat betreft de stations:

- Lichte vermindering van de diepte van het bodemstortebed: Q ↘
- Lichte vermindering van de diepte van de grondwaterverlaging tijdens de exploitatie: Q ↘
- Verbreding van de stations en verhoging van het oppervlak en de perimeter van het te verlagen grondwater tijdens de exploitatie: Q ↗

De uitvoering vindt voor de twee scenario's plaats met op dezelfde diepte verankerde mantelwanden in een van de aquitards van de formatie Saint Maur. Alleen de perimeter van de ombouw wordt vergroot in het kader van de dubbel buisvariant vanwege de verbreding van het ingenomen terreinoppervlak van de stations.

De pijlen hierboven geven de verwachte **kwalitatieve impact** op de te bemalen debieten aan in geval van de dubbele buisvariant in vergelijking met de enkele buisvariant.

Op de onderstaande tabel wordt de verhouding van de oppervlakken van hoofdbouwblokken volgens beide oplossingen aangegeven:

Kunstwerk Schacht P0 + Helling	Schicht P0							
	LIEDTS	COLIGNON	VBH	RIGA	TILLEUL	PAIX	BORDET	
BITUBE [m ²]	5680	1631	2371	2590	4006	3125	1690	3575
MONOTUBE [m ²]	4860	1631	2117	2609	3310	2713	1768	3230
RATIO	1,17	1,00	1,12	0,99	1,21	1,15	0,96	1,11

Tabel 69: Oppervlakteverhouding - vergelijking dubbele buis / enkele buis

Bij benadering werd een kwantitatieve vergelijking gemaakt om de netto impact van de dubbele buisvariant te vergelijken met de enkele buisvariant op de te bemalen debieten tijdens de exploitatie.

Het is uit de vorige secties gebleken dat de evenwichtssituatie tijdens de exploitatie (dat wil zeggen na de bouw) de grootste impact met zich meebrengt wat betreft af te voeren debiet in vergelijking met de situatie tijdens de verschillende bouwfasen. Hiervoor is de situatie verzacht ten opzichte van de eindsituatie tijdens de exploitatie.

De hierna uiteengezette vergelijking is gebaseerd op een vergelijking van het scenario met een buis volgens de hypothesen van modellering V1 van Artesia, dat de neiging had de af te voeren debieten en de perifere effecten te maximaliseren (met name door de hypothetisch hoogste doorlaatbaarheidswaardejn van de mantelwanden en de verankeringshorizon van Saint-Maur in aanmerking te nemen).

De kwantitatieve benadering wordt hierna uiteengezet voor de stations en de secties van de tunnel. Vervolgens wordt het globale effect aangegeven.

6.4.1.2. Impact van de dubbele buisvariant op de exploitatiedebieten in de stations

Er werden proportionaliteitsfactoren beoordeeld per station op basis van de verwachte wijzigingen van de geometrie van de dubbele buisvariant ten opzichte van de enkele buisvariant. Deze gecumuleerde proportionaliteitsfactoren maken het mogelijk om de te verwachten debieten te extrapoleren voor de dubbele buisvariant en de netto impact van het

bestudeerde alternatief. De benadering werd uitgevoerd op basis van de resultaten van de modellering Artesia V1 als referentiescenario.

De berekende proportionaliteitsfactoren zijn de volgende:

- Vermindering van het specifieke doorgangsdebiet door de wand op basis van het statische buitenniveau en het verhoogde bemaalde binnenniveau bij permanent regime, rekening houdend met een doorlaatbaarheid van de wand van 1.10^{-8} m/s (maximalistische benadering);
- Verhoging van de wandperimeter die bijdraagt aan het doorgangsdebiet via de wand;
- Verhoging van het bodemdebiet van de ombouw door de vergroting van het ingenomen terreinoppervlak van elk station.

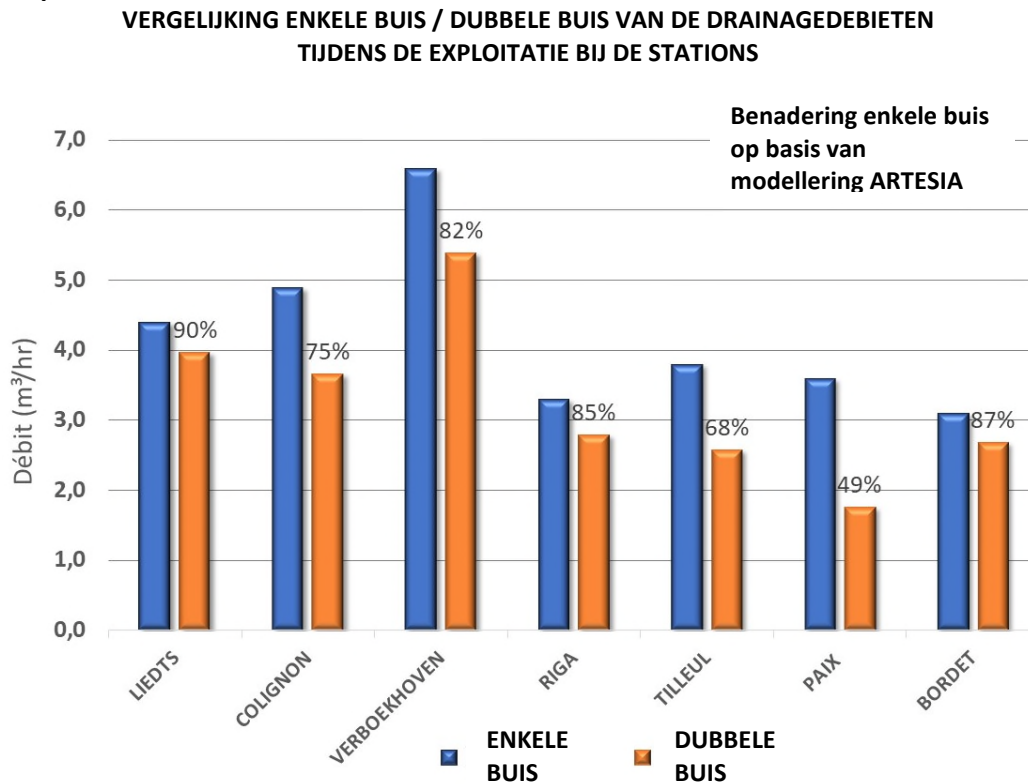
Hieronder wordt de berekeningstabel aangegeven (behalve station Brussel-Noord/P5 en stelplaats).

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebuis

		LIEDTS	COLIGNON	VERBOEKH OVEN	RIGA	TILLEUL	PAIX	BORDET	TOTAL	Source
Geometrische gegevens										
Maaiveld	m DNG	24,5	33,8	28	42	44,5	45	48,5		BMN
Initieel statisch niveau	m DNG	21,13	24,03	23,5	29,94	35,95	29,94	48		BMN
Niveau onder stortebed hoog	m DNG	-0,1	5,3	1,93	14,1	12,89	18,65	25,4		BMN
Niveau onder stortebed laag	m DNG	-4,13	2,82	0,55	11,52	10,94	16,07	25,4		BMN
Top horizon verankering (St. Maur)	m DNG	-10	-11	-12,8	0	-15	-12	3		BMN
Niveau basis muren	m DNG	-12,5	-15	-15,5	-4,4	-17	-13	-1		BMN
Aangekondigd niveau verlaging (enkele buis)	m DNG	-0,75	0,4	-3,45	10,4	13,5	15	20,7		BMN
Stortebed tunnel enkele buis	m DNG	-3,6	2,5	-2	13	12	16	24,4		BMN, bitube
Stortebed tunnel dubbele buis	m DNG	-1	9	3	19	19	23	27		BMN, bitube
Delta op stortebed tunnel	m	2,6	6,5	5,0	6,0	7,0	7,0	2,6		BMN, bitube
Niveau verlaging enkele buis + delta	m DNG	1,9	6,9	1,6	16,4	20,5	22,0	23,3		
In aanmerking genomen niveau verlaging enkele buis	m DNG	-4,13	0,4	-3,45	10,4	10,94	15	20,7		
In aanmerking genomen niveau verlaging dubbele buis	m DNG	-1,5	6,9	1,6	16,4	17,9	22,0	23,3		
Natte hoogtes / basis van de muren										
H1 enkele buis	m	33,6	39,0	39,0	34,3	53,0	42,9	49,0		
H2 enkele buis	m	8,4	15,4	12,1	14,8	27,9	28,0	21,7		
H1 dubbele buis	m	33,6	39,0	39,0	34,3	53,0	42,9	49,0		
H2 dubbele buis	m	11,0	21,9	17,1	20,8	34,9	35,0	24,3		
Berekeningsgegevens van het debiet										
Debiet verlaging enkele buis	m ³ /h	4,4	4,9	6,6	3,3	3,8	3,6	3,1		ARTESIA
	m ³ /j	106	118	158	79	91	86	74		ARTESIA
Debiet wand	m ³ /h	4,2	4,7	6,4	2,6	3,1	2,7	2,4		ARTESIA
Debiet bodem	m ³ /h	0,2	0,2	0,2	0,8	0,6	0,9	0,7		ARTESIA
Oppervlakte van de hoofdbehuizingen (A)										
Enkele buis	m ²	1631	2117	2609	3310	2713	1768	3230		BMN
Dubbele buis	m ²	1631	2371	2590	4006	3125	1690	3575		BMN
Ratio dubbele buis / enkele buis		1,00	1,12	0,99	1,21	1,15	0,96	1,11		BMN
Equivalentente straal (Re)										
Enkele buis	m	22,79	25,96	28,82	32,46	29,39	23,72	32,06		
Dubbele buis	m	22,79	27,47	28,71	35,71	31,54	23,19	33,73		
Ratio dubbele buis / enkele buis		1,00	1,06	1,00	1,10	1,07	0,98	1,05		
Equivalentente perimeter (op basis van een equivalente cirkel) valent)										
Enkele buis	m	143	163	181	204	185	149	201		
Dubbele buis	m	143	173	180	224	198	146	212		
Ratio dubbele buis / enkele buis		1,00	1,06	1,00	1,10	1,07	0,98	1,05		
Equivalentente perimeter (op basis van een equivalent vierkant) valent)										
Enkele buis	m	161,54	184,04	204,31	230,13	208,35	168,19	227,33		
Dubbele buis	m	161,54	194,77	203,57	253,17	223,61	164,44	239,17		
Ratio dubbele buis / enkele buis		1,00	1,06	1,00	1,10	1,07	0,98	1,05		
Berekening van de proportionaliteitsfactor										
Op het debiet van de wand										
Op de perimeter (doorgetrokken)		1,00	1,06	1,00	1,10	1,07	0,98	1,05		
Op het specifieke debiet		0,90	0,69	0,82	0,64	0,57	0,34	0,76		
Globale factor debiet wand		0,90	0,73	0,81	0,71	0,61	0,33	0,80		
Factor bodem behuizing		1,00	1,12	0,99	1,21	1,15	0,96	1,11		
Vergelijking van de debieten										
Debiet wand enkele buis	m ³ /h	4,2	4,7	6,4	2,6	3,1	2,7	2,4	26,1	
Debiet bodem enkele buis	m ³ /h	0,2	0,2	0,2	0,8	0,6	0,9	0,7	3,6	
Globaal debiet enkele buis	m ³ /h	4,4	4,9	6,6	3,3	3,8	3,6	3,1	29,7	
Debiet wand dubbele buis	m ³ /h	3,8	3,4	5,2	1,8	1,9	0,9	1,9	19,0	
Debiet bodem dubbele buis	m ³ /h	0,2	0,2	0,2	1,0	0,7	0,9	0,8	3,9	
Globaal debiet dubbele buis	m ³ /h	4,0	3,7	5,4	2,8	2,6	1,8	2,7	22,9	
Ratio Q dubbele buis / Q enkele buis		90%	75%	82%	85%	68%	49%	87%		

Tabel 70: Berekeningstabel van de vergeleken debieten (EB / DB) bij de stations
(Tractebel, 2020)

De resultaten van de berekening worden samengevat op de onderstaande Figuur (uitgedrukt in m³/hr).



Figuur 207: Vergelijking van de draineringsdebieten (EB / DB) tijdens exploitatie in het station (Tractebel, 2020)

Uit deze benadering blijkt dat de dubbele buisvariant een verlaging met zich mee kan brengen van het draineringsdebiet van 49 tot 90% naargelang de betreffende stations. De variabiliteit hangt af van de statische niveaus en de verschillende verlagingen, evenals de afwijkende geometrische omstandigheden van elk station.

Globaal kan voor de 7 betreffende stations (exclusief station Brussel-Noord/P5 en stelplaats) het **totale draineringsdebiet tijdens de exploitatie verminderen van 29,7 m³/u bij de enkele buisvariant tot 22,9 m³/u bij de dubbele buisvariant, dat wil zeggen 77% van de basisoplossing.**

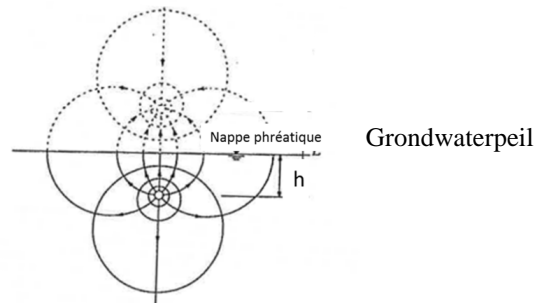
Gelet op de verwachte vermindering van de debieten, kan aangenomen worden dat de verwachte perifere impact zoals beschreven in de sectie Deel 2:6.4.4.1.B, en ondanks dat deze niet onaanvaardbaar zijn, ook aanzienlijk vermindert.

6.4.1.3. Impact van de dubbele buisvariant op de exploitatiedebieten van de tunnelsecties

De benadering werd uitgevoerd door een schatting, door analytische berekening, van het draineringsdebiet van een ondergedompelde galerij in een watervoerende laag. In eerste instantie werd het debiet berekend voor de enkele buisvariant in het kader van een niet beklede galerij op een bepaalde diepte ten opzichte van het piëzometrische oppervlak.

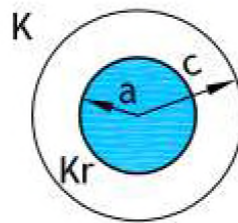
De factoren die een rol spelen in de berekening zijn de doorlaatbaarheid van de omringende grond, de geometrie van de galerij, evenals het verschil in hydraulische druk die opgelegd

wordt door de verlaging. Het verlagingniveau komt overeen met het stortebed van de tunnel. De berekening werd gedaan per sectie tussen de stations op basis van de berekende gemiddelde niveaus aan de uiteinden van elke sectie (statistische niveaus, niveaus van de bodemstortebedden, verlagingniveaus).



Figuur 208: Principeconfiguratie van de analytische berekening (Tractebel, 2020)

In tweede instantie werd een debietverminderingfactor in aanmerking genomen om rekening te houden met de ondoorlaatbare bekleding van de galerijen (samenstel van segment / ingespoten zone). Deze verminderingfactor (weerstandsfactor) hangt af van de dikte van de bekleding en de doorlaatbaarheid (K_r) daarvan.



Figuur 209: Principeschema van een galerij met een straal a en een bekleding tot het buitenwelfvlak met straal c (Tractebel, 2020)

De doorlaatbaarheid van de bekleding (tunnelwanden) is die welke weerhouden werd in de Artesiastudie, dat wil zeggen $7,5 \cdot 10^{-11}$ m/s.

De analytisch berekende specifieke debietwaarden voor de enkele buisvariant werden vergeleken met die van de digitale modellering en zijn van dezelfde orde van grootte, zodat de methode bevestigd kon worden.

In tweede instantie werd dezelfde techniek toegepast met de geometrische gegevens van de dubbele buisvariant (vermindering van de diameter, dikte van de bekleding, verhoogd verlagingniveau en dubbele galerij) De doorlaatbaarheid van de tunnelwanden werd beschouwd als dezelfde als die van de enkele buisvariant, dat wil zeggen $7,5 \cdot 10^{-11}$ m/s.

Hieruit kon een schatting gemaakt worden van de specifieke debieten van elke sectie en een schatting van het globale debiet daarvan op basis van hun lengte.

Bij de berekende debieten van de secties werd een schatting van de te draineren debieten in de vertakkingszones opgeteld, bestaande uit 2 tunnels en de tussenzone als een doorlopende ruimte. De berekening werd overeenkomstig uitgevoerd uitgaande van één equivalente galerij van dezelfde dwarsdoorsnede als de dwarsdoorsnede van de vertakkingszone. De dikte en de doorlaatbaarheid van de bekleding werden als dezelfde beschouwd als die van de galerijen.

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebuis

Door de optelling van de debieten van de tunnelsecties en de vertakkingszones kon het globale draineringsdebiet van elke sectie tijdens de exploitatie berekend worden. De berekeningstabellen worden hieronder aangegeven.

Sectie		GARE DU NORD / LIEDTS	LIEDTS / COLIGN ON	COLIGN ON / VERBOE KHOVEN	VERBOE KHOVEN / RIGA	RIGA / TILLEUL	TILLEUL / PAIX	PAIX / BORDET	BORDET / DEPOT	Total
		LDT		VBK		TIL		BOR	BOR	
Vertakkingskunstwerken										
Geometrische gegevens	m	194	509	464	433	600	327	627	617	3771
Totale lengte van de sectie	m	194	0	125	0	140	0	130	130	719
Lengte van de behuizing van de vertakking	m	0	509	339	433	460	327	497	487	3052
Lengte buiten de behuizing	m DNG	21,25	28,75	30,5	35	43,25	44,75	46,75	43,25	
Gemiddeld niveau maaiveld	m DNG	19	22,5	23,75	26,75	33	33	39	43	
Gemiddeld niveau grondwater										
Enkele buis										
Gemiddeld niveau stortebed	m DNG	-5,08	-0,54	0,25	5,5	12,5	14	20,21	21,21	
Buitendiameter	m	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	
Binnendiameter	m	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	
Dikte bekleding	m	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
Beoogd niveau verlaging	m DNG	-5,58	-1,04	-0,25	5	12	13,5	19,71	20,71	
Straal extrados – c	m	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	
Straal intrados – a	m	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45	
Dubbele buis										
Gemiddeld niveau stortebed	m DNG	-2,53	3,97	5,97	10,97	18,97	20,97	24,97	24,97	
Buitendiameter	m	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	
Binnendiameter	m	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	
Dikte bekleding	m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Beoogd niveau verlaging	m DNG	-3,03	3,47	5,47	10,47	18,47	20,47	24,47	24,47	
Straal extrados – c	m	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	
Straal intrados – a	m	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	
Tussenafstand tunnel	m	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	
waaronder vertakkingzones	m	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	
Dwarsdoorsnede										
Equivalentente straal extrados – c	m ²	109		109		109		109	109	
Equivalentente straal extrados – a	m	5,9		5,9		5,9		5,9	5,9	
Geologische gegevens										
Equiv. doorlaatbaarheid van het nevengeesteente	m	5,4		5,4		5,4		5,4	5,4	
Doorlaatbaarheid van de bekleding										
	m/s	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	5,0E-06	6,0E-05	6,0E-05	
	m/s	8,0E-11	8,0E-11	8,0E-11	8,0E-11	8,0E-11	8,0E-11	8,0E-11	8,0E-11	

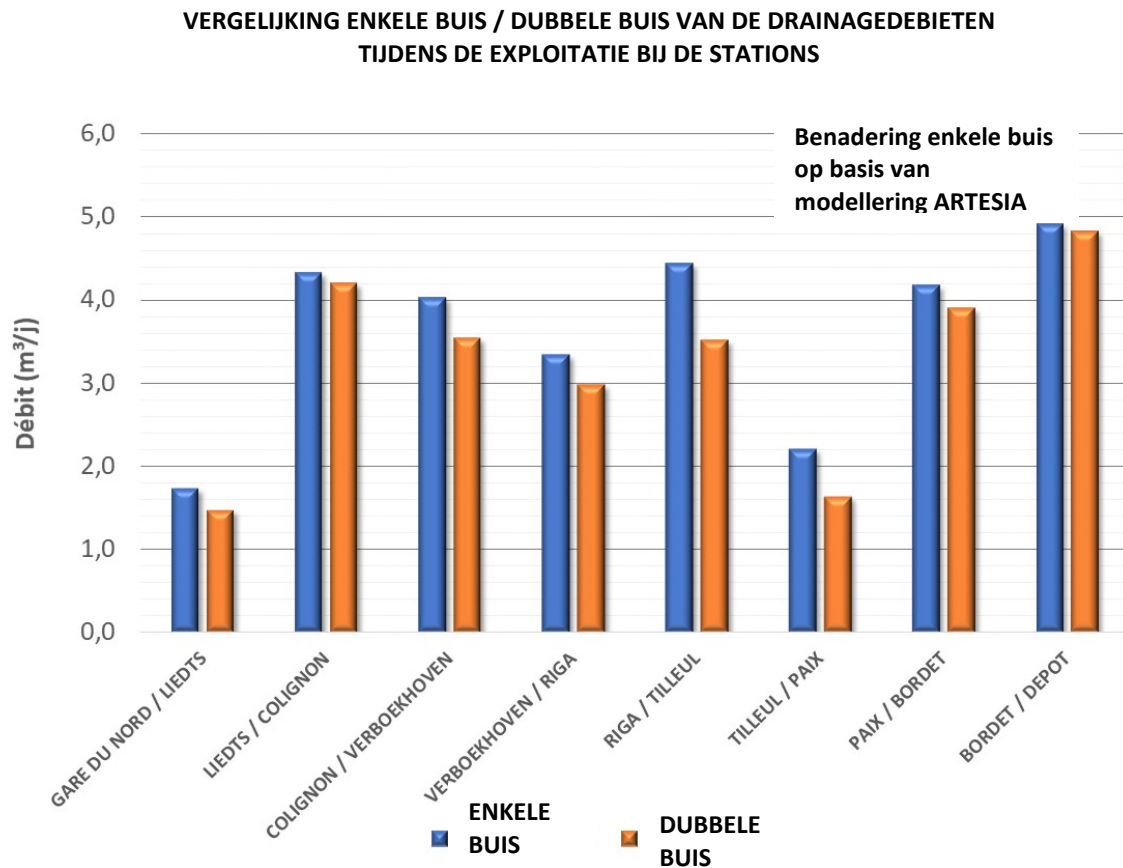
! van de vergeleken debieten (EB / DB) bij de tunnelsecties - in beschouwing genomen invoergegevens

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebuisc

Sectie		GARE DU NORD / LIEDTS	LIEDTS / COLIGN ON	COLIGN ON / VERBOE KHOVEN	VERBOE KHOVEN / RIGA	RIGA / TILLEUL	TILLEUL / PAIX	PAIX / BORDET	BORDET / DEPOT	Total
		LDT		VBK		TIL		BOR	BOR	
Schatting van het drainagegebied van de tunnelse										
Enkele buis										
Verschil hydraulische belasting – h										
Spec. debiet zonder bekleding -q										
	m	24,08	23,04	23,50	21,25	20,50	19,00	18,79	21,79	
	m ³ /s.m	3,3E-04	3,2E-04	3,3E-04	3,1E-04	3,0E-04	2,9E-04	3,5E-03	3,7E-03	
Weerstandsfactor door de bekleding										
Spec. debiet met bekleding -qr										
		3187	3273	3234	3442	3523	3707	44818	40639	
	m ³ /s.m	1,0E-07	9,8E-08	1,0E-07	8,9E-08	8,6E-08	7,8E-08	7,7E-08	9,2E-08	
Controle resultaat modellering V1										
Totaal debiet van de secties EB										
	l/hr.km	372	354	362	322	308	282	278	331	
	l/hr.km	382	345	300	303	282	254	251	258	
	m ³ /h	0,07	0,18	0,17	0,14	0,18	0,09	0,17	0,20	1,22
	m ³ /j	1,7	4,3	4,0	3,3	4,4	2,2	4,2	4,9	29,2
Dubbele buis										
Exclusief vertakkingskunstwerken										
Verschil hydraulische belasting – h										
Spec. debiet zonder bekleding -q 1 buis										
	m	21,53	18,53	17,78	15,78	14,03	12,03	14,03	18,03	
	m ³ /s.m	2,7E-04	2,5E-04	2,4E-04	2,3E-04	2,1E-04	2,0E-04	2,6E-03	2,9E-03	
Weerstandsfactor door de bekleding										
Spec. debiet met bekleding -qr 1 buis										
		4823	5228	5352	5744	6191	6893	74282	63699	
	m ³ /s.m	5,7E-08	4,8E-08	4,6E-08	4,0E-08	3,5E-08	2,9E-08	3,5E-08	4,6E-08	
Spec. debiet met bekleding – qr 2 buizen										
	l/hr.km	203	172	164	143	125	104	125	167	
	m ³ /s.m	1,1E-07	9,6E-08	9,1E-08	8,0E-08	6,9E-08	5,8E-08	6,9E-08	9,3E-08	
Vertakkingskunstwerken										
Niveau stortebed vertakking										
		LDT		VBK		TIL		BOR	BOR	
Initieel statisch niveau										
Verschil hydraulische belasting – h										
Spec. debiet zonder bekleding										
	m	22,16		20,53		16,98		21,03	21,03	
	m ³ /s.m	3,4E-04		3,3E-04		3,0E-04		4,0E-03	4,0E-03	
Weerstandsfactor door de bekleding										
Spec. debiet met bekleding										
		3924		4148		4833		48885	48885	
	m ³ /s.m	8,8E-08		8,0E-08		6,3E-08		8,2E-08	8,2E-08	
	l/hr.km	316		288		227		297	297	
	m ³ /h	0,00	0,18	0,11	0,12	0,11	0,07	0,12	0,16	0,88
	m ³ /h	0,06	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,04	0,04	0,21
Totaal debiet van de secties DB										
Totaal debiet exclusief vertakking										
Totaal debiet vertakkingskunstwerken										
Totaal debiet van de sectie										
	m ³ /j	0,0	4,2	2,7	3,0	2,8	1,6	3,0	3,9	21,1
Totaal debiet exclusief vertakking										
	m ³ /j	1,5	0,0	0,9	0,0	0,8	0,0	0,9	0,9	5,0
Totaal debiet vertakkingskunstwerken										
	m ³ /j	1,5	4,2	3,5	3,0	3,5	1,6	3,9	4,8	26,1

Tabel 72: Berekeningstabel van de vergeleken debieten (EB / DB) bij de tunnelsecties - schatting van de debieten

De resultaten worden vergeleken op de onderstaande Figuur (deze keer uitgedrukt in m³/d).



Figuur 210: Vergelijking van de draineringsdebeten (EB / DB) tijdens exploitatie voor de tunnelsecties (Tractebel, 2020)

Men stelt vast dat voor de tunnelsecties de dubbele buisvariant iets lagere draineringsdebeten oplevert dan die van de enkele buisvariant, maar de orde van grootte volgens de twee scenario's zijn gelijkwaardig en het verschil tussen de twee oplossingen is niet significant.

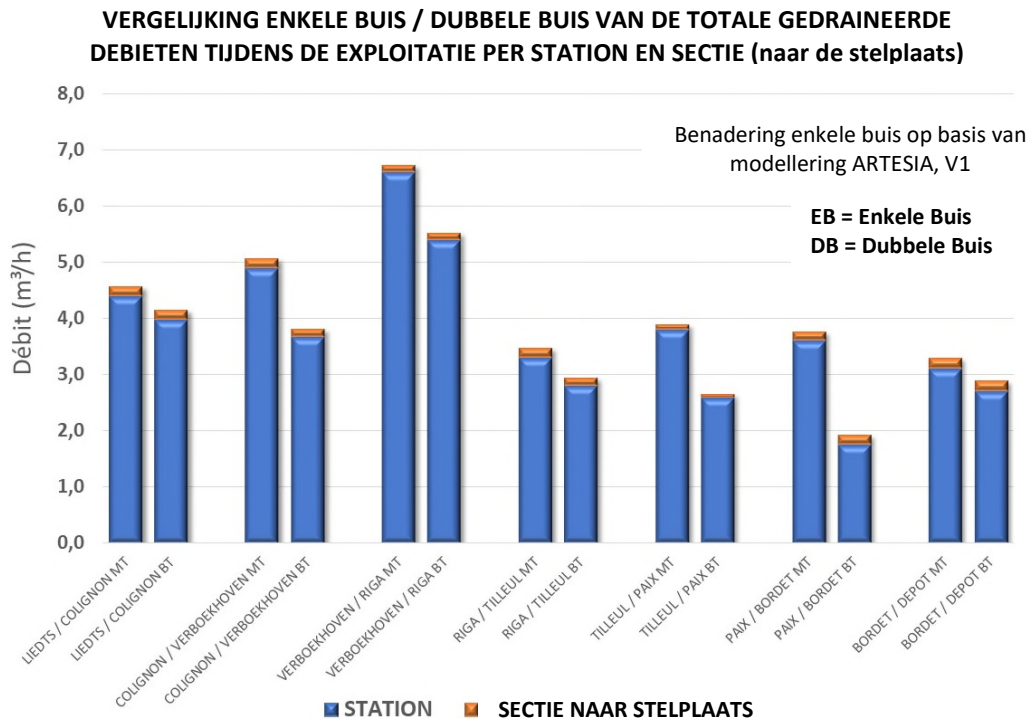
Men verkrijgt een totaal draineringsdebiet van alle secties van 1,22 m³/u of 29 m³/d bij de enkele buisvariant en van 1,1 m³/u of 26 m³/d bij de dubbele buisvariant.

Dit is met name het gevolg van de weerhouden zeer hoge waterdichtheid van de tunnelwanden bij beide configuraties en omdat beide oplossingen een groot deel van het grondwaterdebiet onder en boven de tunnels doorlaten. Uit de voorgaande benaderingen was al gebleken dat bij typescenario V1 de impact van de secties reeds veel minder was dan die van de stations. De keuze tussen de enkele of de dubbele buisvariant maakt wat dit betreft geen verschil.

6.4.1.4. Impact van de dubbele buisvariant op de totale exploitatiedebieten van de inrichting

Op de volgende Figuur wordt een vergelijking getoond van de totale debieten van de stations en de tunnelsecties tezamen (de op de Figuur getoond sectie komt vanaf elk station overeen met die welke naar de stelplaats loopt).

Volgens de hier in aanmerking genomen hypothesen bedraagt het globale debiet van de 7 stations (exclusief station Brussel-Noord en stelplaats) en de tunnelsecties 29,7 m³/u bij de enkele buisvariant en 22,9 m³/u bij de dubbele buisvariant, ofwel een vermindering van 77%.



Figuur 211: Vergelijking van de totale draineringsdebieten (EB/DB) tijdens de exploitatie (Tractebel, 2020)

Overigens blijkt uit deze grafiek dat bij de twee configuraties het vooral het draineringsdebiet van de stations is die een impact heeft op het globale debiet en de vermindering in geval van keuze van een dubbele buisvariant onder de condities van modellering V1.

Zoals vermeld in de voorgaande delen merkt men op dat bij werkelijke operationele condities, het debiet van de stations lager kan uitvallen ten opzichte van deze schatting, omdat de hier in aanmerking genomen doorlaatbaarheidscondities de meest kritieke zijn ($K: 1.10^{-8}$ m/s bij scenario V1 in plaats van 1.10^{-11} m/s bij scenario V2).

Tot besluit kan gesteld worden dat een dubbele buisvariant eerder leidt tot een vermindering van de af te voeren debieten en de perifere impact dan bij een enkele buisvariant.

6.4.1.5. Situatie tijdens de bouwfase

Zoals gebleken is bij de enkele buisvariant, heeft de situatie wat betreft het af te voeren debiet de grootste impact tijdens de definitieve situatie in vergelijking tot de bouwsituatie, met name door de organisatie van de geleidelijke verlaging door bemaling van de bouwput in de stations. Deze vaststelling blijft hetzelfde voor de hier beoogde dubbele buisvariant.

Deze dubbele buisvariant brengt derhalve voor deze bouwfasen geen grotere impact met zich mee dan die welke vastgesteld werd voor de enkele buisvariant voor wat betreft de verlaging van de grondwaterspiegel. De merkbare verschillen zijn voornamelijk een mogelijke vermindering van de af te voeren debieten en mogelijk een andere spreiding van de stappen naargelang de planning van de werf.

6.4.2. Verzakkingen

6.4.2.1. De tunnels

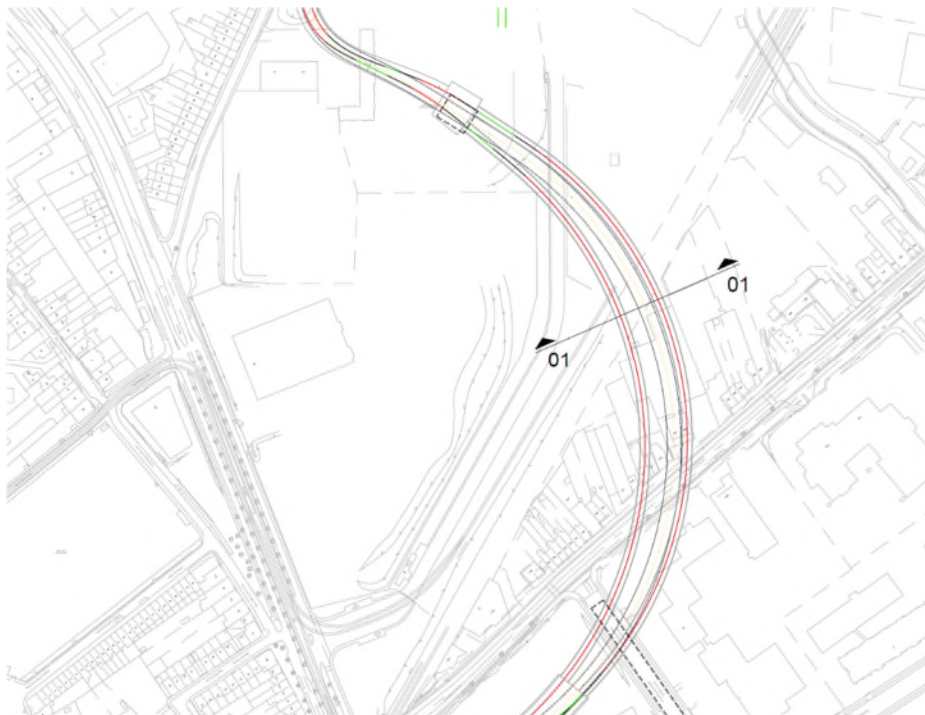
De beoordeling van de impact van het graven door de 2 tunnelboormachines, evenals de schatting van de verzakkingen langs het tracé wordt uitgevoerd volgens dezelfde methoden als die voor de enkele buisvariant.

De Peck-berekeningen werden uitgevoerd op 5 gevoelige punten. De onderstaande resultaten tonen:

- De diepte van de tunnels bij de gevoelige punten (voor de enkele buisvariant en de dubbele buisvariant);
- De onderlinge afstand tussen de 2 tunnels bij de dubbele buisvariant;
- De absolute verzakkingswaarden recht op de tunnels (voor de 2 varianten).

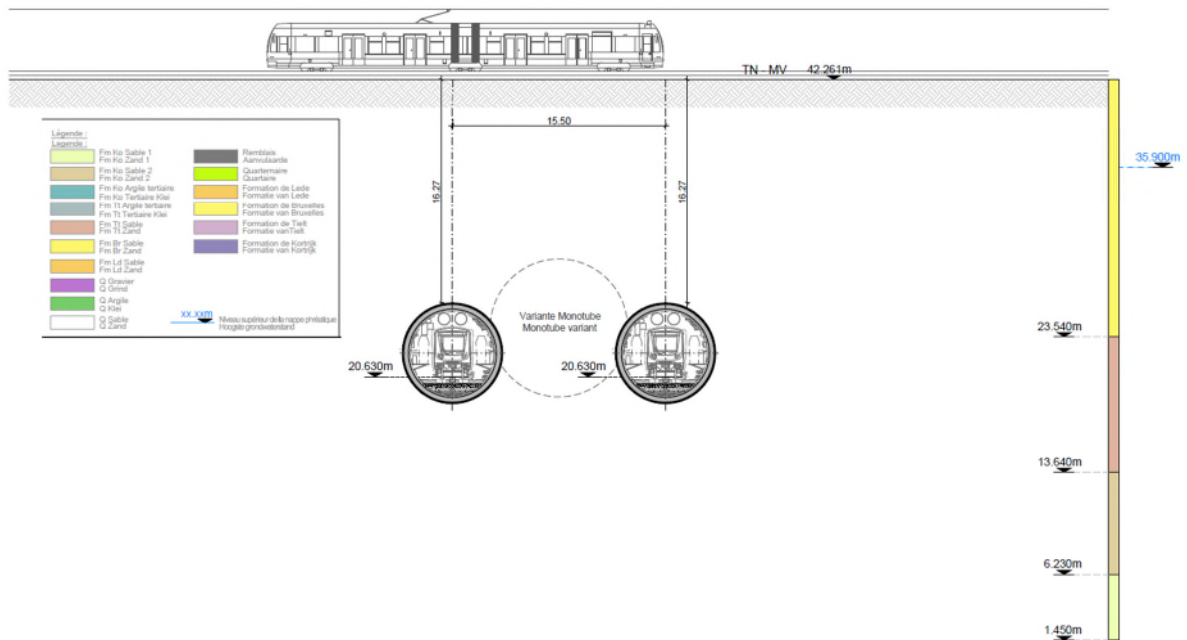
In de onderstaande resultaten komt de berekening van de totale, absolute verzakkingen van de dubbele buisvariant overeen met de som van de absolute verzakkingen van de 2 tunnels van de dubbele buisvariant. Deze totale, absolute verzakkingen van de dubbele buisvariant worden vergeleken met de absolute verzakkingen van de enkele buisvariant.

A. Kruising met lijn 26 bij de stelplaats van Haren

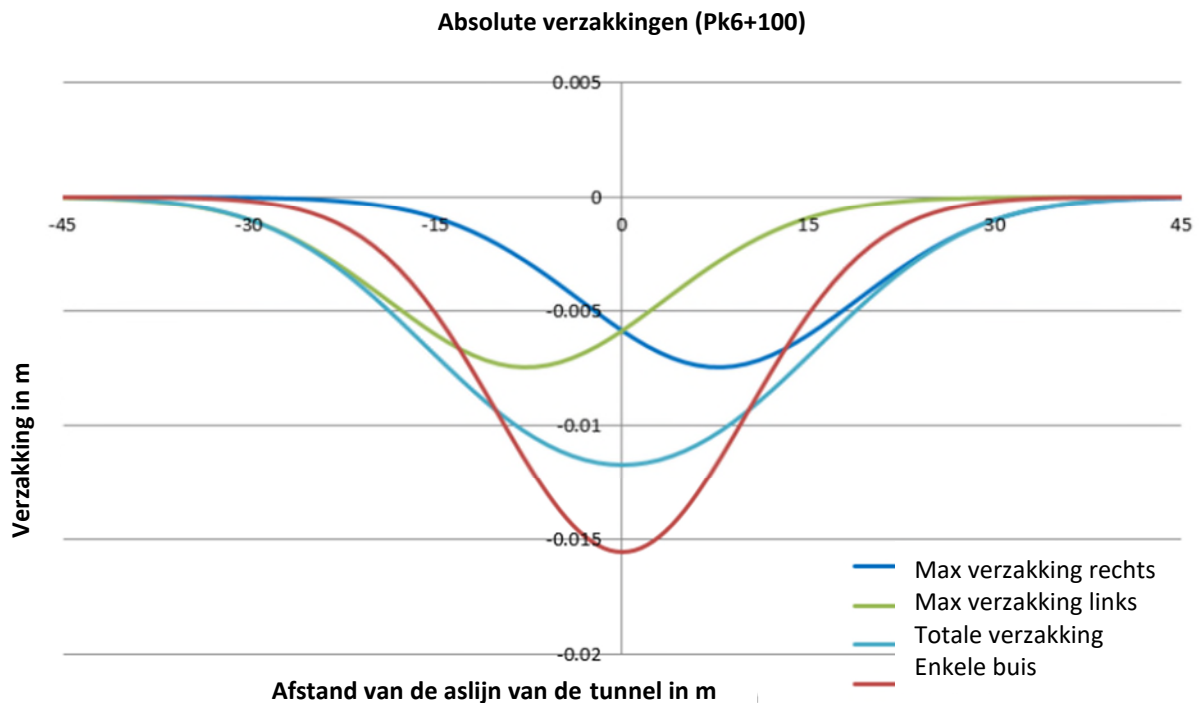


Figuur 212: Locatie van doorsnede 1 (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
 6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebuïs



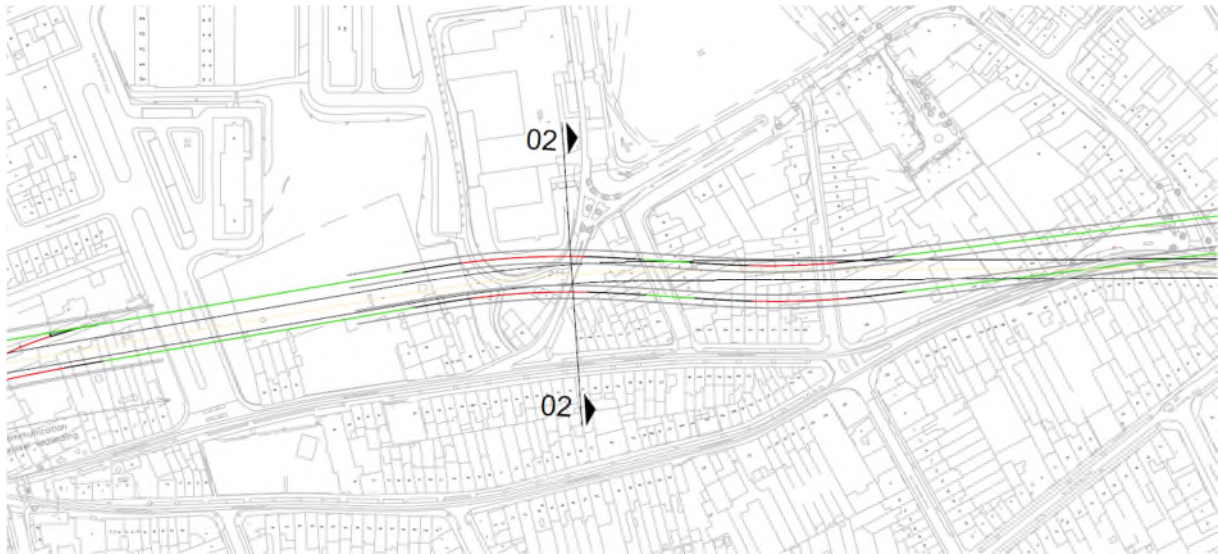
Figuur 213: Positie van de tunnels (enkele buisvariant en dubbele buisvariant) bij doorsnede 1 (BMN, 2020)



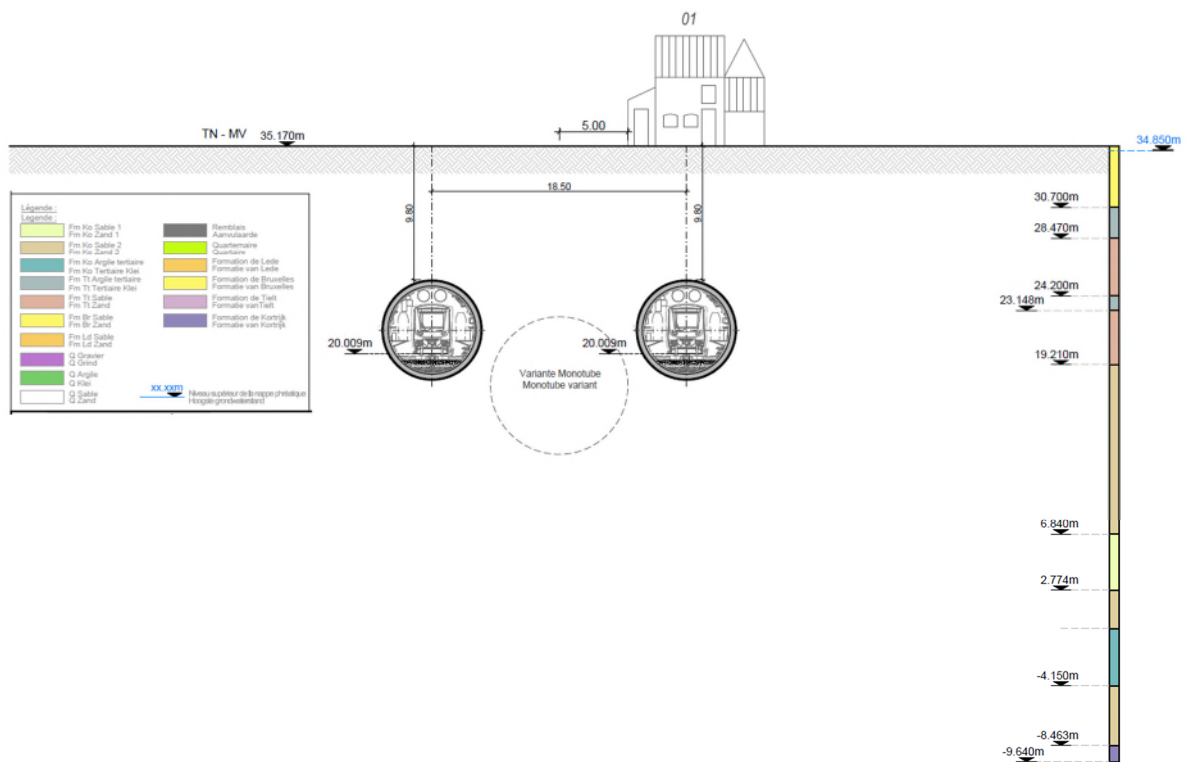
Figuur 214: Resultaten van de berekeningen van de absolute verzakkingen bij doorsnede 1 (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
 6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebu

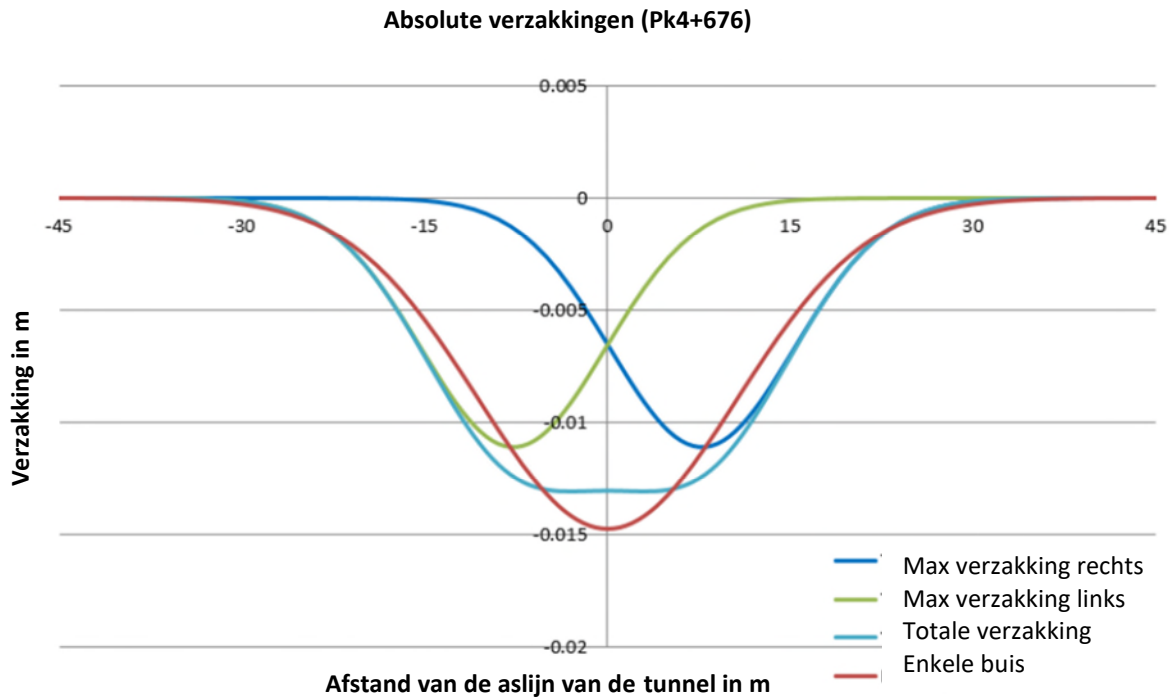
B. Passage onder 't Hoeveke



Figuur 215: Locatie van doorsnede 2 (BMN, 2020)



Figuur 216: Positie van de tunnels (enkele buisvariant en dubbele buisvariant) bij doorsnede 2 (BMN, 2020)



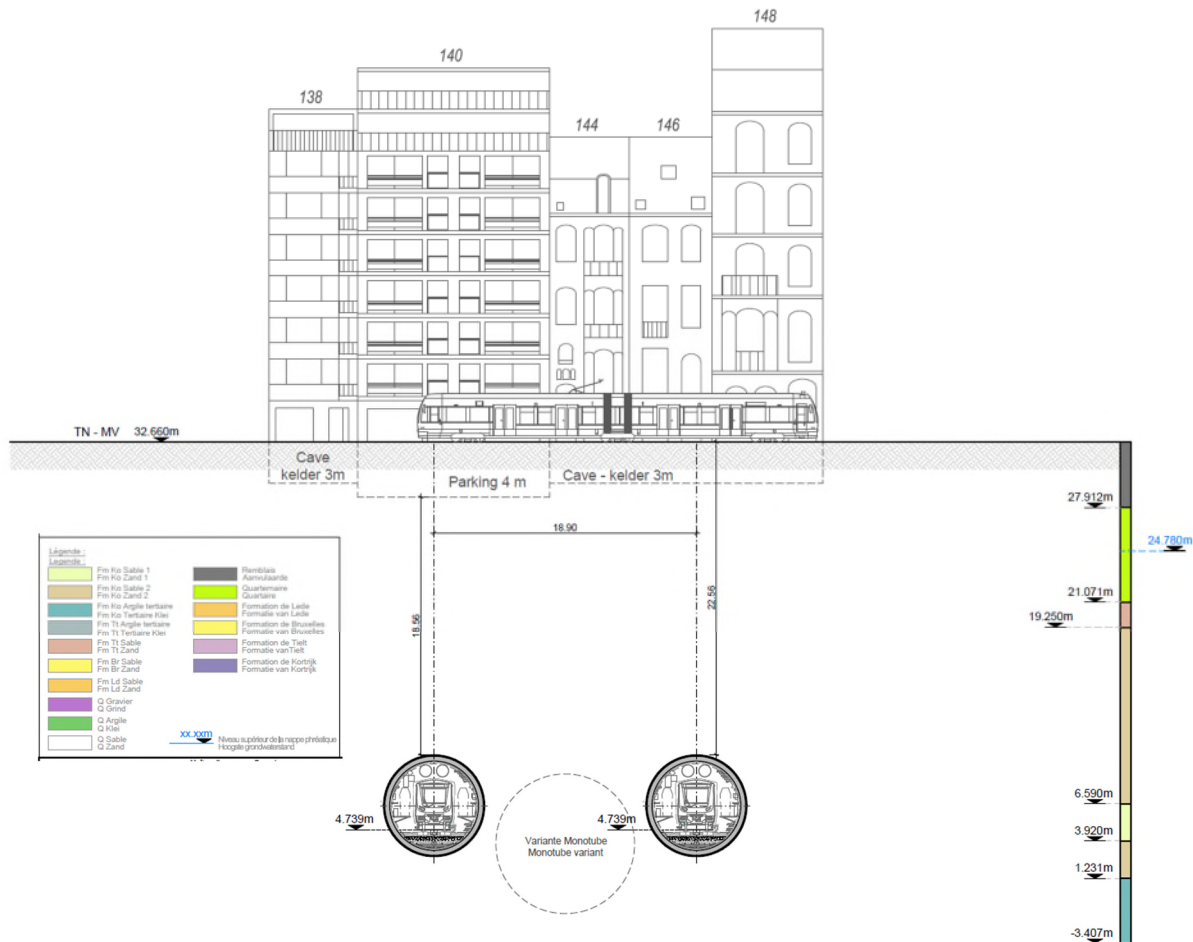
Figuur 217: Resultaten van de berekeningen van de absolute verzakkingen bij doorsnede 2 (BMN, 2020)

C. Passage onder tramlijn 7, Lambermontlaan

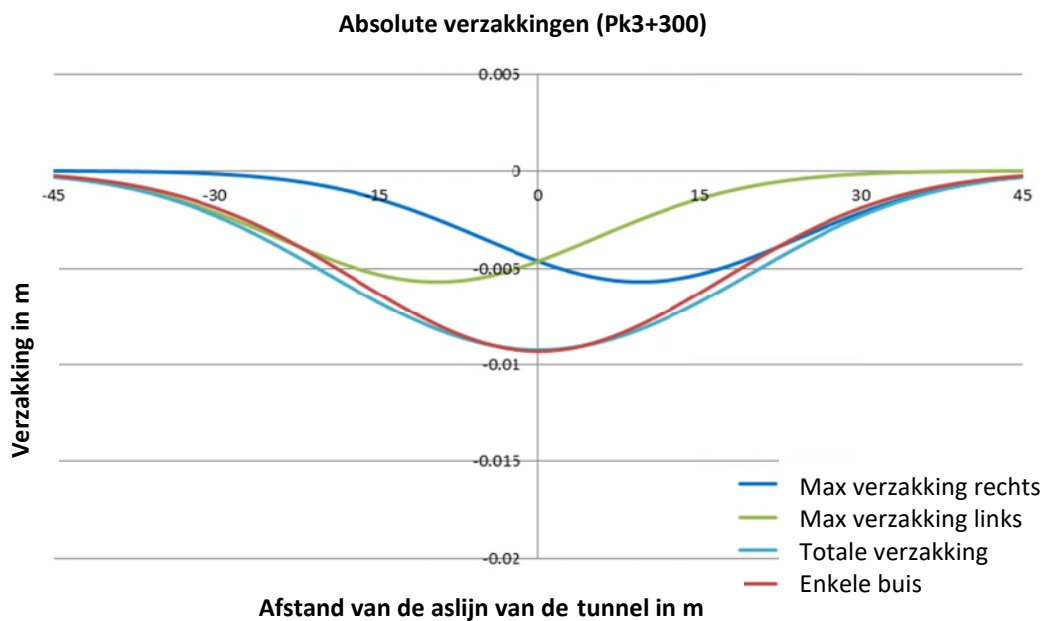


Figuur 218: Locatie van doorsnede 3 en 4 (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
 6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebuisc

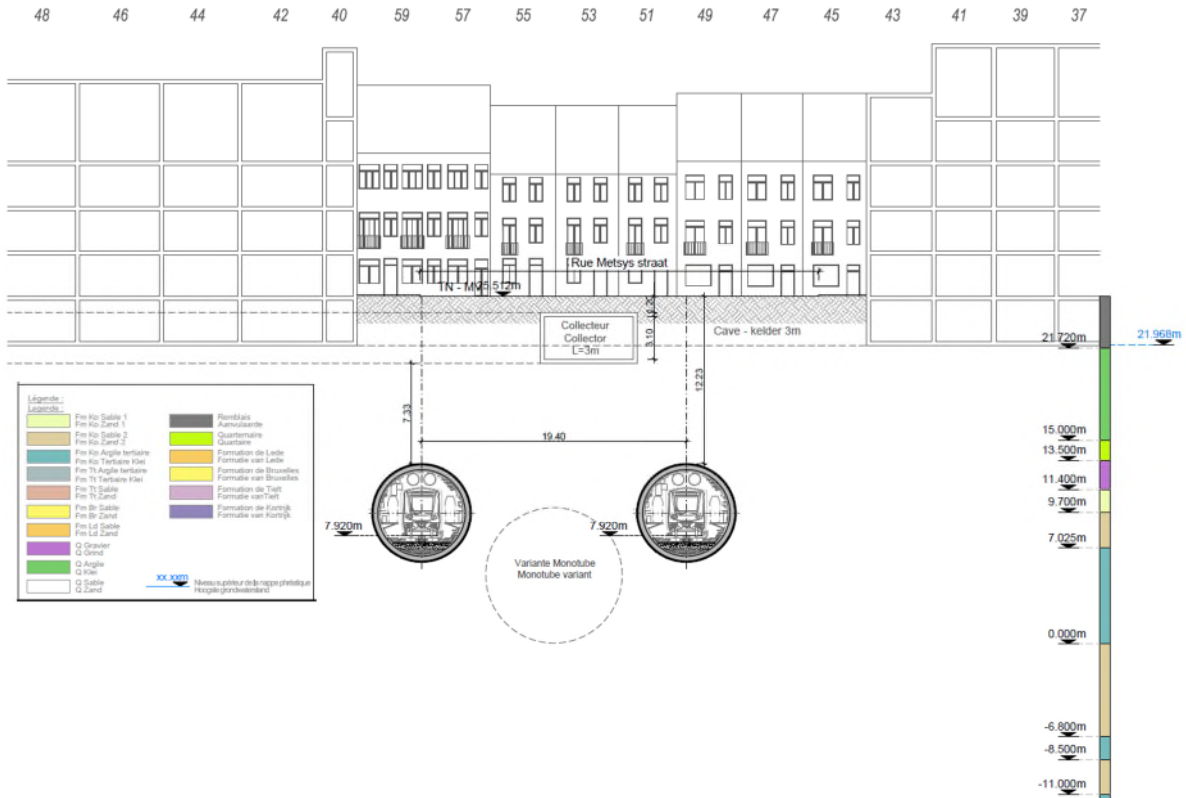


Figuur 219: Positie van de tunnels (enkele buisvariant en dubbele buisvariant) bij doorsnede 3 (BMN, 2020)

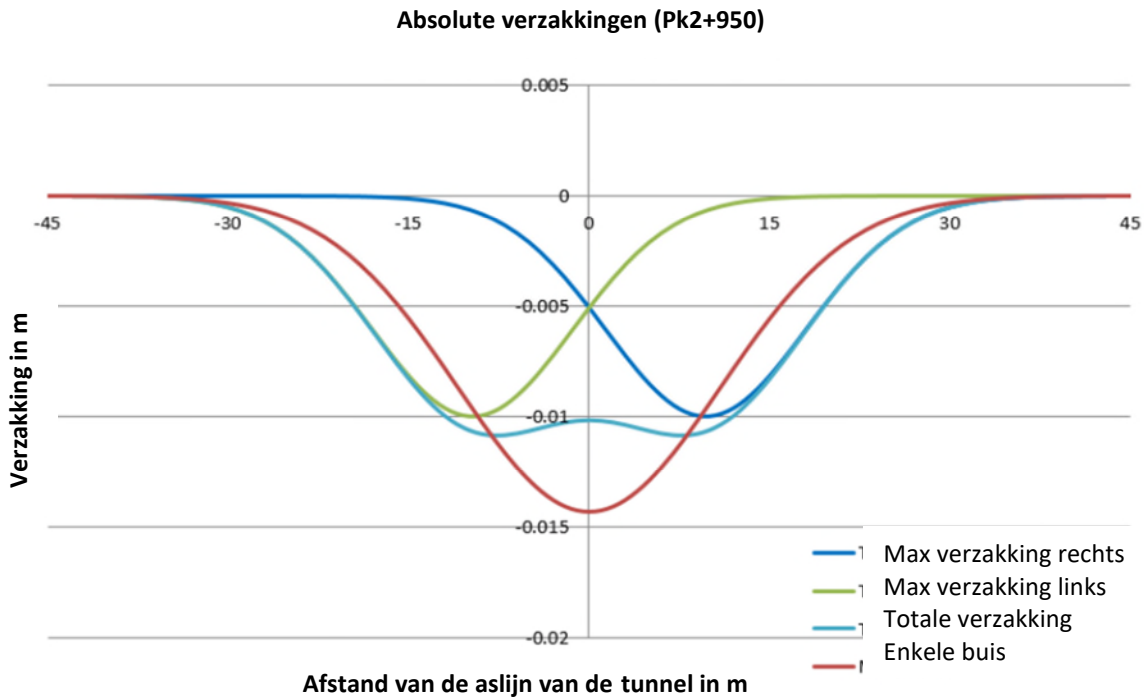


Figuur 220: Resultaten van de berekeningen van de absolute verzakkingen bij doorsnede 3 (BMN, 2020)

D. Passage onder de verzamelleidingen, Metsysstraat in Schaarbeek



Figuur 221: Positie van de tunnels (enkele buisvariant en dubbele buisvariant) bij doorsnede 4 (BMN, 2020)



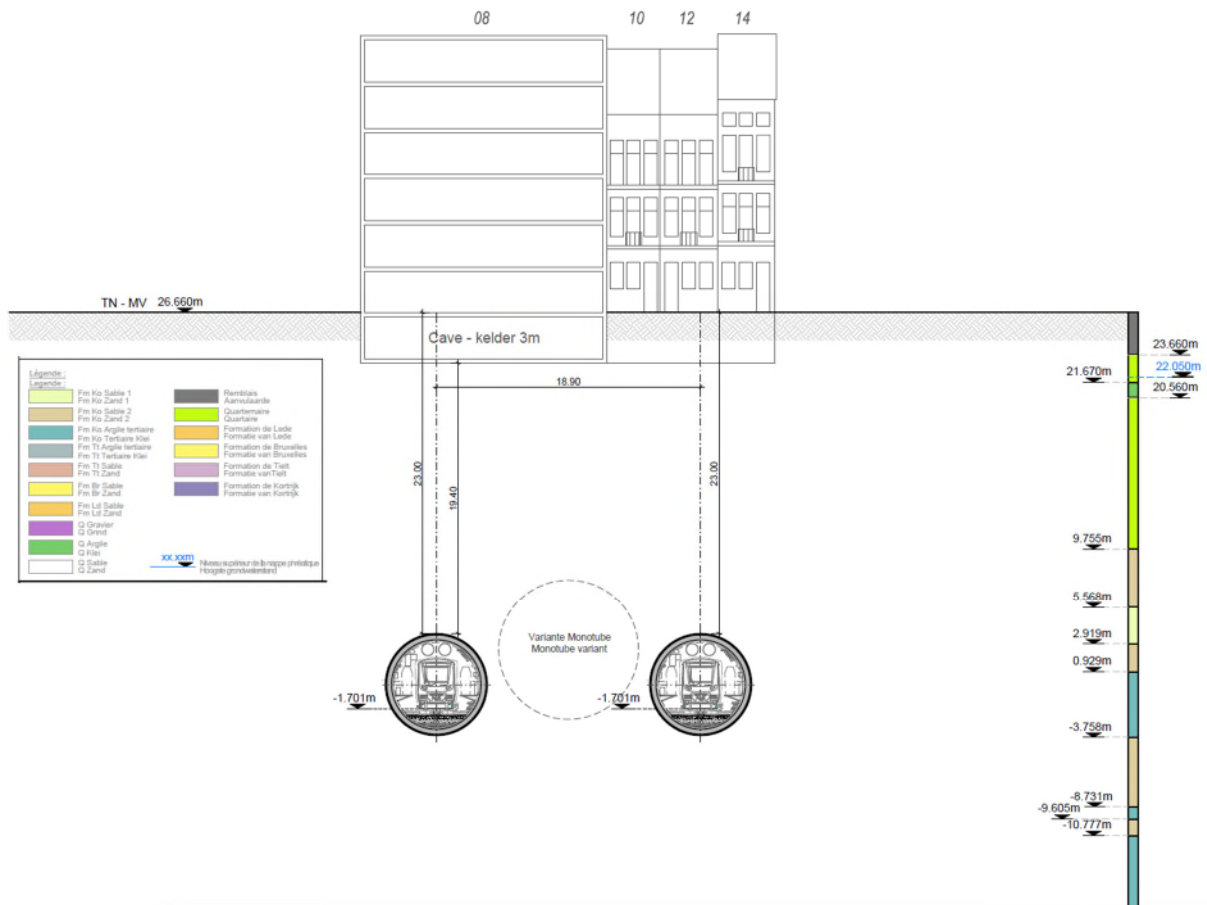
Figuur 222: Resultaten van de berekeningen van de absolute verzakkingen bij doorsnede 4 (BMN, 2020)

E. Passage onder de Vandeweyerstraat in Schaarbeek

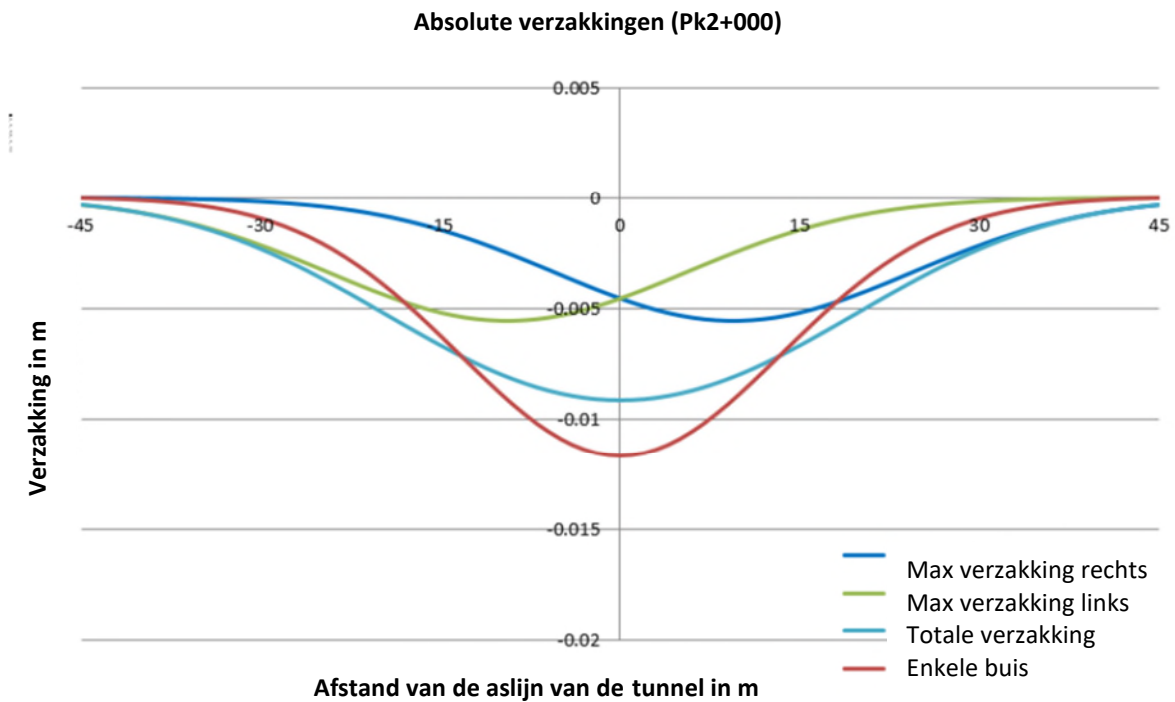


Figuur 223: Locatie van doorsnede 5 (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
 6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebuisc



Figuur 224: Positie van de tunnels (enkele buisvariant en dubbele buisvariant) bij doorsnede 5 (BMN, 2020)



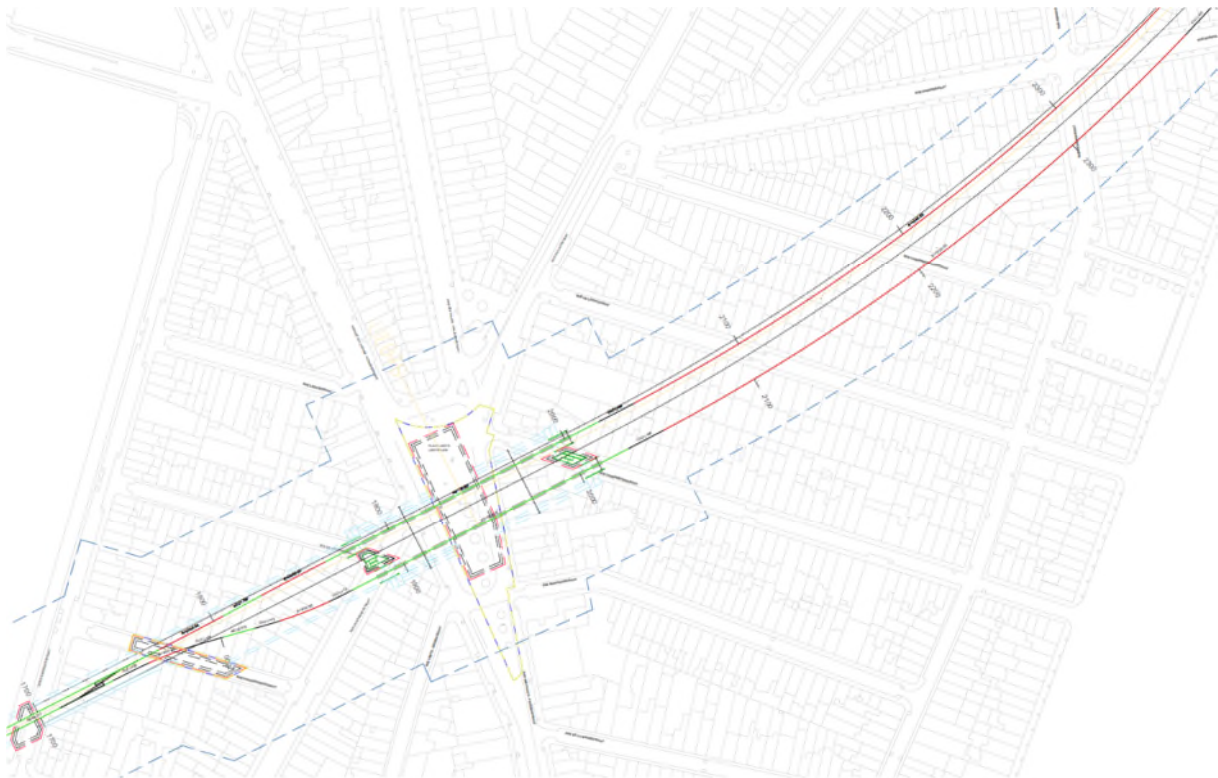
Figuur 225: Resultaten van de berekeningen van de absolute verzakkingen bij doorsnede 5 (BMN, 2020)

Men stelt vast dat met uitzondering van doorsnede 3 onder de Lambermontlaan waar de totale, absolute verzakkingen gelijkwaardig zijn bij zowel de enkele als de dubbele buisvariant, de berekende maximale totale absolute verzakking bij de dubbele buisvariant lager zijn dan die bij de enkele buisvariant. Men stelt ook vast dat de invloedzone van de verzakkingen uitgebreider is bij de dubbele buisvariant en dus impact heeft op een groter aantal gebouwen.

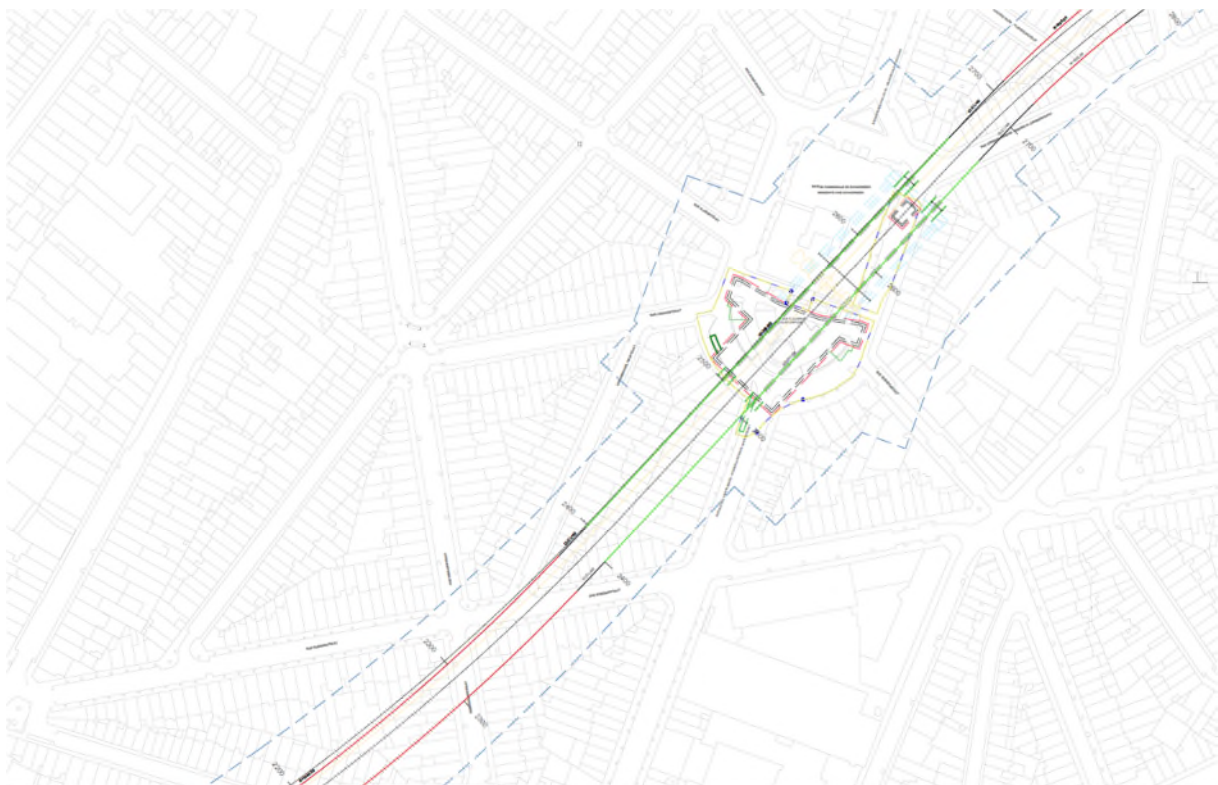
De totale invloedzone van de 2 tunnels van de dubbele buisvariant werd bepaald door een doorsnede te maken om de 100 m langs het tracé en uitsluitend rekening te houden met verzakkingen van meer dan 1 mm.

De invloedzone van de dubbele buisvariant wordt op de volgende Figuren aangegeven:

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebu

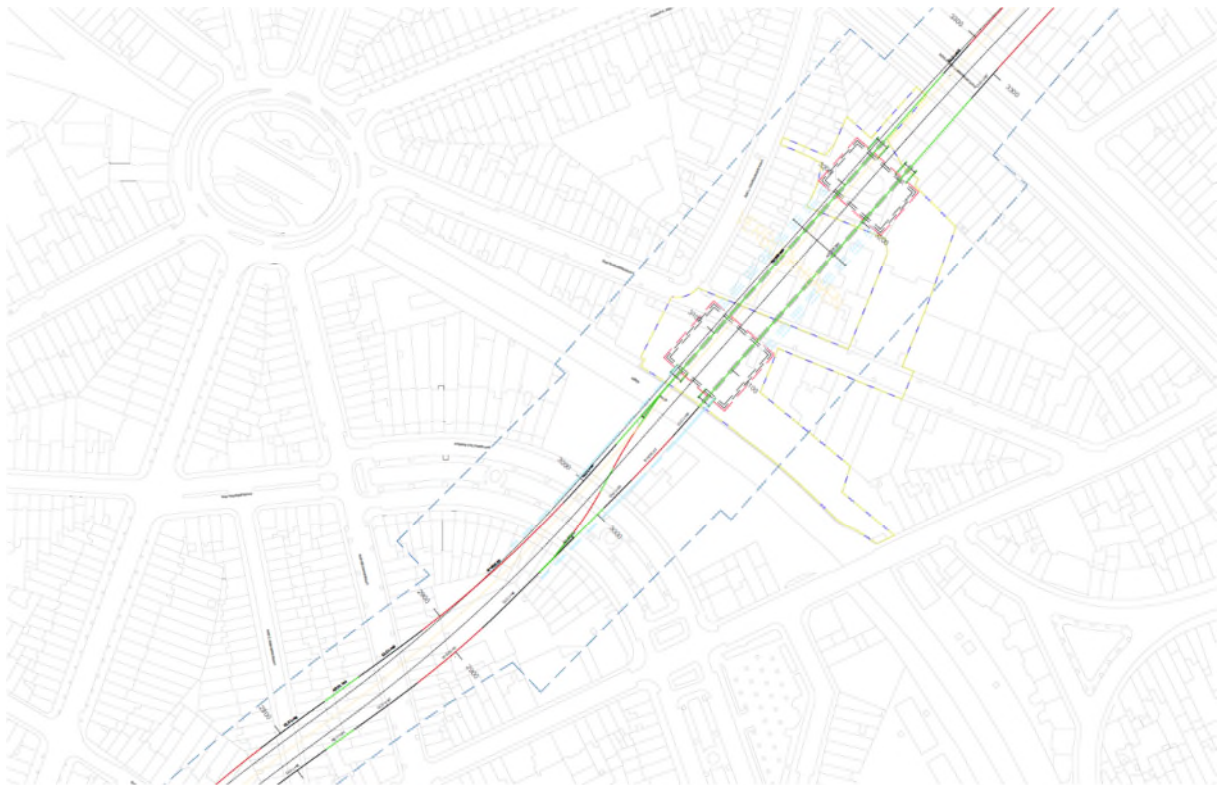


Figuur 226: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station Liedts (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)



Figuur 227: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station Colignon (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebu

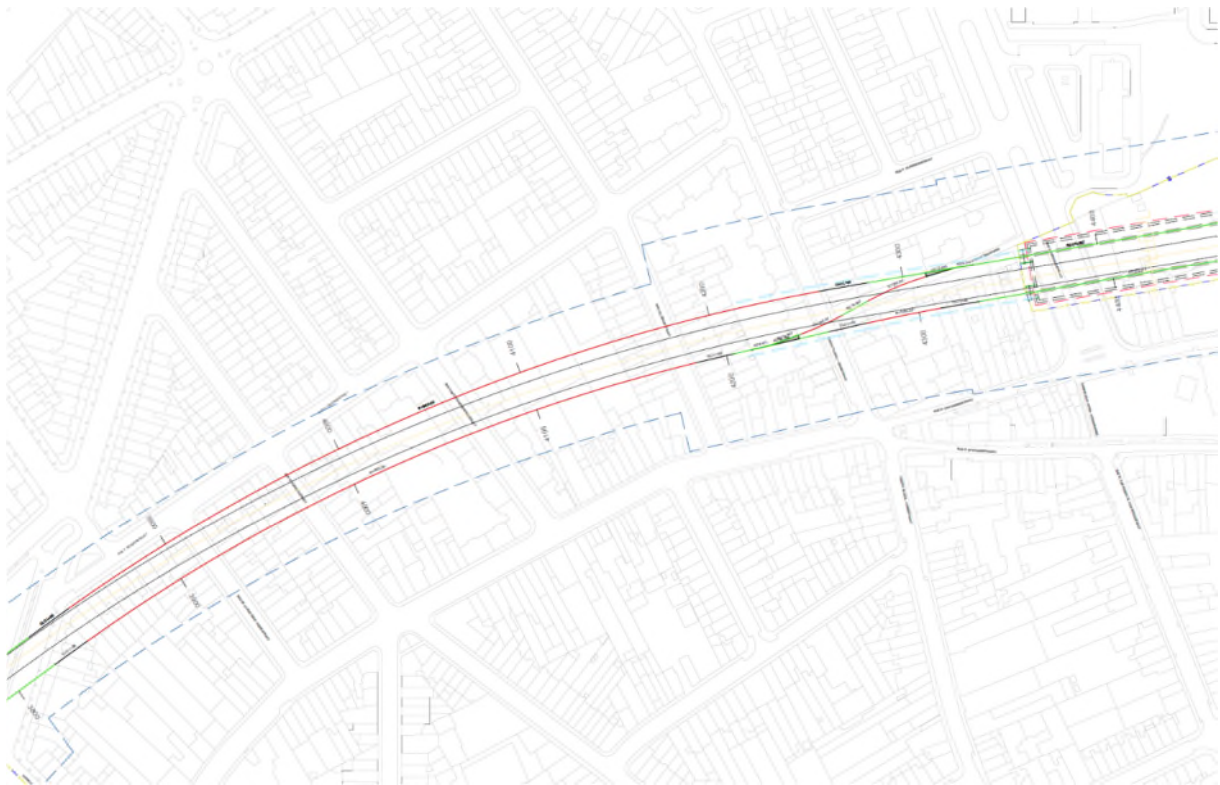


Figuur 228: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station VBH (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)



Figuur 229: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station Riga (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebu



Figuur 230: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station Linde (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)

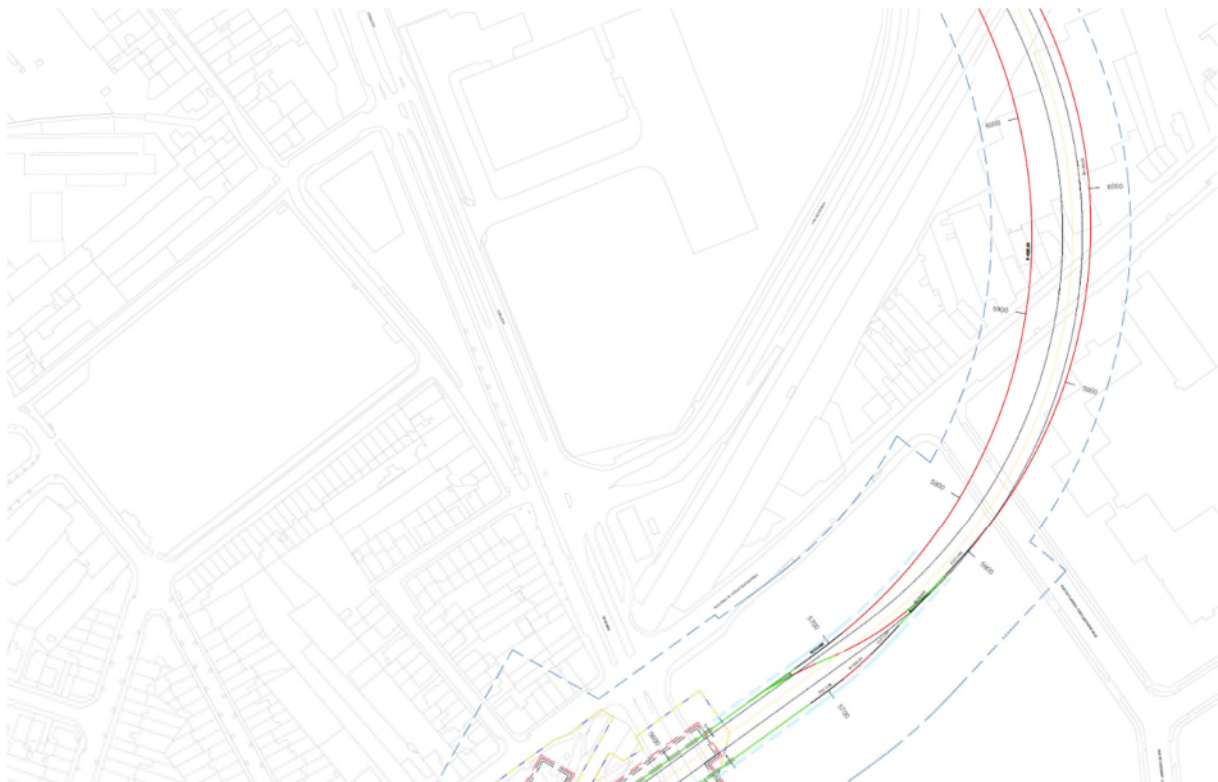


Figuur 231: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station Vrede (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebu



Figuur 232: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij station Bordet (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)



Figuur 233: Invloedzone van de dubbele buisvariant bij de stelplaats van Haren (blauwe stippellijn) (BMN, 2020)

6.4.3. Vertakkingskunstwerken

Voor de vertakkingskunstwerken, evenals het verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts werd geen aanvullende simulatie uitgevoerd. Daarom is de beoordeling van de verzakkingen als gevolg van deze kunstwerken momenteel niet bekend.

De technische risico's kunnen echter beheerst worden. Na de bevriezing van de grond dienen door een compensatiesysteem de verzakkingen bij de betreffende gebouwen beheerd te worden. De belangrijkste technische moeilijkheid zal de uitvoering zijn van het graafwerk en de galerijen door de segmenten heen van de tunnel, waarvoor een specifieke versteviging nodig is.

De uitvoering van deze kunstwerken verhoogt de impact van de dubbele buisvariant ten aanzien van de verzakkingen.

6.4.4. Aanbevelingen

6.4.4.1. Grondwater

De aanbevelingen die gedaan werden voor de aspecten van het **grondwater** voor de enkele buisvariant blijven van toepassing voor de dubbele buisvariant.

In geval de dubbele buisvariant weerhouden wordt, dienen de volgende aanvullende aanbevelingen in aanmerking genomen te worden:

- Uitvoering van een 3D-modellering van de situatie van de dubbele buisvariant in de hoge waterstandperiode (met als doel om de diagnose van de opvoer te maximaliseren);
- Uitvoering van een aanvullende 3D-modellering van de situatie van de dubbele buisvariant in de lage waterstandperiode (met als doel om de perifere effecten als gevolg van de verlaging te maximaliseren);
- Achteraf een retrofit-modellering uitvoeren van het model waarbij de piëzometrische waarnemingen en de werkelijke debietchronieken in aanmerking genomen worden zoals deze waargenomen worden na een jaar uitbating.

Deze aanvullende modelleringen hebben tot doel de verfijning van de tijdens deze studie uitgevoerde analytische berekeningsresultaten.

6.4.4.2. Verzakkingen

Hoewel de berekende maximale absolute verzakkingen bij de dubbele buisvariant lager zijn dan die bij de enkele buisvariant, zijn ze desalniettemin niet te verwaarlozen.

Bovendien is de invloedzone groter dan die van de enkele buisvariant, met name bij de vertakkingszones.

De door de aanvrager voorziene maatregelen voor de enkele buisvariant voor de preventie van schade door verzakkingen en om deze te voorkomen dienen ook voorzien te worden voor de dubbele buisvariant.

Naast deze preventieve maatregelen moeten bepaalde punten nog uitgediept worden en waarvoor derhalve de volgende aanbevelingen gedaan worden door de studiegelastigde:

- Expliciete studie van de verzakkingen als gevolg van de graafwerkzaamheden van de vertakkingskunstwerken en het verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts: het wordt aanbevolen een diepgaandere berekeningsmethode toe te passen om de omvang van de bewegingen van het terrein te beoordelen tijdens de uitvoering van deze kunstwerken. Deze berekeningsmethode (bijvoorbeeld berekeningen van de eindige elementen) dient rekening te moeten kunnen houden met de gedetailleerde fasering van de werken;
- Expliciete studie van de verzakkingen als gevolg van de verbreding van de ombouw van de stations (met aanbrenging van een aanvullende steunlijn op het midden van het perron);
- Een analyse van de funderingen van de stations bij de invloedzone van de tunnels en de stations;
- De bijwerking van de lijst van gevoelige gebouwen die mogelijk beïnvloed worden door het project;
- De verwerking van de impact van de grondwaterverlaging in de berekening van de verzakkingen.

6.4.4.3. Samenvattende tabel van de aanbevelingen

Thema:	Aanbevelingen:
Grondwater	<ul style="list-style-type: none">- Overname van de aanbevelingen voor de enkele buisvariant- 3D-modelleringen uitvoeren van de dubbele buisvariant om de grondwaterverlaging, de barrage-effecten en de af te voeren debieten te schatten
Verzakkingen	<ul style="list-style-type: none">- Overname van de aanbevelingen voor de enkele buisvariant- Uitvoeren van een expliciete studie van de verzakkingen als gevolg van de graafwerkzaamheden van de vertakkingskunstwerken en het verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts- Uitvoeren van een expliciete studie van de verzakkingen als gevolg van de verbreding van de ombouw van de stations (met aanbrenging van een aanvullende steunlijn op het midden van het perron)

	<ul style="list-style-type: none">- Uitvoeren van een analyse van de funderingen van de stations bij de invloedzone van de tunnels en de stations- De lijst van gevoelige gebouwen bijwerken die mogelijk beïnvloed worden door het project van de dubbele buisvariant (niet exact hetzelfde als de enkele buisvariant)
--	--

6.5. Fauna en flora

Niet van toepassing

6.6. Luchtkwaliteit

Niet van toepassing

6.7. Energie

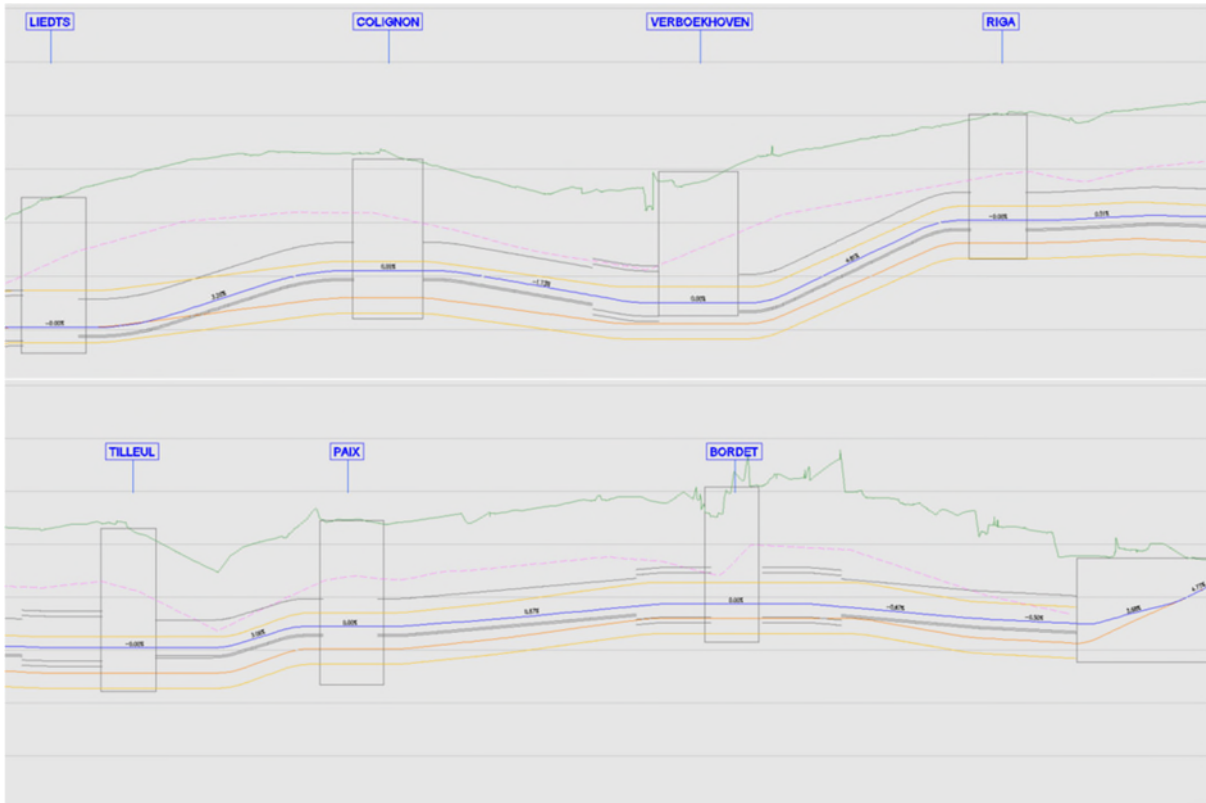
Hetzelfde als de enkele buisvariant

6.8. Geluids- en trillingsomgeving

6.8.1. Analyse van de effecten van de dubbele buisvariant

Bij de dubbele buisvariant wordt de tunnel van de enkele buisvariant met een diameter van 10 m vervangen door twee tunnels met een diameter van 6 m. Het tracé blijft nagenoeg hetzelfde. De vrije afstand tussen de twee buizen, in het horizontale vlak, bedraagt 14 m.

De dubbele buistunnel (grijzen lijnen) is soms minder diep dan de enkele buistunnel (gele lijnen). Daarentegen is dit minstens 10 m zoals aangegeven op de onderstaande Figuren (paarse stippellijn) behalve tussen de stations Linde en Vrede, en voldoet dus aan de dieptecriteria voor wat betreft de trillingen. De verticale schaal is 10 m per verdeling.

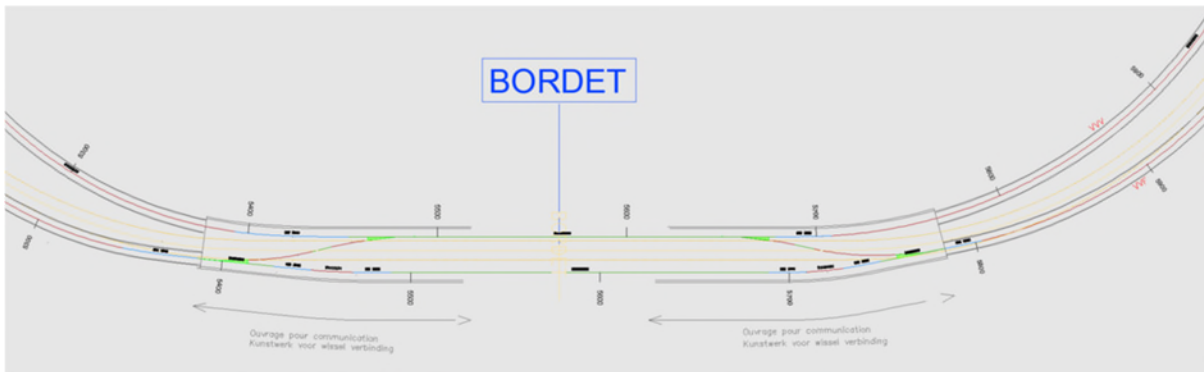


Figuur 234: Diepte van de dubbele buistunnel (BMN, 2020)

Bij de enkele buisvariant loopt wanneer twee metro's elkaar kruisen de impact van de trilling op tot een waarde van 3 dB. Bij de dubbele buisvariant is de verhoging minder dan 3 dB, want de ruimte tussen de twee sporen is groter. Deze verhoging blijft nog aanvaardbaar binnen de marge van 10 m diepte van de tunnel, zelfs wanneer twee metro's elkaar kruisen op een wissel, wat zelden voor zal komen. Het kruisen op een station vindt plaats op lage snelheid en dus zullen de geluidsimpact en trillingsimpact als gevolg van het kruisen beperkt blijven bij dit alternatief.

6.8.2. Aanbevelingen

De aanbeveling voor zowel tijdens de exploitatiefase als tijdens de bouwphase zijn dezelfde als die voor de enkele buisvariant.



Figuur 235: Details wissels dubbele buisvariant station Bordet (BMN, 2020)

Echter, bij de dubbele buisvariant, zijn er meerdere wissels tussen de twee tunnels binnen het verbindingskunstwerk op de stations (Bordet x 2, Linde x 1, Verboekhoven x 1). De penalty van 10dB voor de excitatie van de spoortoestellen (de schokken) dient niet vergeten te worden ten opzichte van de trillingen als gevolg van de stroefheid van het contact rail-wiel waar de trillingsmarge dan 10 dB hoger is.

Wat betreft de tunnelboormachine tijdens de werkzaamheden worden de twee tunnels gebouwd met hetzelfde type tunnelboormachine met een kleinere diameter wat de trillingsimpact zou kunnen verlagen in het geval dat de twee tunnels niet gelijktijdig op dezelfde plaats gegraven worden.

Hoe dan ook wordt niet verwacht dat de trillingen zowel tijdens de werkzaamheden als tijdens de exploitatie groter zullen zijn of de trillingsdrempels meer zullen overschrijden bij de dubbele tunnelvariant dan bij de enkele buisvariant.

6.9. Mens zijn

6.9.1. Objectieve veiligheid

6.9.1.1. Brandpreventie

B.1 - Compartimentering

Geen veranderingen ten opzichte van de enkele buisvariant.

B.2 - Structurele brandwerendheid

Geen veranderingen ten opzichte van de enkele buisvariant.

B.3 - Branddetectie en alarmprincipes

Geen veranderingen ten opzichte van de enkele buisvariant.

B.4 - Beheer van de toegangscontrole

De studie van BMN dient bij de dubbele buisvariant zorg te dragen voor het behoud van de bescherming

van het automatische domein tegen diverse indringingsvormen.

B.5 - HVAC / overdruk / rookafzuiging

Normaal gesproken worden de systemen dubbel uitgevoerd, maar dit deel werd niet behandeld.

B.6 – Sprinklerinstallatie

Geen.

B.7 - Gasblusinstallatie

Geen gasblusinstallatie in de enkele buisvariant noch in de dubbele buisvariant.

B.8 - Eerste hulpvoorzieningen

Geen veranderingen ten opzichte van de enkele buisvariant.

B.9 - Noodvoeding

De opmerkingen en suggesties die gedaan werden voor de enkele buisvariant blijven van toepassing. Gelet op de uitbreiding van de tunnel en de nieuwe architectuur van de stations, dient de vermogensbalans van alle noodvoorzieningen herzien te worden, evenals de studie van de distributie en de voeding van deze apparatuur vanuit de nood-ALSB. De moeilijkheden wat betreft de aanleg van de kabels dienen geanalyseerd te worden. De aanleg van de noodkabels dient te voldoen aan het AREI. Een conformiteitsattest van de installaties moet verstrekt worden na afloop van de werkzaamheden.

B.10 - Toegang van de hulpdiensten / brandweerliften

De toegang van de hulpdiensten vindt plaats op dezelfde wijze als bij de enkele buisvariant.

B.11 – Signalisatie

Geen veranderingen ten opzichte van de enkele buisvariant.

B.12 – Brandgedrag

Geen veranderingen ten opzichte van de enkele buisvariant.

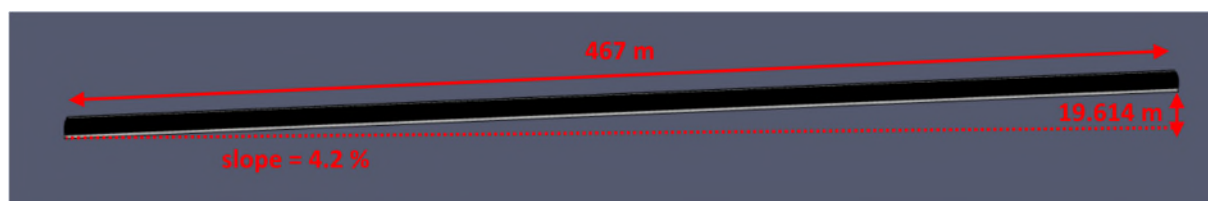
6.9.1.2. Noodevacuatie / alarm

A.1. ASET-parameters voor de dubbele buisvariant

In het volgende hoofdstuk worden de bijzondere parameters beschreven van de dubbele buisvariant.

Domein, geometrie en meetpunten:

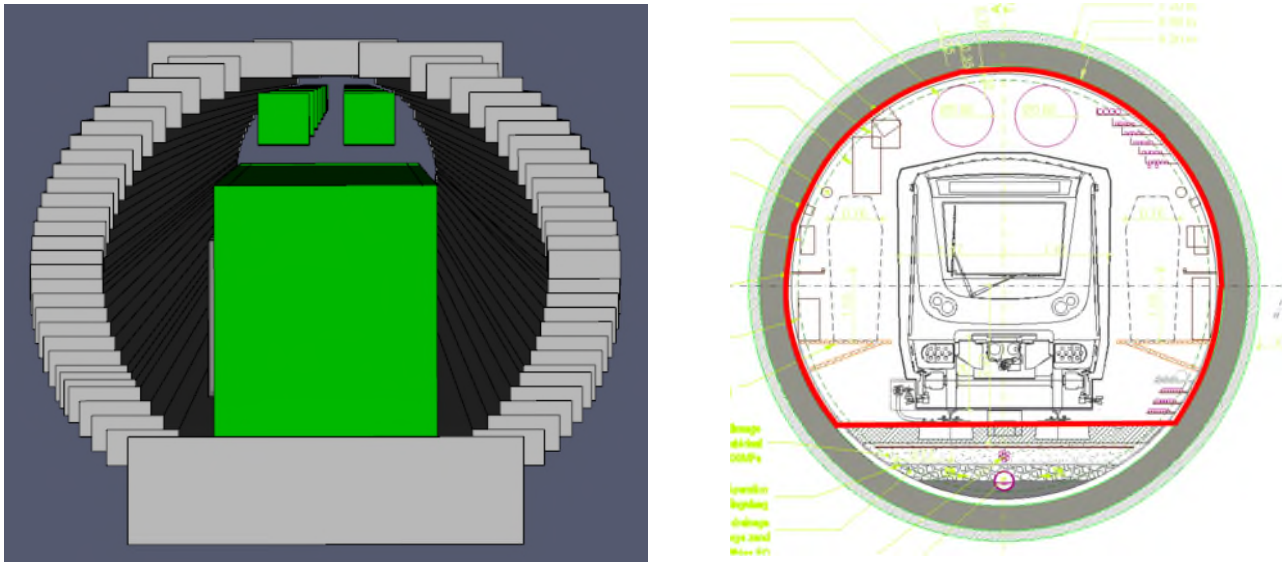
De geometrie is gebaseerd op de verstrekte informatie over de tunnel VBH - Riga.



Figuur 236: Algemeen aanzicht van het model van de dubbele buistunnel (Tractebel, 2020)

De tunnel is 467 meter lang en heeft een helling van 4,2%. De gehele tunnel is ingedeeld in zones op 0,25 m met een totaal aantal van 3.686.400 cellen.

Het wordt zodanig gemodelleerd dat de helling en het circulaire tracé benaderd wordt door een opeenvolging van bouwblokken met een kleine positievariatie.



Figuur 237: Dwarsdoorsnede van de dubbele buistunnel (BMN, 2020)

Behalve de diameter heeft de tunnel dezelfde eigenschappen als die van de stations Verboekhoven en Riga met bovendien dezelfde helling als die van de tunnel.

Rookafzuigstelsel:

- Afzuigdebiet

De afzuiging van de rook vindt mechanisch plaats door een afzuiginstallatie waarvan het debiet en de afmetingen aangegeven worden in de onderstaande tabel.

Locatie	Hoogte ten opzichte van de vloer (m)	Afmetingen	Aantal afzuigpunten	Oppervlak per afzuigpunt (netto m ²)	Totaal oppervlak (netto m ²)	Totaal debiet (m ³ /s)
Ingang station Riga	3,75	4x1,75	1	7	12,8	134

Tabel 73: Afzuigdebiet in de dubbele buistunnel



Figuur 238: Positie van de rookafzuiginstallatie in de dubbele buistunnel (Tractebel, 2020)

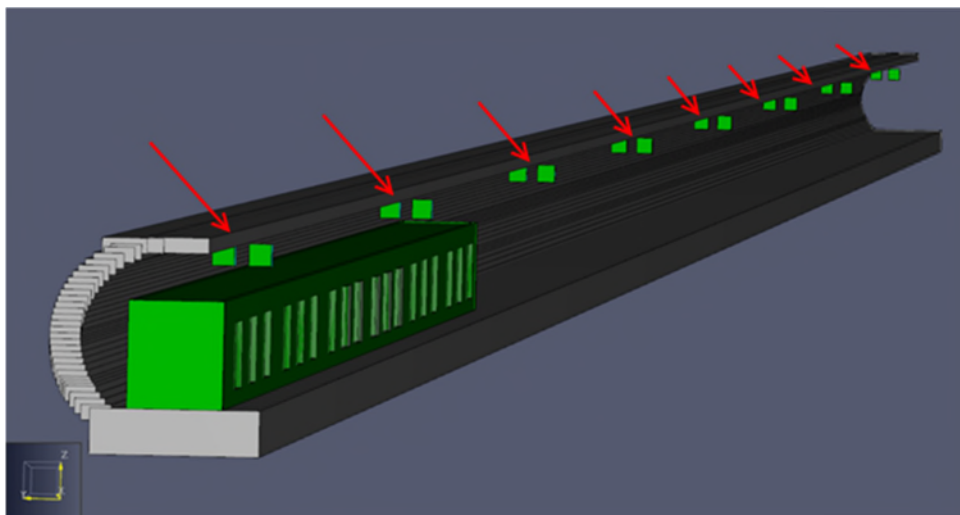
□ **Blaasdebiet**

Het rookafvoersysteem bestaat uit 16 boosters in de tunnel vanaf 20 m met een onderlinge afstand van 60 m die elk 1 m/s blazen om de rook naar het uiteinde van de tunnel te leiden waar het afgezogen wordt door een afzuiginstallatie waarvan de eigenschappen aangegeven worden in de onderstaande tabel.

Deze boosters zijn in werkelijkheid cirkelvormig maar in het model vierkant en leven hetzelfde oppervlak na (1,5625 m²) om op optimale wijze de berekeningscellen van het model te gebruiken.

Locatie	Hoogte ten opzichte van de vloer (m)	Aantal blaaspunten	Afmetingen	Oppervlak per blaaspunt (netto m ²)	Totaal oppervlak (netto m ²)	Totaal debiet (m ³ /s)
Ingang station Riga	2,866	16	0,75x0,75	0,5625	9	9

Tabel 74 Blaasdebiet in de dubbele buistunnel



Figuur 239: Positie van de boosters in de dubbele buistunnel (Tractebel, 2020)

A.2. Resultaat van de RSET-simulaties

A.2.1. Presentatie van de resultaten

Voor elk van de simulaties wordt in de onderstaande tabel het resultaat aangegeven voor de volgende tijden:

- De evacuatie tijd van de perrons (Tq)
- De evacuatie tijd van het station (Tt)
- De immobilisatie tijd van de passagiers (Ti)

In de onderstaande tabel wordt het resultaat weergegeven van de evacuatie tijden voor een brandhaard:

T RSET = T det + T warn + T evac		DUBBELE BUISTUNNEL ZONDER TUSSENVERBINDING	DUBBELE BUISTUNNEL MET TUSSENVERBINDING
		T RSET	T RSET
Evacuatie tijd van de tunnel	Tq	Circa 15 minuten (15,2)	Circa 9 minuten (8,23)

Tabel 75: Maximale evacuatie tijd van de tunnel, met T det + T warn

De volledige ASET / RSET-simulaties werden gepresenteerd en goedgekeurd door het Begeleidend Comité van de effectenstudie.

Op de volgende Figuren worden voor elke simulatie de screenshots weergegeven met de volgende tijden:

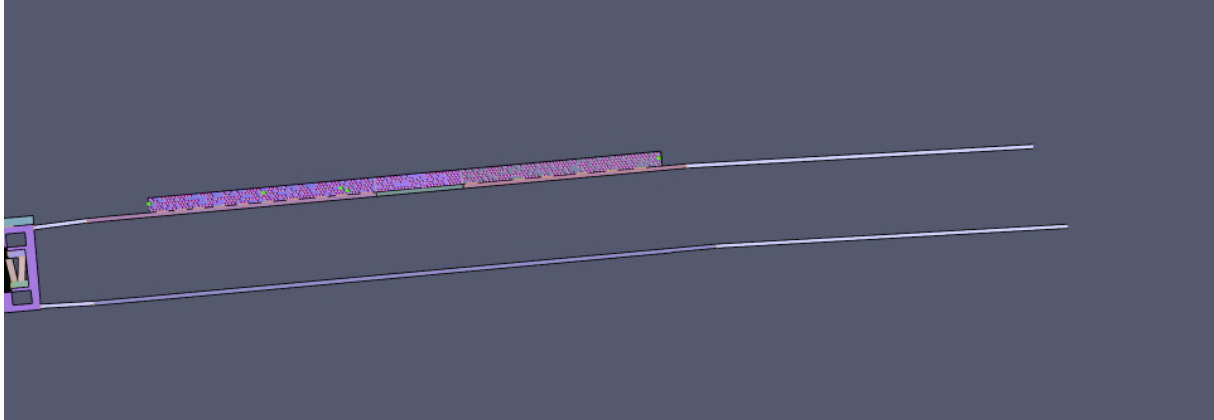
- Begin van de simulatie
- Einde van de simulatie (laatste passagier in de tunnel)

Legenda van de te evacueren passagiers op de Figuren:

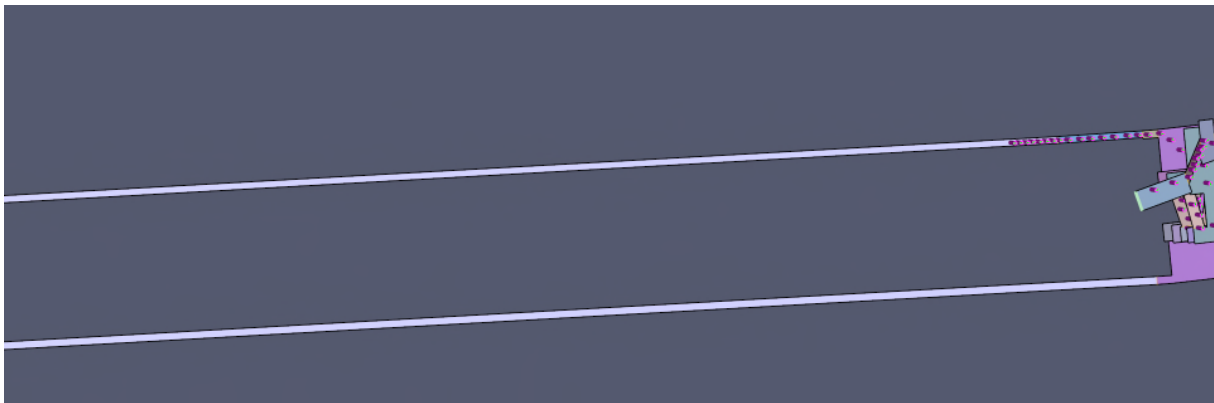
Persoon met beperkte mobiliteit (PBM): groen

Valide personen: roze

A.2.2. Dubbele buisvariant zonder verbinding



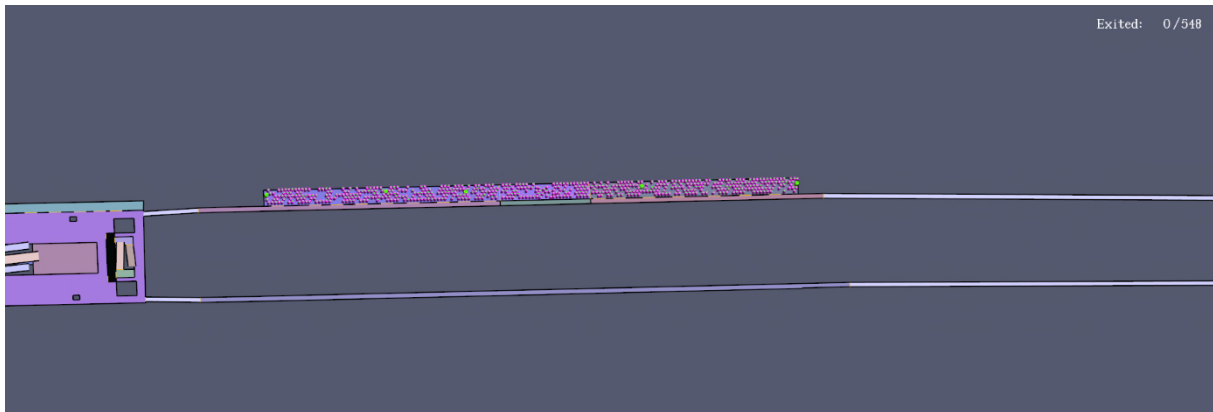
Figuur 240: RSET-simulatie dubbele buistunnel zonder tussenverbinding bij 0 sec. (Tractebel, 2020)



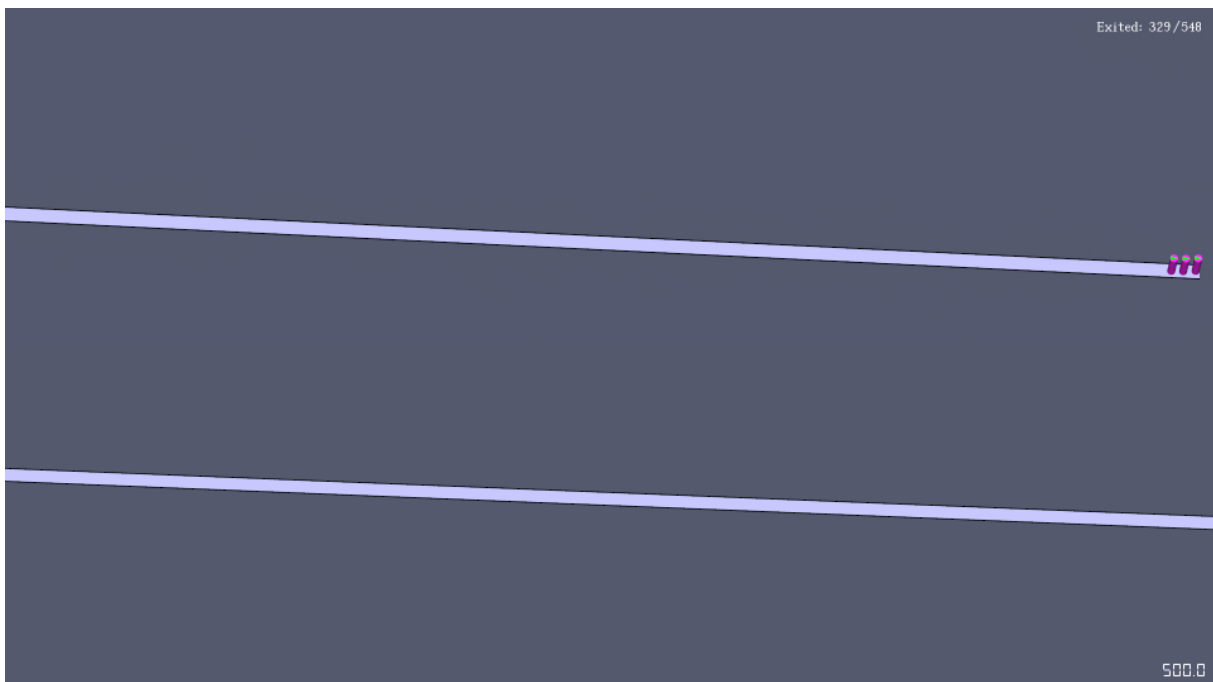
Figuur 241: RSET-simulatie dubbele buistunnel zonder tussenverbinding bij 900 sec. (Tractebel, 2020)

De evacuatie van de tunnel is beëindigd na 15 min 02 sec. Het verschil met de simulatie van de enkele buisvariant is de aanwezigheid van een PBM vooraan de groep wat de voortgang en dus de evacuatie van de tunnel vertraagt. Deze parameter (positie van de PBM) is willekeurig en zal altijd per simulatie anders zijn. In theorie, en gelet op de parameters die hetzelfde zijn bij de enkele en de dubbele buisvariant (helling, afstand, breedte van het evacuatiepad, enz...) dient de evacuatietijd van de enkele en de dubbele buisvariant nagenoeg identiek te zijn.

A.2.3. Dubbele buisvariant met tussenverbinding



**Figuur 242: RSET-simulatie dubbele buistunnel met tussenverbinding bij 0 sec.
(Tractebel, 2020)**

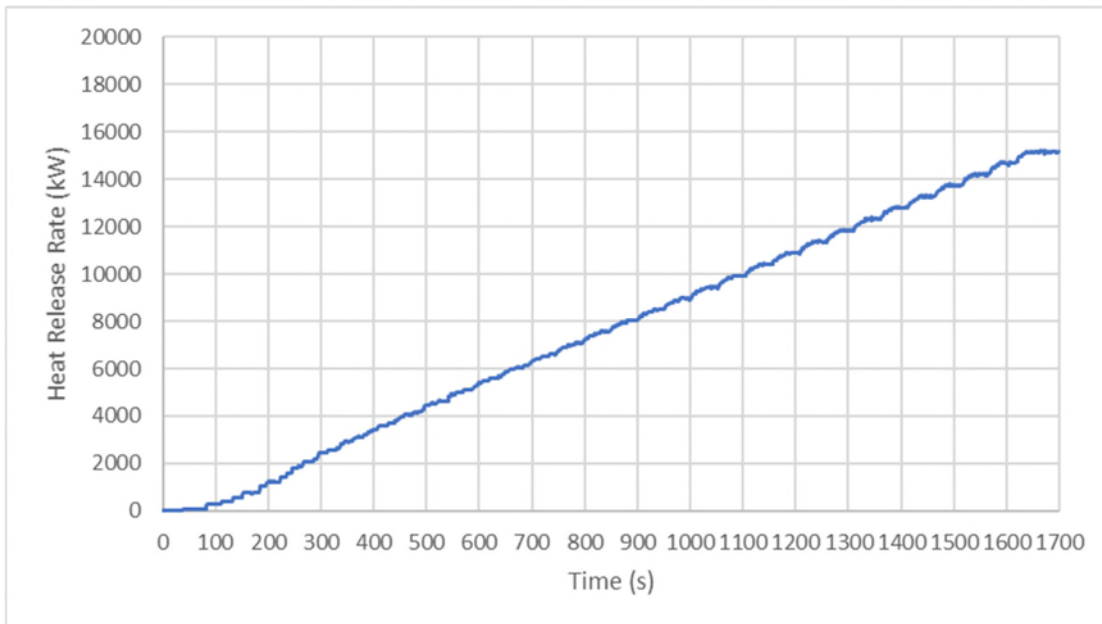


**Figuur 243: RSET-simulatie dubbele buistunnel met tussenverbinding bij 500 sec.
(Tractebel, 2020)**

De evacuatie van de tunnel is voltooid na 8 min en 23 sec.

A.2.4. Resultaat van de de ASET-simulaties voor de dubbele buisvariant

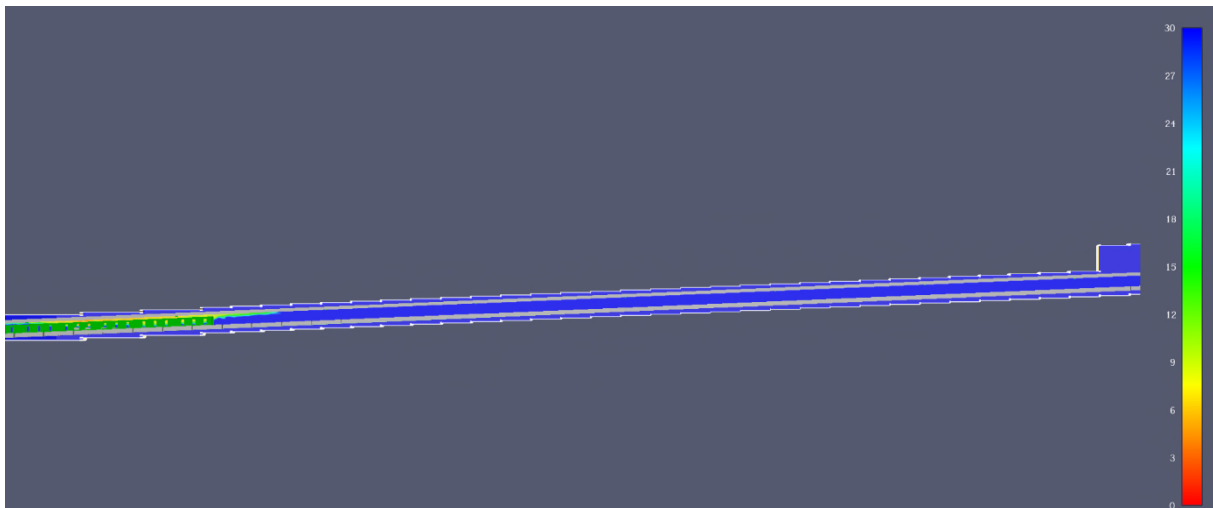
- **Ontwikkeling van de HRR-kromme (in kW)**



Figuur 244: Ontwikkeling HRR - Dubbele buistunnel (Tractebel, 2020)

Het vermogen van het vuur neemt toe in de loop der tijd tot het 15 MW bereikt. Men stelt vast dat de ontwikkeling van het vuur de opgelegde hypothese volgt inzake de verspreiding in de tijd en ruimte.

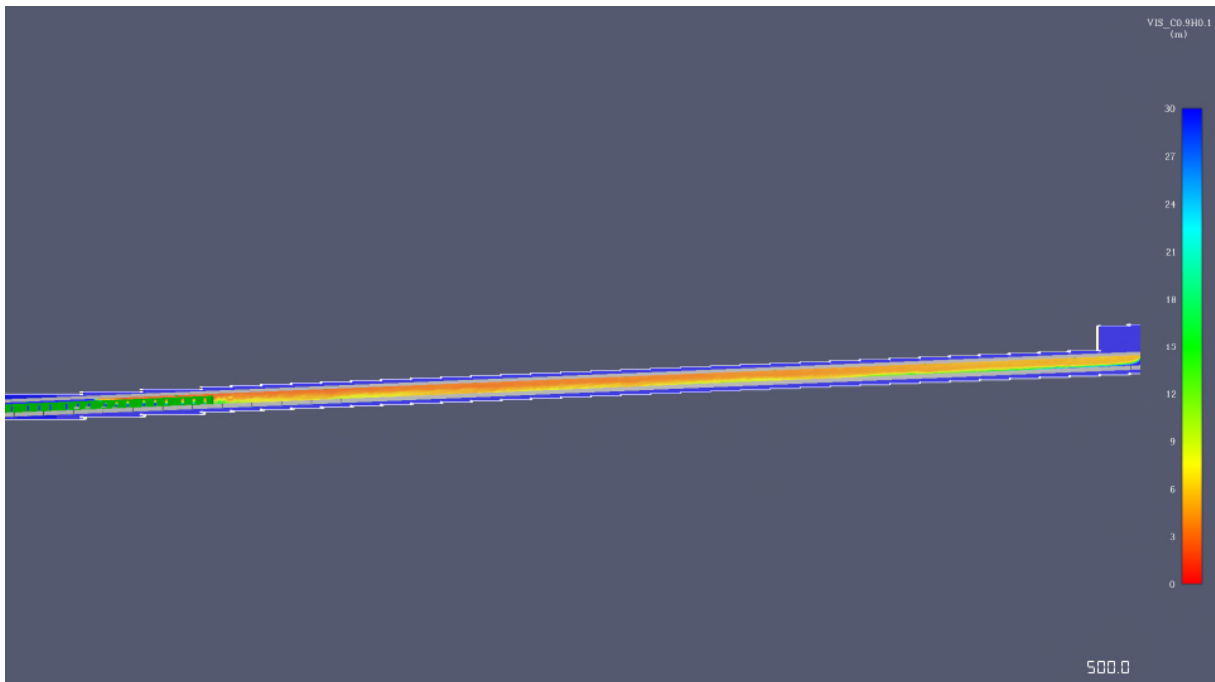
- **Zichtbaarheidsniveaus in de tunnel (in m)**



Figuur 245: Zichtbaarheid dubbele buistunnel na t=200 s (Tractebel, 2020)

Uit het resultaat blijkt dat na 200 s het zicht in het metrorijtuig onder de toelaatbare waarde ligt (10 m) en hoger dan 10 m in de rest van de tunnel.

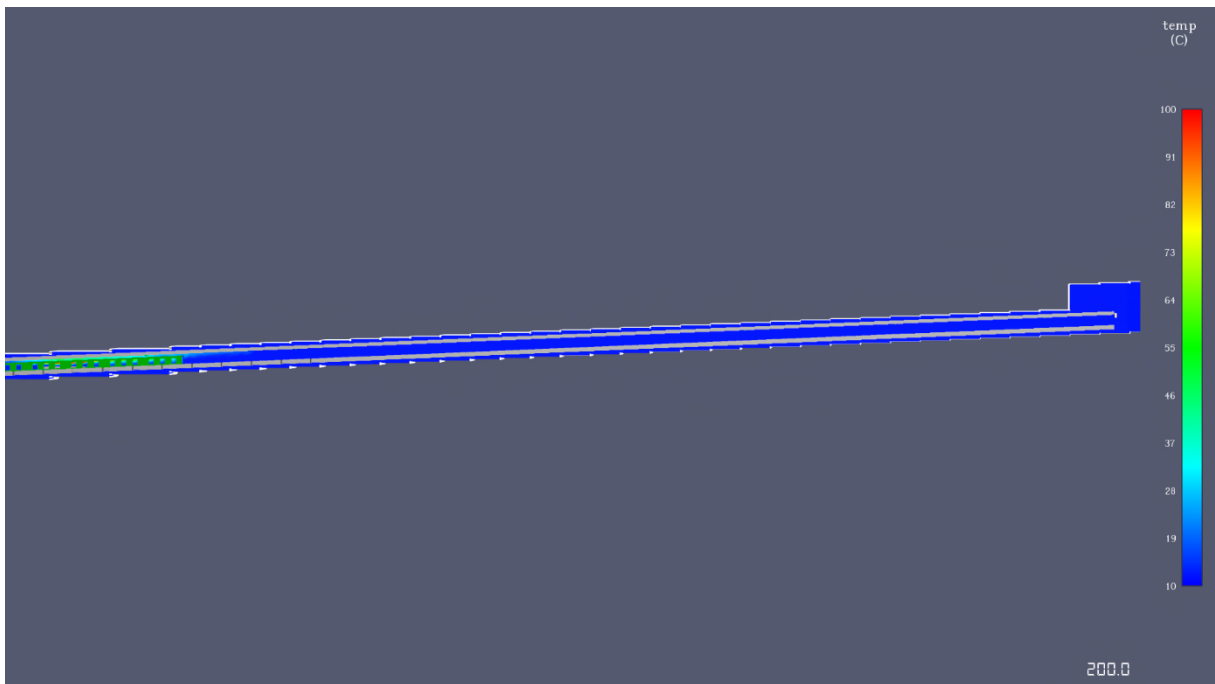
Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbelebu



Figuur 246: Zichtbaarheid dubbele buistunnel na t=500 s (Tractebel, 2020)

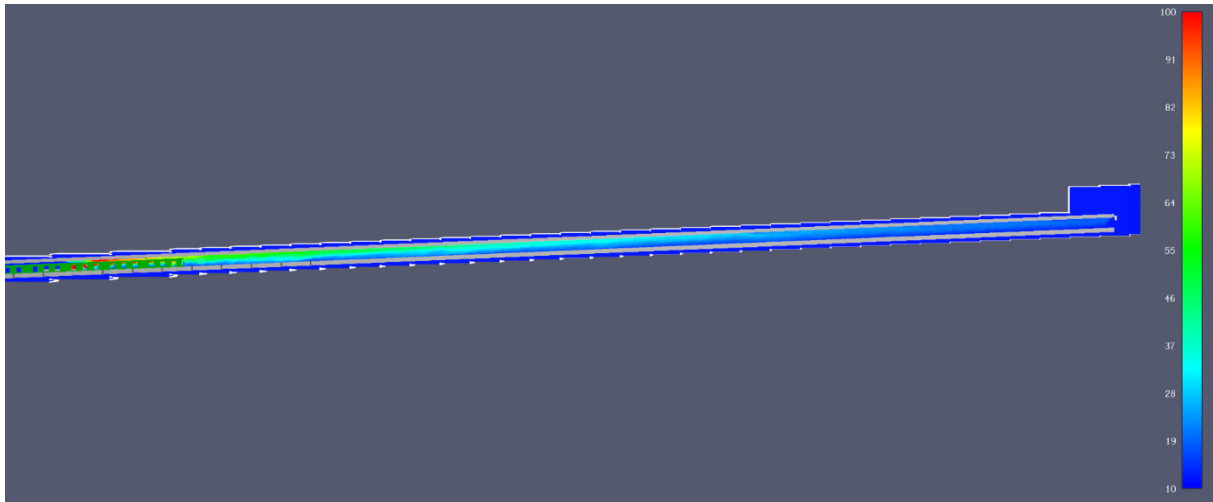
Vanaf 500 s is het zicht overal slecht, want deze overschrijdt de toelaatbare waarde van 10 meter.

- **Temperatuurniveaus in de tunnel (in °C)**



Figuur 247: Temperatuur dubbele buistunnel na t=200 s (Tractebel, 2020)

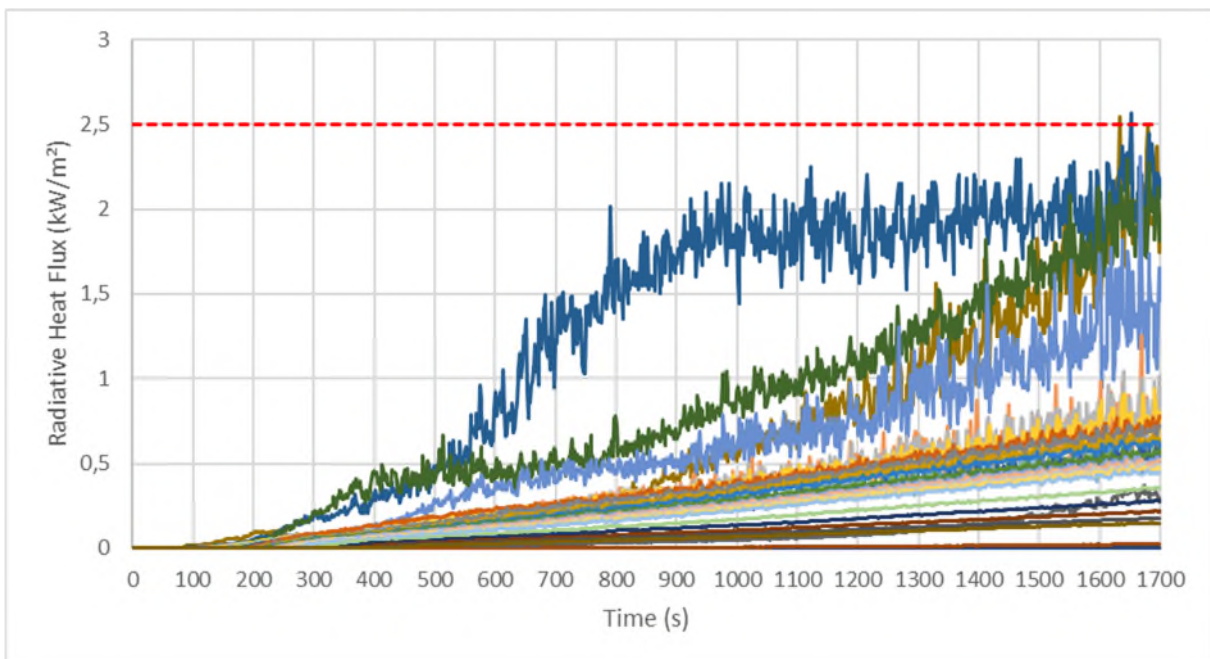
Uit de Figuur blijkt dat na 200 s de temperatuur in de tunnel lager is dan de grenswaarde van 80 °C. In het rijtuig dat in brand staat stelt men daarentegen een hogere temperatuur vast (> 80 °C) rond de brandhaard.



Figuur 248: Temperatuur dubbele buistunnel na t=500 s (Tractebel, 2020)

Vanaf 500 s is de temperatuur goed in de tunnel, behalve bij het rijtuig rondom de brandhaard.

- **Niveaus van de stralingsstroom in de tunnel (in kW/m²)**



Figuur 249: Stralingsstroom dubbele buistunnel (Tractebel, 2020)

Uit het resultaat blijkt dat slechts twee detectoren de grenswaarde van de stralingsstroom overschrijden wat het gevolg is van hun locatie nabij de brandhaard en de vlammen. De rest van de detectoren bij het perron tonen dat de stralingsstroom lager is dan de grenswaarde van 2,5 kW/m².

A.3. Interpretatie van de ASET-/RSET-simulaties

A.3.1. Dubbele buistunnel zonder tussenverbinding

Dit hoofdstuk vergelijkt de ASET-/RSET-resultaten van de dubbele buistunnel ter hoogte van het evacuatievoetpad.

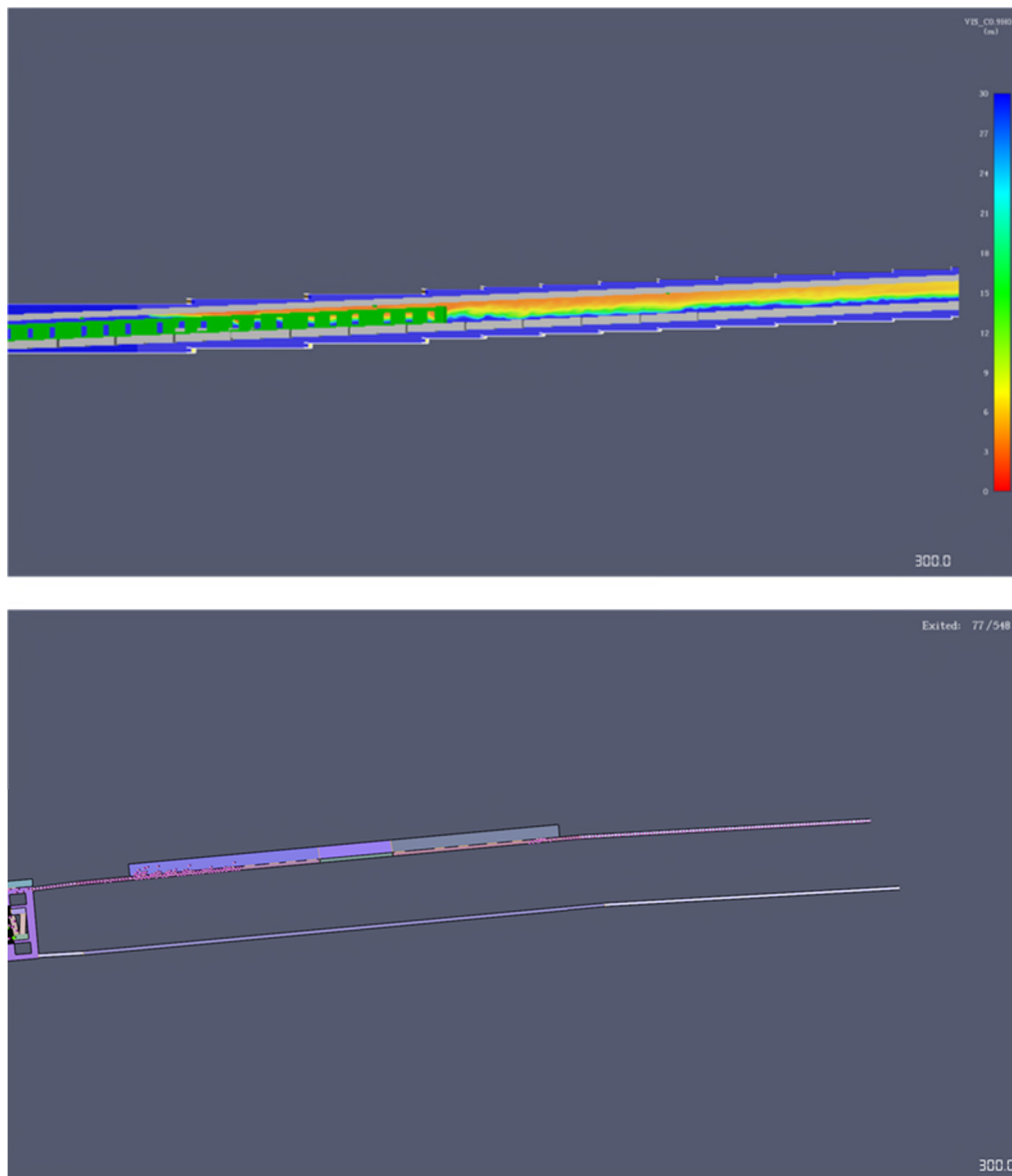
Er wordt uitgegaan van één voetpad voor de evacuatie, want het oversteken van de rails aan het einde van de tunnel voor het voetpad binnen het station is niet beveiligd.

Het moment waarop de passagiers het zichtbaarheids criterium bereiken bedraagt +/- 300 sec. recht bij het rijtuig en aan de voorzijde van het rijtuig.

De Figuren hieronder geven bij 300 sec de zichtbaarheid van de rook in verticale doorsnede weer bij het voetpad, evenals de personen die zich nog op het voetpad bevinden.

Daarentegen, **de passagiers die naar het dichtstbijzijnde station gaan, zijn allen in veiligheid wanneer zij de tunnel verlaten.**

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
6. Analyse van de effecten van het alternatief dubbele buis



Figuur 250: vergelijking ASET / RSET van het voetpad van de tunnel met dubbele buis zonder tussenverbinding na 300 sec. (Tractebel, 2020)

A.3.2. Dubbele buistunnel met tussenverbinding

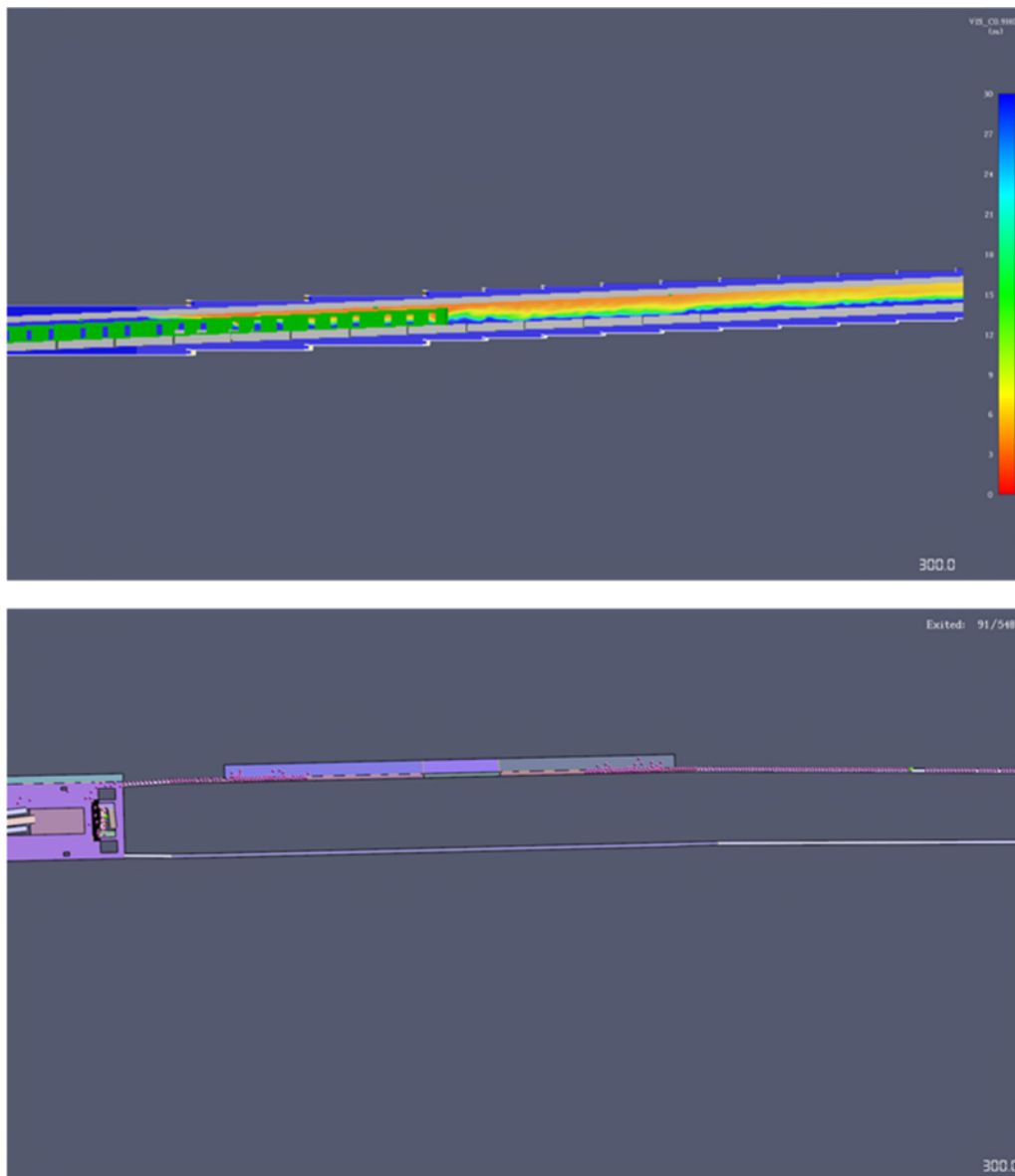
Dit hoofdstuk vergelijkt de ASET-/RSET-resultaten van de dubbele buistunnel ter hoogte van het evacuatievoetpad.

Er wordt uitgegaan van één voetpad voor de evacuatie, want het oversteken van de rails bij de tussenverbinding is niet beveiligd.

Het moment waarop de passagiers het zichtbaarheids criterium bereiken bedraagt +/- 300 sec. recht bij het rijtuig en +/- 400 sec. aan de voorzijde van het rijtuig.

De Figuren hieronder geven bij 300 sec de zichtbaarheid van de rook in verticale doorsnede weer bij het voetpad, evenals de personen die zich nog op het voetpad bevinden.

Daarentegen, de passagiers die naar het dichtstbijzijnde station gaan, zijn allen in veiligheid wanneer zij de tunnel verlaten.



Figuur 251: vergelijking ASET / RSET van het voetpad van de tunnel met dubbele buis met tussenverbinding na 300 sec. (Tractebel, 2020)

A.3.3. Vergelijking van de ASET-/RSET-simulaties voor de overige stations

De uitgevoerde simulaties in de tunnel Riga / Verboekhoven zijn representatief voor alle stations wat betreft de passagiers van het rijtuig.

Voor de passagiers op het voetpad zijn de uitgevoerde simulaties in de tunnel Riga / Verboekhoven representatief voor de stations die één rookafvoerrichting hebben, te weten:

- P5 / Liedts
- Linde / Vrede
- Bordet / P0

Voor de passagiers op het voetpad van de overige stations kan op basis van een extrapolatie van de resultaten van deze simulaties vastgesteld worden dat de 400 sec veiligheidstijd het niet mogelijk maken om het uiteinde van de tunnel te bereiken.

A.4. Vergelijking van de enkele buis- / dubbele buisconfiguraties

Voor de tunnels zijn de resultaten van de enkele buis- en dubbele buisconfiguraties vergelijkbaar, want de passagiers worden in alle gevallen door de rook achterhaald na +/- 300 sec.

Zo ook komen bij de configuratie van de dubbele buisvariant met tussenverbinding de passagiers niet bij de tussenverbinding in het midden van de tunnel zonder achterhaald te worden door de rook.

6.9.1.3. Conclusie

Wat betreft de **dubbele buisvariant**, is de diameter van de tunnel uiteraard een afwijkende factor ten opzichte van het project, evenals de aanwezigheid of niet (zie de simulaties) van tussenverbindingen om sneller over te gaan naar de veilige zone in het midden van de tunnelsectie.

Met instemming van het Begeleidend Comité werd daarom **de norm ISO 16738 toegepast voor de ASET/RSET-simulaties van deze studie**. De norm ISO 16738 omvat met name het beheer van het menselijk gedrag in geval van brand. Voor de uitvoering van de ASET/RSET-simulatie werd rekening gehouden met zeer behoudende, zelfs extreme voorwaarden:

- De evacuatieprocedure van de MIVB vereist dat als zich een incident voordoet in een rijktuig, dit rijktuig naar een station rijdt. Het wordt afgeraden om een brandend rijktuig in een tunnel te stoppen, vooral als deze tunnel slechts één rookafvoerrichting heeft en de positie van het vuur een gedeelte van de passagiers verplicht over de gehele lengte van de tunnel te evacueren. Het feit dat het rijktuig geblokkeerd blijft tussen twee stations is dus het ergste geval. Het is dit geval dat gesimuleerd werd.
- Wij veronderstellen dat de brandbelasting van het rijktuig 15 MW bedraagt na voorstel en bevestiging door het Begeleidend Comité. Merk op dat een thermisch vermogen 15 MW zeer behoudend is voor recent materiaal. De studiegelastigde raadt de aanvrager aan om met de DBDMH een waarde overeen te komen die voldoende veiligheid biedt zonder buitensporige kosten te veroorzaken. Zo nodig wordt aanbevolen om over te gaan tot een verbrandingstest in werkelijke omstandigheden (in samenwerking met de MIVB);
- De "worst case" tunnel is de tunnel onder de langste tunnels en met slechts één afvoerrichting van de rook met een sterke helling. Voor deze analyse werd dan ook in overleg met het Begeleidend Comité de sectie weerhouden tussen Verboekhoven en Riga. Deze tunnel is namelijk 467 meter lang en heeft een helling van 4,2% en één rookafvoerrichting.
- Wij gaan ervan uit dat er 548 personen, waaronder PBM, in het rijktuig zijn en dat de brandhaard ontstaat in het midden van het rijktuig, wat de helft van de passagiers dwingt zich naar het verste station te begeven, op 467 meter afstand, met een stijging van 4,2%.

Wat betreft de effecten van de dubbele buisvariant **zonder evacuatieverbinding** is gelet op de parameters die hetzelfde zijn bij de enkele en de dubbele buisvariant (helling, afstand, breedte van het evacuatiepad, enz...) de evacuatie tijd van de enkele en de dubbele buisvariant nagenoeg identiek.

Daarentegen blijkt uit de simulatie dat de **aanwezigheid van een evacuatieverbinding** bij de dubbele buisvariant een voordeel oplevert omdat de evacuatie tijd over zou gaan naar 8 min.

Uit de analyse blijkt dat ongeacht de configuratie (enkele buis, dubbele buis met of zonder tussenverbinding) als er brand uitbreekt in het rijtuig, de veiligheid van de passagiers die naar het verste station omhoog lopen niet verzekerd is bij de huidige simulatiecondities.

Voor de configuratie van de dubbele buisvariant met tussenverbinding komen de passagiers niet aan bij de verbinding in het midden van de tunnel zonder achterhaald te worden door de rook.

In het kader van de opstelling van het gewijzigde project dient overgegaan te worden tot de uitvoering van ASET/RSET-simulaties zoals gedefinieerd door de norm ISO 16738 door de van tevoren door de DBDMH goedgekeurde parameters in aanmerking te nemen. In geval uit de simulaties blijkt dat de veiligheid van de passagiers niet verzekerd is, dienen er oplossingen voorgesteld te worden op het gebied van de infrastructuur, de procedures of de voorzieningen die goedgekeurd dienen te worden door de DBDMH.

6.9.1.4. Aanbevelingen

Alleen de aanbevelingen die anders zijn ten opzichte van de enkele buisvariant worden vermeld. Inzake de brandveiligheid bevelen wij aan de volgende opmerkingen in aanmerking te nemen:

- Beheer van de toegangscontrole De aanvrager dient bij de dubbele buisvariant zorg te dragen voor het behoud van de bescherming van het automatische domein tegen verschillende vormen van indringing.
- HVAC / overdruk / rookafzuiging De systemen dienen dubbel uitgevoerd te worden.
- In het geval van een dubbele buistunnel zonder tussenverbinding wordt aanbevolen om een nooduitgang te voorzien aan het einde van de tunnel om een evacuatie mogelijk te maken via de 2 voetpaden aan weerszijden van het spoor.
- Een verhoging van de snelheid van de boosters (thans vastgesteld op 1 m/s) verhoogt de prestatie van de rookafvoer. De snelheid dient gekalibreerd te worden om een evacuatie van personen mogelijk te maken zonder dat zij achterhaald worden door de rook.

6.10. Microklimaat

Niet van toepassing

6.11. Afval

Niet van toepassing, zie Boeken Stations, Tunnel.

7. Samenvattende tabel van de aanbevelingen voor de dubbele buisvariant

7.1.1. Mobiliteit

Idem als het basisproject

7.1.2. Stedenbouwkunde, ruimtelijke ordening en erfgoed

Idem als het basisproject

7.1.3. Sociale en economische aspecten

Idem als het basisproject

7.1.4. Bodem, ondergrond en grondwater

Alleen de aanbevelingen die anders zijn ten opzichte van de enkele buisvariant worden vermeld. Wij bevelen aan de volgende opmerkingen in aanmerking te nemen:

Thema:	Aanbevelingen:
Grondwater	3D-modellerings uitvoeren van de dubbele buisvariant om de grondwaterverlaging, de barrage-effecten en de af te voeren debieten te schatten
Verzakkingen	Uitvoeren van een expliciete studie van de verzakkingen als gevolg van de graafwerkzaamheden van de vertakkingskunstwerken en het verbindingskunstwerk tussen de schacht P5 en station Liedts Uitvoeren van een expliciete studie van de verzakkingen als gevolg van de verbreding van de ombouw van de stations (met aanbrenging van een aanvullende steunlijn op het midden van het perron) Uitvoeren van een analyse van de funderingen van de stations bij de invloedzone van de tunnels en de stations De lijst van gevoelige gebouwen bijwerken die mogelijk beïnvloed worden door het project van de dubbele buisvariant (niet exact hetzelfde als de enkele buisvariant)

7.1.5. Fauna en flora

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

7.1.6. Luchtkwaliteit

Niet van toepassing in het kader van dit boek.

7.1.7. Energie

Idem als het basisproject

7.1.8. Geluids- en trillingsomgeving

Effecten	Aanbevelingen
Geluid en trillingen	<p>De aanbeveling voor zowel tijdens de exploitatiefase als tijdens de bouwfase zijn dezelfde als die voor de enkele buisvariant.</p> <p>Echter, bij de dubbele buisvariant, zijn er meerdere wissels tussen de twee tunnels binnen het verbidingskunstwerk op de stations wat leidt tot een penalty van 10dB voor de excitatie van de spoortoestellen.</p> <p>Wat betreft de tunnelboormachine tijdens de werkzaamheden worden de twee tunnels gebouwd met hetzelfde type tunnelboormachine met een kleinere diameter wat de trillingsimpact zou kunnen verlagen in het geval dat de twee tunnels niet gelijktijdig op dezelfde plaats gegraven worden.</p> <p>Hoe dan ook wordt niet verwacht dat de trillingen zowel tijdens de werkzaamheden als tijdens de exploitatie groter zullen zijn of de trillingsdrempels meer zullen overschrijden bij de dubbele tunnelvariant dan bij de enkele buisvariant.</p>

7.1.9. Mens zijn

Alleen de aanbevelingen die anders zijn ten opzichte van de enkele buisvariant worden vermeld. Inzake de brandpreventie bevelen wij aan de volgende opmerkingen in aanmerking te nemen:

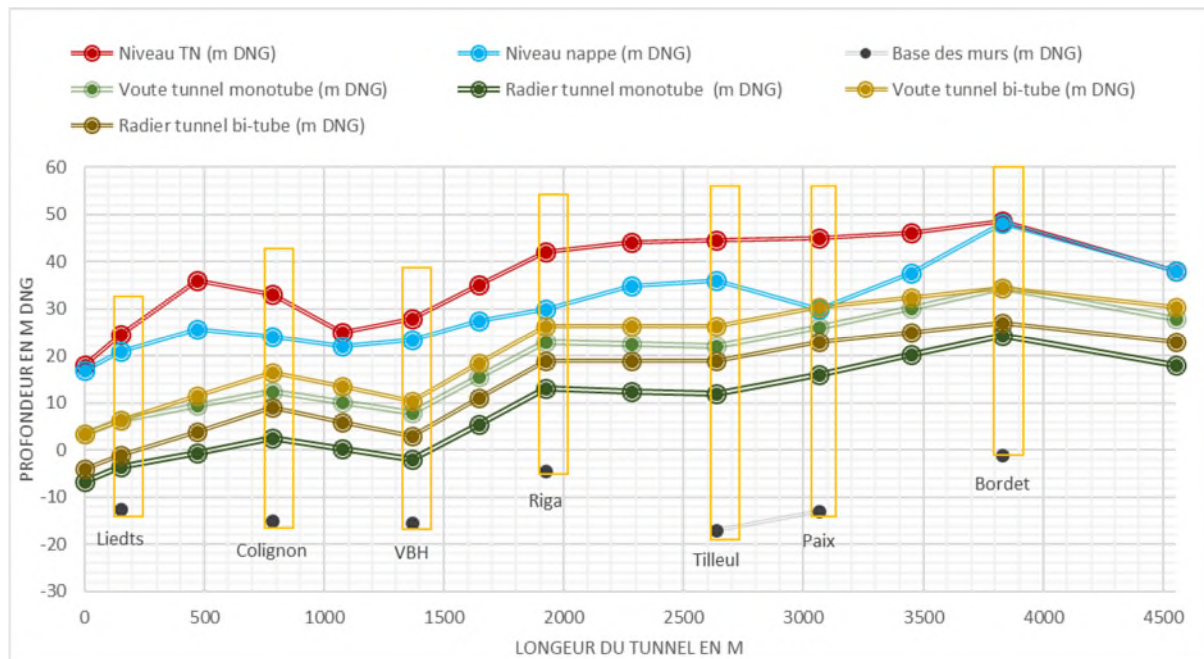
Effecten	Aanbevelingen
Brandveiligheid	<ul style="list-style-type: none"> - Aanbevelingen aan de aanvragers: - Beheer van de toegangscontrole De aanvrager dient bij de dubbele buisvariant zorg te dragen voor het behoud van de bescherming van het automatische domein tegen verschillende vormen van indringing. - HVAC / overdruk / rookafzuiging De systemen dienen dubbel uitgevoerd te worden. - In het geval van een dubbele buistunnel zonder tussenverbinding wordt aanbevolen om het volume van het station te vergroten om een nooduitgang te voorzien aan het einde van de tunnel om een evacuatie mogelijk te maken via de 2 voetpaden aan weerszijden van het spoor. - Een verhoging van de snelheid van de boosters (thans vastgesteld op 1 m/s) verhoogt de prestatie van de rookafvoer. De snelheid dient gekalibreerd te worden om een evacuatie van personen mogelijk te maken zonder dat zij achterhaald worden door de rook.

8. Synthese van de vergelijking enkele buisvariant - dubbele buisvariant

8.1. Lengteprofiel

Het lengteprofiel van de enkele buisvariant en de dubbele buisvariant wordt aangegeven in de onderstaande grafiek:

Voor de dubbele buisvariant wordt een vermindering van de diepte van maximaal 5 meter waargenomen.



Figuur 252: Vergelijking van het lengteprofiel van het tracé van de enkele buistunnel en de dubbele buistunnel (BMN, 2020)

De vergelijking van de maximale hellingen van de secties wordt in de onderstaande tabel samengevat:

Secties	Max. helling (%) - Enkele buis	Max. helling (%) - Dubbele buis
P0 - Bordet	1.6	0.8
Bordet – Vrede	1.2	0.83
Vrede – Linde	3.2	3
Linde - Riga	0.5	0.5
Riga - VBH	4.2	4.86
VBH - Colignon	1.4	1.76
Colignon – Liedts	1.3	3.17
Liedts – P5	3	3

Tabel 76: Vergelijking van de maximale hellingen van de tunnels (BMN, 2020)

8.2. Hoeveelheid afgegraven grond

8.2.1. Tunnels

De vergelijking van de hoeveelheden afgegraven grond voor elk alternatief wordt in de onderstaande tabel samengevat:

Ouvrage	Netto volume grond (m ³)		Gezwellen voume grond (m ³)	
	Enkele buis	Dubbele buis	Enkele buis	Dubbele buis
PO + Helling	65.321	60.148	84.917	78.192
Tunnel	296.339	303.340	385.241	394.342
Vertakkingskunstwerk Bordet	-	24.774		32.206
Bordet				
Vrede	125.580	122.484	163.254	159.229
Linde	94.364	86.691	122.673	112.698
Vertakkingskunstwerk Linde	99.455	96.470	129.292	125.411
Riga	-	14.247		18.521
Verboekhoven	108.416	111.885	140.941	145.451
Vertakkingskunstwerk Verboekhoven	136.881	125.372	177.945	162.984
Colignon	-	10.733		13.953
Liedts				
Vertakkingskunstwerk P5 – Liedts	93.745	92.848	121.869	120.702
Liedts	99.215	98.185	128.980	127.641
Tussenverbindingen	-	12.419	-	16.145
	-	-	-	-
Totaal	1.119.316	1.159.596	1.455.111	1.507.475
Delta		40.280		52.364

Tabel 77: Synthèse van de hoeveelheden afgegraven grond voor de enkele buistunnel en de dubbele buistunnel (BMN, 2020)

8.2.2. Stations

De verhouding van de afgegraven grond van elk station wordt samengevat in de onderstaande tabel:

Kunstwerk	Schacht PO + helling	LIEDTS	COLIGNON	VBH	RIGA	TILLEUL	PAIX	BORDET
		Dubbele buis (m ²)	60.148	122.531	92.848	125.372	111.885	96.470
Enkele buis (m ²)	65.321	99.215	93.745	136.881	108.416	99.455	94.364	125.580
RATIO	0,92	1,24	0,99	0,92	1,03	0,97	0,92	0,98

Tabel 78: Verhouding van de afgegraven grond van de stations (BMN, 2020)

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
8. Synthese van de vergelijking enkele buisvariant – dubbele buisvariant

De verhouding van de oppervlakken van de hoofdbouwblokken wordt samengevat in de onderstaande tabel:

Kunstwerk	Schacht PO + helling	LIEDTS	COLIGNON	VBH	RIGA	TILLEUL	PAIX	BORDET
Dubbele buis (m ²)	5680	1631	2371	2590	4006	3125	1690	3575
Enkele buis (m ²)	4860	1631	2117	2609	3310	2713	1768	3230
RATIO	1,17	1,00	1,12	0,99	1,21	1,15	0,96	1,11

Tabel 79: Verhouding van de hoofdbouwblokken van de stations (BMN, 2020)

De verhouding van de bevroren zones voor de stations wordt samengevat in de onderstaande tabel:

KUNSTWERK	LIEDTS BRAB	LIEDTS VDW	COLIGNON	VBH	PAIX
OPPERVLAKTERATIO BEVROREN ZONE	1,29	1,23	1,86	1,37	1,66
DUBBELE BUIS [m ²]	1360	1600	2475	2550	2600
ENKELE BUIS [m ²]	1055	1300	1330	1860	1560
BREEDTERATIO BEVROREN ZONE	1,29	1,25	1,43	1,29	1,48
DUBBELE BUIS [m ²]	31	30	30	31	31
ENKELE BUIS [m ²]	24	24	21	24	21
LENGTERATIO BEVROREN ZONE	1,08	0,92	1,31	1,09	1,12
DUBBELE BUIS [m ²]	42	45	76	84	84
ENKELE BUIS [m ²]	39	49	58	77	75
RATIO DIEPTE STATION	1,05	1,05	0,80	0,86	0,83
RATIO VOLUME (RATIO DIEPTE STATION W RATIO OPPERVLAKTE BEVROREN ZONE)	1,35	1,29	2,04	1,51	1,87
RATIO OPPERVLAKTE GROUTING SLUITVLIES	-	0,64	1,67	-	1,34
DUBBELE BUIS [m ²]	-	164	222	-	178
ENKELE BUIS [m ²]	223	258	133	-	133

Tabel 80: Verhouding van de bevroren grond van de stations (BMN, 2020)

8.2.3. Sporen

De vergelijking van de strekkende spoormeters wordt in de onderstaande tabel samengevat:

Strekende meter	Sporen	Tunnelbuizen
Dubbele buis (m)	10335	8449
Enkele buis	9898	4101
Delta (m)	437	4348
VERHOUDING	1.04	2.06

Tabel 81: Strekkende spoormeters (BMN, 2020)

8.3. Conclusies

De dubbele buisvariant maakt het mogelijk om de tunnel en de stations gemiddeld 5m hoger onder het oppervlak aan te leggen op een gemiddelde diepte van 15 m. De moeilijkheden die het verhinderen om de perrons en de tunnel nog hoger aan te leggen worden opgesomd in dit rapport (benodigde bufferlaag grond boven de tunnel, passage van kunstwerken, aquaduct, toelaatbare helling voor de tunnelboormachine en de metro tijdens de exploitatie, vlak station, enz...). Hierdoor blijft de diepte van station Liedts op een ongewijzigde diepte en stijgt Bordet slechts 2 m hoger naar het oppervlak.

De te graven lengte is logischerwijze 2 maal groter en bedraagt bij de dubbele buisvariant 9km in plaats van 4.5km bij de enkele buisvariant, maar toch is het volume **afgegraven grond** slechts 2.4% meer ten opzichte van de enkele buisvariant (dankzij de vermindering van de diameter van de tunnels). Dit verschil in volume is **marginaal** in vergelijking met de omvang van het project. Om geloofwaardig te blijven wat betreft de bouwplanning en de inbedrijfstelling in 2030 dient gewerkt te worden met 2 tunnelboormachines en dus 2 werkbases, enz. Dit bemoeilijkt in hoge mate de werf zowel bij de stelplaats van Haren als bij de 7 stations en bij de Aarschotstraat waar de graafwielen opgevangen moeten worden.

Het volume **afgegraven grond** door de aanleg van de **stations** voor de dubbele buisvariant is iets minder dan dat van de enkele buisvariant (vermindering van circa 3%). Deze vermindering komt door de diepte van de stations die minder diep zijn in het geval van de dubbele buisvariant. Deze winst blijft echter gering, want dit gaat gedeeltelijk verloren door de verbreding van de ombouw van bepaalde stations.

De voordelen van deze dubbele buisvariant worden vermeld in de verschillende boeken "Station" en bestaan voornamelijk uit de winst van een verdieping voor 5 van de 7 stations. Evenals de positie van een centraal perron wat het mogelijk maakt de circulatie van de reizigers te rationaliseren tussen het niveau van het perron en het niveau van de tussenverdieping (verbinding van de liften, roltrappen, trappen).

Wat uiteindelijk de dubbele buisvariant bestraft zijn de 5 vertakkingskunstwerken, zoals gewenst door de aanvrager en de exploitant in het kader van deze studie (zie Deel 2 - Hoofdstuk 2.5).

Er zijn er 2 van aan de uiteinden van de verbinding NB voor de aansluiting op de stelplaats en station Brussel-Noord. En vervolgens 3 op het traject (Verboekhoven, Linde, Bordet). Het betreft technisch gezien zeer groots uit te voeren werken (materialen + bevrozing) en brengen

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
8. Synthese van de vergelijking enkele buisvariant – dubbele buisvariant

een extra risico met zich mee voor de gebouwen aan de oppervlakte, evenals een langere uitvoeringstijd dan die van het oorspronkelijke project. Aldus voegen de verbinding P5-Liedts en de vertakkingen een niet te verwaarlozen volume aan afgegraven grond toe van circa **80.000 m³**. Dit komt neer op bijna **10%** van het totale volume aan afgegraven grond van de enkele buisvariant.

Hieruit valt te herleiden dat de dubbele buisvariant een verhoging met zich meebrengt van 3,6% van het totale volume aan afgegraven grond, hetgeen te verwaarlozen is ten opzichte van de omvang van het project. Wetende dat het voornamelijk de vertakkingskunstwerken zijn die dit veroorzaken.

De dubbele buisvariant brengt ook een **verhoging van de kosten** van het project met zich mee van circa **10%** om dezelfde redenen (vertakkingskunstwerken) maar ook vanwege de grotere hoeveelheden beton en staal om de tunnels en de stations te bouwen. Zonder de vertakkingskunstwerken blijven de kosten van de enkele buisvariant en de dubbele buisvariant nagenoeg hetzelfde.

Wat betreft het **grondwater** neigt de dubbele buisvariant naar een **vermindering van de af te voeren debieten** en de perifere **impact** in vergelijking met de enkele buisvariant, ondanks dat de stations iets groter zijn en de diepte van de gegoten wanden ongewijzigd blijft (afhankelijk van de positie van de waterdichte horizon).

Wat betreft de verzakkingen en de impact op de gebouwen zijn de berekende maximale totale absolute **verzakkingen** bij de dubbele buisvariant **lager** dan die bij de enkele buisvariant. De **invloedzone** van de verzakkingen is echter **uitgebreider** bij de dubbele buisvariant met dus een impact op een groter aantal gebouwen. Terwijl het oorspronkelijke project onder 353 percelen loopt kunnen 137 extra percelen beïnvloed worden door de passage van de tweede tunnelboormachine bij de dubbele buisvariant.

Wat betreft de **stations** is het aantal strekkende meters van de gegoten wanden enigszins groter (evenals het oppervlak van de stations) bij de dubbele buisvariant met dus een **iets grotere impact** op de omringende gebouwen.

Wat betreft de verzakkingen/impact op de gebouwen heeft de aanleg van de vertakkings- en verbindingskunstwerken, evenals de evacuatieverbindingen de grootste impact.

Bij de dubbele buisvariant heeft de demontage van de 2e tunnelboormachine eveneens een aanzienlijke impact op de zone nabij de schacht P5, omdat deze tunnelboormachine gedemonteerd moet worden vanuit de binnenzijde van de tunnel (waardoor een extra waterdicht massief nodig is bij de Aarschotstraat).

Samenvattend is wat betreft de **effecten op de grond, ondergrond, economie en grondwater de dubbele buisvariant minder gunstig dan de enkele buisvariant**, voornamelijk vanwege de verakkingskunstwerken en het verbindingskunstwerk met station Brussel-Noord. Zonder deze kunstwerken zou de impact van de dubbele buisvariant vergelijkbaar zijn met de enkele buisvariant of zelfs, los van de techniek, iets gunstiger zijn vanwege de trajecttijd voor de reizigers vanaf de oppervlakte.

Her risico op verstoring aan de oppervlakte mag echter niet verwaarloosd worden wegens de passage van een eerste tunnelboormachine die weliswaar beheerste verstoringen veroorzaakt, maar gevolgd wordt door een tweede tunnelboormachine die de voorafgaand genomen maatregelen dreigt te verzwakken.

Voor de exploitatie is de dubbele buisvariant minder gunstig voor de **interventies en het onderhoud** in de tunnel, want doorgaans gebruikt men een spoor om op het andere te

werken, hetgeen niet mogelijk is met één spoor. Door met 2 gescheiden buizen te werken, kan men evenmin de signalerings- en alarmsystemen gemeenschappelijk gebruiken.

Wat betreft de brandpreventie is de dubbele buisvariant veiliger want er is slechts één rijtuig per richting met dus tweemaal minder potentiële slachtoffers. Bovendien biedt deze variant de mogelijkheid om tussenverbindingen te creëren tussen de twee buizen, zodat in geval van incidenten in de tunnel de reizigers sneller naar een veilige zone geleid kunnen worden. Echter, in het geval van het gesimuleerde "worst case" scenario kunnen zelfs als er tussenverbindingen tussen de buizen zijn niet alle reizigers in veiligheid gebracht worden voordat zij achterhaald worden door de rook.

Wat betreft **veiligheid/evacuatie**, is de **dubbele buisvariant gunstiger** omdat er slechts één trein per tunnel is. Bovendien zou de aanleg van een tweede voetpad (in elke tunnel) het mogelijk maken om de passagiers aan beide zijden van de tunnel te evacueren (de evacuatie zou problematisch blijven voor de passagiers aan de tegengestelde zijde van het middenperron bij een dubbele buisstation).

Wat betreft de geluids- en trillingseffecten zowel tijdens de bouw als tijdens de exploitatie, worden de drempelwaarden niet bereikt. De conclusies voor zowel tijdens de exploitatiefase als tijdens de bouwfase zijn dezelfde als die voor de enkele buisvariant.

Deel 2 : Beschrijving van het ontwerpalternatief (dubbele buis)
8. Synthese van de vergelijking enkele buisvariant – dubbele buisvariant

Deel 3:Nota inzake de technische haalbaarheid van een verlenging voorbij Bordet

Uittreksel van het bestek van de studie:

"Om rekening te houden met de uitbreidingsmogelijkheden van het netwerk wordt de studiegelastigde verzocht om de technische haalbaarheid te analyseren om in de toekomst een verlenging te realiseren van het tracé voorbij Bordet, bijvoorbeeld naar Haren en de zone van de luchthaven. Dit bestaat uit de analyse van de technische compatibiliteit van de voorziene kunstwerken en de exploitatie van de tunnel met een dergelijke verlenging, met name de configuratie van een begin van een metrotunnel naar Haren voor een verbinding met een toekomstig station in Haren in samenhang met het uitwisselingscentrum van de NMBS.

Deze analyse dient voornamelijk te steunen op de uitgevoerde studies in het kader van het RPA Bordet."

Merk op dat het laatste deel van de paragraaf vooruitloopt op de voortgang van het RPA Bordet en het MER daarvan. In het huidige stadium van schrijven van deze effectenstudie wensen wij te benadrukken dat noch de diagnose, noch het programma, noch de ruimtelijke indeling van het RPA Bordet goedgekeurd zijn. In februari 2021 werd de diagnose geleverd, maar nog niet goedgekeurd door het comité.

Het bestek verwijst naar een technische haalbaarheid en dus los van de opportuiniteitsstudies van de verlenging naar het Noorden (Haren, luchthaven of anderszins) die reeds uitgevoerd werden gedurende de vorige stadia van deze effectenstudie (zie boek I - Inleiding).

1.1. Exploitatieschema van de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning en moeilijkheden

In het huidige stadium van de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning is geen enkel kunstwerk voorzien voorbij station Bordet (naar de stelplaats) om een eventuele verlenging in de toekomst mogelijk te maken naar het Noorden of Noord-Oosten van Brussel of naar Vlaanderen.

De door BMN uitgevoerde schijf 2 geeft desalniettemin haar conclusie op bladzijde 82 het volgende aan, bron: Stapprapport fase 2 - Verlenging naar Haren: *"Uit de studie lijkt voort te vloeien dat voor alle scenario's (3 verlengingsscenario's) een dergelijke verlenging een significant extra aantal reizigers kan aantrekken en kan profiteren van de gemaakte civiele bouwkundige kosten-... -De studie heeft aangetoond dat scenario A2, dat wil zeggen een verlenging tot Haren met een GEN-eindhalte en een P+R voordeliger is wat km reizigers dan de andere verlengingsscenario's naar Haren en nauwelijks minder gunstig is dan een metro-eindstation in Bordet."*

De aanvrager heeft echter besloten om het verlengingskunstwerk niet in zijn oorspronkelijke aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning op te nemen om de volgende reden: Het MER van het GBP en het tracé van de kaart 6 TC van het GBP maakt geen melding van een verlenging voorbij Bordet. Dit tracé werd goedgekeurd door de Regering.

Wat betreft hetgeen voorzien is in de aanvraag:

Bij de uitgang van station Bordet naar de stelplaats begint de tunnel aan zijn boog (rode lijn op de volgende Figuur) onder de huidige Decathlon en vervolgens onder de toekomstige metrostelplaats waar de metro zijn stijging naar de oppervlakte beëindigt. In de tekst die volgt wordt een complete module van rijtuigen die de metro vormen een "trein" genoemd.

Tijdens de exploitatie (nominale mode) wordt voorzien dat de treinen afkomstig van station Brussel-Noord van spoor kunnen veranderen en weer naar station Brussel-Noord kunnen vertrekken zonder via de stelplaats te gaan via een "spoorovergang" of een "omkeerinrichting". Dit soort kunstwerken zijn gebruikelijk aan het einde van de lijn (bijvoorbeeld bij Herman Debroux). Deze omkeerinrichting moet minstens over 170m beschikken, als volgt verdeeld:

- Een wissel met een lengte van 45.33 m (van tongspits tot tongspits)
- Een lengte voor de "vrijmaking" van de wissel van 15m
- Een treinlengte van 94m
- Een veiligheidszone (noodremming, bufferzone) van 15m

De wissel dient in een rechte lijn te liggen. De omkeerzone kan gebogen zijn.

Dit kunstwerk is voorzien in de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning aan de uitgang van station Bordet onder de huidige "Quick" (recht gedeelte van de wissel) en gedeeltelijk onder de Decathlon waar de tunnel zijn stijgende boog naar de stelplaats begint. De positie van de omkeerrichting is dus gebogen aan de achterzijde van station Bordet, de omkering is niet voorzien in het station om exploitatieredenen.

Zoals aangegeven is dit een moeilijkheid want de boog naar de stelplaats kan pas na de wissel beginnen.

Dit rapport gaat uit van een stedenbouwkundige vergunning voor een enkele buistunnel om de technische haalbaarheid te bestuderen, maar deze analyse kan ook gelden voor de dubbele buisvariant omdat de impact grotendeels hetzelfde is.

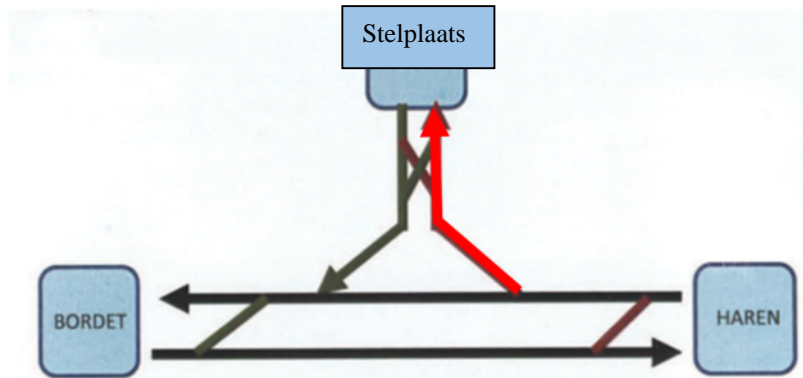


Figuur 253: plan van het einde van de lijn tussen Bordet en de stelplaats (bron BMN, 2020)

1.2. Exploitatieschema in geval van een verlenging en beperkingen

Het tracé van de metreolijn tot aan de stelplaats is dusdanig ontworpen dat een verlenging naar Haren tijdens een latere fase mogelijk haalbaar is met naleving van het door de MIVB aan BMN gevraagde exploitatieschema.

In geval van een verlenging voorziet het exploitatieschema tussen de stations Bordet en Haren in een verbinding vanuit het spoor richting stad naar de stelplaats met 2 enkele sporen. De afvoer van de treinen vindt plaats in de richting Haren/stelplaats, de invoeging van de treinen wordt uitgevoerd in de richting naar Bordet.



Figuur 254: Exploitatieschema in geval van verlenging van de lijn (Bron: BMN, 2020)

Het betreft een door de MIVB gevraagd exploitatieschema. Dit "ideale" exploitatieschema vereist de bouw van een nieuwe verbinding bij de stelplaats vanuit de lijn die vanuit het Noorden komt (in het rood op de bovenstaande Figuur).

In het huidige stadium van de nota is het mogelijk om deze tweede verbindingstak niet te beogen naar de stelplaats vanuit Haren (PC schacht op Figuur 252). De metro vanuit Haren zou namelijk kunnen keren (en dus de verbinding met de stelplaats maken) via het in de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning voorziene kunstwerk bij Bordet. Het betreft uiteraard een exploitatiebeperking, maar door de automatisering van de lijn kan dit veilig beoogd worden en is dit hoe dan ook momenteel reeds voorzien via het SIG-CBTC systeem die de snelheid van de treinen regelt en de haltes op de stations, evenals de oversteek van het spoor voor de omkering. Dit exploitatieprincipe wordt "treinencarrousel" genoemd (2 aan het perron, 1 trein wachtend in de omkeerzone = carrousel vol).

Maar in dit "vereenvoudigde" schema (uitsluitend zwarte lijnen) blijven de moeilijke punten bestaan:

- De positie van de stelplaats, evenals de toegangshelling tot de tunnel,
- De positie van de boog naar de stelplaats die beperkt wordt door de werking van de tunnelboormachine en de minimaal toelaatbare boog op het moment van uitvoering.
- De positie van station Bordet en de spoorovergang achter het station.

De positie en de exacte grootte van de schachten zouden enigszins kunnen variëren naargelang het definitieve tracé van de verlenging. Deze kleine afwijkingen hebben echter geen significante impact op de plaats van de schachten die vastgesteld werden om de lijn te verlengen in een noordelijke trechter en een nieuwe verbinding te maken met de stelplaats met naleving van het huidige en toekomstige functionele exploitatieprincipe (positie en grootte van de wissels en spoortoestellen).

Uitgaande van het principe van het minimalistische schema bevindt het prioritaire verbindingkunstwerk zich dus tussen station Bordet en de Zweefvliegtuigstraat onder de huidige Décathlon (kunstwerk PA genoemd op de onderstaande Figuur).



Figuur 255: Tracé van de stedenbouwkundige aanvraag (blauw) en uit te voeren kunstwerken (rood en groen), (bron BMN, 2020).

Alvorens de definitieve positie van schacht PA te bepalen werden meerdere opties bestudeerd om de impact te bepalen op het gebouw van Decathlon.

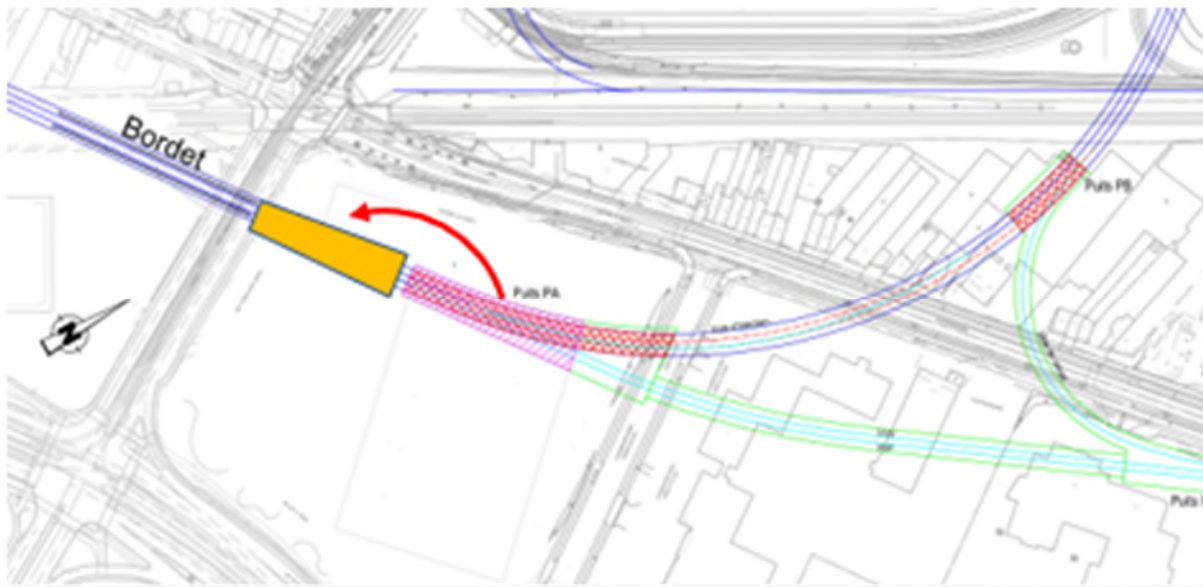
Er werden drie opties in beschouwing genomen op basis van de hierboven vermelde moeilijkheden:

1. Kunstwerk bij de uitgang van station Bordet naar Haren grotendeels onder de huidige Quick en Décathlon.
2. Kunstwerk onder de Décathlon
3. Kunstwerk grotendeels onder Zweefvliegtuigstraat

1.2.1. Optie Bordet

De optie Bordet is interessant wat betreft de meest dichtstbijzijnde positie daarvan ten opzichte van het moeilijke punt dat gevormd wordt door het station. In het huidige stadium namelijk van deze studie beschikken wij niet over informatie die de noodzaak van een verbinding naar Haren, naar de luchthaven of naar Diegem rechtvaardigen. Gelet op dit onbekende gegeven, is het de doelstelling om te kiezen voor de dichtstbijzijnde ligging ten opzichte van station Bordet (het uitlieme station van de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning) om een zo breed mogelijke verbindingshoek naar het Noord-Oosten te behouden. Gelet ook op de hypothese dat een verlenging ook uitgevoerd zou worden met een tunnelboormachine met de moeilijkheden die dit behelst in verband met de boogstraal naar het Noord-Oosten.

Het tweede belang van deze optie is de werkzaamheden van het station te kunnen cumuleren met dit verlengingskunstwerk zodat gemeenschappelijk gebruik gemaakt kan worden van de bouwmachines, de arbeiders, de werfmaatregelen en de plannings. De optie Bordet is dus nauw verweven met de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning en moet derhalve functioneel zijn op het moment van de uitvoering. Deze moet daarom deel uitmaken van de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning.



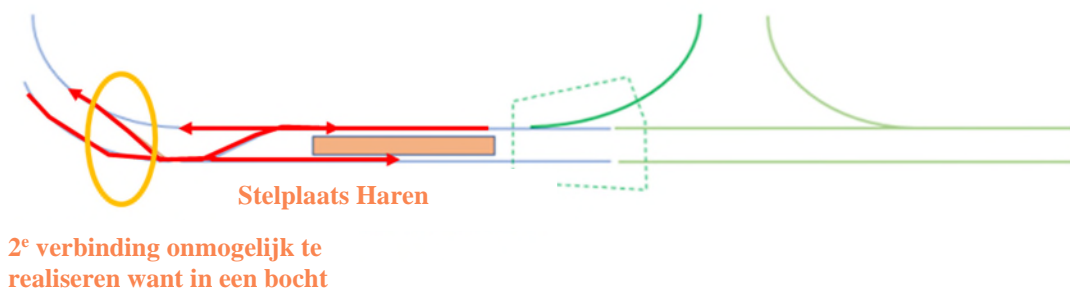
Figuur 256: Principeschema van het verlengingskunstwerk - Optie Bordet (bron BMN, 2020)

Hoewel deze optie technisch uitvoerbaar en gemeenschappelijk uitgevoerd kan worden met de bouw van station Bordet, is het nadelig wat betreft de exploitatie. Het verlengingskunstwerk zou namelijk moeten liggen op de momenteel voorziene plaats van de wissel, hetgeen een verplaatsing met zich meebrengt van de omkeerinrichting wat niet zonder gevolgen is (zie hieronder).

De omkering op station Bordet

Het doel van deze optie is het vrijmaken van ruimte achter het station (onder de huidige Quick en het plein van de Decathlon) om gebruik te maken van de perrons van het station als omkeerzone.

Dit veronderstelt de uitvoering van een dubbele verbinding tussen Vrede en Bordet en er dient een centraal perron voorzien te worden op station Bordet (net als bijvoorbeeld het station Koning Boudewijn). Het is dus het perron van het station dat dienst doet als omkeerzone wat niet eenvoudig is tijdens de exploitatie als men een interval van 90 seconden tussen de treinen wil verzekeren (moeilijkheid van het beheer van het op- en uitstappen).



Figuur 257: Principeschema van een omkering op station Bordet (bron BMN, 2020)

Deze oplossing is niet compatibel met de huidige stedenbouwkundige vergunning, want de enkele buistunnel laat geen centraal perron toe op station Bordet en de boog tussen Bordet en Vrede is problematisch voor de toevoeging van twee verbindingswissels zoals hieronder aangegeven. Deze optie zou een verschuiving vereisen van de perrons en dus een groot deel van het station naar het oosten. In het tegengestelde geval is het station Vrede dat verschoven moet worden, wat moeilijk te doen lijkt.

Deze optie vereist dus de wijziging van de stedenbouwkundige vergunning met grote gevolgen van dien, want deze optie heeft zowel invloed op het voorstation (ombouw voor wisselcomplex + nieuwe boog naar VREDE), het achterstation (werken onder Quick en J. Bordet) en station Bordet (uitvoering van een centraal perron). Het tracé naar de stelplaats en de schacht P0 zou ook gewijzigd moeten worden, hetgeen uiterst moeilijk blijft, zo niet onuitvoerbaar als gevolg van de voor deze zone opgelegde beperkingen. Ook dient de goot van de Navo verplaatst te worden die zich langs J. Bordet bevindt.

Als deze optie na de exploitatie uitgevoerd zou moeten worden, is het duidelijk dat dit een complete onderbreking van het verkeer op de lijn zou vereisen naar en vanuit de stelplaats gedurende de gehele bouwfase.

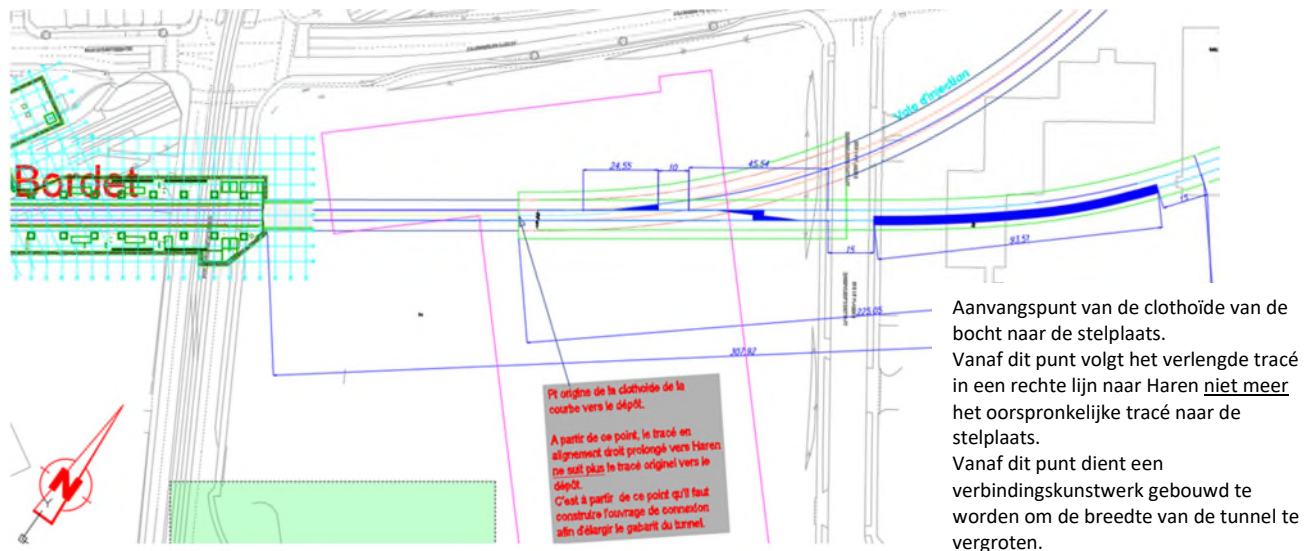
1.2.2. Optie Décathlon/Citydev (lang aansluitstuk)

Het is het doel om de wissels van het voorstation en het achterstation, evenals de omkeerzone onafhankelijk van het station te houden. Ten opzichte van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning zit het verschil in de positie van de omkeerzone niet in een boog naar de stelplaats maar in een rechte lijn onder de Decathlon en de Zweefvliegtuigstraat zodat gemakkelijker een potentiële tunnel naar het noorden aangesloten kan worden.

Bij deze optie keert de trein om op het verlengingskunstwerk en niet op de boog naar de stelplaats.

Dit principe wordt aangegeven op de onderstaande Figuur en brengt drie grote nadelen met zich mee:

- Het veronderstelt de uitvoering van het kunstwerk op het moment van de uitvoering van de stedenbouwkundige vergunning en tijdens de eerste bouwfase (daar de omkering nodig is tijdens de inbedrijfstelling van station Bordet).
- Het veronderstelt de aanleg van een zeer lang kunstwerk (circa 275 m vanaf de uitgang van station Bordet) omdat men zich moet bevinden voorbij het begin van de boog naar de stelplaats. Het kunstwerk zou zich gedeeltelijk onder de Decathlon bevinden en zelfs verder lopen dan de Zweefvliegtuigstraat.
- Als de verlenging niet uitgevoerd wordt, is deze rechtlijnige omkeerzone niet nodig, zelfs al is deze configuratie feitelijk praktischer dan de boog van de stelplaats. Dit gesteld zijnde, dient opgemerkt te worden dat bij een automatische metro het niet veel uitmaakt of men over een rechtlijnig of over een gebogen spoor beschikt, dankzij het CBTC-systeem.



Figuur 258: Principeschema van variant 2 Bordet met een wissel- en omkeerkunsthwerk over 275 meter vanaf het vertrek bij de perrons van Bordet (bron BMN, 2020)

Deze optie vereist een herziening van de stedenbouwkundige vergunning voor het gedeelte achter het station en de omkeerzone. Het kunsthwerk dient namelijk functioneel te zijn tijdens de inbedrijfstelling van de metro tussen Noord en Bordet. Het tracé naar de stelplaats en de schacht P0 zou ook gewijzigd moeten worden, hetgeen uiterst moeilijk blijft. Echter, deze translatie van de tunnel naar de stelplaats is niet verplicht als men uitgaat van het principe om het boogpunt op hetzelfde niveau te houden.

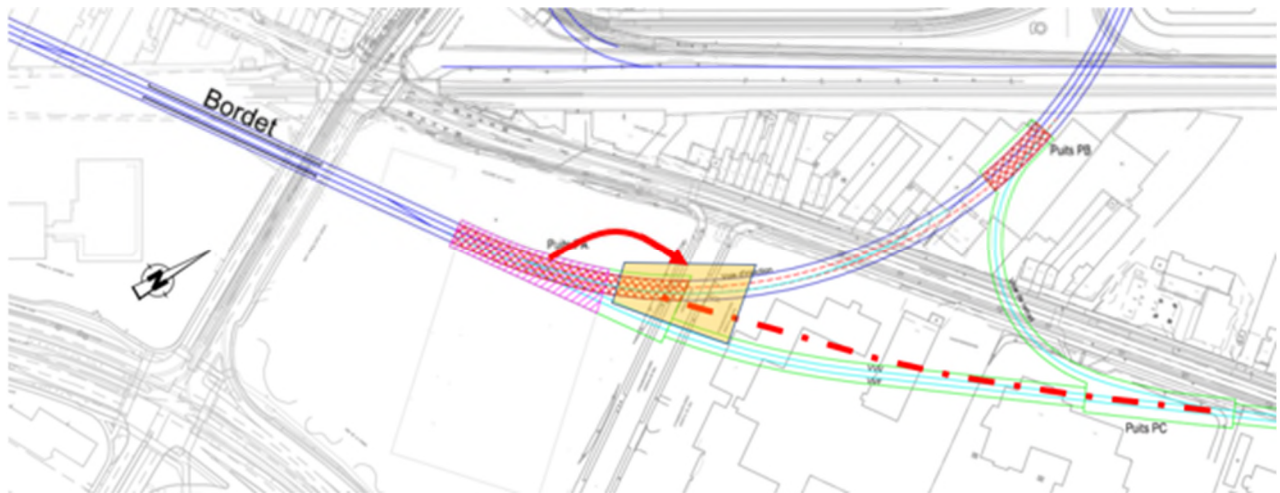
Het voordeel van deze optie is dat men een omkeerzone kan behouden en dus de lijn en de toegang naar de stelplaats open kan houden zelfs gedurende de bouw. Een verstoring is mogelijk in de omkeerzone tijdens het boren van de tunnel voor de verbinding Noord, maar die blijft beperkt tot een korte periode. Deze periode komt overeen met het boren van de bodem van het aansluitstuk (weekend) ten behoeve van de aansluiting op de nieuwe verlengstunnel.

Bij beide opties levert de goot van de Navo die zich langs de J. Bordetlaan tussen het station en de Decathlon bevindt een probleem op, want deze dient afgesloten te worden tijdens de bouwphase.

1.2.3. Optie Zweefvliegtuigstraat (kort aansluitstuk)

Deze optie heeft tot doel de verstoring met een gebouw aan de oppervlakte te beperken om het werk vanaf de oppervlakte te vereenvoudigen en dus een minder lange uitvoering van de bouw. Deze optie moet het ook mogelijk maken om onafhankelijk te zijn van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning om uitsluitend een spoortoestel in te voegen.

Het doel van deze optie bestaat dus uit de verplaatsing van het kunsthwerk naar de Zweefvliegtuigstraat om de latere uitvoering te vereenvoudigen.



Figuur 259: Principeschema van de positie van het verlengingskunstwerk bij de Zweefvliegtuigstraat (bron BMN, 2020)

Bij deze optie wordt de schacht naar het noord-oosten verplaatst en is het spoortoestel dus niet meer recht uitgelijnd. Men zou een raakvlak moeten creëren met de tunnel om het spoortoestel aan te brengen.

In dit geval zou het toekomstige verbindingsspoor van de stelplaats niet meer compatibel zijn met het voor de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning besloten tracé. Dat wil zeggen dat men de boog enkele meters moet verplaatsen naar de stelplaats (translatie) om de wissel in een rechte lijn aan te brengen (in de richting van de rode stippellijn) hetgeen een sloop/reconstructie van de tunnel veronderstelt. Op deze wijziging zou vooruitgelopen kunnen worden in de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, maar de wijziging zou ook gevolgen hebben voor de positie van de uitgangshelling en dus de positie van de stelplaats.

Als op deze optie niet vooruitgelopen wordt in het stadium van de stedenbouwkundige vergunning, vereist dit kunstwerk de constructie van een nieuwe aansluittunnel op de stelplaats en dus een omvangrijke onderbreking van de exploitatie. Uiteindelijk heeft deze optie die onafhankelijk gewenst was van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning dus een rechtstreekse en aanzienlijke impact tijdens de uitvoering van deze verlenging. Deze optie maakt de toegang tot de stelplaats gedurende de gehele bouwfase onmogelijk en dienen de treinen om te keren achter het station en naar een andere stelplaats te gaan.

Verder is voor deze optie de verplaatsing vereist van het stormbekken die zich onder de Zweefvliegtuigstraat bevindt.

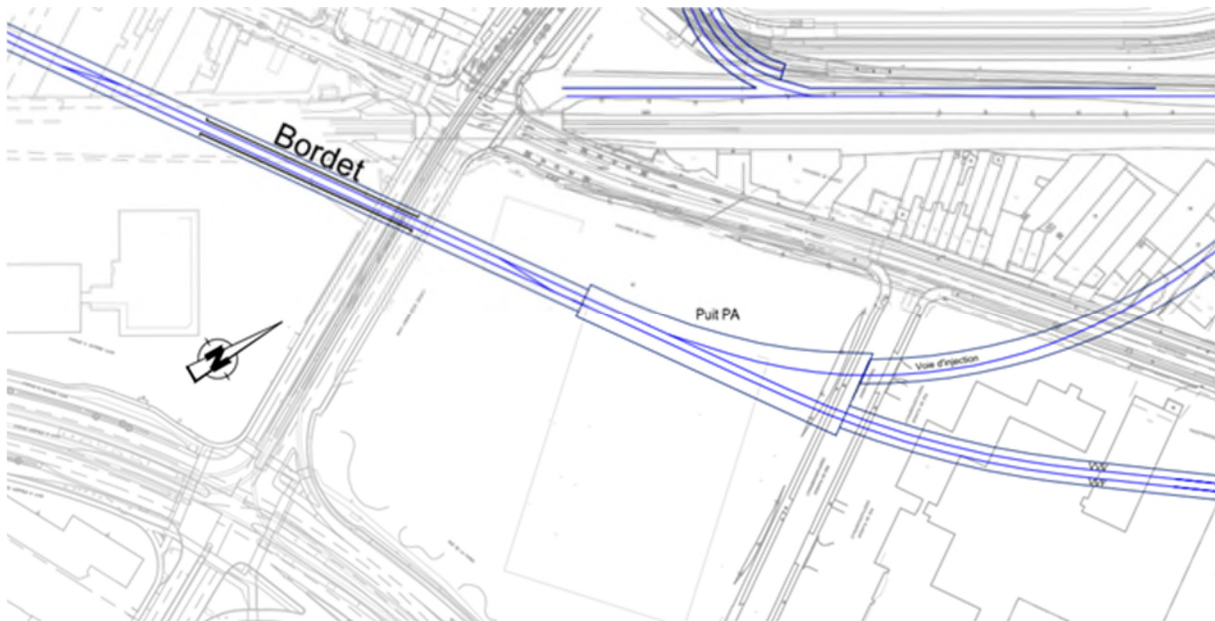
Concluderend kan gesteld worden dat als besloten wordt tot een minimaal aansluitstuk in het stadium van de amendementen met een wijziging van de stedenbouwkundige vergunning, deze optie weerhouden kan worden. Deze optie maakt de installatie van de spoortoestellen en het vertrek van de lijnen mogelijk.

Tijdens een eventuele verlenging dient, wegens zijn statuut van kort aansluitstuk, een onderbreking voorzien te worden van de exploitatie om de bodem van het aansluitstuk te boren, maar deze onderbreking kan punctueel zijn (meerdere weekeinden). De optie blijft echter nadeliger dan een lang aansluitstuk vanwege de beperkte omvang van de werfzone en de nabijheid ervan ten opzichte van de tunnel die naar de stelplaats loopt.

1.2.4. Optie Décathlon (korte aanloop)

Op basis van de conclusies van de 2 hiervoor besproken opties, heeft deze optie tot doel zich te bevinden tussen het spoortoestel achter het station en voor het begin van de boog naar de stelplaats teneinde het tracé niet te wijzigen.

De op de bestaande tunnel aangesloten grote hoofdschacht (PA) zou zich onder de huidige Décathlon bevinden en de ontvangst mogelijk maken van een tunnelboormachine vanuit Haren. Hiervoor is een gedeeltelijke sloop of uitgraving en constructie nodig van de parkeerplaats van Décathlon. Ter herinnering wordt opgemerkt dat de 2 andere schachten niet "onontbeerlijk" zijn als de spoorovergang achter station Bordet behouden blijft.



Figuur 260: Principeschema van het verlengingskunstwerk - Optie Bordet (bron BMN, 2020)

Net als geldt voor de aanloop 'Citydev en Zweefvliegtuigstraat' kan bij deze optie de exploitatie gehandhaafd worden tijdens een groot deel van de bouwfase. De onderbreking van de lijn zal nodig zijn, maar blijft beperkt op het moment van het boren van het kunstwerk voor de aansluiting van het bestaande met het beoogde. Men verliest dus het voordeel van het lange aansluitstuk onder Citydev die het mogelijk maakt de onderbreking te vermijden.

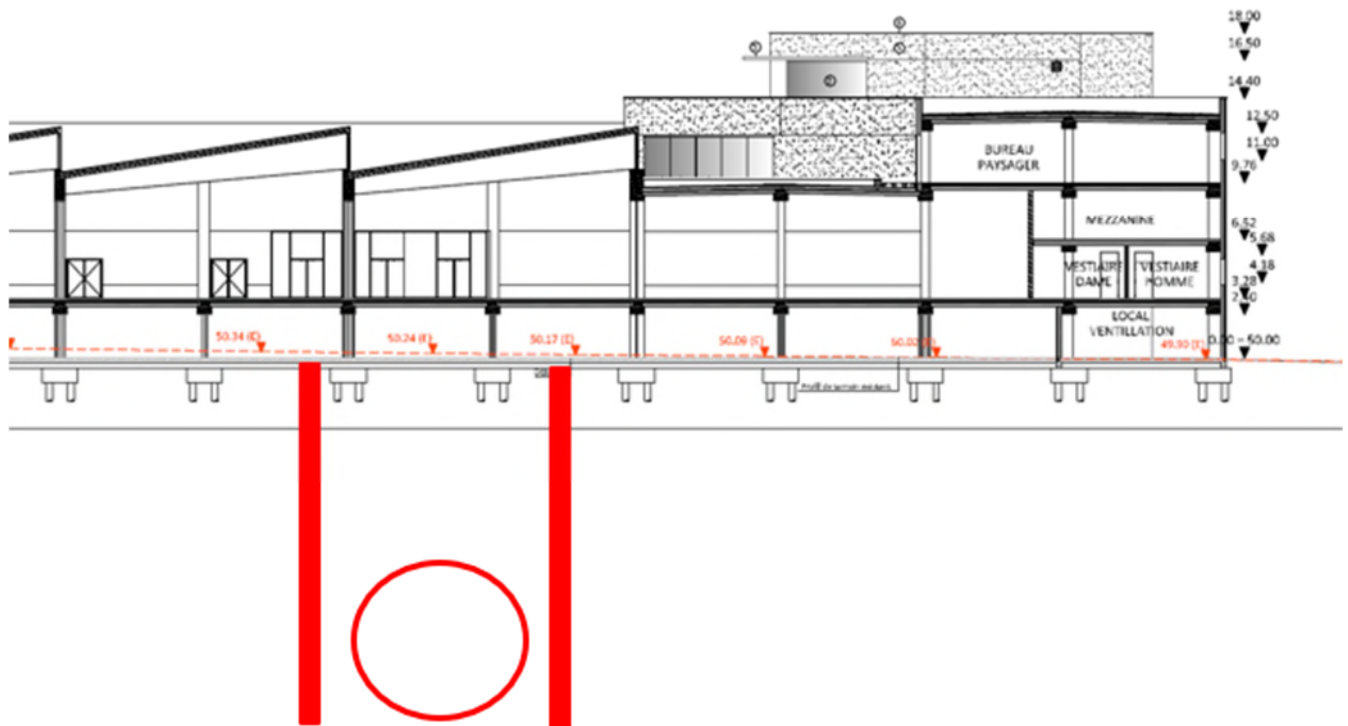
Voor de uitvoering van de schacht PA dient de bouw voorzien te worden van "waterdichte behuizingen" door middel van steunwanden van het gegoten type of een betonpalenwand die uitgevoerd moet worden vanuit de oppervlakte. Volgens de eerste schetsen en werking op basis van de plannen van de funderingen van Décathlon lijkt het mogelijk om dit kunstwerk uit te voeren onder de parkeerplaats van de huidige Décathlon. De methode zal uiteraard minder eenvoudig zijn dan in de open lucht zonder obstakels, maar het is technisch uitvoerbaar. Voor dit kunstwerk is de uitvoering vereist van een waterdichte ombouw van grote diepte, omdat het laagste punt van de tunnel zich circa 15 m onder het gemiddelde grondwaterpeil bevindt.

Om deze waterdichte wanden op grote diepte uit te voeren, richten wij ons, gelet op de beperkte werkhoogte, in de voorstudie op jet-grouting wanden.

Het gebruik van gegoten wanden en betonpaalwanden is bijzonder moeilijk vanwege de geringe werkhoogte als de enige interventie mogelijk is vanaf de parkeerplaats. Er zou gewerkt moeten worden met meerdere fasen voor de grondwerkzaamheden en de uitvoering van de wanden (gekozen principe voor de doorgang onder de NMBS-lijn bij station Bordet), hetgeen ons moeilijk lijkt wat betreft de aanvoer van het uitvoeringsmateriaal.

Het bedachte principe bestaat derhalve uit de volgende fasen:

- 1/ uitvoering van de jet-grouting wanden vanaf de parkeerplaats van Décathlon
 - 2/ eerste grondwerken met blootlegging van de bestaande funderingsblokken (boven het veronderstelde grondwaterpeil)
 - 3/ uitvoering van de steunbalken van de bestaande funderingsblokken voor de belasting van de neerwaartse last naar de nieuwe funderingen buiten de ombouw van het kunstwerk.
 - 4/ uitvoering van een voorlopig, waterdicht jet-grouting stortebed vanuit deze eerste fase van de grondwerken en vanuit de bestaande tunnel. Dit stortebed wordt verankerd om weerstand te bieden aan de onderdruk van het water.
 - 5/ grondwerkzaamheden beschut tegen de jet-grouting met aanbrenging van regelmatige steunbalken en uitvoering van een contrascherm van gewapend beton voor de waterdichtheid en de definitieve blinding van het kunstwerk. (De jet-grouting zorgt namelijk niet voor een waterdichtheid en voorlopige blinding).
 - 6/ Grondwerken rond de tunnelboormachine en sloop van de segmenten daarvan.
 - 7/ uitvoering van een definitief stortebed van gewapend beton (het verankerde stortebed van jet-grouting in de bodem zorgt voor de voorlopige waterdichtheid van de bodem van de bouwput doordat het bestand is tegen de onderdruk)
- De uitvoering van een cirkelvormige schacht voor het gewelfde werk van de jet-grouting wand biedt een groot structureel voordeel en dient beoordeeld te worden naargelang de afmetingen en grootte van het kunstwerk.



Figuur 261: Principedoorssnede van de uitvoering van het verlengingskunstwerk onder de huidige Décathlon (bron BMN, 2020)

Deze optie staat dus los van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning maar vereist een onderbreking van de toegang tijdens de aansluiting tussen de oude en de nieuwe tunnel. Deze onderbreking wordt op enkele weken geschat.

Tenzij gewerkt wordt via een "sarcofaag" rond de tunnelsectie. Het is pas na de installatie van de waterdichte ombouw rond de tunnel dat deze gestabiliseerd zal zijn op zijn interventiesectie. Vervolgens kan het doorboren van de segmenten plaatsvinden met een onderbreking van het verkeer 's nachts en het weekend. Een onderbreking van meerdere weken zou nodig moeten zijn voor de installatie van de nieuwe spoortoeu­stelen en de signalering.

Deze oplossing zal echter duur zijn en vereist een langzame en omslachtige bouw om de tunnel in het grondwater perfect op zijn plaats te houden.

1.3. Conclusie inzake de technische haalbaarheid van een verlengingskunstwerk naar het noord-oosten

1.3.1. Context van de analyse

In Europa en elders in de wereld bevatten de meeste recente metrolijnen een aansluitstuk of voorbereidende werken aan het einde van de lijnen voor een eventuele verlenging. Dit is des te meer gegrond omdat de metro een structurerend vervoersmiddel is, gebaseerd op een zeer lange exploitatiehorizon en die zich dus dient aan te passen aan de demografische groei en de voortdurende expansie van de stedelijke grenzen. Elk nieuw project met een einde van de lijn

voorziet hetzij meteen vanaf het begin in de aanleg van een voorbereidende sectie voor een toekomstige verlenging (indien technisch en financieel haalbaar), hetzij om de latere ontwikkeling van een verlenging niet te verhinderen (dat wil zeggen door de exploitatie-onderbreking maximaal te beperken).

Omdat de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning niet voorziet in een verlengingskunstwerk, maakt dit tweede geval voorwerp uit van deze technische nota.

De huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning voorziet niet in dit kunstwerk om 2 redenen:

- Het milieueffectenrapport van het GBP heeft een tracé bestudeerd met een eindstation bij Bordet en dit tracé van het GBP werd goedgekeurd door de Regering met de positie van het eindstation in Bordet en de aansluiting op de stelplaats van haren.
- Uit de voorgaande studies van BMN, schijven 1&2, is de technische haalbaarheid gebleken van een verlengingskunstwerk naar het noord-oosten, maar naar aanleiding van de 2 voorgaande punten werd door de aanvrager besloten om dit kunstwerk niet in te sluiten, want te onzeker wat betreft de noodzaak daarvan, de kosten, de planning van de verkrijging van de vergunningen en de uitvoering van het kunstwerk. De aanvrager acht dat als dit kunstwerk later uitgevoerd moet worden, dit technisch mogelijk blijft.

Oordeel van de studiegelastigde:

De in deze studie uitgevoerde analyse is gericht (zoals verzocht in het bijzonder bestek van de effectenstudie) op dit laatste punt en dus de controle van de **technische mogelijkheid** van een verlengingskunstwerk. Dit rapport beoogt een onafhankelijke analyse te ontwikkelen van de technische studies die uitgevoerd werden ten tijde van de schijven 1 en 2 van het ontwerp van deze metrolijn.

Het moeilijkste punt is het feit dat station Bordet een eindstation is met de bijzonderheid dat het aangesloten is op de nieuwe metrostelplaats via een met een tunnelboormachine uitgevoerde tunnel en waarvan de boogstraal op zijn maximum is. Deze aansluiting is onontbeerlijk voor de opslag en het onderhoud van de treinen van het netwerk van MIVB (en dat voor het gehele netwerk, niet uitsluitend voor de M3).

Omdat dit verlengingskunstwerk minstens uitgevoerd moet kunnen worden na de aanvang van de exploitatie, hebben wij de moeilijkheden uitgelicht die verband houden met de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, evenals de moeilijkheden met betrekking tot de exploitatie. Dit betreft de positie van de stelplaats, de positie van station Bordet, de minimale boogstraal naar de stelplaats en de noodzaak om een omkeerzone te voorzien van de treinen bij Bordet om te voorkomen dat de stelplaats gebruikt moet worden als omkeerzone.

De betreffende zone voor een verlengingskunstwerk bevindt zich dus achter station Bordet. Momenteel bestaat het voorziene complex uit een spoortoestel en de omkeerzone met een totale lengte van 170 m.

A. De optie omkering op station Bordet

Zou het mogelijk maken het momenteel voorziene complex achter het station (onder Quick en het plein van Decathlon) vrij te maken om er in de plaats daarvan het verlengingskunstwerk en zijn spoortoestel te installeren.

Het voordeel bestaat uit het gemeenschappelijke werk van dit kunstwerk met dat van het station met een zo breed mogelijke verbinding naar het noord-oosten. Deze optie vereist echter een complete herziening van de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning voor het voorstation, het achterstation en station Bordet. Tijdens de gehele exploitatiefase, exclusief verlenging, blijft het station het eindstation zoals aangegeven in de oorspronkelijke aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, maar is een middenperron vereist voor de omkering van de treinen, evenals het beheer van het instappen en uitstappen van de reizigers. Deze optie is interessant omdat de reizigers gecentraliseerd kunnen worden op één perron, maar op een eindstation, met variabele vertrek- en aankomstposities, is dit moeilijker te beheren door de exploitant. Anderzijds garandeert dit systeem met de kruising van rijtuigen en instap-/uitstaptijden geen passage met een regelmaat van 90 seconden.

Bij deze optie is het beoogde verlengingskunstwerk dus nauw verweven met de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, die drastisch gewijzigd zou moeten worden omdat het een complete wijziging vereist van het onderste deel van het station "centraal perron", evenals de toevoeging van een tweede wissel vóór het station. De plaats van dit kunstwerk vereist een omleiding van de goot van de Navo.

Verder kan deze optie tijdens de exploitatie, zolang de verlenging niet operationeel is, geen behoud van de interval van 90 seconden tussen de treinen garanderen.

Deze optie werd niet weerhouden door de studiegelastigde.

B. De optie Décathlon + Citydev (lange uitloop)

Zou het mogelijk maken om onafhankelijk te blijven van de verbinding met de stelplaats door middel van een rechtlijnige aansluitstuk uit de buurt van de boog (wissel) naar de stelplaats. Het grote voordeel van deze optie is het feit dat een rechtlijnige omkering voorgesteld wordt achter het station, los van de verbinding met de stelplaats, wat een optimale werking mogelijk maakt meteen vanaf de exploitatie (dankzij het lange aansluitstuk kan de werf van de verlenging beheerd worden zonder verstoring van de exploitatie). Echter, deze optie vereist een aansluitstuk van een grote lengte die geschat wordt op 270m onder de Décathlon, de Zweefvliegtuigstraat en het 1ste aangrenzende gebouw. Opgemerkt dient te worden dat voor deze optie de verplaatsing vereist is van het stormbekken onder de Zweefvliegtuigstraat.

Als deze optie weerhouden wordt op het moment van de wijzigingen, tegen grote ondergrondse werkzaamheden en hoge meerkosten, maakt deze optie een optimale werking mogelijk tijdens de exploitatie en een beperking van de incidenten tijdens de aansluiting op een nieuwe tunnel (als men uitgaat van het principe dat de positie van de tunnel naar de stelplaats ongewijzigd blijft en dus een verschuiving van het aansluitstuk onder het gebouw "Blue Star").

Het oude gebouw Blue-Star is onderworpen aan grote veranderingen en daarom zou deze erfdiensbaarheid beoogd kunnen worden met Citydev in het stadium van de wijzigingen.

Dankzij het lange aansluitstuk voldoet deze optimaal aan de beperking van de incidenten tijdens een eventuele latere aansluiting.

Als deze optie later uitgevoerd wordt na de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, is dit niet interessant, want het doel hiervan is de creatie van een omkeerzone tijdens de exploitatie met een beperking van de onderbreking tijdens een eventuele aansluiting. Dit lange aansluitstuk heeft geen enkel nut als het later aangelegd wordt. **NIET weerhouden door de studiegelastigde.**

C. Optie Zweefvliegtuigstraat (kort aansluitstuk)

Deze optie had enerzijds tot doel om onafhankelijk te blijven van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning en anderzijds om de werken in een open bouwput grotendeels onder de Zweefvliegtuigstraat te voorzien. Tijdens de studie is gebleken dat voor deze optie wijzigingen bij de verbindingstunnel naar de stelplaats nodig zijn, want de positie van het kunstwerk ligt op de boog naar de stelplaats die beperkt is door de passage van de tunnelboormachine met een minimale toelaatbare straal.

Als dit kunstwerk later uitgevoerd wordt, is voor deze optie een onderbreking nodig van de toegang tot de stelplaats tijdens de bouw daarvan, evenals een wijziging van het oorspronkelijke tracé van de tunnel. Met andere woorden, als dit kunstwerk later gebouwd wordt, dient men de toegang tot de stelplaats te onderbreken voor de reconstructie van een tunnel tussen de Décathlon en de stelplaats! **Niet weerhouden door de studiegelastigde.**

Het voordeel is de plaatsing van de spoortoestellen meteen tijdens de uitvoering van de tunnel naar de stelplaats, hetgeen de onderbrekingstijd tijdens een eventuele verlenging beperkt.

Omdat het een kort aansluitstuk betreft, is voor deze optie hoe dan ook een onderbreking van de exploitatie nodig (meerdere weekeinden) tijdens de aansluiting op de nieuwe lijn. Men dient tevens voorlopig het stormbekken van de Zweefvliegtuigstraat te slopen. De onderbreking van de Zweefvliegtuigstraat zou tijdelijk zijn, als het werk uitgevoerd wordt in cut and cover.

Deze optie is interessant als het weerhouden wordt op het moment van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning en dus wijziging van de vergunning. Want dit maakt het mogelijk om te werken buiten het terrein van het gebouw van de Décathlon. Hiervoor hoeft beantwoord te worden aan het strikte minimum om de aansluiting op een nieuwe tunnel te vereenvoudigen.

Hiervoor is echter wel een translatie vereist van enkele meters van de tunnel naar het noord-oosten ten opzichte van het huidige project. Hetgeen een wijziging veronderstelt van de helling en dus de positie van de toegang tot de stalling.

D. Optie Décathlon (kort aansluitstuk)

Dit betreft de optie die door de aanvrager weerhouden wordt als deze verlenging later plaats moet vinden. Door deze optie blijft de situatie van de huidige stedenbouwkundige vergunning behouden bij het omkeercomplex achter het station.

Het betreft de bouw van een "ombouw" voor de invoeging van een wisselcomplex in verband met de nieuwe tunnel. Om station Bordet niet te wijzigen, noch de positie van de tunnel naar de stelplaats, dient dit kunstwerk zich te bevinden net aan het begin van de boog, dat wil zeggen onder de overdekte parkeerplaats van de huidige Décathlon en tot de Zweefvliegtuigstraat. Het gebruik van gegoten wanden en betonpaalwanden is bijzonder moeilijk vanwege de geringe werkhogte als de enige interventie mogelijk is vanaf de parkeerplaats. Er zou gewerkt moeten worden met meerdere fasen voor de grondwerkzaamheden en de uitvoering van de wanden (gekozen principe voor de doorgang onder de NMBS-lijn bij station Bordet).

Het risico betreft de stabiliteit van de tunnel tijdens de plaatsing van de "waterdichte sarcofaag" met behoud van de exploitatie (behalve 's nachts en het weekend tijdens de bouwfasen).

Als dit kunstwerk voorzien wordt op het moment van de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, is het niet nodig het tracé naar de stalling van de stelplaats te wijzigen (ten opzichte van de optie Zweefvliegtuigstraat). Dit vereist echter een complexe werf onder het gebouw van Décathlon. Deze optie is dan ook minder voordelig dan de optie Zweefvliegtuigstraat.

Indien dit kunstwerk later voorzien wordt dan deze aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning, blijft dat technisch mogelijk mits grote werkzaamheden verricht worden "met een lepel" waarvoor talrijke bouwfasen nodig zijn onder de décathlon. Deze optie vereist echter een onderbreking van de verbinding naar de stelplaats tijdens bepaalde bouwfasen die verband houden met de bestaande tunnel. Hiervoor is een onderbreking nodig van meerdere weken.

1.3.2. Synthèse van het oordeel van de studiegelastigde

Samenvattend zou het niet voorzien of het onmogelijk maken van de bouw van een aansluitstuk naar het noord-oosten nadelig zijn, gelet op de waarschijnlijke ontwikkeling van de stad in deze geografische zone van Brussel. Er blijven echter talrijke onzekerheden bestaan inzake de toekomstige ontwikkeling van de perimeter Bordet/Navo/Haren en de uitwerking van de plannen is slechts gaande, zodat men moeilijk kan weten waar naartoe de lijn verlengd moet worden.

Wat dit betreft is het uitgangspunt nagenoeg identiek voor alle verschillende opties. Er werd gecontroleerd dat alle toekomstige en mogelijke hoofdverbindingen (Haren, Diegem, Luchthaven, Gevangenis, Navo) bereikbaar blijven via de bouw van een verlengingskunstwerk. En dit op basis van de moeilijkheid van een minimale boogstraal van de tunnel R250m en een eventuele aansluiting op de "PC"-schacht (ter herinnering, niet noodzakelijk), het betreft derhalve een optimaal scenario.



Figuur 262: Indicatief schema van de toegangskegel van de tunnelboormachine vanuit een verlengingskunstwerk onder de décaathlon (BMN 2021)

In deze context, en door eliminatie, beschikt de aanvrager over twee mogelijkheden:

- Hetzij een bewuste optie om meteen tijdens de huidige aanvraag van de stedenbouwkundige een aansluitstuk te voorzien enerzijds ten behoeve van een doelmatige exploitatie en anderzijds een geringe impact (zo niet geen impact) op de exploitatie gedurende de bouw.

In dat geval verdient de **optie Décathlon/Citydev** de voorkeur. Hiervoor zijn omvangrijke uitgravingen en constructies nodig onder het gebouw van de Décathlon en onder het huidige gebouw "Blue Star". Voor deze optie dient meteen vanaf het begin de financiering voorzien te worden van dit kunstwerk en moet de planning van het graven van de tunnel en de werkzaamheden rond station Bordet herzien worden.

De optie Zweefvliegtuigstraat is de minimalistische oplossing, maar die interessant is als de beslissing genomen wordt op het moment van de huidige stedenbouwkundige vergunning. Deze optie is na de huidige stedenbouwkundige vergunning onmogelijk (zie hierboven).

- Hetzij een voorzichtige optie die eruit bestaat te wachten op de concretisering van de plannen en stadsprojecten in de noord-oostelijke zone om te weten van waaruit vertrokken moet worden met de nieuwe tunnel en dus het kunstwerk later bouwen.

In dat geval verdient de **optie Décathlon** de voorkeur. Deze optie blijft namelijk onafhankelijk van de uitvoering van de huidige vergunning, maar vereist later omvangrijke werken onder de Décathlon. Deze werken zijn technisch mogelijk, maar complex en kostbaar om uit te voeren in het huidige stadium van de kennis inzake engineering en bouwtechnieken (nader te bezien dus in 2030, want de technieken veranderen voortdurend). Voor deze optie dient een groot deel van de overdekte parkeerplaats en de uitgang van de voertuigen van de Décathlon tijdelijk onteigend te worden om de werken in een open bouwput uit te kunnen voeren.

Al deze sloopwerken, herinrichtingen van de wegen en de technische installaties kunnen niet plaatsvinden zonder verstoring van de exploitatie van de lijn (optie Citydev 'lang aansluitstuk' minder nadelig dan de optie Décathlon 'kort aansluitstuk').

1.3.3. Conclusie inzake de technische haalbaarheid van een verlengingskunstwerk

Zoals aangetoond in deze analyse kunnen verschillende scenario's voor een eventuele verlenging beoogd worden. Hetzij in het stadium van de aanvraag, hetzij later na de aanvraag.

Momenteel wordt in de aanvraag van de stedenbouwkundige vergunning niet voorzien in een verlengingskunstwerk maar wordt wel vermeld dat dit in een later stadium mogelijk blijft. **De technische haalbaarheid van de bouw van een aansluitstuk voor een eventuele verlenging van de lijn naar het noorden werd bevestigd in deze analyse met vermelding van de verschillende varianten ten aanzien van de positie, evenals de risico's en technische moeilijkheden van dit in een later stadium uit te voeren kunstwerk.**

Wij stellen echter vast dat het gunningsdossier van de werken in geen enkele maatregel voorziet om deze potentiële werken te vereenvoudigen. Anderzijds, op dit moment van schrijven, heeft de aanvrager ons geen informatie verstrekt over de beheersing van het risico van deze interventie (om de exploitatie voort te zetten tijdens deze werf), evenals de aantoning dat de onderbrekingstijd tot een strikt minimum beperkt wordt en dat in overleg met de MIVB.

Ter herinnering zij opgemerkt dat de MIVB, lid van het begeleidend comité, ons aangeeft dat het voor de voortzetting van de exploitatie van het gehele netwerk van de Brusselse metro (en niet alleen de M3) een onderbreking van het verkeer gedurende meerdere weken tussen station Bordet en de stelplaats van Haren onmogelijk is. In dit opzicht is de latere optie Zweefvliegtuigstraat niet mogelijk. De optie Citydev lang aansluitstuk is niet interessant in geval van een latere uitvoering.

In deze context zou door een aanvullende studie de interventies van het "type light" bevestigd kunnen worden wat betreft de plaatsing van de technische installaties, evenals de keuze van het aanlegtype van het spoor (voor dit gedeelte van de tunnel verdient de aanleg op ballast de voorkeur), de plaatsing van de specifieke segmenten bij de potentiële doorboring, wat opgenomen zou kunnen worden in de huidige aanvraag. Anderzijds zou deze studie eveneens nader moeten ingaan op de risico's (stabiliteit en onderbrekingstijd) ten aanzien van de exploitatie van de lijn.

1.4. Aanbevelingen inzake de technische haalbaarheid van een verlengingskunstwerk

Wij bevelen aan in het gewijzigde projectstadium de oplossing van het korte aansluitstuk onder de Décathlon nader te analyseren. Aan te tonen via een technische nota dat de uitvoering van dit kunstwerk na de aanvang van de exploitatie van de metro mogelijk is met een beperking van de onderbreking (toegang tot de stelplaats) uitsluitend in de weekeinden (of zelfs uitsluitend 's nachts). De nota zou tevens een eerste schatting moeten bevatten van de bouwkosten van het kunstwerk en de eventuele risico's voor de stabiliteit van de tunnel tijdens de exploitatie.

- Hoe dan ook wordt in het stadium van de huidige aanvraag aanbevolen om alles in het werk te stellen om de aansluiting op een eventuele verlengingstunnel van de lijn naar het noorden te vereenvoudigen.

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Interveniënt
Onderbreking metrolijn - impact exploitatie	PR 0.1	+++	Het wordt aanbevolen om aan te tonen via een technische nota dat de uitvoering van dit kunstwerk na de aanvang van de exploitatie van de metro mogelijk is met een beperking van de onderbreking (toegang tot de stelplaats) uitsluitend in de weekeinden (of zelfs uitsluitend 's nachts). De nota zou tevens een eerste schatting moeten bevatten van de bouwkosten van het kunstwerk en de eventuele risico's voor de stabiliteit van de tunnel tijdens de exploitatie.	Aanvrager
	PR 0.2	+++	<p>In het stadium van de huidige aanvraag wordt aanbevolen om alles in het werk te stellen om de aansluiting op een eventuele verlengingstunnel van de lijn naar het noorden te vereenvoudigen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Voorzien in de aanleg van rails op ballast in dit gedeelte van de tunnel voor de ontvangst van het aansluitkunstwerk om de plaatsing van de spoortoestellen te vereenvoudigen. <input type="checkbox"/> Voorzien in specifieke segmenten om de latere doorboring van dit gedeelte van de tunnel te vereenvoudigen. <input type="checkbox"/> Rekening houden met deze eventuele werf en verlenging van deze tunnelsectie voor wat betreft de signalisatie en de derde rail om een eventuele latere aansluiting te vereenvoudigen. 	Aanvrager

Deel 4:Analyse van de effecten van de variant voor het beheer van het infiltratiewater

1.1. Beschrijving van de variant

1.1.1. Algemeen principe

Krachtens het bestek van deze studie: *"Een variant ter bestudering, op het gebied van de energie, de bodem en het grondwater, de sociaal-economische aspecten, van een alternatieve beheersmethode van het infiltratiewater waarvoor de volledige afvoer naar het riool niet nodig is, bestudeerd voor het geheel der kunstwerken (tunnel en stations)."*

Onder het begrip van "infiltratiewater" in het bestek dient het "water dat indringt in de stations en de tunnel" verstaan te worden. Deze infiltratie is het gevolg van het feit dat men zich meestal in het grondwater bevindt en dat de wanden niet volstrekt waterdicht zijn. In het vervolg van deze studie wordt dit water "draineringswater" genoemd.

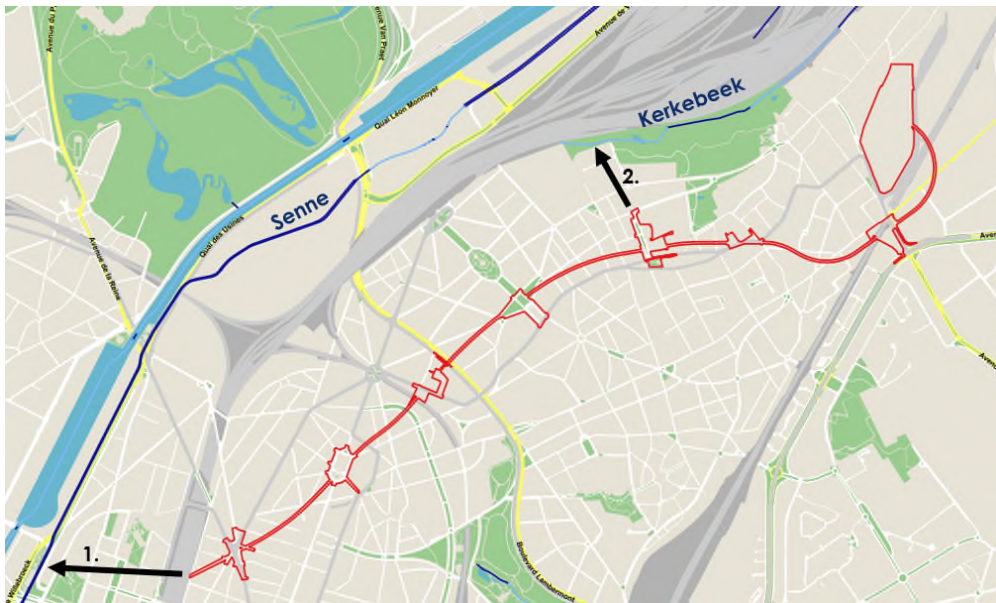
Het project zoals dat oorspronkelijk neergelegd werd voorziet in de afvoer naar het riool van dit "infiltratiewater" maar ook van het aan de oppervlakte bij de stations opgevangen regenwater (na een vertraging). Het doel van deze variant is een alternatieve methode voor het beheer van het infiltratiewater en het regenwater te voorzien waarvoor de volledige afvoer naar het riool **niet** nodig is. Deze variant is van toepassing op het globale beheer van het draineringswater inclusief dat van de tunnel en de stations.

Op basis van de analyse van het project wat betreft de verwachte debieten, het lengteprofiel en de contacten met Leefmilieu Brussel inzake de mogelijkheden van het beheer van de dit water op de oppervlakte, konden **twee uitmondingen gedefinieerd worden langs het tracé** die aangegeven worden op de volgende Figuur.

Wat betreft het regenwater en het afvloeiend hemelwater, zoals aangegeven in de boeken over de stations, is het de infiltratie aan de oppervlakte die met voorrang aanbevolen wordt om nul afvoer naar het riool te bereiken. Wanneer de totaliteit van de neerslag niet beheersbaar is door infiltratie, dient het overtollige water met voorrang geleid te worden naar een uitmonding aan de oppervlakte, als er een waterloop in de nabijheid is en niet naar het riool.

In het kader van de analyse van deze variant **komen de in aanmerking genomen lekdebieten voor het regenwater van de stations** overeen met een lekdebiet van 5 l/s/ha voor elke perimeter van de stations, dat wil zeggen een maximalistische hypothese **die geen rekening houdt met de geuite aanbevelingen in de boeken over de stations** inzake de installatie van infiltratievoorzieningen (met en zonder afvoer) en de stroomtijd van het water (tijd die het water erover doet om de uitmonding te bereiken). De regenwaterafvoer, indien van toepassing, is niet continu en wordt uitsluitend naar het oppervlaktewater afgevoerd bij hevige regenval. **De volgende hypothesen zijn dus maximalistisch.**

Dit "worst case" scenario zal besproken worden in de conclusies van dit hoofdstuk. Maar als eerste hypothese gaan wij ervan uit dat het draineringswater van de tunnel en de stations evenals het opgevangen regenwater bij de stations (uitsluitend het lekdebiet van de buffer-/infiltratiekunstwerken) verzameld worden op het laagste punt van elk station om vervolgens naar deze twee voorziene uitmondingen geleid te worden via een buis in de tunnel. Deze optie zal in het vervolg van dit hoofdstuk geanalyseerd worden.



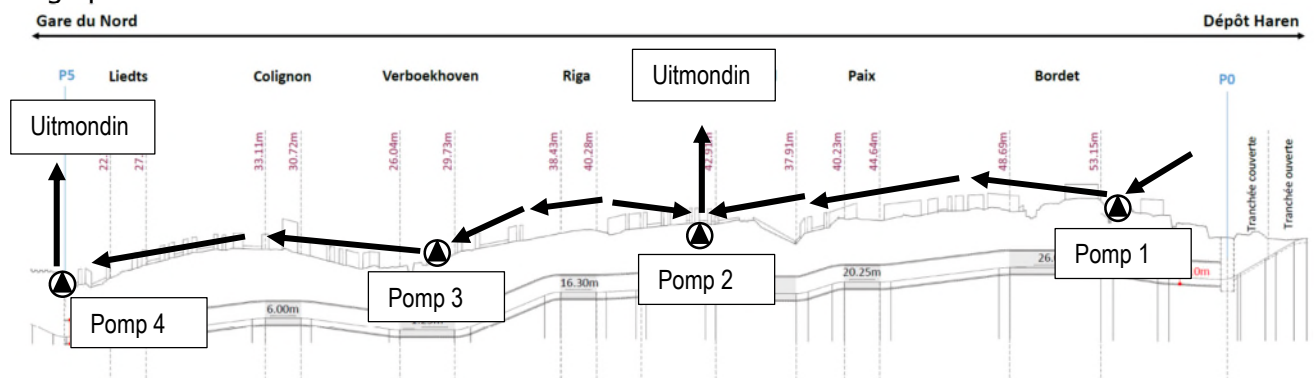
Figuur 263: Locatie van de twee uitmondingen ten opzichte van het tracé van de metro (ARIES, 2020)

1.1.2. Identificatie van de uitmondingen en bemalingspunten

Om zoveel mogelijk door zwaartekracht te werken, om de waterloop te optimaliseren en het gebruik van talrijke pompen te vermijden, bevinden de twee voorziene uitmondingen zich bij twee lage punten van het tracé: **Linde en station Brussel-Noord**. Desalniettemin zullen er pompen nodig zijn om het water op te voeren op verschillende plaatsen:

- [1] vanuit P0 (bij de stelplaats) naar Bordet,
- [2] van Linde tot aan de oppervlakte,
- [3] van Verboekhoven tot Colignon,
- [4] en van Liedts/Noordstation tot aan de oppervlakte.

De rest van het traject van het water kan door zwaartekracht geregeld worden gelet op het hoogteprielf van het tracé.



Figuur 264: Lengteprielf van de tunnel, uitmondingen naar het oppervlaktewater en locatie van de pompen (ARIES, 2020)

1.1.3. Uitmonding 1: Liedts/station Brussel-Noord naar de Zenne

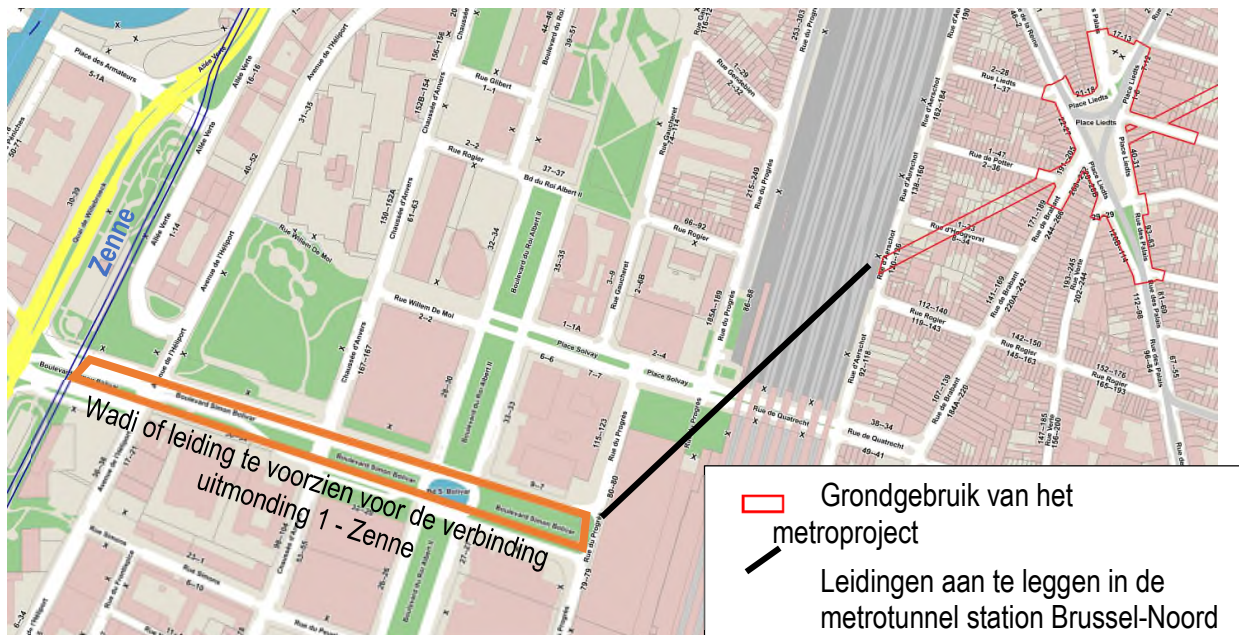
De eerste uitmonding zou zich bevinden tussen de stations Liedts en Brussel-Noord. Het doel hiervan is om aan te sluiten op het toekomstige project Max-aan-Zenne om vervolgens naar de uitlaat van de Zenne te lopen via een wadi²⁴ op de Bolivarlaan die station Brussel-Noord verbindt met de Zenne (niet bevaarbare waterloop van de 1^{ste} categorie).

Idealiter zou de leiding uit moeten steken die al het water verzamelt van uitmonding 1 aan de westelijke zijde van station Brussel-Noord (zijde van de Zenne/het kanaal) om de lozing in de wadi te vereenvoudigen. Technisch is deze oplossing uitvoerbaar door de nieuwe metrotunnel te gebruiken onder het station om vervolgens het water op te voeren via een technische koker naar de oppervlakte (idealiter bij de Voortuingsstraat). Maar het belang van deze uitmonding hangt intrinsiek af van de creatie van de wadi op de Bolivarlaan. Welnu, op dit moment van schrijven betreft het nog altijd een project waarvan de creatie onzeker blijft op het moment van afsluiting van deze effectenstudie.

In geval de "wadi Max-aan-Zenne" niet uitgevoerd wordt, doen zich twee opties voor:

- De installatie van een leiding tussen uitmonding 1 en de Zenne onder de Bolivarlaan dient aangelegd te worden door de auteur van het Max-aan-Zenne project. Er dient een formeel akkoord verkregen te worden van de beheerder van de waterlopen (Leefmilieu Brussel) voordat de lozing aangelegd wordt. Dit veronderstelt de plaatsing van een wachtkamer aan de zijde van de Vooruitgangsstraat. In afwachting van de mogelijke totstandkoming van het project Max-aan-Zenne betekent dit een afvoer naar het riool aan de westelijke zijde van station Brussel-Noord (Vooruitgangsstraat).
- In aanmerking nemend dat het logischer is te wachten op de bevestiging en de uitvoering van het project Max-aan-Zenne zou de wachtkamer die zijn welke ook voorzien is in de vergunning van de metro PERCEEL 1 bij de Aarschotstraat. In de veronderstelling dat het wadiproject tot stand komt, is het zeer goed mogelijk dat de autoriteiten later vragen om een aansluiting op de wadi van de Bolivarlaan via de metrotunnel en de passage van de leiding aan de andere zijde van station Brussel-Noord. In afwachting van de mogelijke totstandkoming van het project Max-aan-Zenne betekent dit een afvoer naar het riool aan de oostelijke zijde van station Brussel-Noord (Aarschotstraat).

²⁴ Deze wadi wordt in theorie voorzien in het kader van het project Max-aan-Zenne dat zich uitstrekt van de Bolivarlaan tot station Brussel-Noord. De start van dit project (onderzoek naar de haalbaarheid, grootte, enz.) is voorzien voor eind 2020.



Figuur 265: Uitmondning 1 - Verbinding tussen het metrotracé en de Zenne (ARIES, 2020)

1.1.4. Uitmondning 2: Linde naar de Kerkebeek

De tweede uitmondning bevindt zich bij station Linde in de richting van de Kerkebeek via een ondergrondse leiding onder de Verdonckstraat, de Gastendelleweg, de Carlistraat en de Kasteelstraat.

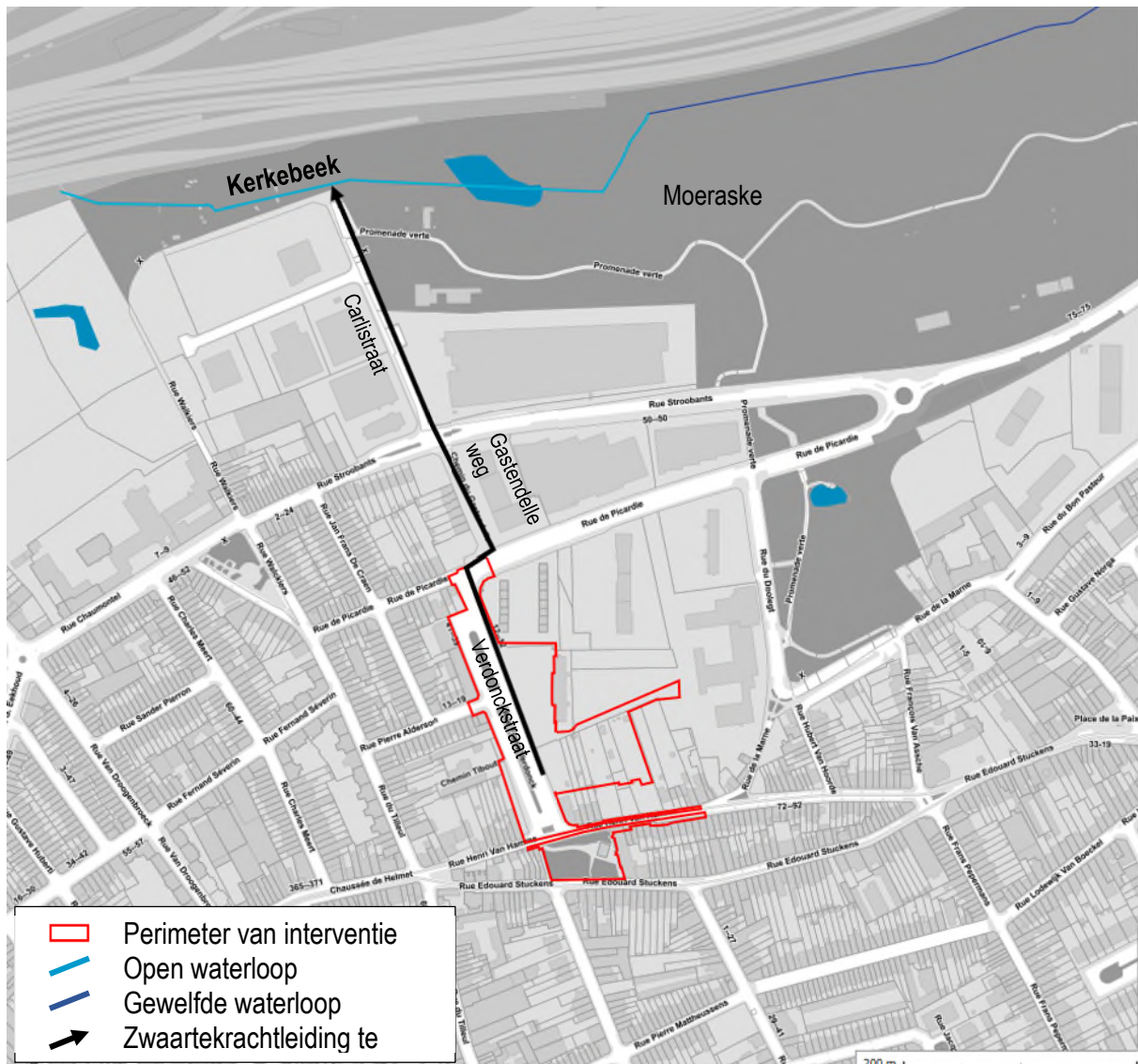
Gelet op de topografie en de locatie van de Verdonckstraat met een hoogte van 44 m en de stroomafwaarts gelegen Kerkebeek op een hoogte van 17 m is een zwaartekrachtleiding met een lengte van 600 m voldoende. De volgende Figuur geeft bij benadering het tracé aan van de beoogde leiding. Er dient een formeel akkoord verkregen te worden van de beheerder van de waterlopen (niet geklasseerde waterloop) evenals van de beheerder van het natuurreservaat van het Moeraske als er werkzaamheden nodig zijn. Overigens, wanneer er ondergrondse verbindingen nodig zijn zoals hier, wordt aanbevolen om over een voorafgaande toestemming te beschikken voor het onderhoud van deze stelsels bij een bevoegde instantie, in onderhavig geval Vivaqua en het gemeentebestuur van Evere.

Wetende dat de vergunning van het station betrekking heeft op een perimeter die niet verder gaat dan de Picardiestraat beschikt de aanvrager in het huidige stadium van de analyse niet over het grondbeheer en de toestemmingen voor de toegang naar de Kerkebeek.

Twee hypothesen:

- Optimistische hypothese: Er wordt een akkoord gevonden in het stadium van de wijzigingen tussen de auteur van het metroproject, de overheden en de beheerder van het net voor de aanleg (op het moment van de bouw van het station) van de leiding naar de Kerkebeek.

- Pessimistische hypothese: Geen akkoord in het stadium van de wijzigingen. Er wordt echter een wachtkamer geplaatst bij de Verdonckstraat om een eventuele latere aansluiting op de Kerkebeek uit te voeren of een gebruik in de nabijheid van de uitrustingen of de woningen. In dat geval raden wij de plaatsing aan van de wachtkamer met als uitmonding de aanbevolen infiltratiesystemen bij station Linde (= geen lozing op het riool).



Figuur 266: Uitmonding 2 - Leiding te voorzien tussen station Linde en de Kerkebeek (ARIES, 2020)

1.2. Analyse van de variant - Bodem, ondergrond en grondwater

1.2.1. Debieten bij de uitmondungen

De volgende tabellen sommen de te verwachten debieten op van het draineringswater en het regenwater per uitmonding

Wat betreft het draineringswater (DW) zijn de hier weergegeven debieten afkomstig van de studie Artesia V1 **dat wil zeggen de studie met maximale gedraineerde debieten**. Merk op dat deze debieten continu geloosd worden.

Wat betreft het regenwater (RW) komen de in dit kader in aanmerking genomen lekdebieten overeen met een lekdebiet van 5 l/s/ha voor elke perimeter van de stations, **dat wil zeggen een maximalistische hypothese die geen rekening houdt met de geuite aanbevelingen in de boeken over de stations** inzake de installatie van infiltratievoorzieningen (met en zonder lozing) en de stroomtijd van het water (tijd die het water erover doet om de uitmonding te bereiken).

	Debieten – draineringswater (Artesia V1)			
	[l/s]	[m ³ /u]	[m ³ /d]	[m ³ /jaar]
Uitmonding 1 - station Brussel-Noord	6,4	22,9	554	200.595
Uitmonding 2 - Linde	4,2	15,1	361,6	131.845
TOTAAL	10,6	38,1	916	332.440

Tabel 82: Debieten van het infiltratiewater per uitmonding (ARIES volgens Artesia V1, 2020)

	Debieten – regenwater ²⁵ [l/s]	Debieten – draineringswater (Artesia V1) [l/s]	Totale uitgestorte debieten [l/s]
Uitmonding 1 - station Brussel-Noord	21,9	6,4	28,3
Uitmonding 2 - Linde	48,5	4,2	52,7

Tabel 83: Synthese van de debieten van het regenwater en het draineringswater voor uitmonding 1 en 2 (ARIES, 2020)

Bij **uitmondning 1** bedraagt het totale verwachte debiet dan ook tijdens hevige regenval **28,3 l/s** ($102\text{m}^3/\text{u}$) terwijl het totale verwachte debiet tijdens hevige regenval bij **uitmondning 2** **52,7 l/s** ($190\text{m}^3/\text{u}$) bedraagt. Het overheersende deel van het debiet wordt veroorzaakt door het regenwater. Bij uitmondning 1 vertegenwoordigt het regenwater 77% van het totale debiet, bij uitmondning vertegenwoordigt dit 92% van het totale debiet.

Bij eerste benadering zou een betonnen zwaartekrachtleiding met een diameter van 280 mm (capaciteit van 84 l/s) voldoende moeten zijn voor de opvang van de debieten van uitmondning 2 en om deze te lozen in de Kerkebeek. Het wordt aanbevolen om de mogelijkheid te bestuderen om een extra grote leiding te installeren om de verbinding mogelijk te maken met toekomstig beheersystemen van het regenwater tussen station Linde en de Kerkebeek.

1.2.2. Principe van de bemalings-/opvoerstations

Er dienen meerdere pompen geïnstalleerd te worden in het kader van deze variant. Er zijn meerdere opties mogelijk voor het ontwerp van de bemalings-/opvoerstations.

De voorkeursopties worden hierna beschreven, maar hun haalbaarheid dient bestudeerd / bevestigd te worden tijdens de uitvoeringsstudie door de contractant in overleg met de bouwheer. Daarna dient het definitieve ontwerp gekozen te worden.

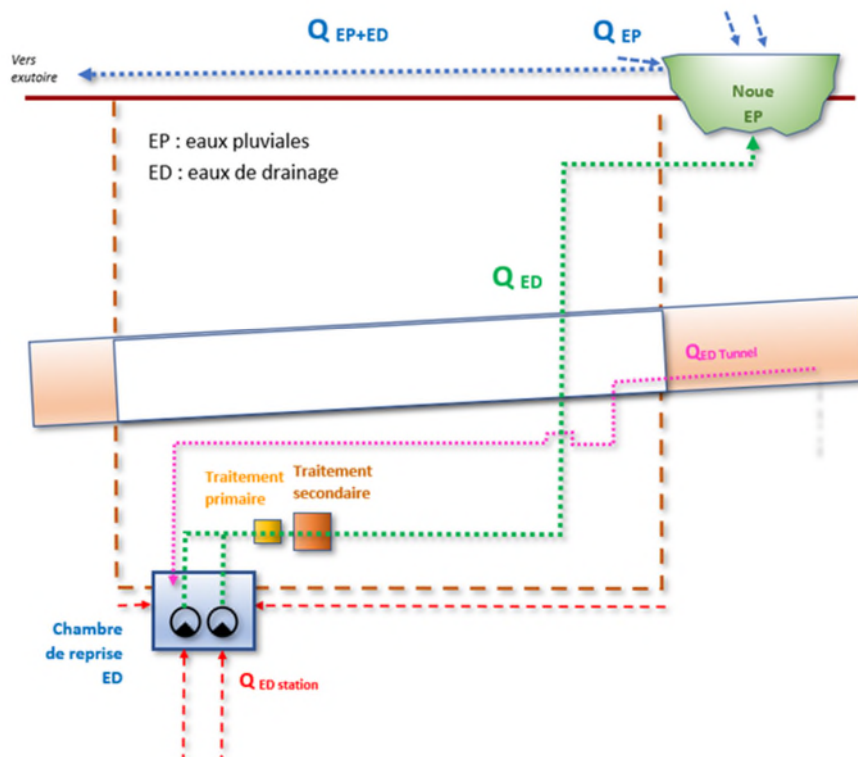
1.2.2.1. Hoofdbemalings-/opvoerstations

Wat betreft de hoofdopvoerstations (P2 - Linde en P4 - station Brussel-Noord) wordt het water rechtstreeks naar de aan de oppervlakte voorziene uitmondingen geleid met een buffer stroomopwaarts ten opzichte van de lozing.

Voor het hoofdopvoerstation P4 - station Brussel-Noord, zou de buffer zich bevinden bij de wadi van de Bolivarlaan die het water afvoert naar de Zenne (optie 1 - wadi). Deze voorkeursoptie bestaat uit het gebruik van deze wadi aan de oppervlakte als bufferbekken van het regenwater om het lekdebiet van $5\text{l}/\text{ha}\cdot\text{s}$ te beperken. Derhalve dient alleen het draineringswater DW (station + tunnel) van de bodem van het station tot aan de oppervlakte van deze wadi opgevoerd te worden.

Volgens Leefmilieu Brussel (waterfacilitator) zou deze wadi voorzien moeten worden in het herinrichtingsproject van de noordwijk waarvan de studie in uitvoering is. Als deze wadi echter niet voorzien wordt in het project "Max-aan-Zenne" en de herinrichting van de Bolivarlaan, zou een leiding ook geplaatst kunnen worden onder de Bolivarlaan naar de Zenne.

STATION DE RELEVAGE PRINCIPALE – OPTION 1 : NOUE



Figuur 267: Principe van de hoofdopvoer (uitmondung) - Optie 1: wadi's (Tractebel, 2020)

In deze configuratie is een opvangkamer van het draineringswater voorzien onderin het station. Deze vangt het water op van de horizontale en verticale drains onder het stortebed en het draineringswater dat in de tunnel insijpelt.

Uit veiligheid wordt aanbevolen om een dubbel pompsysteem in de DW-kamer te voorzien voor de opvoer van het water: een operationele pomp en een backup-pomp die afwisselend werken. Zodoende is men verzekerd van een voortdurende bemaling van het draineringswater in geval van pech of onderhoud.

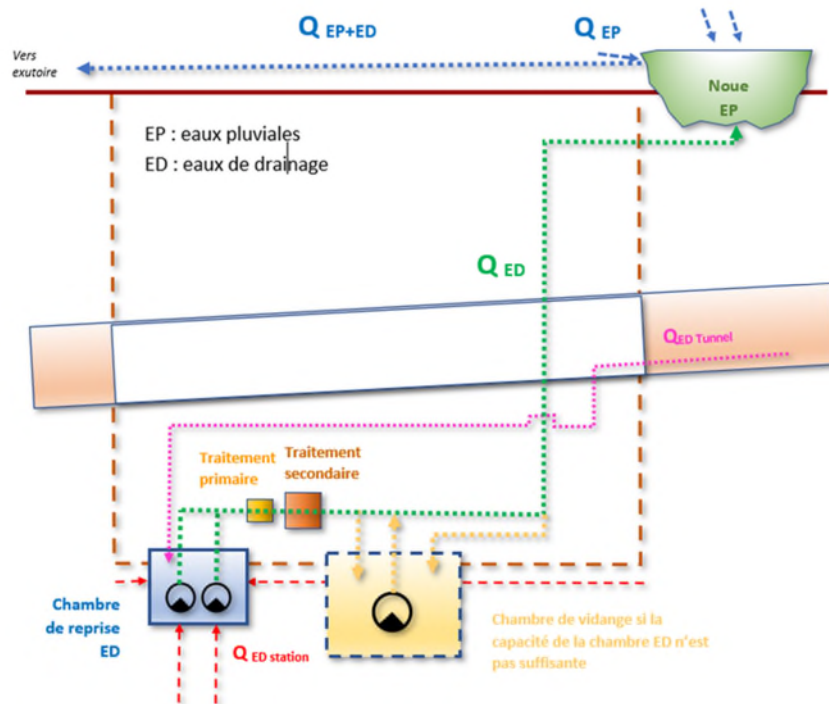
Het draineringswater dient voor de opvoer deugdelijk gezuiverd te worden (primaire en secundaire zuivering) die beschreven wordt in het hoofdstuk "Zuivering van het draineringswater", verderop in dit rapport.

Het wordt voorts aanbevolen dat het opvoer-/afvoersysteem afgetapt kan worden voor onderhoudswerken aan de leidingen of de pompen. Tijdens de uitvoeringsstudies dient gecontroleerd te worden dat de capaciteit van de DW-opvangkamer voldoende is voor de opname van het aftapwater (stijgende kolom naar de oppervlakte en water afkomstig van Colignon) terwijl het ook het draineringswater blijft opvangen (station en tunnel) tijdens perioden van stilstand / onderhoud (duur aan te geven door de exploitatie).

In voorkomend geval, als deze capaciteit niet voldoende is bij de DW-opvangkamer, dient onderin het station zoals voorgesteld in de **optie 1 bis: wadi + aftapping** (zie onderstaande Figuur) een aftapkamer van het water toegevoegd te worden van voldoende capaciteit om dit aftap- en draineringswater te verzamelen tijdens de periode van stilstand. Voor deze aspecten

dient een nota voor de dimensionering opgesteld te worden, die goedgekeurd dient te worden door de bouwheer tijdens de uitvoeringsstudies.

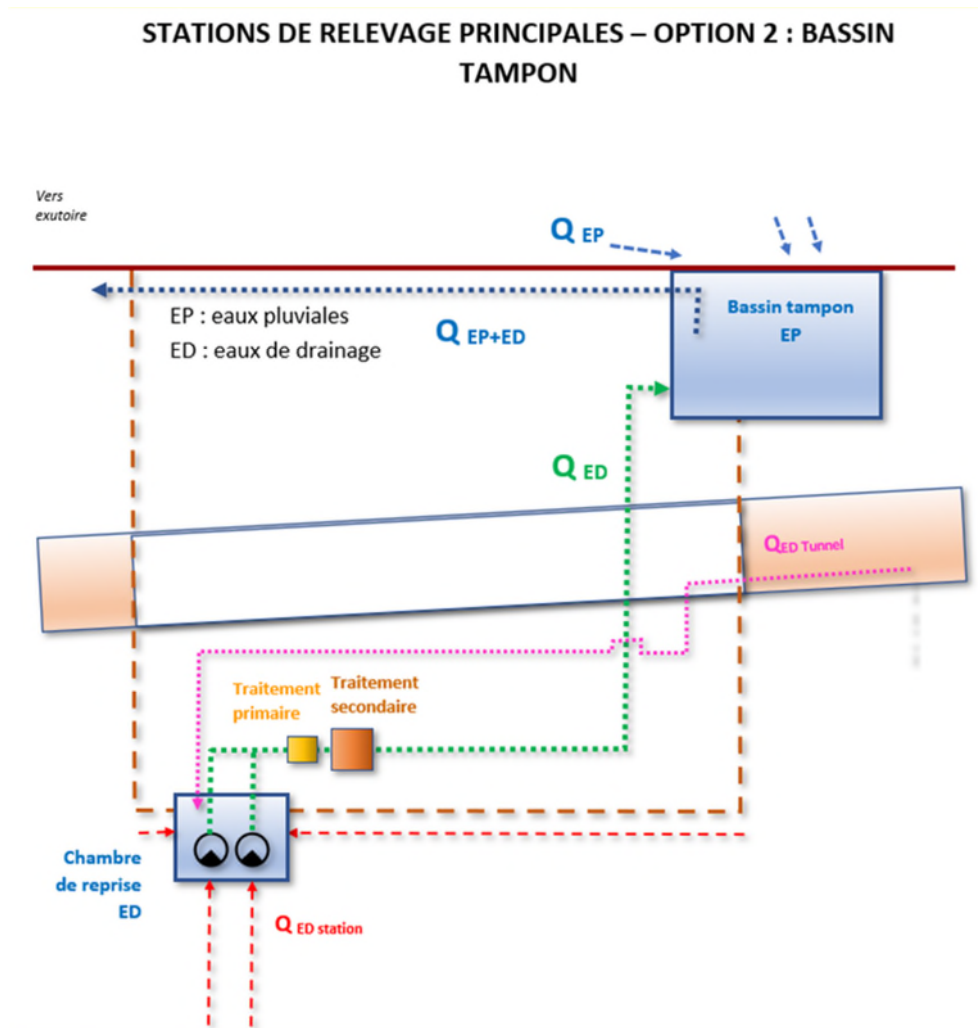
STATION DE RELEVAGE PRINCIPALES – OPTION 1 bis : NOUE +
VIDANGE



Figuur 268: Principe van de hoofdpvoer (uitmondig) - Optie 1 bis: wadi + aftapping (Tractebel, 2020)

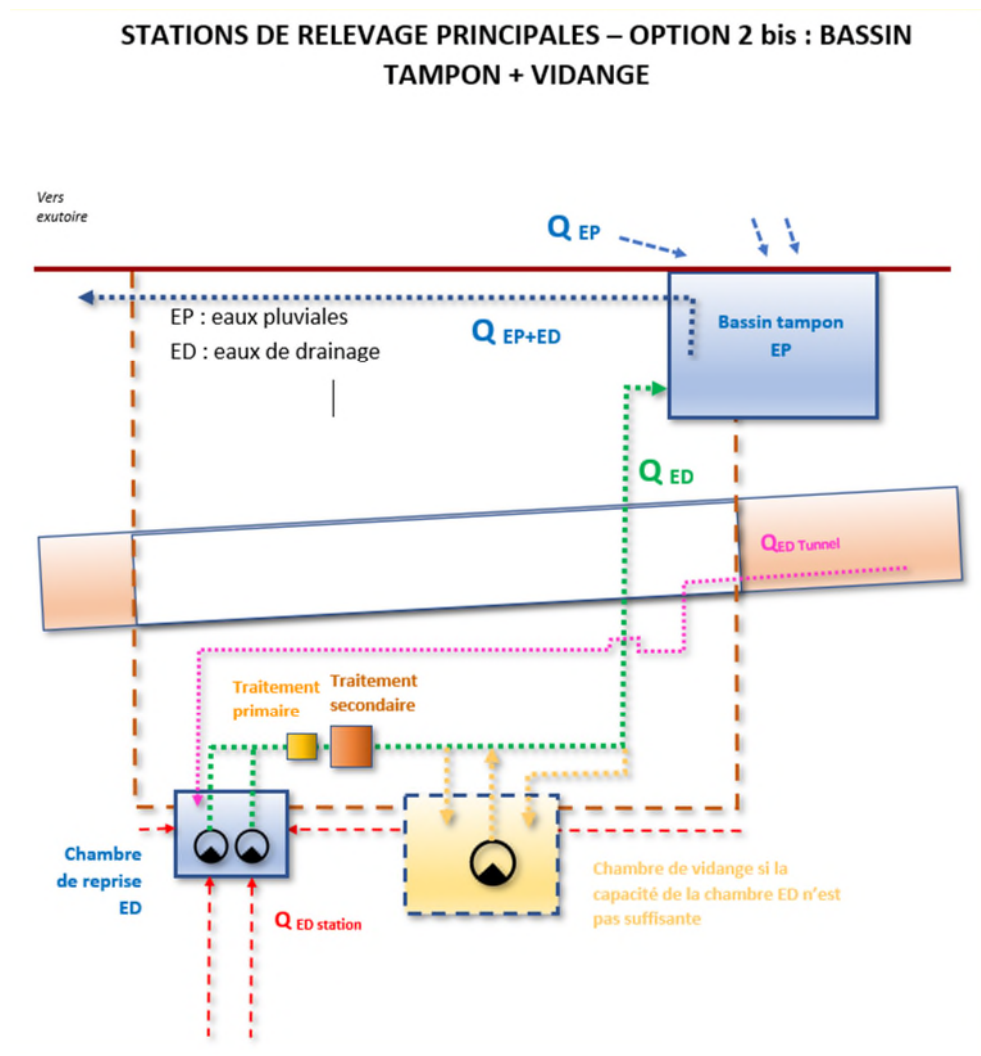
Voor de hoofdpvoer **P2-Linde** dient een bufferbekken geïnstalleerd te worden aan de oppervlakte stroomopwaarts ten opzichte van de leiding van de uitmondig die loopt naar de Kerkebeek - **optie 2 – bufferbekken**.

In dit bekken wordt het water gebufferd zodat er niet meer dan het toegestane lekdebiet van 5 l/ha.s naar het ontvangstmilieu afgevoerd wordt. De uitvoeringsstudie dient de mogelijkheid te bevestigen om dit water via zwaartekracht naar de uitmondig af te voeren. Zo niet dient een pompsysteem voorzien te worden.



Figuur 269: Principe van de hoofdopvoer (uitmondung) - Optie 2: bufferbekken (Tractebel, 2020)

Net als geldt voor de voorgaande optie, wordt aanbevolen dat het opvoersysteem afgetapt kan worden tijdens de opvoer-/afvoeroperaties tijdens de onderhoudswerken. Er dient derhalve gecontroleerd te worden dat de capaciteit van de opvangkamer voldoende is voor de opname van het aftapwater (stijgende kolom naar de oppervlakte + water afkomstig van Riga en Bordet) terwijl het ook het draineringswater blijft opvangen. Op dezelfde wijze, als deze capaciteit niet voldoende is bij de DW-opvangkamer, dient onderin het station zoals voorgesteld in de **optie 2 bis: bufferbekken + aftapping** (zie onderstaande Figuur) een aftapkamer van het water toegevoegd te worden van voldoende capaciteit om dit aftap- en draineringswater te verzamelen tijdens de periode van stilstand. Voor deze aspecten dient een nota voor de dimensionering opgesteld te worden, die goedgekeurd dient te worden door de bouwheer tijdens de uitvoeringsstudies.



Figuur 270: Principe van de hoofdopvoer (uitmonding) - Optie 2: bufferbekken + aftapping (Tractebel, 2020)

1.2.2.2. Tussenbemalings-/opvoerstations

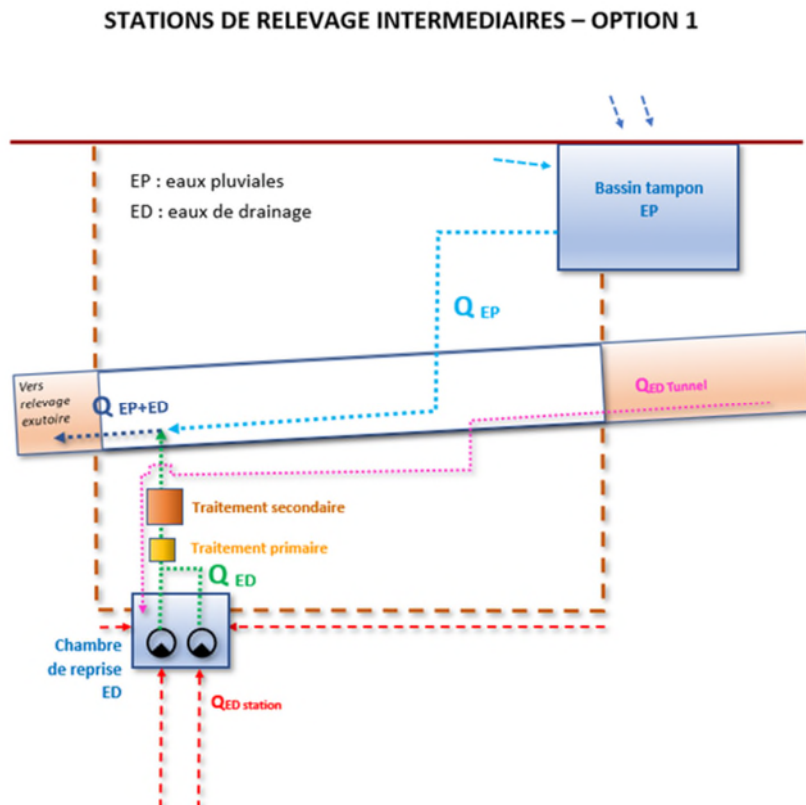
Wat betreft de **tussenopvoerstations** (P1- bij P0 en P3 – Verboekhoven), gelet op het feit dat het draineringswater niet volledig door zwaartekracht naar het stroomafwaartse gedeelte afgevoerd kan worden, bestaat het principe eruit om hieraan voldoende hydraulische druk te geven om de hoge punten te overbruggen van het lengteprofiel voor dit vanaf de bodem afkomstige water:

- Bij P1 (ter hoogte van P0) dient het draineringswater (DW) opgevoerd te worden tot voorbij het hoge punt van Bordet;
- Bij P3 (Verboekhoven) dient het draineringswater (DW) opgevoerd te worden tot voorbij het hoge punt van Colignon;

De stroming vindt plaats onder stuwning door het tussenstation tot aan het hoge punt.

Voor wat betreft het regenwater (RW) afkomstig van de oppervlakte, is de voorkeursoptie **optie 1 – RW bufferbekken met zwaartekrachtstroming**.

Deze zou uitgevoerd dienen te worden mits de diameter van de leidingen voldoende is om geen te groot weerstandsverlies te creëren. De hydraulische dimensionering dient bepaald te worden door een uitvoeringsstudie maar bij eerste benadering zou een leiding met een binnendiameter van 280 mm voor een mengsel van DW + RW onderaan de tunnel geschikt moeten zijn.



Figuur 271: Principe van de tussenopvoer - Optie 1: zwaartekrachtbufferbekken (Tractebel, 2020)

In deze voorkeursconfiguratie zou het RW-bufferbekken dat het regenwater opvangt aan de oppervlakte en dat het mogelijk moet maken om het lekdebiet te beperken tot 5 l/ha.s rechtstreeks uitstromen, via een geschikte aftakking, in een leiding (verzamelleiding) onderaan de tunnel met zwaartekrachtstroming onder invloed van de hydraulische stuwings. Door deze optie heeft men geen opvangkamer van het regenwater onderin het station nodig.

Het draineringswater wordt verzameld in de DW-opvangkamer onderin het station; hierin stort het water van de verticale en horizontale drains onder het stortebed uit. Er dient ook een systeem voorzien te worden om het draineringswater van de tunnel naar deze DW-opvangkamer te leiden.

In deze opvangkamer wordt door een pomp het water in een verzamelleiding onderaan de tunnel gestuwd. De stroming van de tussenopvoerstations tot aan de hoge punten wordt gestuwd (dat wil zeggen van P1/Stelplaats tot Bordet evenals van P3/Verboekhoven naar

Colignon). Nadat het water voorbij de hoge punten is, verloopt de stroming door zwaartekracht.

Voor de aftakking in de verzamelleiding wordt het draineringswater deugdelijk gezuiverd voordat het gemengd wordt met het regenwater.

Het wordt aanbevolen om het pompsysteem dubbel uit te voeren in de DW-opvangkamer.

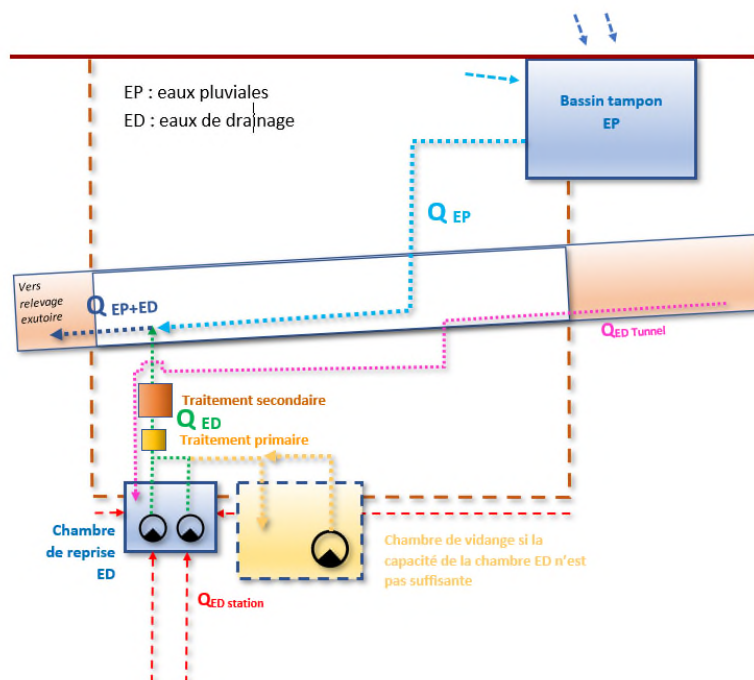
Net als geldt voor de hoofdstations, wordt aanbevolen dat het opvoersysteem afgetapt kan worden tijdens de opvoer-/afvoeroperaties tijdens de onderhoudswerken. Er dient derhalve gecontroleerd te worden dat de capaciteit van de DW-opvangkamer voldoende is voor de opname van het aftapwater tijdens de periode van stilstand terwijl het ook het draineringswater blijft opvangen.

Dit betreft de volgende aftappingen:

- Voor station P1: de stroming afkomstig van Bordet en de stelplaats,
- Voor station P3: de stroming afkomstig van Riga en Colignon.

Op dezelfde wijze, als deze capaciteit niet voldoende is bij de DW-opvangkamer, dient onderin het station zoals voorgesteld in de **optie 2: bufferbekken + aftapping** (zie onderstaande Figuur) een aftapkamer van het water toegevoegd te worden van voldoende capaciteit om dit aftap- en draineringswater te verzamelen tijdens de periode van stilstand. Voor deze aspecten dient een nota voor de dimensionering opgesteld te worden, die goedgekeurd dient te worden door de bouwheer tijdens de uitvoeringsstudies.

STATIONS DE RELEVAGE INTERMEDIAIRES – OPTION 2



Figuur 272: Principe van de tussenopvoer - Optie 2: zwaartekrachtbufferbekken en aftapping (Tractebel, 2020)

1.2.2.3. Indicatieve eigenschappen van de bemalingsstations

In de volgende tabel worden de te beheren debieten bij elk bemalingsstation aangegeven, uitgaande van een maximalistische situatie, dat wil zeggen tijdens de regenperiode en een normale situatie, dat wil zeggen zonder regenwater. De tabel geeft de debieten aan die door bemaling afgevoerd moeten worden en de debieten die door zwaartekracht afgevoerd moeten worden.

De tabel geeft ook, ter informatie, de in aanmerking te nemen minimale geometrische opvoerhoogte aan (in dit stadium zonder berekening van het weerstandsverlies).

Bemalingsstation	P1	P2	P3	P4
Locatie	Proximité P0	Station Tilleul	Station Verboekhoven	Gare du Nord
Statuut	Tussenbemaling	Hoofdbemaling	Tussenbemaling	Hoofdbemaling
Debieten				
Debiet droog weer = drainagewater				
Afgevoerd door bemaling	1,18	4,19	2,85	6,36
Maximaal debiet bij regen	4,2	15,1	10,3	22,9
Afgevoerd door zwaartekracht	30,4	48,5	9,2	21,9
Debiet bij regen = drainagewater + regenwater	109,5	174,7	33,0	78,9
Totaal naar uitmonding	31,61	52,71	12,03	28,28
Geometrie				
Maat maaiveld	37,5	44,5	28	18
Niveau bodem	18	12	-2	-6,58
Opvoerniveau drainagewater	24,4	44,5	2,5	18
	niv. Bordet	surface	niv. colignon	surface
Bemaling				
Opvangkamer regenwater	2 pompes	2 pompes	2 pompes	2 pompes
Debiet	4,2	15,1	10,3	22,9
Min. opvoerhoogte min	6,4	32,5	4,5	24,6
Aftapkamer	1 pompe	1 pompe	1 pompe	1 pompe
Debiet				
Min. opvoerhoogte min			à préciser	à préciser

Tabel 84: Theoretische eigenschappen van de bemalings-/opvoerstations (Tractebel, 2020)

De bij de uitmonding af te voeren debieten kunnen sterk variëren en kunnen sterk oplopen bij zware regenval. Door de uitvoering van de aanbevelingen met betrekking tot het beheer van het regenwater bij de stations (met name het optimale scenario) zou het mogelijk zijn om de afgevoerde regenwaterdebieten te verminderen door de uitvoering van infiltratiesystemen met en zonder lozing.

1.2.3. Zuivering van het draineringswater

1.2.3.1. Principe

Uit veiligheid wordt aanbevolen om een zuiveringseenheid voor het draineringswater te installeren vanaf de DW-opvangkamers. Het water dat gezuiverd moet worden is het **afpompwater onderin het station** en het **infiltratiewater in de tunnel**.

Merk op dat er op dit moment een onbekende bestaat wat betreft de ingangshoeveelheid in deze zuiveringsinstallatie, omdat dit water:

- Afhangt van het geheel aan "verontreinigende" bronnen in de "**waterwinningszone**" van het project, dat wil zeggen de uitgestrekte zone van het grondwater dat het draineringssysteem van de stations en de tunnel kan voeden. Dit betreft een omvangrijke zone die beïnvloed wordt door de verlaging van de grondwaterspiegel van het project en de stroomopwaartse toevoer (buiten de invloedzone, maar die het systeem voedt).
- Het betreft water afkomstig van **verschillende grondwaterpeilen met daartussen aquitardhorizons**, met andere woorden mogelijk besmet water in de oppervlaktehorizonten kan vermengd worden met van oorsprong dieper gelegen water dat weinig aangetast is door verontreinigingen.

Met andere woorden, de resulterende verontreinigingsbelasting wordt niet uitsluitend veroorzaakt door geïdentificeerde verontreinigingsbronnen bij de stations, maar hangt met name af van het mengsel tussen deze verontreinigingsbronnen en het al dan niet in diverse maten vervuilde perifere of diep gelegen water.

Om deze verontreinigingsbelasting zo goed mogelijk te bepalen wordt aanbevolen om een zuivering van het draineringswater te ontwerpen in twee opeenvolgende fasen:

- **Een fase 1 = pilot-fase:** er wordt een tijdelijk zuiveringsstation geïnstalleerd per station tijdens de bouwfase en een eerste exploitatiejaar om de debieten en de verontreinigingsbelasting tot aan het evenwicht te kwantificeren en met name over een volledige hydrologische cyclus (hoog water / laag water) wanneer het systeem in werking is. De tijdens het eerste exploitatiejaar waargenomen situatie zal de meest representatieve van de definitieve situatie zijn, omdat op dat moment alle actieve verontreinigende bronnen in de waterwinningszone geïntegreerd worden. Voor deze fase zijn zuiveringseenheden voorzien bij elk station, daar aan het begin van de bouw de verbinding tussen de stations nog niet voltooid zal zijn. Tijdens deze pilot-fase dienen de verontreinigingsbelasting en de inkomende debieten gecontroleerd te worden. Minimaal wordt een tweemaandelijks frequentie aanbevolen. Door deze monitoringperiode moet het ontwerp en de grootte van het vervolgens uit te voeren definitieve station geobjectiveerd kunnen worden.

In een eerste stadium, zolang de uiteindelijke uitmondingen nog niet verbonden zijn, dient geloosd te worden op het riool; in tweede instantie kan tijdens het eerste exploitatiejaar de lozing plaatsvinden naar de voorziene uitmondingen. Deze mobiele zuiveringsstations zullen aan het einde van fase 1 gedemonteerd worden.

- **Een fase 2 = definitieve fase:** er wordt een definitief station geïnstalleerd per uitmondingspunt (dat wil zeggen twee definitieve stations: een bij station Brussel-

Noord en een bij station Linde). De grootte hiervan dient bepaald te worden op basis van de tijdens fase 1 verkregen ingangsgegevens en op basis van de door Leefmilieu Brussel vastgestelde lozingsnormen voor het oppervlaktewater.

1.2.3.2. Doelstellingen van de zuivering – lozingsnormen

De tijdelijke en definitieve lozingsnormen worden vastgesteld door Leefmilieu Brussel in het kader van de toegekende vergunning.

In dit stadium kunnen wij alleen aanbevelen dat deze lozingsnormen **de naleving van de kwaliteitsnormen van het oppervlaktewater van het Brussels gewest als einddoelstelling hebben na de lozing in het ontvangstmilieu** (Zenne en Kerkebeek). Het betreft **immissienormen**.

Merk op dat de toegestane verontreinigde lozingsstromen rekening dienen te houden met de massabalans van de lozingsbelasting (geloosd debiet en concentratie) en de belasting van het ontvangstmilieu vóór de lozing (omgevingsdebiet en -concentratie) om de toegestane concentratie van de lozing te beoordelen. Met andere woorden, de zuiveringsdoelstellingen dienen rekening te houden met deze verzachtende factor ten opzichte van de hier uiteengezette kwaliteitsnormen van het oppervlaktewater.

De van kracht zijnde kwaliteitsnormen van het oppervlaktewater worden hieronder aangegeven.

1) **(Fysisch-chemische) basiskwaliteitsnorm voor het oppervlaktewater (bron BBHR van 24/03/11)**

(Fysisch-chemische) basiskwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater *
 Bron: BBHR van 24/03/2011 tot vaststelling van de milieukwaliteitsnormen, de basiskwaliteitsnormen en de chemische normen voor de oppervlaktewateren tegen de verontreiniging veroorzaakt door bepaalde gevaarlijke stoffen en andere verontreinigende stoffen.

		Moyenne annuelle	Minimum-Maximum
Temperatuur	T°	< 25°C	
Ph			6<x<9
Geleidbaarheid		800 µS/cm	
Opgeloste O ₂		> 5 mg/l	
% verzadiging aan O ₂		50%<x<120%	
Biologisch zuurstofverbruik	DBO	< 8 mg/l	
Chemisch zuurstofverbruik	DCO	< 40 mg/l	
Zwevende stoffen	MES	< 50 mg/l	
Totaal stikstof	NT	< 12 mg/l N	
Totaal fosfor	PT	< 1 mg/l P	

* Voor de Woluwe, een oppervlaktewaterlichaam dat volledig gelegen is in Natura 2000-gebied, zijn strengere normen van toepassing:
 - Temperatuur < 23°C (in plaats van 25°C)
 - Opgeloste O₂ > 8 mg/l (in plaats van 5 mg/l)
 - CZV < 20 mg/l (in plaats van 40 mg/l)
 - ZS < 25 mg/l (in plaats van 50 mg/l)

Tabel 85: (Fysisch-chemische) basiskwaliteitsnorm voor het oppervlaktewater (BBHR van 24/03/2011)

2) Basiskwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater (bron BBHR van 17/12/2015 tot wijziging van BBHR van 24/03/2011)

Basiskwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater *
 Bron: BBHR van 17/12/2015 tot wijziging van BBHR van 24/03/2011 tot vaststelling van de milieukwaliteitsnormen, de basiskwaliteitsnormen en de chemische normen voor de oppervlaktewateren tegen de verontreiniging veroorzaakt door bepaalde gevaarlijke stoffen en andere verontreinigende stoffen.

Chloor	Cl ⁻	< 150 mg/l	
Sulfaten	SO ₄ ²⁻	< 150 mg/l	
Total cyanide	CN ⁻	< 0,05 mg/l	
Totaal cadmium	Cd	< 5 µg/l	
Totaal kwik	Hg	< 1 µg/l	
Totaal nikkel	Ni	< 50 µg/l	
Totaal lood	Pb	< 50 µg/l	
Totaal chroom	Cr	< 50 µg/l	
Chroom (opgeloste fase)	Cr (dissous)	< 5 µg/l	
Totaal koper	Cu	< 50 µg/l	
Koper (opgeloste fase)	Cu (dissous)	< 7 µg/l	
Totaal zink	Zn	< 300 µg/l	
Zink (opgeloste fase)	Zn (dissous)	< 20 µg/l	
Totaal arsenicum	As	< 50 µg/l	
Arsenicum (opgeloste fase)	As (dissous)	< 3 µg/l	
Tensio-actieve anionische stoffen		< 1 mg/l	
Tensio-actieve niet-ionische en kationische stoffen			Présence visible 2 fois max à l'œil nu
Minerale oliën			

Tabel 86: Basiskwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater (BBHR van 17/12/2015)

3) Milieukwaliteitsnormen (MKN) voor het oppervlaktewater (bron BBHR van 17/12/2015 tot wijziging van BBHR van 24/03/2011)

4) Chemische normen voor de kwaliteit van het oppervlaktewater (bron BBHR van 24/03/2011)

Het betreft lijsten van de **gemiddelde jaarlijkse (GJ)** concentraties en de **maximaal toelaatbare concentraties (MTC)** voor een reeks gevaarlijke stoffen: metalen, pesticiden, organische micropolluënten: organische chloorverbindingen, BTEX, HAP, fenolen, heterocyclische stikstofverbindingen, enz.).

De onderstaande tabel geeft een niet uitputtende synthese weer van deze verschillende normen inzake de maximale concentraties die waargenomen zijn in het grondwater, die de zuiverings- of interventienormen overschrijden van de **bodemordonnantie** (immissienormen in het grondwater), voor de percelen die zich binnen de perimeters van de stations bevinden waar een studie van de verontreiniging uitgevoerd werd (bodemordonnantie).

Deel 4 :Analyse van de effecten van de variant voor het beheer van het infiltratiewater

			Concentrations maximales observées dans les eaux souterraines au droit direct des stations dans le cadre des études de pollution de sol																						
STATIONS			LIEDTS	PAIX	COLIGNON	VBH	TILLEUL	RIGA																	
Normes de qualité de base (physico chimique) pour les eaux de surface			Ordonnance sol																						
			NA	NI																					
Température	T	< 25 °C																							
pH		6 - 9																							
Conductivité électrique	µS/cm	800																							
O2 dissous	mg/l	> 5																							
DBO	mg/l	8																							
DCO	mg/l	40																							
MES	mg/l	50																							
N-TOTAL	mg/l	12																							
P-TOTAL	mg/l	1																							
Cl	mg/l	150																							
SO4	mg/l	150																							
CN totaux	mg/l	0,05																							
Cd total	µg/l	5	3	5																					
Hg total	µg/l	1	0,6	1																					
Ni total	µg/l	50	24	40																					
Pb total	µg/l	50																							
Cr total	µg/l	50																							
Cr dissous	µg/l	5	30	50																					
Cu total	µg/l	50																							
Cu dissous	µg/l	7	60	100																					
Zn total	µg/l	300																							
Zn dissous	µg/l	20	300	500																					
As total	µg/l	50																							
As dissous	µg/l	3	12	20																					
Détergents anioniques	mg/l	0,1																							
Détergents non ioniques	mg/l	1																							
Normes de qualité environnementale (NQE) pour les																									
		MA	CMA																						
Plomb dissous (MA)	µg/l	1,2	14	12	20																				
Benzène	µg/l	10	50	2	10																				
Tétrachloroéthylène (PER)	µg/l	10		5	40	23000	2700	1500	960	95	9,2														
Trichloroéthylène (TRI)	µg/l	10		5	70	190	150	25																	
Normes chimiques pour la qualité des eaux de surface																									
		MA																							
Toluène	µg/l	2		20	700																				
Ethylbenzène	µg/l	1		20	300																				
Xylènes (o+m+p)	µg/l	4		20	500																				
Chlorure de vinyl (CV)	µg/l	100		2	5	20	10																		
Cis+tr 1,2-dichl.éthène	µg/l	10		5	50	2200				11	5,1														
Ordonnance sols																									
Nitrates	mg/l			5	50	48				110	85	75	98	23	1,1	56	45	20	4,9	98	8,1	0,41	78	77	19
Huiles min. (C5-C8)	µg/l			60	120																				
Huiles min. (C8-C10)	µg/l			200	400																				
Huiles min. (C10-C40)	µg/l			300	500																				

MA: moyenne annuelle - CMA: concentration maximale admissible

Tabel 87: Kwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater en waargenomen verontreiniging bij de stations

Het blijkt dat de verontreinigingen in het grondwater die, lokaal, volgens de bodemordonnantie de waarden overschrijden, de volgende zijn:

- **Chloorhoudende oplosmiddelen:** tetrachloroethyleen (PER), trichloroethyleen (TRI), cis+trans-1,2-dichloroethyleen (voor station Liedts en in mindere mate station Vrede); men merkt voor Liedts een concentratie van tetrachloroethyleen op in het water tot 23.000 µg/l);
- En in mindere mate **nitraten** (voor Vrede, Colignon, VBH, Linde en Bordet).

Dit betreft uitsluitend de percelen in de perimeter van de stations, maar geeft geen nauwkeurig beeld van wat de verontreinigingsbelasting zal zijn, want:

- er kunnen zich andere verontreinigde percelen in de waterwinningszone van het project bevinden;
- sommige van deze verontreinigingen hebben reeds aanleiding kunnen geven tot lokale correctieve maatregelen;
- de resterende verontreinigingsbronnen in de perimeter van de stations zullen, de facto, afgevoerd worden tijdens de uitgravingen;
- zoals opgemerkt, worden de resterende verontreinigingen van het verzamelde water opgenomen in het globale mengsel van het draineringswater.

In dit stadium wordt voor **fase 1 – pilot** voorgesteld als lozingsnormen de normen in aanmerking te nemen die gebruikt worden in het kader van de saneringswerken en de maatregelen voor het risicobeheer ter toepassing van de bodemordonnantie (*code van goede praktijken 03/04/2017 - infofiche Leefmilieu Brussel*).

De significante waarden (in µg/l) daarvan worden in de onderstaande tabel aangegeven.

	Composé	Norme d'émission (mg/Nm ³)	
BTEXNS+MTBE	Benzène	1	
	Toluène	50	
	Ethylbenzène	50	
	Xylène	50	
	Styrène	50	
	Naphtalène	5	
	MTBE	50	
Organique	Huile minérale	50	
	Phénol	20	
	Crésol	20	
	Cyanure	5	
	Formaldéhyde	20	
HAP	Benzo(a)pyrène	0,05	
	Dibenzo(a,h)antracène	0,05	
VOCL	Dichlorométhane	20	
	Trichlorométhane (chloroforme)	2,5	
	Tétrachlorométhane	3,2	
	1,1-dichloroéthane	100	
	1,2-dichloroéthane	1	
	1,1,1-trichloroéthane (méthylchloroforme)	20	
	1,1,2-trichloroéthane	20	
	Cis-1,2-dichloroéthylène	100	
	trans-1,2-dichloroéthylène	100	
	Cis+trans-1,2-dichloroéthylène	100	
	1,1 Dichloroéthylène (vinylidene chloride)	8	
	Trichloroéthylène	1	
	Tétrachloroéthylène	20	
	Chlorure de vinyle	1	
	Chlorobenzène	Monochlorobenzène	20
		1,2-dichlorobenzène	20
		1,3-dichlorobenzène	20
	1,4-dichlorobenzène	6	
	Trichlorobenzène	0,05	
	Tétrachlorobenzène	20	
	Pentachlorobenzène	0,05	
	Hexachlorobenzène	0,05	
Métaux lourds	Plomb	0,5	
	Cobalt	0,5	
	Arsenic	0,05	
	Nickel	0,5	
	Mercurie	0,05	
	Cadmium	0,05	
	Brome	3	
	Chrome VI	0,05	
	Chrome	0,5	
	Sélénium	0,1	

Tabel 88: Lozingsnormen in het kader van saneringswerken

Wat betreft **fase 2 – definitieve fase** wordt aanbevolen dat de normen herzien worden door Leefmilieu Brussel op basis van de kennis van de inkomende gehalten en met als doelstelling de naleving van de kwaliteit van het oppervlaktewater in verband met het hierboven bedoelde oogmerk.

1.2.3.3. Keuze van de te weerhouden zuiveringsoperaties

Gelet op het huidige gebrek aan kennis van de inkomende verontreinigingsbelasting, zijn de minimaal aanbevolen zuiveringseenheden voor de zuivering van het draineringswater in dit stadium de volgende:

Voor fase 1 – pilotstation

Primaire zuivering

- **Afscheider voor lichte vloeistoffen:** eliminatie van eventuele drijfslagen (LNAPL) of zinklagen (DNAPL);
- **Filtering op zand of gelijksoortig:** onttrekking van zwevende deeltjes en bezinksels Fe, Mn, ... en bescherming van de secundaire zuiveringslaag;

Secundaire zuivering

- **Adsorptie op actieve koolstofkolom (GAC):** onttrekking van organische micropolluënten zonder onderscheid: chloorhoudende oplosmiddelen, BTEX, enz. en andere organische polluënten (indicator: DCO of COT).

Voor fase 2 – definitief station

Bij eerste benadering zou de opeenvolging gelijksoortig moeten zijn als die voor het pilotstation van de fase 1 met aanpassing van de debieten bij de samenkomst van de lozingen ter hoogte van de uitmondingen.

In de onderstaande tabel worden de in aanmerking te nemen debieten tijdens de twee fasen aangegeven volgens de door Artesia uitgevoerde berekening van de grondwaterverlaging met maximalistische hypothesen (modellering V1).

	Fase 1 – Pilot- zuiveringsstations			Fase 2 – Pilot- definitieve zuiveringsstations	
	<i>Q Station</i>	<i>Q Tunnel</i>	<i>Qtotal</i>	<i>Qtotal</i>	
	<i>m³/h</i>	<i>m³/h</i>	<i>m³/h</i>	<i>m³/h</i>	
Laison gre Nrd	3,1	0,1	3,2	UITMONDING 1	22,9
Liedts	4,4	0,1	4,5		
Colignon	4,9	0,2	5,1		
Verboekhoven	6,6	0,1	6,7		
Riga	3,3	0,2	3,5		
Tilleul	3,8	0,1	3,9	UITMONDING 2	15,1
Paix	3,6	0,1	3,7		
Bordet	3,1	0,2	3,3		
Stelplaats Haren	4,1		4,1		
TOTAL	36,9	1,1	38,0		38,0

Tabel 89: Zuiveringsdebiets van het draineringswater voor de twee fasen

De monitoring tijdens fase 1 zal het mogelijk maken voor de fase 2 om te verduidelijken of de zuivering door GAC-Adsorptie:

- hetzij voldoende is,
- hetzij aangevuld moet worden door extra zuiveringsprocedures,
- hetzij ontmanteld kan worden om uitsluitend de primaire zuivering over te houden.

Dit punt dient in overleg met Leefmilieu Brussel bepaald te worden na afloop van de fase 1.

Wat betreft de **nitrat** bestaan er geen lozingsnormen en deze worden niet overgenomen in de kwaliteitsnormen van het oppervlaktewater. Als men zich richt naar de bodemordonnantie is de saneringsnorm vastgesteld op 5 mg/l, hetgeen streng lijkt wat betreft de doelstellingen van de lozing.

Wat betreft deze parameter is het voorbarig om een zuivering aan te bevelen tijdens het stadium van fase 1 - pilotstation. Het wordt aanbevolen om de relevantie te beoordelen om deze zuivering te organiseren op basis van de resultaten van de monitoring van fase 1 en de werkelijke belasting aan nitraten in het draineringswater en in het ontvangstmilieu.

In voorkomend geval, als dit relevant blijkt, kan een zuivering uitgevoerd worden in het kader van de fase 2 - definitief station. In dat geval kan een geschikte zuivering bestaan uit een passage over uitwisselingshars (ionenwisselende hars). Dit punt dient eveneens in overleg met Leefmilieu Brussel bepaald te worden vóór de afloop van fase 1.

1.2.4. Impact op de riolering en het zuiveringsstation

Het aanvankelijke project voorziet in een voortdurende lozing van het draineringswater (totaal debiet van 38 m³/u – Artesia V1, 2019 – maximalistische hypothese) en de lozing van regenwater met een gedeeltelijk beperkt debiet (buffering van de dakoppervlakken (33 l/m²), geen buffering voor de openbare ruimten).

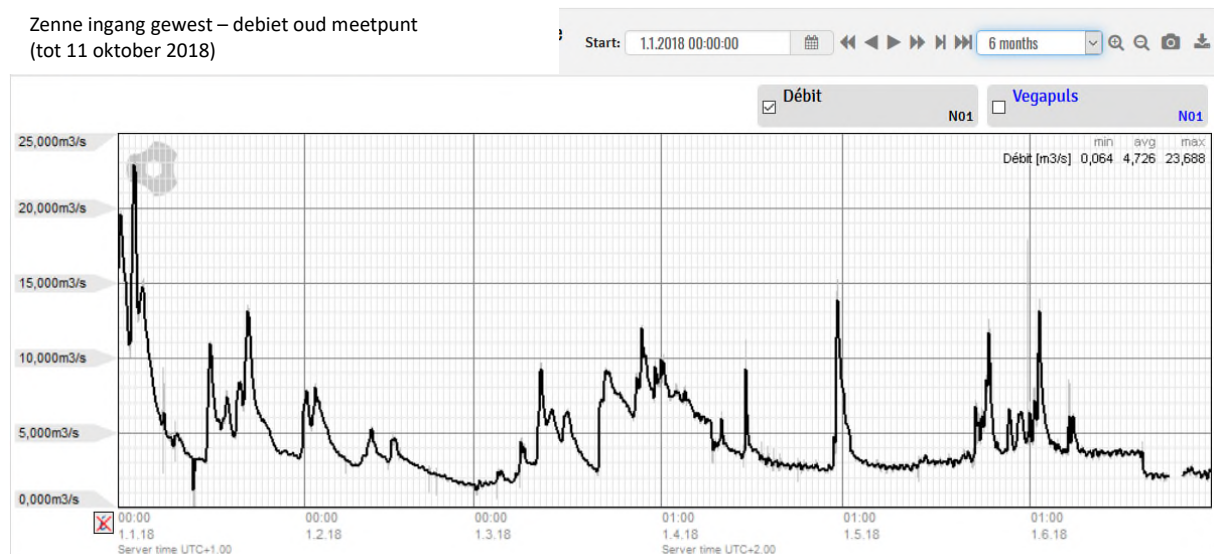
Door de uitvoering van het alternatief zou de voortdurende lozing van het draineringswater (38 m³/u – maximalistische hypothese) en de lozing van regenwater na gedeeltelijke buffering naar het riool vermeden worden. Hierdoor wordt voorkomen dat schoon water in het riool en het zuiveringsstation geloosd wordt. Dit alternatief leeft de aanbeveling na van het project van de GSV dat in de lozing met voorrang van regenwater via het netwerk van het oppervlaktewater voorziet en dat een geïntegreerd en duurzaam beheer bevordert van het (regen- en drainerings)water.

1.2.5. Impact op het netwerk van het oppervlaktewater

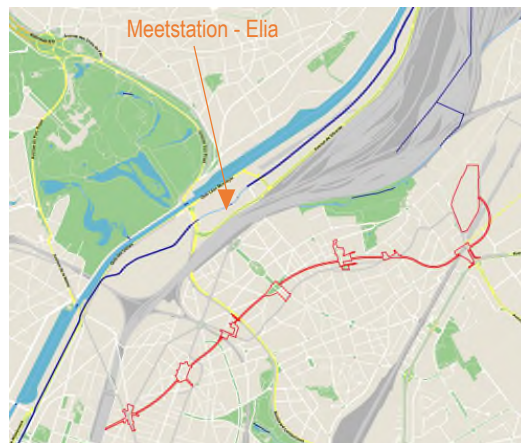
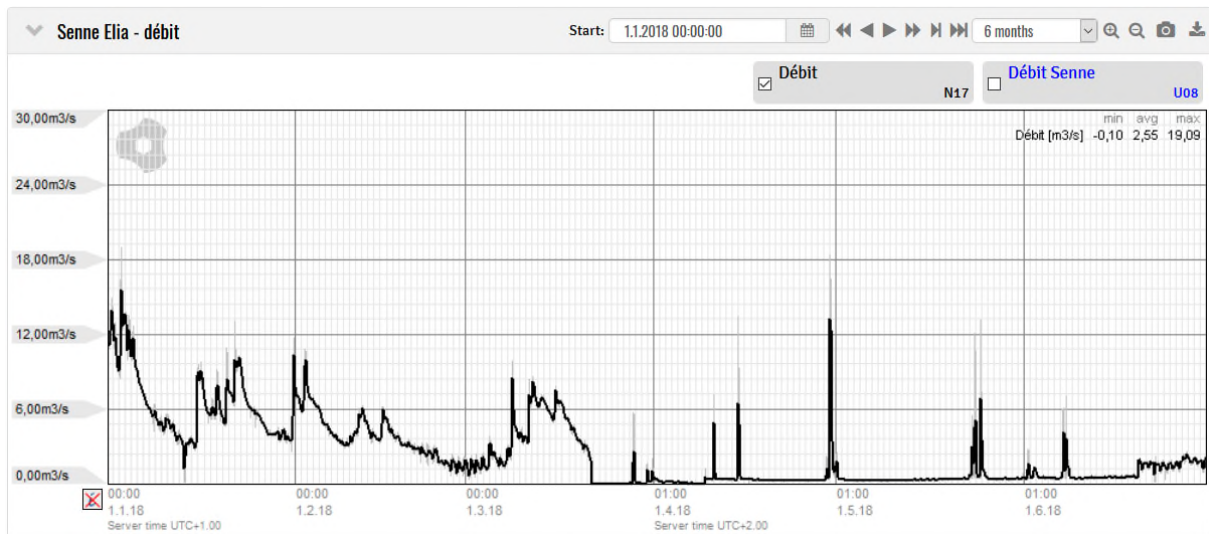
1.2.5.1. Kwantitatieve impact

A. Zenne

Op de volgende Figuren wordt de ontwikkeling van het debiet van de Zenne aan de ingang van het Brussels Gewest aangegeven en ter hoogte van de Elia-site (stroomafwaarts ten opzichte van het Noordstation) tussen 1 januari en 30 juni 2018.



Figuur 273: Ontwikkeling van het debiet van de Zenne aan de ingang van het Brussels Gewest tussen 1 januari 2018 en 30 juni 2018 (Flowbru, 2020)



Figuur 274: Ontwikkeling van het debiet bij de Elia-site tussen 1 januari 2018 en 30 juni 2018 (Flowbru, 2020)

Over deze periode bedraagt het debiet van de Zenne gemiddeld $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (aan de ingang) en $2,55 \text{ m}^3/\text{s}$ (ter hoogte van de Elia-site) met piekdebieten van respectievelijk 23 en $19 \text{ m}^3/\text{s}$. Ter vergelijking, de geloosde debieten bij uitmonding 1 bedragen tijdens de regen $0,0283 \text{ m}^3/\text{s}$, dat wil zeggen $0,1\%$ van het piekdebiet van de Zenne, wat niet significant is. Wanneer het niet regent, worden de bij uitmonding 1 geloosde debieten geschat op $0,0064 \text{ m}^3/\text{s}$, dat wil zeggen $0,2\%$ van het gemiddelde debiet van de Zenne, wat niet significant is.

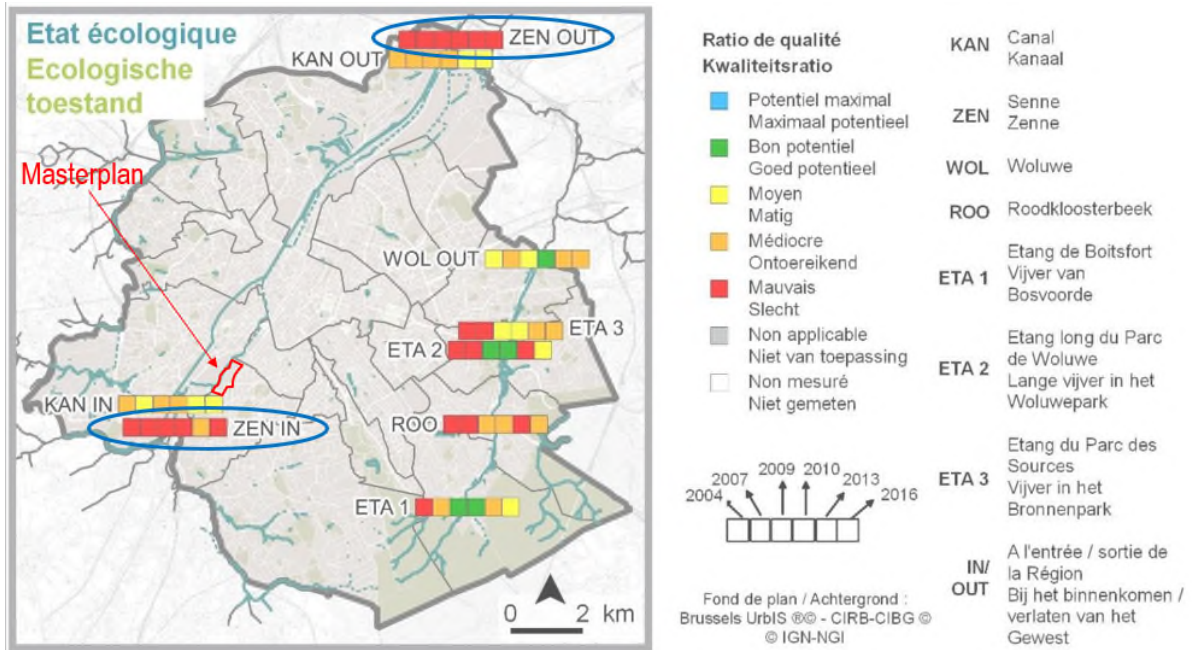
B. Kerkebeek

In tegenstelling tot de Zenne is er geen peilmeter geïnstalleerd in de Kerkebeek om het debiet daarvan te meten. Derhalve kan de kwantitatieve impact van uitmonding 2 moeilijk beoordeeld worden. Het debiet inzake het regenwater vertegenwoordigt echter 92% van het totale debiet van uitmonding 2. Gelet op de aanbevelingen die in elk boek inzake de stations gedaan zijn betreffende de installatie van een beheerssysteem van het regenwater over de gehele perimeter van elk station ter bevordering van de infiltratie en buffering, zijn de aangegeven debieten maximalistisch.

1.2.5.2. Kwalitatieve impact

A. Bestaande situatie in de Zenne

De volgende Figuur toont de ontwikkeling van de ecologische toestand van de belangrijkste waterlopen en vijvers van Brussel. Men kan hier zien dat de ecologische toestand van de Zenne slecht is bij de ingang en uitgang van het Gewest, behalve in 2013 toen de kwaliteit aan de ingang ontoereikend was.



Figuur 275: Ontwikkeling van de ecologische toestand van de belangrijkste waterlopen Brussel (Leefmilieu Brussel, 2016)

In de volgende tabellen wordt de ontwikkeling van de biologische kwaliteit van de Zenne aan de ingang en uitgang van het Gewest uiteengezet volgens gedetailleerde indicatoren.

Ontwikkeling van de biologische kwaliteit van de Zenne, aan de ingang van het Gewest (ZEN IN)
Bronnen: Van Tendeloo et al., 2004, Triest et al., 2008, Trist et al. 2012, Van Onsem et al. 2014, Van Onsem et al. 2017, studies in opdracht van Brussel Leefmilieu

	2004	2007	2009	2010	2013	2016
Fytoplankton	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Macrofyten	0,00	0,00	0,20	0,20	0,20	0,00
Fytobenthos	0,31	0,42	0,22	0,26	0,36	0,54
Macro-invertebraten	0,30	0,30	0,20	0,40	0,40	0,40
Vissen	0,00	0,00	NA	NA	0,00	0,35
Ecologische kwaliteit	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Médiocre	Mauvaise

* Note : Les poissons sont échantillonnés au site ZEN IN bis, après le rejet de la station Sud.

**Mauvaise =
Slecht**

**Médiocre =
Matig**

Ontwikkeling van de biologische kwaliteit van de Zenne, aan de uitgang van het Gewest (ZEN OUT)
Bronnen: Van Tendeloo et al., 2004, Triest et al., 2008, Trist et al. 2012, Van Onsem et al. 2014, Van Onsem et al. 2017, studies in opdracht van Brussel Leefmilieu

	2004	2007	2009	2010	2013	2016
Fytoplankton	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Macrofyten	0,00	0,00	0,20	0,20	0,60	0,40
Fytobenthos	0,31	0,45	0,30	0,21	0,34	0,53
Macro-invertebraten	0,00	0,30	0,20	0,20	0,30	0,20
Vissen	0,00	0,00	NA	NA	0,21	0,35
Ecologische kwaliteit	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise	Mauvaise

Tabel 90: Ontwikkeling van de biologische kwaliteit van de Zenne aan de ingang en uitgang van het Gewest (Leefmilieu Brussel, 2018)

De door Leefmilieu Brussel in 2018 uitgevoerde studie besluit met de volgende vaststellingen:

"Bij het binnenkomen en bij het verlaten van het Brussels grondgebied valt de Zenne onder de biologische kwaliteitsklasse "slecht" en dat vanaf 2004. [...] Desalniettemin wijst de ontwikkeling van de biologische kwaliteitselementen op een positieve tendens sinds 2010 bij de twee bemonsteringspunten. Deze verbetering zou één van de zichtbare en gunstige effecten kunnen vormen van de inbedrijfname van de zuiveringsstations Noord (2007) en Zuid (2000) volgens de auteurs van de studie. Dit blijkt desalniettemin ontoereikend om representatief te zijn voor de globale ecologische toestand. De terugkeer van vissen en in mindere mate de verbetering van Fytobenthos en macro-invertebraten duiden op een zeer positieve ontwikkeling van de Zenne."

B. Draineringswater

Door het ontwerp en de uitvoering van de zuivering van het draineringswater zoals beschreven en aanbevolen in hoofdstuk 1.2.3.2 kan alle negatieve impact van de lozing van het draineringswater op de kwaliteit van het oppervlaktewater beperkt worden.

Zoals uitgelegd in dit hoofdstuk, is deze zuivering gebaseerd:

- Voor fase 1 – pilotstation, op de naleving van de lozingsnormen van saneringsprojecten;
- Voor fase 2 – definitief station, op de naleving van de kwaliteitsnormen van het oppervlaktewater.

Het wordt voorgesteld om de doelstellingen van fase 1 te bepalen in overleg met Leefmilieu Brussel op basis van de exploitatieresultaten van fase 1 - pilot.

C. Regenwater

Het regenwater dat geloosd wordt in de leidingen behoeft geen bijzondere zuivering om de volgende redenen:

- Installatie van een buffer-/infiltratiesysteem ten behoeve van een bezinking en een filtering van de verontreinigingen die typisch in regenwater worden aangetroffen;
- Installatie van afscheiders van lichte vloeistoffen voor de risicozones bij de stelplaats.

1.3. Analyse van de variant - Energie

De bemalingsstations worden elk uitgerust met 2 pompen (voor de afvoer van het draineringswater), waarvan het vermogen en het jaarlijkse stroomverbruik aangegeven worden in de onderstaande tabel.

Pomp	Locatie	Nominaal vermogen [kW]	Jaarlijks stroomverbruik [kWh]
P1	Nabijheid schacht P0	0,3	2.628
P2	Station Linde	4	35.040
P3	Station Verboekhoven	0,4	3.504
P4	Station Brussel-Noord	4,5	39.420
Totaal			80.592

Tabel 91: Vermogen en jaarlijks stroomverbruik van de pompen (ARIES, 2021, volgens Tractebel)

Het nominale vermogen werd bepaald op basis van de gegevens van de uitwerking van de variant zoals deze in dit stadium van de studie bekend zijn, uitgaande van een weerstandsverlies volgens een vaste coëfficiënt van 1,5. Het jaarlijkse stroomverbruik wordt daarnaast geschat op basis van de hypothese van een permanente werking van de pompen

op nominaal vermogen. Verder werd het verbruik van de aftappompen niet bepaald en niet in aanmerking genomen voor deze schatting.

Uitgaande van een jaarlijks stroomverbruik van een gemiddeld huishouden in Brussel van circa 1.750 kWh²⁶, komt het verbruik door de werking van de pompen overeen met een verbruik van circa 45 huishoudens.

1.4. Analyse van de variant - sociaal en economisch

Wat betreft de kosten wordt hieronder een eerste ruwe schatting gedaan van de benodigde installatiekosten voor de uitvoering van dit alternatief. Er is een verschil mogelijk tussen de werkelijke kosten van deze installaties en de in dit rapport vermelde prijs:

- Prijs van € 48.000 voor de 12 pompen;
- Prijs van € 270.000 voor de leiding van 4.5 km lengte in de tunnel;
- Prijs van € 160.000 voor de filterinstallaties van de uitmondingen Noord en Linde;

Derhalve worden de kosten van de installatie van de 12 pompen, de waterleiding van 4,5 km en de installatie van de filters bij de twee uitmondingen in totaal geschat op ~ 500.000 euro.

Door de twee uitmondingen die voorzien zijn voor de variant van het beheer van het infiltratiewater kan continu 916 m³/dag, ofwel 332.440 m³/jaar gedraineerd worden. Wetende dat de totale saneringskosten circa € 1,5 / m³ aan in het riool geloosd water bedragen. Als de optie naar de twee oppervlakteuitmondingen niet toegepast wordt, bedragen de kosten in de 'voorlopige' situatie van de lozing van het water in het riool dus ≈ € 500.000 per jaar.

Merk op dat men ervan uitgaat dat voor de 7 stations de aanbevelingen inzake het beheer van het regenwater toegepast werden en dat dus een beheer aan de bron plaatsvindt bij deze 7 stations. Het betreft een complexere financiële berekening, want deze hangt af van meerdere parameters, waaronder met name de intensiteit en de duur van het regenseizoen.

Ter informatie wordt opgemerkt dat bij hevige regenval bij de 7 stations en als de lozing plaats zou moeten vinden in het riool zonder toepassing van de aanbevelingen voor het waterbeheer, dit neerkomt op € 450 / uur lozing.

1.5. Conclusie en aanbevelingen inzake de variant voor het waterbeheer

Het project zoals dit aanvankelijk neergelegd is voorziet in de lozing in het riool van het infiltratiewater, voornamelijk verzameld op het laagste punt van de stations en de tunnel. Maar ook van het aan de oppervlakte bij de stations opgevangen regenwater (na een vertraging). Het doel van deze variant is een alternatieve methode voor het beheer van het infiltratiewater en het regenwater te voorzien waarvoor de volledige afvoer naar het riool **niet** nodig is en wel voor het gehele tracé.

Net als geldt voor het beheer van het regenwater, blijven verschillende criteria van toepassing:

²⁶ Volgens de beschikbare gegevens van Bruegel met betrekking tot een gemiddeld Brussels huishouden: jaarlijks verbruik van 1.600 kWh tijdens piekuren en 1.900 kWh tijdens daluren.

- Opslag - gebruik
- Infiltratie zo dicht mogelijk bij de bron
- Lozing naar een geschikt oppervlaktewater (vijver, ven, wadi's, rivier, beek, enz...)

Wat betreft het regenwater en het afvloeiend hemelwater, zoals aangegeven in de boeken over de stations, is het de infiltratie aan de oppervlakte die met voorrang aanbevolen wordt om nul lozing op het riool te bereiken. Wanneer de totaliteit van de neerslag niet beheersbaar is door infiltratie, dient het overtollige water met voorrang geleid te worden naar een uitmonding aan de oppervlakte, als er een waterloop in de nabijheid is en niet naar het riool.

In overleg met de waterfacilitator van Leefmilieu Brussel werden er twee uitmondingen geïdentificeerd:

Uitmonding 1: Station Brussel-Noord - Wadi Bolivarlaan. Het wordt beoogd om het infiltratiewater van de helft van de stations en de tunnel (Linde → P5) naar deze uitmonding te lozen (S. Bolivar) die op haar beurt zich uitstort in de Zenne. Deze hypothese gaat gepaard met het nodige voorbehoud, want op het moment van afsluiting van deze effectenstudie is het project Max-aan-Zenne nog niet goedgekeurd.

Uitmonding 2: Linde - Kerkebeek (Moeraske) Het wordt beoogd om het infiltratiewater van de andere helft van de tunnel en de stations (Bordet → Linde) te verzamelen om het naar de oppervlakte op te voeren en om vervolgens een zwaartekrachtleiding aan te leggen naar de Kerkebeek. Merk op dat de aanvrager niet de beheersing over deze interventie heeft, omdat de perimeter van de aanvraag stopt bij de Picardiestraat. Om deze lozing mogelijk te maken, dient de toestemming verkregen te worden van de betreffende overheden en beheerders.

Er werd geen enkele andere mogelijke uitmonding in de perimeter van de aanvraag gevonden.

Om de compatibiliteit te waarborgen van de kunstwerken, werd in het kader van deze analyse uitgegaan van het worst case scenario. Er in dat geval van uitgaande dat het opgevangen regenwater bij de 7 stations + het infiltratiewater geadsorbeerd moet worden door de 2 uitmondingen. Dit betreft 28l/sec voor uitmonding 1 (station Brussel-Noord) en 53l/sec voor uitmonding 2 (Kerkebeek). Dit werd aangetoond voor een lozing naar de Kerkebeek (bestaand) en voor de Wdi van de Bolivarlaan (als deze optie weerhouden wordt, dient zorg gedragen te worden voor de juiste dimensionering van het wadiproject). Maar dit betreft in dat geval een pessimistische hypothese omdat deze geen rekening zou houden met de aanbevelingen voor het beheer van het regenwater zo dicht mogelijk bij de bron dat wil zeggen bij de 7 stations zoals aanbevolen in de boeken over de stations. Het lijkt tevens niet geschikt om het regenwater in de stations en de tunnel te laten dalen in de stations en de tunnel die, gelet op de hoogspanning, maximaal beschermd dienen te worden tegen vocht...

Daarom is het meest geloofwaardige scenario de lozing bij de 2 uitmondingen **UITSLUITEND** van het onderin de kunstwerken opgevangen infiltratiewater. Het debiet hiervan wordt geschat op 6l/sec voor het verzamelde water bij schacht P5 en op 4l/sec voor het verzamelde water bij Linde.

Gelet op het tracé van de tunnel, zijn de meeste leidingen zwaartekrachtleidingen. Er dienen desalniettemin pompen geïnstalleerd te worden bij Bordet en Verboekhoven om het stijgende vals plat van deze tunnelsectie te overbruggen.

De stations Linde en Liedts zouden uitgerust moeten worden met bemalingspompen onder de perrons. De pompen dienen dubbel en gecompartmenteerd uitgevoerd te worden ten behoeve van het onderhoud en de reparaties en toch het water te kunnen blijven afvoeren.

Er werd overeengekomen met Leefmilieu Brussel dat dit water gefilterd moet worden voordat het geloosd wordt in het oppervlaktewater of voordat het geïnfilterd wordt. Om begrijpelijke redenen voor het onderhoud en een by-pass tijdens het onderhoud of reparaties (bijvoorbeeld: arftaptankwagen) dient het filterlokaal zich zo dicht mogelijk aan de oppervlakte te bevinden en binnen de interventieperimeter van het project.

Wat betreft de verontreinigingsbelasting werd een voorafgaande diagnose gesteld in dit boek in het gedeelte "risico op verontreiniging binnen het tracé 6.4.4.2". Het blijkt uit de analyse dat de resulterende verontreinigingsbelasting niet uitsluitend veroorzaakt wordt door geïdentificeerde verontreinigingsbronnen bij de stations, maar met name afhangt van het mengsel tussen deze verontreinigingsbronnen en het al dan niet in diverse maten vervuilde perifere of diep gelegen water. De meest verwachte verontreinigingsbron zijn de chloorhoudende oplosmiddelen en in mindere mate de nitraten. In dit stadium is het onmogelijk de kwaliteit daarvan op deze diepten te bepalen. Op het moment van de bouwwerkzaamheden is het waarschijnlijk dat een groot gedeelte van de verontreinigingen in de bodem zal migreren en zich zal concentreren bij de bouwputten. Daarom bevelen wij de installatie aan van een pilotstation bij Linde en bij Liedts (of bij P5) met een afscheider van lichte vloeistoffen, filtering op zand of gelijksoortig en absorptie op actieve koolstofkolom. Dit systeem dient onderworpen te worden aan een monitoring om geleidelijk de installatie te verlichten via de stabilisatie van de debieten en de verontreinigingsbelasting tijdens de exploitatiefase.

Zoals aangegeven hangen de uitmondingen tevens af van de wens en de acties van andere partijen dan de aanvrager. Het wordt daarom aanbevolen om in het stadium van de wijzigingen de contacten voort te zetten met de overheden om de eventuele koppeling van dit project af te stemmen op de voorziene herinrichting van de tracés van de 2 uitmondingen (wegvernieuwing, passage van ondergrondse leidingen, nieuwe inrichting van de oppervlakte, enz...) die gelijktijdig kunnen plaatsvinden met de bouwwerkzaamheden van de metro.

Hoe dan ook bevelen wij aan een (inspectie)kamer te voorzien bij station Linde en het draineringswater (na filtering) te lozen in het regenwatercircuit, op haar beurt volgens de in het boek "Linde" vermelde aanbevelingen, dat wil zeggen een infiltratie van dit water in de perimeter van de aanvraag. Indien later een gebruik gevonden wordt voor dit draineringswater, hoeft men slechts een verbinding te maken met deze inspectiekamer.

Voor het verzamelde water bij station Liedts, beschikken wij over onvoldoende metingen van de nauwkeurige positie van het grondwater en het infiltratiepotentieel. Volgens de eerste peilingen is het duidelijk dat de grondwaterspiegel dicht bij het oppervlak ligt, maar wij kunnen het werkelijke potentieel pas kennen wanneer een daadwerkelijke proefcampagne verricht zal zijn (zie aanbeveling - bodem - station Liedts).

Wat dit betreft zou als alternatief dit water via de tunnel naar station Brussel-Noord geleid kunnen worden om verbonden te worden met de Voortuigangsstraat en de wadi van de Bolivarlaan (als het project Max-aan-Zenne doorgang vindt).

Mocht het project Max-aan-Zenne niet uitgevoerd worden in het stadium van de wijzigingen van deze stedenbouwkundige vergunning van de metro, is de basisoplossing om het water naar de Aarschotstraat te leiden waar zich overigens een wachtkamer bevindt voor de afvoer van het infiltratiewater van perceel 1 (tunnel station Brussel-Noord), maar nog altijd met een infiltratie voorafgaand aan de lozing van de Aarschotstraat.

Deel 4 : Analyse van de effecten van de variant voor het beheer van het infiltratiewater

Effect(en)	#	Mate van prioriteit	Aanbevelingen	Intervenient
Beheer van het regenwater	VAR.1.1	+++	Het regenwater niet in het circuit van het draineringswater onderin het station leiden, beheer aan de oppervlakte zo dicht mogelijk bij de bron	Aanvrager
	VAR.1.2	+++	De aanbevelingen volgen voor het beheer van het regenwater zoals vermeld in de diverse boeken over de stations	Aanvrager
Beheer van het draineringswater Infrastructuur	VAR.1.3	+++	Verplichting om het draineringswater te filteren vóór de lozing Installatie van koolwaterstoffilters, filters op zand of gelijksoortig, absorptie op actief koolstof of gelijksoortig.	Aanvrager
	VAR.1.4	+++	Toepassing van voortdurende monitoring van de verontreinigingsbelasting De filtereenheid kan verlicht worden naargelang de resultaten van de monitoring (als bewezen is dat de belasting constant wordt) na bevestiging van Leefmilieu Brussel	Aanvrager
	VAR.1.5	+++	Dubbele uitvoering van de tussenpompen en de bemalingspompen ten behoeve van het onderhoud en om stilstand van de bemaling te voorkomen.	Aanvrager
	VAR.1.6	+++	De pompen aansluiten op een noodstroomcircuit	Aanvrager
Beheer van het draineringswater Uitmondingen	VAR.1.7	+++	Stap 1 Het draineringswater bij Linde verzamelen via een circuit Bordet-Vrede-Linde Het draineringswater bij P5 verzamelen via een circuit Riga-Verboekhoven-Colignon-Liedts	Aanvrager
			Stap 2 Het wordt aanbevolen om in het stadium van de wijzigingen de contacten voort te zetten met de overheden om de eventuele koppeling van dit project af te stemmen op de voorziene herinrichting van de tracés van de 2 uitmondingen (wegvernieuwing, passage van ondergrondse leidingen, nieuwe inrichting van de oppervlakte, enz...) die gelijktijdig kunnen plaatsvinden met de bouwwerkzaamheden van de metro. In geval van kennisgeving door de aanvrager van de mislukking van deze optie van een aansluiting tussen station Linde en de Kerkebeek (te bevestigen door LB of andere mogelijkheid), wordt aanbevolen de leiding voort te zetten in de tunnel vanuit Linde tot aan P5	Aanvrager LB Vivaqua

Deel 4 : Analyse van de effecten van de variant voor het beheer van het infiltratiewater

		<p>Stap 3</p> <p>Voor de uitmonding nr. 1, indien de aanvrager te kennen geeft dat de onderhandelingen over een aansluiting op de wadi van de Bolivarlaan mislukt zijn, wordt aanbevolen om deze lozing aan te sluiten op die welke voorzien is bij de Aarschotstraat (zie vergunning van de metrotunnel station Brussel-Noord - perceel 1).</p> <p>Deze aansluiting moet tijdelijk blijven zolang de beslissing over het wadiproject in het kader van het project Max-aan-Zenne niet geweigerd is door de overheid. De filtering blijft verplicht, zelfs voor deze tijdelijke lozing.</p>	<p>Aanvrager LB Vivaqua</p>
--	--	---	-------------------------------------

VERTALINGEN VAN DE LEGENDES

Blz	Français	Nederlands
106	Tabel 25	
	Figure 1. Coûts externes marginaux du transport de marchandises en Flandre selon le véhicule utilisé (€/100 tonnes-km)	Figuur 1. Marginale externe kosten van het goederenvervoer in Vlaanderen naargelang gebruikt vervoermiddel (€/100 tons-km)
	Camionnette (essence, diesel)	Bestelwagen (benzine, diesel)
	Camion	Vrachwagen
	Train	Tein
	Barge	Schip
	Santé	Gezondheid
	Infrastructure	Infrastructuren
	Bruit	Geluid
	Accidents	Ongevallen
	Emissions	Uitstoot
	Congestion	Stremming
123	Tabel 29/Figuur 72/83	
	TN (m DNG)	Niv.Mv. (m TAW)
	Niveau statique	Statisch niveau (m TAW)
	Objectif niveau rabattu intra station	Doelstelling verlaagd niveau intra-station (m TAW)
	Rabattement intra station	Verlaging intra-station
	Base des murs	Basis van de muren (m TAW)
	Rabattement face aval (Nord, Sud, m DNG)	Verlaging stroomafwaartse zijde (Noord)/Zuid/ TAW (m)
	Réserve non saturée	Niet verzadigde reserve (m)
128	Figuur 81/86	
	Comparaison des débits de drainage selon les scénarios considérés sur base de la modélisation Artesia 5V1 et V2)	Vergelijking van de gedraineerde debieten volgens de in aanmerking genomen scenario's op basis van de modellering van Artesia (V1 en V2)
	Modélisation ARTESIA V1	Modellering ARTESIA (V1): K wand: 1.10^{-8} m/s / Kh St.Maur: 1.10^{-7} m/s
	Modélisation ARTESIA V2	Modellering ARTESIA (V1): K wand: 1.10^{-11} m/s / Kh St.Maur: 1.10^{-10} m/s
	Domaine de variation du débit total des 7 station selon les hypothèses considérées	Domein van de totale debietvariatie van de 7 stations volgens de in aanmerking genomen hypothesen
	Débit stations/tronçons	Debit stations/secties
130	Figuur 84/85	
	PROFIL DES NIVEAUX INITIAUX ET RABATTUS AU DROIT DES STATIONS	PROFIEL VAN DE INITIËLE EN VERLAAGDE PEILEN BIJ DE STATIONS – VERGELIJKING INITIEEL SCENARIO (V1) EN KRITIEK SCENARIO (V2) (EVENWICHTSSITUATIE)
	Terrain naturel	natuurlijk land
	niveau statique	statisch niveau
	Niveau rabattu V1 côté amont/aval	Verlaagd niveau V1 – Stroomopwaartse zijde/stroomafwaartse zijde
	Objectif rabattement intrastation	Doelstelling verlaging intra-station

194	Figuur 125	
	Vibration des structures	Trillingen van de structuren
	Dommages structurels et cosmétiques des bâtiments (cas extrêmes)	Structurele en cosmetische schade van de gebouwen (extreme gevallen)
	Impact des équipements et activités sensibles	Impact van de uitrusting en gevoelige activiteiten
	Gêne des occupants par perception des vibrations tactiles	Hinder van de bewoners door waarneming van voelbare trillingen
	Son rayonné à l'intérieur des bâtiments	Uitgestraald geluid binnen de gebouwen
	Gêne des occupants par perception du bruit solidien	Hinder van de bewoners door waarneming van het contactgeluid
	Couche solide	Vaste lage
	Fondation du sol	Funderingen van de grond
196	Figuur 126	
	Sol	Grond
	Paroi du tunnel, béton	Wand van de tunnel, beton
	Dalle en béton	Betonnen plaat
	Sable stabilisé	Gestabiliseerd zand
	Sable stabilisé	Zand
	Béton	Beton
205	Figuur 132	
	Gare du nord	Station-Noord
	Voile mur en Z	Z-vormig muurvlies
	Ouvrage sous la gare du nord	Kunstwerk onder station-Noord
	Maison communale	Gemeentehuis
	Ecole	School
	Terrain vague	Braakliggend terrein
	Box garage	Garagebox
	Fermette classée 16èmes.	Beschermde hoeve 16 ^e eeuw
	Académie de musique + parking souterrain	Muziekacademie + ondergrondse parking
	Rez+5 à proximité	Bg + 5 in de nabijheid
210	Figuur 134	
	Novembre 2024 livraison du tunnelier	November 2024 Levering tunnelboormachine
	Février 2025 démarrage du tunnelier	Februari 2025 start tunnelboormachine
	Avril 2025 station Bordet	April 2025 Station Bordet
	Juillet 2025 station Paix	Juli 2025 Station Vrede
	Septembre 2025 station Tilleul	September 2025 Station Linde
	Janvier 2026 station Riga	Januari 2026 Station Riga
	Avril 2026 station Verboekhoven	April 2026 Station Verboekhoven
	Juillet 2026 station Colignon	Juli 2026 Station Colignon
	Octobre 2026 station Liedts	Oktober 2026 Station Liedts
	Mars 2027 sortie 2027	Maart 2027 Uitgang tunnelboormachine

210	Figuur 135	
	Approvisionnement de voussoirs par pont roulant	BEVOORRADING VAN SEGMENTEN DOOR ROLBRUG
	Tunnelier	TUNNELBOORMACHINE
	Acheminement de voussoirs par wagonnets	TRANSPORT SEGMENTEN PER WAGONS
	Evacuation des déblais par convoyeur à bande	AFVOER AFGEGRAVEN GROND DOOR TRANSPORTBAND
212	Figuur 136	
	Zone chantier puits P5	Werfzone schacht P5
	Logements et commerces	Woningen en winkels
213	Figuur 137	
	Emprise du puits P0	Grondinname schacht P0
	Emprise des ouvrages construits - bâtiment A-R	Grondinname gebouwde kunstwerken – gebouw A+R
	Voiries provisoires pour accès chantier, et parkings	Voorlopige wegen voor toegang werf en parkings
	Plateformes de travail	Werkplatforms
	Base vie/cantonnements/containers de stockage matériel	Leefbasis / kantonnement / Opslagcontainers materiaal
	Installation de chantier prévue pour phase tunnelier	Werfinstallatie voorzien voor fase tunnelboormachine
	Zone de stockage des matériaux de construction	Opslagzone van bouwmaterialen
	Clôture provisoire/limite chantier	Voorlopige sluiting / Werfgrens
	Accès	Toegang 1, 2, 3, 4
	Atelier	Werkplaats – 700m ²
	Centrale traitement des eaux	Waterbehandelingscentrale – 500 m ²
	Zone de stockage	Opslagzone – 860 m ²
	Stockage voussoirs	Opslag segmenten – 1150 m ²
	Transformateur	Transformator
	Centrale mortier	Mortelcentrale – 900 m ²
	Centrale bentonite	Bentonietcentrale – 1900 m ²
	Aire de marinage	Zone afgegraven grond – 2400 m ²
	Aire de chargement	Laadzone – 2000 m ²
	Parking engins	Parking bouwmachines – 800 m
221	Figuur 142	
	Itinéraire depuis le nord / N-E	Route vanuit het Noorden / Noord-Oosten
	P5 : entrée vers le sud/nord	P5: ingang naar het Zuiden/Noorden
	Alternative si le projet Reine-Thomas est réalisé	Alternatief als het project Reine-Thomas uitgevoerd wordt

298	Figuur 182	
	Epaisseur du revêtement (cm)	Dikte van de bekleding (cm)
	Diamètre intérieur du revêtement (m)	Binnendiameter van de bekleding (m)
	Revêtement définitif - Front ouvert	Definitieve bekleding – Open frontboormachine
	A air comprimé	Definitieve bekleding – Persluchtboormachine
	A pression de boue	Definitieve bekleding – Tunnelboormachine met slurryschild
	A pression de terre	Definitieve bekleding – Tunnelboormachine met grondaardebalschild
	Revêtement provisoire	Voorlopige bekleding
373	Figuur 252	
	Niveau TN (m DNG)	Niveau TN (m DNG)
	Voute tunnel monotube (m DNG)	Gewelf tunnel een buis (m DNG)
	Radier tunnel bi-tube (m DNG)	Funderingsplaat tunnel twee buizen (m DNG)
	Niveau nappen (m DNG)	Grondwaterpeil (m DNG)
	Radier tunnel monotube (m DNG)	Funderingsplaat tunnel een buis (m DNG)
	Base des murs (m DNG)	Basis van muren (m DNG)
	Voute tunnel bi-tube (m DNG)	Gewelf tunnel twee buizen (m DNG)
	Tilleul	Linde
	Paix	Vrede
	LONGEUR DU TUNNEL EN M	LENGTE VAN DE TUNNEL IN M
392	Figuur 261	
	Bureau paysager	LANDSCHAPPELIJK KANTOOR
	Mezzanine	TUSSENVERDIEPING
	Vestiaire dames	VESTIAIRE DAMES
	Vestiaire homme	VESTIAIRE HEREN
	Local ventilation	VENTILATIELOKAAL
410	Figuur 267/268/269/270/271/272	
	Station de relevage principale	HOOFDBEMALINGSSTATION – OPTIE 1: WADI
	Vers exutoire	Naar uitmonding
	EP eaux pluviales	EP: regenwater
	ED eau de drainage	ED: drainagewater
	Noue EP	Wadi EP
	Traitement primaire	Primaire zuiver
	Traitement secondaire	Secundaire zuivering
	Chambre de reprise ED	Opvangkamer ED
	Station ED	Qed station
	Chambre de vidange....	Aftapkamer als de capaciteit van de ED-kamer niet voldoende is
	Bassin tampon	Bufferbekken EP

420	Tabel 87/88	
	Concentration maximales observées dans les eaux souterraines au droit direct des stations dans le cadre des études de pollution de sol	Maximale concentraties waargenomen in het oppervlaktewater direct bij de stations in het kader van bodemvervuilingsonderzoeken
	Normes de qualité de base (physico chimique) pour les eaux de surce	(Fysisch-chemische) basiskwaliteitsnormen voor het oppervlaktewater
	Ordonnance sol	Bodemordonnantie
	Temperature	Temperatuur
	pH	pH
	Conductivité électrique	Geleidbaarheid
	O2 dissous	Opgeloste O2
	DBO	BZV
	DCO	CZV
	MES	ZS
	N-total	N-TOTAAL
	P-total	P-TOTAAL
	Cl	Cl
	SO4	SO4
	CN totaux	CN totaal
	Cd total	Cd totaal
	Hg total	Hg totaal
	Ni total	Ni totaal
	Pb total	Pb totaal
	Cr total	Cr totaal
	Cr dissous	Cr opgelost
	Cu total	Cu totaal
	Cu dissous	Cu opgelost
	Zn total	Zn totaal
	Zn dissous	Zn opgelost
	As total	As totaal
	As dissous	As opgelost
	Détergents anioniques	Anionische reinigingsmiddelen
	Détergents non ioniques	Niet-ionische reinigingsmiddelen
	Normes de qualité...	Milieukwaliteitsnormen (MKN) voor het oppervlaktewater
	Pl dissous	Opgelost lood (JG)
	Benzène	Benzeen
	Tétrach...	Tetrachloorethyleen (PER)
	Trichlor...	Trichloorethyleen (TRI)
	Normes chimiques...	Chemische normen voor kwaliteit van het oppervlaktewater
	Toluène	Tolueen
	Ethylbenzène	Ethylbenzeen

	Xylènes	Xyleen
	Chlore de vinly	Vinylchloride
	Cis+tr...	Cis+tr 1,2 dichl.etheen
	Ordonnance sols	Bodemordonnantie
	Nitrates	Nitraten
	Huiles min	Min. oliën (C5-C8)
	Huiles min	Min. oliën (C8-C10)
	Huiles min	Min. oliën (C10-C40)
	MA : moyenne annuelle - CMA : concentration maximale admissible	JG: jaarlijkse gemiddelde – MTC: maximaal toelaatbare concentratie



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