

# Notitie

|                  |                           |         |                   |
|------------------|---------------------------|---------|-------------------|
| BERICHT AAN      | : Gemeente Soest          | DATUM   | : 21 maart 2014   |
| TER ATTENTIE VAN | : de heer F. Supusepa     | KENMERK | : SB G/POLR/HH99/ |
| BERICHT VAN      | : Servicebureau Gemeenten |         |                   |
| AFZENDER         | : dhr. R. Polman          | TEL.NR  | : 033-460 9154    |
| ONDERWERP        | : Verdiepte ligging N237  |         |                   |
| KOPIE AAN        | : nvt                     |         |                   |

## Inleiding

Het voornemen bestaat om een gedeelte van de N237 verdiept aan te leggen. Voor de bepaling van noodzakelijke veiligheidsmaatregelen is in eerste instantie uitgegaan van een maximale ladingbrand met een vermogen van 50 MW.

Op 12 maart 2014 is bijgaande notitie (bijlage 1) aan de heer F. Supusepa van de gemeente Soest gezonden. Naar aanleiding van deze notitie is verzocht een inschatting te geven van de kans dat een calamiteit zich voordoet bij de geplande overkluizing van de N237. Aan de hand van deze kans kan een uitspraak worden gedaan of het redelijk is uit te gaan van een ladingbrand van maximaal 50 MW of 100 MW.

## Uitgangspunten

De kans op een brand bedraagt voor zowel personenauto's, bussen als vrachtwagens  $2 \cdot 10^{-8}$  per kilometer (bron:

[http://www.rijkswaterstaat.nl/Images/Statistische%20kans%20brand%20tunnels%20TNO\\_tcm174-346475.pdf](http://www.rijkswaterstaat.nl/Images/Statistische%20kans%20brand%20tunnels%20TNO_tcm174-346475.pdf), De statistische kans op brand in tunnel, TNO 22 januari 2013).

De provincie Utrecht heeft prognoses voor het jaar 2022 ter beschikking gesteld voor het weggedeelte waar de verdiepte ligging zal worden gerealiseerd. Deze prognoses zijn tevens als bijlage 2 bij deze notitie gevoegd.

Er is gerekend met een tunnellengete van 210 meter.

## Berekening

De kans op een tunnelbrand in de verdiepte ligging bij de N237 bedraagt:

$10900 \text{ voertuigen} \cdot 365 \text{ dagen} \cdot 2 \cdot 10^{-8} \cdot 0,21 = 0,017 \text{ per jaar}$

Dit is de kans op zowel personenautobranden als vrachtwagenbranden.

Personenautobranden hebben een brandvermogen van ca 5 MW en zullen om deze reden geen noemenswaardige schade aan de tunnel aanrichten.

Een vrachtwagenbrand heeft doorgaans een vermogen van 25 MW (ongeladen vrachtwagen) of meer (beladen vrachtwagen). In het wettelijk voorgeschreven rekenmodel RWSQRA wordt uitgegaan van een verhouding 50-50 tussen geladen en ongeladen vrachtwagens.

Niet alle ladingbranden zullen zich ontwikkelen tot een vermogen van meer dan 50 MW. In het kansenmodel dat is ontwikkeld voor RWAQRA 2.0 wordt gerekend met de volgende conservatieve verhouding:

- ladingbranden 50 MW :60%

- ladingbranden 100 MW: 40% (afgerond)
- ladingbranden 200 MW: zeer kleine kans omdat hiervoor brandoverslag tussen twee vrachtwagens met een groot brandvermogen moet optreden

Het aandeel aan middelzwaar- en zwaar verkeer over de N237 is (6,1% + 1,3 %) 7,4 %

Hiermee zijn de volgende kansen per jaar berekend:

- 50 MW:  $3,7 \cdot 10^{-4}$  per jaar  
 $(10900 \cdot 365 \text{ (aantal voertuigen in 2022)}) \cdot 0,21 \text{ (tunnellengte)} \cdot 0,074 \cdot \text{fractie vrachtwagens} \cdot 0,5 \text{ (fractie brandbare lading)} \cdot 2 \cdot 10^{-8} \text{ (branden per voertuigkilometer)} \cdot 0,6 \text{ (fractie branden 50 MW)}$
- 100 MW:  $2,47 \cdot 10^{-4}$  per jaar  
 $(10900 \cdot 365 \text{ (aantal voertuigen in 2022)}) \cdot 0,21 \text{ (tunnellengte)} \cdot 0,074 \cdot \text{fractie vrachtwagens} \cdot 0,5 \text{ (fractie brandbare lading)} \cdot 2 \cdot 10^{-8} \text{ (branden per voertuigkilometer)} \cdot 0,4 \text{ (fractie branden 100 MW)}$

Ter vergelijking van de hierboven berekende kansen is in bijlage 1 vermeld welke kansen bij de Leidse Rijn tunnel zijn berekend. Voor een 50 MW brand bedraagt deze kans 0,06 per jaar en voor een 100 MW brand 0,04 per jaar.

In de hierboven vermelde rapportage "De statistische kans op brand in tunnel, TNO 22 januari 2013" is vermeld dat in geen enkele tunnel in Nederland zich een grote vrachtwagenbrand (>50 MW) heeft voorgedaan.

#### Advies

De kans op een brand met een vermogen van 50 MW is voor de verdiepte ligging van de N237 relatief klein. In vergelijking met de kans op een brand in de Leidse Rijn tunnel is deze kans 162 maal kleiner. De kans op een 100 MW brand is 161 maal kleiner dan een vergelijkbare brand in de Leidse Rijn tunnel. Gezien deze relatief kleine kans en het gegeven dat er nog nooit een brand met een vermogen van 50 MW of meer heeft voorgedaan in een Nederlandse tunnel is naar de mening van het Servicebureau/Gemeenten het uitgangspunt om uit te gaan van een maximale brandgrootte van 50 MW een logische keuze.

Uit het bespreekverslag tussen de VRU, Grontmij en de provincie Utrecht van 27 februari 2014 (zie bijlage 3) blijkt dat zich problemen voordoen met de minimale zichtlengte indien met een hogere waarde dan 50 MW wordt gerekend. Dit is tevens het geval indien met een niet-windstille weersgesteldheid wordt gerekend. Het uitgangspunt om te rekenen met een waarde van 50 MW is verdedigbaar. Of het tevens verdedigbaar is om te rekenen met een windstille omgeving dient nog nader gemotiveerd te worden indien deze keuze wordt gemaakt.

# Notitie

|                  |                           |         |                   |
|------------------|---------------------------|---------|-------------------|
| BERICHT AAN      | : Gemeente Soest          | DATUM   | : 12 maart 2014   |
| TER ATTENTIE VAN | : de heer F. Supusepa     | KENMERK | : SB G/POLR/HH99/ |
| BERICHT VAN      | : Servicebureau Gemeenten |         |                   |
| AFZENDER         | : dhr. R. Polman          | TEL.NR  | : 033-460 9154    |
| ONDERWERP        | : Verdiepte ligging N237  |         |                   |
| KOPIE AAN        | : nvt                     |         |                   |

## Inleiding

Op 4 maart 2014 heeft de heer F. Supusepa van de gemeente Soest aan het servicebureau|Gemeenten verzocht een advies uit te brengen over de notitie "Verdiepte ligging N237 ter hoogte van Soesterberg – Notitie uitgangspunten rook- en warmteontwikkeling bij brand" (Grontmij, 18 december 2013). Over de uitgangspunten bij deze notitie heeft overleg plaatsgevonden tussen de VRU, provincie Utrecht en Grontmij. Over dit overleg is een besprekingsverslag opgesteld welke tevens aan het SB|G is toegezonden. Telefonisch is toegelicht dat de discussie zich met name richt op de vraag of bij modellering moet worden uitgegaan van een brandvermogen van maximaal 50 of 100 MW.

## Tunnelveiligheid

Uit de toegestuurde stukken is geen onderbouwing gegeven waarom uitgegaan moet worden van 50 of 100 MW. Zodoende is gezocht naar informatie welke ter onderbouwing voor deze keuze kan dienen.

Voor tunnels langer dan 250 meter is in de Nederlandse tunnelwetgeving (Warvw 2013) de norm voor de interne veiligheid van weg(tunnel)gebruikers vastgelegd. In de bijbehorende regeling (Rarvw 2013) is ook de methodiek waarmee dit moet worden getoetst voorgeschreven: de kwantitatieve risicoanalyse (QRA)-tunnels.

(zie:

[http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/veiligheid/steunpunt\\_tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/veiligheid/steunpunt_tunnelveiligheid/veiligheidsbeschouwingen/)

Op [http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/veiligheid/steunpunt\\_tunnelveiligheid/documenten/](http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/veiligheid/steunpunt_tunnelveiligheid/documenten/) is een link opgenomen naar "Grote vrachtwagenbrand in tunnel A2 Leidsche Rijn –risico's schade en kosteneffectiviteit maatregelen, Steunpunt Tunnelveiligheid, 27 juli 2010".

Op pagina 10, paragraaf 2.2 is aangegeven dat de kans op een tunnelbrand circa  $2 \cdot 10^{-8}$  per voertuigkilometer bedraagt. Als voorbeeld is de LeidseRijn tunnel vermeld: 1,65 km, 144.000 voertuigen per etmaal :  $144.000 \cdot 365 \cdot 2 \cdot 10^{-8} \cdot 1,65 = 1,7$  per jaar. Dit is de kans op zowel personenautobranden als vrachtwagenbranden.

Personenwagenbranden hebben een brandvermogen van ca 5 MW en zullen om deze reden geen noemenswaardige schade aan de tunnel aanrichten.

Een vrachtwagenbrand heeft doorgaans een vermogen van 25 MW (ongeladen vrachtwagen) of meer (beladen vrachtwagen). In het wettelijk voorgeschreven rekenmodel RWSQRA wordt uitgegaan van een verhouding 50-50 tussen geladen en ongeladen vrachtwagens.

Niet alle ladingbranden zullen zich ontwikkelen tot een vermogen van meer dan 50 MW. In het kansenmodel dat is ontwikkeld voor RWAQRA 2.0 wordt gerekend met de volgende conservatieve verhouding:

- ladingbranden 50 MW :60%
- ladingbranden 100 MW: 40% (afgerond)
- ladingbranden 200 MW: zeer kleine kans omdat hiervoor brandoverslag tussen twee vrachtwagens met een groot brandvermogen moet optreden

Bij de LeidseRijn is het aandeel van vrachtwagens 0,114 per jaar. Hiermee zijn de volgende kansen per jaar berekend:

- 50 MW: 0,06 per jaar  
 $(144.000 * 365 \text{ (aantal voertuigen in 2020)} * 1,65 \text{ (tunnellengte)} * 0,114 * \text{fractie vrachtwagens}) * 0,5 \text{ (fractie brandbare lading)} * 2 * 10^{-8} \text{ (branden per voertuigkilometer)} * 0,6 \text{ (fractie branden 50 MW)}$
- 100 MW: 0,04 per jaar  
 $(144.000 * 365 \text{ (aantal voertuigen in 2020)} * 1,65 \text{ (tunnellengte)} * 0,114 * \text{fractie vrachtwagens}) * 0,5 \text{ (fractie brandbare lading)} * 2 * 10^{-8} \text{ (branden per voertuigkilometer)} * 0,4 \text{ (fractie branden 100 MW)}$
- 200 MW: 0,0005 MW per jaar (berekend adhv aantal tankwagens door de tunnel, zie evt pg 11 van het onderzoek middels de link hierboven).

#### Kans op brand 50/100 MW

In het besprekingsverslag dat is opgesteld naar aanleiding van het overleg tussen de provincie Utrecht, VRU en Grontmij is als één van de mogelijke oplossingen aangegeven dat het College van de gemeente Soest kan besluiten het restrisico bij de uitgangspunten 50 MW te accepteren. Nergens is echter aangegeven wat de kans is op een ongeval met een brandvermogen van 50 of 100 KW. Net als hierboven in het voorbeeld van de LeidseRijn tunnel valt voor de overkluising uit te rekenen wat de kans is op dergelijke branden. Aangezien de lengte van de tunnel kleiner is dan de LeidseRijn tunnel en het aantal vervoersbewegingen beduidend lager zal zijn, zal deze kans logischerwijs lager uitvallen. Geadviseerd wordt om pas een uitspraak te doen over de keus tussen 50 of 100 MW, nadat duidelijk is welke kansen bij deze keuzen horen.

Ter informatie is op pagina 12 van bovengenoemde studie "Grote vrachtwagenbrand in tunnel A2 Leidsche Rijn –risico's schade en kosteneffectiviteit maatregelen, Steunpunt Tunnelveiligheid, 27 juli 2010" opgenomen dat Nederland van 1942 tot 2010 ongeveer 24 wegtunnels had, welke gemiddeld 34 jaar bestaan. In geen enkele tunnel heeft zich een grote vrachtwagenbrand (>50 MW) voorgedaan. De enige grote brand in een Nederlandse tunnel was de brand in de Velsertunnel in 1978. Deze brand had een vermogen < 50 MW.

| <b>N237<br/>tussen Montgomeryweg en Tammerrotonde</b> |                                              | <b>Jaar<br/>2009</b> | <b>Jaar<br/>2022</b> |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Gemiddelde<br>weekdagintensiteit                      |                                              | 10300 Mvt/wde        | 10900 Mvt/wde        |
| Gemiddeld uur<br>dagperiode (7:00-<br>19:00)          | Percentage van de gem.<br>weekdagintensiteit | 81.6 %               | 83.3 %               |
|                                                       | Onderverdeling Licht verkeer                 | 92.5 %               | 92.6 %               |
|                                                       | Onderverdeling middelzwaar<br>verkeer        | 6.0 %                | 6.1 %                |
|                                                       | Onderverdeling zwaar verkeer                 | 1.5 %                | 1.3 %                |
| Gemiddeld uur<br>avondperiode (19:00-<br>23:00)       | Percentage van de gem.<br>weekdagintensiteit | 10.1 %               | 9.9 %                |
|                                                       | Onderverdeling Licht verkeer                 | 96.0 %               | 95.6 %               |
|                                                       | Onderverdeling middelzwaar<br>verkeer        | 3.4 %                | 3.2 %                |
|                                                       | Onderverdeling zwaar verkeer                 | 0.6 %                | 1.2 %                |
| Gemiddeld uur<br>nachtperiode (23:00-<br>7:00)        | Percentage van de gem.<br>weekdagintensiteit | 8.3 %                | 6.8 %                |
|                                                       | Onderverdeling Licht verkeer                 | 88.9 %               | 88.5 %               |
|                                                       | Onderverdeling middelzwaar<br>verkeer        | 7.7 %                | 8.2 %                |
|                                                       | Onderverdeling zwaar verkeer                 | 3.4 %                | 3.3 %                |

| <b>N237<br/>Tussen Tammerrotonde en N413</b>    |                                              | <b>Jaar<br/>2009</b> | <b>Jaar<br/>2022</b> |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Gemiddelde<br>weekdagintensiteit                |                                              | 14100 Mvt/wde        | 16200 Mvt/wde        |
| Gemiddeld uur<br>dagperiode (7:00-<br>19:00)    | Percentage van de gem.<br>weekdagintensiteit | 81.6 %               | 83.3 %               |
|                                                 | Onderverdeling Licht verkeer                 | 92.5 %               | 92.6 %               |
|                                                 | Onderverdeling middelzwaar<br>verkeer        | 6.0 %                | 6.1 %                |
|                                                 | Onderverdeling zwaar verkeer                 | 1.5 %                | 1.3 %                |
| Gemiddeld uur<br>avondperiode (19:00-<br>23:00) | Percentage van de gem.<br>weekdagintensiteit | 10.1 %               | 9.9 %                |
|                                                 | Onderverdeling Licht verkeer                 | 96.0 %               | 95.6 %               |
|                                                 | Onderverdeling middelzwaar<br>verkeer        | 3.4 %                | 3.2 %                |
|                                                 | Onderverdeling zwaar verkeer                 | 0.6 %                | 1.2 %                |
| Gemiddeld uur<br>nachtperiode (23:00-<br>7:00)  | Percentage van de gem.<br>weekdagintensiteit | 8.3 %                | 6.8 %                |
|                                                 | Onderverdeling Licht verkeer                 | 88.9 %               | 88.5 %               |
|                                                 | Onderverdeling middelzwaar<br>verkeer        | 7.7 %                | 8.2 %                |
|                                                 | Onderverdeling zwaar verkeer                 | 3.4 %                | 3.3 %                |

2009 1 jaar voor reconstructie

2022 10 jaar na reconstructie

### **De verkeersintensiteiten voor het akoestisch onderzoek N237 nabij de Tammerrotonde:**

De rotonde is in 2010 omgebouwd van dubbelstrooks rotonde naar turborotonde. De situatie is in eerste instantie als tijdelijke maatregel genomen om extra verkeer vanwege de reconstructie van de A28 te kunnen verwerken. Omdat de verkeersafwikkeling beter verloopt en de veiligheid beter is dan de dubbelstrooks rotonde wil de provincie de maatregel permanent maken.

2009 is aangehouden als 1 jaar voor reconstructie ( de turborotonde is in 2010 gemaakt). Omdat we nu de maatregel permanent willen maken nemen we de verkeersintensiteit 10 jaar na het huidige jaar 2012 dat is 2022 als uitgangspunt voor de geluidberekening.

BPu 190712

## Verantwoording

**Titel** : Verdiepte ligging N237  
Ter hoogte van Soesterberg

**Subtitel** : Uitgangspunten rook- en warmteontwikkeling bij brand

**Projectnummer** : 324266

**Referentienummer** :

**Revisie** : 1

**Datum** : 18 december 2013

**Auteur(s)** : Ing. R.N. Out

**E-mail adres** : Rob.Out@grontmij.nl

**Gecontroleerd door** : Ing. M.J. van der Ploeg

**Paraaf gecontroleerd** :

**Goedgekeurd door** : F. Rauws

**Paraaf goedgekeurd** :

**Contact** : De Holle Bilt 22  
3732 HM De Bilt  
Postbus 203  
3730 AE De Bilt  
T +31 30 220 74 44  
F +31 30 220 45 59  
www.grontmij.com

# **Verdiepte ligging N237 ter hoogte van Soesterberg**

Notitie uitgangspunten rook- en warmteontwikkeling bij brand

Definitief

Provincie Utrecht  
Archimedeslaan 8  
3584 BA Utrecht

Grontmij Nederland BV  
De Bilt, 18 december 2013

# Inhoudsopgave

|     |                                         |   |
|-----|-----------------------------------------|---|
| 1   | Inleiding .....                         | 2 |
| 2   | Ontwerp uitgangspunten .....            | 3 |
| 2.1 | Eisen vanuit wet- en regelgeving .....  | 3 |
| 2.2 | Uitwerking in voorontwerp .....         | 4 |
| 2.3 | Ontwerpbrand .....                      | 5 |
| 2.4 | Controle berekening op zichtlengte..... | 5 |
| 3   | Invloed wind.....                       | 7 |
| 3.1 | Analyse weerdata.....                   | 7 |
| 4   | CFD .....                               | 8 |
| 4.1 | Standaard CFD .....                     | 8 |
| 4.2 | Maatwerk CFD .....                      | 8 |
| 5   | Uitgangspunten tbv CFD .....            | 9 |
| 5.1 | Aan te houden uitgangspunten .....      | 9 |

# 1      **Inleiding**

Het ontwerp van de onderdoorgang in de verdiepte ligging voldoet aan wet- en regelgeving ten aanzien van eisen die aan brandveilig gebruik gesteld worden. In deze notitie wordt nader ingegaan op de rook- en warmteontwikkeling bij brand en worden uitgangspunten benoemd voor een simulatie van een brand. De uitkomsten van de simulatie kunnen worden aangewend om te bepalen of aanvullende veiligheid verhogende maatregelen wenselijk zijn.

## 2 Ontwerp uitgangspunten

### 2.1 Eisen vanuit wet- en regelgeving

In het Bouwbesluit 2012 is het volgende over tunnels opgenomen

#### Begripsbepaling

- **tunnelbuislengte:** lengte van het omsloten gedeelte van een tunnelbuis;
- **tunnellengte:** lengte van de wegtunnelbuis met de grootste tunnelbuislengte;

#### Artikel 3.32. Luchtverversing overige ruimte

6. Een tunnel heeft afhankelijk van zijn bestemming en tunnellengte een voorziening voor luchtverversing met voldoende capaciteit.

7. Bij een tunnelbuislengte van meer dan 500 m is de in het zesde lid bedoelde voorziening voor luchtverversing mechanisch.

#### Toelichting, art. 3.32

Het zesde lid heeft betrekking op de veiligheid van tunnels of tunnelvormige bouwwerken. Het zesde lid is een functionele eis die op iedere tunnel en ieder tunnelvormig bouwwerk van toepassing is. Er moet afhankelijk van het soort tunnel en de tunnellengte altijd voldoende luchtverversing zijn om de gezondheid van de gebruikers te kunnen waarborgen. Er moet rekening worden gehouden met de emissie van verontreinigende stoffen bij normaal verkeer, tijdens verkeerspieken en bij stilstand wegens een ongeval. Ook moet rekening worden gehouden met de beheersing van hitte en rook bij brand. Bij kortere tunnels kan de natuurlijke ventilatie via de tunnelopeningen soms voldoende zijn. In dergelijke gevallen wordt door het rijdend verkeer een langsstroming in de tunnelbuis opgewekt die in de meeste gevallen voldoende is voor verversing van de lucht. De schone lucht wordt dan aangevoerd via de ingang van de wegtunnelbuis en de vervuilde lucht verdwijnt via de uitgang. In sommige gevallen kan zelfs worden volstaan met de luchtbeweging door wind of tocht. In andere gevallen zijn aanvullende ventilatievoorzieningen nodig om voldoende ventilatiecapaciteit te waarborgen. Deze voorzieningen kunnen mechanisch zijn, maar dat hoeft niet. Welke ventilatiecapaciteit in een specifiek geval voldoende zal zijn, is voor wegtunnels af te lezen uit hoofdstuk 12 van de Veiligheids Richtlijn deel C (VRC), uitgave van Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Steunpunt Tunnelveiligheid, januari 2004. Bij een lange wegtunnelbuis kan niet worden vertrouwd op natuurlijke ventilatie. Het zevende lid bepaalt daarom dat de in het zesde lid bedoelde ventilatievoorziening bij een wegtunnelbuis met een tunnelbuislengte van meer dan 500 m altijd mechanisch moet zijn.

#### Artikel 3.34. Luchtkwaliteit

6. Bij een wegtunnelbuis met een tunnelbuislengte van meer dan 250 m vindt de toevoer van verse lucht rechtstreeks van buiten plaats en de afvoer van binnenlucht rechtstreeks naar buiten.

#### VRC hoofdstuk 12:

2. Bij gesloten constructies korter dan 250m is geen (mechanische) ventilatie nodig. Hierbij hoort wel een goede set van vluchtvoorzieningen conform hoofdstuk 11.

*De natuurlijke ventilatie naar de uiteinden wordt bij gesloten constructies korter dan 250m voldoende geacht. De rook en gassen zullen zich langs het plafond naar buiten verplaatsen. Onder de rooklaag is, afhankelijk van de grootte van de brand, gedurende kortere of langere tijd vluchten mogelijk. Als gevolg hiervan blijft het groepsrisico beperkt. Stagnerende luchttoevoer naar de brand is gezien de korte afstanden naar de buitenlucht vrijwel uitgesloten. Met of zonder*

revisie 1

windinvloed hoeft de rook een korte afstand af te leggen naar de open lucht waar hij verder kan opstijgen en zal vermengen met de buitenlucht.

4. Maak bij gesloten constructies met een lengte van meer dan 250m maar minder dan 500m een afweging op basis van een analyse van het ontwerp met en zonder ventilatievoorzieningen. Maak deze afweging duidelijk aan de beleidsbeslissers en kom in gezamenlijk overleg tot een keuze.

Dit kan door het uitvoeren van:

- een kwantitatieve risicoanalyse en het daarmee bepalen van het risico;
- een scenarioanalyse en het daarmee beoordelen van de ongevalsituatie met brand op de mate van zelfredzaamheid en op hulpverlening; een groter aantal vluchtvoorzieningen dan gebruikelijk kan er bijvoorbeeld toe leiden dat ventilatie achterwege kan blijven.

Bepaal aan de hand hiervan de veiligheidswinst en zet deze af tegen de vereiste meerkosten. Bedenk daarbij dat, bij mechanische ventilatie, de voorzieningen niet beperkt blijven tot het ventilatiesysteem op zich, maar er ook elektrische voedingssystemen alsmede detectie- en besturingssystemen nodig zijn en een zekere vorm van bewaking.

Op basis van de eisen in het Bouwbesluit 2012 resteert van de voorgenoemde eisen alleen lid 2 uit de VRC 2004 hoofdstuk 12.

Het Bouwbesluit 2012 verwijst overigens naar een gedateerde versie van de VRC, er is inmiddels een versie d.d. 15 juni 2009. De tekst bij lid 2 in de versie van 2009 is echter gelijk aan die in versie van 2004.

Samenvatting eisen vanuit wet- en regelgeving:

Zorg voor een goede set vluchtvoorzieningen cfm hoofdstuk 11 VRC

## 2.2 Uitwerking in voorontwerp

In ontwerpnotitie GM-0072223 d.d. 28 augustus 2012 behorende bij het voorontwerp zijn de navolgende uitgangspunten benoemd:

In paragraaf 4.5.4 Bescherming tegen brand

In verband met bescherming van de constructie tegen brand wordt geadviseerd om in het definitief ontwerp de volgende voorzieningen op te nemen:

- Bij brand in het gesloten of open deel van de verdiepte ligging zal brandweer de brand benaderen vanaf het maaiveldniveau (Postweg en Montgomeryweg). Om op het niveau van de N237 dient aan weerszijde van de landtunnel een taludtrap te komen, aan de zijde waar het verkeer de tunnel inrijdt.
- De trappen dienen zowel op huidige maaiveldniveau als toekomstig niveau van de verdiepte N237 te worden afgeschermd door een hekwerk met een deur.
- Bij de Postweg en de Montgomeryweg dient een watervoorziening met een capaciteit van 90 m<sup>3</sup>/uur gerealiseerd te worden. Dit kan door Vitens worden verzorgd of door middel van 2 geslagen brandputten
- Tussen de Montgomeryweg en Postweg dienen aan weerszijde van de N237 in de landtunnel droge blusleidingen te worden opgenomen met een maximale hart-op-hart afstand van 80 m.

In paragraaf 4.5.5 Vluchten

Aangezien het gesloten deel van de landtunnel een lengte heeft van 210 m zal in principe de Maximale vluchtweg 105m zijn. Op basis van deze lengte hoeven er volgens hoofdstuk 11 uit de VRC geen extra vluchtdeuren en kanalen te worden opgenomen in het ontwerp. Er wordt wel geadviseerd in de vervolgfase nader aandacht te besteden aan de volgende aspecten

- De middenberm moet geschikt zijn voor vluchten.
- Opstellen van een rooksimulatie berekening (een CFD) waarin is aangetoond dat bij brand aan het begin van de tunnel, in combinatie met een wind die de tunnel in waait, de weggebruikers de mogelijkheid hebben om te vluchten. Op basis van deze berekeningen kan worden bepaald of een trappartij halverwege de landtunnel vereist is.

revisie 1

- Verder dient het ontwerp te voldoen aan de eisen uit paragraaf 11.5 van VRC voor zover van toepassing

#### In paragraaf 4.5.6 Ventilatie

Aangezien de lengte van de landtunnel minder is dan 250 m (210 m) worden er op basis van de VRC geen nadere eisen gesteld aan een mechanische ventilatie.

### 2.3 Ontwerpbrand

Voor het ontwerp van een tunnel is het gebruik, type voertuigen en de vereiste beschikbaarheid van belang. Voor verkeerswegen die cruciaal zijn kunnen hoge eisen worden gesteld aan de beschikbaarheid, de afweging moet worden gemaakt tussen kans van optreden van een incident, het gevolg (de schade, tijdsduur niet beschikbaar zijn van de tunnel) en kosten. Aldus is voorgesteld om een brandvermogen van 50MW voor een vrachtauto aan te houden.

Om hiermee vervolgens te kunnen rekenen zijn nog enkele uitgangspunten noodzakelijk:

- Afmetingen vrachtauto: 2,5 x 18 x 4m (b x l x h)
- Verbrandingswaarde voor het totaal aan brandbare materialen in een voertuig:  $U = 35 \text{ MJ/kg}$
- uitbreidingsnelheid van  $100 \text{ kW/s}^2$
- Rookpotentieel vuurlast  $R = 100 \text{ m}^{-1} \text{ m}^3/\text{kg}$
- Brandende vrachtauto staat in het midden van de tunnel.

### 2.4 Controle berekening op zichtlengte

Het brandvermogen is niet stationair en daarmee is de rookproductie ook niet stationair. Toch is het mogelijk om een uitspraak te doen over de zichtlengte bij een stationaire beschouwing op het moment dat het maximale vermogen bereikt is, uitgaande van windstil weer. We gebruiken in Nederland hiervoor het volgende geaccepteerde verband dat geldt voor zicht op lichtgevende objecten, ie de vluchtwegsignalering:

$$Z = 3/RD \text{ en}$$

$$RD = (P \times R) / (U \times V)$$

met

$Z$  = zichtlengte in m

$RD$  = rookdichtheid in  $\text{m}^{-1}$

$P$  = afgegeven brandvermogen = 50 MW

$R$  = rookpotentieel =  $100 \text{ m}^{-1} \text{ m}^3/\text{kg}$  (cellulose)

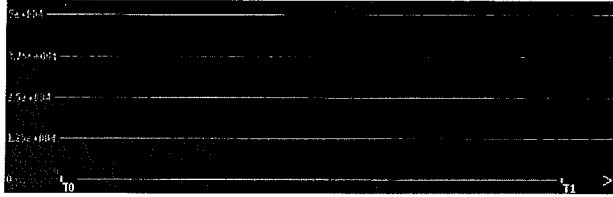
$U$  = verbrandingswaarde =  $35 \text{ MJ/kg}$

$V$  = ventilatiedebiet in  $\text{m}^3/\text{s}$

Aangezien er geen mechanische ventilatie aanwezig is, wordt de stuwende kracht gevormd door de uitzetting van de bovenste lucht (rook) laag. Als gevolg van de opwarming neemt de druk in beginsel toe, echter aangezien de tunnel (aan beide zijden) open is zal drukvereffening plaatsvinden met de natuurlijke ventilatie als gevolg. Via beide tunnelmonden stroomt koude lucht toe aan de onderzijde en de hete rookgassen stromen bovenlangs naar buiten. Tussen de beide lagen is sprake van een zogenaamd neutraal vlak. Zo lang de snelheidsverschillen tussen de koude en warme luchtlaag beperkt blijft, zal menging tussen de beide lagen beperkt blijven.

Het ventilatie debiet kan bepaald worden uit het convectief deel van het brandvermogen en het temperatuurverschil tussen de koude en warme luchtlaag. Een deel van de bij de brand vrijkomende energie wordt namelijk opgenomen door de constructie. Een wat conservatieve benadering is dat de energie naar de constructie nihil is, daarmee wordt de volledige 50 MW convectief afgevoerd. Het maximaal vermogen komt pas vrij na ruim 10 minuten, de temperatuur in de hete bovenlaag (doch niet direct boven de brand waar de temperatuur veel hoger kan worden) is dan al opgelopen tot meer dan  $600^\circ\text{C}$ . Voor de ontwerp temperatuur van de koude laag wordt

doorgaans 20°C aangehouden. Om de temperatuur van de hete bovenlaag meer concreet te kunnen bepalen moet met CFD een analyse worden gemaakt.



De opbouw van het brandvermogen verloopt kwadratisch in de tijd totdat bij 670 s het maximum van 50 MW is bereikt, zodra de brandweer start met haar inzet neemt het brandvermogen weer af. Een en ander is in bovenstaande grafiek gevisualiseerd.

Vluchten onder 200°C wordt doorgaans als acceptabel aangemerkt, 300°C veroorzaakt pijn en temperaturen hoger dan 400°C (ernstige) brandwonden. Bij 200°C wordt de zichtlengte in de uittredende hete rooklaag als volgt.

Het ventilatiedebiet  $m$  (in kg/s) volgt uit:

$$m = P / (\text{temp verschil} \times \text{soortelijke warmte}) = 50.000.000 / [200-20] \times 1000 = 278 \text{ kg/s}$$

Om te komen tot het volumedebiet moeten we dit delen door de soortelijke massa ( $\rho$ ) van de hete rooklaag, die volgt uit  $\rho = 353/T$  met de temperatuur ( $T$ ) in Kelvin.  $\rho$  is dan 0,75 kg/m<sup>3</sup>. Daarmee wordt het gezochte volumedebiet  $V = 278 / 0,75 = 371 \text{ m}^3/\text{s}$  en kunnen we vervolgens de rookdichtheid bepalen, die wordt dus  $RD = (50.000.000 \times 100) / (35.000.000 \times 371) = 0,39 \text{ m}^{-1}$ .

De zichtlengte in de rooklaag wordt dan  $Z = 3/0,39 = 7,7 \text{ m}$ .

Het autoverkeer draagt rijdend zorg voor het zogenaamde plunjereffect dat uitlaatgassen uit de tunnelbuis stuwt als het windstil is. In geval van een incident komen de voertuigen tot stilstand en ijlt dit plunjereffect nog kortstondig na, dit levert een beperkte turbulentie op. Bij tegengesteld verkeer in 1 gezamenlijke buis is sprake van turbulentie bij de middenbarrier omdat de plunjereffecten in tegengestelde richting werken, uittredende rook van een beginnende brand zal zich zodoende mengen met de instroomde buitenlucht. Het daadwerkelijke zicht zal dan ook variëren tussen "onbeperkt" (van de schone buitenlucht) en hiervoor berekende 7,7 m van de uittredende rook.

Om een beter inzicht te verkrijgen wanneer die temperatuur van 200°C wordt bereikt alsmede de invloed van de wind in de beschouwing mee te nemen is een CFD noodzakelijk.

### 3 Invloed wind

#### 3.1 Analyse weerdata

Om de invloed van de wind mee te kunnen nemen in de CFD, zijn de uurlijkse windgegevens van De Bilt over de jaren 2002 tot en met 2011 per windrichting bekeken. Voor elk uur geeft het KNMI de windrichting, de gemiddelde windsnelheid en de hoogste windstoot (maximale snelheid) aan.

Een statische analyse van de windsnelheden levert het volgende overzicht op:

| Windrichting   | Frequentie<br>[uren/jaar] | Frequentie<br>[-] | Snelheid<br>[m/s] | Std.Afwijking<br>[m/s] | Hoog (*)<br>[m/s] | Stoot (*)<br>[m/s] |
|----------------|---------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------|
| Windstil       | 119                       | 1,4%              |                   |                        |                   |                    |
| Veranderlijk   | 102                       | 1,2%              |                   |                        |                   |                    |
| A = Noord      | 744                       | 8,5%              | <b>2,98</b>       | 1,46                   | <b>6,5</b>        | <b>12,0</b>        |
| B = NoordOost  | 874                       | 10,0%             | <b>3,07</b>       | 1,47                   | <b>6,5</b>        | <b>11,0</b>        |
| C = Oost       | 860                       | 9,8%              | <b>3,23</b>       | 1,69                   | <b>7,5</b>        | <b>11,0</b>        |
| D = ZuidOost   | 791                       | 9,0%              | <b>2,88</b>       | 1,51                   | <b>6,5</b>        | <b>11,0</b>        |
| E = Zuid       | 1457                      | 16,6%             | <b>3,39</b>       | 1,66                   | <b>7,5</b>        | <b>13,0</b>        |
| F = ZuidWest   | 1736                      | 19,8%             | <b>4,22</b>       | 2,00                   | <b>9,0</b>        | <b>16,0</b>        |
| G = West       | 1292                      | 14,7%             | <b>3,59</b>       | 1,82                   | <b>8,5</b>        | <b>15,0</b>        |
| H = NoordWest  | 791                       | 9,0%              | <b>2,80</b>       | 1,34                   | <b>6,5</b>        | <b>13,0</b>        |
| A tot en met H | 8543                      | 97,5%             | <b>3,40</b>       | 1,76                   | <b>7,5</b>        | <b>14,0</b>        |
| E tot en met G | 4484                      | 51,2%             | <b>3,77</b>       | 1,88                   | <b>8,5</b>        | <b>15,5</b>        |

- (\*) Bij deze snelheid is de overschrijdingskans ongeveer 2,5%. Logischer wijze zijn de hierbij behorende waarden als "ontwerpwaarden" voor extreme situaties te gebruiken.

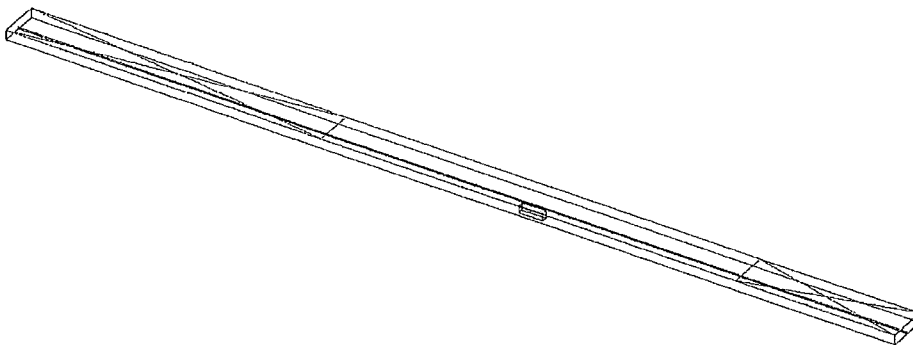
De overheersende windrichtingen Zuid, ZuidWest en West (kompasrichting 158° / 293°) vormen tezamen ruim 50% van de optredende stromingssituaties. De oriëntatie van de tunnel is globaal west-oost. Wind uit westelijke richting zorgt er voor dat de rook aan de oostelijke zijde zal uittreden. Wind uit zuidelijke richting kan er voor zorg dragen dat de rook aan beide tunnelzijden niet direct opstijgt uit de verdiepte ligging maar zich mengt met toetredende lucht. Aanbeveling is dan ook om beide windrichtingen te beschouwen.

## 4 CFD

### 4.1 Standaard CFD

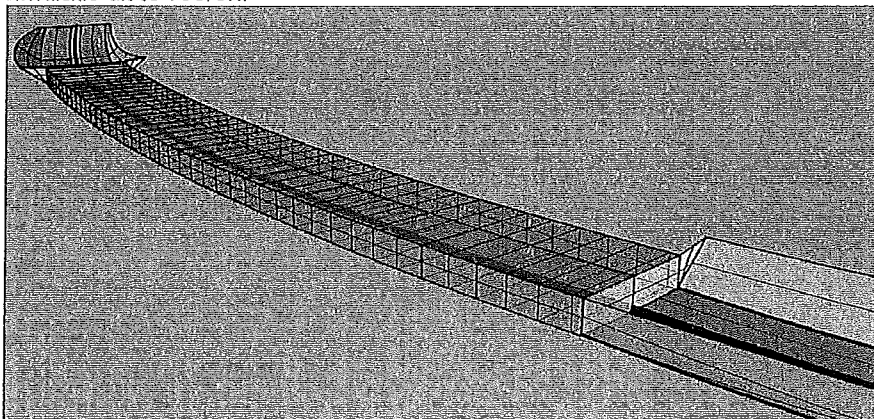
Bij het modelleringsproces worden niet alleen aannames gedaan ten aanzien van de ontwerp-brand maar ook vereenvoudigingen in de geometrie doorgevoerd omdat de editors van dit soort pakketten een rechthoekige mesh produceren. Gebogen tunnelvormen worden soms nog gemodelleerd in een getrapte vorm, doch de vereenvoudigingen leiden veelal tot een aanzienlijke invloed op de stroming en daarmee tot een beperkte relevantie, zoals onderstaand weergegeven. Dergelijke simulaties geven slechts een indicatie. De vorm van het talud heeft eveneens een belangrijke invloed op het toestromen van verse lucht en uittreden van rook.

De rekenkern van het pakket Smartfire van de Universiteit van Greenwich kan daarentegen wel overweg met complexe geometrieën die een unstructured mesh verlangen.



### 4.2 Maatwerk CFD

De technische specificaties die in bovenstaande rechthoekige geometrie zijn vastgelegd, zoals ontwikkeling van de brand, materiaal van de tunnel zijn aangehouden. De datafile die hiermee voor de CFD solver gegenereerd is, is gekoppeld aan de geometrie die met een speciaal CAD pakket is opgebouwd, zie onderstaande figuur. Deze maakt het nu mogelijk om een realistische simulatie uit te voeren.



## 5      **Uitgangspunten tbv CFD**

### 5.1      **Aan te houden uitgangspunten**

Alvorens het zeer rekenintensieve CFD te starten is overeenstemming nodig over de aan te houden uitgangspunten. Daartoe zijn in deze notitie de volgende uitgangspunten voorgesteld:

- Er brandt slechts 1 voertuig (vrachtauto) gelijktijdig
- Tunnel heeft geen middenwand, alleen een middenbarrier
- Brandvermogen vrachtauto 50 MW
- Afmetingen vrachtauto: 2,5 x 18 x 4m (b x l x h)
- Verbrandingswaarde voor het totaal aan brandbare materialen in een voertuig:  $U = 35 \text{ MJ/kg}$
- Uitbreidingssnelheid van  $100 \text{ kW/s}^2$  totdat maximum van 50 MW bereikt wordt
- Rookpotentieel vuurlast  $R = 100 \text{ m}^{-1}\text{m}^3/\text{kg}$
- Brandende vrachtauto staat in het midden van de tunnel
- Brandweer start haar inzet 20 minuten na detectie brand
- Wind komt uit zuidelijke richting met snelheid 7,5 m/s (variant 1)
- Wind komt uit westelijke richting met snelheid 8,5 m/s (variant 2)
- Veilige conditie om onder door te vluchten is een rooklaag temperatuur van  $200^\circ\text{C}$
- De zichtlengte tot reflecterende oppervlakken is niet kleiner dan 10m.



Heat Release Rate (MW)

250

200

150

100

50

0

- ×-- Benelux - 36 wood pallets - 0 m/s - (T8)
- +-- Benelux - 36 wood pallets - 4-6 m/s - (T9)
- △- Benelux - 36 wood pallets - 6 m/s - (T10)
- Benelux - 72 wood pallets - 1-2 m/s - (T14)
- Runehamar - wood and plastic pallets (T1)
- ◆-- Runehamar - Wood pallets - mattresses (T2)
- ▲- Runehamar - furnitures and fixtures (T3)
- ▼- Runehamar - cartons and PS cups (T4)

1 MW

2 8 10 20 30 40 50 60 (min)

