



---

## Inhoudsopgave

- 7. Tunnelinstallaties
  - 7.1 Algemene eisen en aanwijzingen
    - 7.1.1 Algemeen
    - 7.1.2 Apparatuur in de tunnelbuis
    - 7.1.3 Reductie van kosten door goede bereikbaarheid van de installaties
    - 7.1.4 Materialen, corrosiebescherming en afdichtingen
    - 7.1.5 Noodzaak voor een kabelkanaal, c.q. middenkanaal
    - 7.1.6 Algemeen Installatienummering
  - 7.2 10 Energievoorziening
    - 7.2.1 Installaties 11 Aansluiting op het openbaar net
    - 7.2.2 Installaties 12 Aardingsinstallaties
    - 7.2.3 Installaties 13 Laagspanningsverdeling
    - 7.2.4 Installaties 14 Noodstroomvoorziening
    - 7.2.5 Installaties 15 No-break voorziening
    - 7.2.6 Installaties 16 Middenspanningsinstallatie
    - 7.2.7 Installaties 17 Alternatieve energie
  - 7.3 20 Verlichting
    - 7.3.1 Installaties 21 Verlichting verkeerstunnel
    - 7.3.2 Installaties 22 Verlichting middenkanaal/vluchtweg
    - 7.3.3 Installaties 23 Openbare verlichting
  - 7.4 30 Drainagepomp installaties
    - 7.4.1 Installaties 30 Algemeen drainagepompinstallaties
    - 7.4.2 Installaties 31 Hoofdpompinstallaties
    - 7.4.3 Installaties 32 Middenpompinstallaties
    - 7.4.4 Installaties 33 Hellingpompinstallaties of hellingkelders
    - 7.4.5 Installaties 34 Bronpompinstallaties
  - 7.5 35 Ventilatiesysteem
    - 7.5.1 Algemeen
    - 7.5.2 Installaties 36 Tunnelventilatie
    - 7.5.3 Installaties 37 Meting van luchtverontreiniging
    - 7.5.4 Installaties 38 Overdrukinstallatie pompkamers
    - 7.5.5 Installaties 39 Vluchtgangventilatie
  - 7.6 40 Verkeersinstallaties
    - 7.6.1 Installaties 40 Algemeen verkeersinstallaties
    - 7.6.2 Installaties 41 Rijstrooksignalering
    - 7.6.3 Installaties 42 Verkeerslichten (VRI)
    - 7.6.4 Installaties 43 Verkeersdetectie



---

## Tunnel technische installaties

- 7.6.5 Installaties 44 Hoogtedetectiesysteem
- 7.6.6 Installaties 45 Afsluitbomen tunnel en toeleidende wegen
- 7.6.7 Installaties 46 Beweegbare middenbermbeveiliging
- 7.6.8 Installaties 47 Bijzondere borden/DRIPs
- 7.7 50 Brandblusinstallaties
  - 7.7.1 Installaties 51 Brandblusinstallatie in tunnels
  - 7.7.2 Installaties 52 Branddetectieinstallatie in tunnels
  - 7.7.3 Installaties 53 Signalering hulppostkasten
  - 7.7.4 Installaties 54 Vorstbeveiliging, verwarming
- 7.8 60 Communicatie
  - 7.8.1 Installaties 61 Video en CCTV-installatie
  - 7.8.2 Installaties 62 Hoogfrequent radiocommunicatiesysteem (HF-systeem)
  - 7.8.3 Installaties 63 Intercominstallatie
  - 7.8.4 Installaties 64 Luidsprekerinstallatie
  - 7.8.5 Installaties 65 Telefooninstallatie
- 7.9 70 Gebouwinstallaties
  - 7.9.1 Installaties 71 Klimaatinstallatie in gebouwen
  - 7.9.2 Installaties 72 Beveiliging van gebouwen
  - 7.9.3 Installaties 73 Licht en krachtinstallaties in gebouwen
  - 7.9.4 Installaties 74 Brandmelding en signalering gebouwen
  - 7.9.5 Installaties 75 Brandblusinstallatie in gebouwen
- 7.10 80 Besturing, bediening en bewaking
  - 7.10.1 80 Beschrijving van de tunnelbesturing, bewaking en bediening
- 7.11 90 Diverse installaties
  - 7.11.1 Installaties 91 Centrale deurontgrendeling
  - 7.11.2 Installaties 92 Kabeltrace's, kabelgoten en ladders
  - 7.11.3 Installaties 93 Liften en roltrappen
  - 7.11.4 Installaties 94 Vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding
  - 7.11.5 Installaties 95 Uitvoering inritlichtroosters



## **Inhoudsopgave Algemene eisen en aanwijzingen**

- 7.1.1 Algemeen
- 7.1.2 Apparatuur in de tunnelbuis
- 7.1.3 Reductie van kosten door goede bereikbaarheid van de installaties
- 7.1.4 Materialen, corrosiebescherming en afdichtingen
- 7.1.5 Noodzaak voor een kabelkanaal, c.q. middenkanaal
- 7.1.6 Algemeen Installatienummering



---

Tunnel technische installaties



## **7.1 ALGEMENE EISEN EN AANWIJZINGEN**

### **7.1.1 Algemeen**

- Alle tunnelinstallaties en systemen moeten voldoen aan de eisen en standaarden van de Veiligheidsrichtlijnen deel C (VRC),  
Uitgegeven door het Steunpunt Tunnelveiligheid van de Bouwdienst  
(zie [www.tunnelsafety.nl](http://www.tunnelsafety.nl)).
- De hiernavolgende "Richtlijnen en Aanwijzingen bij ontwerp en uitvoering van tunnelinstallaties" is een praktisch gerichte aanvulling (verfijning en toelichting) op de VRC en geeft ook aanwijzingen en richtlijnen voor kleine tunnels en onderdoorgangen, al of niet geschikt voor het doorlaten van gevaarlijke stoffen. Bij kennelijke strijdigheid in een bepaalde situatie preferereert de VRC.





## 7.1.2 Apparatuur in de tunnelbuis

- a. Verrichten van werkzaamheden in de verkeersbuis van een tunnel is vrijwel altijd gevaarlijk, of schept gevaarlijke situaties voor derden.  
Daarom moet apparatuur voorzover mogelijk buiten de verkeersruimte worden geplaatst: (in volgorde van voorkeur) in het technische (eind)gebouw of in een (midden)kanaal parallel aan de verkeersbuizen.
- b. Indien in de verkeersbuis opgehangen, moet de apparatuur zo mogelijk onderhoudsvrij zijn, d.w.z. zeer snel gereinigd en gemakkelijk vervangen kunnen worden.
- c. De werking van alle apparatuur in de tunnelbuizen moet onveranderd blijven bij een omgevingstemperatuur van  $-15^{\circ}\text{C}$  tot  $+40^{\circ}\text{C}$ . In specifieke gevallen kunnen hogere eisen worden gesteld.
- d. In verband met de kans op mechanische beschadiging, moet kwetsbare, buiten de tunnelwand uitstekende apparatuur die lager dan 4,70m (minimum hoogte waarboven geen hoogtedetectie noodzakelijk is = zie de VRC) is opgehangen binnen de tunnelbuis beschermd worden dmv. een beschermende, kooiconstructie, zodanig dat de kooiconstructie de werking en het onderhoud van de apparatuur niet beïnvloedt.  
Beschadiging kan ontstaan door omhoogstekende lading, opbollende dekzeilen of losslingerende koorden van dekzeilen.
- e. De atmosfeer binnen de verkeersruimte is sterk verontreinigd met agressieve stoffen zoals roet, zout, zwavel, zwakke zuren en vocht. De combinatie van deze stoffen veroorzaakt sterke aantasting van alle apparatuur en maakt speciale beschermende maatregelen (inerte materialen en zeer goede afdichtingen) noodzakelijk. In ieder geval wordt de levensduur van apparatuur aanzienlijk verkort door plaatsing binnen de verkeersruimte.
- f. In tunnels en onderdoorgangen die gemakkelijk toegankelijk zijn voor voetgangers moet rekening worden gehouden met vandalisme.  
Het meest kwetsbaar hiervoor is de verlichting. Het verdient aanbeveling verlichtingsarmaturen zodanig te monteren dat zij niet of zeer moeilijk van de wand kunnen worden gesloopt (instorten of inmetzelen). Armaturen in slagvaste uitvoering, voorzien van slagvaste kunststof ruiten, eventueel afgedekt door stalen roosters.
- g. Op voor het publiek bereikbare plaatsen geen kunststof, maar bijvoorbeeld roestvrij stalen kasten installeren. Alle voor publiek bereikbare luiken en deuren vergrendelen. (een eenvoudige wijze van vergrendeling is mogelijk door middel van verzonken aangebrachte inbusbouten M16 (grote maat om onbevoegd openen te voorkomen).
- h. Afsluitbomen ter afsluiting van langzaamverkeersbanen of fietspaden moeten bestand zijn tegen vandalisme.





### **7.1.3 Reductie van kosten door goede bereikbaarheid van de installaties**

- a. De efficiency van tunnelonderhoud en exploitatie wordt aanzienlijk bevorderd door bij het ontwerp rekening te houden met een veilige en gemakkelijke toegang tot installaties en of onderdelen daarvan, zodanig dat de installaties bereikbaar zijn zonder dat daarvoor de verkeersruimte hoeft te worden betreden.  
*N.B. Verkeersmaatregelen om de installaties te kunnen bereiken en te onderhouden en/of 's nachts werken en werken in verkeersbuizen, maakt tunnel exploitatie duur en onveilig en dient te worden vermeden. Door zoveel mogelijk de apparatuur te installeren op plaatsen die altijd bereikbaar zijn, buiten de verkeersbuis wordt de tunnel exploitatie veiliger, eenvoudiger en goedkoper;*
- b. Ruimten waar regelmatig wordt gewerkt moeten (met helm) rechtopstaand beloopbaar zijn (vrije hoogte > 2,0m);
- c. Onderdelen van apparatuur in verkeersruimten moet snel en eenvoudig uitwisselbaar zijn; Levensduur van apparatuur op elkaar afstemmen.





### 7.1.4 Materialen, corrosiebescherming en afdichtingen

- a. Door cumulatie van agressieve stoffen uit de tunnelatmosfeer op horizontale vlakken kunnen zeer hoge concentraties van deze stoffen ontstaan. In combinatie met vocht kan dit ernstige lokale corrosie tot gevolg hebben. Bij de keuze van materialen van apparatuur het noodzakelijk hier rekening mee te houden. In ieder geval moet apparatuur in de tunnelbuizen zodanig zijn geplaatst en vormgegeven dat ophoping van vuil en stof op de apparatuur wordt beperkt.
- b. Aan afdichtingen van apparatuur die is blootgesteld aan de atmosfeer binnen de verkeersruimte worden bijzondere eisen gesteld voor wat betreft de stofdichting (roet). Men volg hiervoor de NEN 1010. Afdichting IP 55 is minimaal noodzakelijk.
- c. Noodzakelijkerwijs "open" apparatuur moet goed bestand zijn tegen vervuiling en moet, indien vervuild, snel en eenvoudig kunnen worden gereinigd.

De volgende materialen blijken goed te voldoen:

- Aluminium in zeewaterbestendige kwaliteit (b.v. AlMgSi), gecoat;
- Staal, thermisch verzinkt (ook wel aangeduid als: vuurverzinkt, hot-dip galvanised) volgens NEN-EN-ISO 1461, met een laagdikte van tenminste 80 micron en gecoat indien in direct contact met de tunnelatmosfeer (duplexsysteem);
- Bevestigingsmaterialen in de tunnelbuizen aan beton van roestvast staal, althans het deel van het bevestigingsmateriaal dat buiten het beton uitsteekt; Overige bevestigingsmaterialen van roestvast staal A4, eventueel van thermisch verzinkt staal, als de afmetingen dit toelaten; Bevestigingsmaterialen < M12, die worden toegepast binnen de tunnelbuis van roestvast staal;
- **Ongewapende** kunststoffen zijn in de regel goed bestand tegen de tunnelatmosfeer. Ongewapend, hoogge vuld PUR voldoet goed, maar is alleen voor doosvormige toepassingen geschikt (kasten, armaturen).
- Glasvezelgewapende kunststoffen blijken snel te corroderen zodra de glasvezelwapening t.g.v. beschadiging of erosie aan de oppervlakte komt. Gepultrudeerde glasvezelwapening lijkt hierop een uitzondering te vormen (eis aantoonbare geschiktheid).

*N.B. Binnen de tunnelbuizen voldoen gegalvaniseerde (elektrolytisch verzinkte) of geschoppeerde materialen, al of niet gecoat NIET.*





### **7.1.5 Noodzaak voor een kabelkanaal, c.q. middenkanaal**

In een lange, en zeker in een lange en drukke verkeerstunnel is een middenkanaal of dienstgang over de hele lengte van de tunnel noodzakelijk vanuit het oogpunt van onderhoudbaarheid van de installatie, levensduur van de installatie, veiligheid voor personeel, en minimalisatie van verkeershinder. Hiervoor is de volgende motivatie:

- In tunnels langer dan 300 m is het onmogelijk alle E-apparatuur in de tunnelbuizen (verlichting, ventilatie, monitoring van de tunnelatmosfeer, telefoon, verkeerssignaling, CCTV, luidsprekers, verkeersdetectielussen etc.) te sturen en te voeden zonder onderverdelingen en hulpapparatuur in de tunnel. Indien plaatsing van deze apparatuur binnen de verkeersbuis onontkoombaar is, deze bij voorkeur in afsluitbare nissen in de tunnelwand plaatsen. Onderdelen die geen onderhoud behoeven, zoals lasdozen en/of klemmenkasten zo hoog mogelijk buiten bereik van het verkeer aanbrengen
- In tunnels zonder middenkanaal/dienstgang moet onderhoud en verhelpen van storingen aan deze apparatuur in de tunnelbuis zelf plaatsvinden. Dit heeft vérgaande consequenties voor de verkeersafwikkeling en de mogelijkheden tot onderhoud.

In tunnels met een middenkanaal of een dienstgang in de lengterichting is dit geen probleem aangezien het middenkanaal of dienstgang voldoende mogelijkheden biedt voor het plaatsen van dit soort apparatuur. Onderhoud en verhelpen van storingen wordt in deze situatie mogelijk zonder de verkeersbuis te betreden en kan op elk uur van de dag plaatsvinden.

- Bij boortunnels zonder middenkanaal/dienstgang is plaatsing van apparatuur nissen in de wand niet mogelijk, en moet de apparatuur op de wanden worden aangebracht, hetgeen de kwetsbaarheid aanzienlijk vergroot. Ook in dit soort tunnels moet gestreefd worden naar een dienstgang en/of kabelkanaal in de lengterichting van de tunnel





## 7.1.6 Algemeen Installatienummering

Alle tunnelinstallaties zijn ingedeeld in categorieën en zijn per installatie voorzien van een standaard installatienummer.

Bij alle beschrijvingen van tunnelinstallaties wordt deze indeling en nummering toegepast:

<p><b>10 Energievoorziening</b></p> <p>11 openbaar nutsbedrijf 12 aardingsinstallaties 13 laagspanningsverdeelinrichting 14 noodstroomvoorziening 15 no-break voorziening 16 middenspanningsinstallaties 17 alternatieve energie</p>	<p><b>50 Brandblusinstallatie</b></p> <p>51 brandblusinstallatie in tunnel 52 branddetectieinstallatie in tunnel 53 signaleringen hulppostkasten 54 vorstbeveiliging+verwarming</p>
<p><b>20 Algemeen verlichting</b></p> <p>21 verlichting verkeerstunnels 22 verlichting middenkanaal (vluchtgang) 23 openbare verlichting</p>	<p><b>60 Communicatie</b></p> <p>61 video/CCTVinstallatie 62 HFinstallatie 63 intercominstallatie 64 luidsprekerinstallatie 65 telefooninstallatie</p>
<p><b>30 Drainagepompinstallaties</b></p> <p>31 hoofdpompinstallaties 32 middenpompinstallaties 33 hellingpompinstallaties 34 bronpompen in afritten</p>	<p><b>70 Gebouwinstallaties</b></p> <p>71 luchtbehandeling;c.v.;overdrukinstallatie 72 beveiliging en bewaking 73 licht+krachtinstallaties 74 brandmeldinstallaties 75 brandblussysteem in gebouwen</p>
<p>35 Ventilatiesysteem 36 tunnelventilatie 37 meting van luchtverontreiniging 38 overdrukinstallaties pompkamers 39 vluchtgangventilatie</p>	<p><b>80 Besturing, bediening en bewaking</b></p> <p>81 lokale bediening en bewaking 82 centrale bediening en bewaking 83 noodbediening en bewaking 84 bediening en bewaking voor derden 85 besturingssysteem 86 transmissiesystemen</p>
<p><b>40 Verkeersinstallatie</b></p> <p>41 rijstrooksignalering 42 verkeerslichten 43 verkeersdetectie 44 hoogtemelding 45 afsluitbomen tunnel+toeleidende wegen 46 beweegbare middenbermbeveiliging 47 bijzondere borden/drips</p>	<p><b>90 Diverse installaties</b></p> <p>91 centrale deurontgrendeling 92 kabeltrace's, kabelgoten en ladders 93 liften; roltrappen 94 vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding; 95 technische uitvoering inrit-lichtrooster</p>





## **Inhoudsopgave 10 Energievoorziening**

- 7.2.1 Installaties 11 Aansluiting op het openbaar net
  - 7.2.1.1 Tunnels in secundaire wegen
  - 7.2.1.2 Ligging in leveringsgebied
- 7.2.2 Installaties 12 Aardingsinstallaties
  - 7.2.2.1 Aarding
  - 7.2.2.2 Zwerfstromen in railtunnels en maatregelen ter voorkoming
  - 7.2.2.3 Bliksemafleiderinstallatie
  - 7.2.2.4 Overspanningsbeveiliging
- 7.2.3 Installaties 13 Laagspanningsverdeling
  - 7.2.3.1 Distributie
  - 7.2.3.2 Verdeling
- 7.2.4 Installaties 14 Noodstroomvoorziening
  - 7.2.4.1 Stroomuitval: kans en gevolg
  - 7.2.4.2 Elementen van de noodstroomvoorziening
  - 7.2.4.3 Preferentie van groepen aangesloten op de noodstroomvoorziening
  - 7.2.4.4 Noodstroomaggregaten, werking en piekstroombedrijf
- 7.2.5 Installaties 15 No-break voorziening
  - 7.2.5.1 Algemeen
  - 7.2.5.2 Statische no-break
  - 7.2.5.3 Dynamische no-break
- 7.2.6 Installaties 16 Middenspanningsinstallatie
- 7.2.7 Installaties 17 Alternatieve energie



---

Tunnel technische installaties



## 7.2 10 ENERGIEVOORZIENING

### 7.2.1 Installaties 11 Aansluiting op het openbaar net

#### 7.2.1.1 Tunnels in secundaire wegen

**Zeer korte tunnels en onderdoorgangen in secundaire wegen, waarin beperkte voorzieningen** en die weinig vermogen afnemen uit het openbare net (minder dan 3050 kW) kunnen worden voorzien van een 3-fase laagspanningsaansluiting. Een gunstige ligging ten opzichte van een openbaar net transformatorstation is hiervoor noodzakelijk.

Voor plaatsing van de bij de aansluiting behorende apparatuur moet een ruimte met door de stroomleverancier te bepalen afmetingen ter beschikking worden gesteld aan de stroomleverancier.

Het NUTS aansluit/inkoppelpunt moet door de personen in dienst van, of gemachtigd door de stroomleverancier kunnen worden bereikt met behulp van een door de stroomleverancier voorgeschreven voorziening. Meestal wordt voor dit doel door het stroomleverend bedrijf een slot ter beschikking gesteld of wordt een sleutelkastje geleverd voorzien van een standaard door de stroomleverancier te verstrekken slot.

Mogelijke aanvullende eisen die door de stroomleverancier worden gesteld bij tunnels voorzien van een laagspanningsaansluiting:

- motoren van meer dan (2,5)kW mogen niet direct aanlopen;
- de kWhmeter mag niet in een ruimte beneden maaiveldniveau worden opgesteld.

**Voor korte tunnels en onderdoorgangen in secundaire wegen die relatief veel vermogen afnemen of op grote afstand van een openbaar net-transformatorstation zijn gelegen**, wordt door het stroomleverende bedrijf een middenspanningsaansluiting geëist. Hiertoe moet in de nabijheid van het kunstwerk of binnen het kunstwerk zelf een middenspanningsruimte worden ingericht. In deze ruimte wordt een door het stroomleverend bedrijf een trafo geplaatst die de middenspanning ten behoeve van de tunnel transformeert naar laagspanning (230/400 of 700VAC).

Wanneer (bij kleinere kunstwerken) de trafo buiten het kunstwerk staat opgesteld, is het mogelijk dat de middenspanningsaansluiting met meerdere externe gebruikers wordt gedeeld.

**Tunnels in hoofdroutes** worden altijd voorzien van een of meer eigen (voor de tunnel gereserveerde) middenspanningsaansluitingen. Aansluiting en plaatsing van apparatuur van het stroomleverend bedrijf, zoals trafo en stroom-verbruikmeting, vindt altijd plaats in een ruimte met door de stroomleverancier bepaalde afmetingen en voorzieningen. De stroomleverancier heeft altijd toegang conform de voorwaarden van het stroomleverend bedrijf.

In verband met kabelverliezen is het niet efficiënt om tunnels >2500m over de volle lengte vanuit één middenspanningsaansluiting elektrisch te voeden met laagspanning. Verdeeld over de lengte van de tunnel moeten dan middenspanningsaansluitingen worden gemaakt.

Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden:



- Eén of meer middenspanningsvoedingkabels worden daartoe door de gehele lengte van de tunnel geleid; op regelmatige afstanden wordt voorzien in een trafostation dat een sectie van de tunnel van laagspanning 230/400 of 700 VAC voorziet.
- Bij lange onderland tunnels is het mogelijk de tunnel te voorzien van meerdere middenspanningsaansluitingen vanaf het openbaar net, verdeeld over de lengte van de tunnel.
- Overigens heeft aansluiten op meerdere, verschillende middenspanningsaansluitingen gevolgen voor de wijze van noodstroomvoorziening:
  - meerdere noodstroomvoorzieningen
  - koppelvoorzieningen tussen de verschillende middenspanningsaansluitingen, zodanig dat bij uitval van een deel van de middenspanningsaansluitingen kan worden overgeschakeld op een andere aansluiting;
  - mengen van de energie van de verschillende aansluitingen door de gehele tunnallengte zodanig dat bij uitval van een deel van de aansluitingen toch een deel van de installaties in bedrijf blijft).

### 7.2.1.2 Ligging in leveringsgebied

#### **Indien een tunnel is gelegen binnen het leveringsgebied van twee onafhankelijke, op middenspanningsniveau gescheiden**

**elektriciteitsnetten**, is het mogelijk de tunnel te voorzien van twee redundante middenspanningsaansluitingen, elk op één van beide netten. Elk van de aansluitingen moet dan voldoende capaciteit hebben om het tunnelbedrijf op veilige wijze te kunnen continueren bij wegvallen van de stroomvoorziening uit één van beide netten.

Diverse varianten zijn mogelijk:

- Bij wegval van één net overschakelen op volledige voeding vanuit het andere net.
- De voeding van alle installaties evenredig verdelen over beide netten, zodat bij wegvallen van één net het tunnelbedrijf voor tenminste 50% kan worden voortgezet vanuit het andere net zonder dat hoeft te worden omgeschakeld.

De faalkans van het geheel moet voldoen aan de eisen gesteld in de VRC. In de berekening van de totale faalkans moet een eventuele dieselnoodstroominstallatie worden betrokken.



## 7.2.2 Installaties 12 Aardingsinstallaties

### 7.2.2.1 Aarding

Aarding van tunnelinstallaties is een veiligheidsaarding. Aanraakbare, metalen delen van stroomvoerende tunnelapparatuur moeten dezelfde potentiaal hebben als de onmiddellijke omgeving (potentiaalvereffening). Dit wordt bereikt door uitwendige metalen delen van stroomvoerende apparatuur d.m.v. een koperverbinding te verbinden met tunnelwapening ter plaatse. Indien door een defect de aanraakbare delen van een apparaat onder spanning (potentiaal) komen te staan krijgt de directe omgeving dezelfde potentiaal en levert aanraking van het apparaat door ter plaatse aanwezige personen geen gevaar op.

Voor potentiaalgevoelige elektronische apparatuur kan een "schone" aarde noodzakelijk zijn. Deze moet gescheiden worden aangebracht van overige aarde om deze apparatuur te vrijwaren van stroompulsen tengevolge van schakelende voedingen en van lekstromen van grote verbruikers.

De wapening van niet geleidend met elkaar verbonden tunneldelen (zoals zinkmoten), moet met elkaar verbonden worden door aardlitzes tussen de tunnelmoten.

Indien de tunnelwapening een volledig doorverbonden aardingsnet vormt, kan de tunnelwapening gebruikt worden als centraal aardingsnet. Dit stelt hoge eisen aan de wijze aan het ontwerp (doorverbinding) en uitvoering van de tunnel- en gebouwenwapening.

Het is daarom sterk aan te bevelen een centrale aardingsvoorziening parallel aan de tunnelwapening aan te brengen. Hiertoe moet door de gehele lengte van de tunnel en in alle apparatuuruimten een ononderbroken centrale aardleiding worden aangebracht.

- De centrale aardleiding moet op regelmatige afstanden (bijvoorbeeld elke 100m) worden verbonden met de tunnelwapening.
- De aarding van alle stroomvoerende apparatuur binnen de tunnelconstructie moet worden verbonden met de centrale aardleiding.
- Buiten de tunnel moet de centrale aardleiding worden geaard aan een aardelektrode in de grond met een verspreidingsweerstand volgens de NEN1010.
- Het sterpunt van de voedingtrafo's van het openbare net aarden op de centrale aarddraad en doorverbinden met de tunnelwapening.
- Verbinding naar tunnelwapening is mogelijk d.m.v. aardplaten verbonden aan de wapeningsstaven. Verbindingen naar het apparaat d.m.v. aardingskabel of litze.

Het is in deze situatie niet noodzakelijk apparatuur te aarden via een aarddraad in de voedingkabel. Dit kan zelfs aanleiding geven tot ongewenste potentiaalvereffeningsstromen via deze aarddraad.

Om te voorkomen dat doorgaande metalen constructies in de tunnel, zoals leuning, kabelgoten en pijpleidingen, aanleiding geven tot een ongecontroleerde en ongewenste vorm van potentiaalvereffening, verdient het aanbeveling alle in de lengte richting van de tunnel doorgaande metalen onderdelen op regelmatige afstanden te verbinden met de tunnelwapening en de centrale aardleiding. Tevens verdient het aanbeveling om doorgaande metalen constructies op regelmatige afstanden te onderbreken indien de functie van de constructie dit toelaat (zoals bij leuning, schampranden, metalen kabelgoten e.d.)



### 7.2.2.2 Zwerfstromen in railtunnels en maatregelen ter voorkoming

In railtunnels wordt de spoorrail als retourleiding voor de elektrische voeding van de trein of tram gebruikt. Dit kan aanleiding geven tot retourstromen via andere geleidende wegen dan de spoorrail, b.v. via de tunnelwapening. Deze stromen kunnen (bij het passeren van een trein) oplopen tot enige honderden Ampère. Dit kan aanleiding geven tot ernstige problemen, bijvoorbeeld indien een geaard apparaat contact maakt met de tunnelwapening (via de bevestiging) zal via de aarding van dat apparaat de zwerfstroom worden afgeleid waardoor een veel te hoge stroom door de aardgeleider gaat lopen.

**(niet effectief):** Alle apparatuur volledig isoleren van de tunnelconstructie. Dit is in principe mogelijk, doch vergt veel aandacht voor details (bijvoorbeeld doorlopende leuning, pijpleidingen en kabelgoten zijn goede geleiders voor zwerfstromen)

Nadeel van deze methode is dat ter plaatse van een geaard apparaat een potentiaalverschil kan ontstaan tussen de omgeving van dat apparaat en het apparaat zelf, waardoor niet voldaan wordt aan de principes van veiligheidsaarding. (bij goede uitvoering effectief) De spoorrails volledig isoleren van de tunnelconstructie, door bijvoorbeeld de spoorrails aan te brengen op een van de tunnelconstructie geïsoleerde (beton)plaat;

**(eenvoudig en effectief):** Van de tunnel een "potentiaal-eiland" maken. D.w.z. alle metalen constructies binnen de tunnel voor zover mogelijk met elkaar verbinden (dus ook de wapening van de verschillende stortmotten) en tevens alle metalen verbindingen van binnen naar buiten de tunnel te onderbreken. De tunnel wordt dus tot één potentieelgebied gemaakt, geïsoleerd van de omgeving. De te nemen maatregelen zijn voor een deel conform de maatregelen beschreven bij aarding onder 7.2.1.1:

- Alle tunnelmotten doorverbinden d.m.v. een doorgelaste wapeningsstaaf in de lengterichting, waarop aan beide zijden een aardplaat is gelast. Alle aardplaten zijn d.m.v. litzes met elkaar verbonden.
- De inkomende aarde van het openbare elektriciteitsnet in de binnenkomende voedingskabel niet verbinden met de tunnelaarde, maar isoleren van de tunnel (anders zou een zwerfstroom via deze aarde kunnen uittreden en in gebouwen in de tunnelomgeving terecht kunnen komen).
- Door de gehele tunnel en alle ruimten loopt een centrale aarddraad 50-100mm<sup>2</sup>, die op regelmatige afstanden (bij voorkeur ter plaatse van een apparaat) is verbonden met de tunnelwapening (d.m.v. aardplaten) en met alle apparatuur. Deze aarddraad mag geen contact hebben met de buitenwereld, maar zorgt ervoor dat binnen de tunnel geen potentiaalverschillen ontstaan.
- Metalen instortdelen door de buitenwanden van de tunnel (dus aan de ene zijde in contact met de grond en aan de andere zijde met de tunnelinstallaties), isoleren van de tunnelinstallaties en van de tunnelwapening.
- Wapening in trekpalen heeft geen contact hebben met de omgevende grond, of is zodanig berekend dat het materiaalverlies t.g.v. kathodische werking gedurende de levensduur van de tunnel niet het overschrijden van de minimum treksterkte tot gevolg zal hebben.



- Lange stalen constructies die door de hele tunnel lopen mogen niet als ongewilde toevallige geleider optreden: kabelgoten, pijpleidingen en leuning zijn op regelmatige afstanden (bijv. aan het einde van een tunnelmoot) onderbroken, waarbij alle onderdelen afzonderlijk zijn geaard aan de centrale aardleiding en aldus zijn doorverbonden aan de tunnelwapening d.m.v. aardplaten in iedere stormmoot. (lange stalen delen kunnen ook bewust volledig worden doorgekoppeld en zijn dan dus niet meer een toevallige passieve geleider. Consequentie is dat doorgekoppelde stalen delen geschikt moeten zijn voor het transport van zwerfstromen).
- Ventilatoren en pompen in de tunnel worden niet d.m.v. de aarddraad in de voedingskabel geaard, maar zijn ter plaatse van de ventilator gekoppeld aan het tunnelwapeningsnet én verbonden met een centrale (vuile) aarddraad, die door de hele tunnel loopt en verbonden is met alle apparatuur en alle tunnelwapening.
- Het sterpunt van de trafo is verbonden met de tunnelwapening en met de centrale aarddraad.

### **7.2.2.3 Bliksemafleiderinstallatie**

Op de technische (eind)gebouwen van een tunnel een bliksemafleiderinstallatie plaatsen conform NEN 1014, klasse LP3

Alle metalen dakdelen, zoals schoorstenen, ventilatiekappen, metalen daklijsten e.d. moeten worden verbonden met de bliksemafleiderinstallatie. Bij dakventilatorbehuizingen e.d. een vonkbrug toepassen over de ventilator.

De afleiderinstallatie aansluiten op met de gebouwwapening verbonden aardplaten. Bevestiging van de dakleidingen moet geschieden met nylon daksteunen.

### **7.2.2.4 Overspanningsbeveiliging**

Elektrische verbindingen tussen verdeelinrichtingen binnen de tunnel en verbruikers buiten de tunnel, voorzien van een overspanningsbeveiliging, die installaties beschermt tegen transiënte overspanningen (atmosferische- en schakelverschijnselen).

Zie hiervoor de industriële EMI en EMC-normen.





## **7.2.3 Installaties 13 Laagspanningsverdeling**

### **7.2.3.1 Distributie**

Voeding van installaties in tunnels tot  $\pm 2500$  m vindt bij voorkeur plaats vanaf één centrale laagspanningshoofdverdeling. Bij grotere lengten is het in verband met kabelverliezen niet efficiënt vanuit één punt te voeden.

Energievoorziening naar de centrale laagspanningshoofdverdeelinrichting wordt geleverd door:

1. het openbare net
2. de noodstroominstallatie
3. alternatieve energie, bijvoorbeeld een windmolen.

Vanaf de centrale laagspanningshoofdverdeelinrichting wordt energie over de tunnelinstallaties verdeeld en worden eventuele nobreakvoorzieningen gevoed. Bij tunnels met een lengte van  $\pm 500 - 2500$  m, met een aansluiting op het openbare net aan één zijde van de tunnel, wordt uit economische overwegingen (beperking van kabelverliezen/kabeldiameters) de laagspanning-stroomvoorziening verdeeld over 2 hoofdverdeelinrichtingen: (1) een primaire hoofdverdeelinrichting nabij de aansluiting op het openbare net (meestal bij één van de uiteinden van de tunnel, en (2) een secundaire verdeelinrichting nabij het andere uiteinde van de tunnel. In het geval van een onderwatertunnel bevindt zich dus in elk landhoofd een hoofdverdeelinrichting. In principe wordt vanuit elke verdeelinrichting een halve tunnallengte gevoed.

De energie-aansluiting van de primaire hoofdverdeling naar de secundaire verdeelinrichting geschiedt door middel van een step-up/step-down middenspanningsaansluiting als volgt:

De voedingsspanning vanaf de hoofdverdeling aan de hoofdvoedingszijde van de tunnel wordt door middel van stepup transformatoren getransformeerd naar 10 kV middenspanning; door de tunnel getransporteerd door middel van 10kV-middenspanningskabels en bij de secundaire verdeelinrichting(en) elders in de tunnel dmv. step-down transformatoren weer getransformeerd naar laagspanning en aangesloten op de te voeden secundaire verdeelinrichting.

Transporteren van energie over enige afstand met middenspanning bespaart aanzienlijk op kabelverliezen en kosten.

Distributie vanaf één centrale hoofdverdeling heeft als voordeel dat alle ingekochte en zelf opgewekte energie (dus ook noodstroom en eventuele alternatieve energie), en alle daarvoor noodzakelijke voorzieningen kunnen worden samengebracht binnen één centraal gebouw.

In tunnels met een lengte  $> \pm 2500$ m, is het noodzakelijk in de tunnel één of meer trafostations, aangesloten op een middenspanningsvoeding, te plaatsen (bijv. iedere 1000-1500m), vanwaaruit secties van de tunnel van laagspanning worden voorzien. Hiervoor moeten verdeeld over de lengte van de tunnel, binnen –of indien mogelijk naast- de tunnelconstructie midden- en laagspanningsruimten worden ingericht. Indien de gehele tunnel moet worden voorzien van noodstroomenergie, kan ervoor worden gekozen eventuele noodstroomaggregaten van middenspanningsgeneratoren te voorzien en in middenspanning aan te sluiten op de centrale middenspanningsvoeding.



In de meeste gevallen is het echter economisch voordeliger en minder gecompliceerd een standaard noodstroomaggregaat met laagspanningsgeneratoren te installeren en de geleverde energie d.m.v. een step-up trafo te transformeren naar middenspanning en daarin aan te sluiten op de centrale middenspanningsvoeding.

### **7.2.3.2 Verdeling**

Op de laagspanningsverdeelinrichtingen worden alle tunnelinstallaties aangesloten. In de normale situatie moet voldoende energie aanwezig zijn voor het voeden van alle op de verdeling aangesloten installaties, eventueel met suppletie door middel van de eigen noodstroominstallatie (zgn. piekstroombedrijf).

Energie van het openbaar net en van een eventuele diesel-noodstroominstallatie wordt verdeeld over de diverse tunnelinstallaties in de laagspannings-hoofdverdeelinrichting.

Bij tunnels met twee of meer tunnelbuizen, moet de stroomvoorziening per tunnelbuis zodanig worden gescheiden dat bij een volledige storing in één van de tunnelbuizen de installaties in de andere tunnelbuis blijven functioneren.

Alle tunnelinstallaties per installatie verdelen in secties en onderverdelen in groepen. Elke sectie en/of groep afzonderlijk beveiligen, zodanig dat uitval van één sectie of groep niet kan leiden tot uitval van een andere sectie of groep. Daarbij zorg dragen dat geheel of gedeeltelijk uitvallen van een installatie in één tunnelbuis niet zal leiden tot uitval of storingen in de functie van dezelfde installatie in de andere tunnelbuis.



## 7.2.4 Installaties 14 Noodstroomvoorziening

Ongeacht de wijze waarop de energievoorziening vanuit het openbare net plaatsvindt, altijd moet rekening worden gehouden met uitvallen van de energievoorziening. Een inventarisatie:

### 7.2.4.1 Stroomuitval: kans en gevolg

Volledig uitvallen van de stroom in een tunnel is mogelijk tengevolge van:

- falen van het openbare elektriciteitsnet indien geen back-up voorzieningen in de tunnel zijn geïnstalleerd;
- falen van het openbare elektriciteitsnet én gelijktijdig falen van alle back-up voorzieningen (falen van de no-break tijdens uitval van het openbaar net)
- falen van de hoofdvoedingscomponenten van de energie voorziening van de tunnel
- hand-uitschakelen (fout of sabotage)

De kans op volledige stroomuitval wordt bepaald door

- de kans op falen van de voeding of voedingen uit het openbaar net en gelijktijdig falen van de back-up voorzieningen (indien geïnstalleerd);
- de wijze waarop de energievoorziening van de tunnel is opgebouwd en aangesloten op het openbaar net
- de kwaliteit en de faalkans van de regelcircuits van de energievoorziening;

Gevolgen van volledige stroomuitval in de normale verkeerssituatie

- volledige stroomuitval (dus alle stroomleverende en back-upvoorzieningen hebben gefaald) heeft tot gevolg dat alle tunnelinstallaties zonder eigen back-up buiten bedrijf gaan;
- In eerste instantie merkt de tunnelgebruiker dit doordat (direct) alle verlichting en alle verkeersregelsystemen uitvallen; d.w.z. het wordt volledig donker in de tunnelbuis en eventueel ingeschakelde signaalgevers van de verkeerssignalering doven;
- In tweede instantie merkt de tunnelgebruiker dit doordat alle communicatiemiddelen falen, d.w.z. de HF-installatie zendt niet meer uit (radio valt stil), en de tunnelintercom is niet meer bruikbaar
- De tunnelbediening krijgt geen signalen meer uit de tunnel aangezien de CCTV geen beeld meer geeft en ook detectiesystemen (stilstandsdetectieapparatuur stand- en niveaumeldingen) niet meer werken. Eventuele gevolgen van het uitvallen van de stroom in de tunnel worden daarom door de tunnelbediening niet opgemerkt.
- Communicatie richting tunnel is niet meer mogelijk. Luidspreker-, intercom- en HF-installatie zijn buiten bedrijf.
- De drainage pompinstallaties werken niet meer. Afhankelijk van de hoeveelheid water die gedurende de stroomuitval wordt toegevoerd t.g.v. regenval en/of lekkages en de bergingscapaciteit van de waterkelders zullen daardoor binnen zekere tijd de waterkelders gaan overstromen waardoor zich water gaat verzamelen op het diepste punt van de tunnel. Zodra een plas water op de weg ontstaat wordt de tunnel ongeschikt voor normaal verkeer. Al een vrij dunne laag water op de weg kan leiden tot watergordijnen en slippartijen met mogelijk ernstige gevolgen.



Op langere termijn zou zich een aanzienlijke hoeveelheid water in de tunnel kunnen verzamelen met mogelijk gevolgen voor de tunnel en de installaties. Dit is eveneens afhankelijk van de tijdsduur van de stroomuitval en de hoeveelheid aangevoerd water.

- De tunnelventilatie werkt niet meer. Tijdens normaal verkeer heeft dit geen gevolgen.

De gevolgen van volledige stroomuitval tijdens afzetting van één of meer rijstroken in de tunnel, terwijl op de andere rijstroken het verkeer beperkt doorgang vindt zijn in principe gelijk aan die tijdens normaal verkeer. Doordat bij kortdurende afzettingen meestal geen harde afzettingen aanwezig zijn zal de weggebruiker bij stroomuitval niet langer geattendeerd worden op de aanwezigheid van personen en werktuigen in de tunnel, waardoor een zeer gevaarlijke situatie kan ontstaan.

De gevolgen van volledige stroomuitval tijdens een calamiteit in de tunnel zijn overeenkomstig die tijdens onderhoud en opruimingswerkzaamheden. Vrijwel altijd zal bij een calamiteit de tunnelbuis zijn afgesloten voor verkeer en zijn de afsluitbomen bij de toegangen tot de tunnel neergelaten, waardoor bij volledige stroomuitval de in de tunnelbuis aanwezige personen niet extra bedreigd worden door verkeer.

Door het uitvallen van de stroom zijn echter ook de van energie afhankelijke middelen voor afhandeling van de calamiteit of ter beperking van de gevolgen daarvan niet langer bruikbaar. De tunnelventilatie stopt, waardoor rook en gassen die vrijkomen niet meer kunnen verdreven. De brandblusinstallatie, tenzij gevoed met externe middelen (bluspomp van de brandweer of direct aangesloten op de openbare waterleiding), wordt drukloos zodat niet meer beschikt kan worden over bluswater.

Mogelijk verband tussen bijzondere gebeurtenissen en stroomuitval (onder bijzondere gebeurtenissen wordt verstaan: calamiteiten, sabotage, storingen in een deel van de technische installaties en weersomstandigheden)

1. Een bijzondere gebeurtenis leidend tot stroomuitval
  - Een calamiteit in de tunnelbuis kan alleen leiden (mag alleen kunnen leiden tot) tot uitvallen van een deel van de tunnelinstallaties, en in ieder geval niet tot het uitvallen van installaties in een andere dan de calamiteitenbuis.
  - Een calamiteit binnen het gebouw of de technische ruimten waar de hoofdvoeding van een installatie staat kan leiden tot volledige uitval van een installatie of van alle installaties
  - Sabotage kan leiden tot volledig uitvallen van alle tunnelinstallaties
  - Storing in één deel van de technische installaties kan andere installaties beïnvloeden. Volledige stroomuitval ten gevolge van een storing in een onderverdeelde groep is onwaarschijnlijk. Bovendien moeten de meeste installaties fail-safe worden uitgevoerd. D.w.z. bij uitvallen van de sturing schakelt het systeem in de meest gewenste bedrijfsstoestand. Bijvoorbeeld, indien de sturing van de brandbluspompen faalt, starten de brandbluspompen. Bij falen van de sturing van de verlichting schakelt deze in de meest optimale stand.
  - In een tunnel met back-up faciliteiten in de stroomvoorziening zullen weersomstandigheden in het algemeen niet leiden tot het volledig uitvallen van de stroomvoorziening. In installaties die daar onvoldoende tegen zijn



beschermd zou bijvoorbeeld blikseminslag tot volledige stroomuitval kunnen leiden.

#### 2. Stroomuitval leidend tot een calamiteit

Plotselinge stroomuitval komt voor de weggebruikers als een verrassing. Bij plotseling invallende duisternis verandert op het zelfde moment het referentiekader van de automobilist, en wordt een andere wijze van oriëntatie vereist. Met name in tunnels waar de visuele geleiding slecht is (slechte, vuile of anderszins onduidelijke belijning, donkere of vuile wanden) zou dit kunnen leiden tot desoriëntatie en daardoor mogelijk tot calamiteiten. Deze situatie moet in ieder geval worden voorkomen.

Volledige stroomuitval zal ook uitvallen van de verkeerssignalering tot gevolg hebben:

indien dit gebeurt tijdens een wegblokkering t.b.v. werkzaamheden waarbij mensen en voertuigen in de tunnel aanwezig zijn, kan uitvallen van de verkeerssignalering tot ernstige ongelukken leiden (zeker in combinatie met plotseling uitvallen van de verlichting). Ook deze situatie is kritisch en moet beslist worden voorkomen.

### 7.2.4.2 Elementen van de noodstroomvoorziening

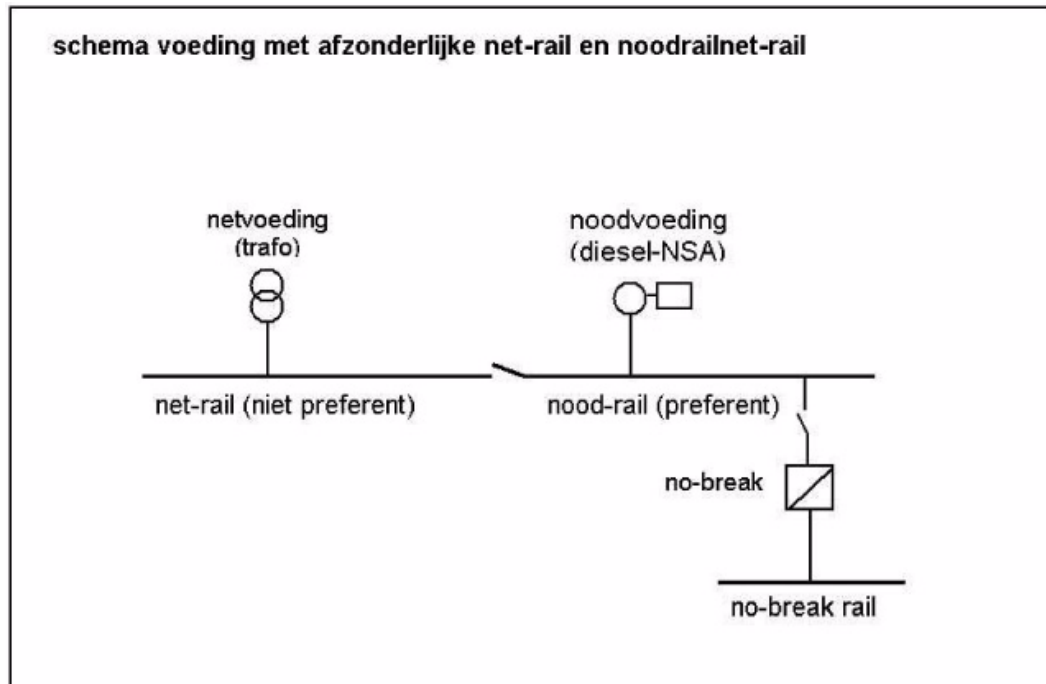
Noodstroomvoorziening om tenminste een deel van de energievoorziening te waarborgen gedurende zekere tijd na het uitvallen van de openbare energievoorziening bestaat uit:

- Een diesel-noodstroomaggregaat voor energievoorziening van normaal bedrijf gedurende een langere periode (VRC tenminste 3x24uur) en geschikt voor enkele uren onafgebroken verhoogd energiegebruik tijdens een calamiteit in de tunnelbuis.
- Een no-break (UPS) installatie. De no-break installatie is niet bedoeld en geschikt voor langdurig gebruik. De standtijd is niet langer dan bijvoorbeeld 15-30 minuten vol belast bedrijf, afhankelijk van de uitvoering.  
Op de no-break installatie worden uitsluitend installaties aangesloten die altijd continue dienen te functioneren zoals een deel van de besturing, de tunnelverlichting en een deel van de verkeersinstallaties.  
De no-breakinstallatie kan gebruikt worden: (1) om de tijd te overbruggen tussen stroomuitval en het in bedrijfstellen van een noodstroomvoorziening die geschikt is om gedurende langere tijd te energie te leveren of (2) de tunnel op verantwoorde manier af te sluiten na totale stroomuitval (openbaar net faalt en/of alternatieve noodstroominstallatie faalt of is niet aanwezig).
- In speciale uitvoeringen kan een no-break en een dieselnoodstroomaggregaat gecombineerd worden in één apparaat

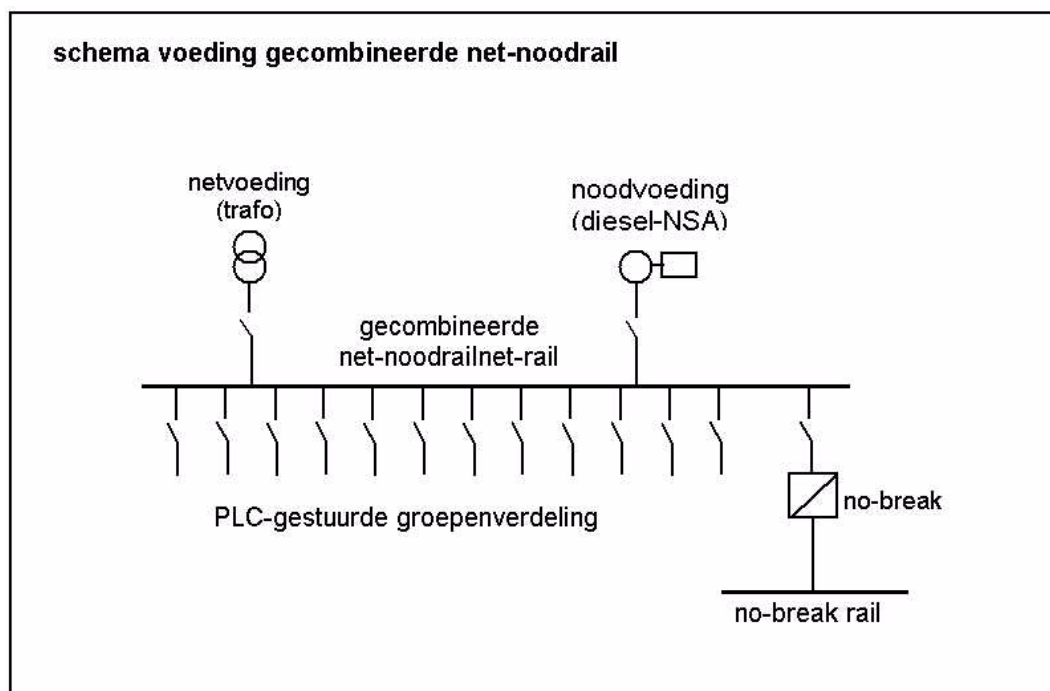
### 7.2.4.3 Preferentie van groepen aangesloten op de noodstroomvoorziening

Tot vrij recent was het gebruikelijk de laagspannings-hoofdverdeling te scheiden in preferente en nietpreferente groepen en deze te voeden vanaf verschillende rails; preferente groepen vanaf een noodstroomgevoede rail (nood-rail) en nietpreferente groepen vanaf een netstroomgevoede rail (net-rail) .

Bij normaal bedrijf zijn de niet-preferente en de preferente rails met elkaar gekoppeld. Bij uitval van de voeding van het openbaar net wordt deze koppeling geopend en blijft de preferente rail in bedrijf, gevoed door de noodstroominstallatie.



Programmeerbare besturingsapparatuur (PLC) maakt het mogelijk alle groepen vanaf één netstroom en noodstroom gevoede hoofd rail te voeden. In de netstroom-gevoede situatie kunnen alle aangesloten groepen worden ingeschakeld. In de noodstroom-gevoede situatie bepaalt het PLC-programma welke groepen vrijgegeven en geblokkeerd moeten worden volgens een geprogrammeerde volgorde van preferentie. Dit maakt een optimaal gebruik van het beschikbare noodstroomvermogen mogelijk. Zie verder hst.14.





Bij het wegvallen van het openbare net wordt door de PLC-besturing van de tunnel een aantal gebruikers automatisch geblokkeerd volgens een geprogrammeerde volgorde van preferentie.

Indien alle noodstroom- en nobreakvoorzieningen normaal werken, dan kunnen alle installaties die noodzakelijk zijn voor normaal tunnelbedrijf en voor het bestrijden van calamiteiten worden gevoed.

Bij het wegvallen of gedeeltelijk falen van noodstroomvoorzieningen worden stroomgebruikers volgens vooraf bepaalde preferenties geblokkeerd.

**Volgorde van preferentie**

**(installatiernr. 1 is het minst preferent en wordt dus het eerste geblokkeerd).**

Bij gescheiden net-rail en noodrail	<b>op netrail aangesloten groepen (niet preferent)</b>	Bij PLC-geprogrammeerde preferentie	<b>PLC-geprogrammeerde preferentie van installaties aangesloten op een gecombineerde net-noodrail</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. liften/roltrappen</li> <li>2. tracing brandblusleiding en verwarming hulpposten</li> <li>3. deel gebouwverlichting</li> <li>4. klimaatinstallaties in gebouw</li> </ol>		<p>(1. liften en roltrappen niet voeden met noodstroom)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. tracing brandblusleiding en verwarming hulpposten</li> <li>3. deel gebouwverlichting</li> <li>4. klimaatinstallaties in gebouw</li> <li>5. deel tunnelverlichting</li> <li>6. gasdetectie en zichtmeting</li> <li>7. gebouwbewaking</li> <li>8. 50% drainagepompen</li> <li>9. vluchtgangventilatie</li> <li>10. deel verkeersgeleidingssysteem en afsluitbomen</li> <li>11. (deel) tunnelventilatie<sup>1</sup></li> <li>12. brandblusinstallatie</li> <li>13. koelventilatoren van de dieselinstallatie</li> <li>14. (alle installaties aangesloten op) de nobreakinstallatie</li> </ol>
	<b>op noodrail aangesloten groepen (preferent)</b>		
groepen aangesloten op no-break			



- (een deel van de) tunnelverlichting
- de tunnelbesturingsystemen
- transmissiesystemen
- de afstandsmeldingen en besturingen
- alle communicatiemiddelen zoals:
  - intercom
  - luidsprekers
  - hoogfrequent systeem
  - telefoon
- alle vluchtwegvoorzieningen (niet de vluchtgangventilatie)
- verlichting van de hulpposten + SOS-bordjes
- (een deel van de) verkeersgeleidingssystemen (lichten + signaalgevers)
- verkeersdetectiesysteem
- CCTV-installatie
- hoogtedetectiesysteem
- een deel van de gebouw/dienstruimteverlichting
- brandmeld/detectieapparatuur
- gasdetectie en zichtmeting

1. gezien het bij elk object wisselende belang van tunnelventilatie, in combinatie met de zeer geringe kans dat stroomuitval samenvalt met de noodzaak tot ventileren (brand), hierover per object beslissen

#### 7.2.4.4 Noodstroomaggregaten, werking en piekstroombedrijf

Noodstroomaggregaten worden uitgevoerd als diesel –eventueel gasmotor- die een elektrische generator aandrijft. De generator voedt de hoofdlaagspanningsverdeling Diesel-noodstroominstallaties bij voorkeur uitvoeren als 3 parallel geschakelde diesel-noodstroomaggregaten, die elk rechtstreeks op de hoofdvoedingrail of de noodrail zijn geschakeld.

Diesel-noodstroomvoorziening moet toereikend zijn voor het gelijktijdig voeden van alle preferente installaties, daarbij inbegrepen de installaties aangesloten op de no-break, die immers bij wegvallen van de netspanning wordt gevoed door de noodstroomvoorziening.

##### **Werking**

De noodstroomsituatie vangt aan bij wegvallen van de elektrische voeding uit het openbare net.

Het noodstroombedrijf verloopt als volgt:

1. de voeding uit het openbare net valt weg (kritische verbruikers blijven in bedrijf, gevoed door no-break)
2. alle dieselmotoren starten;
3.
  - a. de eerste generator die op spanning is, wordt op het tunnelnet geschakeld.
  - b. de belasting van de no-breakinstallatie en de nullast van stepup transformatoren moet direct worden ingeschakeld;

Indien het vermogen van 1 noodstroomaggregaat onvoldoende is om de inschakelstroom van de nobreakinstallaties en de stepup transformatoren op te nemen, moeten eerst twee noodstroomaggregaten worden gesynchroniseerd, waarna zij beide op het tunnelnet kunnen worden geschakeld;



4. de volgende generator(en) worden, zodra zij op spanning zijn, gesynchroniseerd aan de voorgaande en op het tunnelnet geschakeld.  
De tijd tussen netspanningswegval en volledig noodstroombedrijf is < 30 sec.
5. het gevraagde vermogen zoveel mogelijk gelijk verdelen over de beschikbare aggregaten;
6. alle drie de aggregaten blijven in bedrijf zolang de noodstroomsituatie aanwezig is;
7. Optie: Indien voldoende vermogen ter beschikking is omdat niet alle preferente installaties in bedrijf zijn, kunnen door de besturingsinstallatie van de tunnel (PLC) installaties worden vrijgegeven totdat maximaal noodstroomvermogen wordt afgenomen;
8. bij terugkeren van het openbare net synchroniseert het noodstroombedrijf aan het openbare net, waarna op netbedrijf wordt overgeschakeld;
9. na een nadraaitijd van + 10 min. de aggregaten stoppen.

#### **Piekstroombedrijf**

Noodstroomaggregaten kunnen tevens gebruikt worden voor piekstroombedrijf, d.w.z. het is mogelijk piekbelastingen door de eigen installatie over te laten nemen. Dit kan aanzienlijk besparen op aansluit en/of vastrechtkosten.

In verkeerstunnels is bijvoorbeeld het ventilatiesysteem een buitenproportionele energiegebruiker die zelden wordt gebruikt. Piekstroom draaien t.b.v. het ventilatiesysteem is zeer goed mogelijk en kan een aanzienlijke besparing opleveren.

Piekstroombedrijf kan als volgt worden ingesteld:

- Afhankelijk van de tariefafspraken met het stroomleverend bedrijf wordt een maximale netstroomafnamecapaciteit ingesteld.
- Indien het door de tunnelinstallatie af te nemen vermogen boven deze capaciteit uitstijgt, wordt een van de noodstroomaggregaten gestart, aan het net gesynchroniseerd en bijgeschakeld.  
Bij kortdurende hoge belastingen (ventilatie) alle aggregaten tegelijkertijd starten.
- De aggregaten moeten zo hoog mogelijk worden belast om piekstroombedrijf zo rendabel mogelijk te maken.
- Uit veiligheidsoverwegingen moet een minimale netstroomafname worden gehandhaafd (20 - 50% van de maximaal ingestelde afnamecapaciteit) en mag niet het gehele net afgeschakeld worden indien het beschikbare aggregaatvermogen hoger is dan de ingestelde maximale netstroomafnamecapaciteit.
- Het totaal afgenomen vermogen wordt voor zover mogelijk gelijk verdeeld tussen net en aggregaten, waarbij de aggregaten voor maximaal 80% mogen worden belast.
- Indien één aggregaat is gestart en met meer dan 80% van zijn maximale vermogen gaat worden belast, moet een tweede aggregaat worden gestart en bijgeschakeld.
- Het afgenomen vermogen wordt nu weer gelijk verdeeld over de twee beschikbare aggregaten en het net waarbij weer een minimale netstroomafname moet worden gehandhaafd.
- Dezelfde situatie herhaalt zich voor het derde aggregaat.
- Wanneer de aggregaten met minder dan 20% van hun maximale capaciteit worden belast, wordt het laatst ingekomen aggregaat gestopt, en wordt het benodigde vermogen herverdeeld over de overgebleven aggregaten en het net.



- Wanneer het totaal door de installatie afgenomen vermogen uit het openbaar net kleiner wordt dan + 80% van de ingestelde maximale netstroomafnamecapaciteit, worden de aggregaten afgeschakeld.
- De installatie moet tegen pendelen worden beveiligd door middel van een minimumdraaitijdregeling.

Piekstroom draaien is vooral rendabel indien de afvalwarmte van de dieselmotoren op een of andere wijze nuttig kan worden gebruikt. Daarom is het bij installaties waarmee regelmatig gedurende langere perioden piekstroombedrijf zal worden gedraaid rendabel om warmte terugwinningvoorzieningen te treffen indien voor deze warmte een nuttige bestemming (binnen of buiten de tunnel) kan worden gevonden.

**Opmerking:**

Indien een tunnel gelegen is binnen een dichtbevolkt stedelijk gebied, kan de noodstroomcentrale rendabel gemaakt worden, door de energielevering aan de tunnel te combineren met de energie en warmtelevering aan woningen en bedrijven in de naaste omgeving als volgt:

- De noodstroomcentrale voor de tunnel draait continu en wekt stroom én warmte op voor de tunnel en woningen en bedrijven in de directe omgeving. Op deze wijze wordt een zeer hoog rendement gehaald.
- De tunnel is primaire gebruiker, d.w.z. bij wegvallen van het openbare net worden aangesloten gebruikers buiten de tunnel afgeschakeld of geblokkeerd ten gunste van de tunnel.

Van deze prioriteitstelling heeft een gebruiker buiten de tunnel geen direct nadeel; de stroom is immers uitgevallen in een groot deel van de directe omgeving en ook zonder deze prioriteitstelling zou de gebruiker stroomloos zijn geweest.

Op enkele plaatsen in Nederland wordt deze wijze van noodstroomvoorziening toegepast.



## 7.2.5 Installaties 15 No-break voorziening

Voor een veilig tunnelbedrijf is het van belang dat bij uitvallen van de energievoorziening een aantal vitale tunnelinstallaties in bedrijf blijft. Hiervoor kan een no-breakinstallatie (ook wel UPS) worden aangebracht.

### 7.2.5.1 Algemeen

De no-breakinstallatie continueert de energievoorziening van een aantal vitale installaties

- (1) in de periode tussen stroomuitval en het in bedrijfstellen van een noodstroomvoorziening die geschikt is om gedurende langere tijd te energie te leveren;
- (2) gedurende kortdurende perioden van instabiliteit (schakelpieken, net-frequentie wijkt af van de normale waarde of de spanning is onregelmatig.
- (3) bij langdurige totale spanningswegval (openbaar net faalt én alternatieve noodstroominstallatie faalt of is niet aanwezig) moet de tunnel veilig kunnen worden afgesloten.
- (4) een serieel geschakelde no-breakinstallatie werkt als filter voor de aangesloten groepen. Netvervuiling kan deze groepen niet door de no-break bereiken. Het vermogen van de nobreakinstallatie moet voldoende zijn voor het leveren van energie voor het normaal gebruik van alle daarop aangesloten installaties, voorzover deze niet van een eigen permanente spanningsbron zijn voorzien:
  - gedurende de tijd die nodig is voor het opstarten en overschakelen op een alternatieve stroomvoorziening;
  - én gedurende de tijd die nodig is om bij een totale spanningswegval (1) tot het inzicht te komen dat de spanningswegval niet kortdurend is+ (2) voorbereidingen te treffen voor het volledig afsluiten van de tunnel+ (3) het daadwerkelijk afsluiten van de tunnel (verkeerslichten op rood) en het (4) consolideren van de afsluiting (afsluitbomen naar beneden nadat het verkeer is gestopt).Hiervoor is een no-break standtijd voor 30 minuten normaal bedrijf voldoende. Na afloop van de standtijd van een no-break, worden ook de aangesloten no-breakgroepen stroomloos.

#### Opmerking:

Bij twee gescheiden netten kan de bedrijfszekerheid van de tunnel bij uitval van één net worden verhoogd door alle nobreakgroepen over te schakelen op het niet uitgevallen net. In de normale situatie (twee netten aanwezig) zijn de no-breakgroepen verdeeld over beide netten. Gezien de beperkte standtijd van een no-breakvoeding zullen bij uitval van één net de daarop aangesloten no-breakgroepen na deze standtijd spanningsloos worden. Door de voeding over te schakelen op het nog in bedrijf zijnde net kunnen alle no-breakgroepen in bedrijf blijven ook indien één net is uitgevallen.

Voor toepassing in tunnelinstallaties komen twee nobreakvoedingssystemen in aanmerking:

- a. een (statische) accu nobreak (= statische omvormer-accubatterij combinatie).
- b. een (dynamische) diesel no-break (= snelstartende dieselmotor-vliegwiel/ inductiekoppeling--generator combinatie)

De onder de gegeven omstandigheden meest betrouwbare en economische oplossing heeft de voorkeur. Tot dusver wordt bij lage vermogens voorkeur gegeven aan toepassing van een statische accu nobreak.



### 7.2.5.2 Statische no-break

Een statische no-break kan geschakeld worden als

(1) seriële no-break (de no-breakinstallatie staat in serie met de afgaande voeding van het net naar de aangesloten no-break groepen, d.w.z. het op de no-break geschakelde vermogen gaat ook tijdens aanwezigheid van het net volledig via de no-break. Voordeel is dat de no-break altijd paraat is; storing is direct merkbaar. Nadeel is blind-stroom en warmteverlies)

(2) parallelle no-break (het op de no-break geschakelde vermogen wordt bij aanwezigheid van het net buiten de no-break om aan het net onttrokken. Pas bij uitvallen van het net wordt geschakeld op no-break en wordt het volledige no-breakvermogen aan de no-break onttrokken. Energetisch zijn parallelle no-breaks enigszins voordeliger t.o.v. serieele no-breaks gezien het -in de stand-by toestand geringere warmte en blindstroomverlies. Daartegenover staat de beperktere betrouwbaarheid (storingen worden niet direct opgemerkt).

Een statisch no-breakvoorziening omvat in hoofdzaak:

- een afgaand veld op de hoofdstroomverdeling, waarop aangesloten een 3-fase statische no-break en een no-break verdeelinrichting
- onderhoudsvrije accu's

Enige gebruikelijke standaard output specificaties:

- Normaal volbelast bedrijf: output 3 fase 400V + 1%
- Bij belastingvariatie van 0-100% : output 400V + 3%
- Frequentie 50 Hz + 1%
- Overbelasting 120% gedurende 90 sec.

Werking statische no-break:

- a. Onder normale bedrijfsomstandigheden wordt de no-breakinstallatie gevoed door het openbare net

Een gelijkrichter zet de ingangs-wisselspanning om in een constante gelijkspanning.

Bij seriële no-breaks wordt met deze gelijkspanning een statische omvormer gevoed. Deze statische omvormer levert een gestabiliseerde wisselspanning aan de kritische gebruikers. Indien zich netstoringen voordoen wordt de statische omvormer automatisch en zonder onderbreking door de accubatterij gevoed.

Bij parallelle no-breaks wordt met de gelijkspanning de batterij gevoed en op spanning gehouden; de hoofdvoeding gaat echter buiten de gelijkrichter om rechtstreeks naar de kritische gebruikers.

Bij netstoringen schakelt een statische schakelaar de hoofdvoeding naar de kritische gebruikers om naar batterijvoeding via een statische omvormer.

- b. Statisch by-pass bedrijf:

Indien een serieel geschakelde no-breakinstallatie wordt overbelast of indien er in de installatie een storing optreedt, moet een by-pass schakelaar de gebruikers automatisch en zonder onderbreking overschakelen naar netbedrijf.

- c. Onderhouds by-pass bedrijf:

Indien voor onderhoud of vervanging de gehele no-break installatie buiten werking moet worden gesteld, moet dmv. een onderhouds by-pass schakelaar de no-break krachtlichtverdeling direct op het net geschakeld kunnen worden, zonder stroomonderbreking tengevolge van het schakelen.



Bij een storing of buiten bedrijfstelling van de nobreakinstallatie, moeten -indien een NSA-installatie aanwezig is- bij wijze van voorzorg tenminste twee (i.v.m. faalkans) dieselaggregaten worden gestart, gesynchroniseerd en parallel aan het net worden geschakeld gedurende de tijd dat de no-break gestoord of buiten bedrijf is.

De stand-by verliezen van no-break-units komen vrij in de vorm van warmte. Aan de ventilatie en eventuele koeling van de ruimte waarin de accu's van de no-break zijn ondergebracht moet bijzondere extra aandacht worden geschonken, aangezien de levensduur van de accu's wordt beïnvloed door de temperatuur van de ruimte waarin zij staan opgesteld. Bij ruimtetemperaturen > 20°C neemt de levensduur van accu's sterk af.

In sommige gevallen is afzonderlijke afzuiging van kasten waarin no-breaks staan opgesteld aan te bevelen om de klimaatcondities van de ruimte waarin zij zijn opgesteld niet onnodig met de warmte uit de no-break units te belasten.

### **7.2.5.3 Dynamische no-break**

Een dynamische no-break vervult een twee-ledige functie: Het is in feite een diesel-noodstroomaggregaat dat een no-breakfunctie kan vervullen. Een dynamische no-break wordt dan ook op dezelfde wijze op het net geschakeld als een noodstroomaggregaat.

Werking dynamische no-break:

Tussen de diesel of gas-motor en de generator is een vliegwiel/inductiekoppeling geschakeld. In de normale situatie draait de generator continu, gevoed door netstroom, en drijft een inductiekoppeling aan. Na het wegvallen van de netstroom neemt de inductiekoppeling de energievoorziening naar het tunnelnet tijdelijk over gedurende de periode dat de diesel start en in bedrijf komt. De kinetische energie uit de inductiekoppeling is hiervoor voldoende. Frequentie naar het tunnelnet wordt elektronisch geregeld. Op het moment dat de diesel het nominale bedrijfstoerental bereikt (binnen 1,5 sec) koppelt de inductiekoppeling de dieselmotor aan de generator. Vervolgens functioneert de no-break als een gewoon noodstroomaggregaat.





## 7.2.6 Installaties 16 Middenspanningsinstallatie

In verband met de vaak grote afstanden in een tunnel, is het rendabel om op meer plaatsen in de tunnel (bij tunnels tussen 500 -2500 m in beide landhoofden en in zeer lange tunnels > 2500 m één of meermalen tussen beide landhoofden) een voedingverdeling op te stellen. Er zijn een aantal distributiesystemen mogelijk:

- a. waarbij vanaf een afgaand veld in de hoofdverdeling een step-up trafo de voedingsspanning omhoog transformeert tot 10 kV. De 10 kV spanning wordt door de tunnel getransporteerd en waar nodig bij de onderverdeelinrichting(en) elders in de tunnel dmv. step-down transformatoren weer omlaag getransformeerd en aangesloten op de te voeden onderverdeelinrichting. Deze wijze van stroomvoorziening heeft als voordeel dat alle voedingsbronnen naar de hoofdverdeling (dus ook noodstroom en eventuele alternatieve energie) via de step-up/step down voorziening kunnen worden gedistribueerd over alle onderverdeelinrichtingen.
- b. Een middenspanningsvoedingkabel wordt door de gehele lengte van de tunnel geleid. De tunnel verdelen in voedingssecties. In elke sectie is een transformatorstation ondergebracht dat rechtstreeks gevoed wordt uit het middenspanningsdistributienet en dat de betreffende sectie van de tunnel van laagspanning 230/400 of 700 VAC voorziet. Elke trafo is aangesloten op een laagspanningsverdeelinrichting voor de laagspanningstroomverdeling in de betreffende tunnelsectie.
- c. Een middenspanningsvoeding door de gehele tunnel conform a., echter belangrijke stroomgebruikers voorzien van een middenspanningsmotor, of aparte middenspanningstrafo. Overigens voeden conform de beschrijving in a. Dit systeem is in Nederland nog nergens toegepast in tunnels.

Middenspanning vanaf de hoofdvoedingverdeling naar de andere voedingverdeling(en) transporteren via (10 kV) middenspanningskabels. Stepup en stepdown transformatoren moeten in een aparte ruimte worden opgesteld, ofwel door middel van stalen, gearde hekken van de overige installaties worden afgeschermd. Droge (niet olie gevuld) transformatoren genieten de voorkeur.

Voorzieningen moeten worden aangebracht voor het afvoeren van de door de transformatoren ontwikkelde warmte.

Het gebruik van SF6 is toelaatbaar.





### **7.2.7      Installaties 17 Alternatieve energie**

Geen toepassing in Nederlandse tunnels.





## **Inhoudsopgave 20 Verlichting**

- 7.3.1 Installaties 21 Verlichting verkeerstunnel
  - 7.3.1.1 Doel van tunnelverlichting
  - 7.3.1.2 Typen tunnelverlichting
  - 7.3.1.3 Regelen van het verlichtingsniveau
  - 7.3.1.4 Dimmen of schakelen
  - 7.3.1.5 Flikkereffect
  - 7.3.1.6 Configuratie van schakelstanden bij TL
  - 7.3.1.7 Voeding van verlichting
  - 7.3.1.8 Algemene eisen te stellen aan de constructie van verlichtingsarmaturen
  - 7.3.1.9 Daglichtroosters
  - 7.3.1.10 Algemeen mogelijkheden tot kostenreductie bij tunnelverlichting
- 7.3.2 Installaties 22 Verlichting middenkanaal/vluchtweg
  - 7.3.2.1 Verlichtingsniveau
  - 7.3.2.2 Noodverlichting
- 7.3.3 Installaties 23 Openbare verlichting
  - 7.3.3.1 Kleur en vormgeving
  - 7.3.3.2 Schakelen van openbare verlichting



---

Tunnel technische installaties



## 7.3 20 VERLICHTING

### 7.3.1 Installaties 21 Verlichting verkeerstunnel

Basisdocument voor het ontwerp en berekening van tunnelverlichting is de Aanbeveling: "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen", uitgegeven door de Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde (NSVV) te Arnhem.

De Aanbeveling beschrijft typen tunnelverlichting, geeft berekeningsmethoden voor het ontwerp van tunnelverlichtingssystemen in korte en lange tunnels en verstrekt gegevens die daarbij noodzakelijk zijn.

Dit hoofdstuk 21 is bedoeld als toelichting en praktische wenken bij de Aanbeveling.

#### 7.3.1.1 Doel van tunnelverlichting

Tunnelverlichting wordt in eerste instantie gedimensioneerd op het veilig passeren van een tunnel.

Voor een weggebruiker spelen daarbij de volgende aspecten een rol:

1. De weggebruiker moet zijn positie kunnen bepalen binnen de tunnel.
2. Zichtbaarheid van medeweggebruikers en/of obstakels en oriëntatie op de omgeving:

Gebruikers van een tunnel moeten voortdurend voldoende informatie krijgen over hun omgeving en andere weggebruikers. De informatie moet voldoende zijn voor oriëntatie en om tijdig te kunnen anticiperen op gebeurtenissen vóór hen. Zonodig kunnen ze tijdig de snelheid aanpassen, uitwijken of op tijd stoppen. Het belangrijkste criterium is, dat andere voertuigen op een zodanige afstand kunnen worden waargenomen en de situatie kan worden herkend, dat tijdig stoppen nog mogelijk is.

Belangrijk aandachtspunt bij een verlichtingsontwerp is de overgang overdag, tussen een hoog daglichtniveau buiten de tunnel (>10.000lux) naar een veel lager lichtniveau binnen de tunnel (<500 lux). Vermeden moet worden dat een weggebruiker op enig moment onvoldoende informatie krijgt om tijdig te kunnen anticiperen op de situatie vóór hem. Een overgangsverlichting is noodzakelijk. Van buitenaf gezien kan de tunnelopening zich manifesteren als een donker gat. Dit "zwarte gat effect" kan sterk worden gereduceerd door het contrast tussen de tunnelopening en zijn directe omgeving te verminderen. Dit kan door de in de directe omgeving van de tunnelopening donkere kleuren te gebruiken.

3. visuele geleiding:

Visuele geleiding wordt bepaald door visuele aanwijzingen over het verloop van de weg. Dit aspect hangt slechts ten dele met tunnelverlichting samen, hoewel vooral in de tunnel het verloop van de weg kan worden afgeleid zowel uit de verlichtingsarmaturen als uit de aangestraalde constructie-elementen en wegdekbelijning.

4. beleving van de tunnel:

De tunnel moet zich van buitenaf gezien niet voordoen als een "zwart gat".

Binnen de tunnel moet voorkomen worden dat een weggebruiker zich opgesloten of onzeker voelt. Goede verlichting draagt bij aan oriëntatie en comfort.



5. vermijden van verblinding van voertuig bestuurders:

Algemeen moet getracht worden verblinding op enige plaats buiten of binnen de tunnel te vermijden. Ofwel vóór de tunnel moet zonodig de hemel door bouwkundige voorzieningen worden afgeschermd indien bij lage zonnestand kans op verblinding ontstaat. Binnen de tunnel moeten armaturen zodanig zijn geplaatst dat automobilisten vanuit een normale waarnemingspositie niet rechtstreeks in de lamp kunnen kijken.

Bij het verlaten van de tunnel bestaat kans op verblinding als de automobilist vanuit de relatief donkere tunnelomgeving het heldere vlak van de tunneluitgang vóór zich ziet. Dit kan vooral optreden bij lange rechte hellingen waarbij gezien vanuit de tunnel, binnen de omlijsting van de tunneluitgang hoofdzakelijk hemel zichtbaar is. Bij hellingen die overwegend op het zuidelijk halfroond van de hemel gericht zijn kan bij lage zonnestand en/of bij hoge hemelhelderheid verblinding ontstaan. Dit effect kan worden verminderd door lange, relatief donkere tunnels via een bocht in de buitenlucht te laten uitmonden waardoor pas aan het einde van de tunnelbuis de buitenlucht zichtbaar wordt, of aan het eind van de tunnel hemelafschermende maatregelen te nemen.

### 7.3.1.2 Typen tunnelverlichting

**Tegenstraal verlichting:** In het algemeen worden SON-lampen als lichtbron gebruikt.

Tegenstraalverlichting wordt gebruikt als overgangsverlichting. Tussen de overdag hoge luminanties buiten de tunnel en de relatief lage waarden binnen de tunnel bestaat een groot verschil. Deze licht-donkerovergang moet zodanig worden ingericht dat automobilisten voortdurend voldoende informatie krijgen over het voor hun rijdende verkeer. De informatie moet voldoende zijn om tijdig te kunnen anticiperen op gebeurtenissen vóór hen.

De mogelijkheid tot het kunnen waarnemen en herkennen van voertuigen en objecten op de weg hangt samen met het helderheidscontrast dat deze voorwerpen hebben ten opzichte van de weg en andere elementen binnen het blikveld.

Tegenstraalverlichting straalt het licht onder een bepaalde hoek (ongeveer 55°) tegen de verkeersrichting in en maakt hiervoor gebruik van speciale armaturen die schuin worden geplaatst en voorzien zijn van een asymmetrische spiegeloptiek. Doordat het licht tegen de verkeersrichting in wordt gestraald, wordt de min of meer verticale achterzijde van een voertuig niet direct aangestraald. Het horizontaal liggende wegdek wordt wél aangestraald. Een automobilist ziet daarom de achterkant van vóór hem rijden de voertuigen (of andere voorwerpen op de weg) relatief donker afsteken tegen het wegdek. Op deze wijze ontstaat dus een t.o.v. symmetrische verlichting verhoogd helderheidscontrast. Dit wordt al bereikt bij betrekkelijk lage verlichtingssterkten. Tegenstraalverlichting maakt aldus mogelijk met relatief weinig elektrisch vermogen een goede overgang te bewerkstelligen tussen hoge niveau's buiten en lage niveau's binnen de tunnel.

Bij symmetrische verlichting is de helderheid van de tunnelomgeving belangrijk omdat bij deze verlichting de waarneming van voorwerpen in hoofdzaak afhangt van het algemeen aanwezige verlichtingsniveau. Een heldere omgeving (wanden) draagt hieraan bij door reflectie van het op de wanden gestraalde licht.



Omdat bij tegenstraalverlichting de waarneming in hoofdzaak afhankelijk is van het helderheidscontrast, is bij deze verlichting de helderheid van tunnelwanden minder belangrijk. Blijft overigens wel een comfort aspect en daarmee het gevoel van welbevinden van de weggebruiker (schone, heldere wanden geven een comfortabeler indruk van de tunnel).

Hoewel...: De Westerscheldetunnel heeft zeer donkere wanden (donkergekleurde spuitmassa met een zeer grove structuur die niet gereinigd kan worden). Daarbij heeft deze tunnel een zeer laag verlichtingsniveau (Ehor.gem.plm.30 lux). Dit geeft geen aanleiding tot klachten van weggebruikers en wordt desgevraagd ook niet als oncomfortabel ervaren.

Tegenstraalverlichtingsarmaturen moeten bij voorkeur in het hart van de rijstroken worden opgehangen aan het plafond. Het tegenstraaleffect wordt minder naarmate de armaturen verder buiten de as van een rijstrook worden opgehangen (waardoor het verkeer dus meer zijdelings wordt aangestraald). Bij méérstrooks wegen waarbij het licht van een rij armaturen over meerder stroken moet worden verdeeld moet hiervoor een optimum worden gezocht. Het nadelig effect van zijdelingse plaatsing wordt minder naarmate het armatuur hoger kan worden opgehangen. Dit heeft uiteraard ook een gunstig effect op de ongelijkmatigheid (wordt gelijkmatiger)

#### **Symmetrische puntverlichting**

In het algemeen worden ook bij symmetrische verlichting SON-lampen als lichtbron gebruikt.

In het verlengde van een asymmetrische tegenstraalverlichting wordt meestal een symmetrische puntverlichting toegepast. Mits de helderheids-ongelijkmatigheid in lengterichting van de tunnel niet een bepaald maximum overschrijdt (zie de Aanbeveling "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen"), geeft deze verlichting een goed verlichtingsresultaat tegen een gunstige verhouding  $W/m^1$  tunnel of  $W/m^2$  wegdek.

Puntverlichtingen moeten zijn opgehangen parallel aan de weg-as, zodanig dat vanaf een afstand gezien alle puntbronnen op één lijn zijn geplaatst. Deze verlichtingslijn mag geen knik vertonen of zijdelings weglopen vanwege de passieve geleiding die de tunnelverlichting vormt voor het verkeer.

Puntverlichting moet eveneens bij voorkeur in het hart van een rijstrook worden opgehangen. Ophanging buiten het hart van een rijstrook heeft tot gevolg dat licht (van hoge intensiteit) van opzij het auto-interieur wordt binnengestraald. De door het auto-interieur glijdende schaduwen van raamstijlen etc. geven een onrustig beeld en kunnen storend werken. Bij plaatsing buiten het hart van een rijstrook, maar nog wel boven de rijstrook is dit effect gering; het neemt echter sterk toe naarmate het armatuur verder buiten het hart van de rijstrook wordt geplaatst en dieper het interieur van de auto kan binnenstralen. Bij meerstrooks tunnels met minder rijen armaturen aan het plafond dan rijstroken moet een optimale plaatsing worden gezocht. Ook hier vermindert het negatieve effect naarmate het armatuur hoger kan worden opgehangen.

**Doorgaande lijnverlichting:** In het algemeen wordt in doorgaande lijnverlichting TL toegepast

Vrijwel alle bestaande tunnelverlichtingen die aangebracht zijn vóór 1996 zijn voorzien van TLverlichting. Al deze tunnels hebben een lijnverlichting.



Evenals bij puntverlichting moeten de lichtlijnen parallel aan de weg-as lopen en mogen geen "knik" vertonen of naar opzij weglopen.

Plaatsing opzij van de rijbaan is bij een aaneengesloten lijnverlichting met TL (geen puntbronnen) geen bezwaar en maakt de armaturen gemakkelijker bereikbaar bij onderhoud in meerstrooks tunnelbuizen waarin tijdens onderhoudswerkzaamheden verkeer wordt toegelaten op (een deel van) de rijstroken.

### 7.3.1.3 Regelen van het verlichtingsniveau

- Verlichting schakelen of dimmen aan de hand van signalen afgegeven door lichtgevoelige cellen of een  $L_{20}$  meting buiten de tunnel.
- Eventuele vaste nachtstanden (bijv. 0.00-0.500) schakelen door middel van een schakelklok met vast ingestelde tijden.
- In korte onderdoorgangen waarin overdag geen verlichting noodzakelijk is of overdag een vast verlichtingsniveau is geschakeld, op nachtverlichting schakelen bijvoorbeeld d.m.v. een astronomische schakelklok of het signaal van, of een aansluiting op de lokale openbare verlichting, zodanig dat de tunnelverlichting in de nachtstand schakelt op het ogenblik dat de openbare verlichting wordt ingeschakeld.

In tunnels in drukke verkeerswegen kan bespaard worden op verlichting door de het verlichtingsniveau in de overgangszones verkeersafhankelijk te schakelen: Bij het ontwerp van een overgangsverlichting is meestal uitgegaan van een verkeerssnelheid van 100-120 km/uur. Dit resulteert in een vrij groot (kostbaar) verlichtingsvermogen bij helder weer overdag. Indien echter overdag de verkeerssnelheid tengevolge van stagnatie daalt tot v er onder de ontwerpsnelheid, is een hoog verlichtingsniveau in de overgangszones overbodig en zou de tunnelverlichting (mede) geregeld kunnen worden afhankelijk van de gemeten verkeerssnelheid.

### 7.3.1.4 Dimmen of schakelen

Aanpassing van de verlichtingsniveaus in de tunnel is mogelijk door het in/uitschakelen of dimmen van lampen. Bij TL dimmen d.m.v. fase-snijding, bij SON d.m.v. fase-snijding of een voorschakelweerstand.

*Voor en nadelen van schakelen en dimmen:*

#### a. Schakelen t.o.v dimmen

Nadelen:

- Inschakelen veroorzaakt stroompiek;
- Bij inschakelen is een opwarmtijd noodzakelijk voordat de lamp nominaal presteert. Dit kan afhankelijk van het lamptype enkele minuten duren. Bij continue regeling kunnen lampen op maximaal gedimd niveau stand-by worden gehouden, zodat er op het gewenste moment ingeschakeld kan worden en inschakelpieken worden vermeden.
- Schakelende lichtregeling is alleen in stappen mogelijk, ofwel de lamp geeft teveel licht als nog niet naar een volgende stap kan worden geschakeld. Het grootste deel van de ingeschakelde tijd wordt dus verlicht op een hoger (of eventueel lager) niveau dan noodzakelijk. Hierdoor zijn bij schakelende verlichting meer (onnodige) nominale branduren (of te laag niveau) waardoor een ongunstiger energiegebruik of niet aangepast lichtniveau ontstaat t.o.v. een continue geregelde verlichting.



- Bij een schakelende lichtregeling is altijd maximale lichtstroom per lamp, waardoor een kortere levensduur en snellere remplace noodzakelijk is;
- Vrij grote variatie lamptypen (sterkte) noodzakelijk om geleidelijke stappen te kunnen maken.

Voordelen:

- Een schakelende lichtinstallatie is technisch eenvoudig, en goedkoop in aanleg en onderhoud;

#### b. Dimmen t.o.v. schakelen

Nadelen

- continue regelbare installatie is relatief duur in aanschaf, heeft meer componenten en heeft daardoor een grotere storingskans;
- Alleen ongecompenseerde VSA's (voorschakelapparaten) kunnen worden toegepast waardoor een slechte  $\cos\phi$  ontstaat die in de onderverdeelinrichting moet worden gecompenseerd.
- Door eigen gebruik (verlies) van de regelaars grotere warmtedissipatie t.p.v. de regelaars;

Voordelen

- Elk gewenst lichtniveau < nominaal kan worden gerealiseerd;
- gemiddeld lagere bedrijfstemperatuur van de lampen;
- Overdimensionering kan worden weggeregeld;
- Depreciatie t.g.v. veroudering en vervuiling wordt gecorrigeerd d.m.v. regeling;
- Beperkt aantal armatuur en lamptypen volstaat voor alle niveaus;
- langere levensduur van de lampen.

### 7.3.1.5 Flikkereffect

Bij het bepalen van de tussenafstanden in een lijn van puntverlichtingsarmaturen, bij het uitschakelen of wegdimmen van tussenliggende armaturen in een lijnverlichting of een lijn van puntverlichtingsarmaturen, moet vermeden worden dat voor het verkeer hinderlijke wisselingen in verlichtingssterkte ontstaan (het zgn. flikkereffect). Het flikkereffect kan desoriëntatie van de weggebruiker veroorzaken ("zwevend gevoel"). Bepaalde frequenties in wisseling van de verlichtingssterkte moeten worden vermeden. Zie hiervoor de Aanbeveling "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen".

### 7.3.1.6 Configuratie van schakelstanden bij TL

Het lichtniveau in een tunnel met een TL-lijnverlichting kan als volgt worden geschakeld, er van uitgaande dat de lijnverlichting is samengesteld uit TL-armaturen met in elk armatuur twee TL-lampen (in elk armatuur moeten elke "TL" afzonderlijk kunnen worden geschakeld):

- alle lampen in de lijn ingeschakeld (niveau 100%)
- alle lampen aan één zijde van elk armatuur ingeschakeld (niveau 50%) (eventueel 1 op 2 armaturen ingeschakeld)
- een op drie armaturen ingeschakeld (niveau 33%)



- alle lampen aan een zijde van een op drie armaturen ingeschakeld (niveau 16%) (nachtstand)

### 7.3.1.7 Voeding van verlichting

Om een zo groot mogelijke bedrijfszekerheid te bereiken de voeding van de tunnelverlichting verdelen over de net-, nood en nobreak voorziening, zodanig dat bij elk verlichtingsniveau voldoende lampen blijven branden bij nobreakvoeding. Mogelijke configuraties om dit te bereiken:

- 1 op 3 armaturen aansluiten op nobreakvoeding
- tenminste alle lampen aan één zijde van (TL-) armaturen aansluiten op preferente voeding
- de lampen aan de andere zijde van (TL-) armaturen aansluiten op nietpreferente voeding.

Uitgaande van 100% bedrijf, zal in deze situatie bij spanningswegval 1/3 armaturen blijven branden op nobreakvoeding, totdat de noodstroomaggregaten het tunnelnet gaan voeden. Vanaf dat ogenblik wordt van alle overige (nietnobreak) armaturen de helft ingeschakeld; 2/3 van de tunnelverlichting is nu in bedrijf. Indien de vermogenssituatie het toelaat kan nu door de PLC de nietpreferente verlichting worden vrijgegeven.

Uiteraard kan ook gekozen worden om voldoende no-break of noodstroomvermogen te installeren voor 100% verlichtingsniveau.

Indien de tunnel niet voorzien is van een nood-voeding, maar aangesloten is op twee of meer van elkaar onafhankelijke netvoedingen, dan zo mogelijk de energievoorziening van de verlichting per buis verdelen over de verschillende netvoedingen.

### 7.3.1.8 Algemene eisen te stellen aan de constructie van verlichtingsarmaturen

- Alle armaturen moeten constructief volledig identiek zijn; armatuurhuizen en daarbij behorende onderdelen van volledig in de tunnelatmosfeer corrosiebestendig materiaal.  
Het is in jarenlange praktijk gebleken dat AlMgSi0,5 goed voldoet. Met RVS (type AISI316) is in Nederland geen praktisch ervaring.
- Metalen armaturen moeten zodanig zijn vormgegeven dat (agressief) stof niet kan verzamelen in holtten (tussen ribben) van de armatuuurbakken.  
Gewapende kunststoffen mogen niet worden toegepast in verkeerstunnels, gezien de corrosiegevoeligheid van dit materiaal in de tunnelatmosfeer.  
Met ongewapend, hooggevuld PUR is zeer goede ervaring. Door temperatuurwisselingen kan vervorming optreden, daarom moet bij de constructie van armaturen uit dit materiaal grote aandacht worden besteed aan vormvastheid en moeten afdichtingen zodanig worden uitgevoerd dat eventuele vervormingen van het armatuur hierop geen invloed kunnen hebben.
- Armaturen bestemd voor hoge druk gasontladingslampen zoals SON, voorzien van een hardglazen ruit dik 6mm en voldoen aan ten minste IP 65.
- Armatuurruiten mogen geen andere krachten opnemen dan die tengevolge van het eigen gewicht.
- Alle elektrische onderdelen moeten binnen in het armatuur ondergebracht worden. Alle metalen delen dienen geaard te worden.



- Stekerverbindingen alleen toepassen binnen het armatuur en met voorlopende aarde.
- Verlichtingsarmaturen moeten geopend kunnen worden zonder gebruik van gereedschap. Noodzakelijkerwijs losse onderdelen moeten onverliesbaar aan de armaturen zijn bevestigd.
- Binnen armaturen voor hoge druk gasontladingslampen zoals SON kunnen vrij grote temperatuurverschillen ontstaan t.o.v. de buitenlucht. Dit kan onderdruk binnen het armatuur veroorzaken waardoor het openen wordt belemmerd, maar ook kan via onbedoelde lekkages verontreinigde en vochtige tunnellucht worden aangezogen, hetgeen snelle vervuiling van het inwendige van het armatuur tot gevolg heeft. Daarom mogen verlichtingsarmaturen binnen een tunnel niet volledig gasdicht worden uitgevoerd, maar moeten worden voorzien van een ademend filter (labyrint en/of semi-permeabel membraan).

### 7.3.1.9 Daglichtroosters

Een daglichtrooster wordt geplaatst vóór de ingang van het overdekte gedeelte van een tunnel en is een constructieve voorziening die slechts een deel van het daglicht doorlaat, zodanig dat overdag een geleidelijke overgang wordt bewerkstelligd tussen de hoge lichtniveaus buiten de tunnel en de lage lichtsterkten binnen de tunnel. Dat wil zeggen: bij het binnenrijden van de tunnel neemt, tijdens de passage van het lichtrooster, de hoeveelheid licht geleidelijk af van het lichtniveau buiten de tunnel tot aan het niveau van de tunnel.

Een daglichtrooster vervangt (een deel van) de overgangsverlichting.

De functie van een daglichtrooster is tweeledig:

1. Lichtovergang: het lichtniveau wordt via natuurlijke weg vermindert.
2. Hemelafscherming: de hemel binnen het blikveld van de weggebruiker wordt afgeschermd, waardoor de verstorende werking daarvan (verblinding in het perifere gezichtsveld) voor de weggebruiker wordt vermindert.

Een lichtrooster maakt een hoog, aan het buitenlicht aangepast verlichtingsniveau in de tunnelingang overbodig en is diensgevolg energiebesparend. Lichtroosters vragen echter een hoge investering voor bouwkundige kosten (veroorzaakt door zowel het lichtrooster, de civiele constructies als het ruimtebeslag) en een investering in energie en hoeven daarom niet kostenbesparend te zijn. Een berekening tegen kontante waarde over tenminste 25 jaar kan hierin inzicht geven.

Een lichtrooster met een gelijkmatige lichtdoorlaat, onder alle weersomstandigheden aangepast aan de buitenlichtomstandigheden, mag niet volledig zon-dicht zijn en mag niet zijn uitgevoerd in sterk reflecterend materiaal. Zie hiervoor de Aanbeveling "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen".

Daglichtroosters bij de uitgang zijn over het algemeen niet noodzakelijk, aangezien de oogadaptatie van licht naar donker veel sneller verloopt dan van donker naar licht. Alleen indien er verblinding optreedt bij het van binnen naar buiten rijden uit de tunnel is mogelijk hemelafscherming in de vorm van een rooster gewenst. Zie het hoofdstuk 21.1.bij (4) Voorkomen van verblinding. Bij een uitrooster ligt de nadruk niet zozeer op het bereiken van een geleidelijke overgang tussen binnen en buiten, maar op hemelafscherming t.b.v. het voorkomen van verblinding.

**7.3.1.10 Algemeen mogelijkheden tot kostenreductie bij tunnelverlichting**

- 's Nachts tot een minimum reduceren van het verlichtingsniveau d.m.v. een schakelklok met vaste tijden.
- Toepassen van tegenstraalverlichting in de overgangszones
- Gebruik van donkere kleuren in de zone rondom de tunnelinritten verminderd het "zwarte gat"-effect aanzienlijk, waardoor minder ingangsverlichting nodig is;
- Bij symmetrische verlichting verbeteren lichte kleuren binnen de tunnel het effect. Dit werkt in alle opzichten kostenbesparend.  
In dit verband kan regelmatig schoonmaken van de tunnelwanden en de verlichtingsarmaturen een (geringe) besparing opleveren in energiekosten voor de verlichting. Hierbij moet een optimum worden bepaald tussen schoonmaakkosten en energiekosten.
- Aanpassen van het verlichtingsniveau aan de verkeerssnelheid en het aantal auto's, ofwel het verlagen van het verlichtingsniveau in de tunnel gedurende perioden waarin met lage snelheid wordt gereden.



## **7.3.2 Installaties 22 Verlichting middenkanaal/vluchtweg**

### **7.3.2.1 Verlichtingsniveau**

De verlichting in een middengang of kabelkanaal moet, indien uitsluitend gebruikt als technische ruimte een gemiddeld niveau hebben van ten minste 75 lux op vloerniveau. Indien gebruikt als vluchtgang moet het niveau minimaal 100 lux zijn op vloerniveau (VRC) vanaf het moment dat het kanaal als vluchtgang is ingesteld

### **7.3.2.2 Noodverlichting**

Bij noodverlichting (d.w.z. als de reguliere verlichting geheel is uitgevallen ten gevolge van een algemene stroomstoring, moet het verlichtingsniveau op vloerniveau tenminste 1 lux bedragen.

*N.B. Indien de vluchtgangverlichting is aangesloten op een no-breakgroep, kan de gehele vluchtwegverlichting beschouwd worden als noodverlichting. Het noodverlichtingsniveau is in deze situaties dus tenminste 100 lux op vloerniveau.*





### **7.3.3 Installaties 23 Openbare verlichting**

#### **7.3.3.1 Kleur en vormgeving**

Kleur en vormgeving van de tunnelverlichting hoeft niet aangepast te worden aan de openbare verlichting ter plaatse of de openbare verlichting aan de tunnelverlichting. Aangezien de tunnel een discontinuïteit vormt in de doorgaande weg, is het toelaatbaar dat in de tunnel een van de webverlichting afwijkend lamptype, lichtkleur etc. wordt geïnstalleerd.

Wel kan het gewenst zijn om verlichting in de open toeritten naar de tunnel; mee te laten schakelen met de tunnelverlichting. Indien dit het geval is; verdient het aanbeveling deze verlichting aan te sluiten op de laagspanningsverdeling van de tunnel. Het is dan ook eenvoudig mogelijk om de toeritverlichting van noodstroom, eventueel no-breakstroom te voorzien.

#### **7.3.3.2 Schakelen van openbare verlichting**

Het is niet strikt noodzakelijk en soms ongewenst als verlichting in kleinere tunnels en onderdoorgangen mee-geschakeld wordt met de openbare verlichting ter plaatse. Het kan noodzakelijk, zijn dat de tunnelverlichting op een ander tijdstip wordt geschakeld dan de openbare verlichting. Dit is afhankelijk van de lichtomstandigheden ter plaatse en moet per geval worden beoordeeld. Indien meeschakelen met de openbare verlichting niet gewenst is moet de tunnel van een eigen schakel en lichtregel unit worden voorzien.





## **Inhoudsopgave 30 Drainagepomp installaties**

- 7.4.1 **Installaties 30 Algemeen drainagepompinstallaties**
  - 7.4.1.1 Doel van drainagepompinstallaties
  - 7.4.1.2 Algemene beschrijving van drainagepompinstallaties
  - 7.4.1.3 Berekening af te voeren waterhoeveelheid, vertragingsfactoren, waterberging
  - 7.4.1.4 Niveauregeling
  - 7.4.1.5 Algemeen uitvoeringsdetails
  - 7.4.1.6 Mogelijkheden tot reductie van kosten bij pompinstallaties
- 7.4.2 **Installaties 31 Hoofdpompinstallaties**
- 7.4.3 **Installaties 32 Middenpompinstallaties**
  - 7.4.3.1 Middenpompinstallatie in relatie tot middenkanaal tevens vluchtgang
  - 7.4.3.2 Middenpompinstallatie in een geboorde tunnel
- 7.4.4 **Installaties 33 Hellingpompinstallaties of hellingkelders**
  - 7.4.4.1 Algemeen
  - 7.4.4.2 Principe
  - 7.4.4.3 Motivering
  - 7.4.4.4 Uitvoering hellingkelders
- 7.4.5 **Installaties 34 Bronpompinstallaties**
  - 7.4.5.1 Algemeen
  - 7.4.5.2 Principe
  - 7.4.5.3 Onttrekking grondwater
  - 7.4.5.4 Stilstand
  - 7.4.5.5 Onderhoud



---

Tunnel technische installaties



## 7.4 30 DRAINAGEPOMP INSTALLATIES

### 7.4.1 Installaties 30 Algemeen drainagepompinstallaties

#### 7.4.1.1 Doel van drainagepompinstallaties

Alle tunnels die zijn gelegen beneden het omringende oppervlaktewaterniveau, moeten worden voorzien van één of meer drainagepompinstallaties. Deze hebben tot doel regen en lekwater van de tunnel en de open afritten te verzamelen en af te voeren. De algemene eisen voor drainagepompinstallaties staan in de VRC.

De drainagepompinstallaties kunnen worden onderscheiden in:

1. **Hoofdpompinstallaties**; ontworpen voor het verzamelen en afvoeren van regenwater dat is gevallen op de op de tunnel afvoerende verharde oppervlakken en aangrenzende bermen en taluds.  
*N.B. Voor het verzamelen en afvoeren van de eerste 4mm run-off water van de op de tunnel afvoerende weg-oppervlakken wordt vaak een aparte (vuilwater)-tussenkelder geëist. Deze vuilwater-tussenkelder moet beschouwd worden als onderdeel van de hoofdpompinstallaties.*
2. **Middenpompinstallaties**: ontworpen voor het afvoeren van lekwater, bluswater en andere vloeistoffen die binnen de overdekte tunnel kunnen vrijkomen (bij een calamiteit). De middenpompinstallatie voert af op de hoofdkelder of indien aanwezig beide hoofdkelders door middel van gescheiden of te scheiden afvoerleidingen.  
*N.B. Water dat vrijkomt bij schoonmaken van de tunnel moet altijd afzonderlijk worden afgevoerd door het schoonmaakbedrijf en komt dus niet ten last van de tunnelinstallatie.*  
Bij zeer korte tunnels wordt de middenpompkelder vrijwel altijd gecombineerd met de hoofdkelder; d.w.z. in deze situatie is de tunnel voorzien van één pompinstallatie waar de afritten voor en na de tunnel op afvoeren en waar tevens het interieur van de tunnel op loost. Dit soort pompinstallaties moeten behandeld worden als hoofdpompinstallatie.
3. **Hellingpompinstallaties of hellingkelders**: dit zijn pompinstallaties die het regenwater vanaf de bij de tunnelomgeving behorende vlakken en hellingen opvangen en afvoeren, voorzover dit niet langs natuurlijke weg mogelijk is
4. **Bronpompinstallaties**: In zeer uitzonderlijke gevallen moet onder het tunneltracé een permanente grondwaterstandverlagende bemaling worden aangebracht ter beheersing van de waterstand binnen een door damwanden of diepwanden omsloten gebied.  
*N.B. Een bronpompinstallatie is geen normale drainage-installatie en wordt hieronder dan ook niet als zodanig beschreven.*

#### 7.4.1.2 Algemene beschrijving van drainagepompinstallaties

Een drainagepompinstallatie bestaat uit:

- a. een waterkelder waarop de te draineren oppervlakte afwatert;
- b. drainagepompen: In principe zijn 2 uitvoeringen mogelijk:
  1. Uitvoering met dompelpompen binnen het waterreservoir: De pompen bevinden zich binnen het waterreservoir. Dit heeft als voordeel dat geen afzonderlijke droge ruimte naast het waterreservoir hoeft te worden aangelegd ten behoeven van de pompopstelling. Daarbij zijn dompelpompen direct uitwisselbaar. Onderhoud en opheffen van storingen (verstopping) behoeft niet ter plaatse te worden uitgevoerd. Lekkages leiden niet tot wateroverlast. Dompelpompen moeten van bovenaf bereikbaar zijn.



2. Een droge pompopstelling: In geval het onmogelijk is om dompelpompen toe te passen moet een droge pompopstelling worden gebruikt. Dit heeft enkele kenmerkende nadelen: Hoge kosten vanwege de noodzaak een afzonderlijke droge ruimte naast de waterkelder (dus onder riolniveau) aan te leggen t.b.v. de pompopstelling; Droge pompen zijn niet direct uitwisselbaar zodat onderhoud en reparatie altijd ter plaatse moet worden uitgevoerd; Daarbij moet bij verstopping altijd de pomp gedemonteerd worden om het inwendige van de pomp te kunnen bereiken; Lekkages van de pompen of appendages leiden altijd tot wateroverlast in de droge ruimte.  
Een droge pompopstelling kan noodzakelijk zijn bij grote opvoerhoogten omdat in het algemeen dompelpompen geen hoge bedrijfsdruk kan opbrengen en in geval het onmogelijk is de pompinstallatie van bovenaf te bereiken.
- c. In elke waterkelder tenminste 2 (dompel)pompen, waarbij (uitgezonderd de middenpompinstallatie), de totaalcapaciteit van de pompinstallatie, verminderd met de capaciteit van 1 pomp moet voldoen aan de gewenste capaciteit. Mede bepalend voor de keus van het aantal pompen is de beschikbare kelderinhoud in verhouding tot de af te voeren hoeveelheid water, en pompbedrijfstijden.  
De capaciteit van de middenpompkelder mag bij uitvallen van één pomp minder zijn dan de geëiste hoeveelheid mits deze situatie tijdelijk is.
- d. Een droge ruimte (pompkamer) waarin de schakelkast en andere bedieningsapparatuur en appendages behorend bij de pompen staan opgesteld. In kleine installaties is een droge ruimte niet noodzakelijk en kan worden volstaan met een afsluitbare nis in de tunnelwand of een kast op het maaiveld.
- e. In zeer kleine installaties is plaatsing van een prefab pompput+pompunit mogelijk.

#### **Afvoer**

Waar mogelijk, voeren de hoofdpompinstallaties af op het meest nabij gelegen, daarvoor geschikte oppervlaktewater. Waar dit niet toegestaan of onmogelijk is, zoals in een stedelijke omgeving, moet worden afgevoerd op het openbare riool. In de regel worden hierbij limieten gesteld aan de maximale hoeveelheid die per tijdseenheid op het riool mag worden geloosd. Dit betekent dat hoeveelheden groter dan deze limiet geborgen moeten kunnen worden in de waterkelder.

In voorkomende gevallen moet worden afgevoerd op een helofytenveld, bezinkingsvijver of moet worden voorzien in een eigen zuiveringsinstallatie.

Bij het ontwerp van drainagepompinstallaties moet erop gelet worden dat oppervlakten die niet behoeven af te wateren op de tunnelinstallaties, dit ook niet doen. Iedere overbodige belasting van de drainagepompinstallatie kost extra en overbodige pompcapaciteit en waterkelderinhoud.

Om te voorkomen dat bij onderhoudswerkzaamheden of door beschadiging de afvoerleiding volledig buiten gebruik wordt gesteld, deze bij belangrijke installaties redundant (dubbel) uitvoeren, dat wil zeggen de pompen verdelen over twee afvoerleidingen die volledig gescheiden het weggepompte water afvoeren tot aan het lozingspunt (eventueel wel volgens hetzelfde tracé).

#### **Zuivering, slibafscheiding**



Ten gevolge van voorschriften van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (WVO) of eisen van de lokale waterbeheerder is het soms niet toegestaan om afvalwater uit de tunnel op open water in de omgeving te lozen. Het wordt dan noodzakelijk een scheiding uit te voeren tussen verontreinigd water uit de tunnel en van de weg (vuilwater), en niet verontreinigd regenwater van de omliggende terreinen (schoon water).

Een aantal mogelijkheden staan ter beschikking:

1. Het bouwen van een afzonderlijk wateropvangkelder (vuilwater-tussenkelder) voor de opvang van de eerste 4mm (run-off) regenwater die vanaf de verharde weg-oppervlakken wordt afgevoerd na aanvang van een regenbui. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de eerste 4mm run-off water van een wegdek na een droge periode veel sterker verontreinigd is dan het daarna volgende run-off water. Deze vuilwater-tussenkelders moeten zodanig worden uitgevoerd dat als de kelder vol is, de inhoud niet meer gemengd wordt met nadien aangevoerde hoeveelheden water.

De inhoud van de vuilwater-tussenkelders wordt d.m.v. een separate pompinstallatie op een vaste tijd 1x24uur afgevoerd naar b.v. een gemeentelijk riool of een zuiveringsinstallatie, en komt aldus niet ongezuiverd ten laste van het oppervlaktewater. Daarna is de kelder weer gereed voor de volgende 4mm run-off water

Er wordt vanuit gegaan dat onder normale omstandigheden binnen 24uur na binnenstromen van het eerste 4mm run-off water geen ernstige vervuiling van het wegdek meer optreedt.

Voor uitvoering van een vuilwater tussenkelder zie volgend voorbeeld:

2. Het aanbrengen van een bezinkvijver waarop de tunnelinstallatie afvoert. In de bezinkvijver kan slib uit de tunnel bezinken. Aangezien de meeste verontreinigingen aan slib gebonden zijn wordt middels slibverwijdering een voldoende zuivering vergekregen om lozing op open water mogelijk te maken. Een bezinkvijver kan eenvoudig gecombineerd worden met een helofytenveld
3. Aanbrengen van een helofytenveld. Hierbij doorstroomt het afvalwater een met helofyten begroeid gebied(je) waarin langs natuurlijke weg een diversiteit aan giftige stoffen uit het water wordt afgescheiden.
4. Voorts kan verplicht worden een olie-scheiding uit te voeren. Hoewel het aandeel olie en vet-achtige stoffen in het run-off water gering is vergt dit vrij uitgebreide installaties. Een mogelijk oplossing is een olieafscheiding in de waterkelder zelf uit te voeren. Om dit te bereiken moet het uitschakelpeil van de pompinstallatie zodanig worden ingesteld dat altijd minsten 10cm water (+ eventuele olielaag) in de kelder achterblijft. Een eventueel gevormde olielaag kan bij onderhoudsbeurten separaat worden afgezogen en afgevoerd.

In alle gevallen mag een zuivering gepasseerd worden tijdens een extreem wateraanbod (overloop/overstort).



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties

**VOORBEELD****Schoon-vuilwaterscheiding van de eerste 4 mm run-off water van een wegdek****Algemeen**

Indien de eerste 4mm run-off water van een rijksweg niet ongezuiverd geloosd mag worden op open water, is het noodzakelijk een scheiding uit te voeren tussen dit eerste run-off water en het overige run-off water.

In algemeen wordt de eerste 4mm regenval binnen een bepaalde periode (bijv. 24 uur of 12 uur) als vuil water beschouwd en moet apart opgevangen en gescheiden afgevoerd worden.

Het overige, daaropvolgende water wordt als schoon water beschouwd en mag wel op open water geloosd worden.

Dit voorbeeld betreft een scheiding d.m.v. een overloop op twee niveau's.

**Overloopscheiding**

De overloop vanuit de zandvang naar de vuilwaterkelder ligt op een lager niveau dan de overloop naar de schoonwaterkelder. Pas op het moment dat de vuilwaterkelder volledig gevuld is stijgt het waterniveau verder en stroomt over naar de schoonwaterkelder. Zolang de vuilwaterkelder gevuld is, wordt alle uit het riool afkomstige water toegevoerd naar de schoonwaterkelder.

**Regeling vuilwaterkelder:**

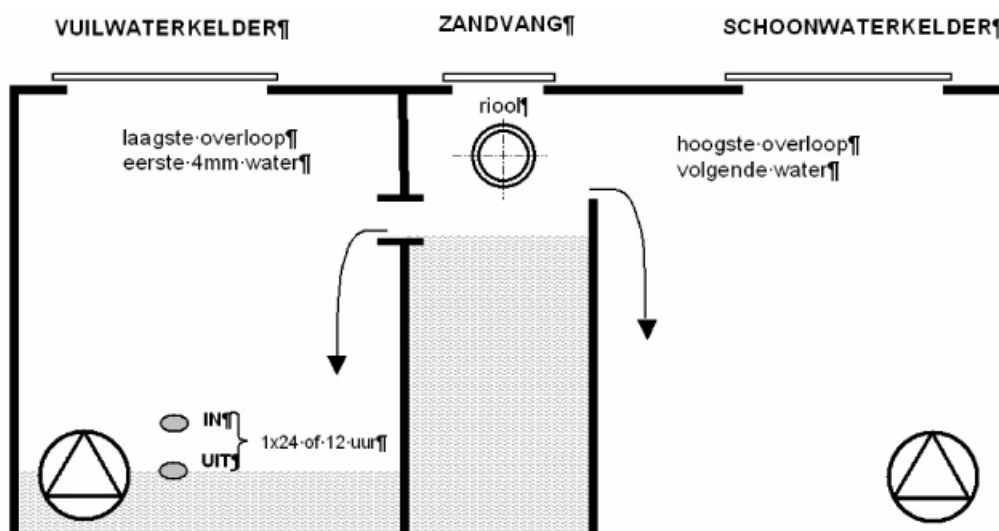
De vuilwaterpompinstallatie wordt in principe op dezelfde wijze geregeld als een normale pompinstallatie; d.w.z. bij een IN-niveau schakelt de pomp in. Bij een UIT-niveau schakelt de pomp uit. De pomp in de vuilwaterkelder wordt 1x24 uur of 1x12 uur (op een vast tijdstip naar keuze) vrijgegeven. Bij het bereiken van het UIT-niveau wordt de pompinstallatie opnieuw geblokkeerd. Indien op het moment van vrijgeven geen water in de kelder aanwezig is zal bij de eerste gelegenheid dat het IN-niveau wordt bereikt de pompinstallatie inschakelen en pas weer worden geblokkeerd op het moment dat daarna het UIT-niveau wordt bereikt.

De pomp (of pompen) moeten in staat zijn om de inhoud van de vuilwaterkelder binnen 12 uur af te voeren.

**Regeling schoonwaterkelder:**

Als een normale regenwaterkelder. Inhoud en capaciteit gebaseerd op regenwaterhoeveelheden. Bij berekening van de totaal benodigde nuttige berging bij regenbuien met een herhalingsstijd > 50 jaar de nuttige inhoud van de vuilwaterkelder niet meerekenen (vuilwaterkelder is vol, en niet beschikbaar).

Bij berekening van de totaal benodigde nuttige berging bij regenbuien met een herhalingsstijd < 50 jaar de nuttige inhoud van de vuilwaterkelder wel meerekenen (vuilwaterkelder is leeg en beschikbaar).





### 7.4.1.3 **Berekening af te voeren waterhoeveelheid, vertragsingsfactoren, waterberging**

#### **Waterhoeveelheid**

Voor de berekening van hellingpompinstallaties en hoofdpompinstallaties gebruik maken van statistische gegevens van het KNMI. (C.Braak, 1933, Het klimaat van Nederland, "Neerslag" en Buishand en Velds, 1980, "Neerslag en Verdamping")

- a. Bij tunnels in belangrijke verbindingen uitgaan van een extreme regenwaterhoeveelheid 1x 250 jaar. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de z.g.n. kromme van Braak, eventueel volgens de statistische gegevens van Buishand en Velds. De gegevens van Buishand en Velds gaan niet verder dan een herhalingstijd van 1x100 jaar. Braak 1x250jaar heeft daarom de voorkeur. Voor een uiteenzetting van de berekeningsmethode, zie de bijlage: "Het gebruik van de kromme van Braak". P.Fournier, Bouwdienst Rijkswaterstaat, 30 maart 2004
- b. Bij tunnels in minder belangrijke verbindingswegen kan een lagere frequentie dan 1x250 jaar worden aangenomen, bijvoorbeeld 1 x 50 jaar.
- c. De berekening van de af te voeren hoeveelheid water bij tunnelafritten gelegen binnen een vliesconstructie, verschilt in principe niet van die bij afritten binnen damwanden of kanteldijken. De af te voeren hoeveelheden moeten echter worden verhoogd met de lekkagehoeveelheden van het vlies.

Bij pompkelders of hellingkelders waarbij neerslaghoeveelheden tijdelijk kunnen worden geborgen binnen een vlies of in bermsloten (telt mee als berging) is de berging soms zo groot dat bij toepassing extreme hoeveelheden schijnbaar volstaan kan worden met een zeer geringe afvoercapaciteit (en dus een lange afvoertijd).

Indien dit het geval moet bij de berekening van de pompinstallaties rekening worden gehouden met cumulatieve neerslaghoeveelheden binnen een aaneengesloten periode van een aantal dagen. Zie hiervoor de hoeveelheden die Buishand en Velds aangeven binnen een aaneengesloten periode van 10 dagen met een herhalingstijd van 100 jaar.

- d. De middenpompkelder moet minimaal waterleveringscapaciteit van de brandblusinstallatie kunnen afvoeren. Alle overige gedurende een langere periode te verwachten hoeveelheden ten last van deze kelder zijn geringer. Het is gebruikelijk middenpompen te kiezen met elk een minimumcapaciteit van 1,5 m<sup>3</sup>/min per stuk indien werkend op 1 afvoerleiding. Meestal kan in een middenpompinstallatie (die geen of een nauwelijks variërend aanbod heeft) worden volstaan met 2 pompen
- e. Voor de berekening van de afvoer naar vuilwater-tussenkelders uitgaan van een vaste hoeveelheid van 4mm/ha wegoppervlak. Hoeveelheden >4mm/ha mogen doorstromen/overlopen naar de hoofdwaterkelder. De vuilwaterkelders moeten 1x 24 uur worden leeggepompt naar een zuivering of een gemeentelijk riool. De max.af te pompen hoeveelheid per tijdseenheid wordt bepaald door de zuivering- c.q. rioolcapaciteit en de toegestane leveringslimiet.



Gezien de mogelijkheid dat een vuilwater-tussenkelder geheel gevuld is op het moment dat de maatgevende statistische bui moet worden afgevoerd, mag deze niet volledig worden meegerekend in de totale waterbergingscapaciteit van de hoofdkelder, doch kan een deel van de inhoud worden meegerekend aan de hand van de kans dat de tussenkelder geheel gevuld is.

Voor een voorbeeld van het gebruik van de kromme van Braak, zie bijlage 30-1

### **Vertragsfactoren (afvloeiingscoëfficiënten)**

Bij het berekenen van afvoerhoeveelheden (neerslag in mm x oppervlak in m<sup>2</sup>) wordt de afvoeroppervlakte geheel of gedeeltelijk in rekening gebracht afhankelijk van de mate van absorptie of vertraging die optreedt:

- Neerslag op verharde oppervlakken wordt per definitie direct afgevoerd naar het riool of de waterberging. De vertragsfactor is 1. Het in rekening te brengen netto oppervlak is 100%.
- Voor kortdurende buien is de absorptie en berging in dicht bebost en met struiken beplant terrein vrijwel 100%. De vertragsfactor is 0 (alle water wordt vastgehouden en opgenomen).
- Voor met gras begroeide terreinen zoals waarmee tunnelingangen en toeleidende wegen in het algemeen zijn omgeven moet bij de berekening van het netto afvoeroppervlak met de volgende vertragsfactoren rekening worden gehouden:
 

- verhard oppervlak	1
- onverhard horizontaal	0,1
- talud 1:5 tot 1:3	0,1
- talud 1:3 tot 1:1	0,2
- talud 1:5 tot 1:3 (met kleibekleding)	0,2
- talud 1:3 tot 1:1 (met kleibekleding)	0,3

### **Berging**

- a. De minimum bergingscapaciteit, van de hoofdkelders en middenpompkelders in tunnels waarin gevaarlijke stoffen worden toegelaten is aangegeven in de VRC. Overigens hangt de bergingscapaciteit van een pompinstallatie samen met de grootte en vorm van het oppervlak dat afvoert op de waterkelder, afvoeroppervlakte en de tijd die nodig is om de geborgen hoeveelheid af te voeren. De VRC-richtlijnen geven dus minimum vereiste inhouden.
- b. Onder nuttige bergingscapaciteit van een pompkelder wordt verstaan: de inhoud tussen het inschakelniveau van de pompen en het maximale niveau. Afgezien van de minimum VRC-eisen met betrekking tot de minimum inhouden en vloeistofoppervlak, voldoet een goede pompinstallatie aan de volgende eisen:
  - De bergingscapaciteit van de pompkelder in een hoofdpompinstallatie in een verkeerstunnel moet voldoende zijn om, indien alle pompen minus 1 in werking zijn, het volume regenwater dat niet direct door de pompinstallatie kan worden afgevoerd tijdens de bui 1 x 250 jaar, te bergen (kelder mag niet overstromen).
  - Indien alle pompen in werking zijn mag het in het kelder ingestelde hoogwaterniveau niet worden overschreden.



- De bergingscapaciteit van een middenpomp-waterkelder moet bij voorkeur zo groot zijn, dat een minimale draaitijd van + 7 min. van de middenpompen nodig is om het geborgen water weg te pompen (pomp mag niet pendelen).

*N.B. De nuttige bergingscapaciteit van een waterkelder kan aanzienlijk worden vergroot door de pompen te plaatsen in een verdiept gedeelte van de waterkelder, zodanig dat het uitschakelniveau van de pompinstallatie gelijk komt te liggen met het vloerniveau van de waterkelder. De volledige inhoud wordt nu nuttig voor berging. Indien de pompen niet verdiept worden geplaatst zal het uitschakelniveau altijd enige tientallen centimeters boven de vloer van de waterberging komen te liggen. De daardoor permanent aanwezige laag water is volledig verlies van nuttige bergingsruimte.*

*Indien bewust gekozen wordt voor een hoog inschakelpeil om de afvoer van op het water drijvende olie te verhinderen, moet dus de niet-afgevoerde vloeistof in mindering worden gebracht op het nuttige bergingsvolume van de pompkelder.*

#### 7.4.1.4 Niveauregeling

- a. De drainagepompinstallaties zijn autonoom werkend.

Dat wil zeggen: bij stijgend waterniveau in de waterkelder starten de pompen achtereenvolgend, totdat na daling van het waterniveau het minimumniveau bereikt is. Bij dit niveau stoppen alle pompen gelijktijdig.

Om een zo groot mogelijk bergingscapaciteit in de waterkelder bereiken, moeten de pompen kort na elkaar inschakelen op niveaus dicht boven de vloer van waterkelder, ongeveer 10-15cm boven elkaar. Het verschil tussen het eerste inschakelpeil en het uitschakelpeil moet voldoende zijn voor een draaitijd van ongeveer 7 minuten voor één pomp.

Het uitschakelpeil moet zo laag mogelijk worden gekozen als de pompen toelaten i.v.m. luchtaanzuigen en/of koeling.

- b. Indien tengevolge van een storing (of te klein berekende pompinstallatie) het waterniveau doorstijgt tot het hoogwaterniveau, krijgen alle pompen een startcommando en wordt een hoogwateralarm gegeven. Het startcommando blijft gehandhaafd totdat het hoogwateralarm wordt gereset.

*N.B. Een uitzonderingssituatie is de z.g.n. "calamiteitenregeling": In tunnels geschikt voor het vervoer van gevaarlijke stoffen worden bij een calamiteit de drainagepompen gestopt om te voorkomen dat bij de calamiteit vrijgekomen gevaarlijke, of sterk verontreinigde stoffen ongezuiverd worden weggepompt naar buiten de tunnel. Vlak voor het moment dat de kelder dreigt over te lopen moet een keus worden gemaakt tussen overlopen van de waterkelder in de tunnel, waarbij mogelijk een gevaarlijke stof in de tunnelbuis wordt verspreid, óf starten van de pompen waardoor de gevaarlijke stof uit de kelder wordt weggepompt en mogelijk wordt verspreid in het milieu.*

*In deze situatie is gekozen voor een niveauschakeling waarbij op het hoogst toelaatbare niveau in de kelder, boven de hoogwaterniveaumeting, een extra hooghoogwater meting wordt geïnstalleerd. Bij de hoogwatermelding wordt een alarm gegeven. Indien het water in de kelder doorstijgt worden op het hooghoogwaterniveau de pompen ingeschakeld en weer uitgeschakeld direct na het onderschrijden van het hooghoogwaterniveau. Aldus ontstaat een pendelende regeling waarbij de kelder maximaal vol blijft staan, niet overloopt, en de minimumhoeveelheid water/ gevaarlijke vloeistof wordt afgevoerd.*

*De calamiteitenregeling is van toepassing op alle pompinstallaties, dus ook op de middenpompinstallaties die afvoeren op hoofkelders.*

- c. Hooghoog en laagwaterbewakingen uitvoeren met afzonderlijke "harde" meting (niveauwippers) die direct de pompen aansturen, zo mogelijk zonder tussenkomst van de besturingsinstallatie.



### 7.4.1.5 Algemeen uitvoeringsdetails

- a. Ruimten direct grenzend aan de waterkelder, daar niet volledig luchttechnisch van afgesloten, ventileren met buitenlucht of lucht vanuit het kabelkanaal of middenkanaal onder handhaving van een geringe overdruk, zodanig dat eventuele verdampingsprodukten uit de waterkelder de aangrenzende ruimten niet kunnen binnendringen.

De waterkelder van de middenpompinstallatie mag om deze reden niet rechtstreeks toegankelijk zijn vanuit kabelkanalen- of dienstgangen, maar mag slechts via een afzonderlijke, afgescheiden ruimte naast- of boven de waterkelder kunnen worden betreden.

Uitsluitend indien een gasdichte afsluiting tussen de waterkelder en de aangrenzende kabelkanalen-of dienstgangen aanwezig is én de kabelkanalen-of dienstgangen voortdurend onder een geringe overdruk worden gehouden t.o.v. de waterkelder, kan een tussenruimte worden weggelaten.

- b. Afvoeren van eventuele in de waterkelders aanwezige gevaarlijke vloeistof naar een buiten de tunnel gelegen alternatief reservoir, tankwagen of tankschip mogelijk maken door middel van een permanente voorziening op de pompinstallatie, bij voorkeur d.m.v. een Storz aansluiting op de hoofdafvoerleiding van de pompinstallatie. Hierbij moet een aardingspunt voor het aarden van de tankwagen of tankschip aanwezig zijn.
- c. Alle in de tunnel uitstromende vloeistoffen verzamelen zich in de pompkelders. In tunnels waarin vervoer van gevaarlijke stoffen is toegelaten, is het noodzakelijk er rekening mee te houden dat explosiegevaarlijke stoffen de pompkelders kunnen binnenstromen. Dit impliceert dat de pompen en alle overige apparatuur binnen de waterkelder van de pompkelders explosieveilig moet zijn, geschikt voor toepassing in zone 1 conform NPR 7910:2000..
- Alle in de aangrenzende, niet volledig van de waterkelder afgesloten ruimten explosieveilig uitvoeren (Ex) G4 (zone 2 conform NPR 7910:2000).  
Gezien de hoge kosten van Ex-beschermde apparatuur, zo veel mogelijk apparatuur buiten de explosiegevaarlijke zones onderbrengen.
- d. Indien droog opgestelde drainagepompen moeten worden toegepast in tunnels waarin het vervoer van gevaarlijke stoffen is toegestaan, moet ofwel de ruimte inclusief de pomp geheel worden ingericht conform zone 2, ofwel moeten de pompen van een pakkingbus met spervloeistof worden voorzien, i.v.m. de vereiste geschiktheid voor het verpompen van gevaarlijke vloeistoffen
- e. Classificatie

Volgens de Europese classificatie van gevaarlijke ruimten worden Ex-zônes als volgt gedefinieerd:

zône 0: gebied waarin continu of gedurende het grootste deel van de tijd een explosieve atmosfeer aanwezig is

zône 1: gebied waar gedurende normaal gebruik een explosieve atmosfeer aanwezig kan zijn;

zône 2: gebied waar gedurende normaal gebruik geen explosieve atmosfeer aanwezig is, en indien de explosieve atmosfeer in deze ruimte ontstaat, is dit gedurende een korte periode;

- f. Dompelpompen zo mogelijk voorzien van 1 aansluitkabel. Indien nietv gasdicht hoeft te worden gewerkt, de pompaansluitkabel(s) via ruime sparingen



doorvoeren naar een droge ruimte en aldaar op een wandcontactdoos aansluiten door middel van een CEE contactstop, zodanig dat bij het verwijderen van de pomp, de elektrische aansluiting zonder demontagewerkzaamheden kan worden losgenomen.

Als dit niet mogelijk is een werkschakelaar per pomp aanbrengen

- g. Nabij de pompen een startstop bediening per pomp aanbrengen; indien een pomp met de drukknop "start" is ingeschakeld, moet deze bij het bereiken van het "uit" niveau automatisch uitschakelen, tenzij de drukknop "start" wordt vastgehouden.
- h. Pompinstallaties voorzien van een aftapmogelijkheid bij vorst, die eventueel permanent open kan blijven staan zonder de goede werking van de pompinstallatie te beïnvloeden, of een thermostaatgeschakelde afvoerleidingverwarming aanbrengen door middel van verwarmingsmanchetten.
- i. Een minimaalstroommeting per pomp aanbrengen ter controle op de goede werking. De pompen nooit uitschakelen n.a.v. een minimaalstroommeting, maar alleen melden, want een minimaal werkende pomp doet altijd nog meer dan een stilstaande pomp, en vrijwel alle pompinstallaties zijn geschikt voor "droogdraaien".
- j. Doorgaande afvoerleidingen op tegen een tunnelbrand beschermde plaatsen, mogen zijn uitgevoerd in HDPE (PE 100 of PE 80). Overig pijpwerk –in ieder geval pijpleidingenwerk en pijpleidingen binnen pompkamers, waterkelders en dienstgebouwen, uitvoeren in staal, thermisch verzinkt volgens NEN-EN-ISO 1461.
- k. Membraanafsluiters genieten de voorkeur bij toepassing in vuilwaterleidingen.
- l. Pompinstallaties zo mogelijk voorzien van een eigen, zelfstandige hijsvoorziening.
- m. Instroomopeningen naar pompkelders vanuit open water, afschermen dmv. een krooshek.

*N.B. Om over een langere periode een min of meer gelijk aantal draaiuren per pomp te bereiken moeten pompen cyclisch worden ingeschakeld; d.w.z. alle pompen binnen dezelfde waterkelder worden bij elke eerste start achtereenvolgend de eerst-inschakelende pomp*

*Bijvoorbeeld bij een installatie met 4 pompen worden bij doorstijgend niveau in de cyclus pomp 1234 IN alles UIT geschakeld en bij de volgende start vervolgens pomp 2341 IN alles UIT etc.*

*Indien over een langere periode een aanmerkelijke afwijking ontstaat in het aantal draaiuren van één pomp t.o.v. de overige pompen, is dit een indicatie dat deze pomp niet goed functioneert gezien de gemiddeld; d langere tijd die deze pomp nodig heeft om dezelfde prestatie te verrichten.*

#### **7.4.1.6 Mogelijkheden tot reductie van kosten bij pompinstallaties**

- Zoals reeds gesteld is het niet economisch om water dat langs natuurlijke weg kan worden geloosd af te voeren via een pompinstallatie.
- Voor een gegeven prestatie is een kleine pompinstallatie die veel draaiuren maakt economisch gunstiger dan een grote pompinstallatie die weinig uren maakt. E.e.a. staat in relatie tot de waterkelderinhoud. Bij een gegeven hoeveelheid af te voeren water moet de pompinstallatie groter zijn naarmate de kelderinhoud kleiner is.



- Een droog opgestelde installatie neemt meer ruimte in beslag en is veel duurder dan een natte, pompinstallatie. Reparaties en ontstoppen/schoonmaken van droog opgestelde pompen is veel arbeidsintensiever en werkzaamheden moeten ter plaatse worden verricht. Een pompinstallatie werkt daarom kostenbesparend op ontwerp en exploitatie.



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## 7.4.2 Installaties 31 Hoofdpompinstallaties

### Aandachtspunten

- Omdat hoofdpompkelders hun water hoofdzakelijk ontvangen van buiten de tunnel gelegen oppervlakken, moeten de waterkelders zo dicht mogelijk bij de uitgang van de tunnel worden geplaatst, liefst juist buiten het overdekte gedeelte van de tunnel (buiten de hoofdconstructie van de tunnel).
- De zandvangen dienen vanaf de openbare weg gereinigd te kunnen worden. Ze moeten daarom bereikbaar te zijn d.m.v. een (zwaarverkeer) luik, geplaatst buiten de rijbaan buiten de kantstrepen. Het luik dient onverliesbaar (scharnierend) te zijn bevestigd aan de luikomranding, om te voorkomen dat een losgereden of losliggend luik door de tunnel gaat zwerven.



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## **7.4.3 Installaties 32 Middenpompinstallaties**

### **7.4.3.1 Middenpompinstallatie in relatie tot middenkanaal tevens vluchtgang**

Middenpompkelders zijn altijd gesitueerd op het diepste punt van de tunnel. Op deze plaats is inherent ruimtegebrek en daarom is het moeilijk om te voldoen aan de VRC-eisen met betrekking tot minimale berging en scheiding tussen explosiebeveiligde ruimten en overige niet Ex.ruimten.

In zinktunnels met een middenkanaal worden in de meeste gevallen de middenpompen ondergebracht onder het middenkanaal. Indien mogelijk moet hierbij gestreefd worden naar een afzonderlijke, van het middenkanaal afgescheiden middenpompkamer. In gevallen dat gebruik van de middengang als doorgaande vluchtweg dit niet mogelijk maakt, moet in eerste instantie gezocht worden naar een middenpompkamer buiten de vluchtweg. Indien dit niet mogelijk is komt een oplossing in aanmerking waarbij de scheiding tussen waterkelder en vluchtweg tot stand wordt gebracht d.m.v. gasdichte luiken. Omdat de gasdichtheid van vloerluiken na herhaald openen en sluiten, schoonmaakwerkzaamheden ter plaatse, veroudering etc. niet meer zeker is, moet bij deze oplossing gekozen worden voor een permanent werkende overdrukinstallatie die de vluchtweg permanent op overdruk ventileert, zodanig dat gas/lucht lekkages van de waterkelder niet de vluchtweg kunnen binnendringen, en indien zij toch optreden, direct worden verdund en weg geventileerd.

### **7.4.3.2 Middenpompinstallatie in een geboorde tunnel**

In boortunnels in zachte boden zoals in Nederland gebruikelijk, is het niet mogelijk een middenpomp-waterkelder onder het diepste punt van de tunneldoorsnede aan te brengen.

- a. Dit impliceert dat de waterkelder binnen het (ronde) boorprofiel van de tunnel, onder het wegdek moet worden aangebracht.  
Bij gebruik van dompelpompen zijn in deze situatie pompluiken in de rijweg noodzakelijk. Dit beperkt de bereikbaarheid van de pompen aanzienlijk (een tunnelbuisafsluiting is vereist) en beperkt daardoor tevens de mogelijkheid snel in te grijpen bij storingen. Gezien het belang geen water op de weg te hebben en de tunnel permanent in bedrijf te houden moet in dit geval worden overwogen een droge ruimte naast de middenpomp-waterkelder aan te brengen, waarin in ieder geval direct bereikbare appendages en schakelapparatuur kunnen worden ondergebracht. Omdat pompluiken in de rijbaan zeer ongewenst zijn moet in deze situatie wellicht worden overgegaan op droog opgestelde drainagepompen, te plaatsen in de droge ruimte naast de middenpomp-waterkelder.
- b. De situatie van de waterkelder binnen het ronde profiel van de tunnel (dus hoger dan het diepste punt) impliceert tevens dat het allerdiepste punt van de tunnel niet langs natuurlijke weg kan worden gedraineerd naar de middenpomp-waterkelder. een afzonderlijke –kleine pompinstallatie is hiervoor noodzakelijk met voldoende capaciteit om lekwater van de tunnel te kunnen afpompen naar het enkele meters hoger gelegen niveau van de middenpomp waterkelder.



---

Tunnelinstallaties

30 Drainagepomp installaties



## **7.4.4 Installaties 33 Hellingpompinstallaties of hellingkelders**

### **7.4.4.1 Algemeen**

Hellingkelders of hellingpompinstallaties worden geplaatst bij tunneltoeritten tussen kanteldijken, waarbij een vrij groot gebied binnen de kanteldijken moet worden gedraineerd.

Hellingkelders onderscheiden zich in principe niet van een klein poldergemaal en zijn uitsluitend bedoeld om regen en drangwater over de kanteldijk te pompen naar open water daarbuiten. Berekening van de hoeveelheden d.m.v. de gegevens van Buishand en Velds, herhalingsstijd 1x100jaar.

### **7.4.4.2 Principe**

Een waterkelder is niet noodzakelijk. Als waterberging volstaat een sloot of vijver waarnaast een gemaaltje in de vorm van een betonnen bak waarin enkele pompen worden geplaatst.

Aandacht moet worden besteed aan filtering van het binnenstromend water (waterplanten, gras, drijvend afval). Een z.g.n. grove filtering d.m.v. een krooshek is meestal voldoende.

### **7.4.4.3 Motivering**

Indien het te draineren gebied niet al te groot is kan het voordeliger zijn af te wateren naar de tunnel. Het is echter veel duurder de op een lager niveau gelegen hoofdpompinstallatie van de tunnel te voorzien van extra waterkelderberging en extra pompcapaciteit te installeren dan een klein gemaal op maaiveldniveau. Bovendien is tijdelijk overstromen van het gebied binnen de kanteldijken geen probleem. Onderin de tunnel echter wel. Bij een hellingkelderinstallatie op maaiveldniveau is dus een lager risico en er kan dus met minder reserve in de pompinstallatie worden volstaan.

### **7.4.4.4 Uitvoering hellingkelders**

In het algemeen hoeven hellingkelders niet EX te worden uitgevoerd.





## **7.4.5 Installaties 34 Bronpompinstallaties**

### **7.4.5.1 Algemeen**

Bronpompinstallaties hebben in het algemeen een tijdelijk karakter en worden aangebracht voor de drainage van een diep gelegen bouwkuip.

In zeer uitzonderlijke gevallen, bij falen van de permanente voorzieningen (lekkende bodemafluiting, lekkende diepwanden of damwanden rondom een tunneltoerit) is de grondwatertoeloop moet onder of naast het tunneltracé zodanig, dat een permanente grondwaterstandverlagende bemaling worden aangebracht.

Indien mogelijk moet deze situatie worden vermeden.

### **7.4.5.2 Principe**

Bij een bronpompinstallatie wordt gebruik gemaakt van tot onder de plaatselijke grondwaterstand geboorde bronbuizen waarin een bronpomp is opgehangen.

Bronbuizen zijn aan de onderzijde van een filter voorzien.

Het uit de bron opgepompte water is in de meeste gevallen niet verontreinigd, op sommige lokaties wél ijzerhoudend hetgeen uitvloeking van ijzeroxiden tot gevolg kan hebben op het moment dat het opgepompte water in contact komt met zuurstof in de lucht. Een aandachtspunt hieruitvolgend is dat het waterniveau in de bronbuis niet te diep verlaagd moet worden zodat het bronfilter onderin de buis droog komt te staan. Dit heeft neerslag van oxiden in het filter tot gevolg waardoor het dichtslibt. In het algemeen kan bronwater direct geloosd worden op open water.

### **7.4.5.3 Onttrekking grondwater**

Grondwateronttrekking is niet gratis. Afhankelijk van de afspraken met lokale autoriteiten moet betaald worden voor het opgepompte en geloosde grondwater. Hiervoor is een hoeveelheidsmeting en registratie noodzakelijk.

### **7.4.5.4 Stilstand**

Bronpompen zijn vrij kwetsbaar en mogen niet te lang achtereen stilstaan. Bij te verwachten langdurige stilstand moeten de pompen uit de bronbuis worden verwijderd

### **7.4.5.5 Onderhoud**

Bij langdurig gebruik kunnen bronbuizen dichtslibben. Bij teruglopende capaciteit kunnen zij door een gespecialiseerd bedrijf geregenereerd worden.





## Inhoudsopgave Ventilatiesysteem

- 7.5.1 Algemeen
- 7.5.2 Installaties 36 Tunnelventilatie
  - 7.5.2.1 Doel van tunnelventilatie
  - 7.5.2.2 Stratificatie
  - 7.5.2.3 Ventilatiesystemen
  - 7.5.2.4 Locatie langsventilatoren
  - 7.5.2.5 Ontwerpaspecten
  - 7.5.2.6 Enkele uitvoeringsaspecten van tunnelventilatoren; praktische wenken
  - 7.5.2.7 Schakelen van tunnelventilatie
- 7.5.3 Installaties 37 Meting van luchtverontreiniging
  - 7.5.3.1 Algemeen
  - 7.5.3.2 NO<sub>2</sub> - en zichtmeetapparatuur
  - 7.5.3.3 LEL-meting
- 7.5.4 Installaties 38 Overdrukinstallatie pompkamers
  - 7.5.4.1 Algemeen
  - 7.5.4.2 Overdruk
  - 7.5.4.3 Ont-/beluchtungsleiding
  - 7.5.4.4 Gasdichtheid van luiken en springen
  - 7.5.4.5 Schakelen
- 7.5.5 Installaties 39 Vluchtgangventilatie
  - 7.5.5.1 Algemeen
  - 7.5.5.2 Ontwerpcriteria
  - 7.5.5.3 Berekeningsgegevens
  - 7.5.5.4 Schakelen



---

Tunnel technische installaties



## **7.5 35 VENTILATIESYSTEEM**

### **7.5.1 Algemeen**

Basisdocument voor het ontwerp en berekening van tunnelventilatie is de VRC.  
Het onderdeel "Tunnelventilatie" uit de VRC is verder uitgewerkt in de "Aanbeveling Ventilatie van Verkeerstunnels" , uitgegeven door (nog onbekend)  
Het Handboek Tunnelventilatie kan zelfstandig worden gebruikt voor ontwerp en berekening en geeft berekeningsmethoden voor het ontwerp en de berekening van tunnelventilatiesystemen en vermeldt maatgevende scenario's en waarden. Overigens is de VRC maatgevend.  
Dit hoofdstuk 35 is bedoeld als toelichting en praktische wenken bij de Aanbeveling en de VRC





## 7.5.2 Installaties 36 Tunnelventilatie

### 7.5.2.1 Doel van tunnelventilatie

Tunnelventilatie dient:

- a. Voor het beheersen van de verontreinigingsgraad van de tunnellucht.
- b. Beheersen van temperatuur in de tunnel: In zeer lange tunnels kan temperatuurverhoging t.g.v. opwarming door het verkeer een ventilatiecriterium zijn.
- c. Voor het in een gewenste richting wegventileren van rook en gassen die bij een calamiteit kunnen vrijkomen.
- d. Voor het bewerkstelligen van een volledige verbranding ter plaatse van de brand. Onvolledige verbranding ter plaatse kan leiden tot her-ontsteking (explosie) van onverbrande verdampingsprodukten elders in de tunnel.

In korte tunnels hoeft geen kunstmatige ventilatie te worden aangebracht en kan onder alle omstandigheden worden volstaan met natuurlijke ventilatie. Vanaf een bepaalde lengte moet altijd kunstmatige ventilatie worden aangebracht. Zie hiervoor de beslismodellen en aanwijzingen in de VRC, hoofddocument hst.12.

### 7.5.2.2 Stratificatie

Bij een brand zullen rook en hete gassen naar het plafond van de tunnel stijgen en daarlangs naar de uitgangen stromen. Onder deze verontreinigde en hete laag is heldere en leefbare lucht aanwezig.

De stratificatie kan verbroken worden door afkoeling, turbulentie (bijvoorbeeld veroorzaakt door kunstmatige ventilatie) of overschrijding van de maximale rooklaagdikte. Tunnellengte is een belangrijke factor bij verbreken van de stratificatie ten gevolge van afkoeling. Boven een bepaalde lengte wordt installeren van kunstmatige ventilatie onontkoombaar. Zie hiervoor het Handboek Tunnelventilatie.

### 7.5.2.3 Ventilatiesystemen

Er bestaan in hoofdzaak de volgende methoden om tunnels te kunstmatig ventileren:

- a. **Langsventilatie:** Door de impulswerking van normaal rijdend verkeer wordt in de tunnelbuis een langsventilatiestroom opgewekt die in het algemeen voldoende is om de tunnel te ventileren.  
Bij stagnerend verkeer, ernstige verontreiniging en brand is deze ventilatiestroom niet meer toereikend of valt geheel weg. Bij het bereiken van deze situatie wordt d.m.v. kunstmatige langsventilatie in de normale rijrichting van het verkeer een langsventilatiestroom in de opgewekt, ondersteund of in stand gehouden, in voldoende mate om luchtverontreiniging af te voeren en rook en gassen uit de tunnelbuis weg te ventileren.  
Hierbij wordt ventilatielucht via de tunnelingang aangevoerd, door het gehele langsprofiel getransporteerd en via de tunneluitgang weer afgevoerd uit de tunnel. De tunnelbuis zelf is hierbij als het ware het ventilatiekanaal.  
Langsventilatie is het enige type ventilatie dat beheersing van gas- en rookstromen in de lengterichting van een tunnelbuis mogelijk maakt.



Voor het berekenen van de benodigde hoeveelheid lucht (luchtsnelheid) bij toepassing van langsventilatie is in het algemeen de brandsituatie bepalend. Maatgevend hierbij is het voorkómen van back-layering, d.w.z. het terugstromen van rook en gassen tegen de ventilatiestroom in.

Voor langsventilatie is een aanzienlijk geringer ruimtebeslag noodzakelijk en vergt ook overigens veel lagere investeringen dan andere typen kunstmatige ventilatie. Het is dus ook kostentechnisch aantrekkelijk om langsventilatie toe te passen. Toepassing als ventilatiesysteem om de concentratie van schadelijke gassen in de tunnellucht in de normale gebruikssituatie te beheersen wordt beperkt door de maximaal toelaatbare vervuiling van de lucht. Omdat alle ventilatielucht via de tunnelingang wordt aangezogen en pas bij de uitgang van de tunnelweer geloosd kan worden, wordt toepassing van langsventilatie in lange tunnels beperkt door de tegen het einde (afvoerszijde) van de tunnelbuis optredende concentratie schadelijke stoffen. De in wet of regelgeving maximaal toegelaten verontreiniging en de te verwachten verkeersintensiteit zijn aldus bepalend voor de tunnallengte waarbij nog langsventilatie kan worden toegepast.

In lange tunnels met een gemiddeld beperkt verkeersaanbod is het mogelijk dat bij een normaal te verwachten verkeersintensiteit gemakkelijk zou kunnen worden volstaan met langsventilatie.

De te verwachten verontreinigingsconcentratie in piek-situaties, zoals bij extreme drukte of langdurig fileverkeer kan het echter in dit soort tunnels noodzakelijk maken te kiezen voor een ander ventilatiesysteem.

In deze situatie zou wel een langsventilatiesysteem kunnen worden geïnstalleerd indien in extreme situaties het verkeer gedoseerd kan worden toegelaten tot de tunnel zodanig dat binnen de tunnel het verkeer altijd stromend blijft met een minimale snelheid. De file blijft buiten de tunnel en het verkeer wordt in zodanige aantallen in de tunnelbuis toegelaten dat hierin voldoende verkeerssnelheid kan worden gehaald om te grote verontreiniging van de tunnellucht te voorkomen. Deze verkeersdosering maakt ook in lange tunnels de toepassing van langsventilatie mogelijk en daarmee een aanzienlijke besparing op de tunnelventilatie (dus ook op het geïnstalleerde vermogen en het energieverbruik van de tunnel).

Overigens zijn er meer redenen om verkeersdosering toe te passen: ook om veiligheidsredenen is het gewenst zeer langzaam rijdend en/of stilstaand verkeer in de tunnel te voorkomen.

- b. **Dwarsventilatie:** Via ventilatiekanalen over de volle lengte van de tunnel wordt aan één zijde van het dwarsprofiel verse lucht toegevoerd, terwijl aan de andere zijde van het dwarsprofiel verontreinigde lucht wordt afgezogen. Bij dit type ventilatie is het niet mogelijk gas- en rookstroming in de lengterichting van de tunnel te beheersen. Daarom moet een dwarsventilatiesysteem worden aangevuld met een beperkte vorm van langsventilatie om het mogelijk te maken tijdens brand gas en rookstroming in de lengterichting van de tunnel te beheersen.
- c. **Semi-dwarsventilatie:** Is een combinatie van langsventilatie en dwarsventilatie, waarbij over de volle lengte van de tunnel lucht wordt toegevoerd. Lucht wordt



afgevoerd via de in- en uitgangen van de tunnelbuis. Ook bij dit type ventilatie is zonder aanvullende voorzieningen beheersing van de gas- en rookstroming en lengterichting van de tunnelbuis niet mogelijk.

#### **7.5.2.4 Locatie langsventilatoren**

- a. Een langsventilatiesysteem kan worden opgebouwd door in het langsprofiel van de tunnel een of meer (groepen of clusters) aanjaagventilatoren aan het tunnelplafond te bevestigen.  
Plaatsing in clusters heeft als consequentie dat bij brand een volledige cluster verloren kan gaan. Bij berekening van het benodigd aantal ventilatoren tijdens brand moet met uitval door hoge temperatuur rekening worden gehouden. Indien plaatsing in clusters niet mogelijk of niet gewenst is, de ventilatoren ter zijde van de rijbaan aanbrengen.
- b. Om aanrijding van ventilatoren aan het plafond te beperken, deze altijd buiten bereik van het verkeer ophangen, d.w.z. bij voorkeur boven 4,70m boven het wegdek en boven linker rijstroken (waar geen of aanzienlijk minder vrachtverkeer rijdt).  
Bij plaatsing van ventilatoren ter zijde van de rijbaan deze altijd zoveel mogelijk uiterst links van de rijbaan in de tunnelbuis situeren, waar hoofdzakelijk (niet hoog) personenautoverkeer rijdt.  
Door de ventilatoren in (aerodynamisch gevormde) nissen in het plafond te plaatsen en is het niet noodzakelijk het gehele tunnelprofiel te verhogen ter wille van de ventilatoren.
- c. Individuele ventilatoren en clusters op regelmatige afstanden van elkaar verdelen over de langsdoorsnede. Voor zover mogelijk buiten elkaars invloed. Gestreefd moet worden naar een onderlinge afstand > 75 à 100m.  
Ventilatoren in een cluster dicht naast elkaar plaatsen gaat ten koste van het rendement van de opstelling.
- d. De geluidsproductie van een cluster ventilatoren is groter dan van één enkele ventilator. Hiermee moet bij de bepaling van de STI van de luidsprekerinstallatie en intercom rekening worden gehouden.

#### **7.5.2.5 Ontwerpaspecten**

##### **Ontwerpaspecten langsventilatie**

- a. Afbuigshoepen: Het effect van een langsventilator kan worden verbeterd door het toepassen van afbuigshoepen, waardoor de uittredende luchtstraal onder een geringe hoek naar het centrum van de tunneldwarsdoorsnede wordt gericht. Het verlies dat optreedt in de afbuigshoep wordt ruimschoots gecompenseerd door het verbeterd effect.  
Afbuigshoepen hebben het nadeel dat eventuele stratificatie van rook tijdens brand t.g.v. de schuin naar het centrum van de tunnel gerichte luchtstraal wordt verbroken.
- b. Verlies bij brand: Bij een grote brand ontstaan hoge luchttemperaturen in het deel van de tunnel voorbij (stroomafwaarts) de brand. Om hun functie te kunnen blijven vervullen moeten de daar aanwezige tunnelventilatoren hier zo lang mogelijk tegen bestand zijn. Afhankelijk van de temperatuur waartegen de ventilatoren bestand zijn zal een deel uitvallen. Hiermee moet bij de berekening



van het aantal te installeren ventilatoren rekening worden gehouden door deze uitval te compenseren d.m.v. extra geïnstalleerde ventilatoren.

Tijdens brand mag de installatie t.g.v. uitval niet gaan presteren beneden de minimaal gestelde criteria.

Door ventilatoren te installeren en het systeem in de tunnel zodanig te ontwerpen dat het geheel bestand is tegen 400°C gedurende 1 uur kan de uitval tijdens brand worden beperkt tegen een optimale balans tussen kosten en resultaat.

- c. Ingangsv ventilatoren: Bij voorkeur moet een deel van de ventilatoren zodanig worden geplaatst dat zij gevrijwaard zijn van de invloed van brand, bijvoorbeeld door opstelling in een cluster boven, of juist binnen het ingangsportaal van de tunnel.

Deze z.g.n. **ingangsv ventilatoren** stuwen lucht onder een niet te steile hoek het tunnelprofiel binnen. Toepassing van ingangsv ventilatoren stelt eisen aan de vormgeving van het ingangsportaal van de tunnel i.v.m. plaatsing en aanstroombrofiel van de ventilatoren. Doordat boven het ingangsportaal meer plaats is dan binnen het tunnelprofiel kan op deze locatie van een grotere diameter en zwaarder type ventilatoren gebruik worden gemaakt.

Aan ingangsv ventilatoren worden in principe geen temperatuureisen gesteld aangezien zij feitelijk buiten de overdekte tunnel hangen.

- d. Plaats van de clusters in relatie tot de vluchtdeuren: Ventilatorclusters veroorzaken een vrij grote druksprong in de tunnelbuis. Dit heeft invloed op de eis dat de overdrukventilatie in een vluchtgang zodanig moet zijn dat bij geopende vluchtdeuren altijd een luchtstroom vanuit de vluchtgang richting tunnelbuis moet ontstaan. Het verdient daarom aanbeveling in de ontwerpfase hiermee rekening te houden en een ventilatiecluster zodanig te plaatsen dat het drukverschil over twee opeenvolgende vluchtdeuren minimaal is.

- e. Omkeerbaarheid:

1. Het kan noodzakelijk zijn om tijdens brand in de tunnelbuis de luchtstroom t.b.v. de brandbestrijding om te keren.

*N.B. Hierbij moet worden bedacht dat tengevolge van de omkering van de luchtstroom in de calamiteitenbuis, de situatie in deze buis radicaal zal wijzigen. Personen die zich in heldere schone lucht bevonden, kunnen na omkering van de ventilatiestroom geconfronteerd worden met rook en (hete) gasen van de brand.*

2. Voorts is het in de meeste tunnels met parallelle verkeersbuizen bij brand in één buis noodzakelijk een tegengesteld gerichte luchtstroom op te wekken in de buizen parallel aan de buis waarin de brand is (calamiteitenbuis), om te voorkomen dat rook en gasen die uit de uitgang van de uit de calamiteitenbuis stromen de parallelle buis worden binnengezogen door een toevallig aanwezige luchtstroming. Deze tegenventilatie is mogelijk door (een deel van) de tunnelventilatoren in de parallelle buis te starten in dezelfde richting als de ventilatoren in de calamiteitenbuis. Het is daarvoor wel noodzakelijk dat (een deel van) de tunnelventilatoren omkeerbaar is. Voor overige maatregelen om rondstromen van ventilatielucht te voorkomen zie de VRC en het Handboek Tunnelventilatie.

De tegenventilatie hoeft geen hoge snelheid op te kunnen wekken en is uitsluitend bedoeld om rondstromen van rook uit de calamiteitenbuis te voorkomen.

- f. Ingangsv ventilatoren zijn niet omkeerbaar. Daarom kan in tunnels waar de luchtstroom in de verkeersbuis omkeerbaar moet zijn i.v.m. de beheersbaarheid van rook tijdens brand of tegenventilatie, niet volstaan worden met uitsluitend



ingangventilatoren aan één zijde, maar moet ofwel een ondersteunende, omkeerbare ventilatie binnen de tunnelbuis worden aangebracht, ofwel moet aan de tegenovergestelde uitgang van de tunnel eveneens een ingangventilatie worden aangebracht.

In de normale, hoofd-ventilatie-richting moet de installatie volledig voldoen aan alle gestelde eisen in het Handboek Tunnelventilatie (alle ventilatoren ingeschakeld), echter in omgekeerde ventilatie-richting (uitsluitend ondersteunende ventilatie ingeschakeld tegen de normale ventilatie-richting in) kunnen de eisen lager worden gesteld gezien de zeer geringe kans dat de omgekeerde ventilatie-richting als hoofdventilatie zal worden gebruikt.

In tunnels waarin een langsgeventilerde buis in beide richtingen gebruikt kan worden

#### **Geluid**

Bij langsgeventilatie, waarbij de ventilatoren in de tunnelbuis zijn geplaatst, zijn de ventilatoren een belangrijke bron van storend geluid voor aanwezigen in de tunnel tijdens een calamiteit. Het ventilatorgeluid belemmert de verstaanbaarheid van gesproken woord. Bij het ontwerp van intercom en luidsprekerinstallatie moet daarmee rekening worden gehouden. Het is de taak van de ventilatorfabrikant het ventilatorgeluid zoveel mogelijk te dempen d.m.v. geluiddempers en andere voorzieningen aan de ventilatoren. Ontwerpers van intercom en luidsprekersystemen moeten de verstaanbaarheid van hun apparatuur afstemmen op de stoorfrequenties van de tunnelventilatoren, o.a. afhankelijk van het toerental en het aantal rotorbladen. Vroegtijdig overleg tussen de betrokken leveranciers is hiervoor noodzakelijk

#### **Ontwerpaspecten dwarsventilatie en semi-dwarsventilatie**

Dit type ventilatie wordt in Nederland vrijwel niet toegepast. Toch een paar aandachtspunten.

- dwarsventilatie en semidwarsventilatie vereist een aanzienlijke investering in ventilatiekanalen parallel aan de te ventileren tunnelbuizen en aanzuig- en uitblaasschachten tot boven maaiveldhoogte.
- Bij de berekening van dwarsventilatie er vanuit gaan dat in verband met verliezen in de ventilatiekanalen geen hogere luchtsnelheid mag optreden dan ongeveer 15m/sec.
- Het is vrijwel onmogelijk alle bij een grote brand geproduceerde rook via de normale openingen af te zuigen. Daarom moet bij brand:
  1. extra rook-afzuigkleppen worden aangebracht die per sectie (ter plaatse van de brand) openen bij inschakelen van het brandventilatieregime
  2. alle ventilatiecapaciteit op maximaal afzuigen worden ingeschakeld. Het is hiervoor noodzakelijk dat de ventilatoren omkeerbaar zijn.
- Om in geval van een calamiteit waarbij rook en/of gas vrijkomt, de ventilatiestroom in de lengterichting van de tunnelbuis te kunnen sturen en/of tegenventilatie mogelijk te maken is ook in tunnels met dwarsventilatie een aanvullende langsgeventilatie vereist



### 7.5.2.6 Enkele uitvoeringsaspecten van tunnelventilatoren; praktische wenken

- De minimum rendabele diameter van aanjaagventilatoren in tunnelbuizen is 750 mm. Kleinere diameters geven relatief hoge verliezen.
- Gewone spreidankers voor bevestiging aan beton blijken de neiging te hebben bij dynamische toepassingen los te trillen. Daarom voor de bevestiging van tunnelventilatoren gebruik maken van:
  - (VOORKEUR) achtersnijdingsankers (flexibele toepassing, niet plaats of ventilator-fabriekgebonden)
  - vooraf ingestorte verankeringen (nadeel = vroegtijdig ontwerp en planning noodzakelijk; maatfouten)
  - chemische ankers (nadeel = niet geschikt voor bevestiging van hittebestendige ventilatoren, aangezien chemische ankers al bij vrij lage temperaturen hun sterkte verliezen).
- Bij grote ventilatoren moet de ventilator bevestigd worden op trillingdempers, zodanig dat breuk van een trillingdemper niet het losraken van de verbinding tot gevolg heeft.
- De gehele ventilator inclusief eventuele afbuig schoepen, tussenframes en bevestigingsmiddelen moet zijn thermisch verzinkt, zijn vervaardigd van corrosiebestendige materialen en voorts zijn voorzien van een epoxycoating.
- De minimale beschermingsklasse van de ventilatormotor is IP55 volgens DIN 40050, voorzien van een speciaal kooianker en vochtigheidsisolatie en geschikt voor een netspanning van 700 V, frequentie 50 Hz, direct aanlopend. De motor voorzien van een condens-afvoeropening.
- Ventilatoren die moeten kunnen functioneren bij 400°C moeten worden getest volgens prEN 12101-3, waarbij de ventilator geheel binnen de oven moet worden geplaatst, inclusief de normaal aan de ventilator bevestigde kabel en werkschakelaar. De bedrijfsomstandigheden tijdens brand in een tunnel moeten zoveel mogelijk worden nagebootst: Zie hiervoor het Handboek Tunnelventilatie,
- Het geluidsvermogeniveau van ventilatoren moet worden bepaald door middel van een geluidsintensiteitsmeting
  - als omschreven in de "Draft international standard ISO/DIS 9614-1" (scanning methode), of d.m.v. de methode aangegeven in de AMCA 300-85 (reverberant room methode)
  - In afwijking van de ISO/DIS 9614-1, hoeven de bevestigingszijde (onderzijde) en de perszijde van de ventilator niet in de meting te worden betrokken, maar moeten de tegenoverliggende zijden twee keer worden gemeten.
- Het gebruik van werkschakelaars aan de ventilatoren in de tunnelbuizen moet worden vermeden. Beter is in de groepen-onderverdeelkast installatieautomaten te gebruiken die in uitgeschakelde stand vergrendelbaar zijn.

### 7.5.2.7 Schakelen van tunnelventilatie

Tunnelventilatie kan worden geschakeld aan de hand van de volgende criteria:

1. Hand-inschakelen en uitschakelen  
Omdat in vrijwel alle gevallen onvoldoende vermogen beschikbaar is om alle ventilatoren tegelijkertijd te laten aanlopen, moet het hand-schakelprogramma hiertegen beveiligd zijn.



Ook moet dit beveiligd zijn tegen plotseling omkeren van de draairichting van de ventilatoren tijdens handbedrijf of ten gevolge van het overgaan van hand op automatisch bedrijf of vice versa.

Het mag niet mogelijk zijn ventilatoren binnen één tunnelbuis in gelijktijdig verschillende ventilatierichtingen te schakelen.

2. Automatisch schakelen n.a.v. verontreiniging:

Thans wordt als maatgevende verontreiniging beschouwd NO<sub>2</sub> en zicht (roet en PM (Particle Matter)).

De CO emissie van het moderne verkeer is bijzonder laag en komt onder geen enkele omstandigheid boven de maximaal toegestane waarden.

De tunnelventilatie wordt geschakeld d.m.v. een zichtmeter (directe meting) waarmee tevens het NO<sub>2</sub> gehalte van de tunnellucht wordt bepaald (indirecte meting d.m.v. een veronderstelde correlatie zicht/NO<sub>2</sub>). Schakelwaarden volgens de VRC.

3. Automatisch schakelen n.a.v. temperatuur:

In zeer lange tunnels ontstaat een temperatuurverhoging ten gevolge van warmte afgestaan door het verkeer en de tunnelinstallaties. Dit resulteert in langsgeventileerde tunnels in een temperatuurverschil tussen de ingang en de uitgang van de tunnel.

Indien bij de uitgang van de tunnel een maximale waarde wordt overschreden wordt d.m.v. een temperatuurmeting de tunnelventilatie ingeschakeld.

4. Inschakelen bij activeren groepscommando calamiteitenknop):

Door het indrukken van de calamiteitenknop wordt altijd de tunnelventilatie in het calamiteitenregime ingeschakeld. Bij langsventilatie betekent dit ventileren in de verkeersrichting en bij (semi-)dwarsventilatie alle ventilatie vol vermogen afzuigen. Zie verder de VRC.

5. Schakeling aan de hand van verkeersparameters:

In lange verkeerstunnels kan zeer economisch geventileerd worden door d.m.v. logische programmatuur te anticiperen op een nog niet aanwezige verkeerssituatie.

Aan de hand van gemeten verkeersgegevens (aantal en typen voertuigen, gemiddelde doorrijtijd (verblijftijd), gemiddelde verkeerssnelheid), in combinatie met gelogde gegevens uit het verleden kan worden geanticipeerd op een komende verkeerssituatie waarbij ventilatie noodzakelijk zal zijn (de ventilatie wordt al geschakeld op het moment dat de maximum (vervuiling) condities nog niet aanwezig zijn). Dit levert besparing op van het aantal in te schakelen ventilatoren, en daarmee het aantal draaiuren en kosten.

Voorts is een anticiperende ventilatie onafhankelijk is van het soort verontreiniging. Er worden alleen verkeersaantallen en snelheid gemeten. De maximaal toelaatbare verontreiniging bepaalt het tijdstip en het aantal ventilatoren dat anticiperend wordt geschakeld.

Voor maximale grenswaarden blijft een NO<sub>2</sub>- en zicht-meting noodzakelijk.





## 7.5.3 Installaties 37 Meting van luchtverontreiniging

### 7.5.3.1 Algemeen

Voor het bewaken van de verontreinigingsgraad van de tunnelatmosfeer en het schakelen van de tunnelventilatie moet voortdurend de verontreiniging in de tunnelbuis worden gemonsterd en geanalyseerd.

Gezien de sterke vervuiling waaraan alle in de tunnelbuizen opgestelde apparatuur blootstaat, is slechts een beperkt assortiment detectieapparaten geschikt gebleken voor toepassing. Essentieel voor de goede werking is de (on)gevoeligheid voor vervuiling en de mogelijkheid de detectieapparatuur te onderhouden en in te stellen vanaf een plaats buiten de verkeerstunnel.

Aangezien thans de voor een veilige en leefbare tunnelatmosfeer,  $\text{NO}_2$ , zicht en soms temperatuur maatgevende verontreinigingen zijn, moeten deze continue worden. Bij overschrijding van gedefinieerde grenswaarden moeten deze gesignaleerd worden om schakelapparatuur aan te sturen:

- Voor iedere tunnelbuis moet onafhankelijk werkende detectieapparatuur worden geïnstalleerd.
- Detectieapparatuur in de tunnel moet langdurig zonder onderhoud of bijstellen binnen een gedefinieerde onnauwkeurigheid kunnen meten.
- De toelaatbare meetafwijking van een systeem moet zijn  $< 5\%$  van de ingestelde maximum meetwaarde
- Afwijkingen in de meetnauwkeurigheid  $> 10\%$ , binnen een onderhoudsloze periode van 6 maanden is niet toelaatbaar.

In elke tunnelbuis meerdere  $\text{NO}_2$  en zichtdetectiepunten plaatsen (in tunnels tot 500m tenminste 2 meetpunten per tunnelbuis, in tunnels 500 tot 1000m tenminste 3 meetpunten per tunnelbuis op representatieve plaatsen. In langere tunnels moet per object bepaald worden welk aantal en welke plaats van de detectiepunten een representatieve meting zal geven.

De analysetijd voor een luchtmonster mag niet groter zijn dan enkele minuten. Een volledige cyclustijd langer dan 5 minuten per tunnelbuis is ontoelaatbaar.

Temperatuurmeting (alleen in zeer lange tunnels) hoeft uitsluitend nabij de uitgang van de tunnel te worden geplaatst (waar de tunnellucht temperatuur het hoogst zal worden).

Voor een betrouwbare meting (eliminieren van een foute meting) verdient het aanbeveling 3 meetpunten op korte afstand van elkaar te plaatsen. De meting is juist indien op 2 meetpunten dezelfde temperatuur  $\pm 3^\circ\text{C}$  wordt gemeten.

Voor  $\text{NO}_2$  en zicht geldt: IN-schakelen tunnelventilatie indien op één meetpunt in de tunnelbuis de ingestelde schakelwaarde wordt gemeten. UIT-schakelen indien op alle meters de minimaal ingestelde schakelwaarde of lager wordt gemeten.

Alarm bij overschrijden van een maximumwaarde, waarna tijdelijk geen verder verkeer meer mag worden toegelaten (gevaarlijke situatie t.g.v. giftige atmosfeer of te weinig zicht).



Voor temperatuur geldt: een deel van de tunnelventilatie inschakelen indien de temperatuur een ingestelde maximum waarde overschrijdt (bijvoorbeeld 40°C). Na enige tijd meer ventilatie inschakelen indien deze temperatuur niet daalt, totdat de volledige ventilatie is ingeschakeld. Alarm bij een maximaal ingestelde waarde, waarna alle ventilatie (voor zover nog niet in bedrijf) moet worden ingeschakeld en bijvoorbeeld een verkeersdosering kan worden ingesteld of de tunnel tijdelijk wordt afgesloten (

### 7.5.3.2 **NO<sub>2</sub> - en zichtmeetapparatuur**

Het direct meten van NO<sub>2</sub> is (nog?) niet goed mogelijk: In tunnels worden zeer lage concentraties toegelaten. Er is thans geen meetapparatuur op de markt waarmee continu binnen acceptabele afwijkingen (zie 37.1.1) gemeten kan worden in de tunnelatmosfeer.

Er is echter correlatie tussen zicht en NO<sub>2</sub>. waardoor thans van een zichtmeting gebruik kan worden gemaakt voor het bepalen van het NO<sub>2</sub> gehalte van de tunnellucht. De verhouding zicht/NO<sub>2</sub> kan worden vastgesteld op 10/1,4 (zichtmeting  $k=10/\text{km} \propto 1,4\text{ppm NO}_2$ ). De thans geldende schakelgrens voor NO<sub>2</sub> (ventilatie IN) is 1ppm ( $k=0,007/\text{m}$ ). Zie de VRC.

### 7.5.3.3 **LEL-meting**

LEL= Lowest Explosion Level. Dit is de laagste concentratie waarbij een koolwaterstof verbinding in lucht tot explosieve verbranding kan komen (bij een lagere concentratie is het mengsel te arm om te kunnen exploderen

UEL=Upper Explosion Level. Dit is de hoogste concentratie waarbij een koolwaterstof verbinding in lucht tot explosieve verbranding kan komen (bij een hogere concentratie is het mengsel te rijk om te kunnen exploderen).

Maatgevend voor LEL en UEL is methaan (CH<sub>4</sub>) Dit wordt tevens als ijkgas voor deze apparatuur gebruikt).

Soms eist de brandweer een LEL-meting in elke tunnelbuis om bij een calamiteit waar een explosieve stof bij betrokken is, een inschatting te kunnen doen van het gevaar dat hulpdiensten lopen alvorens de tunnel binnen te gaan. Een 10% LEL-concentratie wordt over het algemeen als alarmniveau beschouwd.

De LEL-meting kan teven gebruikt worden om de tunnelventilatie te starten indien dat nog niet gebeurd is door andere inschakelcriteria.

LEL kan gemeten worden d.m.v. gasdetectieapparatuur geschikt voor het meten van koolwaterstofverbindingen.



## **7.5.4 Installaties 38 Overdrukinstallatie pompkamers**

### **7.5.4.1 Algemeen**

Een overdrukinstallatie is in pompkamers (= droge ruimte waarin de schakelkast en andere bedieningsapparatuur en appendages behorend bij de pompen staan opgesteld) en alleen noodzakelijk indien deze grenst aan een waterkelder en daarvan niet volledig dampdicht gescheiden is.

Een overdrukinstallatie is eveneens noodzakelijk in alle ruimten die niet volledig dampdicht gescheiden zijn van een waterkelder, en waarin elektrisch gevoede apparatuur staat opgesteld.

Doel van de overdrukinstallatie is het aanbrengen en handhaven van een geringe lucht-overdruk in de betreffende ruimte, zodanig dat bij geringe lekkages (o.a. niet goed sluitende doorvoeren en afdichtingen) vanuit de aangrenzend waterkelder geen gassen of verdampingproducten kunnen doordringen in de pompkamer.

De op overdruk te ventileren ruimte wordt geventileerd met buitenlucht, of indien deze niet beschikbaar is met schone lucht die wordt onttrokken aan een andere ruimte (bijvoorbeeld een middenkanaal). Hierbij mag in deze ruimte (middenkanaal) geen onderdruk ontstaan zodanig dat deze ruimte kan worden verontreinigd met eventueel vervuilde lucht (uit de tunnel).

In tunnels ligt de pompkamer direct naast of boven de waterkelder en moet daarom worden vrijgehouden van gasmengsels uit de waterkelder. Omdat enige lekkage tussen de waterkelder en de pompkamer vrijwel altijd onvermijdelijk is, moet in ieder geval tijdens een calamiteit in de tunnelbuis, in de pompkamer een overdruk worden gecreëerd.

### **7.5.4.2 Overdruk**

- In de pompkamer een geringe overdruk van minimaal 10 Pa aanwezig is t.o.v. de tunnelbuizen (bij gesloten luiken en deur(en)). Hierbij mag de ruimte maximaal met een ventilatievoud van 1/h worden geventileerd.
- In de pompkamer een geringe overdruk aanwezig is t.o.v. de waterkelder (bij gesloten luiken en deur(en)) mag alleen maar lekkage naar de waterkelder kunnen optreden).
- De luchtdruk in de tunnelbuizen wordt in beide gevallen gesteld op 50 Pa hoger dan de buitenluchtdruk (rekenwaarde)

Bij wegvallen van de elektrische voedingsspanning, uitgeschakelde overdrukinstallatie of een storing aan de overdrukinstallatie zelf, moet het lucht-aanvoerkanal van de overdrukinstallatie naar de pompkamer automatisch worden afgesloten.

### **7.5.4.3 Ont-/beluchtingsleiding**

De ont-/beluchtingleiding vanuit de waterkelder moet indien mogelijk uitkomen in de buitenlucht; Indien dit niet mogelijk is, zo hoog mogelijk in de tunnelbuis.

De ont-/beluchtingsleiding moet worden voorzien van een vlamdover volgens de EN 12874.

De ont-/beluchtingsleiding dimensioneren op de maximale instroom van hemelwater t.g.v. de maatgevende regenbui.



#### **7.5.4.4 Gasdichtheid van luiken en sparingen**

De waterbergingen binnen dezelfde kelder moeten luchttechnisch één ruimte vormen.

De scheiding tussen pompkamer en waterkelder mag geen overbodige, open sparingen bevatten.

Gasdichtheid is in principe niet vereist en in de meeste gevallen ook niet mogelijk.

Goed sluitende luiken en scheidingen zonder kieren zijn voldoende.

Het verdient aanbeveling bij geopende deur van een onder overdruk geventileerde ruimte lokaal een akoestisch en optisch (attentie)signaal te genereren.

#### **7.5.4.5 Schakelen**

Bij een commando calamiteitenknop moet de overdrukventilatie worden ingeschakeld.

De overdrukventilatie fail-safe uitvoeren, d.w.z. bij storing of uitval van het besturingsysteem moet de overdrukventilatie inschakelen.



## 7.5.5 Installaties 39 Vluchtgangventilatie

### 7.5.5.1 Algemeen

Het doel van vluchtgangventilatie is het vrijhouden van de vluchtgang van rook en andere gassen uit de tunnelbuis tijdens een calamiteit.

De voor vluchtgangventilatie benodigde ventilatielucht moet worden aangezogen uit een rookvrije lokatie:

- Bij voorkeur uit de buitenlucht:  
*N.B. In tunnels met een middenkanaal is dit altijd mogelijk.*
- Indien het onmogelijk is om buitenlucht aan te trekken mag lucht worden aangezogen uit de aangrenzende niet-calamiteitenbuis.  
Deze situatie doet zich voor in boortunnels met dwarsverbindingen waarbij de dwarsverbinding gebruikt wordt als vluchtgang naar de niet-calamiteitenbuis.

### 7.5.5.2 Ontwerpcriteria

De installatie moet geschikt zijn om in de vluchtgang een overdruk t.o.v. de tunnelbuis te handhaven, zodanig dat bij (1) gesloten en (2) maximaal 3 willekeurig geopende vluchtdeuren geen rook en gassen uit de tunnelbuis de vluchtgang kan binnenstromen.

De maximale gemiddelde luchtsnelheid in een geheel geopende deuropening moet beperkt blijven tot 6 - 8 m/s.

#### Opmerkingen:

1. Tijdens een calamiteit moet alleen gevlucht worden uit de zone waar rook en gassen aanwezig zijn. Dit is in een langs-geventileerde tunnel het geval aan de stroom-afwaartse zijde van een brand. In deze zone moet dus tijdens een calamiteiten waarbij rook en gassen vrijkomen onder alle omstandigheden een luchtstroom vanuit de vluchtgang richting tunnelbuis ontstaan
2. Zoals reeds is opgemerkt bij Ontwerpaspecten tunnelventilatie wordt in tunnelbuizen waarin langsventilatoren zijn opgehangen de drukverdeling in de lengterichting van de tunnelbuis beïnvloed door deze ventilatoren. Bij ventilatorclusters kan een vrij groot drukverschil worden verwacht. Bij het bepalen van het drukverschil tussen de vluchtgang en de verkeersbuis moet hiermee rekening worden gehouden.  
Het verdient aanbeveling ventilatoren in de tunnelbuis zodanig te plaatsen dat bij werkende tunnelventilatie het drukverschil over tussen twee opeenvolgende vluchtdeuren minimaal is.

### 7.5.5.3 Berekeningsgegevens

Voor de berekening van de vluchtgangventilatie mag worden aangenomen dat de vluchtgang een gemiddeld maximaal lekoppervlak heeft van 8 cm<sup>2</sup> per meter vluchtganglengte, dit is inclusief alle leiding- en kabeldoorvoeren en exclusief de gesloten vluchtdeuren.

De gesloten vluchtdeuren in de vluchtgang hebben een maximale spleetbreedte van 2 mm rondom.

In verband met de functie (vluchtgang moet ook psychologisch als veilige plaats worden ervaren) moet aan het maximale geluidsniveau in de vluchtgang ten gevolge van ventilatie een eis worden gesteld. Een geluidsniveau > 60 dB(A) op enige plaats in de vluchtgang is niet toelaatbaar



#### **7.5.5.4 Schakelen**

Bij een calamiteit (calamiteitenknop) moet de vluchtgangventilatie worden ingeschakeld.

De vluchtgangventilatie fail-safe uitvoeren, d.w.z. bij storing of uitval van het besturingsysteem moet de vluchtgangventilatie inschakelen.



## Inhoudsopgave 40 Verkeersinstallaties

- 7.6.1 Installaties 40 Algemeen verkeersinstallaties
  - 7.6.1.1 Doel van de verkeersinstallaties
  - 7.6.1.2 Tot verkeersinstallaties wordt gerekend
  - 7.6.1.3 Inleidende maatregelen
- 7.6.2 Installaties 41 Rijstrooksignalering
  - 7.6.2.1 Functie, uitvoering en typen
  - 7.6.2.2 Ophanging signaalgevers
  - 7.6.2.3 Globale opbouw en configuratie van een systeem
  - 7.6.2.4 Beeldbewaking
  - 7.6.2.5 Rijstrookscheiding bij tegen- en blokverkeer
  - 7.6.2.6 Beveiliging
  - 7.6.2.7 Uitvoering van de signaalgeverarmaturen
- 7.6.3 Installaties 42 Verkeerslichten (VRI)
  - 7.6.3.1 Algemeen
  - 7.6.3.2 Functie
  - 7.6.3.3 Dosereren van het verkeer:
  - 7.6.3.4 Aandachtspunten
- 7.6.4 Installaties 43 Verkeersdetectie
  - 7.6.4.1 43.1 Algemeen
  - 7.6.4.2 Detectiemiddelen
  - 7.6.4.3 Enkele uitvoeringsdetails en eisen
  - 7.6.4.4 Enkele uitvoeringsdetails en eisen
- 7.6.5 Installaties 44 Hoogtedetectiesysteem
  - 7.6.5.1 Algemeen
  - 7.6.5.2 Uitvoering
- 7.6.6 Installaties 45 Afsluitbomen tunnel en toeleidende wegen
  - 7.6.6.1 Algemeen
  - 7.6.6.2 Voorwaarden
- 7.6.7 Installaties 46 Beweegbare middenbermbeveiliging
  - 7.6.7.1 Algemeen
  - 7.6.7.2 VeVa of CaDo
- 7.6.8 Installaties 47 Bijzondere borden/DRIPs
  - 7.6.8.1 DRIPs (Dynamische Route Informatie Panelen)
  - 7.6.8.2 Bijzondere borden



---

Tunnel technische installaties



## **7.6 40 VERKEERSINSTALLATIES**

### **7.6.1 Installaties 40 Algemeen verkeersinstallaties**

#### **7.6.1.1 Doel van de verkeersinstallaties**

- Stromend houden van het verkeer
- Faciliteren van onderhoudswerkzaamheden
- Verkeersmaatregelen te kunnen nemen bij incidenten (stremming, pech, ongeval, afgevallen lading etc.)

*N.B. Een tunnel is onderdeel is van een weg. Alle eisen aan beelden van de weg moeten ook gelden voor de tunnel met een aantal toegevoegde eisen. in de tunnel moet volledig zijn afgestemd op de signalering en beelden van de voorliggende en opvolgende wegvakken.*

Signaalgeving aan het verkeer wordt gerealiseerd door middel van (matrix)signaalgevers, DRIPs, verkeerslichten, verdwijnsignalen, en eventueel aan de plaatselijke situatie aangepaste (vaste) aanwijzingen.

Door middel van de verkeersinstallatie moet het mogelijk zijn:

- de tunnel af te sluiten
- rijstroken te blokkeren
- een snelheidsbeperking in te stellen
- tegenverkeer of blokverkeer in de tunnel te realiseren
- verkeersdosering toe te passen
- bij calamiteiten een omleidingsroute in te stellen

#### **7.6.1.2 Tot verkeersinstallaties wordt gerekend**

Alle apparatuur die noodzakelijk is voor verkeersgeleiding ten einde het onder 40.1 genoemde doel te bereiken. Tot deze apparatuur behoort:

- rijstrooksignalering
- verkeerslichten
- verkeersdetectie
- hoogtedetectie
- afsluitbomen voor de tunnel en op toeleidende wegen
- beweegbare middenbermbeveiliging (VeVa's en CaDo's)
- bijzondere borden
- DRIPs

Criteria voor het aanbrengen van een verkeersinstallatie kunnen worden ontleend aan de VRC

#### **7.6.1.3 Inleidende maatregelen**

Onderdeel van verkeersmaatregelen in een tunnel zijn de inleidende maatregelen zoals snelheidsbeperking en rijstrookwisselingen. Deze moeten om veiligheidsredenen buiten het overdekte gedeelte van de tunnel plaatsvinden.

Derhalve begint het verkeersgeleidingssysteem voor de tunnel enige honderden meters voor het overdekte gedeelte. De lengte waarover inleidende maatregelen worden genomen is afhankelijk van het aantal rijstroken, de ontwerpssnelheid en het benodigd aantal inleidende maatregelen.

Tunnelgebonden verkeersgeleidingssystemen moeten daarom kunnen corresponderen met open weggeleidingssystemen.





## 7.6.2 Installaties 41 Rijstrooksignalering

### 7.6.2.1 Functie, uitvoering en typen

Rijstrooksignalering heeft als functie om per rijstrook

- een snelheidsbeperking in te stellen;
- verkeer van een rijstrook te verdrijven
- een rijstrookblokkering in te stellen (verdrijfpijl gevolgd door rood kruis)
- het vrijgeven van een rijstrook

*N.B. Rijstrookblokkering is niet geschikt voor het stoppen van het verkeer.*

Signaalgevers kunnen worden uitgevoerd:

1. met vaste beelden: Dit type signaalgever heeft meestal lampen of LEDs als lichtbron.
2. met variabele beelden: Met deze signaalgevers (matrixsignaalgevers) kunnen meerdere beelden worden getoond binnen hetzelfde beeldvlak. De lichtbron is meestal een halogeenlamp of LEDs.

*N.B. Het verdient aanbeveling alle in een tunnel toe te passen matrixsignaalgevers identiek uit te voeren en te voorzien van alle mogelijk te tonen signalen.*

Twee typen rijstrooksignalering kunnen worden onderscheiden:

1. Een rijstrooksignalering die uitsluitend bedoeld is voor gebruik tijdens onderhoudswerkzaamheden. Dit type rijstrooksignalering bestaat in het algemeen uit signaalgevers voorzien van een rood kruis en een vallende groene pijl. Snelheidsbeperking wordt gegeven d.m.v. vaste voorzieningen. Een dergelijk systeem is niet gekoppeld aan een verkeersdetectie, niet automatisch beïnvloedbaar maar wordt in vaste standen ingesteld, al of niet voorgeprogrammeerd. Dit soort handbediende verkeersgeleidingssystemen worden meestal bediend vanuit een kast langs de weg; ofwel per kast instelbaar, ofwel wordt een vooraf geprogrammeerde instelling dmv. een draagbare PC in het systeem ingebracht.
2. Een rijstrooksignalering gekoppeld aan een verkeersdetectiesysteem, waarmee zowel automatisch als handmatig het verkeer kan worden beïnvloed. De in bewaakte tunnels toegepaste verkeersgeleidingssystemen werken (half)automatisch; dat wil zeggen door middel van verkeersdetectie worden de verkeersbewegingen gedetecteerd, waardoor de (half)automatische apparatuur wordt geactiveerd. Een (half)automatische systeem komt in actie naar aanleiding van vooraf in het programma gedefinieerde onregelmatigheden in het verkeer. De systemen worden bediend vanuit een lokaal of centraal bedieningscentrum. Bij halfautomatisch werkende systemen krijgt de tunnelbediening in het controlecentrum een attentiesignaal en eventueel aanwijzingen omtrent de te voeren actie, ofwel de apparatuur neemt in eerste instantie zelf actie waarna de tunnelbediening verder bepaalt welke vervolgactie moet worden genomen.

Bij automatisch werkende systemen handelt de apparatuur autonoom volgens geprogrammeerde instructies zonder menselijk ingrijpen.

Bij alle systemen moet directe hand-bediening mogelijk zijn waarmee eventueel kan worden ingegrepen in het automatische programma. Ook tijdens handbediening moet de apparatuur de handelingen van de bedieningsman bewaken, om te voorkomen dat bedieningsfouten tot gevaarlijke situaties leiden.

### 7.6.2.2 Ophanging signaalgevers

Signaalgever worden binnen de tunnel aan het plafond van de tunnelbuis bevestigd en buiten de tunnel aan portalen en masten boven en langs het tunneltracé opgehangen.



- Ook binnen de tunnel worden naast elkaar opgehangen signaalgevers als "portaal" aangeduid. Signaalgevers bij voorkeur loodrecht boven het midden van een rijstrook plaatsen, meelopend met het alignement van de weg.
- In tunnels waarin tegenverkeer of blokverkeer moet kunnen worden ingesteld, moeten aan ieder portaal binnen de tunnel steeds twee tegengesteld gerichte signaalgevers boven een rijstrook worden opgehangen; één in de normale rijrichting mee en één tegen de normale rijrichting.
- Signaalgevers binnen de tunnel moeten op zodanige afstand van elkaar worden opgehangen dat de automobilist voortdurend tenminste 1 volgende signaalgever leesbaar binnen zijn gezichtsveld heeft.

### 7.6.2.3 Globale opbouw en configuratie van een systeem

- a. De rijstrooksignaalgevers kunnen de volgende beelden tonen:
  - een witte verdrijfpijl naar links;
  - een witte verdrijfpijl naar rechts
  - een rood kruis, voor een afgesloten rijstrook;
  - een groene vallende pijl OF een of meer snelheidsbeperkingen, voor een in gebruik zijnde doorgaande rijstrook.
  - einde alle verboden (RVV F08)
- b. De rijstrooksignaalgevers zijn aangesloten op portaalstations bevattende: netvoeding; schakelapparatuur; elektronica; een no-break batterijvoeding (alleen bij afwezigheid van een externe no-break voeding).

### 7.6.2.4 Beeldbewaking

De navolgende beelden of combinaties van beelden mogen in één rijrichting in geen geval boven de weg getoond worden:

- a. In het dwarsprofiel op één rijbaan mogen de volgende configuraties niet getoond worden:
    - een verdrijfpijl wijzend naar de berm, vluchtstrook of tunnelwand.
    - een verdrijfpijl wijzend naar een rood kruis.
    - twee verdrijfpijlen naar elkaar toewijzend (ook indien er één of meer vallende groene pijlen tussen geplaatst zijn).
    - twee van elkaar afwijzende verdrijfpijlen
    - meer dan 1 verdrijfpijl in dezelfde richting rode kruisen boven alle rijstroken.
    - een verdrijfpijl in het overdekte tunneldeel (behoudens in uitzonderlijke situaties, bijvoorbeeld indien bij een calamiteit binnen korte tijd een rijstrook over de volle lengte verkeersvrij moet worden gemaakt)
    - werkende rijstrooksignaalgevers naast een werkend verkeerslicht.
  - b. In het langsprofiel mogen niet getoond worden:
    - een rood kruis na een groene pijl.
    - een groene pijl na een verdrijfpijl.
    - twee verdrijfpijlen na elkaar, wijzend in tegengestelde richting
- Het laatst actieve portaal van een verkeersmaatregel moet groene pijlen of einde alle verboden vertonen, tenzij de maatregelen in de tunnel aansluiten op verkeersmaatregelen in het verlengde van de tunnel.



### 7.6.2.5 Rijstrookscheiding bij tegen- en blokverkeer

Bij tegenverkeer of blokverkeer in de tunnel mag een eenmaal ingestelde rijstrookscheiding niet meer worden veranderd tot aan het einde van het tunneltracé.

Blokverkeer moet per richting worden afgewikkeld over één rijstrook om het risico te elimineren dat een nieuw blok in tegengestelde richting geconfronteerd wordt met een laatkomer uit het voorgaande blok.

**Opmerking:**

Tegenverkeer is tweerichtingverkeer binnen één verkeersbuis.

Blokverkeer is tegenverkeer waarbij het verkeer per rijrichting afzonderlijk (in blokken) wordt toegelaten. Een volgend blok mag pas de tunnel binnenrijden op het moment dat het laatste voertuig van het voorgaande blok de tunnel heeft verlaten. Omdat het onmogelijk is om op welke wijze dan ook volledige zekerheid te krijgen dat er werkelijk geen voertuig meer in de tegengestelde rijrichting in de tunnel aanwezig is, moet blokverkeer op gescheiden rijstroken per richting worden afgewikkeld.

Verkeerswisseling moet bij voorkeur buiten de overdekte tunnel, buiten de open bak van de tunnel plaatsvinden, zo mogelijk op een horizontaal gelegen weggedeelte.

### 7.6.2.6 Beveiliging

Bij het niet meer functioneren van het besturingssysteem of delen daarvan die verantwoordelijk zijn voor de verkeersafhandeling, mogen bij terugkeer van de besturing de beelden boven de weg niet veranderen. Tevens mogen, zolang de beelden niet bekrachtigd zijn, eveneens bij bovengenoemde situatie, de beelden niet veranderen.

### 7.6.2.7 Uitvoering van de signaalgeverarmaturen

- Signaleringsarmaturen moeten geopend kunnen worden zonder gebruik van gereedschap. Noodzakelijkerwijs losse onderdelen moeten onverliesbaar aan de armaturen zijn bevestigd.
- Binnen armaturen kunnen vrij grote temperatuurverschillen ontstaan t.o.v. de buitenlucht. Dit kan onderdruk binnen het armatuur veroorzaken waardoor opening wordt belemmerd, maar ook kan via onbedoelde lekkages verontreinigde en vochtige tunnellucht worden aangezogen, hetgeen snelle vervuiling van het inwendige van het armatuur tot gevolg heeft. Daarom mogen armaturen binnen een tunnel niet volledig gasdicht worden uitgevoerd, maar moeten worden voorzien van een ademend filter (labyrint en/of semi-permeabel membraan).





## 7.6.3 Installaties 42 Verkeerslichten (VRI)

### 7.6.3.1 Algemeen

Verkeerslichten (VRI) zijn noodzakelijk voor het stoppen van het verkeer en voor verkeersdosering. De verkeerslichten staan enige honderden meters vóór de tunnel, bij voorkeur op een niet naar de tunnel hellend gedeelte van de weg.

### 7.6.3.2 Functie

1. Stoppen van het verkeer:  
Voor stoppen van het verkeer worden de VRI ingeschakeld via oranje naar rood. De tijden zijn als volgt:
  - oranje knipper + voorwaarschuwing + snelheidsbeperking gedurende var.t= 5-10 sec
  - vast oranje gedurende var.t= 5-10 sec
  - rood + verkeer komt tot stilstand duurt ongeveer t= 2-10 sec
2. Vrijgeven van het verkeer door de VRI op groen te schakelen. Na enige tijd uitschakelen.

### 7.6.3.3 Dosereren van het verkeer:

File binnen de overdekte tunnel kan aanleiding geven tot onveilige situaties en moet worden vermeden/voorkomen. Met verkeersdosering kan de toestroom van verkeer naar de tunnel worden geregeld. Eén van de middelen om binnen de tunnel zeer langzaam rijdende of stilstaande file te voorkomen is verkeersdosering. Weliswaar ontstaat dan file buiten de tunnel, docht dit heeft om veiligheidsredenen voorkeur boven file binnen de tunnel.

Bij verkeersdosering wordt verkeer in blokken toegelaten tot de tunnel door de VRI te schakelen in een groen-oranje-rood regime. Door manipuleren van de groen-rood tijden kan de toestroom worden gedoseerd en kan het verkeer in de tunnel stromend worden gehouden. Eventueel kan een verkeersdosering automatisch gekoppeld worden aan de filedetectie.

### 7.6.3.4 Aandachtspunten

Verkeerslichten en rijstrooksignaalgevers aan eenzelfde portaal mogen niet gelijktijdig boven dezelfde rijstrook zijn ingeschakeld.





## 7.6.4 Installaties 43 Verkeersdetectie

### 7.6.4.1 Algemeen

Verkeersdetectie is noodzakelijk:

- in verkeerstunnels met automatische en halfautomatische verkeersgeleidingssystemen

- bij gebruik van een door verkeerssituaties aangestuurde CCTVinstallatie.

Verkeersdetectie moet in staat zijn om per rijstrook aanwezigheid van verkeer en afgefallen lading of voetgangers te detecteren, verkeersintensiteit, verkeerssnelheid (stilstanden en file) en rijrichting (tegen- of blok-verkeer en spookrijders).

Verkeersdetectie attendeert de operator<sup>1</sup> op incidenten en schakelt de CCTVinstallatie in, d.w.z. bij een incident wordt automatisch het beeld aan de tunneloperator aangeboden van de camera die de sectie bestrijkt waarbinnen het incident heeft plaatsgevonden.

### 7.6.4.2 Detectiemiddelen

Automatische verkeersdetectie is in Nederland gebruikelijk met gebruikmaking van:

- inductielussen in het wegdek of
- beeld processing technieken (Video Image Sensing), waarbij soms gebruik kan worden gemaakt van een (vaak in verband met andere eisen reeds aanwezig) CCTV-systeem.

*N.B. Directe (visuele) observatie zonder automatische detectie, al of niet d.m.v. CCTV speelt geen rol eer in de tunneltechniek en komt alleen nog incidenteel voor in korte tunnels, die een handbediend verkeersgeleidingssysteem hebben dat alleen bij werkzaamheden en calamiteiten wordt gebruikt.*

### 7.6.4.3 Enkele uitvoeringsdetails en eisen

Lusafstand: In een normaal bezette snelverkeerstunnel is voor automatische verkeersdetectie d.m.v. detectielussen een onderlinge afstand van 60m tussen de lussen voldoende (zie VRC hoofdstuk 10.3).

De nauwkeurigheid en de trefkans (kans dat een incident wordt gedetecteerd) nemen toe naarmate de lussen dichter op elkaar volgen.

Zichthoek CCTV-camera's ten behoeve van verkeersdetectie: Om snelheid en snelheidsverschillen optimaal te kunnen observeren moeten de detectiecamera's zodanig worden geplaatst dat de hoek tussen de as van de rijbaan en de zichtlijn van de CCTV-camera zo groot mogelijk is. Dit impliceert tevens een beperking van de onderlinge afstand tussen de detectiecamera's.

Snelheid moet op minimaal één positie per sectie en per rijstrook gemeten kunnen worden. De meetnauwkeurigheid moet minimaal 5 km/u zijn.

---

1. Bewaking en bediening van een verkeerstunnel wordt uitgevoerd door een **(tunnel)operator**. De operator richt zijn aandacht uitsluitend op de bewaking en bediening van één of meer tunnels, te onderscheiden in verkeersgerichte taken en techniekgerichte taken (zie verder hst.80). Binnen grote stedelijke regio's bestaan wegverkeersnetwerken die vanuit een verkeerscentrale worden bewaakt en bediend door **wegverkeersleiders**. De wegverkeersleider heeft een in hoofdzaak verkeersgerichte taak. Indien verkeerstunnels onderdeel zijn van bewaakte en bediende wegverkeersnetwerken, wordt de tunneloperator taak onderdeel van de wegverkeersleidertaak. In dit deel van SATO de wordt aanduiding (tunnel)operator ook gebruikt voor tunnelgerichte taken van wegverkeersleiders



#### 7.6.4.4 Enkele uitvoeringsdetails en eisen

- **Lusafstand:** In een normaal bezette snelverkeerstunnel is voor automatische verkeersdetectie d.m.v. detectielussen een onderlinge afstand van 60m tussen de lussen voldoende (zie VRC hoofdstuk 10.3).  
De nauwkeurigheid en de trefkans (kans dat een incident wordt gedetecteerd) nemen toe naarmate de lussen dichter op elkaar volgen.
- **Zichthoek CCTV-camera's ten behoeve van verkeersdetectie:** Om snelheid en snelheidsverschillen optimaal te kunnen observeren moeten de detectiecamera's zodanig worden geplaatst dat de hoek tussen de as van de rijbaan en de zichtlijn van de CCTV-camera zo groot mogelijk is. Dit impliceert tevens een beperking van de onderlinge afstand tussen de detectiecamera's.
- **Snelheid** moet op minimaal één positie per sectie en per rijstrook gemeten kunnen worden. De meetnauwkeurigheid moet minimaal 5 km/u zijn.
- **Afgevallen lading (en voetgangers):**
  1. Het detecteren van afgevallen lading (en eventueel voetgangers) is in principe mogelijk bij een detectiesysteem met lussen d.m.v. een algoritme dat d.m.v. lusbezetting detecteert op welke plaats op de rijbaan zich een vermoedelijk obstakel bevindt. De grootte van het object doet bij lusdetectie niet ter zake aangezien "indirect" wordt gedetecteerd doordat automobilisten om het afgevallen object heenrijden en aldus een afwijkend verkeerbeeld veroorzaken.
  2. Detectie van afgevallen lading (en voetgangers) d.m.v. CCTV-beeldprocessingtechnieken kan geschieden idem afwijkend verkeersgedrag, maar ook door directe waarneming. Afgevallen lading moet binnen het gehele "zichtgebied" van de detector en op iedere plaats op de rijbaan in de tunnelbuis gedetecteerd kunnen worden. Minimum eisen en voorwaarden voor voertuig/voorwerp detectie:
    - afstand tussen camera en voorwerp = 100m
    - afmetingen voorwerp 300x300x300mm
    - kleur van het voorwerp zwart
    - onder de gegeven lichtomstandigheden moet 9 op 10 voorwerpen conform deze eisen kunnen worden waargenomen en gedetecteerd.
- **Filedetectie** is mogelijk door combineren van detectiegegevens (zie voor definitie van file de VRC hoofdstuk 10.3)



## 7.6.5 Installaties 44 Hoogtedetectiesysteem

### 7.6.5.1 Algemeen

Meestal wordt uit kostenoverwegingen de ruimte tussen het minimaal toegelaten vrije profiel ten behoeve van het verkeer en de bouwkundige constructie, zo klein mogelijk gekozen. In deze ruimte moet apparatuur voor ondermeer verkeersgeleiding, verlichting en ventilatie worden opgehangen. Indien de tunnelbuizen worden voorzien van een vrij profiel met een doorrijhoogte t.b.v. het verkeer groter dan 4,70 wordt de kans op schade door aanrijding van installatiedelen door te hoge voertuigen zó gering geacht, dat een hoogtedetectiesysteem voor de tunnelingangen niet noodzakelijk is. Beneden een vrije doorrijhoogte van 4,70 wordt een hoogtedetectiesysteem sterk aanbevolen. Dit hoogtedetectiesysteem moet in staat zijn te hoge voertuigen of te hoog uitstekende delen van voertuigen of de lading daarvan te detecteren, waarna zij door middel van de verkeersinstallatie kunnen worden gestopt buiten de tunnel. Hoogtedetectie moet altijd gecombineerd worden met wegbouwkundige (een opstelplaats en een afleidingsroute (normaal afgesloten i.v.m. sluiptverkeer)) verkeerstechnische maatregelen (afsluitboom, VRI etc.) en intercom + toespreekmogelijkheden, om te hoge voertuigen gelegenheid te geven het tunneltracé vóór de tunnelingang te verlaten en via een alternatieve route de openbare weg weer te bereiken. De hoogtedetectie enige honderden meters voor de tunnelingang plaatsen, op voldoende afstand om veilig stoppen mogelijk te maken zonder het overige verkeer in gevaar te brengen. De hoogtedetectie bij voorkeur niet situeren op een dalende helling: Indien een voertuig over korte afstand tot stilstand moet worden gebracht wordt op een afdalende helling (in Nederland een ongebruikelijk situatie) de remweg onnodig lang.

### 7.6.5.2 Uitvoering

1. Hoogtedetectie kan worden uitgevoerd d.m.v. een (fysieke) draad of (niet fysieke) detectie d.m.v. optische straling, radar of beeldprocessing techniek (Video Image Sensing).

Bij de keus voor (een van) deze systemen moet worden afgewogen

- de kans dat een hoog uitstekend onderdeel van een voertuig of lading met geringe afmetingen, bij hoge snelheid niet wordt gedetecteerd  
(NB. een voorwerp met een diameter van 50mm vereist bij 100km/u een detectiesnelheid van 0,06sec. Dit impliceert dat optische detectie een hoge detectiesnelheid vereist.)
- de schade die een dergelijk voorwerp kan veroorzaken
- de kans op valse meldingen (vogels, sneeuw, trillingen van zender of ontvanger)
- niet fysieke detectie is op afstand resetbaar.

*NB. (1). Een draaddetectie werkt feilloos, doch is arbeidsintensief want niet automatisch resetbaar. Op locaties waar veelvuldig hoogtemeldingen worden verwacht is een draad weliswaar een goede, maar tevens dure voorziening. Het verdient aanbeveling een draaddetectie vooraf te laten gaan door een optisch detectie, radar of andersoortige, gemakkelijk resetbare detectie*

*NB.(2) In alle gevallen kan de kans op valse meldingen van een zacht systeem worden*



*verminderd door:*

- in het wegdek onder de hoogtedetectie een voertuigdetectielus aan te brengen, die aanspreken van de detectie in verband brengt met de aanwezigheid van een voertuig.  
Lusdetectie maakt tevens detectie per rijstrook mogelijk.
  - een zachte hoogte detectie die werkt d.m.v. straling dubbel uitvoeren (2 uit 2 is waar)
2. Een andere optie is het aanbrengen van een harde fysieke voorziening om te hoge voertuigen te beletten de tunnel binnen te rijden (poort, aanrijdingbalk). Een harde voorziening is zeer effectief, doch aanrijding met hoge snelheid kan aanzienlijke schade aan het te hoge voertuig en/of lading veroorzaken, met mogelijke gevolgschade aan het andere verkeer. Daarom zijn harde hoogtebeperkingen alleen toelaatbaar op wegen waarop met lage snelheden (<50km/u) wordt gereden, zoals op aanvoerroutes (toeritten) en op lokale wegen. Om ongewild aanrijden van fysieke hoogtebeperkingen te voorkomen moeten zij altijd aangegeven worden met waarschuwingsborden en attentiesignalen, eventueel voorafgegaan worden door een zachte hoogtedetectie.

Zachte, niet fysieke hoogtedetectie alleen toepassen in continu bewaakte (= geobserveerde) tunnels. Bij niet bewaakte tunnels is door het ontbreken van mogelijkheden om direct in te grijpen een zacht hoogtedetectiesysteem niet zinvol. De chauffeur van de te hoge wagen is zich meestal bewust van zijn hoogte en zal zich door een automatisch werkende hoogtemelding in het algemeen niet gemakkelijk laten tegenhouden nadat hij al de beslissing heeft genomen met zijn te hoge voertuig door de tunnel te rijden.

Op snelverkeerswegen wordt vóór belangrijke objecten die zijn voorzien van een hoogtedetectie, de detectie in het algemeen dubbel uitgevoerd: De hoogtedetectie vooraf laten gaan door een vaste waarschuwing. Bij genegeerde waarschuwing:

- a. Bij aanspreken van de eerste detectie krijgt de tunneloperator een voormelding door middel van een attentiesignaal en wordt het verkeer (automatisch) gewaarschuwd door inschakelen van signaalgevers (geven een adviessnelheid) en VRI oranje knipper + bijzondere borden en flashers.
- b. Wordt vervolgens daarna de volgende detectie aangesproken, dan wordt de betreffende rijbaan of rijstrook geblokkeerd (VRI via verkort oranje naar rood).

De CCTV-installatie moet door een hoogtemelding geactiveerd worden, zodanig dat op een monitor in de bedieningsruimte automatisch het beeld wordt getoond van de CCTV-camera die op de hoogtemelding is gericht eventueel vastgelegd op een beeldregistratiesysteem.

In onbewaakte tunnels kan een vereenvoudigd systeem worden geïnstalleerd om bij schade aan de tunnel door te hoge voertuigen de veroorzaker te achterhalen: Een zachte hoogtedetectie wordt gekoppeld aan een CCTV-camera en beeldregistratiesysteem. De detectie stopt niet het verkeer, doch registreert het te hoge voertuig.



## **7.6.6 Installaties 45 Afsluitbomen tunnel en toeleidende wegen**

### **7.6.6.1 Algemeen**

Een afsluiting zonder afsluitbomen of andere fysieke versperringen is niet geconsolideerd en staat in principe open. Voor fysieke afsluiting van een tunnel zijn daarom afsluitbomen noodzakelijk. Nadat verkeer is gestopt d.m.v. rode VRI moet deze maatregel worden geconsolideerd d.m.v. afsluitbomen.

Eveneens zijn afsluitbomen noodzakelijk voor het afsluiten van speciale toe- en afleidingsroutes (onderhoud, te hoog verkeer en/of wrakken na ongeval) en bijzondere routes t.b.v. hulpdiensten (calamiteitenroutes)..

### **7.6.6.2 Voorwaarden**

- Afsluitbomen ter afsluiting van een rijbaan op een snelverkeersweg moeten zodanig zijn uitgevoerd, dat aanrijding geen ernstige gevolgen heeft voor de inzittenden van het aanrijdende voertuig. De afsluitboom moet dus van licht materiaal zijn vervaardigd en op een verbreekbare bevestiging zijn gemonteerd.
- Afsluitbomen op een hoofdrijbaan mogen alleen neergelaten worden nadat zeker is dat het verkeer tot stilstand is gekomen of geen verkeer op de betreffende weg aanwezig is. De vergrendeling: <<rode verkeerslichten-vrijgave neerlaten afsluitboom>> bij voorkeur "hard" uitvoeren ("wisselcontact": gelijktijdig schakelen is onmogelijk).
- Voorts mag een afsluitboom alleen maar neergelaten kunnen worden terwijl deze wordt geobserveerd, dus ofwel neerlaten handmatig ter plaatse, ofwel neerlaten terwijl de bedienende persoon de afsluitboom observeert (beeld van de camera bij de afsluitboom is zichtbaar op een monitor nabij de bedienplaats).
- Automatisch neerlaten is onder alle omstandigheden potentieel levensgevaarlijk, en is niet toegestaan.
- Als beveiliging tegen neerlaten terwijl zich een voertuig onder de boom bevindt moet een voertuigdetectie in het wegdek onder de afsluitbomen worden aangebracht.





## **7.6.7 Installaties 46 Beweegbare middenbermbeveiliging**

### **7.6.7.1 Algemeen**

Bij langdurige afsluiting van een verkeersbuis is bij sommige tunnels omleiding via een andere tunnelbuis noodzakelijk. De middenbermbeveiliging moet hiervoor geopend kunnen worden voor doorstekend verkeer. Hiervoor is een VeVa (= Verplaatsbare Vangrail) beschikbaar

Voor het doorlaten van hulpdiensten bij calamiteiten en het doorlaten van werkverkeer is het in voorkomende gevallen noodzakelijk dat kortdurend de middenbermbeveiliging wordt geopend. Hiervoor is een CaDo (= Calamiteiten Doorsteek) beschikbaar

Voor alle vormen van beweegbare middenbermbeveiligingen geldt dat zij zodanig moeten zijn geconstrueerd, dat zij in gesloten positie als normale middenbermbeveiliging functioneren, met alle eisen die daaraan worden gesteld; dus uitbuigstraal, stijfheid en kerende werking moeten zoveel mogelijk overeenkomen met die van de aansluitende vaste middenbermbeveiliging.

### **7.6.7.2 VeVa of CaDo**

1. Een VeVa vormt de afsluiting van een ongeveer 70m lange middenbermdoorsteek. Deze lengte is voldoende om het verkeer met een min of meer normale rijnsnelheid van de doorsteek gebruik te laten maken. De VeVa moet worden geplaatst aan iedere uitritzijde van de tunnel op een met beton of asfalt verhard gedeelte van de middenberm, aansluitend op het verlengde van de middenbermbeveiliging van de tunnelinrit; een betonnen overgangsdeel vanaf de vaste barri er naar de VeVa is noodzakelijk.

De VeVa is geschikt voor langdurige omleidingen van het verkeer door  en tunnelbuis, indien ten gevolge van een calamiteit of voor onderhoud de andere tunnelbuis is afgesloten. Een VeVa is niet geschikt voor kortdurende acties (bij voorbeeld: doorlaten van een enkel voertuig)

In gesloten toestand staat de VeVa op de grond en wordt aan beide uiteinden verankerd aan de vaste barri er zodanig dat de trekkracht tengevolge van aanrijding van de gesloten VeVa kan worden opgevangen in de verankering. De VeVa moet naar links en naar rechts kunnen draaien, scharnierzijde aan de tunnelzijde.

Bediening en beveiliging van VeVa's vindt plaats vanuit de centrale bediening van het verkeersgeleidingssysteem, of lokaal d.m.v. een paneel op de VeVa.

Om veiligheidsredenen moet openen en sluiten van de VeVa bij voorkeur begeleid worden door toezicht ter plaatse en begeleidende maatregelen door de wegbeheerder op de weg.

2. Een CaDo is een deel van de middenbermbeveiliging dat als een soort afsluitboom kan worden geopend, bedoeld voor doorlaten van  en of enkele voertuigen (tijdens onderhoud of calamiteit + eventueel afvoeren van een te hoog voertuig). De doorlaatbreedte van een CaDo is meestal omstreeks 6 tot 9m. Tijdens gebruik van de CaDo moet het verkeer aan beide zijden van de middenbermbeveiliging tijdelijk worden gestopt.



Bediening en beveiliging van de Ca Do vindt plaats vanuit de centrale bediening van het verkeersgeleidingssysteem. Lokale bediening is meestal niet mogelijk, aangezien het noodzakelijk is het verkeer aan beiden zijden van de middenberm tijdelijk te stoppen. Deze taak kan niet lokaal worden uitgevoerd omdat vóór opening stilleggen van het verkeer noodzakelijk is en deze taak eveneens niet lokaal kan worden uitgevoerd.



## **7.6.8 Installaties 47 Bijzondere borden/DRIPs**

### **7.6.8.1 DRIPs (Dynamische Route Informatie Panelen)**

- zijn bedoeld voor het geven van algemene aanwijzingen aan het verkeer, voor het doen van mededelingen en voor het aangeven van omleidingroutes etc.
- worden uitgevoerd als matrixsignaalgever
- DRIPs zijn in principe vrij programmeerbaar en kunnen elke gewenste boodschap weergeven
- kunnen onafhankelijk van MTM of andere verkeersgeleidingsystemen gebruikt en geprogrammeerd worden.

### **7.6.8.2 Bijzondere borden**

Met bijzondere borden wordt elk aanwijzingsbord bedoeld dat wordt ingeschakeld voor het geven van incidentele aanduidingen en aanwijzingen zoals (voorbeelden):

- Voorwaarschuwing verkeerslichten (RVV bord J32) (bij incidenteel inschakelbare verkeersinstallatie)
- Waarschuwing voor voetgangers op de weg (RVV bord J23) (in geval bij een calamiteit gevluht moet worden naar een aangrenzende verkeersbuis waarin op dat moment mogelijk nog verkeer aanwezig is)
- Aanwijzingen bij calamiteiten geven zoals "ALARM, verlaat uw auto zo spoedig mogelijk" (geen RVV).





## **Inhoudsopgave 50 Brandblusinstallaties**

- 7.7.1 Installaties 51 Brandblusinstallatie in tunnels
  - 7.7.1.1 Algemeen
  - 7.7.1.2 Eisen en ontwerpuitgangspunten
  - 7.7.1.3 Capaciteit
  - 7.7.1.4 Watervoorziening
  - 7.7.1.5 Waterslag en cavitatie
  - 7.7.1.6 Warmloopbeveiliging
  - 7.7.1.7 Fail-safe uitvoering
  - 7.7.1.8 Redundantie
  - 7.7.1.9 Pijpleiding- en flensmaterialen
  - 7.7.1.10 Eisen aan schuimvormend middel
  - 7.7.1.11 Gebruik van de hulpposten
  - 7.7.1.12 Lekindicatie
- 7.7.2 Installaties 52 Branddetectieinstallatie in tunnels
  - 7.7.2.1 Algemeen
  - 7.7.2.2 Branddetectiesysteem in de verkeersruimte
  - 7.7.2.3 Branddetectiesysteem bij toepassing van sprinklers
  - 7.7.2.4 Branddetectiesysteem in kabeltracé's
- 7.7.3 Installaties 53 Signalering hulppostkasten
- 7.7.4 Installaties 54 Vorstbeveiliging, verwarming
  - 7.7.4.1 Vorstbescherming
  - 7.7.4.2 Automatisch aftappen



---

Tunnel technische installaties



## **7.7 50 BRANDBLUSINSTALLATIES**

### **7.7.1 Installaties 51 Brandblusinstallatie in tunnels**

#### **7.7.1.1 Algemeen**

Brandblusmiddelen in de tunnel hebben tot doel:

- Beperken van de brand
- Beperken van slachtoffers
- Beperken van schade aan (of verlies van) de constructie.

Uitgangspunt bij het beschikbaar stellen van brandblusmiddelen voor gebruik door tunnelgebruikers is dat direct ingrijpen bij het begin van een brand het meeste resultaat heeft. Daarom worden in iedere tunnel voor het publiek toegankelijke en veilig te gebruiken blusmiddelen geplaatst.

De keus

- en/of een watervoerend blussysteem voor algemeen gebruik
- en/of een systeem voor gebruik door uitsluitend de brandweer
- en/of een sprinklersysteem te installeren

wordt uitgebreid behandeld en gemotiveerd in de VRC

Opmerking:

Verlies van de constructie betekent een aanzienlijk kapitaalverlies én heeft tot gevolg dat gedurende lange tijd niet van de betreffende verbinding gebruik kan worden gemaakt. Dit schept elders overbelasting en gevaarlijke situaties, m.n. doordat eventuele alternatieve routes buiten hoofdverbindingswegen in de regel niet berekend zijn op een groot verkeersaanbod en het gebruik van deze route door vracht-, bulk- en tankvervoer

De hierna volgende beschrijving betreft algemene aanwijzingen voor brandblussystemen in grote verkeerstunnels.

#### **7.7.1.2 Eisen en ontwerpuitgangspunten**

De brandblusmiddelen moeten zodanig uitgevoerd zijn dat effectief gebruik door ongeoeffenden mogelijk is. Handelingen zoals het openen van watertoevoer, starten van brandbluspompen etc. moeten daarom zoveel mogelijk automatisch plaatsvinden.

Noodzakelijkerwijs handmatige bediening moet logisch en vanzelfsprekend zijn.

De door de brandweer geëiste minimale waterleveringscapaciteit in grote verkeerstunnels is afhankelijk van de door hen gebruikte blusmiddelen.

Voorafgaand aan een tunnelontwerp dient hierover met de brandweer te worden overlegd. Als standaard gelden de richtlijnen volgens de VRC.

#### **7.7.1.3 Capaciteit**

In het algemeen worden aan het blussysteem de volgende eisen gesteld:

- 100 l/minuut per spuitmond op iedere willekeurige slanghaspel (worpafstand met een gebonden straal >14m bij een tegenwind van 3 Beaufort);
- De totale capaciteit van het systeem  $\approx$  2000 l/min bij gebruik van twee aangrenzende hulpposten



- De capaciteit van 2000 l/min moet gedurende tenminste 1 uur met eigen middelen kunnen worden geleverd. Deze periode geeft de brandweer voldoende gelegenheid om eventueel alternatieve blusmiddelen te installeren.
- De maximale druk in het systeem ter plaatse van een brandkraan in iedere willekeurige hulppost bij  $Q = 0 \text{ l/min} \leq 13,5 \text{ bar}$  (in overleg met lokale brandweer nader vast te stellen);
- De gebruiksdrukken in het systeem ter plaatse van een brandkraan in iedere willekeurige hulppost is minimaal 4 bar en max. 8 bar bij afname van 1550 l/min op de betreffende brandkraan terwijl gelijktijdig in een direct aangrenzende hulppost een hoeveelheid water wordt afgenomen van 450 l/min.

#### 7.7.1.4 Watervoorziening

De VRC stelt dat ten behoeve van de watervoorziening van de brandweer gekozen kan worden uit openbare waterleiding, een speciaal gebouwd reservoir binnen de tunnel, oppervlaktewater, een geslagen bron of eventueel een combinatie van deze mogelijkheden. In alle gevallen is er een relatie tussen het gekozen brandblussysteem en de daarvoor noodzakelijke minimale waterkwaliteit.

1. Openbare waterleiding heeft altijd voldoende waterkwaliteit en kan in elk systeem worden toegepast
2. Speciaal gebouwd reservoir: Deze oplossing is in vrijwel alle bestaande tunnel toegepast. Binnen of nabij de tunnel is een reservoir aanwezig met een nuttige inhoud voldoende voor 1 uur volle capaciteit blussen. Dit reservoir wordt gevuld en gevuld gehouden vanuit een (huis)aansluiting op de openbare waterleiding met een capaciteit van plm.  $10\text{m}^3/\text{uur}$ .
3. Oppervlaktewater: Het in Nederland beschikbare oppervlaktewater heeft in het algemeen een hoog slibgehalte en is daarom niet geschikt voor toepassing in systemen die gevoelig zijn voor slib, tenzij een intensieve filtering voorafgaat aan het gebruik. In brandblussystemen die daar in principe niet voor zijn ontworpen, mag alleen in bijzondere (nood)gevallen (grofgefilterd) oppervlaktewater worden binnengepompt; bijvoorbeeld indien bij falen van de reguliere watervoorziening de brandweer genoodzaakt is met eigen middelen water van buitenaf in het systeem te suppleren. Consequentie is dat na afloop van de blussing het gehele systeem intensief moet worden gereinigd.
4. Bronwater is van wisselende kwaliteit maar heeft een voldoende laag slibgehalte om in alle systemen te kunnen worden toegepast. Probleem kan zijn de uitvloeking en neerslag van ijzeroxiden.

*Aandachtspunten:*

- Water dat lange tijd is opgeslagen in een reservoir is ongeschikt als drinkwater.
- De wateraansluiting naar het reservoir moet zo mogelijk onderdeel zijn van een watervoorziening die regelmatig wordt gebruikt. Indien dit niet mogelijk is moeten maatregelen worden genomen om het gebruik van dit water als drinkwater te ontraden/voorkomen, tenzij na langdurig doorspoelen.

#### 7.7.1.5 Waterslag en cavitatie

Het brandblussysteem moet bestand zijn tegen eventueel optredende waterslag in het brandblussysteem en de maximaal toelaatbare cavitatie van de pompen. In lange tunnels is het noodzakelijk om als onderdeel van het ontwerp een waterslagberekening uit te voeren.

1. Waterslag treedt op bij snelle capaciteitsveranderingen, bijvoorbeeld bij sluiten van een klep of stoppen van een pomp. Snelle afremming van een watermassa



die het gevolg is van de plotselinge capaciteitsverandering heeft drukgolven ofwel waterslag tot gevolg

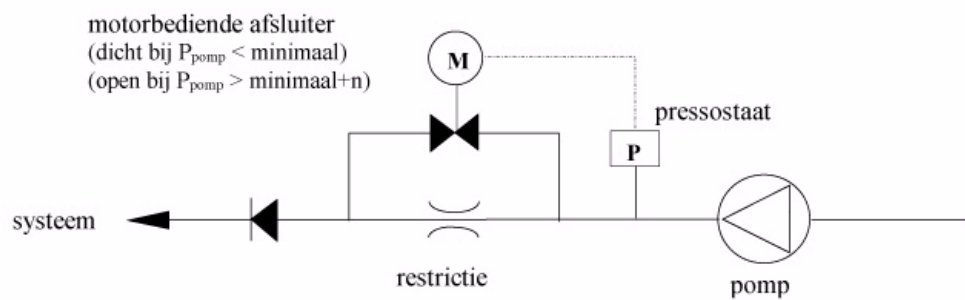
Voorzieningen ter voorkoming van waterslag zijn:

- Toepassing van brandkranen die niet snel kunnen worden dichtgedraaid (tenminste 10 seconden sluittijd);
  - Automatisch ontlueters toepassen met een geringe afvoercapaciteit.
  - Automatische ontlueters die binnen korte tijd grote hoeveelheden lucht kunnen afvoeren, mogen niet snel worden gesloten. In dit geval motorbediende ontlueters toepassen die binnen een bepaald tijdtraject trapsgewijs afsluiten.
  - Installeren van windketels of luchtbuffers op de hoofdleiding van het systeem
  - De hoofdbrandblusleiding uitvoeren in materiaal met lage E-modulus, bijv. PE100
2. Cavitatie kan optreden indien in het systeem de werkdruk veel lager wordt dan de minimale ontwerpdruk (pomp presteert v er benden de bedrijfsdruk). Bijvoorbeeld tijdens vullen van een lege leiding, of tijdens een veel grotere waterafname uit het systeem dan waarvoor het is ontworpen. Cavitatie gedurende een korte periode is niet direct schadelijk, doch op langere termijn kan schade aan de waaier ontstaan. Cavitatie kan worden voorkomen
- door onder alle omstandigheden voor voldoende systeemdruk (tegendruk) te zorgen door de maximale capaciteit van de pompen te begrenzen. Zie onderstaand voorbeeld.
  - Een pomp te selecteren met een werkgebied dat nooit de cavitatiedruk onderschrijdt.

**VOORBEELD Capaciteitsbegrenzing d.m.v. vaste restrictie met omloopleiding:**

- De pressostaat meet de pompdruk ( $P_{\text{pomp}}$ ) en stuurt de omloopafsluiter open bij  $P_{\text{pomp}} > \text{minimaal toelaatbare druk} + n$ .
- De pressostaat stuurt de omloopafsluiter dicht bij  $P_{\text{pomp}} = \text{minimaal}$
- De omloopleiding staat open bij normaal bedrijf (voldoende druk in het systeem =  $P_{\text{pomp}} = P_{\text{Systeem}}$ ).  
De pomp levert een normaal toegelaten capaciteit.
- Bij de minimum toelaatbare pompdruk sluit de omloopleiding. De restrictie beperkt de drukval aan de perszijde van de pomp zodat cavitatie niet optreedt.
- Als de pomp stopt, sluit de omloopleiding (er is geen druk)
- Als de pomp start, opent de omloopleiding (er is voldoende systeemdruk)
- Tijdens vullen van het systeem pendelt de omloopleiding tussen open en dicht (regelt de minimale druk).

NB. Storing van de motorafsluiter in gesloten stand heeft een geringe capaciteitsvermindering tijdens normaal bedrijf tot gevolg, maar bedreigt de goede werking van het brandblussysteem niet.  
(testcriterium: Bij proefstarten tegen een gesloten systeem moet de motorafsluiter helemaal open gaan)


**7.7.1.6 Warmloopbeveiliging**

De brandbluspompen starten naar aanleiding van gebruik van een slanghaspel, inschakelen door de brandweer (drukknop in de hulpposten), opstarten van het groepscommando calamiteitenknop, handbediend, bij uitvallen van de besturing (fail-safe mode), en stoppen handbediend. In alle gevallen is het mogelijk dat de pompen in bedrijf zijn zonder dat water uit het systeem wordt afgenomen. Dit heeft warmlopen van de pomp tot gevolg. Om dit te voorkomen moeten de pompen worden voorzien van een omloopleiding naar het blusreservoir voorzien van een doseerflens (vaste instelling) die juist voldoende water doorlaat om warmlopen te voorkomen.

Bij systemen met meerdere pompen op 1 persleiding moet iedere pomp zijn voorzien van een eigen, onafhankelijke warmloopbeveiliging om wederzijdse beïnvloeding te voorkomen.

De warmloopbeveiliging mag niet afsluitbaar zijn.

**WARMLOOPBEVEILIGING**

Voorbeeld  
Gegeven: Een pomp van 45kW bij  $Q_0$   $P_0=10\text{bar}$ , watertemperatuur  $20^\circ\text{C}$ .  
De maximaal toelaatbare watertemperatuur in de pomp is  $40^\circ\text{C}$ .  
Berekend: Om dit te bereiken moet de pomp worden voorzien van een restrictie van 4,7mm.  
De waterstroom door de restrictie is 30l/min.  
Deze hoeveelheid is voldoende om de pomp te koelen.

Opm. Het waterverlies door de omlooprestrictie is verwaarloosbaar t.o.v. de pompcapaciteit.

### 7.7.1.7 Fail-safe uitvoering

Voor optimale bedrijfszekerheid de schakeling van de brandbluspompen fail safe uitvoeren, d.w.z. bij storing van de besturing starten de pompen. Voorts het aantal automatisch schakelende beveiligingen in het elektrische circuit van de pompen, zoals thermische beveiliging en minimaalstroombeveiliging, niet aanbrengen of zoveel mogelijk beperken.

### 7.7.1.8 Redundantie

Een brandblussysteem met tenminste twee pompen uitvoeren. De pompen moet samen de vereiste capaciteit kunnen opbrengen. De pompen zijn niet redundant, d.w.z. als één pomp uitvalt neemt de capaciteit van het systeem af met het aandeel van die pomp.

#### Opmerking.

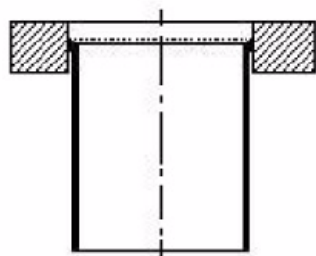
Bij uitvallen van één pomp neemt de systeemdruk af (het debiet neemt af waardoor de systeemweerstand lager wordt) waardoor de capaciteit van de nog draaiende pomp toeneemt. Uitvallen van één pomp heeft dus niet het halveren van de pompcapaciteit tot gevolg, maar een vermindering tussen 25-40%. Gezien de geringe faalkans van de pompen is dit toelaatbaar. De brand bestrijding, behoudens bij zeer grote branden, komt niet in gevaar.

### 7.7.1.9 Pijpleiding- en flensmaterialen

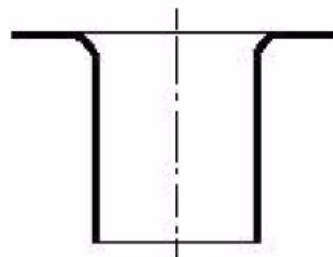
De centrale brandblusleiding vervaardigen uit corrosievaste materialen, zoals roestvast staal (RVS AISI-316L), kunststof of thermisch verzinkt staal. Opmerkingen bij de toepassing van roestvast stalen pijpleidingen.

- RVS leidingwerk prefabriceren en in het werk koppelen door middel van flensverbindingen
- In verband met corrosievormen die zullen optreden in stilstaand drinkwater (spleetcorrosie) moeten flenzen (kontakvlakken) in roestvaststalen leidingen zijn vervaardigd uit (RVS) werkstofnr. 1.4435 (Mo>2,5%). Doorgaande pijpen mogen zijn vervaardigd uit RVS AISI-316L
- RVS-RVS verbindingen uitvoeren dmv. overschuifflens-verbindingen, waarbij de overschuifflensen van andere kwaliteit RVS mogen zijn
- Doorgaande pijpenleidingen mogen in RVS AISI 316L worden uitgevoerd
- Pakkingen tussen RVS flenzen moeten van chloridevrij materiaal worden vervaardigd, zoals Frenzelit
- In verband met de grote kans op vervorming, en daardoor ontstaan van spleten (spleetcorrosie), is toepassing van zgn. **kraagbussen** NIET toegestaan. Zgn. **voorlasringen** zijn wel toegelaten.
- Leidingen en leidingdelen bij voorkeur niet instorten in beton.

In verband met mogelijke verwarring over de aanduiding "voorlasring" en "kraagbus" (ook wel "boordring" genoemd), hierbij enkele afbeeldingen:



voorlasring



kraagbus/boordring  
(niet toegelaten i.v.m. spleetcorrosie)

Opmerkingen bij de toepassing van kunststof pijpleidingen

In verband met de grotere kwetsbaarheid van GRE (Glasfiber Reinforced Epoxy) en geringere brandbestendigheid van kunststoffen in het algemeen, mogen kunststof pijpleidingen alleen buiten de verkeersbuis gebruikt worden op plaatsen waar de leiding tegen hoge temperatuur (CH-curve gedurende 2 uur) en mechanische beschadiging is afgeschermd.

- Normaal onder druk staande aftakkingen van drukvoerende leidingen, die niet zijn afgeschermd tegen de bij brand in de tunnelbuis optredende temperaturen, moeten temperatuurbestand zijn volgens de CH-curve (koolwaterstofcurve) gedurende 2 uur.  
*NB. Dit is een aandachtspunt bij de inrichting van hulpposten. Alle onderdelen van de brandblusinstallatie binnen een hulppost die normaal bij gesloten afsluiter naar de slanghaspel onder systeemdruk staan (dus bij niet uitgedraaide of uitgekantelde*



*slanghaspel), moeten bestand zijn conform de CH-curve. Dit geldt bijvoorbeeld voor flexibele aansluitingen binnen de hulppost.*

- Aftakkingen (T-stukken) van kunststof leidingen naar (de hulpposten in) de verkeersbuis moeten in ieder geval worden vervaardigd van RVS of thermisch verzinkt staal (i.v.m. het opvangen van mogelijke buigkrachten op de afgetakte pijp).
- Gezien de geringe slagvastheid mogen glasvezelgewapende kunststoffen (zoals GRE) alleen worden toegepast indien voorzien van een slagvaste buitenmantel.
- Ter plaatse van elke vaste aftakking moet een kunststof leiding zijn voorzien van een vast punt; dwz. een verzwaarde bevestigingsbeugel moet worden gebruikt, ter weerszijden waarvan fixatieschalen op de buis moeten worden gelijmd of gelast.
- Bijzondere aandacht moet worden besteed aan het opvangen van axiaal gerichte spatkrachten die bij bochten en aan de uiteinden van de pijpleidingen kunnen optreden.
- In verband met het Poisson effect mogen lengtecompensatoren in kunststof leidingen niet worden toegepast
- Aansluitingen vanaf een kunststof hoofdleiding op RVS-aftakkingen, koppelleidingen, hoofdaanvoerleidingen of op een appendage, moeten uitgevoerd worden als flensverbinding, waarbij de RVS pijp of de appendage moet zijn voorzien van een zgn. "flat-face" flens.
- Leidingen en leidingdelen bij voorkeur niet instorten in beton.
- Kunststof pijpleidingflenzen uitvoeren als overschuifflenzen
- Kunststof HDPE kan niet zonder meer van een leidingverwarming worden voorzien (geleidt geen warmte, dus plaatselijke oververhitting door de verwarmingskabel is mogelijk), maar moet eerst omwikkeld worden met aluminiumband (om de warmte te verspreiden) alvorens de verwarmingskabel kan worden aangebracht.
- Voor het verbinden van doorgaande leidingdelen van kunststof kan gebruik worden gemaakt van (trekvaste koppelingen), spiegellassen (PE), elektrolasmoffen (PE) en lijmverbindingen (PE en GRE). Spiegellassen en elektrolasmoffen geven zeer goede resultaten. Lijmverbindingen in hoge druk leidingen voldoen minder goed en benodigen een zekere hardingstijd na aanbrengen van de lijmverbinding dus niet toepassen i.v.m. verhoogd risico

#### **7.7.1.10 Eisen aan schuimvormend middel**

Eisen te stellen aan schuimvormende middelen voor toepassing in slanghaspels en sproeischuimblussers:

- geschikt voor brandklasse A en B
- biologisch afbreekbaar
- moet voldoen aan de prEN 1586
- vorstbestendig tot -15°C
- alcoholbestendig
- metaalvrij
- houdbaarheid in gemengde toestand minimaal 5 jaar.



### 7.7.1.11 Gebruik van de hulpposten

(zie ook de beschrijving in de VRC):

De hulpposten zijn ingericht voor gebruik door ondeskundige (tunnelgebruikers) en brandweer. De twee-deurs posten zijn voor beide gebruikers zijn ingericht:

1. Achter de éérst openende deur is een publiekscompartiment waarin zich uitsluitend hulpmiddelen voor de ondeskundige gebruiker bevinden.
2. Achter de als tweede openende deur bevinden zich blusmiddelen en apparatuur voor de brandweer

In deze hulpposten kunnen twee gebruikssituaties worden onderscheiden:

- a. (ondeskundig) gebruik door publiek:
  - de gebruiker opent de hulppost en neemt de spuitmond uit de houder
  - de slanghaspel draait of kantelt naar buiten; tevens worden hierdoor automatische de watertoevoer geopend en de brandbluspompen gestart
  - de gebruiker hoeft nu nog slechts de spuitmond te openen; hij heeft daarbij de keus uit een straal en een broes.
  - gedurende de eerste 25 min zal water voorzien van een schuimvormend middel (AFFF) beschikbaar zijn. De gebruiker heeft niet de mogelijkheid de AFFF toevoer te stoppen.
  - nadat al het AFFF is verbruikt, zal uitsluitend nog drinkwater ter beschikking zijn.
  - de spuitmond wordt in opgehangen positie verzegeld, om controle op het gebruik mogelijk te maken.
  - de verzegeling moet eenvoudig met handkracht verbreekbaar zijn
- b. (deskundig) gebruik door de brandweer of (RWS)personeel
  - voor zover van de brandslanghaspels gebruik wordt gemaakt is het gebruik conform de beschrijving in a.
  - bij gebruik van uitsluitend de Storz brandkranen kunnen de brandbluspompen worden gestart door bediening van de in elke hulppost aanwezige drukknop.
  - vanuit een hulppost kunnen de brandbluspompen alleen worden gestart, maar niet gestopt

De brandbluspompen kunnen alleen gestopt worden dmv. handbediening vanuit de centrale objectbediening, door daartoe bevoegd personeel. Om abusievelijk pompbedrijf te voorkomen moet een maximale draaitijdbewaking (alleen melding) naar de tunneloperator worden aangebracht.

### 7.7.1.12 Lekindicatie

Een permanent gevuld brandblussysteem moet zijn voorzien van een lek-indicatie.

1. In systemen die permanent onder druk worden gehouden door een jockeypomp (stand-by pomp) is het aantal starts van de jockeypomp een indicatie voor de lekkage van het systeem.
2. In systemen die normaal gevuld, maar niet permanent onder druk staan wordt een (geringe) statische druk op het brandblussysteem handhaafd vanuit een op het hoogste punt van het systeem aanwezig lek-indicatiereservoirtje. Niveaudaling van het water in het lek-indicatiereservoir is aanwijzing voor lekkage.

Een lek-indicatiereservoir wordt gevuld en gevuld gehouden d.m.v. een aansluiting op de waterleiding.

**Algemene aanbeveling:**

Brandblussystemen worden langdurig NIET gebruikt, maar moeten als het er op aan komt feilloos hun werk doen. De goede werking is sterk afhankelijk van onderhoudsdiscipline en regelmatig testen. Regelmatig (automatisch) starten en op druk brengen van het systeem is noodzakelijk, evenals regelmatig testen en inspecteren

Een brandblussysteem met een dubbele functie, zodanig dat het ook voor andere doeleinden noodzakelijk is en daarom regelmatig wordt gebruikt is in principe mogelijk, en geniet de voorkeur boven een systeem dat uitsluitend geschikt is om brand mee te blussen.

Het heeft daarom zin om te trachten het brandblussysteem meerdere functies te geven: het watervoerende systeem zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor het vullen van wandenwaswagens en overige schoonmaakwerkzaamheden, zoals doorspoelen van een riolering. In tunnels onder een brede rivier zou de hoofdleiding en pompsysteem gebruikt kunnen worden voor (drink)watertransport door de tunnel naar de andere oever.

Iedere dubbelfunctie heeft tot automatisch tot gevolg dat het systeem vaker of regelmatig wordt gebruikt en onderhouden, en dat storingen eerder of direct worden opgemerkt. Daarbij is bij regelmatig gebruikte systemen de motivatie tot snelle reparatie groter.

Bij het ontwerp van een brandblussysteem van welke aard dan ook heeft het tevens zin om in het (watervoerende én elektrische) circuit zo min mogelijk schakelende en sturende onderdelen aan te brengen die kunnen gaan vastzitten, weigeren en anderszins de goede werking zouden kunnen verstoren. Een ongecompliceerd systeem heeft is de grootste kans dat het zal werken op het moment dat het noodzakelijk is.

Het aanbrengen van onderdelen binnen de verkeersruimte zoveel mogelijk beperken.





## **7.7.2 Installaties 52 Branddetectieinstallatie in tunnels**

### **7.7.2.1 Algemeen**

De VRC (bijlagen hst.14) gaat vrij diep in op branddetectie en brandmelding. Branddetectiesystemen kunnen nuttig zijn op plaatsen waar onopgemerkt brand kan ontstaan, zoals in kabeltrace's of technische ruimten.

Door middel van apparatuur wordt een brand in een vroeg stadium gemeld, hetgeen bijdraagt aan een effectieve bestrijding.

### **7.7.2.2 Branddetectiesysteem in de verkeersruimte**

In Nederlandse verkeerstunnels wordt een branddetectiesysteem in de verkeersruimte overbodig geacht. De tunnels zijn alle bewaakt en bevinden zich zonder uitzondering in intensief gebruikte wegen. Een brand in de verkeersruimte zal worden gedetecteerd en gemeld door:

- de verkeers-(stilstands)detectie waardoor tevens de TV-camera die gericht staat op de betreffende tunnelsectie automatisch wordt ingeschakeld.
- de zichtmeting van het ventilatie systeem. Deze geeft een alarm indien het zicht in de tunnel beneden een minimum waarde daalt. Dit signaal is geschikt voor algemeen branddetectie.
- de tunnelgebruikers, die via intercom en andere communicatiemiddelen de brand melden
- Het openen van een hulppost of sproeischuimbluspost wordt gemeld in de controlekamer, waardoor tevens de TV-camera die gericht staat op de betreffende tunnelsectie automatisch wordt ingeschakeld.
- Het uitkantelen of draaien van een brandslanghaspel en het wegnemen van een sproeischuimblusser veroorzaakt tevens een (brand)melding.

De grote snelverkeerstunnels zijn alle continu bewaakt of zijn onderdeel van een continue bewaakte wegtracé. Op grond van deze overwegingen wordt het niet noodzakelijk geacht een afzonderlijk branddetectiesysteem in de verkeersruimte van bewaakte tunnels te installeren.

### **7.7.2.3 Branddetectiesysteem bij toepassing van sprinklers**

In tunnels met al of niet automatische sprinklersystemen moet een branddetectiesysteem worden geïnstalleerd dat in staat is de lokatie van de brand te bepalen, eventueel te volgen indien de brand zich verplaatst.

### **7.7.2.4 Branddetectiesysteem in kabeltracé's**

Het kan zinvol zijn een branddetectiesysteem te installeren in het kabeltracé. Weliswaar is de kans op brand gering, echter brand in het hoofd-kabeltracé kan ernstige gevolgen hebben. In de praktijk wordt een branddetectiesysteem in het kabeltracé zeer sporadisch toegepast.





### **7.7.3 Installaties 53 Signalering hulppostkasten**

Het gebruik van de volgende onderdelen van of uit hulpposten wordt in het bedieningscentrum van de tunnel gemeld:

- openen hulppostdeur
- uitnemen handblusser
- uitnemen van de spuitmond of uitkomen van de brandslanghaspel (alleen in hulppost type A)
- bedienen brandweerdrukknop in hulppost (alleen in hulppost type A)
- gebruik van het in de hulpposten aanwezige intercomtoestel.

Bij één van de genoemde signalen uit een hulppost wordt een attentiesignaal gegeven en wordt automatisch het beeld van de een CCTV-camera die gericht staat op de betreffende hulppost zichtbaar gemaakt op een videodisplay in het bedieningscentrum van de tunnel.





## **7.7.4 Installaties 54 Vorstbeveiliging, verwarming**

### **7.7.4.1 Vorstbescherming**

In belangrijke verkeerstunnels is het brandblussysteem normaal altijd met water gevuld. Dit impliceert dat alle watervoerende delen voor zover niet vorstvrij gesitueerd, moeten worden verwarmd en geïsoleerd.

Het watervoerend brandblussysteem moet beschermd worden tegen uitval door bevroeringsgevaar tot een omgevingstemperatuur van  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Hiertoe worden alle hulpposten verwarmd en worden de centrale brandblusleiding waar nodig voorzien van een tracing en een isolatie, eventueel (plaatselijk) verwarmingsmanchetten.

De tracing en isolatie kan over korte afstanden worden onderbroken zonder dat dit gevolgen heeft voor de vorstbescherming van de leiding, bijvoorbeeld ter plaatse van flensverbindingen en/of compensatoren. Dit verbetert bovendien de inspecteerbaarheid van een verbinding.

Leidingisolatie moet een zodanige hardheid hebben dat belopen door personen geen nadelige invloed heeft.

De verwarming van de centrale brandblusleiding wordt door middel van een buitentemperatuurvoeler geschakeld. (inschakelen bij een buitentemperatuur  $<2^{\circ}\text{C}$ ). (Mede) om verwarming van alle leidingdelen mogelijk te maken moeten deze bij voorkeur niet worden ingestort.

### **7.7.4.2 Automatisch aftappen**

(Normaal) droge leidingsystemen komen in grote verkeerstunnel vrijwel niet voor. Sommige spoortunnels zijn voorzien van een hoofdleiding met aftakkingen (geen hulpposten). Hier wordt gekozen voor (automatisch) aftappen van de leiding bij vorstgevaar. Bij de eerstvolgende (proef)start van de brandbluspompen wordt de leiding weer gevuld (en indien er nog steeds vorstgevaar aanwezig is, direct na de (proef)start weer afgetapt, zo niet, dan bij het eerstvolgende vorstgevaar weer afgetapt).





## **Inhoudsopgave 60 Communicatie**

- 7.8.1 Installaties 61 Video en CCTV-installatie
  - 7.8.1.1 Algemeen
  - 7.8.1.2 Eisen en standaarden
  - 7.8.1.3 Schakelen videodisplay
  - 7.8.1.4 Enkele uitvoeringsdetails
- 7.8.2 Installaties 62 Hoogfrequent radiocommunicatiesysteem (HF-systeem)
  - 7.8.2.1 Algemeen
  - 7.8.2.2 Opbouw
  - 7.8.2.3 Enige uitvoeringsdetails
- 7.8.3 Installaties 63 Intercominstallatie
  - 7.8.3.1 Algemeen
  - 7.8.3.2 Enkele technische details
  - 7.8.3.3 Registratie van intercomverkeer
- 7.8.4 Installaties 64 Luidsprekerinstallatie
  - 7.8.4.1 Algemeen
  - 7.8.4.2 Enkele technische details
- 7.8.5 Installaties 65 Telefooninstallatie
  - 7.8.5.1 Algemeen
  - 7.8.5.2 Enkele technische details
  - 7.8.5.3 Registratie van telefoonverkeer



---

Tunnel technische installaties



## 7.8 60 COMMUNICATIE

### 7.8.1 Installaties 61 Video en CCTV-installatie

#### 7.8.1.1 Algemeen

##### 1. Camera's

Voor de observatie van het verkeer en van incidenten in de tunnel zijn langs het gehele tunneltracé per rijrichting CCTV-camera's geplaatst op zodanige afstand van elkaar dat de camerabeelden elkaar juist overlappen. Het systeem voorziet in videobeelden voor de tunneloperator.

*N.B. In de praktijk wordt aan deze eis voldaan bij een onderlinge camera afstand van maximaal h.o.h. 100m.*

Camera's desgewenst voorzien van een pan-tilt en zoom voorziening. Indien deze voorzienig is aangebracht moet de camera d.m.v. één commando naar een vast ingestelde standaard positie en instelling kunnen worden teruggesteld (preset of set-point).

In de standaardpositie kijken CCTV-camera's binnen een tunnel en langs een tunneltracé altijd met de normale rijrichting van het verkeer mee, uitgezonderd overzichtcamera's buiten de tunnel of camera's die voor observatie van een bepaald object zijn opgesteld (bijvoorbeeld een hoogtedetectie of afsluitboom). Iedere camera kan afzonderlijk worden gemanipuleerd vanaf een bedieningsinterface

##### 2. Videodisplay:

Het beeld van de camera's wordt zichtbaar gemaakt op een monitor, monitorpaneel, videowall of andere wijze van videodisplay.

Voor nadere observatie kunnen camerabeelden worden geselecteerd op een detailmonitor.

N.B. Bij de opstelling en indeling van een monitorpaneel, c.q. videodisplay moet bij voorkeur de geografische beeldpresentie overeenkomen met het geografische beeld in het hoofd van de observator. Dus bij voorkeur noorden boven en zuiden onder. En als de operator naar buiten zou kunnen kijken moeten bij voorkeur de rijrichtingen gezien vanuit zijn werkpositie gelijk aan die op zijn beeldscherm.

Bijvoorbeeld: Indien vanuit zijn normale werkpositie de operator naar het westen kijkt, moet op het beeldscherm de westbaan boven en de oostbaan onder worden afgebeeld (verkeer op de W-baan = N-Z verkeer rijdt van rechts naar links) Kijkt daarentegen de operator vanuit zijn normale werkpositie naar het oosten, dan moet de westbaan onder en de oostbaan boven worden afgebeeld (N-Z verkeer rijdt van links naar rechts)

Deze regel kan worden overruled indien de bedienplek geen enkele geografische relatie heeft met het te bedienen object.

Binnen een verkeerscentrale is het raadzaam de presentatie van te observeren objecten uniform te maken, dus bijvoorbeeld altijd op alle video schermen dezelfde windstreek boven.

##### 3. Videoregistratie en afspeelvoorzieningen

Indien daar behoefte aan is kan worden besloten een mogelijkheid aan te brengen tot het vastleggen van camerabeelden. Twee opties zijn mogelijk:



- Registratie op verzoek of na een incident: De operator besluit het beeld van één geselecteerde camera vast te leggen (druk op de knop). Op een videorecorder of rewritable geheugen wordt de afhandeling van het incident geregistreerd. Deze actie kan eventueel geautomatiseerd worden geactiveerd door de verkeersdetectie of andere signalen vanuit de tunnel (openen hulppost). Bij hand-ingeschakelde videoregistratie wordt het beeld van de detailmonitor geregistreerd tenzij deze bezet is voor opname van een eerder ingeschakelde presentatie (in verband met de mogelijkheid dat op dat ogenblik een videoregistratie wordt gemaakt van een incident)
- Voortdurende registratie: Van elke CCTV-camera wordt voortdurend het beeld vastgelegd tot een bepaalde limiet of het moment dat de operator besluit het betreffende camerabeeld te overschrijven, danwel te bewaren. Bij deze toepassing is het mogelijk om de voorgeschiedenis van een incident terug te lezen.  
Voor het reconstrueren van een incident is het voldoende om van elke camera op regelmatige tijdsintervallen een beeld vast te leggen.  
Bij voortdurende beeldregistratie worden bij het overschrijven van een bepaalde opslagcapaciteit de oudste beelden automatisch overschreven. Door het geven van een handmatig, of automatisch commando kan het overschrijven worden geblokkeerd en hervat nadat deze blokkering is opgeheven.  
Tevens moet een afspeelvoorziening voor de geregistreerde gegevens aanwezig zijn.
- Opgeslagen CCTV-beelden moeten beveiligd zijn tegen bewerking achteraf, moeten zichtbaar de identificatiecode van de betreffende camera dragen en de tijd en datum van opname.

### 7.8.1.2 Eisen en standaarden

Een CCTV-systeem t.b.v. observatie van het verkeer in tunnels moeten minimaal voldoen aan de volgende eisen en standaarden:

Camerabeelden

- Beeldveld: Over de gehele tunnallengte een gebied waarnemen met een breedte van tenminste de volledige wegbreedte inclusief eventuele vluchtstroken, en met een hoogte tot tenminste 1,5m boven het wegdek.
- Kijkrichting: Binnen de tunnel waarnemen d.m.v. vast opgestelde camera's, kijkend in de rijrichting. Het verkeer wordt dus altijd op de rug gezien, conform het beeld dat een verkeersdeelnemer van het verkeer heeft.
- Overlap: Camerabeelden moeten elkaar zover overlappen dat aan de eisen t.a.v. het beeldveld wordt voldaan. D.w.z. vanaf het moment dat (de onderste 1,5m van) een voertuig uit het beeld van de ene camera verdwijnt, moet ditzelfde (deel van het) voertuig zichtbaar worden in het beeld van de volgende camera, zodanig dat beide camerabeelden tezamen een volledig beeld geven van het betreffende voertuig(deel).
- Onderscheidend vermogen: voor het tunnelbedrijf relevante incidenten en details daarvan moeten ook achterin het beeld van een camera herkenbaar zijn.

Plaats van de camera's

Camera's zodanig plaatsen dat de kans op afdekken van het beeld door een stilstaande voertuig minimaal is.



De kans op afdekking door een vrachtwagen is het grootst en derhalve bepalend. De kans op afdekking wordt beïnvloed door

- de hoogte waarop de camera is geplaatst (plaats t.o.v. horizontale as van de tunnel):  
Een hoog standpunt geeft minder kans op afdekking.
- de onderlinge afstand tussen de camera's: Een korte tussenafstand geeft minder kans op afdekking.
- de plaats van de camera t.o.v. de verticale as van de tunnel. Plaatsing aan uiterste linkerkant van de rijbaan geeft minder kans op afdekking dan plaatsing aan rechterkant van de rijbaan (waar zich het vrachtverkeer in hoofdzaak bevindt).

Aantal monitors/videodisplay

(Onder monitor wordt verstaan: het apparaat waarop een camerabeeld zichtbaar wordt gemaakt)

Op observatiemonitors of op het videodisplay is het niet noodzakelijk voor iedere camera een afzonderlijke beeldpresentatie weer te geven.

Voor observatie van het verkeer in tunnels met een overdekte lengte tot 1000m zijn 3 monitors per tunnelbuis voldoende. In tunnels >1000m zijn 6 monitors voldoende. In iedere installatie moet tenminste één detailmonitor per rijrichting aanwezig zijn waarop ieder willekeurig camerabeeld kan worden vertoond.

### 7.8.1.3 Schakelen videodisplay

1. Normaal staat de gehele CCTV-installatie stand-by, maar de videodisplay is niet actief. Bij incidenten zoals verkeersdetectie (snelheidsoverschrijding), openen van een hulppost, of gebruik van de luidsprekerinstallatie worden de camera's in het betreffende gebied geactiveerd en het beeld op de videodisplay zichtbaar gemaakt.
2. De videodisplay bij automatische inschakeling n.a.v. een incident in de tunnel of hoogtedetectie zodanig schakelen dat het beeld van 3 opeenvolgende camera's in de betreffende tunnelbuis wordt getoond, waarbij het beeld van de middelste camera op het incident gericht staat. Ter weerszijden daarvan de beelden van de voorgaande en de volgende camera.

Het incidentbeeld wordt tevens automatisch geschakeld op de detailmonitor.

*N.B. indien tijdens een automatisch ingestelde presentatie als bovenomschreven een tweede signaal wordt gegeven t.g.v. een verkeersdetectie of openen van een hulppostdeur, blijft de eerst ingeschakelde presentatie staan; inschakelen van het tweede camerabeeld wordt gevraagd door middel van een attentiesignaal op de bedieningsplaats; de operator heeft nu de keus tussen inschakelen van het gevraagde camerabeeld, of laten staan van het reeds aanwezige eerst ingeschakelde beeld. Indien binnen 5 minuten niet op de inschakelvraag wordt gereageerd, vervalt deze. Deze handelwijze wordt gemotiveerd door de overweging dat de eerst ingeschakelde presentatie de belangrijkste informatie geeft, zodat deze prevaleert boven andere informatie.*

3. De tunnelbediening moet in staat iedere al of niet automatisch ingestelde camerabeeldpresentatie op ieder ogenblik te overrulen.  
*N.B. Schakeltechnisch onderscheidt een zelf gekozen beeldpresentatie zich niet van een automatisch ingestelde presentatie; ook hierbij kan de automatiek de handinstelling niet overrulen, maar wordt een attentiesignaal gegeven.*
4. Toespreken van een luidsprekersectie geschiedt door eerst op de detailmonitor het beeld van de CCTV-camera in de toe te spreken luidsprekersectie in te schakelen.  
Indien daarna de luidsprekerinstallatie wordt ingeschakeld wordt de betreffende sectie toegesproken. Toespreken van niet geobserveerde secties is niet mogelijk.



### 7.8.1.4 Enkele uitvoeringsdetails

#### Algemeen

- De videosignalen moeten kunnen worden gecontroleerd zonder dat het videosignaal hiervoor behoeft te worden onderbroken.
- De status van de CCTV-bediening moet vanaf de bedieningsplaats direct afleesbaar te zijn.

#### Camera's

- Camera's dienen geschikt te zijn voor een aansluitspanning van 230V, 50 Hz  $\pm 10\%$ ;
- De aansluiting tussen de aansluitkast en de camera moet via een zgn multicorekabel tot stand gebracht worden, zodat via deze kabel alle signalen worden overgebracht; In lange tunnels kan van glasvezeltechnieken gebruik worden gemaakt.
- De automatische lichtaanpassing dient instelbaar te zijn tussen topwaarde en gemiddelde waarde; regelbereik in gesloten tunnel = 1-500 cd/m<sup>2</sup> (bij  $E_h = 10-5000$  lux)  
regelbereik in het overgangsgebied binnen-buiten = 1-10.000 cd/m<sup>2</sup> (bij  $E_h = 10-100.000$  lux) (opname element minimaal CCD H756 x V 582 pixels, resolutie >560 lijnen)
- camera's voorzien van een automatische contrast en helderheidsregeling. De camera regeling moet in staat zijn de verblinding te corrigeren, die ontstaat wanneer een camera op een heldere dag van binnen naar buiten de overdekte tunnel kijkt (laatste camera bij de tunneluitgang)
- Elke camera dient van een aparte voeding te worden voorzien;
- Temperatuurbereik -25°C tot +55°C omgevingstemperatuur tijdens bedrijf;
- Het binnenwerk van de camera moet uitgewisseld kunnen worden zonder dat de stand van de camerabehuizing hiervoor gewijzigd moet worden.

#### Behuizing van camera's

- De camerabehuizing dient volledig geïsoleerd te zijn ten opzichte van het binnenwerk en moet zijn vervaardigd van zeewaterbestendig aluminium, eventueel ongewapend kunststof
- In de camerabehuizing dient een verwarming te zijn aangebracht van voldoende vermogen om condens, sneeuw en ijzel op de ruit te voorkomen;
- De aardschroef van de camerabehuizing dient aan de buitenzijde van het huis aangebracht te zijn; Alle bevestigingsmiddelen, zoals bouten, moeren en sluitringen van RVS, type AISI 316 te zijn, waarbij de verbinding "verlies vrij" moet worden uitgevoerd;
- Alle camera's in de tunnelbuis tegen opwaaiende dekzeilen beschermen door middel van een de camera omhullende kooiconstructie;
- Camerabehuizing voorzien van zonnekap en ruitafscherming;
- De opstelling moet windsnelheden van 150 km/u kunnen weerstaan;
- Trillingen die het gevolg zijn van de wind of het verkeer op de constructie waarop de camera is bevestigd, mogen de goede werking van de camera niet beïnvloeden.

Voor camera's op masten >5m betekent dit dat de horizontale uitslag van de camera niet groter mag zijn dan 10cm bij windkracht 10.



## **7.8.2 Installaties 62 Hoogfrequent radiocommunicatiesysteem (HF-systeem)**

### **7.8.2.1 Algemeen**

Hulpverlenende instanties zoals brandweer en politie hebben eigen radioverbindingen, die echter niet zonder speciale voorzieningen binnen de tunnel kunnen worden gebruikt.

Het HF-systeem:

- maakt mogelijk radioverkeer te onderhouden vanuit de tunnel naar buiten en vice versa (voor hulpdiensten bij incidenten en voor mobilfoonverkeer bij onderhoud en werkzaamheden);
- maakt mogelijk radioverkeer te onderhouden tussen de tunnelbuizen onderling
- verzorgt her-uitzending binnen de gesloten tunnel van openbare radiofrequenties
- maakt inspreken op openbare radiofrequenties binnen de gesloten tunnel mogelijk

### **7.8.2.2 Opbouw**

Een HF-systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- a. Een HF-antennesysteem opgebouwd uit:
  - een antenne-installatie buiten de tunnel: Alle antennes voor het totale HF-systeem worden samengebracht op een antennemast die buiten de tunnel op een hoog punt boven het maaiveld (dak technisch gebouw) is aangebracht.
  - een antenne (stralende Coax) over de volle lengte van de tunnelbuis en indien nodig in aangrenzende ruimten.  
De coax antenne vanaf beide einden en/of in secties voeden, zodanig dat de kabel blijft functioneren indien hij tengevolge van een calamiteit (brand) plaatselijk wordt vernield (de installatie binnen de tunnelbuis moet zodanig zijn geconstrueerd, dat een plaatselijke temperatuur van 1000°C gedurende 1 uur geen uitval van het uitgezonden signaal tot gevolg heeft).
  - In iedere tunnelbuis (rijrichting) moet een onafhankelijk van de andere tunnelbuizen (rijrichtingen) werkend deel van de HF-installatie aanwezig zijn.
- b. overdrachtsapparatuur in apparatenkasten in een van de technische gebouwen van de tunnel
- c. aanstuurapparatuur: Voor iedere tunnelbuis (rijrichting) moet een onafhankelijk werkende installatie worden aangebracht die kan worden aangestuurd vanuit het controlecentrum van de tunnel.

### **7.8.2.3 Enige uitvoeringsdetails**

- bij de signaaloverdracht mogen de radiofrequenties van de oorspronkelijke uitzending niet worden gewijzigd
- vanuit het contrôlecentrum van de tunnel moet meeluisteren op de afzonderlijke radiokanalen mogelijk zijn
- inspreken op de openbare radiokanalen moet mogelijk zijn
- het systeem moet geschikt zijn voor RDS-signaaloverdracht
- het systeem moet alle signalen van FM-radioontvangst, portofoon etc. gelijktijdig kunnen verwerken



- het systeem moet alle willekeurige kanalen binnen het bereik van 60 MHz tot 900 MHz kunnen bestrijken. In overleg met (vertegenwoordigers van) de tunnelgebruikers en beheerders moet uiteindelijk bepaald worden welke frequenties noodzakelijk zijn voor de communicatieverbindingen (C2000)
- het zendvermogen in de tunnel mag minimaal 1 W en maximaal 15 W zijn



## **7.8.3 Installaties 63 Intercominstallatie**

### **7.8.3.1 Algemeen**

De intercominstallatie voorziet in een spreek-luisterverbinding tussen hulpposten en operator, onafhankelijk van het openbaar telefoonnet.

Het intercomsysteem is in de eerste plaats bedoeld voor tunnelgebruikers in geval van pech of calamiteiten.

Binnen de overdekte tunnel zijn toestellen geplaatst in hulpposten, buiten de tunnel op praatpalen.

Op de verkeerslessenaar in de centrale bedieningsruimte van de tunnel bevindt zich de ontvangst- en bedieningsapparatuur.

Per rijrichting moet de intercominstallatie functioneel van de andere rijrichtingen gescheiden zijn. D.w.z. per rijrichting/tunnelbuis kunnen de intercominstallaties gescheiden worden gebruikt. Verloren gaan van de installaties in 1 rijrichting heeft geen invloed op de installaties in de andere rijrichting.

### **7.8.3.2 Enkele technische details**

- Het gebruik van de installatie voor zover het de tunnelgebruiker betreft moet zoveel mogelijk overeenkomen met een gewoon telefoontoestel.
- Het geluidsniveau van alle intercomtoestellen moet automatisch dynamisch aanpassen aan het omgevingsgeluid. Bij zowel normaal rijdend verkeer, fileverkeer en ingeschakelde ventilatie. De geluidsdruk van het omgevingslawaai van een in gebruik zijnde tunnel is bij normaal verkeer ongeveer 100 dB(A).
- De spraakverstaanbaarheidsfaktor (STI-waarde) moet aantoonbaar en in elke gebruikssituatie 0,60 zijn. Het ontwerp van de intercominstallatie moet tenminste voldoen aan de STI-richtlijnen welke zijn vastgelegd in IEC60268 en ISO3382.
- De installatie heeft op de bedieningslessenaar een wachtstandvoorziening voor het afhandelen van meerdere oproepen (minimaal 3 direct zichtbaar en de overige intern in de wachtstand).

Oproepen worden in principe afgehandeld in volgorde van binnenkomst. Indien het bedieningstoestel in gesprek is met een voorgaande oproep, worden volgende oproepen in een wachtstand geplaatst, die evenals bij de normale procedure een wektoon krijgen. Op de terugmelding moet dan te zien zijn welke posten zich in de wachtstand bevinden.
- Op het centrale toestel moet worden weergegeven vanuit welke hulppost of andere lokatie een intercomtoestel verbinding vraagt, er moet na het opnemen van de hoorn direct met elkaar gesproken kunnen worden.
- De intercominstallatie moet verschillende paralleloproepen kunnen verwerken.
- Het systeem moet zijn voorzien van een lijn- en toestelbewaking, onafhankelijk van de overige besturingssystemen
- Haakcontacten van intercomtoestellen uitvoeren zonder mechanisch bewegingsmechanisme
- Intercomtoestellen moeten waterdicht zijn uitgevoerd in slagvast kunststof. Dichtingsgraad tenminste IP55
- In tunnels zonder no-breakvoorziening, moet de intercominstallatie zijn voorzien van een eigen noodstroomvoeding met een capaciteit voldoende voor 1 uur volledig bedrijf.



### **7.8.3.3 Registratie van intercomverkeer**

Alle inkomende en uitgaande intercomgesprekken vanaf de verkeerslessenaar kunnen worden vastgelegd op een gesprekken recorder. De gesprekken recorder heeft voldoende capaciteit voor het volledig automatisch vastleggen van alle te verwachten intercom gesprekken gedurende een etmaal (24uur).

Naast de 24-uurs geluidsrecorder is een tweede recorder geïnstalleerd waarop indien gewenst gesprekken vanaf de 24-uurs recorder kunnen worden gekopieerd en gearchiveerd. De geluidsdrager van deze recorder is uitwisselbaar en kan worden bewaard gedurende een ongelimiteerde periode.

Tevens moet een afspeel voorziening voor de geregistreerde gegevens aanwezig zijn.



## 7.8.4 Installaties 64 Luidsprekerinstallatie

### 7.8.4.1 Algemeen

Luidsprekerinstallaties moeten per rijrichting functioneel gescheiden zijn uitgevoerd, elke rijrichting met een eigen microfoon op de bedieningslessenaar.

De luidsprekers worden binnen de tunnel bevestigd aan het tunnelplafond; buiten de tunnel aan masten en voorzover mogelijk aan reeds langs het tracé aanwezige masten en portalen.

De luidsprekerinstallatie is verdeeld in onafhankelijk werkende secties, die corresponderen met de CCTV-secties.

De luidsprekers worden geschakeld per sectie. De sectie selecteren via de besturing van de CCTV-installatie, zodanig dat de op het videodisplay geobserveerde CCTV-sectie wordt besproken als de luidsprekerinstallatie wordt ingeschakeld.

Selectieve bediening is mogelijk via de CCTV-detailmonitor (zie verder het hoofdstuk CCTV-installatie). Indien geen CCTV-detailmonitor wordt geplaatst, moet op andere wijze "hand"selectie van de te bespreken luidsprekersectie mogelijk zijn.

### 7.8.4.2 Enkele technische details

- De luidsprekers tegen de rijrichting van het verkeer in richten.
- De geluidsproductie moet zodanig zijn dat een persoon in of buiten een voertuig tijdens file-verkeer, een gesproken boodschap duidelijk kan verstaan boven de geluidsproductie van file-verkeer (+ 95 dB(A)) en/of de in bedrijf zijnde tunnelventilatie uit.  
Hiertoe moet het geluidsniveau automatisch regelbaar zijn.
- Binnen de gesloten tunnel moet de Speech Transmission Index (STI) tenminste voldoen aan de eisen gesteld in de VRC hoofdstuk 13.2.

**Opmerking:**

1. Het is aan te bevelen (indien mogelijk) een verkennende STI-meting uit te voeren alvorens een definitief ontwerp van een luidsprekersysteem in de tunnelbuizen te maken.
2. Een belangrijke geluidsbron binnen de overdekte tunnel wordt gevormd door de tunnelventilatoren. Beperking van de geluidsproductie van tunnelventilatoren draagt derhalve bij aan het verbeteren van de verstaanbaarheid van de luidsprekerinstallatie.  
Daarbij is het geluidsspectrum van tunnelventilatoren niet uniform. Bepaalde frequenties, o.a. afhankelijk van het toerental en het aantal rotorbladen zijn overheersend en het is weinig effectief de verstaanbaarheid van een luidsprekerinstallatie te verbeteren door te trachten deze frequentiegebieden te overstemmen. Om tot een optimaal resultaat te komen bij het ontwerp van een goede STI is het daarom zinvol in overleg met de ventilatorenfabrikant te treden om rekening te kunnen houden met het geluidsspectrum van de tunnelventilatoren.

- de dynamiek van de spraak comprimeren; korte pieken die de bovengrens van het dynamische bereik met meer dan 3 dB overschrijden, afsnijden (peak-clipping);



- het luidsprekersignaal automatisch aanpassen aan het stoorniveau van het verkeer in de tunnel. Hiertoe op een representatieve plaats in de tunnel een meetmicrofoon plaatsen die continu het geluidsniveau in de tunnel meet. Bij inschakelen van de geluidsinstallatie het laatst gemeten geluidsniveau gebruiken als stuursignaal voor het instellen van het aan de luidsprekers af te geven spraaksignaal.
- Boodschappen in de tunnelbuis vooraf laten gaan door een attentiesignaal (ding-dong).
- Luidsprekers binnen de tunnelbuis tegen opwaaiende dekzeilen beschermen door middel van een de luidspreker omhullende kooiconstructie.



## 7.8.5 Installaties 65 Telefooninstallatie

### 7.8.5.1 Algemeen

In grotere objecten is zowel voor interne als externe verbindingen een normale telefooninstallatie aanwezig met aansluiting op het openbare net.

Voor intern een normale huisinstallatie die via een telefooncentrale kan worden doorverbonden op het openbare net.

Bij bewaakte tunnels worden directe (kies)lijnen gereserveerd naar hulpverlenende instanties, zoals brandweer of politie voor gebruik tijdens calamiteiten.

Bij uitgebreide objecten wordt soms buiten de dienstgebouwen een aansluiting op het openbaar net geëist voor gebruik door de brandweer en hulpdiensten. Deze aansluiting bestaat uit een kontaktdoor in een afsluitbare kast nabij de opstelplaats voor een commandowagen van de brandweer.

In de gebouwen (inclusief technische ruimten), onderstations en op regelmatige afstanden in het kabelkanaal, een telefoontoestel aanbrengen.

### 7.8.5.2 Enkele technische details

- Toestellen in dienstruimten die verontreinigd kunnen worden met tunnellucht, moeten hierop zijn aangepast.
- In ruimten waarin explosiegevaar mogelijk is, zijn geen telefoontoestellen of uitsluitend Ex-geclassificeerde aangepaste toestellen aangebracht.
- De telefooncentrale dient te zijn uitgerust met een telefoon-identificatie van de inkomende gesprekken, waarbij het nummer van de 'beller' zichtbaar wordt en eventueel kan worden vastgelegd. De telefooncentrale is tevens voorzien van de mogelijkheid om aan een bepaald inkomend nummer een functie of naamsaanduiding te koppelen.

### 7.8.5.3 Registratie van telefoonverkeer

Alle inkomende en uitgaande telefoongesprekken vanaf de verkeerslessenaar kunnen worden vastgelegd op een gesprekken recorder. De gesprekkenrecorder heeft voldoende capaciteit voor het volledig automatisch vastleggen van alle te verwachten gesprekken gedurende een etmaal (24uur).

Naast de 24-uurs geluidsrecorder is een tweede recorder geïnstalleerd waarop indien gewenst gesprekken vanaf de 24-uurs recorder kunnen worden gekopieerd en gearchiveerd. De geluidsdrager van deze recorder is uitwisselbaar en kan worden bewaard gedurende een ongelimiteerde periode.

#### **Mobiele telefoonverbindingen**

In vrijwel alle tunnels zijn door de telefoon provider voorzieningen aangebracht om mobiel telefoonverkeer vanuit de tunnel mogelijk te maken. Hierdoor ontstaat ook de mogelijkheid om zonder gebruik van intercom (dus zonder tussenkomst van de tunneloperator) een incident te melden en/of hulp te vragen. Het aanduiden van de juiste locatie kan hierbij een probleem zijn. De tunnelgebruiker weet niet in welk deel van de tunnel hij zich bevindt (buis, hectometrering) en soms zelfs niet in welke tunnel hij zich bevindt, hetgeen een handicap kan zijn voor de opgeroepen hulpverlener. Daarbij komt de hulpvraag niet binnen bij de verkeerscentrale maar rechtstreeks bij de hulpverlenende instantie (wegewacht of 112). Bij ernstige twijfel is een mogelijke oplossing de tunnelgebruiker te verwijzen naar de dichtstbijzijnde hulppost alwaar de tunnelgebruiker zich opnieuw kan melden met gebruikmaking van het daarin aanwezige intercomtoestel.





## **Inhoudsopgave 70 Gebouwinstallaties**

- 7.9.1 Installaties 71 Klimaatinstallatie in gebouwen
  - 7.9.1.1 Algemeen
  - 7.9.1.2 Overdrukinstallatie
  - 7.9.1.3 Koeling en verwarming
  - 7.9.1.4 Geluidscriteria
- 7.9.2 Installaties 72 Beveiliging van gebouwen
  - 7.9.2.1 Algemeen
  - 7.9.2.2 Te nemen maatregelen voor beveiliging
- 7.9.3 Installaties 73 Licht en krachtinstallaties in gebouwen
  - 7.9.3.1 Verlichting van ruimten
  - 7.9.3.2 Noodverlichting
  - 7.9.3.3 Verlichtingniveaus
  - 7.9.3.4 Kracht
- 7.9.4 Installaties 74 Brandmelding en signalering gebouwen
- 7.9.5 Installaties 75 Brandblusinstallatie in gebouwen



---

Tunnel technische installaties



## 7.9 70 GEBOUWINSTALLATIES

### 7.9.1 Installaties 71 Klimaatinstallatie in gebouwen

#### 7.9.1.1 Algemeen

Dienst ruimten van onbewaakte tunnels behoeven niet te worden voorzien van een klimaatinstallatie. Hier kan worden volstaan met het vorstvrij houden van de apparatuur door middel van kastverwarming of een ruimteverwarming.

In grote technische gebouwen waar vitale apparatuur staat opgesteld, is een klimaatinstallatie noodzakelijk om:

- a. vervuiling van het gebouw door verontreinigde tunnellucht te voorkomen
- b. het gebouw te verwarmen, indien nodig plaatselijk te koelen.

#### 7.9.1.2 Overdrukinstallatie

Vervuiling van het gebouw door tunnellucht moet worden voorkomen door een ventilatiesysteem te installeren, waarbij gefilterde of anderszins gereinigde buitenlucht in het gebouw wordt geblazen, zodanig dat in het gebouw een minimale overdruk kan worden gehandhaafd van 30 Pascal.

Ramen, deuren doorvoeringen en andere sparingen naar buiten moeten zo goed mogelijk worden afgedicht:

- de kierafdichting van te openen ramen heeft een C-waarde van  $0,15 \times 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>-s.m.Pa. 2/3);
- de kierafdichting van de entreedeur heeft een C-waarde van  $0,30 \times 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>-s.m.Pa. 2/3), volgens de VMR 1986.

*N.B. Het overdruksysteem kan worden gecombineerd met de klimaatinstallatie voor het betreffende gebouw, door middel van een luchtverwarmingssysteem.*

*Een luchtverwarmingssysteem leent zich uitstekend voor toepassing van recirculatie en terugwinning van apparatuurwarmte, zoals de afvalwarmte van noodstroomaggregaten, no-breakapparatuur en besturingsapparatuur.*

#### 7.9.1.3 Koeling en verwarming

Plaatselijke koeling is alleen noodzakelijk in de Bedieningsruimte, eventueel in de kantoorruimten en in de ruimten waar logische apparatuur staat opgesteld.

Koeling door middel van een koudwater- (uit een bron) of gekoeld watersysteem geniet de voorkeur.

Als aanvullende verwarmingsbron gebruik maken van een (eventueel olie gestookte) c.v.-ketel.

Restwarmte en afvallucht uit het technische gebouw kan nuttig worden gebruikt voor verwarming van technische ruimten of het middenkanaal cq. vluchtgang van de verkeerstunnel. Bij brand in het gebouw moet deze luchtafvoer vanuit het gebouw naar ruimten elders branddicht kunnen worden afgesloten.

#### 7.9.1.4 Geluidscriteria

Het geluidsdrukniveau ten gevolge van de werktuigkundige installaties binnen het dienstgebouw dient te voldoen voor:

- de Bedieningsruimte: 35 dB(A)
- overige verblijfsruimten: 40 dB(A)



- bij een in werking zijnde noodstroom-installatie mag het geluidsdruk niveau in de bedieningsruimte met niet meer dan 5 dB(A) toenemen, conform NEN 5077.



## **7.9.2 Installaties 72 Beveiliging van gebouwen**

### **7.9.2.1 Algemeen**

Gebouwen en bedieningsruimten waarin zich voor het tunnelbedrijf belangrijke apparatuur bevindt, moeten worden beveiligd en bewaakt tegen:

- a. binnendringen van ongewenste personen
- b. verwonding resp. beschadiging van zich in het gebouw bevindende personen en apparatuur door molest van buitenaf;
- c. de gevolgen van brand.

### **7.9.2.2 Te nemen maatregelen voor beveiliging**

Tot de te nemen maatregelen voor beveiliging van gebouwen behoren:

- Installeren van een afzonderlijk CCTV-circuit ter observatie van de gebouwtoegang, eventueel aangevuld met observatie van gebouwgevel(s) of parkeerterrein. In de centrale bedieningsruimte worden voor dit doel een of meer monitoren geïnstalleerd;
- Indien ten behoeve van de tunnelbewaking en bediening zich slechts 1 persoon in het gebouw bevindt, moet worden voorzien in een afwezigheidsdetectie naar elders; bijvoorbeeld een attentiesignaal van de apparatuur dat niet binnen een instelbare tijd wordt beantwoord, wordt doorgegeven naar elders waar aldus de afwezigheid van de tunnelbediening wordt gesignaleerd; Overigens moet worden vermeden dat slechts één persoon zich in het gebouw bevindt.
- Vitale apparatuur mag niet vanaf de openbare weg zichtbaar worden opgesteld.
- Evenzo mag bediening niet plaatsvinden vanuit een vanaf de openbare weg zichtbare ruimte.
- Eventueel moeten voorzieningen worden getroffen in de vorm van inbraakvrij en/of kogelwerend glas. Buitendeuren en ramen moeten van een zodanige kwaliteit zijn, dat inbraakpogingen met normaal handgereedschap geen effect zullen hebben, in ieder geval aanzienlijk worden vertraagd.
- In onbemande technische gebouwen dient een inbraakdetectieinstallatie te worden aangebracht volgens de richtlijnen van het TBBS (klasse 3), uitgerust met een sabotage-alarm, benevens de nodige bewegingsmelders in de diverse ruimten en een codetableau voor IN/UIT schakeling van de installatie; akoestisch binnenalarm;
- flitser/zwaailicht tegen de gevel.
- magneetcontacten op de entredeuren met vertraagde doormelding in verband met bediening codetableau. Alarmmelding naar de centrale bedieningsruimte. Indien dit alarm niet binnen (5 min.) wordt beantwoord, doormelding naar elders via de telefoonmelder van de afwezigheidsdetectie.
- De toegang van bemande gebouwen voorzien van een toegangssluis, dwz. het gebouw is toegankelijk via achtereenvolgende, op afstand afzonderlijk te bedienen deuren.





## 7.9.3 Installaties 73 Licht en krachtinstallaties in gebouwen

### 7.9.3.1 Verlichting van ruimten

Alle (dienst)ruimten moeten worden voorzien van een aan hun functie aangepaste lichtinstallatie bestaande uit:

- geschakelde werkverlichting;
- permanent ingeschakelde oriëntatieverlichting (vluchtweg);
- wandcontactdozen.

### 7.9.3.2 Noodverlichting

In technische gebouwen moet een onderbrekingsvrije noodverlichting aanwezig zijn. Indien mogelijk (een deel van) de verlichting aansluiten op de no-breakgroep of een gebouw-UPS (centrale noodverlichting), danwel elke ruimte een aantal armaturen aanbrenge met inwendige noodstroomvoorziening (decentrale noodverlichting). Alle verlichting direct voeden vanaf de laagspanningshoofdverdeelinrichtingen; bij netspanningswegval moet de voeding overgenomen worden door de noodstroomvoorziening. Voor overbrugging van de stroomloze periode tussen netspanningswegval en starten van de noodstroomaggregaten is permanent brandende verlichting noodzakelijk.

### 7.9.3.3 Verlichtingniveaus

Het verlichtingniveau afhankelijk van het gebruik van een ruimte moet voldoen aan de volgende gemiddelde niveau's:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| • verblijfsruimten             | 400lux basisverlichting                 |
| • lokale bedieningsruimte      | 400 lux                                 |
| • sanitaire ruimten            | 200 lux                                 |
| • technische ruimten           | 400 lux                                 |
| • traforuimten                 | 150 lux                                 |
| • opslagruimten                | 200 lux                                 |
| • gangen en trappenhuizen      | 200 lux                                 |
| • schachten                    | 150 lux                                 |
| • vluchtwegen en dienstgangen  | 100 lux                                 |
| • (decentrale noodverlichting) | minimaal 1 lux<br>(volgens NEN-EN 1838) |

Bij de berekening van verlichting de volgende factoren in acht nemen:

- reflectiefactoren
 

plafond = 0,5
wanden = 0,3
werkvak = 0,1
- Depreciatiefactor: 0,8 (geringe vervuiling na een gebruikperiode van 2 jaar).
- Werkvlak op 0,80 m boven de vloer.
- De absolute gelijkmatigheid van de horizontale verlichtingssterkte op het loopvlak moert tenminste 0,6 zijn.

### 7.9.3.4 Kracht

In de nabijheid van eventuele hijsopeningen en in ruimten waarin zware apparatuur staat opgesteld een krachtwandkontaktdoos installeren voor de voeding van een eventuele elektrische takel.





### **7.9.4 Installaties 74 Brandmelding en signalering gebouwen**

1. In daarvoor in aanmerking komende dienstruimten en technische ruimten van tunnels een automatisch werkend brandmeldsysteem installeren door middel van bijvoorbeeld ionisatie rookmelders, thermodifferentiaalmelders, UVR-melders of eventueel handmelders, aangesloten op een sensor control unit.
2. De brandmelders moeten zijn geadresseerd per ruimte en/of lokatie
3. In dag en nacht bewaakte gebouwen moet automatische doormelding naar de brandweer in overleg met de plaatselijke OHD worden afgestemd.
4. Voor toepassing in langgerekte ruimten zoals kabelkanalen is toepassing van een lineaire (kabel) detectie geschikter. Overigens is de kans op brand in kabelkanalen van tunnels zo gering dat het nut van een branddetectie aldaar discutabel is.
5. Na branddetectie in een dienstengebouw moet(en):
  - een op elke lokatie in het dienstengebouw, hoorbare alarmering worden ingeschakeld;
  - een op een centrale lokatie in het dienstengebouw gemonteerde optische alarmering worden ingeschakeld;
  - een aan de buitengevel van het dienstengebouw gemonteerde optische alarmering worden ingeschakeld;
  - in ruimten waar moet worden gewerkt met gehoorbescherming moet een optische alarmering worden ingeschakeld;
  - alle deuren in het betreffende dienstengebouw welke zijn voorzien van een elektronische vergrendeling, automatisch ontgrendeld;
  - alle ventilatiesystemen worden ingeschakeld;
  - slagbomen en hekken, toeganggevend tot het terrein van het dienstengebouw, worden geopend;
  - een verzamelmelding worden gedaan aan de lokale bediening;
  - een verzamelmelding worden gedaan aan de centrale bediening;
  - een melding worden gedaan op de plaatselijke brandmeldcentrale
6. Signalering  
Visuele signalering moet plaatsvinden op een brandmeldcentrale of nevenpaneel nabij de hoofdtoegangsdeur van elk dienstengebouw.





### **7.9.5 Installaties 75 Brandblusinstallatie in gebouwen**

Indien in gebouwen plaatsing van brandblusmiddelen noodzakelijk wordt geacht:

- De betreffende ruimte voorzien van een daartoe geschikte blusinstallatie. Bijvoorbeeld in PLC-ruimten een blussysteem met CO<sub>2</sub> of een vervangende Halon, zoals FE-25. De blusinstallatie en het blusmiddel moet voldoen aan de richtlijnen van het ministerie van VROM. Halon 1301 en 1211 zijn niet toegestaan.
- Mistsystemen voldoen eveneens voor blussing en beheersing van brand in ruimten met elektronica
- Voor handblussing voldoen sproeischuimblussers





## **Inhoudsopgave 80 Besturing, bediening en bewaking**

- 7.10.1 80 Beschrijving van de tunnelbesturing, bewaking en bediening
  - 7.10.1.1 Algemeen
  - 7.10.1.2 Besturingssysteem
  - 7.10.1.3 Bewaking en bediening
  - 7.10.1.4 Functies en eisen bewaking en bediening
  - 7.10.1.5 Uitvoering bedieningsmiddelen en presentatie



---

Tunnel technische installaties



## 7.10 80 BESTURING, BEDIENING EN BEWAKING

### N.B.

*In tegenstelling tot de overige hoofdstukken in dit deel van SATO is de beschrijving van de besturing en de daaraan ten grondslag liggende regels en filosofie niet gerangschikt volgens de installatienummering. Hiervoor is gekozen omdat dit hoofdstuk een totaalbeeld wil beschrijven van de installaties voor besturing, bediening en bewaking van een verkeerstunnel.*

*Bij verdere detaillering (ontwerpbeschrijving, detailbeschrijving en installatiebeschrijving) is het gewenst dat de in hoofdstuk ALGEMEEN weergegeven standaard installatienummering gevolgd wordt.*

Kort overzicht van de indeling van besturing, bediening en bewakingsinstallaties		
81	centrale bediening en bewaking	= bediening op de locatie, nabij de installatie
82	lokale bediening en bewaking	= bediening centraal vanuit een verkeerscentrale elders
83	noodbediening en bewaking	= <i>meestal summiere bedieningsmogelijkheid die uitsluitend gebruikt wordt (mag worden) indien de normale bediening is uitgevallen</i> N.B. deze bediening is in de normale situatie niet of moeilijk toegankelijk
84	bediening en bewaking voor derden	= summiere bediening en bewaking t.b.v. derden (bijv. een observatie en bedienpost van functies die door brandweer en hulpdiensten kunnen worden bediend). Bij een object dat centraal bediend wordt is deze post in principe ondergeschikt aan de centrale bediening
85	besturingssysteem	= systeem dat de functies van alle tunnelinstallatie faciliteert (sturing, storing, logging)
86	transmissiesystemen	= systemen voor overdracht van (besturings) signalen



### **Basisfilosofie**

Om een operator in staat te stellen effectief te kunnen optreden moet worden vastgesteld op welke wijze signalen aan de operator ter verwerking moeten worden aangeboden, welke scenario's automatisch kunnen worden afgehandeld en hoe de interactie tussen de apparatuur en de operator dient te verlopen. De uitgebreidheid en complexiteit van tunnelinstallaties staat in directe relatie tot de tunnallengte. Hoe langer de tunnel, hoe groter het aantal (gelijksoortige) installaties in de tunnelbuis, dus hoe groter het aantal signalen. In bijzondere situaties zoals calamiteiten, zal vanwege het grotere aantal voertuigen en het grotere aantal automobilisten dat in de tunnel aanwezig is het gelijktijdig aantal signalen (bijvoorbeeld stilstandsdetecties) en meldingen (bijvoorbeeld intercomberichten, openen hulpposten etc.) toenemen naarmate de tunnel langer is. Enkele aanwijzingen:

1. Van een operator mag niet gevergd worden altijd op ieder moment de juiste beslissing te nemen. Zeker niet op het moment dat zich een complexe situatie (bijvoorbeeld een calamiteit) aandient. Daarbij mag de verantwoording voor cruciale beslissingen in feite niet bij een operator worden gelegd. Over belangrijke basisbesluiten moet van tevoren zijn nagedacht en zij moeten -voor zover mogelijk- zijn vastgelegd in standaardscenario's. Op het moment dat een complexe situatie zich aandient en direct (en onder stress) handelen vereist is, moet de operator gebruik kunnen maken van deze standaardscenario's. Deze noodzaak is temeer daar in de normale werksituatie het verkeer in de tunnel weinig aandacht vergt en in de installaties weinig zichtbaar gebeurt. Een complexe situatie ontstaat in het algemeen plotseling, en genereert in korte tijd vanuit een toestand van relatieve rust een groot aantal signalen. Een dergelijke situatie vereist in het algemeen direct en zo effectief mogelijk ingrijpen. De plotselinge overgang tussen rust en hoogspanning verhoogt de kans op fouten. De apparatuur dient daarom voor zover mogelijk vooraf doordachte, gedefinieerde en eenduidige keuzes aan de operator aan te kunnen bieden, bij voorkeur in menu-vorm.
2. Complexe, elkaar logisch opvolgende, of logisch combineerbare commando's zoals bij standaardprocedures, moeten voor zover mogelijk gegroepeerd worden tot een groepscommando dat d.m.v. één "druk op de knop" kan worden ingesteld.
3. De operator moet beschermd worden tegen het maken van fouten. Ofwel indien de operator een mogelijk foutieve beslissing neemt die tot ernstige incidenten aanleiding zou kunnen geven (voorbeeld: afsluitbomen neerlaten zonder de verkeerslichten op rood te zetten; of een rijstrookblokkering opheffen waarop een stilstaand voertuig staat) dan mag uitvoering van dit commando in principe niet mogelijk zijn (de operator moet daarop worden geattendeerd). Een soortgelijke situatie ontstaat indien de operator een beslissing neemt die op termijn tot problemen kan leiden (uitschakelen ventilatoren tijdens automatisch bedrijf, uitschakelen brandbluspompen tijdens automatisch ingeschakeld bedrijf) dan moet de apparatuur om een bevestiging vragen alvorens dit commando kan worden uitgevoerd.
4. Verkeerstechnische en tunneltechnische signalen moeten gescheiden worden aangeboden; de verkeerstechnische signalen aan de operator, de tunneltechnische signalen aan de onderhoudsbeheerder. Voor de bewaking en bediening van het verkeer is het ongewenst dat de operator wordt geattendeerd op signalen vanuit de techniek, die geen enkele betrekking hebben met de verkeersafhandeling. Dit zijn bijvoorbeeld (storings)meldingen vanuit gebouw-



installaties, (stand)meldingen van normaal functionerende apparatuur, etc. Pas op het moment dat een melding direct of indirect in relatie staat tot de verkeersafhandeling, is het noodzakelijk dat deze onder de aandacht van de operator te brengen. Dit betreft bijvoorbeeld een hoogwatermelding (c.q. ernstige storing in de drainagepompinstallatie), een belangrijke energiestoring, falen van (een deel van) de tunnelverlichting of (een deel van) de verkeersinstallaties.

5. Signalen die logischerwijs het gevolg zijn van een bepaalde situatie maar geen hernieuwd ingrijpen noodzakelijk maken (vervolgsignalen) moeten worden onderdrukt. Bijvoorbeeld een stilstandsdetectie zal in een aantal gevallen door nieuwe stilstandsdetecties gevolgd worden (achter het tot stilstand gekomen voertuig komen andere voertuigen tot stilstand). Deze vervolgsignalen moeten worden onderdrukt, echter gelijktijdig optredende detecties in een ander deel/sectie van de tunnel mogen niet worden onderdrukt. Ook zal bij een calamiteit de melding daarvan zich niet beperken tot één intercom-melding, maar gevolgd worden door een serie gelijksoortige meldingen. De bedieningsfilosofie moet voorzien in een logisch afhandelsysteem zonder dat de operator en/of de bedieningsapparatuur van de tunnel op dat moment volledig wordt bezet met de afhandeling van deze meldingen.



## 7.10.1 80 Beschrijving van de tunnelbesturing, bewaking en bediening

### 7.10.1.1 Algemeen

Het tunnelbesturing, bewaking en bedieningsysteem heeft in hoofdzaak de volgende taken:

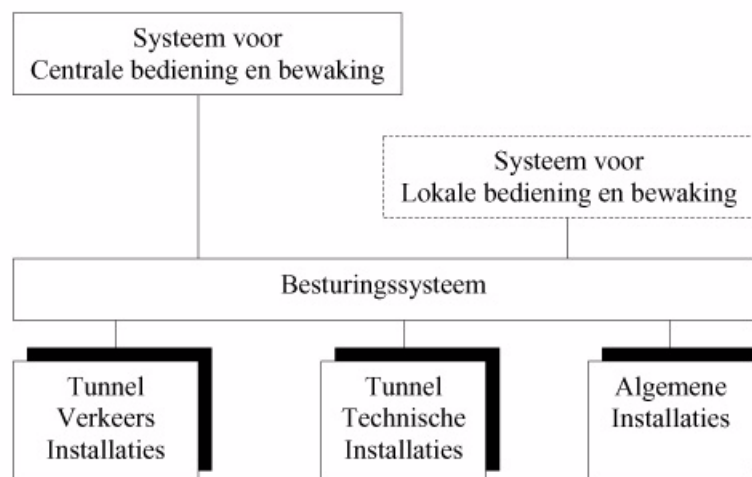
- a. Energieverdeling bewaken;
- b. Tunneltechnische installaties sturen en bewaken;
- c. Alle onderdelen van de technische installaties sturen en bewaken op afstand;
- d. Communicatie verzorgen tussen de operator en de tunneltechnische installaties en tussen de tunneltechnische installaties onderling;
- e. De operator ondersteunen en adviseren bij zijn taken.

De systemen faciliteren de tunnelverkeers-, tunneltechnische- en algemene installaties zodanig dat deze voldoen aan de gestelde (functionele) eisen.

Bewaking en bediening van de verkeerstunnels in het hoofdwegennet vindt op een enkele uitzondering na gecentraliseerd plaats vanuit een vijftal regionale verkeerscentrales. Afhankelijk van de transmissievoorzieningen dient volgens de VRC (al dan niet lokaal bij de tunnel) te worden voorzien in een sobere bewakings- en bedieningsmogelijkheid.

Bij de volgende beschrijvingen is van deze situatie uitgegaan

De gehele keten van systemen en installaties is schematisch weergegeven in onderstaande figuur:



Afbeelding 7.10.1, Schematische weergave systemen en installaties

Het besturings- bedienings, bewakings en systeem is in hoofdzaak opgebouwd uit:

- programmeerbare besturings en bewakingsapparatuur;
- een communicatie en transmissie-netwerken;
- Bediening en interfacepresentatie in de bedieningsruimte;
- een (hardware) noodbedieningssysteem voor preferente functies.



### 7.10.1.2 Besturingssysteem

Algemeen

Voor alle in de VRC onderscheiden typen tunnels gelden de volgende functies en eisen:

#### 1. Functies

Het besturingssysteem dient de tunnelverkeers-, tunneltechnische- en algemene installaties zodanig te faciliteren dat:

- alle reguliere regel- en besturingstaken die een eenduidige actie behoeven automatisch worden afgehandeld;
- de verkeersafwikkeling wordt gecontroleerd en automatisch wordt gereageerd op situatiewijzigingen en afwijkingen;
- het functioneren van de tunnel- en gebouwinstallaties wordt gecontroleerd en automatisch wordt gereageerd op afwijkingen;
- de functionaliteit zoals beschreven bij de specificatie van de overige deelinstallaties wordt gerealiseerd
- opslag (tijdelijk) van de meest relevante gegevens (alarmen, NO2/zicht- en temperatuurmetingen, verkeersstellingen etc.) wordt gerealiseerd

#### 2. Naast deze besturingsfuncties dient de besturingsinstallatie voor de bewaking en bediening de volgende functies te realiseren:

- Alle situatiewijzigingen en afwijkingen in de verkeersafwikkeling en het functioneren van de installaties en alle bedrijfsgegevens (bedrijfsuren van machines en inschakeltijden van tunnelverlichting), verwerken tot logging gegevens welke worden doorgegeven aan het systeem voor bewaking (en bediening)
- Er voor zorg te dragen dat alle vervolgmeldingen van een spanningsuitval of storing aan een bepaald installatieonderdeel worden onderdrukt. Alleen de signalering van het hoofdonderdeel (veroorzaker) mag worden doorgemeld.
- Commando's afkomstig van het systeem voor bewakings- en bediening te verwerken tot sturingen naar de betreffende deelinstallatie overeenkomstig de functionaliteit zoals beschreven bij de specificatie van de overige deelinstallaties;
- Complexe, elkaar logisch opvolgende, of logisch combineerbare commando's te groeperen tot een groepscommando (Deze functie wordt over het algemeen gerealiseerd in samenhang met het systeem voor bewaking en bediening).

**Groepscommando's:**

Een van de eisen aan de besturingsinstallatie is dat complexe, elkaar logisch opvolgende, of logisch combineerbare commando's gegroepeerd moeten worden tot een groepscommando dat d.m.v. één bediening kan worden ingesteld. Het belangrijkste groepscommando is de calamiteitenschakeling. Per rijrichting is een groepscommando "calamiteiten" aangebracht waarmee bij calamiteiten met één "druk op de knop" gelijktijdig een reeks van bij een calamiteit relevante commando's wordt uitgevoerd (zie VRC hst.9)

Genoemde commando's worden in een tijd-geoptimaliseerde volgorde uitgevoerd. De commando's kunnen indien nodig, per stuk op de reguliere wijze worden uitgeschakeld. Het is daarom noodzakelijk de ingeschakelde commando's in een afzonderlijke dialoogbox met bedienfunctie op het beeldscherm weer te geven. Dit vergemakkelijkt voor de operator het overzicht over de situatie en geeft ook gelegenheid om achteraf overbodige commando's weer terug te nemen indien de calamiteit van een andere orde was dan zich aanvankelijk deed aanzien.

De besturingsinstallatie dient te voldoen aan de volgende eisen:

- De performance en beschikbaarheid van onderdelen en het besturingsysteem in zijn geheel dient minimaal voldoende te zijn om de eisen die gesteld worden aan de bestuurd de installaties, en indien van toepassing het systeem voor bewaking en bediening, te kunnen realiseren;
- Het besturingssysteem moeten zodanig zijn uitgevoerd dat bij uitval van een besturingseenheid en bij onderhoud en inspectie in niet meer dan 1 tunnelbuis functieverlies plaatsvindt;
- Bij uitval van een besturingseenheid moeten de uitgangen naar een gedefinieerde toestand schakelen, zodanig dat in samenhang met de schakel- en verdeelinrichtingen een veilige (fails-safe) toestand wordt gerealiseerd. Enkele voorbeelden:
  - De tunnelverlichting gaat bij uitval van de besturing naar een optimaal niveau;
  - De schakeling van de vuilwaterpompen wordt overgenomen door hardware uitgevoerde hoogwaterdetectie;
  - De brandbluspompen worden ingeschakeld;
  - Eventueel vergrendelde vluchtdeuren worden ontgrendeld.

Bij het realiseren van functionele eisen, ontwerp, en uitvoering moet aan de volgende punten aandacht worden besteed:

- Beschikbaarheid (1) in relatie met eisen aan overige installaties; (2) beperking van de gevolgen van uitval van onderdelen
- Performance voldoet aan eisen overige installaties en verkeerscentrale
- Architectuur: voorkomen van single points of failure
- Beheer: testen en doorvoeren wijzigingen tijdens bedrijf
- Gegevensuitwisseling met de systemen voor bewaking en bediening
- Voldoende uitwerking naar groepscommando's

**7.10.1.3 Bewaking en bediening**

Algemeen

Bewaking en bediening is afhankelijk van de uitvoering mogelijk op de volgende locaties:



1. Op een verkeerscentrale (Centrale (Regionale) Bediening)
2. Op of nabij de tunnel:
  - Lokale Bediening
  - Plaatselijke bediening (bij de installatie)
    - Op het netwerk van het besturingssysteem, door inpluggen van een portable PC met dezelfde functionaliteit als een beeldschermstelsel van het centraal-lokale bedieningssysteem
    - Op de schakel-, verdeel-of systeemkasten van de betreffende installaties {door middel van schakelaars en (druk)knoppen
    - Bij de apparatuur (werkschakelaars, testdrukknoppen e.d.)

#### Het bedieningsproces

Systemen voor het kenbaar maken van de door de besturingsinstallatie geïnitieerde signalen kunnen variëren van zeer eenvoudig (een of meer signaallampen met eventueel een akoestisch attentie signaal) tot een geavanceerde beeldschermpresentatie.

Daar alle tunnels in het hoofdwegennet bewaakt en bediend worden is hierna alleen ingegaan op de (geavanceerde) bewaking en bediening.

Op verkeerscentrales en bij tunnels in het hoofdwegennet is de operator het grootste deel van zijn tijd belast met het bewakingsproces en het managen van verkeersstromen. Gebeurtenissen (in de tunnel) die aanleiding geven tot handelen zullen voornamelijk een afwijking betreffen van het normale verkeersbeeld (stilstands-melding, hulpbehoefte verkeersdeelnemers, aanspreken hoogtedetectie, e.d.). Het bedieningsproces spitst zich hoofdzakelijk toe op het faciliteren bij bijzondere situaties en omstandigheden (procesverstoringen). Dit proces wordt dan ook gekenmerkt door relatief korte intensieve, interacties tussen de operator en het visualisatie- en bedieningssysteem van de tunnel.

Om de taakbelasting van de operator te beperken is het noodzakelijk de afhandeling van verkeers- en technische informatie te scheiden.

De operator dient te kunnen kiezen voor een **taakgerichte** benadering van gegevens of een **stelselgerichte** benadering:

1. Bij een taakgerichte benadering krijgt de operator de mogelijkheid om te kiezen uit de aanwezige maatregelen. Na het selecteren van de maatregel verschijnt het maatregelspecifieke venster waarop alle benodigde informatie voor het kunnen initiëren, bewaken en voortijdig gecontroleerd beëindigen van de maatregel. Dit venster kan op basis van bepaalde gebeurtenissen direct over alle aanwezige vensters gelegd worden. De gebruiker is dan verplicht eerst de onderliggende oorzaak af te handelen door bijvoorbeeld het nemen van een maatregel, voordat met voorgaande werkzaamheden verder gegaan kan worden. Maatregelen met meerdere stappen worden in de vorm van een PFD (Proces Flow Diagram) gepresenteerd. De primaire te selecteren maatregelen komen overeen met maatregelen uit de Taakanalyse. Met behulp van een dialoog- of detailvenster wordt de operator geleid door de relevante mogelijkheden die vanuit de context van de maatregel aangeboden worden
2. Bij een **stelselgerichte** benadering moet de operator een keuze maken uit de aanwezige deelsystemen, zoals energievoorziening, verlichting, pompen. Na de keuze, wordt de actuele toestand van de gekozen installatie gepresenteerd in de vorm van een PID's (Proces Instrumentation Diagram) met daarin opgenomen de relevante installatie-onderdelen.

#### Uniformering:

1. Centrale bediening (Verkeerscentrales)



In de regionale verkeerscentrales vindt de bewaking en bediening plaats met een landelijk uniform systeem, VANESSA (Verkeerscentrale Algemeen Nieuw Eenvoudig Sturings Systeem Aanpassing). Het besturingssysteem en/of systeem voor centraal lokale bewaking en bediening dient hierop aan te sluiten.

2. Lokale bediening  
De lokale bediening is bij tunnels die zijn aangesloten op een centrale bediening sober ingericht en alleen bedoeld voor onderhoudsdoeleinden en voor uitwijk bij uitval van de centrale bediening. De minimale uitvoering is vastgelegd in de VRC.
3. Noodbediening voor preferente functies moet zodanig zijn uitgevoerd dat deze niet verward kan worden met de normale reguliere bediening  
*(bijvoorbeeld een in de normale situatie afgesloten, weggeklapt, ingeschoven of anderszins weggeborgen hardware paneel)*

#### **7.10.1.4 Functies en eisen bewaking en bediening**

- a. Voor het bewakings en bedieningssysteem moet onderscheid gemaakt worden tussen:
  - verkeersregulatie
  - verkeersbeïnvloedende gebeurtenissen
  - technische tunnelprocessen en
  - visuele observatie van het verkeer in de tunnel.
- b. Er moet een duidelijke scheiding van taken en verantwoordelijkheden zijn naar:
  - Verkeersbeïnvloedende taken
  - Taken in relatie tot technische installaties
  - Bewakingstaken.
- c. De bediening moet zowel taakgeoriënteerd als systeemgeoriënteerd zijn; niet alleen gegevens tonen van pompen of verlichting maar ook informatie tonen die voor het uitvoeren van een bepaalde taak van belang is. Een taak is bijvoorbeeld het nemen van een verkeersmaatregel of het opheffen van een storingsalarm.
- d. Het systeem moet menselijke fouten zoveel mogelijk voorkomen zoals:
  - skill-based fouten (b.v. het niet opmerken van signalen, communicatiefouten)
  - rule-based fouten (overtreden voorschriften)
  - knowledge-based fouten (b.v. verkeerde foutdiagnose)Hiervoor gebruik maken van een BOS (Beslissings Ondersteunend Systeem)
- e. De operator moet een goed beeld hebben van wat er in werkelijkheid gebeurt. Dit stelt o.a. eisen aan het gebruik van grafische voorstellingen, kleuren en animaties.
- f. De opbouw van de Mens Machine Interface (MMI) is gebaseerd op een abstracte presentatie van de beide tunnelbuizen en toeritten van de tunnel, waarbij echter voorzover mogelijk de geografische weergave min of meer moet overeenkomen met de werkelijkheid
- g. Deelsystemen moeten worden weergegeven in de vorm van inzichtelijke processchema's (PID's) c.q. procesdisplays op het MMI-systeem waaruit zowel de werking van het proces blijkt als de status waarin dit proces verkeert.
- h. Een taak moet vanuit één venster kunnen worden uitgevoerd. Alle voor die taak benodigde gegevens moeten worden gepresenteerd. Indien het noodzakelijk is informatie ten behoeve van het uitvoeren van een taak, gelijktijdig te presenteren terwijl deze informatie redelijkerwijs niet meer op één beeldscherm past, moeten meerdere beeldschermen worden toegepast.



- i. Het MMI moet in staat zijn om informatie betreffende eventueel aanwezige kruisverbanden tussen deelinstallaties binnen één venster zichtbaar te maken. De gebruiker moet in staat worden gesteld deze informatie snel en eenvoudig op te vragen.
- j. De presentatie van de bedrijfstoestand van de tunnel en tunnelinstallaties moet zodanig zijn vormgegeven en ingevuld dat continu de status van alle systemen in één oogopslag duidelijk is. Afwijkingen van de normale toestand en/of bijzondere situaties en gebeurtenissen moeten expliciet zichtbaar gemaakt worden.
- k. Informatie moet te scheiden zijn in categorieën zoals verkeer, techniek en gebouw/beveiliging.
- l. Informatie moet binnen de categorie, in volgorde van urgentie worden onderverdeeld.

De volgende typen informatie kunnen worden onderscheiden:

- Melding/annunciatie (= informatie die interessant is voor de operator doch geen directe aandacht behoeft, bijvoorbeeld (1) vastlegging van de bedrijfstoestand van een deelinstallatie, over het algemeen voortkomend uit een handmatige instelling); (2) toestandsveranderingen (= operationele meldingen uit het normaal bedrijf van de deelinstallatie, over het algemeen t.g.v. een autonome, automatische actie);
  - Storing (= melding van de deelinstallatie die aangeeft dat de functionaliteit van de betreffende deelinstallatie technisch of functioneel gezien niet langer gewaarborgd is)
  - Alert (vraagt direct aandacht van de operator voor een abnormale situatie)
  - Alarm (= melding van een mogelijk gevaarlijke situatie of aanleiding tot substantiële schade waarbij directe aandacht en eventueel actie van de operator is vereist)
- m. Foutboodschappen moeten bij voorkeur worden gemeld samen met een eventuele oorzaak van de fout en eventueel onder vermelding van de inhoud van de foutboodschap indien dit bijdraagt aan het cognitieve proces en de interactie tussen systeem en operator.
  - n. De reactietijden waaraan het systeem moet voldoen zijn onderverdeeld in vier categorieën en gebaseerd op praktijkervaring bij RWS-tunnels in het hoofdwegennet:
    - circa 0,1 seconde voor directe acties (camerabediening, noodstop etc.);
    - circa 1 seconde voor situaties waarbij de operator voldoende snel gewaarschuwd moet worden om een juist verloop te garanderen (snelheidsonderschrijdings-detecties, hoogtedetectie, etc.);
    - circa 3 seconden voor meldingen van situaties die al automatisch een vervolg hebben verkregen maar waarbij de operator moet beslissen of er aanvullende actie's genomen moeten worden;
    - circa 5 seconden voor normale meldingen die de operator behoort te weten maar waarop geen actie behoeft te worden ondernomen.

### 7.10.1.5 Uitvoering bedieningsmiddelen en presentatie

Uitvoering en opstelling van de bedieningsmiddelen:

Ten aanzien van de uitvoering en opstelling van de bedieningsmiddelen (antropometrie) kunnen de volgende basiseisen worden gesteld:



- De MMI (Mens Machine Interface) moet zodanig ontworpen en ingericht zijn dat integratie en bediening van het volledige tunnelproces door één operator mogelijk is.
- De werkplek van de operator moet ingericht zijn met het doel de operator vanuit één gezichtspunt een optimaal overzicht c.q. inzicht te verschaffen van alle beschikbare informatie vanuit beide tunnelbuizen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met gezichtshoeken en afstanden van monitoren t.o.v. de operator. Maar ook de verwachte lichtinval en de positie's van ramen.
- De informatie die voortdurend moet kunnen worden gevolgd (informatie die voor veilige bedrijfsvoering voortdurend voor de operator beschikbaar moet zijn), dient zich binnen het gezichtsveld van de operator te bevinden zonder dat deze hoeft rond te draaien op zijn stoel.

**Opmerking:**

Het is belangrijk dat de aandacht van een operator in principe op de presentatie (beeldscherm, videodisplay van CCTV-camera's) van het te observeren object is gericht.

In 24-uur bemande verkeerscentrale bestaat de behoefte belangrijke gebeurtenissen te kunnen volgen die via de openbare media worden uitgezonden. Indien de vaste werkplek hiervoor geen voorziening heeft, zal gebruik gemaakt gaan worden van eigen meegebrachte videoapparatuur, die dan meestal buiten de normale kijkrichting van de operator wordt opgesteld.

Om te voorkomen dat een operator bij het kijken naar eigen videoapparatuur wordt afgeleid buiten de normale kijkrichting (en dus niet alert is op gebeurtenissen binnen het te bewaken object), verdient het aanbeveling binnen de normale kijkrichting een videodisplay aan te brengen die geschikt is voor het volgen van de openbare TV-uitzendingen (bijvoorbeeld een extra monitor in de videodisplay) en eveneens binnen bereik van operator bediening van deze TV apparatuur aan te brengen.

**Uitvoering presentatie**

Verreweg het belangrijkste aspect van het bewakingsproces is de wijze waarop de informatie aan de operator wordt gepresenteerd. Deze moet zo worden gekozen dat de kans op het nemen van een verkeerde interpretatie zo klein mogelijk is.

Om dit te realiseren dient de informatie naar aard en type te worden gescheiden en verdeeld in de categorieën; verkeer, techniek en gebouw/beveiliging, welke weer zijn onderverdeeld volgens volgorde van urgentie:

urgent:

**alarm/alert:** indiceert een mogelijk gevaarlijke verkeer gerelateerde situatie of aanleiding tot substantiële schade waarbij directe aandacht van de operator is vereist.



**storingen; meldingen** van de deelinstallatie welke aangeven dat de functionaliteit van de betreffende deelinstallatie technisch of functioneel gezien niet langer gewaarborgd is.

niet urgent:

**melding/annunciatie:** informatie welke interessant is voor de operator doch geen directe aandacht behoeft, zoals vastlegging van een bedrijfstoestand of toestandsverandering t.g.v. een autonome actie



Om de mate van ernst aan te geven dient per type onderscheid te worden gemaakt in minimaal de 4 urgentieniveaus, zoals aangegeven in onderstaand overzicht:

urgentieniveau	Omschrijving
1	Ernstige, kritieke situatie: kan direct (levens)bedreigend zijn. Hoogste urgentie, de operator moet direct handelen.
2	Serieuze situatie: kan op korte termijn (bijv. < 1 uur) (levens)bedreigend zijn of ernstige schade veroorzaken.
3	Waarschuwing: De operator moet op de hoogte zijn maar hoeft niet op korte termijn maatregelen te nemen.
4	Informatief.

Signaleringen worden in een drietal verschijningsvormen onderscheiden:

- akoestisch  
om direct de aandacht van de operator te trekken wordt gebruik gemaakt van een doordringend akoestisch signaal. Om een verdere gradatie in urgentie aan te geven kan het akoestisch signaal in toon en vorm worden aangepast.
- visueel met/zonder bevestiging  
Een visuele melding is een melding op het beeldscherm door middel van een pop-up window met een tekstuele verklaring van de signalering of een knipperend icoon. Hierdoor wordt de aandacht van de operator op een minder dringende wijze getrokken dan bij een akoestische signalering. De operator zal het signaal alleen ontvangen indien hij/zij naar het bedieningssysteem kijkt. Signalen kunnen eventueel worden gekoppeld aan een bevestiging van ontvangst door de operator;
- logging  
Tenslotte zijn er gebeurtenissen die wel geregistreerd moeten worden maar waarvan de operator niet direct op de hoogte moet worden gesteld. Logging is dan een goede methode. Hierbij worden alle gebeurtenissen chronologisch vastgelegd door middel van registratie-apparatuur. Hiermee kunnen gebeurtenissen achteraf worden gereconstrueerd en geanalyseerd. Wanneer de operator de gevolgen van een bepaalde gebeurtenis wil analyseren kan de actuele toestand van het subsysteem worden geraadpleegd. Het element raadplegen wordt verder uitgewerkt tijdens de analyse van de bediening.

Onderstaand overzicht geeft de onderlinge relaties tussen signaalgroepen, urgentie, en de wijze van presentatie aan de operator



Type signalen	Urgentieniveau				Wijze van presentatie
	1	2	3	4	
Melding/annunciatie	1	2	3	4	
Storingen	1	2	3	4	
Alarmen/Alerts	1	2			
	+	-	-	-	Akoestisch
	+	+	+	-	Visueel
	+	+	+	+	Logging





## **Inhoudsopgave 90 Diverse installaties**

- 7.11.1 Installaties 91 Centrale deurontgrendeling
- 7.11.2 Installaties 92 Kabeltrace's, kabelgoten en ladders
- 7.11.3 Installaties 93 Liften en roltrappen
- 7.11.4 Installaties 94 Vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding
- 7.11.5 Installaties 95 Uitvoering inritlichtroosters
  - 7.11.5.1 Algemeen
  - 7.11.5.2 Eigenschappen
  - 7.11.5.3 Constructieve details



---

Tunnel technische installaties



## **7.11 90 DIVERSE INSTALLATIES**

### **7.11.1 Installaties 91 Centrale deurontgrendeling**

Centrale deurontgrendeling wordt toegepast om deuren die normaal zijn vergrendeld, te kunnen openen vanaf een centraal punt (bijvoorbeeld vanuit een bewakings- en bedieningsruimte). Een dergelijke situatie doet zich voor bij het openstellen van een in de normale situatie afgesloten vluchtweg.

- Een dergelijke deurontgrendeling moet fail-safe zijn, d.w.z. bij uitvallen van de elektrische voeding moet de ontgrendeling vrijkomen.
- De deurontgrendeling moet zodanig zijn uitgevoerd dat een geopende deur bij bekrachtigde vergrendeling automatisch in de vergrendeling valt en daarna vergrendeld blijft.
- Elke centraal vergrendelde deur moet van binnenuit geopend kunnen worden door lokaal met de hand de grendel te lichten of lokaal tijdelijk de bekrachtiging van de grendel te verbreken.





## 7.11.2 Installaties 92 Kabeltracé's, kabelgoten en ladders

In de VRC wordt in het hoofdstuk "Kabels en Leidingen" al vrij uitgebreid ingegaan op kabeltracés, kabelgoten en ladders. Een paar hoofdzaken:

- Kabeltracé's moeten voor zover mogelijk buiten de verkeersbuizen worden aangebracht, of tenminste in een zeer goed tegen brand of andere calamiteiten van de verkeersbuizen afgeschermd kabelgoot.
- Indien het noodzakelijk is om kabels binnen de tunnelbuizen aan te brengen voor voeding of sturing van apparatuur in de tunnelbuizen, deze bij voorkeur aanbrengen in ingestorte buizen, of indien dit niet mogelijk is in ieder geval afschermen tegen mechanische beschadiging.
- Voedingskabels vanuit het centrale kabeltracé naar apparatuur in de verkeersbuizen per apparaat of sectie apparaten, zodanig dat door beschadiging van een voedingskabel de stroomvoorziening en/of goede werking van slechts één apparaat of sectie wordt beïnvloed.  
Daarbij mag in ieder geval mag een storing of verlies van kabels en/of apparatuur bij een incident in één buis niet de energievoorziening of besturing en bewaking van apparatuur en systemen in de andere tunnelbuis of buizen kunnen beïnvloeden
- Kabel- en apparaatverbindingen binnen de verkeersruimte d.m.v. stekers, zijn zeer storingsgevoelig en moeten voorzover mogelijk worden vermeden.
- Kabels bij voorkeur Halogeenvrij.

### **Toepassing van halogeenvrije kabels:**

Kabels zijn bij brand een belangrijke bron van giftige en agressieve rook. Halogeenvrije kabels produceren bij brand minder giftige verbrandingsproducten dan "gewone" kabels.

In ruimten waarin personen aanwezig zijn en waarin (veel) kabels aanwezig zijn wordt aldus het directe levensgevaar verminderd en de periode waarbinnen mensen kunnen vluchten verlengd.

### **De situatie in verkeerstunnels:**

In alle Nederlandse verkeerstunnels die gebouwd zijn conform de eisen en richtlijnen van de VRC en de SATO bevindt zich het kabeltracé buiten de verkeersbuis, daarvan gescheiden door een brandwerende (2 uur RWS-curve) betonnen wand. Binnen de verkeersbuis bevinden zich zeer weinig kabels. Alle kabels in de verkeersruimte zijn aftakkingen vanaf het hoofdkabel tracé dat zich in de van de verkeersbuis gescheiden kabelkoker bevindt.

Dezelfde koker waarin zich het kabeltracé bevindt wordt in een groot aantal gevallen tevens gebruikt als vluchtweg.

**Situatie bij brand in de verkeersbuizen:**

In de verkeersbuis is een reële kans aanwezig op brand. Deze brand ontstaat bij een verkeersongeval en zal altijd brand in combinatie zijn met de aanwezigheid van personen. De rook en andere gassen die bij deze brand worden geproduceerd zijn altijd vrijwel volledig afkomstig van kunststoffen, rubbers, brandstof (koolwaterstoffen) en lading van het brandende voertuig of voorwerp. Gedacht moet worden aan hoeveelheden rook en gassen variërend van 50-300 m<sup>3</sup> /sec, afhankelijk van de aard en de hoeveelheid gelijktijdig brandend materiaal. De hoeveelheid rook die door eventueel gelijktijdig meebrandende kabels van de apparatuur binnen de tunnelbuis wordt geproduceerd, is gezien de in verhouding geringe hoeveelheid brandend kabelmateriaal verwaarloosbaar.

In getallen: per m<sup>1</sup> tunnallengte is maximaal enkele kilo's brandbaar materiaal in de vorm van kabels aanwezig. Een moderne middenklasse personenauto bevat exclusief de lading ongeveer 80-100kg brandbare kunststoffen en rubbers. Bij vrachtwagens is dit afhankelijk van de situatie vele tientallen kilogrammen méér en daarbij is de lading meestal het belangrijkste brandbare bestanddeel.

**Vluchtgang:**

In de meeste tunnels is in de ruimte die als vluchtgang wordt gebruikt ook het kabeltracé aanwezig. In het kabeltracé is een -zeer geringe- kans op brand. Oorzaak van deze brand zou kortsluiting of anderszins oververhitting van installatieonderdelen moeten zijn. De kans dat een brand zich vanuit de verkeersbuis voorplant naar het kabeltracé is gezien de strenge bouwkundige scheiding vrijwel uitgesloten. Zelfs indien tijdens een hevige brand de vluchtdeur kortstondig zou worden geopend ter plaatse van de brand. Ofwel brand in het kabeltracé is een op zichzelf staand fenomeen dat niet zal samenvallen met een incident in de verkeerstunnelbuis. Dit betekent dat de functie vluchten tijdens een incident in de tunnelbuis niet samenvalt met brand in het kabelkanaal.

**Conclusies toepassing van halogeenvrije kabels:**

In de tunnelbuis verblijvende personen hebben bij brand geen voordeel van de toepassing van halogeenvrije kabels in de tunnelinstallatie;  
Het is niet zinvol in de kabelgang halogeenvrije kabels toe te passen.

**ECHTER:**

**Het prijsverschil tussen halogeenvrije kabels en de gebruikelijke Moeilijk Brandbaar kabels wordt steeds geringer. Ondanks het feit dat halogeenvrije kabels geen aanmerkelijke bijdrage leveren aan de veiligheid in tunnels is er dus geen enkele reden om dit type kabels niet te gebruiken.**



### 7.11.3 Installaties 93 Liften en roltrappen

In tunnels waar door fietsers en voetgangers een groot niveauverschil moet worden overbrugd, zonder dat voldoende ruimte aanwezig is om een oprit met een aanvaardbare steilheid ( $\pm 2,5\%$ ) aan te leggen, worden soms liften of roltrappen aangelegd.

Naast deze voorziening moet altijd een alternatief aanwezig blijven in de vorm van een oprit of een vaste trap.

Bij deze voorzieningen moet veel aandacht worden geschonken aan bewaking en beveiliging, zonder dat hierdoor de kwetsbaarheid voor vandalisme toeneemt.

Het is gewenst roltrappen tegen weersinvloeden te beschermen. Liften en roltrappen voor publiek gebruik moeten zodanig zijn uitgevoerd dat ruw gebruik niet tot storingen leidt. Liftdeuren moeten enig geweld kunnen doorstaan. Overigens uitvoeren conform de wettelijke regels en voorschriften.

Enige aantal aandachtspunten:

- Bij wegvallen van elektrische voeding moeten liften automatisch zakken naar een eindstand waarna automatisch de deuren worden geopend. Daarbij moet kenbaar worden gemaakt dat de lift niet meer betreden mag worden. In het algemeen is dit een standaard voorziening bij hydraulische liften.
- Roltrappen bij voorkeur niet laten gebruiken door fietsers die de fiets aan de hand meenemen. Het is bij diverse projecten gebleken dat een vrij grote categorie mensen hiervoor onvoldoende vaardigheid bezitten.
- Indien desondanks roltrappen geschikt moeten zijn voor gebruik door fietsers die hun voertuig aan de hand meenemen, dan moet de omwentelingsnelheid van de roltrappen op dit gebruik zijn afgestemd, en bij stroomuitval moet de roltrap nog tenminste twee volledige omwentelingen kunnen voltooien op een UPS-stroombron. Gedurende deze periode moet duidelijk kenbaar worden gemaakt dat de roltrap niet meer opnieuw betreden mag worden.
- Liften behoeven niet van een noodstopvoorziening te worden uitgerust.
- Roltrappen moeten wel van een noodstopvoorziening worden voorzien.

De noodstop van een roltrap mag vlg.s.NEN-EN 115; Roltrap/Rolpadnorm art.14.2.4.1:op afstand worden gereset onder de volgende voorwaarde:

*"Na het stoppen door een noodstopinrichting mag het opnieuw aanzetten mogelijk zijn zonder bediening van de aanzetschakelaar, indien op een andere wijze is gewaarborgd dat er niemand op de treden, paletten of band is...etc."*

Art. 14.2.1. voegt hieraan toe

*"De persoon die de schakelaars bedient, moet de roltrap geheel kunnen overzien, of zich ervan kunnen vergewissen, dat niemand de roltrap gebruikt wanneer wordt ingeschakeld."*

Ofwel: indien de roltrappen d.m.v. CCTV over de volle lengte geobserveerd kunnen worden, mag de roltrap na bediening van de noodstop op afstand worden gereset.





### **7.11.4 Installaties 94 Vluchtwegvoorzieningen, vluchtwegaanduiding**

In de VRC wordt uitgebreid ingegaan op de inrichting en de voorzieningen voor de vluchtweg en op de uitvoering van de vluchtwegaanduidingen.

Bij installatienummer 39 in dit deel van de SATO wordt de vluchtgang-overdrukventilatie beschreven en bij installatienummer 91 de eventuele deurvergrendeling.

Een aantal belangrijke aandachtspunten m.b.t. de installaties in en ten behoeve van de vluchtweg zijn:

- De vluchtweg moet automatisch naar een veilige(r) locatie leiden. Vluchtenden mogen niet voor keuzes worden gesteld en mogen niet onbedoeld in aan de vluchtweg grenzende technische ruimten of andere niet tot de vluchtweg behorende locaties terecht kunnen komen. Dit betekent onder andere dat alle deuren en toegangsopeningen vanuit de vluchtweg die naar dit soort locaties leiden automatisch moeten worden gesloten en vergrendeld zodra de vluchtweg gebruiksgereed wordt gemaakt. D.w.z. in het ontgrendelplan moet tevens de vergrendeling van onbedoelde alternatieven, zoals toegangen tot technische ruimten, worden opgenomen.
- Geluiden en geluidsproductie door technische apparatuur binnen de vluchtweg moet vermeden en indien onvermijdbaar, beperkt worden tot in ieder geval een niveau dat normale spraakoverdracht mogelijk maakt.
- De uitvoering van vluchtdeuren moet zodanig zijn dat zij ook gemakkelijk geopend kunnen worden indien een luchtdrukverschil over de deur bestaat tengevolge van de werking van de overdrukventilatie en de tunnelventilatie. Een openingskracht van maximaal 60N is acceptabel.





## **7.11.5 Installaties 95 Uitvoering inritlichtroosters**

Zie voor een beschrijving van de werking en kenmerken van een lichtrooster de Aanbeveling:

"Verlichting van tunnels en onderdoorgangen" van de NSVV

### **7.11.5.1 Algemeen**

Het lichtniveau onder het lichtrooster wordt bepaald door de lichtdoorlatende eigenschappen van het rooster. In de ideale situatie bewerkstelligt het tunnelrooster onder alle daglichtomstandigheden een constante verhouding tussen het lichtniveau onder het rooster en het lichtniveau boven het rooster.

In de praktijk is dit niet het geval en wordt door middel van slim construeren getracht dit ideaal te benaderen. Hierbij mag niet worden uitgegaan van reflecterende of spiegelende materialen omdat het niet mogelijk, in ieder geval problematisch is om deze eigenschappen over en lange termijn te handhaven (o.a. vanwege de locatie boven een snelverkeersweg). Door vervuiling en oxidatie zullen reflecterende eigenschappen van de meeste materialen op den duur geheel verdwijnen waardoor de aanvankelijke lichtdoorlatende eigenschappen van een rooster geheel verloren gaan.

Daarom moet bij het ontwerp van een lichtrooster uitgegaan worden van de lichttechnische eigenschappen zoals die zouden zijn bij een volkomen vervuild rooster. In ieder geval moet de benadering van het ideale rooster zodanig worden uitgevoerd dat de lichtdoorlaat niet afhankelijk is van de interne reflectie van het rooster

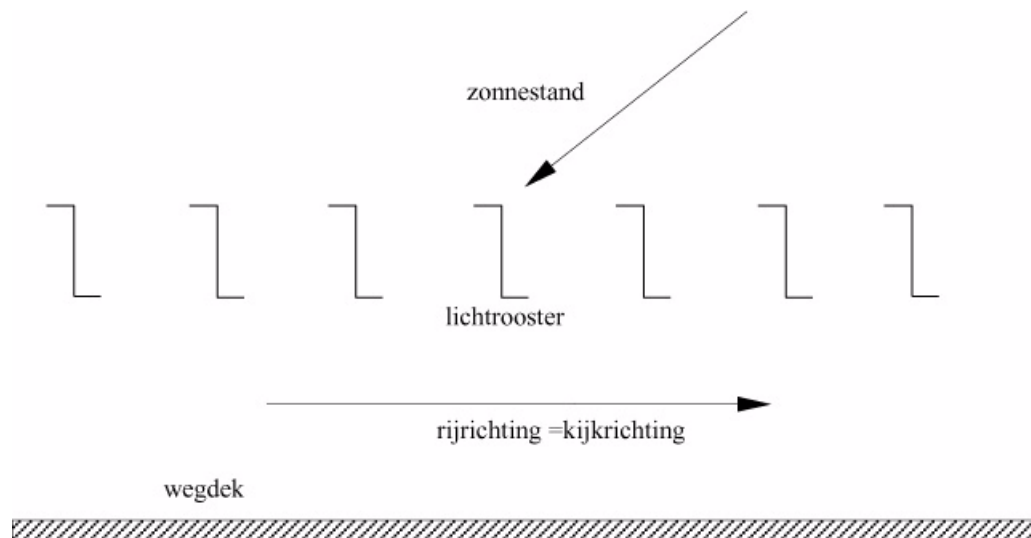
### **7.11.5.2 Eigenschappen**

Om onafhankelijk te zijn van de interne reflectie van het rooster is directe doorlaat van een deel van het zonlicht noodzakelijk (zie de Aanbeveling: "Verlichting van tunnels en onderdoorgangen" van de NSVV). Daarbij moet ontwerp uitgangspunt zijn:

- Door de zon beschenen vlakken van de inritconstructie moeten zoveel mogelijk buiten het wegdekgebied vallen. Indien doervallend zonlicht het wegdek bereikt mag dit niet aanleiding geven tot hinderlijke flikkereffecten.
- Een weggebruiker mag niet direct in de zon kunnen kijken;
- De lichtdoorlaat van het rooster moet constant, en min of meer evenredig zijn met de lichthoeveelheid in het vrije veld, onafhankelijk van de zonnestand en onafhankelijk van het jaargetijde.

### **7.11.5.3 Constructieve details**

- De tot heden meest effectief gebleken lichtroosterconstructie is opgebouwd uit Z-vormige lamellen, afmeting plm. 65x200x65mm. Het 200mm deel wordt verticaal geplaatst, waarbij de boven en onderflenzen (65mm) evenwijdig aan de weg worden geplaatst. Het staande deel van de lamel voorkomt dat een weggebruiker vanuit zijn gezichtshoek rechtstreeks in de zon kan kijken (jaloezie-werking), terwijl de horizontaleflenzen de hemel afschermen en daarmee tevens een deel van de doorlaat bepalen (zie figuur).



- Door de afstand tussen de lamellen te variëren kan de lichtdoorlaat worden gevarieerd.
- Verhoging van de dragende zijwanden tot boven het rooster voorkomt zijdelingse doorstraling tot op het wegdek
- Belangrijk nevenaspect van een lichtroosterconstructie is het voorkomen van aanhechting van sneeuw en ijzel op de constructie.
- Lichtroosters, voor zover in Nederland toegepast, zijn ongeveer 100 m lang en worden verdeeld in drie zones. Een eerste zone van + 30 m lang waarin de jaloezielamellen op een onderlinge afstand van h.o.h. 50 cm zijn geplaatst, een tweede zone van 30m lang met lamellen h.o.h. 40 cm en een derde zone van 40 m lang met lamellen h.o.h. 30 cm. Zowel zonelengtes als lamelafstanden kunnen per tunnel worden gevarieerd.
- De lichtdoorlatende eigenschappen van een lichtrooster moeten onafhankelijk zijn van reflecterende eigenschappen van de lichtroosterlamellen. Daarom moeten deze in een (mat)zwarte kleur worden uitgevoerd.