Witteveen + Bos

NOTITIE

Onderwerp	Resultaten QRA-berekeningen huidige situatie (vanaf 1 mei 2019)
Project	Kwantitatieve risicoanalyse Piet Heintunnel
Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam
Projectcode	113576
Status	Definitief 02
Datum	15 maart 2019
Referentie	113576/19-004.389
Auteur(s)	
Gecontroleerd door	
Goedgekeurd door	
Paraaf	
Bijlage(n)	-
Aan	Gemeente Amsterdam
Kopie	

1 AANLEIDING

In het kader van het in gebruik houden van de Piet Heintunnel bij het inwerking treden van de Warvw [11] voor bestaande tunnels op 1 mei 2019 is het van belang inzicht te hebben in het veiligheidsniveau van de tunnel in de huidige situatie en gebruiksomstandigheden.

De voorliggende notitie is opgesteld met als doel om tot een eenduidige kwantitatieve risicoanalyse te komen waarmee het veiligheidsniveau van de verkeersbuizen van de Piet Heintunnel in de situatie per 1 mei 2019 kan worden vastgesteld en getoetst aan de groepsrisiconorm-curve.

De beoordeling van het veiligheidsniveau van de trambuis is geen onderdeel van deze notitie.

Naar aanleiding van uw uitvraag op d.d. 28 januari 2019 hebben ten behoeve van het uitvoeren van de QRA-berekeningen en het opstellen van de QRA-rapportage gesprekken plaats gevonden op d.d. 25 januari 2019 en d.d. 8 februari 2019.

Leeswijzer

Deze notitie is opgebouwd conform het stappenplan zoals vastgesteld in de genoemde offerte, te weten:
- beschrijving van de huidige situatie met analyse van de specifieke kenmerken (hoofdstuk 2);
- uitgangspunten, opzet (hoofdstuk 3) en modelleringsstrategie (hoofdstuk 4) van de berekeningen;
- resultaten van de berekeningen (hoofdstuk 5);
- conclusies (hoofdstuk 6).

2 ANALYSE VAN DE HUIDIGE SITUATIE

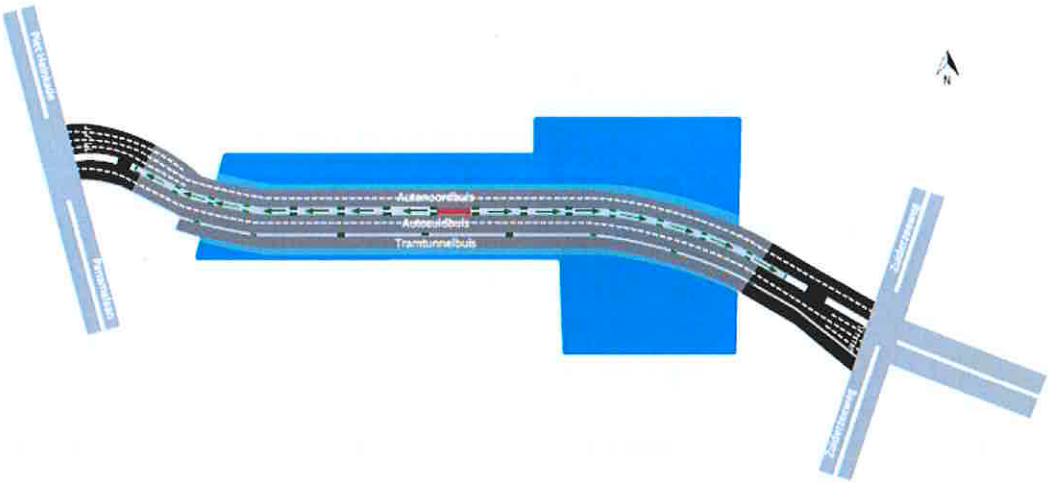
In het kader van het uitvoeren van de QRA-berekeningen heeft een inventarisatie plaats gevonden van de specifieke kenmerken van de Piet Heintunnel (PHT). Hierbij is het startpunt geweest een tweetal rapportages opgesteld door Arcadis voor de PHT, te weten 'Piet Heinautotunnel, Scenarioanalyse situatie 1 mei 2019' d.d. 21 december 2018 [13] en 'Kwantitatieve risicoanalyse (QRA), Piet Heintunnel - Bouwplan 2019' d.d. 2 februari 2018 [14]. Op basis van de eerste rapportages kan een overzicht worden verkregen van de huidige situatie na 1 mei 2019 ten aanzien van de tunnel technische voorzieningen (TTI) alsmede het gebruik en de calamiteitenstand. De tweede rapportage geeft een nadere uitsplitsing naar de geometrie, verkeersintensiteiten en samenstelling.

In dit hoofdstuk zal derhalve slechts een beknopte overzicht van de PHT worden gegeven, waarna verschillende specifieke kenmerken van de PHT benodigd voor het uitvoeren van de QRA-berekeningen nader zullen worden beschouwd. Hierbij wordt eveneens verwezen naar de QRA-berekeningen gedaan in het kader van het Bouwplan 2019 (BP) [14].

2.1 Beschrijving van de tunnel

De PHT is een autotunnel en tramtunnel (hier verder niet beschouwd) onder het Spoorwegbassin in het Oostelijk Havengebied en de mond van het Amsterdam-Rijnkanaal die het centrum van Amsterdam verbindt met de Zeeburgereiland en IJburg. De tunnel is onderdeel van een doorgaande route die vanaf de ringweg A10 in het verlengde ligt van de IJburglaan (S114). In afbeelding 1 is een principe bovenaanzicht van de PHT gegeven waarbij de tunnel aan de westzijde aansluit op de kruising met de Piet Heinkade (S100) en aan de oostzijde op de kruising met de Zuiderzeeweg.

Afbeelding 1 Principe bovenaanzicht van het tracé van de Piet Heintunnel [13, 14]

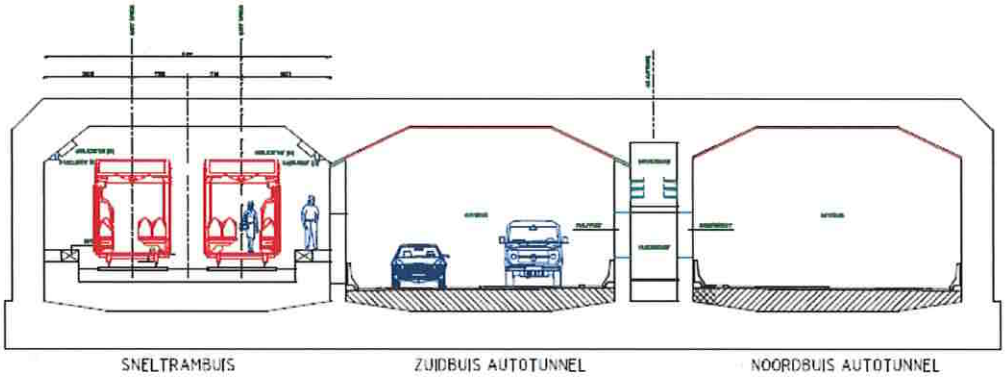


De tunnel is grotendeels uitgevoerd als zinktunnel [1, 2, 3] waarbij het omsloten deel een lengte heeft van circa 1.490 m (lengte Noordbuis = 1,488 m, lengte Zuidbuis = 1.491 m). De tunnel omvat twee buizen voor het wegverkeer en één buis voor het tramverkeer (lijn 26) zoals is te zien in de principedoorsnede in afbeelding 2. Beide autobuizen omvatten ieder twee rijstroken en hebben een breedte van 8,53 m. Ter plaatse van de westelijke tunnelmond hebben de Noord- en Zuidbuis een verbreding ten opzichte van de rest van de tunnel (zie afbeelding 1).

Tussen beide wegverkeersbuizen is een middentunnelkanaal (MTK) aanwezig met in het midden een traforuimte. Door de aanwezigheid van deze ruimte bestaat het MTK uit twee gescheiden delen (oostelijk en westelijk deel). De PHT heeft twee dienstgebouwen: Dienstgebouw West en Dienstgebouw Oost.

Aan de westzijde bevindt zich de pompkelder west op circa 100 m van de tunnelmond. De middenpompkelder bevindt zich op het laagst gelegen punt, circa 255 m van de oostelijke tunnelmond. De pompkelder oost is gelegen bij de oostelijke tunnelmond [10]. Nadere inspectie van de gemeente Amsterdam naar de pompkelders heeft uitgewezen dat de westelijke pompkelder niet is voorzien van een waterslot. In de middenpompkelder is wel een waterslot aanwezig waarbij door de gemeente Amsterdam is aangegeven dat de functie hiervan na 1 mei 2019 gewaarborgd zal zijn. Tevens is middels een uitstroomtest door de gemeente Amsterdam vastgesteld dat vloeistoffen van de rijbanen van de PHT afwateren naar de middenpompkelder. De westelijke pompkelder kent zodoende geen afstroming, waardoor het niet aanwezig zijn van het waterslot niet bepalend is voor uitstroomincidenten.

Afbeelding 2 Principe doorsnede van de Piet Heintunnel [13, 14]



2.2 Specifieke kenmerken

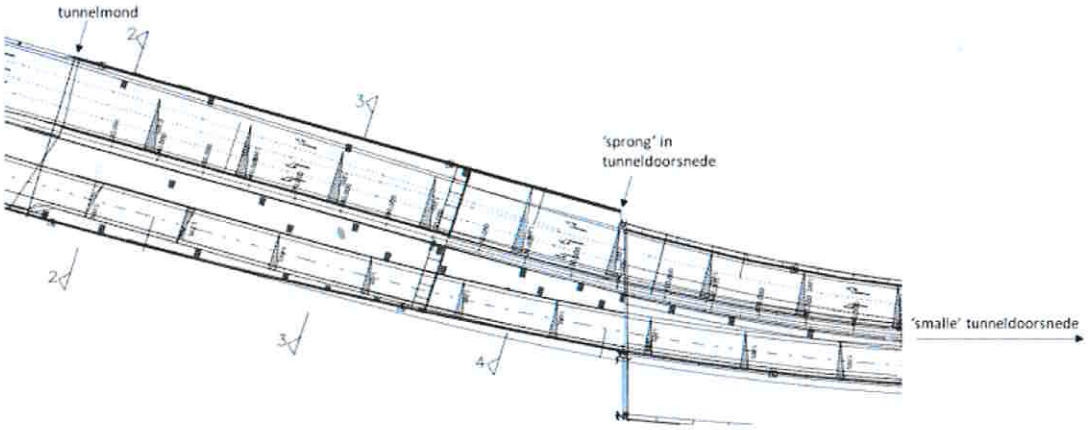
Teneinde de QRA-berekeningen voor de PHT te kunnen uitvoeren is het van belang te inventariseren welke specifieke kenmerken de tunnel in de huidige situatie dan wel na 1 mei 2019 heeft. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt naar de geometrie, het gebruik, de capaciteit van de langsventilatie, het vluchtconcept en de TTI. Navolgend zijn deze nader beschreven.

2.2.1 Geometrie

Het verloop van de tunnel in langsrichting kenmerkt zich door de verbreding aan de westelijke tunnelmond. Voor de Noordbuis (in afbeelding 3 de bovenste tunnelbuis) neemt de doorsnede ter facilitering van een aanvullende rijstrook deels sprongsgewijs toe van 8,53 m in de tunnel tot 15,65 m aan de tunnelmond [14]. De totale lengte van de verbreding is circa 247 m.

De lengte van deze verbreding komt ongeveer overeen met het westelijk gelegen opgaande deel dat zich in het verticale alignement van de tunnel kenmerkt door een steiler hellingspercentage. Hierbij is op te merken dat in het verticale alignement van de PHT voor het centraal gelegen deel sprake is van een opgaande helling van circa 0,8%. Ten behoeve van de QRA-berekeningen en de uitsplitsing van scenario's zal dit deel als horizontaal gelegen kunnen worden beschouwd. Ter plaatse van de deze verbreding neemt het aantal rijstroken toe van 2 naar 4 ter voorsortering op de kruising en de beide rijrichtingen op de Piet Heinkade.

Afbeelding 3 Bovenaanzicht verbrede tunneldeel ter plaatse van de westelijke tunnelmond [14]



De Zuidbuis (in afbeelding 3 de onderste tunnelbuis) kent een geleidelijke verbreding van 8,53 m in de tunnel tot 18,38 m aan de tunnelmond [14]. Dit deel komt ongeveer overeen met het neergaande deel in verticale alignement van de tunnel (uitgaande van een zelfde beschouwing als gehanteerd voor de Noordbuis) en heeft een lengte van circa 230 m. Ter plaatse deze verbreding zijn beide doorgaande rijstroken gelegen. Afbeelding 4 geeft de huidige situatie ter plaatse van de westelijke tunnelmond weer.

Afbeelding 4 Aanzicht van de westelijke tunnelmond van de PHT, gezien vanaf de kruising met de Piet Heinkade kijkende in oostelijke richting (bron: Google Street view)

2.2.2 Gebruik

Doorheen de PHT loopt de S114 welke onderdeel uitmaakt van het stedelijke wegennet in Amsterdam en een maximumrijsnelheid van 70 km/uur kent. De tunnel is in huidige situatie opengesteld voor al het wegverkeer inclusief personenauto's, vrachtauto's en bussen. Het vervoer van gevaarlijke stoffen is in beperkte mate toegestaan (categorie D-tunnel).

Verkeersintensiteiten en samenstelling

Door de opdrachtgever is mondeling toegelicht dat de gemeente Amsterdam voornemens is om per 1 mei 2019 al het vrachtverkeer te weren uit de PHT. Dit betekent dat vanaf deze datum het verkeer slechts zal bestaan uit personenauto's, bestelauto's en bussen.

Door de gemeente Amsterdam zijn de gemiddelde intensiteiten opgesteld voor de periodes spits, dag en nacht gebaseerd op 2015, 2020 en 2025 [4]. Uit deze data zijn de maximum intensiteiten voor 2015 gehanteerd. De verkeerssamenstelling is gebaseerd op verkeerstellingen waarbij er sprake is van voornamelijk personenauto's (99 %) en een beperkt aantal touringcars (1 %) [5, 6].

De verkeersintensiteiten en -samenstelling dienen echter gecorrigeerd te worden voor het vrachtwagenverbod dat na 1 mei 2019 zal gaan gelden. Hierbij is als uitgangspunt gehanteerd dat er geen vrachtauto's gebruik zullen maken de PHT. Als onderdeel van de fractie personenauto's maken ook bestelauto's gebruik van de PHT. In het QRA-model vindt echter geen onderscheid plaats naar dit specifieke type voertuig. Bestelauto's maken onderdeel uit van de categorie personenauto's, maar hebben wel een potentieel hoger brandvermogen. Uit verkeerstellingen komt naar voren dat er sprake is van circa 12% en 11% bestelauto's in respectievelijk de Noord- en Zuidbuis. In de QRA-berekeningen zullen de bestelauto's als vrachtauto's worden meegenomen met een brandvermogen van 25 MW. (worst-case benadering daar het daadwerkelijke brandvermogen van bestelauto's lager ligt) Op te merken is verder dat de gelijke intensiteit in de Noord- en Zuidbuis voor de nachtperiode is verkregen uit de verkeersgegevens [4].

Tabel 1 geeft een overzicht van de verkeersintensiteiten en samenstelling voor de respectievelijk de Noord- en Zuidbuis.

Tabel 1 Verkeersintensiteiten en samenstelling na correctie door invoering van een vrachtwagenverbod

Parameter	Noordbuis			Zuidbuis		
	Spits (1,43 uur)	Dag (14,57 uur)	Nacht (8 uur)	Spits (1,43 uur)	Dag (14,57 uur)	Nacht (8 uur)
verkeersintensiteit per uur [mvt/uur]	1.084	773	171	1.246	747	171
verkeersintensiteit per jaar [mvt/jaar]	565.794	4.110.240	499.320	650.350	3.972.624	499.320
verkeersintensiteit per jaar per tunnelbuis [mvt/jaar]			5.175.354			5.122.294
fractie personenauto's	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88
fractie bestelauto's*	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
fractie bussen	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

* de fractie bestelauto's is niet in te voeren in het QRA-model, maar wordt eenvoudigweg meegenomen middels de fractie vrachtauto's waarbij een brandvermogen van 25 MW wordt gehanteerd (het minimale brandvermogen van een vrachtauto in het QRA-model)

Incidentkans

Ter bepaling van de incidentkans van de PHT is gebruik gemaakt van de ongevallenstatistieken van 2010 tot en met 2016 [7]. In deze periode hebben zich onderstaande aantallen ongevallen voorgedaan, verdeeld over de categorieën pech, UMS en letsel. Uitgaande van eenvoudigweg 5.000.000 mvt per jaar per tunnelbuis is sprake van een totaal van 1,5E+07 mvtkm per jaar voor de PHT (beide tunnelbuizen). De incidentkansen voor de verschillende ongevallencategorieën zijn in onderstaande tabel 2 bepaald (opgemerkt wordt dat de onderlinge verhoudingen van de incidentcategorieën hierbij verschillen ten opzichte van hetgeen staat vermeld in de QRA-handleiding). Voor de Noord- en Zuidbuis worden over de gehele lengte dezelfde incidentkansen gehanteerd, omdat in de ongevallenstatistieken geen onderscheid wordt gemaakt naar rijrichting en locatie.

Tabel 2 Ongevallenstatistieken ter bepaling van de incidentkansen in de PHT

Ongevallenstatistieken	Letsel	UMS	Pech
aantal ongevallen per type 2010 - 2016 (o.b.v. tellingen)	13	51	819
aantal ongevallen per type per jaar	1,9	7,3	117
kans op type ongeval per mvtkm uitgaande van 5.000.000 mvt per tunnelbuis per jaar	1,3E-07	4,9E-07	7,9E-06

Filemanagement en fileterugslag

Aan weerszijden van de PHT is een kruising met VRI's gelegen. In de huidige situatie is de tunnel voorzien van een filemanagementsysteem dat als doel heeft het voorkomen van filevorming die tot aan de tunnelmond aangroeit en verder kan terugslaan de tunnel in. De wachttijden voor de VRI's en de opstelruimte voor de rijrichtingen komende van de PHT zijn bepalend of het bij normaal gebruik in de dag en met name in de spits tot fileterugslag de tunnel in kan komen. Middels variabele groentijden voor de verschillende rijrichtingen op de kruising vindt dosering plaats zodat voldoende doorstroming van voertuigen komende uit de PHT plaats kan vinden.

Het kan echter wel tot filevorming komen in de richting van de tunnel indien de verkeersafwikkeling van het de kruising en het voorkomen van filevorming niet afdoende is gewaarborgd. De volgende mogelijke oorzaken zijn te onderscheiden:

- het gedeeltelijk of niet functioneren van het filemanagementsysteem door bijv. de uitval van VRI's;
- bijzondere dan wel calamiteitsituaties in het omliggende stedelijke wegennet die de verkeersafwikkeling op de kruisingen alsmede daarbuiten verstoren.

Voor beide situaties tezamen wordt voor de spitsperiode een kans op fileterugslag van 1 x per maand aangehouden in de QRA-berekeningen. Voor de dagperiode is een lagere kans van 1 x per 3 maanden gehanteerd op basis van de lagere verkeersintensiteit en de mindere impact op de verkeersafwikkeling.

Aanvullend bestaat de mogelijkheid dat een incident optreedt tussen de tunnelmond en de kruising dan wel op de kruising waardoor het ook tot fileterugslag de tunnel in kan komen. Door de relatief korte afstand tussen de kruisingen en de tunnelmonden zal in deze situatie de tunnel afgesloten worden. De aangroei van de file wordt dan alleen bepaald door het verkeer dat reeds voor afsluiting van de tunnel de afsluitbomen heeft gepasseerd en de tunnel is ingereden. Op basis van de incidentkansen per ongevalscategorie van de tunnel (zie tabel 2) tevens verhoogd in de spits door de toename van het aantal weefbewegingen alsmede de lengte tot de kruisingen kan zodoende een aanvullende filekans worden bepaald. Hierbij is er van uitgegaan dat een letselongeval altijd tot filevorming bovenstrooms van de incidentlocatie zal leiden. Voor pech en een UMS-ongeval is aangehouden dat dit voor de spitsperiode altijd tot filevorming zal leiden en gedurende de dag in 75% van de gevallen.

Bepalend voor de lengte van de benedenstroomse file is het tijdstip waarop afsluiting van de tunnelbuis plaats vindt dan wel de file door de gehele tunnel is gegroeid. De maximale tijdsduur voor opbouw van een benedenstroomse file (één van parameters in het QRA-model dat de filelengte bepaalt) is gesteld op 10 min. Hierbij wordt er dan vanuit gegaan dat bij het falen van het filemanagementsysteem of bij incidenten door de operator tijdig wordt ingegrepen.

Op basis van bovenstaande beschouwing worden de filefrequenties voor de spits- en dagperioden verkregen zoals in tabel 3 weergegeven. Aanvullend wordt voor de nacht periode een kans op file van 1 x per jaar gehanteerd.

Tabel 3 Overzicht van de filefrequenties voor de PHT op basis van verstoringen

Periode	Filefrequentie obv incidenten [1 x per ... jaar]		Filefrequentie obv onvoorziene omstandigheden [1 x per ... jaar]		Totale filefrequentie [1 x per ... jaar]	
	Noordbuis	Zuidbuis	Noordbuis	Zuidbuis	Noordbuis	Zuidbuis
spits	1	2	12	12	13	14
dag	5	7	4	4	9	11
nacht					1	1

2.2.3 Langsventilatie

De PHT is voorzien van langsventilatie welke in clusters over de tunnel is verdeeld. Het aantal ventilatoren en het aantal clusters verschilt echter per tunnelbuis. Tevens neemt de tunneldoorsnede aan de westzijde ter plaatse van de verbreding toe. Het laatste ventilatiecluster in de Noordbuis bevindt zich op circa 400 m van de tunnelmond nog voor de verbreding. In de Zuidbuis bevinden zich de eerste twee ventilatieclusters ter plaatse van de verbreding.

Ventilatiecapaciteit

De capaciteit van de langsventilatie is o.a. in de Efectis-rapportage 'Second opinion ventilatieconcept Piet Heintunnel' d.d. juli 2013 [9] berekend. Uitgevoerd zijn berekeningen met brandgroottes 5 MW, 30 MW en 100 MW waarbij de faalkans is berekend op basis van een bijbehorende toetswaarde van de ventilatiesnelheid van respectievelijk 1 m/s, 2,1 m/s en 2,5 m/s. De volgende bevindingen zijn opgetekend uit deze rapportage:

- voor de Noord- en Zuidbuis geldt dat over de lengte van de tunnel, met uitsluiting van de verbreding aan de westzijde, de ventilatiecapaciteit bij een brandgrootte tot maximaal 30 MW voldoet aan de maximaal toelaatbare overschrijdingskans van de kritische ventilatiesnelheid om backlayering te voorkomen;
- ter plaatse van de verbreding aan de westzijde voldoet de ventilatiecapaciteit bij een brandgrootte van 30 MW niet aan het faalkanscriterium daar hier door het grotere dwarsprofiel de ventilatiesnelheid richting de tunnelmond afneemt.

2.2.4 Vluchtconcept

Gebruikers van de PHT kunnen via de vluchtdeuren vanuit de incidentbuis naar de vluchtgang in het MTK vluchten. Daar het MTK niet doorloopt ter plaatse van het midden van de tunnel kunnen de weggebruikers in het westelijke deel van de tunnel alleen vluchten in de richting van de westelijke toerit en in het oostelijke deel van de tunnel alleen in de richting van de oostelijke toerit. Dit is weergegeven in afbeelding 5 [10].

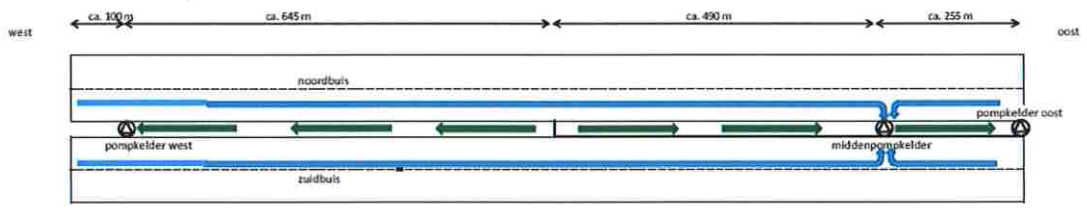
De vluchtdeuren hebben een gemiddelde hart-op-hart afstand van circa 100 m met een maximum van 112 m. De laatste, meest westelijke vluchtdeuren bevinden zich in de Noordbuis op respectievelijk 88,5 m, 179,5 m en 269,5 m van de westelijke tunnelmond. Voor de Zuidbuis gelden de waarden 91,5 m, 182,5 m en 272,5 m. Dit betekent dat de twee eerste vluchtdeuren gezien vanaf westelijke tunnelmond zich in het verbrede deel van de tunnel bevinden.

Beperkte werking overdruk

In het MTK zijn overdrukventilatoren aanwezig die continue in bedrijf zijn en als functie hebben om tijdens brandincidenten de toetreding van rook vanuit de incidentbuis te voorkomen. Door de opdrachtgever is mondeling toegelicht dat er slechts in beperkte mate sprake is van een overdruksituatie. Het huidige systeem reageert daarnaast relatief traag en heeft o.a. last van de draairichting van de vluchtdeuren het MTK

in. Met name de verbreding is door de combinatie van beperkte ventilatiecapaciteit en de slecht functionerende overdruk als maatgevend locatie aan te duiden.

Afbeelding 5 Beschrijving vloeistofstromen (blauw) en vluchtroutes (groen) [10, aangepast]



2.2.5 Tunnel technische installaties

Ten behoeve van o.a. het uitvoeren van de QRA-berekeningen heeft de gemeente Amsterdam een inventarisatie uitgevoerd naar de aanwezigheid en de werking van de van belang zijnde TTI [8]. Het betreft hier met name de deels automatische overschakeling van de normale gebruikstoestand naar de calamiteitentoestand. Verder is aangegeven welke detectie- en brandbeheersingsmogelijkheden aanwezig zijn.

Overzicht

Navolgend overzicht is opgesteld op basis van de inventarisatie uitgevoerd door de gemeente Amsterdam en gerapporteerd in [8] alsmede verkregen bij navraag bij het uitvoeren van de QRA-berekeningen:

- een operator houdt 24/7 toezicht op de tunnel en heeft de beschikking over een calamiteitenknop;
- de tunnel is voorzien van een langsventilatiesysteem, luidsprekers, brandblusmiddelen en mogelijkheden voor alarmering door de weggebruikers;
- automatische detectie van een incident vindt plaats enkel door zichtmeting die zich in het midden van de tunnel als ook op circa 200 m van de uitgang bevinden. Dit geeft een hart-op-hart afstand van 544 m;
- afsluiting van de tunnel vindt plaats middels stoplichten en afsluitbomen ((per 1 mei 2019 zal afsluiting van de tunnel plaats vinden bij gebruik van de calamiteitenknop);
- de vluchtdeuren zijn bij normaal gebruik vergrendeld waarbij de ontgrendeling een tijdsvertraging van circa 0,5 min kent.

3 UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN

Op basis van voorgaande beschrijving van de tunnel en inventarisatie van de specifieke kenmerken zijn vervolgens QRA-berekeningen gemaakt ter toetsing van het tunnelveiligheidsniveau. In dit hoofdstuk wordt daartoe eerst een overzicht gegeven van de aandachtspunten ten aanzien van de QRA-modellering. In het volgende hoofdstuk wordt vervolgens de modelleringsstrategie bepaald.

3.1 Gebruikte versie van het QRA-model

In het kader van het opstellen van de QRA-rapportage van de huidige situatie van de PHT heeft in een eerder stadium overleg plaats gevonden tussen de gemeente Amsterdam en Rijkswaterstaat, Steunpunt Tunnelveiligheid. Naar aanleiding van dit overleg is besloten om bij de uitvoering van de QRA-berekeningen gebruik te maken van een nieuwere versie van het model QRA-tunnels 2.0. In plaats van de vigerende versie, QRA-model 0.56, is gebruik gemaakt van de versie aangeduid met QRA-model 1.07_slachtoffers. In deze versie van het QRA-model is o.a. de modellering ten aanzien van de ontgrendeling van de vluchtdeuren verbeterd.

De versie QRA-model 1.07_slachtoffers is door Rijkswaterstaat, Steunpunt Tunnelveiligheid aan de gemeente Amsterdam ter beschikking gesteld in het kader van de QRA-studie naar de huidige situatie van de PHT. De gemeente Amsterdam heeft deze modelversie vervolgens aan Witteveen+Bos verstrekt ter uitvoering van QRA-berekeningen. De navolgende opzet van de QRA-berekeningen en de resultaten zijn verkregen met deze versie van het QRA-model.

3.2 Aandachtspunten bij bepaling van het groepsrisico

Uit inventarisatie van de specifieke kenmerken blijkt dat 'een standaard' invoer van de huidige situatie van de PHT in het QRA-model slechts ten delen of beperkt mogelijk is. Dit heeft met name te maken met de verbreding van de tunneldoorsnede aan de westzijde en de beschreven afname van de ventilatiecapaciteit daar ter plaatse. Daarnaast is als aanvullende risico voor de weggebruikers die door de vluchtgang in het MTK vluchten geïdentificeerd dat door de beperkt aanwezige overdruk rook in theorie (lokaal) het MTK kan instromen.

Om toch tot een toetsing van het tunnelveiligheidsniveau te komen zijn navolgend deze aandachtspunten nader uitgewerkt om tot een modelleringsstrategie te komen. Deze modelleringstrategie zal vervolgens worden gebruikt bij de QRA-berekeningen.

3.2.1 Ventilatiecapaciteit

Voor de Noord- en Zuidbuis is een verbreding van de tunneldoorsnede aan de westzijde aanwezig. Op deze locatie neemt voor beide tunnelbuizen de ventilatiecapaciteit sterk af. Voor een beoordeling van de gevolgen van de brandscenario's dient dit aspect te worden meegewogen daar het bepalend is voor de gevolgen van de brand/rook op de weggebruikers.

Impact op veiligheidsniveau

Uit capaciteitsberekeningen van de langsventilatie volgt dat ter plaatse van de westelijke verbreding de faalkansen bij grotere brandvermogens sterk toenemen. Vastgesteld in [9] is dat de aanwezige ventilatiecapaciteit hier effectief is (o.b.v. faalkansbeschouwing) tot een brandvermogen van 5 MW. In de rest van de tunnel is de ventilatiecapaciteit afdoende voor de beheersing van een brandgrootte tot 30 MW. Ten aanzien van het tunnelveiligheidsniveau is deze verbreding derhalve als een aandachtsgebied aan te merken daar de mogelijkheid bestaat dat backlayering niet volledig wordt voorkomen en de rook van de brandlocatie zich verder de tunnel in kan verplaatsen. De rook zal zich echter niet verder dan de verbreding de tunnel in kunnen verspreiden daar door het nauwere profiel in de reguliere doorsnede wel afdoende ventilatiecapaciteit (tot 30 MW) aanwezig is.

Beperkingen van het QRA-model

Ten aanzien van de modellering van de brandscenario's en de ventilatiecapaciteit doen zich de volgende beperkingen voor in de QRA-modellering:

- het QRA-model biedt alleen de mogelijkheid om aan te geven dat langsventilatie aanwezig is dan wel niet aanwezig is. Hierbij wordt impliciet verondersteld dat de faalkans van de ventilatie voldoet aan het toetscriterium;
- de QRA-berekeningen gaan uit van een constante tunneldoorsnede. De invloed van een verbreding van de tunnel op de kans en gevolgontwikkeling van de incidentscenario's is niet aanwezig in het model.

3.2.2 Risico op rook in de vluchtgang van het MTK

Voor de vluchtroute vanuit de incidentbuis via de vluchtgang naar één van de tunnelmonden is een aanvullend veiligheidsrisico geïdentificeerd. Dit omvat de mogelijkheid van rookverspreiding naar het MTK ten gevolg van brand in de incidentbuis. Beschouwing van de impact op het veiligheidsniveau is van belang daar dit de omstandigheden in de vluchtroute bepaalt.

Impact op het veiligheidsniveau
Door de gemeente Amsterdam is aangegeven dat de overdrukventilatie in de vluchtgang van het MTK traag functioneert en dat er sprake is van onvoldoende overdruk. Dit is met name ter plaatse van de verbreding van belang door de combinatie met de beperkt effectieve langsventilatie met rookverspreiding in beneden- en bovenstroomse richting. Voor het vluchtconcept betekent dit dat weggebruikers die vluchten door de vluchtgang in aanraking kunnen komen met rook die vanaf de incidentlocatie bij opening van de vluchtdeuren toestroomt en zich op natuurlijke wijze zal verspreiden. Doordat het MTK niet doorloopt over de gehele lengte van de tunnel maar halverwege gescheiden is geldt dit ook voor de weggebruikers die vanaf bovenstroomse locaties (en ten westen van de middenpompkelder die de vluchtgang opdeelt) vluchten in de richting van de westelijke tunnelmond.

Beperkingen in het QRA-model
Ten aanzien van de modellering van de (brand)scenario's en de vluchtroute in het MTK doen zich de volgende beperkingen voor in de QRA-modellering:
- het QRA-model hanteert het principe dat weggebruikers uit de incidentbuis óf via vluchtdeuren naar een veilige vluchtroute kunnen vluchten dan wel dat er geen veilige vluchtroute aanwezig is. In dit laatste geval gaat het model ervan uit dat de weggebruikers alleen door de incidentbuis in de richting van de tunnelmonden kunnen vluchten;
- in de QRA-berekeningen zijn geen mogelijkheden om de omstandigheden in de vluchtroute van het MTK mee te beschouwen. Bij brandincidenten is verondersteld dat de weggebruikers die uit de incidentbuis middels de vluchtdeuren het MTK in vluchten veilig zijn.

4 MODELLERINGSSTRATEGIE

Om de QRA-berekeningen te kunnen uitvoeren zijn de voorgaande aandachtspunten in de kans-gevolg ontwikkeling tezamen beschouwd. Deze aanpak is gekozen om tot een modelleringstrategie te kunnen komen. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in het volgende hoofdstuk.

4.1 Onderdelen

De modelleringsstrategie is opgebouwd door het samenbrengen van de navolgende onderdelen, uitgaande van de kans-gevolg ontwikkeling in het QRA-model en de mogelijkheden deze middels de verschillende parameters te beïnvloeden.

Verbreding van de tunneldoorsnede
De tunneldoorsnede neemt voor de Noordbuis toe van 8,53 m tot 15,65 m over een lengte van circa 247 m. Voor de Zuidbuis heeft de verbreding een lengte circa 230 m waarbij de doorsnede toeneemt van 8,53 m tot 18,38 m.

De verbreding van de tunneldoorsnede is daarbij van invloed op de verspreiding van temperatuur en rook welke bepalend zijn voor de effecten die de weggebruikers in de nabijheid van de brandhaard kunnen ervaren, zoals onderdeel van het QRA-model.

Uitsplitsing naar brandvermogens

Met als doel de effectiviteit van de ventilatie in de berekeningen te betrekken dienen de brandscenario's aanwezig in het QRA-model nader te worden uitgesplitst. Dit is weergegeven in tabel 1 waarbij is uitgegaan van het gebruik van de PHT door personenauto's , bestelauto's en bussen (gelet op het vrachtwagenverbod dat van kracht is na 1 mei 2019). Bestelauto's kunnen worden meegenomen in de QRA-modellering als vrachtauto met een maximaal brandvermogen van 25 MW. Het werkelijk brandvermogen zal echter in de orde grootte 5-15 MW bedragen, mede afhankelijk van de belading [15]. Tevens is de kans op brandoverslag gelijk gesteld aan die van een personenauto (de brandoverslagkans in het QRA-model voor een vrachtauto zonder een of niet brandbare lading is gelijk aan een bus hetgeen voor een bestelauto gelet op het daadwerkelijke brandvermogen en de gekozen modellering in het QRA-model verlaagd is om de kans op brandscenario's met een brandvermogen van 50 MW te beperken).

Opgemerkt wordt dat in de QRA-berekeningen de aantallen bestelauto's worden verkregen uit de aantallen personenauto's. Dit betekent dat de fractie personenauto's afneemt gelijk aan de fractie bestelauto's. Dit betekent dat ten aanzien van de scenario-ontwikkeling in het QRA-model er sprake zal zijn van aanvullende brandscenario's met een brandvermogen van 25 MW (1 bestelauto) of 50 MW (2 bestelauto's of 1 bestelauto met 1 bus).

Tabel 1 Overzicht brandscenario's en het maximale brandvermogen gesteld in het QRA-model [12]

Initieel voertuig	Geen brandoverslag	Brandoverslag naar een tweede voertuig		
		Personenauto	Bestelauto*	Bus
Personenauto	5 MW	10 MW	25 MW	25 MW
Bestelauto*	25 MW	25 MW	50 MW	50 MW
Bus	25 MW	25 MW	50 MW	50 MW

* de fractie bestelauto's is niet in te voeren in het QRA-model, maar wordt eenvoudigweg meegenomen middels de fractie vrachtauto's waarbij een brandvermogen van 25 MW wordt gehanteerd (het minimale brandvermogen van een vrachtauto in het QRA-model)

Op basis van de inventarisatie van de brandvermogens is het volgende onderscheid te maken:

- voor de westelijke verbreding is de ventilatie alleen effectief bij een enkelvoudige personenautobrand. Verondersteld is (conservatieve aanname) dat grotere brandvermogens als een bestelauto- of busbrand of bij brandoverslagscenario's door de langsventilatie niet goed te beheersen zijn;
- in de rest van de tunnel is de langsventilatie afdoende voor meerdere brandscenario's. Het betreft de enkelvoudige personenauto-, bestelauto en busbrand dan wel een brand met een personenauto en bestelauto of bus tezamen;
- Enkel het scenario waarbij een bestelauto een tweede bestelauto middels brandoverslag bij de brand betrekt heeft een brandvermogen (50 MW conform QRA-model) dat groter is dan de maximaal effectieve ventilatiecapaciteit;
- Een brandvermogen van 50 MW kan conform het QRA-model ook ontstaan bij een busbrand die overslaat naar een tweede bus. De kans op dit scenario is door de relatief kleine fractie van bussen (1 %) echter als zeer klein aan te duiden.

Uitsplitsing naar ventilatiecapaciteit

De lengte van de westelijke verbreding komt ongeveer overeen met de lengte van het opgaande en neergaande deel van respectievelijk de Noord- en Zuidbuis (zoals eerder uiteengezet). Dit biedt de mogelijkheid om de brandscenario's uit te splitsen naar locatie, gegeven de verdeling in het QRA-model naar het opgaande, horizontale en neergaande deel van de tunnel.

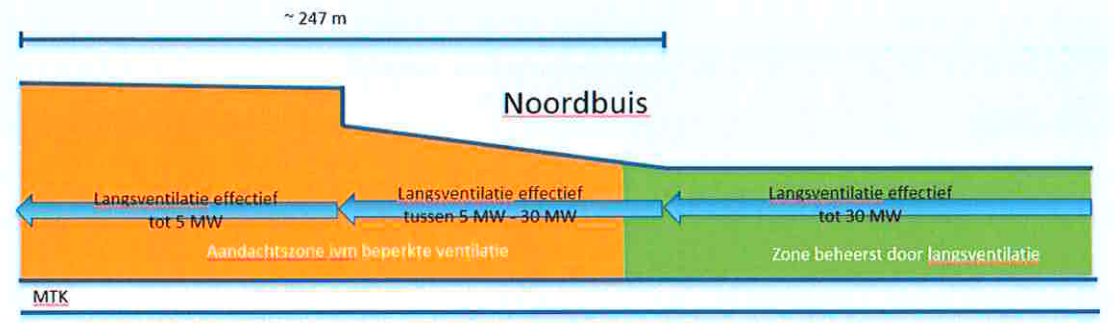
De kans- en gevolgontwikkeling in het QRA-model kan zodoende worden bepaald uitgaande van de aanwezige ventilatiecapaciteit. Daarbij is tevens onderscheid te maken naar de mogelijkheden dat de andere

locaties effecten kunnen ondervinden van de incidentlocatie. Bepalend is de ventilatiecapaciteit en de ventilatierichting en derhalve zijn de mogelijkheden verschillend voor de Noord- en Zuidbuis.

Voor de Noordbuis geldt het volgende (zie afbeelding 1 ter referentie):

- bij brand ter plaatse van de verbreding in de Noordbuis zal de ventilatiecapaciteit in de rest van de tunnel afdoende zijn om verspreiding van rook naar de andere tunneldelen te voorkomen. Dit is met name het geval bij brandvermogens tot 30 MW gelet op de aanwezige ventilatiecapaciteit. Bij een brandscenario van 50 MW (b.v. volledige brandontwikkeling van 2 bestelauto's) kan sprake zijn van verminderde effectieve ventilatie en kans op rookverspreiding ook naar de bovenwindse tunneldelen;
- bij brand in de resterende tunneldelen van de Noordbuis zal de langsventilatie de rook in de richting van de westelijke tunnelmond stuwen waarbij ter plaatse van de verbreding het tot rookaccumulatie kan komen (uitgaande van de effectiviteit van de langsventilatie daar ter plaatse tot een brandvermogen van 5 MW). Dit is echter alleen als aandachtszone aan te merken indien door een benedenstroomse file de tunnel niet is leeggereden.

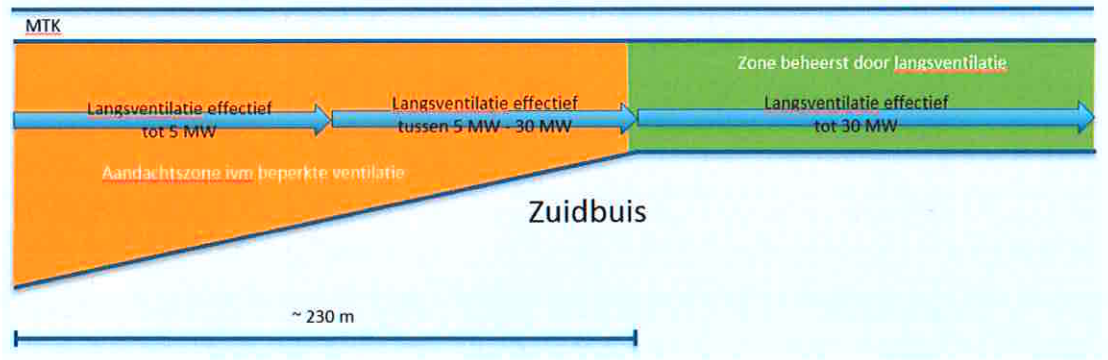
Afbeelding 1 Overzicht ter plaatse van de verbreding van de Noordbuis



Voor de Zuidbuis geldt het volgende (zie afbeelding 2 ter referentie):

- voor de Zuidbuis geldt dat rook van de incidentlocatie eerst op natuurlijke wijze zal afstromen waarna de langsventilatie in de benedenstrooms gelegen tunneldelen de rook zal stuwen naar de oostelijke tunnelmond. In dit scenario bestaat alleen bij een benedenstroomse file in de tunnel de mogelijkheid dat wegebruikers niet in staat zijn de tunnel uit te rijden en zodoende hinder ondervinden van de brand;
- bij brand in de resterende tunneldelen van de Zuidbuis zal de langsventilatie de rook in de richting van de oostelijke tunnelmond stuwen waardoor ter plaatse van de weggebruikers die zich in een bovenstroomse file bevinden, eventueel ook ter plaatse van de verbreding, geen hinder van de brand zullen ondervinden.

Afbeelding 2 Overzicht ter plaatse van de verbreding van de Zuidbuis



Verspreiding van rook door de vluchtroute
Indien door de beperkt functionerende overdruk rook toestroomt in het MTK kan er een zone in de vluchtgang ontstaan waar weggebruikers ten dele gehinderd worden in de ontvluchting. Het MTK voldoet onder deze omstandigheden niet volledig aan het uitgangspunt in het QRA-model van een 'volledig veilige' vluchtroute. Dit kan gemodelleerd worden door in het QRA-model middels de faalkans van de ontgrendeling van de vluchtdeuren de risico's voor de vluchtende weggebruikers te betrekken. Hierbij wordt voor brandvermogens groter dan waartoe de ventilatiecapaciteit afdoende is per tunneldeel uitgegaan dat de ontgrendeling volledig faalt en dus niet functioneert. Het betreft hier een modelleringskeuze daar de omstandigheden in het MTK geen onderdeel van het QRA-model zijn.

Deze methode is een zeer conservatieve aanname daar in de QRA scenario-ontwikkeling vervolgens wordt verondersteld dat de weggebruikers door de incidentbuis zullen vluchten. De omstandigheden in het MTK worden hierbij zodoende gemodelleerd als bij een brandhaard met de volledige verspreiding van hitte, straling en rook door de vluchtroute in de tunnel. In werkelijkheid zullen in het MTK de wegebruikers alleen (in beperkte mate) hinder kunnen ondervinden van rook door o.a. toxiciteit. De hoeveelheid rook die kan toestromen wordt daarbij beperkt door de afmetingen van de vluchtdeuren en de tijd dat deze openstaat. Daarbij geldt dat de overdruk (alhoewel beperkt) ook nog zal tegenwerken. De rook zal zich vervolgens op natuurlijke wijze door de vluchtgang verspreiden en verdunnen. De risico's in de vluchtgang blijven zodoende beperkt maar zijn conservatief gemodelleerd/gesimuleerd.

4.2 Uiteenzetting van de QRA-berekeningen

De verschillende onderdelen (beperkingen ten aanzien van langsventilatie en rookverspreiding in het MTK) zijn gebruikt om tot een uitsplitsing van de QRA-berekeningen te komen. Daarbij is onderscheid gemaakt naar de Noord- en Zuidbuis.

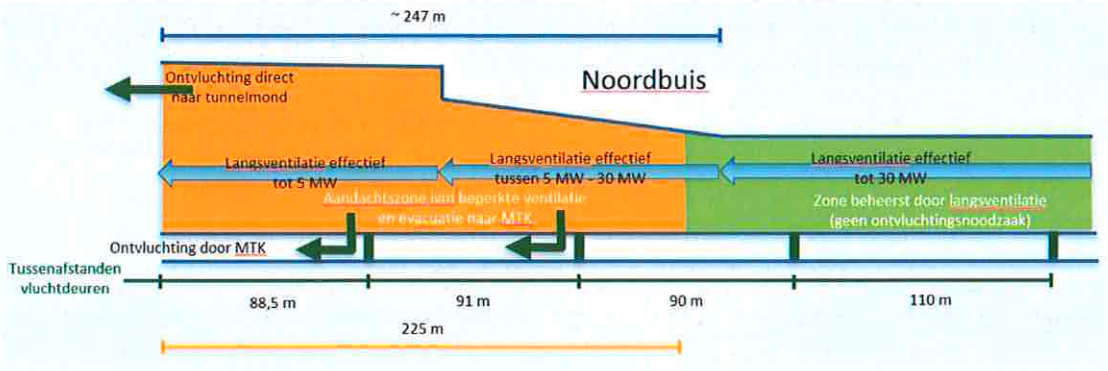
4.2.1 Noordbuis - opgaande deel (verbreding)

Voor het opgaande deel (ter plaatse van de verbreding, zie afbeelding 3) is de langsventilatie effectief tot een brandvermogen van 5 MW. Voor grotere brandvermogens zal de langsventilatie niet effectief zijn en is tevens het MTK verondersteld vergrendeld te zijn. Dit laatste is ter simulering dat er sprake is van binnendringing van rook. Dit geldt voor de scenario's waarbij de tunnel kan worden leeggereden als ook indien er sprake is van een benedenstroomse file. De kans op een benedenstroomse file is gelet op de aangroei vanaf de westelijke tunnelmond gelijk verondersteld als voor de gehele tunnel.

Bij brand ter plaatse van verbreding zal de langsventilatie in de resterende tunneldelen verdere rookverspreiding voorkomen waardoor er hier geen noodzaak tot vluchten is (stuwingsrichting is met de rijrichting naar de westelijke tunnelmond). De mogelijkheid bestaat echter dat door een brand met een groter vermogen van 50 MW (b.v. een brandscenario met gelijktijdig 2 bestelauto's of eventueel 2 bussen) het ten dele toch tot rookverspreiding in de bovenstroomse tunneldelen kan komen. Deze situatie wordt echter niet verder meegenomen in de berekeningen, omdat de langsventilatie in deze tunneldelen in staat moet zijn om de toestromende rook grotendeels tegen te houden.

Zodoende omvat het QRA-model alleen het opgaande deel waarbij de toename van het aantal rijstroken ter voorsortering van de kruising is meegenomen door te rekenen met 3 rijstroken. Bepaald zijn de scenario's zonder en met een benedenstroomse file waarvoor een effectiviteit van de ventilatie tot maximaal 5 MW geldt en is uitgegaan van een vergrendeling van het MTK bij de grotere brandvermogens (ter simulatie van de 'onveilige' vluchtgang). Deze QRA-deelberekeningen representeren de kansen en gevolgen van brandscenario's ter plaatse van de verbreding. Het totale groepsrisico wordt verkregen door sommering met de resterende tunneldelen zoals navolgend beschouwd.

Afbeelding 3 Overzicht van ventilatiecapaciteit en vluchtdeuren in de Noorbuis van de PHT



4.2.2 Noordbuis - horizontale en neergaande delen

Voor de horizontale en neergaande delen van de tunnel geldt dat de ventilatie tot een brandvermogen van 30 MW afdoende capaciteit heeft en derhalve de weggebruikers aan de bovenstroomse zijde geen noodzaak hebben tot vluchten. Enkel in het geval van het zwaarst mogelijke scenario van 50 MW (uitgaande van de QRA-scenario's) waarbij de ventilatie mogelijk onvoldoende capaciteit heeft zullen de weggebruikers aan de bovenstroomse zijde van de brandlocatie via het MTK willen vluchten. Hierbij bestaat dan de kans op binnendringing van rook het MTK. Dit wordt gesimuleerd door te rekenen met een volledig falen van de ontgrendeling van de vluchtdeuren.

Aan de benedenstroomse zijde zal er bij ieder brandvermogen sprake zijn van stuwing van rook in de richting van de westelijke tunnelmond met de mogelijkheid tot rookaccumulatie ter plaatse van de verbreding. Indien echter de tunnel aan deze zijde kan worden leeggereden en er dus geen filevorming is, zal er geen noodzaak tot vluchten zijn en zullen er geen slachtoffers vallen.

Indien er echter sprake is van een benedenstroomse file zal ontvluchting via het MTK gelegen langs het horizontale en neergaande deel plaats vinden. De ontvluchting via het oostelijke deel van het MTK (inclusief het neergaande deel) is tot een brandvermogen van 30 MW als veilig te beschouwen. Binnendringing van rook treedt pas op bij het zwaarst mogelijke brandscenario, uitgaande van de voertuigverdeling zoals meegenomen in de QRA-berekeningen. Aan de westzijde geldt door de verbreding en de daar ter plaatse beperkte ventilatiecapaciteit dat ook binnendringing van rook kan plaats vinden. Dit is echter van beperkte invloed op de weggebruikers die hiervan vluchten door de nabijheid van de tunnelmond en de afstand tot de dieper in de tunnel gelegen brandhaard. Derhalve wordt verondersteld dat ter plaatse van de verbreding geen slachtoffers zullen vallen. Door het binnendringing van rook kan wel de ontvluchting van het gehele westelijke deel van het MTK beïnvloed worden. Gelet op de gehanteerde maximale tijd voor aangroei van de file (gesteld op 10 min) wordt dit in de berekeningen gemodelleerd door het falen van de ontgrendeling van de vluchtdeuren ter simulering dat sprake kan zijn van rook in het MTK.

Het QRA-model omvat zodoende het horizontale deel met voor de situatie van een benedenstroomse file bij een brand tot 30 MW een verhoogde faalkans van de ontgrendeling. Het neergaande deel kent onder deze omstandigheden geen beperkingen aan de vluchtroute. Voor het brandvermogen van 50 MW wordt voor beide delen gerekend met een vergrendeling van de vluchtdeuren (dit ter conservatieve simulatie van de risico's van rook in de vluchtgang) . De kans op fileterugslag wordt hierbij voor de horizontale en de neergaande delen tezamen gelijk verondersteld als voor de gehele tunnel daar het opgaande deel een relatief korte lengte heeft.

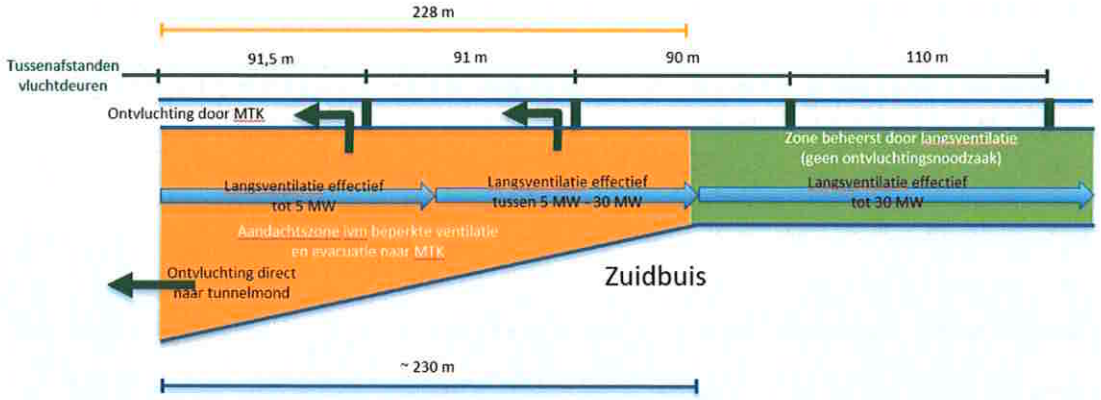
Uitgaande van bovenstaand is sprake van uitsplitsing in meerdere deelberekeningen die vervolgens dienen te worden gesommeerd om het groepsrisico voor de gehele tunnelbuis te verkrijgen. Het aantal deelberekeningen overstijgt daarbij de mogelijkheden die in het QRA-model zijn gegeven om berekeningsresultaten te combineren en derhalve heeft optelling in Excel plaats gevonden. Voor de weergave van het groepsrisico is aangesloten bij het gangbare format in het QRA-model.

4.2.3 Zuidbuis - neergaande deel

Voor het neergaande deel (ter plaatse van de verbreding, zie afbeelding 4) is voor grotere brandvermogens dan 5 MW de langsventilatie niet effectief verondersteld en is zodoende ook hiervoor het MTK verondersteld als vergrendeld. Rook die op natuurlijke wijze toestroomt in de benedenstroomse tunneldelen zal middels de langsventilatie in de richting van de oostelijke tunnelmond worden gestuwd. Daar echter de tunnel kan worden leeggereden indien er zich geen file heeft gevormd, zal er geen sprake zijn van ontvluchting vanaf de benedenstroomse zijde.

De kans dat zich voor het neergaande deel een situatie voordoet waarbij de benedenstroomse file vanaf de oostelijke tunnelmond is aangegroeid is als klein aan te duiden. De aangroei van de file dient onder deze omstandigheden over een lengte van 1.260 m over beide rijstroken te hebben plaats gevonden. Uitgaande van een file van enkel personenauto's die ieder een opstelruimte van 6,73 m nodig hebben (aanname QRA-model) en een intensiteit in de spits van 1.246 mvt/uur duurt de fileopbouw vanaf de oostelijke tunnelmond tot aan de verbreding circa 20 min. Dit biedt voor de operator voldoende tijd op de toegang van de tunnel aan de westzijde af te sluiten. Derhalve wordt dit scenario niet meegenomen in de QRA-berekeningen. Het QRA-model omvat zodoende alleen het neergaande deel (de verbreding) waarbij de mogelijkheid van een benedenstroomse file niet is meegenomen.

Afbeelding 4 Overzicht van ventilatiecapaciteit en vluchtdeuren in de Zuidbuis van de PHT



4.2.4 Zuidbuis - horizontale en opgaande delen

De langsventilatie zal voor beide tunneldelen tot een brandvermogen van 30 MW de rook in de richting van de oostelijke tunnelmond stuwen. Dit zal de weggebruikers aan de bovenstroomse zijde en tevens ter plaatse van de verbreding beschermen tegen de rook. Aan de benedenstroomse zijde zal alleen sprake zijn van ontvluchting indien zich hier een file bevindt. Binnendringing van rook in het MTK kan zich echter alleen voordoen bij brandvermogen groter dan 30 MW. Hiervan uitgaande omvat het QRA-model alleen de horizontale en opgaande delen met de filekans conform de gehele tunnel.

Sommering van bovenstaande uitsplitsing in deelberekeningen om het groepsrisico voor de gehele Zuidbuis te verkrijgen heeft wederom in Excel plaats gevonden.

5 RESULTATEN QRA-BEREKENINGEN

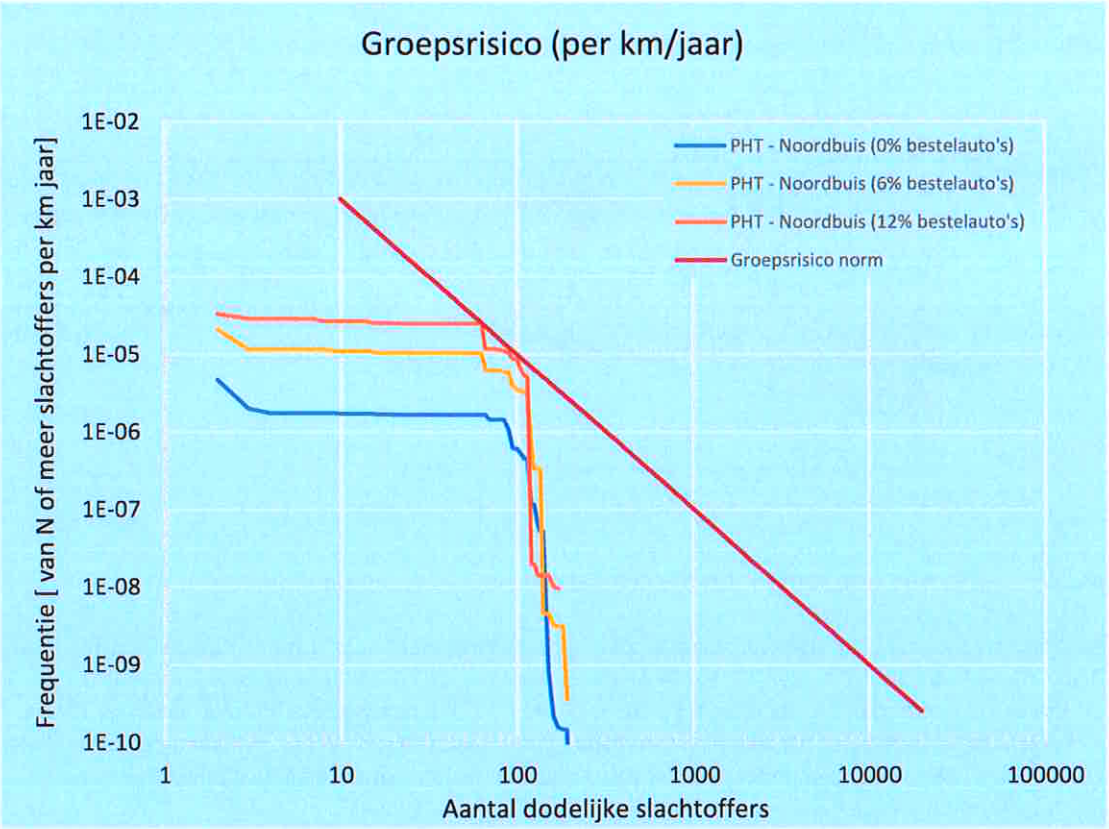
Op basis van de modelleringsstrategie uiteengezet in het vorige hoofdstuk zijn berekeningen gemaakt met het QRA-model. Het verkregen groepsrisico wordt vervolgens getoetst aan de wettelijke norm curve gesteld in de Warvw ter bepaling van het tunnelveiligheidsniveau [11]. In de Warvw is vastgelegd dat de kans op slachtoffers in een wegtunnel niet groter mag zijn dan $0{,}1/N^2$ per kilometer tunnelbuis per jaar (N is het aantal dodelijke slachtoffers onder de weggebruikers per incident waarbij dat aantal 10 of meer bedraagt).

De QRA-berekeningen zijn uitgevoerd naar het veiligheidsniveau van de Noord- en Zuidbuis, uitgaande van de huidige situatie (na 1 mei 2019). Hierbij is de invloed van de westelijke verbreding en de daar ter plaatse beperkte ventilatiecapaciteit alsmede de beperkte overdruk in het MTK meegenomen in de berekeningen. Tevens is de gevoeligheid ten aanzien van de fractie bestelauto's weergegeven.

5.1 Noordbuis

Het groepsrisico van de Noordbuis van de PHT in de huidige situatie is doorgerekend waarbij het percentage bestelauto's is gevarieerd. Variatie van het percentage bestelauto's is gedaan daar het daadwerkelijke brandvermogen van een bestelauto lager zal zijn dat het brandvermogen dat in de QRA-berekeningen meegenomen is . Het groepsrisico en de norm zijn weergegeven in de grafiek van afbeelding 5.1 waarin het aantal dodelijke slachtoffers wordt uitgezet tegen de cumulatieve kans op dat aantal doden, beide op een logaritmische schaal.

Afbeelding 5.1 Groepsrisico in de Noordbuis van de PHT in de huidige situatie (na 1 mei 2019)



Huidige situatie

Uit de grafiek blijkt dat in de Noordbuis het groepsrisico in beide gevallen onder de norm blijft. Opgemerkt wordt dat bij een fractie van 12% bestelauto's het veiligheidsniveau nog net voldoet. De onderschrijdingsfactor wordt bepaald door: $1/\max_n[f_{tunnel}(n)/f_{norm}(n)]$), te weten:

- Noordbuis (0% bestelauto's): $1/(1{,}43^{E}\text{-}6/1{,}38^{E}\text{-}5) = 9{,}7$, bij 85 of meer slachtoffers;
- Noordbuis (6% bestelauto's): $1/(5{,}88^{E}\text{-}6/1{,}23^{E}\text{-}5) = 2{,}1$, bij 90 of meer slachtoffers;
- Noordbuis (12% bestelauto's): $1/(2{,}48^{E}\text{-}5/2{,}52^{E}\text{-}5) = 1{,}0$, bij 63 of meer slachtoffers.

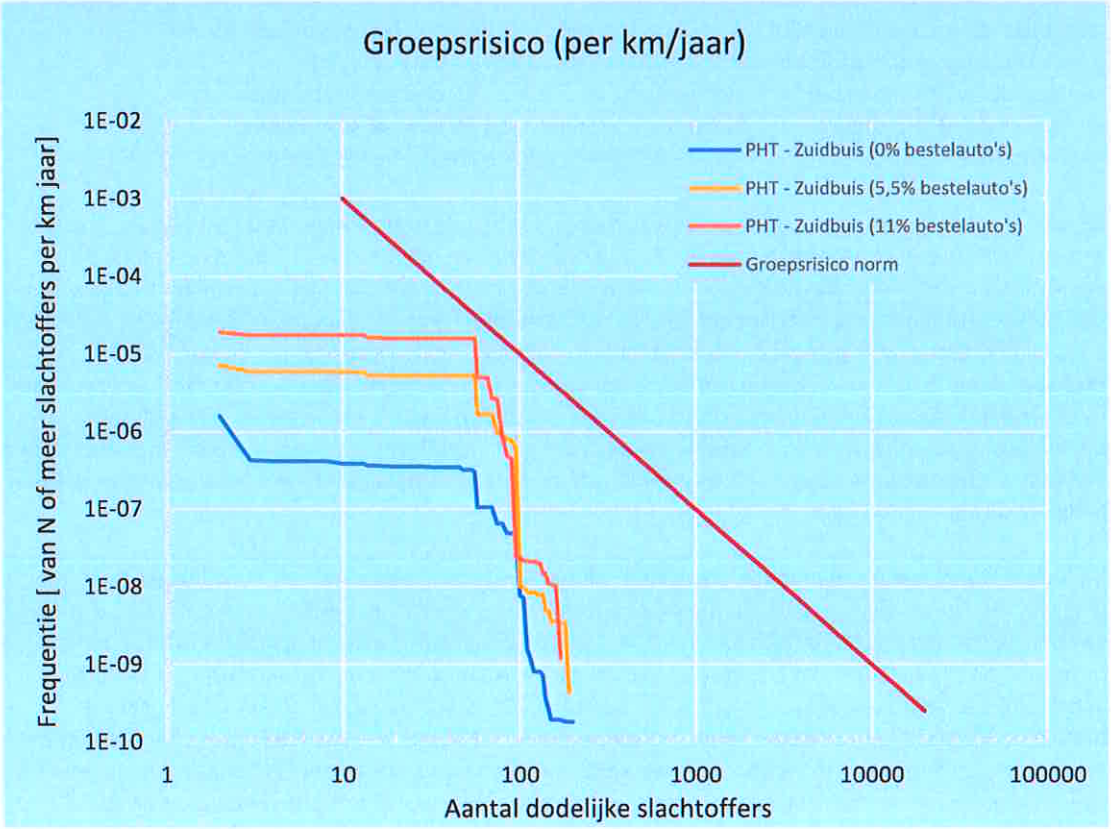
Bepalend bij het groepsrisico vanuit de QRA-berekeningen zijn de brandscenario's tot 30 MW die ontstaan aan de start van een benedenstroomse file. In de horizontale- en neergaande delen van de tunnel is de ventilatiecapaciteit afdoende om de gebruikers aan de bovenstroomse zijde van het incident te beschermen. Rondom de incidentlocaties worden derhalve alleen slachtoffers meegerekend door blootstelling aan hitte en straling. De langsventilatie zal de rook echter in de richting van de westelijke tunnelmond stuwen waardoor over de resterende lengte van de tunnel de noodzaak tot ontvluchten bestaat. Het MTK zal onder deze omstandigheden alleen in het oostelijk deel vrij van rook blijven. In het westelijk deel is als uitgangspunt gehanteerd dat de mogelijkheid bestaat dat door opening van vluchtdeuren ter plaatse van de verbreding rook het MTK zal binnendringen, hetgeen ontvluchting vanuit met name locaties dieper gelegen in de tunnel kan bemoeilijken.

Middels de berekeningen wordt ook de invloed van het percentage bestelauto's inzichtelijk gemaakt. Ten opzichte van alleen personenauto's (en enkele bussen) rijdend door de Noordbuis neemt bij een percentage van 6% en met name 12 % bestelauto's in het verkeer het veiligheidsniveau sterk af tot nog net onder de groepsrisiconorm gelegen. Het tunnelveiligheidsniveau wordt in sterke mate bepaald door de beperkingen in het QRA-model waarbij er sprake is van een stapeling aan verschillende bijdragen. Het percentage bestelauto's bepaalt in deze de aantallen brandincidenten in de scenario-ontwikkeling van het QRA-model met een brandvermogen van 25 MW (er is wel sprake van een beperking in het QRA-model ten aanzien van de modellering van een bestelautobrand daar het daadwerkelijke brandvermogen in de orde grootte 5 - 15 MW zal zijn). Hierbij speelt de invloed van de verbreding en de daar ter plaatse beperkte effectiviteit van de langsventilatie een belangrijke rol bij het tunnelveiligheidsniveau. De slachtofferaantallen worden daarbij in de QRA-model voornamelijk bepaald indien er sprake is van een benedenstroomse file waarbij de weggebruikers zijn verondersteld geen rookvrije vluchtroute te hebben (de beperkingen in het QRA-model leiden ertoe dat de vluchtroute zich dan in de incidentbuis zal bevinden hetgeen qua temperatuur, warmtestraling en rook slechts ten dele overeenkomt met de situatie waarin door opening van de vluchtdeuren rook vanaf de incidentlocatie het MTK kan binnendringen). In dit verband is de maximale tijd tot opbouw van de benedenstroomse file (door verondersteld tijdig ingrijpen van de operator gesteld in de QRA-berekeningen op 10 min) bepalend in de lengte van de file en het mogelijk aantal slachtoffers.

5.2 Zuidbuis

Het groepsrisico van de Zuidbuis van de PHT in de huidige situatie is aanvullend ook doorgerekend waarbij het percentage bestelauto's is gevarieerd. Het groepsrisico en de norm zijn weergegeven in de grafiek van afbeelding 5.2 waarin het aantal dodelijke slachtoffers wordt uitgezet tegen de cumulatieve kans op dat aantal doden, beide op een logaritmische schaal.

Afbeelding 5.2 Groepsrisico in de Zuidbuis van de PHT in de huidige situatie (na 1 mei 2019)



Huidige situatie

Uit de grafiek blijkt dat in de Zuidbuis het groepsrisico in beide gevallen onder de norm blijft en tevens lager ligt dan in de Noordbuis. De onderschrijdingsfactor wordt bepaald door: $1/\max_n[f_{tunnel}(n)/f_{norm}(n)]$), te weten:

- Zuidbuis (0% bestelauto's): $1/(3{,}00^{E}\text{-}7/3{,}19^{E}\text{-}5)= 106{,}3$, bij 56 of meer slachtoffers;
- Zuidbuis (5,5% bestelauto's): $1/(5{,}23^{E}\text{-}6/3{,}19^{E}\text{-}5)= 6{,}1$, bij 56 of meer slachtoffers;
- Zuidbuis (11% bestelauto's): $1/(1{,}58^{E}\text{-}5/3{,}19^{E}\text{-}5) = 2{,}0$, bij 56 of meer slachtoffers.

Bepalend bij het groepsrisico zijn wederom de brandscenario's tot 30 MW die ontstaan aan de start van een benedenstroomse file. Daar echter de stuwrichting van de langsventilatie naar de oostelijke tunnelmond toe is, zal de beperkte ventilatiecapaciteit ter plaatse van de verbreding aan de westzijde weinig invloed hebben op het tunnelveiligheidsniveau.

Voor het veiligheidsniveau van de Zuidbuis wordt een vergelijkbare invloed bij ophoging van het percentage bestelauto's waargenomen als voor de Noordbuis. De marge ten opzichte van de groepsrisiconorm is echter groter doordat de stuwrichting van de langsventilatie naar de oostelijke tunnelmond toe is.

6 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Middels voorgaande beschouwingen en QRA-berekeningen is inzicht gegeven in het veiligheidsniveau van de verkeerskuizen van de Piet Heintunnel in de situatie per 1 mei 2019. De volgende aspecten van de tunnel vroegen een nadere beschouwing, modellering en afweging om deze te kunnen meenemen in de kwantitatieve risicoanalyse:

- de verbreding van de Noord- en Zuidbuis ter plaatse van de westelijke tunnelmond. Door de toename van de tunneldoorsnede is bepaald in [9] dat de langsventilatie in deze zone minder effectief de rookverspreiding en backlayering kan beheersen dan in vergelijking met de resterende tunneldelen met een smaller dwarsprofiel;
- door de gemeente Amsterdam is aangegeven dat het overdruksysteem in het MTK beperkt functioneert en derhalve bij opening van de vluchtdeuren lokaal de mogelijkheid bestaat van rookindringing het MTK in;
- het vrachtwagenverbod (door de gemeente Amsterdam beoogd vanaf 1 mei 2019) is niet zodanig dat bestelauto's geweerd kunnen worden uit de PHT waardoor er gerekend is met aanvullende brandscenario's van bestelauto's met een potentieel groter brandvermogen dan personenauto's.

Bovenstaande aspecten zijn in het QRA-model meegenomen daarbij uitgaande van een conservatieve benadering. Hieruit volgt dat zowel voor de Noordbuis als de Zuidbuis voldaan kan worden aan de groepsrisiconorm in de Warvw. Opgemerkt dient te worden dat voor de Noordbuis, bij een percentage van 12% bestelauto's, het groepsrisico nog net onder de groepsrisiconorm ligt. Derhalve kunnen wijzigingen ten aanzien van de deze berekeningsuitgangspunten c.q. aantal bestelauto's mogelijk tot overschrijding van de groepsrisiconorm leiden. Beide voorgaande conclusies gelden op basis van de uitgangspunten van een verbod van vrachtverkeer (maar wel gebruik van de PHT door bestelauto's), de veronderstelde geringe ventilatiecapaciteit ter plaatse van de verbreding en de beperkt functionerende overdruk in het MTK.

Noot: opgemerkt wordt dat in het QRA-model sprake is van een worst-case modellering, deels opgelegd door de beperkingen van het QRA-model. Dit betreft dan met name de modellering van de rookverspreiding en de overdruk in het MTK als ook de modellering van de bestelauto's die specifieke benaderingen in het QRA-model vragen.

7 REFERENTIES

Bij het opstellen van deze notitie is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

[1] Combinatie PHT, Piet Heintunnel Amsterdam, Algemene geometrie, Horizontaal alignement hoofdas, tramas Noord, tramas Zuid, documentcode: PHT-49-10-001T-000-0A0, 14 mei 1993;

[2] Combinatie PHT, Piet Heintunnel Amsterdam, Algemene geometrie, Vertikaal alignement hoofdas, documentcode: PHT-49-10-002T-000-0A0, 14 mei 1993;

[3] Combinatie PHT, Piet Heintunnel Amsterdam, Tunnelelementen 1 t/m 8, New Jersey profiel, asfalt en belijning, documentcode: PHT-49-10-786T-000-0A0, 2 mei 1995;

[4] Gemeente Amsterdam, Team Onderzoek & Kennis, Verkeersgegevens Piet Heintunnel, rapportagenummer: 16042, 9 december 2016;

[5] Dufec, Verkeersonderzoek Piet Heintunnel Amsterdam (o-meting), februari 2017;

[6] Dufec, Verkeersonderzoek Piet Heintunnel Amsterdam - juni 2017 (1-meting), 3 juli 2017;

[7] Gemeente Amsterdam, Ongevallenstatistieken voor de Piet Heintunnel van 2010 tot en met 2016;

[8] Gemeente Amsterdam, Validatie invoer parameters QRA gedoogsituatie PHT, versie: 1.0, status: definitief, 22 februari 2019;

[9] Efectis Nederland, Second opinion ventilatieconcept Piet Heintunnel, projectnummer: 2013.161, rapportnummer: 2013-Efectis-R0161, juli 2013;

[10] Rikkelman Techniek, Piet Heintunnel Amsterdam: bepaling kans op uitstroom gevaarlijke stoffen, projectnummer: 1802-18, versie 1.0, 9 januari 2019;

[11] Rijksoverheid, Wet aanvullende regels veiligheid wegtunnels (Warvw), 2 februari 2006;

[12] Rijkswaterstaat, Steunpunt tunnelveiligheid, QRA-tunnels 2.0, Achtergronddocument, status: definitief, 2 februari 2012;

[13] Arcadis, Piet Heinautotunnel, Scenarioanalyse situatie 1 mei 2019, Gemeente Amsterdam, projectnummer: D04021.000599, referentie: 079972041 A, 21 december 2018;
[14] Arcadis, Kwantitatieve risicoanalyse (QRA), Piet Heintunnel - Bouwplan 2019, projectnummer: D04021.000599, referentie 079716826 A, 2 februari 2018.
[15] TNO, De statistische kans op brand in tunnels, projectnummer: 053.02574/01.01, exemplaarnummer: 060-DTM-2012-03595, 22 januari 2013