



### Samenvatting:

De Noord-Zuidverbinding  
Antwerpen-Amsterdam  
Aanloophelling voor tunnel onder  
het station Antwerpen Centraal

De Noord-Zuidverbinding tussen Brussel en Amsterdam heeft een eerste tussenstop in Antwerpen. Hiervoor wordt ter hoogte van het station Antwerpen Centraal een tunnel onder het bestaande station aangelegd. De hoge snelheidstrein en al het andere internationaal transport wordt dan verder geleid doorheen een boortunnel onder de stad Antwerpen om dan terug aan de oppervlakte te komen ter hoogte van Antwerpen Dam (zie figuur 1).

De Noord-Zuidverbinding wordt uitgevoerd in verschillende projecten, elk met een specifieke fasering. Hier gaan we nader in op het project tussen het station van Berchem en het Station Antwerpen Centraal. Dit deel van de tunnel wordt aangelegd volgens de cut en cover methode.

# DE NOORD-ZUIDVERBINDING

## ANTWERPEN-AMSTERDAM

### AANLOOPHELLING VOOR

## TUNNEL ONDER HET STATION

## ANTWERPEN CENTRAAL

- ir W. Maekelberg, projectingenieur, TUC Rail n.v.
- ir J. Maertens, Raadgevend Ingenieur, Jan Maertens B.V.B.A.

### Inleiding

De plannen voor de bouw van de tunnel onder het station Antwerpen Centraal werden reeds 30 jaar terug gemaakt.

Momenteel is het station Antwerpen Centraal een kopstation. Zo moeten alle treinen van het zuiden die via het station van Berchem het station Antwerpen Centraal binnen rijden, via hetzelfde spoor hun weg verder zetten naar het Noorden. Hiervoor nemen deze treinen net voor het station van Berchem het ringspoor rond Antwerpen (zie figuur 2).

Deze beperking komt zeker niet ten goede aan de verwerkingscapaciteit van het Station Antwerpen Centraal en maakt dat de flexibiliteit van het treinverkeer tussen het noorden en het zuiden zeer beperkt is.

Om hieraan te verhelpen wordt het station Antwerpen Centraal uitgebreid met twee ondergrondse niveaus met telkens 4 sporen (zie figuur 2).

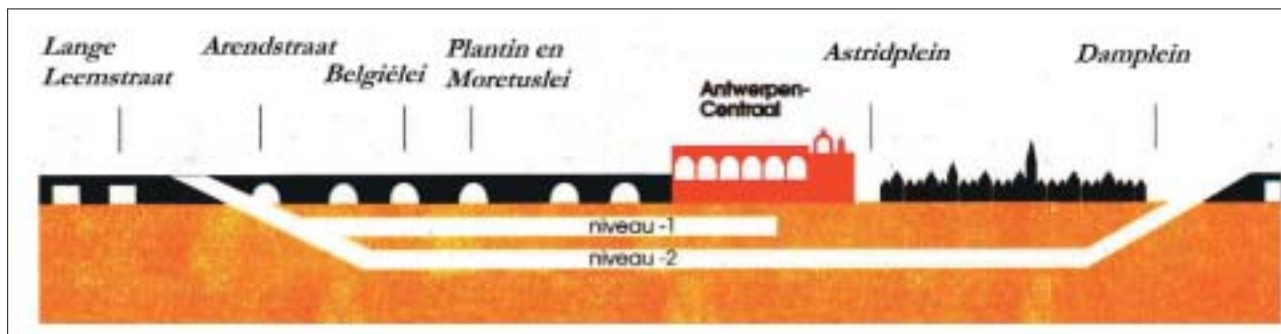
De sporen op het onderste niveau leiden via een geboorde tunnel onder de stad naar het Noorden. De tunnel onder de stad Antwerpen verbindt het station Antwerpen Centraal met de Noordelijke tak van het ringspoor ter hoogte van het Damplein en heeft een totale lengte van ca. 3500m. (zie figuur 3)

Het totale tracé is onderverdeeld in 4 verschillende zones, zone Berchem, zone Antwerpen Centraal, zone Antwerpen Stad en zone Antwerpen Dam. Binnen elke zone wordt de tunnel aangelegd volgens een specifieke uitvoeringsmethode. In dit artikel wordt ingegaan op de uitvoering van de zone Berchem, zuidelijk van het station Antwerpen Centraal.

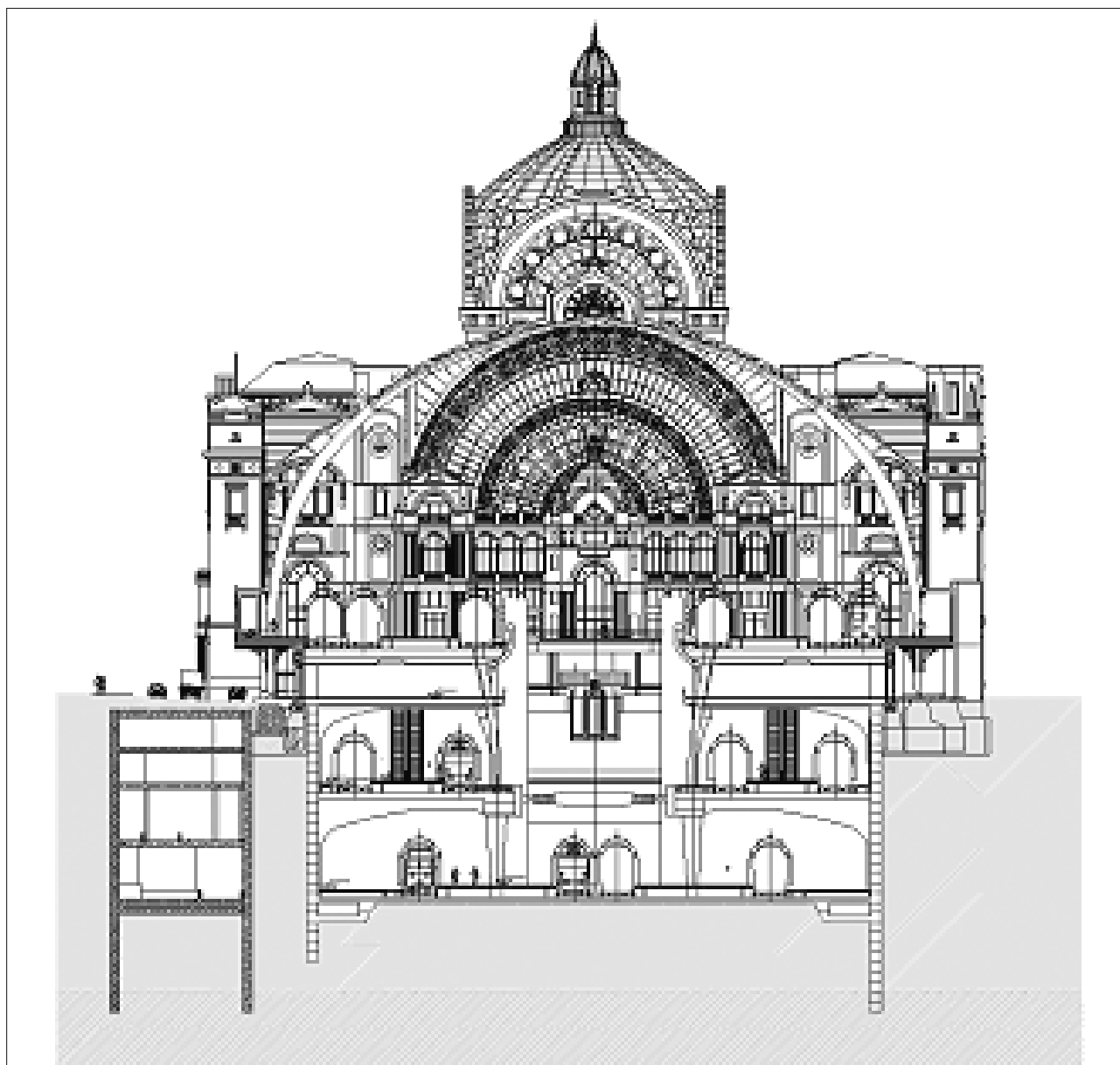
### Geologie in Antwerpen

De ondergrond in Antwerpen is opgebouwd uit kwartaire toplagen, tertiare zanden en een tertiare kleilaag (Boomse Klei).

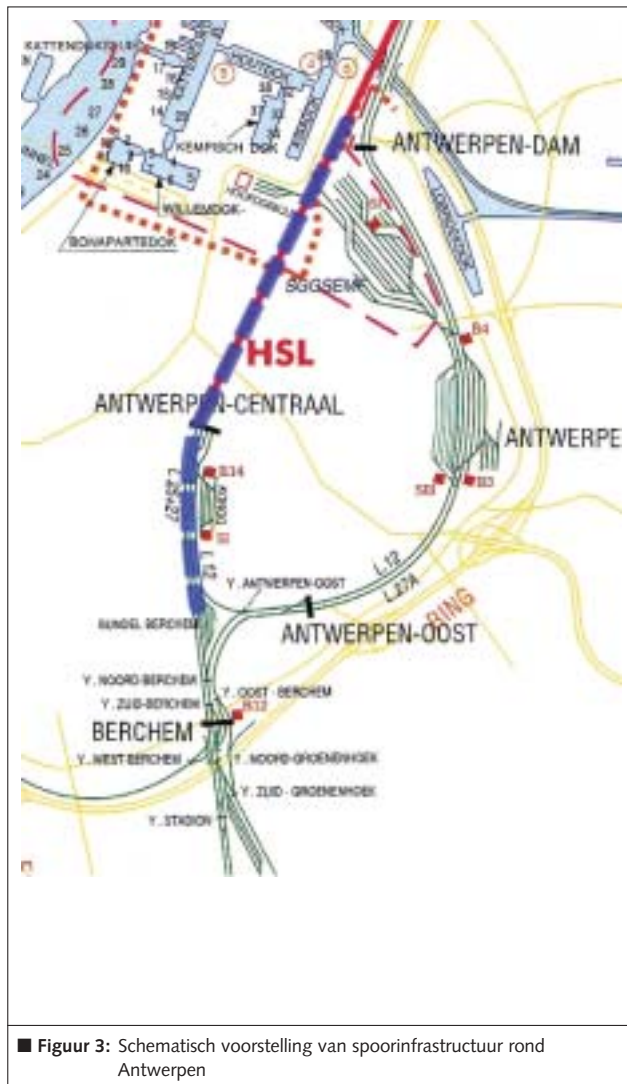
In figuur 4 wordt een typische sondering weergegeven. Op deze sondering is tevens de geologische benaming van de verschillende lagen opgenomen.



■ **Figuur 1:** Schematische voorstelling van de tunnel onder de stad Antwerpen ( $L_{\text{totaal}} = \text{ca.}3500\text{m}$ )



■ **Figuur 2:** Ondergrondse uitbreiding van het station Antwerpen Centraal



### Randvoorwaarden en fasering voor de uit te voeren werken

Het huidige spoorverkeer tussen het station van Berchem en het station Antwerpen Centraal verloopt over een spoorwegberm. Deze spoorwegberm bevat verschillende onderdoorgangen die een ongelijkgrondse kruising voor het wegverkeer toelaten (zie figuur 1). De toegangshelling en de tunnel tussen beide stations wordt uitgevoerd onder deze spoorwegberm.

Bij het ontwerp van de toegangshelling en de tunnel werden verschillende randvoorwaarden opgelegd:

- Zowel de muren van de spoorwegberm als de onderdoorgangen zijn geklasseerde monumenten die behouden moeten worden. Elk van deze structurele elementen dient dus ondervangen te worden om de bouw van de tunnel onder deze spoorwegberm toe te laten.
- Gedurende de werken dient het station van

Antwerpen centraal evenals het naastgelegen metrostation in dienst te blijven. De metrotunnel is gelegen onder het straatniveau en juist naast de spoorwegberm.

- De onderdoorgangen ter hoogte van de Belgiëlei en de Plantin Moretuslei (zie figuur 1) dienen deels in dienst te blijven voor het wegverkeer. Hiervoor werden de nodige faseringen opgelegd en wegomleggingen aangebracht.
- De tunnel kan enkel tussen en onder de spoorwegberm aangelegd worden. Deze heeft een veranderlijke breedte zodat verschillende type oplossingen dienden te worden uitgewerkt naargelang de beschikbare breedte van de spoorwegberm en het nodige vrije ruimteprofiel voor het spoorverkeer.

De tunnel wordt gerealiseerd met behulp van de cut and cover methode. Het gehele project wordt in verschillende fasen uitgevoerd.

In een eerste en een tweede fase wordt de dakplaat van de tunnel gemaakt waarbij telkens aan één zijde van de spoorwegberm gewerkt wordt, terwijl op de andere zijde het treinverkeer in dienst blijft. In beide fasen wordt tevens de ondervanging van de verschillende onderdoorgangen en muren van de spoorwegberm gerealiseerd.

In een laatste fase worden de wanden van de tunnel verder verdiept en wordt de tunnel uitgegraven waarbij de vloerplaat, de verschillende tussenverdiepingen en de wanden van de tunnel volledig ondergronds kunnen uitgevoerd worden. Deze werken worden dan uitgevoerd onder de reeds gerealiseerde dakplaat van de tunnel waarop het treinverkeer in dienst is.

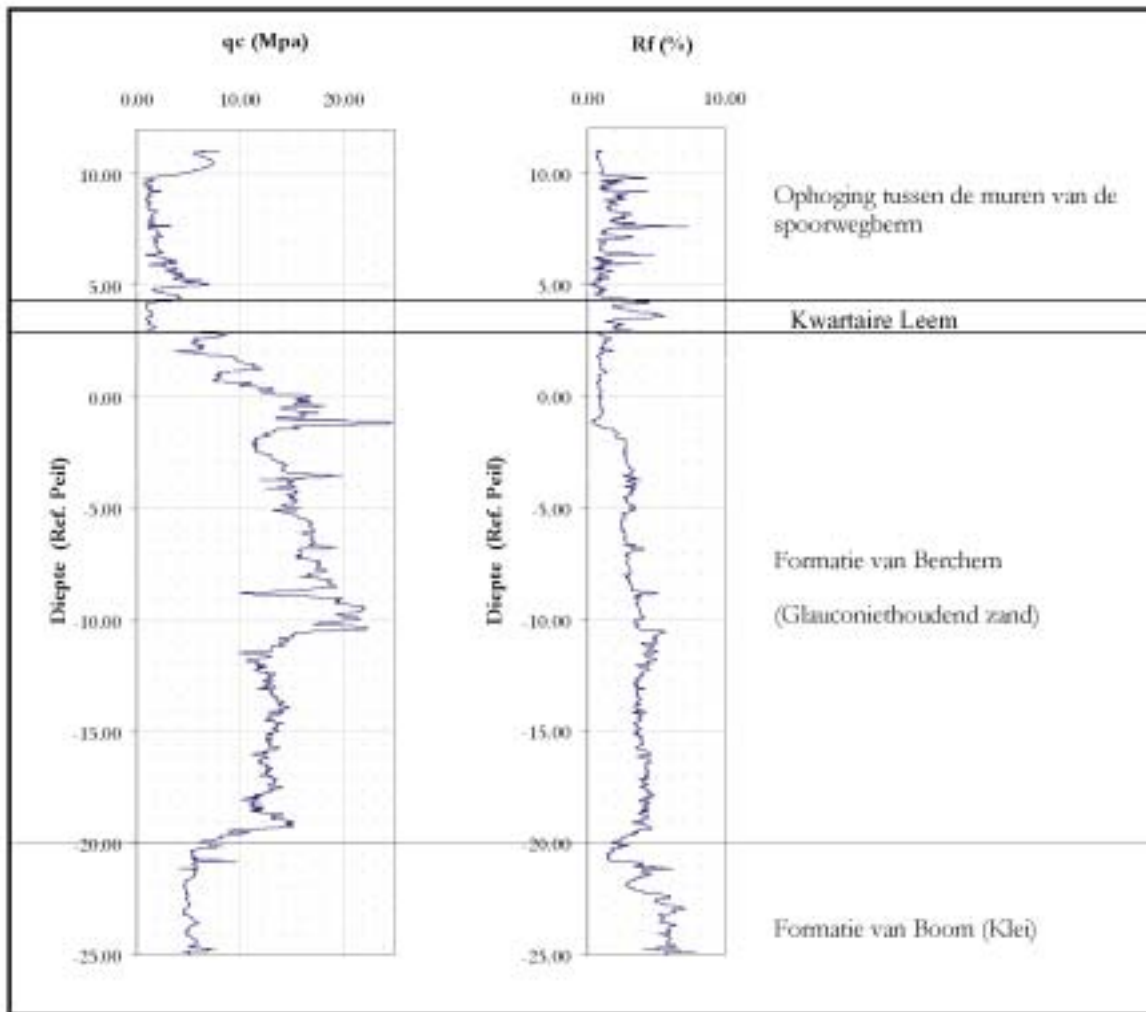
### Werken in de eerste en tweede fase

#### Scheiding tussen beide uitvoeringsfasen

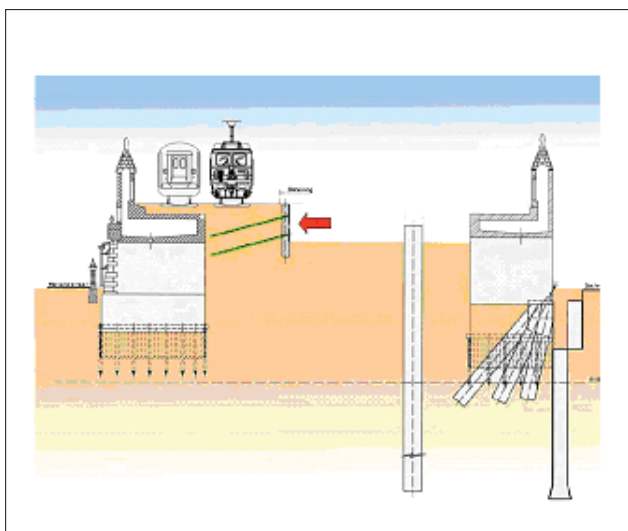
Gelet op de beperkte breedte van de spoorwegberm en aangezien gedurende de werken het spoor aan de ene zijde van spoorwegberm in dienst blijft en aan de andere zijde de werken in uitvoering zijn, is in de eerste uitvoeringsfase een scheidende wand over de volledige lengte van de spoorwegberm voorzien.

Deze is uitgevoerd in de vorm van een vernagelde wand (zie figuur 5a) en heeft over het algemeen een te keren hoogte van 4m. Enkel ter hoogte van de onderdoorgangen is een diepere beschoeiing gerealiseerd. De maximaal te keren grondhoogte is daar ongeveer 10m.

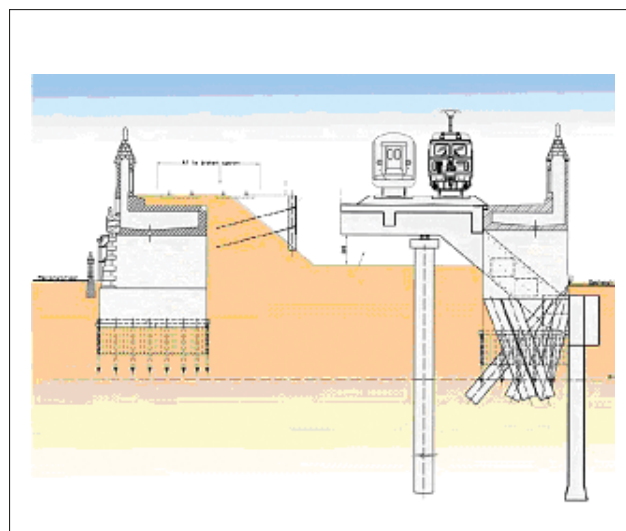
De vernagelde wand is verticaal uitgevoerd op een minimale afstand van het spoor in dienst. Om in de verschillende uitgravingfasen van de vernageling de stabiliteit van het spoor te garanderen, zijn voorafgaandelijk groutkolommen aangebracht volgens de jetgrouting methode (mono-jet) en met een tussenafstand h.o.h. van 1m. De kolommen zijn uitgevoerd met een diameter van 0,50m.



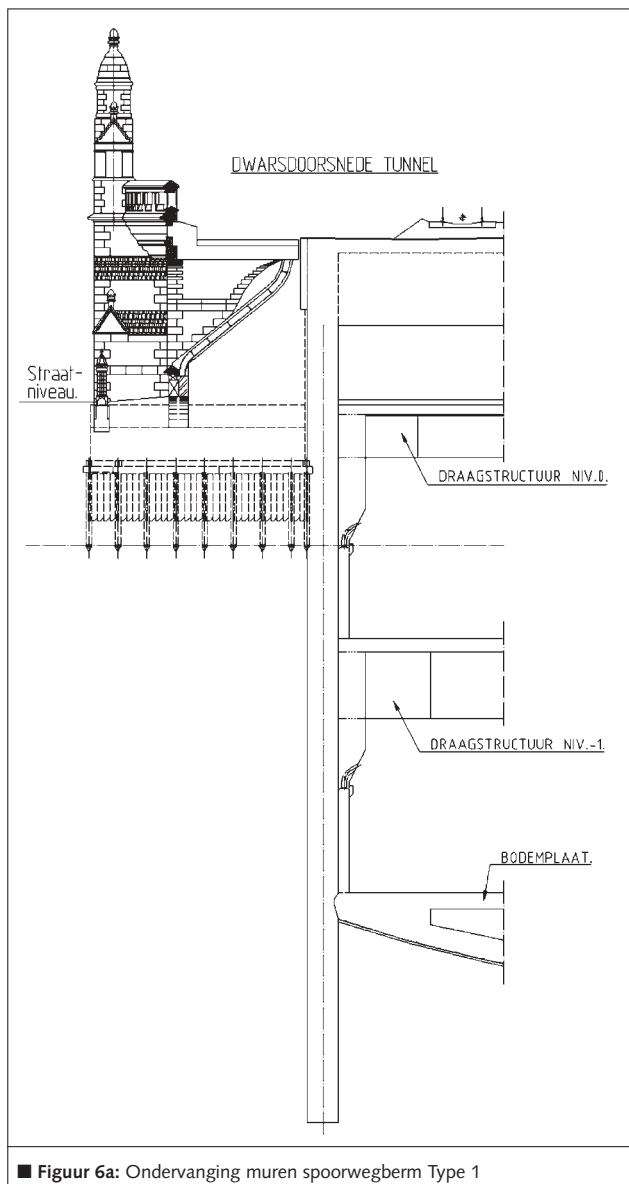
■ Figuur 4: Grondmechanische gegevens



■ Figuur 5a: Situatie gedurende uitvoeringsfase 1



■ Figuur 5b: Situatie gedurende uitvoeringsfase 2



■ **Figuur 6a:** Ondervanging muren spoorwegberm Type 1

Na het uitgraven en het plaatsen van het spuitbeton in de verschillende uitgravingfasen worden de nagels met zelfborende stangen (Type Ischebeck/Mai-Ibo)\*1 uitgevoerd. De nagels zijn geplaatst onder een helling van 20° en worden volledig aangebracht in de aanvulling tussen de steunmuren van de spoorwegberm. De lengte van de nagels werd in de meeste gevallen beperkt door de afstand tot de steunmuur (zie *figuur 5a*). Al naargelang de te keren hoogte werd gewerkt met 2 tot 6 uitgravingfasen.

In de eerste uitvoeringsfase werd de trekkracht van de nagels gecontroleerd aan de hand van een groot aantal trekproeven. De resultaten van deze trekproeven zijn uitvoerig besproken in [1].

Bij de tweede uitvoeringsfase is het spoor in dienst verplaatst op de reeds gerealiseerde dakplaat uit de eerste uitvoeringsfase. Tijdens de werken in de tweede fase wordt

de vernagelde wand afgebroken zoals aangegeven in *figuur 5b*.

Bij het afbreken van deze wand werden een aantal nagels met de hand vrijgegraven en werden de diameters van de nagels nagemeten over hun volledige lengte. Aan de hand van deze meetgegevens kon het vastgestelde gedrag van de nagels beter begrepen worden en werd het belang van de naïnjectie op deze nagels duidelijk.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de opmetingen en vaststellingen wordt verwezen naar [1].

### De ondervanging van de muren van de spoorwegberm

De bestaande muur van de spoorwegberm omvat verschillende torentjes. Tussen deze torentjes is op twee niveaus een gemetseld gewelf aangebracht.

Een eerste niveau situeert zich onder het straatpeil, terwijl het tweede gewelf aangebracht is aan de bovenzijde.

Tussen beide gewelven is de ruimte dicht gemaakt met behulp van een schuine plaat die aan de gewelven hangt (zie *figuur 6b*). De torentjes op zich zijn gefundeerd op staal.

Naargelang de breedte van de spoorwegberm en het nodige vrije ruimteprofiel voor het treinverkeer worden twee type snedes gerealiseerd.

- Daar waar de spoorwegberm voldoende breed is, worden de wanden van de tunnel uitgevoerd in slibwanden (diepwanden) die uitgevoerd worden tot op het definitieve aanzetpeil. (zie *figuur 6a*) Het definitieve aanzetpeil is berekend zodat een volledige uitgraving van de tunnel tot op het niveau van de vloerplaat mogelijk is. De diepwanden worden uitgevoerd tot 2m in de tertiaire kleilaag (Boomse klei). Deze laag zorgt voor een goede afdichting wat ten goede komt aan de grondwaterverlaging in de verdere fasen van de werken.

De dakplaat wordt op de klassieke manier bevestigd met deze wanden.

- Daar waar de spoorwegberm het smalste is, wordt getracht om de volledige breedte onder de spoorwegberm te benutten. (zie *figuur 6b en c*) Hiervoor worden de bestaande muren van de spoorwegberm ondervangen met beschoeide sleuven \*2. Het aanzetpeil van de beschoeide sleuven wordt bepaald door de nodige diepte voor de wanden van de tunnel. Daar waar deze diepte te groot is wordt omwille van de veiligheid tijdens de uitvoering de diepte van de beschoeide sleuf beperkt tot 15m. In de derde fase worden dan naast de beschoeide sleuven slibwanden uitgevoerd vanuit de tunnel.

De beschoeide sleuven worden opgebetonneerd tot onder het onderste gewelf zodat dit kan doorbroken worden ter plaatse van de geboorten. Na het doorbreken van dit gewelf wordt langs beide zijden van de

torentjes balken gegoten die met spanstaven doorheen de torens deze torens klemmen. Beide balken worden doorheen de opening in het onderste gewelf verbonden met de beschoeide sleuf. Aan de bovenzijde worden de balken verbonden met het balkenrooster van de dakplaat.

In de uitvoeringsfase 1 en 2 wordt telkens een deel van de dakplaat uitgevoerd. De verbinding tussen beide delen wordt gerealiseerd met behulp van schroefmoffen voor de wapening. Daar waar nodig worden de dwarsbalken in de dakplaat tevens nagespannen. De totale overspanning van de dakplaat varieert tussen 26m en 36m.

Omwillen van de gefaseerde uitvoering wordt de dakplaat tijdelijk ondersteund door middel van boorpalen. Om de zettingen van deze boorpalen tijdens het graven van de tunnel te compenseren, zijn tussen de paalkoppen en de balken van de dakplaat vijzels voorzien zodat het niveau van de dakplaat op ieder moment kan behouden worden. Om het gedrag van de boorpalen op het moment van de diepste uitgraving van de tunnel zo goed mogelijk te kunnen inschatten, zijn twee proefpalen op ware grootte en diepte uitgevoerd. De proeflast is aangebracht m.b.v. ingebetoneerde vijzels. De vijzels waren voorzien op twee niveaus onder het diepste uitgravingspeil van de tunnel (zie *figuur 7*) en hadden per vijzelniveau een totale drukcapaciteit groter dan 1000ton.

Met het onderste vijzelniveau is het puntdraagvermogen gecontroleerd, terwijl met het hoogste vijzelniveau het schachtdraagvermogen van het deel van de boorpaal tussen beide vijzelgroepen gecontroleerd is. Het bovenste deel van de paal doet gedurende de volledige proef dienst als reactie-deel. De verplaatsingen van de verschillende paaldelen gedurende de proeven zijn opgemeten met behulp van meetstangen die verankerd werden in de respectievelijke paaldelen en die doorgevoerd werden tot aan de paalkop waar de metingen gebeurden. De resultaten van deze proeven zijn nog niet verwerkt in een publicatie.

### **De ondervanging van de onderdoorgang – Arendstraat en Provinciestraat**

Ter hoogte van de Arendstraat en de Provinciestraat is momenteel een onderdoorgang voor wegverkeer.

Tussen beide muren van de spoorwegberm wordt het bestaande metselgewelf vervangen door een betonnen koker waarbij de dagvlakken van het gemetselde gewelf behouden worden. De betonnen koker wordt gefundeerd op een balkenrooster en boorpalen. De fundering van de torens aan beide zijden van het gewelf worden ondervangen m.b.v. beschoeide sleuven.

Aangezien de onderdoorgang ter hoogte van de Arendstraat te dicht bij het begin van de tunnel gelegen is, is er onvoldoende vrije hoogte onder de bestaande wegkoffer om de passage van het treinverkeer in de tunnel toe te laten.

Hiervoor wordt de bestaande onderdoorgang omgevormd tot een voetgangerstunnel zoals dit weergegeven is in *figuur 8*.

Ter hoogte van de Provinciestraat is er voldoende vrije hoogte om na de werken de onderdoorgang te behouden voor het wegverkeer.

### **De ondervanging van de onderdoorgangen – Belgiëlei en Plantin-Moretuslei**

De onderdoorgangen ter hoogte van de Belgiëlei (een stalen driescharniersboog) en de Plantin-Moretuslei (een gewelf) worden beiden volgens hetzelfde principe ondervangen.

In eerste instantie wordt de fundering van de landhoofden ondervangen met tijdelijke jetgroutkolommen die in elkaar verankerd zijn tot groutschermen (zie *figuur 9a*). Daarna is achter de landhoofden van de brug een uitgraving tot onder het niveau van de oude fundering van de brug mogelijk.

Voor een gedeelte van het landhoofd werd alleen een lang grout scherm gemaakt onder het front van het landhoofd.

De draagkracht van de groutkolommen werd nagegaan aan de hand van een uitgebreid proefprogramma. De resultaten van dit proefprogramma zijn uitvoerig beschreven in [2].

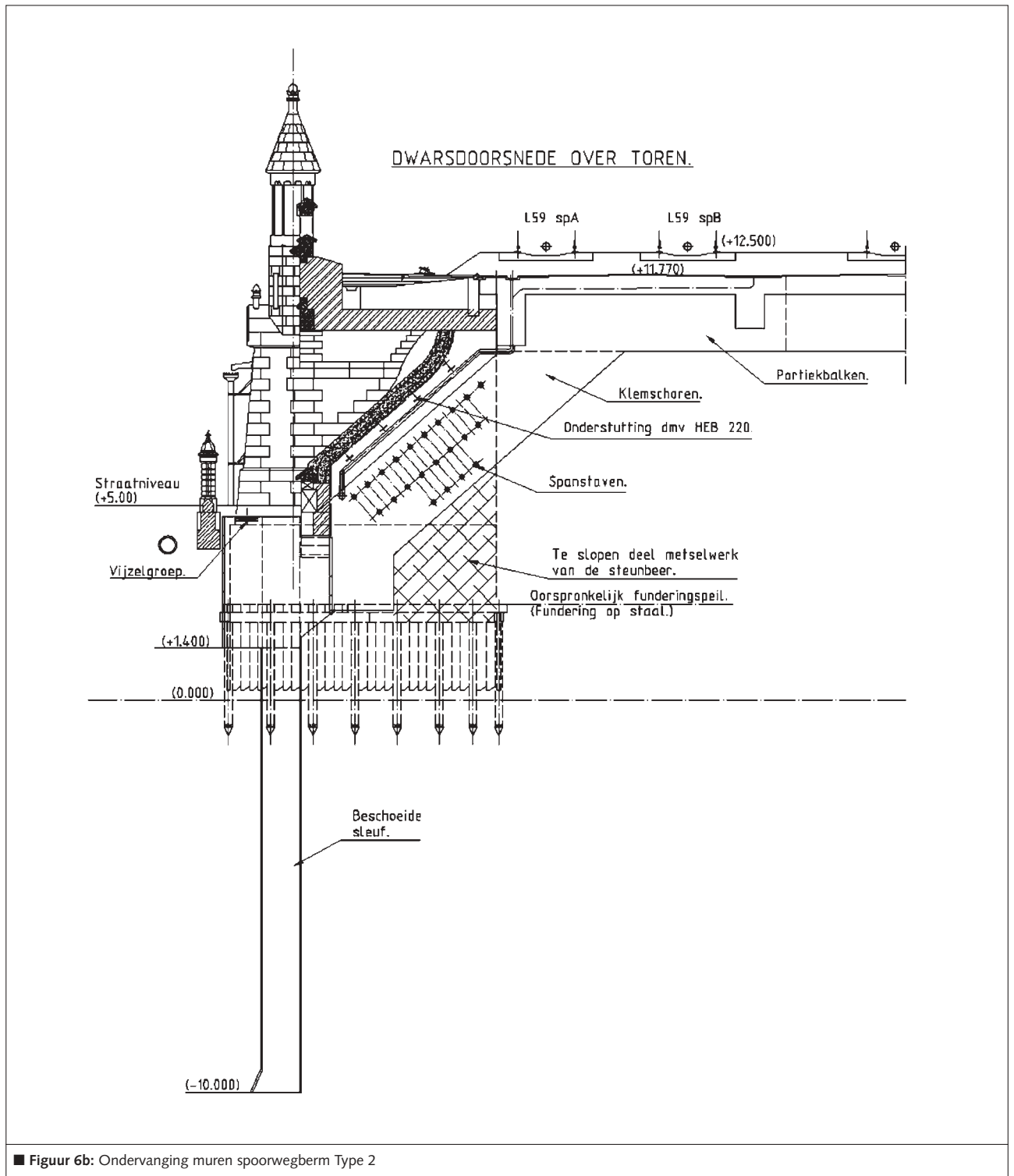
Bij het beproeven van de groutkolommen in situ werd bij twee van de groutkolommen een bezwijken in de kop van de groutkolom vastgesteld. Dit fenomeen werd uitvoerig bestudeerd en beproefd met een belastingsproef in het laboratorium op een uitgegraven groutkolom. De resultaten van deze studie zijn eveneens opgenomen in [2].

Na het aanbrengen van de groutschermen wordt zowel voor als achter ieder landhoofd van de brug de nieuwe fundering gemaakt. Voor de Belgiëlei bestaat deze fundering uit beschoeide sleuven ter plaatse van de zijwanden van de tunnel en uit na-geïnjecteerde boorpalen in het midden voor de tussensteunen. Voor de Plantin Moretuslei is de fundering van de tussensteun een combinatie van micro-palen en beschoeide sleuven.

Om de belasting van de brug over te dragen op de nieuwe fundering wordt naast en onder de oude fundering van de brug een stijve betonconstructie gemaakt. Deze bestaat uit een kokerligger aan de voor- en achterzijde van de landhoofden van de brug die door middel van betonnen balken onder en tussen beide landhoofden met elkaar verbonden zijn.

De kokerliggers aan de voorzijde worden samen met de dakplaat van de tunnel tussen de twee landhoofden gebetonneerd. Om het wegverkeer onder de brug toe te laten, wordt deze dakplaat in twee fasen aangelegd.

Om de bouw van de kokerliggers achter de landhoofden toe te laten, worden de landhoofden van de brug eerst afgestempeld op twee tijdelijke diepwanden om de horizontale component van de spatkracht ingevolge de boogwerking op te nemen (zie *figuur 9b*). Na verder ontgraven achter de landhoofden worden ook daar kokerliggers gemaakt.

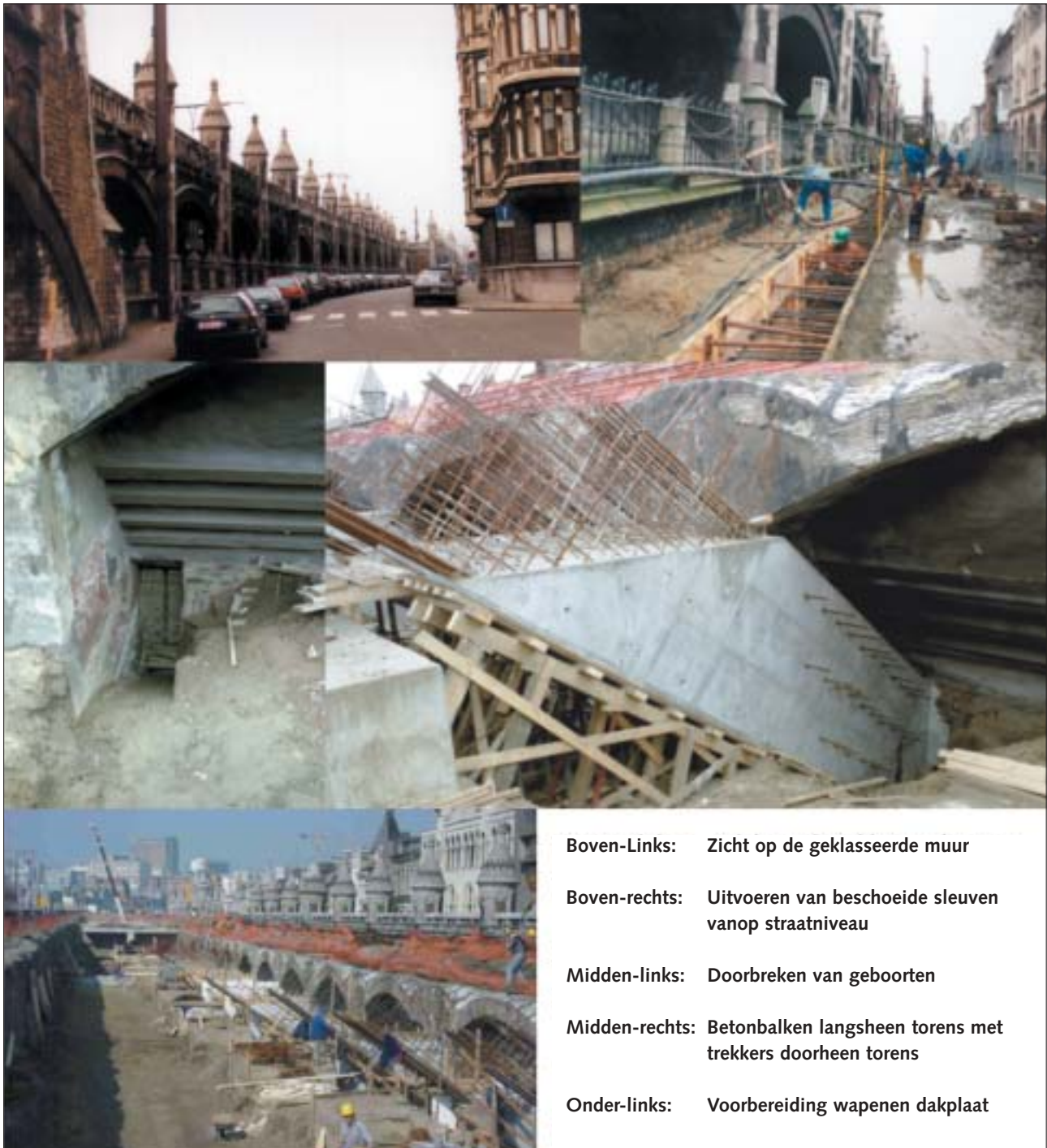


■ **Figuur 6b:** Ondervanging muren spoorwegberm Type 2

Voor het aanbrengen van de balken wordt tussen de eerder gerealiseerde groutschermen een gefaseerde uitgraving onder de oude fundering van de brug uitgevoerd. Tenslotte worden de vier kokerliggers, de dakplaat van de tunnel tussen de landhoofden van de brug en de betonbalken onder de oude fundering van de brug met

elkaar verbonden met behulp van naspanning. Bij het aanbrengen van de naspanning wordt de volledige last van de brug overgebracht op de nieuwe funderingen. Om de zettingen van de bruggen zoveel mogelijk te beperken worden tussen de nieuwe fundering van de brug en de kokerliggers vijzels geplaatst. Samen met het





- Boven-Links:**    Zicht op de geklasseerde muur
- Boven-rechts:**    Uitvoeren van beschoeide sleuven vanop straatniveau
- Midden-links:**    Doorbreken van geboorten
- Midden-rechts:**    Betonbalken langsheen torens met trekkers doorheen torens
- Onder-links:**    Voorbereiding wapenen dakplaat

■ **Figuur 6c:** Ondervanging muren spoorwegberm Type 2

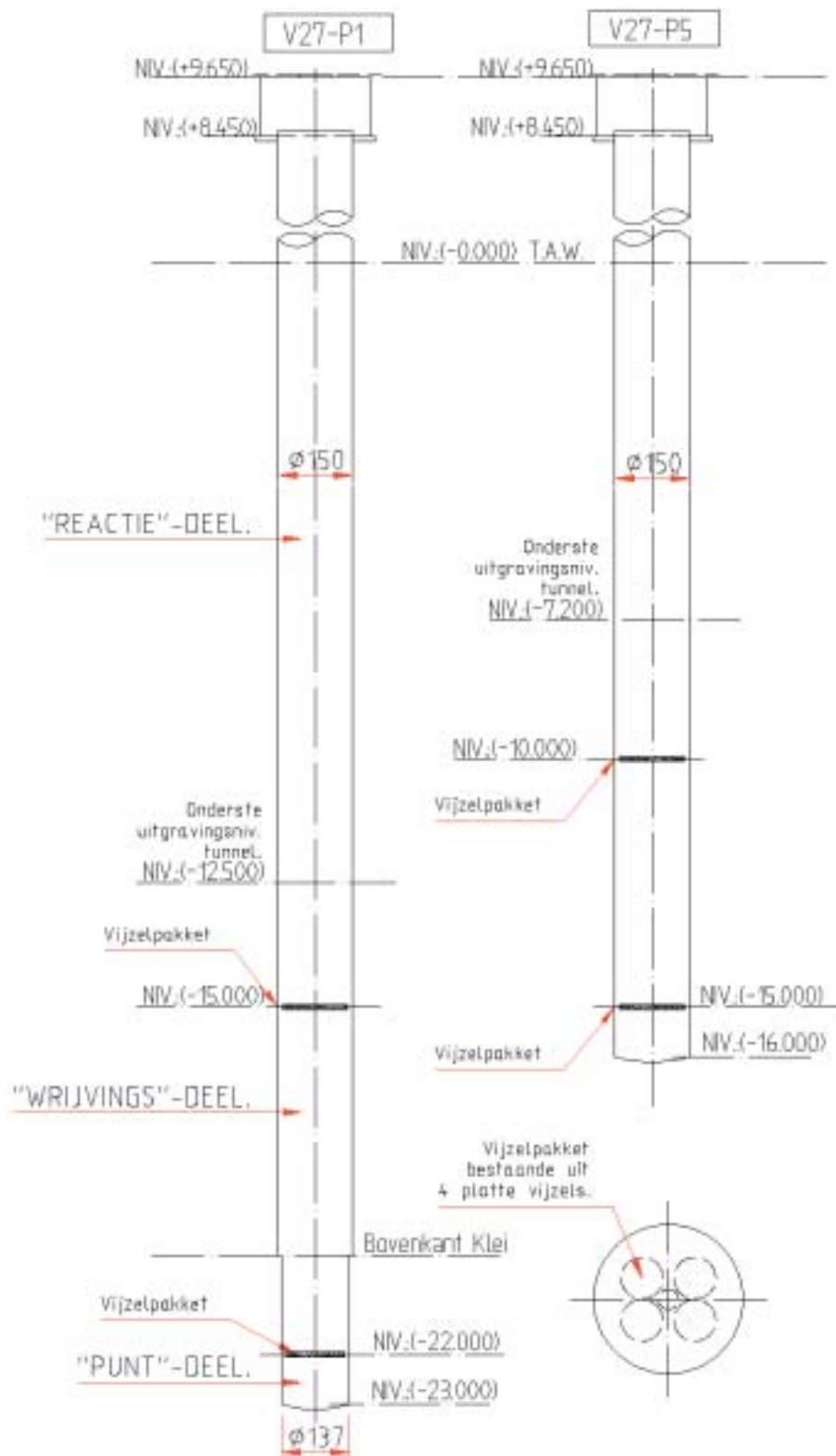
aanbrengen van de naspanning worden deze vijzels onder druk gebracht.

**Werken in de derde fase**

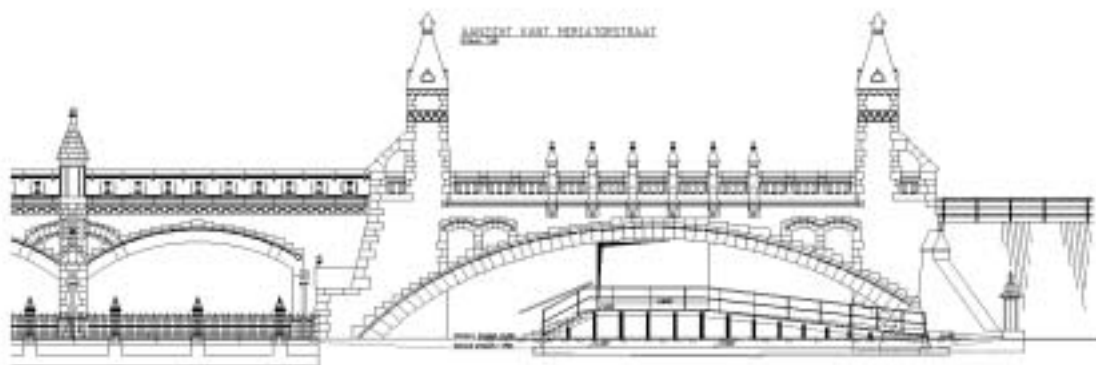
In deze fase van de werken is het treinverkeer in dienst op de reeds gerealiseerde dakplaat van de tunnel en kan onder de dakplaat de tunnel uitgegraven worden. Op verschillende plaatsen zijn openingen voorzien voor het verwijderen

van de grond.

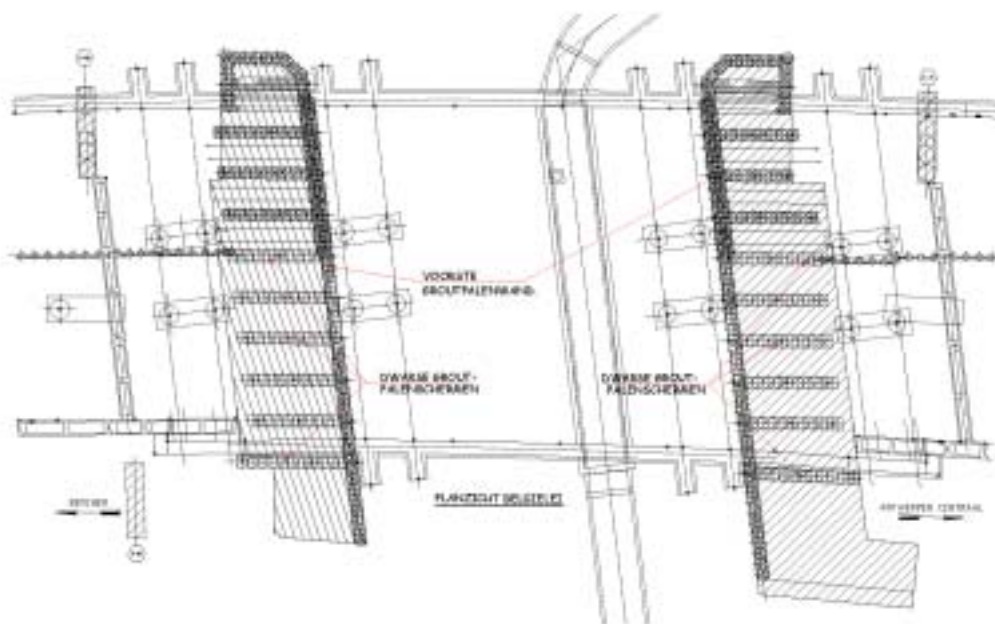
Zoals in paragraaf 3.1.1 reeds vermeld worden daar waar nodig de tunnelwanden verder verdiept met behulp van een slibwand die ter hoogte van de kop in de beschoeide sleuf verankerd wordt. De slibwanden worden uitgevoerd onder een beperkte werkhoopte van maximaal 6m. Gedurende het graven van de tunnel worden eerst de tussenverdiepen van de tunnel uitgevoerd.



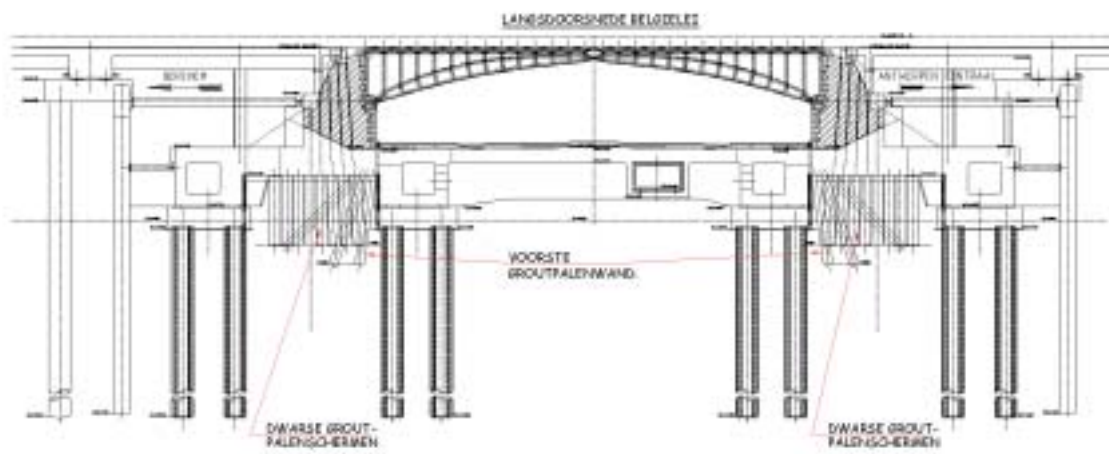
■ **Figuur 7:** Configuratie van de proefboorpalen met ingebetonde vijzels



■ **Figuur 8:** Onderdoorgang ter hoogte van de Arendstraat



■ **Figuur 9a:** Ondervanging van de Beligiëlei (Planzicht)



■ **Figuur 9b:** Ondervanging van de Beligiëlei (Doorsnede)

Deze tussenverdiepen bestaan uit een balkstructuur die tijdelijk opgehangen wordt aan de zijwanden. Het verdiep voor het spoorniveau -1 wordt daarenboven ook nog ondersteund door de tijdelijke boorpalen. De bijkomende ondersteuning van het spoorniveau -1 door de boorpalen is nodig omdat de zijwanden (diepwanden) onvoldoende draagvermogen hebben.

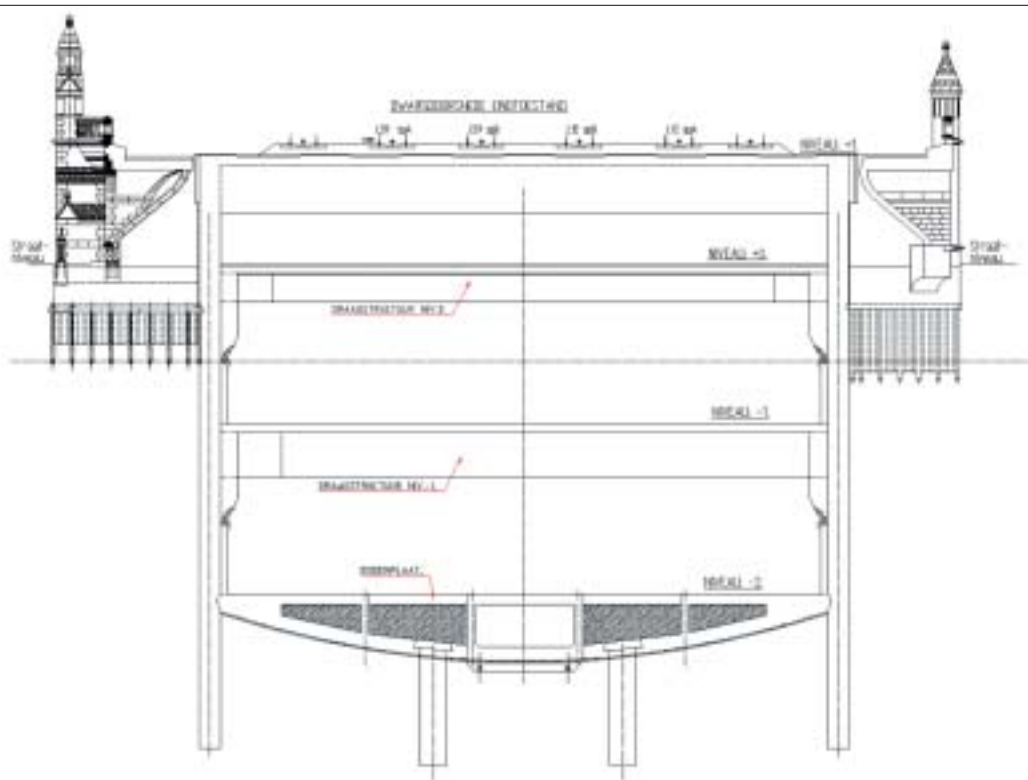
Na het uitgraven van de volledige tunnel wordt de vloerplaat uitgevoerd. Deze vloerplaat is opgevat als een omgekeerde boog zodat deze in de definitieve situatie kan weerstaan aan zweldrukken van de klei en eventuele opwaartse waterdrukken (zie figuur 10). Onder de bodemplaat is een draineerlaag aangebracht via dewelke een permanente drainering plaatsvindt. De bodemplaat wordt wel zodanig gedimensioneerd dat in accidentele gevallen de volledige waterdruk kan opgenomen worden. Na het uitvoeren van de vloerplaat is er voldoende draagkracht aanwezig en worden voorzetwanden tegen de slibwanden opgericht die de tussenverdiepen ondersteunen. Na het oprichten van de tussenwanden op de bodemplaat worden de tijdelijke boorpalen verwijderd.

## Conclusie

Bij de aanleg van de Noord-Zuidverbinding te Antwerpen en de verbouwing van het station Antwerpen Centraal worden heel wat speciale uitvoeringsmethoden en funderingstechnieken aangewend.

Tussen het station van Berchem en Antwerpen Centraal wordt een tunnel gebouwd onder de geklasseerde steunmuren en onderdoorgangen. Voor de ondergang van de bestaande funderingen worden zeer complexe constructies aangebracht. Daarbij wordt uitgebreid gebruik gemaakt van de jetgroutschermen en tijdelijke boorpalen. Bij de onderdoorgangen wordt de overdracht van de belasting naar de nieuwe funderingen bewerkstelligd door middel van na-spanning en vijzels. Teneinde het treinverkeer naar het station Antwerpen Centraal tijdens de werken te kunnen in stand houden, werd langsheen de te behouden sporen een vernagelde wand aangebracht. De hoogte van deze wand bedraagt plaatselijk meer dan 8m. Doordat de nagels zich volledig in de aangevulde gronden bevinden waren regelmatige controles op de nagels noodzakelijk.

De verschillende controles en in-situ proeven op de nagels met zelfborende stangen, jetgroutkolommen en boorpalen hebben heel wat nieuwe inzichten opgeleverd i.v.m. het draagvermogen, de sterkte en de uitvoering van deze verschillende funderingen.



■ **Figuur 10:** Doorsnede van de tunnel (definitieve situatie)

## Literatuur

[1] Ervaring met nagels met zelfborende stangen voor HSL-werken, ir W. Maekelberg, ir J. Maertens, dienst geotechniek, TUC Rail n.v.; Bouwkroniek maart 2002; pg 24-29

[2] Proeven op jetgroutkolommen voor de HSL-tunnel te Berchem-Antwerpen Centraal, ir W. Maekelberg, ir J. Maertens, dienst geotechniek, TUC Rail n.v.; Innovatieforum KVIV 1999

[3] Compensation grouting bij de bouw van een tunnel onder het Centraal station te Antwerpen; ir A. Watt; KVIV-KIVI Studiedag - Versteving van bestaande funderingen; Antwerpen 2002

## voetnoot:

\*1 De nagels met zelfborende stangen (type Ischebeck/ MAI-Ibo) worden uitgevoerd met een holle wapeningstaaf waarop een boorkop, aangepast aan het grondtype, is aangebracht. Bij het inboren van de staven wordt een cementspecie gebruikt als steunvloeistof. Deze cementspecie wordt via het inwendige van de staaf naar de boorkop gevoerd en voert langs de buitenzijde van de staaf de weggeboorde grond naar het oppervlak. Na een zekere uithardingstijd van de cementspecie wordt het inwendige van de wapeningstaaf nogmaals onder druk geplaatst en wordt een zeker hoeveelheid cementspecie geïnjecteerd ter hoogte van het uiteinde van de nagel.

\*2 De techniek van de beschoeide sleuven is een in België veel gebruikte methode, waarbij een fundering gerealiseerd wordt door het met de hand uitgraven en systematisch beschoeien van een sleuf. De sleuf wordt beschoeid met betonnen plaatjes die aan beide zijden van de sleuf geplaatst worden en op elkaar afgestempeld worden. Na het uitgraven van de sleuf wordt deze met de hand bewapend en vervolgens gebetonneerd. Om veiligheidsoverwegingen dient het grondwater zich steeds voldoende diep t.o.v. het onderste uitgravingspeil van de sleuf te bevinden.