

Bijlage 3 Bouwtechnieken

Bijlage 3 Bouwtechnieken

Geotechnische gesteldheid

Toepasbaarheid van verschillende tunneltechnieken wordt in belangrijke mate bepaald door de geotechnische gesteldheid van de bodem. (Bodemopbouw, grondwaterstand en stijghoogtes.)

De bodemopbouw ter plaatse is in grove lijnen als volgt:

Het maaiveld ligt op 47,5 – 48 meter boven NAP.

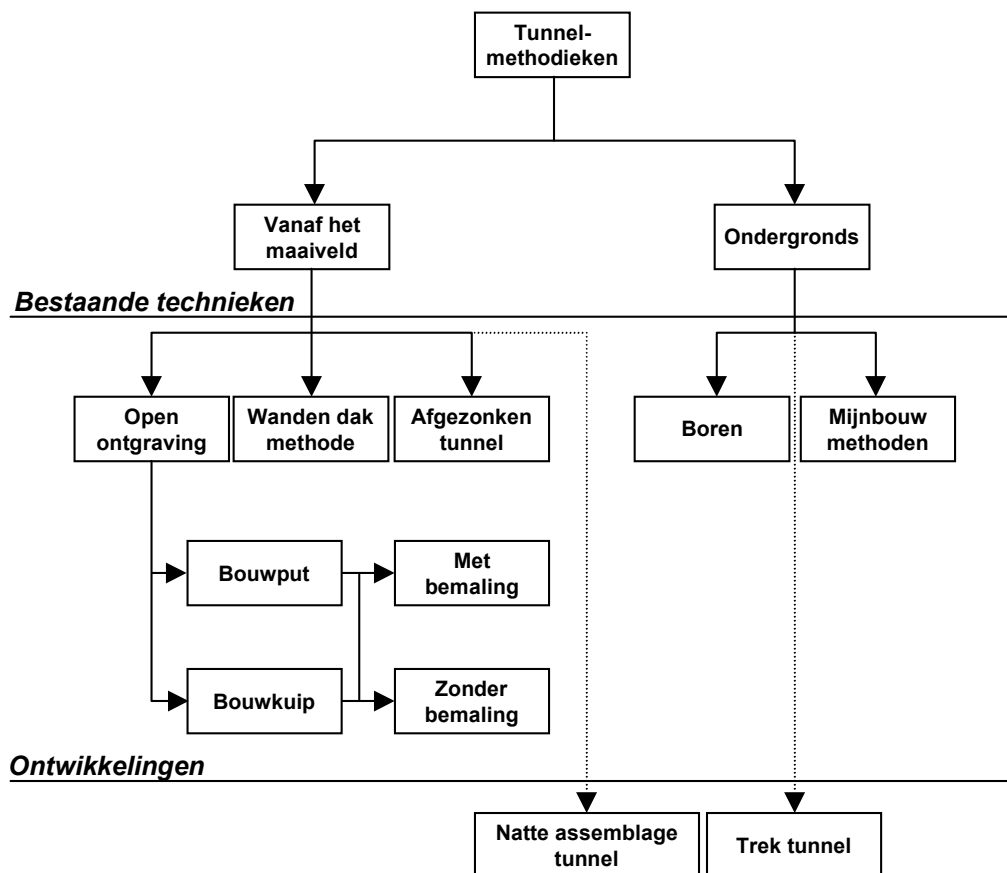
De deklaag bestaat uit een pakket kleilig leem van circa 3 meter dik. De grondwaterstand in de deklaag is 44,5 – 45 meter boven NAP.

Onder de deklaag wordt grind aangetroffen van 44,5 meter boven NAP tot 36 meter boven NAP. De stijghoogte van de het grondwater in deze laag wordt mede bepaald door de waterstand in de Maas en zal derhalve gedurende het jaar flink variëren

Vanaf 36 meter boven NAP wordt mergel aangetroffen. De bovenkant van de mergel is waarschijnlijk redelijk verweerd met flinke scheuren die watervoerend zijn.

Overzicht tunnelmethodieken

In onderstaand schema is een overzicht gemaakt van verschillende tunnelbouwmethoden die in Maastricht mogelijk toepasbaar zijn. (Vrij naar: *Ondergronds bouwen in breed perspectief*)



De verschillende methoden zijn grofweg in twee categorieën verdeeld.

- Methoden waarbij vanaf het maaiveld wordt gebouwd. (Hierin vallen bijna alle in Nederland traditionele tunnelbouwtechnieken.)
- Methoden waarbij de bouw van de tunnel ondergronds wordt uitgevoerd.

Binnen de categorie bouwen vanaf het maaiveld is de open ontgraving nog de meest toegepaste methode. Open ontgravingen zijn weer verdeeld in bouwputten (gebruik makend van taluds) en bouwkuipen (gebruik makend van verticale wanden). Elk van deze methoden is dan weer uitvoerbaar met of zonder bemaling.

De wanden-dak-methode wijkt in die zin af dat het ontgraven pas gebeurt als de wanden en het dak reeds zijn gemaakt. De methode is daarom geen 'open ontgraving'.

De afgezonken tunnel zou, indien hier toegepast, worden afgezonken in een open ontgraving, maar is, omdat de methode zo afwijkt van de normale standaard bouwputten en –kuipen, hier apart vermeld.

Binnen de categorie ondergrondse uitvoering zijn boren en mijnbouwmethoden onderscheiden.

Tenslotte zijn een tweetal veelbelovende ontwikkelingen beschreven, de natte assemblage tunnel en de trektunnel.

Elk van deze methoden zal kort worden beschreven en de toepasbaarheid in de lokale situatie zal worden geëvalueerd

Bouwen vanaf het maaiveld

Open ontgraving: Bouwput met bemaling

Beschrijving

De bouwfasering voor een tunnel in een open bouwput met bemaling zou er als volgt uit zien:

- Installeren bemaling
- Verlagen grondwaterstand
- Ontgraven in den droge
- Bouwen tunnel
- Aanaarden
- Uitzetten en verwijderen bemaling

Voorbeelden

In het verleden zijn wel grote tunnelprojecten op dergelijke wijze uitgevoerd:

- Schipholtunnel in de A4
- Utrechtse Baan A12

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

De grindlaag op de mergel waarin de ontgraving zou plaatsvinden is bijzonder waterdoorlatend. Om de bouwput droog te maken zou een fabelachtige pompcapaciteit nodig zijn.

Daarnaast heeft een bouwput vanwege de taluds een groot ruimtebeslag. Er moet dan veel bestaande bebouwing gesloopt worden.

Evaluatie van deze methode:

- In theorie is het een goedkope methode (geen bouwkuip, geen waterkering)
- Vanwege taluds heeft het een groot ruimtebeslag
- De toestroom van water door de grindlaag zou enorm zijn en het is zeer onwaarschijnlijk dat daarvoor een bemalingvergunning wordt verkregen.

Open ontgraving: Bouwput zonder bemaling

In een bouwput zonder bemaling wordt een verticaal scherm om de bouwput aangebracht, bijvoorbeeld een cement-bentoniet scherm, een damwand scherm of een combinatie van beiden. Dit scherm moet dan reiken tot een afsluitende laag. In dit geval zou dat de mergellaag moeten zijn.

In tegenstelling tot de methode uit de vorige paragraaf zal de toestroom door kwel veel hanteerbaarder zijn. Het moet mogelijk zijn om met een relatief geringe inspanning de put droog te houden. Ervaring met de Maastraverse die nu wordt gebouwd zal uitwijzen of dit ook klopt.

Binnen de afsluitende schermen wordt dan in een talud de bouwput ontgraven. De afsluitende schermen zullen nooit volledig waterdicht zijn, enige kwel zal altijd optreden. Ook van de mergellaag is het onzeker of deze wel waterdicht is. De verwachting is dat er scheuren in de mergel zitten die watervoerend zijn.

Voorbeelden

- Bouwdok Barendrecht heeft cement-bentoniet wanden en wordt op deze wijze droog gehouden.
- Toerit van de tunnel onder de Noord is op deze wijze uitgevoerd.

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Door het afsluiten van de watertoevoer door de grindlaag is de hoeveelheid te pompen water hanteerbaar geworden. Het is niet bekend hoeveel water uiteindelijk door de scheuren in de mergel zal worden aangevoerd.

Deze methode heeft vanwege de taluds een groot ruimtebeslag. Er moet dan veel bestaande bebouwing gesloopt worden.

Evaluatie van deze methode

- Methode is duurder dan een bouwput met bemaling.
- Vanwege te verwachten kwel is toch bemaling nodig (ondanks het kopje boven de paragraaf)
- Door de taluds heeft de bouwput een groot ruimtebeslag

Open ontgraving: Bouwkuip met bemaling

Een bouwkuip onderscheidt zich van een bouwput, door dat de begrenzing niet wordt gevormd door taluds, maar door verticale wanden zoals damwanden, combiwanden of diepwanden. De werkwijze is verder gelijk aan die bij een bouwput.

Voorbeeld

Rioleringwerken

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Zoals bij de bouwput geldt dat de grindlaag bijzonder waterdoorlatend is. Om de bouwkuip droog te maken zou een fabelachtige pompcapaciteit nodig zijn. De watertoevoer onder de wanden door beïnvloedt op nadelige wijze de stabiliteit van de wanden.

Door toepassing van verticale wanden is het ruimtebeslag minder dan bij bouwputten, dus er hoeft minder gesloopt te worden.

Evaluatie van deze methode

- De methode is duurder dan bouwputten omdat de verticale wanden behalve waterremmend nu ook sterkte moeten hebben. Daarnaast zijn er stempels en of groutankers nodig om de wanden te ondersteunen.
- Het ruimtebeslag is minder dan bij de bouwputten het geval is.
- De toestroom van water door de grindlaag zou enorm zijn en het is zeer onwaarschijnlijk dat daarvoor een bemalingvergunning wordt verkregen.

Open ontgraving: Bouwkuip zonder bemaling

In deze paragraaf wordt onderscheiden:

- a) Een bouwkuip waarbij de verticale wanden tot in een afsluitende laag reiken.
- b) Een bouwkuip met een onderwaterbetonvloer.

ad a) Als de verticale wanden worden doorgezet in de mergel en de waterremmende functie van de mergel wordt benut dan is deze methode heel wel bruikbaar. De Maastraverse wordt op deze wijze gebouwd met diepwanden. Zoals eerder vermeld is kwelwater zeker te verwachten en er zal aandacht moeten worden besteed aan de aansluiting tussen de verschillende verticale wandelementen.

Voorbeelden

- Willemsspoortunnel in Rotterdam
- Maastraverse Maastricht

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Het is zonder meer informatie niet duidelijk hoeveel water door de scheuren in de mergellaag wordt aangevoerd. Hierin ligt een groot risico besloten.

Door toepassing van verticale wanden is het ruimtebeslag minder dan bij bouwputten, dus er hoeft minder gesloopt te worden.

Evaluatie van deze methode

- De methode is duurder dan bouwputten omdat de verticale wanden behalve waterremmend nu ook sterkte moeten hebben. Daarnaast zijn er stempels en of groutankers nodig om de wanden te ondersteunen.
- Het ruimtebeslag is minder dan bij de bouwputten het geval is.
- Vanwege te verwachten kwel is toch bemaling nodig (ondanks het kopje boven de paragraaf)
- Risicoaspect van de toevoer van water nog te onderzoeken.

ad b) Als de bouwkuip in den natte wordt ontgraven en een onderwaterbetonvloer met trekelementen wordt toegepast, is een situatie verkregen waarbij geen bemaling nodig is.

Voorbeeld

- Tunnel Sijtwende
- Gesloten toeritten van de Botlekspoortunnel

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Deze methode is zonder meer toepasbaar in de Maastrichtse situatie. In vergelijking met de vorige methode is het risico van de hoeveelheid kwelwater die door de mergel heen wordt aangevoerd vermeden.

Evaluatie van deze methode

- De trekelementen en de onderwaterbetonvloer maken deze kostbaar.
- Er kan wat worden bespaard omdat de verticale wanden van de bouwkuip door een uitgekiend ontwerp wat goedkoper zijn dan bij een bouwkuip met bemaling.
- Het ruimtebeslag is minder dan bij bouwputten het geval is.

Wanden-dak methode

Deze bouwmethode is erop gericht om de werkzaamheden op straatniveau zo kort mogelijk te laten duren. De verticale wanden worden eerst gemaakt en vervolgens wordt het dak gemaakt. Dan wordt het maaiveld weer hersteld en heeft het verkeer daar weer beschikking over.

Vervolgens wordt onder het dak de tunnel ontgraven en afgebouwd. Dit kan op drie verschillende methoden gebeuren:

- De verticale wanden reiken in de mergel en de ontgraving kan in den droge geschieden met behulp van bemaling.

- Het is in principe ook mogelijk om het zonder bemaling in den droge te bemalen, maar dan zal onder verhoogde luchtdruk moeten worden gewerkt.
- Als derde mogelijkheid zou ook in den natte kunnen worden ontgraven, waarna met een onderwaterbetonvloer met trekelementen moet worden gemaakt.

Voorbeeld

- (Besteksoplossing) Tunnel onder de Kaagbaan Schiphol
- Souterrain Grote Marktstraat Den Haag
- Metro Amsterdam

Toepasbaarheid van deze methode in de Maastrichtse situatie

Afhankelijk van welke subvariant wordt gekozen gelden dezelfde geotechnische randvoorwaarden betreffende watervoerendheid van de mergel etcetera.

Doordat het maaiveld na korte tijd weer beschikbaar is, is de hinder voor de omgeving bij deze methode beduidend minder.

Evaluatie van de methode

- Op deze wijze bouwen brengt veel extra kosten met zich mee.
- Aan en afvoer van bouwmaterialen is logistiek niet makkelijk.
- Hinder aan het maaiveld is slechts van geringe duur.
- Tijdelijke en definitieve constructieonderdelen kunnen worden geïntegreerd.

Afgezonken tunnel

Afgezonken tunnels worden normaal alleen toegepast voor rivierkruisingen en dergelijke. De variant wordt hier genoemd omdat er mogelijk beperking van de (verkeers)hinder te behalen is als deze methode wordt toegepast.

Bij een afgezonken tunnel worden de verschillende tunnelelementen elders vervaardigd. Als deze gereed zijn wordt de bouwkuip gemaakt en ontgraven. De elementen kunnen dan één voor één worden ingevaren.

Op deze wijze wordt de bouwtijd in het binnenstedelijk gebied verkort.

Voorbeeld

Rotterdamse metro in de 60'er en 70'er jaren
Piet Heijn tunnel

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

De methode is in principe toepasbaar. De tunnelelementen zouden over de Maas aangevoerd kunnen worden. Zodra alle elementen gereed zijn kan er een sleuf worden ontgraven waarna alle elementen één voor één worden ingevaren. De hinder voor het verkeer en de omgeving is vergelijkbaar met de traditionele bouwkuip met dien verschille dat de duur van de hinder minder is.

Evaluatie van deze methode

- Sleuf nodig over de volle lengte van de tunnel
- Er is een lange toegangssleuf nodig richting de Maas of een extreem groot bouwdok ter plaatse van de traverse.
- Kostbare methode
- De omvang van de verkeershinder is groot, zeker gezien de barrièrewerking van een sleuf over de volle lengte van de tunnel.
- Duur van de hinder voor het verkeer en de omgeving is minder dan bij de andere open ontgravingen.
- Na Rotterdam in Nederland nooit meer toegepast

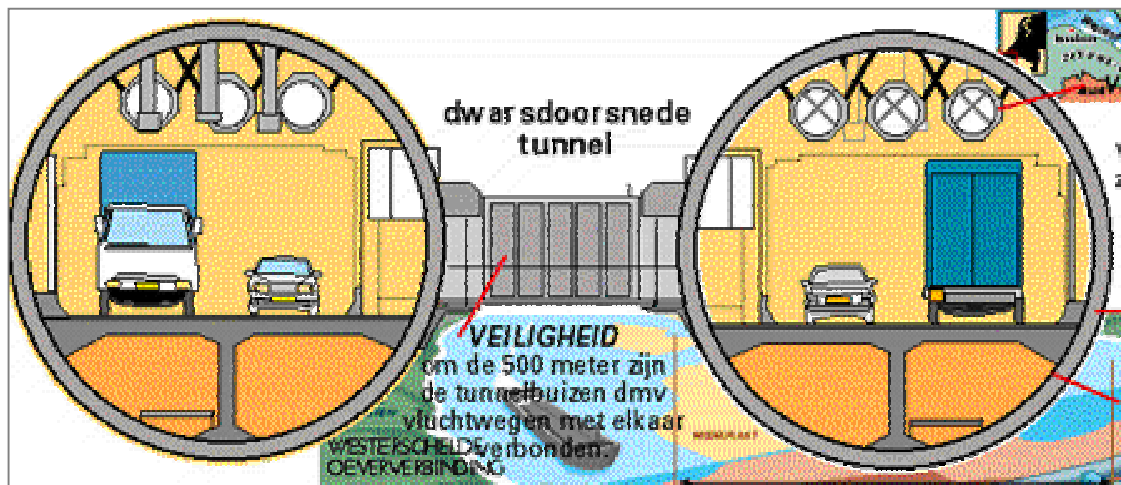
Ondergrondse Bouwwijzen

Boren

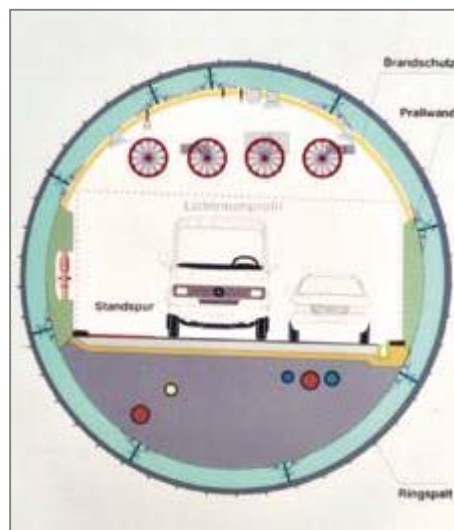
Geboorde tunnels zijn de laatste jaren in zwang geraakt in Nederland. Tweede Heinenoordtunnel, Botlekspoortunnel en de Westerscheldetunnel zijn daarvan goede voorbeelden.

Geboorde tunnels maken het in principe mogelijk om onder de grondwaterspiegel een tunnel te bouwen, zonder dat daar speciale maatregelen voor behoeven te worden getroffen. Hinder voor de omgeving wordt in belangrijke mate beperkt, behalve rond de start en ontvangtschachten.

Een geboorde tunnel is hier niet direct een logische keuze. De tunnelboormachines zijn in het algemeen rond van vorm en dat beperkt het aantal banen verkeer dat door de tunnel kan. De Westerscheldetunnel bijvoorbeeld is één van de grootste diameters in Nederland, maar toch passen er maar twee rijstroken in een tunnelbuis.



De grootste diameter geboorde tunnel in Europa, de Elbetunnel heeft slechts plaats voor twee rijstroken en een vluchtstrookje.



Voorbeeld

- Elbetunnel
- Westerscheldetunnel

Voorbeeld

In Nederland is NATM alleen toegepast voor het maken van dwarsverbindingen voor de Botlekspoortunnel en de Westerscheldetunnel in combinatie met vriezen. In het buitenland zijn er vele tunnels waar deze methode is gebruikt.

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Deze methode is in principe toepasbaar in de Maastrichtse situatie. Mijnbouwmethoden zijn van oudsher geen onbekende in Limburg. Echter op deze wijze verkeerstunnels bouwen is in Nederland nog nooit toegepast. De lokale grondslag leent zich er wel voor. Er zullen echter speciale maatregelen moeten worden getroffen om met de toestroom van het grondwater om te gaan.

In de lokale situatie heeft deze methode grote voordelen als het gaat om hinder voor de omgeving. De hinder blijft beperkt tot de directe omgeving van de toeritten van de tunnel. De huidige verkeersafwikkeling op de A2 kan tijdens de bouw gewoon blijven bestaan.

Evaluatie van de methode

- In tegenstelling tot een geboorde tunnel zijn geen grote voorinvesteringen noodzakelijk
- Het materieel wat bij deze methode wordt gebruikt is betrekkelijk eenvoudig
- Behalve bij het begin en eindpunt van de NATM tunnel is er geen hinder voor de omgeving. De bestaande verkeersafwikkeling over de A2 kan gewoon blijven bestaan totdat de tunnel gereed is.
- De methode is in Nederland onbekend
- Kostenniveau van dergelijke tunnels in deze omstandigheden is niet in voldoende mate bekend.

Tunnelmethoden in ontwikkeling

Trektunnel

Al vele jaren worden er tunnels van kleine afmetingen onder spoorbanen en snelwegen getrokken. Meestal gaat het hierbij om tunnels voor langzaam verkeer of zijn het duikers. De tunnel wordt met behulp van trekstangen door het grondlichaam getrokken, waarbij met klein materieel de grond aan het (open) graafront wordt verwijderd.

Op het moment zijn er onderzoeken gaande om uit te zoeken of deze tunnel bouwmethode ook opgeschaald kan worden naar verkeerstunnels met grotere doorsneden en lengtes.

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Huidige stand van de techniek met betrekking tot trektunnels beperkt zich tot tunnels boven de grondwaterstand. Er zijn dus veel additionele maatregelen nodig om de trektunnel mogelijk te maken in de Maastrichtse situatie. Verder moet er een hele grote opschaling nodig om deze methode geschikt te maken voor deze specifieke situatie betreffende de A2.

Evaluatie

- Onbewezen techniek op de gewenste schaalgrootte.
- Niet zonder meer toepasbaar onder de grondwaterspiegel.
- Weinig hinder voor de omgeving
- Bouwtijd wordt verkort door gebruik van geprefabriceerde elementen.

Natte assemblage tunnel

Beschrijving

- Er wordt een sleuf van beperkte lengte in den natte ontgraven
- Halve geprefabriceerde tunnelelementen worden over de weg aangevoerd.
- Twee halve elementen worden op de bouwplaats tot één element samengevoegd.
- Het hele element wordt in de natte bouwkuip geplaatst.
- De sleuf rond de tunnel wordt weer aangevuld
- Vervolgens kan de tunnel vanuit één kant worden drooggepompt (met behulp van een tijdelijke afdichting tussen de elementen)

- Tenslotte kan de tunnel dan van binnen uit worden afgebouwd en afgewerkt

Voorbeelden van deze tunnelbouwwijze zijn er niet. Dit is een innovatie welke nog in ontwikkeling is.

Toepasbaarheid in de Maastrichtse situatie

Deze bouwwijze is lokaal goed toepasbaar. Lokale hinder wordt zoveel mogelijk beperkt door slechts over een geringe lengte te ontgraven. Er ontstaat als het ware een wandelend bouwterrein welke zich gedurende bouw langs het tracé voortbeweegt.

De in situ bouwtijd wordt beperkt omdat alles wordt geprefabriceerd.

Evaluatie van deze methode

- De methode is nog nooit toegepast en heeft zich daarom nog niet kunnen bewijzen.
- Er is nog steeds hinder voor de omgeving, maar ten opzichte van traditionele bouwwijzen is deze hinder drastisch beperkt.
- Sterke mate van prefabricage en procesmatig werken leidt tot verkorting van de bouwtijd.