Realisatie nieuw metrostation om een bestaande geboorde tunnel te Antwerpen

Onderzoeksrapport

Witteveen+Bos

8 juni 2018

Witteveen + Bos

HZ UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Project	Realisatie nieuw metrostation om een bestaande geboorde tunnel te Antwerpen
Opdrachtgever	Witteveen+Bos
Document	Onderzoeksrapport
Status	Definitief
Datum	8 juni 2018
Plaats uitgave	Breda
Stagebegeileder	Okke Los
	John Snijders
Stagedocent	Albert Repko
Auteur(s)	Tom Bulman
Studentennummer	00067883
Opleiding	Civiele Techniek
Cursuscode	CU11020
Gecontroleerd door	-
Goedgekeurd door	-
Paraaf	-

Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer Stationsweg 5 Postbus 3465 4800 DL Breda +31 (0)76 523 33 33 www.witteveenbos.com
Onderwijsinstelling	HZ University of Applied Sciences Edisonweg 4 4382 NW Vlissingen 0118 489 000 www.hz.nl

VOORWOORD

Voor u ligt het onderzoeksrapport van Tom Bulman 'realisatie nieuw metrostation om een bestaande geboorde buis te Antwerpen'. Het onderzoek is uitgevoerd bij Witteveen+Bos binnen de afdeling infrastructuur en mobiliteit en legt de focus op de beste uitvoeringsmethodiek voor een nieuw metrostation te Antwerpen. Het onderzoeksrapport is geschreven voor mijn afstudeerproject van de opleiding civiele techniek van de HZ University of Applied Sciences. Dit onderzoek heeft gelopen van 22 januari 2018 tot en met 8 juni 2018.

In dit onderzoeksrapport wordt onderzocht hoe een station om een bestaande metrotunnel in Antwerpen heen gerealiseerd kan worden. De belangrijkste resultaten en afwegingen komen aan de orde en een voorkeursvariant is uitgewerkt tot een definitief ontwerp.

Het onderwerp van het onderzoek is samen met mijn stagebegeleiders, Okke Los en John Snijders, bedacht tijdens het kennismakingsgesprek. Na feedback te hebben ontvangen van mijn begeleider vanuit de opleiding, Albert Repko, op de formulering van het onderwerp is een onderzoeksvoorstel opgesteld. Dit was de eerste aanzet tot dit onderzoek. In Januari 2018 ben ik begonnen met het onderzoek om mijn onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden.

Gedurende dit onderzoek stonden mijn stagebegeleiders en mijn begeleider vanuit mijn opleiding altijd voor mij klaar. Deze personen wil ik hierbij hartelijk bedanken. Bovendien wil ik ook mijn collega's van de groep infrastructuur en mobiliteit bedanken voor de ondersteuning bij mijn afstudeerproject. Ze hebben altijd tijd voor me vrijgemaakt wanneer ik vragen had en ze hebben er mede voor gezorgd dat ik een zeer leuke afstudeerperiode heb gehad in de geweldige stad Breda.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Tom Bulman

Breda, 8 juni 2018

Tom Bulman

SAMENVATTING

Het ondergrondse tramnetwerk dat onder de dichtstbevolkte wijk van Antwerpen, Borgerhout, loopt, is ontoereikend voor de inwoners en reizigers van de wijk. De omgeving verlangt naar een extra ondergronds station dat aansluit op het huidige netwerk om zo de tramcapaciteit te doen laten toenemen. Het huidige netwerk bevindt zich 20 meter onder het maaiveld en bestaat uit twee geboorde metrotunnelbuizen. Over het overgrote deel van het traject zijn de geboorde buizen omwille van het ruimtebeslag boven elkaar gelegen. Het aansluiten van een nieuw station op bestaande metrotunnels brengt verschillende complexiteiten met zich mee. Onderzocht is op welke wijze dit nieuwe station aangelegd kan worden in het binnenstedelijk gebied te Antwerpen, welke grondkeringen hierbij benodigd zijn en hoe het station aangesloten kan worden op de bestaande tunnel.

Om de genoemde complexiteiten uit te werken is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd: '*Wat is de meest gunstigste bouw-aanlegmethode voor de inpassing van een nieuw premetrostation om een bestaande geboorde tunnel, in de wijk Borgerhout te Antwerpen, waarbij zo min mogelijk overlast ontstaat naar de omgeving toe?*'. De benaming premetro is afgeleid van een ondergronds tramnetwerk dat later in de toekomst omgebouwd kan worden tot een metronetwerk.

Het resultaat van het uitgevoerde onderzoek is een integraal uitgewerkte voorkeursvariant. Deze variant omvat de ruimtelijke inpassing, de geometrie, de inrichting van het station en de meest gunstige aanlegmethode met bijbehorende grondkering. Echter, afhankelijk van wie je het vraagt, kan de voorkeur voor een bepaalde variant anders zijn. Om inzicht te verkrijgen in alle voorkeuren is een stakeholderanalyse uitgevoerd. Hierbij zijn de belangrijkste partijen in kaart gebracht en is van eenieder haar/zijn belang in het project beschouwd. Van een tweetal partijen zijn interviews afgenomen om inzicht te krijgen in de maatgevende factoren bij het ontwerp van een nieuw metrostation. De ruimtelijke inpassing in haar omgeving en veiligheid in ondergrondse ruimtes komen uit de interviews nadrukkelijk naar voren. Op basis van de opgedane kennis uit de stakeholderanalyse, de uitgevoerde interviews, de huidige normen -en regelgeving en de lokale (grond)omstandigheden is een programma van eisen (PvE) opgesteld voor het nieuwe metrostation. Aan de hand van het PvE is een geometrie vastgesteld voor het metrostation dat ingepast kan worden op de projectlocatie.

Vervolgens is een vooronderzoek uitgevoerd naar potentiële varianten die het geometrische ontwerp van het metrostation kunnen verwezenlijken. Deze varianten hebben betrekking op de soort aanlegmethode, de grondkeringen aan de langs zijden en de aansluiting van het station op de bestaande metrotunnels. De varianten per onderdeel zijn beoordeeld op vier criteriapunten. Waaronder de overlast naar omwonenden, de realisatietijd, de kosten en de uitvoeringsrisico's. In het kader van minder hinder naar omwonenden en gebruikers van het bovenliggend maaiveld, de gunstige krachtwerking en optimale gebruik van de geologische omstandigheden in Antwerpen is gebleken dat de wanden-dak methode het beste aansluit bij het PvE. De wanden van het nieuwe metrostation zullen worden gerealiseerd middels diepwanden waarna direct het dak zal worden gemaakt. De tunneldoorsnede zal vervolgens onder het dak worden ontgraven.

De aansluiting van het station op de bestaande tunnel wordt gerealiseerd aan de hand van een vrieslichaam dat vanuit de metrobuizen wordt aangebracht, zodat de tunnel van binnenuit plaatselijk gesloopt kan worden zonder dat er water toe treedt. Door de gesloopte tunnelsectie heen wordt vervolgens vanaf het maaiveld een diepwand aangebracht om de kopzijde af te sluiten. Deze diepwand wordt door het vrieslichaam gerealiseerd. Wanneer de diepwand is uitgehard kan de doorbraak in de tunnelsectie zelf worden gerealiseerd. Als de verbinding tussen de tunnelsectie en de diepwand water afsluitend is gemaakt kan het vrieslichaam worden ontdooid.

Tot slot is de diepwandconstructie nader uitgewerkt tot een definitief ontwerp aan de hand van het berekeningsprogramma D-sheet en de vigerende normen en regelgeving. Uit de berekening blijkt dat er een grote hoeveelheid wapening benodigd is om de zwaarst optredende krachten op te kunnen nemen. Hierbij was het van belang dat de diepwanden stabiel zijn, zodat het metrostation veilig in gebruik kan worden genomen door de premetroreizigers.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 7

1.1 Achtergrond 7
1.2 Aanleiding 8
1.3 Projectlocatie 9
1.4 Probleemstelling 9
1.5 Doelstelling 10
1.6 Vraagstelling 10
1.7 Opdrachtgever en begeleiding 10
1.8 Leeswijzer 10

2 THEORETISCH KADER 11

2.1 Stakeholderanalyse 11
2.2 Interviews 13
2.2.1 Interview tunnelveiligheid Witteveen+Bos 13
2.2.2 Interview premetronetwerk de Lijn 13
2.2.3 Bevindingen interviews 13
2.3 Achtergrondgegevens 14
2.3.1 Huidige functie projectgebied 14
2.3.2 Maaiveldhoogte 14
2.3.3 Bodemopbouw 15
2.3.4 Geotechnische gegevens 15
2.3.5 Grondwaterstanden 16
2.4 Programma van Eisen 17
2.4.1 Randvoorwaarden 17
2.4.2 Functionele eisen 17
2.4.3 Technische eisen 17
2.5 Geometrie metrostation 19
2.5.1 Vergelijking tekeningen 19
2.5.2 Advies schematische vorm 19
2.6 Vooronderzoek varianten 20
2.6.1 Aanlegmethodieken ondergrondse constructies 20
2.6.2 Grondkerende constructies 24
2.6.3 Overige toepassingen 28
2.6.4 Bevindingen vooronderzoek 31

3 METHODE 32

3.1 Onderzoeksmethoden 32
3.2 Geometrie station 33
3.3 Achtergrondgegevens 33
3.4 Programma van eisen 34
3.5 Variantenanalyse 34
3.6 Definitief ontwerp 39

4 RESULTATEN 41

4.1 Variantenanalyse aanlegmethoden 41
4.2 Variantenanalyse grondkering 42
4.2.1 Beoordeling varianten 42
4.2.2 Eindresultaat variantenanalyse 45
4.2.3 Voorkeursvariant 46
4.3 Uitwerking voorkeursvariant 47
4.3.1 Kopafsluiting 47
4.3.2 Berekeningen 50
4.3.3 Tekeningen 52

5 CONCLUSIE 53

6 DISCUSSIE 55

7 AANBEVELINGEN 57

8 BIBLIOGRAFIE 58

Laatste pagina 59

Bijlage(n) Aantal pagina's

1

INLEIDING

Dit onderzoeksrapport gaat over de aanleg van een nieuw metrostation om twee bestaande, gestapelde geboorde tunnelbuizen voor de premetro te Antwerpen. Het station zal zich ondergronds bevinden en er wordt onderzocht op welke wijze het station het beste aangelegd kan worden op de bestaande geboorde tunnels. Hierbij wordt de overlast voor de stad en de omwonenden zo beperkt mogelijk gehouden. In het onderzoeksrapport wordt beschreven wat de aanleiding is voor het onderzoek, wat er onderzocht wordt, welke methode is toegepast en wat de resultaten zijn van het onderzoek.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij advies- en ingenieursbureau Witteveen+Bos.

'Witteveen+Bos wil dicht bij haar klanten en bij de maatschappij staan. Met de snel veranderende omgeving willen ze meebewegen en altijd innovatieve oplossingen bedenken. Het is een ingenieurs- en adviesbureau dat adviezen en ontwerpen levert op het gebied van water, infrastructuur, milieu en bouw. Ze gebruiken de topexpertise die aanwezig is binnen het bedrijf om complexe vraagstukken op te lossen en zijn een betrokken partner van de opdrachtgevers. Ze bezitten veel kennis op het gebied van infrastructuur en mobiliteit, waaronder de aanleg van verschillende geboorde tunnels zoals bijvoorbeeld de Noord-Zuidlijn en hebben daardoor veel experts op het gebied van ondergrondse werken.'

1.1 Achtergrond

Het premetronetwerk van Antwerpen, te zien in afbeelding 1.1, bevat metrotunnels en stations die niet allemaal operatief zijn. De benaming premetro is afgeleid van een ondergronds tramnetwerk dat later in de toekomst omgebouwd kan worden tot een metronetwerk.

Het netwerk is in maart 1975 officieel geopend, inclusief drie stations in het centrum van Antwerpen. Deze stations heten Meir, Opera en Groenplaats. De stations werden met elkaar verbonden door middel van een tunnel die is gerealiseerd aan de hand van de open bouwmethode. In de jaren die volgden werd het premetronetwerk verder uitgebreid tot de huidige 13,5 km. Deze uitbreidingen zijn grotendeels gerealiseerd middels geboorde tunnelbuizen. Echter waren deze tunnels en bijbehorende metrostations tot voor kort niet in gebruik genomen vanwege financiële redenen.

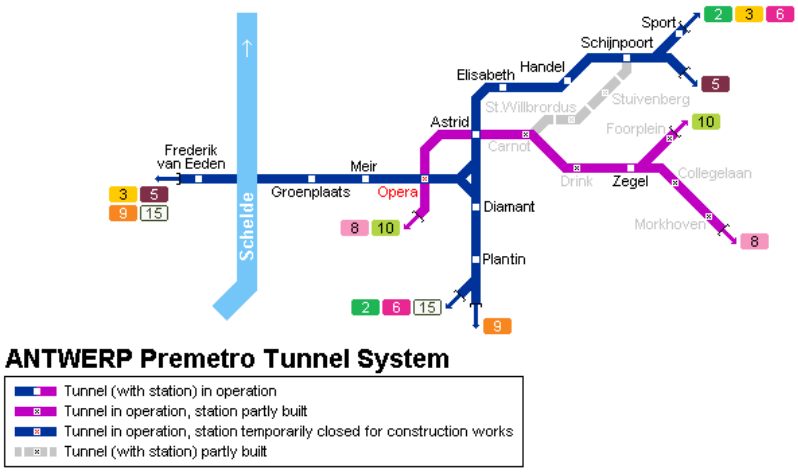
De Paarse lijn in afbeelding 1.1 (Schwandl, 2017) is de Reuzenpijp. Deze tunnel lag in een ruwbouwstaat tot 2013 waarna besloten werd door de gemeente Antwerpen de tunnel af te bouwen. De tunnel is vervolgens geopend in 2015 en werd in gebruik genomen door lijn 8. Sinds april 2017 wordt de Reuzenpijp ook gebruikt door lijn 10, die de reizigers tot aan Wijnegem brengt.

In de jaren tachtig zijn op de Reuzenpijp een vijftal stations gerealiseerd. Ook deze waren in ruwbouwstaat opgeleverd toen het project tot stilstand kwam. Met de ingebruikname van de Reuzenpijp is alleen station Zegel afgebouwd en geopend. De overige stations Carnot, Drink, Collegelaan en Morckhoven konden niet worden opgewaardeerd naar de hedendaagse veiligheid standaards en kunnen niet als regulier metrostation in gebruik worden genomen. Ze dienen nu dan ook als evacuatiestations op het moment dat er een calamiteit plaatsvindt in de tunnels.

De andere lijnen die te zien zijn in afbeelding 1.1 maken ook deel uit van het premetronetwerk in Antwerpen. De grijsgekleurde lijn is niet in gebruik, wel is deze tunnel deels afgebouwd, wat te lezen is in de legenda onder de afbeelding. De blauwgekleurde lijn is volledig in gebruik.

Er is veel vraag vanuit de wijk Borgerhout om het netwerk ook voor hun toegankelijk te maken door meer stations te openen. Een nieuw station zal hierom gerealiseerd worden tussen stations Carnot en Drink op de bestaande Reuzenpijp, de paarse lijn in afbeelding 1.1. In de volgende paragraaf wordt de aanleiding van het onderzoek beschreven.

Afbeelding 1.1 premetrotunnel netwerk. Bron: (urbanrail.net)



1.2 Aanleiding

De Reuzenpijp ligt deels onder het dichtstbevolkte stadsdeel van Antwerpen, Borgerhout, en loopt onder de drukke Turnhoutsebaan. Sinds lijn 10 in april 2017 door de Reuzenpijp rijdt is de totale tramcapaciteit in de wijk Borgerhout met bijna 40% afgenomen en zijn er veel bovengrondse haltes verloren gegaan. Tijdens de werkzaamheden van de Reuzenpijp in 2013 is er vanuit het parlement gekozen om alleen station Zegel te openen, omdat de overige stations qua veiligheid niet meer voldeden aan de huidige normen en eisen. Toch blijft de vraag vanuit de omgeving van Borgerhout groot om een nieuw station te openen. Het enige andere alternatief voor de inwoners van Borgerhout is de bovengrondse tramlijn 24 en verschillende buslijnen (Castelyns, 2017). Verder rijdt lijn 10 door tot aan Wijnegem waar zich een groot overdekt winkelcentrum bevindt. Met een extra station zal het winkelcentrum meer bezoekers naar zich toe kunnen trekken die gebruik kunnen maken van de premetro. Het stoppen van de tram op een extra station kost meer tijd, maar een positief gevolg is de toename van de tramcapaciteit.

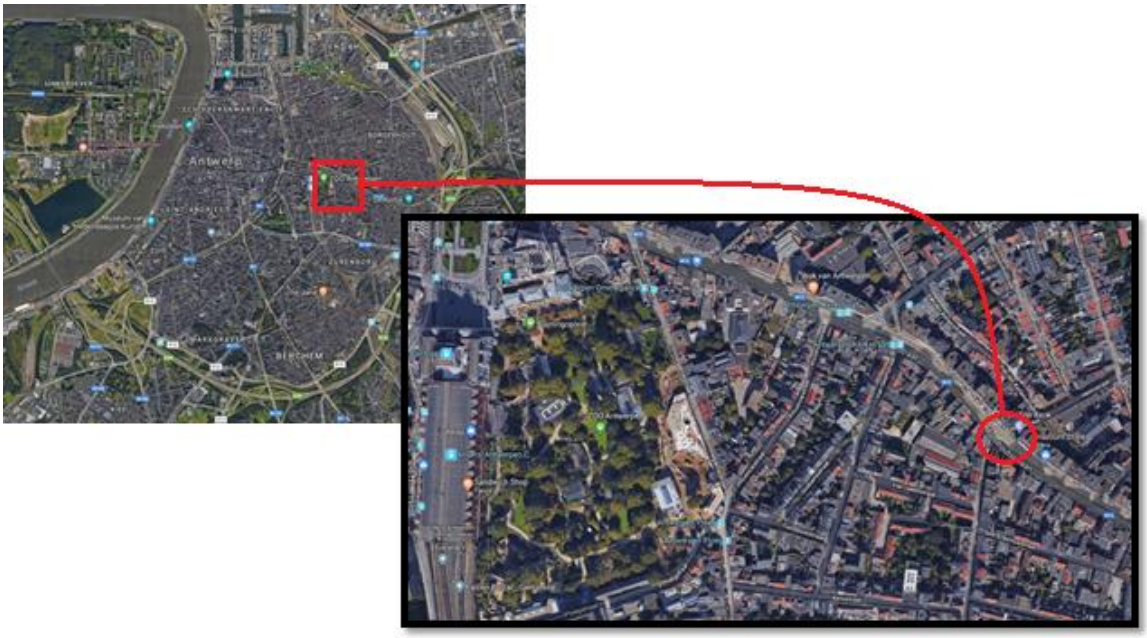
Hierop volgt de vraag vanuit Witteveen+Bos wat de haalbaarheid is van de inpassing van een nieuw premetrostation in de wijk Borgerhout op de bestaande Reuzenpijp, kijkend naar de bouwmethode. Witteveen+Bos wil namelijk weten wat de invloeden zijn van de bouwmethodiek op de omgeving. Ze hebben met de Noord Zuidlijn veel ervaring in het realiseren van metrostations in binnenstedelijk gebied. Nu willen ze onderzoeken wat de mogelijkheden zijn in Antwerpen, waarbij gekeken wordt naar de soort bouwmethodiek, hoe er wordt omgegaan met het grondwater, hoe de diepte wordt behandeld, maar bovenal hoe het station kan worden aangesloten op de bestaande geboorde metrotunnels. De huidige ligging van de tunnels, zie afbeelding 1.3, maken de aanleg van het station complex en dit onderzoek bijzonder. Een methodiek zal gevonden moeten worden waarbij om de bestaande buizen heen wordt gewerkt.

1.3 Projectlocatie

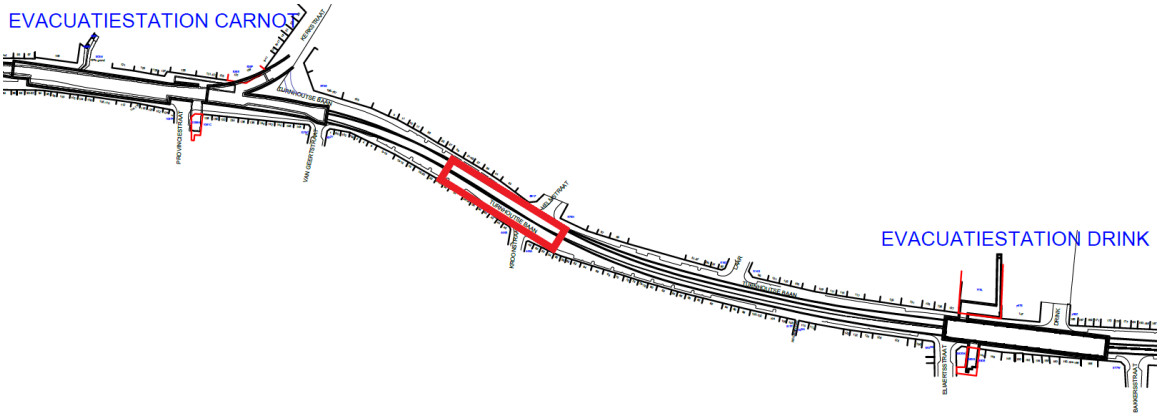
De projectlocatie bevindt zich in de wijk Borgerhout onder de Turnhoutsebaan op de kruising met de Helmstraat. In afbeelding 1.2 is de locatie op een globale schaal weergegeven. De Reuzenpijp, de tunnel waar het nieuwe station op wordt aangesloten, loopt onder de Turnhoutsebaan. Het station wordt aangelegd tussen de bestaande evacuatiestations Drink en Carnot, zie afbeelding 1.3. Hierin is de locatie van het nieuwe station rood omkadert. Voor de volledige overzichtstekening van de Reuzenpijp wordt verwezen naar appendix A.

De kruising is de meest optimale locatie voor het station gezien de ruimtelijke inpassing. Hier is de weg breed genoeg om het station te realiseren. In de lengte richting is er ook voldoende ruimte, daar de Turnhoutsebaan een lange uitgestrekte weg is. Verder zal het nieuwe station de bestaande evacuatiestations vervangen en is hierom er tussenin gelokaliseerd.

Afbeelding 1.2 projectlocatie. Bron: (Google maps)



Afbeelding 1.3 locatie nieuw aan te brengen station. Bron: (de Lijn)



1.4 Probleemstelling

Het openbaar vervoer is ontoereikend in de wijk Borgerhout, hierdoor is de Turnhoutsebaan extreem druk met auto's, fietsers, buslijnen en één bovengrondse tramlijn. De premetro ondergronds biedt onvoldoende toegang voor de inwoners van Borgerhout en dit leidt tot irritatie vanuit de omgeving.

1.5 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om de tramcapaciteit te verhogen in de wijk Borgerhout door een nieuw premetrostation te realiseren in de bestaande ondergrondse premetrolijn. Er wordt gekeken naar de uitvoeringsmethodiek waarbij zo min mogelijk overlast ontstaat naar de omgeving toe, wat financieel haalbaar is en wat de uitvoeringsrisico's beperkt.

1.6 Vraagstelling

Onderzoeksvraag

Wat is de meest gunstigste bouw-aanlegmethode voor de inpassing van een nieuw premetrostation om een bestaande geboorde tunnel, in de wijk Borgerhout te Antwerpen, waarbij zo min mogelijk overlast ontstaat naar de omgeving toe?

Deelvragen

Het antwoord op de hoofdvraag zal verkregen worden met behulp van een aantal deelvragen. De onderstaande deelvragen zijn van toepassing binnen dit onderzoek:

- Deelvraag 1: Hoe komt de globale vorm van het station eruit te zien en wat zijn de hierbij horende functionele eisen?
- Deelvraag 2: Wat zijn de achtergrondgegevens van het projectgebied?
- Deelvraag 3: Wat zijn de randvoorwaarden en technische eisen om een premetrostation te kunnen realiseren in Antwerpen?
- Deelvraag 4: Wat is de voorkeursvariant van de opdrachtgever, uitgaande van het programma van eisen?
- Deelvraag 5: Wat is het definitieve ontwerp van de voorkeursvariant?

1.7 Opdrachtgever en begeleiding

Opdrachtgever

De opdrachtgever voor het onderzoek naar de inpassing van een nieuw premetrostation is Witteveen+Bos. Hierbij zullen dhr. Los en dhr. Snijders de begeleiding op zich nemen om het onderzoek tot een goed resultaat te brengen. Overige contactgegevens zijn terug te vinden op de titelpagina.

Begeleiding HZ University of Applied Sciences

De begeleiding vanuit de HZ University of Applied Sciences zal verzorgd worden door dhr. A. Repko. Contactgegevens zijn op aanvraag te verkrijgen.

1.8 Leeswijzer

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 het theoretische kader omschreven. In het theoretisch kader staat alle relevante informatie voor dit onderzoek. Hieronder valt een stakeholderanalyse, afgenomen interviews, een achtergrondanalyse, het programma van eisen, de geometrie van het station en het vooronderzoek naar potentiële varianten. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de methode per deelvraag behandeld. In de methode wordt omschreven welke onderzoekstechnieken zijn gebruikt om de deelvragen te kunnen beantwoorden.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de variantenanalyse en de berekeningen beschreven. Uit de variantenanalyse volgt een voorkeursvariant die met behulp van berekeningen en tekeningen verder wordt uitgewerkt tot een definitief ontwerp.

Tot slot volgt er in hoofdstuk 5 een conclusie, in hoofdstuk 6 een discussie en in hoofdstuk 7 de aanbevelingen van het onderzoek.

2

THEORETISCH KADER

In dit hoofdstuk worden theorieën en ideeën omschreven die met het voorliggende onderzoek te maken hebben. Hiervoor worden voornamelijk wetenschappelijke artikelen gebruikt die de basis kunnen leggen voor een onderzoek (Krul, 2017). Omdat er bij de aanvang van dit onderzoek er geen ontwerp beschikbaar is, zal allereerst de ruimtelijke inpassing en de geometrie van het station bepaald worden. De ruimtelijke inpassing en de geometrie wordt bepaald aan de hand van een uitgevoerde stakeholderanalyse, verzamelde achtergrondgegevens, afgenomen interviews en het programma van eisen. Vervolgens wordt er een vooronderzoek naar potentiële bouwmethodieken en grondkeringen uitgevoerd om te onderzoeken hoe de opgestelde geometrie gerealiseerd kan worden.

2.1 Stakeholderanalyse

Om kenbaar te maken welke partijen en organisaties een rol spelen binnen dit onderzoek is een stakeholderanalsye opgesteld. Aan de hand van deze analyse wordt duidelijk wat de betrokkenheid van hen is, wat hen belangen en doelen zijn en hoeveel potentiële invloed ze mogelijk uit kunnen oefenen. In deze paragraaf wordt in grote lijnen kenbaar wie, waarom en wat het belang is van de betreffende stakeholder bij dit project. De bovengenoemde aspecten zijn weergegeven in tabel 2.1. In appendix B staat een uitgebreide uitwerking van de stakeholderanalyse.

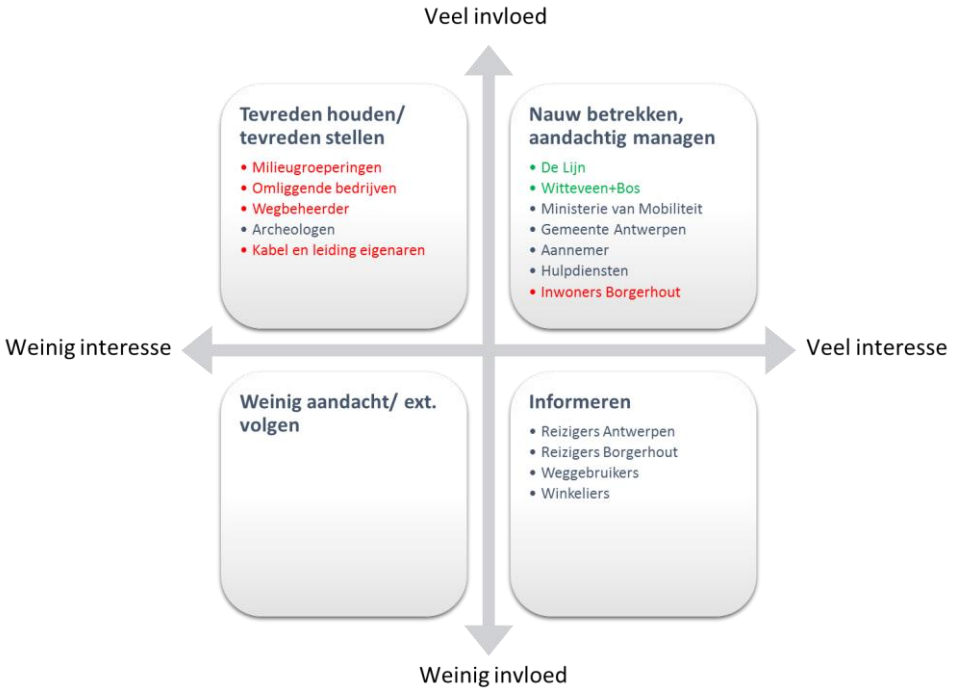
Tabel 2.1 stakeholderanalyse

Naam stakeholder	Betrokkenheid	Belang	Doel	Potentiële invloed (+ of -)
Algemeen				
Gemeente Antwerpen	Opdrachtgever	Openbaar vervoer	Stimuleren ov gebruik	+ +
Ministerie van Mobiliteit	Raakvlak	Economie	Vergroten metronetwerk	+ +
Wegbeheerder	Raakvlak	Veiligheid	Conditie weg	+
De Lijn	Vervoerder	Openbaar vervoer	Rijden volgens dienstregeling	+ +
Witteveen+Bos	Adviesbureau	Winst	Advies leveren	+ +
Omliggende bedrijven	Raakvlak	Winst	Maximalisering verkoop	+
Aannemer	Opdrachtnemer	Winst	Realiseren project	+ +
Kabels en leiding eigenaren	Raakvlak	Functionaliteit	Klanten voorzien van stroom/water enz.	+
Hulpdiensten (Brandweer, Politie, Ambulances)	Raakvlak	Veiligheid	Snel op locatie	+ +
Milieugroeperingen	Raakvlak	Milieu	Minder CO2 uitstoot	-
Reizigers Antwerpen	Gebruikers	Mobiliteit	Van A naar B	+

Reizigers Borgerhout	Gebruikers	Mobiliteit	Betere toegang tot metronetwerk	+
Inwoners Borgerhout	Omwonenden	Leef kwaliteit	Geen overlast	+
Winkeliers	Raakvlak	Zorgeloos winkelen	Consumeren	-
Archeologen	Raakvlak	Cultuureigenschappen	Behoud cultuur	-
Weggebruikers	Raakvlak	Mobiliteit	Snelle verbinding	+
Tijdens werkzaamheden				
Omliggende bedrijven	Raakvlak	Toegankelijkheid	Bereikbaarheid van winkeliers/aanleveren producten	+
Kabels en leiding eigenaren	Raakvlak	Functionaliteit	In functie houden kabels en leidingen	+
Hulpdiensten (Brandweer, Politie, Ambulances)	Raakvlak	Veiligheid	Geen oponthoud door werkzaamheden	+ +
Reizigers Antwerpen	Gebruikers	Mobiliteit	Geen of Minimale vertraging	+
Reizigers Borgerhout	Gebruikers	Mobiliteit	Openbaar vervoer moet toegankelijk zijn	+
Inwoners Borgerhout	Omwonenden	Leef kwaliteit	Beperkte/geen overlast 18u-7u	+
Winkeliers	Raakvlak	Winkelen	Winkels bereikbaar	+
Weggebruikers	Raakvlak	Mobiliteit	Geen opstoppingen	+

In tabel 2.1 is beschreven in hoeverre de stakeholders belang hebben en invloed uit kunnen oefenen op het onderzoek. Om te achterhalen welke het belangrijkste zijn, is een classificatie matrix opgesteld waarbij de stakeholders worden verdeeld in 4 groepen, zie afbeelding 2.1. Uit deze classificatie blijkt dat er enkele stakeholders zijn waar nauw mee samengewerkt zal worden om dit project te verwezenlijken. Zij zijn in het groen aangegeven, in het rood zijn de stakeholders aangegeven die een negatieve invloed hebben op het project en in het zwart zijn de neutrale stakeholders.

Afbeelding 2.1 stakeholder classificatie matrix



Uit de analyse volgt dat de Lijn, Witteveen+Bos, Ministerie van Mobiliteit, gemeente Antwerpen, de aannemer, hulpdiensten en de inwoners van Borgerhout nauw betrokken zijn. Echter zijn dit er, gezien het tijdvak van het onderzoek, te veel om allemaal nauw te kunnen betrekken. De Lijn en Witteveen+Bos zullen nader gevolgd worden gedurende het onderzoek, omdat zij het dichtstbij het onderzoek staan. Het onderzoek wordt namelijk uitgevoerd binnen Witteveen+Bos. De Lijn daarentegen beschikt over waardevolle, dan wel niet vereiste, informatie betreft de premetroconstructie. Al betekent dit niet dat er met de overige stakeholders geen rekening wordt gehouden. Tijdens de variantenanalyse in hoofdstuk 4 zullen zij terugkomen in de beoordeling van de varianten.

2.2 Interviews

Om de globale vorm van een nieuw premetrostation in Antwerpen te verkrijgen zijn er 2 interviews afgenomen waarin extra informatie is verkregen. Uit de stakeholderanalyse blijkt dat de Lijn en Witteveen+Bos nauw betrokken zijn bij het project. Zij zijn beide geïnterviewd met vragen die betrekking hebben tot het tot stand komen van de geometrie.

2.2.1 Interview tunnelveiligheid Witteveen+Bos

Tamara Dolle is de geïnterviewde persoon binnen Witteveen+Bos. Ze is werkzaam binnen de groep Tunnelveiligheid en FSE (fire safety engineering). Uit het interview blijkt dat een station allereerst wordt ontworpen op basis van de ruimtelijke inpassing en vervolgens alle veiligheidsaspecten worden toegepast. Voor metrostations in Nederland zijn er geen standaardrichtlijnen die gehanteerd worden. Wel zijn er richtlijnen vanuit de RET of GVB (Nederlandse vervoersbedrijven), echter vertelde ze dat hoofdzakelijk de NFPA 130 (National Fire Protection Association) wordt toegepast voor de inrichting van ondergrondse metrostations.

De NFPA 130 is een richtlijn voor passagiersstromen en voor de inrichting van ondergrondse stations op basis van calamiteiten. Er staat onder andere in omschreven wat de maximale evacuatietijd is bij een brand en wat de hierbij horende eisen zijn voor vluchtroutes.

2.2.2 Interview premetronetwerk de Lijn

Erwin Joris is de geïnterviewde persoon binnen de Lijn en is een technisch medewerker van het premetronetwerk. Hij gaat met name over het beheer van het netwerk en heeft een ruime kennis over de constructieve aspecten van de premetro. Uit het interview is gebleken dat de nieuwe stations in Antwerpen aan de hand van de NFPA 130 worden ontworpen en ingericht.

Aangegeven wordt, dat de maatgevende tram die gebruik maakt van de Reuzenpijp de Herme-Lijntram is. Deze tram heeft een lengte van 60 meter en een breedte van 2,30 meter. In totaal kunnen 500 passagiers vervoerd worden.

Verder heeft dhr. Joris tekeningen verschaft van de ligging van de metrotunnels en langs- en dwarsdoorsneden van de evacuatiestations Drink en Carnot. Deze tekeningen worden gebruikt om de buitenafmetingen van het nieuwe station af te leiden. De inrichting van het station zal bepaald worden middels de NFPA 130.

2.2.3 Bevindingen interviews

Uit beide interviews is gebleken dat de ruimtelijke inpassing en de tram die er moet kunnen stoppen de hoofdvormen bepalen van het station. De inrichting van het station gebeurt op basis van de veiligheid. Hiervoor wordt de NFPA 130 gehanteerd. Dit is een Amerikaans document dat de standaard eisen specificeert die van toepassing zijn op de evacuatie van passagiers tijdens calamiteiten. Het is namelijk van belang dat passagiers zichzelf snel in veiligheid kunnen brengen wanneer er bijvoorbeeld sprake is van rookontwikkeling. Daarnaast zijn er tekeningen verkregen die gebruikt worden voor de dimensionering van het station. De

verzamelde gegevens zullen nu vertaald worden naar eisen in de volgende paragraaf. Voor de volledige uitwerking van de interviews wordt u doorverwezen naar bijlage 2.1 van appendix B - vormgeving station.

2.3 Achtergrondgegevens

In de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat de geometrie van het station in eerste instantie wordt ontworpen op basis van de locatie en vervolgens worden de veiligheidsaspecten toegepast. In deze paragraaf worden de achtergrondgegevens van de projectlocatie beschreven. Door deze gegevens in beeld te brengen worden er verschillende randvoorwaarden duidelijk. De voorwaarden die in deze paragraaf worden beschreven zullen later terugkomen in het programma van eisen. De achtergrondgegevens bestaan uit de huidige functie, de bodemopbouw, geotechnische gegevens en de grondwaterstanden van het projectgebied. Deze aspecten zijn samengevoegd in een principe doorsnede van het grondprofiel, zie afbeelding 2.3, en geven weer hoe de locatie er bovengronds, maar bovenal hoe de situatie er ondergronds uitziet. De ondergrondse situatie is van cruciaal belang omdat er meer ondergronds dan bovengronds gewerkt zal worden.

2.3.1 Huidige functie projectgebied

Uit de kadastrale kaarten van geopunt.be is gebleken dat de bovengrondse omgeving van het projectgebied uitsluitend is toegewezen voor woningen en winkels. Het gebied is openbaar toegankelijk. Op de Turnhoutsebaan bevindt zich een trambaan en verkeer in beide richtingen, dit is terug te zien in afbeelding 2.1. De trambaan bevindt zich op hetzelfde niveau als de weg. Aan beide zijden van de Turnhoutsebaan zijn middelhoge woningcomplexen (7 verdiepingen) waarvan de begane grond, de plint, vaak als winkelruimte wordt gebruikt. De helmstraat is een zijstraat van de Turnhoutsebaan in noordoostelijke richting. Het eerste gedeelte van de Helmstraat is eenrichtingsverkeer en herbergt ook enkele parkeermogelijkheden. Ook de Helmstraat heeft aan beide zijden middelhoge woningcomplexen en laad en los mogelijkheden.

Afbeelding 2.2 straatbeeld kruising Turnhoutsebaan-Helmstraat gezien vanaf de Turnhoutsebaan. Bron: (Google maps)

2.3.2 Maaiveldhoogte

Op basis van boringen en sonderingen wordt een maaiveldhoogte verkregen tussen +5.13 mTAW en +5.59 mTAW (Databank Ondergrond Vlaanderen, 2015). Een boring nabij de projectlocatie heeft een maaiveldhoogte van +5.35 mTAW. Na overleg met de begeleider is afgestemd dat een gemiddelde maaiveldhoogte van + 5.35 mTAW kan worden aangehouden voor het projectgebied.

2.3.3 Bodemopbouw

Verschillende grondonderzoeken, sonderingen en boringen, zijn verkregen via de DOV. De grondonderzoeken zijn rondom het projectgebied genomen en geven uitsluitsel over welke grondsoorten de grond is opgebouwd. Binnen een straal van 300 meter, rondom het projectgebied, zijn in totaal 9 sonderingen uitgevoerd die gebruikt worden voor dit onderzoek (Databank Ondergrond Vlaanderen, 2015).

De sonderingen zijn uitgevoerd door middel van een discontinue mechanische sondering. Hierbij wordt de conus door middel van stalen buizen de grond ingedrukt en worden de krachten die hiervoor benodigd zijn gemeten aan de hand van de oliedruk. Deze drukken vinden plaats in een vijzel. Dit is een relatief oude vorm van sonderen, daar dit tegenwoordig vooral elektrisch wordt gedaan. De gegevens die volgen uit de mechanische sonderingen zijn op advies van een geotechnische expert met elkaar vergeleken. Hiervoor zijn 3 sonderingen (GEO-72-020-SXLV, GEO-75-423-SLI, GEO72-020-SXLIII) en 1 grondboring (GEO-75-423-DB3) gebruikt die het dichtstbij de projectlocatie zijn genomen. Hieruit volgt een gemiddeld bodemprofiel, zie tabel 2.2. Een uitgebreide analyse en de grondonderzoeken met de bijbehorende locaties zijn toegevoegd in appendix C - bodemopbouw.

Tabel 2.2 gemiddeld bodemprofiel

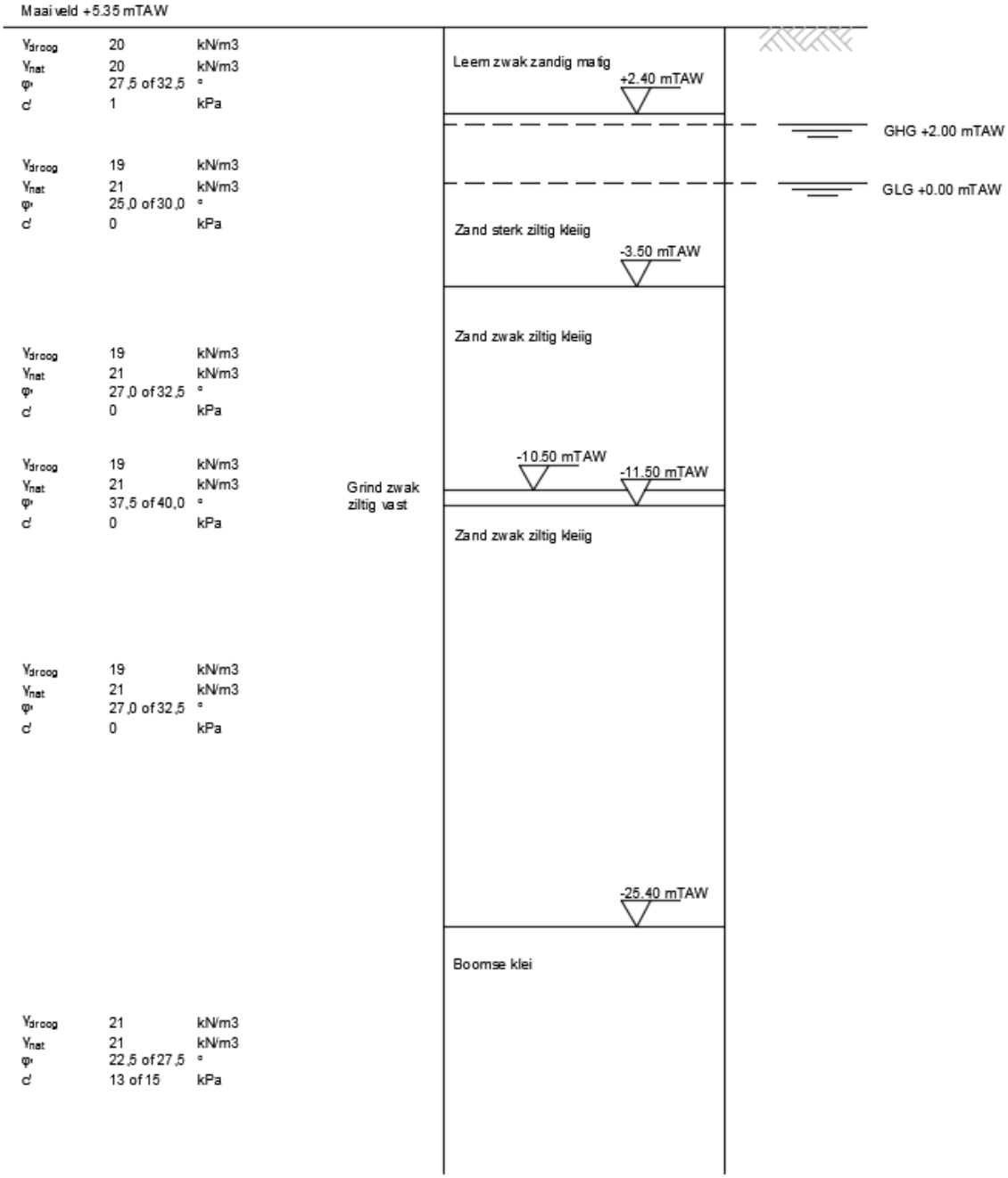
Grondlaag	Grondsoort	Niveau t.o.v. TAW (m)	γ_{dry} (kN/m^3)	γ_{dry} (kN/m^3)	φ'
1	Leem zwak zandig matig	+5.35 tot +2.40	20	20	27,5 of 32,5
2	Zand sterk ziltig kleiig	+2.40 tot -3.50	19	21	25,0 of 30,0
3	Zand zwak ziltig kleiig	-3.50 tot -10.50	19	21	27,0 of 32,5
4	Grind zwak ziltig vast	-10.50 tot -11.00	19	21	37,5 of 40,0
5	Zand zwak ziltig kleiig	-11.00 tot -25.40	19	21	27,0 of 32,5
6	Boomse klei	Vanaf -25.40	21	21	22,5 of 27,5

2.3.4 Geotechnische gegevens

Uit de gemiddelde bodemopbouw blijkt dat de grond is samengesteld uit verschillende grondsoorten. Hieronder wordt kort omschreven wat de kenmerken van deze grondsoorten zijn. Daarnaast wordt in afbeelding 2.3 een principe doorsnede gegeven met bijbehorende geotechnische gegevens conform Eurocode 7.

- Leem; is een afgezet materiaal door landijs. Het kan beschreven worden als een zeer samenhangende grond die slecht waterdoorlatend is, maar uiteenvalt in water.
- Zand; is ontstaan vanuit rivieren en kan getransporteerd worden op natuurlijke of mechanische wijze. Het kan zowel een scherp, ruw of een glad materiaal zijn en het is goed waterdoorlatend. Daarnaast bevinden zich ook stukjes zilt in de grond wat voornamelijk deeltjes steen (kwarts) zijn.
- Grind; is een zeer goed waterdoorlatende laag. Het wordt vaak toegepast in beton en asfalt, maar kan ook dienen als filtermateriaal (Nohl, Lange, & Lurvink, 2011).
- Boomse klei; is een materiaal dat 30 tot 34 miljoen jaar geleden is afgezet in een ondiepe, open zee. Het bevindt zich vaak op diepte omdat vele lagen over de boomse klei heen zijn gaan liggen. De klei is zeer plastisch, herstelt scheuren uit zichzelf en is zeer waterdicht (ESV Euridice). Het bevestigen van een grondkering in deze grondlaag creëert een polder. Bij een polder wordt de grondkering bevestigd in een slecht waterdoorlatende laag, waardoor de bodem van de constructie op een natuurlijke wijze is afgesloten.

Afbeelding 2.3 principe doorsnede grondprofiel projectlocatie



2.3.5 Grondwaterstanden

De grondwaterstand is bepaald aan de hand van de opendata kaarten van de stad Antwerpen. Omdat er geen grondwatermeetnet aanwezig is op de projectlocatie is samen met de opdrachtgever besloten de grondwaterstand vast te stellen op basis van de bekende gegevens. Onder die gegevens vallen sonderingen, boringen, grondwaterpeilkaarten en grondwaterdieptekaarten. De grondwaterkaarten zijn gis-kaarten verkregen via de website van de stad Antwerpen (Stad Antwerpen, n.d.). Deze kaarten geven de stand van het grondwater aan met behulp van kleuren. De grondwaterstand op de projectlocatie bevindt zich tussen +0 mTAW en +2 mTAW. De gemeten waterstanden tijdens de sonderingen bevinden zich tussen +0 mTAW en +1 mTAW en komt goed overeen met de gis-kaarten, zie appendix C. Aan de hand van deze gegevens wordt besloten dat er 2 extremen zijn, oftewel een gemiddeld hoog grondwaterstand (GHG) en een gemiddeld laag grondwaterstand (GLG). Waarbij GHG +2 mTAW en GLG +0 mTAW is. Beide zullen als uitgangspunt dienen voor nog komende calculaties.

2.4 Programma van Eisen

In de onderstaande alinea's worden de belangrijkste aspecten van programma van eisen (PvE) uitgelicht. Allereerst komen de randvoorwaarden aan bod. Vervolgens worden de belangrijkste eisen omschreven die betrekking hebben op de vorm van het metrostation, dit zijn de functionele eisen. De functionele eisen worden dan vertaald in technische eisen. Hieraan worden concrete waardes verbonden. Een gedetailleerde weergave van de technische eisen is uitgewerkt in appendix E - Programma van eisen en van de functionele eisen in appendix B - Vormgeving station.

2.4.1 Randvoorwaarden

In dit onderzoek dienen de randvoorwaarden aangehouden te worden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen constructieve- en omgevingsrandvoorwaarden. De constructieve randvoorwaarden omschrijven wat de ontwerplevensduur is, welke veiligheidsklasse gehanteerd wordt en wat de maximaal toelaatbare vervormingen zijn van de grondkering. De omgevingsrandvoorwaarden geven aan dat een langdurige verlaging van het freatisch vlak niet is toegestaan en dat de overlast door trillingen en geluid binnen de geldende grenswaarden dienen te blijven. Deze gegevens zijn afkomstig uit de vigerende normen en richtlijnen. Welke dit zijn staat in appendix E, evenals de bijbehorende gegevens van de randvoorwaarden.

2.4.2 Functionele eisen

In deze paragraaf wordt een opsomming gegeven van de belangrijkste functionele eisen die bepalend zijn voor de geometrie van het station. Ze hebben betrekking op het in veiligheid brengen van de reizigers in het geval van calamiteiten. Om ervoor te zorgen dat dit mogelijk is, zijn er eisen gesteld aan:

1. **Algemeen:** de primaire functie is de doorstroom van reizigers, nevenactiviteiten zijn verboden;
2. **Afscheidingen**: uitgangswegen mogen niet zijn afgesloten door deuren, dit kan de doorstroom tijdens evacuaties belemmeren;
3. **Stations capaciteit:** het station moet voldoende inhoud hebben om het maximaal aantal reizigers te kunnen verwerken;
4. **Technische ruimten:** het station dient voorzien te worden van technische ruimten;
5. **Uitgangen:** er dienen zich voldoende uitgangen in het station te bevinden, waarbij het cruciaal is dat een perron binnen 4 minuten is ontruimd en het gehele station in 6 minuten;
6. **Trappen en roltrappen:** voldoende trappen en roltrappen aanwezig, zodat de reizigers zich , die voldoen aan de gestelde afmetingen;
7. **Liften:** voldoende liften aanwezig, die voldoen aan de gestelde eisen.

De bovenstaande onderdelen zijn afkomstig uit de NFPA 130 en zijn verder uitgewerkt in appendix B - vormgeving station. De functionele eisen worden in de volgende paragraaf vertaald in technische eisen.

2.4.3 Technische eisen

In deze paragraaf worden de belangrijkste onderdelen beschreven waar de geometrie van het station aan moet voldoen en wat de maatgevende omgevingsfactoren, afmetingen en belastingen zijn. Voor een gedetailleerde weergave van de technische eisen betreft de geometrie wordt verwezen naar appendix B en voor alle overige eisen naar appendix E. De onderstaande onderwerpen zijn onderdeel van de technische eisen en worden in de bijlagen voorzien van concrete waarden.

Geometrie

De belangrijkste onderdelen waar de geometrie van het station aan moet voldoen zijn hieronder opgesomd. De waarden die hieraan zijn verbonden volgen uit de NFPA 130.

1. Stations capaciteit;
2. Uitgangen;
3. Trappen en roltrappen;

4 Liften;

Omgevingsfactoren

1 Grondprofiel: het maatgevende grondprofiel is op basis van afbeelding 2.3. De gegevens uit het grondprofiel volgen uit paragraaf 2.2, achtergrondgegevens;

Metrostation

De onderstaande gegevens volgen uit de vergelijking van de verkregen tekeningen. De vergelijking is uitgewerkt in Appendix B – vormgeving station.

1	Lengte:	100 meter;
2	Breedte:	14 meter;
3	Lobby vloer:	TAW -1.20 m;
4	Spoor perron niveau -2:	TAW -7.16 m;
5	Spoor perron niveau -3:	TAW -16.68 m.

Belastingen

Hieronder staan de maatgevende belastingen opgesomd. De waarden volgen uit het handboek tunnelbouw (COB, 2017) en van verkregen informatie uit de interviews.

1	Verkeersbelasting:	Belastingmodel 1 (BM1);
2	Uniforme bovenbelasting;	Variabele bovenbelasting van 30 kN/m^2 wordt toegepast voor maaiveldafwijkingen en/of 'vergeten' items worden hiermee gewaarborgd;
3	Toekomstige bovenbelasting	30 kN/m2 wordt toegepast als toekomstige bovenbelasting. Dit is de minimumwaarde die toegepast moet worden;
4	Specifieke bovenbelasting	Grondbelasting boven op het tunneldak.

5 Gekoppelde Hermelijntram, waarbij:

Lengte:	60,00 meter
Breedte:	2,30 meter
Leeggewicht:	78,00 ton
Beladen gewicht:	112,40 ton
Max. aslast:	11,00 ton
Min. aslast (aangedreven assen):	6,50 ton
Assen:	12 assen
Snelheid:	70 km/h
Instaphoogte:	300 mm

2.5 Geometrie metrostation

Bij de aanvang van het onderzoek was er nog geen ontwerp beschikbaar. Aan de hand van de gewonnen informatie uit de bovenstaande paragrafen kan nu de geometrie van het station worden vastgesteld. Eerst worden nog de verkregen tekeningen met elkaar vergeleken om de afmetingen vast te stellen waarna vervolgens een advies kan worden gegeven.

2.5.1 Vergelijking tekeningen

De verkregen tekeningen van de evacuatiestations verschillen niet veel van elkaar en zijn bijgevoegd in de bijlage van appendix B. De belangrijkste resultaten die uit de vergelijking volgen worden hieronder toegelicht.

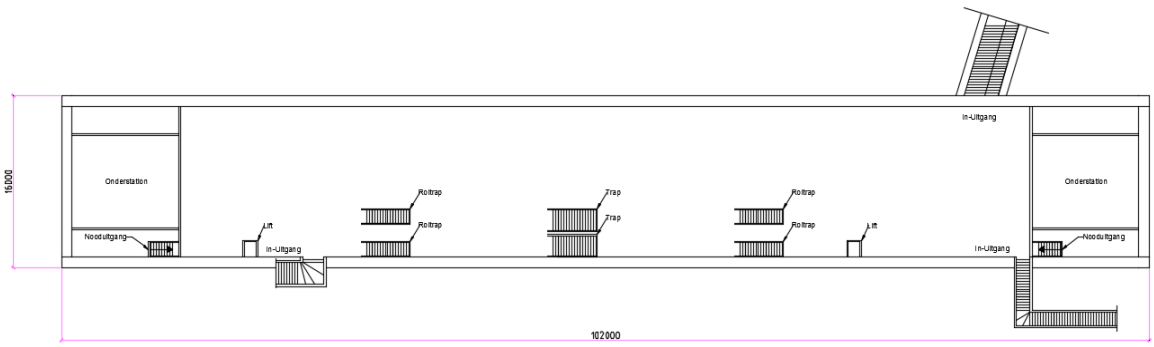
- De stations bestaan uit 3 niveaus:
    - Niveau -1, verzamellobby;
    - Niveau -2 (perron richting centrum);
    - Niveau -3 (perron centrum uit).
- Aan beide zijden van de Turnhoutsebaan kan het station betreden of verlaten worden;
- Ieder perron biedt de passagiers 4 mogelijkheden om het perron te bereiken/verlaten, waaronder:
    - 2 roltrappen;
    - 1 trap;
    - 1 lift;
- De metrotunnels bevinden zich onder elkaar en bepalen het niveau van de perrons;
- Afmetingen volgens het programma van eisen.

2.5.2 Advies schematische vorm

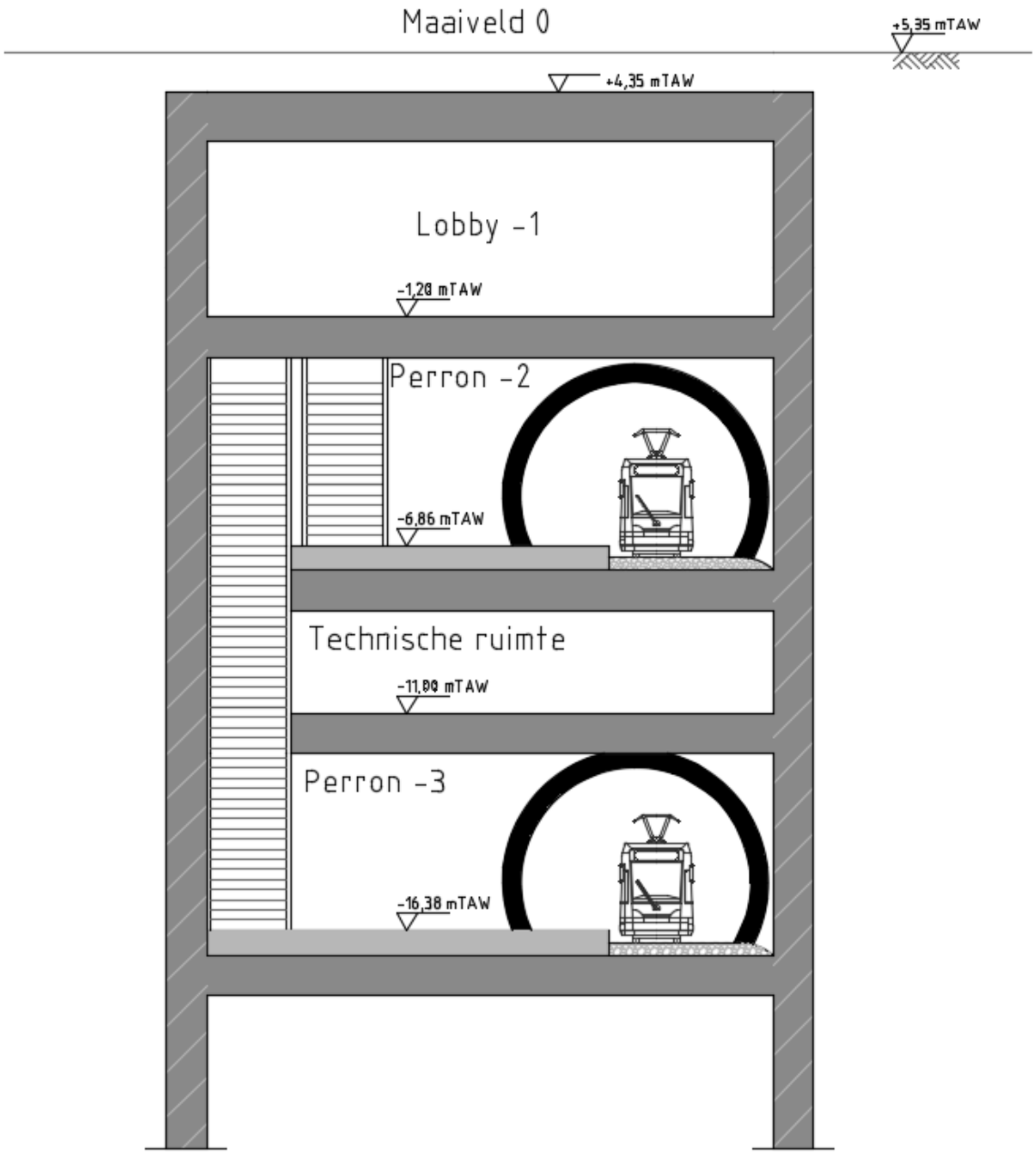
Aan de hand van de bevindingen opgedaan in de voorgaande paragrafen is een advies opgesteld voor de schematische vorm van het nieuw te realiseren station. Het grondplan in afbeelding 2.4 en de dwarsdoorsnede in afbeelding 2.5 geven de geometrie weer waarvan de contouren gebruikt zullen worden in het verdere verloop van het onderzoek. Voor een uitvergrote weergave van de tekeningen wordt verwezen naar appendix G.

In het grondplan is te zien dat er in- en uitgangen aan beide zijden van het station zijn. Deze zullen verwerkt worden in het straatbeeld van de Turnhoutsebaan, zie afbeelding 1.3. De toegangen tot het metrostation kunnen ook in omliggende gebouwen geplaatst worden, wat meer rust zal creëren in de straat. Er zal dan een goede afstemming benodigd zijn met de eigenaren van de gebouwen. Technisch dient het een en ander ingepast te worden binnen de bestaande fundaties van de gebouwen, dit werkt kostenverhogend. De toegangen van station Zegel zijn verwerkt in de gebouwen, maar dat doet niets af aan de ondergrondse contouren van een metrostation. De afmetingen, de hoeveelheid trappen, roltrappen, liften en uitgangen en de onderlinge afstanden zijn vastgesteld op basis van het programma van eisen. Voor een uitgebreide uitwerking van de vorm wordt verwezen naar appendix B.

Afbeelding 2.4 geometrie station



Afbeelding 2.5 dwarsdoorsnede station



2.6 Vooronderzoek varianten

In deze paragraaf is er van grof naar fijn gewerkt om het reeds opgestelde ontwerp in paragraaf 2.5 te kunnen realiseren. Gestart is met het beschouwen van verschillende bouwmethoden. Op basis van het PvE wordt de meest passende methode gekozen. Vervolgens wordt de wijze waarop deze bouwmethode technisch kan worden gerealiseerd onderzocht.

2.6.1 Aanlegmethodieken ondergrondse constructies

Het aanleggen van een ondergrondse constructie vraagt om een andere aanpak dan een bovengrondse constructies. Bij beiden staat de veiligheid voorop. Bij ondergrondse constructies is er onder andere sprake van instortingsgevaar en werken in afgesloten ruimten. Er dienen hiervoor vluchtroutes aangelegd te worden mocht er een calamiteit plaatsvinden. Daarnaast is het van belang om een doordacht uitvoeringsplan te

hebben om de vereiste ontgravingsdiepte te kunnen bereiken. Diverse methoden om dat te realiseren, waarbij gebruik gemaakt wordt van grondkeringen, worden hieronder beschreven.

Open bouwkuip (Bottom up methode)

Wanneer een open bouwkuip wordt toegepast blijft de bouwkuip vanaf boven open. Allereerst zal vanaf het maaiveld een grondkerende constructie aangebracht worden tot in de boomse klei. Zodra deze diep in deze water afsluitende grondlaag is bevestigd is de bouwkuip aan de onderzijde afgesloten en waterdicht. Vervolgens wordt er vanaf het maaiveld de grond tussen de wanden ontgraven. Om tijdens de ontgraving de stabiliteit van de wanden te behouden worden er stempels aangebracht. De ontgraving is gereed wanneer de onderzijde van de onderste metrobuis is bereikt. Vanaf het ontgravingsniveau (de bottom) zal vervolgens de constructie van het station gerealiseerd worden en naar boven (up) worden toegewerkt. Als de volledige constructie van het station gereed is, wordt de resterende bouwkuip aangevuld tot het maaiveldniveau en wordt het straatbeeld hersteld. De straat wordt vervolgens opengesteld en kan zijn oorspronkelijke functie weer vervullen.

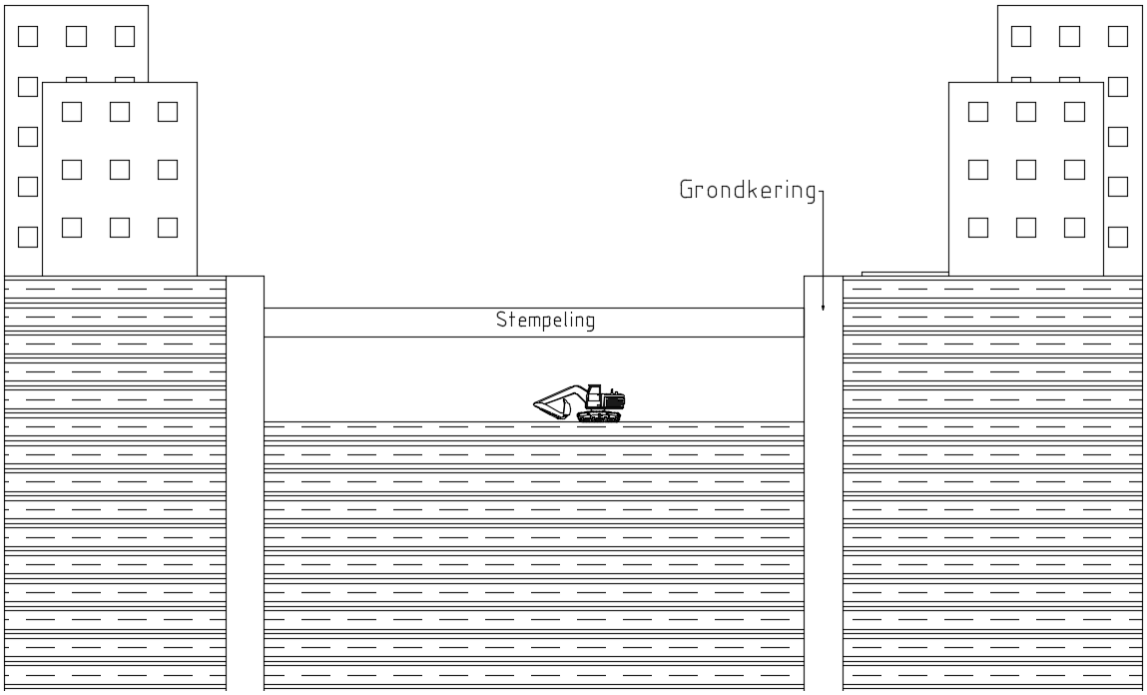
De open bouwkuip is toepasbaar in de wijk Borgerhout. Er is voldoende ruimte om de wanden aan te brengen en de ontgraving uit te kunnen voeren. De uitvoeringstijd zal relatief snel zijn omdat de bouwkuip van boven open is en de toegankelijkheid van het werk niet wordt beperkt door een dakconstructie. Wel zal de open bouwkuip veel overlast veroorzaken voor met name het verkeer op de Turnhoutsebaan. De weg wordt volledig in beslag genomen door de bouwkuipconstructie, waardoor het verkeer en openbaar vervoer gestremd wordt. Een schematische weergave van deze situatie is weergegeven in afbeelding 2.6.

Voor- en nadelen

Voordelen:
- Goedkope methode omdat er gewerkt wordt vanuit een open ruimte;
- De open constructie maakt het gemakkelijk om materieel de bouwkuip in te krijgen wat gunstig is voor de realisatietijd.

Nadelen:
- De bouwkuip zal de volledige weg in beslag nemen en dus is er geen verkeer mogelijk;
- Omliggende gebouwen en bedrijven zullen lastig te bereiken zijn doordat de Turnhoutsebaan niet in gebruik zal zijn.

Afbeelding 2.6 Situatieschets tijdens ontgraving van de open bouwkuip methode



Wanden-dak methode

De wanden-dak methode, is een veel gebruikte methode voor de aanleg van bijvoorbeeld metrostations in binnenstedelijk gebied. De methode is onder andere toegepast voor diverse stations van de Noord/Zuidlijn waarmee de hinder bovengronds zo laag mogelijk is gehouden. De wanden-dak methode kan uitgevoerd worden door middel van een diepwand, boorpalenwand of een combiwand (COB, 2017).

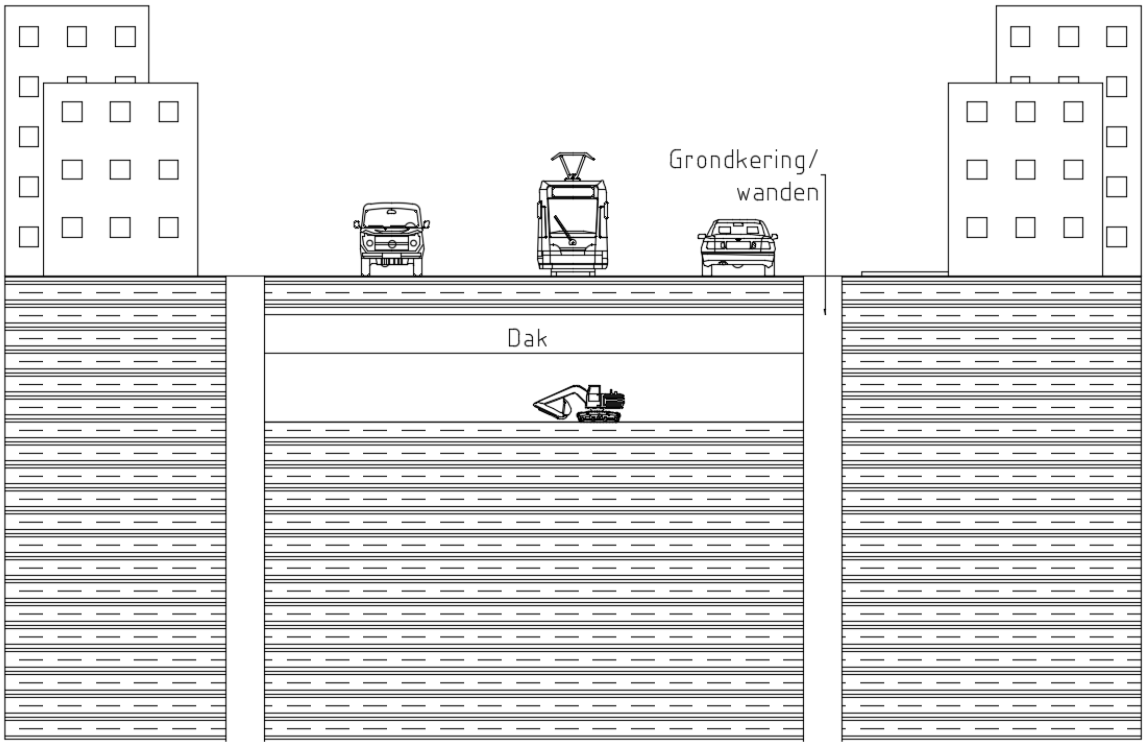
Allereerst wordt de Turnhoutsebaan afgesloten en omgebouwd tot bouwterrein. Vervolgens kan de grondkerende constructie aangebracht worden tot in de boomse klei. Wanneer de wand is bevestigd in de boomse klei is de bouwkuip waterdicht. Hierop volgend wordt er vlak onder het maaiveld een betonnen dak over de wanden gestort. Wanneer het dak is uitgehard wordt er zand bovenop aangebracht en het wegdek hersteld. Zodra dit het geval is kan er ondergronds ontgraven worden en worden er stempels aangebracht om de stabiliteit van de wand te garanderen. Zodoende kan de constructie van het metrostation ondergronds voortgezet worden zonder dat men hier bovengronds iets van merkt. Gezien de omgeving op de projectlocatie kan dit erg gunstig zijn voor de omwonenden en het verkeer. De locatie blijft zo toegankelijk voor de stakeholders en de overlast zal bovengronds tijdelijk zijn. In afbeelding 2.7 is de situatie geschetst waarbij onder het dak de werkzaamheden worden uitgevoerd terwijl bovengronds het verkeer gebruik maakt van de weg.

Voor- en nadelen

Voordelen:
- Hinder bovengronds tot aan de realisatie van het dak;
- Bovengrondse werkzaamheden bestaan uit het maken van de wanden, het dak en het afvoeren van de grond;
- Ondergronds wordt de constructie van het metrostation gerealiseerd, wat niet merkbaar is voor de mensen bovengronds.

Nadelen:
- Relatief dure methode;
- Uitvoeringstijd wordt nadelig beïnvloed doordat de werkzaamheden ondergronds plaatsvinden en de bovenkant is afgesloten door een dak;
- Beperkte toegankelijkheid.

Afbeelding 2.7 Wanden-dak methode situatieschets



Caissonmethode

Bij de caissonmethode vindt de bouw van het station plaats op het maaiveld van de Turnhoutsebaan. Er worden 4 grote betonnen dozen gemaakt op het straatniveau. Deze 4 dozen zijn de 4 verdiepingen van het metrostation. Ieder betonnen onderdeel steunt op snijranden die zich een aantal meter onder de betonnen vloer bevinden. Middels de snijranden kan de caisson eenvoudiger de grond in worden gebracht. Aan de hand van trappen en luchtsluizen vinden caissonwerkers hun weg tot onder het caisson. In de ruimte onder het caisson wordt de luchtdruk in evenwicht gebracht met de waterdruk aan de buitenzijde en onderzijde. Watertoetreding wordt op deze wijze uitgesloten. De grond wordt onder de snijranden los gespoten en weggepompt door de caissonwerkers. De caisson kan zo iedere dag een aantal meter de grond inzakken (Gemeente Amsterdam, n.d.).

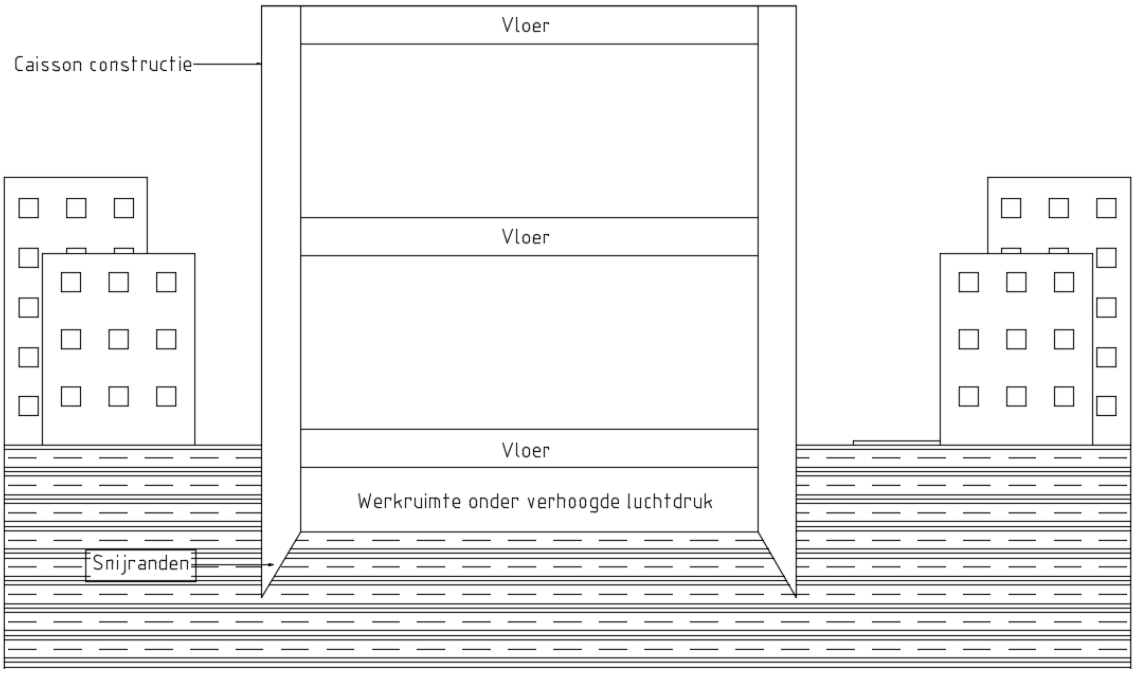
De caisson methode is een beheerst proces die trillings- en geluidsarm wordt uitgevoerd. Ook is er weinig ruimte benodigd en een bouwput of bemaling hoeft niet te worden toegepast. Desondanks zal de hinder voor de omgeving groot zijn als er een enorme constructie, voor een bepaalde periode, midden op de Turnhoutsebaan staat. Het verkeer en het openbaar vervoer zal afgesloten zijn totdat de constructie in zijn volledigheid ondergronds ligt. In afbeelding 2.8 is de situatie geschetst waar de caisson zich deels bovengronds bevindt en 2 betonnen dozen zijn geplaatst. De vloer van de lobby en het dak van het station dienen bovenop de afgebeelde constructie geplaatst te worden.

Voor- en nadelen

Voordelen:
- Uitvoering vindt bovengronds plaats en het werk is goed te overzien;
- Grondwaterstand hoeft niet verlaagd te worden omdat werkzaamheden op maaiveld plaatsvinden.

Nadelen:
- Gedurende de werkzaamheden staat er een enorme constructie op het maaiveldniveau in de Turnthoutsebaan;
- Tijdens alle werkzaamheden is de Turnhoutsebaan afgesloten voor het verkeer;
- Er wordt gewerkt onder een verhoogde luchtdruk waardoor grote belastingen ontstaan op de wanden en het dak;
- Wanneer gewerkt wordt onder een verhoogde luchtruk gelden er beperkingen voor de inzet van werknemers.

Afbeelding 2.8 situatieschets caisson methode



Buizenmethode

De buizenmethode is toegepast voor de bestaande stations Carnot, Drink, Morckhoven en Zegel. Deze variant is te vergelijken met de wanden-dak methode, maar hier wordt eerst het dak gemaakt door middel van geperste buizen. De stalen buizen worden vanuit een gegraven langsgalerij, met hydraulische vijzels, horizontaal de grond ingeperst. Deze situatie is geschetst in afbeelding 2.9 voor de Turnhoutsebaan. Wanneer dit over de gehele lengte van het metrostation wordt uitgevoerd ontstaat een buizendak. Vanuit de galerij worden vervolgens wandjes gestort die het dak kunnen dragen. De grond onder het dak wordt vervolgens uitgegraven tot ongeveer een diepte van 8 meter zodat een speciale diepwandstelling (speciale low headroom) onder het buizendak de diepwand kan realiseren tot in de boomse klei. Op deze wijze staat er geen grote stelling bovengronds en wordt het werk ondergronds uitgevoerd. Echter zijn extra maatregelen benodigd om eventuele zakkingen van omliggende gebouwen te voorkomen. Dit kan in de vorm van een tijdelijke damwandconstructie. Daarnaast dienen maatregelen genomen worden tegen het grondwater omdat de diepwand in het freatische vlak wordt aangebracht (Wittemans & Aerts, 1979).

Voor- en nadelen

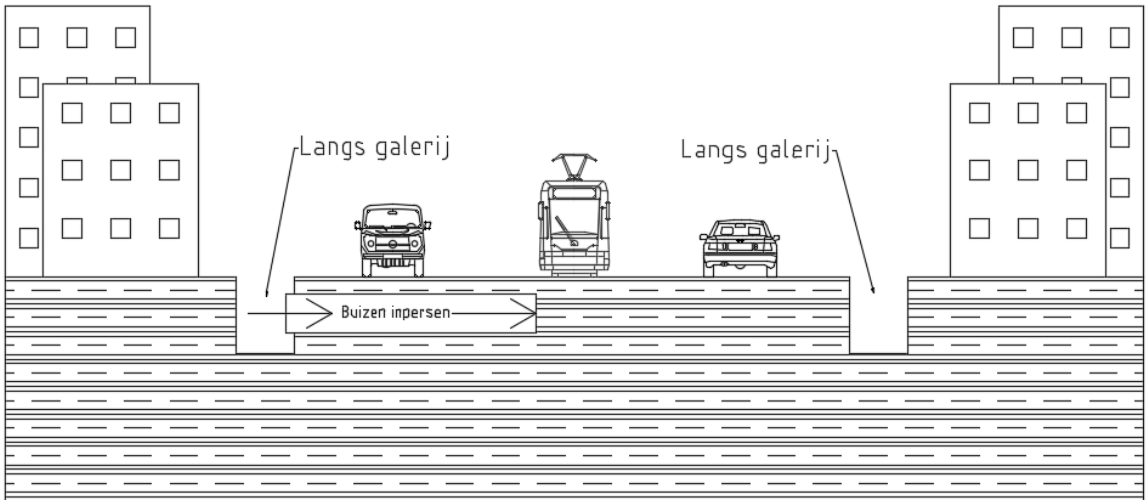
Voordelen (Wittemans & Aerts, 1979):

- Hinder bovengronds minimaal, aangezien gewerkt wordt vanuit smalle (2 á 3 meter) langs galerijen;

Nadelen (nstt, n.d.):

- Complexe uitvoeringsmethode waarbij veel extra maatregelen benodigd zijn;
- Tijdrovende methodiek betreft de aanleg van de diepwanden omdat gewerkt wordt onder een beperkte hoogte;
- Arbeidsintensief omdat buizen in segmenten van ongeveer 2 meter geperst worden en een lengte van 14 meter moeten overbruggen;
- De techniek is niet goed bestuurbaar waardoor er snel krommingen kunnen ontstaan in het buizen tracé;

Afbeelding 2.9 situatieschets inpersen buizen, buizenmethode

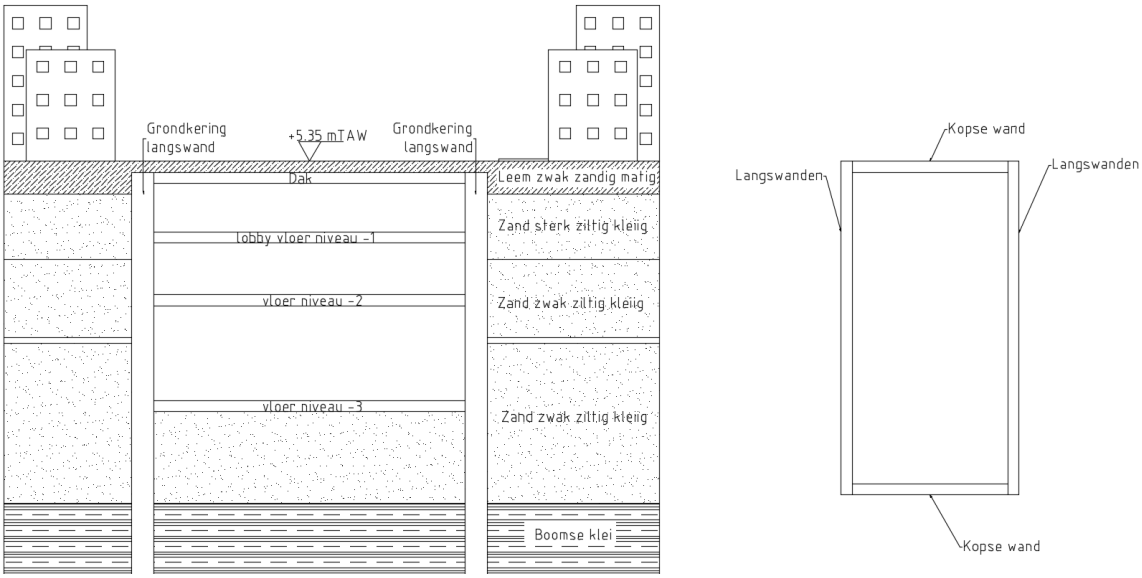


2.6.2 Grondkerende constructies

Potentiële grondkeringen worden in deze paragraaf omschreven die aansluiten op de beschreven aanlegmethoden. De beschreven methoden dienen uitgevoerd te worden met een grondkering, om de grond te keren, de stabiliteit te waarborgen en een minimale diepte van 22 meter te overbruggen. Van de onderstaande beschreven constructies wordt er verwacht dat zij in staat zijn dat te doen. Deze grondkering zal betrekking hebben op de langs wanden, zie afbeelding 2.10.

De keuze van de grondkering is sterk afhankelijk van het programma van eisen en de geometrie. Daarnaast is het gewenst om hem te bevestigen in de boomse klei, zodat het station aan de onderzijde is afgesloten van het grondwater. Een onderbouwde keuze, op basis van nader op te stellen criteria, zal gevormd worden tijdens de variantenanalyse in hoofdstuk 4.

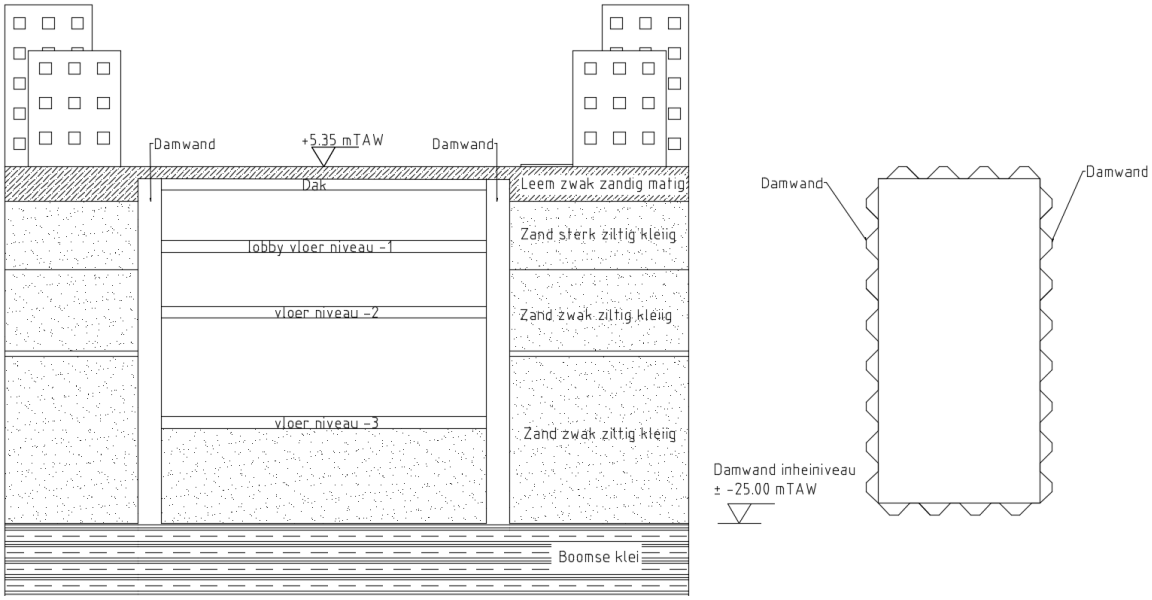
Afbeelding 2.10 dwarsdoorsnede en bovenaanzicht langs wanden



Damwanden

De enkelvoudige vorm van een damwand wordt gemaakt van hout, beton of staal. Hout wordt alleen gebruikt voor kleine constructies en is niet geschikt voor een metrostation. Betonnen U-profielen en stalen damwandplanken in U, H of Z-profielen zijn mogelijk wel geschikt. Zij kunnen zware belastingen keren. Verder worden ze door middel van een heiblok of trilblok aangebracht. Drukken is ook mogelijk, echter maar tot een beperkte diepte. Deze aanlegmethoden zorgen voor veel trilling- en geluidsoverlast en kunnen schade veroorzaken aan de omliggende gebouwen. Voor onverankerde damwanden geldt de vuistregel dat twee derde van de totale lengte onder de grond dient te zitten. Bij verankerde damwanden moet dit minimaal de helft zijn. De werklengte van damwanden is ongeveer 30 meter en de te keren hoogte minimaal 22 meter. Aan beide vuistregels wordt niet voldaan, zie ook afbeelding 2.11. Wanneer een damwand niet diep genoeg bevestigd kan worden, is de actieve grondzijde een stuk groter dan de passieve grondzijde. De damwandconstructie kan in dat geval bezwijken. De damwand heeft meer nadelen dan voordelen en is niet geschikt voor het nieuwe station (Gijt & Broeken, 2014).

Afbeelding 2.11 situatieschets en bovenaanzicht damwand

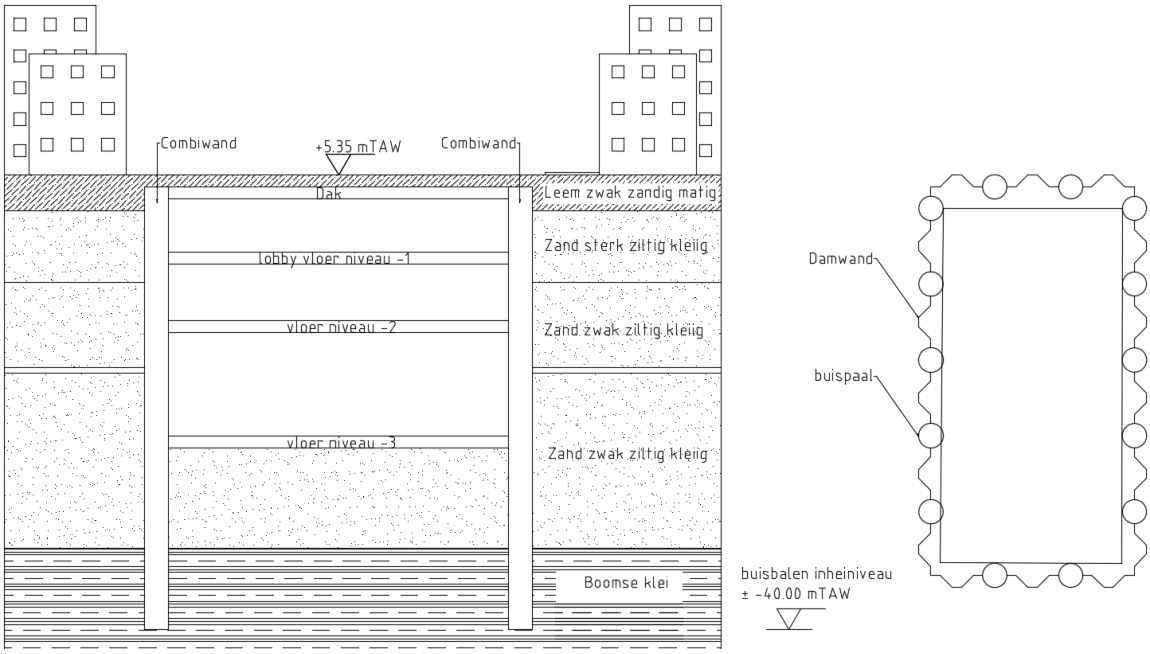


Combiwand

De combiwand bestaat uit verschillende damwandtypes, waaronder een zwaar hoofdelement dat diep in de grond wordt bevestigd in combinatie met een stalen damwandplank. Zo kan bijvoorbeeld een buispaal met een Z-profiel gecombineerd worden, waarbij de buispaal zorgt voor een sterkere constructie met een hogere stijfheid. Ze worden net als damwanden trillend en/of heiend aangebracht (Gijt & Broeken, 2014). In afbeelding 2.12 is de situatie geschetst op de Turnhoutsebaan. Er is te zien dat de buispalen diep in de boomse klei bevestigd worden. De damwandplanken halen de boomse klei daarentegen niet. Om een waterdichte bouwkuip te realiseren dient een afsluitende constructie toegepast te worden. Een onderwaterbeton vloer kan dit verwezenlijken. De onderwaterbeton vloer wordt nader toegelicht in paragraaf 2.6.3.

De combiwand is sterker dan de enkelvoudige damwandprofielen, omdat damwandplanken gecombineerd worden met een zwaar hoofdelement. Voor dit onderzoek dient minimaal 22 meter grond gekeerd te worden, dus is een hoge sterkte en stijfheid benodigd. De buispaal kan voldoende diep bevestigd worden De combiwand is hierom gunstiger om toe te passen. Er wordt verwacht dat de horizontale grond- en waterdrukken dermate hoog zijn, dat een enkelvoudig damwandprofiel dit op zichzelf niet kan keren.

Afbeelding 2.12 situatieschets en bovenaanzicht combiwand



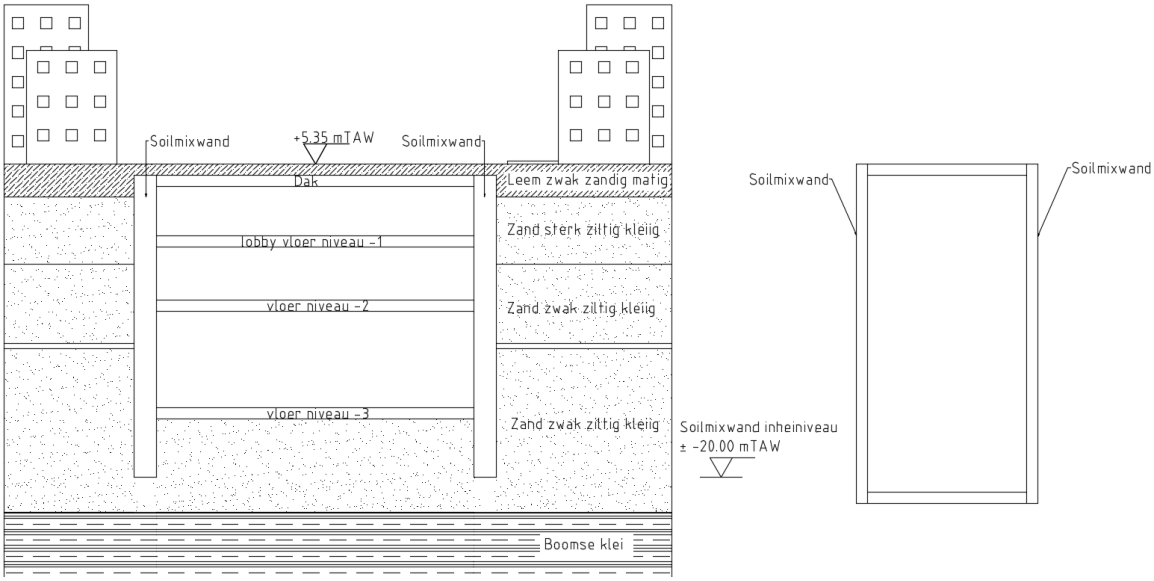
Soilmix wand

Soilmix wanden zijn grondkerende wanden met een dragend vermogen, opgebouwd uit de bestaande grond en een suspensie zoals cement. De grond wordt met de suspensie gemixt door twee freeswielen die tegen elkaar indraaien.

Een soilmix wand heeft verschillende voordelen. Zo kan de wand gewapend worden, waardoor ook horizontale krachten worden opgenomen. Daarnaast is een dikte van 50 centimeter haalbaar vanwege de innovatieve techniek. De aanlegmethode brengt vrijwel geen restaval met zich mee en de omgeving ondervindt geen overlast omdat de wanden trillingsarm worden gerealiseerd. Echter kunnen minder grote dieptes worden behaald vergeleken met de andere varianten (Bodembouw, n.d.).

In afbeelding 2.13 is er een situatieschets getekend van de soilmix wand. Hierin is te zien dat de wand slechts een klein stukje dieper gerealiseerd kan worden dan de onderste vloer, dit komt doordat de wand vaak niet hoger is dan 20 meter (Franki-grondtechnieken, n.d.). Bevestiging in de boomse klei is hiermee uitgesloten. Daarnaast is het de vraag of een dikte van 50 centimeter voldoende zal zijn om de optredende krachten te keren. Vanwege bovenstaande bevindingen wordt besloten de soilmix wand niet mee te nemen in de variantenbeoordeling in hoofdstuk 4.

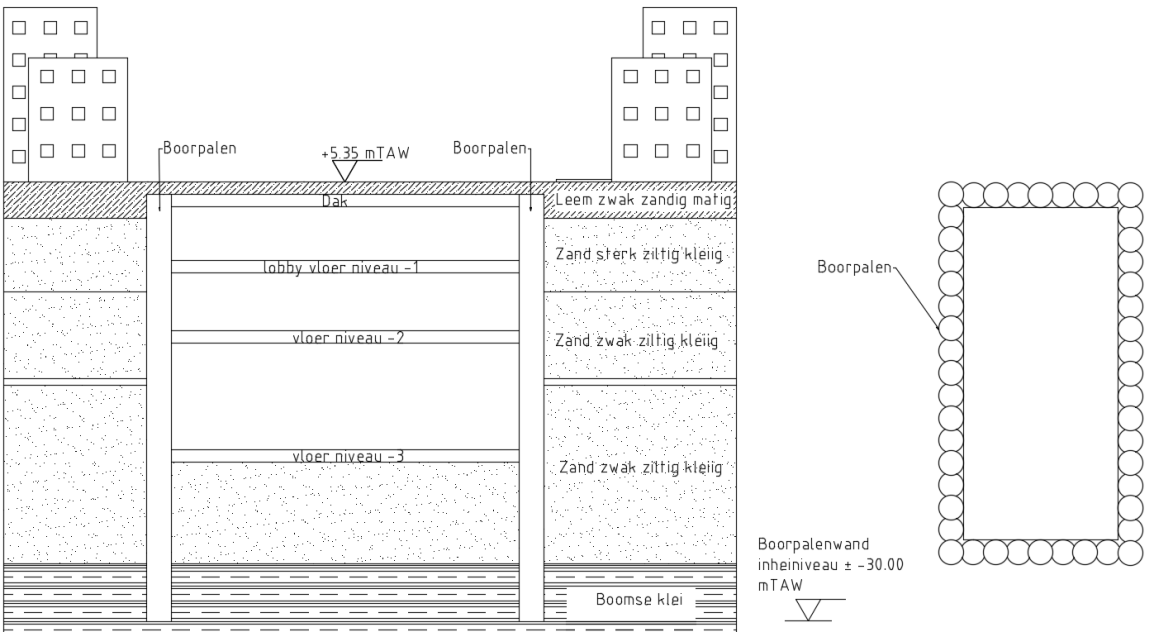
Afbeelding 2.13 situatieschets en bovenaanzicht soilmix wand



Boorpalenwand

Een boorpalenwand is een grondkerende wand die bestaat uit geboorde betonnen palen. De aanleg van deze wand gebeurt aan de hand van een boorstelling voorzien van een avegaarboor. Wanneer de eerste paal is geboord wordt een paaldiameter overgeslagen om de volgende paal te boren, waarbij iedere secundaire paal wordt voorzien van wapening en er overlap ontstaat. In afbeelding 2.14 is de boorpalenwand geschetst in de Turnhoutsebaan. De aanlegmethodiek van de boorpalen is gunstig, omdat er geen trillingen ontstaan. Dit vermindert de overlast naar de omgeving toe. De lengte van boorpalen bedragen 30 á 35 meter. Dit is lang genoeg om ze in de water afsluitende boomse klei te realiseren (Volker Staal en Funderingen, n.d.).

Afbeelding 2.14 situatieschets en bovenaanzicht boorpalenwand



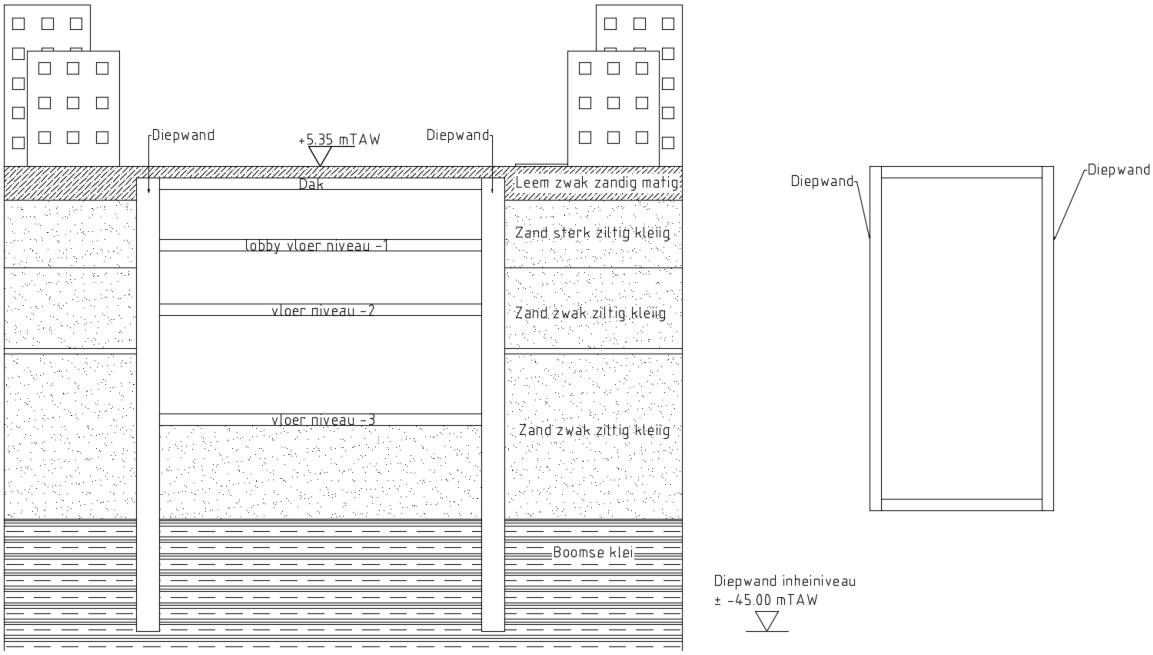
Diepwand

Een diepwand is een gewapende betonnen muur die op locatie wordt gemaakt, ook wel in-situ. Een diepwand wordt gemaakt middels het ontgraven van een grote sleuf met een op voorhand bepaalde diepte. De wanden kunnen een grote diepte overbruggen. Om instortingsgevaar van de sleuf te voorkomen wordt de verwijderde grond vervangen door een vloeistof. Gebruikelijk is om bentoniet hiervoor toe te passen. Voordat het graven van de sleuven kan beginnen, worden er op het maaiveld geleide balken aangebracht (Stichting CUR, 2010).

Wanneer de sleuf op diepte is wordt de bentoniet uit de sleuf vervangen door schone bentoniet en wordt de wapeningskorf in de sleuf geplaatst (Stichting CUR, 2010). Vervolgens wordt de sleuf vanaf onder gevuld met beton via tremiebuizen. Door het verschil in dichtheid wordt de aanwezige bentoniet omhoog gedrukt, waarna deze vanaf het maaiveld wordt weggepompt. Wanneer de panelen naast elkaar worden aangebracht, ontstaat er een betonnen wand (Gijt & Broeken, 2014).

In afbeelding 2.15 is de situatie geschetst op de Turnhoutsebaan met een diepwand. Te zien is dat de diepwand diep in de boomse klei bevestigd kan worden. Verder wordt de wand trillingsarm aangebracht wat gunstig is voor de omwonenden. Daarnaast wordt de wand uitgevoerd in diktes tot 1,2 meter en worden ze voorzien van wapening. De wand kan hierdoor grote momenten en dwarskrachten opnemen en lijkt erg geschikt als grondkering voor het nieuw aan te leggen metrostation.

Afbeelding 2.15 situatieschets en bovenaanzicht diepwanden



2.6.3 Overige toepassingen

In de voorgaande paragrafen is in grote lijnen beschreven hoe het station gerealiseerd kan worden. In deze paragraaf worden er technieken omschreven hoe er omgegaan kan worden met het grondwater en hoe de stabiliteit van de grondkering kan worden gegarandeerd. Deze aspecten zijn van belang om het ontwerp verder uit te kunnen breiden en te voldoen aan het programma van eisen. In het PvE staan eisen die betrekking hebben op het grondwater en de stabiliteit van de grondkering.

Grondwater

In de wijk Borgerhout is er grondwater aanwezig op een gemiddeld niveau van 0,00 mTAW. De aanwezigheid van grondwater kan de constructie, de werkzaamheden en de totale kosten van het project doen laten beïnvloeden. Door waterproblemen hebben vergelijkbare projecten vertraging opgelopen en in het uiterste geval werden projecten volledig opgeheven. Daarnaast kan er schade ontstaan aan omliggende gebouwen en/of kan de bouwkuip vollopen met water door lekkages in de grondkering. Om deze redenen moet er goed

worden omgegaan met het aanwezige grondwater. Volgens Powers, Corwin, Schmall en Kaeck (2007) zijn er 4 verschillende basismethoden om het te beheersen, namelijk:

1. Open pomp methode: water loopt de ontgraving in en wordt verzameld in geulen en putten waarna het wordt het weggepompt.
2. Predrainage: de grondwaterstand wordt verlaagd voordat de ontgravingen beginnen.
3. Cutoff methode: de grondwaterstroming wordt afgesloten door een grondkering.
4. Uitsluitingsmethode: het grondwater wordt uitgesloten en kan de constructie niet bereiken.

Volgens de omgevingsrandvoorwaarden, volgend uit het programma van eisen, is een langdurige verlaging van het freatisch vlak niet toegestaan. Hierdoor valt de predrainage methode af. In de onderstaande alinea's zal kort omschreven worden hoe er wel kan worden omgegaan met het grondwater.

Open pomp methode

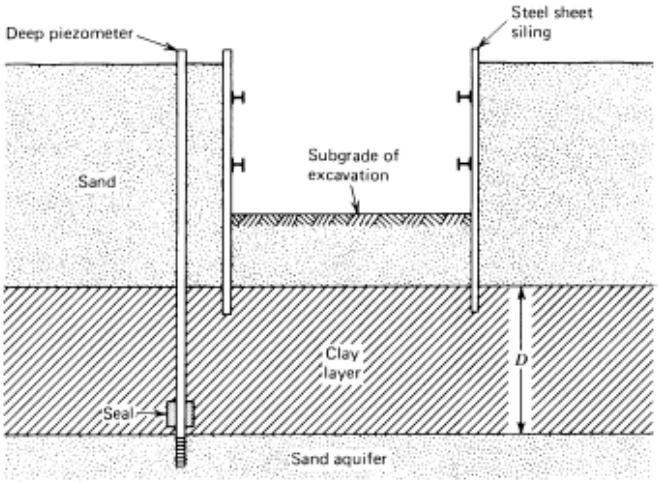
Tijdens de realisatie van het metrostation kan de open pomp methode toegepast worden door een pomp in de bouwkuip te plaatsen wanneer er water in is gelopen door eventuele lekkages. Er is geen ruimte om opvangbakken of geulen/putten te creëren.

Cutoff methode

Wanneer de cutoff methode wordt toegepast wordt het grondwater afgescheiden van de constructie. Dit kan zowel een tijdelijke als permanente ontwateringsmethode zijn. Daarnaast kan het een goedkope methode zijn en worden bijwerkingen van ontwateringtechnieken voorkomen. De cutoff methode kan toegepast worden door middel van damwanden, betonnen diepwanden en grout wanden te bevestigen in een water afsluitende grondlaag, ook wel een polder genoemd.

De cutoff methode kan gedeeltelijk of volledig zijn. Een gedeeltelijke cutoff wordt toegepast wanneer de water afsluitende grondlaag te diep ligt. In de wijk Borgerhout ligt deze laag (boomse klei) op -25,40 mTAW en is te bereiken met een combiwand, een diepwand en een boorpalenwand. Dat wil zeggen dat een cutoff methode toepasbaar is in dit onderzoek. Een schematische weergave van de cutoff methode is te zien in afbeelding 2.16.

Afbeelding 2.16 cutoff methode waarbij damwanden bevestig worden in een ondoordringbare kleilaag. Bron: (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007)



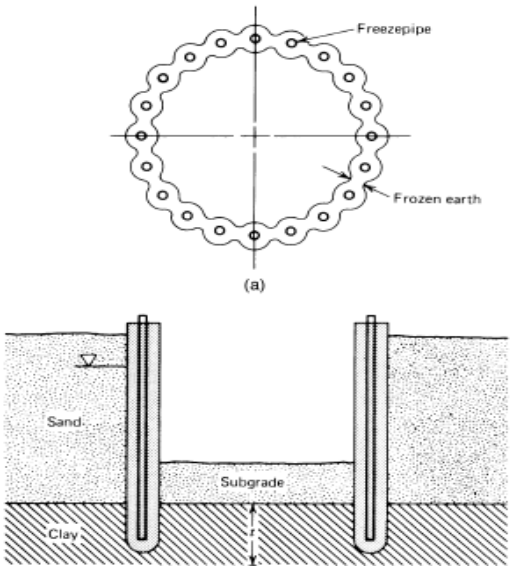
Uitsluiting methode

Grondwater kan volledig afgesloten worden van een ondergronds constructie door middel van freezing of door onderwaterbeton. Bij het principe van freezing wordt een stelsel van leiding in de grond aangebracht. Vervolgens stroomt een koude vloeistof door de leidingen, waarna het grondwater bevriest. Wanneer het proces begint verandert de grond in een ondoordringbare laag en kunnen werkzaamheden uitgevoerd worden zonder grondwatertoetreding. De methode wordt volgens Powers, Corwin, Schmall en Kaeck (2007) als gemakkelijk ervaren en wordt veel toegepast bij ondergrondse werkzaamheden voor tunnelontgravingen en

het creëren van aanlegroutes tussen bestaande ondergrondse constructies. De techniek is kosteneffectief en kan uitstekend toegepast worden als een kerende wand en als een tijdelijke cutoff constructie. Een eenvoudige weergave van freezing is weergegeven in afbeelding 2.17.

Mochten er lekkages zijn in de wand kan de grond eromheen bevroren worden om het grondwater tegen te gaan. Het uitsluiten van lekkages kan nooit, maar zo kan het risico wel beperkt worden. Freezing kan als een extra maatregel of als hulpconstructie worden toegepast in Antwerpen.

Afbeelding 2.17 principe freezing methodiek. Bron: (Powers, Corwin, Schmall, & Kaeck, 2007)



Onderwaterbeton

Onderwaterbeton wordt in Nederland veel toegepast als waterdichte vloer bij ondergrondse constructies. Het sluit de bouwkuip van onderaf en de toetreding van water wordt uitgesloten. Daarnaast dienen ze ook als een stempeling van de wanden. Wanneer een grondkering niet in de boomse klei gerealiseerd kan worden, is onderwaterbeton een goed alternatief om watertoetreding uit te sluiten (COB, 2017).

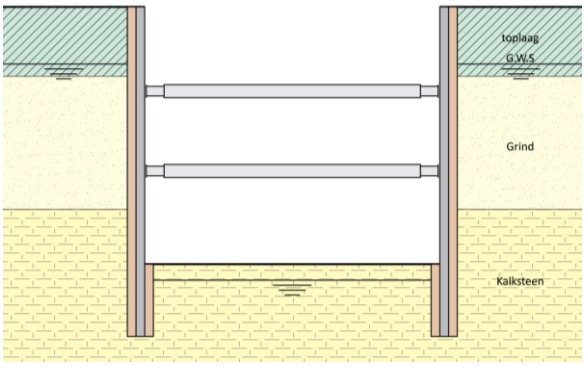
Stempelwerken

In de dwarsdoorsnede van het ontwerp, afbeelding 2.5, is te zien dat een relatief grote diepte tussen de verschillende niveaus moet worden overbrugd. Wanneer de ontgravingen tussen de verdiepingen zonder hulpconstructies wordt uitgevoerd bestaat de kans dat de grondkering bezwijkt. Stempelwerken bieden hier een mogelijke uitkomst. Stempels zorgen voor de stabiliteit van de bouwkuip tijdens ontgravingen. Ze zijn vrij eenvoudig en goedkoop uit te voeren. In de meeste gevallen worden holle stalen buizen toegepast, maar ook een H-profiel of beton kan dienen als een stempel. Een schematische weergave van stempels zijn te zien in afbeelding 2.18 (COB, 2017).

In dit onderzoek zullen de betonnen vloeren dienen als stempels. De betonnen vloeren zijn benodigd om de verschillende niveaus te realiseren en kunnen gelijktijdig de stabiliteit van de wand waarborgen. Mocht uit berekeningen blijken dat de betonnen vloeren niet voldoende zijn om de stabiliteit van de wand te waarborgen, kunnen extra tijdelijke of permanente stempels worden toegepast.

Stempels worden verkozen boven ankers omdat het toepassen van ankers in binnenstedelijk gebied veel hinder kan veroorzaken. Door de vele bebouwing en bijbehorende funderingen rondom de projectlocatie, kunnen ankers niet vrij ingebracht worden. Er is een risico aanwezig dat de ankers de funderingen raken of de draagkracht ervan beïnvloeden (Stichting COB, 2012).

Afbeelding 2.18 stempels in een bouwkuip. Bron: (COB, 2017).



2.6.4 Bevindingen vooronderzoek

In de voorgaande paragrafen is vooronderzoek verricht naar aanlegmethodieken, grondkeringen en overige toepassingen. In deze paragraaf worden de belangrijkste bevindingen uit het vooronderzoek opgesomd die van toepassing zullen zijn op het vervolg.

Aanlegmethodieken
Er zijn 4 aanlegmethodieken beschreven die in hoofdstuk 4 worden beoordeeld op een aantal criteriapunten. De criteriapunten worden in hoofdstuk 3 omschreven. Alle methodieken lijken toepasbaar in het binnenstedelijke gebied. Uit de beoordeling zal een variant volgen die het meest gunstige is binnen dit onderzoek.

Grondkeringen
Er zijn 5 grondkeringen beschreven in het vooronderzoek. De soilmix wand en de enkelvoudige damwand worden niet meegenomen in de beoordeling in hoofdstuk 4. Beide grondkeringen hebben een te kleine werkhoogte. Ze kunnen naar alle waarschijnlijkheid de optredende horizontale grond- en waterdrukken niet keren. Daarnaast kunnen ze niet diep genoeg ingeheid worden om een onder afsluiting te realiseren van het station. Verder zorgt de beperkte inheidiepte van de 2 grondkeringen voor een te groot verschil in de passieve en actieve grondzijde. De actieve grondzijde zal dermate groter zijn dat de grondkering mogelijk bezwijkt.

Een onderbouwde keuze zal gevormd worden van de meest gunstige grondkering in hoofdstuk 4.

Overige toepassingen
De beschreven overige toepassingen dienen als aanvullende informatie voor het onderzoek. Er wordt beschreven hoe er met het grondwater om kan worden gegaan en hoe het station vanaf onder afgesloten kan worden. Het is wenselijk om de grondkeringen diep in de boomse klei te bevestigen. De boomse klei is een water afsluitende kleilaag. Samen met de grondkering vormt de kleilaag de uiteindelijke constructie van het station. Indringing van water in het station wordt op deze wijze uitgesloten.

3

METHODE

In de methode wordt omschreven hoe de deelvragen van dit onderzoek zijn beantwoord. Voor het beantwoorden van de deelvragen zijn diverse technieken gebruikt. Deze technieken worden eerst toegelicht. Vervolgens wordt, met behulp van deze technieken, verklaard hoe de antwoorden zijn vastgesteld en welke afwegingen hiervoor zijn gemaakt. Deelvragen 1 tot en met 3 zijn in het theoretisch kader uitgewerkt. Deelvragen 4 en 5, die betrekking hebben tot de variantenanalyse en de uitwerking van de voorkeursvariant, komen aan de orde in hoofdstuk 4.

3.1 Onderzoeksmethoden

Deze paragraaf beschrijft op welke wijze het onderzoek is uitgevoerd om tot het antwoord te komen op de onderzoeksvraag. Als eerst wordt de vorm van het onderzoek beschreven, vervolgens de toegepaste strategieën en hoe de data is verzameld.

Kwalitatief of kwantitatief onderzoek

Volgens het boek 'Dit is onderzoek' (Baarda, 2014) zijn er twee vormen van onderzoek; kwalitatief en kwantitatief. Dit onderzoek is een kwalitatief onderzoek. De resultaten van het onderzoek komen voort uit eerdere gebeurtenissen, ervaringen, interviews en bestaande documenten, wat volgens Baarda de kenmerken zijn van een kwalitatief onderzoek.

Onderzoekstrategieën

Met behulp van onderzoekstrategieën zijn de deelvragen uit de inleiding beantwoord. In het boek 'dit is onderzoek' worden verschillende strategieën besproken die betrekking hebben op een kwalitatief onderzoek. De onderstaande strategieën geven onderbouwde kwalitatieve antwoorden en zijn toegepast binnen dit onderzoek:

- Survey: Een diepgaand onderzoek aan de hand van literatuur of interviews, een focus onderzoek waarbij deelnemers het onderwerp bespreken, meningen van betrokkenen en/ deskundigen verzamelen en teksten analyseren;
- Handelingsonderzoek: de onderzoeker probeert met behulp van anderen een probleem op te lossen in plaats van gegevens te analyseren of te beschrijven.

Dataverzameling

Het verzamelen van data is de manier waarop de onderzoeker zijn data verkrijgt. Er zijn verschillende vormen van dataverzameling, daar niet alle gegevens op dezelfde manier worden verkregen. Binnen dit onderzoek worden de volgende 2 effectieve manieren gebruikt:

- Interview/vragenlijst: Verschillende personen zijn geïnterviewd om extra informatie te verkrijgen. Dit heeft face-to-face plaats gevonden op een gestructureerde manier waarbij de vragen vooraf zijn opgesteld;
- Bestaande materialen/deskresearch: Literatuurstudies zijn uitgevoerd om informatie te verkrijgen voor het theoretisch kader.

Veel informatie over het onderwerp is online in documenten beschikbaar en kan verkregen worden door middel van deskresearch. Voor specifiekere aanvullende informatie zijn interviews afgenomen. Interviews zijn een effectieve manier om aanvullende informatie te verkrijgen wat met deskresearch tijdrovender was geweest.

3.2 Geometrie station

Allereerst diende een schematische vorm van het metrostation vastgesteld te worden, omdat bij de aanvang van het onderzoek er geen ontwerp beschikbaar was. De onderstaande sub-deelvragen waren benodigd om systematisch tot een vorm te komen. Daarnaast zijn ook de resultaten van de achtergrondgegevens en het programma van eisen gebruikt. De uitwerking van de geometrie is terug te vinden in het theoretische kader, hoofdstuk 2.5, en de achterliggende informatie staat in appendix B - vormgeving station.

Locatie bepalen projectgebied
De locatie van het projectgebied is vastgesteld door middel van tekeningen met elkaar te vergelijken, deskresearch en een projectbezoek. In dit geval zijn overzichtstekeningen aangevraagd bij de Lijn en zijn kaarten van Google Maps gehaald om de locatie aan te duiden. De uitwerking van deze sub-deelvraag is terug te vinden in de inleiding van dit rapport.

Achterhalen welke partijen belangen hebben bij dit onderzoek en hoeveel invloed ze uit kunnen oefenen
Deze sub-deelvraag is uitgewerkt door middel van een stakeholderanalyse. De informatie is verkregen via online bronnen zoals; Google Maps, de gemeente Antwerpen en de opdrachtgever. De informatie is verwerkt in paragraaf 2.1. In appendix B staat een uitgebreide uitwerking van de analyse. In overleg met de stagebegeleiders is de informatie vastgesteld.

Achterhalen welke partijen de geometrie van het station bepalen
Uit de stakeholderanalyse volgt dat enkele stakeholders nader betrokken worden bij het onderzoek in de vorm van interviews. De gegevens die tijdens de interviews zijn verzameld, zijn vervolgens toegepast in het bepalen van de lay-out van het station. De resultaten van de interviews zijn tekstueel verwerkt in paragraaf 2.2. De notulen van de interviews staan in de bijlage van appendix B, hierin staat ook een uitvergrote weergave van het grondplan.

3.3 Achtergrondgegevens

De achtergrondgegevens zijn van groot belang geweest om de huidige situatie van het projectgebied in beeld te brengen. Onder de achtergrondgegevens vallen; huidige functie, bodemopbouw, geotechnische gegevens en grondwaterstanden van het projectgebied. Deze deelvraag is uitgewerkt in het theoretische kader door middel van deskresearch en overleggen met experts. De resultaten die hieruit volgden zijn omschreven in het theoretisch kader en achterliggende informatie is terug te vinden in appendix C - Bodemopbouw.

Huidige functie projectgebied
De huidige functie is achterhaald via deskresearch en een projectbezoek. Hierbij zijn foto's gemaakt van de huidige locatie en in paragraaf 2.3.1 wordt er beschreven wat voor soort gebied het is.

Vaststellen maaiveldhoogte
De maaivelhoogte is bepaald aan de hand van grondonderzoeken die geraadpleegd zijn van de DOV (Databank Ondergrond Vlaanderen). Grondonderzoeken van onder andere de stad Antwerpen zijn hierop te vinden. De gegevens zijn gevonden aan de hand van deskresearch en vastgesteld na overleg met de stagebegeleiders.

Vaststellen van de bodemopbouw
De bodemopbouw is evenals de maaiveldhoogte bepaald aan de hand van de grondonderzoeken van de DOV. Ook zijn opendata.antwerpen.be en geopunt.be gebruikt als naslag werk. De bodemopbouw is uitgewerkt in een analyse in appendix C, die in overleg met een expert is beoordeeld. Het resultaat, de gemiddelde bodemopbouw, is uitgewerkt in een tabel in paragraaf 2.3.3.

Wat zijn de geotechnische gegevens van het projectgebied?
Deze sub-deelvraag is een vervolg op het gemiddelde bodemprofiel. De kenmerken van de grondgegevens zijn hier beschreven met behulp van een gronddictaat. Om een duidelijker beeld te schetsen is een principe doorsnede getekend met behulp van Autocad. De resultaten zijn tekstueel verwerkt in paragraaf 2.3.4 van dit rapport.

Vaststellen grondwaterstand

De grondwaterstand is bepaald aan de hand van de eerder verzamelde grondonderzoeken en geopunt.be. De waterstanden uit de grondonderzoeken zijn vergeleken met de gis kaarten van geopunt.be. Hieruit is een gemiddeld laag en een gemiddeld hoog waterstand bepaald. Dit is tekstueel verwerkt in paragraaf 2.3.5 van dit rapport en uitgevoerd middels deskresearch.

3.4 Programma van eisen

Het programma van eisen is opgesteld aan de hand van overleggen met de stagebegeleiders en via de verzamelde informatie uit paragraaf 2.1 tot 2.3. Het programma van eisen is onderverdeeld in de randvoorwaarden, de functionele eisen en de technische eisen. Deze verschillende eisen waren benodigd om allereerst de vorm van het metrostation vast te stellen. Verder hebben ze betrekking op de grondkeringen en de aanlegmethoden. De belangrijkste onderdelen van het programma van eisen zijn opgenomen in paragraaf 2.4. Voor een gedetailleerde uitwerking wordt verwezen naar appendix D - Programma van eisen.

Opstellen welke randvoorwaarden gelden binnen dit onderzoek.

In dit onderzoek dienen de randvoorwaarden aangehouden te worden. Ze volgen uit de vigerende normen en richtlijnen. De vigerende normen en richtlijnen bestaan uit de Eurocodes, SBR-richtlijnen, Standaardbestekken België en de NFPA 130. Deze informatie is verkregen via de database van Witteveen+Bos en wordt nader omschreven in paragraaf 2.4.1.

Opstellen welke functionele eisen van toepassing zijn.

De functionele eisen hebben voornamelijk betrekking op de vormgeving van het station en volgen hoofdzakelijk uit de NFPA 130. Uit de interviews bleek dat het document eisen omschrijft die betrekking hebben op de inrichting en de evacuatie van mensen tijdens calamiteiten in ondergrondse stations. De functionele eisen zijn vervolgens vertaald in technische eisen. Aan de hand van de functionele en technische eisen is de geometrie bepaald van het station. De onderdelen van de functionele eisen staan omschreven in paragraaf 2.4.2.

Opstellen welke technische eisen van toepassing zijn.

De technische eisen volgen uit de functionele eisen en de vigerende normen en richtlijnen. In overleg met de stagebegeleiders is vastgesteld wat wel en niet van toepassing is. Zo dient de NFPA 130 aangehouden te worden voor het geometrisch ontwerp en zijn de afmetingen van het station afgeleid aan de hand van de verkregen tekeningen. Aan de technische eisen zijn concrete waarden verbonden waar de station constructie aan dient te voldoen. De onderdelen van de technische eisen staan omschreven in paragraaf 2.4.3.

3.5 Variantenanalyse

In de variantenanalyse worden de varianten uit het theoretisch kader beoordeeld aan 4 criteriapunten. Uit deze beoordeling volgt een voorkeursvariant, waarvan een definitief ontwerp gemaakt wordt. Eerst wordt hieronder het stappenplan gegeven hoe de variantenanalyse is uitgewerkt. Vervolgens wordt er beschreven welke criteriapunten binnen dit onderzoek van toepassing zijn en waarom dit het geval is. De uitkomsten van de variantenanalyses zijn uitgewerkt in hoofdstuk 4 en voor een uitgebreide onderbouwing van de analyse met de totstandkoming van de voorkeursvariant wordt verwezen naar appendix F - Variantenstudie.

Hoe wordt de variantenanalyse uitgewerkt?

In afbeelding 3.1 is een stappenplan uitgewerkt hoe de variantenanalyse wordt uitgewerkt. In dit onderzoek vinden 3 variantenanalyses plaats. Een naar de meest gunstige uitvoeringsmethodiek, een naar de meest gunstige grondkering en een naar de meest gunstige kopafsluiting. De analyse naar de bouwmethodiek en de kopafsluiting zal globaal plaatsvinden. De analyse naar de grondkering zal uitgebreider zijn, omdat deze nader wordt uitgewerkt tot een definitief ontwerp.

Afbeelding 3.1 stappenplan variantenafweging

Stap 1
Het opstellen van varianten aan de hand van het programma van eisen, de randvoorwaarden en het globale ontwerp. De varianten worden beschreven in hoofdstuk 2 paragraaf 6 van het theoretische kader.

Stap 2
In stap 1 zijn verschillende varianten opgesteld. In stap 2 worden de varianten geselecteerd die mogelijk toepasbaar zijn binnen dit onderzoek. Stap 2 is met stap 1 in het theoretische kader uitgewerkt en zijn samengevoegd in hoofdstuk 2 paragraaf 6.

Stap 3
De criteria zijn de aspecten waar de varianten op beoordeeld worden. De criteriapunten zijn toegelicht in de methode en een weging is toegekend met behulp van een matrix. Hierin worden de criteriapunten met elkaar vergeleken en wordt er afgewogen welke criteriapunten belangrijker of gelijk aan elkaar zijn.

Stap 4
In stap 4 worden de varianten getoetst op de beschreven criteria. Deze criteriapunten zijn in overleg met de opdrachtgever bepaald en uitgewerkt in de methode. De criteriapunten waar de varianten op getoetst worden zijn:

- Financiële haalbaarheid;
- Realisatietijd;
- Overlast;
- Uitvoeringsrisico's.

Iedere variant wordt in appendix F uitgebreid beoordeeld op de bovenstaande criteriapunten. In hoofdstuk 4 van dit rapport worden de belangrijkste resultaten per criterium gegeven en zijn de varianten met elkaar vergeleken en gerangschikt van laagst scorende tot hoogst scorende. De laagst scorende variant ten opzichte van de andere varianten krijgt 1 punt toegewezen en de hoogst scorende krijgt 3 punten.

Stap 5
Nadat de varianten getoetst zijn in stap 4 zal één variant bestempeld worden als de voorkeursvariant. Dit zou volgens de toetsing de meest gunstigste variant zijn betreft de uitvoeringsmethode voor een nieuw premetrostation in Antwerpen. De voorkeursvariant zal verder uitgewerkt worden in hoofdstuk 4 tot een definitief ontwerp.

Aan welke criteria worden de varianten getoetst en hoe zwaar wegen de diverse criteriapunten?

De varianten met de meeste potentie worden afgewogen op een aantal criteria. De criteriapunten zijn in overleg met de opdrachtgever opgesteld en worden in de navolgende paragraven verder omschreven. De volgende criteria zijn tijdens het onderzoek van toepassing:

- Financiële haalbaarheid;
- Realisatietijd;
- Overlast;
- Uitvoeringsrisico's.

Uiteraard zijn er meerdere criteria waar varianten aan getoetst kunnen worden, maar worden de bovenstaande criteria gezien als doorslaggevend. Mede omdat de onderzoeksvraag verwoordt dat de uitvoeringsmethodiek zo min mogelijk overlast naar de omgeving mag veroorzaken zal dit hoog in het vaandel staan. Daarnaast heeft de realisatietijd ook betrekking op de overlast, namelijk; des te langer de werkzaamheden duren des te meer overlast wordt veroorzaakt naar de omgeving toe. In dit geval moet de realisatietijd zo kort mogelijk worden gehouden. Verder zijn de kosten in ieder project van dusdanig belang dat dit voor een groot deel uitmaakt welke methode en/of variant gekozen wordt. Tot slot worden de varianten getoetst op de uitvoeringsrisico's die spelen binnen een dergelijk project.

Om de varianten te kunnen toetsen aan de opgestelde criteria is een beoordelingsmatrix opgesteld waar de hoogte van de weging van de criteria wordt bepaald. In deze matrix zijn de criteria onderling met elkaar vergeleken en is er beoordeeld in hoeverre de ene criteria belangrijker is dan de ander. In tabel 3.1 is de beoordeling terug te vinden inclusief de weging van de criteria. Wanneer een criteriapunt belangrijker is dan de ander krijgt de belangrijkere een score 2 en de minder belangrijkere een score 0. Wanneer de criteria even belangrijk zijn krijgen ze beide een score 1.

Tabel 3.1 beoordelingsmatrix

	Financiële haalbaarheid	Realisatietijd	Overlast	Uitvoeringsrisico's	**Totaal**	**Weging %**
Financiële haalbaarheid		1	0	1	2	16,7
Realisatietijd	1		0	1	2	16,7
Overlast	2	2		1	5	41,7
Uitvoeringsrisico's	1	1	1		3	25,0
Totaal					12	100,0

Financiële haalbaarheid

De kosten voor een metrostation zijn onder andere afhankelijk van: engineering (alle onderzoeken, projectvoorbereiding, begeleiding van de uitvoering zowel intern als extern), vastgoedkosten (grondaankoop, notaris), overige bijkomende kosten (vergunningen, leges, verzekeringen, kabels en leidingen, grondwerkzaamheden) en de kosten van de bouw zelf. In dit onderzoek zullen veel van deze kostenaspecten gelijk aan elkaar zijn, met uitzondering van de grondkerende constructie. Die zijn verschillend van elkaar en hebben ieder hun eigen kosten per eenheid. De kosten van de grondkeringen worden bepaald aan de hand van kosten kengetallen die bekend zijn binnen Witteveen+Bos.

Realisatietijd

De realisatietijd van de varianten heeft betrekking op de tijd die benodigd is om het station aan te leggen. Wanneer de realisatietijd van een variant langer duurt door beperkende omstandigheden zal deze een lagere score krijgen ten opzichte van de andere varianten. Een variant die bijvoorbeeld vrij toegankelijk is en eenvoudig te realiseren is zal een hogere score toegewezen krijgen. De varianten worden met elkaar vergeleken. Uit de beschrijvende vergelijking zal blijken welke variant het kortste duurt en welke variant het langste. Vervolgens zal een score worden toegekend.

Overlast

Overlast is de meeste zwaarwegende criteria en een vervelend aspect voor zowel de omwonenden als voor de uitvoerende partijen. Het kan namelijk tot veel irritatie leiden vanuit de omgeving, wat klachten en het toepassen van extra maatregelen tot gevolg kan hebben. Extra maatregelen om de overlast te beperken kunnen hogere kosten en vertraging van het project met zich meebrengen. Hierom zullen er duidelijke afspraken met de omgeving en de gemeente gemaakt moeten worden om onaangename situaties te voorkomen.

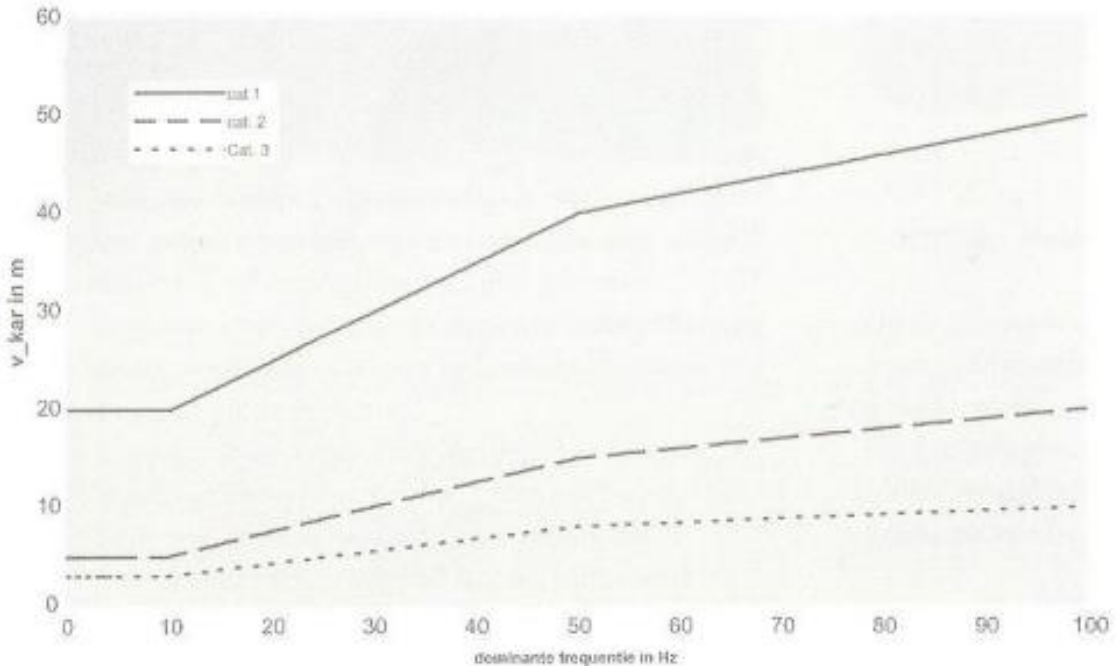
Overlast kan in vele vormen voorkomen, in dit onderzoek wordt er onderscheid gemaakt tussen overlast voor omwonenden en de huidige premetrolijn. Het criteriapunt, overlast, heeft een zwaarte van 41,7%, maar omdat de overlast onderverdeeld wordt in 2 vormen krijgt iedere vorm van overlast een even zware weging van 21,35%.

Overlast voor omwonenden

De overlast voor omwonenden kan optreden in de vorm van trillingen, geluid en belemmering van de toegankelijkheid tot woningen, het openbaarvervoer en bedrijven. Voor omwonenden is overlast erg vervelend en kan dit het dagelijkse leven beïnvloeden. De overlast in de vorm van trillingen en geluid worden beoordeeld aan de hand van de vastgestelde grenswaarden in het programma van eisen. De uiteindelijke score aangaande de overlast voor omwonenden zal het gemiddelde bedragen van de toegekende scores aan de overlast door trillingen en geluid.

De trilling grenswaarden in relatie tot de afstand is in afbeelding 3.2 weergegeven. Deze grenswaarden mogen tijdens de werkzaamheden niet overschreden worden. Omdat de werkzaamheden in binnenstedelijk gebied plaatsvinden, bevindt zich veel bebouwing rondom het bouwterrein binnen een afstand van 10 meter. De scores zijn hierom vastgesteld aan de hand van de grenswaarden die gelden bij een afstand van 10 meter.

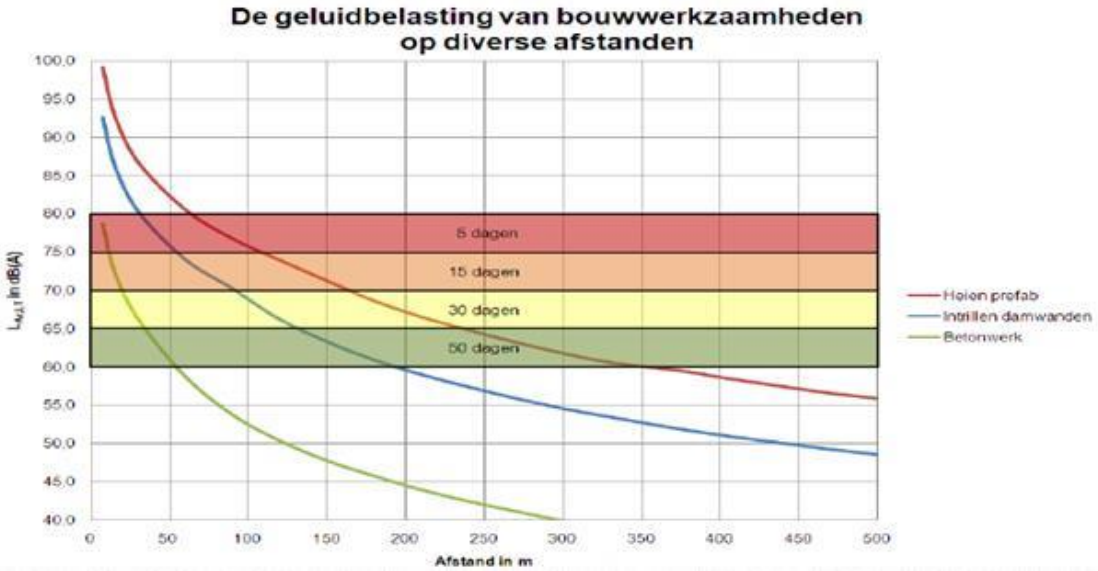
Afbeelding 3.2 trilling grenswaarden in relatie met de afstand (v_kar). Bron: (SBRCURnet.nl)



Overlast door geluid lijkt onvermijdelijk en zal gedurende de werkzaamheden dan ook aanwezig zijn. Wel kan de hoeveelheid decibel zo laag mogelijk worden gehouden door een uitvoeringsmethode toe te passen die geluidsarm een grondkering aanbrengt. De duur van de geluidsoverlast kan lijden tot irritaties onder de omwonenden. Wanneer de geluidsoverlast langdurig aanhoudt of wanneer de aanlegduur onduidelijk is, bestaat het risico dat de omwonenden klachten indienen bij de gemeente. Als op voorhand duidelijk is aangegeven hoe lang de overlast duurt, kunnen het aantal klachten beperkt worden gehouden.

In afbeelding 3.3 staat weergegeven hoe de duur van de werkzaamheden in relatie staat met de toegestane dagwaarde en de afstand. Bij een hoog optredend geluidsniveau mag de duur van de werkzaamheden niet te lang aanhouden. Dit om schade aan het gehoor en/of gebouwen te voorkomen. De scores worden toegekend op basis van afbeelding 3.3, waarbij een hoge decibelwaarde als ongunstig wordt gezien. Een lage decibelwaarde waarbij de overlast beperkter is zal een gunstigere score krijgen.

Afbeelding 3.3 grenswaarden optredend geluid. Bron: (COB, 2017)



*Wanneer een waarde van 80 dB(A) wordt overschreden is een ontheffing noodzakelijk, ditzelfde geldt wanneer de blootstellingsduur (gekleurde vlakken) wordt overschreden bij een bepaalde grenswaarde.

Overlast huidige premetrolijn

De in dienst zijnde premetrolijnen 8 en 10, die gebruik maken van de Reuzenpijp, zullen hinder ondervinden door de werkzaamheden. De werkzaamheden vinden rondom de buis van de Reuzenpijp plaats waardoor de twee lijnen tijdelijk buitendienst worden gesteld. De duur van de buitendienst stelling is afhankelijk van de variant en de bijbehorende uitvoeringsmethodiek. Een omleiding van de lijn is niet mogelijk dus zal de score gebaseerd zijn op de duur van de buitendienststelling. Echter is het lastig een exacte tijdsperiode hieraan te koppelen, omdat er vrijwel geen referentiewerken zijn. Hierom kan de mate van overlast extreem veel zijn of juist zeer gering. Dit hangt af van de constructiemethode die nader worden beschreven in de toetsing. De stremming van de huidige premetrolijn zal voornamelijk plaatsvinden door op welke wijze de wanden worden aangelegd en wanneer de ontgraving start tot aan het afbouwen van het station.

Uitvoeringsrisico's

Het criteriapunt uitvoeringsrisico's omvat een groot aantal aspecten, in dit geval worden de eisen uit het programma van eisen aangehouden als uitvoeringsrisico's. In hoeverre kan er namelijk worden voldaan aan de gestelde eisen en wat is het risico wanneer dat niet het geval is. Ook wordt gekeken naar het gevaar van instorten van de bouwkuip op basis van de waterdichtheid, de veiligheid van de werknemers, risico's voor de omgeving door eventuele verzakkingen, het valbereik van kranen en constructieve aspecten zoals kerende hoogte en aansluitingen met andere constructieonderdelen.

Een combinatie van deze aspecten worden per variant beschreven en beoordeeld. De beoordeling zal kwantitatief plaatsvinden. Dat wil zeggen dat de varianten beoordeelt worden op een schaal van extreem veel risico's tot een zeer geringe kans op risico's in plaats van dat er waardes aan de scores zijn verbonden.

Overzicht wegingsfactoren

In de bovenstaande paragrafen zijn de criteriapunten toegelicht met de bijbehorende wegingsfactoren, waarbij overlast wordt gezien als het zwaarste criteriapunt. Het op een na zwaarst wegende onderdeel zijn de uitvoeringsrisico's gevolgd door realisatietijd en financiële haalbaarheid. Deze 4 criterium worden als maatgevend gezien binnen dit onderzoek. Uiteraard zijn er meerdere criteria waar varianten aan getoetst

kunnen worden, maar worden die in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten. De resultaten van de varianten afweging is uitgewerkt in hoofdstuk 4.

3.6 Definitief ontwerp

De meest gunstigste variant die volgt uit de variantenstudie zal uitgewerkt worden tot een definitief ontwerp. De uitwerking van het ontwerp gebeurt aan de hand van berekeningen en tekeningen. Hieronder wordt eerst verklaard welke aspecten nader worden uitgewerkt, hierop volgen de gemaakte afwegingen en benaderingen. De volledige uitwerking van de voorkeursvariant staat in appendix F - Berekeningsrapport en de belangrijkste resultaten worden gegeven in hoofdstuk 4.

Verklaren welke aspecten nader worden uitgewerkt van de voorkeursvariant
Een geheel metrostation doorrekenen past niet binnen de tijdsplanning van dit onderzoek. Hierom is er in overleg met de begeleiders afgesproken om de volgende onderdelen te berekenen:

- Handberekening grondkering, op basis van de methode van Blüm: Deze methode geeft inzicht in de benodigde inheidiepte en wat de grote is van de grond- en waterdrukken;
- Modellering grondkering in D-sheet: Dit is een nauwkeurigere methode dan de handberekening. Uit de berekening volgt wat de maximaal optredende momenten en dwarskrachten zijn in de eindsituatie en tijdens de bouwfasering.
- Toetsing grondkering aan de hand van de vigerende normen en richtlijnen: Uit de toetsing blijkt welke wapening benodigd is om de optredende krachten te weerstaan.
- Ontwerpberekening dakconstructie: Uit de ontwerpberekening volgt wat de dimensionering is van het dak.
- Toetsing dakconstructie aan de hand van de vigerende normen en richtlijnen: Uit de toetsing blijkt welke wapening benodigd is om de optredende krachten te weerstaan.

Benadering van de berekeningen
Voorafgaand aan de berekeningen zijn er uitgangspunten vastgesteld. Allereerst wordt de veiligheidsbenadering verklaard. Vervolgens worden de maatgevende uitganspunten van de diepwand en het dak verwoord.

Veiligheidsbenadering
De veiligheidsbenadering van de grondkering is opgesteld op basis van Eurocode 0. Volgens de Eurocode vallen openbare gebouwen onder gevolgklasse CC3. Hierbij zijn de gevolgen van het bezwijken groot. Daarnaast zijn er grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of zeer grote economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving. Bij de gevolgklasse hoort veiligheidsklasse RC3. De uit te voeren berekeningen zullen aan de hand van deze veiligheidsbenadering berekend worden, met bijbehorende veiligheidsfactoren.

Diepwand
Voor de diepwandconstructie worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Breedte: 1,0 meter;
- Lengte: Nader te bepalen;
- Beton sterkteklasse: C30/37;
- Staal: B500;
- Paneellengte: 8,0 meter. *dit is het grootst mogelijk toepasbare paneel en is gewenst zodat het aantal voegen beperkt wordt gehouden. Voegen zijn de zwakke plekken van een diepwand en die worden zo geminimaliseerd.

D-sheet model
Diepwandmodellen in D-sheet worden in het programma plastisch berekend aan de hand van de 4 takken in het M-K diagram. Deze 4 takken zijn benodigd om de diepwand in te kunnen voeren. Hiervoor is een berekening uitgevoerd waaruit volgt wat de buigstijfheid (EI-waarde) is in verschillende belasting toestanden. Uit de M-K diagram berekening volgt ook wat het scheurmoment, vloeimoment, stuikmoment en het bezwijkmoment is.

Berekeningsbenadering
De berekeningen in D-sheet zijn uitgevoerd volgens EC7 B, dit is de Belgische variant op de Eurocode 7. De Belgische benadering werkt met 2 sets, namelijk set 1 en set 2. De diepwand zal in het begin op beide sets worden uitgerekend. Waarbij set 1 wordt gebruikt als constructief model (UGT) om de wapening te berekenen. Set 2 wordt gebruikt voor de geotechnische stabiliteitscontrole (UGT). De interne krachten die volgen uit set 2 zullen naar verwachting hoger zijn dan set 1. Echter hoeven de structuren van de diepwand, volgens de WTCB, alleen op set 1 berekend te worden en niet volgens set 2. Een van de gedachtes hierachter is dat de structuur van de diepwand een herverdelend vermogen heeft middels plastische scharnieren waarmee een nieuw evenwicht wordt gevonden.

Grondparameters
De bodemopbouw, met bijbehorende parameters, die volgt uit het programma van eisen is ingevoerd in D-sheet. Verder word er gevarieerd gerekend met Ka/Ko/Kp en c/phi/delta. Zo kunnen de verschillen tussen de twee modellen worden bekeken. Ka/Ko/Kp betekend dat er een constante grondspanning aanwezig is vanuit de grondlagen. De c, phi, delta functie laat de grondspanningen juist variëren en kan gebruikt worden wanneer er sprake is van niet horizontale oppervlaktes.

Spring supports
In het D-sheet model zijn de stempels als spring supports ingevoerd. Dit een geschikte modelleringswijze om de stempelwerking van de vloeren in rekening te brengen omdat ze niet volledig star zijn maar een klein beetje meebewegen. Hierom worden de stempels ingevoerd als veer.

De rotatie van een spring support is gelijk aan 0. Wanneer groter dan 0 wordt ingevoerd is de vervorming ter hoogte van de vloer 0, wat in werkelijkheid niet het geval is. De translatie wordt berekend aan de hand van $\frac{EA}{l}$ waarbij E ongescheurd is. De oppervlakte is gelijk aan 1x1m omdat dit in verhouding staat tot de afmetingen van de vloeren. De vloeren fungeren als stempel en worden berekend per 1 meter strookbreedte. Verder wordt de helft van de overspanning genomen op basis van symmetrie. Tot slot is het niveau van de spring supports gesitueerd op het middelpunt van de vloer of stempel. Bovenkant support ligt 0,5 meter hoger en onderkant support ligt 0,5 meter lager.

Toetsing diepwand
De toetsing van de diepwand wordt uitgevoerd aan de hand van de Eurocode 2. Hierbij wordt in UGT getoetst op buiging en normaalkracht, en dwarskracht. In BGT zal er getoetst worden op de scheurwijdte.

Dak
De dimensionering van het dak volgt uit het boek Constructieleer gewapend beton. De afmetingen bepaald in de dimensionering zullen toegepast worden in de berekeningen.

Toetsing dak
De toetsing van het dak wordt uitgevoerd aan de hand van de Eurocode 2. Hierbij wordt in UGT getoetst op buiging en normaalkracht, en dwarskracht. In BGT zal er getoetst worden op de scheurwijdte, doorbuiging en knik.

Definitieve ontwerptekeningen
De voorkeursvariant wordt verder uitgewerkt aan de hand van tekeningen. Binnen de scope vallen de volgende tekeningen:

- Overzichtstekening metrostation, hieronder valt een bovenaanzicht, dwarsdoorsnede en een langsdoorsnede. De overzichtstekening geeft de geometrie van het station weer.
- Wapeningstekening diepwand (doorsnede, zij aanzicht, aanzicht binnenzijde, bovenaanzicht, detailaansluiting vloer).

De tekeningen worden gemaakt op basis van de resultaten die volgen uit de uitgevoerde berekeningen. Daarnaast zullen de civiele tekeneisen en detailleringseisen volgens de Eurocode 2 nageleefd worden. De tekeningen worden gerealiseerd met behulp van Autocad en zijn in groot formaat bijgevoegd in appendix G.

4

RESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten omschreven die volgen uit de variantenanalyse en uit de berekeningen. Allereerst worden er variantenanalyses uitgevoerd naar de meest gunstige bouwmethodiek, grondkering en kopafsluiting. Hiervan zijn de analyses naar de bouwmethodiek en de kopafsluiting globaal uitgevoerd. De analyse van de grondkering is uitgebreider, omdat deze nader wordt uitgewerkt tot een definitief ontwerp. Uit de analyses volgt een voorkeursvariant die nader wordt uitgewerkt door middel van berekeningen. De resultaten die volgen uit de berekeningen worden tot slot uitgewerkt tot een definitief ontwerp.

4.1 Variantenanalyse aanlegmethoden

In de onderstaande tabel is een beknopte beoordeling gegeven van de beschreven bouwmethodieken uit hoofdstuk 2.6.1. De scores lopen uiteen van ++ tot --, waarbij ++ als heel positief wordt gezien en -- als meest negatief. De bouwmethodieken zijn tegen elkaar afgewogen en onder de tabel wordt een toelichting gegeven per criteriapunt.

Tabel 4.1 vergelijking bouwmethodieken

	Open bouwkuip	Wanden-dak methode	Caissonmethode	Buizenmethode
Criteria				
Financiële haalbaarheid	++	+	+/-	-
Realisatietijd	++	-	+	--
Overlast	--	++	--	++
Uitvoeringsrisico's	+	-	-	--

Financiële haalbaarheid
De open bouwkuip scoort hier het beste vergeleken met de overige 3 methoden. Het afvoeren van de grond kan gemakkelijk via de open bovenzijde. Andere grote kostenpunten zijn er niet vergeleken met de overige varianten. Bij de wanden-dak methode wordt een dak geplaatst om de overlast bovengronds te beperken. Dit vermoeilijkt echter het afvoeren van de grond, wat zorgt voor extra te nemen maatregelen waardoor de kosten oplopen. De caissonmethode is op basis van de benodigde hulpconstructies, om deze de grond in te laten zakken, duurder dan een open bouwkuip en de wanden-dak methode. De buizenmethode wordt gezien als de duurste variant omdat vrijwel alle werkzaamheden ondergronds plaatsvinden wat erg kostenverhogend is.

Realisatietijd
De open bouwkuip heeft de meest gunstige realisatietijd vergeleken met de overige 3 methoden. Vanaf het maaiveld is de bouwkuip vrij toegankelijk en wordt dit niet bemoeilijkt door een dak, zoals het geval is bij de wanden-dak- en de buizenmethode. Wanneer een dak wordt toegepast dient onder andere de grond door het dak te worden afgevoerd en is het materieel lastiger op diepte te krijgen. Een dak vertraagd in dit geval de realisatie van het station. Bij de buizenmethode worden er buizen ingeperst en wordt de diepwand onder

het maaiveld gerealiseerd. Het inbrengen van de stalen buizen is erg tijdrovend. De methode scoort hierom lager dan de andere varianten. De caissonmethode heeft een gunstigere realisatietijd dan de wanden-dak methode omdat de werkzaamheden bovengronds plaatsvinden. Het laten zaken van de constructie wordt echter tijdrovender gezien dan de open bouwkuip methodiek.

Overlast
De wanden-dak methode en de buizenmethode beperken de overlast bovengronds, omdat na de realisatie van het dak de werkzaamheden ondergronds worden voortgezet. Hierdoor kan de weg na het plaatsen van de wanden en het dak weer open worden gesteld voor het verkeer. In tegenstelling tot de open bouwkuip en caissonmethode, waarbij alle werkzaamheden op of vanaf het maaiveld plaatsvinden. Dit zorgt ervoor dat het verkeer bovengronds gestremd is en bedrijven lastig te bereiken zijn.

Uitvoeringsrisico's
Op basis van de uitvoering scoort ook hier de open bouwkuip het beste. Het werk is goed te bereiken vanaf het maaiveld in tegenstelling tot de buizenmethode en wanden-dak methode waarbij veelal ondergronds wordt gewerkt. Het ondergronds werken waarbij de bovenzijde is afgesloten door een dak wordt risicovoller gezien dan het werken in een ''open'' ruimte zoals het geval is bij de open bouwkuip. Het laten zakken van de caisson neemt ook risico's met zich mee omdat er gewerkt wordt onder een verhoogde luchtdruk.

Op basis van bovenstaande bevindingen en ondanks de zeer positieve uitslag van de open bouwkuip gaat de voorkeur uit naar de wanden-dak methode. Aangezien de overlast zo beperkt mogelijk gehouden moet worden is het gunstig om de werkzaamheden ondergronds uit te voeren. De buizenmethode zou hierbij ook nog een optie zijn, maar dit is een erg complexe methode en scoort over het algemeen erg laag. De caissonmethode en de open bouwkuip worden afgerekend op basis van de overlast die zij bovengronds veroorzaken. De Turnhoutsebaan is een erg drukke weg, met autoverkeer, openbaar vervoer (bus en tramlijn), fietsers en voetgangers. Het lang afsluiten van deze weg zal voor belangrijke stakeholders, waaronder de omwonenden, omliggende bedrijven, wegbeheerder en de weggebruikers niet wenselijk zijn. De wanden-dak methode is een methode die de overlast bovengronds zal beperken waardoor het verkeer gebruik kan maken van één weghelft en omliggende bedrijven toegankelijk blijven. De extra kosten en de langere realisatietijd wegen in dit geval niet op tegen de mate van overlast.

4.2 Variantenanalyse grondkering

In deze variantenanalyse worden de potentiële grondkeringen uit het theoretisch kader nader beoordeeld. In het theoretisch kader is gebleken dat de combiwand, boorpalenwand en de diepwand mogelijk kunnen dienen als langs wanden van de wanden-dak methode, zie afbeelding 2.10. Deze worden in de navolgende paragrafen beoordeeld op de criteriapunten die zijn opgesteld in de methode. Per criteriapunt wordt verklaard waarom een bepaalde grondkering hier het hoogste scoort. Tot slot worden de scores bij elkaar opgeteld in een overzichtstabel en volgt er een einduitslag, waarbij de variant met de hoogste score bestempeld wordt als de voorkeursvariant.

4.2.1 Beoordeling varianten

In deze paragraaf worden de potentiële varianten uit het theoretische kader beoordeeld op de opgestelde criteriapunten uit de methode. Per criteriapunt is er een opsomming gemaakt met welke variant hier het hoogste scoort en waarom dit het geval is. Wanneer een variant het hoogst scoort krijgt deze 3 punten toegekend en wanneer een variant het laagst scoort krijgt deze een 1 punt. De variant die in de eindbeoordeling de meeste punten heeft, wordt bestempeld als de voorkeursvariant. Voor de totstandkoming van de waarden per criteriapunt wordt verwezen naar appendix E – Variantenstudie.

Financiële haalbaarheid

De toegekende kosten voor het criteriapunt financiële haalbaarheid zijn bepaald aan de hand van kengetallen. De kengetallen zijn verkregen van een expert op het gebied van kostenramingen binnen Witteveen+Bos. De onderstaande prijzen zijn enkel directe kosten die gelden voor de grondkeringen. Voor de grondkeringen is de dimensionering aangehouden van de vastgestelde geometrie en een hoogte van 35 meter.

Tabel 4.2 classificatie financiële haalbaarheid

Variant	Waarde	Score
Diepwand	€ 3.150.000,-	1
Boorpalenwand	€ 2.770.000,-	2
Combiwand	€ 2.198.000,-	3

De combiwand scoort op basis van de kosten het hoogst, omdat deze aangebracht worden door trillen/heien wat goedkoper en minder tijd vergt dan boren of het graven van sleuven. Daarnaast moeten de boorpalenwanden en de diepwanden volgestort worden met beton, dit is niet het geval bij de combiwand en kan na levering de grond in worden getrild of geheid.

Realisatietijd

Bij de realisatietijd worden er geen concrete waarden verbonden aan de 3 varianten, maar op basis van het handboek tunnelbouw is de onderstaande notering van toepassing;

Tabel 4.3 classificatie realisatietijd

Variant	Score
Diepwand	1
Boorpalenwand	2
Combiwand	3

Ook hier krijgt de combiwand de hoogste score toegekend. Het aanbrengen van de buispalen en de damwandplanken zal sneller gaan dan het boren van een paal in de grond en deze vervolgens met beton volstorten. Ook zal het sneller zijn dan het graven van een sleuf waar vervolgens wapening in moet worden gehangen en ook gestort dient te worden.

Overlast

Het criteriapunt overlast is onderverdeeld in de overlast voor omwonenden en overlast voor de huidige pre-metrolijn. Beide onderdelen worden hieronder apart beoordeeld.

Overlast voor omwonenden

De overlast voor omwonenden is vastgesteld op basis van trilling- en geluidsoverlast waarvan het huis grenst aan het projectgebied. Hieruit volgt de volgende classificatie:

Tabel 4.4 classificatie overlast voor omwonenden

Variant	Score
Combiwand	1
Boorpalenwand	2
Diepwand	2

De boorpalenwand en de diepwand scoren hier beide 2 punten, omdat ze allebei trillingsarm worden aangelegd. Ze scoren geen 3 punten, omdat er tijdens de werkzaamheden vrijwel altijd geluid vrijkomt, wat als hinderlijk kan worden ervaren door de omwonenden. De combiwand scoort hier het laagste, doordat deze

wordt aangelegd door middel van trillen of heien. Dit resulteert in enorme trillingen en geluidsoverlast voor de omgeving, hetgeen wat niet wenselijk is.

Overlast premetrolijn
De overlast voor de premetrolijn volgt eveneens uit de aanlegmethode van de grondkering. Doordat de combiwand trillend of heiend wordt aangebracht wordt er verwacht dat er veel trillingen vrijkomen die de metrolijn ondergronds kunnen beïnvloeden. De grondkeringen worden namelijk kort op de tunnelbuizen gerealiseerd, op basis van de optredende trillingen winnen de boorpalenwand en de diepwand het hier van de combiwand.

Tabel 4.5 classificatie overlast premetrolijn

Variant	Score
Combiwand	1
Boorpalenwand	3
Diepwand	3

Uitvoeringsrisico's
De uitvoeringsrisico's bestaan uit verschillende onderdelen, waarbij ieder onderdeel apart wordt beoordeeld. De uitvoeringsrisico's zijn onderverdeeld in:

Instortingsgevaar
Het instortingsgevaar is afhankelijk van de waterdichtheid en de stabiliteit van de grondkeringen. Deze dienen sufficiënt te zijn zodat er een veilig metrostation gerealiseerd kan worden, de volgende classificering is van toepassing:

Tabel 4.6 classificatie instortingsgevaar

Variant	Score
Boorpalenwand	1
Combiwand	3
Diepwand	3

De diepwand en combiwand scoren hier beide 3 punten, omdat deze beide keringen goed waterdicht zijn wanneer ze goed worden geplaatst. Daarnaast zijn beide erg stijve constructies en wordt er verwacht dat ze de hoeveelheid grond kunnen keren. De combiwand scoort hier slechts 1 punt omdat de aansluiting tussen de palen geen garantie geeft op een volledige waterdichte wand. Dit is het gevolg van de palen die overlappend worden geplaatst en de tolerantie die er zit op de scheefstand.

Veiligheid werknemers
De veiligheid van de werknemers staat voorop en de grondkeringen dienen hieraan bij te dragen. Als alle varianten goed worden uitgevoerd en ze waterdicht zijn, zijn het alle 3 veilige werkomgevingen. Op basis van de veiligheid krijgen de diepwand en de combiwand 3 punten. De boorpalenwand wordt niet gezien als een volledige waterdichte kering en krijgt hierom 2 punten.

Tabel 4.7 classificatie veiligheid werknemers

Variant	Score
Boorpalenwand	2
Combiwand	3
Diepwand	3

Omgevingsrisico's
Hieronder vallen risico's die resulteren in schade naar de omgeving. Zo wordt de combiwand trillend aangebracht, wat de onderliggende grondlagen kan verdichten en maaiveldzakkingen tot gevolg kan hebben. Deze scoort hierom laag op het gebied van omgevingsrisico's. Ditzelfde geld voor de boorpalen. Er is al eerder gebleken dat de er niet gegarandeerd kan worden dat een boorpalenwand volledig waterdicht is vanwege de overlappende palen. Hierdoor kunnen ook lekkages optreden die resulteren in maaiveldzakking. Wanneer een diepwand goed wordt uitgevoerd, zal het vrijwel geen risico vormen voor de omgeving en krijgt hierom de hoogste score toegewezen.

Tabel 4.8 classificatie omgevingrisico's

Variant	Score
Boorpalenwand	1
Combiwand	1
Diepwand	3

Constructieve aspecten
Van alle varianten wordt verwacht dat zij de minimale hoogte kunnen keren met bijbehorende horizontale gronddrukken. Echter, de constructieve verbindingen met de vloeren zijn bij de boorpalenwanden en combiwanden lastiger te realiseren dan bij de diepwand. Bij de diepwand kunnen er lentons bevestigd worden die na het uitharden uitgehakt kunnen worden. Vervolgens kan de vloerwapening erin bevestigd worden. De combiwand en de boorpalenwand hebben beide geen recht oppervlak, hierom zal een aanvullende constructie (bijvoorbeeld een voorzetwand) benodigd zijn om de vloer te kunnen verbinden met de grondkering. Kortom de diepwand scoort hier het gunstigste vergeleken met de andere 2 varianten. Hieruit volgt de volgende scorenotatie:

Tabel 4.9 classificatie constructieve aspecten

Variant	Score
Boorpalenwand	2
Combiwand	2
Diepwand	3

4.2.2 Eindresultaat variantenanalyse

In de voorgaande paragraaf zijn alle scores vastgesteld per criteriapunt. Nu worden in deze paragraaf alle verzamelde scores in een tabel gezet en wordt er per criteriapunt een gemiddelde score berekend. De gemiddelde score wordt vervolgens vermenigvuldigd met de weging van het desbetreffende criteriapunt. Voor ieder criteriapunt wordt dit herhaald, waarna vervolgens de scores bij elkaar worden opgeteld. De variant die de hoogste score heeft behaald zal benoemd worden als de voorkeursvariant. De voorkeursvariant zal dan verder uitgewerkt worden in de navolgende hoofdstukken tot een definitief ontwerp. Maar nu wordt eerst verwezen naar de onderstaande tabel 4.10 waar de eindscore van de varianten wordt bepaald.

Tabel 4.10 eindscore varianten

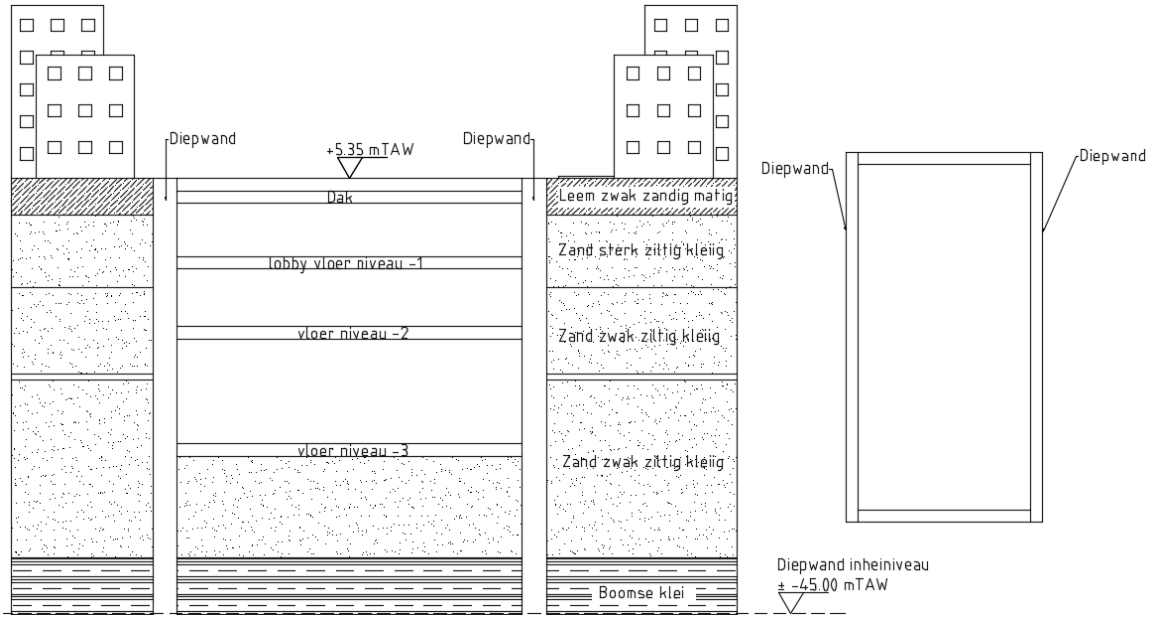
Criteriapunten	Wegingsfactor	Sub-criteria	Combiwand	Boorpalenwand	Diepwand
Financiële haalbaarheid	16,7%	Kosten	3	2	1
Realisatietijd	16,7%	Bouwtijd	3	2	1
Overlast	41,7%	Omwonenden	1	2	2
		Premetro	1	3	3
Uitvoeringsrisico's	25,0%	Instortingsgevaar	3	1	3
		Veiligheid werknemers	3	2	3
		Omgevingsrisico's	1	1	3
		Constructieve aspecten	2	2	3
Totaal	100%		1,98	2,09	2,13

4.2.3 Voorkeursvariant

Uit de resultaten van de varianten vergelijking blijkt dat de diepwand de hoogste score heeft behaald en vanaf nu de titel ''voorkeursvariant'' heeft gekregen. De diepwandconstructie wordt op verschillende vlakken gunstiger gezien dan de overige varianten. Met name op het gebied van overlast en uitvoeringsrisico's scoort de diepwand erg goed, maar dit neemt niet weg dat de andere varianten niet mogelijk zijn. De boorpalenwand krijgt namelijk bij iedere criteria gemiddelde scores en de combiwand doet het vooral kostentechnisch erg goed. Het minpunt van de combiwand is dat ze veel overlast voor de omwonenden veroorzaken in de vorm van trillingen en geluidsbelastingen. Het nadeel van de boorpalenwand zijn de constructieve verbindingen met de overige constructieonderdelen. De diepwand kan in dit geval de vereiste kerende hoogte met gemak overzien, de overlast naar de omgeving beperkt houden en de constructieve verbindingen zijn goed te realiseren.

Uit de literatuur en variantenomschrijving blijkt dat de diepwand met regelmaat toegepast wordt als permanente wand bij metrostations of andere diepgelegen ondergrondse constructies. De naam zegt het eigenlijk al, want de diepwand is een constructie die erg diep kan reiken. Dit is ook benodigd voor het onderzoek, omdat het laagstgelegen spoor zich 20 meter onder het maaiveld bevindt. Zodoende is er besloten, op basis van bovenstaande beoordeling, om de wanden-dak methode te combineren met een diepwand die zal dienen als een permanente grondkerende wandconstructie.

Afbeelding 4.1 Situatieschets voorkeursvariant



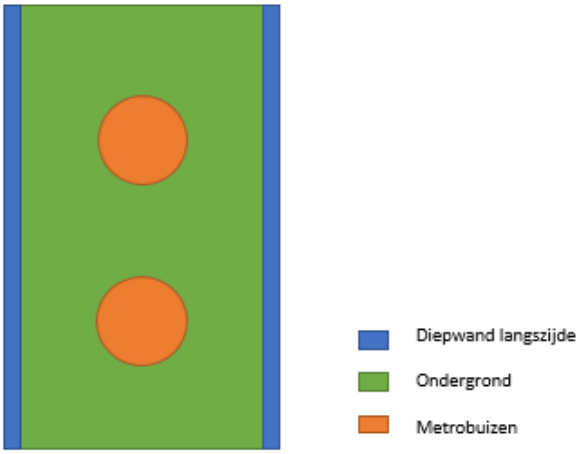
4.3 Uitwerking voorkeursvariant

De voorkeursvariant, een wanden-dak methode met diepwanden, wordt verder uitgewerkt in de onderstaande paragrafen. Dit zal gedaan worden aan de hand van berekeningen en tekeningen die dienen te voldoen aan het programma van eisen. De belangrijkste resultaten die daaruit volgen, zullen in de navolgende paragrafen aan bod komen, maar eerst wordt aandacht besteed aan de kopafsluiting van het station.

4.3.1 Kopafsluiting

Uit de variantenstudie is gebleken dat de wanden-dak methode in combinatie met een diepwand de meest gunstige variant is om het station in de wijk Borgerhout te realiseren. De diepwanden kunnen eenvoudig over de langszijde van het station aangelegd en in de boomse klei bevestigd worden. De aanleg van de diepwanden aan de kopzijde is echter een stuk complexer. Het wordt namelijk bemoeilijkt door de locatie van de bestaande metrotunnels, zie afbeelding 4.2. Een diepwand kan niet zomaar door de tunnels aangelegd worden, derhalve dient er een oplossing gevonden te worden waarbij er door en om de bestaande tunnel heen gewerkt kan worden en de stabiliteit niet verloren gaat. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van freezing of grout injecties.

Afbeelding 4.2 positie buizen t.o.v. langs wanden (vooraanzicht)

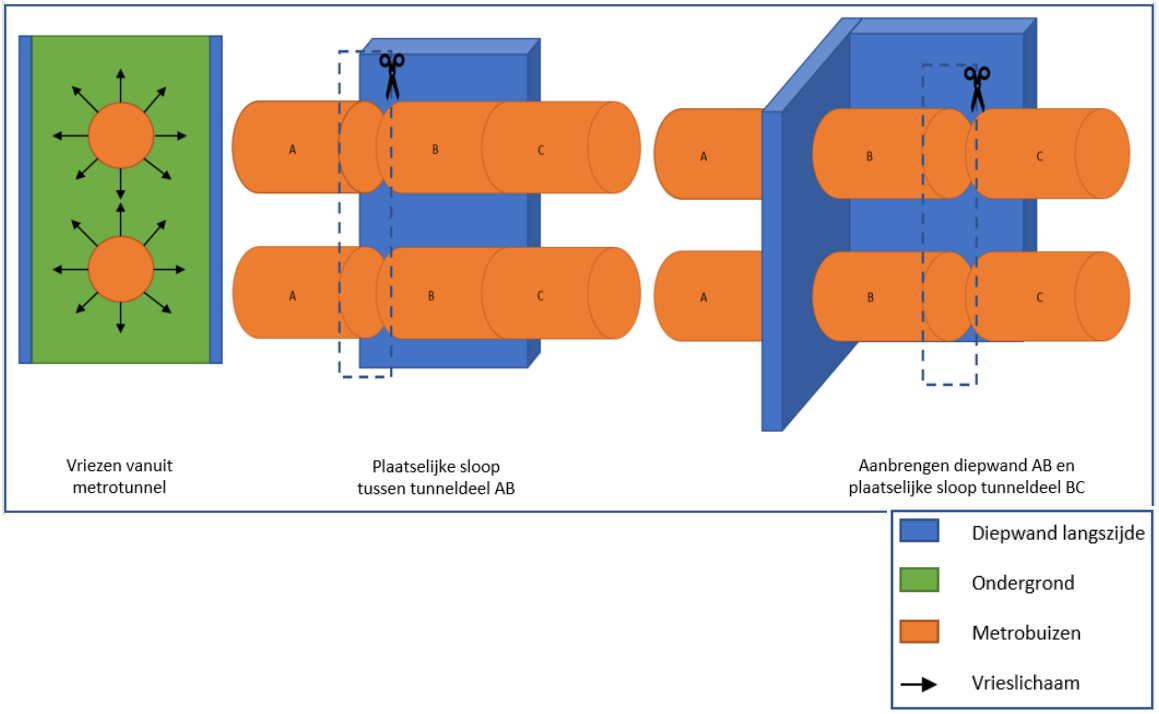


Bij het principe van freezing wordt het grondwater bevroren en kunnen wanden van enkele tientallen meters breed gevormd worden. Bij grouting wordt er grout de grond geïnjecteerd die zich vermengt met de grond, hierdoor ontstaat er een wand. Het nadeel van grout is dat het niet 100% waterdicht is en het permanent in de grond wordt verwerkt. Daarnaast zal een grote hoeveelheid grout benodigd zijn om een wand te kunnen realiseren die gelijkwaardig is aan een diepwand. Ook is het de vraag of een groutwand voldoende sterk is om de optredende momenten op te kunnen nemen tijdens de ontgravingen. Daarentegen is freezing een tijdelijke constructie die zich uitspreid rondom bestaande funderingen en voldoende sterk gemaakt kan worden om als hulpconstructie te fungeren. Voor verdere informatie en kenmerken van beide toepassingen wordt verwezen naar paragraaf 2.6.3. In de onderstaande alinea's zijn drie varianten omschreven op basis van bovenstaande informatie. In appendix F zijn de varianten gedetailleerd omschreven.

Mogelijke oplossingen zijn:

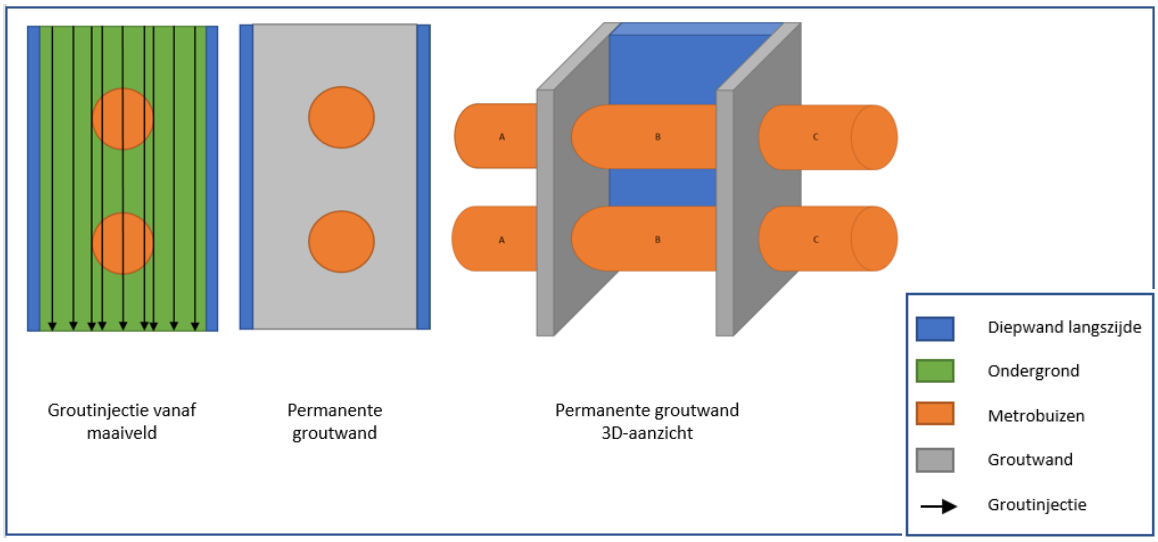
1 Plaatselijke knip: vanuit de metrotunnel worden er tunnelsegmenten afgebroken om voldoende ruimte te creëren voor de aanleg van een diepwand, zie afbeelding 4.3. Om de plaatselijke sloop uit te kunnen voeren wordt er voorafgaand aan de sloop een vrieslichaam aangebracht rondom de tunnel. Op deze wijze wordt de indringing van grond en grondwater uitgesloten;

Afbeelding 4.3 schematische uitvoering variant 1



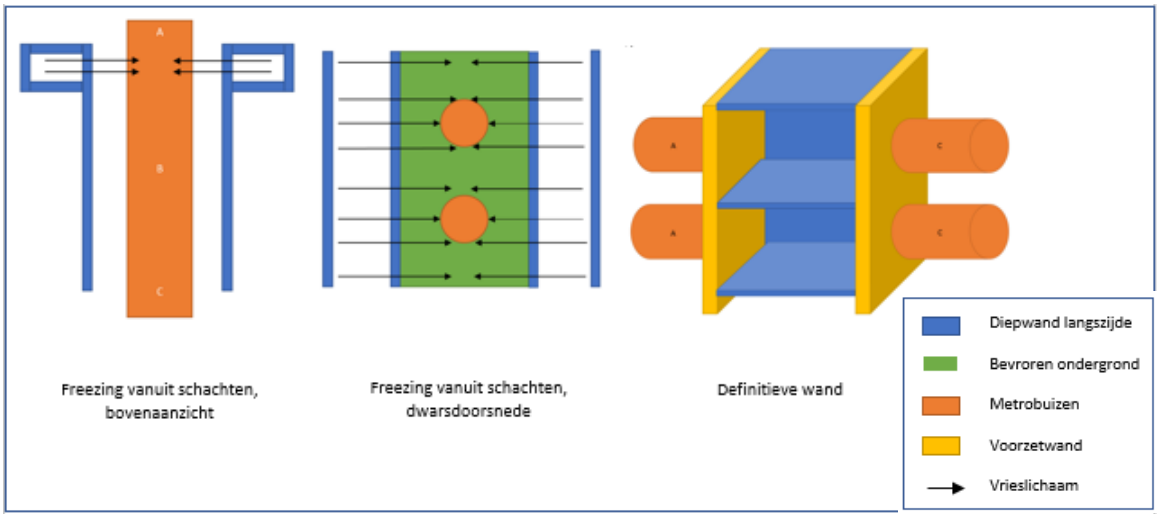
2 Jetgroutschermen: vanaf het maaiveld worden er lansen ingebracht die grout injecteren rondom de metrotunnel. Zodoende ontstaat er een groutwand die fungeert als kopafsluiting, zie afbeelding 4.4;

Afbeelding 4.4 schematische uitvoering variant 2



3 Vriezen vanuit schachten: vanuit 2 schachten, die worden aangebracht naast de langs wanden, wordt een vrieslichaam aangebracht rondom de metrotunnels. Het te slopen tunneldeel wordt tijdens de ontgraving afgebroken en er wordt een definitieve wand voor de vrieswand geplaatst.

Afbeelding 4.5 schematische uitvoering variant 3



De bovenstaande varianten zijn uitgebreid omschreven en globaal afgewogen in appendix E. Uit de afweging volgt dat de variant met jetgroutschermen niet haalbaar is. Ten eerste is het twijfelachtig of de groutwand de minimale hoogte wel kan keren. Ook is het onbekend wat voor dikte benodigd is om een vergelijkbare wand te verkrijgen aan de diepwand. Verder kan een volledige waterdichte wand niet gegarandeerd worden en dus valt deze variant af. Het gebruik van schachten in combinatie met freezing is mogelijk en is op basis van de bekende gegevens beter dan grout. Echter wanneer er een definitieve wand voor het vrieslichaam wordt geplaatst kan deze niet worden bevestigd in de boomse klei en zal er een extra water afsluitende constructie toegepast moeten worden. Bij variant 1 kan een diepwand wel in de boomse klei bevestigd worden en kunnen veel werkzaamheden ondergronds, vanuit de metrotunnel, worden uitgevoerd. Daarnaast bestaan alle wanden uit diepwanden, wat gunstig is voor de constructieve verbindingen. De keuze om de kopzijde af te sluiten is gevallen op variant 1, de 'plaatselijke knip', vanwege de bovenstaande bevindingen en de haalbaarheid van de variant vergeleken met de overige varianten.

4.3.2 Berekeningen

De voorkeursvariant is bepaald in de voorgaande paragrafen. In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten omschreven van de berekeningen omschreven van de voorkeursvariant. De gegevens volgen uit het berekeningsrapport, appendix F.

De berekeningen zijn uitgevoerd om de lengte en de benodigde hoeveelheid wapening van de diepwand te bepalen. Daarnaast dient de constructie stabiel en veilig te zijn en te volden aan het programma van eisen, zodat het in gebruik kan worden genomen door de premetroreizigers. In de methode, paragraaf 3.6, staan de belangrijkste afwegingen en uitgangspunten die worden gehanteerd.

Berekeningsonderdelen
Omdat een geheel metrostation door te rekenen niet binnen de tijdsplanning past van dit onderzoek is er besloten om een aantal onderdelen te berekenen. De onderdelen die wél berekend worden staan beschreven in de methode. Hieronder volgt per berekend onderdeel het belangrijkste resultaat.

Diepwand handberekening
Om een eerste indruk te krijgen van de diepwand en bijbehorende werkende gronddrukken is een handberekening gemaakt aan de hand van de methode van Blüm. De stappen achtereenvolgend zijn; het berekenen van de verticale grond, water- en korrelspanning, berekenen van de horizontale gronddrukken, zwaartepunt en het moment bepalen, berekenen onbekende t en het berekenen van de inheidiepte. De uitwerking van deze stappen zijn terug te vinden in appendix F, hoofdstuk 3.

De berekeningsmethode geeft inzicht in het krachtenverloop en geeft door middel van berekeningen een goede inschatting van de inheidiepte. Tijdens de berekening is gebruik gemaakt van een uniforme bovenbelasting van 30 kPa en van de overige vigerende eisen volgens het programma van eisen. De inheidiepte en de lengte van de diepwand zijn volgens de berekening:

- Inheidiepte: -39,99 mTAW
- Diepwand lengte: 45,34 meter

De berekening is deels met de hand uitgevoerd, en deels met een opgesteld Excel model waar wijzigingen in kunnen worden aangebracht, die vervolgens doorgerekend worden. De berekening geeft een aanzienlijk grote diepte en is een goede eerste inschatting voor de uiteindelijke inheidiepte. Verder is er gerekend met een dak dat zich 1,5 meter onder maaiveld bevindt en fungeert als stempel. Wanneer het stempel lager geplaatst wordt, wordt de inheidiepte kleiner. Tijdens de D-sheet calculatie zullen alle vloeren van de constructie fungeren als stempel.

Diepwand dimensionering- en controleberekeningen
Navolgend op de handberekening wordt een dimensionering- en controleberekening uitgevoerd. Dit is gedaan met behulp van D-sheet en de benodigde toetsingen zijn uitgevoerd volgens de Eurocode 2. De berekening in D-sheet is nauwkeuriger dan de handberekening, omdat het een verenmodel is waarbij meerdere spanningspunten worden gebruikt. Daarnaast volgt D-sheet de Eurocode 7 met bijbehorende veiligheidsfactoren.

D-sheet modellering
Allereerst diende het model van de diepwand ingevoerd te worden in D-sheet. De grondparameters en veiligheidsfactoren werden ingevuld aan de hand van het programma van eisen en de uitgangspunten beschreven in de methodiek. Voor de invoer van de diepwand moest eerst een M-K diagram opgesteld worden. Hieruit volgt wat de buigstijfheid (EI) van een staaf is tegen een kromming die optreedt waar de desbetreffende staaf wordt belast door een buigend moment. Dit moet berekend worden in verschillende belastingfases om de diepwand in zijn volledigheid in te kunnen voeren. Uit de berekening volgt wat het scheurmoment, het vloeimoment, het stuikmoment en het bezwijkmoment is van de diepwand met bijbehorende kromming.

1	Scheurmoment	$Mr = 652\ kNm$	$Kr = 9{,}78 * 10^{-4}\ m^{-1}$
2	Vloeimoment	$My = 2.903\ kNm$	$Kr = 4{,}25 * 10^{-3}\ m^{-1}$
3	Stuikmoment	$Mc, pl = 2.919\ kNm$	$Kr = 4{,}64 * 10^{-3}\ m^{-1}$
4	Bezwijkmoment	$Mrd = 3.023\ kNm$	$Kr = 1{,}38 * 10^{-2}\ m^{-1}$

Voor de bepaling van de definitieve afmetingen en het ontwerp zijn verschillende berekeningen uitgevoerd in D-sheet. Allereerst is de fasering stapsgewijs ingevoerd. Hieruit bleek dat de diepwand in combinatie met het dak en de vloeren niet alle krachten tijdens de ontgravingen zelf op kon nemen. Hierom is besloten om tijdens de ontgraving tussen de vloer van de lobby en de vloer van niveau -2 één tijdelijke stempel toe te passen. Ook de ontgraving tussen de vloer van niveau -2 en die van -3 bleek te groot te zijn. Om de grote optredende momenten en dwarskrachten op te nemen is een permanente stempel toegepast tussen niveau -2 en -3. Door toevoeging van de stempelwerken bleek de diepwand, met een lengte van 45,35 meter, volgens D-sheet stabiel te zijn. Stabiliteit in D-sheet betekend dat de grondkering de optredende krachten kan weerstaan en de maximale vervorming binnen 25% van de totale lengte valt.

Maatgevende resultaten

Nu de diepwand in D-sheet stabiel blijkt te zijn dient het nog wel getoetst te worden in de uiterste grenstoestand en bruikbaarheidsgrenstoestand, volgens de Eurocode 2. Het gaat om een betonconstructie die aan de geldende norm dient te voldoen. De resultaten van de toetsingen worden in de volgende paragraaf beschreven. De toetsingen zijn uitgevoerd met de onderstaande, maatgevende resultaten die volgen uit D-sheet:

Maximaal optredend moment: **1.960 kNm**
*dit moment treedt op in fase 18 (ontgraven tot -19,18 mTAW)

Maximaal optredende dwarskracht: **1.299 kN**
*deze kracht treedt op in fase 18 (ontgraven tot -19,18 mTAW)

Maximale verplaatsing: **112,7 mm**
*valt binnen de gestelde vervormingseis 1/100 van de totale lengte, zie programma van eisen

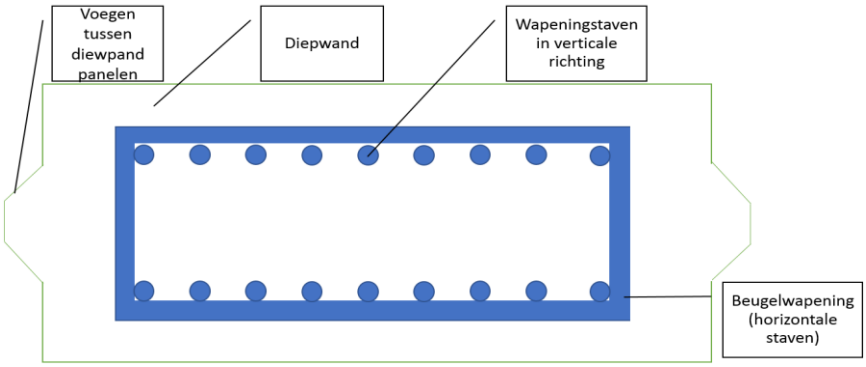
Stabiliteitsfactor: **1,55**
*deze factor dient voor veiligheidsklasse RC3 groter te zijn dan 1,1 (conform CUR 166)

Toetsingen

De diepwand is een betonnen constructie en dient getoetst te worden in de uiterste grenstoestand (UGT) en in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Deze toetsingen dienen uitgewerkt te worden volgens de vigerende norm; Eurocode 2. Waarbij de diepwand in de UGT-situatie dient te voldoen op buiging, normaalkracht en dwarskracht. In de BGT-situatie wordt de diepwand getoetst op scheurwijdte.

Uit de toetsingen blijkt dat er een grote hoeveelheid wapening benodigd is om de maximaal optredende momenten en dwarskrachten op te kunnen nemen. Dit is niet opmerkelijk voor diepwanden en een schematische doorsnede van een wapeningskorf is gegeven in de onderstaande afbeelding.

Afbeelding 4.6 schets doorsnede diepwandwapeningskorf



De scheurwijdte toets blijkt maatgevend te zijn voor de wapeningsstaven in verticale richting. Hieruit volgt dat 2 lagen Ø 40 - 175 benodigd zijn om het maximaal optredende moment op te nemen, waarbij het binnen de toegestane scheurwijdte valt.

Na de controle op dwarskracht blijkt dat er beugels benodigd zijn om de optredende dwarskrachten op te kunnen nemen. In combinatie met de vigerende eisen volgens NEN-EN 1538, wordt de volgende dwarskracht-wapening toegepast: 4 snedige beugels Ø 20 - 250 (4 x 1.257 = 5.028 mm^2/m^1).

Optimalisaties
In het berekeningsrapport worden verschillende optimalisaties en detailleringen uitgevoerd. Optimalisaties zijn mogelijk omdat niet over de gehele lengte van de diepwand dezelfde krachten optreden. De toetsingen zijn gemaakt op basis van de grootst optredende waarden. Over de gehele lengte kan de wapening gereduceerd worden, wat resulteert in minder staal en lagere kosten. De optimalisaties en detailleringen zullen terug te zien in de tekeningen en de uitwerking ervan staat in appendix G - Definitief ontwerp.

Dakconstructie
De dakconstructie is een onderdeel van de wanden-dak methode en dient te voldoen aan de vigerende normen en richtlijnen opgesteld in het programma van eisen. Alleen zo kan een veilige constructie worden ontworpen voor openbaar gebruik. Voor de dakconstructie wordt dezelfde veiligheidsbenadering gehanteerd als voor de diepwand.

Dimensionering
De dimensionering van het dak is uitgevoerd aan de hand van de vuistregels die staan omschreven in het boek: Constructieleer Gewapend Beton (Braam & Lagendijk, 2008). Hieruit volgt dat de hoogte van het dak wordt aangenomen op 1.200 mm. Naast het bepalen van de hoogte zal de benodigde wapening berekend worden om de optredende krachten op te kunnen nemen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat er een uniforme bovenbelasting aanwezig is van 30 kN/m^2. De benodigde wapening wordt berekend aan de hand van de uit te voeren toetsingen.

Toetsingen
Het dak is een betonnen constructie en dient ook getoetst te worden in UGT en in BGT. Deze toetsingen dienen uitgewerkt te worden volgens de vigerende norm; Eurocode 2. Waarbij het dak in de UGT-situatie dient te voldoen op buiging, normaalkracht en dwarskracht. In de BGT-situatie wordt het dak getoetst op scheurwijdte, doorbuiging en knik.

De scheurwijdte toets blijkt maatgevend te zijn voor de hoofdwapening. Hieruit volgt dat 2 lagen Ø 40 - 165 benodigd zijn om het maximaal optredende moment op te nemen waarbij het binnen de toegestane scheur-wijdte valt.

Na de controle op dwarskracht blijkt dat er beugels benodigd zijn om de optredende dwarskrachten op te kunnen nemen. De volgende dwarskrachtwapening wordt toegepast: 4 snedige beugels Ø 12 - 200 (4 x 565 = 2.260 mm^2/m^1).

4.3.3 Tekeningen

De tekeningen van de diepwand en het station zijn opgenomen in Appendix G - Definitief ontwerp.

5

CONCLUSIE

In de conclusie wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag die gesteld is in de inleiding van dit onderzoek. De onderzoeksvraag luidt:

'Wat is de meest gunstigste bouw-aanlegmethode voor de inpassing van een nieuw premetrostation om een bestaande geboorde tunnel, in de wijk Borgerhout te Antwerpen, waarbij zo min mogelijk overlast ontstaat naar de omgeving toe?'

Het doel is om de tramcapaciteit te verhogen in de wijk Borgerhout door een nieuw premetrostation te realiseren om een bestaande geboorde tunnel heen. Om het doel te verwezenlijken is het onderzoek hoofdzakelijk gericht op het vinden van de meest gunstige bouwmethode, maar is dit onderverdeeld in 3 hoofdonderdelen. Er wordt gewerkt van grof naar fijn. Allereerst is de meest optimale geometrie van het station vastgesteld. Vervolgens is gekeken welke bouwmethodiek het beste is om het geometrisch ontwerp te verwezenlijken en welke permanente en tijdelijke constructies hierbij toegepast kunnen worden. Tot slot is de meest gunstige variant nader uitgewerkt. Hieronder volgt per onderdeel de getrokken conclusies.

Geometrisch ontwerp

De ruimtelijke inpassing van het station is afhankelijk van de beschikbare ruimte op de locatie en welke tram er moet stoppen. Ook is de ligging van de metrobuizen en de verwachte capaciteit van belang. Het station, met een lengte van 100 meter en een breedte van 14 meter, is ingepast op de projectlocatie. De inrichting van het station wordt bepaald op basis van de veiligheid. Er zijn voldoende vluchtwegen aanwezig zodat de veiligheid wordt gegarandeerd. Reizigers kunnen zichzelf binnen de vereiste 6 minuten in veiligheid brengen.

Bouwmethodiek

Uit de variantenanalyse is gebleken dat de wanden-dak methode in combinatie met een diepwand het beste is om het station te realiseren. De analyse is uitgevoerd aan de hand van diverse criteria, waarbij overlast de meest belangrijke was. Om de overlast bovengronds te beperken wordt de realisatie van het station, na het plaatsen van de wanden en het dak, ondergronds voortgezet. De Turnhoutsebaan kan vervolgens bovengronds hersteld worden en in gebruik worden genomen. Bij de overige varianten dient de drukke Turnhoutsebaan afgesloten te worden tot het station gereed is. Dit verstoort het verkeer bovengronds dusdanig veel, dat het toepassen van de wanden-dak methode als meest gunstige wordt ervaren.

Grondkering

De wanden van het station worden gerealiseerd als diepwanden. Diepwanden worden trilling- en geluidsarm aangebracht. De overlast naar de omgeving toe wordt hierdoor laag gehouden. Verder is de diepwand een erg stijve wand en kan het de enorme momenten keren die optreden tijdens de bouwfasering van het station. De diepwand kan diep in de water afsluitende boomse klei worden bevestigd, zodat een goede onder afsluiting van het station aanwezig is. De overige varianten kunnen niet dezelfde hoogte overbruggen als de diepwand. Hetgeen resulteert in een grote actieve grondzijde en een kleine passieve grondzijde. De grondkering kan in dat geval, wanneer niet voldoende diep bevestigd in de grond, bezwijken. De diepwand is mede hierom de meest gunstige grondkering voor het nieuwe station.

Afsluiting kopse zijden
Uit de variantenanalyse naar het afsluiten van de kopse zijden, is gebleken dat een vrieslichaam aanbrengen het gunstigste is om de grond rondom de tunnel volledig waterdicht en vast te maken. Wanneer dit het geval is kan vanuit de metrotunnel de buis plaatselijk gesloopt worden en wordt er een diepwand vanaf het maaiveld aangebracht door de bestaande buis. De variant is technisch uitvoerbaar. Een kanttekening is wel dat de methode enorm duur is. Het toepassen van grout was ook een mogelijkheid, echter kan een volledige waterdichte afsluiting dan niet gegarandeerd worden.

Uitwerking ontwerp
Navolgend op de variantenstudie is het ontwerp concreet uitgewerkt. Hier volgen in het kort de belangrijkste resultaten. De grondkering van de voorkeursvariant is nader uitgewerkt met behulp van berekeningen. Uit de D-sheet berekening is gebleken dat een diepwandlengte van 45,35 meter benodigd is. De diepwand dient te voldoen in zowel UGT- als BGT-situaties. De berekeningen resulteren in een zwaar gewapende diepwand die ter plaatse van het grootst optredende moment moet worden voorzien van 2 lagen Ø 40 - 175 en voor de grootste optredende dwarskracht 4 snedige beugels Ø 20 - 250.

Tot slot kan er in dit onderzoek geconcludeerd worden dat de wanden-dak methode de meest gunstigste bouw-aanlegmethode is voor de realisatie van een nieuw premetrostation om een bestaande geboorde buis heen, in de wijk Borgerhout te Antwerpen, waarbij de overlast beperkt wordt gehouden naar de omgeving toe. Hierbij worden er diepwanden gebruikt voor de wanden. De diepwanden worden voorzien van een wapeningskorf om de maximaal optredende momenten en dwarskrachten op te kunnen nemen. De aansluiting op de bestaande buis wordt verwezenlijkt met behulp van freezing vanuit de bestaande buis.

6

DISCUSSIE

Alle resultaten en gegevens binnen dit onderzoek zijn beoordeeld op validiteit door experts. Uit dit onderzoek is gebleken dat een wanden-dak methode in combinatie met een diepwand als grondkering, de meest gunstigste variant is om een nieuw premetrostation te realiseren om een bestaande metrotunnel te Antwerpen. Hieronder wordt een kritische reflectie gegeven op de resultaten die volgen uit het onderzoek.

Geometrisch ontwerp

De geometrie van het station is binnen dit onderzoek bepaald op basis van de locatie, de veiligheid, de ligging van de metrobuizen en de verwachte capaciteit. Het bepalen van de hoeveelheid vluchtwegen is uitgevoerd volgens de NFPA 130. Hierbij is uitgegaan van de meest uiterste situatie, waarbij is gerekend met de maximale afstand tussen de vluchtwegen en 2000 reizigers. De kans dat de uiterste situatie voorkomt is vrij klein, maar mocht het voorkomen voldoet het station ruim aan de gestelde eisen. Met het oog op de toekomst dient nader bekeken worden of het station bij een toename van het aantal reizigers ook nog voldoet.

Bouwmethodiek

De wanden-dak methode is een gunstige methode om de overlast op de Turnhoutsebaan te beperken. De weg is afgesloten tot de wanden en het dak gerealiseerd zijn. Er kan ook besloten worden om slechts een weghelft af te sluiten en de langs wanden in twee stappen te realiseren. Zo kan één weghelft gedurende de realisatie van de diepwanden open blijven. In dit onderzoek is echter besloten om de gehele weg af te sluiten, aangezien de volledige weg benodigd is om de kopwanden te realiseren.

Wanneer een station in een vergelijkbare situatie gebouwd moet worden, maar waarbij de tijd maatgevend is, zal waarschijnlijk de open bouwkuip methode gebruikt worden. Zo kan het station zo snel mogelijk gerealiseerd worden. Hetzelfde geldt voor de kosten.

Grondkering

Diepwanden worden toegepast als grondkering voor het nieuwe station. Kostentechnisch zijn combiwanden aantrekkelijker. Echter, kunnen de damwandplanken van een combiwand niet bevestigd worden in de boomse klei in verband met de werkende hoogte. Een alternatieve water afsluitende constructie is dan benodigd voor de onderzijde van het station. Diepwanden kunnen wel diep bevestigd worden in de water afsluitende boomse klei. De intreding van grondwater van onderaf is dan niet mogelijk. Daarnaast worden diepwanden regelmatig toegepast voor diepgelegen ondergrondse constructies en wordt het als een betrouwbare grondkering ervaren.

Afsluiting kopse zijden

Ook is een variantenstudie uitgevoerd naar het afsluiten van de kopse kanten. Hieruit is gebleken dat freezing vanuit de tunnelbuizen mogelijk is. Vervolgens worden een aantal tunnelsegmenten afgebroken en wordt er een diepwand doorheen geplaatst. Echter, is de technische haalbaarheid van deze variant onzeker omdat er door een groot ijslichaam heen moet worden gefreesd. Ook moet de tunnel zo afgebroken worden dat het niet zijn huidige vorm verliest. Daarnaast is het toepassen van freezing erg kostbaar en is er in dit onderzoek niet bekeken hoe dik het vrieslichaam dient te zijn. Wel heeft de toepassing zich eerder bewezen bij het realiseren van het nieuwe metrostation te Rotterdam. Ook hier diende een alternatief gevonden te worden om de zijde waar geen diepwand gemaakt kon worden af te sluiten. Hierbij is een vrieswand van 2,5 meter dik toegepast en is deze bijna 2 jaar in stand gehouden (COB, n.d.).

Uitwerking ontwerp

De optimalisatie van de diepwandwapening is nu erg globaal gebeurt, door aan de hand van de momenten en dwarskrachtenlijn de lengte van de staven te bepalen. Een verdere optimalisatie kan plaatsvinden door middel van berekeningen te bepalen over welke lengtes de wapening gereduceerd kan worden. Voor zowel de grondzijde als de station zijde.

Het aanleggen van een metrostation in binnenstedelijk gebied kent enorm veel raakvlakken. Wanneer het midden in het centrum wordt aangelegd, zoals binnen dit onderzoek het geval is, wordt vanzelfsprekend gekeken naar aanlegmethoden die het leven bovengronds zo ongestoord mogelijk door laten gaan. Gezien de omstandigheden lijken de vastgestelde voorkeursvarianten dit na te leven en worden ze als de meest gunstige ervaren.

7

AANBEVELINGEN

Binnen dit onderzoek is onderzocht hoe de meest optimale geometrie van een metrostation kan worden bepaald, welke grondkeringen benodigd zijn en hoe het station op de bestaande tunnel kan worden aangesloten. In dit hoofdstuk worden aanbevelingen gegeven voor het gebruik van de gegevens en voor nader onderzoek.

In eerste instantie wordt er aanbevolen om de wanden-dak methode in combinatie met een diepwand toe te passen, waarbij de diepwanden worden gebruikt voor de langs wanden. Om de kopzijden af te sluiten en aan te laten sluiten op de bestaande metrotunnel, kan freezing worden toegepast. De grond rondom de tunnel wordt bevroren, zodat de buis plaatselijk kan worden afgebroken zonder de toetreding van water en grond. Vervolgens kan er door de buis heen een diepwand worden aangebracht.

Geometrisch ontwerp

Uit de geometrie is gebleken dat het bovenaanzicht van het station rechthoekig is en de langs wanden erg dicht langs de bebouwing liggen. Mogelijk is deze afstand te klein om de diepwanden aan te brengen. Het grondplan kan verder geoptimaliseerd worden door geknikte diepwanden toe te passen en in te passen in de Turnhoutsebaan.

Bouwmethodiek

Wanneer een diepgelegen metrostation in een binnenstedelijk gebied wordt aangebracht, wordt er aanbevolen om de wanden-dak methode in combinatie met diepwanden toe te passen en deze te bevestigen in de boomse klei. De boomse klei fungeert als een water afsluitende laag van het station. Wanneer een dergelijke slecht waterdoorlatende laag niet aanwezig is dient een water afsluitende constructie toegepast te worden.

Afsluiting kopse zijden

De kopafsluiting is in dit onderzoek onderzocht, echter dient hier nog aanvullend onderzoek plaats te vinden naar de haalbaarheid van de variant. Het is een cruciaal aspect om de aansluiting van het nieuwe station op de bestaande buis goed uit te voeren om lekkages te voorkomen.

Voor de kopafsluiting is er een variant gekozen op basis van de beoordeling van de criteria. Onder de variant valt het plaatselijk afbreken van de tunnelbuis om er vervolgens een diepwand doorheen te plaatsen. Er is niet onderzocht wat deze plaatselijke sloop voor gevolgen heeft voor de huidige tunnel. Mogelijk kan deze gaan ovaliseren en is er een hulpconstructie benodigd om de tunnel intact te houden. Aanvullend onderzoek dient plaats te vinden om te achterhalen in welke mate het ovaliseren plaatsvindt en wat voor hulpconstructie hiervoor benodigd is. Het ovaliseren kan overigens ook plaatsvinden wanneer de ontgravingen van het station worden uitgevoerd.

Uitwerking ontwerp

Uit de berekeningen van D-sheet bleken er stempels benodigd te zijn om de ontgravingen tot het onderste niveau uit te kunnen voeren. De stempels dienen nader ontworpen te worden om te bepalen welke dikte en wapening benodigd is om de optredende krachten op te kunnen nemen.

Aan de hand van de berekeningen zijn er tekeningen opgesteld die omschreven zijn als het definitieve ontwerp. Deze tekeningen dienen verder uitgewerkt te worden tot een uitvoeringsontwerp voordat het station gerealiseerd kan worden. Daarnaast zijn er aanvullende tekeningen nodig van de diepwand hoekpanelen. Hier verschilt het formaat van de wapeningskorf van de overige korven.

8

BIBLIOGRAFIE

Baarda, B. (2014). *Dit is onderzoek.* Groningen/Houten: Noordhoff uitgevers.

bigdco. (sd). *frac pit construction.* Opgehaald van http://www.bigdco.com/construction/frac-pit-construction

Blanckaert, K. (1979). *Ondegrondse bouwwijzen* . Antwerpen.

Bodembouw. (sd). *cutter soil mixing*. Opgehaald van bodembouw: https://www.bodembouw.nl/nl/cutter-soil-mixing

Bosch, P. i., Arends, i. G., & Boere, d. i. (2011). *Use of Underground Space.* Delft: Faculty of Civil Engineering and Geosciences TU Delft.

Braam, d. i., & Lagendijk, i. P. (2008). *Constructieleer Gewapend Beton.* 's-Hertogenbosch: Cement&BetonCentrum.

Castelyns, S. (2017, april 18). *Regio Antwerpen*. Opgehaald van hln.be: https://www.hln.be/regio/antwerpen/tram-10-gaat-vandaag-reuzenpijp-in~abd1030a/

COB. (2017). *Handboek Tunnelbouw.* COB Kennisbank. Opgehaald van http://www.handboektunnelbouw.nl/home/introductie/

COB. (sd). *Over ondergronds bouwen*. Opgehaald van cob: https://www.cob.nl/over-ondergronds-bouwen/voorbeeldprojecten/rotterdam-stationsgebied/

Cormont, H. (sd). Tijdelijke voetgangersbrug over de bouwput van de spoortunnel nabij de Hoogstraat in Rotterdam. *beeldarchief.* RWS, Rotterdam. Opgehaald van https://beeldbank.rws.nl, Rijkswaterstaat / Henri Cormont

Databank Ondergrond Vlaanderen. (2015). Bodemverkenner. Antwerpen, Antwerpen, België. Opgeroepen op 1 26, 2018, van https://www.dov.vlaanderen.be/portaal/?module=public-bodemverkenner#ModulePage

ESV Euridice. (sd). *Boomse Klei.* Opgehaald van euridice: http://www.euridice.be/sites/default/files/editor/NL%20Fiche%20Boomse%20klei%20100dpi.pdf

Franki-grondtechnieken. (sd). *retaining walls*. Opgeroepen op April 17, 2018, van franki-grondtechnieken: http://www.franki-grondtechnieken.nl/Business-Units/Retaining-Walls---Utilities/Mixed-in-place-wand.aspx

Gemeente Amsterdam. (sd). *Noord/Zuidlijn*. Opgehaald van Amsterdam: https://www.amsterdam.nl/noordzuidlijn/technieken/caissonmethode/

Gemeente Ten Boer. (2013, mei 1). Opgehaald van decentrale.regelgeving.overheid: http://decentrale.regelgeving.overheid.nl/cvdr/xhtmloutput/historie/Ten%20Boer/291414/291414_1.html

Gijt, J. d., & Broeken, M. (2014). *Quay Walls.* Rotterdam: CRS Press/Balkema.

Krul, A. (2017, augustus 22). *Scriptiestructuur*. Opgehaald van scribbrr: https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/theoretisch-kader-van-scriptie/

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (sd). *Verboden toepassen asbest*. Opgeroepen op 1 26, 2018, van infomil: https://www.infomil.nl/vaste-onderdelen/uitgebreid-zoeken/@113933/wanneer-toepassen/

Nohl, W. A., Lange, G. d., & Lurvink, M. (2011, Oktober). *artikelen.* Opgehaald van vakbladgeotechniek: https://www.vakbladgeotechniek.nl/sites/default/files/pdf/archief/artikelen/Geotechniek.okt2011_NEN-EN-ISO14688.pdf

nstt. (sd). *aanleg*. Opgehaald van nstt: http://www.nstt.nl/kenniscentrum/technieken/aanleg/open-frontboringen

Powers, J. P., Corwin, A. B., Schmall, P. C., & Kaeck, W. E. (2007). *Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications, Third Edition.* Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

sbrcurnet. (sd). *programma van eisen*. Opgehaald van sbrcurnet: http://www.sbrcurnet.nl/producten/publicaties/houten-afwerkvloeren/1-programma-van-eisen

Schwandl, R. (2017, September 16). *Antwerpen*. Opgehaald van urbanrail: http://www.urbanrail.net/eu/be/ant/antwerpen.htm

Stad Antwerpen. (sd). *maps*. Opgehaald van antwerpen: https://www.antwerpen.be/nl/home

Stichting COB. (2012). '*F530-ER-12-49785*' *Aanbevelingen voor het ontwerp van bouwkuipen in binnenstedelijk omgeving.* Gouda: COB - Nederlands kenniscentrum vor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik.

Stichting CUR. (2010). *Handboek diepwanden - Ontwerp en uitvoering.* Gouda: Stichting CURNET.

Stichting PostAcademisch Onderwijs. (2011, Februari). Damwandconstructies en bouwputten. Delft, Zuid Holland, Nederland.

ToornendPartners. (2017, december 30). *Doel van het programma van eisen*. Opgehaald van programmavaneisen: http://www.programmavaneisen.com/contact-programma-van-eisen/

Volker Staal en Funderingen. (sd). *boorpalenwand*. Opgehaald van vsf: https://www.vsf.nl/nl/funderingen/wanden/boorpalenwanden

Volker Staal en Funderingen. (sd). *Funderingen*. Opgehaald van vsf: https://www.vsf.nl/nl/funderingen/caissons-en-luchtdruktechnieken/open-caissons-afzinken

VolkerStaal en Funderingen. (sd). *Boorpalenwanden*. Opgehaald van vsf: https://www.vsf.nl/nl/funderingen/wanden/boorpalenwanden

Wittemans, i. A., & Aerts, i. L. (1979). *Ondergronds bouwen van tunnels en stations te Antwerpen.* Antwerpen: MIVA.

Witteveen+Bos. (2016, September 15). *Missie en Visie*. Opgehaald van witteveenbos: http://www.witteveenbos.nl/nl/missie-en-visie

Appendix

Appendix A - Tekeningen de Lijn
Appendix B - Vormgeving station
Appendix C - Bodemopbouw
Appendix D - Programma van eisen
Appendix E - Variantenstudie
Appendix F - Berekeningsrapport
Appendix G - Definitief Ontwerp

A

TEKENINGEN DE LIJN

B

VORMGEVING STATION

C

BODEMOPBOUW

D

PROGRAMMA VAN EISEN

E

VARIANTENSTUDIE

F

BEREKENINGSRAPPORT

G

DEFINITIEF ONTWERP