

HYGRO

enabling hydrogen from wind to wheel

In samenwerking met



TOYOTA

MATERIAL HANDLING



Eindverslag TKI systeemintegratiestudie "High
Pressure integrated storage, transport &
distribution Solution"

Datum: 27-06-2018
Versie: openbaar

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inleiding

Uit de systeemintegratie studie “Wind to Wheel” uit 2017 bleek dat op korte termijn waterstof, met elektrolyse geïntegreerd in windturbines, tegen een aantrekkelijke prijs geproduceerd kan worden. Tegelijkertijd is het duidelijk dat door serieproductie de kostprijs van brandstofcellen zal dalen. Deze twee bewegingen tezamen zorgen ervoor dat het rijden op waterstof als vervanger van diesel snel rendabel zal worden.

HYGRO, o.a. in samenwerking met betrokkenen bij deze studie, is druk bezig met de realisatie van het project Duwaal wind tot wiel. In dit project zal in 2019 de eerste “waterstofmolen” gerealiseerd worden in de Wieringermeer waarbij het duurzaam te produceren waterstof door de provincie Noord-Holland gedistribueerd zal worden naar verschillende tankstations alwaar er vrachtwagen op zullen gaan rijden. Normaal gesproken maakt de opslag en distributie tussen productie en tankstation een aanzienlijk onderdeel uit van de kostprijs aan de pomp. Deze kosten komen o.a. omdat bij de klassieke opzet van de keten van productie naar pomp waterstof, middels zogenaamde tubetrailers, enkele keren van tank, druk en temperatuur verwisselt. Aanleiding van deze studie was dan ook de veronderstelling dat door verschillende stukken van de keten te integreren en standaardiseren de kostprijs van dit deel van de keten stevig omlaag moet kunnen en dan met name door gebruik te maken van een gestandaardiseerde hogedruk oplossing, HPS, High pressure solution”.

De oorspronkelijke planning en wijze van uitvoering zijn niet helemaal volgens plan verlopen. Dit is o.a. te wijten aan een onderschatting van de complexiteit van het gehele vraagstuk en van de wet en regelgeving in het bijzonder. Gegeven de impact van de complexe regelgeving op het vraagstuk, en het beperkte budget, is er meer vanuit de praktijk dan theoretische mogelijkheden gewerkt en de meeste diepgang op het stuk van de keten tussen windturbine en tankstation gemaakt. Partijen hebben veel geleerd van de studie:

- ⇒ Er is overzicht en inzicht verkregen over de van toepassing zijnde (complexe) de wet en regelgeving
- ⇒ Het is duidelijk waar nog onduidelijkheden zijn, en op welke onderwerpen, vervolgstudie nodig is.
- ⇒ Er is een concept voor de hogedruk opslag en distributie ontwikkeld dat zal worden toegepast binnen deelproject van Duwaal Proeftuin Amsterdam West (DPAW) alsmede in het totale project Duwaal.
- ⇒ Op basis van dit onderzoek wordt een praktijkproef gedaan met gekoelde hogedruk opslag dat binnen de toegekende subsidie DKT1170059 Duwaal Proeftuin Amsterdam West (DPAW) zal worden uitgevoerd.
- ⇒ Er is beter begrip van de temperatuur ontwikkeling bij waterstofexpansie in relatie tot de omvang van een TYPE IV composiet tank verkregen. Deze kennis is relevant voor de tanksnelheid en/of aangeboden waterstoftemperatuur, met name relevant bij het tanken van zware voertuigen. Deze kennis zal ook in het DPAW meegenomen worden, waar tanksnelheid een van de research vragen is.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| 1. AANLEIDING, DOELSTELLING & WERKWIJZE | 7 |
| 1.1. AANLEIDING..... | 7 |
| 1.2. DOELSTELLING | 7 |
| 1.3. WERKWIJZE | 7 |
| 1.4. BIJDRAGE VAN HET PROJECT AAN DE DOELSTELLINGEN VAN DE REGELING..... | 8 |
| 1.5. BESCHRIJVING DEELNEMERS | 8 |
| 2. RESULTATEN | 10 |
| 2.1. GEBRUIKERSEISEN | 10 |
| 2.2. TECHNISCHE EISEN..... | 12 |
| 2.3. TOEPASSELIJKE WET EN REGELGEVING..... | 15 |
| 2.4. VERDIEPINGSSLAG WET EN REGELGEVING TRANSPORT (ADR)..... | 16 |
| 2.5. VERDIEPINGSSLAG WET EN REGELGEVING TYPEGOEDKEURING VRACHTWAGENS | 17 |
| 2.5.1. TYPEGOEDKEURING EUROPA | 17 |
| 2.5.2. TYPEGOEDKEURING EU EN INTERNATIONAAL..... | 18 |
| 2.5.3. TYPEGOEDKEURING EU EN INTERNATIONAAL - JURIDISCHE CONTEXT..... | 19 |
| 2.6. VERDIEPINGSSLAG WET EN REGELGEVING VORKHEFTRUCK EN SCHEEPVAART EINDGEBRUIK..... | 20 |
| 2.6.1. VORKHEFTRUCKS | 21 |
| 2.6.2. SCHEEPSVAART..... | 21 |
| 2.7. VOORLOPIG ONTWERP HPS | 21 |
| 2.8. KOELING HPS..... | 22 |
| 2.9. ECONOMISCHE CALCULATIES..... | 24 |
| 3. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN | 26 |
| 4. SPIN OFF EN VERVOLGACTIVITEITEN | 28 |
| 5. CONTACT INFORMATIE | 29 |
| BIJLAGE A: OVERZICHT VERWIJZINGEN NAAR COMPRESSED HYDROGEN IN DE ADR..... | 30 |

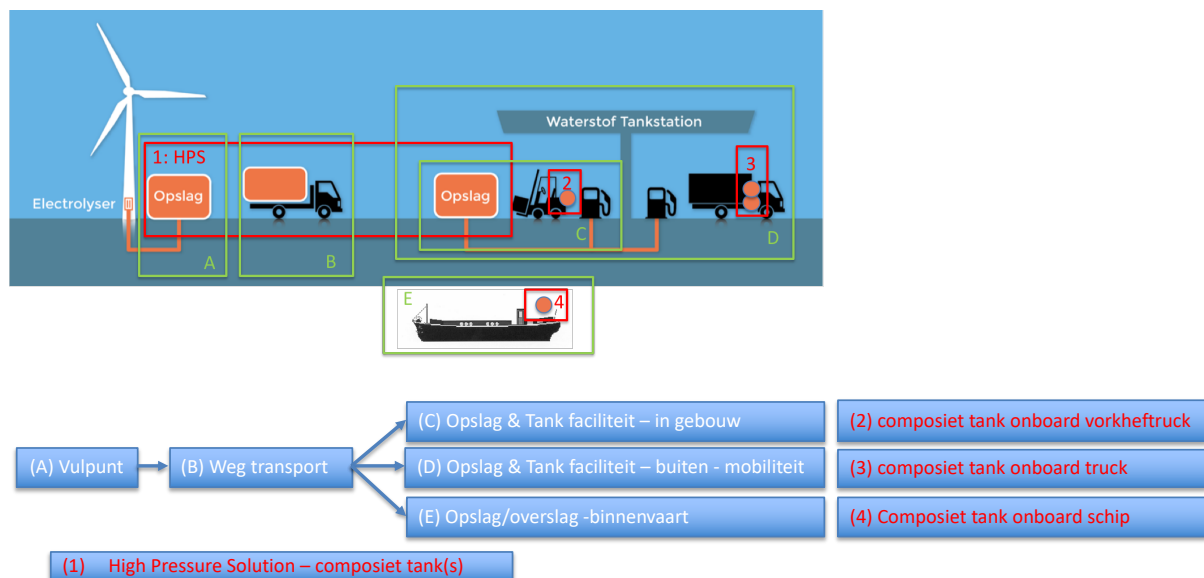
Management samenvatting

De vraagstelling onderliggend aan dit onderzoek komt gesimplificeerd neer op: “wat is de meest kosteneffectieve wijze om duurzame waterstof geproduceerd in een windturbine beschikbaar te stellen in een vorkheftruck, vrachtwagen of schip”. Dit optimalisatie vraagstuk wordt naast de rekenkundige optimalisatie in hoge mate beïnvloed door complexe wet en regelgeving.

Bij transport tussen windturbine en toepassing over de weg geldt voor de rekenkundige optimalisatie: hoe eerder in de keten waterstof op een zo'n hoog mogelijk druk, op een zo laag mogelijke temperatuur, hoe kosten efficiënter de keten. Daarbij dient de waterstof bij voorkeur niet meer overgeheveld te worden van een tank naar een andere tank om kosten te besparen. Dit laatste lijkt te pleiten voor een systeem waarbij de vaten verwisselbaar zijn op de toepassing. In de praktijk spelen omvang van het wisselvat, handeling (tijd en gemak), veiligheid, wet en regelgeving een belangrijke rol. Vooral nog mag vooral bij de scheepvaart verwacht worden dat de tanks verwisseld worden, bij voertuigtoepassingen lijkt tanken zoals we nu ook kennen de meest logische vorm.

In deze studie is al snel omwille van beschikbaar budget en complexiteit, het vraagstuk iets meer ingekaderd. Dit door niet alle stukken van de keten even diep te analyseren en sneller richting een praktisch toepassing te werken.

In de figuur hieronder is de keten visueel en schematisch geprobeerd weer te geven. De rood omkaderde delen slaan terug op het technisch systeem (& certificering eisen) waarbij hogedruk composiet vaten (Type IV) het centrale deel vormen. De groene kaders volgen de algemene wet en regelgeving voor die stukken van de keten. De studie (en rapportage) volgt zoveel mogelijk de keten, waarbij de nadruk is gelegd van windturbine (A) via (B) naar waterstoftankstations voor mobiliteit (D).



Belangrijkste bevindingen in de studie zijn

- **Composiet vaten voor “Onboard” versus transportvaten waterstof**
 - Hogedrukvaten voor toepassing bij voertuigen ondergaan een zware certificering voordat ze onboard (dus onderdeel van het voertuig, ten behoeve van de voorstuwing van het voertuig, 2 & 3 in bovenstaand schema) gebruikt mogen worden op een werkdruk van 700 bar, met een veiligheidsfactor van 2,1 ten opzichte van de zogenaamde burstpressure (1500 bar).

- Hogedrukvaten voor wegtransport toepassing (B in bovenstaand schema) kennen een minder complexe certificering. In het algemeen wordt bij die vaten een veiligheidsfactor van 3 ten opzichte van de zogenaamde burstpressure (1500 bar) aangehouden. Dat betekent dat bij gebruik van exact dezelfde tank die onboard gecertificeerd wordt (700 bar) voor vervoer over de weg alleen op 500 bar gebruikt mag worden.
- Indien voor wegtransport toepassing dezelfde certificeringseisen zouden gelden als bij onboard toepassingen en daardoor de veiligheidsfactor naar 2,1 ipv 3 zou kunnen, dan kan hetzelfde type vat als nu op 700 bar ipv 500 bar gebruikt worden. Gevolg daarvan zou de kostprijs door de keten heen stevig kunnen dalen:
 - De opslagcapaciteit voor vrijwel dezelfde investering neemt met 28% toe. De kostprijs van opslagcapaciteit in de keten is zeer relevant met het oog op de noodzakelijke buffer om de wisselende productie van de windturbine op te vangen.
 - Er kan met deze druk per transport beweging 28% meer waterstof worden meegenomen. Dat leidt tot significante (28%) lagere transportkosten.
 - Lagere investeringskosten en/of dan wel hogere capaciteit, voor het tankstation.
- Dezelfde tank voor beide toepassingen (transport en onboard) zou waarschijnlijk technisch kunnen mits er voldaan kan worden aan beide normen en een keuring voor beide wordt uitgevoerd. RDW is bereid om hierover in gesprek te gaan om te kijken wat de mogelijkheden zijn. RDW kan op dit moment niet beoordelen of er aan beide regelingen tegelijkertijd voldaan kan worden. Gezien het potentieel in kostenreductie in de keten verdient dit vraagstuk nader onderzoek.
- Uit de studie is een standaard eenheid een uitwisselbaar tanksysteem voortgekomen. Een bundel van op de markt beschikbare composiet IV 500 bar tanks die tezamen een blok (“HPS”) vormen die met een vorkheftruck te verplaatsen is.
- Uit simulaties blijkt dat het mogelijk is om een standaard hogedruk opslageenheid 4 dagen op bijna -40° Celsius te houden. Dit kan worden bereikt door isolatie en het opvullen van de ruimtes tussen de vaten met koelmateriaal. De kosten van deze aanpassing is beperkt. Het voordeel van deze aanpassing in potentie groot.
 - De opslagcapaciteit neemt met 25% toe tegen beperkte kosten
 - De transportkosten nemen met 15% af omdat er meer getransporteerd kan worden
 - Lagere kosten bij het tankstation doordat waterstof reeds gekoeld is.
- Waterstof opslaan bij lagere temperaturen dan -50° Celsius is meer onderzoek vereist naar nieuwe binnenlagen voor de hogedrukvaten omdat deze nu last krijgen van embrittlement.
- Het gebruik van dezelfde composiet tanks bij onboard storage bij een vrachtwagen (en/of vorkheftrucks) als bij het transport van waterstof is minder voor de hand liggend dan verondersteld bij aanvang van de studie. Bij onboard storage van waterstof is er de keuze tussen 350 of 700 bar opslagvaten. Vanwege de druk dient de wanddikte twee keer zo dik te zijn. Daarmee wordt het vat twee keer zo zwaar en in principe twee keer zo duur als een 350 bar vat met dezelfde opslagcapaciteit. Tanken van 700 bar brengt ook meer kosten met zich mee. 700 bar onboard opslagcapaciteit is alleen rendabel als ruimte op het voertuig de limiterende factor is (bijvoorbeeld personenauto's). Is ruimte niet de limiterende factor dan heeft 350 bar vanuit voertuiggewicht en/of kosten de voorkeur. Bij transport van waterstof over de weg is ruimte de belangrijkste kostenfactor. Hoe meer waterstof binnen de maximale omvang van een trailer meegenomen kan worden, des te goedkoper het transport.

- Om waterstof met de internationaal vastgestelde snelheidsnorm (1,6 kg/min) veilig te tanken bij een 700 bar type IV-tank, dient dit waterstof met -40° Celsius getankt te worden. Deze koeling is nodig omdat waterstof bij expansie warmte genereert (omgekeerd joule-thomson effect). De temperatuur in de tank kan dan zo hoog oplopen dat deze beschadigd. Het blijkt dat naarmate de onboard tank(s) kleiner worden, dit risico afneemt. Het gebruik van meerdere kleinere tanks biedt de waarschijnlijk de mogelijkheid om de tanksnelheid te verhogen zonder extra koeling. Dit kan met name relevant zijn bij vrachtvoertuigen omdat daar een tanksnelheid van 7,6 kg/min of meer wenselijk is om een vergelijkbare tanksnelheid te halen als bij dieselvoertuigen.
- Gezien de beperkte ruimte in een voertuig is het handiger om met meerdere kleine vaten te werken die makkelijker in het voertuig weg te werken zijn dan met enkele grote vaten. Het meest duidelijke voorbeeld hierin betreffen personenauto's. De Toyota Mirai en de Hyundai Nexi hebben beide meerdere (respectievelijk 2 en 3) kleine tanks in plaats van 1 grote waardoor ze beter in het voertuig in te passen zijn. Voor de kostprijs per kg opslag maakt het voor composietvaten nauwelijks uit of er enkele kleine vaten dan wel 1 groot vat wordt gebruikt. Echter voor de zogenaamde "balance of plant" ventielen, kleppen etc. en de installatie nemen de kosten wel toe. Bij vrachtwagens speelt in beperkte mate hetzelfde vraagstuk. Logischerwijs worden de vaten bij voorkeur geplaatst tussen de wielen zoals nu ook het geval met de dieseltanks. Grote waterstoftanks passen daar echter niet en derhalve wordt nu (nog) vaak gekozen voor plaatsing achter de cabine en/of bovenop de wagen. Uit een studie van het Amerikaanse DOE (Department Of Energy) blijkt dat, indien er sprake is van massaproductie de extrakosten bij het toepassen van kleinere tanks beperkt kan blijven.
 - Conclusie voor deze studie: de afweging tussen veel kleine of een paar grote tanks vergt meer onderzoek dan binnen het budget van dit project mogelijk was en lijkt qua eventuele praktijk toepassing nog ver weg omdat groot serie productie een minimale vereiste is en op dit moment zelfs slechts zeer beperkt gecertificeerde tanks beschikbaar zijn.

1. Aanleiding, Doelstelling & Werkwijze

1.1. Aanleiding

Uit de systeemintegratie studie “Wind to Wheel” uit 2017 bleek dat op korte termijn waterstof, met elektrolyse geïntegreerd in windturbines, tegen een aantrekkelijke prijs geproduceerd kan worden. Tegelijkertijd is het duidelijk dat door massaproductie de kostprijs van brandstofcellen zal dalen. Deze twee bewegingen tezamen zorgen ervoor dat het rijden op waterstof als vervanger van diesel snel rendabel zal worden.

HYGRO, in samenwerking met betrokkenen bij deze studie en nog vele andere partijen, is druk bezig met de realisatie van het project Duwaal wind tot wiel. In dit project zal in 2019 de eerste “waterstofmolen” gerealiseerd worden in de Wieringermeer waarbij het duurzaam te produceren waterstof door de provincie Noord-Holland gedistribueerd zal worden naar verschillende tankstations alwaar er vrachtwagen op zullen gaan rijden. “Normaal” gesproken maakt de opslag en distributie tussen productie en tankstation een aanzienlijk onderdeel uit van de kostprijs aan de pomp. Deze kosten worden o.a. veroorzaakt omdat bij de “klassieke” opzet van de keten van productie naar pomp, waterstof enkele keren van tank, druk en temperatuur verwisselt. Aanleiding van deze studie was dan ook de veronderstelling dat door verschillende stukken van de keten te integreren en standaardiseren de kostprijs van dit deel van de keten stevig omlaag moet kunnen.

1.2. Doelstelling

Hoe lager de kostprijs van de opslag, transport en distributie van waterstof van wind naar de eindgebruiker, hoe sneller de waterstofmarkt opgang komt. Doel van het project was het zoeken en optimaliseren van een geïntegreerde en gestandaardiseerde oplossing voor transport, opslag en distributie-oplossing om de kostprijs per kg waterstof van windturbine naar verschillende eindgebruikers zo laag mogelijk te maken.

1.3. Werkwijze

De studie is gestart met het inventariseren van de eisen van de verschillende gebruikers en wettelijke bepalingen. Vervolgens is er gekeken in welke mate een waterstofopslag (tank) uitwisselbaar is in de keten in plaats van waterstof van de ene tank naar de andere tank overhevelen, om op die manier kosten te besparen. Er is tevens gekeken in welke mate er 1 gestandaardiseerde tank mogelijk is (i.v.m. kostenreductie bij massaproductie) die op elke plek in de keten toegepast kan worden. Er is vervolgens gezocht naar een bouwblok (combinatie van opslagvaten) voor een slim en veilig logistiek concept dat vanuit de windturbine de verbinding legt met de verschillende gebruikers.

Tijdens het onderzoek bleek de wet en regelgeving zeer complex te zijn, veel meer onderzoek tijd op te eisen dan verwacht en op alle facetten van het onderzoek impact te hebben. Als gevolg daarvan is er minder gezocht vanuit de *ideale* situatie. Dus niet zoeken naar de beste omvang van een composiet tank (Type IV), in relatie tot ideale werkdruk, temperatuur en Balance of plant en uitwisselbaarheid bij verschillende toepassingen. Maar meer zoeken vanuit wat er beschikbaar en bekend is. Er zijn uitgebreide analyses gedaan naar het ideale bouwblok (combinatie van opslagvaten) voor een slim en veilig logistiek op basis van beschikbare tanks. Vervolgens zijn er simulaties gedaan om te onderzoeken in welke mate deze vaten gekoeld kunnen blijven met behulp van koelmateriaal en isolatie.

1.4. Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

Deze TKI systeemintegratiestudie "High Pressure integrated storage, transport & distribution Solution" past zeer goed in de achterliggende gedachte van de regeling. Namelijk dat een betere integratie zowel binnen het energiesysteem als op de verbindingen met andere sectoren, bijdraagt aan oplossingen om het energiesysteem duurzamer te maken en tegelijkertijd betrouwbaar en betaalbaar te houden. In deze studie wordt de technische en economische verbinding tussen verschillende sectoren gelegd die tot op heden niet op deze wijze met elkaar zijn verbonden. Daarbij focust de studie zich op de laagste mogelijke kostprijs van die verbinding. Daardoor draagt deze studie bij aan het bereiken van de nationale en Europese doelstellingen in 2030 en 2050 met zo laag mogelijk integrale of maatschappelijke kosten.

Daarbij past dit onderzoek naadloos in de beoogde programmalijn energieopslag omdat de studie zich focust op een geïntegreerde oplossing voor energieopslag in de vorm van waterstof. In de studie is niet alleen aandacht voor de technische aspecten, maar juist ook op economische en juridisch-institutionele aspecten zoals het technische levensvatbaarheid en oplossend vermogen, inbedding van de technologie in de energiewaardeketen en in verschillende sectoren. De focus in de studie ligt op de verlaging van de kosten om het economische verdienmodel van de waardeketen wind-waterstof-transport toepassingen te verbeteren. Cruciaal verder in de studie is de wet en regelgeving met betrekking tot waterstoftechnologie.

1.5. Beschrijving deelnemers

HYGRO is de trekker van het consortium van deze studie. HYGRO richt zich op de organisatie van de waterstofketen van windturbine naar toepassing. In de regio Noord-Holland is zij trekker van het project Duwaal een samenwerkingsverband waarin de volledige keten van wind tot wiel wordt gerealiseerd. In dit project zal de eerste waterstofmolen ter wereld gerealiseerd worden waarbij de waterstof geproduceerd zal worden middels een elektrolyse systeem geïntegreerd in de windturbine. De duurzaam geproduceerde waterstof zal in de regio naar verschillende tankstations gedistribueerd worden al waar verschillende voertuigen erop zullen gaan rijden. Verschillende van de tankstations zijn van de firma GP Groot. HVC & GP Groot hebben beiden een grote vloot met vrachtwagens. Het is de bedoeling dat deze vloot vervangen zal worden door waterstofvoertuigen (Etruck). Deze demonstratie moet vooral laten zien dat de keten met bestaande technieken betrouwbaar kan werken. Dit project moet de opmaat worden voor het aanleveren aan de tankstations van GP Groot in de regio en het verduurzamen van de vrachtwagenvloot van GP Groot en HVC. Daarbij zal GP Groot, zoals nu ook het geval het de huidige brandstoffen, de waterstofaanvoer in eigen beheer doen.

Door de aanwezigheid van het DuWaAl project kan Toyota Material Handling enkele waterstof vorkheftrucks in hetzelfde gebied bij klanten gaan inzetten. Voor uitbreiding van die markt is het echter van belang om de waterstof tegen een scherpe prijs binnen de bedrijfsgebouwen van de gebruiker te brengen.

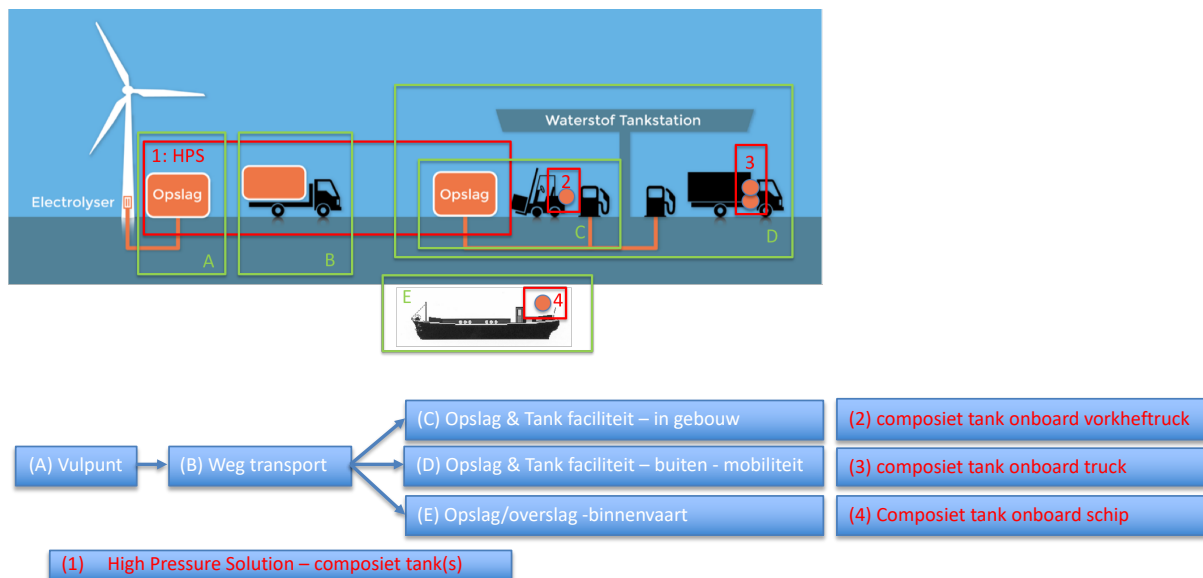
De firma Schipco ontwikkelt op dit moment schepen om CO₂ te gaan transporteren tussen Alkmaar en Middenmeer, deze schepen zullen met een brandstofcel worden uitgerust voor de aandrijving. Deze schepen zullen meerdere keren per week aanmeren vlak bij de windturbines/waterstofproductie.

Voor de firma Etrucks kan naast de goedkopere aanvoer van waterstof, belangrijk om waterstof trucks rendabel te maken, de in deze studie te vinden technische oplossing ook als standaardproduct op haar voertuigen inbouwen. Waterstofopslag op de vrachtwagen is momenteel een van de duurdere componenten van het totale waterstofsysteem. Alle betrokken partijen hebben op verschillende manieren belang bij om de huidige hoge kosten tussen productie en toepassing significant te verlagen.

Alle partijen brengen hun kennis en ervaring in waarbij HYGRO de overkoepelende analyses maakt en waarbij Composite agency, Etrucks en Schipco deel analyses zullen doen en GP Groot en Toyota vooral de rol van gebruiker zullen innemen. De NEN levert kennis van normen en, op basis van inventarisatie, van wet en regelgeving aan en zal helpen een strategie uit te zetten te komen tot nieuwe normen en het doen van aanbevelingen op basis van de inventarisatie op het gebied van wet- en regelgeving, die mogelijk nodig zijn naar aanleiding van dit project.

2. Resultaten

In het figuur hieronder is de keten visueel en schematisch geprobeerd weer te geven. De rood omkaderde delen slaan terug op het technisch systeem (& certificering eisen) waarbij hogedruk composiet vaten (Type IV) het centrale deel vormen. De groene kaders volgen de algemene wet en regelgeving voor die stukken van de keten. De studie (en rapportage) volgt zoveel mogelijk de keten, waarbij de uiteindelijke nadruk is gelegd van windturbine (A) via (B) naar waterstoftankstations voor mobiliteit (D).

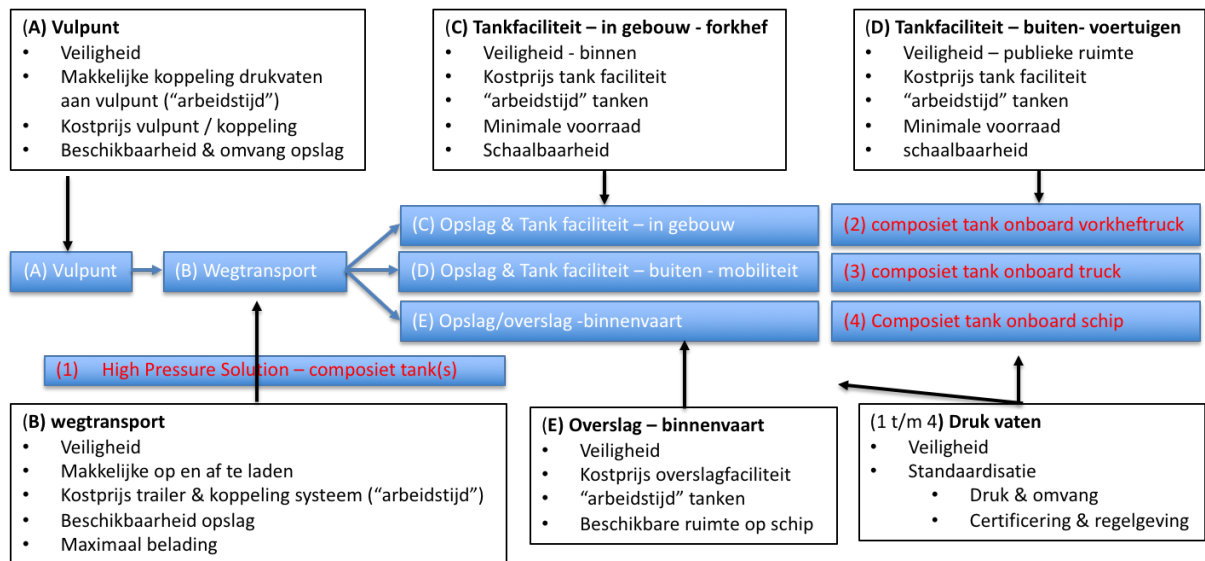


2.1. Gebruikerseisen

Doelstelling is om de eindgebruiker de laagst mogelijke kostprijs voor de waterstof te kunnen bieden met hetzelfde gemak waarmee ze reeds gewend is nu zijn of haar toepassing van energie te voorzien. Dat mag echter nooit ten koste gaan van de veiligheid en dat staat steeds bovenaan als eerste eis. Veiligheid kent vele aspecten, waar onder de plek van handeling, de mate van noodzaak tot training van de gebruiker, de hoeveelheid waterstof, druk temperatuur etc. Zoals verderop blijkt uit deze rapportage is wat veiligheid betreft er al zeer veel regelgeving van toepassing. Het is met name een grote zoektocht welke regelgeving exact, en hoe deze toe te passen.

Arbeidstijd

De relatie gebruikerseisen en kostprijs van de waterstof uit zich vooral in tijd. Tijd om de waterstof opslagvaten aan en af te koppelen bij het vulpunt, c.q. tankstation, tijd om de opslagvaten van en op een trailer te laden, transporttijd, tankwisseltijd en/of tanktijd.



Het optimaliseren in de keten is in veel gevallen een afweging tussen kapitaalslasten en arbeidskosten. Hoe de afweging tussen beide is, kan sterk afhangen van het moment in de tijd in de ontwikkeling van de keten.

- Bij ontwikkeling van de keten zal de aanpak in de keten wijzigen door wijzigende schaal & volumes. Handling kosten lijken erg hoog als bijvoorbeeld hogedruk vaten van en op een trailer gezet moeten worden. Het lijkt intelligenter om een gehele trailer met vaten om te wisselen. Dat betekent dat bij een tankstation er steeds een hele grote voorraad waterstof neergezet wordt ten opzichte van, zeker in het begin van de ontwikkeling van de keten, een beperkte vraag naar waterstof. Gevolg daarvan is dat de kostprijs van de opslag voorraad zeer hoog wordt per kg verkochte waterstof. De opslagkosten lopen snel op waardoor het al heel snel goedkoper wordt met kleine eenheden te werken die meer handlingkosten mee brengen. Schaalbaarheid van de voorraad is een belangrijke parameter in deze studie
- Bij ontwikkeling van de keten zullen verschillende componenten significant goedkoper worden door seriematige productie waardoor de afweging eveneens anders zal uitpakken. Zo lijkt het snel voor te rekenen dat het goedkoper is om bij de windturbine de hogedruk vaten op de trailer niet af te laden, maar de gehele trailer om te wisselen en de vaten *terwijl ze op de trailer staan weer bij te vullen*. De praktijk is vooralsnog anders:
 - Op en afladen past prima binnen de wet en regelgeving; vullen terwijl het op de trailer laten staan voor het afvullen, leidt tot complexe veiligheids- en regelgeving afwegingen.
 - De vraag is wat de kostprijs zal worden om aan de regelgeving te voldoen en op welk moment de kostprijs daalt door seriematige productie voor die toepassing.

Het verwisselen van de waterstoftanks, in plaats van tanken, leidt bij vrachtwagens tot vergelijkbare discussies waardoor tanken een grote voorkeur heeft. Bij de scheepvaart lijkt het verwisselen van de waterstofvaten om verschillende redenen minder een probleem. Daar wordt van huis uit al gevaarlijke stoffen overslag naar het schip toegepast. Daarbij hebben de meeste schippers een eigen laad arm waarmee gewicht aan boord kan worden gehesen (bijvoorbeeld de auto van de schipper). De hoeveelheid over te zetten waterstof zal per keer groter zijn waardoor ook daarom de kosten lager liggen. Bij de binnenvaart zal eerder gekozen worden voor het uitwisselen van tanks dan het overhevelen van de waterstof naar tanks aanwezig aan boord.

Bij vorkheftrucks was het in deze studie niet meteen duidelijk wat nu de geprefereerde oplossing was. Waterstof tanken, dan wel de waterstoffles verwisselen. In de material handling business is men al jaren gewend aan het verwisselen van het energiesysteem. Het overgrote deel van de vorkheftrucks is reeds elektrisch aangedreven, meestal op basis van lood-zuur batterijen. Bij intensief gebruik van de vorkheftrucks wordt de gehele batterij verwisseld. Het verwisselen van de batterij vergt echter tijd en is een zware klus. Bij het laden van lood-zuur batterijen kan waterstof vrij komen waardoor er extra veiligheidseisen nodig zijn. De kans dat bij waterstoftanken er ongecontroleerd waterstof vrij zal komen is veel kleiner dan bij lood-zuur batterijen. Desalniettemin is men in ieder geval gewend te werken met veiligheidsmaatregelen.

Niet alleen bij elektrische vorkheftrucks is men gewend te wisselen. Bij een nog klein deel van de vorkhefpopulatie is er sprake van verwisselbare lpg-tanks. Een alternatief voor LPG en/of loodzuur batterijen is de toepassing van Li-on batterijen. Het nadeel van deze technologie lijkt te zijn dat of wel de noodzakelijke energieopslag te klein is, dan wel de laadtijd te lang.

Toyota Material Handling kwam na analyse op het volgende schema voor het toepassen van waterstof in de Material Handling sector. Uit dit schema blijkt onder welke omstandigheden waterstof de voorkeur zal krijgen. Juist als de interne logistieke operatiecomplex is en tijd een zeer belangrijke factor is, dan wel de handling zo zwaar en intensief is dat batterijen niet volstaan, geniet waterstof de voorkeur. De achterliggende veronderstelling is dat tanken in principe sneller en makkelijker is dan het verwisselen van de waterstoffles (of batterij). Zodra de factor complexiteit / tijd minder relevant is, lijkt een batterij te volstaan.



In de paragraaf aan het eind van dit hoofdstuk worden verschillende calculaties uitgewerkt om de van arbeid impact in de keten zichtbaar te maken. Daar zal ook blijken welke impact het aantal kilogram dat per keer overgeslagen en/of getransporteerd wordt op de kostprijs van waterstof heeft.

2.2. Technische eisen

De eigenschappen van waterstof en composiet bepalen grotendeels hoe de keten het slimste in te richten is. Een goed begrip van alle facetten is noodzakelijk om tot de technische eisen te komen om tot economisch optimalisatie te komen.

Temperatuur en de snelheid waarmee waterstof van druk veranderd zijn belangrijke parameters bij het overhevelen van waterstof. Door het omgekeerde Joule Thomson effect wordt waterstof zeer warm bij expansie in een lege tank. In welke mate dat gevaarlijk is, is afhankelijk van het drukverschil, snelheid, temperatuur, omvang en het materiaal van de tank.

- Om waterstoftank op 700 bar te vullen volgens de internationale standaard met een snelheid van 1,8 kg/min, dient het waterstof eerst naar -40° Celsius gekoeld worden.
- Voor het vullen van een 350 bar tank bestaat nog geen echte internationale standaard. Om een vrachtwagen met dezelfde snelheid te vullen als bij een normale dieselvrachtwagen is een minimale vulsnelheid nodig van 7,6 kg/min. Of en de mate waarin gekoeld moet worden is van verschillende factoren afhankelijk.

Het op druk brengen van waterstof is relatief duur, hoe eerder in de keten waterstof op hoge druk gebracht kan worden des te meer waarde dit toevoegt en of kosten bespaard. Die waarde en kostenbesparing zit op vele vlakken maar belangrijkste voordeel: hogedruk = opslag en kleiner volume. Opslag heeft waarde bij de vereiste flexibiliteit bij windenergie. Kleine volumes leidt tot lagere kosten bij transport over de weg. Bij een windturbine is de energie voor compressie goedkoper en wordt de compressor door schaal en inzet optimaler gebruikt dan op een tanklocatie. Als waterstof op hoge druk bij een tankstation wordt aangeleverd betekent dat er minder compressie aan die zijde nodig is waardoor het tankstation goedkoper kan worden uitgevoerd.

Het koelen van waterstof is ook relatief duur maar noodzakelijk voor het vullen van 700 bar voertuigen volgens de internationale norm en tot op zekere hoogte ook bij het vullen van 350 bar voertuigen met hoge vulsnelheid. Koude waterstof betekent tevens een hogere energiedichtheid, dus meer opslag bij hetzelfde opslagvolume en druk. De voordelen zijn dus vergelijkbaar met een hogere druk.

De hoge kosten van compressie en koelen leidt ertoe dat waterstof bij voorkeur zo min mogelijk overgeheveld moet worden, waarbij druk en temperatuur verloren gaan, in de keten om kosten te besparen. Daarbij geldt hoe eerder in de keten op druk en lager temperatuur, hoe beter de voordelen ervan benut kunnen worden.

Hogedruk vaten gemaakt van composiet, zgn type IV-tanks, zijn kostbaar omdat ze gemaakt worden van carbonvezels. Deze kosten zijn relatief, composiet tanks kennen vrijwel geen onderhoud en gaan zeer veel volledige vulcycli mee. Ten opzichte van tanks met staal is de levensduur zoveel langer dat de kosten per vulcyclus lager uitvallen. Daarbij zijn composiet tanks op dit moment in de tijd nog duur door de beperkte oplages bij productie, bij seriematige productie zal de kostprijs nog minstens kunnen halveren waardoor de aanschafkosten ten opzichte van vaten met staal dichterbij elkaar komen te liggen.

Composiet vaten zijn vervolgens per opgeslagen kg waterstof significant lichter in gewicht dan bij vaten met staal waardoor, zeer belangrijk voor zowel onboard storage als transport over de weg, de tanks niet te zwaar worden en de beperkende factor zijn voor het beoogde doel.

De hoeveelheid materiaal van een composiet tank bepaald in hoge mate de kostprijs van de tank. Het

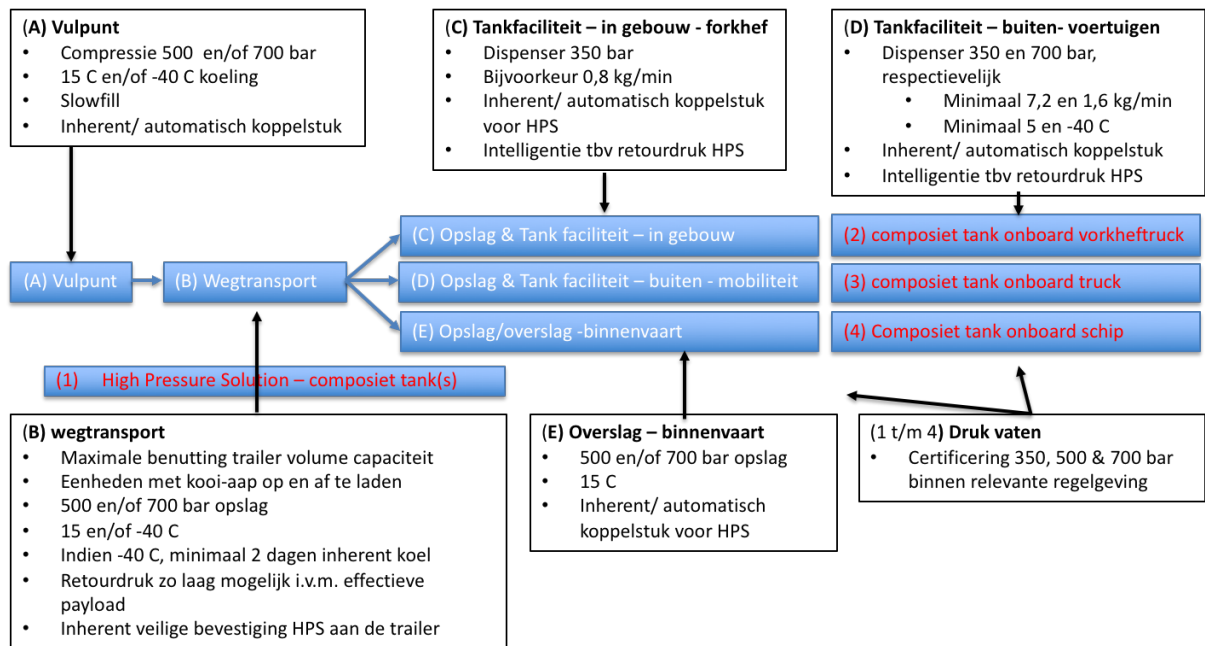
interessante van composiet vaten is dat de kostprijs in hoge mate lineair is met zowel de druk als ook het volume van de tank. Zo zal een waterstoftank van 350 bar met gelijke omvang van een 700 bar tank, slechts de helft aan winddijkt hebben, de helft van het materiaal nodig hebben en dus ongeveer



de helft in kostprijs zijn. Een waterstoftank met een twee keer zo grote diameter met dezelfde druk zal een twee keer zo grote wanddikte hebben. Gevolg daarvan is dat veel kleine tankjes die tezamen evenveel opslagcapaciteit hebben als een grote, in beide gevallen ook net zoveel materiaal (gewicht) hebben. Met andere woorden, veel kleine tankjes zijn net zo duur als een 1 grote. De enige beperking is dat de kosten bij kleine tanks wel toenemen vanwege de kosten voor de ventielen, kleppen, pijpjes etc.

Begrip van deze materie is relevant voor de keten om verschillende redenen:

- In de oorspronkelijke opzet van de studie was de veronderstelling dat dezelfde composiet tanks bij onboard storage bij een vrachtwagen (en/of vorkheftrucks) gebruikt zo kunnen worden als bij het transport van waterstof. Hoe hoger de druk, hoe lineair hoger de kostprijs van het vat. Het tanken van hogedruk waterstof kost ook meer. Hogedruk onboard opslagcapaciteit (bijv 700 bar) is alleen rendabel als ruimte op het voertuig de limiterende factor is (bijvoorbeeld personenauto's). Is ruimte niet de limiterende factor dan heeft 350 bar vanuit voertuiggewicht en/of kosten de voorkeur. Bij transport van waterstof over de weg is ruimte de belangrijkste kostenfactor. Hoe meer waterstof binnen de maximale omvang van een trailer meegenomen kan worden, des te goedkoper het transport. Het is daarom niet logisch om dezelfde vaten hier te gebruiken.
- Een kleine tank heeft minder last van de warmteontwikkeling bij het afvullen op hoge druk. Hoe groot dat effect precies is en met welke tankomvang, vulsnelheid welke temperatuur te verwachten vereist echter gedetailleerde simulaties buiten de scope van dit onderzoek.
- Bij voertuigen is er vaak een beperking van beschikbare ruimte waardoor enkele kleine tanks makkelijk zijn in te passen dan 1 grote. Dit effect is zichtbaar bij de Toyota Mirai en de Hyundai Nexa, beide hebben meerdere (respectievelijk 2 en 3) kleine tanks in plaats van 1 grote waardoor ze beter in het voertuig in te passen zijn. Bij kostprijsberekeningen van de DOE in 2016 laat men zien dat bij 700 bar vaten de meerprijs van 2 kleine tanks in plaats van 1 grote door de extra kosten van de zgn. balance of plant beperkt is. Bij vrachtwagens speelt een enigszins vergelijkbaar dilemma. Daar worden de vaten bij voorkeur geplaatst tussen de wielen zoals nu ook het geval met de dieseltanks. Grote waterstoftanks passen daar echter niet en derhalve wordt nu (nog) vaak gekozen voor plaatsing achter de cabine en/of bovenop de wagen. Of de extra kosten opwegen tegen de waarde van het kunnen plaatsen tussen de wielen zal afhankelijk zijn het gebruik van de vrachtwagen en de waarde van de te winnen ruimte. De afweging tussen veel kleine of een paar grote tanks vergt meer onderzoek over de kostenstructuur dan binnen het budget van dit project mogelijk was. Last but not least lijkt qua eventuele praktijk toepassing deze overweging nog ver weg. Massaproductie is een minimale vereiste en op dit moment zijn zelfs slechts zeer beperkt gecertificeerde tanks beschikbaar.

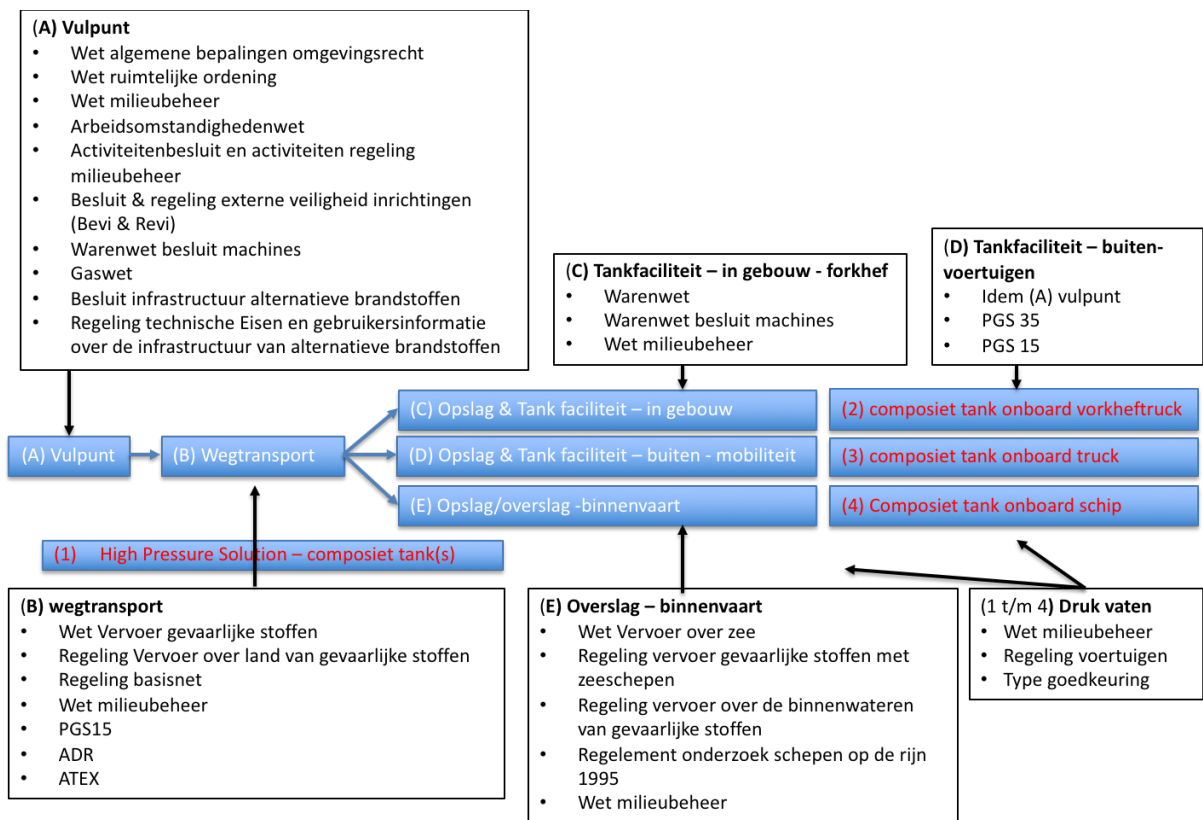


Uiteindelijk is in de studie ervanuit gegaan dat alleen de vaten tussen de windturbine en de tankstations en/of schepen uitwisselbaar zijn. Dat deze vaten gebundeld in de kleinste eenheid met een vorkheftruck (kooi-aap) op en afgeladen kunnen worden. Uitgangspunt was vervolgens een hogedruk vat van 500 bar dat commercieel beschikbaar is. Van datzelfde vat is aangenomen dat het, onder andere certificeringsomstandigheden, tevens een werkdruk van 700 bar zou kunnen hebben. De fabrikant garandeert de vaten tot -40° Celsius waardoor ook dat als uitgangspunt voor verdere simulaties is gebruikt. Daarbij komt die -40° Celsius overeen met de vereiste -40° Celsius bij de internationale standaard voor 700 bar tanken. In het bovenstaande schema zijn de uitgangspunten samengevat.

2.3. Toepasselijke wet en regelgeving

Aan de hand van het systeemoverzicht van de gehele keten is er globaal relevante wet en regelgeving in kaart gebracht. Er is een zeer brede schaal van wet en regelgeving van toepassing.

Omdat er veel verschillende aspecten een rol spelen als het gaat om het verkennen van wet en regelgeving is het lastig om een goede afbakening te maken. Dit heeft ervoor gezorgd dat er maar een klein deel van een groter complex geheel in kaart gebracht is. Hierbij is het ook een uitdaging dat relevante teksten zoals het ADR (wegtransport) erg omslachtig zijn en dit maakt het lastig de relevante informatie uit de desbetreffende teksten te filteren. Dit maakte het onderzoek erg tijdsintensief. Er is uiteindelijk voor gekozen vooral te focussen op het wegtransport (ADR) en de uitwisselbaarheid van de vaten, en dan met name de uitwisselbaarheid van de certificering, te gebruiken voor het wegtransport dan wel voor onboard toepassing.



2.4. Verdiepingsslag wet en regelgeving transport (ADR)

Het ADR geeft kaders voor het internationale vervoer van een brede reeks van gevaarlijke goederen over de weg maar is ook geharmoniseerd met de indeling voor vervoer over binnenwateren, per spoor, door de lucht en voor verpakte goederen over zee.

Het ADR bevat criteria voor gevaarindeling van gevaarlijke goederen, vervoersvoorwaarden, eisen aan de verpakkingen en tanks en eisen voor procedures voor de verzending en kenmerking van gevaarlijker goederen. In Bijlage A: Overzicht verwijzingen naar *compressed hydrogen* in de ADR wordt een globaal overzicht van de verwijzingen in de ADR gegeven. Het overzicht schetst de grote hoeveelheid eisen en bepalingen maar ook de manier waarop het ADR gelezen kan worden.

Vanuit de randvoorwaarde (een type IV composiet tank) die in het onderzoeksvoorstel geschetst wordt, is de ADR beoordeeld op verwijzingen naar de eisen voor deze specifieke type tank. In het hoofdstuk 6 van de ADR "Voorschriften voor de constructie en beproeving van verpakkingen" wordt beschreven waaraan de verpakking van gevaarlijke stoffen moet voldoen. Voor de composiet tank is na beoordeling paragraaf 6.2 "Voorschriften voor de constructie en de beproeving van drukhouders, spuitbussen, houders, klein, met gas (gaspatronen) en patronen voor brandstofcellen met vloeibaar gemaakt, brandbaar gas" van toepassing omdat het gaat om het transport van waterstof gas onder druk. In Tabel A: Lijst van Gevaarlijke Goederen hoofdstuk 3.2 van de ADR wordt aangegeven welke specificaties geldig zijn voor waterstof onder druk. Bijlage A: Overzicht verwijzingen naar *compressed hydrogen* in de ADR geeft een overzicht van de specificaties. **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** toont een lijst met normen waar momenteel naar gerefereerd wordt in de ADR, inclusief beperkingen voor toepassing. Aangezien de ADR erg lastig te lezen is en de juiste informatie zelfs door experts nauwelijks te identificeren is, is er naar alternatieve bronnen voor informatie gekeken zoals het

DeliveryHy project. Op basis van deze informatie is ISO 11119-3:2013 geïdentificeerd als relevant voor Type IV composiet tanks voor ontwerp, de constructie en eerste onderzoek en beproeving van grote UN-cilinders. Tijdens een telefoongesprek met een fabrikant van waterstof cilinders is deze bevinding bevestigd. Tevens wordt de norm EN 12245 aangegeven; 'Transportable gas cylinders - Fully wrapped composite cylinders' voorschriften voor ontworpen, geconstrueerd en beproefd voor niet-UN-drukhouders.

Relevant voor het HPS is project is de verwijzing naar onderstaande norm in de ADR:

ISO 11119-3:2013: *Gas cylinders -- Refillable composite gas cylinders and tubes -- Design, construction and testing -- Part 3: Fully wrapped fibre reinforced composite gas cylinders and tubes up to 450L with non-load-sharing metallic or non-metallic liners*. Opgesteld door Technical Committee: ISO/TC 58/SC 3 *Cylinder design*

Hiernaast worden er in het ADR (p.82) de verpakkinginstructies (P200) voor Flessen, grote cilinders, drukvaten en flessenbatterijen geschetst. Ook hierin wordt naar normen verwezen.

| Standard reference | ADR version | Pressure vessel category (ADR) and construction types | Scope of standard* Water volume | Scope of standard Working pressure (@ 15°C)/(2/3 of Ph) |
|-------------------------|-------------------|---|----------------------------------|---|
| EN 12245:2002 | 2011 | Cylinders, Types 2, 3, 4, and 5 (no liner) | Up to 450 l | No limit specified |
| EN 12245:2009 + A1:2011 | 2013 | Cylinders, Types 2, 3, 4, and 5 (no liner) | Up to 3 000 l | No limit specified |
| ISO 11119- 1:2002 | 2011 | Cylinders, Types 2 | Up to 450 l | Up to 2/3 x 65 = 43,3 MPa |
| ISO 11119- 2:2002 | 2011 | Cylinders, Types 3 | Up to 450 l | Up to 2/3 x 65 = 43,3 MPa |
| ISO 11119- 3:2002 | 2011 | Cylinders, Types 4 | Up to 450 l | Up to 2/3 x 65 = 43,3 MPa |
| ISO 11120:1999 | 2011 | Tubes, in steel (Type 1) | Greater than 150 l up to 3 000 l | No limit specified |
| ISO 11119- 1: 2012 | Not yet scheduled | Cylinders, Type 2 | Up to 450 l | No limit specified |
| ISO 11119- 2: 2012 | Not yet scheduled | Cylinders, Type 3 | Up to 450 l | No limit specified |
| ISO/FDIS 11119- 3 | Not yet scheduled | Cylinders, Type 4 | Up to 450 l | No limit specified |

In de ADR staat niet expliciet een bepaalde maximale druk of temperatuur vermeld voor de technische eenheid maar een verwijzing naar normen. Na navraag bij een leverancier van waterstof cilinders wordt aangegeven dat de werkdruk een belangrijke factor is. De werkdruk is de druk van een samengeperst gas bij een referentietemperatuur van 15 ° C in een volle gasfles. In ISO 11119-3 wordt aangegeven op basis van welke voorwaarden

de cilinder kan worden ontworpen met welke werkdruk. De norm geeft dus de ontwerpvoorwaarden aan. Er is aangegeven dat 300 bar economisch gezien een interessante werkdruk is voor het ontwerp en dat daarom deze 300 bar regulier als werkdruk wordt gebruikt. Technisch gezien is het echter mogelijk om op een hogere werkdruk te ontwerpen.

De temperatuur is een eis uit [GTR 13](#) en SAE J2601. Deze eis is gesteld in verband met de 'safety limits and performance requirements for gaseous hydrogen fuel dispensers'.

2.5. Verdiepingsslag wet en regelgeving typegoedkeuring vrachtwagens

Om HPS te kunnen realiseren is het van belang dat de voertuigen die gebruik maken van waterstof als brandstof toegelaten worden op de Europese wegen. Om toegelaten te kunnen worden wordt er een typegoedkeuring door RDW vereist.

2.5.1. Typegoedkeuring Europa

De technische harmonisatie in de EU is gebaseerd op Whole Vehicle Type-Approval System (WVTA). De wettelijke basis hiervoor is Richtlijn 2007/46/EC, die de veiligheids- en milieueisen vaststelt waaraan motorvoertuigen moeten voldoen voordat zij op de EU-markt worden gebracht.

Richtlijn 2007/46/EC verschaft het EU-kader hoe een Europese typegoedkeuringscertificering kan worden verkregen. Volgens de WVTA kan een fabrikant certificering verkrijgen voor een voertuigtype in één EU-land en deze zonder verdere tests in de gehele EU op de markt brengen. De certificering wordt afgegeven door een typegoedkeuring instantie (NL RDW) en de tests worden uitgevoerd door de aangewezen type-approval autoriteiten (in NL benoemd door de RDW, bijvoorbeeld Kiwa).

De richtlijn maakt het EU-WVTA-systeem verplicht voor alle categorieën motorvoertuigen en hun aanhangwagens.

Tanks en hun componenten worden vervolgens gecertificeerd volgens Richtlijn 79/2009 en de uitvoerende Richtlijn daarvan is EU406/2010.

Twee zinnen uit de COMMISSION REGULATION (EU) No 406/2010 ter verduidelijking van bovenstaand:

'COMMISSION REGULATION (EU) No 406/2010 of 26 April 2010 implementing Regulation (EC) No 79/2009 of the European Parliament and of the Council on type-approval of hydrogen-powered motor vehicles'

'Regulation (EC) No 79/2009 is a separate Regulation for the purposes of the Community type-approval procedure provided for by Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council of 5 September 2007 establishing a framework for the approval of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles (Framework Directive)(2)'

2.5.2. Typegoedkeuring EU en internationaal

In Europa kunnen de fabrikanten van auto's of tanks kiezen tussen de twee verordeningen voor de typegoedkeuring van hun product:

1. De EC verordening nr. 79/2009 over *typegoedkeuring van motorvoertuigen op waterstof (type-approval of hydrogen-powered motor vehicles)* en de uitvoerende Richtlijn daarvan EU406/2010.
2. Regulation nr. 134 *Uniforme voorschriften voor de goedkeuring van motorvoertuigen en onderdelen daarvan met betrekking tot de veiligheidstechnische prestaties van voertuigen op waterstofbasis (Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles and their components with regard to the safety-related performance of hydrogen fuelled vehicles)*

Een plausibele interpretatie waarom de Europese Commissie deze benadering heeft gevolgd is als volgt (geen officiële positie van de EC):

- De voorgestelde UNECE-regels zijn niet identiek aan degenen die in de EU worden toegepast, maar uit een analyse namens de Commissie komt naar voren dat zij een gelijkwaardig veiligheidsniveau bieden.
- Fabrikanten hebben de keuze om of aan de EU-specifieke of de internationaal geharmoniseerde UNECE-regels te voldoen, voor beiden is een gelijkwaardig niveau van veiligheid is gewaarborgd.
- Op het moment van het besluit is erkend dat de EU-regels mogelijkheden bieden voor meer innovatieve oplossingen dan de UNECE regulation, gebaseerd op de huidige status van GTR #13 voornamelijk op het gebied van materiaalkwalificatie en het gebruik van *filling cycle counters* om de wanddikte te optimaliseren. Dit vertaalt zich in een verbeterde *driving range* zonder het veiligheidsniveau in gevaar te brengen.

Houd er tenslotte rekening mee dat de SAE J2579 door de EC niet wordt erkend als een internationale normalisatie-instelling volgens de Vienna Agreement en in principe niet kan worden gebruikt in de EU.

2.5.3. Typegoedkeuring EU en internationaal - juridische context

Internationaal

De wereldwijde technische harmonisatie van voertuigen wordt gereguleerd door twee internationale akkoorden: de 1958 Agreement en de 1998 parallel Agreement. Deze overeenkomsten stellen geharmoniseerde vereisten op mondiaal niveau vast om een hoog niveau van veiligheid, milieubescherming, energie-efficiëntie en diefstalbeveiliging te waarborgen. Beide akkoorden helpen bestaande technische handelsbelemmeringen weg te nemen en het ontstaan van nieuwe te voorkomen. De betrokkenheid van de EU maakt gemakkelijke toegang tot niet-EU-markten voor fabrikanten mogelijk.

1958 agreement

Dit akkoord over de technische harmonisatie van voertuigen werd geïntroduceerd door de United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Het akkoord biedt het wettelijke en bestuurlijke kader voor het opstellen van internationale UN Regulations die van toepassing zijn onder EU-wetgeving met uniforme:

- prestatiegerichte testvoorzieningen
- administratieve procedures voor het verlenen van typegoedkeuringen
- conformiteit van de productie
- wederzijdse erkenning van de typegoedkeuringen die door de contractpartijen zijn verleend.

The 'parallel' 1998 Agreement

De 'parallel' 1998 Agreement is van toepassing parallel aan de 1958 agreement. Het doel ervan is om het proces van internationale harmonisatie verder te verbeteren door de ontwikkeling van wereldwijde technische voorschriften (Global Technical Regulations, GTR). Het belangrijkste verschil is dat het parallelle akkoord niet voorziet in de wederzijdse erkenning van goedkeuringen die worden verleend op basis van wereldwijde technische voorschriften.

Verwijzingen in de GTR #13 naar Verordeningen, Richtlijnen en normen op het gebied van storage systems

(a) *National regulations and directives:*

- (a) China – Regulation on Safety Supervision for Special Equipment;
- (b) China – Regulation on Safety Supervision for Gas Cylinder;

- (c) Japan – JARI S001(2004) Technical Standard for Containers of Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Devices;
 - (d) Japan – JARI S002(2004) Technical Standard for Components of Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Devices;
 - (e) Japan – KHK 0128(2010) Technical Standard for Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Containers with Maximum Filling Pressure up to 70MPa;
 - (f) Korea – High Pressure Gas Safety Control Law;
 - (g) United States – FMVSS 304 - Compressed Natural Gas fuel Container Integrity;
 - (h) European Union – Regulation 406/2010 implementing EC Regulation 79/2009;
 - (i) China – QC/T 816-2209 Hydrogen supplying and refuelling vehicles – specifications.
- (b) *National and International standards:*
- (a) CSA B51 Part 2 – High-pressure cylinders for the on-board storage of natural gas and hydrogen as fuels for automotive vehicles;
 - (b) CSA NGV2-2000 – Basic Requirements for Compressed Natural Gas Vehicle (NGV) Fuel Containers;
 - (c) CSA TPRD-1-2009 – Pressure Relief Devices For Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Containers;
 - (d) CSA HGV 3.1-2011 – Fuel System Component for Hydrogen Gas Power Vehicles (Draft) ;
 - (e) ISO 13985:2006 – Liquid Hydrogen – Land Vehicle Fuel Tanks;
 - (f) ISO 15869:2009 – Gaseous Hydrogen and Hydrogen Blends – Land Vehicle Fuel Tanks (Technical Specification) ;
 - (g) SAE J2579 – Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles.

Figuur 1: Existing Regulations, Directives, and International Standards - Storage systems (Bron: Global technical regulation No. 13: Global technical regulation on hydrogen and fuel cell vehicles)

Relevant voor het HPS is project is de verwijzing naar onderstaande norm in de GTR #13:

- ISO/TS 15869:2009: *Gaseous hydrogen and hydrogen blends -- Land vehicle fuel tanks.*
Opgesteld door Technical Committee: ISO/TC 197 *Hydrogen technologies*

Zoals in Figuur 1 te vinden wordt er in de internationale wetgeving verwezen naar ISO/TS 15869:2009. Deze norm verwijst wederom naar Type 4 composiet tanks die als scope van het project benoemd worden.

2.6. Verdiepingsslag wet en regelgeving vorkheftruck en scheepvaart eindgebruik.

In het kader van dit onderzoek is er veel tijd besteed aan het in kaart brengen van de normen en richtlijnen voor transport en de typegoedkeuring waardoor weinig tijd over was om de details voor vorkheftrucks en de scheepvaart uit te zoeken. Hierdoor wordt er een kort globale schets gegeven van de wettelijke kaders als aanleiding voor nader onderzoek.

2.6.1. Vorkheftrucks

Een vorkheftruck valt niet onder de type approval maar valt onder de Machinerichtlijn. Daarnaast dient rekening te worden gehouden met de TPED. Hier moet verder naar gekeken worden om precies te bepalen waaraan voldaan moet worden. Echter is dit binnen de gegeven tijd niet mogelijk geweest. De richtlijn Transportable Pressure Equipment Directive (TPED) is een Europese richtlijn (2010/35/ EU) die van toepassing is op fabrikanten, geautoriseerde vertegenwoordigers, importeurs, distributeurs, exploitanten en eigenaars van bepaalde soorten vervoerbare drukapparatuur die wordt gebruikt voor het vervoer van gevaarlijke goederen over de weg, spoor en binnenvaart. TPED is van toepassing voor cilinders, bundels van cilinders, buizen en drukvaten. Het omvat ook tanks die worden gebruikt voor ADR-gassen zoals afneembare tanks tankcontainers, tanks van tankvoertuigen, tanks van ketelwagens, tanks van batterijwagens en MEGC's. De richtlijn bepaalt welke apparatuur moet worden onderzocht door een aangemelde instantie. Er zijn ook bepaalde methoden voor conformiteitsbeoordeling, afhankelijk van het type apparatuur. Dit is gebaseerd op de bepalingen in de ADR.

2.6.2. Scheepsvaart

Voor binnenvaartschepen geldt in Europa de volgende technische wet- en regelgeving:

- Europese Richtlijn 2006/87
- Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn
- ADN (reglement voor het vervoer van gevaarlijke stoffen per binnenvaartschip)
- Regels van een klassenbureau (voor bepaalde categorieën schepen)

Het technische deel van de bovenste twee wordt per 8 oktober van dit jaar vervangen door de ES-TRIN 2019. In dit document staat op p. 41 in het hoofdstuk Article 8.05: Fuel tanks, pipes and accessories de eisen voor tanks vermeld. Echter is het belangrijk om dat er sprake is van vloeibare brandstoffen en niet gas.

In genoemde reglementen is vermeld dat er geen brandstoffen gebruikt mogen worden met een vlampunt onder de 55 graden. De enige uitzondering hierop is LNG, dat sinds enkele jaren als brandstof toegelaten is. Indien een andere brandstof met een vlampunt onder de 55 graden gebruikt gaat worden, zal hier in de betreffende comités waar deze regelgeving opgesteld wordt een ontheffing voor aangevraagd moeten worden.

De procedures hiervoor liggen in de diverse reglementen vast. Een ontheffing dient per schip aangevraagd te worden door het land dat het schip zal certificeren. In de praktijk is het klassenbureau die dit regelt, en met het betreffende land voorbereid. De doorlooptijd van een ontheffingsaanvraag in de internationale comités is een klein jaar voor de EU2006/87, en daarna eenzelfde periode voor het ADN (indien dit van toepassing is).

2.7. Voorlopig ontwerp HPS

Tezamen met GP Groot en Schipco is nagedacht over de verschillende logistieke concepten. Zoals reeds toegelicht in de paragraaf voor gebruikerseisen is er steeds een afweging te maken tussen de handling en de opslagkosten. Beide zijn echter ook afhankelijk van de omvang van de veronderstelde opslageenheid waarmee wordt gewerkt. De ideale opslageenheid is mede afhankelijke de hoeveelheid waterstof gebruik per dag per locatie omdat de tijdsduur van de opslag medebepalend is voor de kostprijs van de waterstof. Omdat de studie zocht naar een zo gestandaardiseerd mogelijke oplossing voor iedere toepassing, waren er in feite twee extremen te benoemen.

- 1) Het afleveren van een of meerdere kleine tankjes waterstof voor gebruik bij heftrucks
- 2) Het afleveren van een volledige trailer met waterstof bij een tankstation met een zeer hoog waterstof verbruik per dag.

Er zijn uiteindelijk 3 varianten uitgewerkt die tussen beide inliggen:

- I. **Variant Cartridge:** De gedachte is om een systeem te ontwikkelen dat functioneert zoals cartridges van printers uitgewisseld worden. Initieel was de gedachte om dit vanuit het kleinst mogelijke niveau te doen, dus met cartridges die uitwisselbaar zijn met een vorkheftruck. Dit spoor is verlaten nadat bleek dat dit vanuit de markt waarschijnlijk niet als een oplossing wordt gezien. Daarbij ontstaan er veel complexe vragen rondom regelgeving, veiligheid en certificering. Uiteindelijk is er wel een variant cartridges uitgewerkt, maar dan op basis van grote flessen. Met deze mogelijkheid is de trailer qua ruimte en laadoppervlak het best benut. Een rij flessen is aan elkaar gekoppeld en zo'n cartridge wordt afgeleverd bij de ontvanger. De rij flessen staat op de trailer in een aansluiting en komt bij de klant ook weer in een aansluiting te staan. Hiermee kan ook de vraag bij de klant optimaal worden beantwoord. De afgeleverde hoeveelheid kan variëren van één fles tot een hele trailer. Nadeel is dat iedere rij flessen dus een eigen aansluiting op de trailer heeft. Dit heeft een kostenverhogend effect. Ook is het lossen per rij flessen een tijdrovende zaak waarmee de voordelen eigenlijk teniet worden gedaan.
- II. **Variant europallet "HPS":** Een trailer met losse secties met de omvang van ongeveer een europallet waarin een bundel flessen geplaatst kunnen worden. De trailer met de losse secties is bedoeld om de af te leveren hoeveelheid iets te vergroten en het aantal aansluitingen op de trailer te verminderen. Als uitgangspunt voor de dimensionering is gekozen voor een commercieel beschikbare tank. Dankzij de vergelijkbare europallet maten zijn de blokken met standaard vorkheftrucks te verplaatsen. Echter ook hier geldt dat de "handling" van de secties nog steeds veel tijd in beslag neemt en dat die kosten alleen te accepteren zijn als het de opslagtijd bij de gebruiker beperkt houdt. De bundelflessen uit deze variant wordt verder als eenheid "HPS" genoemd.
- III. **Variant gebundelde europallet "HPS4".** Het is mogelijk om de standaard HPS blokken nog binnen de wettelijke afmetingen en beschikbare ruimte op een trailer te bundelen. Zo vormen 4 HPS-systemen tezamen een HPS4 blok.

Er is nog geen definitief besluit genomen over de totale configuratie bij aanvang van het project Duwaal. Gezien de wet en regelgeving en kosten van vullen op een trailer zal daar voorlopig toch van worden afgezien. Er zal in ieder geval gestart worden met de HPS omvang zoals aangenomen in deze studie. De exacte samenstelling van het totale systeem voor Duwaal zal nog nader bepaald moeten worden op basis van de exacte hoeveelheid tankstations waarmee te starten en de verwachte omzet per tankstation. Omdat de gebruikers regionaal actief zijn voor verschillende gemeenten zou het kunnen lonen om te starten met een grote spreiding van het aantal tankpunten met een relatief beperkte voorraad. Het voordeel is dat er meer andere gebruikers aangetrokken kunnen worden door de aanwezige vulpunten wat de markt sneller opgang kan brengen.

2.8. Koeling HPS

Zoals eerder beschreven in deze rapportage, om een hogedruk waterstoftank snel te vullen dient de waterstof koud aangeboden te worden. Bij het vullen op 700 bar is dat zelfs -40° Celsius. De kosten voor een klassiek waterstof tankstation bestaat grotendeels uit drie componenten:

- Compressie
- Koeling

- opslag

Waterstof op hogedruk en lage temperatuur biedt tevens opslagcapaciteit binnen een klein volume. Dat levert kostenbesparingen bij de transport en handling van waterstof. Daarbij kan comprimeren en koelen bij de windturbine goedkoper plaatsvinden doordat de installatie daar effectiever (meer draaiuren) ingezet kan worden met lagere energiekosten. Voor deze studie was het dus interessant om te onderzoeken of het mogelijk is om waterstof op lage temperatuur te vervoeren van de windturbine naar de eindgebruiker.

Composite Agency gespecialiseerd in chemisch-thermisch-mechanische simulatie en analyse van toepassingen op basis van polymeren, heeft in deze studie met haar CheFEM-proloog/ Abaqus FEA-software pakket simulaties uitgevoerd.

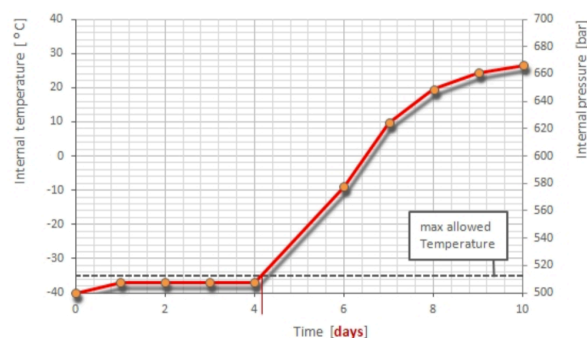
Basis vraagstelling: hoe snel warmt een standaard HPS-eenheid op, onder warme buitencondities (een constante buitenkant temperatuur van +40° C) en bij verschillende strategieën om waterstof koud te houden.

Composite Agency heeft in eerste instantie gekeken naar hoe koud daadwerkelijk waterstof opgeslagen kan worden in relatie tot de veiligheid van de hogedruk flessen. Hoe kouder de waterstof opgeslagen kan worden, hoe hoger dichtheid. Echter bij de huidige generatie composiet flessen (Type IV) zit een HDPE-binnenlaag die ervoor moet zorgen dat waterstof niet diffundeert door de wand van de fles. Bij temperaturen onder de -50° Celsius treedt er embrittlement op waardoor er barsten in deze laag kunnen ontstaan. Commercieel beschikbare vaten geven daarom een garantie op een veilige operatie tot -40°C. Lagere temperaturen zijn in theorie mogelijk maar vereisen de ontwikkeling van een nieuw type binnenlaag of een doorontwikkeling van de type IV fles naar type V waarbij er geen binnen laag meer aanwezig is maar de fleswand afdoende gasdicht is door de samenstelling van de composiet.

Om de HPS-eenheden koud te houden werden twee type strategieën gevoerd:

- 1) Isolatie van de gehele HPS-eenheid
- 2) Opvullen van de ruimtes tussen de flessen met koudemiddel.

Bij de combinatie van beide strategieën werd het beste resultaat bereikt. Het is dan mogelijk om onder



de redelijk extreem aangenomen buiten condities, de waterstof in de HPS-eenheden voor minstens 4 dagen op lage temperatuur te houden.

Voor dit vraagstuk is gekeken naar de snelheid van warmteoverdracht door de tankwand en de diktes van de tankwand bij verschillend volume of druk. Zo ontstond ook nieuwe kennis voor de consortium partners over de relatie warmteafvoer en tankomvang, erg belangrijk bij

hoge tanksnelheden:

- In een kleinere tank expandeert minder waterstof, dus minder warmteontwikkeling.
- Een kleinere tank heeft relatief meer wandoppervlak waarover de warmte verdeeld kan worden.
- Een kleinere tank heeft een dunnere wand waardoor de warmte makkelijker uit de tank zal ontsnappen.

NB Een tank die wordt gevuld naar een lagere druk heeft een dunnere wand en minder expansie. Bij lagere drukken kan dus ook sneller getankt worden.

Deze basale kennis is zeer nuttig voor het definiëren van vervolgonderzoek om de tanksnelheid bij vrachtvoertuigen te kunnen verhogen, maar vereist nog veel nader onderzoek.

2.9. Economische calculaties

Het onderzoek heeft zich met name verdiept in de keten van windturbine naar het tankstation. In deze paragraaf wordt rekenkundig inzicht gegeven van de impact van de verschillende parameters.

Omdat het de doelstelling is om de waterstof uit windenergie te winnen is opslagcapaciteit cruciaal. De kosten van opslaan van waterstof zijn direct gerelateerd aan het gemiddeld aantal dagen “verblijftijd” van de waterstof in de opslag. Hoe langer de verblijftijd, hoe hoger de kosten per kg waterstof voor de eindgebruiker. Er zit in de keten derhalve een paradox, hoe korter de opslag, hoe goedkoper de waterstof, hoe langer de waterstof opgeslagen kan worden, hoe beter omgegaan kan worden met de kenmerken van windenergie. Welke omvang de opslag dient te hebben ligt buiten de scope van dit onderzoek. De gemiddelde duur (dagen) van waterstof opslag heeft een merkbare impact op de uiteindelijke kostprijs van de te leveren kg waterstof en kan snel oplopen. Met slechts enkele dagen opslag stijgen de kosten boven de kosten van handling en transport uit. Dankzij seriematige productie mag verwacht worden dat de kosten voor composietvaten zullen halveren.

De grote impact van de kapitaalslasten van de opslag pleit voor kleinere voorraden en vaak verwisselen van de vaten. Hierdoor kan de gemiddelde opslagduur verkleind worden en dus de kosten. Echter vaker vaten verwisselen vergt meer kosten in de handling. Naast de balans in omvang van opslag noodzakelijk voor de flexibiliteit van de windturbine is er dus ook een balans met de handling kosten aan de andere kant.

Uit het onderzoek gebleken dat het mogelijk zou moeten zijn om met dezelfde hogedrukvaten die nu voor 500 bar gecertificeerd zijn, ook op 700 bar te opereren. Tevens is uit het onderzoek gebleken dat het mogelijk is om de waterstof op hogedruk en -40° Celsius op te slaan. Beide strategieën leiden ertoe dat de kosten voor opslag zullen afnemen, maar tevens zal het een impact hebben op de transport en handlingskosten.

In de onderstaande tabel is inzichtelijk gemaakt hoe de kosten zich verhouden in de keten en bij verschillende druk en temperatuur strategieën. Niet meegenomen in de tabel is dat de kosten van de vaten nog zullen halveren zodra ze in massa-geproduceerd gaan worden. Wat opvalt is dat de kosten van de hogedrukvaten voorlopig hoger zijn de arbeidskosten in de keten. Wat ook opvalt is dat een belangrijk deel van de arbeidskosten vooral afhankelijk is van de afstand die afgelegd wordt. Tevens valt op. In de exercitie is meegenomen dat voor de extra materialen bij het gekoelde transport de gemiddelde kostprijs van een HPS-systeem met 10% toe zal nemen.

| Case: | HPS 500/15 C | HPS 500/-40 C | HPS 700/15 C | HPS 700/-40 C |
|--|-------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Effective payload (%) | 100% | 125% | 128% | 157% |
| | Kosten per kg waterstof | | | |
| Windturbine | 5% | 4% | 5% | 7% |
| Basiskosten arbeid per wisselpunt; niet aantal HPS afhankelijk | 1% | 1% | 1% | 2% |
| Arbeid omwisselkosten, afhankelijk van aantal HPS | 4% | 3% | 4% | 5% |
| Arbeidskosten rijtijd trailer gem 200 km | 11% | 10% | 11% | 16% |
| Tankstation(s) (aannee 5 stuks) | 9% | 9% | 9% | 13% |
| Basiskosten arbeid per wisselpunt; niet aantal HPS afhankelijk | 5% | 5% | 5% | 8% |
| Arbeid omwisselkosten, afhankelijk van aantal HPS | 4% | 3% | 4% | 5% |
| Totaal arbeid | 25% | 23% | 25% | 35% |
| Kosten transport excl chauffeur | 9% | 8% | 9% | 12% |
| Kosten opslag, kapitaalslasten | 67% | 69% | 67% | 52% |
| Totale kosten | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Totale kosten tenopzichte van HPS500/15C | 100% | 85% | 78% | 45% |

3. Conclusie en aanbevelingen

- **Composiet vaten voor “Onboard” versus transportvaten waterstof**
 - Hogedrukvaten voor toepassing bij voertuigen ondergaan een zware certificering voordat ze onboard (dus onderdeel van het voertuig, ten behoeve van de voorstuwing van het voertuig, 2 & 3 in bovenstaand schema) gebruikt mogen worden op een werkdruk van 700 bar, met een veiligheidsfactor van 2,1 ten opzichte van de zogenaamde burstpressure (1500 bar).
 - Hogedrukvaten voor wegtransport toepassing (B in bovenstaand schema) kennen een minder complexe certificering. In het algemeen wordt bij die vaten een veiligheidsfactor van 3 ten opzichte van de zogenaamde burstpressure (1500 bar) aangehouden. Dat betekent dat bij gebruik van exact dezelfde tank die onboard gecertificeerd wordt (700 bar) voor vervoer over de weg alleen op 500 bar gebruikt mag worden.
 - Indien voor wegtransport toepassing dezelfde certificeringseisen zouden gelden als bij onboard toepassingen en daardoor de veiligheidsfactor naar 2,1 ipv 3 zou kunnen, dan kan hetzelfde type vat als nu op 700 bar ipv 500 bar gebruikt worden. Gevolg daarvan zou de kostprijs door de keten heen stevig kunnen dalen:
 - De opslagcapaciteit voor vrijwel dezelfde investering neemt met 28% toe. De kostprijs van opslagcapaciteit in de keten is zeer relevant met het oog op de noodzakelijke buffer om de wisselende productie van de windturbine op te vangen.
 - Er kan met deze druk per transport beweging 28% meer waterstof worden meegenomen. Dat leidt tot significante (28%) lagere transportkosten.
 - Lagere investeringskosten en/of dan wel hogere capaciteit, voor het tankstation.
 - Dezelfde tank voor beide toepassingen (transport en onboard) zou waarschijnlijk technisch kunnen mits er voldaan kan worden aan beide normen en een keuring voor beide wordt uitgevoerd. RDW is bereid om hierover in gesprek te gaan om te kijken wat de mogelijkheden zijn. RDW kan op dit moment niet beoordelen of er aan beide regelingen tegelijkertijd voldaan kan worden. Gezien het potentieel in kostenreductie in de keten verdient dit vraagstuk nader onderzoek.
- Uit de studie is een standaardeenheid een uitwisselbaar tanksysteem voortgekomen. Een bundel van op de markt beschikbare composiet IV 500 bar tanks die tezamen een blok (“HPS”) vormen die met een vorkheftruck te verplaatsen is.
- Uit simulaties blijkt dat het mogelijk is om een standaard hogedruk opslageenheid 4 dagen op bijna -40° Celsius te houden. Dit kan worden bereikt door isolatie en het opvullen van de ruimtes tussen de vaten met koelmateriaal. De kosten van deze aanpassing is beperkt. Het voordeel van deze aanpassing in potentie groot.
 - De opslagcapaciteit neemt met 25% toe tegen beperkte kosten
 - De transportkosten nemen met 15% af omdat er meer getransporteerd kan worden
 - Lagere kosten bij het tankstation doordat waterstof reeds gekoeld is.
- Waterstof opslaan bij lagere temperaturen dan -50° Celsius is meer onderzoek vereist naar nieuwe binnenlagen voor de hogedrukvaten omdat deze nu last krijgen van embrittlement.
- Het gebruik van dezelfde composiet tanks bij onboard storage bij een vrachtwagen (en/of vorkheftrucks) als bij het transport van waterstof is minder voor de hand liggend dan verondersteld bij aanvang van de studie. Bij onboard storage van waterstof is er de keuze tussen 350 of 700 bar opslagvaten. Vanwege de druk dient de wanddikte twee keer zo dik te

zijn. Daarmee wordt het vat twee keer zo zwaar en in principe twee keer zo duur als een 350 bar vat met dezelfde opslagcapaciteit. Tanken van 700 bar brengt ook meer kosten met zich mee. 700 bar onboard opslagcapaciteit is alleen rendabel als ruimte op het voertuig de limiterende factor is (bijvoorbeeld personenauto's). Is ruimte niet de limiterende factor dan heeft 350 bar vanuit voertuiggewicht en/of kosten de voorkeur. Bij transport van waterstof over de weg is ruimte de belangrijkste kostenfactor. Hoe meer waterstof binnen de maximale omvang van een trailer meegenomen kan worden, des te goedkoper het transport.

- Om waterstof met de internationaal vastgestelde snelheidsnorm (1,6 kg/min) veilig te tanken bij een 700 bar type IV-tank, dient dit waterstof met -40° Celsius getankt te worden. Deze koeling is nodig omdat waterstof bij expansie warmte genereert (omgekeerd joule-thomson effect). De temperatuur in de tank kan dan zo hoog oplopen dat deze beschadigd. Het blijkt dat naarmate de onboard tank(s) kleiner worden, dit risico afneemt. Het gebruik van meerdere kleinere tanks biedt de waarschijnlijk de mogelijkheid om de tanksnelheid te verhogen zonder extra koeling. Dit kan met name relevant zijn bij vrachtvoertuigen omdat daar een tanksnelheid van 7,6 kg/min of meer wenselijk is om een vergelijkbare tanksnelheid te halen als bij dieselvoertuigen.
- Gezien de beperkte ruimte in een voertuig is het handiger om met meerdere kleine vaten te werken die makkelijker in het voertuig weg te werken zijn dan met enkele grote vaten. Het meest duidelijke voorbeeld hierin betreffen personenauto's. De Toyota Mirai en de Hyundai Nexo hebben beide meerdere (respectievelijk 2 en 3) kleine tanks in plaats van 1 grote waardoor ze beter in het voertuig in te passen zijn. Voor de kostprijs per kg opslag maakt het voor composietvaten nauwelijks uit of er enkele kleine vaten dan wel 1 groot vat wordt gebruikt. Echter voor de zogenaamde "balance of plant" ventielen, kleppen etc. en de installatie nemen de kosten wel toe. Bij vrachtwagens speelt in beperkte mate hetzelfde vraagstuk. Logischerwijs worden de vaten bij voorkeur geplaatst tussen de wielen zoals nu ook het geval met de dieseltanks. Grote waterstoftanks passen daar echter niet en derhalve wordt nu (nog) vaak gekozen voor plaatsing achter de cabine en/of bovenop de wagen. Uit een studie van het Amerikaanse DOE (Department Of Energy) blijkt dat, indien er sprake is van massaproductie de extrakosten bij het toepassen van kleinere tanks beperkt kan blijven.
 - Conclusie voor deze studie: de afweging tussen veel kleine of een paar grote tanks vergt meer onderzoek dan binnen het budget van dit project mogelijk was en lijkt qua eventuele praktijk toepassing nog ver weg omdat groot serie productie een minimale vereiste is en op dit moment zelfs slechts zeer beperkt gecertificeerde tanks beschikbaar zijn.

4. Spin off en vervolgactiviteiten

Uit deze studie zijn reeds vervolgactiviteiten voortgekomen. Bij het DKTI project Duwaal Proeftuin Amsterdam West zullen verschillende zaken worden opgepakt.

- Een leerervaring in dit project is dat voor een goede berekening van de gehele geïntegreerde keten een model noodzakelijk is dat recht doet aan de complexe eigenschappen van composiet en waterstof. Daarom wordt in de DPAW, tezamen met ECN en Composite Agency, een technisch-economisch model in ASPEN uitgewerkt. Dit model berekend op basis van 3 type gegevens (energetisch/fysisch, kostprijs, vraagpatroon/gebruikerseisen), de optimale keten (distributie & tankstation) configuratie naar de laagst mogelijke kostprijs per kg.
 - Sub vraag binnen dit model is de vraag onder welke temperaturen lager dan -50° Celsius composietvaten met aanpassingen aan de binnen laag mogelijk zijn.
- Bij de proeftuin zal een experiment plaatsvinden om de tanksnelheid voor zware toepassingen boven de 7,6 kg/min mogelijk te maken, zonder aan veiligheidseisen in te boeten. Met name het begrip van de rol van de omvang van de tanks op het voertuig opgedaan in dit project zal daar een parameter van onderzoek worden.
- Het basis ontwerp voor de HPS zal in de praktijk gebruikt gaan worden bij de proeftuin
- Met 1 HPS unit zal een experiment worden gedaan om de simulatie resultaten uit dit onderzoek in de praktijk te toetsen. Hoelang kan een hogedrukvat daadwerkelijk op 40° Celsius gehouden worden.
- Bij de proeftuin zal de NEN betrokken zijn om bij alle experimenten te onderzoeken in welke mate het binnen alle wet en regelgeving ook toegepast mag worden, dan wel welke nieuwe normeringen er nodig zijn.
 - Samen met de NEN zal ook verder uitgewerkt gaan worden of het mogelijk is om de veiligheidsfactor zoals nu toegepast bij de certificering binnen de ADR aan te passen op basis van de certificering bij type approval.

5. Contact informatie

Voor meer informatie kunt u contact opnemen met:

Jan Willem Langeraar HYGRO B.V., jwlangeraar@hy-gro.nl. Of bezoek: www.hy-gro.nl

Het laatste resultaat van deze studie is deze rapportage die grotendeels ook openbaar zal worden gemaakt, via de website van HYGRO (www.hy-gro.nl) opdat veel partijen hier gebruik van kunnen maken.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Bijlage A: Overzicht verwijzingen naar compressed hydrogen in de ADR

Het doel van deze bijlage is het om aan te geven op welke manier in het ADR bepalingen vastgesteld zijn en hoe het ADR gelezen moet worden. De inhoud van het ADR met betrekking tot waterstof is weergegeven echter niet in detail geïnterpreteerd. De verschillende aspecten die een rol spelen bij het transport van geperst waterstof zijn aan de hand van de informatie die gegeven wordt in het ADR toegelicht. Deze aspecten spelen een belangrijke rol bij het ontwerp van HPS.

In deze bijlage wordt de tabel op pagina 314 (en pagina 368 met betrekking tot vloeibaar waterstof) van de ADR (hoofdstuk 3.2) toegelicht. De tabel geeft een overzicht van stoffen, bijzondere bepalingen voor deze stoffen. Hier zijn de eisen een specificaties te vinden voor het omgaan met gevaarlijke goederen waaronder waterstof onder druk. Voor verduidelijking kan het ADR 2017 geraadpleegd worden.

Onderstaande worden de in het ADR vastgestelde eisen voor transport van 'compressed' waterstof op der druk toegelicht.

| UN-nr | Benaming en beschrijving | Klasse | Classificatiecode | Verpakkingsgroep | Etiketten | Bijzondere bepalingen | Gelimiteerde en vrijgestelde hoeveelheden | | Verpakkingen | | | Transporttanks en bulkcontainers | | ADR-tanks | | Voertuig voor tankvervoer | Vervoercategorie (Code voor beperkingen in tunnels) | Bijzondere bepalingen voor het vervoer | | | | |
|-------|--|--------|-------------------|------------------|-----------|-----------------------|---|---------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|---|--|---------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|
| | | | | | | | 3.4 | 3.5.1.2 | Verpakkingen/instructies | Bijzondere bepalingen | Gezamenlijke verpakking | Instructies | Bijzondere bepalingen | Tankcode | Bijzondere bepalingen | | | Colli | Los gestort | Laden, lossen en behandeling | Bedrijf | Gevaarsidentificatie nummer |
| (1) | (2) | (3a) | (3b) | (4) | (5) | (6) | (7a) | (7b) | (8) | (9a) | (9b) | (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) | (17) | (18) | (19) | (20) |
| 1044 | BRANDBLUSAPPARATEN met samengeperst of vloeibaar gemaakt gas | 2 | 6A | | 2.2 | 225 594 | 120 ml | E0 | P003 | PP91 | MP9 | | | | | | 3 (E) | | | CV9 | | |
| 1045 | FLUOR, SAMENGEPERST | 2 | 1TOC | | 2.3+5.1+8 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | | | | | | 1 (D) | | | CV9 CV10 CV38 | S14 | | |
| 1046 | HELIUM, SAMENGEPERST | 2 | 1A | | 2.2 | 378 853 882 | 120 ml | E1 | P200 | | MP9 | (M) | | CxBN(M) | TA4 TT9 | AT | 3 (E) | | | CV9 CV10 CV38 | | 20 |
| 1048 | WATERSTOFBROMIDE, WATERVRIJ (BROOMWATERSTOF, WATERVRIJ) | 2 | 2TC | | 2.3+8 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | (M) | | PxBH(M) | TA4 TT9 TT10 | AT | 1 (C/D) | | | CV9 CV10 CV38 | S14 | 268 | |
| 1049 | WATERSTOF, SAMENGEPERST | 2 | 1F | | 2.1 | 680 682 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | (M) | | CxBN(M) | TA4 TT9 | FL | 2 (B/D) | | | CV9 CV10 CV38 | S2 S20 | 23 |
| 1050 | WATERSTOFCHLORIDE, WATERVRIJ | 2 | 2TC | | 2.3+8 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | (M) | | PxBH(M) | TA4 | AT | 1 | | | CV9 | S14 | 268 | |

Figuur 2: Pagina 314 van het ADR 2017

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--|---|----|--|-----|---------------------------------|--------|------|------|-----|-----|-------------|------|--------------------|--------------------|------------|------------|--|--|---------------------|-----------|-----|
| 1964 | MENGSEL VAN KOOLWATERSTOFGASSEN, SAMENGEPERST, N.E.G. | 2 | 1F | | 2.1 | 274 662 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | (M) | | CxBN(M) | TA4 TT9 | FL | 2 (B/D) | | | CV9 CV10 CV38 | S2 S20 | Z3 |
| 1965 | MENGSEL VAN KOOLWATERSTOFGASSEN, VLOEIBAAR GEMAAKT, N.E.G. (mengsel A, A 01, A 02, A 0, A 1, B 1, B 2, B of C) | 2 | 2F | | 2.1 | 274 583 652 680 682 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | T50 (M) | | PxBN(M) | TA4 TT9 TT11 | FL | 2 (B/D) | | | CV9 CV10 CV38 | S2 S20 | 23 |
| 1966 | WATERSTOF, STERK GEKOELD, VLOEIBAAR | 2 | 3F | | 2.1 | 0 | E0 | P203 | | MP9 | T75 | TP5 TP34 | RxBN | TA4 TT9 TU18 | FL | 2 (B/D) | V5 | | | CV9 CV11 CV38 | S2 S17 | 223 |
| 1967 | INSECTICIDE, GAS, GIFTIG, N.E.G. | 2 | 2T | | 2.3 | 274 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | (M) | | PxBH(M) | TA4 TT9 TU6 | AT | 1 (C/D) | | | CV9 CV10 CV38 | S14 | 26 |
| 1968 | INSECTICIDE, GAS, N.E.G. | 2 | 2A | | 2.2 | 274 662 | 120 ml | E1 | P200 | | MP9 | (M) | | PxBN(M) | TA4 TT9 TT11 | AT | 3 (C/E) | | | CV9 CV10 CV38 | | 20 |
| 1969 | ISORUTAAN | 2 | 2F | | 2.1 | 657 | 0 | E0 | P200 | | MP9 | T50 (M) | | PxBN(M) | TA4 | FL | 2 | | | CV9 | S2 | 23 |

Figuur 3: Pagina 368 van het ADR 2017

Lijst van gevaarlijke goederen uit ADR: waterstof, samengeperst

Een aantal kolommen vereisen toelichting. Hieronder zullen verschillende specificaties die in het ADR benoemd worden weer gegeven worden. Deze specificaties spelen een belangrijke rol als het gaat om het ontwerpen van een technische unit voor zowel transport als ook eindgebruik van waterstof als brandstof.

1. UN nummer:1049

2. Benaming/beschrijving: Waterstof samengeperst

3a. Klasse 2: Gassen

3b. Classificatiecode 1F: Brandbaar

4. Verpakkingsgroep: N.v.t

5. Etiketten 2.1:



Figuur 4: Brandbare gassen

6. Bijzondere bepalingen

660:

Voor het vervoer van omhullingssystemen voor gasvormige brandstof bestemd om op motorvoertuigen met die brandstof te worden gemonteerd, hoeven de voorschriften van subsectie 4.1.41, hoofdstuk 5.2, hoofdstuk 5.4 en hoofdstuk 6.2 van het ADR niet te worden toegepast, mits aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

a) De omhullingssystemen voor gasvormige brandstof voldoen aan de voorschriften van ECE-Reglement 67, revisie 26, ECE-Reglement 110, revisie 17 of ECE-Reglement 1158, of van Verordening (EG) nr. 79/20099 in combinatie met Verordening (EU) nr. 406/201010, naar gelang van het geval;

b) De omhullingssystemen voor gasvormige brandstof zijn lekvrij en vertonen geen tekenen van uitwendige beschadiging die de veiligheid ervan zou kunnen beïnvloeden;

Opmerking 1: Criteria zijn te vinden in de norm ISO 11623:2002 Verplaatsbare gasflessen – Periodieke keuring en beproeving van gasflessen van composietmaterialen (of ISO/DIS 19078 Gasflessen – Inspectie van de gasflesseninstallatie, en herkeuring van hogedrukgasflessen voor de opslag in wegvoertuigen met aardgas als brandstof).

Opmerking 2: Indien de omhullingssystemen voor gasvormige brandstof niet lekvrij zijn of te veel zijn gevuld of indien zij beschadigingen vertonen die de veiligheid ervan zouden kunnen beïnvloeden, mogen zij uitsluitend worden vervoerd in bergingsdrukhouders conform het ADR.

c) Indien het omhullingssysteem voor gasvormige brandstof is voorzien van twee of meer achter elkaar gemonteerde afsluiters, moeten twee afsluiters zodanig gesloten zijn dat zij onder normale vervoersomstandigheden gasdicht zijn. Indien slechts één afsluiter aanwezig is of slechts één afsluiter naar behoren functioneert, moeten alle openingen, uitgezonderd de opening van de drukontlastingsinrichting, zodanig gesloten zijn dat zij onder normale vervoersomstandigheden gasdicht zijn;

d) Omhullingssystemen voor gasvormige brandstof moeten zodanig worden vervoerd dat verstopping van de drukontlastingsinrichting, beschadiging van de afsluiters of enig ander onder druk staand onderdeel van het omhullingssysteem of het onopzettelijk vrijkomen van het gas onder normale vervoersomstandigheden verhinderd wordt. Het omhullingssysteem voor gasvormige brandstof moet zodanig zijn vastgezet dat glijden, rollen of verticale verplaatsing voorkomen wordt;

e) Omhullingssystemen voor gasvormige brandstof moeten voldoen aan de voorschriften van 4.1.6.8 a), b), c), d) of e);

f) De voorschriften inzake kenmerking en etikettering van hoofdstuk 5.2 zijn van toepassing, tenzij de omhullingssystemen voor gasvormige brandstof in behandelingsinrichtingen worden verzonden. In dat geval moeten de kenmerken en gevaarsetiketten op de behandelingsinrichtingen worden aangebracht;

g) Documentatie

Elke zending die in overeenstemming met deze bijzondere bepaling wordt vervoerd, moet vergezeld gaan van een vervoersdocument dat ten minste de volgende informatie bevat:

i) het UN-nummer van het gas in de omhullingssystemen voor gasvormige brandstof, voorafgegaan door de letters "UN";

ii) de juiste vervoersnaam van het gas;

iii) het modelnummer van het etiket;

iv) het aantal omhullingssystemen voor gasvormige brandstof;

v) in geval van vloeibaar gemaakte gassen, de netto massa in kg van het gas in elk omhullingssysteem voor gasvormige brandstof, en in het geval van samengeperste gassen, de waterinhoud in liters van elk omhullingssysteem voor gasvormige brandstof gevolgd door de nominale bedrijfsdruk;

vi) de naam en het adres van de afzender en van de geadresseerde.

i) t/m v) moeten volgens een van onderstaande voorbeelden in het vervoersdocument worden vermeld:

Voorbeeld 1: UN 1971 aardgas, samengeperst, 2.1, 1 omhullingssysteem voor gasvormige brandstof van in totaal 50 l, 200 bar

Voorbeeld 2: UN 1965 mengsel van koolwaterstofgassen, vloeibaar gemaakt, n.e.g., 2.1, 3 omhullingssystemen voor gasvormige brandstof, elk met een netto gasmassa van 15 kg

Opmerking: Alle overige voorschriften van het ADR zijn van toepassing.

662:

Flessen die niet voldoen aan de bepalingen van hoofdstuk 6.2 en die uitsluitend aan boord van een schip of luchtvaartuig worden gebruikt, mogen ten behoeve van het vullen of inspecteren en daaropvolgend retourneren worden vervoerd, onder voorwaarde dat zij zijn ontworpen en gebouwd in overeenstemming met een norm die wordt erkend door de bevoegde autoriteit van het land van goedkeuring en dat aan alle overige relevante voorschriften van het ADR wordt voldaan, met inbegrip van de volgende:

a) Bij het vervoer van de flessen moeten de afsluiters worden beschermd conform 4.1.6.8;

b) De flessen moeten worden voorzien van een kenmerk en etiket conform 5.2.1 en 5.2.2; en

c) Er wordt voldaan aan alle relevant vullingsvereisten van verpakkingsinstructie P200 van 4.1.4.1.

In het vervoersdocument wordt de volgende verklaring opgenomen: "Vervoer volgens bijzondere bepaling 662".

7a. Gelimiteerde hoeveelheden 0:

In dit hoofdstuk zijn de voorwaarden opgenomen van toepassing op het vervoer van gevaarlijke goederen van bepaalde klassen in gelimiteerde hoeveelheden. De beperkingen voor de hoeveelheden van toepassing per binnenverpakking of voorwerp, zijn voor elke stof aangegeven in kolom (7a) van tabel A van hoofdstuk 3.2. Bovendien is de hoeveelheid "0" aangegeven in deze kolom voor alle posities die niet ter vervoer overeenkomstig dit hoofdstuk zijn toegelaten.

7.b Vrijgestelde hoeveelheden E0:

Niet toegestaan als vrijgestelde hoeveelheid

8. Verpakkingen: P200

De verpakkingsinstructies P200(zie ADR 2017 pagina 661 t/m 687) zijn onderdeel van hoofdstuk 3.4 over gevaarlijke goederen verpakt in gelimiteerde hoeveelheden. P200 geeft specificaties voor flessen, grote cilinders, drukvaten en flessenbatterijen.

9a. Verpakkingen: Bijzondere bepalingen N.v.t.

9b. Verpakkingen: Gezamenlijke verpakking MP 9:

In Procedures voor de verzending (Hoofdstuk 5.1) worden de Eisen voor gezamenlijke verpakking vastgesteld. In 4.1.10 worden de MPs (code voor voorschriften voor gezamenlijke verpakking) toegelicht. Indien gezamenlijke verpakking volgens de voorschriften wordt toegestaan, mogen gevaarlijke goederen met andere gevaarlijke goederen of andere goederen gezamenlijk in samengestelde verpakkingen worden verpakt,

Voor waterstof geldt MP9. MP9 bepaalt dat waterstof gezamenlijk mag worden verpakt in een buitenverpakking voor samengestelde verpakkingen volgens 6.1.4.21:

- met andere goederen van klasse 2;
- met goederen van andere klassen, indien gezamenlijke verpakking ook voor goederen van deze klassen is toegestaan; of
- met goederen die niet zijn onderworpen aan de voorschriften van het ADR,

onder voorwaarde dat zij niet gevaarlijk met elkaar reageren.

10. Transporttanks en bulkcontainers: Instructies (M):

De gassen die in MEGC's ten vervoer zijn toegelaten, zijn aangeduid met de letter "(M)" in kolom (10) van tabel A van hoofdstuk 3.2.

11. Transporttanks en bulkcontainers: Bijzondere bepalingen N.v.t

12. ADR-tanks: Tankcode CxBN(M):

C = tank, batterijwagen of MEGC voor samengeperste gassen

x = waarde van de minimale beproevingsdruk van toepassing volgens de tabel in 4.3.3.2.5 of

B = tank met openingen voor het vullen of lossen aan de onderzijde met 3 sluitingen; of batterijwagen of MEGC met openingen onder de vloeistofspiegel of voor samengeperste gassen

N = tank, batterijwagen of MEGC met veiligheidsklep volgens 6.8.3.2.9 of 6.8.3.2.10 die niet hermetisch gesloten is

Voor tanks, bestemd voor het vervoer van samengeperste gassen, moet de beproevingsdruk ten minste het 1,5-voudige van de in 1.2.1 voor drukhouders gedefinieerde bedrijfsdruk bedragen.

Hoogste bedrijfsdruk (overdruk): de hoogste van de volgende drie waarden die zich aan de bovenzijde van de tank in de bedrijfsopstelling kunnen voordoen:

- a) de hoogste effectieve druk die in de tank is toegestaan tijdens het vullen (hoogste toegestane vuldruk);
- b) de hoogste effectieve druk die in de tank is toegestaan tijdens het lossen (hoogste toegestane losdruk);
- c) de door de vervoerde stof (met inbegrip van eventueel aanwezige vreemde gassen) veroorzaakte effectieve overdruk in de tank bij de hoogste bedrijfstemperatuur.

Tenzij in hoofdstuk 4.3 anders is voorgeschreven, mag de getalswaarde van deze bedrijfsdruk (overdruk) niet lager zijn dan de dampdruk (absolute druk) van de vervoerde stof bij 50 °C.

Bij tanks, voorzien van veiligheidskleppen (met of zonder breekplaat), uitgezonderd tanks voor het vervoer van samengeperste, vloeibaar gemaakte of opgeloste gassen van klasse 2, is de hoogste bedrijfsdruk (overdruk) echter gelijk aan de voorgeschreven druk, waarbij deze veiligheidskleppen in werking komen; (Zie ook Beproevingdruk, Berekeningsdruk, Losdruk en Vuldruk.)

Opmerking 1: De hoogste bedrijfsdruk is niet van toepassing op tanks voor lossing door zwaartekracht overeenkomstig 6.8.2.1.14 a).

Opmerking 2: Voor transporttanks, zie hoofdstuk 6.7.

Opmerking 3: Voor gesloten cryo-houders, zie Opmerking bij 6.2.1.3.6.5.

13. ADR-tanks: Bijzondere bepalingen

TA4:

De procedures voor de conformiteitsbeoordeling van sectie 1.8.7 moeten worden toegepast door de bevoegde autoriteit, haar afgevaardigde of de onderzoeksinstantie overeenkomstig 1.8.6.2, 1.8.6.4, 1.8.6.5 en 1.8.6.8 en geaccrediteerd volgens EN ISO/IEC 17020:2012 (uitgezonderd bepaling 8.1.3) type A.

TT9:

Voor onderzoeken en beproevingen (met inbegrip van toezicht op de fabricage) moeten de procedures van sectie 1.8.7 worden toegepast door de bevoegde autoriteit, haar afgevaardigde of de onderzoeksinstantie overeenkomstig 1.8.6.2, 1.8.6.4, 1.8.6.5 en 1.8.6.8 en geaccrediteerd volgens EN ISO/IEC 17020: 2012 (uitgezonderd bepaling 8.1.3) type A.

14. Voertuig voor tankvervoer FL:

- a) een voertuig, bestemd voor het vervoer van vloeistoffen met een vlammpunt van ten hoogste 60 °C (met uitzondering van dieselolie die voldoet aan de norm EN 590:2013 + A1:2014, gasolie en lichte stookolie - UN-nummer 1202 - met een vlammpunt zoals gespecificeerd in de norm EN 590:2013 + A1:2014) in vaste tanks of afneembare tanks met een inhoud van meer dan 1 m³ of in tankcontainers of transporttanks met een individuele inhoud van meer dan 3 m³; of
- b) een voertuig, bestemd voor het vervoer van brandbare gassen in vaste tanks of afneembare tanks met een inhoud van meer dan 1 m³ of in tankcontainers, transporttanks of MEGC's met een individuele inhoud van meer dan 3 m³; of
- c) een batterijwagen met in totaal een inhoud van meer dan 1 m³, bestemd voor het vervoer van brandbare gassen; of
- d) een voertuig, bestemd voor het vervoer van waterstofperoxide, gestabiliseerd of waterstofperoxide, oplossing in water, gestabiliseerd, met meer dan 60% waterstofperoxide (klasse 5.1, UN 1015) in vaste tanks of afneembare tanks met een inhoud van meer dan 1 m³, of in tankcontainers of transporttanks met een individuele inhoud van meer dan 3 m³;

15. Vervoerscategorie (Code voor beperkingen in tunnels) 2 (B/D): Vrijstellingen in samenhang met de vervoerde hoeveelheden per transporteenheid

Voor de toepassing van deze subsectie zijn gevaarlijke goederen ingedeeld in vervoerscategorieën 0, 1, 2, 3 of 4, zoals aangegeven in kolom (15) van tabel A van hoofdstuk 3.2. Deze kolom bevat boven in de cel een cijfer dat de vervoerscategorie aangeeft, waarin de stof of het voorwerp is ingedeeld. Deze kolom bevat ook onder in de cel, tussen haakjes, de code voor beperkingen in tunnels, die betrekking heeft op de beperking die van toepassing is op de doorgang door wegtunnels van voertuigen waarin de stof of het voorwerp wordt vervoerd. Voor waterstof is categorie 2 van toepassing. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn de specificaties voor stoffen van categorie 2 te vinden. In Hoofdstuk 8.6 van het ADR over de beperkingen voor de doorgang door tunnels voor het wegverkeer van voertuigen die gevaarlijke goederen vervoeren wordt de code B/D toegelicht.

B/D:

- Vervoer in tanks: doorgang verboden door tunnels van categorie B, C, D en E;
- Ander vervoer: doorgang verboden door tunnels van categorie D en E

| Vervoers-categorie | STOFFEN OF VOORWERPEN (VERPAKKINGSGROEP OF CLASSIFICATIECODE / -GROEP OF UN-NUMMER) | Hoogst toelaatbare totale hoeveelheid per transporteenheid |
|--------------------|---|--|
| (1) | (2) | (3) |
| 0 | <p>Klasse 1: 1.1 A, 1.1 L, 1.2 L, 1.3 L en UN 0190</p> <p>Klasse 3: UN 3343</p> <p>Klasse 4.2: stoffen die zijn Ingedeeld in verpakkingsgroep I</p> <p>Klasse 4.3: UN 1183, 1242, 1295, 1340, 1390, 1403, 1928, 2813, 2965, 2968, 2988, 3129, 3130, 3131, 3134, 3148, 3396, 3398 en 3399</p> <p>Klasse 5.1: UN 2426</p> <p>Klasse 6.1: UN 1051, 1600, 1613, 1614, 2312, 3250 en 3294</p> <p>Klasse 6.2: UN 2814 en 2900</p> <p>Klasse 7: UN 2912 t/m 2919, 2977, 2978 en 3321 t/m 3333</p> <p>Klasse 8: UN 2215 (MALEINEZUURANHYDRIDE, GESMOLTEN)</p> <p>Klasse 9: UN 2315, 3151, 3152 en 3432, alsmede voorwerpen die deze stoffen of mengsels bevatten, alsmede ongereinigde lege verpakkingen die stoffen van deze vervoerscategorie hebben bevat, met uitzondering van verpakkingen die onder UN-nummer 2908 zijn ingedeeld</p> | 0 |
| 1 | <p>Stoffen en voorwerpen die zijn Ingedeeld in verpakkingsgroep I en niet onder vervoerscategorie 0 vallen,</p> <p>alsmede stoffen en voorwerpen van de volgende klassen:</p> <p>Klasse 1: 1.1 B t/m 1.1 J^a, 1.2 B t/m 1.2 J, 1.3 C, 1.3 G, 1.3 H, 1.3 J en 1.5 D^a</p> <p>Klasse 2: Groepen T, TC^a, TO, TF, TOC^a en TFC</p> <p>Sputbussen: groepen C, CO, FC, T, TF, TC, TO, TFC en TOC</p> <p>Chemische stoffen onder druk: UN 3502, 3503, 3504 en 3505</p> <p>Klasse 4.1: UN 3221 t/m 3224, 3231 t/m 3240, 3533 en 3534</p> <p>Klasse 5.2: UN 3101 t/m 3104 en 3111 t/m 3120</p> | 20 |
| 2 | <p>Stoffen die zijn Ingedeeld in verpakkingsgroep II en die niet onder vervoerscategorie 0, 1 of 4 vallen,</p> <p>alsmede stoffen en voorwerpen van de volgende klassen:</p> <p>Klasse 1: 1.4 B t/m 1.4 G en 1.6 N</p> <p>Klasse 2: Groep F</p> <p>Sputbussen: groep F</p> <p>Chemische stoffen onder druk: UN 3501</p> <p>Klasse 4.1: UN 3225 t/m 3230, 3531 en 3532</p> <p>Klasse 4.3: UN 3292</p> <p>Klasse 5.1: UN 3356</p> <p>Klasse 5.2: UN 3105 t/m 3110</p> <p>Klasse 6.1: UN 1700, 2016 en 2017 en stoffen die zijn Ingedeeld in verpakkingsgroep III</p> <p>Klasse 9: UN 3090, 3091, 3245, 3480 en 3481</p> | 333 |

Figuur 5: Bepalingen per vervoerscategorie.

In de bovenstaande tabel wordt onder “hoogst toelaatbare totale hoeveelheid per transporteenheid” verstaan:

- voor voorwerpen, de bruto massa in kilogrammen (voor voorwerpen van klasse 1, netto massa van de ontplofbare stof in kg; voor gevaarlijke stoffen in machines en uitrustingen, zoals omschreven in deze Bijlage, de totale hoeveelheid daarin aanwezige gevaarlijke stoffen in kilogram resp. liter);
- voor vaste stoffen, vloeibaar gemaakte gassen, sterk gekoelde, vloeibaar gemaakte gassen en opgeloste gassen, de netto massa in kilogrammen;
- voor vloeistoffen, de totale hoeveelheid gevaarlijke goederen in liters;
- voor gecompriëerde gassen, geadsorbeerde gassen en chemische stoffen onder druk, de waterinhoud van de houder in liters.

Indien gevaarlijke goederen die behoren tot verschillende vervoerscategorieën, in dezelfde transporteenheid worden vervoerd, mag de som van

- de hoeveelheid stoffen en voorwerpen van vervoerscategorie 1, vermenigvuldigd met 50,
- de hoeveelheid van de in voetnoot a) bij de tabel in 1.1.3.6.3 opgesomde stoffen en voorwerpen van vervoerscategorie 1, vermenigvuldigd met 20,
- de hoeveelheid stoffen en voorwerpen van vervoerscategorie 2, vermenigvuldigd met 3, en
- de hoeveelheid stoffen en voorwerpen van vervoerscategorie 3, 1000 niet overschrijden.

Voor de toepassing van deze subsectie wordt geen rekening gehouden met gevaarlijke goederen die overeenkomstig 1.1.3.1 (a), (b) en (d) t/m (f), 1.1.3.2 t/m 1.1.3.5, 1.1.3.7, 1.1.3.9 en 1.1.3.10 vrijgesteld zijn.

16. Bijzondere bepalingen voor het vervoer: Colli N.v.t.

17. Bijzondere bepalingen voor het vervoer: Los gestort N.v.t.

18. Bijzondere bepalingen voor het vervoer: Laden, lossen en behandeling

CV9:

Men mag niet met de colli gooien of deze aan schokken blootstellen.

De houders moeten zodanig in het voertuig of de container worden gestuwd, dat zij niet kunnen kantelen of vallen.

CV10:

Flessen, zoals gedefinieerd in 1.2.1, moeten parallel aan of loodrecht op de lengteas van het voertuig of de container worden neergelegd; de flessen die echter dichtbij het kopschot worden geplaatst, moeten loodrecht op de genoemde as worden neergelegd.

Korte flessen met grote diameter (ongeveer 30 cm en meer) mogen in de lengterichting worden gestuwd waarbij de voorzieningen die hun afsluiters beschermen naar het midden van het voertuig of de container moeten zijn gericht.

Flessen die voldoende stabiel zijn, of worden vervoerd in bijbehorende voorzieningen die het kantelen doeltreffend verhinderen, mogen rechtop worden geplaatst.

Flessen die plat zijn neergelegd, moeten veilig en op geschikte wijze worden geborgd, vastgemaakt of vastgezet zodat zij niet kunnen verschuiven.

CV36:

Colli moeten bij voorkeur in open of geventileerde voertuigen of open of geventileerde containers worden geladen. Indien dit niet mogelijk is en colli in andere, gesloten voertuigen of containers worden vervoerd, moeten de laaddeuren van de voertuigen of containers worden gemerkt met de volgende tekst in letters van ten minste 25 mm hoog:

"WAARSCHUWING

GEEN VENTILATIE

VOORZICHTIG OPENEN"

Dit moet gesteld zijn in een taal die door de afzender als geschikt wordt beschouwd. Wat de UN-nummers 2211 en 3314 betreft, is dit kernmerk niet vereist wanneer het voertuig of de container al is gekenmerkt overeenkomstig bijzondere bepaling 965 van de IMDG Code.

19. Bijzondere bepalingen voor het vervoer: Bedrijf

S2:

Aanvullende voorschriften inzake het vervoer van brandbare vloeistoffen of gassen

(1) Draagbare verlichtingsapparatuur

Het laadcompartiment van gesloten voertuigen die vloeistoffen met een vlammpunt van ten hoogste 60C of brandbare stoffen of voorwerpen van klasse 2 vervoeren, mogen niet worden binnengegaan door personen met draagbare verlichtingsapparatuur behalve die zo zijn ontworpen en geconstrueerd

dat zij brandbare dampen of gassen die tot in het voertuig kunnen zijn doorgedrongen, niet kunnen ontsteken.

(2) Het in bedrijf hebben van verwarmingssystemen op brandstof tijdens laden of lossen

Het in bedrijf hebben van verwarmingssystemen op brandstof, van FL-voertuigen (zie deel 9) is tijdens laden en lossen en op laadplaatsen verboden.

(3) Voorzorgsmaatregelen tegen elektrostatische ladingen

Indien het FL-voertuigen betreft (zie deel 9) moet een goede elektrische verbinding tussen het voertuigchassis en de aarde worden gemaakt voordat tanks worden gevuld of geledigd. Bovendien dient de vulsnelheid te worden beperkt.

S20:

De bepalingen van hoofdstuk 8.4 inzake het toezicht op voertuigen zijn van toepassing indien de totale massa of het totale volume van deze stoffen in het voertuig 10.000 kg als verpakte goederen of 3000 liter in tanks overschrijdt.

20. Gevaarsidentificatie nummer 23: brandbaar gas