

OMGEVINGSRISICO'S BOORPROCES

1 Inleiding

Voor de aanleg van de Noord/Zuidlijn worden verschillende bouwtechnieken toegepast. Tussen de kop van het Damrak en het Scheldeplein bestaat de lijn uit twee geboorde tunnels onder de binnenstad van Amsterdam. Eén buis voor elke rijrichting van de metro. De buizen liggen op een diepte van 20 tot 30 meter en hebben elk een lengte van 3,1 kilometer. Het tracé van de geboorde tunnels loopt bijna geheel onder bestaande straten: Damrak, Rokin, Vijzelstraat, Vijzelgracht, Weteringplantsoen, Ferdinand Bolstraat, Scheldestraat, Scheldeplein. In dit deel van het tracé liggen drie stations: Rokin, Vijzelgracht en Ceintuurbaan.

Door alle gebeurtenissen en ontwikkelingen rond de Noord/Zuidlijn in het afgelopen jaar staat het project in de volle aandacht van veel media en is maatschappelijke onrust ontstaan. Het gemeentebestuur en de politiek volgen het project uiteraard nauwlettend. Eén van de meest besproken onderwerpen met betrekking tot de aanleg van de lijn is op dit moment het boren van de tunnels en de gevolgen daarvan voor de stad en haar inwoners.

Al speelt het boorproces zich grotendeels onder de grond af, het kan en zal zich niet geruisloos voltrekken. Er worden twee tunnelbuizen met een diameter van bijna zeven meter dwars onder de Amsterdamse binnenstad geboord: een complex bouwproces met een hoog ambitieniveau en daarmee inherent risico's voor het werk en de omgeving. Langs de hele lijn liggen bovendien bouwterreinen voor de boorlogistiek, de uitvoering van de mitigerende maatregelen en de bouw van de nooduitgangen.

Vanaf 1994 is al heel veel aandacht besteed aan het beoordelen van het risico op schade aan de belendingen door zakkings ten gevolge van het boorproces. Het onderzoek naar deze risico's en het ontwikkelen van beheersmaatregelen hiervoor wordt in vaktermen "zakkingsrisicomanagement" genoemd. Componenten van deze aanpak zijn: inschatting van het schaderisico aan belendingen, het gedrag van de ondergrond t.g.v. het boorproces, het gedrag van de paalfunderingen, de techniek van de tunnelboormachines en "compensation grouting" techniek om de invloed van het boren op specifiek locaties te compenseren. Deze aanpak heeft de keuze voor de boortechniek ondersteund waardoor tunnelbouw mogelijk is zonder bestaande bebouwing te hoeven slopen.

2 Geboorde tunnels

De tunnelbuizen worden in ongeveer twee jaar geboord en gebouwd door twee tunnelboormachines (verder: TBM's). Volgens de huidige verwachting vertrekt de eerste TBM in het eerste kwartaal van 2010 uit de startschacht bij het Damrak, circa twee maanden later volgt de tweede TBM. Naar verwachting zit het werk van de TBM's er in het eerste kwartaal van 2012 op. De conclusies en aanbevelingen van de Commissie Veerman (verwacht eind mei/ begin juni 2009) en de voortgang van de graafwerkzaamheden bij de stations Rokin en Vijzelgracht kunnen van grote invloed zijn op de planning en de wijze van uitvoering van het boorproces. De voorbereidingen voor het boorproces gaan de komende maanden door en zijn er op gericht om eind 2009 al startklaar te zijn. Deze speelruimte ten opzichte van het eerste kwartaal 2010 wordt genomen uit het oogpunt van risicobeheersing, om eventuele tegenvallers in de voorbereiding op te kunnen vangen.

2.1 Boortechniek en scope contract

De twee TBM's zijn speciaal voor dit project ontworpen en gebouwd. De TBM's zijn in totaal circa 83 meter lang. Aan de voorzijde van een boormachine bevindt zich het boorschild, dat ongeveer acht meter lang is. Voorin het boorschild, op de kop van de boormachine, bevindt zich het graafwiel dat de grond weggraaft. Achter het schild komen zes volgagens met alle voor het boorproces benodigde installaties en materiaal. De boormachine zet zich door middel van hydraulische cilinders af tegen de al gebouwde tunnelwand en graaft zich verder naar voren. Zodra er voldoende ruimte is, wordt een nieuwe betonnen tunnelring geplaatst. Het plaatsen van de tunnelring gebeurt binnen het schild dat de omringende grond en het grondwater tegenhoudt. Dit is een belangrijke voorwaarde om in de Amsterdamse drassige grond de tunnels te kunnen maken. Als de ring compleet is, wordt het graven weer hervat. Daarbij beweegt de boormachine zich naar voren en komt het laatst gebouwde deel van de tunnel vrij aan de achterzijde van het boorschild. Door dit afwisselend en duizenden keren achter elkaar te doen baant de machine

zich langzaam een weg door de zand- en kleilagen en ontstaat een tunnelbuis. De boormachine zal naar verwachting per dag gemiddeld acht tot tien meter tunnel aanleggen.

Nooduitgangen en dwarsverbindingen

De twee tunnelbuizen worden op gezette afstanden van vluchtwegen voorzien. Onderdeel van het contract van de geboorde tunnels is daarom de realisatie van drie dwarsverbindingen tussen de twee geboorde tunnelbuizen (Beursplein, Muntplein en Vijzelstraat) en drie nooduitgangen die uitkomen op straat (1e Jacob van Campenstraat, Cornelis Troostplein en Churchilllaan).

Mitigerende maatregelen

Op basis van de risicoanalyse in het kader van het eerdere genoemde “zakingsrisicomanagement” is vastgesteld dat op zeven locaties langs het boortraject aanvullende maatregelen worden genomen om de eventuele invloed op belendingen tijdens de passage van de boormachines direct te kunnen compenseren. Dit gebeurt door in de grond onder de gebouwfundering kleine hoeveelheden van een water-cement-mengsel (grout) te injecteren. Dat gebeurt met lange dunne boorlansen (30-60 meter lang) vanuit een circa 25 meter diepe schacht die naast het betreffende pand wordt gebouwd. In vaktermen heet deze maatregel: ‘compensation grouting’.

In de grond onder het water en de walmuur van het Damrak wordt een zogenaamd ‘vriesscherm’ gemaakt. Dit is ook een mitigerende maatregel. Met behulp van 90 meter lange lansen wordt de grond boven de toekomstige tunnelbuizen bevroren. Daardoor ontstaat een stevig horizontaal vriesscherm dat de bovenliggende grond ondersteunt tijdens het boren van de tunnelbuizen onder het water en de walmuur van het Damrak.

De mitigerende maatregelen vallen ook binnen het contract van de geboorde tunnels.

2.2 Boren in stedelijk gebied

Het boren van tunnels is niet nieuw, ook niet in Nederland. De methode is hier vaker gebruikt, zowel in een vergelijkbare slappe bodem als onder een stad. De Noord/Zuidlijn is de negende boortunnel die in Nederland wordt gemaakt. Dit boorproject is uniek in zijn soort, omdat het de eerste geboorde tunnel in Amsterdam is en bovendien de eerste tunnel in Nederland die wordt geboord onder een historische stad die is gebouwd op een slappe bodem. Die slappe, gemakkelijk vervormbare bodem en het hoge grondwaterniveau stellen speciale eisen aan de boortechniek. De ligging van de tunnels en de bouwterreinen in de drukke stedelijke omgeving stellen specifieke eisen aan de bovengrondse uitvoering en de logistiek.

2.3 Gevolgen voor de omgeving

Tunnelboren is een complexe operatie die risico's kent. De boortechniek heeft in een druk stedelijk gebied als Amsterdam echter belangrijke voordelen ten opzichte van de traditionele bouwmethode zoals die bijvoorbeeld is gebruikt bij de aanleg van de Oostlijn (caissonmethode): de meeste werkzaamheden vinden ondergronds plaats, er hoeven vrijwel geen gebouwen gesloopt te worden en de straten in de binnenstad van Amsterdam hoeven niet jarenlang open te liggen. Desondanks zal er tijdens het boorproces bouwoverlast zijn en is te voorzien dat er schade ontstaat in de omgeving van de geboorde tunnels.

De bouw hinder (vooral geluid als gevolg van volcontinu werken) ontstaat in de omgeving rond de startschacht, de werkterreinen voor de stations, de mitigerende maatregelen (zeven locaties langs het tracé) en de nooduitgangen (drie locaties).

Ondanks alle zorgvuldige maatregelen zal langs het boortracé onvermijdelijk schade ontstaan aan panden en mogelijk ook in de openbare ruimte (wegen, tramrails). Ook kunnen er incidenten optreden. Deze risico's voor de omgeving worden nader toegelicht in de volgende paragraaf.

3 Risico's van het tunnelboren

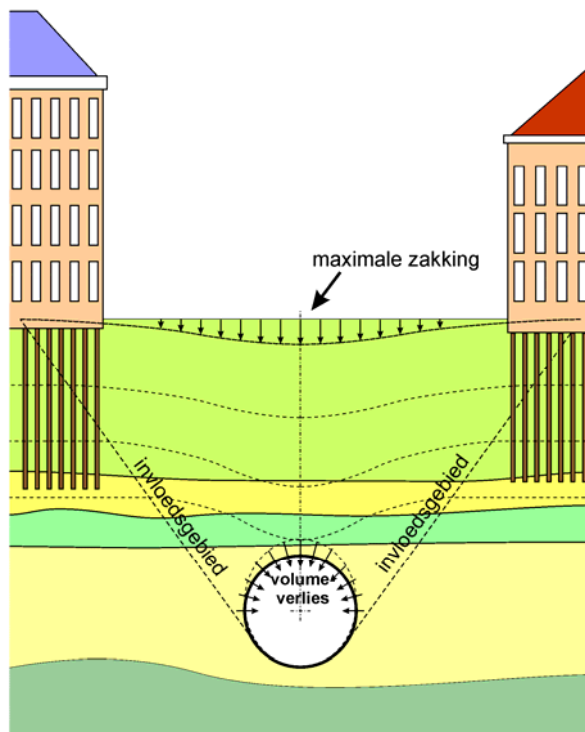
Het boren van twee tunnels met een diameter van bijna zeven meter onder de binnenstad van Amsterdam is niet zonder risico's voor de omgeving. Het boren van de tunnels gaat bijna altijd gepaard

met zakkings van de omliggende grond en vereist daarom veel zorgvuldigheid in de voorbereiding en tijdens de uitvoering van het boorproces.

Tijdens het boorproces zijn er risico's voor het werk en risico's voor de omgeving. De risico's met de grootste impact op de omgeving zijn:

1. *Omgevingsschade door zakkings als gevolg van het boorproces.*

Het graven en bouwen van een tunnelbuis gaat bijna altijd gepaard met zakking van de ondergrond. Deze ontstaat doordat het evenwicht tussen de hoeveelheid ontgraven grond en het volume van de gebouwde tunnelbuis niet ideaal is. Er treedt 'volumeverlies' op, met zakking van de grond rond de gebouwde tunnelbuis als gevolg (zie figuur 1). Het is onvermijdelijk dat dit tijdens het boorproces zal leiden tot esthetische schade in de omgeving van het boortracé. Ook is het mogelijk dat lokaal enige deuren en/of ramen zullen gaan klemmen. Het risico op schade aan wegen en tramrails t.g.v. zettingen is uitgaande van een regulier boorproces echter gering, temeer daar deze objecten gewend zijn dat ze enigszins moeten vervormen vanwege de slappe Amsterdamse bodem.



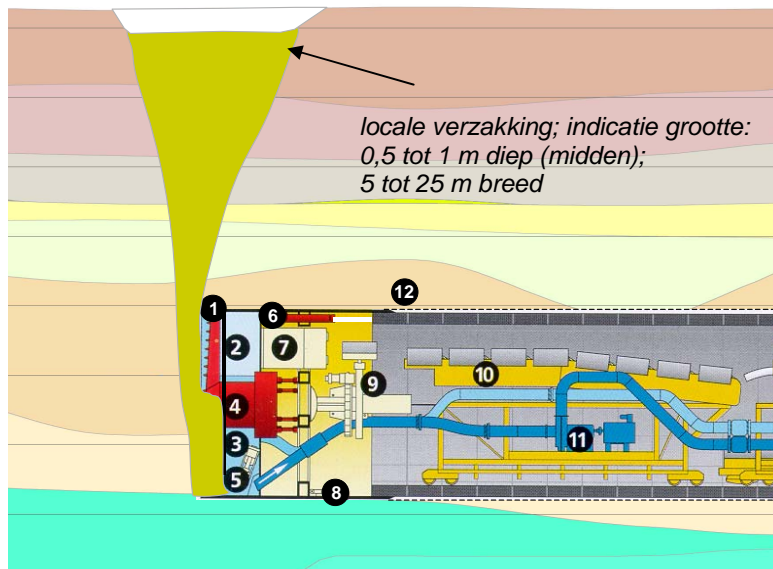
figuur 1 - principeschets volumeverlies en zakkings a.g.v. het boorproces (niet op schaal)

2. *Plaatselijk verzakking door drukverlies in de TBM. Ter plaatse van wegen/tramrails, water of bebouwing.*

De graafkamer is de afgesloten ruimte voorin de tunnelboormachine waarin het graafwiel ronddraait. Tijdens het boorproces is de graafkamer volledig gevuld met een onder druk gebrachte steunvloeistof. Deze steunvloeistof ondersteunt het boorfront: de muur van grond voor het graafwiel. Als een verbinding ontstaat tussen de graafkamer van de boormachine en de oppervlakte (het maaiveld) zal de onder druk staande boorspoeling in de graafkamer meteen weglekken ('ontsnappen'). Hierbij kan de druk in de graafkamer wegvallen, wat weer leidt tot het instorten van het boorfront. In het laatste geval zal een relatief grote plaatselijke verzakking van het maaiveld kunnen ontstaan (zie figuur 2).

De kans op een blow-out is klein door de relatief grote diepte van de boortunnel (20 tot 30 meter). Er bevindt zich relatief veel grond boven de tunnel (dekking), waardoor de kans dat steunvloeistof weg kan lekken gering is. Relatief de grootste kans op een grote plaatselijke verzakking bestaat nabij de startschacht (Damrak) en de eindschacht (Scheldeplein) vanwege de ondiepere ligging

t.o.v. de rest van het tracé en vlakbij de diepe stations vanwege verstoorde grond als gevolg van de bouwwerkzaamheden.



figuur 2 - principeschets lokale verzakking door drukverlies

3. Problemen bij start- of ontvangstprocedure

In totaal vindt 16 keer een start- of ontvangstprocedure plaats bij een schacht of één van de diepe stations. Daarbij boort een TBM door de wand van een schacht of station met behulp van een speciale hulpconstructie, het "schildtransfersysteem". Vanwege de complexiteit van deze operatie en het feit dat daarbij sprake is van een raakvlak tussen verschillende contracten, zijn de hieraan verbonden risico's relatief groot. Voor de omgeving is dat met name het ontstaan van een lokale verzakking en/of de lekkage van boorspoeling. Daarbij ontstaat vooral vertraging en hinder. Het veiligheidsrisico is beperkt omdat de werkzaamheden hoofdzakelijk onder eigen terrein plaatsvinden.

4. Verzakking van de walmuur Damrak.

De fundering van de circa 100 jaar oude walmuur van het Damrak blijkt in de loop van de tijd sterk vervormd vanwege de bijzonder slechte grondcondities op deze locatie. De kans bestaat dat het boorproces en de realisatie van het vrieslichaam onder de walmuur deze situatie verder verergeren waardoor de walmuur verzakt of afschuift tijdens of na de passage van de TBM.

5. Bouwhinder:

- Vooral geluidhinder, door volcontinu (24 uur, 7 dagen per week) werken. Bij de startschacht, de bouwlocaties voor mitigerende maatregelen en de stations Rokin, Vijzelgracht en Ceintuurbaan.
- Stof rond de werkerreinen.
- Bouwverkeer over de weg (beperkt) en via het water (aanvoer tunnelsegmenten).
- Visuele hinder: bouwverlichting; hal over de startschacht; platform met scheidingsinstallatie in het IJ.
- Lekkage boorspoeling → boorspoeling op straat: dit is niet schadelijk, maar wel hinderlijk. De kans hierop is het grootst bij de start- en ontvangstprocedure voor en na de stations.

Op basis van de kans en het gevolg kunnen deze omgevingsrisico's grofweg worden onderverdeeld in uitvoeringsrisico's en incidenten. Zie de onderstaande tabel.

Gevolgen voor de omgeving	Uitvoeringsrisico's (kans vrij groot, gevolg beperkt)	Incidenten (kleine kans, groot gevolg)
Hinder, onveiligheid.	4. Bouwhinder (vooral geluid).	
Zakkingen, schade.	1. Omgevingschade door het boorproces.	2. Plaatselijk verzakking door drukverlies 3. Verzakking walmuur Damrak.

4 Beheersmaatregelen

Om de in de vorige paragraaf beschreven risico's te beperken en te beheersen worden specialistische beheersmaatregelen getroffen, namelijk:

1. *Schaderisicobeoordeling en funderingsherstel*

De schaderisicobeoordeling van de belendingen heeft zich allereerst geconcentreerd op de effecten van de specifieke kenmerken van de Amsterdamse belendingen (relatief grote raamopeningen) op de gebouwresponsie (vervormingsgedrag). Hiermee is een uitgebreide risicoanalyse van de gebouwresponsie uitgevoerd. Dit heeft in al 1999 geleid tot een specifiek voor Amsterdam ontwikkeld "schade-risico-classificatie -systeem". Hierin is, in 4 schaderisicoklassen, een relatie gelegd tussen de relatieve rotaties in de gevels van de belendingen en de daarbij behorende kans op het optreden van een bepaalde mate van (esthetische) schade.

Daarnaast heeft er in de jaren 1998-2002 een grootschalig casco-funderingsonderzoek plaatsgevonden waarin alle 1500 panden in het invloedsgebied zijn onderzocht. Daar waar de bestaande kwaliteit van de fundering en/of casco te slecht werd beoordeeld heeft casco-funderingsherstel plaatsgevonden, teneinde onverwachte situaties zoveel mogelijk te elimineren.

2. *Materieel*

De boormachines zijn speciaal ontworpen en gebouwd voor de Noord/Zuidlijn en daardoor goed uitgerust om in de Amsterdamse omstandigheden te kunnen boren. Belangrijke kenmerken zijn de goede bestuurbaarheid door het korte boorschild, een geavanceerd drukregelsysteem en uitgebreide meetinstrumentatie (om het boorproces en eventuele zakkingsen zo goed mogelijk te kunnen beheersen).

3. *Monitoring en toezicht*

Tijdens het boren zullen in het invloedsgebied voortdurend metingen worden uitgevoerd. De monitoring bestaat uit metingen op het maaiveld, waarmee de effecten direct boven de boormachine kunnen worden gemeten en zo nodig bijsturing van het proces kan plaatsvinden. Ook worden de belendingen langs het tracé gemonitord om eventuele beïnvloeding door het boren te kunnen detecteren. Bij panden waar tijdens de passage van de tunnelboormachines grout in de grond onder de fundering wordt geïnjecteerd (mitigerende maatregel), bevindt zich in de panden extra meetapparatuur.

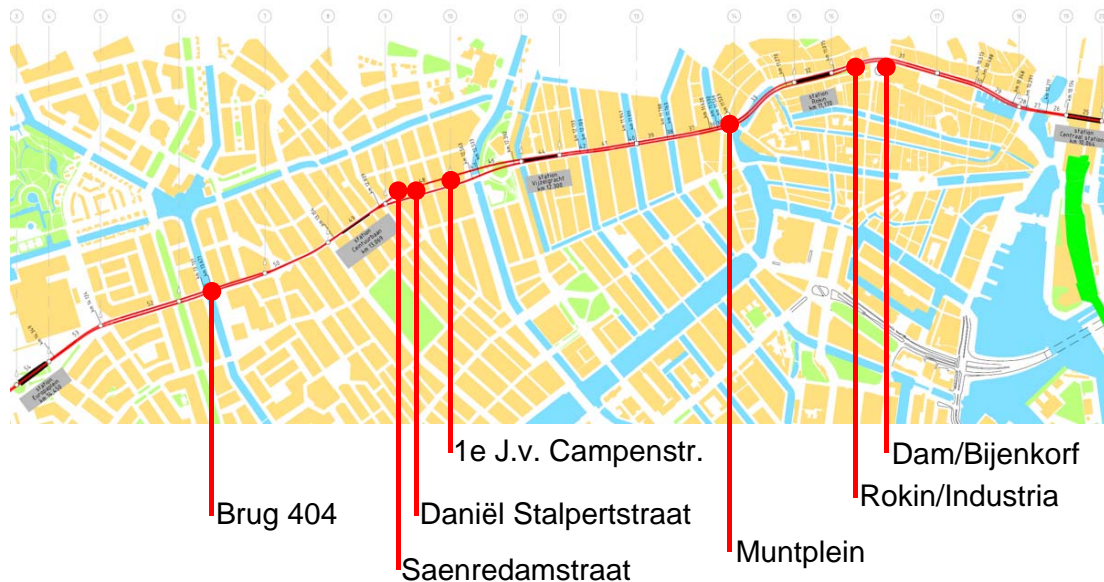
Er is voltijds toezicht aanwezig op de boormachine zodat snel gereageerd kan worden op het verloop van dit proces en op de diverse meetgegevens. Op basis hiervan kan het proces continu en direct bijgesteld worden t.b.v. zakkingsbeheersing zonder dat het boren daarvoor stilgelegd wordt. Stoppen met boren zou juist averechts kunnen werken in dit verband.

4. *Procesbeheersing*

De gegevens van de meetinstrumentatie van de boormachine en de monitoringsgegevens worden geanalyseerd en gebruikt om het boorproces zo goed mogelijk te beheersen. Voor het reguliere boorproces zijn er zorgvuldig vastgestelde boorinstructies. Voor bijzondere situaties liggen draaiboeken klaar zodat de aannemer en de projectorganisatie weten hoe gehandeld moet worden.

5. *Mitigerende maatregelen*

Op zeven locaties (zie figuur 3) worden aanvullende maatregelen genomen om de eventuele invloed van het boorproces tijdens de passage van de boormachines direct te kunnen compenseren of te beperken. Dit zijn de zogenaamde mitigerende maatregelen doormiddel van "compensation grouting". Verder wordt het vriesscherm onder de walmuur van het Damrak gerealiseerd (zie paragraaf 2.1).



figuur 3 - locaties mitigerende maatregelen

6. Fixeren walmuur Damrak

Om er zeker van te zijn dat de walmuur langs het Natte Damrak niet verzakt of afschuift als gevolg van het boorproces en de realisatie van het vrieslichaam wordt deze gefixeerd met een hulpconstructie. Hiermee wordt een te allen tijde veilige situatie gecreëerd, ongeacht de onzekerheden over staat van de huidige walmuur en de beïnvloeding door het boorproces.

5 Second opinions grootste risico's boorcontract

Voor het boorcontract zijn een aantal grote risico's (categorie kleine kans – groot gevolg) onderkend. Het projectbureau Noord/Zuidlijn heeft contact met een aantal internationaal erkende deskundigen die, naar aanleiding van eigen vragen of op verzoek van het bestuur, benaderd kunnen worden om een second opinion te geven op specifieke onderwerpen. Op dit moment zijn dergelijke second opinions gevraagd met betrekking tot een aantal kleine kans – groot gevolg risico's.

5.1 Vriesscherm en boorfrontstabiliteit ter plaatse van natte Damrak

Aan prof. Kovari van de Technische Universiteit Zurich is in een eerder stadium reeds gevraagd zijn mening te geven over dit onderwerp. Samengevat was zijn oordeel positief ten aanzien van de toepassing van een vriesscherm om opbarsten van de ondergrond en drukverlies ten gevolge van aanwezige funderingspalen te voorkomen. Hij had echter enkele vraagtekens ten aanzien van de maakbaarheid van zo'n scherm vanuit de startschacht. Inmiddels is het scherm gerealiseerd met een zeer nauwkeurige positie van de vrieslansen, maar heeft de commissie Veerman nog enkele vragen gesteld naar de frontstabiliteit en het opdrijven van de tunnel ter plaatse. Beide onderwerpen zijn, met een vraag om het resultaat van het scherm te beoordelen aan prof. Kovari voorgelegd.

5.2 Compensation grouting

Prof Mair van de Universiteit Cambridge heeft reeds enkele jaren geleden zijn mening gegeven over de toepassing van compensation grouting om daarmee ontoelaatbare zetting te voorkomen. Dit is toen echter nooit aan het papier toevertrouwd. Thans is aan prof. Mair gevraagd dit alsnog te doen. Tevens heeft hij aangegeven de – zeer succesvolle – uitvoering van het compensation grouting project in Bologna, wat naar zijn mening sterke overeenkomsten heeft met Amsterdam, mede in beschouwing te nemen.

5.3 Drukverlies (“blow out”)

De laatste tijd zijn er enige vragen gesteld met betrekking tot het risico van drukverlies bij de boorkop, de zgn. blow-out. Ofschoon dit risico als bijzonder klein kan worden gekwantificeerd, onder meer ten gevolge van de zeer diepe ligging van de tunnels en de geringe inhoud van de graafkamer van de Amsterdamse tunnelboor, wordt het toch raadzaam geacht ook hier extern advies voor te vragen. Daartoe is aan de emeritus hoogleraar prof. Maidl van de Universiteit Bochum gevraagd de berekeningen van de aannemer en de toetsingen van de projectorganisatie te controleren. Desgewenst zal hij zich bij laten staan door zijn opvolger prof. Thewes. Een eerste reactie onderschrijft de mening van het projectbureau, namelijk dat enkel bij de stations Rokin en Vijzelgracht een verhoogd risico aanwezig is, maar dat dit zeer lokaal is.