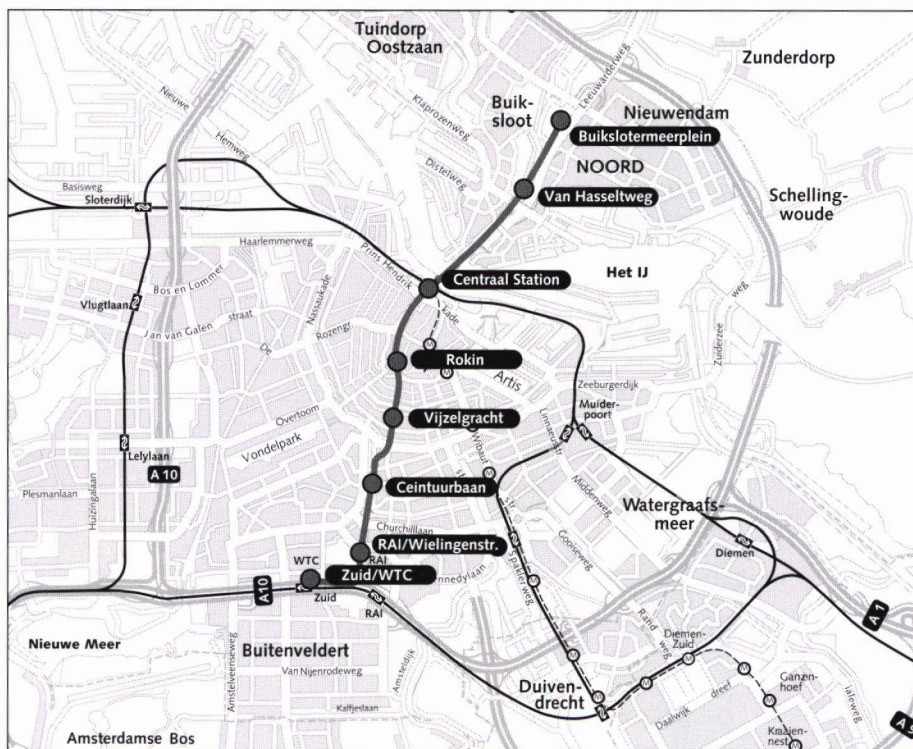


Een nieuwe metro in Amsterdam

# De Noord/Zuidlijn

De Noord/Zuidlijn wordt een nieuwe hoogwaardige openbaarvervoer-verbinding met een sterk regionale functie. De eerste fase van het project Noord/Zuidlijn is momenteel in ontwerp en loopt van Amsterdam-Noord, onder het Centraal Station en de binnenstad door, naar station Zuid/WTC. Een totale lengte van circa 9 km. Het binnenstadgedeelte zal als een metro met twee geboorde tunnelbuizen diep in de ondergrond worden aangelegd. De wens tot het beperken van overlast tijdens de bouw, de karakteristieke binnenstad en de gegeven bodemopbouw, vormen belangrijke startpunten voor het te kiezen tracé. De slappe bodem en de paalfunderingen bepalen in hoge mate de bouwmethoden en het ontwerp van het tracé.

Aryan Snel en Egbert Teunissen



Figuur 1: Het Tracé van de Noord/Zuidlijn.

## Over de auteurs



### Ir. A.J.M. Snel

is projectleider Binnenstad van het Ontwerpbureau Noord/Zuidlijn, verantwoordelijk voor het ontwerp en de stedelijke inpassing voor het tracédeel binnenstad.



### Ir. E.A.H. Teunissen

is projectleider Geotechniek van het Ontwerpbureau Noord/Zuidlijn, verantwoordelijk voor grondonderzoek en de geotechnische ontwerpen.

## Het doel van de Noord/Zuidlijn

De binnenstad van Amsterdam heeft een belangrijke winkel-, werken- en uitgaansfunctie. Negen van de tien Amsterdammers woont echter buiten het centrum. De bereikbaarheid is derhalve essentieel om een levendige en leefbare stad te behouden. Dit vraagt om een uitbreiding van het bestaande openbaarvervoernet met een nieuwe metrolijn. Volgens een prognose zal het aantal reizigers dat vanaf de opening in 2005 gebruik zal gaan maken van de Noord/Zuidlijn ca 160.000 zijn. In de tweede fase zal, wanneer de lijn wordt doorgetrokken naar Zaanstad/Purme-

rend en Schiphol/Hoofddorp, zelfs sprake zijn van een verdubbeling van het aantal reizigers.

## Het ontwerp kader

Het ontwerpen van het tracé is niet eenvoudig. Er moet rekening worden gehouden met de vaak verschillende wensen van de politiek, de omwonenden en de technische mogelijkheden. Het realiseren van een zo hoog mogelijke kwaliteit met een minimum aan overlast tegen minimale kosten is een grote uitdaging voor de ontwerpers.

Gezien de eerdere ervaringen bij de aanleg van de bestaande Metro-Oostlijn, waarbij de benodigde sloop zelfs tot rellen leidde, staat de beperking van de hinder voor de omgeving centraal. Om hieraan tegemoet te komen is in de binnenstad gekozen voor de boormethode. De tunnel volgt zoveel mogelijk het stratenpatroon, waardoor sloop voorkomen wordt en men ook buiten de perceelgrenzen blijft.

## Het tracé

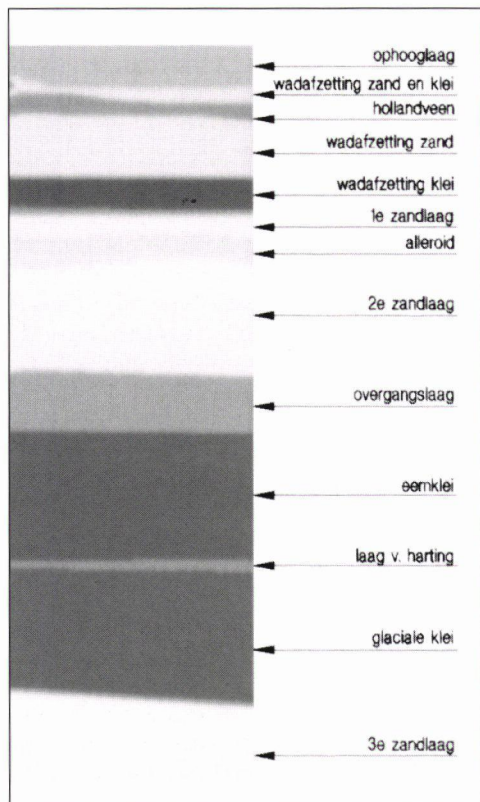
Het ontwerp voorziet in een bovengrondse kruisingsvrije aanleg van het noordelijke tracégedeelte. De sporen gaan vervolgens in een afgezonden tunnel onder het IJ door. Onder het Centraal Station komt een Noord/Zuidlijn halte te liggen. Op het Rokin, bij het drukke Spui, en de Vijzelgracht, een belangrijke overstaplocatie op de trams, zijn stations ontworpen. In *figuur 1* is het tracé van de Noord/Zuidlijn weergegeven.

## De specifieke Amsterdamse bodem

De bodemopbouw langs het tracé in de binnenstad wisselt nauwelijks. De bovenste lagen bestaan uit een afwisselend mengsel van klei, veen en fijn zand. Dit pakket reikt tot circa NAP -11 m en kan als slap worden gekenmerkt. Onder dit pakket bevindt zich de eerste zandlaag met een dikte van 2 à 3 m. De tweede zandlaag wordt aangetroffen op een diepte van circa NAP -18,0 m en reikt tot circa NAP -28 m. Tussen de beide zandlagen bevinden klei- en zandlagen. De eerste en tweede zandlaag zijn matig tot matig vast gepakt, waardoor het goede funderingslagen zijn.

Onder de tweede zandlaag wordt een circa dertig meter dik kleipakket aangetroffen dat bestaat uit drie af-

zonderlijke lagen. Tot circa NAP -44 m bevindt zich de Eemklei, een na-genoeg waterdichte matig vaste kleilaag. Vervolgens wordt een circa 0,2 meter dunne vaste veenlaag aangetroffen waaronder tot circa NAP -58 m een vaste glaciale kleilaag aanwezig is. Onder dit kleipakket begint de derde zandlaag. *Figuur 2* geeft de bodemopbouw weer.



Figuur 2: De bodemopbouw langs het tracé van de Noord/Zuidlijn in de Amsterdamse binnenstad.

## Grondwater

Amsterdam bestaat uit meerdere polders met verschillende freatische grondwaterstanden. De aanwezigheid van de houten palen houdt in dat de grondwaterstand niet mag zakken daar er anders paalrotting optreedt. Een belangrijke randvoorwaarde bij de gekozen bouwmethoden is dan ook dat de grondwaterstand niet mag worden beïnvloed.

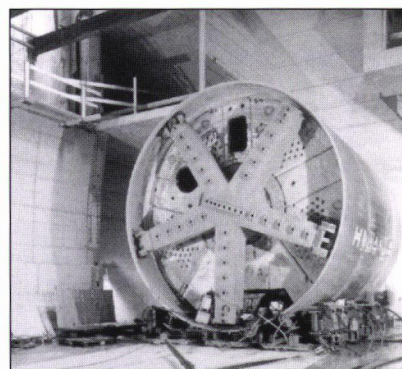
Bovendien bestaan er in de Amsterdamse bodem verschillende waterhuishoudingen die van elkaar zijn gescheiden door ondoorlatende lagen. Het slappe bovenste pakket tot circa NAP -11 m is de eerste waterhuishouding welke door de klei- en veenlagen wordt gescheiden van het onderliggende watervoerende pakket. De eerste en tweede zandlaag met de tussenlaag vormen samen het eerste watervoerend pakket, de derde zandlaag maakt onderdeel uit van het tweede watervoerend pakket. Beide watervoerende pakketten worden door het circa 30 m dikke kleipakket van elkaar gescheiden. De tunnel ligt voor het grootste deel in het eerste watervoerend pakket. Door de diepe ligging wordt de grondwaterstand niet beïnvloed. Daar waar de tunnel in de Eemkleilaag ligt is het kleipakket zo dik dat er geen verbinding tussen het eerste en tweede watervoerend pakket optreedt.

De grondwaterstroming in de regio Amsterdam is noord-zuid georiënteerd. De stroming wordt in hoofdzaak gedictieerd door diepe polders zoals de Haarlemmermeerpolder. De tunnel is eveneens noord-zuid gelegen. Bovendien sluit de tunnel niet volledig een watervoerend pakket af. Om beide redenen heeft de aanleg en de aanwezigheid van de Noord/Zuidlijn geen effect op de grondwaterstroming.

## Funderingen

Omdat de bovenste lagen van de bodem niet zo stevig zijn, werd en wordt Amsterdam op palen gebouwd. De binnenstad, de oudere bebouwing maar ook de bruggen, zijn voor het grootste gedeelte gefundeerd op houten palen. Deze staan op circa NAP -12 m in de eerste zandlaag. Zwarte en nieuwere gebouwen zoals kantoorpanden zijn in de bovenkant van de tweede zandlaag gefundeerd op circa NAP -20 m. Hiervoor worden hoofdzakelijk betonnen palen gebruikt.

## Het boren

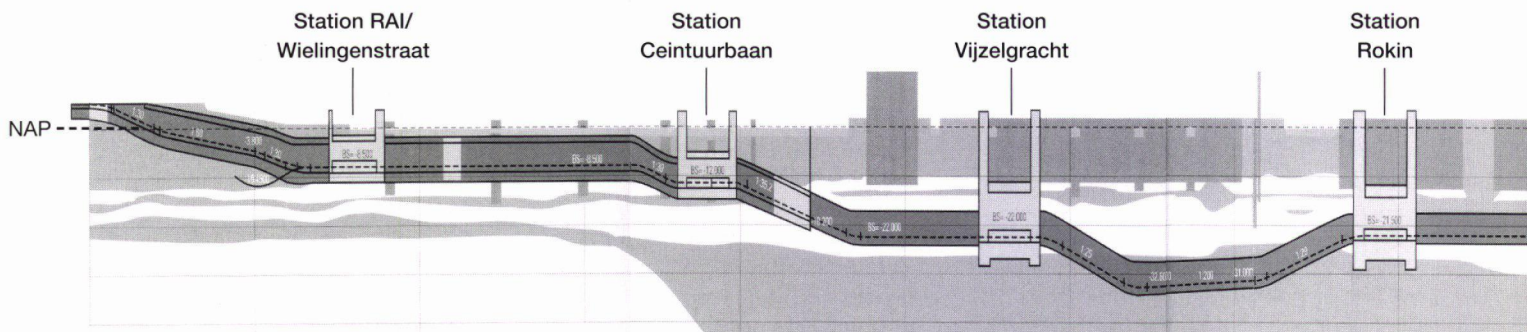


De boor is 6,5 meter in doorsnede.

In het binnenstad gedeelte vanaf het Centraal station tot voorbij stadsdeel de Pijp wordt de metro in twee buizen aangelegd die worden geboord. Dit is een traject van circa 2,3 km. Hiervoor wordt een Tunnelboormachine (kortweg TBM) gebruikt. Via een 20 m diepe bouwput wordt de TBM onder de grond gebracht. De boor heeft een diameter van circa 6,5 m en zal per dag zal circa 8 meter afleggen.

Het boren is een hoogwaardige bouwtechniek die nu voor het eerst in Nederland bij de bouw van de Tweede Heinenoordtunnel wordt toegepast. Het boren in een binnenstad in Nederland is nieuw. Echter in het buitenland wordt deze bouwmethode veelvuldig gebruikt. Op dit moment worden met deze methode metrotunnels aangelegd in Duisburg, Japan en Lissabon, waar de bodem waarin geboord wordt, enigszins lijkt op Amsterdam.

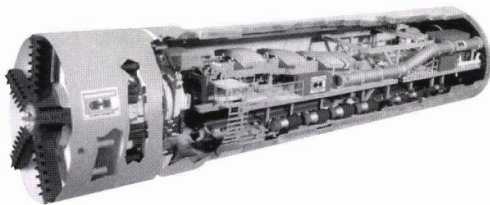
Bij het boren mag niets aan het toeval worden overgelaten. Daarom wordt de bodem vooraf uitgebreid verkend en in kaart gebracht. Hiertoe wordt een omvangrijk grondonderzoek uitgevoerd, bestaande uit geotechnische, geohydrologische en milieutechnische veld- en laboratoriumproeven. Ten behoeve van de voorontwerp is gebruik gemaakt van



reeds aanwezig grondonderzoek. Uit een inventarisatie bleek dat binnen een afstand van 50 meter langs het tracé van de Noord/Zuidlijn in het verleden circa 700 sonderingen en 400 boringen zijn uitgevoerd. Op basis van deze gegevens is voor het voorontwerp een geotechnisch langsprietprofiel getekend en zijn geotechnische ontwerpparameters voor elke grondlaag opgesteld. Ten behoeve van het Definitief Ontwerp zullen sonderingen en boringen tot een maximale diepte van 65 meter worden uitgevoerd. Het laboratoriumonderzoek voor het binnenstadtracé is geënt op het ontwerpen van een boortunnel. Specifieke laboratoriumproeven worden uitgevoerd om de spanningsafhankelijke sterkte en vervormingseigenschappen van alle grondlagen goed in beeld te krijgen.

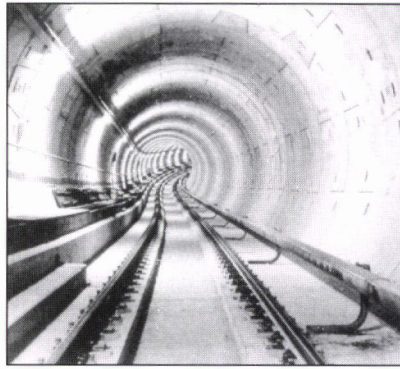
### Vrijkomende grond

Bij het maken van een boortunnel komt een grote hoeveelheid grond vrij. Uit historische en verkennende bodemonderzoeken bleek dat er geen sprake is van sterk vervuilde grond. In de nabije toekomst zal een oriënterend en nader bodemonderzoek worden uitgevoerd onder andere ten behoeve van de vergunningen. De uitkomende grond zal in beginsel in depot worden opgeslagen. In samenwerking met de grondbank wordt een hergebruikplan voor de uitkomende grond opgesteld.



Bijna 20 meter ondergronds maakt de 40 meter lange boor per dag 7 tot 10 meter tunnel.

### Ondergrondse ruimte en tracé



Onder het Damrak, het Rokin, de Vijzelstraat en een stukje van De Pijp zal de metrotunnel geheel ondergronds worden aangelegd door middel van een geavanceerde boortechniek.

De TBM is in staat om obstakels in de ondergrond te kraken. Dit moet echter zo veel mogelijk worden voorkomen. De aanwezigheid van palen direct voor de boorkop is dan ook niet gewenst. Dit simpele feit bepaalt in hoofdzaak de diepteligging en het tracé van de metrolijn. Mede hierdoor is er voor gekozen om de tunnel op een diepte van circa 25 m aan te leggen. Zo is het nagenoeg uitgesloten dat de TBM houten palen tegenkomt. Wel kan door het boren het draagvermogen van heipalen afnemen, die te dicht naast en boven de as van de tunnel zijn gefundeerd. Om deze reden is gekozen voor een tracé dat voor het grootste gedeelte direct onder straten of grachten ligt. Het boren heeft geen invloed op het draagvermogen van palen die met hun paalpunt onder de tunnel zijn gesitueerd.

De enige plek waar de tunnel onder huizen doorgaat is ter plaatse van de Pijp. Dit betekent dat de fundering van circa 40 panden vooraf zal moeten worden verstevigd. Hiervoor zal een nieuwe fundering bestaande uit betonpalen diep in de tweede zandlaag worden aangebracht. Deze methode van funderingsvernieuwing is in Amsterdam al vaker met succes toegepast.

Op enkele plekken zal de tunnel toch binnen het invloedgebied van de palen worden aangelegd. Bij deze plekken zal eveneens funderingsversterking worden toegepast.

In het gekozen tracé zijn er toch nog enkele plekken die bijzondere aandacht behoeven. Het gaat hier om het monumentale panden, namelijk het Beursgebouw op het Damrak en het Industriengebouw op het Rokin. Om nagenoeg elk risico uit te sluiten zal vooraf de bodemlaag waardoor wordt geboord, versterkt worden. Dit kan gebeuren door het aanbrennen van een chemische injectie, waarbij de bodem lokaal als het ware wordt versteend. Met behulp van een lans wordt vanaf maaiveld of vanuit de kelders van gebouwen of vanuit de TBM een chemische injectie in de bodem geperst. Deze chemische injectie dringt via de poriën door tot in de grond en verkit als het ware de grondkorrels. De injectie is niet milieubelastend en veroorzaakt dan ook geen bodemverontreiniging. Deze techniek wordt veel toegepast bij funderingsverbeteringen en is laatst bij de bouw van een groot metrostation in Rotterdam op grote schaal toegepast.

Een andere mogelijkheid is eveneens het versterken van de funderingen. De te nemen maatregelen zijn momenteel per locatie in studie.

Samengevat kan worden gesteld dat de aanwezigheid van de slappe bodemlagen de diepteligging en het tracé van de Noord/Zuidlijn in hoge mate bepalen.

#### Informatie

##### Met dank aan

Opdrachtgeversbureau Noord/Zuidlijn

Postbus 2131

1000 CC Amsterdam

