

## **Notitie: Stofexplosies in spoortunnels tracé Zee – Zevenaar**

Opdrachtgever: ProRail

Auteur: P. van Balen; consultant risicomanagement veiligheid en gezondheid PreventPartner

Controle: T. Casteel; veiligheidskundige PreventPartner

Datum: 20 april 2020

Vastgesteld Expertgroep Fijnstof in Tunnels: 21 april 2020

Vastgesteld Stuurgroep Fijnstof in Tunnels: 11 mei 2020

### **Probleemstelling**

De tunnels van het goederentracé Zee – Zevenaar zijn vervuild (tracé). De oorzaak van die vervuiling is onder andere slijtage van spoorstaven en bovenleiding, afgevallen lading, lekkage en uitstoot van door verbrandingsmotoren aangedreven materieel, bouwstoffen en verontreinigingen van het ballastmateriaal.

Luchtmetingen hebben aangetoond dat arbeidshygiënische grenswaarden voor gevaarlijke stoffen mogelijk kunnen worden overschreden [A, B].

Analyses van materiaalmonsters (stof) van de vervuiling hebben de samenstelling aangetoond [C, D].

In 2014 is een rapport uitgebracht over het toen aanwezige stof in de tunnels [E], waarin wordt aangegeven dat onder extreme omstandigheden stofexplosies mogelijk zouden kunnen plaatsvinden. In de notitie worden aanbevelingen gedaan om deze omstandigheden te voorkomen. Een belangrijke actie daarvoor was het verwijderen van overmatig stof uit de tunnels. Deze schoonmaakacties zijn enkele jaren geleden uitgevoerd. Aanbevolen was om het verwijderen van stof op structurele basis te doen.

In de recente gesprekken over de resultaten van onderzoeken die zijn en worden uitgevoerd om de stofconcentraties in lucht in tunnels te bepalen, is gesuggereerd dat de kans op stofexplosies bestaat door de aanwezigheid van mogelijk hoge concentraties stof van steenkool (kolenstof).

Aannemers die in de tunnels werkzaamheden uitvoeren willen weten of dergelijke stofexplosies in de huidige situatie mogelijk is.

Deze notitie verkent of de condities aanwezig zijn voor het optreden van kolenstofexplosies in de spoortunnels van dit tracé.

### **Eindconclusie**

Uit de recente onderzoeken naar stofconcentraties in spoortunnels is gebleken dat deze concentraties tijdens een passage van een trein onvoldoende is om in het explosiegebied van kolenstof te komen. De hoogst gemeten stofconcentratie (piekwaarde) is  $< 5 \text{ mg/m}^3$ .

Verder blijkt uit het samenstellingsonderzoek dat het aandeel brandbare stof in de stoffractie minder dan 10 gewichts % is.

Voor een stofexplosie van kolenstof is een minimale concentratie van minimaal  $30 \text{ g/m}^3$  noodzakelijk. De concentratie van opwarrelend brandbare stof is meer dan een factor 1000 lager dan de onderste explosiegrens van kolenstof.

De eindconclusie van deze notitie is dat stofexplosies door de aanwezigheid van kolenstof in de spoortunnels op dit moment niet mogelijk zijn.

Deze notitie onderschrijft de conclusies van de rapportage uit 2014 dat verdere accumulatie van stof moet worden voorkomen en dat regelmatig schoonmaken een bronmaatregel is die zowel het veiligheid als gezondheidsrisico beheersbaar houdt.

## Stofexplosies

Stofexplosies zijn chemische explosies en ontstaan door snelle, exotherme chemische reacties tussen brandbare vaste stof en bijvoorbeeld zuurstof in de lucht. Bij het ontstaan van stofexplosies wordt onderscheid gemaakt in een stofwolk en stoflaag die bij kunnen dragen tot het ontstaan van een stofexplosie. In en op het spoor kunnen brandbare vaste stoffen in de vorm van granulaat en fijn poeder zich verzamelen. De fijnheid van het poeder kan dan mogelijk als brandstof dienen voor een stofexplosie indien dit door opwarrelen in een voldoende hoge concentratie in de lucht als stofwolk manifesteert.

Voor dat een stofexplosie kan ontstaan zijn 5 elementen noodzakelijk (het stofexplosie pentagon) [9]:

1. Brandstof; steenkoolpoeder.
2. Zuurstof; 20,9 v/v % in omgevingslucht
3. Ontstekingsbron van voldoende grootte energie; langsrijdende trein veroorzaakt vonken van metaal op metaal
4. Dispersie van stofdeeltjes van een juiste fijnheid ( $< 500 \mu\text{m}$ ) en hoeveelheid ( $> 10 \text{ g/m}^3$ )
5. Ruimtelijke insluiting; nodig om een drukopbouw van een explosie mogelijk te maken. Een spoortunnel kan zo'n ingesloten ruimte zijn.

Naast de vijf elementen uit het stofexplosie pentagon zijn andere omgevingsfactoren van belang die een stofexplosie mogelijk maken. Voordat er een omgeving ontstaat die gunstig is voor een stofexplosie moet aan volgende voorwaarden zijn voldaan [4]:

1. Er moet sprake zijn van een droge, niet vochtige, lucht;
2. Het poeder moet brandbaar zijn (afhankelijk van de minimale ontstekingsenergie);
3. Om de verbranding toe te laten, moet het stof zweven in zuurstofrijke lucht;
4. Het stof moet verspreid zijn in afmetingen van deeltjes die de voortplanting van de vlammen toelaten;
5. De concentratie aan zwevend stof moet binnen de limieten van de ontplofbaarheid liggen;
6. Het zwevend stof moet in aanraking komen met een ontstekingsbron die voldoende energie ontwikkelt.

## Begrippen

### OEL

De laagste stofconcentratie waarbij het mengsel ontvlamt wordt de Lower Explosion Limit (LEL) of Onderste Explosie Limiet (OEL) genoemd. Beneden deze concentratie is het mengsel te arm aan stof om nog te kunnen ontvlammen. De OEL ligt voor heel wat stoffen tussen 10 en 30  $\text{g/m}^3$ . Stofexplosies kunnen zich vooral voor doen binnenin de procesuitrusting zoals maalmolens, mixers, zeven, drogers, filters, hoppers, silo's en pneumatische transportsystemen.

Het explosiegebied van de meeste poeders bevindt zich tussen 40  $\text{g/m}^3$  en 4  $\text{kg/m}^3$ . Dit gebied is niet alleen bepaald door de chemische samenstelling van het ontplofbaar stof, maar ook van onder meer de afmetingen en de fijnheid van de stofdeeltjes. Zelfs bij de laagste explosiegrenzen hebben stofwolken een hoge optische dichtheid.

### $K_{st}$ -waarde

De Duitse VDI 3673 deelt poeders in 4 klassen in.  $K_{st}$  staat bij die indeling voor een constante die inzicht geeft over de drukopbouw bij een explosie van een bepaalde stof.

| K <sub>ST</sub> -waarde in bar.m/s | Explosieklasse | Explosiesnelheid van de stof |
|------------------------------------|----------------|------------------------------|
| 0                                  | 0              | niet explosief               |
| Tussen 0 en 200                    | 1              | laag tot matig explosief     |
| Tussen 200 en 300                  | 2              | hoog explosief               |
| Groter dan 300                     | 3              | zeer hoog explosief          |

De K<sub>st</sub> geeft samen met de brandklasse aan of een vaste stof gemakkelijk te ontsteken is en of voldoende warmte ontwikkeld wordt om de verbranding in stand te houden. [2]

### Brandklasse (BZ)

Brandbare vaste stoffen worden ingedeeld in brandbaarheidsklassen (BZ 1 t/m BZ 6) op basis van een gestandaardiseerde test [3].

BZ 1: Ontsteekt niet

BZ 2: Ontsteekt maar dooft snel

BZ 3: Plaatselijke brand of gloeïnest, geen uitbreiding

BZ 4: Gloeïnest breidt zich uit

BZ 5: Zich uitbreidend open vuur

BZ 6: Explosief uitbreidende verbranding

### Stofexplosies van kolenstof

Uit de literatuur vallen de volgende gegevens te halen als het gaat om stofexplosies door kolenstof [1, 2, 4]:

1. Kolenstof bestaat maximaal voor 5 procent uit kwarts
2. De OEL voor kolenstof ligt tussen de 30 en 200 g/m<sup>3</sup>:
  - a. Als er sprake is van 99% kolenstof waarbij de gemiddelde diameter van de stofdeeltjes kleiner is dan 10 µm dan is de OEL 60 g/m<sup>3</sup> (vochtigheidsgehalte 0,8 gewichts%).
  - b. Als er sprake is van 90% kolenstof waarbij de gemiddelde diameter van de stofdeeltjes kleiner is dan 10 µm dan is de OEL 200 g/m<sup>3</sup> (vochtigheidsgehalte 0,8 gewichts%).
3. Kolenstof is ingedeeld in explosieklasse 1.
4. Kolenstof heeft een brandklasse BZ: 3 Plaatselijke brand of gloeïnest, geen uitbreiding.

### Stofexplosie-risico analyse tunnels.

In 2014 heeft ISMA-consulting in opdracht van Keyrail een analyse uitgevoerd naar de kans op stofexplosies in spoortunnels van het traject Zee-Zevenaar [E].

Het rapport concludeert dat:

- Het stof dat op dat moment in de tunnels aanwezig was explosief was maar alleen tot explosie kan worden gebracht door zeer krachtige vonken zoals een hoogspanningsvonk, zeer hete oppervlakken zoals open vuur of een smeulende massa.
- Er zich op bepaalde locaties veel stof had verzameld.
- Dat lokaal mogelijk explosieve mengsels gecreëerd konden worden maar dat op die plekken ontstekingsbronnen konden worden uitgesloten.
- Na schoonmaak in 2014 zouden de lokale condities verbeteren.

In het rapport werden ook de volgende aanbevelingen gedaan:

- Nooit een locomotief (met pantograaf) achter een trein plaatsen.
- Bij laswerkzaamheden eerst eventuele aanwezige stofhopen verwijderen.
- Het EVD (explosie veiligheids document) aanpassen – ATEX.

De tunnels zijn na het uitbrengen van dit rapport schoongemaakt (mondellinge mededelingen).

## Evaluatie situatie 2020 spoortunnels

Uit recente analyses van het stof in de spoortunnels [C,D] valt op te maken dat de concentratie kolenstof (als koolstof) maximaal 5% bedraagt (gemeten als carbonaat).

Verhoudingsgewijs worden relatief veel carbonaat, ijzer, kwarts, aluminium, zink en koper aangetroffen (tot grammen/kg droge stof) en zijn PAK's (som tot 10 mg/kg droge stof) aangetoond. Vluchtige organische oplosmiddelen zijn niet aangetoond in het stof, wel minerale oliën (tot 2200 mg/kg droge stof (=0,22%).

Visueel wordt steenkool als afgevalen lading in de tunnels aangetroffen. Dit heeft ertoe geleid dat eerder de conclusie werd getrokken dat het aanwezige stof kolenstof zou zijn [B].

De verdeling aan fijnstof laat zien dat maximaal 29% (afgrond) van het aanwezige stof een omvang heeft kleiner 63 µm en afgerond 19% kleiner is dan 32 µm [D].

Gemeten concentraties fijnstof tijdens werkzaamheden (inhaleerbaar/respirabel) komen uit op concentraties in de lucht 2,6 mg/m<sup>3</sup> inhaleerbaar stof (stofdeeltjes kleiner dan 100 µm) en 0,5 mg/m<sup>3</sup> respirabel stof (kleiner dan 10 µm) [B].

Realtime metingen uitgevoerd in twee tunnels door een aannemer laten zien dat pieken tot 3,5 mg/m<sup>3</sup> kunnen worden gemeten aan deeltjes kleiner dan 2,5 µm.

## Conclusie

In onderstaande tabel is samengevat aan welke voorwaarden voor stofexplosies momenteel wordt voldaan en aan welke niet

| # | Voorwaarde                                                                                            | Conclusie                                                                                          |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Er moet sprake zijn van een droge, niet vochtige, lucht;                                              | Het is mogelijk dat de lucht voldoende droog is voor een stofexplosie                              |
| 2 | Het poeder moet brandbaar zijn (afhankelijk van de minimale ontstekingsenergie);                      | De concentratie brandbaar materiaal in het stof is te laag om brandbaar te zijn                    |
| 3 | Om de verbranding toe te laten, moet het stof zweven in zuurstofrijke lucht;                          | De concentratie zuurstof in de lucht is voldoende voor een explosie.                               |
| 4 | Het stof moet verspreid zijn in afmetingen van deeltjes die de voortplanting van de vlammen toelaten; | Stofdeeltjes van voldoende kleine afmetingen zijn aangetoond in de lucht en in het bronmateriaal.  |
| 5 | De concentratie aan zwevend stof moet binnen de limieten van de ontplofbaarheid liggen;               | De gemeten concentraties stof liggen ver onder de onderste explosiegrenzen voor kolenstof.         |
| 6 | Het zwevend stof moet in aanraking komen met een ontstekingsbron die voldoende energie ontwikkelt.    | Diverse ontstekingsbronnen aanwezig. Mogelijk niet op die locaties waar zich stof heeft verzameld. |

Aan de voorwaarden 1, 3, en 4 lijkt te worden voldaan als het gaat om het stof in spoortunnels in het goederentracé. Of aan voorwaarde 6 wordt voldaan is niet duidelijk. Aan de voorwaarden 2 (brandbaarheid) en 5 (concentratie zwevend stof) wordt niet voldaan.

Dit leidt tot de conclusie dat de kans op een stofexplosie door de aanwezigheid van kolenstof in de spoortunnels van het tracé Zee - Zevenaar is op dit moment als niet aanwezig kan worden beschouwd.

### Vaststelling

- Het bestaan van de analyse van het stofexplosie-risico in de tunnels van het Zee – Zevenaar traject [D] was bij een aantal relevante veiligheidsfunctionarissen van ProRail niet bekend.
- De conclusies en aanbevelingen zijn daardoor mogelijk niet of onvolledig overgenomen in de bij de tunnels behorende object gebonden risicodossiers.
- Inmiddels zijn meer gegevens bekend over samenstelling van het stof in de tunnels, zijn de tunnels gereinigd en kunnen meer precies de kans op een stofexplosie door kolenstof worden geschat. Bij toename van de vervuiling door kolenstof van de tunnels zal de kans op een stofexplosie mogelijk toenemen.
- Voldoende orde en netheid waarbij de hoeveelheden vervuiling van een tunnel onder een vastgesteld niveau blijft is daarbij zeer belangrijk.
- Structureel het stof verwijderen uit tunnels is een belangrijke maatregel om de veiligheid- en gezondheidsrisico's die daarmee samenhangen te beheersen.
- Een belangrijke bronmaatregel is het voorkomen dat lading vanuit de wagons in de tunnel terecht kan komen.

### Literatuur

1. HVBG. Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben. BIA-Report 12/97. November 1997 ISBN 3-88383-468-8.
2. HVBG. GESTIS-DUST-EX. Database Combustion and explosion characteristics of dusts. Edition: 2/2001.
3. IFA (Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance). GESTIS-STAU-EX. Website <https://staubex.ifa.dguv.de/explosuche.aspx?lang=e>. Bezocht 3 april 2020.
4. NEVEDI, Handleiding 2005 ATEX-richtlijn 137. Update najaar 2010.
5. S.N. Roychowdhury. Coal dust explosion and their prevention. School of Mines and Metallurgy of the University of Missouri. 1960.
6. C. Weiguo, H. Liyuan, Z. Jianxin, X. Sen, Q. Shashan en P. Feng. Research on characteristic parameters of coal-dust explosion. 2012 International symposium on Safety Science and Technology. Elsevier 2012, 442-447.
7. F. Norman, J. Berghmans and Filip Verplaetsen. The dust explosion characteristics of coal dust in an oxygen enriched atmosphere. 2012 International symposium on Safety Science and Technology. Elsevier 2012, 400-403.
8. B. Tan, H. Liu, B. Xu and T. Wang. Comparative study of the explosion pressure characteristics of micro- and nano-sized coal dust and methane-coal dust mixtures in a pipe. Int. J. Coal Sci. Technol (2020) 8(1) 68-78.
9. T. Casteel. Combustible Dust. Samenvatting literatuur 14-04-2020.

### Bronnen

- A. NLVO-Advies – Arbo en Milieu. Blootstellingsmetingen tijdens pilot Reinigen ballast in de Zuidbuis Sophiatunnel. 2 februari 2020. Revisie april 2020.

- B. K. Verkuijlen en D. Doekemeijer. Blootstellingonderzoek luchtkwaliteit werkplekatmosfeer reguliere onderhoudswerkzaamheden tunnels. ArboUnie UC.660.14.165.V2/KV/AH. 22 oktober 2014.
- C. Preventie&Werk. Analyse van een stofmonster dat is genomen in de Sophiatunnel bij Zwijndrecht. 8 oktober 2013.
- D. K. v.d. Dool. Onderzoeksresultaten stof Betuwe-route A-15 tracé. 22-05-2018.
- E. T. Molken. Stofexplosie-risico analyse tunnels. ISMA consulting 24-04-2014