

Waterstof elektrische personenauto in de nabijheid van een brand

WP4 Veiligheidsaspecten en risico's

Auteur: TNO

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2019 WVIP



Aanleiding

WVIP WP 4 werkt aan kennisvragen voor het borgen van waterstofveiligheid en heeft als doelstelling:

1. Het inventariseren van alle mogelijke veiligheidsrisico's die gepaard gaan met de productie, opslag, transport en gebruik van waterstof.
2. Welke maatregelen zijn noodzakelijk om waterstof als veilige en betrouwbare energiedrager grootschalig te kunnen introduceren en daarmee de publieke acceptatie te vergroten.

Dit document is bedoeld voor alle partijen die bezig waren, momenteel bezig zijn, dan wel in de nabije toekomst betrokken zullen zijn bij de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur en specifiek voor partijen die zich bezighouden met de toepassing van waterstof als brandstof voor mobiliteit over de weg. Dit document geeft handvatten om de vragen en antwoorden die er over dit onderwerp zijn centraal te ontsluiten met het doel de waterstofveiligheid te borgen.

Dit document beantwoordt één van de kennisvragen zoals die zijn geïnventariseerd door de deelnemers van WP4 in 2020. Voor meer informatie over en de totstandkoming van de kennisvragen zie de "inventarisatie van kennisvragen WP4 veiligheidsaspecten en -risico's" op <https://nlhydrogen.nl/wp4-inventarisatie-van-kennisvragen> van het WVIP project.

Het doel van het behandelen van de kennisvraag is om een eenduidig veiligheidsbeeld te scheppen over voertuigen die een waterstoftank aan boord hebben, met name wanneer deze voertuigen zich in (deels) afgesloten ruimtes bevinden.

Introductie

Voor het vercommercialiseren van en het draagvlak creëren voor waterstof aangedreven voertuigen (hierna te noemen 'waterstofauto'), is de veiligheid van dergelijke voertuigen van groot belang. Waterstof is een klein molecuul dat eenvoudig kan ontsnappen/leken. Het heeft daarnaast een breed ontvlambaarheidsgebied en het heeft een relatief lage ontstekingsenergie ten opzichte van de conventionele brandstoffen. De meeste waterstofauto's worden aangedreven middels een brandstofcel gekoppeld met een composiettank waar de waterstof onder hoge druk in wordt opgeslagen. De veiligheidszorgen van dergelijke voertuigen worden vooral ingegeven door de effecten die kunnen ontstaan ten gevolge van het vrijkomen van waterstof en dan vooral in een (deels) afgesloten ruimte zoals een parkeergarage, tunnel, remise, loods of boot.

Kennisvraag

In het licht van bovenstaande, is de volgende kennisvraag geformuleerd:

Een waterstofauto staat in de directe nabijheid van een brand. Wat gebeurt er met de waterstoftank van een waterstofauto wanneer deze in de (directe) nabijheid van een brand staat?

Uitwerking van de kennisvraag

Inleiding

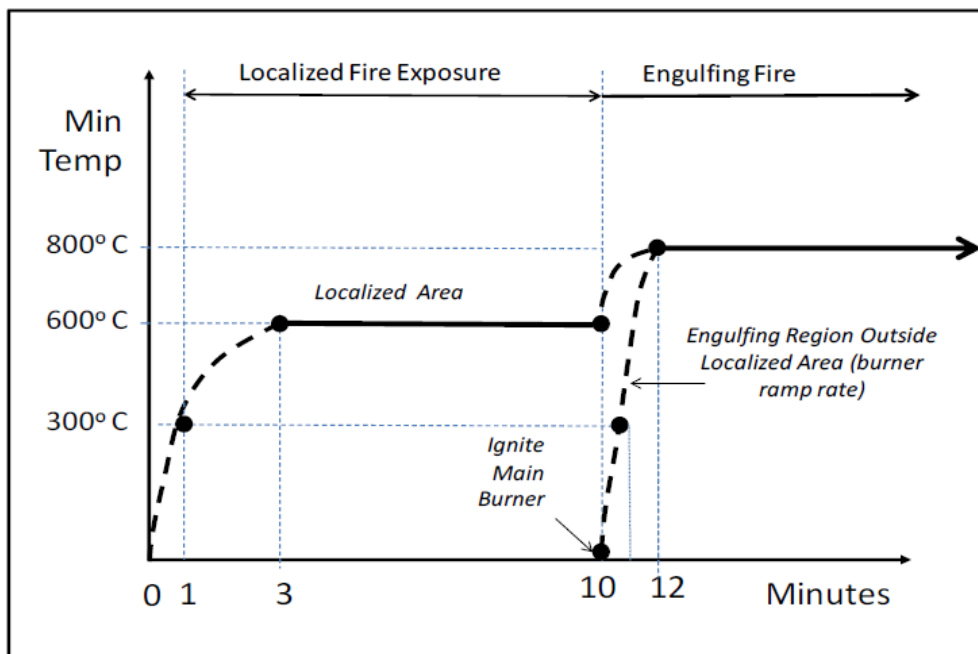
Een brand kan zich buiten of binnen een waterstofauto bevinden, dat wil zeggen dat er sprake is van een externe of een interne brand. Voor het beantwoorden van de kennisvraag is het uitgangspunt dat met 'brand in de directe nabijheid' een brand wordt bedoeld die zich op een afstand van maximaal twee meter bevindt van een waterstofauto. Het kan bijvoorbeeld gaan om een brand in

een auto of een container die naast de waterstofauto staat of om een benzinebrand onder de waterstofauto. Een aantal aspecten speelt een rol bij het uitwerken en beantwoorden van de kennisvraag. Deze worden hieronder beschreven.

De hoeveelheid warmte die op de waterstofauto straalt (heat release rate – HRR), is van belang voor het bepalen van de tijd tot het falen van de waterstoftank. Bij een naastgelegen brandende auto is niet zozeer de grootte van deze auto van belang als wel de hoeveelheid kunststoffen die aanwezig is. Kunststoffen komen eenvoudiger tot ontbranding, verbranden sneller en geven meer warmte af [1]. Omdat de carrosserie van de waterstofauto de waterstoftank in zekere zin afschermt, is een brand naast een waterstofauto minder gevaarlijk dan een brand onder een waterstofauto.

Als de waterstoftanks van een waterstofauto worden aangestraald door een brand, neemt de druk in de waterstoftank toe. Om het barsten van de waterstoftank te voorkomen, zijn de tanks voorzien van een beveiliging ('TPRD')¹ die geactiveerd wordt bij een temperatuur van 110 °C. Als de TPRD geactiveerd wordt, wordt al het aanwezige waterstof door een opening in de TPRD vrijgelaten uit de waterstoftank. Bij ontsteking ontstaat een fakkel, maar wordt een explosie van de waterstoftank voorkomen [1]. Als een waterstoftank lokaal wordt aangestraald, bestaat de kans dat de TPRD niet geactiveerd wordt en de waterstoftank barst met alle gevolgen van dien. Tot zover bekend is dit nog niet voorgekomen, ook door het beperkte aantal waterstofauto's [2]

Om de integriteit van waterstoftanks in waterstofauto's te garanderen, moeten waterstoftanks wereldwijd voldoen aan de eisen van GTR 13 [3]. Hierbij wordt een volle waterstoftank die voorzien is van een TPRD, eerst lokaal aangestraald, gevolgd door aanstraling over de gehele tank in een bonfire test (een plasbrand). De waterstoftank mag niet barsten en de TPRD moet geactiveerd worden en functioneren als bedoeld. Tijdens de test moeten bepaalde temperaturen worden bereikt en worden aangehouden, zie figuur 1.

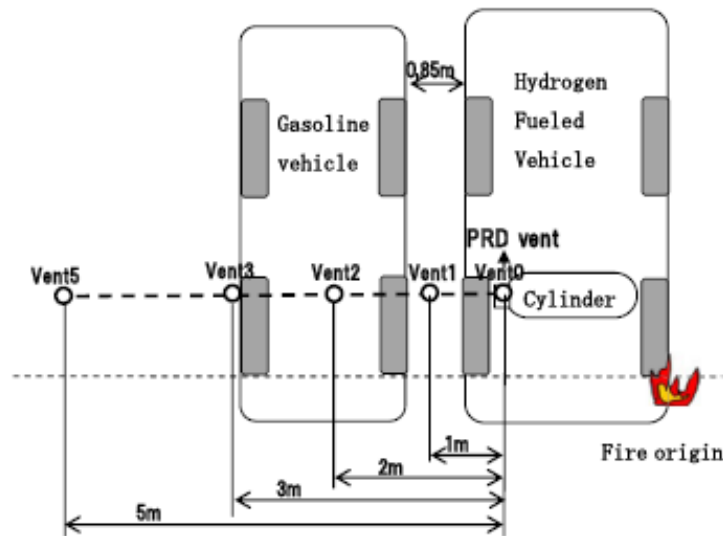


Figuur 1. Temperatuurprofiel van de brandtest. Overgenomen uit GTR 13 [3].

¹ TPRD: thermally activated pressure relief device

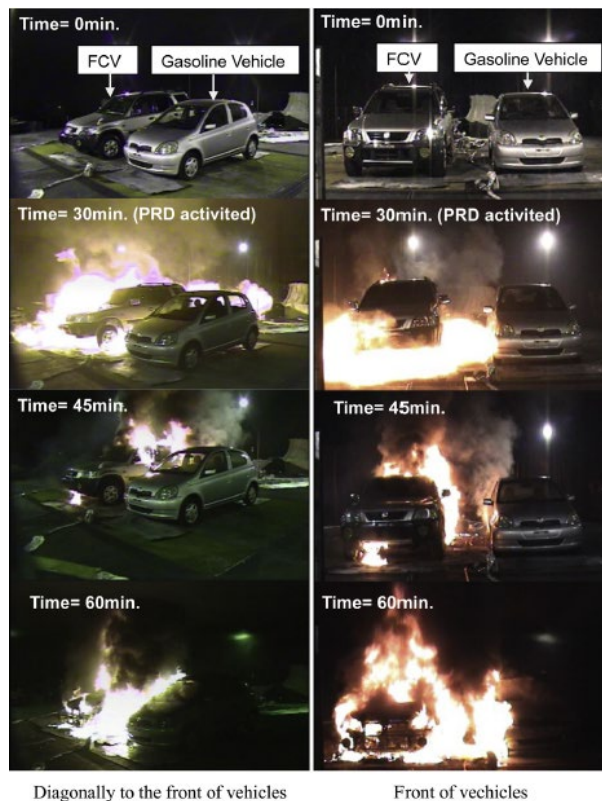
Tamura et al. [4] heeft experimenten gedaan om de overslag van brand van een waterstofauto naar een benzineauto te onderzoeken.² In het eerste experiment werd de achterband van een waterstofauto (36 liter, 700 bar) in brand gestoken. Aan de andere zijde van de waterstofauto stond een benzineauto geparkeerd, zie Figuur 2. De waterstoftank lag dwars in de waterstofauto met de TPRD aan de zijde met de benzineauto en gericht naar de grond.

Dertig minuten nadat de rechterachterband van de waterstofauto was aangestoken, werd de TPRD geactiveerd waardoor een fakkel ontstond waarvan de vlammen zich onder de waterstofauto bevonden en zich om de waterstofauto heen krulden. Omdat de fakkel niet lang brandde, leidde dit echter niet tot het in brand raken van de benzineauto. Dat gebeurde pas 28 minuten na het activeren van de TPRD bij de voorwiel, dus ongeveer een uur na het in brand steken van de achterband van de waterstofauto. De waterstofauto brandde op dat moment volledig. De benzineauto werd dus niet ontstoken door de waterstoffakkel, maar door de warmtestraling van de brandende waterstofauto.



Figuur 2. Opstelling van de auto's voor het eerste experiment en punt van bewuste ontsteking autoband. Overgenomen van Tamura et al. [4].

² De experimenten van Tamura et al. [4] worden aangehaald in het rapport van Spoelstra [1]. Dat rapport kent een zekere overlap met de kennisvraag die in dit document beantwoord wordt.

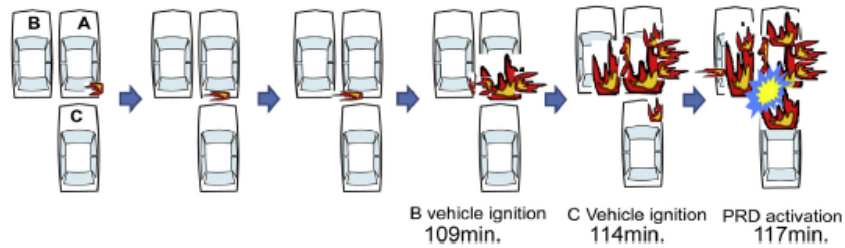


Figuur 3. Ontwikkeling van de brand als functie van tijd voor experiment 1.
Overgenomen van Tamura et al. [4].

In een tweede experiment van Tamura et al. [4] stonden drie waterstof aangedreven voertuigen naast elkaar om een situatie na te bootsen op een boot, volgeladen met auto's. Waterstofauto's A en B stonden naast elkaar en waterstofauto C stond achter waterstofauto A. De afstand tussen waterstofauto's A en B was 10 cm en tussen waterstofauto's A en C 30 cm. Waterstofauto's A en B hadden twee waterstoftanks en waterstofauto C had er één.

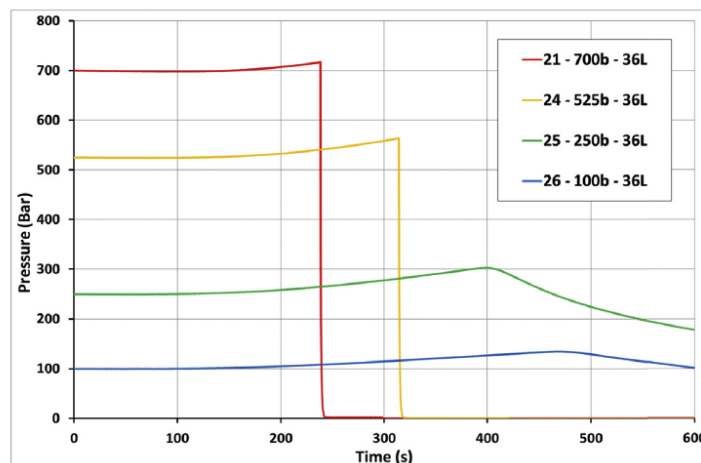
Van waterstofauto A werd de rechterachterband in brand werd gestoken, zie Figuur 4. Na 109 minuten vatte waterstofauto B vlam bij de rechter achterportier en na 114 minuten de voorbumper van waterstofauto C. Na 117 minuten werd de TPRD van de achterste tank van waterstofauto A geactiveerd. De tank was binnen twee minuten leeg en zorgde voor een grote vlamverspreiding onder de drie voertuigen. Na 120 minuten werd de TPRD van waterstofauto B geactiveerd, maar omdat er geen ontlastingssysteem gekoppeld zat aan de TPRD, werd de waterstoftank niet geleegd. Na 122 minuten werd de TPRD van de voorste tank van waterstofauto A geactiveerd. Tijdens het experiment is de TPRD van waterstofauto C nooit aangesproken en geactiveerd. Uiteindelijk zijn alle waterstofauto's uitgebrand.

Net als bij het eerste experiment werd in het tweede experiment duidelijk dat waterstofauto's niet in brand raken door de waterstofvlammen uit de TPRD van de naastgelegen waterstofauto, maar door het in brand staan van de naastgelegen waterstofauto.



Figuur 4. Schematische weergave van de ontwikkeling van de brand als functie van tijd voor experiment 2. Overgenomen van Tamura et al. [4].

Waterstoftanks in auto's zijn composiettanks met een metalen binnenlaag om de tank gasdicht te maken. Ze moeten volgens GTR13 [3] een druk kunnen weerstaan die een factor 2,25 groter is dan de werkdruk. Onder invloed van hitte degradeert echter de composietlaag van een waterstoftank en wordt deze mechanisch zwakker. De waterstoftank kan dan bij relatief lage druk falen. Halm et al. [5] hebben het bezwijkmechanisme van composiettanks bestudeerd door deze bloot te stellen aan waterstofvlammen.³ Zij lieten aan de hand van een beperkt aantal testen zien, afhankelijk van de druk, dat een waterstoftank gaat lekken en vervolgens barst, zie Figuur 5. Uit Figuur 5 volgt dat bij de twee hoogste drukken de tanks instantaan bezwijken en bij de laagste twee drukken is er sprake van het ontstaan van lekken, waardoor de druk in de tanks afneemt.



Figuur 5. Bezwijken of starten lekkage van composiettanks wanneer blootgesteld aan waterstofvlam als functie van begindruk. Overgenomen van Halm et al. [5].

Molkov et al. [6] hebben voor verschillende tankvolumina (36 – 244 liter) met een druk van 700 bar de kritische uitstroomdiameter van de TPRD's bepaald. Als een diameter kleiner dan deze kritische diameter wordt genomen, bestaat de kans dat de tank explosief bezwijkt. Aan de andere kant, hoe kleiner de diameter van een TPRD, des te kleiner de vlamlengte, wat gunstig is voor een constructie, mocht de auto in een (deels) afgesloten ruimte staan. Er dient vermeld te worden dat een constructie niet zal falen door aanstraling van een fakkel, aangezien daarvoor de tijdsduur te beperkt is. Wel zou eventueel betonspat kunnen optreden. Als de TPRD een uitstroomopening heeft groter dan de kritische diameter, zal de tank niet explosief bezwijken.

Molkov et al. [6] hebben verder laten zien dat de tijd die nodig om waterstoftanks van HDPE te laten falen (Fire resistance rating – FRR), in de orde ligt van 4 – 6 minuten bij een warmtestraling groter dan 1 – 2 MW/m². In dit kader zijn de veiligheidstesten zoals voorgesteld in de GTR 13 [3] van belang

³ Voor het onderzoek is geen gebruik gemaakt van bonfire testen (plasbranden van heptaan), omdat de roetende vlammen het zicht op de experimenten belemmerden. In de praktijk zal het op deze manier bezwijken van tanks nagenoeg uitgesloten zijn door de aanwezigheid van minimaal één TPRD, tenzij die faalt.

ten aanzien van de mogelijke warmtestralingseffecten. In deze richtlijn wordt de locatie van een brand gedefinieerd als komende van het passagiersdeel, de kofferbak, de wielkasten of een plas benzine onder de auto. Van deze vier locaties, worden de eerste drie derhalve gezien als een interne brand en de laatste als een externe brand. De richtlijn heeft daarmee de grootste focus op interne (auto)branden en geeft protocollen waaraan de TPRD's moeten voldoen, om het explosief bezwijken van een (volledig) gevulde waterstoftank – zowel gasvormig als vloeibaar – te voorkomen.

Conclusies

Eenduidige conclusies voor het kwantificeren wat er met een waterstofauto (waterstoftank in deze auto) gebeurt wanneer deze in de directe nabijheid van een (externe) brand staat, zijn niet te trekken door de beperkte data. Er kan gesteld worden dat wanneer een waterstoftank is uitgerust met minimaal 1 TPRD waarvan de uitstroomopening zodanig is dat het de waterstof voldoende snel kan afblazen, de kans klein is dat de tank explosief zal bezwijken wanneer deze zich in de nabijheid van een brand bevindt.

Nader onderzoek is aan te bevelen naar de schijnbare correlatie tussen het mechanisme van bezwijken van een waterstoftank (lekken versus bezwijken) als functie van de druk in de tank. Als deze correlatie correct is, kan dit een extra beveiliging betekenen, alhoewel het ook impact heeft op de actieradius van het voertuig. Verder moet worden opgemerkt dat minimaal 1 drukontlastingsventiel zal worden geïmplementeerd, terwijl de correlatie uitgaat van een systeem zonder een dergelijk ventiel.

Referenties

1. Boehmer, H., Klassen, M., & Olenick, S. (2020). Modern Vehicle Hazards in Parking Structures and Vehicle Carriers. *Fire Protection Research Foundation, FPRF-2020-07, Jul. 2020*
2. Spoelstra, M.B. (2021). Waterstofauto's in parkeergarages – Deel 1. IFV report.
3. Kashkarov, S. Makarov, D en Molkov, V. (2018). Effect of a heat release rate on reproducibility of fire test for hydrogen storage cylinders. *International Journal of hydrogen energy, 43*, 10185-10192.
4. United Nations, Global technical regulation on hydrogen and fuel cell vehicles, Global Technical Regulation (GTR) number 13, June 2013.
5. Tamura, Y., Takabayashi, M., & Takeuchi, M. (2014). The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle. *International Journal of hydrogen energy, 39(11)*, 6169-6175.
6. Halm, D., Fouillen, F., Lainé, E., Gueguen, M., Bertheau, D., & van Eekelen, T. (2017). Composite pressure vessels for hydrogen storage in fire conditions: Fire tests and burst simulation. *International Journal of Hydrogen Energy, 42(31)*, 20056-20070.
7. Molkov, V., Dadashzadeh, M., Kashkarov, S., & Makarov, D. (2021). Performance of hydrogen storage tank with TPRD in an engulfing fire. *International Journal of Hydrogen Energy, 46(73)*, 36581-36597.