

Model voor de berekening van de ontruimingstijd in wegtunnels

de ruitjespapiermethode

**P
b**

Bockholts

*Bureau voor
Beleidsontwikkeling*

*Advies
Onderzoek
Projectbegeleiding*

Model voor de berekening van de ontruimingstijd in wegtunnels

de ruitjespapiermethode

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Bouwdienst
Utrecht

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	4
2. Definities	5
3. Kenmerkende scenario's	6
4. Plaats van de ontruiming in het grotere geheel	6
5. Kenmerken van tunnels	7
6. Kenmerken van verkeer	9
6.1. Scenariobeperkingen	9
6.2. De invloed van een autobus op het proces	9
7. Kentallen	10
7.1. Aantallen voertuigen per 100 m rijstrook	10
7.2. Verdeling van voertuigen per rijrichting	10
7.3. Aantal inzittenden per voertuig	10
7.4. Berekening van het aantal personen in voertuigen per tunnelsectie (Pz en Pa).....	10
7.5. Uitstaptijden uit voertuigen (Tu).....	11
7.6. Loopsnelheid.....	11
7.7. Loopafstanden in de tunnelbuis van het incident.....	11
7.8. Beschikbaarheid van vluchtdeuren (Tw)	12
7.9. Passeertijd van vluchtdeuren (Tp).....	12
7.10. Propvorming in het veilige deel van de vluchtroute	12
7.11. Loopafstanden en loopsnelheden in het veilige deel van de vluchtroute	12
7.12. Verzamelplaatsen	13
8. Rekenschema.....	14

1. Inleiding

In 2006 wordt nieuwe regelgeving van kracht voor de veiligheid van wegtunnels. In een wijziging op het Bouwbesluit zullen in dat kader eisen worden gesteld aan de vluchtvoorzieningen. Onder andere worden er eisen gesteld aan de maximale afstand tussen een punt op de rijbaan in een wegtunnelbuis en de dichtstbijzijnde (vlucht)uitgang. Die vluchtuitgang kan de tunnelmond zijn of een vluchtdeur. Deze eisen zijn geformuleerd met als achterliggende

eis, dat een zelfredzaam persoon in een wegtunnel in staat moet zijn om binnen vijf minuten lopend een vluchtuitgang te bereiken.

De letterlijke tekst van de wijziging Bouwbesluit: Afdeling 5.8, art. 5.25 (nieuwe tunnels) en 5.27 (bestaande tunnels) luidt:

"De loopafstand tussen een punt op de rijbaanvloer en ten minste een toegang van het rookcompartiment is ten hoogste 150 m. [...] De afstand tussen twee toegangen is ten hoogste 250 m."

In de toelichting:

"In het algemeen betekenen deze maximale loopafstanden dat men binnen vijf minuten de wegtunnelbuis lopend kan verlaten."

De aanvullende regelgeving op het gebied van tunnelveiligheid stelt hiermee dus eisen aan de ontruimingstijd van wegtunnels. De handleiding biedt een eenvoudig model om de benodigde ontruimingstijd te berekenen. Het model is afgeleid van het rekenmodel voor de ontruimingstijden van gebouwen met een publieksfunctie (Beveiligingsconcepten uitgave ministerie van BZK).

Het is van belang om de beperkingen van het model in het oog te houden. Op diverse plaatsen in de beschrijving zijn deze beperkingen aangegeven. Daarnaast zijn er voor enkele gegevens aannames gedaan die nog een nadere onderbouwing behoeven middels experimenten of anderszins.

Het rekenmodel maakt gebruik van diverse kentallen.

Voor zover mogelijk zijn de kentallen gelijk gekozen aan de kentallen die zijn gebruikt in het QRA model van Rijkswaterstaat: RWSQRA, versie 1.0. Voor de verantwoording van deze kentallen zij dan ook verwezen naar de rapportage van het RWSQRA-model.

De herkomst cq keuze van elk van de kentallen is aangegeven.

De uitwerking van het rekenmodel laat zien dat er een aantal factoren onbekend is die van belang zijn om het ontruimingsproces succesvol te laten verlopen. Over deze factoren zijn daarom aanbevelingen geformuleerd. Deze aanbevelingen zijn in een oplegnotitie opgenomen.

2. Definities

Voor een goed begrip en een juiste afbakening van de geldigheid van het rekenmodel zijn de volgende definities van toepassing:

1. Detectiefase (VRC)

De duur van de fase is afhankelijk van detectie-apparatuur (camera's, rookdetectie, stilstandsdetectie, temperatuurdetectie); indien aanwezig wordt de wegverkeersleider meteen gewaarschuwd.

Bij afwezigheid van detectie-apparatuur zijn weggebruikers aangewezen op eigen waarneming om vervolgens via 112 te alarmeren.

2. Alarmfase (VRC) eindigend in beoordeling en besluitvorming

De duur van de alarmfase is afhankelijk van herkenning van een ongeval als potentieel levensbedreigend: een brand is zowel voor weggebruikers als voor de wegverkeersleider vrij snel herkenbaar, maar ontploffingsgevaar en reukloze giftige stoffen worden niet snel als zodanig herkend. Beoordeling van de situatie en besluitvorming over ontruimen zijn dus allerminst eenvoudig.

3. Vluchtfase (VRC) of ontruimingstijd

De vluchtfase begint met een ontruimingssignaal dat wordt gegeven door de wegverkeersleider of nadat weggebruikers uit eigen waarneming hebben besloten om de voertuigen te verlaten en de tunnel te verlaten en eindigt zodra de laatste vluchter de onveilige zone heeft verlaten.

4. Sectie

Het tunneldeel tussen twee vluchtingangen.

5. Onveilige zone

De tunnelbuis waarin het incident plaatsvindt vormt de onveilige zone. Vluchters verlaten de onveilige zone via de tunnelmonden of via de vluchtdeuren naar een andere ruimte (midentunnelkanaal of nevenbuis).

6. Veilige zone

Open lucht, nevenbuis en midentunnelkanaal worden beschouwd als veilige zone.

7. Vluchtroute

De vluchtroute bestaat uit een route in de onveilige zone en kan doorlopen in de veilige zone. De tijdsduur in de veilige zone wordt buiten beschouwing gelaten.

8. Vluchtingang / vluchtdeur

Dit kunnen de tunnelmonden zijn naar de buitenlucht of de vluchtdeuren naar de nevenbuis of een midentunnelkanaal.

9. Opvangplaats

Een plaats buiten de tunnel waar de vluchtroutes uitkomen en vluchters kunnen worden verzameld.

3. Kenmerkende scenario's

Een tunnel moet ontruimd worden als er gevaar is voor de aanwezigen (weggebruikers). In een tunnel voor wegverkeer doet die situatie zich voor bij brand en bij het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

Brand kan ontstaan door een defect aan een voertuig of door een aanrijding.

Gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen door een defect aan een voertuig, bij een aanrijding of doordat het betreffende voertuig betrokken raakt in een brand van andere voertuigen.

Een bijzondere categorie incidenten tijdens onderhoudswerkzaamheden in tunnels blijft hier buiten beschouwing. De uitvoerenden van zulke werkzaamheden hebben aparte instructies bij incidenten en krijgen ondersteuning van de verkeersleider.

4. Plaats van de ontruiming in het grotere geheel

!!! Ontruimen is alleen nodig bij brand en het vrijkomen van gevaarlijke stoffen !!!

T= Begin van een incident.

Detectiefase start.

Duur is heel kort bij bediende tunnels maar kan langer zijn bij niet bediende tunnels.

T= Detectiefase gaat over in alarmfase.

Duur is afhankelijk van gewaarwording en beoordeling door wegverkeersleider of weggebruiker.

T= 0 Alarmfase gaat over in vluchtfase

Signaal voor vluchten/ontruimen

Duur is heel kort.

T= Start ontruiming

Duur wordt berekend aan de hand van het in dit rapport beschreven rekenmodel.

T= Einde ontruiming (iedereen in veiligheid)

Duur is niet kritisch !!!!, vervolg vluchtroute (veilige deel), gangen, nevenbuis, trappen etc.

Propvorming in de veilige ruimte kan echter vertraging van de ontruiming opleveren.

T= Start opvang van vluchters op de opvangplaatsen aan het einde van de vluchtroute.

Duur is niet kritisch.

T= Start vervoer naar elders of terugkeer naar eigen voertuigen

Duur is niet kritisch.

T= Herstel van de normale situatie.

5. Kenmerken van tunnels

Vrijwel alle tunnels in Nederland hebben gescheiden tunnelbuizen per rijrichting. Uitzondering op deze regel vormt de omstandigheid als er één rijrichting is afgesloten voor onderhoudswerkzaamheden en er geen redelijke omleidingsroute beschikbaar is. In die omstandigheid wordt tweerichtingsverkeer toegepast gedurende de werkzaamheden.

Het gevaar voor de aanwezigen (weggebruikers) wordt behalve door het incident zelf ook door enkele tunnelkenmerken bepaald.

Bediend/niet bediend

Als de tunnel is bediend, kan de wegverkeersleider de aanwezigen oproepen om te vluchten. Aanwezigen zijn dan niet afhankelijk van eigen waarnemingen en (tijdrovende) eigen interpretaties.

Ventilatie/geen ventilatie

Als de tunnel is voorzien van ventilatie in de rijrichting, biedt deze bescherming tegen rook en dampen aan aanwezigen die zich bovenstrooms van (achter) de bron bevinden.

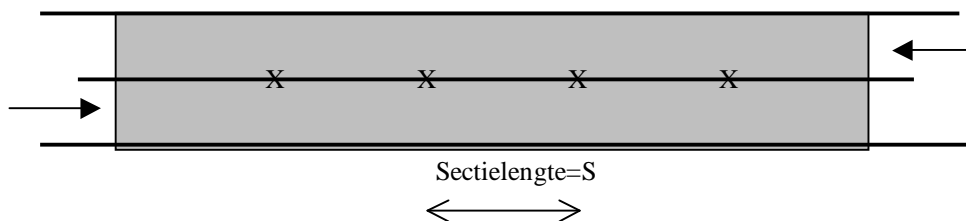
Tunnel met vluchtdeuren (met en zonder middentunnelkanaal of dwarsverbindingen)

Voor de berekening van de ontruimingstijd worden deze tunnels in secties ingedeeld overeenkomstig de plaats van de vluchtdeuren.

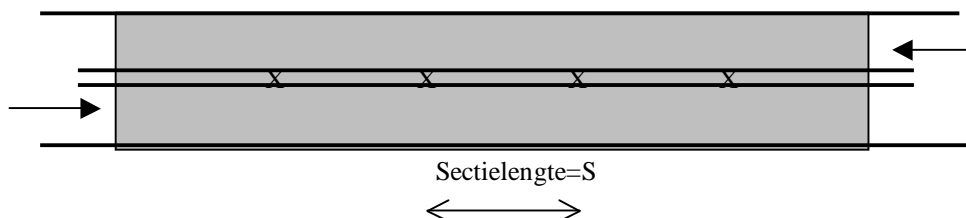
In de sectie van het incident wordt er rekening mee gehouden dat een deur is geblokkeerd. Vluchtters moeten dan naar de volgende deur lopen.

In alle overige secties van de tunnel hoeft dat onderscheid niet te worden gemaakt. Daar kan iedereen naar de dichtstbijzijnde deur. De loopafstand is daar dus overal maximaal de halve afstand tussen twee deuren.

Bovenaanzicht zonder middentunnelkanaal



Bovenaanzicht met middentunnelkanaal

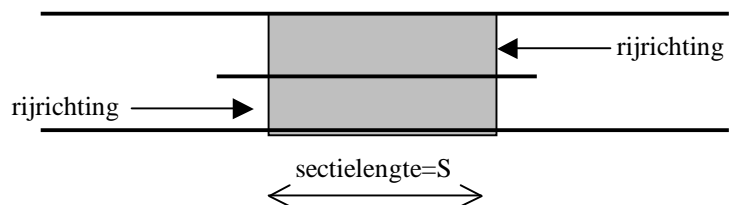


Als de afstanden tussen de deuren ongeveer gelijk zijn, hoeft alleen de sectie te worden beschouwd waarin zich het incident voordoet met de beide aan weerszijden aangrenzende secties. Als de onderlinge afstanden tussen de deuren aanzienlijk verschillen is het raadzaam om de berekening uit te voeren voor de langste sectie.

Vluchters kunnen dit type tunnel verlaten via de vluchtdeuren van de tunnelbuis waarin zij zich bevinden. De maximale loopafstand is afhankelijk van de plaats van het incident en de looprichting. Bij brand zullen vluchters in principe de brand niet passeren. De maximale loopafstand is dan ongeveer S meter voor aanwezigen bovenstrooms van de brand als de brand juist bij een vluchtdeur optreedt. Indien langsventilatie aanwezig is, wordt deze vluchtroute rookvrij gehouden. Indien langsventilatie afwezig is, wordt de rook verplaatst door de op dat moment heersende trek in de tunnel.

De maximale loopafstand treedt ook op voor aanwezigen direct benedenstrooms van de brand als de tunnel benedenstrooms van de brand vol staat met voertuigen. Indien langsventilatie aanwezig is, wordt de rook in de vluchtrichting gedreven. Indien langsventilatie afwezig is, wordt de rook verplaatst door de op dat moment heersende trek in de tunnel.

Tunnel zonder vluchtdeuren (bovenaanzicht)



Vluchters kunnen dit type tunnel verlaten via de inrit en de uitrit van de tunnelbuis waarin zij zich bevinden. De maximale loopafstand is afhankelijk van de plaats van het incident en de looprichting. Bij brand zullen vluchters in principe de brand niet passeren. De maximale loopafstand is dan ongeveer S voor aanwezigen bovenstrooms van de brand als de brand juist voor de tunneluitrit optreedt. Indien langsventilatie aanwezig is, wordt deze vluchtroute rookvrij gehouden. Indien langsventilatie afwezig is, wordt de rook verplaatst door de op dat moment heersende trek in de tunnel.

De maximale loopafstand treedt ook op voor aanwezigen juist benedenstrooms van de brand als de tunnel eerst vol staat met voertuigen en de brand achter in de file (bij de tunnelinrit) ontstaat.

6. Kenmerken van verkeer

6.1. Scenariobeperkingen

De wegcategorie bepaalt per tunnel welk verkeer is toegelaten.

De tunnelcategorie bepaalt per tunnel welke gevaarlijke stoffen zijn toegelaten. Deze indeling beperkt met name de toelating van brandbare en explosieve stoffen en daarmee dus ook de mogelijke scenario's.

6.2 De invloed van een autobus op het proces

In het rekenmodel wordt aangenomen dat alle rijstroken gevuld zijn met auto's. De vluchters uit auto's dicht bij de vluchtingang zijn meteen na het uitstappen bij de uitgang en de vluchters uit de verste voertuigen moeten eerst de maximale afstand afleggen. Alle overige vluchters komen gelijkmatig verdeeld over de tijd aan tussen de eerste en de laatste.

De vluchtingang wordt zodoende belast door een lijnbron van vluchters. Als er een autobus in de file staat komt er een puntbron bij. De 50 inzittenden van de autobus moeten immers na het uitstappen allemaal even ver lopen.

Bij de vluchtingang komen dus een lijnbron plus een puntbron tezamen.

De invloed van de plaats van de autobus in de vluchtafstand is daarbij van grote invloed op het verloop.

Om deze invloed zichtbaar te maken wordt de autobus op twee plaatsen beschouwd:

- a. vlakbij de vluchtingang.
- b. aan het einde van de vluchtafstand.

7. Kentallen

Aantal tunnelbuizen	is niet relevant want de berekeningen worden gemaakt per tunnelbuis.
Vluchtstrook aanwezig	is niet relevant
Aantal rijstroken per tunnelbuis	N

7.1. Aantallen voertuigen per 100 m rijstrook

Personenauto's	15 per 100 m (overeenkomstig RWSQRA-model).
Vrachtauto's	7 per 100 m (overeenkomstig RWSQRA-model).

7.2. Verdeling van voertuigen per rijrichting

Personenauto's	84%.
Vrachtauto's	15%. Dit percentage heeft nauwelijks invloed op de berekening en wordt dan ook buiten beschouwing gelaten.
Autobussen	1%. Dit percentage is niet gebruikt. De invloed van een autobus is plaatselijk heel groot zodat de kritische situaties zowel met als zonder autobus worden berekend. In konvooi rijden wordt buiten beschouwing gelaten.

De aangegeven percentages zijn gemiddelde waarden, afgeleid uit het RWSQRA-model.

7.3. Aantal inzittenden per voertuig

Personenauto's	1,3 inzittenden. In vakantieperiodes zal het aantal inzittenden in vakantiegebieden groter zijn. Tegelijkertijd zal dan ook het aantal caravans groter zijn. Gemakshalve wordt de invloed van beide effecten tegen elkaar weggestreept (overeenkomstig RWSQRA-model).
Vrachtauto	1 inzittende (overeenkomstig RWSQRA-model).
Autobussen	50 inzittenden (RWSQRA-model hanteert gemiddeld 22, het is echter beter om hier de maximumwaarde te gebruiken).

7.4. Berekening van het aantal personen in voertuigen per tunnelsectie (Pz en Pa)

Rijstrook met alleen personenauto's	$15 * 1,3 = 20$ personen / 100 m.
Rijstrook met alleen vrachtauto's	$7 * 1 = 7$ personen / 100 m.

De aangegeven mix van personenauto's en vrachtauto's ligt zo dicht bij 20 dat het aandeel vrachtauto's buiten beschouwing wordt gelaten voor de bepaling van het aantal personen. De berekening van de ontruimingstijd wordt met en zonder betrokkenheid van een autobus uitgevoerd om het verschil te tonen.

De sectielengte bedraagt	S meter.
Aantal rijstroken bedraagt	N.
Aantal personen per sectie zonder autobus bedraagt	$Pz = 20 * N * S / 100$.
Aantal personen in een autobus bedraagt	Pa=50.

7.5. Uitstaptijden uit voertuigen (Tu)

Over uitstaptijden is geen referentiemateriaal beschikbaar. Daarom worden de volgende tijden gekozen:

Voor 1 persoon uit een personenauto, Tua=10 sec
een vrachtauto en de eerste uit een autobus.
Voor 50 personen uit een bus met 2 uitgangen Tub=10 sec +50 sec
(ontleend aan gegevens van NS Reizigers op
basis van metingen bij treinen).

Deze waarde is opgebouwd uit 10 seconden voor de eerste uitstapper en 2 seconden voor elke volgende. De precieze berekening is $10 + 24 * 2 = 58 \text{ sec} \sim 1 \text{ minuut}$.

Onbekende uitstaptijd:

Twee personen die via het zelfde portier moeten uitstappen.

Zelfredzame met rolstoel.

Uitstappen van grotere aantallen minder/niet zelfredzamen.

Uitstappen van gedetineerden ed. met begeleiders.

Meenemen van (kleine) huisdieren.

(Aanbeveling 4 en 7).

7.6. Loopsnelheid

Gemiddeld valide personen kunnen gemakkelijk 1,5 m/sec lopen gedurende korte tijd. Hierbij is geen rekening gehouden met de nadelige invloed die eventuele rook heeft op de loopsnelheid.

Voertuigen in een file-opstelling vormen geen vertragende obstakels.

Voor personen met een functiebeperking (rolstoel) kan een normale file-opstelling ondoordringbaar zijn (Aanbeveling 7).

Rekenwaarde V=1,5 m/sec.

7.7. Loopafstanden in de tunnelbuis van het incident

De loopafstand van het te verlaten voertuig tot een veilige plaats is van diverse factoren afhankelijk.

Tunnels (korte) zonder aparte vluchtroutes kunnen worden verlaten via inrit en uitrit. Vluchters maken zelf hun keuze om via de inrit of de uitrit de tunnel te verlaten. De maximale afstand die moet worden afgelegd als het incident de inrit of de uitrit blokkeert is de tunnellengete.

Rekenwaarde voor sectielengte S=tunnellengete in meters.

Tunnels (langere) met vluchtdeuren kunnen via deze deuren worden verlaten of via de inrit of de uitrit van de tunnel. De afstand tussen de deuren (sectie) is dan bepalend voor de gemiddelde en de maximale loopafstand. De maximale afstand moet worden afgelegd als het incident een deur blokkeert is de sectielengte. De tunnellengete is irrelevant.

Rekenwaarde voor sectielengte S=afstand tussen 2 deuren in meters.

7.8. Beschikbaarheid van vluchtdeuren (Tw)

Vluchtdeuren die toegang geven tot een middentunnelkanaal of anderszins zijn ontgrendeld of kunnen direct worden ontgrendeld bij een calamiteit waarbij vluchten noodzakelijk is. Kortom de vergrendeling van deze deuren levert geen vertraging op in het ontruimingsproces.

Indien de vluchtdeuren toegang geven tot de nevenbuis dan zijn deze deuren pas vluchtdeuren als de nevenbuis vrij is van verkeer of tenminste de linker rijstrook in de nevenbuis. De hiervoor benodigde tijd, gerekend vanaf het moment dat de verkeersleider in actie komt, is de som van de tijd waarop de nevenbuis later dan $T=0$ wordt afgesloten voor verkeer en de tijd die nodig is om de nevenbuis leeg te rijden dan wel de linker rijstrook verkeersvrij te maken. Beide opties zijn bedoeld om een veilige situatie te creëren voor vluchters.

Als de tijd die nodig is om de nevenbuis leeg te rijden onbekend is, kan de volgende berekening een indicatie geven. Reken 30 seconden voor de verkeersleider om verkeerslichten van de nevenbuis op rood te zetten. Reken met een leegrijtijd bij 70% van de maximum snelheid.

Als volstaan kan worden met het verkeersvrij maken van de linker rijstrook middels verdrijfpijlen, kan worden gerekend met 30 seconden.

Rekenwaarde	Tw=0	bij middentunnelkanaal
	Tw=30+	tijd om nevenbuis verkeersvrij te maken
	Tw=30	bij verdrijfstrategie

7.9. Passeertijd van vluchtdeuren (Tp)

De oudere tunnels zijn uitgevoerd met zelfsluitende scharnierende deuren, de nieuwere en gerenoveerde tunnels zijn voorzien van zelfsluitende schuifdeuren. Deze deuren met een dagmaat van ongeveer 0,80 à 0,90 m geven toegang tot de nevenbuis of een middentunnelkanaal.

In vrijwel alle gevallen is de dorpel 0,3 à 0,4 m hoog. De hoogte van het loopvlak aan de andere zijde ligt soms op hetzelfde niveau als het wegdek, soms hoger.

Bij deuren in gebouwen met een dagmaat van 0,8 m breed rekent het BZK model (Beveiligingsconcept gebouwen met een publieksfunctie) met een passage van 2 personen per seconde. Bij de vluchtproeven in de Beneluxtunnel met de hierboven beschreven geometrie zijn passagetijden gemeten van 0,7 persoon per seconde.

In dit rekenmodel wordt een passeercapaciteit van 1 persoon per seconde gehanteerd.

Passeren met rolstoelen is alleen mogelijk met hulp van omstanders vanwege de hoge drempel en de zelfsluitende werking van de deuren.

Rekenwaarde	Tp=1 persoon/sec
-------------	------------------

7.10. Propvorming in het veilige deel van de vluchtroute

De invloed van propvorming maakt geen deel uit van de rekenmethode. Het verstoppingseffect in trams kan zich ook gemakkelijk voordoen in vluchtroutes. Met name middentunnelkanalen zijn potentiële propvormers vanwege de beperkte breedte.

In de nevenbuis en buiten kan propvorming buiten beschouwing worden gelaten.

7.11. Loopafstanden en loopsnelheden in het veilige deel van de vluchtroute

Loopafstanden en loopsnelheden zijn niet kritisch omdat personen veilig zijn.

Smalle gangen, bochten, tussendeuren en trappen kunnen echter belemmeringen opleveren voor rolstoelers.

7.12. Verzamelplaatsen

Elke ontruiming leidt tot verzamelplaatsen van vluchters. Er kunnen gelijktijdig meerdere verzamelplaatsen ontstaan. Mogelijkheden:

Op de rijweg van één of meerdere tunnelbuizen aan één of aan beide kanten.

Tussen de geleiderails als daar een vluchtroute uitkomt. Zodra daar krapte ontstaat zullen mensen over de geleiderails klimmen en meer ruimte zoeken op de rijweg. Verkeer is er immers toch niet meer of staat stil.

Bij diverse tunnels ligt de uitgang van de vluchtroute in de rook als er brand is in de tunnel. Vluchters zullen dan verderop een rookvrije verzamelplaats kiezen.

8. Rekenschema

Het model houdt rekening met:

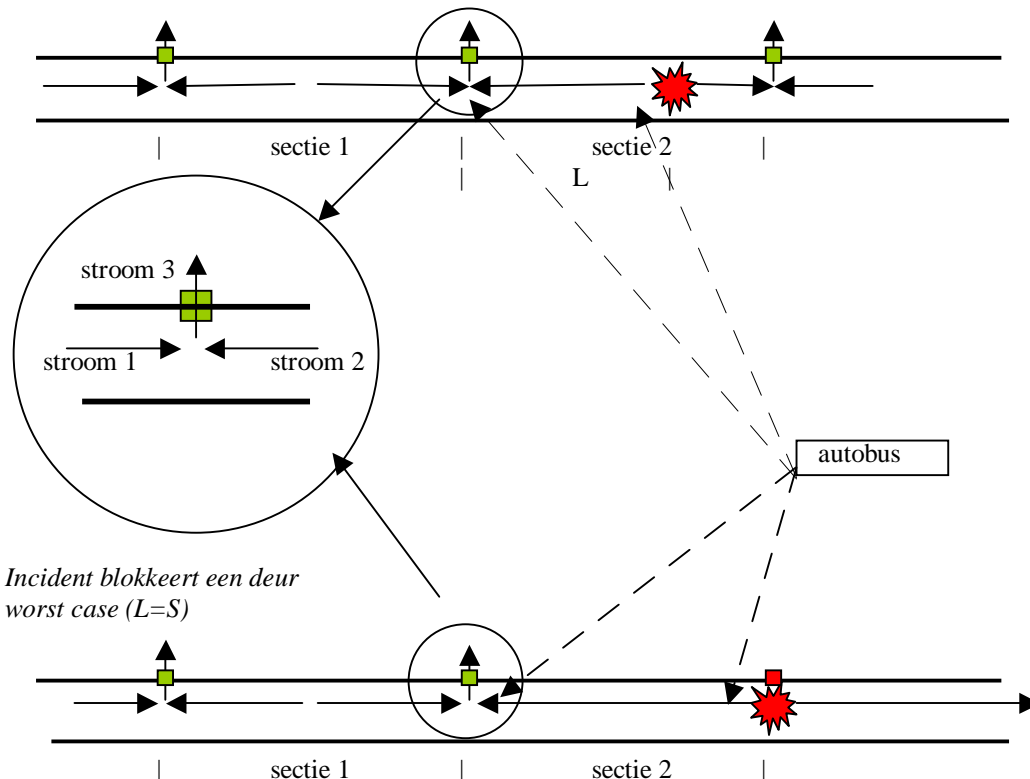
1. De af- en aanwezigheid van vluchtdeuren binnen het gesloten deel van de tunnel. Om beide situaties in een rekenmodel onder te brengen wordt met vluchtuitgangen en sectielengte gerekend.
2. De berekening wordt gemaakt voor een incident tussen twee vluchtuitgangen en een incident op een plaats zo dat een vluchtuitgang is geblokkeerd.
3. De af- en aanwezigheid van een volle autobus in de file. De invloed van de autobus wordt op twee plaatsen bekeken, dicht bij de vluchtuitgang en zo ver mogelijk van de vluchtuitgang.
4. De af- en aanwezigheid van een wachttijd voor het ontgrendelen van vluchtdeuren.

Voor het bepalen van de ontruimingstijd zijn twee tijden van belang:

1. De tijd die aanwezigen nodig hebben om de vluchtuitgang te bereiken. Deze tijd is bepalend als er geen wachttijden zijn bij de vluchtuitgang.
2. De tijd om de vluchtuitgang te passeren. Deze tijd kan bepalend zijn als er wachttijden zijn ten gevolge van vergrendeling of beperkte passagecapaciteit.

Beide tijden overlappen elkaar gedeeltelijk zodat de langste van beide tijden bepalend is voor de ontruimingstijd.

Incident op afstand L tussen twee deuren



*Incident blokkeert een deur
worst case ($L=S$)*

In het onderstaande rekenschema wordt L gebruikt voor de afstand tussen het incident en de vluchtuitgang. De keuze van $L=S/2$ levert de ontruimingstijd van een gemiddelde situatie en de keuze van $L=S$ levert de ontruimingstijd van de worst case situatie.

Stroom 1

Het aantal vluchters is $P1 = Pz / 2$.

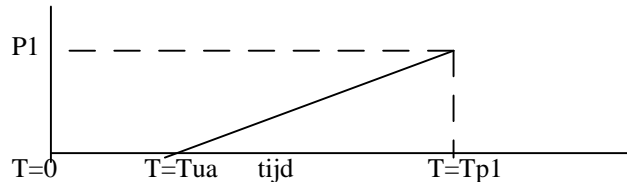
De grootste loopafstand is $S / 2$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ua} .

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_{p1} = T_{ua} + S / (2 * V)$.

Aangenomen is dat de vluchters gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle vluchters van stroom 1.



Stroom 2 zonder autobus

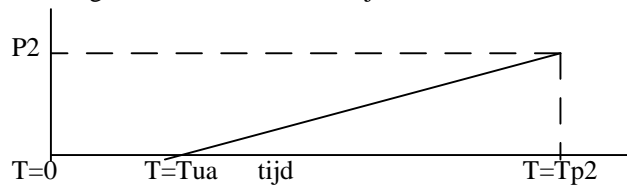
Het aantal vluchters over een lengte L bedraagt $P2 = Pz * L / S$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ua} .

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_{p2} = T_{ua} + L / V$.

Aangenomen is dat de vluchters gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle vluchters van stroom 2.



Een autobus dicht bij de vluchtingang

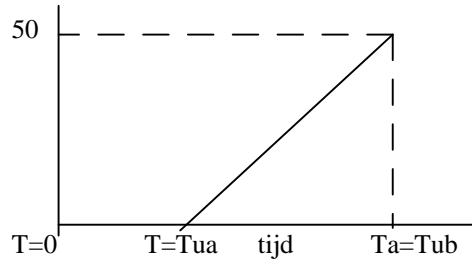
Het aantal inzittenden van de autobus bedraagt $P_a = 50$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ua} .

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ub} .

Aangenomen is dat de inzittenden gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle inzittenden van de autobus.



Een autobus dicht bij de brand

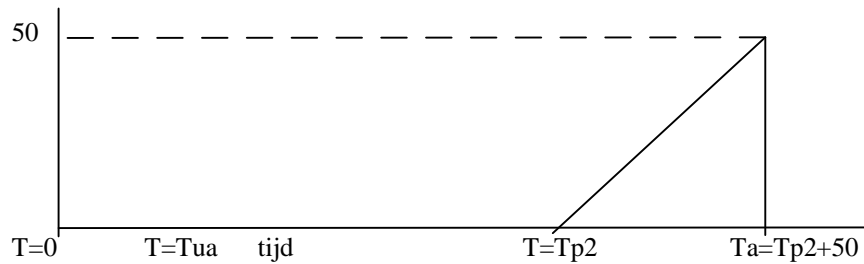
Het aantal inzittenden van de autobus bedraagt $P_a=50$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_{p2} = T_{ua} + L / V$.

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_a = T_{p2} + 50$.

Aangenomen is dat de inzittenden gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

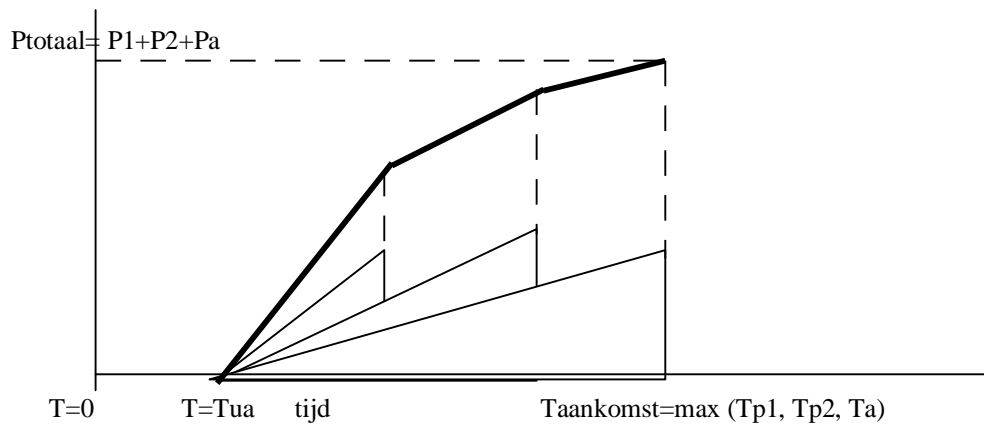
Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle inzittenden van de autobus.



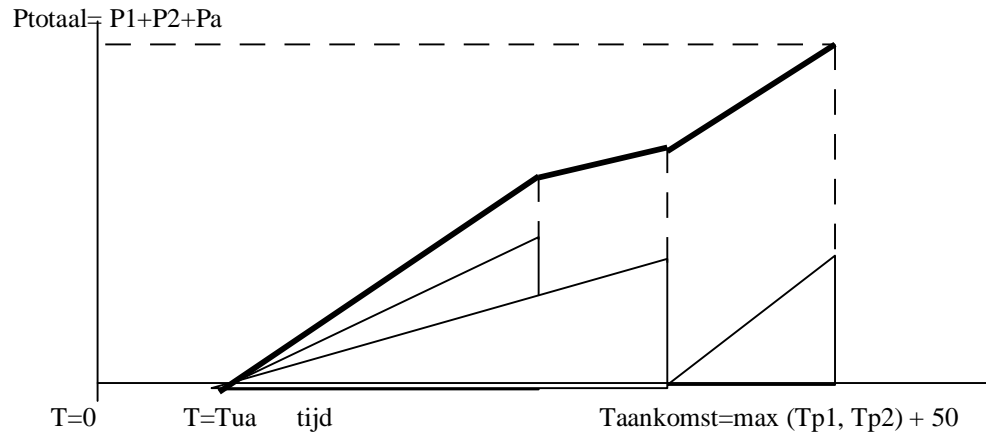
Totale toestroom van vluchters bij de vluchtingang

De aankomsttijd van de vluchters bij de vluchtingang kan nu worden weergegeven door de deelstromen te sommeren.

De autobus dicht bij de vluchtingang



De autobus op afstand L van de vluchtingang



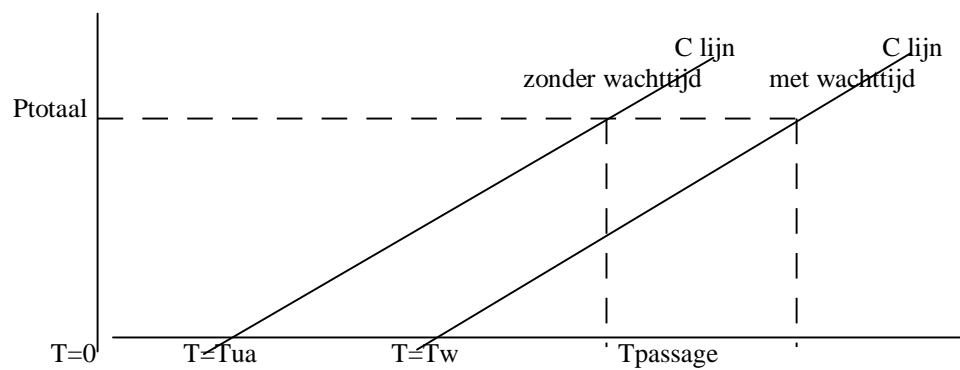
De passagetijd van de vluchtingang

De passagetijd van de vluchtingang kan op soortgelijke wijze in beeld worden gebracht. De helling C van de capaciteitslijnen C geeft het aantal personen weer dat per seconde de vluchtingang kan passeren. In dit model is $C=1$ pers/sec.

De passagetijd wordt als volgt berekend:

$T_{\text{passage}} = T_{\text{tua}} + P_{\text{totaal}}/C$ als er geen wachttijd is ($T_w=0$).

$T_{\text{passage}} = T_w + P_{\text{totaal}}/C$ als er wel een wachttijd T_w is.



Vergelijking van aanbod van vluchters en capaciteit van de vluchtingang

Het aanbod is weergegeven met lijn A.

De passagecapaciteit is weergegeven met lijn C.

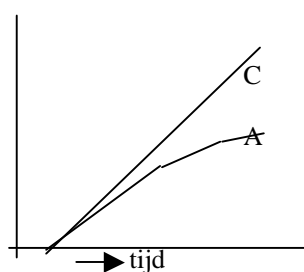
Opmerking: In de onderstaande figuren is alleen de C lijn zonder wachttijd getekend.

Als de autobus bij de vluchtingang staat kunnen de volgende combinaties optreden:

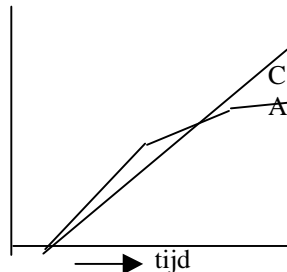
1. De passagecapaciteit is gelijk of groter dan het aanbod. Er zijn geen wachttijden.
2. De passagetijd is kleiner dan het aanbod. Er ontstaat enige wachttijd maar deze leidt niet tot verlenging van de ontruimingstijd.
3. De passagetijd leidt tot een verlenging van de ontruimingstijd.

Als de autobus dicht bij de vluchtingang staat

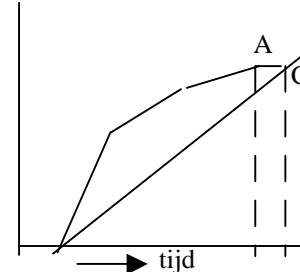
Situatie 1



Situatie 2



Situatie 3



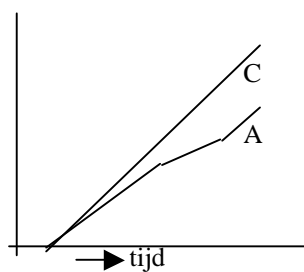
Als de autobus dicht bij de brand staat

Als de autobus dicht bij de brand staat kunnen de volgende combinaties optreden:

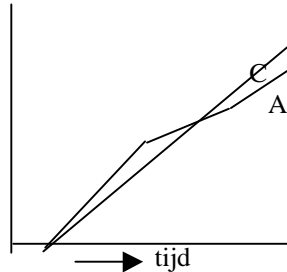
1. De passagecapaciteit is gelijk of groter dan het aanbod. Er zijn geen wachttijden.
2. De passagetijd is kleiner dan het aanbod. Er ontstaat enige wachttijd maar deze leidt niet tot verlenging van de ontruimingstijd.
3. De passagetijd leidt tot een verlenging van de ontruimingstijd.

Een bijzonderheid vormt de helling van de A lijn t.o.v. van de C lijn voor het gedeelte van de autobus. Als de helling van de C lijn geringer is er specifiek voor de autobus een wachttijd. De passagecapaciteit van 1 pers/sec is juist gelijk aan de snelheid van uitstappen van 1 pers/sec. Er treedt dus geen vertraging op. Bij een lagere capaciteit van de vluchtingang treedt er wel vertraging op.

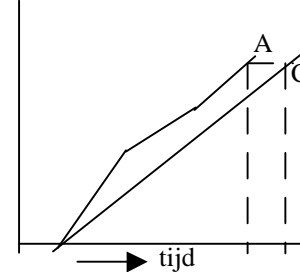
Situatie 1



Situatie 2



Situatie 3



Model voor de berekening van de ontruimingstijd in wegtunnels

de ruitjespapiermethode

**P
b**

Bockholts

*Bureau voor
Beleidsontwikkeling*

*Advies
Onderzoek
Projectbegeleiding*

Model voor de berekening van de ontruimingstijd in wegtunnels

de ruitjespapiermethode

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Bouwdienst
Utrecht

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
1. Inleiding	4
2. Definities	5
3. Kenmerkende scenario's	6
4. Plaats van de ontruiming in het grotere geheel	6
5. Kenmerken van tunnels	7
6. Kenmerken van verkeer	9
6.1. Scenariobeperkingen	9
6.2. De invloed van een autobus op het proces	9
7. Kentallen	10
7.1. Aantallen voertuigen per 100 m rijstrook	10
7.2. Verdeling van voertuigen per rijrichting	10
7.3. Aantal inzittenden per voertuig	10
7.4. Berekening van het aantal personen in voertuigen per tunnelsectie (Pz en Pa).....	10
7.5. Uitstaptijden uit voertuigen (Tu)	11
7.6. Loopsnelheid	11
7.7. Loopafstanden in de tunnelbuis van het incident	11
7.8. Beschikbaarheid van vluchtdeuren (Tw)	12
7.9. Passeertijd van vluchtdeuren (Tp)	12
7.10. Propvorming in het veilige deel van de vluchtroute	12
7.11. Loopafstanden en loopsnelheden in het veilige deel van de vluchtroute	12
7.12. Verzamelplaatsen	13
8. Rekenschema	14

1. Inleiding

In 2006 wordt nieuwe regelgeving van kracht voor de veiligheid van wegtunnels. In een wijziging op het Bouwbesluit zullen in dat kader eisen worden gesteld aan de vluchtvoorzieningen. Onder andere worden er eisen gesteld aan de maximale afstand tussen een punt op de rijbaan in een wegtunnelbuis en de dichtstbijzijnde (vlucht)uitgang. Die vluchtuitgang kan de tunnelmond zijn of een vluchtdeur. Deze eisen zijn geformuleerd met als achterliggende

eis, dat een zelfredzaam persoon in een wegtunnel in staat moet zijn om binnen vijf minuten lopend een vluchtuitgang te bereiken.

De letterlijke tekst van de wijziging Bouwbesluit: Afdeling 5.8, art. 5.25 (nieuwe tunnels) en 5.27 (bestaande tunnels) luidt:

"De loopafstand tussen een punt op de rijbaanvloer en ten minste een toegang van het rookcompartiment is ten hoogste 150 m. [...] De afstand tussen twee toegangen is ten hoogste 250 m."

In de toelichting:

"In het algemeen betekenen deze maximale loopafstanden dat men binnen vijf minuten de wegtunnelbuis lopend kan verlaten."

De aanvullende regelgeving op het gebied van tunnelveiligheid stelt hiermee dus eisen aan de ontruimingstijd van wegtunnels. De handleiding biedt een eenvoudig model om de benodigde ontruimingstijd te berekenen. Het model is afgeleid van het rekenmodel voor de ontruimingstijden van gebouwen met een publieksfunctie (Beveiligingsconcepten uitgave ministerie van BZK).

Het is van belang om de beperkingen van het model in het oog te houden. Op diverse plaatsen in de beschrijving zijn deze beperkingen aangegeven. Daarnaast zijn er voor enkele gegevens aannames gedaan die nog een nadere onderbouwing behoeven middels experimenten of anderszins.

Het rekenmodel maakt gebruik van diverse kentallen.

Voor zover mogelijk zijn de kentallen gelijk gekozen aan de kentallen die zijn gebruikt in het QRA model van Rijkswaterstaat: RWSQRA, versie 1.0. Voor de verantwoording van deze kentallen zij dan ook verwezen naar de rapportage van het RWSQRA-model.

De herkomst cq keuze van elk van de kentallen is aangegeven.

De uitwerking van het rekenmodel laat zien dat er een aantal factoren onbekend is die van belang zijn om het ontruimingsproces succesvol te laten verlopen. Over deze factoren zijn daarom aanbevelingen geformuleerd. Deze aanbevelingen zijn in een oplegnotitie opgenomen.

2. Definities

Voor een goed begrip en een juiste afbakening van de geldigheid van het rekenmodel zijn de volgende definities van toepassing:

1. Detectiefase (VRC)

De duur van de fase is afhankelijk van detectie-apparatuur (camera's, rookdetectie, stilstandsdetectie, temperatuurdetectie); indien aanwezig wordt de wegverkeersleider meteen gewaarschuwd.

Bij afwezigheid van detectie-apparatuur zijn weggebruikers aangewezen op eigen waarneming om vervolgens via 112 te alarmeren.

2. Alarmfase (VRC) eindigend in beoordeling en besluitvorming

De duur van de alarmfase is afhankelijk van herkenning van een ongeval als potentieel levensbedreigend: een brand is zowel voor weggebruikers als voor de wegverkeersleider vrij snel herkenbaar, maar ontploffingsgevaar en reukloze giftige stoffen worden niet snel als zodanig herkend. Beoordeling van de situatie en besluitvorming over ontruimen zijn dus allerminst eenvoudig.

3. Vluchtfase (VRC) of ontruimingstijd

De vluchtfase begint met een ontruimingssignaal dat wordt gegeven door de wegverkeersleider of nadat weggebruikers uit eigen waarneming hebben besloten om de voertuigen te verlaten en de tunnel te verlaten en eindigt zodra de laatste vluchter de onveilige zone heeft verlaten.

4. Sectie

Het tunneldeel tussen twee vluchtingangen.

5. Onveilige zone

De tunnelbuis waarin het incident plaatsvindt vormt de onveilige zone. Vluchters verlaten de onveilige zone via de tunnelmonden of via de vluchtdeuren naar een andere ruimte (midentunnelkanaal of nevenbuis).

6. Veilige zone

Open lucht, nevenbuis en midentunnelkanaal worden beschouwd als veilige zone.

7. Vluchtroute

De vluchtroute bestaat uit een route in de onveilige zone en kan doorlopen in de veilige zone. De tijdsduur in de veilige zone wordt buiten beschouwing gelaten.

8. Vluchtingang / vluchtdeur

Dit kunnen de tunnelmonden zijn naar de buitenlucht of de vluchtdeuren naar de nevenbuis of een midentunnelkanaal.

9. Opvangplaats

Een plaats buiten de tunnel waar de vluchtroutes uitkomen en vluchters kunnen worden verzameld.

3. Kenmerkende scenario's

Een tunnel moet ontruimd worden als er gevaar is voor de aanwezigen (weggebruikers). In een tunnel voor wegverkeer doet die situatie zich voor bij brand en bij het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

Brand kan ontstaan door een defect aan een voertuig of door een aanrijding.

Gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen door een defect aan een voertuig, bij een aanrijding of doordat het betreffende voertuig betrokken raakt in een brand van andere voertuigen.

Een bijzondere categorie incidenten tijdens onderhoudswerkzaamheden in tunnels blijft hier buiten beschouwing. De uitvoerenden van zulke werkzaamheden hebben aparte instructies bij incidenten en krijgen ondersteuning van de verkeersleider.

4. Plaats van de ontruiming in het grotere geheel

!!! Ontruimen is alleen nodig bij brand en het vrijkomen van gevaarlijke stoffen !!!

T= Begin van een incident.

Detectiefase start.

Duur is heel kort bij bediende tunnels maar kan langer zijn bij niet bediende tunnels.

T= Detectiefase gaat over in alarmfase.

Duur is afhankelijk van gewaarwording en beoordeling door wegverkeersleider of weggebruiker.

T= 0 Alarmfase gaat over in vluchtfase

Signaal voor vluchten/ontruimen

Duur is heel kort.

T= Start ontruiming

Duur wordt berekend aan de hand van het in dit rapport beschreven rekenmodel.

T= Einde ontruiming (iedereen in veiligheid)

Duur is niet kritisch !!!!, vervolg vluchtroute (veilige deel), gangen, nevenbuis, trappen etc.

Propvorming in de veilige ruimte kan echter vertraging van de ontruiming opleveren.

T= Start opvang van vluchters op de opvangplaatsen aan het einde van de vluchtroute.

Duur is niet kritisch.

T= Start vervoer naar elders of terugkeer naar eigen voertuigen

Duur is niet kritisch.

T= Herstel van de normale situatie.

5. Kenmerken van tunnels

Vrijwel alle tunnels in Nederland hebben gescheiden tunnelbuizen per rijrichting. Uitzondering op deze regel vormt de omstandigheid als er één rijrichting is afgesloten voor onderhoudswerkzaamheden en er geen redelijke omleidingsroute beschikbaar is. In die omstandigheid wordt tweerichtingsverkeer toegepast gedurende de werkzaamheden.

Het gevaar voor de aanwezigen (weggebruikers) wordt behalve door het incident zelf ook door enkele tunnelkenmerken bepaald.

Bediend/niet bediend

Als de tunnel is bediend, kan de wegverkeersleider de aanwezigen oproepen om te vluchten. Aanwezigen zijn dan niet afhankelijk van eigen waarnemingen en (tijdrovende) eigen interpretaties.

Ventilatie/geen ventilatie

Als de tunnel is voorzien van ventilatie in de rijrichting, biedt deze bescherming tegen rook en dampen aan aanwezigen die zich bovenstrooms van (achter) de bron bevinden.

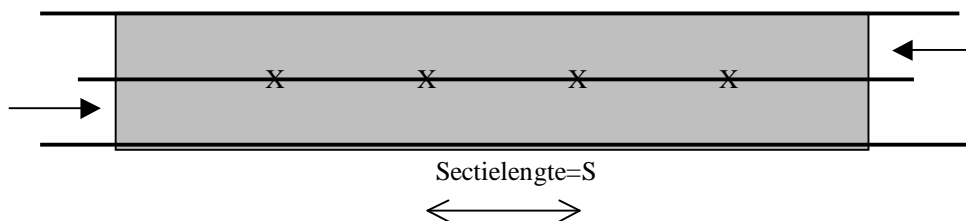
Tunnel met vluchtdeuren (met en zonder middentunnelkanaal of dwarsverbindingen)

Voor de berekening van de ontruimingstijd worden deze tunnels in secties ingedeeld overeenkomstig de plaats van de vluchtdeuren.

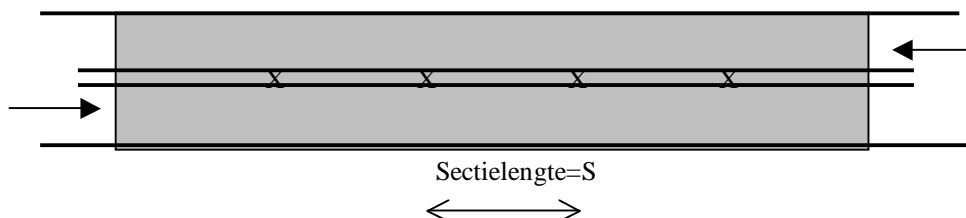
In de sectie van het incident wordt er rekening mee gehouden dat een deur is geblokkeerd. Vluchters moeten dan naar de volgende deur lopen.

In alle overige secties van de tunnel hoeft dat onderscheid niet te worden gemaakt. Daar kan iedereen naar de dichtstbijzijnde deur. De loopafstand is daar dus overal maximaal de halve afstand tussen twee deuren.

Bovenaanzicht zonder middentunnelkanaal



Bovenaanzicht met middentunnelkanaal

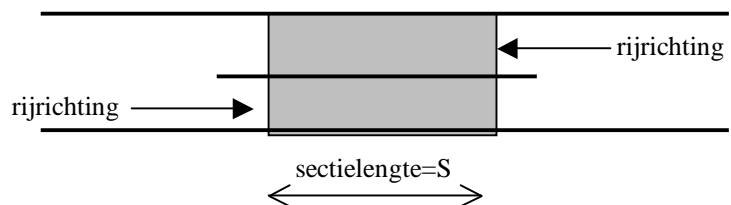


Als de afstanden tussen de deuren ongeveer gelijk zijn, hoeft alleen de sectie te worden beschouwd waarin zich het incident voordoet met de beide aan weerszijden aangrenzende secties. Als de onderlinge afstanden tussen de deuren aanzienlijk verschillen is het raadzaam om de berekening uit te voeren voor de langste sectie.

Vluchters kunnen dit type tunnel verlaten via de vluchtdeuren van de tunnelbuis waarin zij zich bevinden. De maximale loopafstand is afhankelijk van de plaats van het incident en de looprichting. Bij brand zullen vluchters in principe de brand niet passeren. De maximale loopafstand is dan ongeveer S meter voor aanwezigen bovenstrooms van de brand als de brand juist bij een vluchtdeur optreedt. Indien langsventilatie aanwezig is, wordt deze vluchtroute rookvrij gehouden. Indien langsventilatie afwezig is, wordt de rook verplaatst door de op dat moment heersende trek in de tunnel.

De maximale loopafstand treedt ook op voor aanwezigen direct benedenstrooms van de brand als de tunnel benedenstrooms van de brand vol staat met voertuigen. Indien langsventilatie aanwezig is, wordt de rook in de vluchtrichting gedreven. Indien langsventilatie afwezig is, wordt de rook verplaatst door de op dat moment heersende trek in de tunnel.

Tunnel zonder vluchtdeuren (bovenaanzicht)



Vluchters kunnen dit type tunnel verlaten via de inrit en de uitrit van de tunnelbuis waarin zij zich bevinden. De maximale loopafstand is afhankelijk van de plaats van het incident en de looprichting. Bij brand zullen vluchters in principe de brand niet passeren. De maximale loopafstand is dan ongeveer S voor aanwezigen bovenstrooms van de brand als de brand juist voor de tunneluitrit optreedt. Indien langsventilatie aanwezig is, wordt deze vluchtroute rookvrij gehouden. Indien langsventilatie afwezig is, wordt de rook verplaatst door de op dat moment heersende trek in de tunnel.

De maximale loopafstand treedt ook op voor aanwezigen juist benedenstrooms van de brand als de tunnel eerst vol staat met voertuigen en de brand achter in de file (bij de tunnelinrit) ontstaat.

6. Kenmerken van verkeer

6.1. Scenariobeperkingen

De wegcategorie bepaalt per tunnel welk verkeer is toegelaten.

De tunnelcategorie bepaalt per tunnel welke gevaarlijke stoffen zijn toegelaten. Deze indeling beperkt met name de toelating van brandbare en explosieve stoffen en daarmee dus ook de mogelijke scenario's.

6.2 De invloed van een autobus op het proces

In het rekenmodel wordt aangenomen dat alle rijstroken gevuld zijn met auto's. De vluchters uit auto's dicht bij de vluchtingang zijn meteen na het uitstappen bij de uitgang en de vluchters uit de verste voertuigen moeten eerst de maximale afstand afleggen. Alle overige vluchters komen gelijkmatig verdeeld over de tijd aan tussen de eerste en de laatste.

De vluchtingang wordt zodoende belast door een lijnbron van vluchters. Als er een autobus in de file staat komt er een puntbron bij. De 50 inzittenden van de autobus moeten immers na het uitstappen allemaal even ver lopen.

Bij de vluchtingang komen dus een lijnbron plus een puntbron tezamen.

De invloed van de plaats van de autobus in de vluchtafstand is daarbij van grote invloed op het verloop.

Om deze invloed zichtbaar te maken wordt de autobus op twee plaatsen beschouwd:

- a. vlakbij de vluchtingang.
- b. aan het einde van de vluchtafstand.

7. Kentallen

Aantal tunnelbuizen	is niet relevant want de berekeningen worden gemaakt per tunnelbuis.
Vluchtstrook aanwezig	is niet relevant
Aantal rijstroken per tunnelbuis	N

7.1. Aantallen voertuigen per 100 m rijstrook

Personenauto's	15 per 100 m (overeenkomstig RWSQRA-model).
Vrachtauto's	7 per 100 m (overeenkomstig RWSQRA-model).

7.2. Verdeling van voertuigen per rijrichting

Personenauto's	84%.
Vrachtauto's	15%. Dit percentage heeft nauwelijks invloed op de berekening en wordt dan ook buiten beschouwing gelaten.
Autobussen	1%. Dit percentage is niet gebruikt. De invloed van een autobus is plaatselijk heel groot zodat de kritische situaties zowel met als zonder autobus worden berekend. In konvooi rijden wordt buiten beschouwing gelaten.

De aangegeven percentages zijn gemiddelde waarden, afgeleid uit het RWSQRA-model.

7.3. Aantal inzittenden per voertuig

Personenauto's	1,3 inzittenden. In vakantieperiodes zal het aantal inzittenden in vakantiegebieden groter zijn. Tegelijkertijd zal dan ook het aantal caravans groter zijn. Gemakshalve wordt de invloed van beide effecten tegen elkaar weggestreept (overeenkomstig RWSQRA-model).
Vrachtauto	1 inzittende (overeenkomstig RWSQRA-model).
Autobussen	50 inzittenden (RWSQRA-model hanteert gemiddeld 22, het is echter beter om hier de maximumwaarde te gebruiken).

7.4. Berekening van het aantal personen in voertuigen per tunnelsectie (Pz en Pa)

Rijstrook met alleen personenauto's	$15 * 1,3 = 20$ personen / 100 m.
Rijstrook met alleen vrachtauto's	$7 * 1 = 7$ personen / 100 m.

De aangegeven mix van personenauto's en vrachtauto's ligt zo dicht bij 20 dat het aandeel vrachtauto's buiten beschouwing wordt gelaten voor de bepaling van het aantal personen. De berekening van de ontruimingstijd wordt met en zonder betrokkenheid van een autobus uitgevoerd om het verschil te tonen.

De sectielengte bedraagt	S meter.
Aantal rijstroken bedraagt	N.
Aantal personen per sectie zonder autobus bedraagt	$Pz = 20 * N * S / 100$.
Aantal personen in een autobus bedraagt	Pa=50.

7.5. Uitstaptijden uit voertuigen (Tu)

Over uitstaptijden is geen referentiemateriaal beschikbaar. Daarom worden de volgende tijden gekozen:

Voor 1 persoon uit een personenauto, Tua=10 sec
een vrachtauto en de eerste uit een autobus.
Voor 50 personen uit een bus met 2 uitgangen Tub=10 sec +50 sec
(ontleend aan gegevens van NS Reizigers op
basis van metingen bij treinen).

Deze waarde is opgebouwd uit 10 seconden voor de eerste uitstapper en 2 seconden voor elke volgende. De precieze berekening is $10 + 24 * 2 = 58 \text{ sec} \sim 1 \text{ minuut}$.

Onbekende uitstaptijd:

Twee personen die via het zelfde portier moeten uitstappen.

Zelfredzame met rolstoel.

Uitstappen van grotere aantallen minder/niet zelfredzamen.

Uitstappen van gedetineerden ed. met begeleiders.

Meenemen van (kleine) huisdieren.

(Aanbeveling 4 en 7).

7.6. Loopsnelheid

Gemiddeld valide personen kunnen gemakkelijk 1,5 m/sec lopen gedurende korte tijd. Hierbij is geen rekening gehouden met de nadelige invloed die eventuele rook heeft op de loopsnelheid.

Voertuigen in een file-opstelling vormen geen vertragende obstakels.

Voor personen met een functiebeperking (rolstoel) kan een normale file-opstelling ondoordringbaar zijn (Aanbeveling 7).

Rekenwaarde V=1,5 m/sec.

7.7. Loopafstanden in de tunnelbuis van het incident

De loopafstand van het te verlaten voertuig tot een veilige plaats is van diverse factoren afhankelijk.

Tunnels (korte) zonder aparte vluchtroutes kunnen worden verlaten via inrit en uitrit. Vluchters maken zelf hun keuze om via de inrit of de uitrit de tunnel te verlaten. De maximale afstand die moet worden afgelegd als het incident de inrit of de uitrit blokkeert is de tunnellenge.

Rekenwaarde voor sectielengte S=tunnellenge in meters.

Tunnels (langere) met vluchtdeuren kunnen via deze deuren worden verlaten of via de inrit of de uitrit van de tunnel. De afstand tussen de deuren (sectie) is dan bepalend voor de gemiddelde en de maximale loopafstand. De maximale afstand moet worden afgelegd als het incident een deur blokkeert is de sectielengte. De tunnellenge is irrelevant.

Rekenwaarde voor sectielengte S=afstand tussen 2 deuren in meters.

7.8. Beschikbaarheid van vluchtdeuren (Tw)

Vluchtdeuren die toegang geven tot een middentunnelkanaal of anderszins zijn ontgrendeld of kunnen direct worden ontgrendeld bij een calamiteit waarbij vluchten noodzakelijk is. Kortom de vergrendeling van deze deuren levert geen vertraging op in het ontruimingsproces.

Indien de vluchtdeuren toegang geven tot de nevenbuis dan zijn deze deuren pas vluchtdeuren als de nevenbuis vrij is van verkeer of tenminste de linker rijstrook in de nevenbuis. De hiervoor benodigde tijd, gerekend vanaf het moment dat de verkeersleider in actie komt, is de som van de tijd waarop de nevenbuis later dan $T=0$ wordt afgesloten voor verkeer en de tijd die nodig is om de nevenbuis leeg te rijden dan wel de linker rijstrook verkeersvrij te maken. Beide opties zijn bedoeld om een veilige situatie te creëren voor vluchters.

Als de tijd die nodig is om de nevenbuis leeg te rijden onbekend is, kan de volgende berekening een indicatie geven. Reken 30 seconden voor de verkeersleider om verkeerslichten van de nevenbuis op rood te zetten. Reken met een leegrijtijd bij 70% van de maximum snelheid.

Als volstaan kan worden met het verkeersvrij maken van de linker rijstrook middels verdrijfpijlen, kan worden gerekend met 30 seconden.

Rekenwaarde	Tw=0	bij middentunnelkanaal
	Tw=30+	tijd om nevenbuis verkeersvrij te maken
	Tw=30	bij verdrijfstrategie

7.9. Passeertijd van vluchtdeuren (Tp)

De oudere tunnels zijn uitgevoerd met zelfsluitende scharnierende deuren, de nieuwere en gerenoveerde tunnels zijn voorzien van zelfsluitende schuifdeuren. Deze deuren met een dagmaat van ongeveer 0,80 à 0,90 m geven toegang tot de nevenbuis of een middentunnelkanaal.

In vrijwel alle gevallen is de dorpel 0,3 à 0,4 m hoog. De hoogte van het loopvlak aan de andere zijde ligt soms op hetzelfde niveau als het wegdek, soms hoger.

Bij deuren in gebouwen met een dagmaat van 0,8 m breed rekent het BZK model (Beveiligingsconcept gebouwen met een publieksfunctie) met een passage van 2 personen per seconde. Bij de vluchtproeven in de Beneluxtunnel met de hierboven beschreven geometrie zijn passagetijden gemeten van 0,7 persoon per seconde.

In dit rekenmodel wordt een passeercapaciteit van 1 persoon per seconde gehanteerd.

Passeren met rolstoelen is alleen mogelijk met hulp van omstanders vanwege de hoge drempel en de zelfsluitende werking van de deuren.

Rekenwaarde	Tp=1 persoon/sec
-------------	------------------

7.10. Propvorming in het veilige deel van de vluchtroute

De invloed van propvorming maakt geen deel uit van de rekenmethode. Het verstoppingseffect in trams kan zich ook gemakkelijk voordoen in vluchtroutes. Met name middentunnelkanalen zijn potentiële propvormers vanwege de beperkte breedte.

In de nevenbuis en buiten kan propvorming buiten beschouwing worden gelaten.

7.11. Loopafstanden en loopsnelheden in het veilige deel van de vluchtroute

Loopafstanden en loopsnelheden zijn niet kritisch omdat personen veilig zijn.

Smalle gangen, bochten, tussendeuren en trappen kunnen echter belemmeringen opleveren voor rolstoelers.

7.12. Verzamelplaatsen

Elke ontruiming leidt tot verzamelplaatsen van vluchters. Er kunnen gelijktijdig meerdere verzamelplaatsen ontstaan. Mogelijkheden:

Op de rijweg van één of meerdere tunnelbuizen aan één of aan beide kanten.

Tussen de geleiderails als daar een vluchtroute uitkomt. Zodra daar krapte ontstaat zullen mensen over de geleiderails klimmen en meer ruimte zoeken op de rijweg. Verkeer is er immers toch niet meer of staat stil.

Bij diverse tunnels ligt de uitgang van de vluchtroute in de rook als er brand is in de tunnel. Vluchters zullen dan verderop een rookvrije verzamelplaats kiezen.

8. Rekenschema

Het model houdt rekening met:

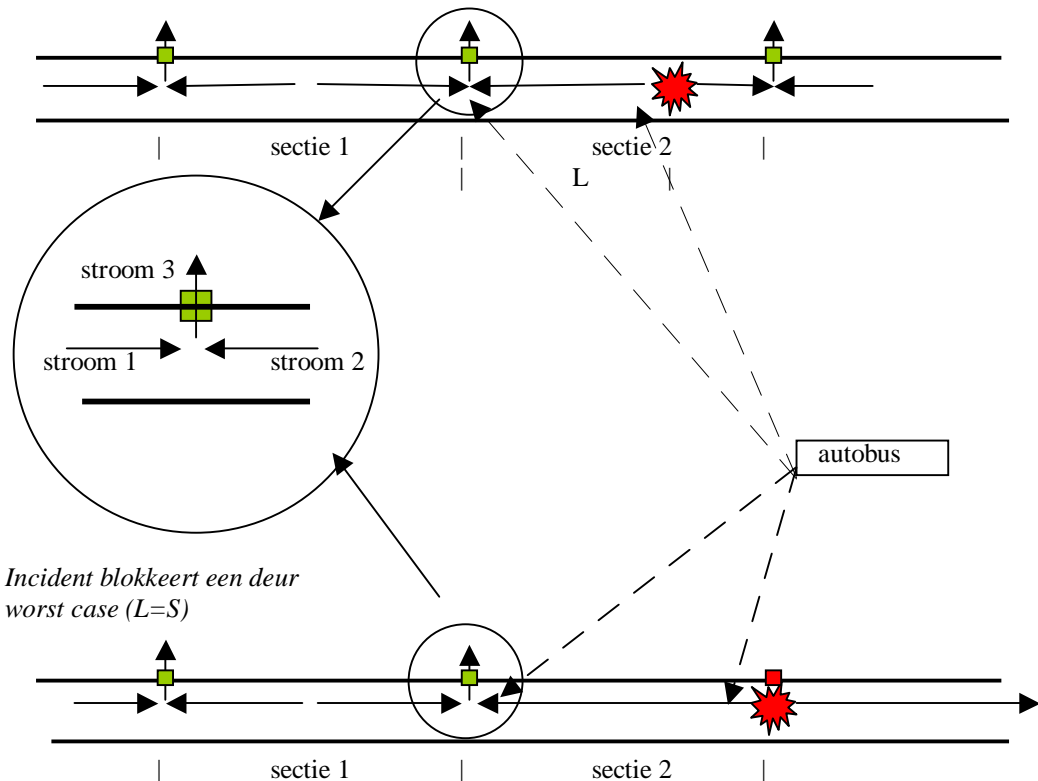
1. De af- en aanwezigheid van vluchtdeuren binnen het gesloten deel van de tunnel. Om beide situaties in een rekenmodel onder te brengen wordt met vluchtuitgangen en sectielengte gerekend.
2. De berekening wordt gemaakt voor een incident tussen twee vluchtuitgangen en een incident op een plaats zo dat een vluchtuitgang is geblokkeerd.
3. De af- en aanwezigheid van een volle autobus in de file. De invloed van de autobus wordt op twee plaatsen bekeken, dicht bij de vluchtuitgang en zo ver mogelijk van de vluchtuitgang.
4. De af- en aanwezigheid van een wachttijd voor het ontgrendelen van vluchtdeuren.

Voor het bepalen van de ontruimingstijd zijn twee tijden van belang:

1. De tijd die aanwezigen nodig hebben om de vluchtuitgang te bereiken. Deze tijd is bepalend als er geen wachttijden zijn bij de vluchtuitgang.
2. De tijd om de vluchtuitgang te passeren. Deze tijd kan bepalend zijn als er wachttijden zijn ten gevolge van vergrendeling of beperkte passagecapaciteit.

Beide tijden overlappen elkaar gedeeltelijk zodat de langste van beide tijden bepalend is voor de ontruimingstijd.

Incident op afstand L tussen twee deuren



*Incident blokkeert een deur
worst case ($L=S$)*

In het onderstaande rekenschema wordt L gebruikt voor de afstand tussen het incident en de vluchtuitgang. De keuze van $L=S/2$ levert de ontruimingstijd van een gemiddelde situatie en de keuze van $L=S$ levert de ontruimingstijd van de worst case situatie.

Stroom 1

Het aantal vluchters is $P1 = Pz / 2$.

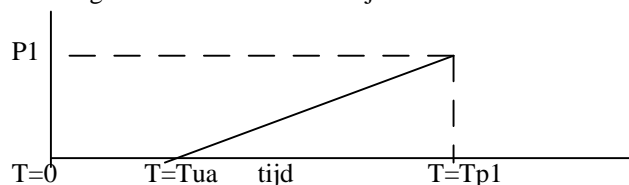
De grootste loopafstand is $S / 2$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ua} .

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_{p1} = T_{ua} + S / (2 * V)$.

Aangenomen is dat de vluchters gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle vluchters van stroom 1.



Stroom 2 zonder autobus

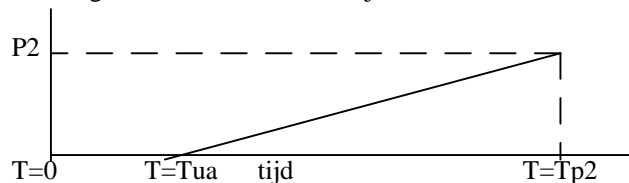
Het aantal vluchters over een lengte L bedraagt $P2 = Pz * L / S$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ua} .

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_{p2} = T_{ua} + L / V$.

Aangenomen is dat de vluchters gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle vluchters van stroom 2.



Een autobus dicht bij de vluchtingang

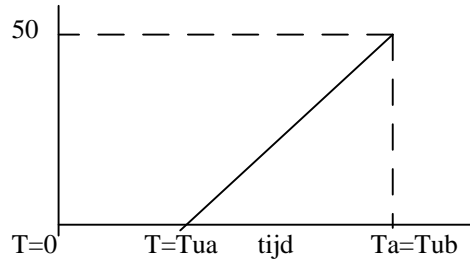
Het aantal inzittenden van de autobus bedraagt $P_a = 50$.

Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ua} .

Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is T_{ub} .

Aangenomen is dat de inzittenden gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

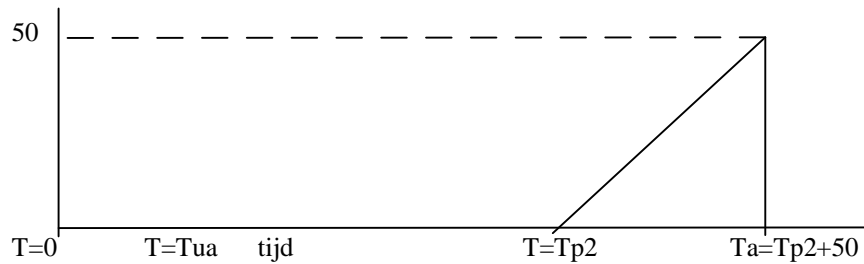
Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle inzittenden van de autobus.



Een autobus dicht bij de brand

Het aantal inzittenden van de autobus bedraagt $P_a=50$.
 Het tijdstip dat de eerste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_{p2} = T_{ua} + L / V$.
 Het tijdstip dat de laatste vluchter de vluchtingang bereikt is $T_a = T_{p2} + 50$.
 Aangenomen is dat de inzittenden gelijkmatig verdeeld over de tijd de deur bereiken.

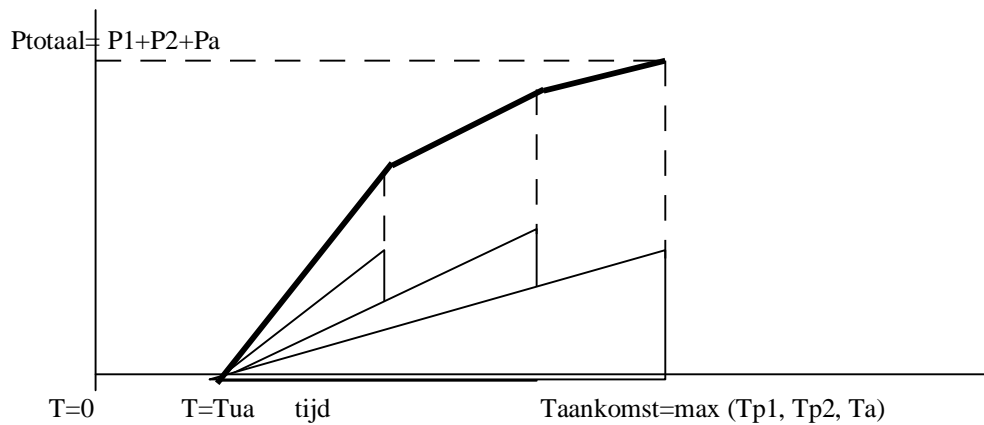
Onderstaande grafiek laat de aankomsttijden zien van alle inzittenden van de autobus.



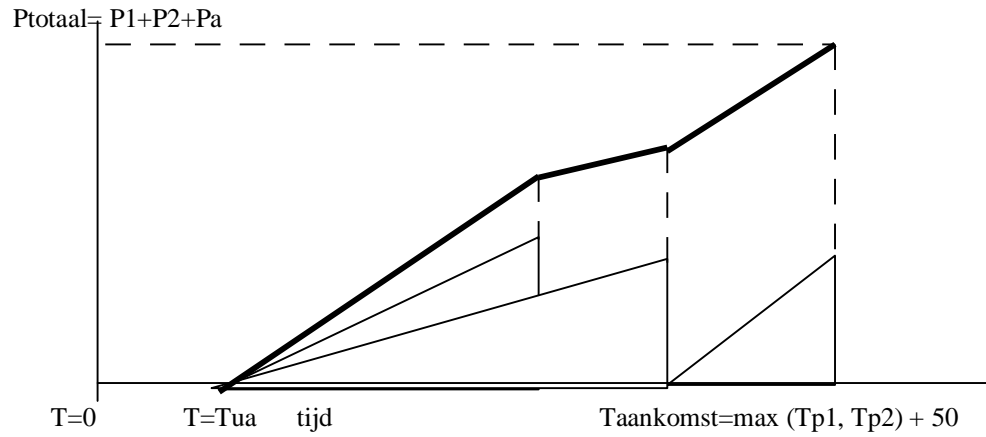
Totale toestroom van vluchters bij de vluchtingang

De aankomsttijd van de vluchters bij de vluchtingang kan nu worden weergegeven door de deelstromen te sommeren.

De autobus dicht bij de vluchtingang



De autobus op afstand L van de vluchtingang



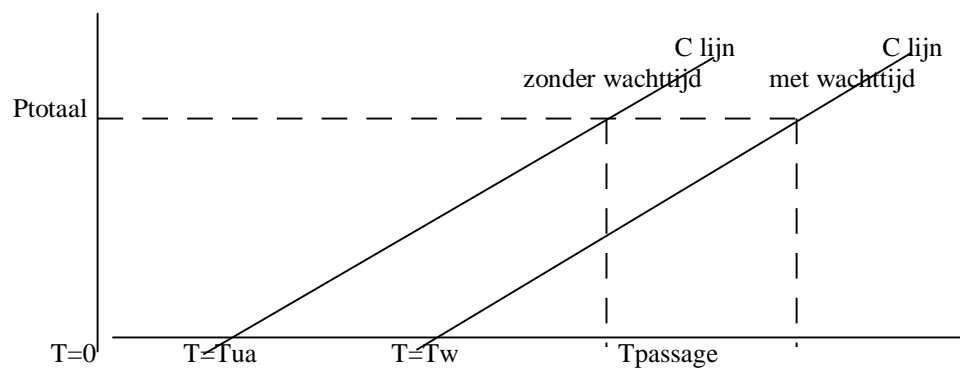
De passagetijd van de vluchtingang

De passagetijd van de vluchtingang kan op soortgelijke wijze in beeld worden gebracht. De helling C van de capaciteitslijnen C geeft het aantal personen weer dat per seconde de vluchtingang kan passeren. In dit model is $C=1$ pers/sec.

De passagetijd wordt als volgt berekend:

$T_{\text{passage}} = T_{\text{tua}} + P_{\text{totaal}}/C$ als er geen wachttijd is ($T_w=0$).

$T_{\text{passage}} = T_w + P_{\text{totaal}}/C$ als er wel een wachttijd T_w is.



Vergelijking van aanbod van vluchters en capaciteit van de vluchtingang

Het aanbod is weergegeven met lijn A.

De passagecapaciteit is weergegeven met lijn C.

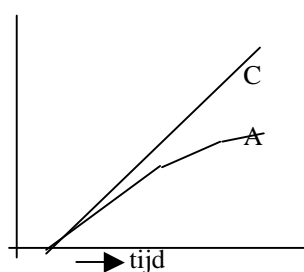
Opmerking: In de onderstaande figuren is alleen de C lijn zonder wachttijd getekend.

Als de autobus bij de vluchtingang staat kunnen de volgende combinaties optreden:

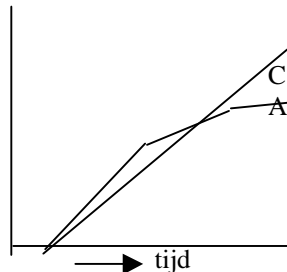
1. De passagecapaciteit is gelijk of groter dan het aanbod. Er zijn geen wachttijden.
2. De passagetijd is kleiner dan het aanbod. Er ontstaat enige wachttijd maar deze leidt niet tot verlenging van de ontruimingstijd.
3. De passagetijd leidt tot een verlenging van de ontruimingstijd.

Als de autobus dicht bij de vluchtingang staat

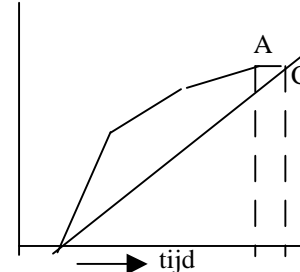
Situatie 1



Situatie 2



Situatie 3



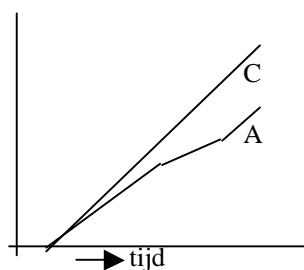
Als de autobus dicht bij de brand staat

Als de autobus dicht bij de brand staat kunnen de volgende combinaties optreden:

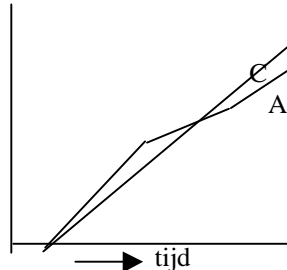
1. De passagecapaciteit is gelijk of groter dan het aanbod. Er zijn geen wachttijden.
2. De passagetijd is kleiner dan het aanbod. Er ontstaat enige wachttijd maar deze leidt niet tot verlenging van de ontruimingstijd.
3. De passagetijd leidt tot een verlenging van de ontruimingstijd.

Een bijzonderheid vormt de helling van de A lijn t.o.v. van de C lijn voor het gedeelte van de autobus. Als de helling van de C lijn geringer is er specifiek voor de autobus een wachttijd. De passagecapaciteit van 1 pers/sec is juist gelijk aan de snelheid van uitstappen van 1 pers/sec. Er treedt dus geen vertraging op. Bij een lagere capaciteit van de vluchtingang treedt er wel vertraging op.

Situatie 1



Situatie 2



Situatie 3

