



ONDERZOEKSRaad
VOOR VEILIGHEID

Emissie van 1,3-butadieen

Vopak Terminal Vlissingen, 1 februari 2019



Emissie van 1,3- butadieen

Vopak Terminal Vlissingen, 1 februari 2019

Den Haag, februari 2022

De rapporten van de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn openbaar en beschikbaar op www.onderzoeksraad.nl.

Foto cover: Vopak

De Onderzoeksraad voor Veiligheid

Als zich een ongeval of ramp voordoet, onderzoekt de Onderzoeksraad voor Veiligheid hoe dat heeft kunnen gebeuren, met als doel daar lessen uit te trekken. Op die manier draagt de Onderzoeksraad bij aan het verbeteren van de veiligheid van Nederland. De Raad is onafhankelijk en besluit zelf welke voorvallen hij onderzoekt. Daarbij richt de Raad zich in het bijzonder op situaties waarin mensen voor hun veiligheid afhankelijk zijn van derden, bijvoorbeeld van de overheid of bedrijven. In een aantal gevallen is de Raad verplicht onderzoek te doen. De Onderzoeken gaan niet in op schuld of aansprakelijkheid.

Onderzoeksraad

Voorzitter: ir. J.R.V.A. Dijsselbloem
prof. dr. mr. S. Zouridis
dr. E.A. Bakkum

Secretaris-directeur: mr. C.A.J.F. Verheij

Bezoekadres: Lange Voorhout 9
2514 EA Den Haag

Postadres: Postbus 95404
2509 CK Den Haag

Telefoon: 070 333 7000

Website: onderzoeksraad.nl

E-mail: info@onderzoeksraad.nl

Lijst van afkortingen	5
1 Inleiding	6
1.1 Omschrijving van het voorval	6
1.2 Algemene gegevens	6
1.3 Aanleiding en doel onderzoek	6
1.4 Gebruikte informatie	7
2 Feitelijke informatie	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Beschrijving van de installatie	9
2.3 Beschrijving van de gebeurtenissen	14
2.4 Na het voorval door Vopak getroffen maatregelen	19
3 Analyse.....	21
3.1 Directe oorzaak: falen pakking	21
3.2 Mogelijk verklarende factoren.....	23
3.3 Bezwijkrisico van de pakking.....	28
4 Conclusies	31
Bijlage A	33

LIJST VAN AFKORTINGEN

ADR	<i>Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road</i> , overeenkomst voor het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg.
AGW	Alarmeringsgrenswaarde, is de luchtconcentratie van een stof waarboven onherstelbare of ander ernstige gezondheidseffecten kunnen optreden, of waarbij door blootstelling aan de stof personen minder goed in staat zijn zichzelf in veiligheid te brengen.
CoPI	Commando Plaats Incident, plaatselijke aansturingsstructuur voor hulpdiensten bij incidenten van een zeker omvang (GRIP 1 of hoger).
CRP	<i>Carcinogenic risk potency</i> , de luchtconcentratie van een stof met een kankerrisico van 1:10.000 bij een eenmalige blootstelling van 1 uur.
GRIP	Gecoördineerde Regionale Incidentbestrijdingsprocedure, classificatie van de incidentbestrijdingsstructuur van de overheid inclusief hulpdiensten, hogere classificatie hoort bij incidenten van grotere omvang of reikwijdte.
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport.
IMDG-code	<i>International Maritime Dangerous Goods code</i> , internationale maritieme code voor gevaarlijke stoffen.
LEL	<i>Lower explosive limit</i> , onderste explosiegrens: laagste concentratie van een brandbare/explosieve stof waarbij ontbranding/explosie mogelijk is.
MARS	<i>Major Accident Reporting System</i> , EU registratie- en rapportagesysteem voor zware ongevallen in de industrie.
MAWP	<i>Maximum allowable working pressure</i> , hoogst toelaatbare bedrijfsdruk.
NFI	Nederlands Forensisch Instituut.
PPM	<i>Parts per million</i> , maat voor concentratie.
VRW	Voorlichtingsrichtwaarde, de luchtconcentratie van een stof die met grote waarschijnlijkheid door de blootgestelde bevolking als hinderlijk wordt waargenomen, of waarboven licht gezondheidseffecten mogelijk zijn

1.1 Omschrijving van het voorval

Op 1 februari 2019 is een grote hoeveelheid van de zeer licht ontvlambare en kankerverwekkende stof 1,3-butadieen¹ vrijgekomen bij het Brzo-bedrijf² Vopak Terminal Vlissingen (hierna: Vopak). Als gevolg van het falen van een pakking³ van een transporttank van een klant is bij aanvang van het lossen vrijwel de gehele inhoud van de tank (13.000 kilogram) vrijgekomen. Hierbij ontstond een gaswolk die over het terrein richting buurbedrijven afdreef. De wolk is niet tot ontbranding gekomen; wel zijn directe omstanders, drie operators en een vrachtwagenchauffeur, blootgesteld aan het gas.

1.2 Algemene gegevens

Datum voorval	1 februari 2019
Plaats voorval	Vopak Terminal Vlissingen B.V. (te Nieuwdorp)
Typering plaats voorval	Verlaadplaats van op- en overslagbedrijf voor vloeibaar gemaakte gassen
Reden voor kennisgeving ongeval conform Seveso III richtlijn	De hoeveelheid vrijgekomen stof (13.000 kilogram 1,3-butadieen) overschrijdt de drempelwaarde van deze stof (2500 kilogram Ontvlambare gassen van categorie 1 of 2) uit de Seveso III richtlijn.

1.3 Aanleiding en doel onderzoek

Gezien de hoeveelheid vrijgekomen stof betreft het voorval een verplicht onderzoek voor de Onderzoeksraad voor Veiligheid, een zogenoemde MARS-melding. Deze melding werd op 12 maart 2019 ontvangen.⁴

1 1,3-butadieen (C₄H₆) is een chemische grondstof voor de productie van onder andere autobanden en verschillende plastics. National Library of medicine, *Compound summary 1,3-butadiene*, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_3-Butadiene, laatst geraadpleegd op 10 december 2020.
2 Dit betreft een bedrijf dat valt onder het Besluit risico's zware ongevallen 2015.
3 Afdichtring.
4 Inspectie SZW, *MARS short report Incident Tankcontainer 1,3-Butadieen Vopak Vlissingen*, maart 2019.

In eerste instantie is in dit onderzoek gekeken welke factoren een rol hebben gespeeld bij het ontstaan van de emissie. De eerste bevindingen wezen erop dat de doorstroombegrenzer, gemonteerd in de los-opening van de transporttank, een rol heeft gespeeld bij het ontstaan van de emissie. De Onderzoeksraad heeft ervoor gekozen om dit onderzoek te richten op de potentiële gevaren van het herhaaldelijk open en dicht slaan (klapperen) van de doorstroombegrenzer bij het lossen van een transporttank. Dit heeft geleid tot de volgende onderzoeksvragen:

1. Welke factoren hebben een rol gespeeld bij het ontstaan van de emissie?
2. In hoeverre is het klapperen van de doorstroombegrenzer een risico voor het falen van de pakking tussen de wand van een transporttank en de hieraan gemonteerde doorstroombegrenzer tijdens laden/lossen van de transporttank?
3. Welke veiligheidslessen kunnen er worden geleerd?

Er heeft geen onderzoek plaatsgevonden naar de crisisbeheersing ten tijde van het voorval en ook niet naar eventuele achterliggende organisatorische verklaringen voor het kunnen plaatsvinden van deze emissie.

1.4 Gebruikte informatie

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de informatie uit het onderzoek uitgevoerd door Vopak⁵ en het strafrechtelijk onderzoek⁶, waaronder NFI-rapporten⁷ met betrekking tot het technisch en materiaalkundig onderzoek inzake de doorstroombegrenzer en de pakking.

Daarnaast heeft de Onderzoeksraad interviews gehouden bij Vopak, de fabrikant van de doorstroombegrenzer Fort Vale en het bedrijf Demi Container Services B.V., waar de betrokken transporttank in onderhoud is geweest. Ook zijn er schriftelijk nog aanvullende vragen gesteld aan Vopak, Fort Vale en ILT (Keten Gevaarlijke Stoffen en Organismen/ Veiligheid en Instituten) en is informatie ingewonnen bij TNO (Expertisegroep Heat Transfer & Fluid Dynamics).

5 Vopak, *Tripod-onderzoek: Butadieen lekkage 1 februari 2019*, februari 2019.

6 Onderzoek PYRANHA ZBRBA19005.

7 NFI, *Onderzoek naar aanleiding van een incident in Vlissingen op 1 februari 2019*, aanvraagnummers 001 en 003, juli 2019 en NFI, *Technisch en Materiaalkundig onderzoek naar aanleiding van een incident in Vlissingen op 1 februari 2019*, november 2020.

2 FEITELIJKE INFORMATIE

2.1 Inleiding

Op de terminal in Nieuwdorp verzorgt Vopak op- en overslag van gassen in bulk.⁸ De aan- en afvoer ervan gebeurt per schip, per trein en per vrachtauto. De op- en overslag van gassen gebeurt, net als het transport, hoofdzakelijk in vloeibare vorm. Dat wil zeggen dat de gassen tot vloeistof zijn verdicht door ze onder druk of gekoeld te houden.

De emissie op 1 februari 2019 vond plaats bij het lossen van een transporttank gevuld met 1,3-butadien, een onder druk tot vloeistof verdicht gas. De transporttank, die achterop een vrachtwagen stond, werd geleege op een hiervoor ingerichte laadstelling. De stof moest vanaf de laadstelling naar een opslagtank (boltank met een volume van 3370 kubieke meter) elders op het terrein worden verpompt. Zie figuur 1 voor een luchtfoto van het Vopakterrein. In dit hoofdstuk worden de betrokken installatie en het voorval beschreven.



Figuur 1: Luchtfoto van een deel van het Vopak-terrein. De laadstelling waar het voorval plaatsvond is in rood aangegeven. De openbare weg waarover de transporttank is aangeleverd is aan de rechterraand van de afbeelding te zien. (Bron: Google maps)

8 Vopak is een tankopslagbedrijf en is geen eigenaar van het product en ook niet van de vervoersmiddelen inclusief bijbehorende transporttanks. Vopak slaat gassen op en over in opdracht van haar klanten.

2.2 Beschrijving van de installatie

2.2.1 De transporttank

Een transporttank is een verplaatsbaar reservoir voorzien van een extern frame en uitrustingsdelen met het formaat van een zeecontainer. In dit geval betrof het een tank⁹ met een lengte van 6 meter (20 feet) die is ontworpen en gebouwd als IMO type 5 tank. De IMO type 5 tankspecificatie was een verzameling eisen uit de *International Maritime Dangerous Goods*-code voor transporttanks gevuld met gassen die onder druk vloeibaar worden gehouden.¹⁰ Onder voorwaarden mogen IMO type 5 tanks nog steeds worden gebruikt volgens de IMDG-code en ADR. Eén van die voorwaarden is dat de IMO type 5 tank moet voldoen aan de huidige eisen voor tanks voor vloeibare gemaakte gassen, de zogenoemde transport-tankinstructie T50. Volgens de certificering voldoet de bij dit voorval betrokken tank daaraan.

De bij de emissie betrokken transporttank is geproduceerd in april 2000 en heeft een capaciteit van 24.200 liter (24,2 kubieke meter). De hoogst toelaatbare bedrijfsdruk (*Maximum Allowable Working Pressure* of MAWP) van de tank bedraagt 22 barg¹¹ en dat is ook de grenswaarde van het overdrukventiel bovenop de tank. Zie figuur 2 voor een foto van de transporttank. Op het frame van de tank zit een metalen plaat met daarop aangegeven welke vloeibare gassen ermee vervoerd kunnen worden en per gas de maximaal toegestane massa.



Figuur 2: De bij dit voorval betrokken transporttank. (Bron: ILT)

- 9 Tenzij anders wordt aangegeven, wordt met tank verwezen naar de transporttank en niet naar de opslagtank van Vopak.
- 10 De IMDG-code van de *International Maritime Organization* (IMO, Internationale Maritieme Organisatie) bevat bepalingen met betrekking tot het zeevervoer van gevaarlijke stoffen in verpakte vorm, in tanks en in tankvoertuigen. Tegenwoordig hanteert de IMO geen eigen tankspecificaties meer in de IMDG-code, maar worden de tanktypen gebruikt die de Verenigde Naties hebben aanbevolen voor gevaarlijke stoffen. Dat zijn dezelfde tanktypen als in de *Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road* (ADR) worden gebruikt.
- 11 De gebruikte eenheid van druk is bar. Barg staat voor de druk bovenop de atmosferische druk.

In november 2018, enkele maanden voor de emissie, heeft de bij het voorval betrokken transporttank onderhoud en een keuring gehad. Een dergelijke periodieke keuring is een vereiste om de transporttank te mogen blijven gebruiken. Uit het bijbehorende certificeringsrapport blijkt dat de keuring in november 2018 een zogenaamde 5-jaarlijkse keuring betrof. Een druktest is daar onderdeel van en deze wordt meestal uitgevoerd voorafgaand aan het onderhoud. De transporttank doorstond de 28,6¹² barg testdruk zonder opmerkingen.

De transporttank heeft aan één van de kopse kanten de openingen die voor laden en lossen worden gebruikt: één opening voor de vloeistoffase en één voor de gasfase, zie figuur 3. In lijn met de eisen voor T50 tanks hebben beide openingen drie afsluiters in serie, waarvan de afsluiter het dichtst op de tank een doorstroombegrenzer is.



Figuur 3: De vloeistof- en gasfaseopening met ieder drie afsluiters. Links: vloeistoffase, rechts: gasfase. Ook zichtbaar zijn de thermo- en manometer. (Bron: ILT)

2.2.2 De doorstroombegrenzer

De functie van een doorstroombegrenzer is om de stroming te beperken wanneer een op de transporttank aangesloten gas- of vloeistofleiding scheurt of breekt. De werking is als volgt: wanneer de snelheid van de vloeistof¹³ in het stromingskanaal van de doorstroombegrenzer boven een gespecificeerde waarde komt, dan sluit een klep waardoor er bijna geen stroming meer mogelijk is.

¹² 130% van de MAWP van de tank.

¹³ Of het gas, wanneer het een doorstroombegrenzer voor de gasaansluiting betreft.

Dit gebeurt omdat die klep is verbonden met een veer die zo is gedimensioneerd dat de klep open is bij een normale doorstroomsnelheid en dicht is bij hogere snelheden. Bij een hogere snelheid zorgt de grotere kracht van de stromende stof op de klep dat de veer wordt ingedrukt en de klep sluit. De hogere stroomsnelheid wordt bereikt als een op de transporttank aangesloten gas- of vloeistofleiding bezwijkt, aangezien de tegendruk daardoor wegvalt. Na het sluiten zorgt het drukverschil tussen de tankinhoud en de omgeving dat de klep gesloten blijft. Als er weer voldoende tegendruk is, dan zal dat de klep weer openen.

Doorstroombegrenzer in meer detail

De doorstroombegrenzer sluit ook als de doorstroomsnelheid groter is dan de grenswaarde voor sluiting maar de aangesloten leiding niet bezwaken is. Dit kan voorkomen als een transporttank wordt gelost met een groot drukverschil tussen de tank en de aangesloten leiding. Ook dan zorgt het drukverschil tussen de tank en de leiding dat de klep gesloten blijft, maar in dit geval is het wenselijk om de klep weer te kunnen laten openen zodat de stroming wordt hervat. Daarom bevindt er zich een kleine extra klep in de doorstroombegrenzer die open is als 'grote' klep sluit.¹⁴ Omdat hierdoor een zeer beperkte stroming mogelijk blijft, kan de tegendruk achter de klep geleidelijk toenemen (als er stroomafwaarts een (deels) gesloten systeem aanwezig is) en kan de klep uiteindelijk weer openen zodra het drukverschil over de doorstroombegrenzer niet meer zo groot is dat de veer van de 'grote' klep wordt ingedrukt.

De hierboven beschreven werking van beide kleppen geldt alleen wanneer de bedieningshendel van de doorstroombegrenzer in de open stand staat. Wanneer de hendel in de gesloten stand staat, is de doorstroombegrenzer geheel gesloten. Om bij een bezwaken leiding op afstand de doorstroombegrenzer geheel te kunnen sluiten, zit er een noodkabel aan de hendel. Die kabel moet van tevoren worden uitgerold, waarmee dan op afstand de kleppen gesloten kunnen worden.

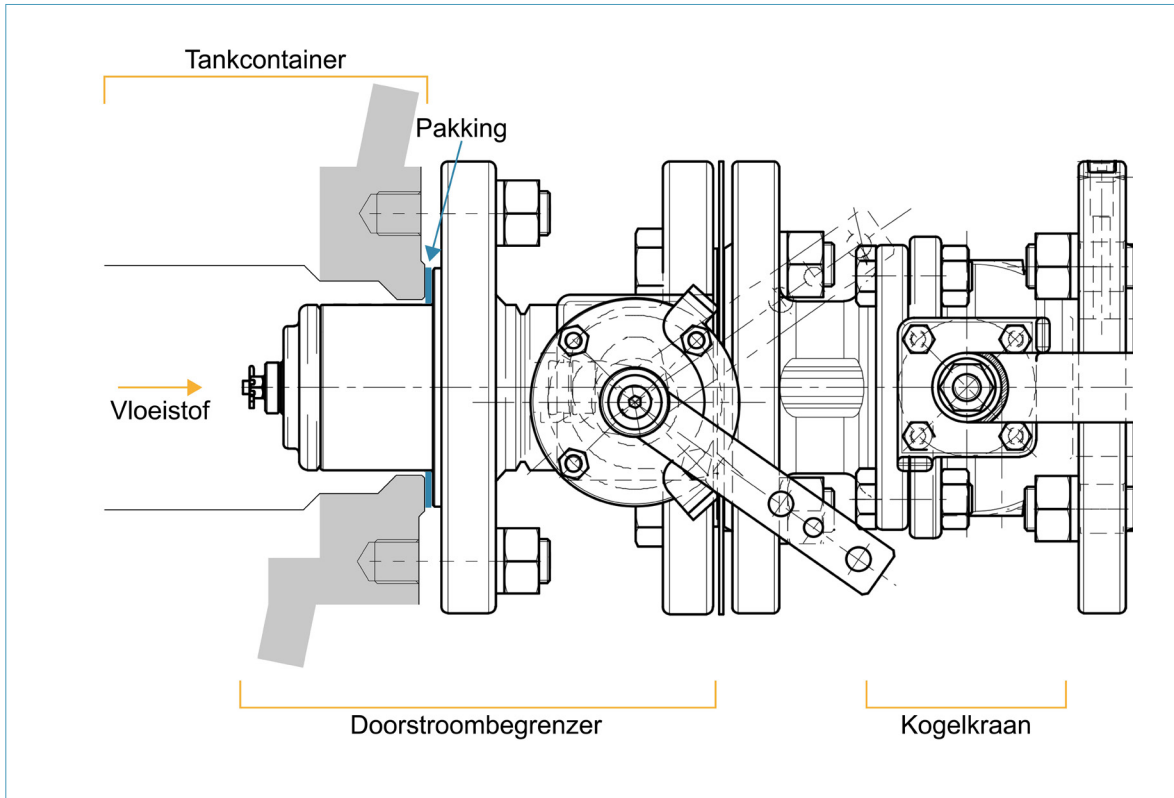
Op de vloeistoffase-opening van de transporttank die bij de emissie was betrokken, zaten een doorstroombegrenzer en kogelkraan in serie, zie figuur 4. De combinatie van deze afsluiters was van het merk Fort Vale (type 888/252395L) met een ontwerpdruk van 34,5 barg.¹⁵ De derde afsluiter was een flens met schroefdop, zie figuur 3. Boven de afsluiters bevinden zich een manometer en een thermometer waarop respectievelijk druk en temperatuur in de tank kunnen worden afgelezen.

De doorstroombegrenzers en de andere afsluiters zijn geen integraal onderdeel van de tank, maar zijn erop gemonteerd bij het samenstellen van de transporttank. Een flens van de doorstroombegrenzer is met moeren en veerringen verbonden aan draadeind van de tank, zie figuur 4 en figuur 5.

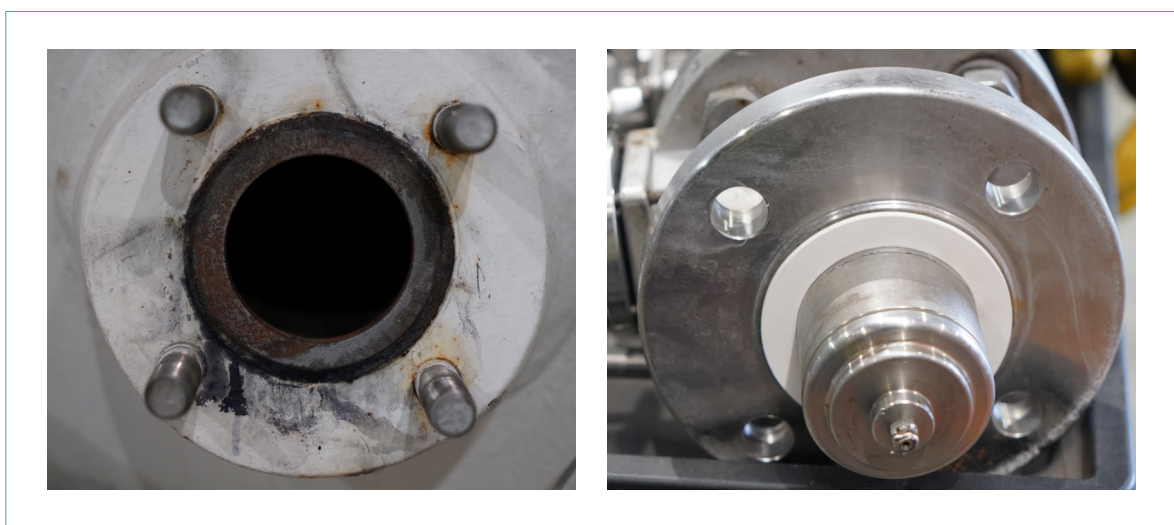
¹⁴ Alleen als de bedieningshendel van de doorstroombegrenzer in de open stand staat.

¹⁵ Fort Vale geeft voor de combinatie van de twee afsluiters een testdruk op van 70 barg.

Om lekkage te voorkomen wordt tussen de flens en de tankwand een pakking (afdichtring) geplaatst. Deze pakking sluit nauw aan op het deel van de doorstroombegrenzer dat de tank insteekt, zie opnieuw figuur 5. De opening in de tank is iets groter dan het deel van de doorstroombegrenzer dat naar binnen steekt.



Figuur 4: Doorsnede van de aansluiting van de afsluiters (in zwart) op de wand van de transporttank (in grijs). De weergave van de tankwand is indicatief. De pakking tussen de transporttank en de doorstroombegrenzer is in blauw aangegeven. De kleppen van de doorstroombegrenzer staan in de gesloten stand. (Bron: Fort Vale, bewerking door Onderzoeksraad)



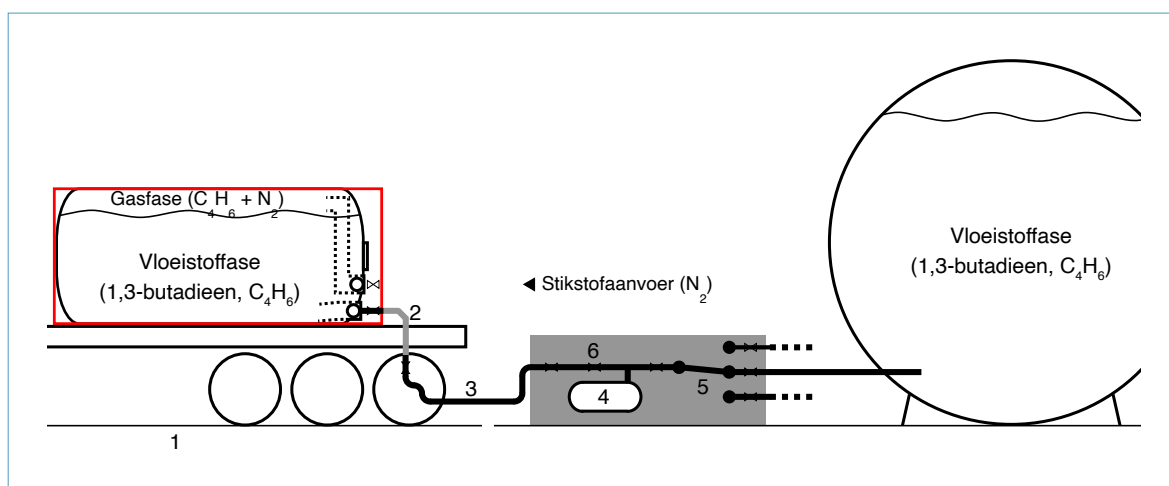
Figuur 5: Foto's van de twee zijden van de verbinding tussen de tank (links) en de doorstroombegrenzer (rechts), genomen na het voorval. De witte ring in de rechterfoto is een nog ongebruikte pakking. (Bron: ILT)

Alle pakkingen en vervangingsonderdelen van de afsluiters moeten bij een onderhoudsbeurt worden vernieuwd. Na demontage worden dan de afsluiters op de tank gemonteerd met ook nieuwe pakkingen tussen de afsluiters en de tankwand. Na het onderhoud volgt de rest van de keuring. Na het onderhoud in 2018 slaagde de transporttank met de gereviseerde afsluiters voor de dichtheidsproef¹⁶ en ook is de werking van de afsluiters gecontroleerd als onderdeel van de 5-jaarlijkse keuring.

2.2.3 De losplaats en de losprocedure

Voor het lossen van per vrachtauto aangeleverde transporttanks heeft Vopak vier zogenaamde laadstellingen. Deze staan op afstand van de opslagtanks en andere installaties van Vopak. Een laadstelling bestaat uit een weegbrug, twee laadarmen en een systeem van leidingen en afsluiters dat uitkomt bij een verdeelpunt. Bij het verdeelpunt wordt de vloeistofleiding van de laadstelling door middel van een koppelarm verbonden met de leiding naar de juiste opslagtank elders op het terrein. Ook bevat de laadstelling verschillende druk- en stromingsmeters en een accumulator om richting het verdeelpunt drukwisselingen te dempen. Zie figuur 6 voor een schematische weergave van de situatie tijdens het lossen van de transporttank. De laadstellingen zijn ook voorzien van een sprinklerinstallatie en een gasdetectiesysteem.

Nadat de vrachtauto de weegbrug is opgereden en alles is aangesloten, gebeurt het lossen van een transporttank op de volgende manier: door met behulp van stikstofgas de druk in de tank op te voeren worden de vloeibare gassen door de vloeistofopening de transporttank uit geduwd. Een transporttank beladen met onder druk vloeibaar gehouden gas is niet voor 100% gevuld met vloeistof, maar bevat voor een deel (bovenste deel) lading in gasvorm. Omdat de vloeistof- en de gasfase in de transporttank elk in verbinding staan met een eigen opening, kan via de gasfaseopening de druk in de tank worden beïnvloed.



Figuur 6: Schematische weergave van de losopstelling met links de transporttank en rechts de opslagtank. De nummers corresponderen met (1) weegbrug, (2) verlengstuk, (3) laadarm met afsluiter, (4) accumulator, (5) koppelarm en (6) regelklep. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

16 Een proef waar de transporttank op lekkage wordt gecontroleerd bij een druk van tenminste 25% van de MAWP van de tank.

Voor een lossing moeten de vloeistof- en gasopening van de transporttank zijn aangesloten. De gasopening wordt aangesloten op de aanvoer van stikstofgas, terwijl de vloeistofopening wordt aangesloten op één van de twee laadarmen van de laadstelling. Wanneer de transporttank met zijn openingen niet aan de rand van de vrachtwagentrailer stond, werd door Vopak een verlengstuk gebruikt tussen transporttank en de laadarm, omdat het bereik van de laadarm in dat geval onvoldoende was.¹⁷ Dit was ook bij de lossing waarbij het voorval plaatsvond het geval. Het verlengstuk bestond uit een roestvaststalen buis (binnendiameter ongeveer 5 centimeter) van ongeveer 2 meter lang met daarin twee bochten van 45 graden.

Vanaf de transporttank gezien wordt het vloeibare gas door achtereenvolgens de vloeistofopening met doorstroombegrenzer, het verlengstuk, de laadarm en het leidingwerk van de laadstelling getransporteerd. Vanaf het verdeelpunt van de laadstelling stroomt het vervolgens naar de opslagtank. Om het 1,3-butadieen in de boltank tegen de heersende druk in naar ongeveer 15 meter hoogte te kunnen drukken is tenminste 2 bar overdruk nodig. Hiervoor wordt bij het lossen de druk in de gasfase van de transporttank met stikstof opgevoerd. Vopak beschikt over een leidingnet met stikstofgas bij 14 barg. Voor het lossen van 1,3-butadieen bij de laadstelling wordt de stikstofdruk verlaagd met een mobiel reduceerventiel (zonder manometer) naar een druk van ongeveer 7 barg.

Om een lossing uit te kunnen voeren, moeten alle afsluiters in de vloeistofleiding tussen de transporttank en de opslagtank geopend worden. Van deze reeks afsluiters zijn sommige op afstand bediend en andere handbediend. De afsluiters op de transporttank en de laadarm en de afsluiter tussen de accumulator en de koppelarm zijn handbediend. Het openen van de op afstand bediende afsluiters is gekoppeld aan het indrukken van de startknop¹⁸ in het zogenaamde chauffeurshok. Dit is een ruimte bij de laadstellingen voor de vrachtwagenchauffeur en de operator waar de bediening plaatsvindt. Tijdens de lossing moet de chauffeur daar de dodemansknop rechtop houden; als die knop niet meer rechtop is, dan stopt de lossing.

Na het indrukken van de startknop opent de regelklep in de leiding tussen de laadarm en het verdeelpunt als laatste, zie figuur 6 voor de positie daarvan. Door het openen van die klep kan butadieen door het drukverschil¹⁹ van de transporttank naar de opslagtank stromen.

2.3 Beschrijving van de gebeurtenissen

2.3.1 Lading en reis (voorafgaand aan voorval)

Op 9 januari 2019 is de transporttank in Alexandrië, Egypte, beladen met gestabiliseerd 1,3-butadieen.²⁰ De hoeveelheid wordt bepaald op basis van massa en per type vloeibaar

¹⁷ Na het voorval is deze situatie anders aangepakt. Zie paragraaf 2.4 voor de getroffen maatregel met betrekking tot het gebruik van het verlengstuk.

¹⁸ Het bedienen van startknop is gekoppeld aan het DCS, het besturingssysteem van de installaties van Vopak.

¹⁹ Normaal gesproken ongeveer 7 bar in de transporttank en 2 bar stroomafwaarts in het te vullen systeem.

²⁰ De precieze beladen hoeveelheid 1,3-butadieen is bij de Onderzoeksraad niet bekend.

gas is voor de transporttank een maximum voorgeschreven. Voor transport van 1,3-butadien is de maximaal toegestane hoeveelheid 0,55 kilogram per liter, wat voor deze transporttank neerkomt op 13.310 kilogram.

Na het laden is de transporttank per schip naar de haven van Rotterdam vervoerd, waar hij op 31 januari 2019 door een transporteur werd opgehaald met een vrachtwagentrailer. De transporttank is toen midden op de langere trailer geplaatst vanwege de gewichtsverdeling over de vrachtwagen tijdens het transport. Op vrijdagochtend 1 februari was de chauffeur met de transporttank voor lossing bij Vopak.

2.3.2 Beschrijving van het lossen en de aanvang en bestrijding van de lekkage

In de onderstaande tabel zijn de voor dit voorval relevante gebeurtenissen chronologisch beschreven.²¹

11.25 uur	Vrachtwagen met transporttank arriveert bij laadstelling 1. Chauffeur loopt vervolgens naar het chauffeurshok van laadstellingen 1 en 2, maar vertrekt even later weer.
11.35 uur	Operator Vopak begint met voorbereiden: verzegeling transporttank verbreken, aarding aansluiten, koppelarm met de juiste opslagtank verbinden.
11.50 – 12.15 uur	Een medewerker van een externe partij neemt monsters af bij de transporttank via de vloeistofopening en bepaalt het zuurstofgehalte via de gasopening, daarna verlaat hij de laadstellingen. Voorafgaand aan deze handelingen zijn de doorstroombegrenzers van de transporttank geopend.
12.04 uur	Vrachtwagenchauffeur arriveert samen met een collega in opleiding bij de laadstellingen en ze gaan het chauffeurshok in.
12.15 – 12.20 uur	Operator sluit de transporttank aan. Eerst sluit hij de slang van de stikstofaanvoer aan en daarna worden het verlengstuk en de laadarm door de operator aangesloten en getest op lekkage. Vervolgens opent hij de afsluiters van de transporttank en de stikstofaanvoer. Hierbij wordt de noodkabel van de doorstroombegrenzers niet uitgerold.
12.20 – 12.22 uur	De chauffeur, de collega en de operator zijn in het chauffeurshok voor de start van de lossing: operator drukt startknop in en dodemansknop wordt vastgehouden door de chauffeur. De lossing begint doordat de nog gesloten op afstand aangestuurde kleppen automatisch openen. De laatste gesloten klep ²² begint met openen om 12.22:39 uur.
12:22 uur	Bij het starten van de lossing horen de chauffeur en de operator een klapperend geluid ²³ en het verlengstuk/laadarm begint heen en weer te bewegen (vanaf 12.22:45 uur).
12.22:52 uur	Start uitstroom (lekkage) van 1,3-butadien bij de vloeistofopening van de transporttank. Zie figuur 7 voor een impressie van de lekkage kort na aanvang.

²¹ Voor de tijdlijn zijn gegevens uit verschillende bronnen, zoals camerabeelden en het aansturingssysteem, gecombineerd. Hiervoor moest de tijd van die bronnen worden gesynchroniseerd. Dat is gedaan tot ongeveer 5 seconden nauwkeurig en de tijd van de camerabeelden is leidend gemaakt. De tijden uit het logboek van de controlekamer waren niet te verifiëren of te synchroniseren en zijn opgenomen met enige onzekerheid, dit is aangegeven met ~.

²² Het betrof een pneumatisch aangestuurde *camflex* afsluiter, waarvan het openen ongeveer 10 seconden duurde.

²³ Het klapperende geluid werd bij Vopak ook bij het opstarten van eerdere lossingen van 1,3-butadien waargenomen. De operator die om 12.24:15 uur bij de laadstelling arriveert hoorde het klapperen ook.



Figuur 7: Camerabeeld van ongeveer 16 seconden na aanvang van de lekkage. Vooraan tussen laadstellingen 1 en 2 is het chauffeurshok te zien; rechts daarvan loopt de operator van Vopak. (Bron: Vopak)

12.23:02 uur	De noodstop wordt ingedrukt door de operator.
12.23:08 uur	Systeemmelding: op afstand aangestuurde klep in de vloeistofleiding is gesloten.
12.23:15 – 12.23:25 uur	Operator sluit de handbediende afsluiter tussen de accumulator en de koppelarm.
12.24:12 – 12.24:55 uur	Operator zet masker met onafhankelijke ademlucht op en klimt op de trailer om de doorstroombegrenzers te sluiten met een aluminium Rego-sleutel. Omdat de noodkabel niet was uitgerold, konden de doorstroombegrenzers niet op afstand worden gesloten. Daarna zet de operator zijn masker met ademlucht weer af.
12.24:15 – 12.24:45 uur	Tweede operator arriveert bij laadstelling 1 om te assisteren. Hij sluit de handafsluiter van de laadarm. De laadarm bevindt zich op enkele meters afstand, bovenwinds van de uitstroomopening en de operator gebruikt bij het sluiten geen onafhankelijke ademlucht.
12.25:30 uur	De uitstroom van 1,3-butadiëen houdt aan en de operators gaan ter hoogte van laadstelling 2 staan. De chauffeur verlaat het chauffeurshok en gaat bij de operators staan. De collega van de vrachtwagenchauffeur verlaat de laadstellingen. Beide gebruiken geen gasmasker of onafhankelijke ademlucht.
12.25:42 uur	Alarm automatische gasdetectie laadstelling 1 vanwege detectie van tenminste 15% van de LEL (<i>Lower explosive limit</i> , minimaal benodigde concentratie voor een explosieve atmosfeer).
12.26:30 uur	Alarm automatische gasdetectie laadstelling 1 vanwege detectie van tenminste 25% van de LEL.
12.27:20 uur	Vrachtwagenchauffeur wordt door operator naar het kantoor gestuurd.
12.27:28 uur	Derde operator arriveert bij de laadstellingen en overlegt met de andere twee bij laadstelling 2.

12.27:37 uur	Bedrijf wordt stilgelegd vanuit de controlekamer (<i>terminal shutdown</i>).
12.28:10 uur	Bedrijfsalarm wordt geactiveerd vanuit de controlekamer (<i>terminal alarm</i>).
12.28:37 – 12.28:57 uur	De drie operators verlaten de laadstellingen.
12.28:56 uur	Sprinklerinstallatie laadstelling 1 wordt vanuit de controlekamer geactiveerd. Hierdoor begint ijs te vormen bij de afsluiters en op de trailer. Later ook op de grond rondom de achterzijde van de trailer, zie figuur 8.



Figuur 8: Camerabeeld van bijna drie uur na aanvang van de lekkage. (Bron: Vopak)

12.29:54 – 12.30:06 uur	Alarm automatische gasdetectie laadstelling 2 vanwege detectie van tenminste 15 en daarna 25% van de LEL.
~12.35 uur	Alarmering hulpdiensten.
12.36 uur	Automatische gasdetectie laadstelling 1 meet meer dan 100% LEL (en geeft vervolgens geen waarden meer door). Hetzelfde geldt voor één van de twee sensoren van laadstelling 2.
~12.47 uur	Eerste tankautospuit van de brandweer arriveert bij de hoofdingang. Binnen een half uur arriveren er nog vier.
12.49 uur	Tweede operator stopt de stikstofaanvoer.
12.56:32 uur	De sprinklerinstallatie van laadstelling 2 wordt vanuit de controlekamer geactiveerd om het eigen hemelwaterriool te vullen/door te spoelen en daar een ophoping van 1,3-butadieen te voorkomen.
~13.00 uur	Adviseur Gevaarlijke Stoffen (AGS) van de brandweer arriveert en gaat om ongeveer 13.15 uur gasmetingen uitvoeren.
~13.22 uur	Opschaling incidentbestrijding naar GRIP 1.

13.25 uur	Einde alarm automatische gasdetectie laadstelling 2: de (nog rapporterende) sensor meet een concentratie kleiner dan 15% van de LEL.
~13.38 - ~13.55 uur	Vertegenwoordigers van politie, ambulance, brandweer en gemeente arriveren voor CoPI. Ook arriveert de leider CoPI.
~13.50 uur	AGS rapporteert piekwaarde van 1345 <i>parts per million (ppm)</i> ²⁴ naast de laadstelling.
~14.00 uur	Eerste CoPI-overleg, opschaling naar GRIP 2 vanwege stankklachten uit Middelburg.
~14.45 uur	CoPI-overleg afgerond. Aan de inrichtingsgrens wordt 1 ppm gemeten.
15.04 uur	Sprinklerinstallatie laadstelling 1 gedeactiveerd voor inspectie transporttank. Ongeveer vijf minuten later werd ook de sprinklerinstallatie van laadstelling 2 uitgeschakeld.
16.00 – 16.03 uur	Opnieuw alarm automatische gasdetectie laadstelling 2 vanwege detectie van tenminste 15% en daarna 25% van de LEL door de nog rapporterende sensor.
16.06 uur	Eind alarm automatische gasdetectie laadstelling 2: de gemeten concentratie is weer < 15% LEL.
~16.12 uur	Afschalen incidentbestrijding van GRIP 2 naar GRIP 1.
~17.28 uur	Brandweer begint met een waterstraal ijs bij de transporttank te verwijderen.
's avonds	Transporttank wordt met stikstof gespoeld om resterende inhoud door Vopak gecontroleerd te laten verbranden.

2.3.3 Effecten van de emissie

De vrijgekomen stof 1,3-butadien is een zogenoemde Zeer Zorgwekkende Stof; de stof kan genetische schade veroorzaken en is kankerverwekkend. Ook is de stof zeer licht ontvlambaar. 1,3-butadien is in gasvorm zwaarder dan lucht en het verplaatst zich daardoor bij de grond, met ontbranding op afstand van de bron als gevaar.

In het eerste uur van de lekkage is volgens het Vopak-rapport²⁵ het grootste deel van de tankinhoud uitgestroomd (8700 kg). Na 13 minuten is bij laadstellingen 1 en 2 een concentratie hoger dan de onderste explosiegrens gedetecteerd.²⁶ Bij het voorval is er geen 1,3-butadien tot ontbranding gekomen.

Bij de laadstelling zijn de drie operators en de vrachtwagenchauffeur die zich bovenwinds van de lekkage bevonden blootgesteld aan 1,3-butadien.²⁷ Uit vergelijking van de camerabeelden en de alarmen van de automatische gasdetectie bij de laadstellingen, blijkt dat ze laadstelling 1 en daarna 2 verlieten voordat daar het alarmniveau van 15% van LEL werd bereikt. Ze zijn waarschijnlijk dus niet blootgesteld aan een concentratie hoger dan die 15% LEL, oftewel 1650 ppm.

²⁴ 1345 ppm is gelijk aan 0,1345% (in volume) en ongeveer 12% van de LEL.

²⁵ Vopak, *Tripod-onderzoek: Butadien lekkage 1 februari 2019*, februari 2019.

²⁶ De onderste explosiegrens van 1,3-butadien is 1,1%, oftewel 11.000 ppm, oftewel 24.800 milligram per kubieke meter.

²⁷ Wel heeft één van de operators heeft bij het sluiten van de doorstroombegrenzers gebruik gemaakt van onafhankelijk adembescherming. Nadat hij deze weer afgedaan verbleef hij nog enkele minuten op de laadstelling in de nabijheid van de geëmitteerde wolk 1,3-butadien en is na enkele minuten samen de andere twee operators weggegaan van de laadstelling (zie ook de tijdlijn in het rapport).

Dat de operators zijn blootgesteld blijkt uit het feit dat de PID-meters²⁸ die ze droegen het alarmniveau van 50 ppm hadden bereikt. Dit gold ook voor de derde operator die maar ongeveer 1 minuut bij laadstelling 2 is geweest. Aangezien de vrachtwagenchauffeur zich op vergelijkbare afstand als de derde operator bevond, is het aannemelijk dat bij hem het alarmniveau ook was bereikt als hij een meter had gehad. Van de collega van de vrachtwagenchauffeur is dit onbekend.

In Nederland wordt voor 1,3-butadien een alarmeringsgrenswaarde (AGW) van 12.000 milligram per kubieke meter aangehouden, wat overeenkomt met ongeveer 5300 ppm.²⁹ De AGW is de luchtconcentratie waarboven onherstelbare of andere ernstige gezondheidseffecten kunnen optreden.³⁰ Daarnaast is er ook nog de *carcinogenic risk potency* (CRP), wat de luchtconcentratie is van een stof met een kankerrisico van 1:10.000 bij een eenmalige blootstelling van 1 uur. De CRP van 1,3-butadien bedraagt 615 milligram per kubieke meter (omgerekend 273 ppm).³¹ Bij het voorval is de AGW-waarde bij de laadstellingen bereikt,³² maar op het moment van die meting waren geen personen meer aanwezig op de laadplaats.

Nabijgelegen bedrijven en schepen zijn door Vopak geïnformeerd en later uit voorzorg door de hulpdiensten geëvacueerd. Iets meer dan een uur na het begin van de lekkage kwamen er ook geurklachten uit Middelburg, dat ligt 6 kilometer ten noordwesten van het Vopakterrein. De benzineachtige³³ geur van 1,3-butadien is ruikbaar vanaf ongeveer 4 ppm³⁴ en kan daarmee de oorzaak van de klachten zijn geweest want de windrichting was op het moment van de klachten ongeveer oostzuidoost.

Uit een pluimberekening van het NFI³⁵ blijkt dat het gebied waarbinnen de voorlichtingsrichtwaarde (VRW) van 1500 milligram per kubieke meter³⁶ is bereikt, binnen het Vopak-terrein is gebleven. De VRW is de concentratie die waarschijnlijk als hinderlijk wordt ervaren en waarbij lichte (omkeerbare) gezondheidsklachten mogelijk zijn.

2.4 Na het voorval door Vopak getroffen maatregelen

Direct na het voorval heeft Vopak Vlissingen de losprocedure voor transporttanks aangepast. Het is verplicht geworden om de noodkabel uit te rollen waarmee de doorstroombegrenzers op afstand kunnen worden gesloten. Ook heeft Vopak besloten het verlengstuk niet langer te gebruiken.

28 PID staat voor *Photo Ionisation Detector*. Een PID-meter is een draagbaar gasdetector; het meet vluchtige organische stoffen en kan een alarm genereren bij het overschrijden van een opgegeven grensconcentratie.

29 Bij blootstelling van 1 uur. RIVM, *1,3-Butadien Stofgegevens*, <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/stof/detail/35>, laatst geraadpleegd op 3 mei 2021.

30 Met uitzondering van het risico op kanker. RIVM, *Handreiking voor de afleiding van interventiewaarden voor incidentbestrijding*, 2019.

31 NFI, *Onderzoek naar aanleiding van een incident in Vlissingen op 1 februari 2019*, juli 2019.

32 Want de LEL is bereikt bij LEL-meter op grondniveau en de AGW is lager dan de LEL.

33 National Library of medicine, *Compound summary 1,3-butadiene*, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_3-Butadiene, laatst geraadpleegd op 11 februari 2021

34 RIVM, *1,3-Butadien Stofgegevens*, <https://rvszoeksysteem.rivm.nl/stof/Detail/35>, laatst geraadpleegd op 15 maart 2021.

35 NFI, *Onderzoek naar aanleiding van een incident in Vlissingen op 1 februari 2019*, juli 2019.

36 1500 milligram per kubieke meter staat gelijk aan ongeveer 666 ppm.

Daarvoor heeft het bedrijf de vervoerders gevraagd om transporttanks alleen nog aan te leveren met de aansluitingen aan de rand van de trailer. Bij lange trailers wordt dit opgelost door de transporttank in de haven van Vlissingen achterop te laten zetten.

Later zijn er nog enkele veranderingen doorgevoerd. De werkinstructie is aangepast: de druk in de transporttank wordt eerst vereffend met de vloeistofleiding van Vopak als er meer dan 3 bar verschil is.³⁷ Dit gebeurt door de handafsluiter van de vloeistofaansluiting langzaam te openen en Vopak stelt dat hiermee vloeistofslag³⁸ in de losleidingen (in het vervolg) wordt voorkomen. Daarna wordt de stikstofaanvoer geleidelijk geopend. Bij de laadstelling is de stikstofafsluiter naar het chauffeurshok verplaatst.

³⁷ Vopak Terminal Vlissingen, *Werkinstructie Truck en Container Lossen* (november 2019).

³⁸ Vloeistofslag (of waterslag) is een verschijnsel bij vloeistofstroming in leidingen. De term beschrijft de aanzienlijke drukveranderingen die kortstondig in een leiding kunnen ontstaan, wanneer stromende vloeistof in een relatief lange leiding in korte tijd sterk wordt vertraagd of wordt gestopt, bijvoorbeeld door het sluiten van een klep of ander soort afsluiter. Aan beide kanten van de gesloten klep verandert dan de druk: stroomopwaarts van de klep ontstaat een druktoename en stroomafwaarts een drukafname. Het sluiten van een klep gaat altijd gepaard met drukveranderingen, maar bij vloeistofslag kan het gaan om een veelvoud van het oorspronkelijke drukverschil. Of vloeistofslag zich voordoet hangt onder meer af van de stroomsnelheid, de dichtheid van de vloeistof, de tijd die de klep nodig heeft om te sluiten en de geometrie van leidingwerk.

3.1 Directe oorzaak: falen pakking

Inspectie van de transporttank na het voorval leert dat de pakking tussen de wand van de transporttank en de doorstroombegrenzer van de vloeistofopening is bezweken en deels naar buiten is gedrukt. Die ingeklemde pakking vormde de afdichting tussen tankwand en de flens van de hierop aangesloten doorstroombegrenzer en het bezwijken ervan leidde tot uitstroom van 1,3-butadieen naar de buitenlucht. De ontstane opening van waaruit de lekkage plaatsvond, kon niet worden geïsoleerd aangezien er geen afsluiters aanwezig zijn tussen deze plek en de tankinhoud. Hierdoor is vrijwel de gehele inhoud van de tank vrijgekomen.

Visueel en materiaalkundig onderzoek aan de gebruikte pakking heeft geen afwijkingen opgeleverd die het bezwijken kunnen verklaren.³⁹ Het materiaal van de pakking, glasvezel versterkt polytetrafluoretheen⁴⁰, is een veel toegepast pakkingmateriaal en is geschikt voor gebruik met 1,3-butadieen. Er is geen chemische aantasting waargenomen.

De vervorming van de pakking, zie figuur 9, kan worden verklaard doordat de pakking na het bezwijken deels naar buiten is gedrukt door de uitstroom van vloeibaar 1,3-butadieen. Het oppervlak van de pakking bevat aan één zijde afdrukken van concentrische groeven. Die afdrukken zijn ontstaan door de groeven in het oppervlak van de flens van de doorstroombegrenzer. De tweede set afdrukken in het oppervlak van de pakking⁴¹ is ontstaan door de controle van het aandraaimoment van de moeren na de emissie, waarbij de bezweken en verschoven pakking voor een tweede keer is ingeklemd. Omdat de dikte van de pakking niet is afgenomen, was er geen sprake van spanningsafname onder invloed van de aanhoudende belasting (geen overmatige spanningsrelaxatie).

39 NFI, *Technisch en Materiaalkundig onderzoek naar aanleiding van een incident in Vlissingen op 1 februari 2019*, november 2020.

40 Polytetrafluoretheen (PTFE) is ook bekend als teflon. In de pakking betrof het PTFE met een copolymeer, mogelijk polyheptafluorpropylvinyl-ether of perfluoralkoxy-alkaan.

41 Deze tweede set afdrukken van concentrische groeven bestrijkt maar een deel van het oppervlak van de pakking.



Figuur 9: De bezweken pakking. Zichtbaar is de zijde met twee sets afdrucken afkomstig van de groeven van het flensprofiel. De tweede set afdrucken is zichtbaar op het deel van de pakking tussen de twee pijlen. (Bron: ILT)

Microscopische inspectie van het scheidingsvlak (daar waar de pakking gebroken is) leert dat het vrij vlak en uniform van uiterlijk is.⁴² Er zijn geen tekenen van een eerder aanwezige scheur of andere imperfecties. Ook zijn er geen sporen gevonden die karakteristiek zijn voor snijden of knippen. De vervorming van het materiaal bij de breukvlakken is relatief klein, wat duidt op een relatief snelle breuk, waarschijnlijk in één beweging.

De vraag welke belasting (interne druk van het medium in de opslagtank en aangesloten leidingsysteem en mechanische krachten als gevolg van bewegingen van het aangesloten leidingsysteem) de pakking aankon, is achteraf niet eenduidig te beantwoorden. Dat komt omdat deze maximale belasting niet alleen afhangt van de vorm en het materiaal

⁴² NFI, *Technisch en Materiaalkundig onderzoek naar aanleiding van een incident in Vlissingen op 1 februari 2019*, november 2020.

van de pakking, maar ook van de wijze van inklemmen⁴³ ervan. Er is geen aanleiding om te denken dat dit type pakking niet sterk genoeg is voor de hoogst toegestane bedrijfsdruk, want de transporttank slaagde met vergelijkbare pakkingen tenminste elke vijf jaar voor een druktest bij 130% van de maximale bedrijfsdruk.⁴⁴

Dit alles tezamen maakt dat het bezwijken niet kan worden verklaard door het type of de staat van de pakking alleen en dat er dus andere verklarende factoren moeten zijn geweest waardoor deze het heeft begeven.

3.2 Mogelijk verklarende factoren

Er zijn vier factoren geïdentificeerd die een rol gespeeld kunnen hebben bij het falen van de pakking. Deze factoren zijn ofwel genoemd in het onderzoeksrapport van Vopak⁴⁵ of naar voren gekomen in de eigen analyse van de Onderzoeksraad. Opgemerkt wordt dat na het voorval de werking van de doorstroombegrenzer is getest door ILT. Hierbij is vastgesteld dat de werking voor zowel de vloeistof- als de gasafsluiter goed was en zijn er geen gebreken geconstateerd.⁴⁶

3.2.1 Montage van de pakking

Een pakking dicht alleen af als hij voldoende en gelijkmatig wordt samengedrukt en dat vereist bij dit type tank dat de moeren volgens het voorgeschreven aanhaalmoment zijn aangedraaid.⁴⁷ De klemkracht op de pakking bepaalt ook mede de belastbaarheid van de pakking bij druk vanuit het systeem.

Van de moeren die de doorstroombegrenzer aan de transporttank bevestigen is het oorspronkelijke aandraaimoment niet meer met zekerheid vast te stellen. Dit komt omdat door het bezwijken en wijken van de pakking de druk op de moeren is veranderd en dus ook hun aandraaimoment. Toch zijn er enkele constatering die erop wijzen dat het aandraaimoment waarschijnlijk niet te laag was. Bij één van de vier moeren zat de pakking nog redelijk op zijn plaats en daarvan is vastgesteld dat het aandraaimoment ongeveer voldeed.⁴⁸ Ook heeft de afdichting⁴⁹ goed gefunctioneerd tot aan het moment van de lekkage. De pakking vertoonde geen sporen die wijzen op een te grote klemkracht.

43 Daarbij spelen onder andere de volgende zaken een rol: de grootte en verdeling van de klemkracht, de geometrie en ruwheid van de aangrenzende oppervlakken, en of een uitsparing de pakking omsluit of niet.

44 De Onderzoeksraad heeft niet onderzocht wat er tijdens de reis voorafgaand aan de verlading bij Vopak op 1 februari 2019 heeft plaatsgevonden. Dit betekent dat niet met zekerheid gesteld kan worden dat de pakking die is bezweken, dezelfde was als tijdens de keuring in november 2018. Tegelijkertijd is in het onderzoek van het NFI wel vastgesteld dat de samenstelling van de pakking overeenkomt met de pakkingen die DEMI gebruikt en plaatst bij het onderhoud van transporttanks en welke in het onderzoek van NFI zijn gebruikt als referentiemateriaal.

45 Vopak, *Tripod-onderzoek: Butadien lekkage 1 februari 2019*, februari 2019.

46 ILT, *Proces-verbaal Onderzoek tankcontainer (ZBRBA19005-20)*, maart 2021.

47 Bij het aandraaien gaat het om de combinatie van de kracht en de arm (afstand tot het draaipunt) van die kracht. Dit wordt uitgedrukt in een 'moment': het product van de kracht en die afstand.

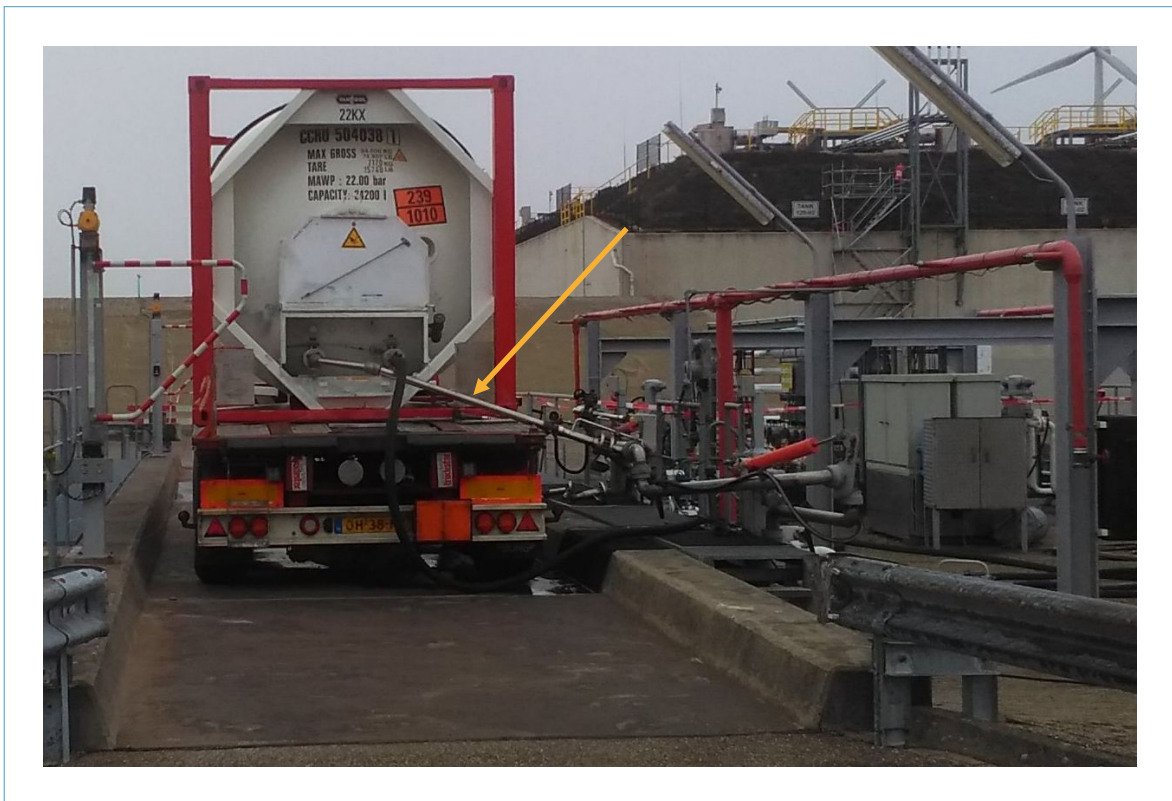
48 Tenminste 80 Newton meter waar 81 Newton meter is voorgeschreven. Dit is geconstateerd tijdens de inspectie door ILT van de doorstroombegrenzer na het voorval. ILT, *Proces-verbaal Onderzoek tankcontainer (ZBRBA19005-20)*, maart 2021.

49 Met afdichting wordt bedoeld het gehele systeem waarmee de doorstroombegrenzer verbonden is met de transporttank. Dit betreft dus de flens van de doorstroombegrenzer die met moeren verbonden is met de tankwand (door middel van draadeind op vier plaatsen rondom het gat) met een pakking ertussen.

Voor goed functioneren is het belangrijk dat de pakking niet scheef of op een andere wijze onjuist wordt gemonteerd. Bij dit type doorstroombegrenzer wordt de pakking om het deel van de doorstroombegrenzer dat de transporttank insteekt heen geplaatst en daarom is het in de praktijk haast onmogelijk om dat verkeerd te doen. Volledig dubbelgevouwen is een mogelijkheid, maar daar was geen sprake van. Er zijn kortom geen aanwijzingen dat er aan de montage iets afwijkends was, wat van invloed is geweest op het functioneren van de pakking.

3.2.2 Belasting door het verlengstuk

Om de verbinding tussen de tank van de vrachtwagen en de vaste leidingen tot stand te brengen heeft de laadstelling van Vopak een laadarm. Wanneer de aansluitingen op de kopse kant van een transporttank niet aan het einde van de vrachtwagentrailer zaten, lukte dat niet met de laadarm alleen en werd een verlengstuk gebruikt om deze verbinding te maken. Zo ook bij de lossing van dit voorval, zie figuur 10.



Figuur 10: Het verlengstuk (aangegeven door de pijl) liep van de vloestofafsluiters (links) tot aan de laadarm naast de trailer. (Bron: Vopak)

Het gebruik van het verlengstuk zorgt voor een grotere belasting op de transporttank en de afsluiters daarvan dan bij gebruik van alleen de laadarm. De laadarm is namelijk mechanisch ondersteund vanaf de laadstelling, maar het verlengstuk niet. Het gewicht van het verlengstuk werd door de trailer en de tank samen gedragen. De extra belasting die dit veroorzaakt op de bevestiging van de doorstroombegrenzer is veel kleiner dan de kracht die al aanwezig was om de pakking aan te drukken.

Bovenop het gewicht van het verlengstuk, heeft ook de beweging van het verlengstuk bij het starten van de lossing voor extra belasting gezorgd op de bevestiging van de doorstroombegrenzer en daarmee indirect ook op de pakking. Hoe groot die extra belasting was, is niet bekend. Het schroefdraad van de bevestiging van de doorstroombegrenzer was niet noemenswaardig vervormd. Als dat wel het geval was, dan had dat kunnen wijzen op een grote belasting door het verlengstuk.⁵⁰

Breuknaad

De doorstroombegrenzer heeft een beveiliging tegen externe overbelasting in de vorm van een breuknaad, in lijn met de IMO type 5/T50-specificatie. Als de doorstroombegrenzer op die breuknaad bezwijkt (bijvoorbeeld door een botsing) dan zitten de (gesloten) kleppen nog aan de zijde van de transporttank. Deze breuknaad is tijdens het voorval niet bezweken.

Er zijn geen aanwijzingen dat het gebruik van het verlengstuk bij de lossing die tot de emissie heeft geleid anders was dan bij voorgaande lossingen waarbij door Vopak het verlengstuk werd gebruikt.⁵¹

3.2.3 Druk in de transporttank

Volgens het enige opgeslagen meetpunt van de drukmeter in de vloeistofleiding van de laadstelling voordat de laatste klep in de vloeistofleiding open was, bedroeg de druk 7,5 barg. Dit betekent dat de druk in de vloeistofleiding voorafgaand aan het lossen hoger was dan gebruikelijk. Ter vergelijking, volgens Vopak was de druk bij twee eerdere lossingen op dezelfde laadstelling 5,3 en 6,2 barg.

Deze hogere druk in de vloeistofleiding kan alleen worden verklaard door een druk in de transporttank van tenminste 7,5 barg. Na het voorval is de druk van de stikstofaanvoer door Vopak gemeten: 7,0 barg en dat is te laag om het drukk niveau van 7,5 bar in de vloeistofleiding te kunnen verklaren. Nadat de afsluiters door het indrukken van de noodknop sloten, bedroeg de gemeten druk in de vloeistofleiding zelfs 8,1 barg. Het is aannemelijk dat de druk in de transporttank voorafgaand aan de lossing dan ook tenminste 8,1 barg was en dat op het moment van het enige meetpunt voorafgaand aan de lossing de druk in de vloeistofleiding nog aan het toenemen was. Zowel 7,5 als 8,1 barg is hoger dan in een tank door de dampspanning van butadieen zelf kan ontstaan.^{52, 53}

⁵⁰ ILT, *Proces-verbaal Onderzoek tankcontainer (ZBRBA19005-20)*, maart 2021.

⁵¹ In hoeverre de beweging van het verlengstuk bij eerdere lossingen ook vergelijkbaar was, heeft de Onderzoeksraad niet achterhaald.

⁵² Bij temperaturen tot de ontwerpreferentietemperatuur van 55 graden Celsius van de transporttank.

⁵³ Ter indicatie, 1,3-butadieen mag vervoerd worden in T50-transporttanks met een hoogst toegestane bedrijfsdruk (MAWP) van 7,0 barg.

Achtergrond van de druk in de transporttank

Voorafgaand aan het beladen van een transporttank is stikstofgas in de tank aanwezig en wanneer de tank wordt gevuld met 1,3-butadieen neemt het volume van de gasfase af en de druk toe. Normaliter wordt de druk in de tank tijdens en/of na het vullen verlaagd door gas uit de tank te laten lopen (afblazen). Mogelijk is dat bij deze transporttank niet gebeurd en was de druk in de transporttank na het laden hierdoor tenminste 8,1 barg.

Het transporteren van 1,3-butadieen bij een druk van 8,1 barg was in principe geen probleem, want de gebruikte transporttank inclusief onderdelen was geschikt bevonden voor stoffen met een druk tot 22 barg. Het overdrukventiel van de tank was op die druk van 22 barg gedimensioneerd. De druk van 8,1 bar paste ook binnen de voorschriften uit de IMDG-code en de ADR met betrekking tot het laden en transporteren van vloeibare gassen, want die voorschriften hebben geen betrekking op druk, maar vooral op de integriteit van de transporttank en de maximale temperatuur, vulgraad en massa.

Het directe effect van de hogere druk ten opzichte van de druk in de transporttanks van eerdere lossingen was een hogere belasting van de pakking. De verhoogde druk in de transporttank alleen vormde niet de oorzaak van het bezwijken van de pakking, aangezien de pakking gedurende het transport gewoon gehouden heeft.

Bij het voorbereiden op het lossen kon het drukniveau in de transporttank worden afgelezen, want de tank was voorzien van een manometer.⁵⁴ Dit is echter niet gebeurd.

3.2.4 Klapperen van de doorstroombegrenzer

De klep van de doorstroombegrenzer opende en sloot meermaals in korte tijd bij het starten van deze en ook bij eerdere lossingen. Dit openen en sluiten van de klep veroorzaakte een klapperend geluid. Van kleppen die door veren worden open gehouden is bekend dat ze kunnen bewegen als gevolg van de stroming.⁵⁵ In dit geval heeft de drukval over de doorstroombegrenzer bij het openen van de regelklep waarmee de lossing werd gestart, naar alle waarschijnlijkheid het klapperen van de doorstroombegrenzer geïnitieerd.⁵⁶ De accumulator verderop in de vloeistofleiding van de laadstelling had hier weinig invloed op, want die dempt vooral drukveranderingen richting de koppelarm.

⁵⁴ Onderweg was de manometer niet afleesbaar, want deze bevond zich bij de afsluiters in het dan verzegelde deel van de transporttank.

⁵⁵ Dit kan komen door drukveranderingen of lage vloeistofsnelheden, zie bijvoorbeeld S. Bouzidi, M. Hassan en S. Ziada, 'Self-excited vibrations of spring-loaded valves operating at small pressure drops', *Journal of Fluids and Structures*, november 2018.

⁵⁶ De procescondities (druk, snelheid en temperatuur) in de leidingen tijdens en direct na het opstarten zijn niet bekend. Naast dat de druk en temperatuur van de beginsituatie niet exact bekend zijn, betreft het opstarten van de lossing een complexe niet-evenwichtssituatie met meerdere dynamische effecten in een leidingsysteem dat bestaat uit verschillende onderdelen (met variërende doorstroomoppervlakten) en meerdere bochten.

Het klapperen van de klep van de doorstroombegrenzer zorgde ook voor drukveranderingen in de vloeistof.⁵⁷ Omdat de pakking in de afdichting tussen de tankwand en de flens van de doorstroombegrenzer in contact stond met de vloeistof zal deze zijn belast door de drukpieken die ontstonden door het klapperen. Mede door de complexe combinatie van druggolven is de grootte van die belasting niet bekend.⁵⁸

Drukveranderingen in een vloeistofleiding kunnen ook leiden tot beweging van het leidingsysteem. Dit fenomeen wordt *fluid-structure interaction* genoemd en is de aannemelijke verklaring voor de beweging van laadarm en het verlengstuk zoals waargenomen in dit voorval.⁵⁹ Het klapperen van de klep zorgde naast geluid- en druggolven ook voor een directe mechanische belasting van de gefixeerde onderdelen van het leidingsysteem, waaronder de afdichting tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer. De verwachting is wel dat deze belasting als gevolg van het hameren van de klep zelf relatief klein was ten opzichte van de aanwezige klemkracht en de andere belastingen van de afdichting tijdens het starten van de lossing.

3.2.5 Analyse van factoren

Op basis van de beschikbare informatie kan niet onomstotelijk worden vastgesteld in welke mate de verschillende factoren hebben bijgedragen aan het krachtenspel op de pakking waardoor de pakking is bezweken.

Van slechts één van de hiervoor genoemde factoren is met zekerheid vast te stellen dat deze afweek ten opzichte van vergelijkbare eerdere lossingen, namelijk de hogere druk in de transporttank voorafgaand aan de start van de lossing. Maar die hogere druk is op zichzelf geen voldoende verklaring voor het bezwijken van de pakking. Want die druk was veel lager dan waar de verschillende onderdelen, waaronder ook de pakking, bestand tegen moesten zijn. Bovendien verklaart de druk in de transporttank niet waarom de pakking pas bezweek bij het starten van de lossing en niet op het moment dat de druk zo hoog werd.

Van de andere drie factoren is het onwaarschijnlijk dat ze afzonderlijk het bezwijken hebben veroorzaakt. Bij eerdere lossingen was de procedure hetzelfde en werd bij het opstarten ook een klapperend geluid gehoord wat erop wijst dat er ook toen sprake was van een klapperende klep. Ook werd het verlengstuk bij eerdere lossingen gebruikt. Er zijn geen aanwijzingen dat de moeren een onjuist aandraaimoment hadden.

57 De grootte van deze drukveranderingen is afhankelijk van onder meer de snelheidsverandering en eigenschappen van de vloeistof en de geometrie van het leidingwerk. Vloeistofslag kan zich bijvoorbeeld voordoen, eventueel in combinatie met kolomseparatie. In die gevallen is de grootte van de drukpieken aanzienlijk. A. Bergant, A. Simpson en A. Tijsseling, 'Water hammer with column separation: a historical review', *Journal of Fluids and Structures*, februari 2005.

58 De Zjoekovski-formule voor drukpieken bij vloeistofslag is voor deze complexe situatie niet bruikbaar.

59 A. Tijsseling, 'Fluid-structure interaction in liquid-filled pipe systems: a review', *Journal of Fluids and Structures*, februari 1996.

Het is mogelijk om een combinatie van factoren aan te wijzen die een plausibele verklaring vormt voor het falen van de pakking. Die combinatie bestaat uit de belasting van de pakking door de drukpieken die ontstonden als gevolg van het klapperen van de klep van de doorstroombegrenzer samen met de hogere basisbelasting van de pakking door de hogere druk in de transporttank.⁶⁰ Door deze combinatie was de belasting van de afdichting in ieder geval hoger dan bij eerdere lossingen. Onzeker is of de extra belasting door de beweging van het verlengstuk als gevolg van de drukeffecten in het leidingwerk van de laadstelling een significante rol heeft gespeeld.

3.3 Bezwijkrisico van de pakking

Dit voorval toont aan dat het bezwijken van de pakking tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer mogelijk is. Tegelijkertijd zijn er bij de Onderzoeksraad geen andere voorvallen bekend waarbij die pakking van dit type transporttank is bezweken. In dit hoofdstuk wordt daarom verder ingegaan op de mogelijkheid dat de geconstateerde situatie vaker voor zou kunnen komen.

3.3.1 Belasting door een klapperende klep bij het starten van een lossing

Alle transporttanks voor onder druk tot vloeistof verdichte gassen die onder de IMDG of ADR vallen⁶¹ moeten een doorstroombegrenzer hebben. Het klapperen van de klep van de doorstroombegrenzer is dus een voorstelbaar scenario bij het lossen van transporttanks voor onder druk tot vloeistof verdichte gassen. Om tot een vergelijkbare belasting van de pakking te komen zoals in het onderzochte voorval, spelen de volgende aspecten een belangrijke rol: de aanwezige druk in de tank, het drukverschil tussen de tank en het aangesloten leidingsysteem voorafgaande aan de lossing en de losprocedure.

De voorafgaand aan een lossing aanwezige druk in een transporttank met een onder druk tot vloeistof verdicht gas is onder andere afhankelijk van de dampspanning van deze vloeistof. Bij andere tot vloeistof verdichte gassen kan de druk in deze transporttank voorafgaand aan de lossing vergelijkbaar zijn als bij 1,3-butadien.⁶² Ook kan het vaker gebeuren dat de druk in een transporttank hoger is dan de lading zelf kan generen op basis van de dampspanning van de opgeslagen stof. Voor het vullen van een opslagtank met tot vloeistof verdicht gas kan namelijk een inert gas met hoge druk worden gebruikt als drijvende kracht voor verlading.

Het starten van een lossing zal altijd drukgolven opleveren bij het openen van de laatste klep door het drukverschil tussen de inhoud van de transporttank en de opslagtank.

⁶⁰ De hogere druk zorgde niet alleen voor een grotere constante belasting van de pakking ten opzichte van eerdere lossingen, maar versterkte ook de gevolgen van het hameren en vergrootte daarmee ook de variabele belasting van de pakking. Een groter drukverschil tussen de transporttank en de opslagtank vergroot namelijk de stroomsnelheid en daarmee doorgaans ook de snelheidsveranderingen en drukveranderingen.

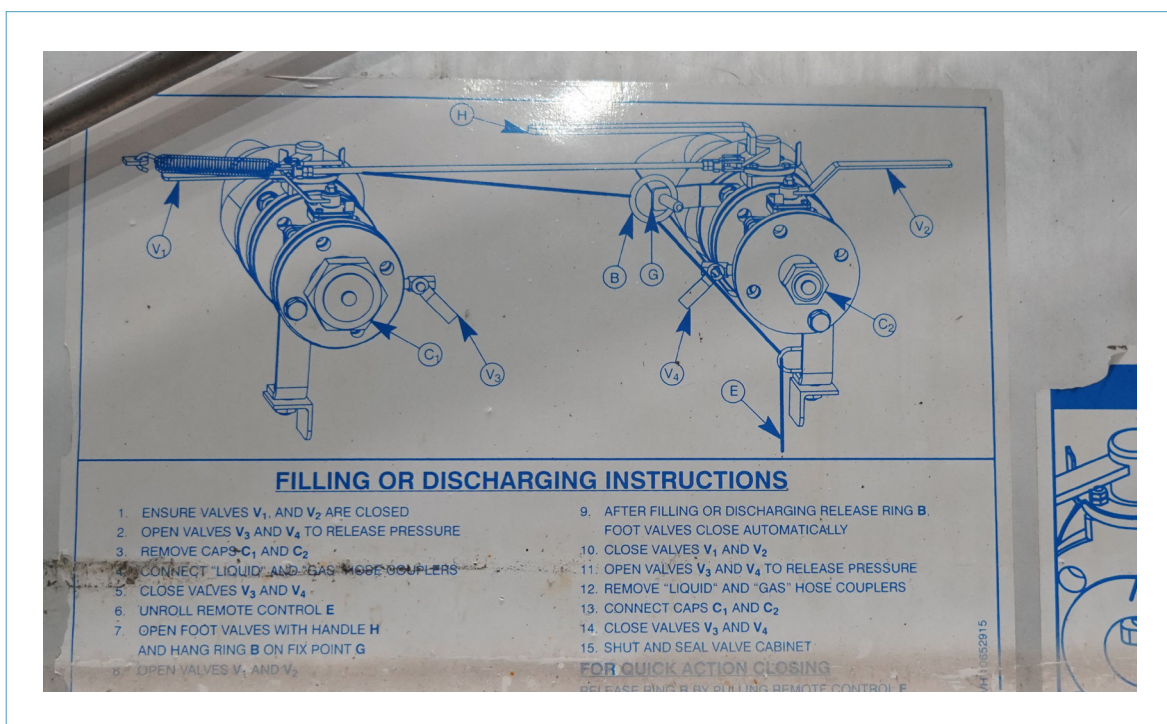
⁶¹ Dit betreft het overgrote deel van internationale transport van transporttanks over zee en al het wegtransport van transporttanks in Europa.

⁶² Bijvoorbeeld bij vloeibare gassen met hogere bedrijfsdrukken die met deze transporttank mogen worden vervoerd zoals ammoniak. Bovendien kunnen bij ammoniak de drukveranderingen die ontstaan bij klapperen van de doorstroombegrenzer potentieel vergelijkbaar zijn als in dit voorval omdat ammoniak een vergelijkbare dichtheid en geluidssnelheid heeft als 1,3-butadien.

De handelswijze bij het lossen (volgorde en snelheid van openen van kleppen) bepaalt echter hoe sterk en talrijk deze drukpieken zullen zijn. Het klapperen van de klep van de doorstroombegrenzer kan worden voorkomen door bij het starten van de lossing de stroming heel geleidelijk op gang te brengen, aangezien daarmee een grote, snelle stromingstoename met bijbehorende drukeffecten in de leiding wordt voorkomen.

De procedure van Vopak voor het lossen van transporttanks⁶³ was niet gericht op het geleidelijk starten van de stroming. Bij het voorval werd de stroming gestart door een door het systeem aangestuurde regelklep in ongeveer 10 seconden te openen. Deze regelklep bevond zich op enkele meters afstand van de doorstroombegrenzer en over de klep stond een drukverschil van meerdere bar. Deze wijze van starten leidde zeer waarschijnlijk tot het herhaaldelijk open en dicht slaan van de doorstroombegrenzer. Het bijbehorende klapperende geluid werd ook bij eerdere lossingen door Vopak waargenomen.

Op de transporttank is de openingsvolgorde van de afsluiters⁶⁴ bij laden en lossen aangegeven, zie figuur 11. In deze instructie wordt niet ingegaan op het geleidelijk starten om het dichtslaan van de doorstroombegrenzer te voorkomen. Logischerwijs wordt hierin ook niet stil gestaan bij het systeem dat aangesloten wordt op de transporttank, aangezien dit kan verschillen tussen de locaties waar de transporttank naartoe gaat. De in de instructie beschreven handelingen zijn echter wel van invloed op de drukfenomenen die kunnen plaatsvinden in het leidingwerk (inclusief de doorstroombegrenzer) tussen de transporttank en de opslagtank als daarmee de stroming wordt gestart (NB dit was bij het voorval niet aan de orde).



Figuur 11: Instructies op de transporttank voor openen en sluiten van de afsluiters bij laden en lossen, binnenzijde omkasting afsluiters. (Bron: ILT)

63 Vopak Vlissingen, Tankautobelading, NL-VLI-OPS-03-005.

64 Waaronder ook de doorstroombegrenzer.

Hieruit volgt dat met de aanwezige procedures een snelle stromingstoename, en daarmee het risico op het klapperen van de klep met bijbehorende gevolgen, niet was beheerst. De handelswijze bij het lossen (volgorde en snelheid van openen van kleppen) is echter bepalend of het klapperen van de doorstroombegrenzer kan optreden. Vopak heeft naar aanleiding van dit voorval zijn werkinstructie voor het lossen van een transporttank aangepast (zie paragraaf 2.4).

3.3.2 Belastbaarheid afdichting transporttank-doorstroombegrenzer

Deze transporttank was gecertificeerd en op basis daarvan in gebruik voor het transporteren van vloeibaar gemaakte gassen. In het kader van de certificering is de transporttank⁶⁵ meerdere malen getest op een statische druk van 130% van de MAWP van de tank (130% van 22 barg), waaronder bij de 5-jaarlijkse keuring enkele maanden voor de emissie. De uitkomst van het ontwerp-, bouw- en certificeringsproces van deze transporttank was een afdichting die niet bestand was tegen de belastingen die zich bij dit voorval voordeden.

Op basis van dit voorvalonderzoek is geen uitsluitsel te geven over de grootte van de drukpieken die in dit voorval een belasting van de afdichting tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer hebben veroorzaakt. Dit betekent ook dat niet met zekerheid te zeggen is of de druk, inclusief de door het klapperen van de doorstroombegrenzer ontstane drukpieken, ter hoogte van deze afdichting hoger geweest is dan de beproevingsdruk van de transporttank. Daarnaast is het ook onduidelijk in hoeverre de beweging van het verlengstuk als gevolg van de drukeffecten in het leidingwerk van de laadstelling een significante rol heeft gespeeld in de belasting van de afdichting. Dit maakt dat op basis van dit voorval geen uitspraak gedaan kan worden over de betekenis van de druktests die plaatsvinden bij certificering in relatie tot dit voorval.

Alle buisleidingen en –armaturen van deze typen transporttanks moeten bestand zijn tegen een druk van tenminste ‘viermaal de MAWP van het reservoir⁶⁶, of viermaal de druk waaraan zij in bedrijf door de werking van een pomp of andere inrichting kan worden onderworpen’.⁶⁷ De buisleidingen van T50 tanks moeten dus bestand zijn tegen een hogere druk dan de beproevingsdruk. Uit de ontwerpvoorschriften blijkt niet of de afdichting tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer als onderdeel van de buisleiding moet worden gezien en uit die voorschriften blijkt ook geen ander sterktevoorschrift. De enige (indirecte) vereiste is dat de afdichting de beproevingsdruk weerstaat. Hiermee is de afdichting tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer, wat de voorschriften betreft, een relatief kwetsbaar onderdeel. Aangezien het falen van de pakking leidt tot verlies van de vrijwel de gehele tanklading is de huidige onduidelijkheid over de vereiste sterkte onwenselijk.

⁶⁵ Inclusief doorstroombegrenzer.

⁶⁶ De MAWP van het reservoir is de MAWP van de tank(wand).

⁶⁷ ADR en IMDG-code artikel 6.7.3.5.12.

4 CONCLUSIES

Op een laadstelling van Vopak Terminal te Vlissingen heeft op 1 februari 2019 een emissie van ongeveer 13 ton 1,3-butadien plaatsgevonden vanuit een T50 transporttank. Bij aanvang van het lossen van deze transporttank is de pakking tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer in de vloeistofopening van de tank bezweken en dit heeft geleid tot een vrije uitstroming. Praktisch de gehele inhoud van de transporttank is vrijgekomen, omdat er geen mogelijkheid was om het lek te isoleren van de inhoud van de tank.

Er zijn geen aanwijzingen dat het type of de staat van de gebruikte pakking heeft geleid tot het voorval. Ook zijn er geen aanwijzingen dat er aan de montage van de pakking iets afwijkends was wat van invloed is geweest op het functioneren van de pakking.

In dit onderzoek zijn drie andere factoren geïdentificeerd die bijgedragen kunnen hebben aan het bezwijken van de pakking: gebruik van een verlengstuk, de druk in de transporttank en het 'klapperen' van de doorstroombegrenzer. Het is onwaarschijnlijk dat één van deze factoren afzonderlijk het bezwijken van de pakking heeft veroorzaakt. De plausibele verklaring voor het bezwijken van de pakking is de belasting van de pakking die werd veroorzaakt door de drukpieken die ontstonden bij het herhaaldelijk dichtslaan van de doorstroombegrenzer, die werd versterkt door de verhoogde druk die bij aanvang van de lossing in de transporttank aanwezig was. Onzeker is of de extra belasting door de beweging van het verlengstuk als gevolg van de drukeffecten in het leidingwerk van de laadstelling een significante rol heeft gespeeld.

Het dichtslaan van de doorstroombegrenzer werd zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de wijze waarop de lossing werd opgestart. Het starten van een lossing vanuit een transporttank zal altijd drukgolven opleveren, maar de handelswijze (volgorde en de snelheid van het openen afsluiters) bepaalt hoeveel en hoe sterk. De destijds bij Vopak en op de transporttank aanwezige procedures hebben een snelle stromingstoename en daarmee het risico op het dichtslaan van de doorstroombegrenzer niet beheerst.

De in dit voorval bezweken afdichting tussen de tankwand en de doorstroombegrenzer kent volgens de ontwerpvoorschriften van de transporttank slechts een indirecte eis en dat is dat deze de beproevingsdruk in het kader van certificering weerstaat. Omdat het leidingwerk van een transporttank hogere drukken moet kunnen weerstaan, is daarmee de afdichting een relatief kwetsbaar onderdeel. Aangezien het falen van deze pakking leidt tot verlies van vrijwel de gehele tanklading is de onduidelijkheid over de vereiste sterkte onwenselijk.

Alle T50 transporttanks voor onder druk tot vloeistof verdichte gassen voor transport over zee of over de weg hebben een doorstroombegrenzer. Ook de druk in de tank voorafgaand aan de lossing kan in andere transporttanks van deze typen vergelijkbaar zijn als in dit voorval het geval was. Bij lossingen met een groot drukverschil is het falen van de pakking door drukpieken als gevolg van een klapperende doorstroombegrenzerklep een voorzienbaar scenario als de stroming relatief snel op gang wordt gebracht.

Gegeven het feit dat een transporttank voor onder druk tot vloeistof verdichte gassen helemaal leeg zal lopen wanneer de pakking tussen de doorstroombegrenzer en tankwand bezwijkt, komt de Onderzoeksraad op basis van dit onderzoek tot de volgende les: In het laad- en lossysteem kunnen drukpieken ontstaan wanneer de doorstroombegrenzer klappert. Deze drukpieken zijn onwenselijk omdat ze onderdelen van het laad- en lossysteem direct belasten en een mechanische belasting kunnen veroorzaken als gevolg van bewegingen van onderdelen van het leidingsysteem. Dit kan mogelijk tot het falen van een pakking leiden. Daarom is het cruciaal om bij het opstarten van een lossing klapperen van de doorstroombegrenzer te voorkomen door ervoor te zorgen dat het drukverschil tussen de transporttank en het aangesloten leidingwerk geleidelijk wordt vereffend.

Reacties op het conceptrapport

Het conceptrapport is voorgelegd aan de betrokken partijen. Deze partijen is gevraagd het rapport te controleren op feitelijke onjuistheden en onduidelijkheden. De volgende partijen hebben een reactie gegeven op het conceptrapport:

- Vopak Terminal Vlissingen B.V.
- Fort Vale BV – Netherlands
- DEMI Container Services bv
- Gekoelde transporten Zeeland (GTZ) B.V.

De ontvangen reacties, alsook de wijze waarop ze zijn verwerkt, zijn opgenomen in een tabel die te vinden is op de website van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (www.onderzoeksraad.nl).

De reacties zijn in twee categorieën te verdelen:

- Correcties van feitelijke onjuistheden, aanvullingen op detailniveau, en redactioneel commentaar heeft de Onderzoeksraad (voor zover juist en relevant) overgenomen. De betreffende tekstdelen zijn in het eindrapport aangepast.
- De reacties die niet zijn overgenomen, zijn in de tabel voorzien van een motivering van de Onderzoeksraad waarom deze niet zijn overgenomen.

**Bezoekadres**

Lange Voorhout 9
2514 EA Den Haag
T 070 333 70 00
F 070 333 70 77

Postadres

Postbus 95404
2509 CK Den Haag

www.onderzoeksraad.nl