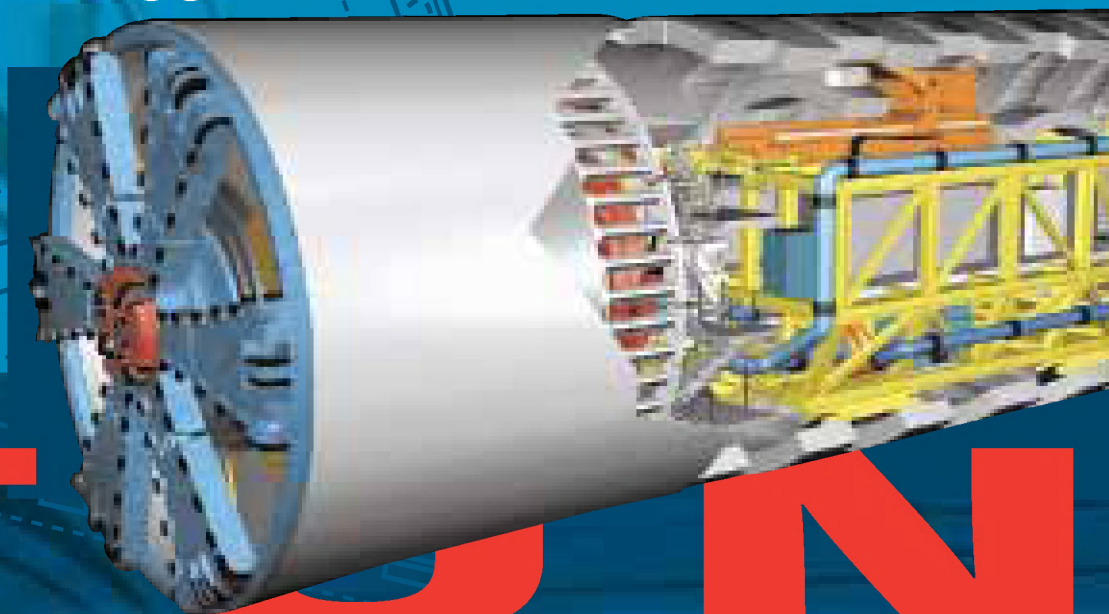


**De Westerscheldetunnel:
megaproject met
grensverleggende boortechniek**



TUNNEL

DE WESTERSCHELDETUNNEL

Inhoudsopgave

Deze brochure geeft een algemeen beeld van het Westerscheldetunnelproject en behandelt daarnaast vooral een aantal technische aspecten van het project.

De tekst gaat niet in op specifieke technische problemen en ontwikkelingen die zich tijdens het ontwerp en de bouw van de tunnel voordoen. Deze zullen apart aandacht krijgen in andere uitingen van de NV Westerscheldetunnel.

Inleiding	4
1. De NV Westerscheldetunnel	6
2. De planning	8
3. De Westerscheldetunnel	10
4. Het tracé	12
5. Boren in slappe grond	14
6. De tunnelboormachine	16
7. Het boorproces	24
8. De twee tunneltoeritten	28
9. Bouwterrein en logistiek	30
10. Boorspecie en bentoniet	32
11. Veiligheid	34
12. Architectonische vormgeving en landschappelijke inpassing	38

INLEIDING

De Westerscheldetunnel: megaproject met grensverleggende boortechniek

De Westerscheldetunnel is in de eerste plaats voor Zeeland, maar zeker ook voor de rest van Nederland en het Belgische achterland van onschatbare waarde als vaste oeververbinding tussen Midden-Zeeland en het vasteland van Zeeuwsch-Vlaanderen. De tunnel vormt de laatste schakel in een keten van vaste oeververbindingen tussen de verschillende Zeeuwse eilanden. Het wordt een 6,6 kilometer lange boortunnel van Ellewoutsdijk (Zuid-Beveland) naar Terneuzen (Zeeuwsch-Vlaanderen). Daarmee zijn de twee veerverbindingen Kruiningen-Perkpolder en Vlissingen-Breskens verleden tijd en wordt de 'overtocht' er een stuk sneller op. Door de keuze voor een geboorde tunnel blijft de scheepvaart op de Westerschelde van en naar Antwerpen ongemoeid, zelfs tijdens de bouw.

Europees hoogstandje

De bouw van de Westerscheldetunnel is in vele opzichten een technisch complex project. Door zijn enorme lengte, omvang en diepteligging is deze tunnel voor Europese begrippen uniek te noemen. Daarbij mag een zeer hoogwaardig veiligheidsniveau in de gebruiksfase, met maar liefst 26 dwarsverbindingen tussen de twee tunnelbuizen, zeker niet onvermeld blijven. Bijzonder is ook dat tijdens het boren direct achter de tunnelboormachines al de wegfundering, het kabelkanaal en de dwarsverbindingen worden aangelegd. De boormachines zijn speciaal ontworpen om al deze activiteiten uit te kunnen voeren. Logistiek is het project hierdoor een grote uitdaging. Bovendien is voor de Westerscheldetunnel toonaangevend onderzoek verricht naar de levensduur van de tunnelwand en de brandbestendigheid van de hittewerende bekleding. Voor boortunnels bestonden hiervoor nog geen Nederlandse normen. Elders in Europa is er al wel de nodige ervaring opgedaan met boren in slappe bodem (klei

en zand) maar, afgezien van de Deense Størebaeltunnel, is in Europa nog niet eerder een boortunnel van deze omvang gerealiseerd. Voor de noodzakelijke uitwisseling van kennis is dan ook verderop gezocht, met name in Japan, waar veel meer ervaring is opgedaan met het boren in slappe bodem.

Lange voorgeschiedenis

De vaste oeververbinding onder de Westerschelde kent een lange voorgeschiedenis van initiatief en voorbereiding. Nut, noodzaak, tracékeuze op basis van een milieueffectrapportage en vooral de financiering van dit megaproject waren jarenlang onderwerp van discussie. Een initiatief van de provincie Zeeland eind jaren tachtig resulteerde na vaststelling van het tracé en een Europese aanbesteding in een aanbieding van de aannemer Kombinatie Middelplaat Westerschelde (KMW). Vervolgens heeft de provincie zich begin jaren negentig ingezet voor het vinden van publieke, private of publiekprivate financiers. De uitkomsten

daarvan leidden er uiteindelijk toe dat de ministerraad in 1995 instemde met de oprichting van de NV Westerscheldetunnel.

De vele voordelen

De voordelen van de boortunnel zijn legio. Als 24-uursverbinding is een permanente verbinding gegarandeerd, de reistijd door de tunnel is slechts vijf minuten en wachttijden zijn verleden tijd. Zodra de tunnel open is, worden de twee veerdiensten over de Westerschelde opgeheven. Deze bezorgen het Zeeuwse bedrijfsleven door wachttijden nu nog een jaarlijks verlies van zo'n 27 miljoen euro (60 miljoen gulden). Ook voor het Rijk betekent de tunnel op termijn een kostenbesparing. Bij voortzetting van de veren zou het Rijk tot in lengte van dagen een bijdrage moeten leveren aan de exploitatiekosten, jaarlijks zo'n 23 miljoen euro (50 miljoen gulden). Binnen dit bedrag was nog geen rekening gehouden met de aanzienlijke kosten voor de onderhoudsintensieve veerhavens, aanlegrichtingen en veerpleinen die daar nog bovenop zouden komen.



Nu is te voorzien dat dertig jaar na ingebruikname van de tunnel de aanlegkosten zijn terugbetaald en er nog slechts beheer- en onderhoudskosten resteren. Bovendien zorgt de tunnel voor nieuwe kansen voor de regionale en nationale economie, waarbij ook het maatschappelijk belang van een betere bereikbaarheid telt en ondervindt de scheepvaart geen nadelige gevolgen. Het landschap en de natuur worden zo min mogelijk aangetast.

Overheid als aandeelhouder in NV

Bijzonder is de 'private' constructie van de NV Westerscheldetunnel, met het Rijk en de provincie Zeeland als aandeelhouders. Deze NV is verantwoordelijk voor de bouw en de exploitatie van de Westerscheldetunnel, hetgeen in de Tunnelwet Westerschelde is geregeld. Die wet maakt het ook mogelijk de gebruikers van de tunnel een vergoeding te laten betalen, waarmee de tunnel binnen dertig jaar is terugverdiend. 'Snel, veilig en voordelig naar de overkant' is daarbij de missie van de NV. In de eerste plaats is dit van toepassing op de bouw van de tunnel, waarbij het gevoerde

risicomanagement garant staat voor een strenge bewaking van de voortgang en het bouwbudget. De missie is ook van toepassing op de exploitatie van de tunnel. Het moet een betrouwbare tunnel zijn, altijd open en zonder wachttijden, zodat men, bij een snelheid van 80 kilometer per uur, in vijf minuten aan de overkant is. En voordelig, dus met hantering van redelijke en rechtvaardige tarieven voor de gebruikers, tarieven die ook voor de aandeelhouders een gezond rendement moeten opleveren.

UNIEKE CONSTRUCTIE

1. De NV Westerscheldetunnel

Aanvankelijk ligt het initiatief voor de aanleg van een oeververbinding bij de provincie Zeeland. Deze zou de tunnel met private financiering tot stand brengen. Op basis van een Europese aanbestedingsprocedure krijgen twee aannemerscombinaties de kans een basisontwerp te maken en een prijsaanbieding te doen. De provincie Zeeland kiest eind 1992 voor de geboorde tunnelvariant van de aannemerscombinatie Combinatie Middelplaat Westerschelde (KMW).



Voordat tot definitieve besluitvorming kon worden overgegaan, werd het ontwerp afgeslankt om het financieel haalbaar te maken. Dat gebeurde in een tijdspanne van bijna drie jaar. Ondanks die afslanking dreigde het project financieel vast te lopen, omdat de private financiers zware eisen stelden aan het rendement. Het Rijk kwam voor de keuze te staan om of door te gaan met de jaarlijkse bijdragen in de exploitatie van de veerdiensten, in de wetenschap dat ook nog eens op korte termijn nieuwe veerboten zouden moeten worden aangeschaft, of om het initiatief tot de bouw naar zich toe te trekken. Daarom besloot de ministerraad in september 1995 dat het Rijk alle rechten en plichten van de provincie zou overnemen en zelf voor de financiering zou zorgen. Daarvoor werd de NV Westerscheldetunnel opgericht, met de provincie en het Rijk als aandeelhouders. Zij verschaffen, gelijke tred houdend met de vorderingen van de aanleg, aandelenkapitaal aan de NV. Vervolgens betaalt de NV het geïnvesteerde vermogen in dertig jaar met rente terug. Hierbij is de mogelijkheid gecreëerd de termijn van dertig jaar nog eens met maximaal twintig jaar te verlengen, als geen minimumrendement van 7,5% wordt

gehaald. De inkomsten bestaan uit tolopbrengsten (40%) en subsidies (60%). De grootste subsidieverschaffer is het Rijk, dat ongeveer evenveel geld aan de tunnel verstrekt als het jaarlijks kwijt is aan de veerverbindingen. Na de exploitatieperiode draagt de NV de tunnel met toeleidende wegen voor een symbolisch bedrag over aan het Rijk. Vanaf dat moment is de tunnel gratis voor gebruikers.

De aandeelhouders van de NV Westerscheldetunnel zijn het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, het Ministerie van Financiën (samen 95%) en de provincie Zeeland (5%). Zij hebben de meeste invloed op het handelen van de NV en zijn ook politiek verantwoordelijk. De mogelijkheid blijft evenwel open private aandeelhouders tot de NV toe te laten, geheel volgens het beleid voor staatsdeelnemingen. De interesse daarvoor vanuit de markt hangt af van het succes van de exploitatie van het project.

Tunnelwet Westerscheldetunnel
Een speciale wet, de Tunnelwet Westerscheldetunnel, vormt de basis voor het handelen van de NV Westerscheldetunnel. In deze wet is de oprichting van de NV

geregeld en is vastgelegd dat de weg door de tunnel een openbare weg wordt en geen 'eigen weg', hoewel hij wel eigendom is van de NV. Hierdoor gelden dezelfde wetten en regels als voor alle andere openbare wegen in Nederland. Ook mag de NV volgens deze wet een vergoeding vragen aan de gebruikers van de tunnel, iets wat bij dit soort wegen normaal gesproken niet mogelijk is. De vergoeding kent een begintarief met een maximaal jaarlijks stijgingspercentage. Het beheer van de tunnel is in de Tunnelwet toegewezen aan het Rijk, waarbij de provincie Zeeland toezicht houdt op de verkeersmaatregelen. In de praktijk is de NV, die onderhoudsplichtig is, met de uitvoering van alle taken belast.

Projectorganisatie Westerscheldetunnel
De NV Westerscheldetunnel is dertig jaar lang eindverantwoordelijk voor aanleg, technisch beheer, onderhoud en exploitatie van de tunnel. Rijkswaterstaat Directie Zeeland en de Bouwdienst Rijkswaterstaat ondersteunen de NV bij de totstandkoming van de verbinding en maken deel uit van de projectorganisatie Westerscheldetunnel. De Directie Zeeland houdt zich bezig met planologie, grondverwerving en

vergunningen. De Bouwdienst van Rijkswaterstaat treedt op als directie UAV op het aannemerscontract en begeleidt als zodanig het ontwerp- en bouwproces. De Combinatie Middelplaat Westerschelde (KMW) is de aannemerscombinatie, die de tunnel met bijkomende werken ontwerpt, bouwt en voor een periode van tien jaar onderhoudt. KMW bestaat uit zes bouwbedrijven: Bam Infrabouw BV, Heijmans NV, Voormolen Bouw BV (alle Nederlands), het Belgische Franki NV en de Duitse firma's Philipp Holzmann AG en Wayss & Freytag AG.

Het contract
De overeenkomst met de aannemerscombinatie KMW is een zogenoemd design & build-contract. Met zijn achthonderd pagina's weerspiegelt het de veelomvattendheid van de overeenkomst, in zowel technische als juridische zin. Het contract bestaat uit een overkoepelende overeenkomst met als belangrijkste bijlagen de ontwerp- en bouwovereenkomst en de overeenkomst voor het tienjarig onderhoud. Dit contract is voorwaardelijk, wat wil zeggen dat aan bepaalde voorwaarden moet zijn voldaan voordat een volgende fase wordt ingegaan. Op die manier gaat het project gefaseerd

van de ontwerp- naar de uitvoeringsfase. In het contract is opgenomen dat de aannemer het ontwerp-, bouw- en boorrisico draagt. Voor het dragen van dit risico is in het voorbereidende traject een aantal maatregelen getroffen, zoals het verrichten van een uitgebreid grondmechanisch onderzoek, met name in de Westerschelde zelf. In het contract zijn tevens uitgebreide bepalingen opgenomen over de af te sluiten verzekeringen.

Risicomanagement
Beheersing van de risico's vormt een belangrijke sleutel tot het succes van het project. Mede aan de hand van diverse door derden uitgevoerde risicoanalyses in 1997 en 1998, is het plan opgevat een meer structurele vorm van risicomanagement op te zetten. Zo kan de NV Westerscheldetunnel op een rationele manier sturen op risico's en de beheersing daarvan. Er is dan ook een risicomanager binnen de eigen projectorganisatie aangesteld met als opdracht:

- het vergaren van risico's en het bijhouden van de 'risicoboekhouding';
- het inzicht geven in het risicoprofiel van het project en van alternatieve strategieën;

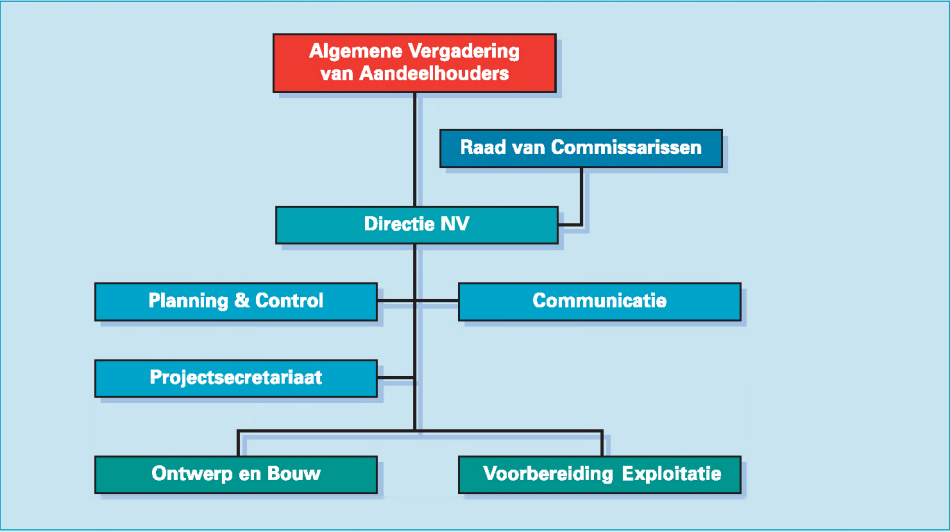
- het monitoren en bewaken van maatregelen om risico's te beheersen.

Bij het beheersen van de risico's wordt naar de volgende aspecten gekeken:

- veiligheid;
- tijd;
- kosten;
- kwaliteit;
- organisatie;
- communicatie.

Het accent ligt hierbij op het beheersen van risico's voor de planning en het budget van het project.

Organogram van de NV Westerscheldetunnel



TIJD EN GELD

2. De planning

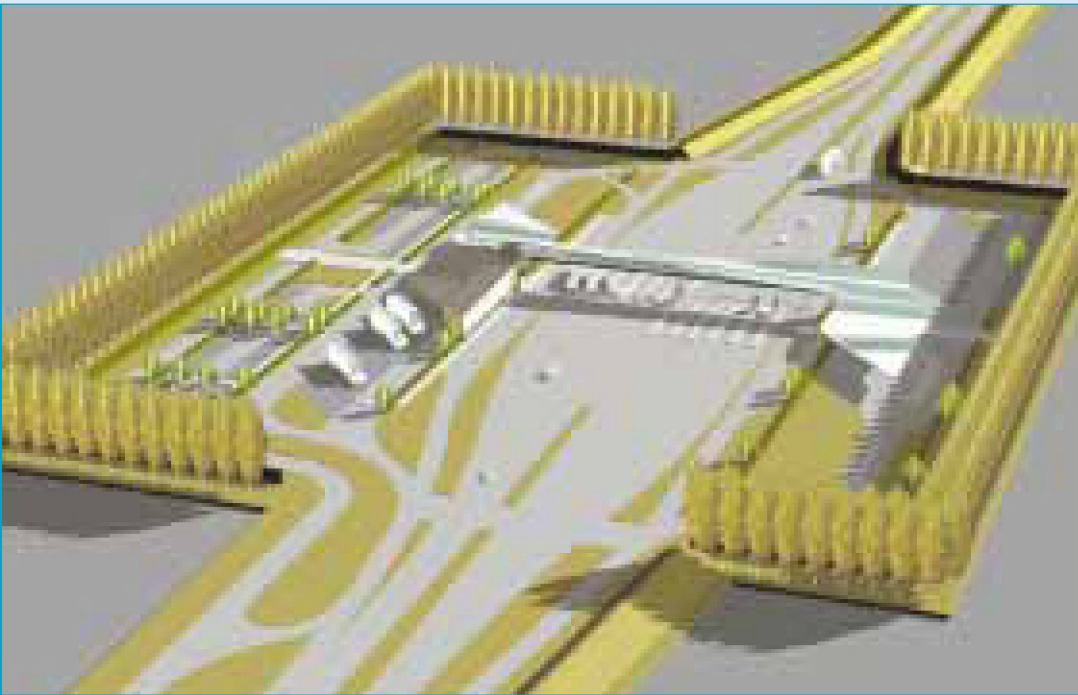
In juli 1996 is gestart met het ontwerp en de voorbereiding voor de bouw, waarna eind 1997 de bouwfase startte met de aanleg van de zuidelijke tunneltoerit bij Terneuzen.

Planning
Het boren van de eerste tunnelbuis startte in juli 1999. Twee maanden later begon het boren van de tweede tunnelbuis. Beide buizen worden geboord van zuid naar noord. Parallel aan de bouw van de tunnel werkt men aan de toeleidende wegen. Eind 1998 is de uitvoering voor de tunnelweg op Zuid-Beveland begonnen en mei 2000 is de aanleg van de tunnelweg in Zeeuwsch-Vlaanderen gestart.

Oorspronkelijk was 15 maart 2003 de opleverdatum voor het project. Het boorproces zou twee jaar duren tot eind 2001, gevolgd door de afbouw van de tunnel. De tunnelwegen zouden eind 2002 gereed zijn. Door een aantal technische tegenslagen bij het boren vanaf het najaar van 1999 tot en met de eerste helft van 2000 zag het er naar uit dat het project meer dan een jaar zou uitlopen. Een grondige analyse van het boor- en afbouwproces heeft uitgewezen dat dit scenario er gunstiger uitziet. De NV Westerscheldetunnel en KMW zijn inmiddels een herziene bouwplanning overeengekomen met als opleverdatum 14 november 2003. Deze nieuwe datum is onderdeel van een serie afspraken tussen de NV en KMW. Belangrijk onderdeel hiervan is dat KMW gestimuleerd wordt te investeren in versnellingsmaatregelen om op 14 november 2003 of nog eerder op te leveren. Dit betreft bijvoorbeeld

de aanschaf van extra locomotieven en vriesinstallaties, de inzet van meer boorploegen en investering in een optimaal afbouwproces van de tunnel en de inrit aan de noordzijde. Bovendien ontvangt de aannemer een bonus voor elke dag dat hij eerder dan 14 november 2003 gereed is. De boetebepaling voor te laat opleveren uit het contract verschuift van 15 april 2003 naar 15 november 2003. Bij de verdere aanpak van het project zullen de NV Westerscheldetunnel en KMW hun kennis en kunde zo veel mogelijk bundelen.

Financiën
Het totale bouwbudget voor de Westerscheldetunnel is omstreeks 750 miljoen euro (1,6 miljard gulden), exclusief BTW. Daarnaast zijn er de kosten voor de exploitatie (225 miljoen euro/ 500 miljoen gulden) en het onderhoud (300 miljoen euro/675 miljoen gulden). Het totaal aan uitgaven over dertig jaar komt daarmee op 1,3 miljard euro (2,75 miljard gulden). Gedurende de exploitatieperiode (2003-2033) verdienen de aandeelhouders, het Rijk en de provincie, hun investering terug met de vergoeding voor gebruik uit tolnning (40%) en subsidies van het Rijk en de provincie (60%). Naar verwachting zal het project de aandeelhouders na dertig jaar een rendement van 8,2% hebben opgeleverd. Vanaf 2004 ontvangen de aandeelhouders jaarlijks een winstuitkering.



Redelijke en rechtvaardige tunneltarieven
De vergoeding voor het gebruik van de tunnel is in 2003 gemiddeld f 10,- (€4,54), exclusief BTW. Exacte bedragen voor personenauto's en vrachtauto's zijn nog niet vastgesteld. Abonnementhouders betalen aanmerkelijk minder. Het is de bedoeling dat deze elektronisch kunnen gaan betalen. Daarnaast blijven er natuurlijk altijd passages waarbij contant wordt betaald. De betaling, in welke vorm dan ook, gebeurt op Zuid-Beveland, waar op circa vijf kilometer van de tunnelingang een toplein komt. De maximale hoogte van de tarieven is aan wettelijke bepalingen gebonden. De NV streeft binnen haar mogelijkheden naar een goed rendement voor haar aandeelhouders en redelijke tarieven voor de gebruikers mede in relatie tot de veertarieven.

Elektronisch betalen op het toplein

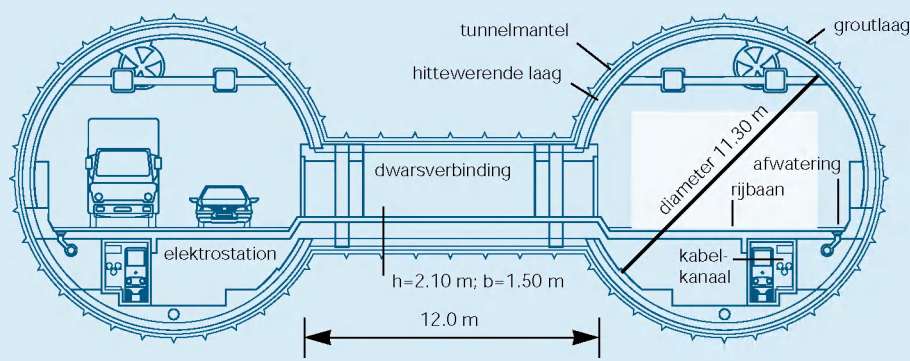
Inkomsten en uitgaven NV Westerscheldetunnel 1998-2033			
(bedragen in miljoenen euro's en miljoenen gulden, exclusief BTW)			
Inkomsten	Totalen	euro's	gulden
Tolopbrengsten		1.488	3.279
Bijdrage Rijk		1.897	4.180
Bijdrage provincie		114	251
Overige opbrengsten (o.a. vergoedingen van bedrijven voor kabelleidingen door de tunnel)		37	82
Te vorderen BTW		666	1.468
Totaal inkomsten	4.202		9.260
Uitgaven			
Bouwkosten Westerscheldetunnel en toeleidende wegen (o.a. grond, vergunningen, planologische bestemmingsplannen, personeel en advies, huisvesting en verzekeringen)		752	1.657
Exploitatiekosten (o.a. personeel, gebouwen en terreinen)		229	505
Onderhoudskosten (o.a. elektriciteit, schoonmaak, asfalt, bermen)		303	668
Te betalen BTW		235	517
Totaal uitgaven	1.519		3.348
BTW-afdracht	432		951
Nettowinst (totaal ontvangsten - uitgaven - BTW-afdracht)	2.251		4.961
Rendement op investeringen			8,2%

Overeengekomen Nieuw Algemeen Tijdschema Bouw Westerscheldetunnel	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Ontwerpfase								
Inrichting NV, wetgeving								
Ontwerp tunnel en toeritten								
Ontwerp wegen en kunstwerken								
Bouwfase								
Inrichten werkterrein Terneuzen								
Aanleggen werkhaven Terneuzen								
Bouw toerit Terneuzen								
Wegen en kunstwerken Zeeuwsch-Vlaanderen								
Toerit Borsele								
Inrichten werkterrein Borsele								
Wegen en kunstwerken Zuid-Beveland								
Ontwerp en bouw boormachines								
Tunnelboorproces								
Dwarsverbindingen								
Afwerken tunnel								
Oplevering tunnel en wegen								

3. De Westerscheldetunnel

Men ging niet over één nacht ijs, toen specifiek gekozen werd voor het boren van de Westerscheldetunnel. Een tunnel in plaats van een brug of brug-tunnelcombinatie bleek evident, omdat het economisch zo belangrijke scheepvaartverkeer van en naar Antwerpen op geen enkele manier mag worden gehinderd. Daarover liggen met België afspraken vast. Mede in het verlengde daarvan bleek een geboorde tunnel in plaats van bijvoorbeeld de meer traditionele afgezonken tunnel, de goedkoopste en meest geschikte oplossing.

Het is de enige tunnelbouwmethode die de scheepvaart absoluut niet hindert.



In Nederland had het boren van tunnels tot voor kort nauwelijks bekendheid. Het succes dat met conventionele methoden wordt behaald, is daar debet aan. Met de afzinkmethode in het bijzonder worden efficiënt en tegen relatief lage kosten tunnels gebouwd. In het buitenland daarentegen, zoals in Japan, Duitsland, Frankrijk en Zwitserland, is men al langer bezig met het boren van tunnels. Inmiddels is de belangstelling voor boortechnieken in Nederland gegroeid en is een groter maatschappelijk en

financieel draagvlak ontstaan. Ook is er meer deskundigheid over het boren in een slappe bodem opgebouwd. Dit heeft inmiddels geleid tot het eerste grote tunnelboorproject: de Tweede Heinenoordtunnel voor langzaam verkeer (ten zuiden van Rotterdam). Deze tunnel wordt beschouwd als een praktijkproject, waar niet alleen de ingenieurs van de Westerscheldetunnel hun voordeel mee doen, maar ook de bouwers van andere tunnels zoals in de Betuweroute en de hogesnelheidslijn (HSL).

Inrichting Westerscheldetunnel
In dwarsdoorsnede bestaat het boorgedeelte van de tunnel uit twee parallel lopende buizen met een (boor)diameter van 11,33 meter, een uitwendige tunneldiameter van 11 meter en een inwendige tunneldiameter van 10,10 meter. De twee tunnelbuizen hebben een onderlinge afstand van circa 12 meter, ongeveer éénmaal de boordiameter, waardoor tijdens het boorproces geen onderlinge beïnvloeding optreedt. Deze afstand is bij de uiteinden

verminderd tot circa 7 meter om de breedte van de tunneltoeritten te beperken. De tunnel is voorzien van een begaanbaar kabelkanaal onder het wegdek dat toegankelijk is met minivoertuigen. Om de 250 meter zijn de buizen gekoppeld door dwarsverbindingen van 2,10 meter hoog en 1,50 meter breed. Normaal gesproken zijn de deuren naar deze vluchtwegen vergrendeld. Bij een eventuele calamiteit worden ze automatisch ontgrendeld en kan de tunnelgebruiker naar de andere tunnelbuis

lopen. Omgekeerd kunnen hulpverleners langs deze weg de plaats van een calamiteit benaderen.

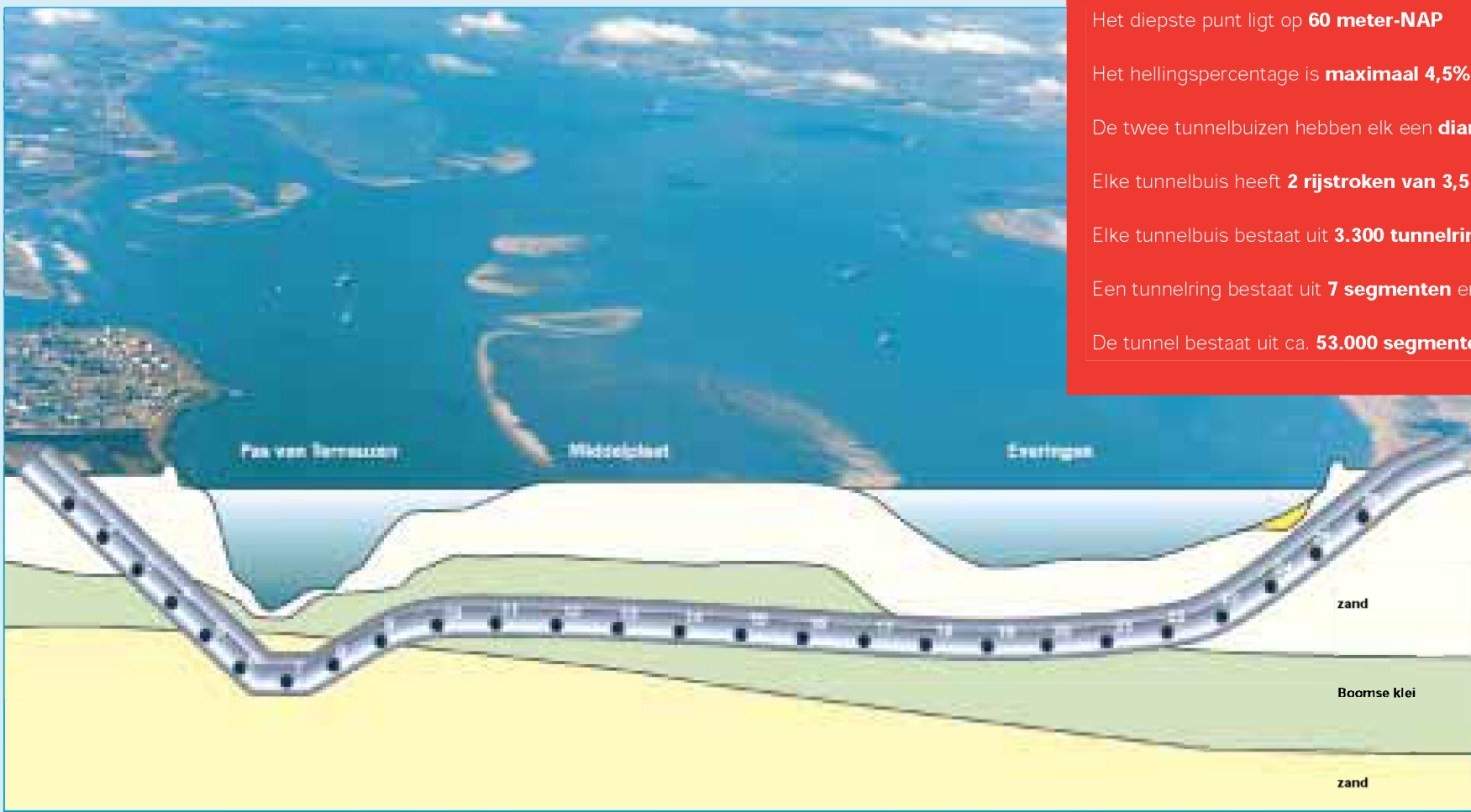
Twee tunnelboormachines
Voor de aanleg van de twee tunnelbuizen zijn door Herrenknecht AG te Schwanau (Duitsland) twee tunnelboormachines (TBM's) ontworpen en gebouwd. Deze banen zich in ruim twee jaar een weg onder de Westerschelde, door verschillende zandlagen en de zogeheten Boomse klei heen. Deze kleisoort is

zeer vast en laat vrijwel geen water door. Uit praktische overwegingen volgen de TBM's elkaar met circa drie maanden verschil. Men begint bij Terneuzen in Zeeuwsch-Vlaanderen om later bij Ellewoutsdijk op Zuid-Beveland weer boven te komen.

Westerscheldetunnel in cijfers

Afmetingen

- De tunnel is **6,6 kilometer lang**
- Het diepste punt ligt op **60 meter-NAP**
- Het hellingspercentage is **maximaal 4,5%**
- De twee tunnelbuizen hebben elk een **diameter van 11 meter**
- Elke tunnelbuis heeft **2 rijstroken van 3,5 meter breed**
- Elke tunnelbuis bestaat uit **3.300 tunnelringen**
- Een tunnelring bestaat uit **7 segmenten** en een sluitsteen
- De tunnel bestaat uit ca. **53.000 segmenten**



TUNNEL WEGEN

4. Het tracé

Het totale project omvat een boortunnel met tunneltoeritten aan de noord- en zuidzijde, toeleidende wegen op Zuid-Beveland (gemeente Borsele) en in Zeeuwsch-Vlaanderen (gemeente Terneuzen), een tolplein op Zuid-Beveland en viaducten om wegen, waterwegen en spoorwegen veilig te kruisen.

Het tracé van de oeververbinding begint aan de noordzijde bij de N 254 tussen Goes en Middelburg en eindigt in Zeeuwsch-Vlaanderen met een aansluiting op de N 61. De totale lengte bedraagt circa 22 kilometer. De tunnelwegen zijn grotendeels als enkelbaans autoweg uitgevoerd, met één rijstrook per rijrichting. Bij het ontwerp en de grondreservering is echter wel rekening gehouden met een eventuele verbreding tot autosnelweg. Naar verwachting zal dit circa vijftien jaar na ingebruikname het geval zijn, afhankelijk van de toename van het verkeer.

Tracé Zuid-Beveland

Het tracé op Zuid-Beveland loopt van noord naar zuid door drie polders: de nieuwe West-Kraaijertpolder, de Borsselepolder en de Ellewoutsdijkpolder. De weg begint vanaf de N 254 (Sloeweg) even ten zuiden van Nieuwdorp en gaat bij Ellewoutsdijk de tunnel in. Op de plaats waar de Sloespoorlijn en het tracé van de Westerscheldetunnel elkaar kruisen, was aanvankelijk een viaduct gepland. Aangezien de Sloespoorlijn mogelijk wordt verlegd, kan hierop wellicht worden bespaard. Voorlopig wordt dan ook, in afwachting van die ontwikkeling, een gelijkvloerse kruising gerealiseerd. Wordt de Sloespoorlijn niet verplaatst, dan komt het viaduct er alsnog.

Op weg naar de tunnel stijgt het tracé naar een hoogte van 6,5 m +NAP om de zogenoemde kanteldijk te passeren die

rond de tunneltoerit ligt. Deze kanteldijk beschermt de tunnel tegen overstromingen vanuit de achterliggende polder. Omgekeerd beschermt de dijk de polder als de tunnel zou vollopen. Na het kruisen van de kanteldijk daalt de weg in de tunneltoerit met een maximale helling van 4,5%.

Tolplein

Het tolplein ligt tussen 's-Heerenhoek en Borssele, op circa vijf kilometer van de tunnelingang op Zuid-Beveland. Voor een goede verkeersafwikkeling is voor de tolheffing uitgegaan van zes tolhuisjes per rijrichting. Verder wordt een verzorgingsplaats ingericht met voorzieningen als een busstation, carpoolplaats, parkeerplaats, fietsenstalling en zijn er een benzinestation en een restaurant gepland. Ook komen er onderhoudsvoorzieningen en een ruimte

van waaruit de bediening en bewaking van de tunnel gaat plaatsvinden. Bij de vormgeving van het tolplein is speciaal gelet op de landschappelijke inpassing. Het ontwerp voor het tolplein is in een simulatiestudie getoetst aan de diverse verkeerskundige en logistieke aspecten. Dit was medebepalend voor het vaststellen van het benodigd aantal tolhuisjes en de verschillende betaalsystemen. Zo is in de studie rekening gehouden met onder meer een mogelijk hoge (toeristische) verkeersintensiteit, waarbij het verkeer op diverse punten zou kunnen 'vastlopen'. Deze studie leverde een schat aan informatie op, die tot een aanpassing van het oorspronkelijk ontwerp van het tolplein heeft geleid. De zekerheid bestaat nu dat zowel op de verzorgingsplaats als bij de tolhuisjes geen vertragingen ontstaan.

De tunnelingang in Zeeuwsch-Vlaanderen



Het tracé



Tunnel

De boortunnel is circa 6.600 meter lang en bestaat uit twee buizen. In de tunnel bevinden zich in iedere buis twee rijstroken van elk 3,5 meter breed bestemd voor auto's, bussen, vrachtwagens, caravans en motoren. De Westerscheldetunnel is niet toegankelijk voor voetgangers en (brom)fietsers. Tussen Vlissingen en Breskens komt er naar alle waarschijnlijkheid een veerverbinding speciaal voor fietsers en voetgangers.

Tracé Zeeuwsch-Vlaanderen

Aan de Zeeuwsch-Vlaamse kant komt de weg eveneens met een hellingspercentage van maximaal 4,5% weer omhoog. Na het passeren van de kanteldijk, op een hoogte van 6,5 m +NAP, sluit de weg aan op de H.H. Dowweg. Verderop naar het zuiden wordt het tracé onder de spoorlijn Dow-Sluisland geleid. De toeleidende weg sluit ten slotte aan op de N 61.

GRONDLAGEN

5. Boren in slappe grond

Het diepste punt van de tunnel ligt op ruim 60 meter onder de zeespiegel.

Dit heeft onder meer te maken met de diepte van de vaargeul en de eis

dat de tunnel, om opdrijven te voorkomen, een gronddekking moet hebben

die ongeveer overeenkomt met de diameter van de tunnel.

Verticaal alignement

Het verticale alignement van de tunnel is vastgesteld op basis van randvoorwaarden voor de maximaal toegestane helling (4,5%), de minimaal benodigde helling (circa 0,15%), de minimaal benodigde gronddekking (12,5 meter) en de geologische gesteldheid. Van zuid naar noord verloopt deze als volgt: vanaf het hoogste punt in Zeeuwsch-Vlaanderen, de kanteldijk rond de tunneltoerit op circa 6,5 meter +NAP, daalt de tunnel onder de maximale helling van 4,5% naar het diepste punt, aan de zuidkant van de Pas van Terneuzen.

De gehele tunneldoorsnede, met de onderkant op circa 60,5 meter -NAP, ligt hier in de Zanden van Berg, waar de maximale waterdruk zo'n 6,5 bar is.

Onder de Pas van Terneuzen loopt de weg nagenoeg horizontaal om aan de zuidzijde van de Middelplaat onder een helling van circa 3,5% te stijgen tot ongeveer 41 meter -NAP. Onder de Middelplaat daalt de weg min of meer volgens het verloop van de bovenkant van de Boomse klei, onder een helling van circa 0,33% naar het

noorden. Onder de zuidzijde van de Everingen stijgt de weg vanaf het diepste punt onder de Everingen (onderkant tunnel op circa 51,25 meter -NAP) in een helling van circa 1%, overgaand in de maximale helling van 4,5% tot het hoogste punt op Zuid-Beveland. Hier komt de weg uit op de kanteldijk rond de tunneltoerit, op circa 6,5 meter +NAP.

Boomse klei

Een groot deel van de bodem waarin de tunnel wordt geboord, bestaat uit een laag zeer vaste 'Boomse' klei, die vrijwel geen water doorlaat. De onderkant van de Boomse klei verloopt van zuid naar noord van circa 40 tot 70 meter beneden NAP. Op de Zeeuwsch-Vlaamse oever ligt de bovenkant op circa 23 meter beneden NAP. Bij de Pas van Terneuzen zijn erosiegeulen aanwezig tot een diepte van circa 38 meter. Op de Middelplaat ligt de bovenkant van de Boomse klei op circa 20 meter beneden NAP en daalt bij de Everingen weer sterk vanwege erosiegeulen tot circa 40 à 45 meter. Tot de Zuid-Bevelandse oever verloopt de bovenkant van de klei tot circa 60 meter onder zeeniveau.

Onder de Boomse klei komt over het gehele tracé een grof, licht glauconiethoudend zand voor, de Zanden van Berg (zie ook kader). Het glauconietgehalte (micamineraal) is hier circa 6%. Boven de Boomse klei wisselen zand- en kleilagen in verschillende samenstellingen en diktes elkaar af. Van jong zeezand en kleihoudend zand tot het zeer vast glauconiethoudend zand met een glauconietgehalte van circa 30%.

Dit zand komt voor bij de Everingen tot circa 25 meter beneden NAP en bij Zuid-Beveland tot 20 meter onder de zeespiegel. Bij de Pas van Terneuzen ontbreken de lagen boven de Boomse klei nagenoeg.

Grondlagen

Bij het boren worden van onder naar boven, en daarmee van oud naar jong, de volgende grondlagen gepasseerd:

Zanden van Berg

Deze laag bestaat uit glauconiethoudend zand, dat 'vettig' aanvoelt. Glauconiet is een mineraal dat enigszins op mica lijkt. De grootte van de korrel varieert van matig fijn tot matig grof.

Boomse klei

Dit is een stugge, compacte en zware klei. Een groot gedeelte van de tunnel gaat door deze Boomse klei.

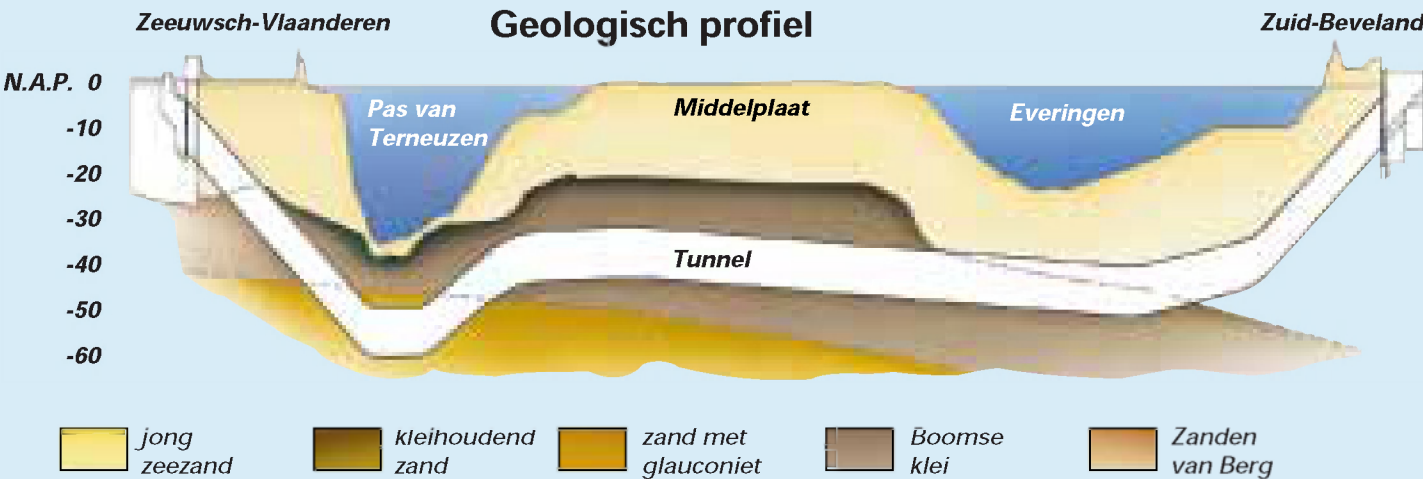
Formaties van Breda en Oosterhout

Boven de Boomse klei bevindt zich weer een laag glauconiethoudend

zand, maar van recentere datum dan de Zanden van Berg. Deze laag ligt alleen ter hoogte van de Everingen op de Boomse klei. Ook hier varieert de grootte van de korrel van matig fijn tot matig grof.

Eem- en Westlandformatie en formatie van Twente

De bovenste lagen, die in de omgeving van beide tunnелuiteinden worden doorsneden, bestaan uit zandlagen, al dan niet afgewisseld met kleilagen. Deze zandlagen bevatten geen glauconiet. Het zand varieert in korrelgrootte van zeer fijn tot matig fijn.



HYDROSCILD-METHODE

6. De tunnelboormachine

Voor de twee tunnelbuizen zijn in Duitsland twee tunnelboormachines ontworpen en gebouwd.

De tunnelboormachine (TBM) graaft een cilindervormig gat in de bodem en bouwt daar de tunnelbuis in. Het voorste deel van de TBM bestaat uit het boorschild, een stalen cilinder van 11 meter lengte en een diameter van 11,3 meter.

Dit schild voorkomt dat grond en water de tunnel binnenstromen. Alle hulpapparatuur die nodig is tijdens het boren van de tunnelschacht en het bouwen van de tunnelwand bevindt zich op en in volgwagens achter het boorschild.

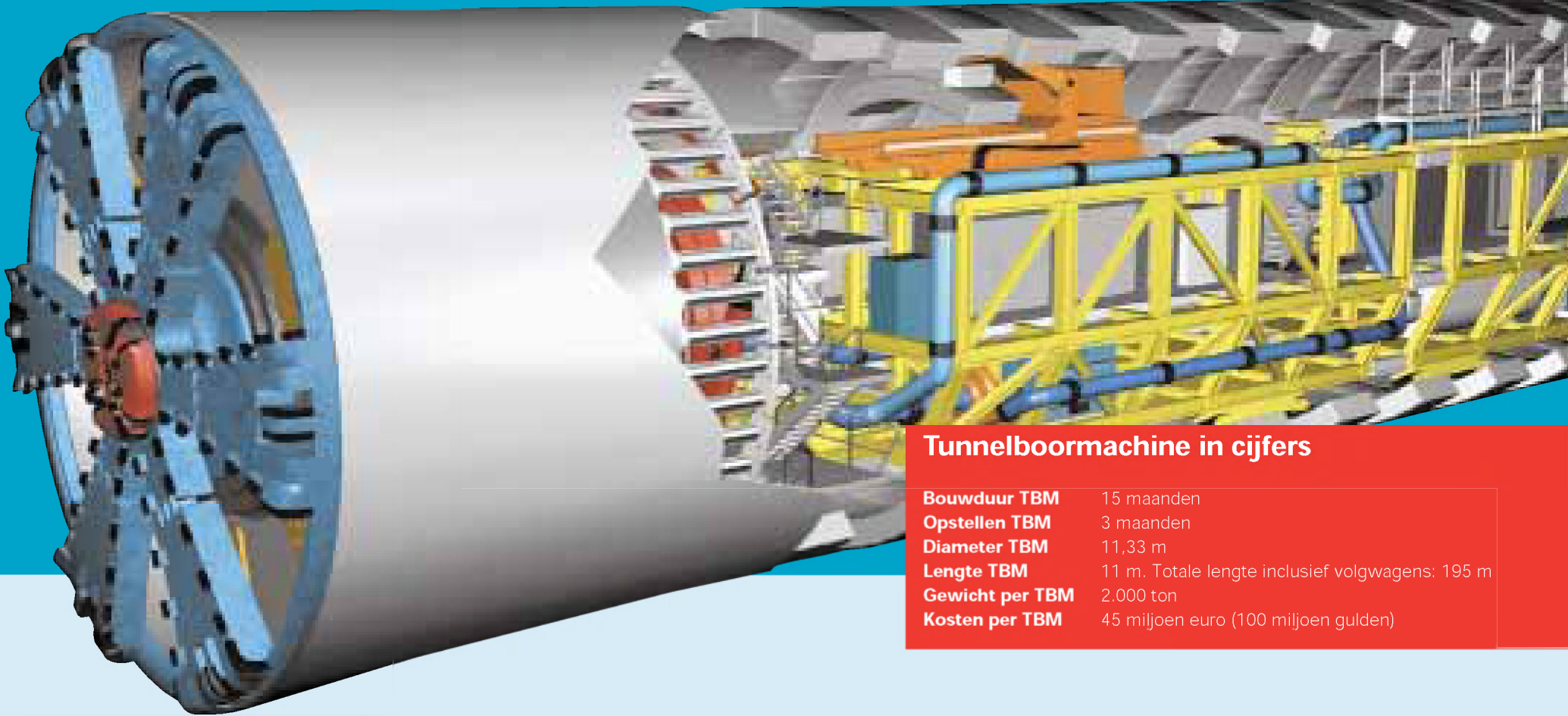
Deze 'kruipende fabriek' is ongeveer 185 meter lang.

Hydroschildmethode

Aan de voorzijde staat de TBM in contact met de af te graven grond. Tegen deze muur van grond en water - het boorfront - draait het snijrad dat met zes armen de grond laag voor laag afgraaft. Naarmate de TBM dieper graaft, wordt de grond- en waterdruk steeds hoger. Om te voorkomen dat vanwege die druk de grond de TBM binnenstroomt, wordt het boorfront tegengehouden. Dit gebeurt door de ruimte achter en tussen de 'spaken' van het snijrad te vullen met een water-bentonietmengsel, waardoor het boorfront tijdens het hele boorproces met een steunvloeistof wordt gestabiliseerd. Deze graafkamer wordt afgesloten door een drukwand. Achter die wand heerst atmosferische druk. In dit lagedrukgedeelte worden de nieuwe tunnelringen geplaatst, gevolgd door de aanleg van het wegdek met het kabelkanaal en de dwarsverbindingen. Met deze hydroschildmethode is in Nederland reeds ervaring opgedaan bij de bouw van de Tweede Heinenoordtunnel.

Twee boormethoden

Er zijn voor Nederlandse omstandigheden twee boormethoden mogelijk: de hydroschildmethode en de gronddruk-balansschildmethode, meestal aangeduid met de Engelse benaming EPB (earth pressure balance). Bij laatstgenoemde methode wordt de ontgraven grond gebruikt om tegendruk op te bouwen. De Botlekspoortunnel bijvoorbeeld boort men met een EPB-machine. Deze methode kan alleen worden toegepast als door harde, homogene grondlagen wordt geboord die slecht water doorlaten. Dat is bij de Westerscheldetunnel niet het geval; daar heeft de zachte, natte grond nauwelijks stevigheid van zichzelf. Vandaar de toepassing van de hydroschildmethode. Andere argumenten om voor de hydroschildmethode te kiezen zijn: het beheersen van de grote waterdruk, de mogelijkheid voor duikers om in de graafkamer te komen, weinig risico op slijtage en een voortdurende waarborg tegen verklevingen.



Tunnelboormachine in cijfers

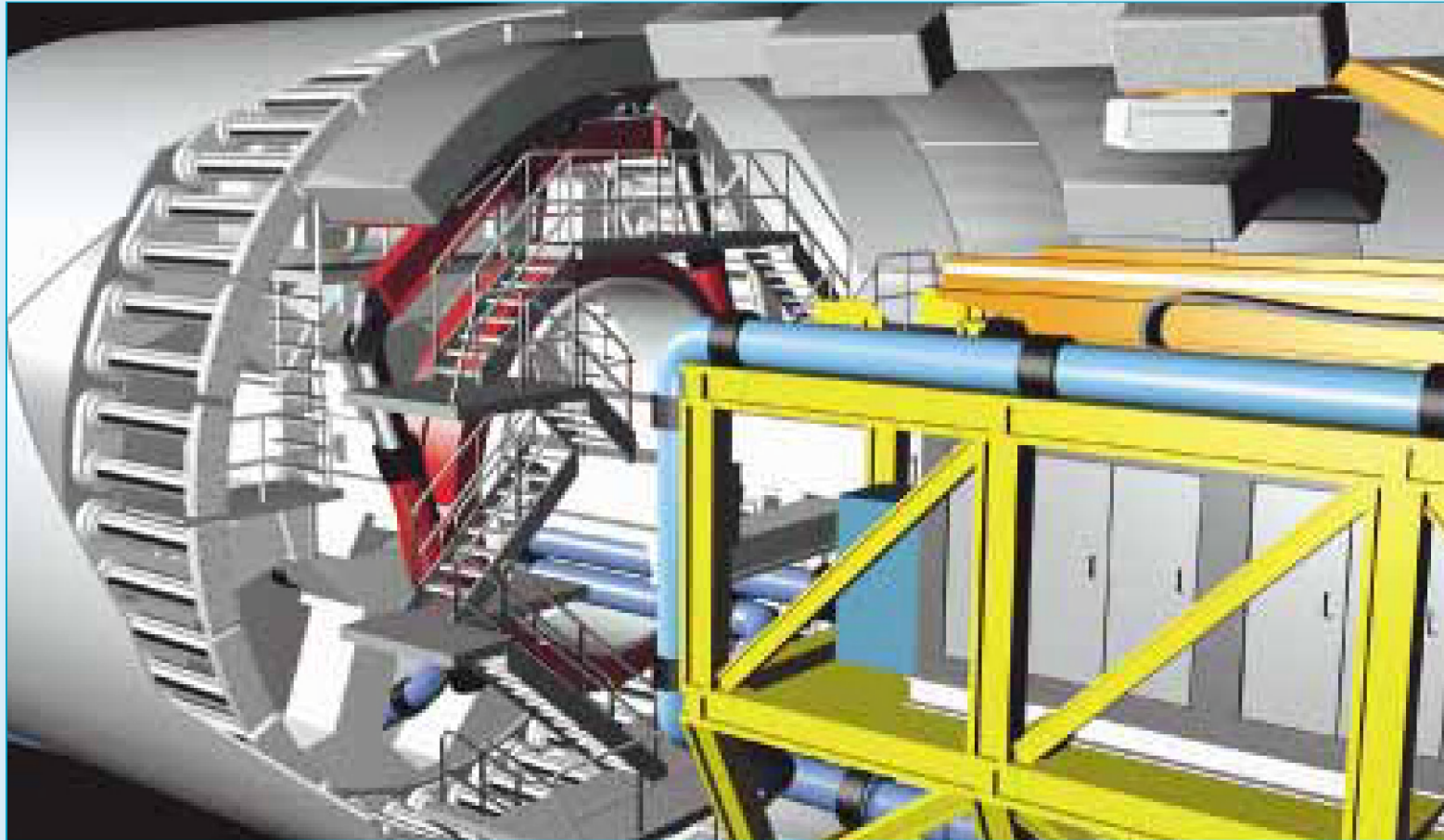
Bouwduur TBM	15 maanden
Opstellen TBM	3 maanden
Diameter TBM	11,33 m
Lengte TBM	11 m. Totale lengte inclusief volgwagens: 195 m
Gewicht per TBM	2.000 ton
Kosten per TBM	45 miljoen euro (100 miljoen gulden)



Snijrad TBM

Bentoniet

Bentoniet is een tufsteen die ontstaat bij vulkaanuitbarstingen. Het bestaat uit kleine kleideeltjes die tot een soort 'gel' opzwellen als ze water opnemen. De vloeistof dringt in de poriën van de grond rond het boorfront en vormt een waterdichte en afpleisterende laag. Vermengd met water en grond werkt bentoniet niet alleen als steunvloeistof, maar ook als transportmedium om de grond mee af te voeren. Die dubbelfunctie wordt verklaard door het thixotropisch karakter van het bentoniet: bij stilstand heeft bentoniet enigszins de kenmerken van een vaste stof, maar in beweging gedraagt het zich als een vloeistof, die goed met zand is te mengen.



Staartstuk van de TBM

De tunnelboormachine (TBM) is het hart van een omvangrijk productieproces, dat zich zowel ondergronds als bovengronds afspeelt. Ondergronds boort de TBM niet alleen de tunnelbuis, maar wordt ook gelijktijdig de tunnelwand gebouwd. Daarvoor is de volgende apparatuur ontworpen:

- het boorschild met snijrad en vijzels voor de voortbeweging;
- de erector voor de plaatsing van de geprefabriceerde betonnen segmenten waaruit een tunnelring is opgebouwd;
- het besturingssysteem voor het besturen van de TBM en het bewaken van de kwaliteit van het proces;
- volgwagens voor de energievoorziening, leidingverlengsystemen en het materiaaltransport.

Boorschild

Het voorste ronde deel van de TBM is het boorschild, dat loopt van het boorfront (de muur van grond) tot en met de staartaftichting. In deze stalen cilinder zijn alle primaire functies van het boorproces ingebouwd. Het boorschild bestaat uit een **voorstuk** en een **staartstuk**.

Het **voorstuk** is het hogedrukgedeelte met daarin de graafkamer en de werkkamer, en is alleen bereikbaar via een druksluis. Reparaties worden uitgevoerd door duikers die in een speciale cabine op druk zijn gebracht. Voordat de duikers aan de slag gaan, laat men de bentonietpiegel in het hogedrukgedeelte gedeeltelijk zakken zodat de duikers in lucht onder druk kunnen werken. In het voorstuk zit ook het

hoofdframe van de TBM. Het hoofdframe heeft diverse krachtoverdrachtsfuncties. Bovenin het voorstuk bevinden zich de beide personensluizen en de materiaalsluis.

De **graafkamer** wordt ook wel het 'snijdeel' genoemd. Dit compartiment met voorin het snijrad, is volledig gevuld met bentonietlurry. Het snijrad kan twee kanten op draaien en bestaat uit zes armen, met in totaal 64 snijtanden die de grond loswoelen. Deze snijtanden zijn zonodig te vervangen. De graafkamer eindigt bij de duikwand. In het midden van het snijrad bevindt zich de centrumsnijder. Deze draait onafhankelijk van het grote snijwiel zowel linksom als rechtsom. De centrumsnijder voorkomt propvorming en verkleving van de grond in het centrum van het boorfront.

Duikers

Duikers onderhouden en repareren het graafdeel in het hogedrukgedeelte van de boormachine. Bij storingen en reparaties wordt de bentonietpiegel verlaagd en de vrijgekomen ruimte opgevuld met lucht. Voordat ze dit hogedrukgedeelte ingaan, brengt men de duikers in een speciale duiksluis in de duikwand van de machine 'op druk'. Als het boorfront niet stabiel genoeg is, kan het snijwiel in een vaste positie worden geblokkeerd en worden er steunplaten tussen de spaken uitgedrukt tot tegen het graaffront. Deze platen beschermen de duikers tegen een eventuele instorting. Bij verstoppingen bij de zuigopening kan men de ruimte met de agitators en brekerwals met een schuif afsluiten van de grafruimte. Het onderhoudspersoneel kan dan onder atmosferische omstandigheden stenen en andere obstakels verwijderen.



Duikershuttle

Het deel van de duikwand tot aan de drukwand is de **werkkamer**. Deze staat in open verbinding met de graafkamer en is gedeeltelijk gevuld met bentonietlurry met bovenin een gedeelte lucht onder druk. Het luchtkussen vangt drukschommelingen in de graafkamer op. Ook heeft deze luchtkamer een signaalfunctie bij ongewenste lekkages aan het boorfront.

In het **staartstuk** worden de tunnelsegmenten geplaatst. Dit deel wordt aan de voorzijde begrensd door de drukwand die daarmee de scheiding tussen het hoge- en lagedrukgedeelte vormt. Hier bevinden zich de vijzels, de ingang van de druksluis en de erector waarmee de betonnen tunnelsegmenten worden geplaatst. Het boren zelf is een discontinu proces.

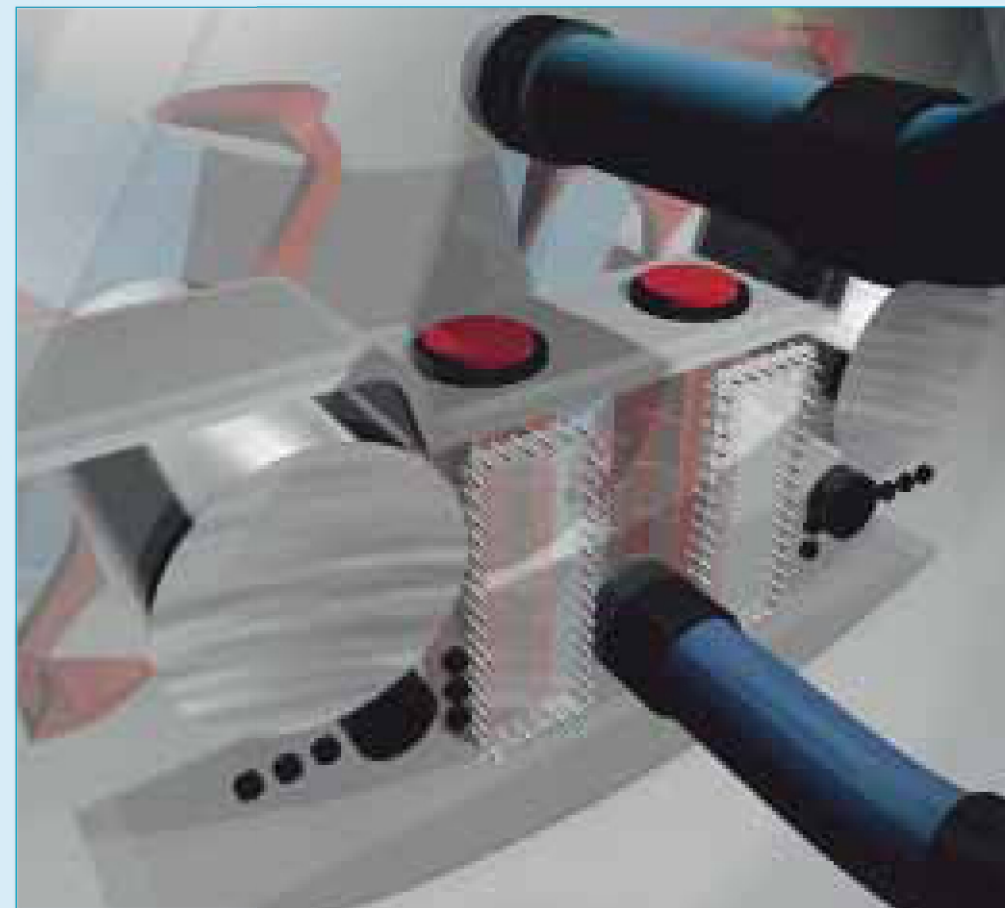
De kopvlakken van iedere nieuwe tunnelring dienen als afzetpunt voor de vijzels waarmee de tunnelboormachine zich voortduwt. Nadat het snijrad de grond over een lengte van twee meter heeft afgegraven en de vijzels hun maximale slag hebben bereikt, stopt het boren.

De 56 vijzels worden om beurten ingetrokken, waarbij telkens een nieuw tunnelsegment tegen de vorige ring wordt geplaatst. Dit gebeurt in een 'halfsteens' verband. Hierna worden de ingetrokken vijzels weer tegen het nieuw geplaatste segment afgezet. Zo wordt een volledige ring opgebouwd uit zeven segmenten en een sluitsteen. Bij een boorsnelheid van gemiddeld 5 centimeter per minuut staat de boor na elke veertig minuten stil voor

Hulpmiddelen tegen verstoppingen

Bij het ontwerpen van de tunnelboormachine is speciale aandacht besteed aan het voorkomen van verkleefing van de harde Boomse klei. Verschillende onderdelen van de boormachine zorgen ervoor dat het bentonietmengsel goed is weg te pompen zodat de afvoer van grond niet stagneert. Daarvoor zorgen de volgende elementen:

- **Centrumsnijder** in het centrum van het snijwiel. Deze draait onafhankelijk van het snijwiel in dezelfde richting of in tegengestelde richting. Hij verdeelt de druk, waarmee opeenhoping van klei in het midden van het graafwiel wordt voorkomen. De centrumsnijder kan sneller of langzamer dan het graafwiel draaien.
- **Agitatoren:** de twee verticale wielen met schoepen achter het snijwiel. De wielen draaien tegen elkaar in om de kleibrokken te verkleinen.
- **Brekerwals:** deze bestaat uit twee verticaal opgestelde draaiende cilinders met tanden, die de kleibrokken breken. De brekerwals bevindt zich achter de agitatoren.



De agitatoren en brekerwalsen

het plaatsen van een volledige tunnelring van 2 meter breed. Het monteren daarvan neemt ongeveer veertig minuten in beslag. Het onderste segment van de nieuwe tunnelring is altijd het eerste segment. Vervolgens bouwt men de ring van onderaf, segment voor segment naar links en rechts op.

Als laatste plaatst men de sluitsteen in de bovenste helft van de ring. Gelijktijdig met het bouwen van de tunnelring worden diverse buizen en leidingen verlengd voor de aan- en afvoer van grond, water, bentoniet, grout en elektriciteit. Op deze manier schuift in een doorlopend fabricageproces de boormachine met alle daaraan gekoppelde volgwagens op. Dit wordt met veel meet- en regelappara-

tuur continu bewaakt via de controlekamer op de eerste volgwagen. Terwijl men aan de voorzijde boort, levert men aan de achterzijde een min of meer complete tunnel in ruwbouw af.

Bij grootschalig onderhoud staan de duikers langdurig onder druk. Zij verblijven dan maximaal drie weken in de zogenoemde saturatietank, een verblijfsruimte voorzien van alle comfort. Het grote voordeel van deze methode is, dat de duikers op elk gewenst moment werkzaamheden in de graafkamer kunnen uitvoeren. Vanuit deze tank op het bouwterrein worden ze in een speciale shuttle per trein naar de TBM vervoerd.

Bepalen boorrichting

Door de hydraulische vijzels met verschillende kracht tegen de tunnelsegmenten af te zetten, wordt de boorrichting van de tunnelboormachine bijgestuurd. Daarom zijn de vijzels verdeeld in zeven groepen die apart worden aangestuurd. Er zijn zowel linkse als rechtse ringen (tapse segmenten) die variëren in breedte (= tunnellangsrichting) en waarmee elke bocht gemaakt kan worden. Met alleen linkse ringen kan de sluitsteen in elke positie van de ring terechtkomen. Door ook rechtse ringen te gebruiken, kan de sluitsteen onder normale omstandigheden altijd in de bovenste helft van de tunnelring worden geplaatst. De coördinatie luistert zeer nauw, omdat de juiste segmenten 'just in time' in het

boorschild moeten arriveren. De buitendiameter van de tunnelringen is 11 meter, 33 centimeter minder dan de diameter van het boorschild. Dit verschil in diameter tussen de achterkant van het boorschild en het begin van de tunnel, is afgedicht met vier rijen staalborstels met vetkamers daartussen: de staartaftichting. De ruimte hierachter is de zogenaamde staartspleet van 16,5 centimeter tussen het boorgat en de tunnelsegmenten. Daarin wordt grout (mortel) geïnjecteerd. Dit mengsel van water, zand en cement hardt volledig uit en vormt zo een stevige laag om de tunnel.



De erector plaatst een tunnelsegment

Erector

In het staartstuk pakt de erector de tunnelsegmenten één voor één op. Met een vacuümklep tilt de erector de betonnen segmenten van de aanvoerkraan en zet ze op hun plaats. Door de rubberen afdichtingen (neopreenprofielen) sluiten de segmenten waterdicht op elkaar aan. Elke ring bestaat uit zeven segmenten en een sluitsteen.



De besturingscabine in de TBM

Plaatsbepalingssysteem

Het plaatsbepalingssysteem van de TBM is computergestuurd. Door het geavanceerde besturingssysteem leggen de boormachines de weg van 6,6 kilometer van Zeeuwsch-Vlaanderen naar Zuid-Beveland met grote precisie af. De computer stelt met behulp van een speciaal lasersysteem en een prisma ijkpunten vast, bepaalt de positie en berekent de te volgen koers. Bij grote afwijkingen (maximaal 10 centimeter) berekent de computer een correctiekoers. Deze koers wordt afgestemd op het gebruik van linkse en rechtse ringen (tapse segmenten) om bochten te kunnen maken en de beperkte stuurmogelijkheden van de TBM. Het besturingsprogramma stelt op grond van de nieuwe koers het type (links of rechts) van de eerstvolgende ringen en de inbouwpositie voor.

Volgwagens met hulpapparatuur

Achter de tunnelboormachine bevinden zich volgwagens met hulpapparatuur, die de TBM met zich meetrokt in de boorrichting. Vanaf deze volgwagens wordt de TBM

bediend en bestuurd. De volgwagens rijden over de wand van de tunnel en bevatten het volgende:

Volgwagen 1a:

- hydraulische installatie voor de aandrijving van de TBM: een tank met hydraulische olie, pompen en motoren, regelkleppen, koel- en filterinstallatie en elektrische voeding;
- reservetank voor het bentoniet;
- toegangs- en vluchtweg;
- groutmortelinstallatie (pompen en container);
- bentonietafvoerpomp met aandrijfmotor en koelunit;
- ruimte voor aanvoer en tussenopslag van een tunnelring;
- speciale vacuümkraan voor tunnelsegmenten.

Volgwagen 1b:

- besturingscabine met het besturings- en controlepaneel en de personeelscabine;
- elektrisch transformatorstation;

- installatie voor watervoorziening;
- installatie voor perslucht.

Volgwagen 2 en verder:

- twee bovenloopkranen voor het transport en plaatsen van tunnelsegmenten;
- inbouw aanvulling voor wegdek;
- kabel voor elektrische hoogspanningstoevoer;
- datatransmissiekabel;
- smalspoor voor aanvoer van materiaal en tunnelementen;
- water- en persluchtleidingen;
- flexibele leiding voor luchtventilatie;
- flexibele leiding voor bentoniettoevoer en -afvoer;
- tussenopslagplaats voor de verlengpijpen van het bentonietcircuit;
- railstukken van de smalspoorbaan;
- onder deze platformwagens hangen loopkranen voor het plaatsen van de kabelkanaalelementen, het transport van de grondcontainers voor het weglichaam en het plaatsen van pijpleidingen tussen de TBM's en de tunnel.

BOREN EN BOUWEN

7. Het boorproces

Tijdens de bouw van de Westerscheldetunnel wordt 24 uur per dag geboord.

Onderhoudswerkzaamheden aan de machine vinden tussentijds plaats. Het logistieke

proces van aan- en afvoer bepaalt het boor- en bouwtempo. In de twee boormachines

werken in totaal 280 personen in ploegdiensten. Zij beschikken over allerlei

voorzieningen, zoals toiletten en een schaftruimte.

Start boorproces

De in grote delen gedemonteerde TBM's zijn per binnenvaartschip vanuit Duitsland naar de Westerschelde getransporteerd en vervolgens per transportwagen op de bouwplaats gebracht. Met de montage van een TBM op de boorlocatie is ongeveer drie maanden gemoeid.



De in grote delen gedemonteerde TBM's

De frontzijde van de inrit is uitgevoerd als een verticale betonwand met twee cirkelvormige gaten, de brilringen, waar de TBM's precies inpassen. Tegen deze frontwand is aan de buitenzijde een aanvulling met schrale beton aangebracht, waarbij de brilringen tijdelijk met een bekisting zijn afgesloten. Deze aanvulling, het dichtblok genaamd, vormt de eerste min of meer waterdichte buffer waar de TBM bij de start van de boorwerkzaamheden doorheen moet. In die fase worden de spleet tussen de brilopening en de eerste geplaatste ringen waterdicht gemaakt, waarna de waterkerende functie van het dichtblok komt te vervallen.

De TBM beweegt zich bij de start van het boren voorwaarts door zich met hydraulische vijzels af te zetten tegen zes tijdelijke tunnelringen ofwel blindringen, die tegen een stevig gefundeerd afzetframe zijn geplaatst. De vijzels worden op spanning gebracht, waarna de TBM in de brilring schuift. Vervolgens wordt de drukkamer gevuld met bentoniet en onder druk gebracht.

Aan de binnenzijde van de brilring zijn twee rubberen profielen gemonteerd die de ruimte tussen de stalen ringen en de boormachines afdichten. Als het uiteinde van



de TBM na circa 10 meter boren volledig binnen de brilring is, wordt een slang opgeblazen om de ruimte tussen brilring en blindringen af te dichten. De TBM graaft zich een weg door het dichtblok, waarna hij in de onbehandelde grondlaag verder boort. Bij de toerit aan de overkant komt de TBM in een caisson terecht, dat eveneens is afgesloten met een dichtblok. Dan is het graafwerk voltooid. In de afbouwfase worden de hulpringen en een deel van de brilring verwijderd en wordt de verbinding tussen de tunnelbuis en toeritconstructie definitief gemaakt. Tijdens en direct na het boren en plaatsen van

de tunnelringen wordt er veel werk verzet. Het kabelkanaal en het funderingsmateriaal voor de rijweg brengt men direct na het plaatsen van de tunnelsegmenten aan.

Beloopbaar kabelkanaal

In beide tunnelbuizen komt onder het wegdek een beloopbaar kabelkanaal dat toegankelijk is met een speciaal minivoertuig. De overige ruimte onder het wegdek is aangevuld met een zand-cementmengsel. Achter de boormachine is een brug van circa 30 meter ontworpen waaronder het plaatsen van prefab kabel-kanaalelementen en de

aanvulwerkzaamheden ongestoord kunnen plaatsvinden. Een stuk verder achter de TBM met zijn volgwagens worden de dwarsverbindingen gemaakt en nog verder achter het front wordt over dat deel van de tunneldoorsnede waar de trein niet rijdt al de hittewerende bekleding aangebracht. Hierna vindt de afbouw plaats, waarbij gedacht moet worden aan het aanbrengen van:

- de resterende hittewerende bekleding;
- elektriciteitskabels voor de stroomvoorziening in de tunnel
- de ventilatoren;
- de verlichting;

Inrichting kabelkanaal

Naast het kabelkanaal is elke 1000 meter een 'elektro ruimte' gebouwd. Daarin wordt van middenspanning naar laagspanning overgeschakeld en bevindt zich allerlei bedieningsapparatuur. In het kabelkanaal liggen kabels en leidingen voor de tunnel en kabels van derden. Het dient tevens als afvoerkanaal voor ventilatielucht en als toegangsweg tot de elektro ruimten. Voor het transport van mensen en materialen worden elektrische servicemobielen ingezet .



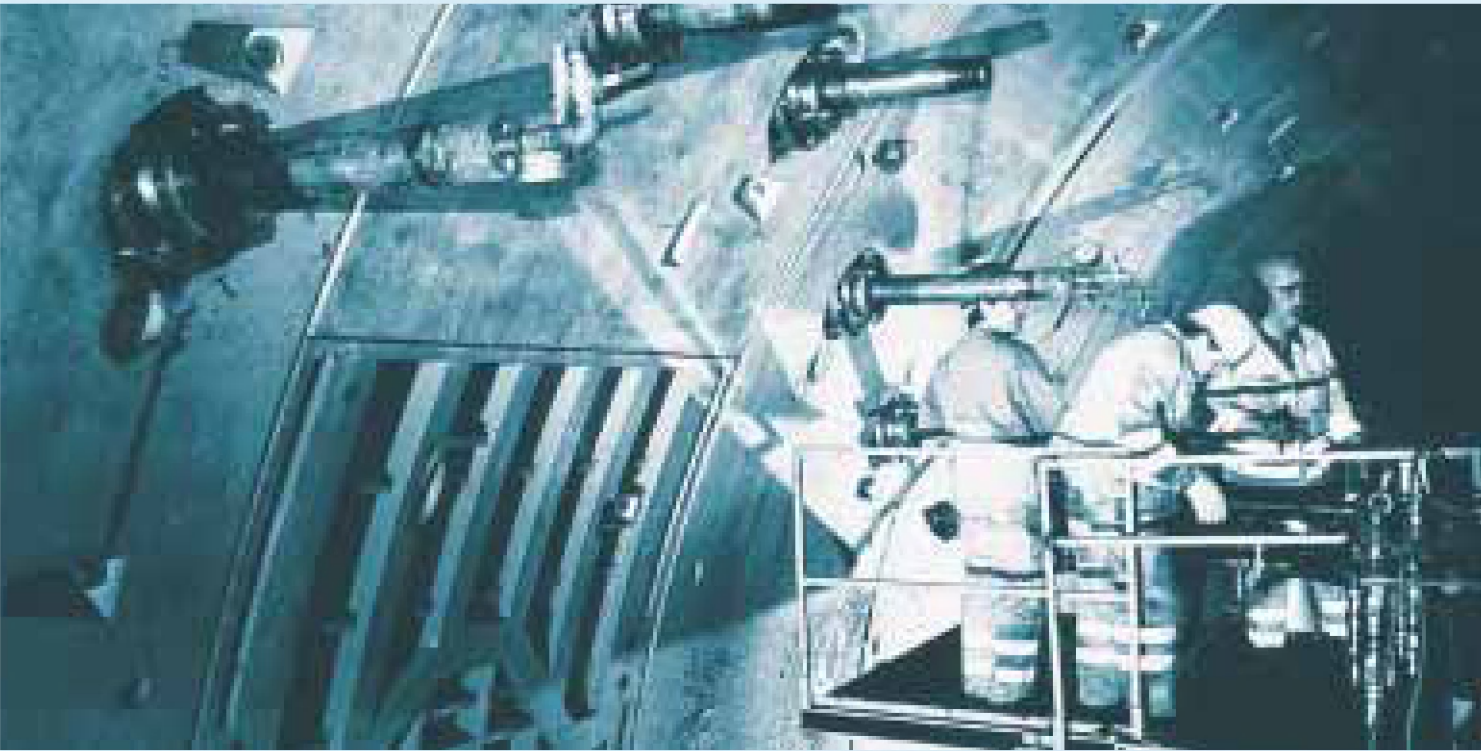
Het kabelkanaal

- de hulpposten;
- de stepbarriers (betonnen vangrails);
- het wegdek.

Ook zijn er voorzieningen nodig voor het bouwproces zelf, zoals:

- het aanleggen en voortdurend verlengen van diverse leidingen voor de aan- en afvoer van bentoniet-slurry en de aan- en afvoer van koelwater voor de boor en van de luchttoevoerleidingen die als permanente voorziening gehandhaafd blijven;
- het leggen van rails voor personenvervoer en de toevoer van materialen.

Het plaatsen van de vrieslansen



Dwarsverbindingen met vriestechniek

Tussen de beide tunnelbuizen worden om de 250 meter dwarsverbindingen aangelegd, in totaal 26 stuks. Aan het aanleggen van deze dwarsverbindingen kleven bouwtechnisch gezien de grootste risico's. Gekozen is voor de vriestechniek, de meest betrouwbaar geachte constructietechniek. Daarvoor worden speciale betonnen tunnelementen met doorvoeropeningen gebruikt. Deze bevinden zich rondom een stalen tunnelement waarin de opening voor de toekomstige vluchtdeuren al is aangebracht. Deze deuropening wordt tijdelijk afgesloten. Zodra de beide tunnelbuizen in langsricting ver genoeg gevorderd zijn, worden vanuit de ene buis 22 vrieslansen door de doorvoeropeningen geboord tot tegen de andere buis. Vervolgens wordt de omringende grond bevroren door pekkel (-35°C) rond te pompen in de vrieslansen. Daarna verwijdert men het demontabele deel in de

stalen tunnelementen en wordt de bevroren grond in fasen ontgraven. Het bevroren van de grond is cruciaal voor de bouw van de dwarsverbindingen. De laag bevroren grond dient tijdens de bouw als waterkerende laag én als tijdelijke draagconstructie zolang er nog geen constructiebeton is aangebracht. Zodra metingen uitwijzen dat de laag bevroren grond dik genoeg is, laat men het nog aanwezige water binnenin de ring door een kleine opening weglopen. Als er geen water meer komt, is de 'ijsring' waterdicht. Men start dan met het afgraven van de grond. Dit gebeurt stap voor stap, waarbij na iedere stap direct een laag spuitbeton van 30 centimeter wordt aangebracht. Als de hele dwarsverbinding is uitgegraven wordt aan beide kanten een verbinding met de tunnelbuis aangebracht. Pas daarna wordt de binnenring van 40 centimeter gestort. Het hele proces luistert heel nauw, met als een van de kritieke punten de druk van de bevroren grond. Deze mag niet te

hoog worden, wat nauwlettend in de gaten wordt gehouden door tijdens het bevroren en het uitgraven diverse metingen te verrichten. Een stalen nooddeur bij de opening naar de dwarsverbinding zorgt ervoor dat een eventuele calamiteit tijdens de aanleg van de dwarsverbinding niet tot het vollopen van een tunnelbuis leidt. Ter voorbereiding op het vriesproces zijn uitgebreide proeven op grondmonsters gedaan.

Levensduur tunnel

Een van de meest essentiële duurzaamheidseisen voor de tunnel is een levensduur van ten minste honderd jaar. De prefab tunnelsegmenten beschouwt men als de belangrijkste onderdelen in het kader van de structurele betrouwbaarheid van de tunnel. De grootste bedreigingen voor de duurzaamheid van deze segmenten zijn:

- corrosie van de wapening door:
 - chloride-indringing als gevolg van zout



Een uitgegraven dwarsverbinding

- grondwater aan de buitenzijde van de segmenten;
- - chloride-indringing als gevolg van dooizouten dan wel carbonatie aan de binnenzijde van de segmenten;
- mogelijk agressieve stoffen in de grond of het grondwater;
- vorst/dooicycli;
- alkali-silicareactie (ASR), een chemische reactie van alkaliën zoals natrium en kalium uit het cement met reactieve silica uit toeslagmaterialen voor het beton die leidt tot scheurvorming. Het is een traag proces dat tientallen jaren kan duren;
- DEF (delayed ettringite formation), een chemische reactie van de sulfaten uit het zeewater met bepaalde stoffen uit het cement waardoor het beton wordt aangetast.

Bij de keuze van materialen en fabricagemethoden is voortdurend de afweging gemaakt tussen enerzijds de kosten en

anderzijds de mate waarin de duurzaamheid kan worden verbeterd. Twee keuzes waren daarbij essentieel: een bijzonder dichte betonsamenstelling (duurzaamheid boven productiesnelheid) en voldoende dekking op de kopvlakken van de tunnelsegmenten zonder overmatige kans op te grote spleetspanningen in het beton.

Daarnaast is de verwerking en nabehandeling van het beton in hoge mate bepalend voor de levensduur. Dit met name in het licht van het tegengaan van carbonatie en indringen van chloride. Daarom zijn de volgende aanvullende maatregelen overeengekomen:

1. hydrofoberen;
2. nabehandelen.

Hydrofoberen en nabehandelen

Kort samengevat komt het erop neer dat direct na het ontkisten van de tunnelringsegmenten en het dichtpoetsen van luchtbellen op de kopvlakken, die plekken waar om constructieve redenen



Een afgekeurd tunnelsegment

een geringe dekking nodig is, worden ingesmeerd met een hydrofobeercrème. Daarna worden de tunnelsegmenten ingepakt in een folie. Dit moet binnen 2 uur na het ontkisten gebeurd zijn. De segmenten blijven 48 uur onder de folie voordat de verdere productielijn wordt doorlopen. De reden hiervoor is het verhardingsproces gunstig te laten verlopen, zodat krimp scheuren in de segmenten worden voorkomen. Om er zeker van te zijn dat de beoogde kwaliteit wordt behaald, controleert men deze met behulp van elektrische weerstandmetingen. Deze metingen worden uitgevoerd bij proefkubussen, op het moment dat deze 28 dagen in het water opgeslagen hebben gelegen. De keuze om de segmenten op het bouwterrein zelf te produceren, komt de betonkwaliteit ten goede. Beschadigingen door transport zijn hierdoor namelijk uitgesloten.

8. De twee tunneltoeritten

Gezien de verschillen in grondsamenstelling worden de tunneltoeritten aan zuid- en noordzijde op zeer verschillende manieren gebouwd. De tunneltoerit aan de zuidzijde is gebouwd in een kunstmatige polder. Deze is gemaakt van damwanden die reiken tot in de waterafsluitende Boomse klei.

Aan de noordzijde op Zuid-Beveland ligt de Boomse klei te diep. Daarom is daar een betonnen bak (caisson) ingegraven tot ongeveer 20 meter onder NAP.

Tunneltoerit in Zeeuwsch-Vlaanderen

De Boomse klei op circa 25 meter -NAP speelt een belangrijke rol bij de constructie van de tunneltoerit-zuid aan Zeeuwsch-Vlaamse zijde. Daar zijn vanaf het maaiveld cement-bentonietwanden aangebracht, tot circa 1 meter in de klei. Deze kleisoort zorgt voor een afsluiting aan de onderzijde, zodat een waterdichte kuip ontstaat. Voor de wanden graaft men verticale sleuven van circa 60 centimeter breed, die tijdens het graafproces worden volgepompt met een mengsel van water, bentoniet en cement. Door deze vloeistof kan tot op grote diepte worden gegraven zonder dat de sleuf instort. Eenmaal op diepte aangekomen, wordt voor de waterafdichting van de zijkanten van de bouwkuip een stalen damwandscherm in de sleuf gehangen en stijft het geheel op. Zo ontstaat rondom een waterafsluitend scherm. Het kopscherm heeft een dubbele uitvoering: aan de buitenkant een - tijdelijk - cirkelvormig scherm zonder damwanden, omdat hier later doorheen wordt geboord. Daarbinnen is het definitieve, rechte scherm wél voorzien van een damwand. Rondom deze schermen liggen kanteldijken tot 6,5 meter +NAP, waardoor bij een calamiteit in de tunnel het achterland niet kan vollopen. Omgekeerd beschermen ze de tunnel als de polder zou vollopen.

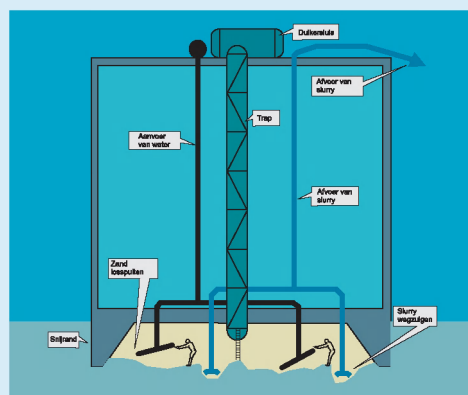
Polderconstructie

Binnen deze waterdichte afscherming, met een maximale afmeting van 375 x 160 m, wordt het grondwater afgemalen tot onder het diepste aanlegniveau van de toerit. Dit is op circa 18 meter -NAP, waarna het graven van een open bouwput volgt voor de eigenlijke inritconstructie. Binnen deze polderconstructie bestaat de toerit uit een gesloten overgangsgedeelte van 50 meter lengte en een open bakconstructie van 88 meter. De rest van de toerit bestaat uit een wegingraving met groene taluds. De betonconstructies zijn hier op staal gefundeerd.

Het gesloten overgangsdeel doet tijdens het bouwen dienst als startschacht voor de tunnelboormachines en is voorzien van een dichtblok, brilwand en afzetconstructie. Voor het plaatsen van de tunnelboormachines in deze schacht zijn gedeelten van het dak en de middenwand weggelaten. De bouw van de startschacht in Zeeuwsch-Vlaanderen beslaat een jaar en drie maanden. Na afloop van het boorproces wordt dit deel afgebouwd, inclusief een waterkelder, technische ruimten en de trappenhuizen.

Toerit op Zuid-Beveland

Op Zuid-Beveland bij de toerit-noord kan geen gebruik worden gemaakt van de



De afzinkmethode van de caisson

waterdichte afsluiting door de Boomse klei omdat deze hier te diep zit. Daarom wordt deze toerit op andere wijze uitgevoerd. Hier is gekozen voor een pneumatisch af te zinken caisson met een afmeting van 25 x 34,60 m².

De op het maaiveld gebouwde caisson heeft aan de onderkant een snijrand. Door de grond van binnenuit te ontgraven, zakt de constructie door zijn eigen gewicht de grond in. De gehele caisson wordt afgebouwd voordat hij wordt afgezonken. Bij het afzinken spuiten werklieden in een werkruimte onder de caisson met grote spuitlansen de aarde los. De modder wordt weggezogen en de caisson zakt door zijn eigen gewicht de grond in. Na ongeveer vijf weken moet de caisson helemaal onder het maaiveld zijn verdwenen.



De werklieden voeren hun werk uit onder een overdruk van maximaal 2,2 bar.

Het overige gedeelte van de toerit wordt gebouwd als een betonnen bakconstructie. De caisson dient tevens als ontvangtschacht bij het boorproces en heeft daarom ook een dichtblok, brilwand en de nodige sparingen om de tunnelboormachines op te vangen en af te voeren. Het bouwproces eindigt ook hier met het aanbrengen van een waterkelder, de technische ruimten en trappenhuizen. Evenals bij de zuidzijde wordt deze toerit omgeven door een kanteldijk. De bouw van de toerit-noord is in juli 1999 gestart, ongeveer gelijktijdig met de start van het boorproces in Zeeuwsch-Vlaanderen. Het duurt ongeveer twee jaar om de toerit te bouwen.

Uitvoering bouwkuip Zuid-Beveland

De bouwkuip ontstaat door het aanbrengen van een verankerde damwand en onderwaterbeton met trekpalen voor het meest diepe gedeelte. Voor het hoger gelegen deel wordt het onderwaterbeton achterwege gelaten. Hier gebruikt men de waterremmende leemlaag op circa 7 meter -NAP. Over dit gedeelte is de bakconstructie niet op palen, maar op staal gefundeerd.

PRODUCTIE- PROCES

9. Bouwterrein en logistiek

Het productieproces vindt niet alleen ondergronds plaats. Boven de grond is

evenveel bedrijvigheid. In Terneuzen en Ellewoutsdijk zijn twee bouwterreinen

ingericht, van waaruit de aan- en afvoer van alle benodigde materialen én het

personeel plaatsvindt.

De grootste van de twee bouwterreinen, dat in Terneuzen, herbergt naast werkplaatsen, magazijnen, loods en opslag en de kantoren van de aannemerscombinatie en de NV Westerscheldetunnel bovendien:

- een betonfabriek voor de productie van de tunnelsegmenten;
- opslagplaatsen voor tunnelsegmenten en kabelkanaalelementen;
- een scheidingsinstallatie voor het scheiden van bentoniet van de boorspecie;
- diverse bassins voor onder andere de aanmaak van bentoniet en de opslag van bentonietslurry;
- een menginstallatie voor zand/cement en gROUTMORTEL;
- een duikersloods met twee decompressietanks;
- een rangeeremplacement voor het treinverkeer van en naar de tunnel;
- transportbanden naar los- en laadsteigers voor de aanvoer van grondstoffen voor de productie van tunnelsegmenten en de afvoer van boorspecie.

Aan de overkant van het water op Zuid-Beveland, bij Ellewoutsdijk, ligt een kleiner bouwterrein. Hier wordt de tunneltoerit gebouwd waarin de boormachines uiteindelijk zullen uitkomen.

Complexe logistiek

De steeds groter wordende lengte van de aan- en afvoerlijnen is kenmerkend voor de bouw van tunnels. Er is maar één ingang

en dat is tevens de uitgang. Dit stelt extra hoge eisen aan de afstemming van alle samenstellende delen van het proces, waarbij veel handelingen tegelijkertijd plaatsvinden. Deze complexe logistiek vereist een gedetailleerde, strakke planning, waaraan de uitvoerders zich strikt moeten houden. De kleinste afwijking aan het begin van het proces kan 'verderop' enorme gevolgen hebben. Een bijzonderheid, en tevens extra complicatie bij de bouw is dat direct achter volgwagen 2 onder de platformwagens het funderingsmateriaal voor de weg wordt aangebracht met de kabelkanaalelementen erin. Op de kabelkanaalelementen plaatst men vervolgens het spoor voor de tunneltreinen. Bovendien worden tijdens het boorproces ook nog eens de dwarsverbindingen aangelegd. De volgwagens van de TBM zijn zo ontworpen dat al deze werkzaamheden tegelijkertijd kunnen plaatsvinden. Dit verklaart ook de extreme lengte van de TBM.

Betonwarenfabriek

De Betonwarenfabriek Terneuzen (BFT) vervaardigt de tunnelsegmenten voor de Westerscheldetunnel. Er worden hoge eisen gesteld aan de fabricagetechniek om de vereiste nauwkeurigheid tot op tienden van millimeters te kunnen garanderen. Bij BFT werken ruim tachtig mensen in twee ploegen vijf dagen per week aan twee identieke productielijnen: één voor de rechtse en één voor de linkse ringen. Ieder tunnelsegment krijgt een unieke



Bouwterrein zuidzijde

barcode en wordt direct nabij de fabriek volgens een bepaald systeem opgeslagen. De segmenten worden per trein de tunnelboormachine ingereiden, waar ringen uit de aangevoerde segmenten worden gevormd.

Productie tunnelringen

BFT is een geavanceerde fabriek waar voor de 52.800 tunnelsegmenten ongeveer 200.000 m³ beton wordt verwerkt. Een tunnelring is opgebouwd uit zeven segmenten van elk 11.000 kilo en een 1.750 kilo zware sluitsteen. Elke ring heeft een buitendiameter van 11 meter, is 2 meter breed en 45 centimeter dik. BFT produceert op voorraad, zo'n 16 tunnelringen per dag.

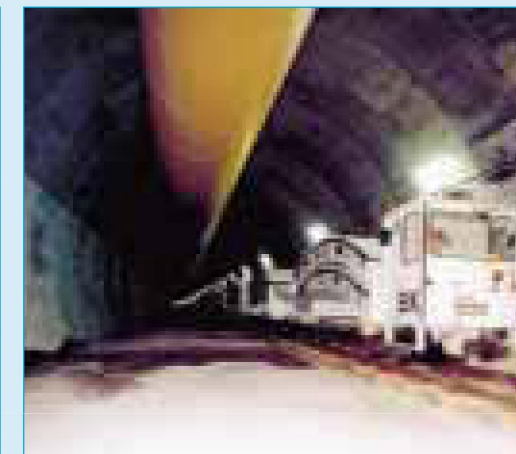


kilometer spoor aangelegd; 13 kilometer is bestemd voor de twee tunnelbuizen en 5 kilometer voor het bouwterrein. Op het bouwterrein ligt een speciaal rangeerterrein. Zo rijden tien locomotieven met tachtig kleine wagons tussen het bouwterrein en de tunnel om tunnelsegmenten, kabelkanaalelementen, grond voor het weglichaam (zandcement-stabilisatie), groutinjectiemortel, rails voor de tunneltrein, hittewerende bekleding, verlengpijpen voor de diverse leidingen en materialen voor de bouw van de dwarsverbindingen de tunnel in te brengen. Het spoor wordt bediend vanaf een verkeerstoren die 24 uur per dag bemand is door twee personen. In deze toren is te zien waar de treinen zich binnen de tunnel bevinden. De toren is ook het meldpunt voor calamiteiten. Tegen de tijd dat de tunnelboormachines bijna op Zuid-Beveland zijn aangekomen, duurt een enkele reis per trein circa veertig minuten.

Transportband

Vanuit de voorhaven van Terneuzen loopt een transportband (over de dijk) richting bouwterrein. Via een overslagschip, dat afmeet in de werkhaven, lossen schepen hier zand voor de aanleg van wegen en toeslagmaterialen voor beton. Dit materiaal gaat vervolgens over de transportband naar het werkterrein. De boorspecie wordt via een andere transportband afgevoerd.

Aanvoer van de tunnelsegmenten



Bouwterrein en bouw in cijfers

- **35 hectare** werk- en bouwterrein
- **3** tijdelijke kantoren
- parkeerterrein voor **300 voertuigen**
- **18 kilometer** spoor
- **10 locomotieven**
- **2 rangeer locomotieven**
- **80 wagons**
- **2 railbussen**
- **1 brandweerwagon**
- **1 ambulance wagon**

Hoeveelheden

Bij het graven komt **1,6 miljoen m³** boorspecie vrij. Er worden **52.800 tunnelringelementen** in de tunnel verwerkt. Per dag worden ongeveer **128 elementen** van **11.000 kg** geproduceerd inclusief sluitstenen van **1.750 kg**. In het hele project wordt **275.000 m³** beton verwerkt.

VERSPREIDING EN HERGEBRUIK

10. Boorspecie en bentoniet

De boorspecie die vrijkomt bij het boren van de tunnelbuizen, krijgt een milieuhygiënische en economisch verantwoorde bestemming. De boorspecie bestaat uit fijn en grof zand, glauconiethoudend zand en stugge klei, die zich tijdens het boren in de overgangsgebieden met elkaar vermengen aangevuld met water en de steunvloei stof bentoniet.

In de scheidingsinstallatie wordt een zo groot mogelijk deel van de bentonietslurry uit de boorspecie teruggewonnen en opnieuw gebruikt in het boorproces. Verder zijn de mogelijkheden onderzocht om ook de afgegraven grond te hergebruiken.

Dit kan voor zand en klei een interessante optie zijn. Het materiaal dat niet voor hergebruik in aanmerking komt, wordt in de Westerschelde verspreid.

Scheiden door centrifugale kracht

De terugwinmethode van bentoniet uit de boorspecie berust op het verschil in korrelgrootte tussen de verschillende deeltjes. De bedoeling is dat na de scheiding alleen bentoniet en water overblijven. Alle bodemdeeltjes die groter zijn dan bentoniet (dit is groter dan een tienduizendste millimeter) moeten van de slurry gescheiden worden. Dit gebeurt door de grove deeltjes van de fijne deeltjes te scheiden door de centrifugale kracht van hydrocyclonen in de scheidingsinstallatie. Deze gedragen zich als een bezinkinrichting waarin op kunstmatige wijze de bezinksnelheid van vaste deeltjes in een vloeistof vergroot wordt via een ronddraaiende beweging.

Aanmaak nieuw bentoniet

Omdat een kleine hoeveelheid bentoniet in de ontgraven grond achterblijft en bentoniet ook niet onbeperkt herbruikbaar is, wordt periodiek nieuwe bentonietslurry aangemaakt. Dit gebeurt in een installatie waar bentonietpoeder wordt vermengd met water in een gewichtsverhouding van ongeveer 1:20. Dit mengsel 'rijpt' vier uur lang in bakken voordat het in het bouwproces wordt toegepast.

MER-rapport

Met de verspreiding van de vrijkomende boorspecie (praktisch geheel zonder bentoniet) in de Westerschelde wordt voldaan aan de milieueisen. In een milieueffectrapport, de MER Boorspecie Westerscheldetunnel, zijn de te verwachten effecten van het verspreiden van de boorspecie in de Westerschelde weergegeven. De gevolgen voor natuur, waterkwaliteit en gebruiksfuncties van de Westerschelde (scheepvaart, visserij, recreatie et cetera) blijken beperkt te zijn. In de MER zijn zes geschikte locaties in kaart gebracht waar de boorspecie zonder problemen door schepen verspreid kan worden. Per locatie is een vergunning nodig in het kader van de Wet Milieubeheer en tevens één in het kader van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren.

Locaties verspreiding boorspecie

Een goede locatiekeuze voor de verspreiding van boorspecie in de Westerschelde is belangrijk. Zo wordt zand niet in vaarroutes verspreid, omdat het door 'aanzanding' de scheepvaart belemmert. Slib verspreidt zich door stroming veel sneller en levert in vaargeulen geen problemen op.

Hergebruik boorspecie

Het landelijk milieubeleid is erop gericht hergebruik van materialen te bevorderen. Daarom probeert men eerst zo veel mogelijk materiaal te hergebruiken. In het milieueffectrapport zijn de mogelijkheden hiertoe onderzocht. Zo kan het materiaal hergebruikt worden voor het afdekken van stortplaatsen en het maken van geluidswallen. Met name brokken klei en (grof) zand lenen zich hier goed voor. Als tijdens het boren toeslagstoffen nodig blijken om de uitkomende grond beter te kunnen verwerken, zal hergebruik mede afhankelijk worden van de aard van deze stoffen.

Vanwege de onzekerheden die bij aanvang van het boorproces nog kleven aan hergebruik, zijn vergunningen aangevraagd voor het verspreiden van de vrijkomende boorspecie in de Westerschelde. Als blijkt dat herbruikbaar materiaal vrijkomt en afzet mogelijk is, wordt zo veel mogelijk hergebruikt. Om dit mogelijk te maken zijn logistieke en organisatorische maatregelen genomen, waarvan de aanpassing van de scheidingsinstallatie er één is.



De scheidingsinstallatie

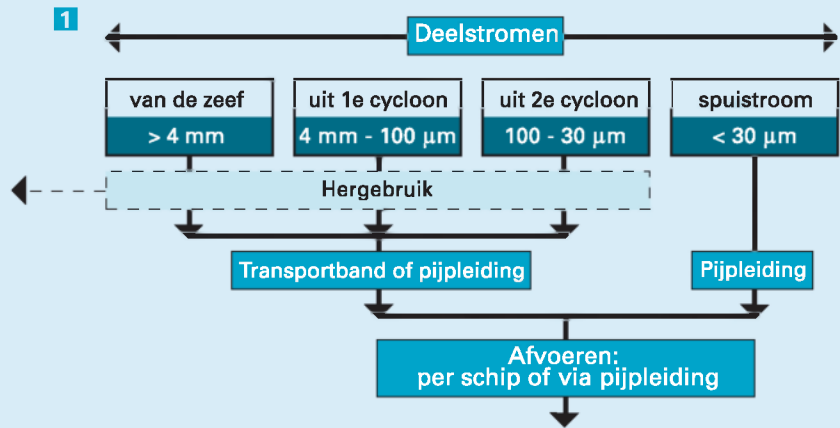
Vergroten kans op hergebruik boorspecie

Om de kans op hergebruik van boorspecie te vergroten zijn maatregelen genomen zoals:

- het aanpassen van de scheidingsinstallatie zodat bruikbaar zand en klei(brokjes) afzonderlijk kunnen worden afgevoerd;
- het opzetten van een organisatie die potentiële afnemers benadert en indien mogelijk overeenkomsten afsluit;
- het voorbereiden, ontwerpen en realiseren van een tijdelijk opslagdepot zo dicht mogelijk bij het werkterrein.

Alle boorspecie gaat na het boren door de scheidingsinstallatie. Hierbij zijn vier deelstromen te onderscheiden (zie 1).

De omvang van iedere deelstroom hangt af van de samenstelling van de grondlaag waarin wordt geboord. Wanneer men in een zandlaag boort, is de omvang van de middelste twee deelstromen het grootst. In de Boomse klei zijn de hoeveelheden boorspecie meer gelijkmatig over de vier deelstromen verdeeld. Bij de overgang tussen de Boomse klei en de zandlagen ligt de omvang van de deelstromen daar ergens tussenin (zie 2).



2		Grondlaag in het boorprofiel (van Terneuzen naar Ellewoutsdijk)	Hoeveelheid vrijkomende boorspecie (in tonnen droge stof)
		Zand (100%)	33.000
		Zand (50%) en Boomse klei (50%)	32.000
		Boomse klei (100%)	23.000
		Glauconiethoudend zand (50%) en Boomse klei (50%)	45.000
		Glauconiethoudend zand (100%)	92.000
		Glauconiethoudend zand (50%) en Boomse klei (50%)	45.000
		Boomse klei (100%)	355.000
		Glauconiethoudend zand (57%) en Boomse klei (43%)	193.000
		Glauconiethoudend zand (100%)	74.000
		Zand (22%) en glauconiethoudend zand (78%)	61.000
		Glauconiethoudend zand (100%)	33.000
		Zand (50%) en glauconiethoudend zand (50%)	37.000
		Zand (100%)	20.000
		Totaal	
		Hoeveelheid af te voeren door een tunnelbuis	1.043.000
		Hoeveelheid af te voeren in totaal	2.086.000

MAATREGELEN

11. Veiligheid

Bij het ontwerp van de Westerscheldetunnel is uitgebreid rekening

gehouden met de veiligheid. Dit komt tot uitdrukking in een groot pakket

aan veiligheidsmaatregelen.

Voor het eerst is er een integraal veiligheidsplan opgesteld waarin, zowel voor de bouw- als voor de exploitatiefase, afspraken zijn vastgelegd tussen alle relevante partijen over hoe opgetreden moet worden bij meer of minder ernstige incidenten in de tunnel. Partijen die hieraan hebben meegewerkt zijn:

- Ministerie van Verkeer & Waterstaat
- Ministerie van Binnenlandse Zaken
- provincie Zeeland
- gemeenten Borsele en Terneuzen
- openbare hulpdiensten
- Arbeidsinspectie
- KMW
- NV Westerscheldetunnel

Veiligheidsmaatregelen

De veiligheid van een project valt te bepalen aan de hand van de zogenoemde veiligheidsketen. Deze keten omvat de volgende stappen:

- voorkom onveiligheid (pro-actie);
- verklein de kans op onveiligheid en beperk de mogelijke gevolgen (preventie);
- mocht er toch wat gebeuren, zorg dan voor maatregelen die de gevolgen beperken (correctie);
- indien de gevolgen dusdanig zijn dat hulp geboden is, zorg dan dat deze zo adequaat mogelijk plaatsvindt (repressie).

Het moge duidelijk zijn dat alles ervoor pleit om met de veiligheidsfilosofie voor welk project dan ook, zo hoog mogelijk in deze keten in te grijpen. Het spreekwoord zegt het immers al: 'voorkomen is beter dan genezen'. Vanuit deze filosofie zijn voor het Westerscheldetunnelproject onder meer de volgende veiligheidsmaatregelen getroffen:

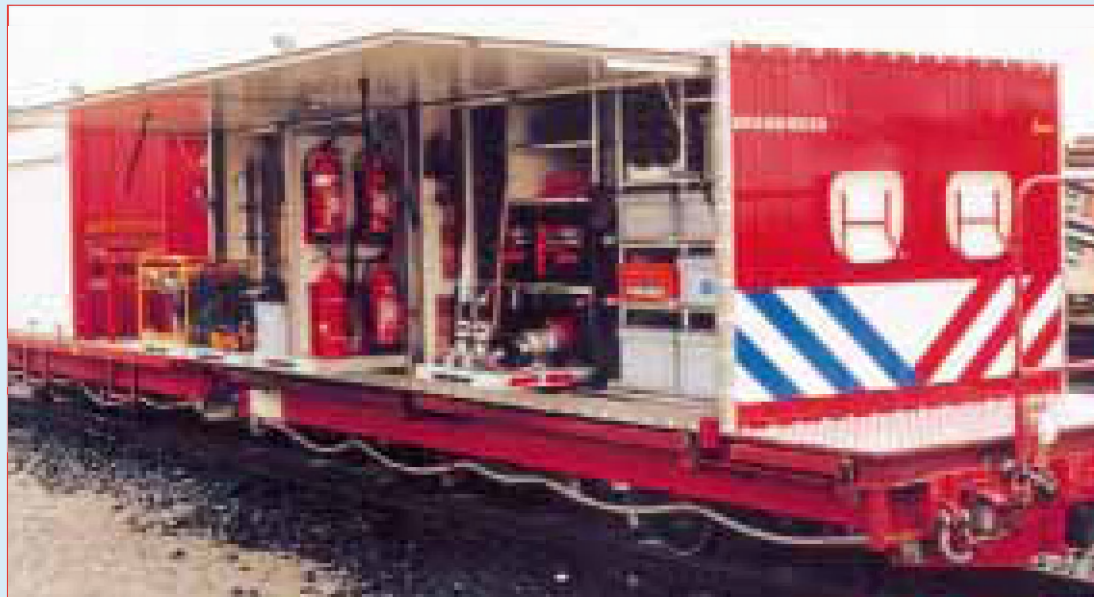
Pro-actie

- Het besluit om een tunnel over de totale breedte van de Westerschelde aan te leggen, bevordert de veiligheid. Het gebruik van de tunnel introduceert weliswaar een zeker risico, maar door de opheffing van de veren vindt een grotere risicoreductie plaats, omdat slechtweercondities tot het verleden gaan behoren en de steeds drukker wordende scheepvaart op de Westerschelde wordt gemedend.
- Het besluit om twee tunnelbuizen aan te leggen met elk één rijrichting is een zeer fundamentele keuze. Daardoor zijn frontale botsingen in de tunnel praktisch onmogelijk. Voor de bijzondere situatie, dat in één buis onderhoud wordt verricht en er wel tweerichtingsverkeer plaatsvindt, worden uitgebreide extra veiligheidsmaatregelen genomen. Bovendien komt deze situatie alleen in de avonduren en 's nachts voor, bij een zeer lage verkeersintensiteit.
- Het verbod voor tankauto's met LPG en zwaar toxische materialen om van de tunnel gebruik te maken.
- Door de kanteldijken kunnen de tunnel en de polders niet overstromen.
- De toeleidende tweestrookswegen hebben een middenberm met geleiderail, volgens het 'duurzaam veilig'-principe, waardoor frontale botsingen vrijwel onmogelijk zijn.

Preventie

- Ver voor de ingang vindt hoogtedetectie plaats. Is een voertuig te hoog voor de tunnel, dan wordt dit aangegeven door een rood stoplicht.

- Afsluitbomen kunnen het verkeer vóór de tunnelingang stilleggen.
- Er heerst een inhaalverbod voor vrachtverkeer en verkeer met aanhangers en bussen. Alleen personenauto's zonder aanhanger mogen in de tunnel beide rijstroken benutten.
- De bekleding van de tunnelwanden is in de overgangszone (entree) uitgevoerd in een reflecterend materiaal om de overgang van licht naar donker rustig te laten verlopen. Het niveau van de verlichting in de tunnel kan automatisch of handmatig worden aangepast. De ingangsverlichting is een 'tegenstraalverlichting' die zorgt voor een geleidelijke overgang van het lichtniveau buiten naar het lichtniveau binnen. Dit voorkomt schrikreacties door plotselinge lichtovergangen ('het zwartegateffect'). De schuine lichtinval, tegen de rijrichting in, zorgt voor een goed zicht op de voorgangers (contrast).
- Automatische meetsystemen geven continu informatie over het koolstofmonoxidegehalte én het zicht in de tunnelbuizen.
- De tunnel is voorzien van een



Speciale brandweerwagen voor incidenten tijdens de bouw

Brandproeven

De Westerscheldetunnel is een zogenaamde categorie-1 tunnel waaraan geen beperkingen worden gesteld qua transporten. Voor afgezonken tunnels bestaat er in Nederland een standaardnorm die voorschrijft hoe dik de hittewerende bekleding bij dit soort tunnels moet zijn om weerstand te bieden aan een brand van 2 uur met een maximale temperatuur van 1350°C. Aanvankelijk werd aangenomen dat de normale dikte van de hittewerende bekleding voor afgezonken tunnels (platen van 27 mm) ook voldoende zou zijn voor de Westerscheldetunnel. Bij 1:1 brandproeven is, om de exacte dikte van de bekleding voor de tunnel vast te stellen, de hoge-drukspanning op de tunnelring nagebootst. Hieruit bleek dat de temperatuur in het zeer dichte beton van de segmenten snel opliep waardoor het beton ging afspatten. Om dit verschijnsel te voorkomen moet er een aanzienlijk dikkere hittewerende bekleding worden toegepast dan de gebruikelijke 27 mm.

Hierna is, in aanvullende brandproeven, naast plaatmateriaal ook gespoten hittewerende bekleding beproefd. Dit heeft uiteindelijk geleid tot het besluit een hittewerende bekleding in de vorm van spuitmortel van 45 mm toe te passen.

- omkeerbare langsventilatie om bij overschrijding van de maximaal toegestane luchtverontreiniging de tunnel kunstmatig te ventileren, en om bij een calamiteit vrijkomende rook en gassen te verdrijven. Voor de berekening van de tunnelventilatie is uitgegaan van een ventilatiesnelheid van minimaal 3 m/sec tijdens een met stilstaand verkeer gevulde tunnelbuis. Deze snelheid is ruim voldoende om rook en gassen volledig mee te voeren in de ventilatierichting, zodat een brand benaderd kan worden vanaf de andere, bovenstroomse zijde. Gestrande automobilisten kunnen veilig de tunnel verlaten in de stroomopwaartse richting.
- Vanuit het bedieningsgebouw wordt de tunnel met een gesloten videosysteem continu bewaakt.
- Intercom (zowel in de tunnel als de dwarsverbindingen), luidsprekers, telefoonverbindingen, HF-systemen (hoogfrequente radiocommunicatiesystemen) en een normale radio-ontvangst van FM-zenders zorgen ervoor dat er altijd communicatie met de buitenwereld mogelijk is.

- De stroomvoorziening is zo ontworpen, dat bij eventuele stroomuitval op de ene oever, er vanaf de andere oever voor gezorgd wordt dat nog de helft van alle systemen normaal in functie blijft. Vallen de stroomnetten aan beide oevers tegelijk uit, dan verzorgt een tijdelijke stroominstallatie (met behulp van accu's) de stroomtoevoer voor de meest cruciale onderdelen van de tunnel. Daardoor is altijd een minimale verlichting en besturing van de tunnel gewaarborgd tijdens de periode waarin zonodig de volledige tunnel verkeersvrij wordt gemaakt.
- Het wegdek is voorzien van dicht asfaltbeton (DAB). Zeer open asfaltbeton (ZOAB) is hier ongewenst. ZOAB vergroot namelijk het verdampingsoppervlak. In een tunnel kan dat explosiegevaar tot gevolg hebben bij verloren benzine of vluchtige stoffen. De dwarshelling van de weg zorgt ervoor, dat vloeistof zoals vrijkomende brandstof zo snel mogelijk naar de zijkant van de weg stroomt, het riool in. Van daaruit wordt de benzine afgevoerd naar één van de twee

explosieveilige (water)opslagtanks onder de tunnel.

- De tunnelwand heeft een speciale hittewerende laag om de betonnen tunnelbuizen te beschermen tegen snelle opwarming en te hoge temperaturen. Zo wordt het bezwijken van de betonconstructie voorkomen.
- De tunnelopeningen verspringen ten opzichte van elkaar zodat eventueel uittredende rook en gassen niet de andere buis in worden gezogen.
- In beide tunnelbuizen bevindt zich om de 50 meter een hulppost, met een intercominstallatie en een brandblussysteem. Het blussysteem werkt automatisch: bij het uitnemen van de spuitmond starten de pompen en komt het systeem op werkdruk. Als een hulppost wordt geopend, wordt dit gemeld in de tunnelcontrolekamer waarna de camera, die gericht staat op de betreffende tunnelsectie, automatisch inzoomt. Het uitkantelen van een brandslanghaspel, het wegnemen van een poederblusser en het indrukken van de inschakelknop in de hulpposten, worden behandeld als een brandalarm. Water uit de brandslangen wordt vermengd met een schuimvormend middel, waarmee naast gewone branden ook benzinebranden kunnen worden geblust.
- De tunnel heeft doelbewust géén sprinklerinstallaties, omdat die bij vloeistofbranden tot automatische, ongewenste vloeistofverspreiding kunnen leiden.
- Pompinstallaties zorgen voor het opvangen van regenwater, bluswater en verloren vloeistoffen. In de afritten zijn hoofdpompkelders aangebracht die het regenwater uit de open afritten afvoeren. Op de diepste punten van de tunnel voeren middenpompkelders het binnengereden lekwater, regenwater en dergelijke naar de hoofdpompkelders af. De pompkelders lozen het afvalwater uit de tunnel (zonodig gezuiverd), op het dichtstbijzijnde open water via lozingspunten over de dijken in Zeeuwsch-Vlaanderen en op

Zuid-Beveland. 'Schoon' water, dat wil zeggen niet verontreinigd door het wegverkeer, wordt in afzonderlijke waterkelders opgevangen en rechtstreeks geloosd. 'Vuil' water wordt via een reinigingstrap afgevoerd. Gevaarlijke vloeistoffen worden door de pompinstallaties tijdelijk geborgen en op alternatieve wijze afgevoerd, bijvoorbeeld naar een speciaal reservoir buiten de tunnel, een tankwagen of tankschip. De continue overdrukventilatie in de pompkelders voorkomt dat explosiegevaarlijke gassen zich verspreiden vanuit deze kelders.

- Er is een verkeersgeleidingssysteem aanwezig om het verkeer te regelen en geleiden bij pech of calamiteiten. Met dit systeem is het mogelijk:
 - binnen enkele seconden de linkerrijstrook verkeersvrij te maken;
 - een rijstrook te blokkeren;
 - een snelheidsbeperking in te stellen;
 - het verkeer te stoppen;
 - de tunnel af te sluiten;
 - tegenverkeer in de tunnelbuizen te realiseren;
 - fileverkeer binnen de tunnel te voorkomen door met verkeerslichten buiten de tunnel het inkomend verkeer gedoseerd toe te laten. Opstoppingen worden tijdig gesignaleerd door verkeersdetectielussen in het wegdek en de camera's van het gesloten videosysteem. Hierop kan de tunnelbediening verkeersgeleidingsmaatregelen treffen, bijvoorbeeld door via de matrixborden in de tunnel een variabele snelheidsbeperking aan te geven of te waarschuwen voor een file of ongeval. Met de detectielussen en camera's kan ook een te langzaam of stilstaand voertuig worden gesignaleerd. De controlekamer waarschuwt het verkeer hiervoor via het omroepsysteem en verkeersgeleidingsmaatregelen.
- Er is gekozen voor een kabelkanaal onder het rijdek dat volledig van de verkeersbuis is gescheiden. In dit kanaal zijn alle voorzieningen voor het tunnelbedrijf ondergebracht. Het plegen van onderhoud aan de systemen voor

het tunnelbedrijf levert daardoor geen onveilige situaties voor het verkeer op. Het ventilatiesysteem in het kabelkanaal zorgt voor een permanente overdruk. Hierdoor kunnen rook of andere schadelijke dampen bij brand in de tunnel zich niet in het kabelkanaal verspreiden.

- Alle ruimten in de tunnel en het bedieningsgebouw hebben een branddetectiesysteem.
- De dienstgebouwen en de centrale controlekamer zijn beveiligd tegen het binnendringen van ongewenste personen of beschadiging door molest van buitenaf of door brand.
- De gebruikers worden onder andere via folders uitgebreid geïnformeerd over vluchtroutes en overige veiligheidsmaatregelen.

Correctie

- In calamiteitenplannen staat precies aangegeven wie handelt en hoe gehandeld moet worden bij calamiteiten.
- De tunnelmeldkamer beschikt over een rechtstreekse telefoonlijn met de centrale meldkamer van de hulpdiensten.
- Bij een calamiteit kan de tunnelbewaker per tunnelbuis via een calamiteitenknop een vooraf geprogrammeerd calamiteitenprogramma inschakelen. Hiermee zet het volgende scenario in:
 - de tunnelbuis waarin de calamiteit plaatsvindt, wordt met slagbomen afgesloten voor inkomend verkeer;
 - de ventilatie in deze buis blaast rook en eventuele schadelijke gassen in de rijrichting de buis uit;
 - de tunnelverlichting wordt op maximaal niveau gezet;
 - in de andere tunnelbuis wordt de linkerrijstrook afgekruist, en wordt de snelheid van het verkeer op de rechterrijstrook teruggebracht naar 30 km/uur;
 - de vluchtdeuren naar de dwarsverbindingen worden ontgrendeld en de ventilatie in de dwarsverbindingen wordt opgestart;
 - vluchtroutes naar de dwarsverbindingen



De toekomstige tunnel met links een dwarsverbindingsdeur en rechts een hulppost

worden aangeduid;

- automobilisten in de niet-incident buis worden gewaarschuwd voor 'voetgangers op de rijbaan';
- de brandbluspompen starten. De tunnelbewaker kan altijd per installatie handmatig ingrijpen in het calamiteitenprogramma, afhankelijk van de ernst van de situatie.

- Aparte dienstwegen naar de tunnelinritten zorgen ervoor dat de hulpverlenende diensten snel ter plekke kunnen zijn.
- De dwarsverbindingen dienen bij een calamiteit als vluchtgang naar de andere buis voor weggebruikers en als toegang voor hulpverleners. De vluchtroute wordt duidelijk gemarkeerd. De toegangen vanuit de tunnelbuis naar de dwarsverbindingen zijn voorzien van brandvertragende, rookwerende deuren. De vluchtdeuren worden vanuit het controlecentrum van de tunnel tegelijkertijd ontgrendeld. Dit gebeurt pas als vaststaat dat de vluchtende tunnelgebruikers ook werkelijk in een veiliger situatie terechtkomen.

De niet-incident buis moet namelijk eerst verkeersvrij zijn gemaakt. In de dwarsverbindingen zorgt een ventilatiesysteem voor een lichte overdruk, waardoor er geen gassen of rook binnendringen. De schone lucht wordt aangezogen uit de andere tunnelbuis waar geen calamiteit heeft plaatsgevonden. Elke dwarsverbinding beschikt over een intercominstallatie.

- Het onderhoudspersoneel kan gebruikmaken van een (vergrendelde) vluchtmogelijkheid vanuit de technische ruimten onder het wegdek naar de tunnelbuis. Dit luik in de zijberm wordt pas ontgrendeld nadat de tunnelbuis/rijstrook verkeersvrij is gemaakt.

Repressie

- Hier zijn de calamiteitenplannen voor politie, brandweer en GGD van belang. Als zich een calamiteit voordoet, ligt voor de hulpdiensten in draaiboeken vast wie met welke middelen optreedt.

OMGEVING

12. Architectonische vormgeving en landschappelijke inpassing

Infrastructurele werken hebben doorgaans een grote invloed op de omgeving.

Door de keuze voor een geboorde tunnel worden de Westerschelde en de daar

aanwezige natuurgebieden niet aangetast. De tunnel heeft geen nadelige invloed

op het bestaande natuurlijk evenwicht van de bodem en de stroming van de rivier.

De toegangswegen daarentegen hebben wel degelijk effecten op de natuur en

het milieu van het doorkruiste landschap. Hier zijn de wegen en de kunstwerken

voor iedereen zichtbaar.

Het tunnelproject omvat naast de tunnel zelf diverse constructieve werken zoals bruggen, viaducten, tunneltoeritten en een tolplein. Deze objecten vormen markante bakens in het weidse Zeeuwse landschap. Dit kenmerkt zich enerzijds door een rijke cultuurhistorische en ecologische ontwikkeling en anderzijds door industriële ontwikkelingen (kanaalzone Zeeuwsch-Vlaanderen).

Uitgangspunt bij het architectonisch ontwerp van het tracé is het zodanig inpassen van de weg, dat de unieke natuurlijke waarden van het karakteristieke landschap behouden blijven. Daarom is de vormgeving van het tracé niet alleen

bepaald door de techniek, maar vooral ook door het landschap zelf. Dit betekent dat gestreefd is naar een eenheid van vormgeving, materialen en kleur. Die samenhang komt terug in de civieltechnische kunstwerken, de gebouwen en de manier waarop deze landschappelijk zijn ingepast.

Centraal thema

De landschapsvisie die is opgesteld gaat ervan uit dat de wegen van en naar de tunnel het omliggende landschap zo min mogelijk beïnvloeden. Voor de inpassing van de tunnel en de wegen gelden twee uitgangspunten:

1. het behoud en versterken van de



De hangtrogbrug bij de toeleidende weg in Zeeuwsch-Vlaanderen

verschillende landschapstypen; 2. het zorgen voor een rustig wegbeeld voor weg- én landschapsgebruiker. Voor het gewenste rustige wegbeeld en de samenhang tussen alle elementen langs het tracé, zoals de tunnelinritten, viaducten, geluidswallen, geluidsschermen en de lichtmasten, is een centraal thema ingevoerd met ronde vormen en de kleur zeegroen van het water van de Westerschelde.

Vormgeving

De gekozen ronde vorm komt terug in de vormgeving van de technische elementen. Dit is te zien aan de viaducten en de taluds aan weerszijden hiervan.

De geluidsschermen staan op een ronde verhoging en krijgen zeegroene stijlen. De schermen zelf zijn transparant, om een open blik op de omgeving mogelijk te maken. Gebogen, zeegroene verlichtingsmasten en de viaducten met afgeronde vormen en zeegroene elementen zorgen voor een samenhangend wegbeeld. Bij de tunneltoeritten is gelet op de overgangen van de dijklichamen naar de wanden van de tunneltoerit, die weer overgaan in de ronde vorm van de tunnelbuizen. Deze wanden zijn verlevendigd door inpassingen in kleurschakeringen gebaseerd op het zeegroene thema.

Zuid-Beveland

De landschappelijke inpassing van het tracé sluit zo veel mogelijk aan op het landschap in de omgeving. Zo heeft het tolplein op Zuid-Beveland dezelfde vierkante structuur als de Borsselepolder en wordt het bovendien, net als deze eeuwenoude polder, omkaderd door bomen. Deze schermen het tolplein van de omgeving af, waardoor de invloed op het landschap beperkt blijft. In de Ellewoutsdijkpolder komt tussen de toeleidende weg en de zeedijk een natuurgebied van circa veertig hectare. Dit gebied krijgt dezelfde ecologische

kenmerken als het nabijgelegen zout/ brakke kwelgebied Inlaag 1887. Qua vormgeving past het natuur-ontwikkelingsgebied in het huidige tijdsbeeld. Het bestaat uit een patroon van eilanden. Deze lopen 's winters gedeeltelijk onder water, waardoor veel verschillende soorten vegetatie en foerageer-, broed- en rustplekken voor water- en moerasvogels ontstaan.

Zeeuwsch-Vlaanderen

In Zeeuwsch-Vlaanderen geven kreken en dijken de omgeving karakter. Deze karakteristieke elementen komen terug langs de weg, waar de bermen een kruidachtige, bloemrijke vegetatie krijgen en de bermsloten worden voorzien van natuurvriendelijke oevers.

Bij de H.H. Dowweg worden de lussen tussen de wegen ingericht met water en rietlanden als een verwijzing naar de omliggende kreken. De aansluiting op de N 61 krijgt verschillende dikelementen, die verwijzen naar de boemdijken in de omgeving.

Partners in de bouw

NV Westerscheldetunnel
Fruitlaan 2
Postbus 303
4461 HS Goes
tel: 0113 - 278480, fax: 0113 - 278481
www.westerscheldetunnel.nl

Projectbureau Uitvoering
Nieuw Neuzenweg 5
Postbus 484
4530 AL Terneuzen
tel: 0115 - 642660, fax: 0115 - 642661

Projectbureau Middelburg
Goudend 10
4337 NA Middelburg
Postbus 5014
4330 KA Middelburg
tel: 0118 - 653500, fax: 0118 - 637145

Projectorganisatie Ontwerp en Bouw Westerscheldetunnel

Begeleiding ontwerp en bouw tunnel en toeleidende wegen

Bouwdienst Rijkswaterstaat
Griffioenlaan 2
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht
tel: 030 - 2857600, fax: 030 - 2883103

Planologie, Grondverwerving en Vergunningen

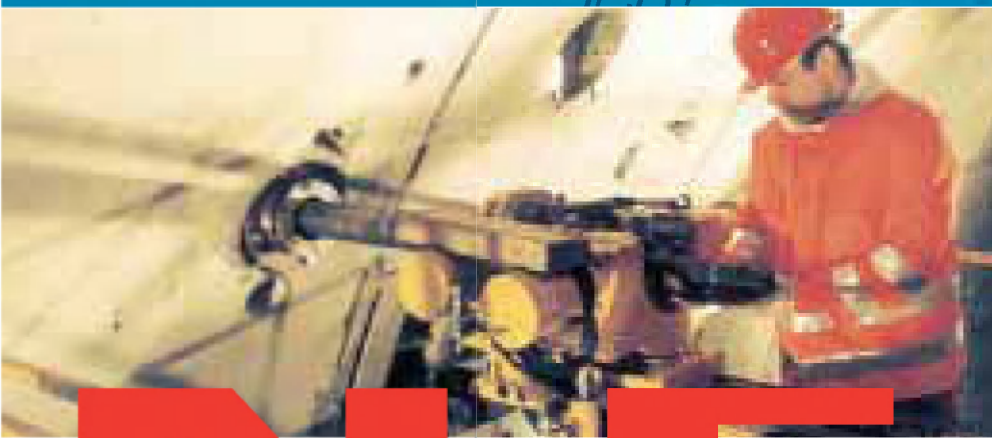
Rijkswaterstaat, Directie Zeeland
Koestraat 30
Postbus 5014
4330 KA Middelburg
tel: 0118 - 686000, fax: 0118 - 638808

Aannemerscombinatie

Kombinatie Middelplaat
Westerschelde v.o.f. (KMW):

- BAM Infrabouw BV (Nederland)
- Heijmans NV (Nederland)
- Voormolen Bouw BV (Nederland)
- Franki NV (België)
- Philipp Holzmann AG (Duitsland)
- Wayss & Freytag AG (Duitsland)

Nieuw Neuzenweg 3
4542 NP Hoek
tel: 0115 - 643636, fax: 0115 - 643637



NEEL

Voor meer informatie

Tunnelcentrum

Willemskerkeweg 1
4542 NN Hoek/Terneuzen,
tel: 0115 - 64 90 95, fax: 0115 - 61 37 41

www.westerscheldetunnel.nl

Openingstijden Tunnelcentrum
Dinsdag tot en met vrijdag 09.00 - 16.00 uur.
Zaterdag 11.00 - 16.00 uur.

Colofon

Uitgave:

NV Westerscheldetunnel, Goes

Realisatie:

Podium Bureau voor educatieve
communicatie bv, Utrecht
Quadat ontwerpers, Gorinchem

Illustraties:

KMW v.o.f.
Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat
Visucom
Charles Strijd
Duofoto
Dienst Landelijk Gebied Zeeland
Nilsson & partners

April 2001