

titel

## **Unieke prestatie van Aurora in Groene Hart**

auteurs

**ir. R.J. Aartsen** en **ing. F. Vahle**, Rijkswaterstaat / HSL Zuid\*)

voetnoot onderaan eerste pagina:

\*) ir. Aartsen en ing. Vahle zijn werkzaam bij Holland Railconsult en voor dit project gedetacheerd bij Rijkswaterstaat / HSL Zuid

intro

*Het referentieontwerp van de Groene Harttunnel tussen Hoogmade en Hazerswoude Dorp in de hogesnelheidslijn Amsterdam - Brussel, was gebaseerd op twee enkelsporige tunnelbuizen. Het Frans/Nederlands consortium Bouygues-Koop kwam echter met een gedurfd alternatief: in plaats van twee buizen met kostbare dwarsverbindingen werd voor ongeveer € 435 miljoen één enkele buis met een nog niet eerder geboorde diameter aangeboden op basis van Design & Construct. De besparing in vergelijking met het referentieontwerp bedroeg circa € 100 miljoen.*

body

Het totale tunneltraject is circa 8600 m lang en bestaat uit een geboorde tunnel van 7160 m en toeritten van elk circa 700 m (fig. 1). Op de bodem van de als alternatief aangeboden tunnel ligt een leidingtunnel, waarboven een vloerplaat met geleidende opstorten de basis vormt voor de beide hsl-sporen. Een tussenwand met deuropeningen scheidt de beide sporen, die geschikt zijn voor 300 km/h.

Het lokale bodemprofiel bestaat uit een 12 m dik Holocene pakket van slappe klei en veenlagen, liggend op het Pleistocene zand. De tunnel ligt maximaal 35 m diep en de maximale waterdruk is 3,5 bar.

De toeritten zijn gebouwd volgens een traditionele open bouwputmethode met stalen damwanden, trekpalen en onderwaterbeton.

De startschacht in de Bospolder bij Hoogmade, de drie vluchtschachten bij Achthoven, N11 en Bent, alsmede de ontvangtschacht bij Westeinde in Hazerswoude Dorp zijn gerealiseerd met diepwanden en onderwaterbeton. Het boorproces is van noord naar zuid uitgevoerd.

Innovatieve uitvoeringsmethoden en talloze technische hoogstandjes zijn in verschillende opzichten grensverleggend geweest voor de tunnelbouw. Het project is gestuurd op een combinatie van kwaliteitsborging en risicomanagement. De aannemer heeft bij dit omvangrijke en complexe werk specialisten aangesteld die intensief veiligheidsinspecties verrichten en het klimaat in de tunnel constant bewaken.

### **Tunnelboormachine (TBM)**

Omdat de tunnel voornamelijk in het Pleistocene zand ligt, is gekozen voor een hydroschild waarbij het boorfront met bentoniet als steunvloeistof is ondersteund. De op het graafwiel gevormde bentonietcake sluit daarbij het boorfront volledig af. Een met mastiek geïnjecteerde staalborstelafdichting aan de achterzijde van het schild garandeert een waterdichte aansluiting op de ingebouwde betonnen ringen.

De in totaal 120 m lange TBM met een massa van 3300 ton is voor €30 miljoen door NFM in Le Creusot in Frankrijk gebouwd (foto 2). Ze is 'Aurora' gedoopt: Godin van de dageraad. De machine is vanaf de Middellandse Zee naar Nederland verscheept en vervolgens met platformwagens naar de bouwplaats getransporteerd.

De TBM bestaat uit de volgende onderdelen (fig. 3):

- Een 12 m lang schild met een wanddikte van 80 mm en een graafwiel met een diameter van 14,87 m. Het graafwiel is voor 80% door staalplaten gesloten. Schild en graafwiel hebben tezamen een massa van 1900 ton.
- Een eerste volgwagen van ruim 27 m met een massa van 750 ton met als belangrijkste functies:
  - ballast tegen opdrijven van de tunnelbuis direct achter het schild;
  - besturing van de TBM;
  - aanvoer betonnen segmenten met transportslee;
  - groutinjectie rond de tunnelbuis via zes injectiepunten;

- injectie van de borstelaafdichting tussen de staart van het schild en de laatste ring via drie pompen en twaalf injectiepunten.

- Een bijna 31 m lange, tweede volgwagen met een massa van 450 ton. Deze vormt een belangrijke schakel in het logistieke netwerk in de tunnel vanwege de aanvoer van de segmenten.
- Een ruim 80 m lange en 220 ton zware transportbrug die rust op beide volgwagens, met als functies:
  - veilig looppad voor personeel en bezoekers;
  - transport van segmenten en injectiemateriaal met behulp van een segmentkraan.

### **Boorproces**

Het schild is voortgestuwd door negentien vijzelparen op de betonnen ringen met een gezamenlijke werkdruk tussen 700 en 1000 kN. Deze zijn aangedreven door veertien elektromotoren met elk een vermogen van 250 kW en een gezamenlijk piekvermogen van 8000 kW. De maximale geïnstalleerde capaciteit is 184000 kN en het maximum-draaikoppel van de machine 42 000 kNm bij 0,2 omwenteling/min.

De voortgang bij ontgraven is maximaal 40 mm/min; het graafwiel draaide daarbij 0,7 omwenteling. Het graafwiel is uitgerust met 394 tanden en beitels, zowel linksom als rechtsom draaiend om verrolling van het schild te kunnen corrigeren.

Via twee stalen leidingen Ø500 mm is per uur circa 2500 m<sup>3</sup> bentoniet en slurrie tussen het boorfront en de scheidingsinstallatie verpompt bij een werkdruk van ongeveer 5 bar.

De volumieke massa van de aangevoerde bentoniet was 1,08 ton/m<sup>3</sup> en die van de afgevoerde slurrie 1,25 ton/m<sup>3</sup>. Een compressiekamer met een inhoud van 210 m<sup>3</sup> voorkwam plotselinge variaties in de steundruk.

Elke 9 m zijn de slurrieleidingen achter de tweede volgwagen verlengd. Daarbij is gebruikgemaakt van een bypass achter de eerste volgwagen en is het slurriecircuit geheel onderbroken.

Het vrijkomende zand is hergebruikt voor wegaanpassingen in de omgeving alsmede bij de zand-cementstabilisatie op de tunnelbodem, die de basis vormt voor de betonnen plaat onder de sporen.

Om de pleisterwerking van de bentonietcake op het graafwiel te verbeteren is incidenteel een polymeer toegepast. De hoge waterspanningen en de in verhouding soms geringe gronddekking op het schild hebben de grenzen voor de steundruk aanzienlijk beperkt. Dit was een grote uitdaging bij de passage van de riviertjes de Does en de Oude Rijn en bij de afgeveende Noordplaspolder waar het maaiveld 3 m lager ligt.

De waterspanning is regelmatig gemeten, onder meer om te bewaken dat de door de booractiviteiten enigszins verhoogde waterspanning niet zou leiden tot opbarsten van de bovenliggende waterafsluitende kleilagen. De algemene eis voor de zettingen op het maaiveld was 25 mm; echter bij de passage van belangrijke kabels en leidingen, bij de spoorlijn Leiden - Alphen en bij de verkeersweg N11 slechts 10 mm.

De steundruk is ingesteld op de as van de TBM conform de theoretisch berekende waarden en is bewaakt met een door Bouygues gepatenteerd softwareprogramma, genaamd PYXIS. Ook de injectiedrukken van grout en mastiek rond de staartafdichting zijn met behulp van PYXIS bepaald. Er kan tot maximaal 600 verschillende parameters worden gestuurd.

De ruimte tussen de betonnen ringen en de grond is via de staart van het schild geïnjecteerd met behulp van drie pompen en zes injectieleidingen (en zes reserveleidingen) bij een maximale werkdruk van 5 bar. De bevoorrading had plaats met één vaste tank op de eerste volgwagen en vijf mobiele tanks. Het grout bestond voornamelijk uit zand, vlieg-as en kalk, aangemaakt met water. Bij de passage van de schachten is hieraan nog cement en grind toegevoegd, omdat het grout daar tevens een constructieve en waterafsluitende functie heeft (actieve grout). De speciale samenstelling van het grout zorgde tijdens het boorproces voor een optimale aanpassing van het grondmassief rond de tunnel.

### **Ringbouw**

De tunnel is uitwendig Ø14,5 m en heeft een wanddikte van 0,6 m. Een ring bestaat uit zeven basissegmenten en een conische sluitsteen met aan weerszijden twee contrasegmenten. De lengte van de basissegmenten varieert van ca. 4,2 tot 4,6 m, de beide contrasegmenten zijn ca. 4,6 m lang en de sluitsteen is ca. 2,6 m. Om bochten en stuurcorrecties te kunnen maken verloopt de ringbreedte geleidelijk van 1,98 m naar 2,02 m. Ten aanzien van de maatvastheid en de vlakheid zijn vervaardigingstoleranties gesteld van 1 tot 1,5 mm.

Bij het plaatsen van de segmenten is een zogeheten erector gebruikt, voorzien van vacuümlaten. Het vacuüm valt pas weg nadat een segment is geplaatst en door de vijzels is belast. De sluitmaat van elke ring is vooraf gemeten en indien nodig kan de positie van de beide contrasegmenten met de erector worden gecorrigeerd.

Vier bouten in de ringvoeg van een segment hielden de rondom gelijkde rubber voegprofielen tijdens de ringbouw gesloten en zijn bij de passage van de tweede volgwagen verwijderd. Als secundaire waterafdichting zijn zwelstrippen aangebracht.

De inbouw van de segmenten is bijzonder soepel verlopen, waarbij de inbouwtijd van een ring dertig tot zestig minuten bedroeg. Door het nemen van de volgende maatregelen is bijzonder weinig schade opgetreden:

- vaste markeringen op een kwart vanaf de segmentuiteinden voor positionering in tangentiële richting;
- twee kunststof kokers in de langsvoeg (horizontale voeg) van elk segment voor positionering in radiale richting (geen permanente functie);
- twee vijzelschoenen staan volledig op één segment en zijn dus niet over de langsvoegen heen geplaatst (foto 4);
- alle voegen zijn alzijdig vlak met directe contactdruk van beton op beton;
- doordat tijdens de ringbouw en bij het verlaten van het schild de segmenten onderling enigszins willen wijken, ontstaan afwijkingen in de vlakheid van de (verticale) ringvoeg. Deze vlakheid is continu bewaakt door de uitslag van de vijzelcilinders te meten met sensoren. PYXIS bepaalt de correctie voor de volgende ring. De benodigde correctie kan op 4 locaties in de ringvoeg van een segment worden uitgevoerd door het aanbrengen van kunststof plaatjes. Deze correctie is maximaal 6 mm per ring.

De vlakheid garandeert ook optimale afdichting van de voegen, optimale overdracht via de betonnen contactvlakken en schadevrije randen en hoeken van de segmenten.

Naarmate de tunnel dieper ligt zijn de alzijdige krachten op de segmenten groter, die daardoor minder willen wijken. Bij geringere gronddekking zijn dan ook meer correcties op de vlakheid van de ringvoeg uitgevoerd.

Na het vrijkomen van de ringen achter de eerste volgwagen zijn de kokers voor de leidingtunnel geplaatst en is een zandcementstabilisatie als ballast op de bodem van de tunnel aangebracht (foto 5). Een afsluitende laag asfaltgranulaat hierop vormt een buffer voor de hier weer boven op gestorte betonnen plaat. Deze is tevens gebruikt als werkweg tijdens de talloze transporten in de tunnel.

### **Koers TBM**

Met behulp van PYXIS is de TBM de theoretische as van de tunnel zo goed mogelijk gevolgd. Vanaf een vast punt achter het schild draaide een op afstand gestuurde theodoliet in het verticale en horizontale vlak. Met behulp van een hellingmeter, een laser en een reflectieprisma aan de voorzijde van het schild en vaste meetpunten bovenin de tunnel, is de positie van het schild continu gecontroleerd. De vaste punten in de tunnel zijn op een positie van 12 uur aangebracht, waarop extrapolierend is doorgemeten.

De relatieve positie van het schild ten opzichte van de laatste ring is bepaald door metingen aan de voorzijde en bij de staart van het schild. Eenmaal buiten het schild hebben de ringen de neiging door de waterdruk iets omhoog te komen. Deze rijzing wordt door de bestuurder van de TBM gemeten ten opzichte van de laser. Ook de ovalisering van de ringen wordt gemeten. Kort voor de start van de bouw van een nieuwe ring is de ruimte tussen de staart van het schild en de laatste ring op acht punten gemeten. Met deze informatie is de positie van de volgende sluitsteen bepaald en daarmee de positie van de volgende ring. Als de ringen een half segment ten opzichte van elkaar verspringen, zijn er in totaal negentien unieke posities mogelijk voor de sluitsteen in de volgende ring. Alle door PYXIS geregistreerde ruwe data zijn door het data-acquisitiesysteem CATSBY omgezet in uitleesbare data. CATSBY is eveneens een door Bouygues gepatenteerd programma. Deze data zijn door de bestuurder van de TBM gebruikt voor de sturing op kritische parameters. Naast een actueel beeld is hiervan ook een historisch overzicht gemaakt.

Achteraf is de afwijking van de geboorde tunnelas ten opzichte van de theoretische tunnelas bepaald nadat een doorbraak naar het maaiveld was gemaakt ter plaatse van de vluchtschachten. Hierbij is de secundaire meetkundige grondslag in de tunnel vergeleken met de primaire grondslag op het maaiveld.

De maximale koersafwijking is beperkt gebleven binnen de contractuele eis van 100 mm.

## **Voortgang TBM**

De bouw van de startschacht begon september 2000 en de opbouw van de TBM in juli 2001. Aurora begon eind november 2001 haar lange weg naar Westeinde. De eerste vluchtschacht bij Achthoven werd in juni 2002 bereikt. Door niet tijdige beschikbaarheid van het bouwterrein heeft de TBM tot september 2002 voor deze schacht stilgestaan in een plug van jetgroutkolommen.

Eind maart 2003 was de TBM in de schacht N11 en na onderhoud werd begin mei weer gestart. In september was de TBM al in de schacht Bent en de definitieve doorbraak bij de ontvangtschacht in Westeinde was nog voor Kerstmis 2003 een feit.

De maximale productie bedroeg 26 m tunnel per dag, 156 m per week en 548 m per maand.

Contractueel was uitgegaan van een doorlooptijd van dertig maanden, wat neerkomt op gemiddeld 8 m per dag inclusief onderhoud en onvoorziene stilstand. Dit is uiteindelijk 13 m per dag geworden.

Er is zeven dagen per week, 24 uur per dag gewerkt met drie ploegen per dag. In totaal werkten meer dan honderd personen per dag, verdeeld over twee productieploegen gedurende tien uur en één onderhoudsploeg gedurende vier uur.

## **Onderhoud TBM**

Aan de TBM is ongeveer elke 2 km groot onderhoud gepleegd. Dit had plaats in de vluchtschachten, omdat daar vanwege de beschutting van de diepwanden en de plug van onderwaterbeton op de schachtbodem, onder atmosferische omstandigheden kon worden gewerkt. Het graafwiel is daarbij geparkeerd voor een speciaal in de plug uitgehakte sleuf. Bij onderhoud zijn alle tanden en beitels op het graafwiel vervangen alsmede de voorste rij staalborstels bij de afdichting. De vijzelcilinders in het schild en de hijskabels van de diverse kranen konden in principe buiten het bereik van de schachten worden vervangen. Alles verliep volgens een strak schema, waarbij niets aan het toeval is overgelaten.

## **Prefab segmenten**

De tunnelsegmenten in een betonfabriek bij Amay in België gemaakt (foto 6). Er is in ploegen gewerkt om de 35 870 stuks betonnen tunnelsegmenten te maken, alsmede de 3587 betonnen kokers voor de leidingtunnel. Elke veertien minuten is een segment van bijna 14 ton geproduceerd, wat neerkomt op tien ringen per dag.

De betonsterkteklasse bedroeg B 62,5 en er is circa 90 kg wapening per m<sup>3</sup> beton toegepast. De bij CBE in Frankrijk gemaakte bekistingsmallen zijn gedurende de gehele productieperiode maatvast en vormvast gebleven.

In vrachten van negentig stuks zijn ze gelost in Zoeterwoude Rijndijk en vandaar per as over de A4 naar de segmentenhal bij de startschacht vervoerd, die plaats bood aan ruim 700 segmenten (foto 7). Met maximaal zes stuks tegelijk zijn de segmenten met speciale bandenwagens door de tunnel naar de TBM vervoerd (foto 8). Aangezien keren in de tunnel niet mogelijk was, hadden deze wagens stuurcabines aan de voor- en achterzijde. Voor alle materiaal- en segmenttransporten in de tunnel zijn in totaal zeven van deze wagens ingezet. Bij de tweede volgwagen zijn de segmenten gelost met een 30-tons kraan en vervolgens via de brugconstructie naar de achterzijde van de eerste volgwagen getransporteerd. Daar zijn ze per tien stuks (1 ring) op de transportslee onder de eerste volgwagen geplaatst.

## **Ontvangst- en startprocedure TBM in de vluchtschachten**

De drie tussenliggende vluchtschachten bestaan uit een ronde stempelvrije bouwput met een diameter van 30 m. De gewapende diep wandpanelen meten 6 x 1,2 m<sup>2</sup> (b x d) en reiken tot circa 40 m diepte. Er zijn geen palen toegepast. Nadat de put nat was ontgraven en schoongemaakt, is een 3,5 m dikke laag onderwaterbeton gestort en vervolgens een 19 m dikke plug beton B 5.

Nadat de put was drooggezet, is in de plug een onderhoudssleuf uitgehakt, circa 6 m lang, 1,5 m breed en 12 m diep. Daarna zijn de belangrijkste vloeren en wanden in de schacht aangebracht door de hiervoor benodigde ruimte in de plug gefaseerd uit te hakken.

Bij de aankomst van de TBM in een vluchtschacht zijn de volgende stappen doorlopen (fig. 9):

- Voor aankomst van de TBM schacht volzetten met water, vanwege:
  - extra veiligheid ten aanzien van de stabiliteit van de schacht bij het aanboren hiervan;
  - bieden van voldoende tegendruk bij de injectie van grout, uitgaande van een niet helemaal waterdichte plug.

- De TBM boort zich door een ongewapend deel van de diepwand en door de betonnen plug tot aan de onderhoudssleuf, waarbij continu actieve grout wordt geïnjecteerd.
- De ringen ter plaatse van de diepwand uitvoeren met extra injectieopeningen, te gebruiken bij eventuele lekkage.
- Schacht leegpompen en onderhoud TBM onder atmosferische omstandigheden. De achterliggende tunnel wordt daarbij door de vijzels axiaal op een druk van minimaal 5000 kN gehouden.
- Onderhoudssleuf vullen met zand en aan de bovenzijde afdekken met gewapend beton.
- Schacht weer volzetten met water.
- TBM opstarten en achtereenvolgens plug en diepwand doorboren onder injectie van actieve grout.
- Boorproces vervolgen met standaardgrout.
- Schacht droogpompen en verdere afbouw betonwerk schacht. Hierbij zijn onder meer openingen in de tunnelwand gezaagd om de verbinding met de schacht te realiseren.

### **Procedure ontvangtschacht**

De ontvangtschacht bij Westeinde bestaat uit diepwanden, onderwaterbeton en een betonnen plug. Om de zware TBM buiten de plug in de aansluitende open bouwput voor de zuidelijke toerit te kunnen opvangen, is op de bodem hiervan een 3 à 4 m dikke laag onderwaterbeton B 5 aangebracht. Nadat het schild in de open bouwput was aangekomen, is het water in de schacht verlaagd om onbalans van het schild als gevolg van opdrijven te voorkomen. Daarna is de ruimte tussen plug en diepwand enerzijds en tunnelbuis anderzijds vanuit het schild geïnjecteerd. Vervolgens is het schild doorgeschoven, zodat het geheel is vrijgekomen van de tunnelbuis (foto 10). Ten slotte is het gedeeltelijk voor het graafwiel aanwezige beton B 5 weggehakt en is de ontmanteling van de TBM begonnen.

### **Afbouw betonconstructies in de tunnel**

De betonconstructies in de tunnelbuis bestaan uit een 0,32 m dikke betonnen vloerplaat met 0,40 m dikke opstorten en een 0,45 m dikke scheidingswand (fig. 11). Deze zijn voor een belangrijk deel tijdens het boorproces gebouwd.

Het beton is vervaardigd in een centrale op het bouwterrein naast de startschacht en is in de tunnel aangevoerd met mixers op bandenwagens. Omwille van de logistiek en vanwege de bereikbaarheid is bij het storten regelmatig een betonpomp gebruikt. De productie is geleidelijk opgevoerd van 800 m<sup>3</sup> tot 1400 m<sup>3</sup> per week.

Er zijn elke 12 m stortvoegen toegepast. De betonplaat is aan weerszijden met polystyreen vrijgehouden van de tunnelbuis. De scheidingswand is aan de bovenkant, door een rij deuvels met een hart-op-hartafstand van 1 m, met de tunnelbuis verbonden. Een aan de onderzijde van de deugel aangebrachte kunststof schuifhuls maakt een vrije verticale beweging van de tunnelkruin mogelijk, waarbij de verbinding in horizontale richting star is. Vanaf de achterzijde van de tweede volgwagen van de TBM zijn de deugelgaten geboord. Later zijn de deuvels vanaf een hoogwerker ingelijmd. Bij de aansluiting met de tunnelkruin is een onbrandbaar voegmateriaal aangebracht, waarmee ook een rookdichte aansluiting is gegarandeerd.

De vloerplaat en de opstorten alsmede de aanzet van de scheidingswand zijn eerst gemaakt. Vervolgens zijn de opstorten gebruikt voor de rijdende bekisting van de scheidingswand. De opstorten vormen tevens een uitstekende afscherming van de looproute in de tunnel. Vanwege de logistiek in de tunnel zijn op regelmatige afstanden tijdelijke oversteekplaatsen voor voertuigen vrijgehouden.

In augustus 2002 is begonnen met het per spoor gefaseerd storten van de betonplaat met de opstorten. Per week is 120 m gemaakt met de inzet van twee stalen bekistingen van elk 24 m lang. De bijna 10 m hoge scheidingswand is in één keer vanaf de aanzet op de funderingsplaat tot aan de kruin van de tunnel gestort. Daarbij is gebruikgemaakt van twee rijdende bekistingen van elk 12 m lang en een massa van 80 ton. De voor een deel prefab wapening is door trailers in de tunnel aangevoerd. Het vlechtwerk liep zo'n 100 m vooruit op het betonstorten. Het storten van de wand is in januari 2003 gestart en er is een productie bereikt van maximaal tien wanden per week.

Met de betonpomp is de bekisting in stappen van 1,5 m gevuld. Er is getrild tot aan de tunnelkruin, waarbij speciale gehoorbescherming noodzakelijk was. Op drie niveaus waren werkplatforms en hekwerken aanwezig, zodat veilig buiten het logistiek verkeer kon worden gewerkt. Elke werkdag is met één bekisting een paneel gestort. Om na twaalf uur te kunnen ontkisten is 360 kg cement per m<sup>3</sup> toegepast. Tegen het eind van het werk is één bekisting teruggegaan om de opengehouden logistieke gaten in de tunnelwand op te vullen.

De voortgang van het betonwerk is aanzienlijk sneller verlopen in vergelijking met de vooraf geplande doorlooptijd van dertig maanden. De bouwtijd van de funderingsplaat en de opstorten was circa 24 maanden en die van de scheidingswand zelfs 21 maanden.

De laatste werkzaamheden voor de ruwbouw omvatten injecties van de tunnelbuis, betonreparaties, het leggen van ruim 80 000 stuks afdekplaat voor de kabelgoten en het aanbrengen van het leuningwerk in de tunnel.

### **Ten slotte**

Bij het ontwerp is sprake geweest van een onderling leerproces tussen opdrachtgever en ontwerpende aannemer. Met name de risicosturende benadering van opdrachtgeverskant vormde daarbij een nieuw element. Daarnaast was er bij de opdrachtgever duidelijk ook behoefte aan onafhankelijke toetsing van de ontwerpdocumenten.

De aannemer heeft vooral geleerd van de typisch Nederlandse benadering van de funderingstechnieken in de slappe Nederlandse bodem. Anderzijds heeft de opdrachtgever veel geleerd van de deskundigheid van de aannemer op het gebied van de ontwerpmethodiek voor geboorde tunnels, getuige de vele lange discussies over het ontwerp van de tunnelsegmenten. De aannemer heeft vanaf het begin bij het ontwerp en de uitvoering een geïntegreerde systematische aanpak voorgestaan, waarbij een hoge graad van optimalisatie voorop stond. Verrassingen tijdens de uitvoering en het elimineren van risico's vroegen om een pro-actieve benaderingswijze waarbij aanpassingen van het ontwerp noodzakelijk waren.

Altijd is sprake geweest van een constructieve dialoog in een goede sfeer, van waaruit wederzijds vertrouwen en respect duidelijk naar voren zijn gekomen. Beide partijen zouden bij een volgend tunnelproject graag opnieuw samenwerken.

### **Projectgegevens**

#### **opdrachtgever:**

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directeur Generaal Personenvervoer

#### **directie:**

HSL-Zuid, Projectbureau Noord

#### **aannemer:**

*Bouygues-Koop*

#### **leverancier prefab beton:**

*Bouygues Belgium , Amay (B)*

### Bijschriften

1 Langsdoorsnede tracé Tunnel Groene Hart

2 Aurora in Le Creusot (Fr)

foto: Bouygues/Koop

3 Principe TBM en boorproces

bron: Bouygues/Koop

4 Positie vjzelschoenen bij ringbouw

5 Leidingtunnel met zand-cementstabilisatie

6 Betonfabriek Amay met segment in mal

7 Opslag segmenten op werkterrein

8 Transport tunnelsegmenten in tunnel

9 Gefaseerde passage TBM bij vluchtschachten

10 Doorbraak TBM in ontvangtschacht bij Westeinde

foto's 6, 8 en 10: Projectorganisatie HSL-Zuid

11 Tunnel met scheidingswand

foto's 4, 5, 7 en 11: Projectorganisatie HSL-Zuid / Ton Poortvliet