



BOREN TRACÉ SCHELDEPLEIN-ROKIN NOORD-ZUIDLIJN BEGONNEN

Gezegend de grond in

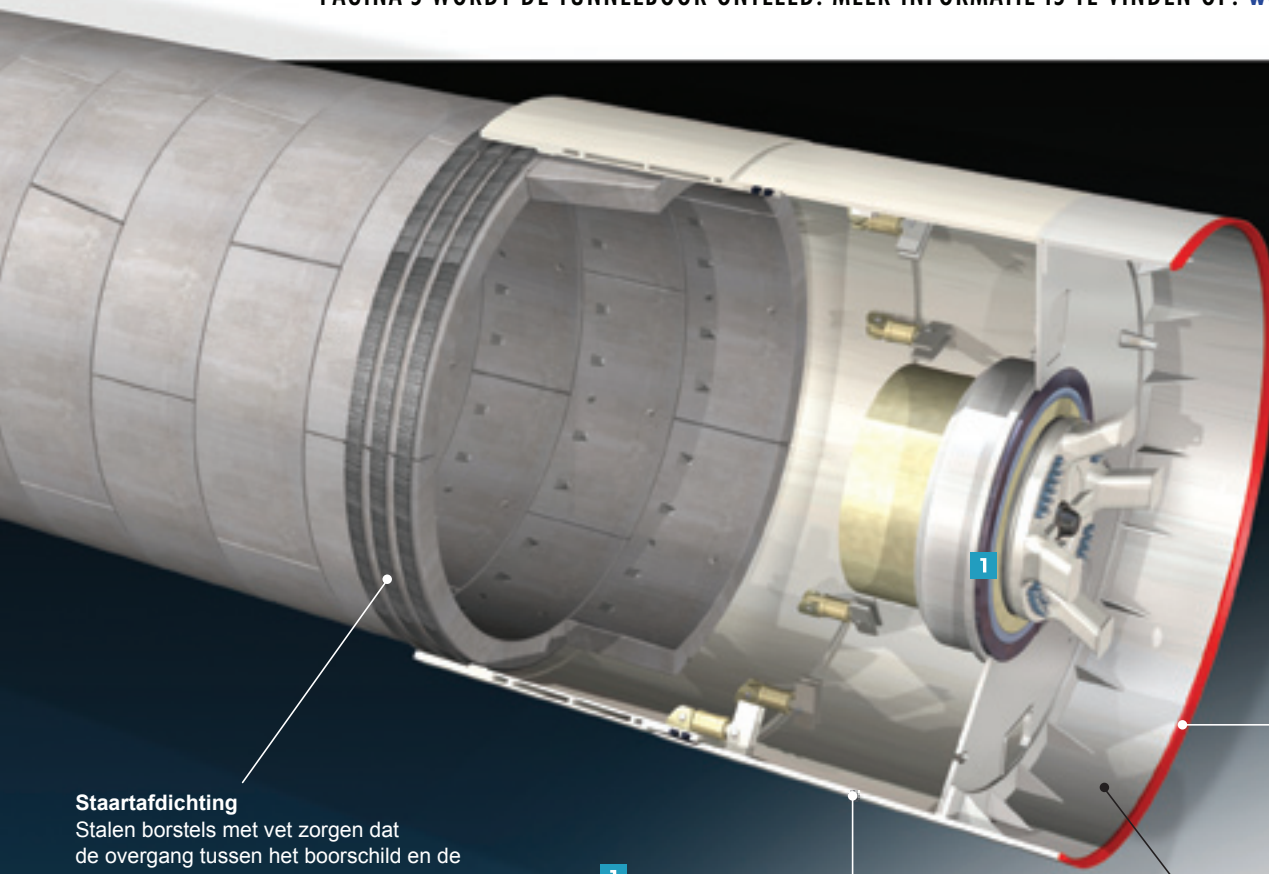
OP 28 APRIL 2011 HEEFT DE DEKEN VAN AMSTERDAM IN DE STARTSCHACHT OP HET SCHELDEPLEIN HET DERDE BOORSCHILD VAN DE NOORD-ZUIDLIJN INGEZEGEND. OOK IS DE NAAM ONTHULD DIE SCHOLIEREN VOOR DE BOOR BEDACHTEN: MOLLY. BEGIN MEI IS DE MACHINE GESTART MET HET BOREN VAN DE TUNNEL RICHTING ROKIN. BEGIN 2013 MOETEN ALLE BOORTUNNELS KLAAR ZIJN. OP DEZE PAGINA'S WORDT DE TUNNELBOOR ONTLEED. MEER INFORMATIE IS TE VINDEN OP: www.noordzuidlijn.amsterdam.nl

DEEL TUNNELS GEREED

Het boren van twee metrotunnels (een buis voor elke rijrichting) in de slappe Amsterdamse bodem geldt als een van de meest complexe klussen van de Noord-Zuidlijn. Tussen maart en oktober 2010 hebben de boorschilden Gravin en Noortje zonder problemen de eerste tunnels van het Damrak (vlakbij Amsterdam Centraal) naar het Rokin geboord. De 730 m lange tunnelbuizen (diameter: 6,52 m) liggen onder straten en wegen op een diepte van 20 tot 30 m beneden NAP.

INSTALLATIE VERPLAATST

In de afgelopen maanden is de complete boorinstallatie verplaatst van het Damrak naar de startschacht op het Scheldeplein (naast het Europaplein). Deze maand is het boren richting het Rokin begonnen.



Staartafdichting
Stalen borstels met vet zorgen dat de overgang tussen het boorschild en de tunnelwand waterdicht is, waardoor er geen grondwater de boormachine in kan stromen.

1
lager graafwiel

graafkamer

TBM

Aannemer Saturn (een samenwerkingsverband van Dura Vermeer en de Duitse onderneming Züblin) gebruikt voor de bouw van de Noord-Zuidlijn een tunnelboormachine (TBM) van het slurryschild-type. De complete TBM is 83 m lang en heeft een doorsnede van bijna 7 m. De TBM bestaat uit twee delen: het boorschild (deze pagina) en zes gekoppelde volgwagens (pagina 51 rechtsboven).

KENGETALLEN BOORSCHILD	
LENGTE	8 m
DIAMETER	6,88 m
DRAAISNELHEID GROEFWIEL	
	1-2 omw/min

VIJZELGRACHT

De verzakking in 2008 van tien panden aan de Vijzelgracht was volgens tegenstanders van de Noord-Zuidlijn het bewijs dat het project technisch niet deugde. Het boren van tunnels onder het historische centrum zou tot dramatische verzakkingen leiden. De verzakkingen aan de Vijzelgracht hadden echter niets te maken met het boren van de tunnels in de slappe Amsterdamse bodem, maar waren het gevolg van lekkage in een diepwand bij de aanleg van het nabijgelegen metrostation Vijzelgracht. De bouwput met diepwanden is een traditionele bouwmethode die overal wordt toegepast, maar waarbij echter slordig is gewerkt. Het boren van de tunnels gaat meestal gepaard met geringe verzakkingen waardoor er een inherent risico is op lichte schade aan de omringende bebouwing. In maart 2010 ging het boren van start. Dit verliep volgens plan en zonder noemenswaardige problemen.

1 | BOORSCHILD

Het boorschild is een holle stalen cilinder (8 m lang) die zorgt dat er geen grond en grondwater in de machine komt tijdens het graven en het bouwen van de tunnel. Het boorschild is verdeeld in de graafkamer, de bufferkamer en de ruimte waarin de betonnen tunnelwand wordt gebouwd. Het boorschild heeft een licht conisch verloop, zodat het schild gemakkelijk door de grond kan worden geduwd.

2 | GROEFWIEL

Het graafwiel **2** bevindt zich in de graafkamer. Het wiel draait langzaam rond (een tot twee keer per minuut) en schraapt de grond laagje voor laagje los. Het graafwiel (diameter: 6,88 m) heeft dertig graaftanden en vijftien rolbeitels. Met de tanden wordt bij elke omwenteling van het graafwiel een laag grond 'weggeschraapt'. Met de rolbeitels kan de machine de betonnen wanden van de startschachten en stations doorboren.

NEGEN KEER ERVARING

Het boren van tunnels in de zachte Nederlands bodem is niet nieuw. Sinds de Tweede Heinenoordtunnel onder de Nieuwe Maas in 1995 is de Noord-Zuidlijn de negende boortunnel in Nederland. Het is wel de eerste geboorde tunnel in Amsterdam en ook de eerste geboorde tunnel in Nederland onder een historische stad.

3 | GROEFKAMER

Om te voorkomen dat de afgegraven grondwand (het boorfront) voor het graafwiel tijdens het graven instort, wordt de graafkamer gevuld met bentoniet **5** (vandaar de naam slurryschildmethode). De druk van dit mengsel van klei en water moet gelijk zijn aan de grond- en waterdruk van het boorfront. De graafkamer is verbonden met de bufferkamer **4**. Deze twee kamers zijn gescheiden van de rest van de tunnelboormachine (waar atmosferische condities heersen).

5
bentoniet

3

4 | BUFFERKAMER

De druk in de graafkamer mag niet veel afwijken van de druk die vooraf is berekend op basis van diepteligging en bodemsamenstelling. Om te voorkomen dat variaties in de aan- en afvoer van bentoniet **5** invloed hebben op deze druk, is de graafkamer verbonden met de bufferkamer. Boven in deze bufferkamer bevindt zich lucht die nauwkeurig onder een ingestelde druk wordt gehouden. Daarmee wordt ook de druk in de graafkamer bepaald. Onafhankelijk daarvan compenseert het vloeistofniveau in de bufferkamer verschillen tussen aan- en afvoer van boorspoeling.

6

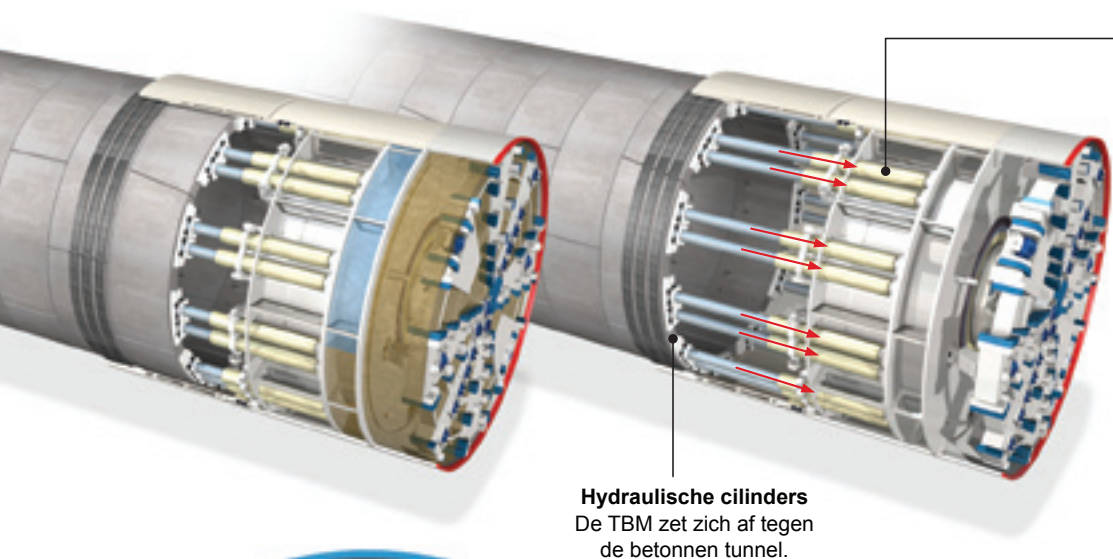
7

8

5

Hydraulische motor
Acht hydraulische motoren drijven het graafwiel aan.

KENGETALLEN NOORD-ZUIDLIJN	
TOTALE LENGTE	9,7 km
ONDERGRONDS DEEL	7,1 km
GEBOORDE TUNNEL	3,1 km



Hydraulische cilinders
De TBM zet zich af tegen de betonnen tunnel.

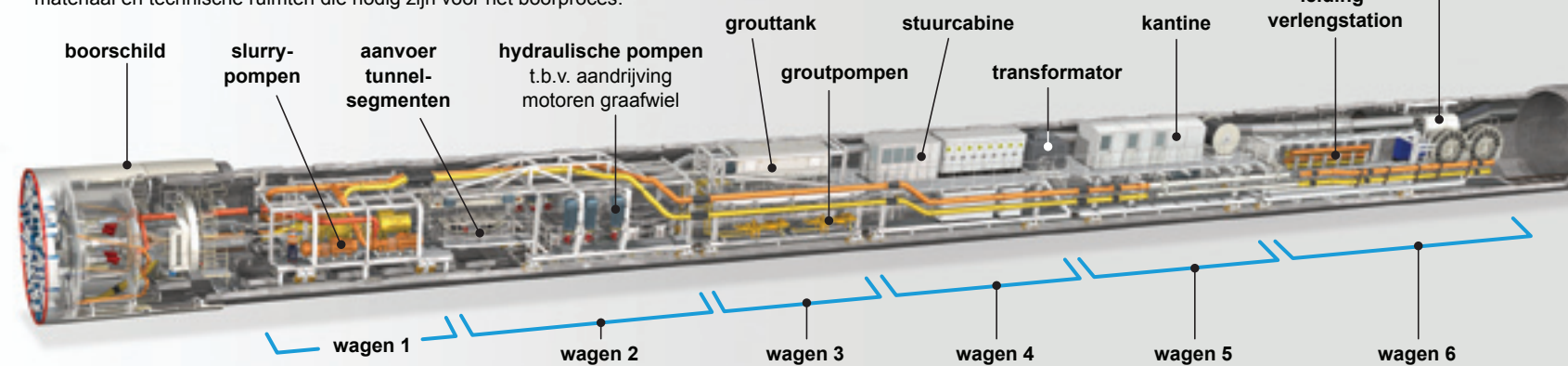
5 HYDRAULISCHE CILINDERS

Langs de schildwand zitten elf afzonderlijk aanstuurbare paren van hydraulische cilinders. Tijdens het graven zet de boormachine zich met deze uitschuifbare cilinders af tegen de reeds geplaatste wandsegmenten van de betonnen tunnelbuis. De boormachine duwt zich zo langzaam vooruit, terwijl aan de voorkant het graafwiel de grond losschraapt. Wanneer er voldoende grond is weggegraven voor een volgende tunnelring, stopt het graven en plaats de erector de betonnen tunnel-elementen. De cilinders worden stuk voor stuk ingetrokken om ruimte te maken voor een deel van de nieuwe tunnelring. Als de betonnen ring compleet is, wordt het graven weer hervat. De boormachine legt per 24 uur gemiddeld 8 tot 10 m tunnel aan.

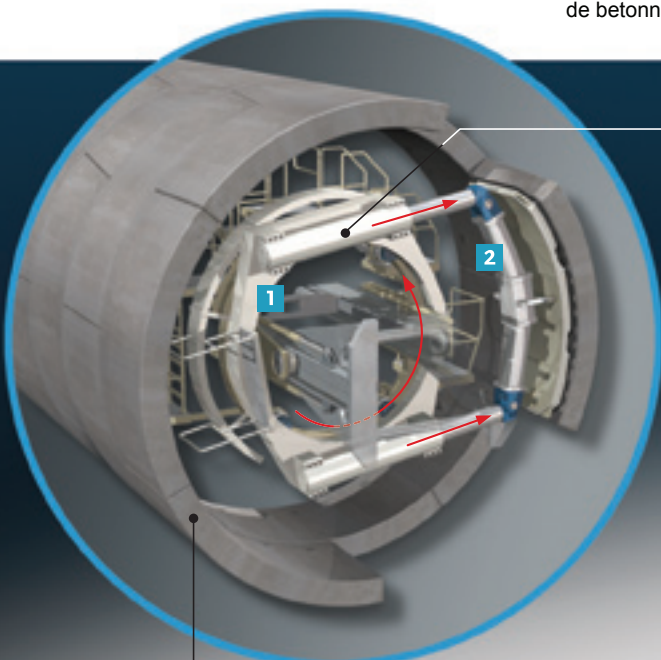
7 VOLGWAGENS

Achter het boorschild rijden zes aan elkaar gekoppelde volgwagens (totale lengte: 75 m). De volgwagens rijden met kunststof wielen over de tunnelwand. Deze wagens bevatten alle installaties, materiaal en technische ruimten die nodig zijn voor het boorproces.

Elke zes tot twaalf meter worden de leidingen verlengd die de boormachine voorzien van water, bentoniet en perslucht en waarlangs de uitgegraven grond wordt afgevoerd.



boorschild, slurry-pompen, aanvoer tunnel-segmenten, hydraulische pompen t.b.v. aandrijving motoren graafwiel, grouttank, groutpompen, stuurcabine, transformator, kantine, leiding-verlengstation, ventilatieapparatuur, wagen 1, wagen 2, wagen 3, wagen 4, wagen 5, wagen 6



6 ERECTOR

Het graafwiel wordt stopgezet en de mechanische robot-arm met zuignappen met de betonsegmenten op en zet ze op de juiste plaats. De betonnen tunnel-elementen worden met behulp van een speciaal treintje aangevoerd vanuit de startschacht. De ringen worden aan elkaar gekoppeld door middel van (tijdelijke) boutverbindingen. Een goed ingewerkt boorteam kan in een half uur een complete tunnelring plaatsen. Het bouwen van de tunnelwand gebeurt binnen het boorschild om de omringende grond en het grondwater buiten te houden.

1

Continu proces

De TBM werkt 7 dagen per week, 24 uur per dag. Op de boormachine werken circa tien personen. In de startschacht en op het werkterrein zijn nog circa vijftien mensen aan het werk.

Staartspleet

De betonnen tunnelwand (diameter: 6,52 m) is kleiner dan het gegraven tunnelgat (diameter boorschild: 6,88 m). Hierdoor ontstaat tussen het boorgat en de tunnel-elementen een spleet van circa 17 cm (de staartspleet). Via zes injectiepunten wordt onder hoge druk grout (een mengsel van zand, cement en water) tussen de betonnen segmenten en het stalen boorschild geïnjecteerd om de spleet op te vullen. Het grout zorgt ervoor dat de tunnelbuis stevig ingebed ligt in de omringende grond.

Leidingen

Aan- en afvoerleidingen van bentoniet-slurry.

Betonnen tunnelringen

De tunnelbuizen worden opgebouwd uit 1,5 m brede tunnelringen van gewapend beton (wanddikte: 35 cm). Elke tunnelring is opgebouwd uit gebogen betonnen delen: vijf segmenten en een halfgrote sluitsteen. Dankzij een rubberen afdichtingsprofiel rondom de tunnelsegmenten is de geboorde tunnel waterdicht.

Onderhoud graafwiel

Als er tijdens het boren een reparatie aan het graafwiel moet plaatsvinden, stopt het boorproces en wordt het bentonietniveau (tijdelijk) verlaagd en vervangen door lucht onder verhoogde druk. Via een druksluis kunnen duikers de graafkamer betreden.

Sturen TBM

Met behulp van laser- en driehoeksmetingen in de tunnel berekenen computers continu de koers van de TBM en de afwijking ten opzichte van het geplande tracé. Op basis van die informatie kan de bestuurder de boormachine sturen door de slag van de hydraulische afzetcilinders op de segmenten te variëren. Doordat elke betonnen tunnelring enigszins taps is, kunnen de ringen de bocht volgen. Voor een rechte tunnelbuis wisselen de smalle en brede tunnelringkanten elkaar af waarbij de oriëntatie precies tegengesteld is en de breedteverschillen elkaar opheffen.

4 druksluis

5 grout

KENGETALLEN NOORD-ZUIDLIJN
KOSTEN € 3,16 mld
OPLEVERING 2017

Lichte scheurvorming

Omdat grout zich niet perfect gelijkmatig in de staartspleet verspreidt, treden er zettingen aan het maaiveld op. Bij de geboorde tunnels van Damrak naar Rokin waren de zettingen ruim minder dan 25 mm recht onder de tunnel. Op twee locaties zijn meldingen geweest van lichte scheurvorming in wanden. Deze schade is direct hersteld door een stukadoor.

KENGETALLEN TUNNELBOOR
LENGTE 83 m
MASSA 870 ton
VOORTANG 8-10 m tunnel per 24 uur

transport-baan

Tunnelreintje

In de tunnel wordt tijdelijke rails gelegd waarover een treintje rijdt dat mensen en materieel (o.a. tunnelsegmenten) aanvoert.

5 grout

VERLORENSCHILDMETHODE

Het oorspronkelijke plan was om vanuit het Damrak (noord) naar het Scheldeplein te boren (zuid). Als gevolg van de verzakkingen op de Vijzelgracht in 2008 heeft de bouw van de stations Vijzelgracht en Rokin stilgelegen. Hierdoor was station Rokin niet op tijd gereed om de twee tunnelboormachines Gravin en Noortje te ontvangen. Eind 2009 is besloten om eerst vanaf het Damrak naar het Rokin (van noord naar zuid) te boren en daarna vanaf het Scheldeplein naar het Rokin (van zuid naar noord). Op deze manier hoeven de boorders niet te wachten met boren totdat de stations Rokin en Vijzelgracht zijn afgebouwd. De TBM boort vier keer tot vlak voor station Rokin. De zes volgwagens worden losgekoppeld van het boorschild en rijden achteruit naar de startschacht. Het boorschild en het graafwiel blijven in de grond achter. Voor de aanleg van de Noord-Zuidlijn zijn vier boorschilden nodig: Gravin, Noortje (deze boorschilden staan nu in de grond aan de noordkant van station Rokin), Molly en een vierde (nog naamloos) schild. Als station Rokin gereed is, wordt de grond tussen het station en de vier geboorde tunnels bevroren zodat deze kan worden ontgraven. De graafwielen komen dan weer tevoorschijn.