



RAPPORT BV-74-87.

DE BRANDVEILIGHEIDSASPECTEN VERBONDEN
AAN HET VERVOER VAN PERSONEN DOOR DE
SCHIPHOLTUNNEL.

IBBC

Centrum voor Brandveiligheid

Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies

Lange Kleiweg 5, Rijswijk (Z-H) - postbus 49 Delft tel. 015-150222

centrum voor brandveiligheid

LANGE KLEIWEG 5
RIJSWIJK Z.H.

POSTBUS 49 - DELFT
TEL. 01730 - 38222

RAPPORT

NO. BV - 74 - 87.

OPDRACHTNO; 09.6.1289.
1974-12-12.

TR.: DE BRANDVEILIGHEIDSASPECTEN VERBONDEN AAN HET VERVOER VAN PERSONEN
DOOR DE SCHIPHOLTUNNEL.

AAN
Nederlandse Spoorwegen
Dienst van Weg en Werken
Bouwbureau Amsterdam
Julianaplein 6
AMSTERDAM.



Werkzaamheden ten behoeve van opdrachtgevers worden slechts uitgevoerd op voorwaarde, dat de opdrachtgever afstand doet van ieder recht op aansprakelijkstelling en zich verplicht tot vrijwaring voor iedere aansprakelijkheid jegens derden, een en ander behalve indien en voor zover grave schuld en/of opzet wordt aangetoond.

Deze rapporten mogen slechts woordelijk en in zijn geheel worden gepubliceerd; vo. reclame alleen na schriftelijke toestemming.

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87
Opdrachtno. 09.6.1289.

BLAD No. 1.

RAPPORT BETREFFENDE DE BRANDVEILIGHEIDSASPECTEN VERBONDEN AAN
HET VERVOER VAN PERSONEN DOOR DE SCHIPHOLTUNNEL.

Aan: Nederlandse Spoorwegen
Dienst van Weg en Werken
Bouwbureau Amsterdam
Julianaplein 6
AMSTERDAM.

I N H O U D.

- 1) Inleiding.
- 2) Resultaten van het onderzoek.
 - 2.1. de tijdschaal.
 - 2.2. de rookproduktie van de brand.
 - 2.3. de rookverspreiding.
 - 2.4. mogelijke maatregelen en eindadvies.
- 3) Bijlagen.
 - 1) Werkrapport TPD-TNO-TH No. 300.212
 - 2) Werkrapporten IG-TNO C337 en C338
 - 3) Werkrapport CvB-TNO BV-74-62.

J:

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87
Opdrachtno. 09.6.1289. BLAD No. 2.

1. INLEIDING.

Zodra activiteiten door de mens worden ontplooid die binnen een omhulling plaatsvinden, komt de problematiek van de brandveiligheid sterker naar voren. Branden ontstaan, breiden zich uit en worden geblust. De kans op het ontstaan van brand is een statistisch gegeven, de uitbreiding van brand is veelal fysica bepaald alhoewel de vele stochastisch verdeelde variabelen voor een aanzienlijke spreiding in de uitkomsten verantwoordelijk zijn, het blussen van brand is een technische oplossing voor een acuut probleem.

Indien we uit het oogpunt van brandveiligheid het vervoeren door een tunnel van mensen bezien is het nuttig bovenstaande overwegingen systematisch uit te werken.

1. De kans op het ontstaan van brand in een trein die personen vervoert. Een statistisch gegeven dat verder door de N.S. dient te worden geëvalueerd.
2. De uitbreiding van brand. Deze wordt onderscheiden in de brandvoortplanting, uitbreiding van brand binnen het vertrek van ontstaan en branddoorslag; de branduitbreiding buiten het vertrek van ontstaan. De brandvoortplanting wordt beheerst door de aanwezige bekledingsmaterialen, de inventaris en de beschikbare hoeveelheid zuurstof. De branddoorslag wordt bepaald door de totaal aanwezige hoeveelheid vuurbelasting, de brandwerendheid van de omringende constructie en de ventilatie. Voor dit tunnelprobleem wordt gesteld dat branddoorslag, m.a.w. aantasting van de tunnelconstructie door brand voorlopig niet aan de orde is. Wat de brandvoortplanting betreft de binnenzijde van de tunnel zal niet worden bekleed met een brandbaar materiaal. Het brandbare materiaal van de trein en zijn inhoud is het enige wat in aanmerking komt.
3. De problematiek, verbonden aan het blussen van brand, die natuurlijk nauw samenhangt met het tijdstip van het ontdekken van de brand en de daarop volgende ondernomen acties, werd

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87 BLAD No. 3.
Opdrachtno. 09.6.1289.

niet in dit rapport verwerkt.

Het verrichte onderzoek waaryan de resultaten moesten leiden tot het aangeven van voorzieningen met behulp waaryan de veiligheid van personen kan worden gewaarborgd heeft zich toegespitst op punt 2, de uitbreiding van brand en de daarmee samenhangende rookproblematiek, alhoewel terzijde en vastgelegd in sommige besprekingsverslagen het risicoanalytische aspekt wel naar voren is gekomen.

Wat het gevaar voor de mensen betreft kunnen we het probleem nu als volgt definiëren:

- 1) Hoeveel rook produceert een brand.
- 2) Op welke wijze verspreidt zich de rook.
- 3) Hoeveel rook kan een mens, c.q. een groep mensen verdragen onder bepaalde omstandigheden.
- 4) Welke maatregelen zijn er ter bestrijding van dit rookprobleem.

Ter beantwoording van deze vragen werd door een aantal TNO-instituten onderzoek verricht, waarvan de resultaten werden vastgelegd in drie werkrapporten die als bijlagen zijn toegevoegd.

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87 BLAD No. 4.
Opdrachtno. 09.6.1289.

2. De resultaten van het onderzoek.

2.1. De tijdschaal.

Voordat er rook ontstaat dient er eerst vuur te zijn. In het rapport BV-74-62 werden indicaties gegeven welke soort van ontstekingsbron aanleiding kan geven tot het ontstaan van brand. De konklusie luidt dat er toch wel sprake moet zijn van onvoorzichtigheid dan wel opzet wil er brand ontstaan in het interieur van een wagon. Is er eenmaal brand ontstaan dan is het schuimrubber zoals dit verwerkt wordt in de zittingen verantwoordelijk voor een "snelle" brandvoortplanting. In het verdere onderzoek werden de volgende tijdstippen aangehouden als markeringen teneinde het verloop van de gebeurtenissen te beschrijven.

t = 0 minuten het ontstaan van brand.

t = 5 " De brand heeft zich ontwikkeld tot 1/10 gedeelte van de bak, treinstilstand, rookproduktie 1,2 kg/sec. Verblijf van passagiers in deze bak niet meer reëel. Passagiers stappen uit. De eerste passagier begint te lopen.

t = 6 " Inwerking stellen van de vluchtweg signalering.

t = 8 " De brand heeft zich ontwikkeld tot de hele bak. De ramen zijn voor 60% gesprongen. De rookproduktie nam lineair toe tot 12 kg/sec. De laatste passagier is uitgestapt en zet zich in beweging.

t = 15 " Reizigers zijn uit de gevarezone, c.q. hebben de tunnel verlaten.

t = 43 " De brand is haar hoogtepunt voorbij. De temperatuur is gedaald tot 80% van haar maximale waarde.

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87
Opdrachtno. 09.6.1289.

BLAD No. 5.

Naar aanleiding hiervan kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- 1) De vlamoverslagtijd, gedefinieerd als de tijdsduur tussen het moment van ontsteken en de vlamoverslag is naast de gebruikte materialen, geometrie en ventilatiecondities afhankelijk van de grootte en plaats van de ontstekingsbron. In de genomen proeven is de plaats van de ontstekingsbron vrij ongunstig gekozen, de grootte van de ontstekingsbron is nagenoeg gelijk gekozen aan die welke minimaal nodig is. Een grotere ontstekingsbron kan dus aanleiding zijn tot een nog kortere vlamoverslagtijd. Niettemin kan de gekozen vijfminutentijd gezien de ongunstige plaats en het feit dat de grootte van de ontstekingsbron toch al zodanig is dat gesproken moet worden van onvoorzichtigheid of opzet beschouwd worden als een vrij korte tijd.
- 2) Er wordt van uitgegaan dat akties ondernomen door de passagiers zich zullen beperken tot het trekken aan de noodrem. Des te meer passagiers aanwezig zijn, des te eerder zal de trein stilstaan en de evacuatie kunnen beginnen. De bezettingsgraad van de trein, gemiddeld en per bak kan dus van invloed zijn op het ontstaan van brand, het ontdekken van brand en op de evakuatietijd van de trein (zie ook memo 74-38 I.G.-BK). Bij het onderzoek is er van uitgegaan dat direkt na treinstilstand de passagiers uitstappen en dat na twee minuten de laatste passagier zich van de brand af zal kunnen verwijderen.
- 3) In het algemeen zullen bij brand de ramen van een gebouw springen. Op grond van de ervaringen van de Spoorwegen met enkele branden in treinstellen geldt dit niet voor het glas zoals dit in een trein wordt toegepast. Daarom werd in overleg gekozen voor een glasbreuk percentage van 60%. De invloed van veranderingen van het breukpercentage bleek bij nadere analyse niet groot te zijn (zie rapport

T.P.D. No. 300.212-blz. 21).

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87
Opdrachtno. 09.6.1289. BLAD No. 6.

4) In de rapporten betreffende rookverspreiding en de daarop volgende situatie aan het mengfront wordt een beeld gegeven zoals dit zich gedurende 10 minuten na treinstilstand kan voordoen. Er dient van te worden uitgegaan dat na deze 100 minuten, de reizigers uit de gevarezone zijn.

2.2. Hoeveel rook produceert een brand.

Deze vraag werd behandeld in het rapport van het Centrum voor Brandveiligheid BV-74-62.

De brand produceert een hoeveelheid rook op het moment van treinstilstand van 1,2 kg per sec. Deze hoeveelheid neemt in drie minuten tot 12 kg/sec. De temperatuur van de rookgassen is dan 600°C. De extinctiecoëfficiënt van de rookgassen is dan $4,8 \text{ m}^{-1}$ hetgeen overeenkomt met een zichtafstand van 0,5 meter. De koolmonoxyde concentratie bedraagt dan 0,5 vol %.

2.3. Op welke wijze verspreidt zich de rook?

De rook zal eerst vertikaal opstijgen en zich vervolgens in horizontale richting verspreiden. Tijdens het vertikaal opstijgen zal de rook zich met lucht vermengen (zie rapport CvB), verdunningsfactor bedraagt 0,43. De invloed van de verandering van de verdunningsfactor van b.v. 0,43 naar 0,6 bleek niet groot te zijn (zie rapport TPD blad no:20).

De horizontale verspreiding van de rook werd uitgebreid bestudeerd door de Technisch Fysische Dienst TNO en het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO. Bij deze studie bleek dat de mogelijk te nemen maatregelen ter bestrijding van het rookprobleem nauw samenhangen met de problematiek van de rookverspreiding. De beantwoording van de vragen 2 en 4 is dus sterk met elkaar verweven.

De wind en de beweging van de trein veroorzaken in de tunnel een luchtbeweging. De grootte en richting van deze luchtbeweging kan worden beïnvloed door het aanbrengen van ventilatiegaten die hetzij aan de uiteinden van de tunnel zijn aangebracht en dan vooral dienen ter beperking van de windinvloed,

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87 BLAD No. 7.
Opdrachtno. 09.6.1289.

hetzij regelmatig verdeeld over de tunnel worden aangebracht en dan tevens dienen als rookafvoerkappen. De windsnelheid en -richting, de treinsnelheid, lengte en ruwheid, de tunnellengete, de dwarsdoorsnede en ruwheid, zijn variabele doch gegeven grootheden waar niets aan kan worden veranderd. Wat de invloed is van deze grootheden op de luchtbeweging in de tunnel met diverse ventilatiemogelijkheden is uitgebreid beschreven in het werk-rapport C337 van het IG-BK, paragraaf 5.5. Deze basis luchtbe-weging nu dient gekombineerd te worden met de neiging van de rook om zich te verspreiden. In de studie van de TPD werd nage-gaan wat de factoren zijn die het verspreidingsmechanisme van de rook beïnvloeden. Het getal van Froude,

$$Fr = \left(\frac{\rho v^2}{g \Delta \rho d} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ bepaalt de horizontale snelheidscomponent. Door}$$

afkoeling aan de wand daalt de temperatuur van de rookgassen. De stabiliteit van de rookgaslaag wordt bepaald met behulp van het getal van Richardson,

$$Ri = \left\{ \frac{\Delta \rho g d}{\rho (v_i - v_o)^2} \right\}. \text{ Voor een aantal constante luchtsnelheden}$$

met en zonder afkoeling van de rookgassen aan het tunneldak konden nu uitspraken worden gedaan over de dikte van de rook-laag, tijd nodig voor het bereiken van een ventilatiekap, over de tijd en plaats van het ontstaan van het menghout en over de temperatuur van de rook bij een ventilatiekap. Deze gegevens werden gekombineerd met de gegevens betreffende de variërende basisluchtsnelheid. Dit werd uitgevoerd door het IG-BK hetgeen beschreven staat in de paragrafen 5.6 en 5.8 van voornoemd rap-port. In hoeverre deze vormen van rookverspreiding inderdaad gevaar opleveren voor de reizigers kan worden nagegaan door oof de reizigersstroom in de beschouwingen te betrekken. Op deze wijze konden zogenaamde ontsnappingsdiagrammen worden samenge-steld waarin alle variabele grootheden hun plaats hebben gevon-den (IG-BK paragraaf 5.8). In deze ontsnappingsdiagrammen en de

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

RAPPORT No. BV-74-87
Opdrachtno. 09.6.1289.

BLAD No. 8.

daaruit getrokken konklusies is impliciet het feit verwerkt dat wanneer mengrook optreedt de tunnel op deze plaats geblokkeerd is voor verdere doorgang van de reizigers (BV-74-62, pag. 18 en 19). In feite de beantwoording van vraag 3.

2.4. Welke maatregelen zijn er ter bestrijding van het rookprobleem.

De maatregelen die genomen kunnen worden om de reizigers te beveiligen tegen het rookgevaar zijn van uiteenlopende aard. Buiten het kader van deze studie is te denken aan:

1. Opleiding van personeel en voorlichting aan het publiek
2. Installatie van blus- en rookmeldapparatuur.

Binnen het kader van deze studie kan in principe gedacht worden aan:

1. materiaalkeuze, b.v. de vervanging van PVC en het schuimrubber van de zittingen
2. een vluchtweg signalering
3. beperking van windinvloed op tunnel inrit- en uitritopeningen
4. beperking van treinlengte en rijsnelheden
5. het aanbrengen van vluchtopeningen
6. het aanbrengen van ventilatieopeningen
7. het inwendig isoleren van de tunnel
8. blokkering van het overige treinverkeer.

Naar aanleiding van het gevoerde overleg met de Nederlandse Spoorwegen waaruit bleek dat b.v. een aantal van bovengenoemde maatregelen slechts in beperkte mate toegepast kunnen worden, werd van TNO-zijde op grond van de uitgevoerde studie een zestal maatregelen opgesteld welke onderzijds nodig geacht werden, te einde het vervoer van reizigers in de Schipholtunnel op veilig wijze te doen plaatsvinden.

centrum voor brandveiligheid

St/jh
1974-12-12

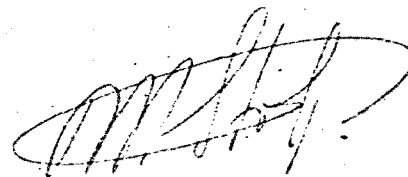
RAPPORT No. BV-74-87
Order No. 09.6.1289.

BLAD No. 9.

Deze maatregelen staan vermeld in brief No.74 BV 1556 St/jh dd. 27 mei 1974 waarnaar korthedshalve verwezen wordt.

Naderhand werd door het IG-BK nog aandacht besteed aan de situatie die ontstaat bij de nadering van een tweede trein. In memo No.74-69 werd de invloed nagegaan van een "andere" trein op de juistheid van een eenvoudige vluchtweg signalering. De konklusie luidt dat de eenvoudige vluchtweg signalering die geen rekening houdt met een andere trein in 10 tot 30% van de gevallen een onjuiste vluchtwegindicatie oplevert.

CENTRUM VOOR BRANDVEILIGHEID TNO



Drs. M. Stolp.