

**Explosie aan boord van een
tweemastklipper te Medemblik,
8 juni 2006**

Den Haag, augustus 2007 (M2006SV0608-02)

De rapporten van de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn openbaar.
Alle rapporten zijn bovendien beschikbaar via de website van de Onderzoeksraad
www.onderzoeksraad.nl

DE ONDERZOEKSRaad VOOR VEILIGHEID

De Onderzoeksraad voor Veiligheid is ingesteld met als taak te onderzoeken en vast te stellen wat de oorzaken of vermoedelijke oorzaken zijn van individuele of categorieën voorvallen in alle sectoren. Het doel van een dergelijk onderzoek is uitsluitend toekomstige ongevallen of incidenten te voorkomen en indien de uitkomsten van één en ander daartoe aanleiding geven, daaraan aanbevelingen te verbinden. De organisatie bestaat uit een Raad met vijf vaste leden en kent daarnaast een aantal vaste commissies. Voor specifieke onderzoeken worden speciale begeleidingscommissies in het leven geroepen. De Onderzoeksraad wordt ondersteund door een bureau waar onderzoekers, secretaris-rapporteurs en een ondersteunende staf deel van uitmaken.

	Onderzoeksraad		Commissie Scheepvaart
Voorzitter	prof. mr. Pieter van Vollenhoven	Voorzitter	mr. J.A. Hulsenbek
Vice-voorzitter	mr. J.A. Hulsenbek	Vice-voorzitter	mw. A. van den Berg
	mw. A. van den Berg		prof. ir. A. Aalbers
	prof. dr. ing. F.J.H. Mertens		jhr. mr. B.C. De Savornin Lohman
	dr. ir. J.P. Visser		mr. D.M. Dragt
			P.M.J. Kreuze
			mw. M.J. Torpstra
			H.J.G. Walenkamp
			L.P.A. de Winter
Algemeen secretaris:	mw. mr. M. Visser		
Projectleider:	ing. G.Th. Koning MSHE		
Bezoekadres:	Anna van Saksenlaan 50 2593 HT Den Haag	Postadres:	Postbus 95404 2509 CK Den Haag
Telefoon:	+31 (0)70 333 7000	Telefax:	+31 (0)70 333 7077
Internet:	www.onderzoeksraad.nl		

INHOUD

Lijst van afkortingen	4
Beschouwing	5
1 Inleiding.....	11
1.1 Algemeen	11
1.2 Leeswijzer	11
2 Feitelijke informatie over het voorval	12
2.1 Inleiding.....	12
2.2 Beschrijving van de tweemastklipper	12
2.3 Reconstructie.....	14
2.4 Mogelijke oorzaken van de explosie.....	15
2.4.1 <i>Scenario 1: explosie van propaangas</i>	15
2.4.2 <i>Scenario 2: explosie van biogas</i>	16
3 Beoordelingskader	17
3.1 Inleiding.....	17
3.2 Relevante wet- en regelgeving	17
3.3 Aanvullende normen en richtlijnen	18
3.4 Beoordelingskader veiligheidsmanagement	18
4 Betrokken partijen en hun verantwoordelijkheden	20
5 Analyse.....	22
5.1 Inleiding.....	22
5.2 Positie leerlingen en verwondingen, schadepatroon	22
5.3 Toetsing scenario's.....	25
5.3.1 <i>Analyse scenario propaangasexplosie</i>	25
5.3.2 <i>Analyse scenario biogas explosie</i>	28
5.3.3 <i>Samenvattende analyse scenario's</i>	31
5.3.4 <i>Ontstekingsbron van de explosie</i>	32
5.4 Veiligheidsmanagement.....	32
5.4.1 <i>Inleiding</i>	32
5.4.2 <i>Veiligheidsaanpak in de zeilende passagiersvaart</i>	32
5.4.3 <i>Toezicht en handhaving van de veiligheidsaanpak</i>	33
6 Conclusies	34
7 Aanbevelingen	35
Bijlage 1 Onderzoeksverantwoording	
Bijlage 2 Onderzoek TNO	
Bijlage 3 Literatuuronderzoek TNO	
Bijlage 4 Ontwerp vuilwatertank	
bijlage 5 Beoordelingskader van het veiligheidsmanagement	

LIJST VAN AFKORTINGEN

BBZ	-	Vereniging voor Beroeps Chartervaart
ISO	-	International Organization for Standardization
IVW	-	Inspectie Verkeer en Waterstaat
NEN	-	Nederlands Normalisatie-instituut
NFI	-	Nederlands Forensisch Instituut
NBKB	-	Nederlands Bureau Keuringen Binnenvaart
OM	-	Openbaar Ministerie
RI&E	-	Risico-Inventarisatie & Evaluatie
TNO	-	Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

BEGRIPPENLIJST

Explosiegrens

De explosiegrens is de concentratie van een gas of damp van vloeibare en/of vaste stof uitgedrukt in volumeprocent in lucht, waarbij het damp-luchtmengsel bij ontsteking kan exploderen. De onderste explosiegrens wordt bepaald door de laagste concentratie van een brandbaar gas, damp of stofvormige vaste stof in lucht of in een ander gas, waarbij een explosie mogelijk is. De bovenste explosiegrens wordt bepaald door de hoogste concentratie van een brandbaar gas, damp of stofvormige vaste stof in lucht of in een ander gas, waarbij een explosie mogelijk is. Boven de bovenste explosiegrens en beneden de onderste explosiegrens is er geen explosiegevaar. Bij een te veel aan vluchtige componenten (boven de bovenste explosiegrens) is wel kans op brand aanwezig. De onder- en bovenwaarden van explosiegrenzen verschillen per vluchtige stof. Het gebied tussen de onderste en bovenste explosiegrens wordt het explosieve gebied genoemd.

Gasbun

Een volgens voorschrift vereiste opslagplaats voor propaangasflessen.

Hut

Slaapvertrek

Kooi

Bed

Recreatievaart

Jachten en omgebouwde beroepsschepen die uitsluitend voor vakantie en plezier worden bevaren.

Septic tank

Bak die zorgt voor scheiding en opvang van zwevende/vaste delen en vloeistof. Het afvalwater wordt door overloop afgevoerd. De vaste delen bezinken en moeten na verloop van tijd verwijderd worden.

Versnijderpomp

Een versnijderpomp versnijdt het afvalwater en pompt het met kracht weg.

Vuilwatertank

Opvangtank voor afvalwater uit toiletten, keuken en douche. Met regelmatige tussenpozen moet de gehele inhoud van een dergelijke tank geleegd worden.

BESCHOUWING

Toedracht en aanleiding onderzoek

In de periode van dinsdag 6 juni tot en met vrijdag 9 juni zeilden HAVO en VWO scholieren van het Develstein College uit Zwijndrecht onder begeleiding van hun leraren op de Friese meren en het IJsselmeer. In totaal bevonden zich tijdens deze meerdaagse reis 26 scholieren en 2 leraren aan boord van een tweemastklipper uit de chartervaart.

Op 8 juni 2006 vond aan boord van dit schip om omstreeks 19.50 uur een explosie plaats. Het schip lag op dat moment afgemeerd in de haven van Medemblik. Ten tijde van dit voorval bevonden zich elf scholieren aan boord van de tweemastklipper. Enkelen van hen bereidden op het moment dat de explosie zich voordeed de avondmaaltijd. De gaspitten van het vierpits kooktoestel waren daarbij in gebruik. Van de leerlingen op het schip raakten er acht gewond, waarvan vier ernstig. Ten minste drie scholieren hielden blijvend letsel over aan de explosie.

De tweemastklipper maakt onderdeel uit van de 'bruine vloot'. Het schip is in gebruik als passagiers(zeil)schip, waarmee één- of meerdaagse reizen kunnen worden gemaakt. De tweemastklipper wordt vaak ingehuurd door scholen en bedrijven. Tijdens dagtochten biedt het schip plaats aan maximaal veertig personen. In totaal kunnen 28 personen op het schip overnachten. Het is tijdens dergelijke tochten gebruikelijk dat de gasten zelf hun maaltijden bereiden aan boord van het schip.

Passagiersschepen hebben bijzondere aandacht van de Raad, gezien de samenstelling en omvang van de groepen personen die zich aan boord van dit soort schepen bevinden. Alle leeftijdscategorieën maken gebruik van de mogelijkheid te recreëren aan boord van deze schepen. De Onderzoeksraad achtte een onderzoek naar de explosie noodzakelijk vanwege de ernstige verwondingen van enkele jonge mensen en het potentiële risico van het gebruik van gas aan boord van deze schepen.

Kort na het voorval kon op basis van het schadebeeld worden geconcludeerd dat de explosie toegeschreven moest worden aan het tot ontbranding komen van een gas/lucht mengsel onder de vloer. Ook de verwondingen die de leerlingen op hadden gelopen, duiden op een herkomst van de explosie van onder de vloer. De leerlingen liepen bij de explosie vooral gecompliceerde botbreuken aan de enkels op en brandwonden aan de benen.

De Onderzoeksraad onderscheidde op grond van deze eerste bevindingen twee mogelijke oorzaken van de gasophoping:

- i) een lekkage van propaangas uit leidingen en/of het kooktoestel, en
- ii) een lekkage/uitstroom van gassen (waterstofgas en/of methaangas) vanuit de vuilwatertank.

Een lekkage van propaangas was de meest voor de hand liggende oorzaak van de explosie. Ten tijde van de explosie werd immers gebruik gemaakt van het gaskooktoestel. Gasexplosies zijn geen onbekend verschijnsel. Door de Raad voor de Transportveiligheid en de Onderzoeksraad voor Veiligheid is een viertal rapporten uitgebracht naar aanleiding van gasexplosies in woonomgevingen, waarbij diverse oorzaken aan het licht zijn gekomen.

Uit onderzoek naar voorvallen aan boord van schepen blijkt dat de oorzaak van gasexplosies meestal te herleiden is tot slecht functionerende gasinstallaties, al dan niet veroorzaakt door een gebrekkige aansluiting of achterstallig onderhoud.

Lekkage propaangas

Uit het onderzoek van het NFI is gebleken dat de explosie vrijwel zeker toegeschreven moet worden aan een niet (goed) functionerend gaskooktoestel. De thermo-elektrische beveiliging van één van de bedieningsknoppen van het kooktoestel was vervuild met etensresten en functioneerde daardoor niet naar behoren. Hierdoor kon onverbrand gas uit de oven stromen en zich via de ovendeur en de beluchtingsopeningen onder de oven verspreiden, zowel onder als boven de houten vloer van de leefruimte. Daar vormde het een propaan-luchtmengsel dat tot explosie is gekomen. De gasleidingen vertoonden geen gebreken.

Om de hypothese van een lekkage van propaangas als oorzaak van de explosie te toetsen, heeft de Onderzoeksraad aan boord van de tweemastklipper experimenten uitgevoerd met een in gedraging en geur aan propaan gelijkend gas. Uit deze experimenten is gebleken dat de gasverspreiding zeer snel plaatsvond. Op één van de meetpunten onder de vloer werd circa vijf minuten na de start van het experiment een explosief gas/luchtmengsel gemeten. De uitkomsten van de experimenten ondersteunen dan ook de conclusie dat de explosie aan boord van de tweemastklipper hoogstwaarschijnlijk is veroorzaakt door een lekkage van propaangas.

De leerlingen die aanwezig waren in het schip hebben voorafgaand aan de explosie geen gaslucht geroken. Uit veiligheidsoverwegingen wordt aan gas een geurstof (odorant) toegevoegd. De soort odorant is zodanig gekozen dat het onaangenaam ruikt en daarmee dienst doet als alarmering in het geval van gaslekkages. Eerder onderzoek van de Onderzoeksraad naar gasexplosies laat zien dat ondanks deze odorisatie problemen kunnen ontstaan met de waarneembaarheid van gas. Mogelijke verklaringen hiervoor kunnen onder meer zijn:

- *Gewenning*: Bij het bepalen van de noodzakelijke ruikbaarheid van het gas is met gewenning rekening gehouden. Maar het feit blijft dat bij langzame toename van de gasconcentratie in een ruimte, het gas pas bij een veel hogere concentratie geroken wordt.
- *Verminderde gevoeligheid*: Het reukvermogen van de aanwezigen kan minder zijn dan dat waarvoor de norm met betrekking tot ruikbaarheid is opgesteld. De norm heeft betrekking op proeven waarbij geurwaarnemers zijn gebruikt. Het kan zijn dat het reukvermogen van deze mensen afwijkend is. Ook als gevolg van verkoudheid of allergieën kan zich dit tijdelijk voordoen. Bij dit ongeval zijn daar echter geen aanwijzingen voor.
- *Probleem met associatie*: De odorant kan wel aanwezig zijn, maar de geur wordt niet met gas geassocieerd.

Uit het experiment dat de Onderzoeksraad aan boord van de tweemastklipper heeft laten uitvoeren, blijkt dat de opbouw van het gas/lucht mengsel onder de vloer tot aan de onderste explosiegrens, snel verloopt. Sneller dan de concentratie van gas in de keuken, dat door daar aanwezige personen kan worden herkend. De met de geurstof ingebouwde veiligheidsmarge, al dan niet in samenhang met bovenstaande mogelijke situaties, wordt daarmee dan teniet gedaan. De Raad pleit dan ook voor een onderzoek naar verbeterde detectiemogelijkheden van propaangas. Daarbij dient rekening te worden gehouden met het feit dat propaangas, in tegenstelling tot aardgas, zwaarder is dan lucht en een weg zoekt naar het laagste punt. Op een schip zijn dit de besloten ruimtes waar gasophoping snel tot problemen kan leiden.

Bovenstaande uitkomsten uit het onderzoek acht de Raad verontrustend, mede gezien het feit dat er aan boord van deze schepen relatief grote groepen personen aan boord bevinden. Bij de tweemastklipper werd het kooktoestel daarbij door verschillende mensen bediend die nauwelijks ervaring hadden met het koken en mogelijk zelfs geheel onervaren waren met het gebruik van gasfornuizen.

De kookgasinstallatie van de tweemastklipper waarop de explosie plaatsvond, was oordeelkundig geplaatst, aangesloten en getest. Desondanks kon er als gevolg van vervuiling van een veiligheidsvoorziening die volledig aan het oog onttrokken was, gas ongemerkt uitstromen. Hiermee wordt duidelijk dat gaslekage niet alleen kan plaatsvinden door een technisch gebrek aan de installatie zoals een kapotte leiding of losgeraakte koppeling, maar ook door problemen die tijdens het gebruik kunnen optreden. In dit geval betrof het een niet meer goed functionerende thermo-elektrische koppeling door aangekoekte etensresten mogelijk als gevolg van overkoken tijdens etensbereiding. Hierdoor werd het mogelijk dat mede door onervarenheid of onzorgvuldig gebruik van het gastoestel een ongecontroleerde uitstroom van gas kon plaatsvinden. Daar komt bij dat diverse plaatsen aan boord van schepen, waaronder de ruimte onder de vloer, niet of slecht geventileerd (kunnen) worden. Deze ruimten zijn daarbij ook vaak moeilijk toegankelijk voor inspecties. Dit verhoogt de kans op een gasophoping in het schip die onopgemerkt kan blijven.

In een onderzoeksrapport over een explosie aan boord van een duw-/sleepboot uit 2000 constateerde de voorganger van de Onderzoeksraad voor Veiligheid al dat een gasmengsel zich kan ophopen onder de vloer onder meer als gevolg van beperkte visuele inspectiemogelijkheden en het niet voldoende (kunnen) ventileren van de ruimte onder de vloer.¹ Ook destijds heeft dat een explosie tot gevolg gehad.

De risico's die kleven aan het gebruik van gas aan boord van schepen worden door de branche onderkend. Het gebruik van gas en de bijbehorende kookinstallaties voor huishoudelijk gebruik zijn dan ook onderworpen aan wet- en regelgeving. De installatie vormt tevens een vast onderdeel van de Risico-Inventarisatie en Evaluatie (RI&E) waartoe schippers verplicht zijn. Gezien de risico's is in een Europese richtlijn² en in het Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn (ROSR 1995) bepaald dat het gebruik van gas aan boord van schepen teruggedrongen moet worden. Echter pas in het jaar 2045 is het verboden om gas voor huishoudelijke doeleinden aan boord van passagiersschepen te gebruiken.

¹ Raad voor de Transportveiligheid, "Explosie aan boord van een duw-/sleepboot op 8 augustus 2000", november 2002.

² 'Richtlijn tot vaststelling van de technische voorschriften voor binnenschepen 82/714/EEG'. In 2006 is deze richtlijn herzien, wat heeft geleid tot de richtlijn 2006/87/EG. De implementatie daarvan vindt uiterlijk december 2008 plaats.

Door harmonisatie in de wetgeving is het niet mogelijk voor een lidstaat om de overgangstermijn te vervroegen. De Europese Commissie heeft in de richtlijn vast laten leggen dat slechts op een beperkt aantal gebieden aanvullende maatregelen genomen kunnen worden. Deze aanvullende maatregelen kunnen echter alleen via de Europese Commissie worden vereist. Hoewel de Raad graag zou willen pleiten voor vervroeging van de overgangstermijn, zijn vloeibaargasinstallaties uitgesloten van deze of andere aanvullende maatregelen.

Alternatieve vormen van koken, met behulp van diesel als brandstof of elektriciteit, zijn nu al wel voorhanden.

De vorming van gassen in de vuilwatertank

Een tweede punt van zorg van de Raad is een risico dat tot op heden nog niet is onderkend door de branche. Dat risico betreft het lekken/uitstromen van gassen uit de vuilwatertank³ naar het binnenschip. De Onderzoeksraad achtte het, mede gelet op het schadebeeld aan boord van de tweemastklipper en gezien het feit dat de ontluchting van de tank verstopt was, mogelijk dat de explosie was veroorzaakt door gassen die zich in de vuilwatertank hadden gevormd en door lekken in het afvoersysteem en/of overdruk via toiletafvoeren, afvoerputjes van douches en aanrecht in het schip hadden verspreid.

Het afvalwater afkomstig uit keuken, wastafels, toiletten en douches wordt via PVC rioolpijpen afgevoerd naar de vuilwatertank. In deze tank ontstaat vervolgens een mengsel van vloeistoffen en zwevende delen. De zwevende delen bezinken en vormen slib. Dit slib is onderhevig aan gistingprocessen, waarbij onder andere biogassen zoals waterstofgas (H₂), methaangas (CH₄) en koolstofdioxide (CO₂), en zeer geringe hoeveelheden (rest)gassen zoals zwavelwaterstof (H₂S) en ammoniak (NH₃), vrij kunnen komen. Deze gassen worden doorgaans in voldoende mate afgevoerd via de ontluchting die op de tank is aangebracht. Indien de ontluchting van de tank echter verstopt is, kunnen deze gassen elders op het schip uitstromen. Bij elke spoelbeurt van bijvoorbeeld het toilet of bij elk gebruik van wastafels en spoelbakken is namelijk sprake van een kortstondige drukopbouw in de vuilwatertank. De gassen in de vuilwatertank zullen dan op een andere wijze dan via de tankontluchting naar buiten stromen. Een dergelijke overdruksituatie manifesteert zich onder andere door het opborrelen uit de diverse afvoeren. Dat dit het geval kan zijn, is vastgesteld tijdens de experimenten die zijn uitgevoerd aan boord van de tweemastklipper. Daarnaast kan de uitstroming van gassen in het schip plaatsvinden via een gebrekkige aansluiting van de afvoerbuizen (die zich doorgaans onder de vloer van de benedendekse ruimte bevinden). De gassen kunnen door een verbinding met zuurstof onder de vloer een explosief mengsel vormen. Indien deze gassen vervolgens in aanraking komen met een ontstekingsbron, kan dit een explosie tot gevolg hebben.

Op basis van de uitgevoerde experimenten aan boord heeft de Raad geconcludeerd dat de explosie aan boord van de tweemastklipper als gevolg van propaangas het meest waarschijnlijk is. Aangezien dit echter niet onomstotelijk is vastgesteld, heeft de Raad gemeend nadrukkelijk de aandacht te moeten vestigen op de mogelijke risico's bij slechte constructie of gebrekkige plaatsing van vuilwatertanks aan boord van schepen.

Wat dit probleem nog pregnanter maakt, is het feit dat deze gassen zich ongemerkt en over langere periode in de ruimte tussen de vloer van de benedendekse ruimte en de scheepsbodem kunnen ophopen. Verder geldt dat deze ruimten in schepen niet goed geventileerd (kunnen) worden. Dit vergroot ook de kans op een gasophoping.

Er zijn geen risico-inventarisaties of wet- en regelgeving voorhanden die zich richten op de risico's van het ontsnappen van gas aan boord van schepen. Daarnaast vormen vuilwatertanks geen onderdeel van inspecties.

Een kenmerk van de zeilende passagiersvaart is dat de schepen doorgaans geëxploiteerd worden door een schipper/eigenaar. Ongeveer de helft van de schippers is aangesloten bij de Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ). Deze vereniging heeft voor de branche een RI&E ontwikkeld. Schippers kunnen aan de hand daarvan toetsen of de veiligheid aan boord van het schip kan worden gewaarborgd. Tevens kunnen zij op basis daarvan een plan van aanpak opstellen om gesignaleerde problemen op te lossen. Uit bovenstaande blijkt dat de RI&E in dit geval onvoldoende soelaas heeft geboden.

De branche kent verder geen algemeen toegankelijk systeem op basis waarvan dergelijke risico's kunnen worden onderkend en op basis waarvan branchebrede, preventieve maatregelen kunnen worden genomen. Diverse partijen hebben een verantwoordelijkheid als het gaat om de uitvoering

³ Opvangtank voor afvalwater uit toiletten, keuken en douche.

en handhaving van veiligheid in de passagiersvaart. Niet alleen de Arbeidsinspectie (AI) en de Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW) spelen een rol, maar door de delegatie van toezichthoudende taken horen ook marktpartijen in dit rijtje thuis. De marktwerking voor certificering en inspectie in de scheepvaart kan als keerzijde hebben dat risico's niet of onvoldoende worden onderkend en dat kennis hierover niet of onvoldoende wordt gedeeld met andere spelers. Daardoor kan niet ingespeeld worden op dergelijke (nieuwe) problematiek. Het is hoe dan ook van belang dat de IVW zich een integraal beeld kan vormen van de risico's in de scheepvaart. Daarnaast is het de eigen verantwoordelijkheid van de schipper/eigenaar om kennis te nemen van de laatste ontwikkelingen en deze waar nodig toe te passen zodat een veilige exploitatie kan worden gewaarborgd.

Bovenstaande constatering van de Raad is een goed voorbeeld van risico's die over het hoofd kunnen worden gezien. Ondanks verplichte risico-inventarisaties blijft het mogelijk dat bepaalde onderdelen van een bedrijf niet als risicovol worden aangemerkt en als zodanig ook nadien niet worden herkend. Nieuwe ontwikkelingen kunnen echter leiden tot een verbeterd inzicht in mogelijke gevaren. De branchevereniging, de schipper/eigenaar, maar ook alle overige belanghebbenden, zullen een afweging moeten blijven maken of bepaalde elementen in de bedrijfsvoering een risico kunnen vormen. Om risico's te kunnen onderkennen kan gebruik worden gemaakt van sectoroverschrijdende expertise, zodat een eenzijdige benadering waarbij mogelijke risico's over het hoofd worden gezien, wordt voorkomen.

Gelet op de vanaf 2009 geldende verplichting van gebruik van een vuilwatertank in de recreatievaart, zal het aantal schepen met vuilwatertanks aan boord in de toekomst toenemen.⁴ Ook wordt verwacht dat de passagiersvaart op de binnenwateren verplicht zal worden gebruik te maken van vuilwatertanks. Het is naar mening van de Raad belangrijk dat het risico dat het gebruik van vuilwatertanks met zich meebrengt, wordt erkend en dat de kennis hierover wordt verspreid in de branche. Een goede installatie en goed onderhoud van vuilwatertanks is van belang om problemen op dit terrein te voorkomen.

⁴ De recreatievaart heeft vooral na 1970 een hoge vlucht genomen. Deze trend zet zich nog steeds voort. Het aantal vaartuigen groter dan 6 meter wordt geschat op 275.000. Hiervan worden er ruim 150.000 gerekend tot de recreatievaart. Hiertoe worden boten gerekend die gebruikt worden voor tochten buiten het eigen vaargebied waarop overnacht kan worden. De verwachting is dat in 2020 Nederland 230.000 toervaartuigen zal tellen. Bron: Beleidsnota provinciale vaarwegen, Provincie Zuid-Holland, 2006, p. 115.

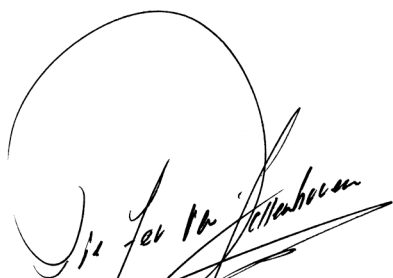
Eindconclusies

1. De explosie aan boord van de tweemastklipper vond omstreeks 19.50 uur plaats in de woonruimte van het schip. Aan boord van het schip bevonden zich op dat moment elf leerlingen, van wie er vier zwaargewond raakten door de explosie.
2. De breukvlakken en verplaatsingsrichting van de explosie duiden op onder de vloer opgehoopt gas. Het front van de explosie heeft zich benedendeks onder de vloer in horizontale richting verplaatst naar de aan voor- en achterzijde gelegen slaapvertrekken en vanuit de vloer in opwaartse richting naar plafond en lichtkoepel (de koekoek).
3. Het NFI concludeert dat de explosie is ontstaan als gevolg van een lekkage van propaangas. Deze lekkage zou zijn veroorzaakt door een niet-werkende thermo-elektrische koppeling van het fornuis als gevolg van het onvoldoende schoonhouden van het kooktoestel.
4. Uit experimenten die de Onderzoeksraad heeft laten uitvoeren aan boord van de betreffende tweemastklipper, is naar voren gekomen dat gas dat uit de oven uitstroomt zich in korte tijd onder de vloer kan ophopen.
5. De Raad concludeert op basis van zijn onderzoek dat de explosie aan boord van de tweemastklipper hoogstwaarschijnlijk is veroorzaakt door een lekkage van propaangas uit het kooktoestel. Verder staat vast dat op het schip meerdere ontstekingsbronnen aanwezig waren die dit gas hebben kunnen doen ontsteken.
6. De Raad heeft daarnaast vastgesteld dat in vuilwatertanks gassen tot ontwikkeling kunnen komen, die onder bepaalde omstandigheden aanzienlijke risico's kunnen opleveren voor de opvarenden. Een van die kritische omstandigheden is een verstopte ontluchting van de vuilwatertank, waardoor de gassen niet meer afgevoerd worden naar de buitenlucht. Dit heeft tot gevolg dat gassen uit de vuilwatertank via andere wegen (bijvoorbeeld verbindingen van de rioolbuizen, afvoerputjes van douches en wastafels en toiletten) kunnen ontsnappen en zich ongemerkt kunnen ophopen in een ruimte aan boord van het schip. De gassen kunnen bij een vermenging met de benodigde hoeveelheid zuurstof een explosief gasmengsel vormen.
7. Uit dit onderzoek is gebleken dat de odorisatie van gas onder sommige omstandigheden onvoldoende garanties biedt voor een tijdige signalering van lekkages. Zeker op schepen is dit het geval, omdat het propaangas zwaarder is dan lucht en snel een weg vindt naar ruimtes onderin het schip die niet of onvoldoende geventileerd worden. Onderzoek naar verbetering van detectiemogelijkheden van propaangas, waaronder het gebruik van een betere geurstof, wordt door de Raad wenselijk geacht. Ook zou onderzoek verricht dienen te worden naar mogelijke andere vormen van signalering aan boord van schepen.
8. Gezien de risico's van het gebruik van gas en de al ter beschikking zijnde alternatieven is de Raad van oordeel dat de overgangstermijn die thans tot het jaar 2045 geldt, heroverwogen dient te worden.
9. De bedrijfstak maakt niet of nauwelijks gebruik van een veiligheidsmanagementsysteem. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat de schepen in handen zijn van één schipper/eigenaar. Er is een orgaan dat kennis verzamelt en deelt, de overkoepelende (branche)organisatie BBZ. Echter, ongeveer de helft van alle schippers is bij de BBZ aangesloten.

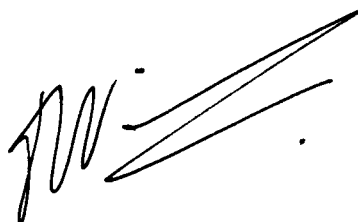
Aanbevelingen

De Onderzoeksraad doet op basis van zijn onderzoek naar de explosie aan boord van de tweemastklipper de volgende aanbevelingen:

1. De Raad beveelt de Inspectie Verkeer en Waterstaat aan om gezien de risico's die het gebruik van vuilwatertanks met zich meebrengt, de controle van de installatie en het onderhoud van deze tanks onderdeel uit te laten maken van het systeem van certificering en inspectie.
2. De Raad beveelt de Inspectie Verkeer en Waterstaat aan om met de voorgenomen inrichting van het toezicht op de binnenvaart tevens zorg te dragen voor een actueel te houden totaaloverzicht van de veiligheidstoestand in de zeilende passagiersvaart.
3. De Raad beveelt de Minister van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan onderzoek te doen naar verbetering van detectiemogelijkheden van propaangas, waaronder een verbetering van de te gebruiken geurstof.
4. De Raad beveelt de Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ) aan om de kennis over de risico's en preventie van gasophoping onder de vloer onder de aandacht van de branche te brengen. Specifieke aandacht voor de vuilwatertanks en mogelijke vormen van signalering wordt daarbij ook wenselijk geacht.



prof. mr. Pieter van Vollenhoven
Voorzitter van de Onderzoeksraad



mw. mr. M. Visser
Algemeen secretaris

1 INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

Op donderdag 8 juni 2006 vond in de haven van Medemblik een explosie plaats aan boord van een tweemastklipper. Het schip had een groep leerlingen en twee leraren aan boord. Daarnaast bestond de bemanning uit een schipper en maat. Bij deze explosie raakten acht leerlingen gewond, waarvan vier ernstig. Ten minste drie leerlingen liepen blijvend letsel op.

Het onderzoek van de Onderzoeksraad richtte zich op twee hypothesen over de mogelijke oorzaak van de explosie: hypothese 1) lekkage van propaangas uit de gasleidingen en/of het kooktoestel aan boord van het schip en hypothese 2) lekkage/uitstroom van gassen (waterstofgas en/of methaangas) vanuit de vuilwatertank⁵.

Eén van de doelen van het onderzoek van de Onderzoeksraad was het vaststellen van de oorzaak of vermoedelijke oorzaak van de explosie. De Raad tracht met behulp van zijn onderzoek naar deze explosie soortgelijke voorvallen in de toekomst te voorkomen of de gevolgen ervan te beperken. De Raad is van mening dat het onafhankelijke onderzoek naar dit voorval een bijdrage kan leveren aan de structurele veiligheid aan boord van de zeilende passagiersvaart. Tevens probeert de Raad met dit onderzoek het bewustzijn te vergroten dat het gebruik van propaangas en de installatie van vuilwatertanks risico's met zich meebrengen.

1.2 LEESWIJZER

Het rapport bestaat uit zeven hoofdstukken en is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de feitelijke informatie over het voorval behandeld. Het hoofdstuk bevat onder meer een beschrijving van de tweemastklipper⁶. Tevens wordt ingegaan op de toedracht en de twee hypothesen (die zijn uitgewerkt in twee scenario's) over de oorzaak van de explosie.

In hoofdstuk 3 wordt het beoordelingskader van het onderzoek beschreven. Dit kader bestaat uit drie onderdelen: i) de relevante wet- en regelgeving, ii) aanvullende normen en richtlijnen en iii) een beschrijving van de manier waarop volgens de Onderzoeksraad de eigen verantwoordelijkheid voor veiligheid moet worden ingevuld.

In hoofdstuk 4 worden betrokken partijen en hun verantwoordelijkheden in beeld gebracht.

In hoofdstuk 5 komen de twee scenario's ten aanzien van de mogelijke oorzaak van de explosie aan boord van het schip aan de orde, te weten: i) de lekkage van propaangas uit de gasleidingen en/of het kooktoestel en ii) de vorming van gassen in de vuilwatertank die vervolgens zijn uitgetreden en zich hebben opgehoopt in de ruimte onder de vloer.

In hoofdstuk 6 worden de conclusies van het onderzoek naar de explosie aan boord van de tweemastklipper weergegeven. Hoofdstuk 7 bevat de aanbevelingen die de Raad doet op basis van het onderzoek naar de explosie.

⁵ Opvangtank voor afvalwater uit toiletten, keuken en douche.

⁶ Snel varend zeilschip met scherpe boeg en meerdere masten.

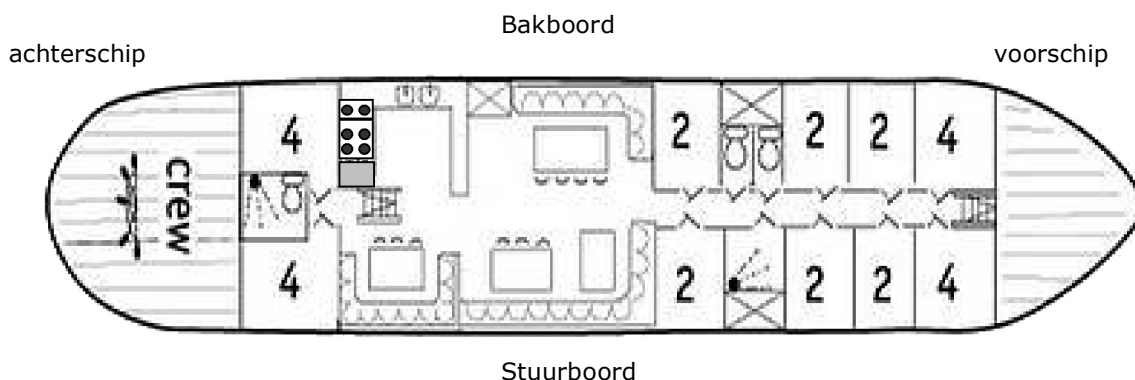
2 FEITELIJKE INFORMATIE OVER HET VOORVAL

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt eerst een beschrijving gegeven van de tweemastklipper. Daarna wordt aan de hand van interviews en de na de explosie aangetroffen situatie op het schip, beschreven wat er op donderdag 8 juni 2006 aan boord is voorgevallen. Ook worden in dit hoofdstuk twee hypothesen toegelicht over de oorzaak van de explosie.

2.2 BESCHRIJVING VAN DE TWEEMASTKLIPPER

De tweemastklipper is in 1905 gebouwd en tot 1995 gebruikt voor vrachtvervoer op diverse binnenwateren. In 1995 is het schip omgebouwd en sindsdien in gebruik als zeilend passagiersvaartuig waarmee één of meerdaagse groepsreizen kunnen worden gemaakt. Tijdens dagtochten biedt het schip plaats aan veertig personen. In totaal kunnen 28 passagiers op het schip overnachten. De tweemastklipper is één van de ruim vierhonderd schepen die behoren tot de 'bruine vloot'⁷. De grootte van deze 'bruine vloot' is zodanig dat per jaar ruim anderhalf miljoen gastdagen⁸ worden geteld.⁹



Afbeelding 1: Inrichting tweemastklipper ten tijde van de explosie op 8 juni 2006

- De cijfers staan voor het aantal kooien per hut.
- Crew betekent het met een stalen schot afgescheiden gedeelte boven de machinekamer bestemd voor de bemanning.
- Tussen de hutten in het achterschip bevindt zich een toilet en douche.
- Tussen de hutten voorin bevinden zich twee toiletten en een douche.

⁷ Traditionele zeilvloot met vroeg 20e eeuwse schepen, oorspronkelijk getooid met bruine zeilen. Veelal zijn het gerestaureerde oude vissersboten of vrachtschepen. Botters, kotters, lemsteraken, loggers, klippers en tjalken zijn soorten vaartuigen die het meest voor komen. Bron: www.waddenzee.nl.

⁸ Iedere dag dat een betalende persoon aan boord verblijft.

⁹ Cijfers BBZ 2004-2005.



Afbeelding 2: De tweemastklipper onder vol tuig (foto: website exploitant)

Het schip is ongeveer 32 meter lang en 6 meter breed. Het achterschip biedt bovendecks toegang tot de verblijfplaats van de schipper ('crew') en de machinekamer (zie afbeelding 1). Deze ruimten zelf bevinden zich ten dele benedendeks. In de hut van de bemanning is een toilet geplaatst. Direct voor de crew-ruimte en de machinekamer zitten twee hutten die elk plaats bieden aan vier personen. Eén ruimte is gevestigd aan stuurboordzijde, de andere aan bakboordzijde van het schip. Tussen deze vertrekken is een toilet- en doucheruimte geplaatst. Verder bevindt zich aan de achterzijde van het schip een kleine hal en een berging onder de trap. Deze trap verschaft vanaf het bovendeck toegang tot de verblijfsruimte benedendeks.

In het midden van het schip is een verblijfsruimte waarin een keuken (kombuis) is geplaatst. De keuken staat aan de bakboordzijde van het schip en is onder andere uitgerust met een oven, gasfornuis en een losstaande koelkast. De verblijfsruimte is voorzien van drie zithoeken, twee aan stuurboordzijde en één aan bakboordzijde. De zithoeken bestaan uit banken, stoelen en tafels. In het plafond van de verblijfsruimte is een lichtkoepel geplaatst die op het bovendeck uitkomt. Deze lichtkoepel heeft vier kunststof ramen.



Afbeelding 3: De kombuis (keuken) aan bakboordzijde van het schip voor de explosie. Links de trap die leidt naar het bovendeck (foto: website exploitant)

Aan de voorzijde van het schip zijn aan weerszijden van een rechte gang in totaal acht hutten gemaakt. Verder zijn aan bakboordzijde twee toiletten en aan stuurboordzijde een douche¹⁰ geplaatst.

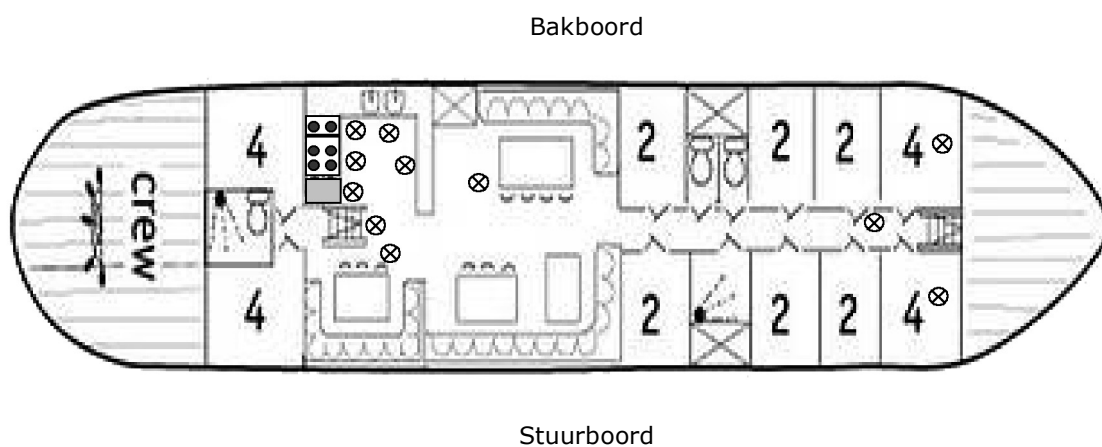
¹⁰ Ten tijde van de explosie beschikte het schip over twee douches. Na de explosie is het schip gerenoveerd en is een derde douche gemaakt.

2.3 RECONSTRUCTIE

In de periode van dinsdag 6 tot en met vrijdag 9 juni 2006 zeilden HAVO en VWO leerlingen van het DevelsteinCollege uit Zwijndrecht onder begeleiding van enkele leraren op de Friese meren en het IJsselmeer. De 83 leerlingen en leraren waren verdeeld over vier vaartuigen van de 'bruine vloot'. In totaal bevonden zich 26 leerlingen en 2 leraren aan boord van het schip waar later de explosie zou plaatsvinden. Het schip had een tweekoppige bemanning (schipper/eigenaar en maat).

Op donderdag 8 juni meerden de schepen om ongeveer 18.00 uur aan in de Oosterhaven in Medemblik. Na die tijd bereidden de leerlingen in de keuken van het schip zelfstandig de avondmaaltijd voor de gehele groep die op de tweemastklipper verbleef. Ze maakten de maaltijd klaar op het vierpits gasfornuis. Naast het vierpits gasfornuis stond nog een tweepits fornuis. Deze was tijdens het koken niet in gebruik.

De schipper en de maat verbleven op het bovendek van het naastgelegen schip en waren in gezelschap van enkele leraren en de bemanningsleden van de andere schepen. In totaal bevonden zich elf leerlingen benedendeks (zie afbeelding 4). Het schip was, op de uitgang naar buiten na, volledig afgesloten.



Afbeelding 4: Bovenaanzicht positie leerlingen

- De cirkels met kruisjes geven de posities van de leerlingen weer die op het moment van de explosie in het schip aanwezig waren.

Om omstreeks 19.50 uur vond benedendeks in de verblijfsruimte een explosie plaats. Getuigen hoorden een "keiharde knal". Direct na de explosie was een rook of stofwolk waarneembaar buiten het schip.

Acht van de elf leerlingen die zich beneden in het schip bevonden, raakten gewond, waarvan vier zwaargewond. Het betrof in alle gevallen leerlingen die zich op het moment van de explosie in de verblijfsruimte bevonden. Direct na de explosie boden leerlingen, leraren, de schipper en maat eerste hulp en brachten de gewonde leerlingen naar buiten. Volgens ooggetuigen waren de hulpdiensten snel ter plaatse. De gewonden zijn vervolgens per ambulance vervoerd naar ziekenhuizen in Hoorn en Alkmaar. Drie van de leerlingen die als gevolg van de explosie zwaargewond raakten, hielden blijvend letsel over aan dit voorval.

De leerlingen en leraren die ongedeerd waren, omdat ze in de stad of op één van de andere schepen verbleven, zijn na de explosie opgevangen in hotel "Het Wapen van Medemblik". Van daaruit zijn ze rond 23.00 uur met bussen naar Zwijndrecht zijn gebracht. De school verzorgde in samenwerking met Slachtofferhulp de begeleiding en nazorg voor de leerlingen en leraren.¹¹ De politie benaderde de schipper en maat van de tweemastklipper afzonderlijk voor het verlenen van nazorg.

¹¹ De Onderzoeksraad heeft geen onderzoek gedaan naar de opvang en nazorg van de bij de explosie betrokken personen, omdat de eerste signalen erop wezen dat de daarvoor verantwoordelijke partijen de opvang en nazorg op goede wijze organiseerden. Zowel de gemeente Medemblik, de regionale hulpdiensten en het Korps landelijke politiediensten spraken van een adequate samenwerking. Op de avond van de explosie lag het schip in de haven van Medemblik. De gemeente Medemblik had daarmee de verantwoordelijkheid en de zorg om te reageren op de gevolgen van de explosie. De school heeft veel energie gestoken in de nazorg en verschillende bijeenkomsten gehouden in samenwerking met Slachtofferhulp.

2.4 MOGELIJKE OORZAKEN VAN DE EXPLOSIE

De politie en de Onderzoeksraad voor Veiligheid constateerden aan de hand van het schadebeeld en overige informatie dat de explosie te wijten was aan een gasophoping onder de vloer. Op basis van deze constatering formuleerde de Onderzoeksraad twee hypothesen over de oorzaak van de gasophoping. Deze hypothesen zijn uitgewerkt in twee scenario's die in de volgende subparagrafen worden beschreven.



Afbeelding 5: Schade na de explosie, vloer verblijfsruimte (foto: Onderzoeksraad voor Veiligheid).

2.4.1 Scenario 1: explosie van propaangas

Propaangasexplosies zijn geen onbekend verschijnsel in de recreatievaart¹². De oorzaak van dergelijke explosies is vaak te herleiden tot slechte aansluitingen en/of gebrekkig functionerende gasinstallaties al dan niet veroorzaakt door achterstallig onderhoud. In de recreatievaart openbaren deze problemen zich vooral bij aanvang van het vaarseizoen, het moment waarop de apparatuur (weer) in gebruik wordt genomen. Uit onderzoek van de voorganger van de huidige Onderzoeksraad voor Veiligheid, de Raad voor de Transportveiligheid, blijkt dat in een deel van de onderzochte voorvallen gas is weggelekt en zich heeft opgehoopt in het schip. In de meeste gevallen ruiken getuigen voorafgaand aan de explosie een gaslucht.

Het scenario dat de explosie op 8 juni is veroorzaakt door propaangas kan worden onderverdeeld in twee mogelijke oorzaken:

- lekkage van het gas uit de leiding; of
- lekkage van het gas uit het vierpits kooktoestel.

De gasleiding aan boord van de tweemastklipper was aangebracht vanuit de gasbun¹³ aan dek, bestond deels uit een stalen leiding (aan dek) en deels uit een koperen leiding (in het schip) en was op verschillende plaatsen voorzien van knelkoppelingen. Lekkage uit één van die koppelingen, voornamelijk die binnen het schip, zou kunnen hebben geleid tot gasophoping.

Een andere eventuele oorzaak van de opeenhoping van gas was een gaslekkage uit het kooktoestel. Op de avond van de explosie waren verschillende leerlingen in de verblijfsruimte aanwezig om de avondmaaltijd te bereiden. Daarbij gebruikten zij het gasfornuis. Onervarenheid met het gebruik van het kooktoestel aan boord of gasfornuizen in het algemeen, kon mogelijk hebben geleid tot het ontsnappen van gas.

¹² Jachten en omgebouwde beroepsschepen die uitsluitend voor vakantie en plezier worden bevaren.

¹³ Een gasbun is een volgens voorschrift vereiste opslagplaats voor propaangasflessen.

In beide gevallen was het gezien de constructie van het schip en de fysische eigenschappen van propaangas (dat zwaarder is dan lucht) mogelijk dat het gas zich, naast verspreiding in de ruimte, ook via naden, kieren of gaten in de vloer en via de aangrenzende keukenkastjes zou ophopen. De gastoevoerleidingen naar het fornuis bevonden zich overigens uitsluitend boven de vloer.

2.4.2 Scenario 2: explosie van biogas

Omdat de explosie aan boord van de tweemastklipper de meeste schade aanrichtte aan de zijde waar de vuilwatertank zich bevond, zou men ook kunnen denken aan een scenario waarbij sprake was van de opeenhoping en daaropvolgende ontsteking van biogassen uit de vuilwatertank.

Op passagiersschepen wordt afvalwater vanuit toiletten, douches, keuken en wasbakken verzameld in een vuilwatertank. Van daaruit wordt het afvalwater door middel van speciaal daarvoor bestemde aansluitingen op de kade uit de tank gepompt of wordt het afvalwater met enige regelmaat overboord gepompt. Het vuilwatersysteem met behulp van een opvangtank is een eenvoudig rioolsysteem. Het afvalwater van de douches, de wasbakjes in de hutten, de toiletten en keuken wordt aan boord van het schip via PVC rioolpijpen afgevoerd naar de vuilwatertank.

In de vuilwatertank ontstaat een mengsel van vloeistoffen en zwevende delen (toiletspoelingen, afwaswater, douchewater). Deze zwevende delen bezinken en vormen slib. Het slib in de tank is onderhevig aan gistingprocessen waarbij onder andere gassen als methaan, kooldioxide, en (kool)waterstoffen vrijkomen. Normaal gesproken worden deze gassen afgevoerd via de ontluchting die op de tank is aangebracht. Indien de vuilwatertank echter niet (voldoende) wordt ontluicht, dan kunnen deze gassen uitstromen. Bijvoorbeeld via de aansluiting met de buizen. Vervolgens kunnen de gassen door menging met zuurstof onder de vloer een explosief mengsel vormen.

Als dit scenario zou kloppen, zou het vuilwatersysteem in de tweemastklipper zodanige gebreken moeten vertonen, dat daaruit blijkt dat de aansluiting met de buizen een uitweg van de gistingsgassen was. Daarbij moet gedacht worden aan gebreken als een verstopte ontluchting of een gebrekkig aangelegd rioolsysteem.

Biogassen als methaan en waterstofgas zijn 'lichter' dan lucht.

Op basis van deze informatie zou het minder voor de hand liggen dat de explosie aan boord van de tweemastklipper is veroorzaakt door biogassen. Maar mede door de inrichting van het schip bestond de mogelijkheid dat biogassen zich in het schip hadden verspreid en zich onder de vloer hadden opgehoopt.¹⁴

¹⁴ Deze aspecten worden in de analyse in hoofdstuk 5 toegelicht.

3 BEOORDELINGSKADER

3.1 INLEIDING

Het beoordelingskader vormt een essentieel onderdeel van het onderzoek, omdat het van belang is om aan te geven op basis van welke criteria het voorval wordt beoordeeld. Het kader bestaat uit een drietal onderdelen, te weten:

1. een beschrijving van de relevante geldende wet- en regelgeving in de sector waarbinnen het voorval heeft plaatsgevonden;
2. een beschrijving van aanvullende normen, richtlijnen en inzichten uit de betreffende branche zelf;
3. een beschrijving van het algemene beoordelingskader voor veiligheidsmanagement.

De eerste twee delen van het beoordelingskader zijn sectorspecifiek en hangen qua invulling sterk af van het soort voorval dat zich heeft voorgedaan. Het derde deel van het beoordelingskader is een algemeen deel, waarin de verwachtingen van de Raad worden beschreven ten aanzien van de wijze waarop betrokken partijen invulling geven aan hun eigen verantwoordelijkheid voor veiligheid. In dit hoofdstuk worden deze drie onderdelen nader toegelicht.

Bij het vaststellen van het beoordelingskader is rekening gehouden met de twee eerder genoemde scenario's: i) een explosie van propaangas en ii) een explosie van biogas.

3.2 RELEVANTE WET- EN REGELGEVING

Hieronder zijn de richtlijnen en wetten opgenomen die van belang zijn voor dit onderzoek. Het betreft zowel Europese als nationale wetgeving.

Internationale richtlijnen en voorschriften

De Europese Unie (EU) stelt richtlijnen vast voor de binnenvaart. Deze richtlijnen dienen te worden geïmplementeerd in de nationale wetgeving van de lidstaten van de Europese Unie. Dat geldt ook voor de voorschriften van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR).

De Europese commissie heeft in oktober 1982 een 'Richtlijn tot vaststelling van de technische voorschriften voor binnenschepen 82/714/EEG' afgevaardigd. Deze richtlijn is in maart 2006 herzien en resulteerde in de afkondiging van richtlijn 2006/87/EG. Deze richtlijn heeft betrekking op de technische voorschriften en uitrustings-eisen van binnenvaartschepen. Het Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn (ROSR), ingevoerd door de CCR, geeft voorschriften voor de bouwrichting en bemanning van schepen die op de Internationale Rijn varen. De Europese richtlijn en het ROSR zijn in Nederland onder meer geïmplementeerd in de Binnenschepenwet.

De Europese richtlijn 2006/87/EG en het ROSR 1995 verbieden beiden het huishoudelijke gebruik van vloeibaar gas (propaangas) op passagiersschepen. Bestaande installaties moeten gefaseerd (na vernieuwing, ombouw of herstel van de installatie), doch uiterlijk na 2045 vervangen zijn. Deze bepaling is ook van toepassing op zeilende passagiersschepen zoals de tweemastklipper. In deze Europese richtlijn staat tevens beschreven of lidstaten aanvullende eisen kunnen stellen, bijvoorbeeld gericht op het bekorten van de overgangstermijn. Voor vloeibaargasinstallaties voor huishoudelijk gebruik op passagiersschepen is dat niet mogelijk.

Voor vuilwatertanks is geen (algemeen) geldende wet- en regelgeving voorhanden. Alleen voor de passagiersvaart op de Rijn zijn enkele voorwaarden gesteld aan de installatie van verzamel tanks voor afvalwater (Reglement Onderzoek Schepen op de Rijn (ROSR) 1995, artikel 15.14, onder andere gericht op capaciteit, niveaumeting, pompen en leidingen of een zuiveringsinstallatie). Deze voorwaarden zijn onverkort overgenomen in de Europese richtlijn 2006/87/EG.

Nationale wetgeving: de Binnenschepenwet en het Binnenschepenbesluit

De verantwoordelijkheid voor deze wetgeving berust bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. De Binnenschepenwet (BSW) regelt:

- de deugdelijkheid, inrichting en uitrusting van het schip;
- de veiligheid, gezondheid en het welzijn in verband met arbeid aan boord;
- de kennis, bekwaamheid en lichamelijke gesteldheid van de schipper.

De BSW is een raamwet. De specifieke regels worden door middel van Algemene Maatregelen van Bestuur geregeld. Ter uitvoering van de BSW zijn de bouwtechnische en uitrustings-eisen geregeld in het Binnenschepenbesluit (BSB). Het BSB is voortgekomen uit de oude EU richtlijn 82/714/EEG (oktober 1982) waarin de nationale en internationale eisen ten aanzien van de binnenvaart zijn vastgelegd. In het BSB staan naast de Europese eisen de aanvullende Nederlandse eisen.

De direct van toepassing zijnde wet- en regelgeving bij dit onderzoek naar de explosie aan boord van de tweemastklipper is het BSB, respectievelijk bijlage 2 (inrichtings- en uitrustings-eisen alle schepen) en bijlage 7 (aanvullende technische voorschriften voor zeilende passagiersschepen). In deze bijlagen staan de voorschriften voor propaaninstallaties.

Arbeidsomstandighedenwet

Op alle organisaties die werknemers in loondienst hebben, is de Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) van toepassing. De wet is ook van toepassing op zeilende passagiersschepen. De Arbowet stelt regels met betrekking tot gezondheid, veiligheid en welzijn tijdens het uitvoeren van werkzaamheden. Uitgangspunt daarbij is het voorkomen van risico's. Als het gevaar niet kan worden weggenomen, moet de werkgever kijken naar andere preventieve oplossingen. Het gevaar moet worden afgeschermd. Indien dat niet mogelijk is, is de werkgever verplicht om persoonlijke beschermingsmiddelen te verstrekken (de zogenaamde arbeidshygiënische aanpak). Om de risico's inzichtelijk te maken, is een werkgever verplicht een RI&E op te stellen en deze jaarlijks te evalueren.

3.3 AANVULLENDE NORMEN EN RICHTLIJNEN

Normen

Normen worden uitgegeven onder verantwoordelijkheid van normalisatie-instituten zoals het Nederlands Normalisatie-instituut (NEN). Voor de binnenscheepvaart is een grote diversiteit aan normen van kracht die betrekking hebben op de bouw van het schip, de technische inrichting en onderdelen daarvan. Een deel van die normen zijn terug te vinden in de CE-normering.¹⁵

Voor vuilwatertanks aan boord van zeeschepen en offshore installaties is een norm ontwikkeld. Deze ISO 15749 norm is van kracht vanaf december 2004 en is gericht op de installatie van het totale vuilwatersysteem. Deze norm is echter niet van toepassing op de binnenvaart. Ter vergelijking is ook de norm voor septic tanks¹⁶ (Individuele Behandeling Afvalwater - IBA) aangehaald. Deze tanks moeten voldoen aan de CE-normering vertaald in de NEN-EN 12566-1, welke al van kracht is vanaf december 2005, maar een overgangstermijn kent tot juli 2008. Bovenstaande normeringen op het gebied van vuilwateropvang zijn ontwikkeld naar aanleiding van het lozingsverbod van afvalwater op oppervlaktewater (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78) en Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, 1973). Deze normen zijn gericht op het milieuvriendelijke gebruik en onderhoud van vuilwatertanks.

Brancherichtlijnen

Er zijn geen specifieke brancherichtlijnen die van toepassing zijn op vuilwatertanks of propaaninstallaties.

3.4 BEOORDELINGSKADER VEILIGHEIDSMANAGEMENT

In het verleden is gebleken dat de structuur van een veiligheidsmanagementsysteem en de invulling ervan door organisaties en hun medewerkers een cruciale rol spelen bij het aantoonbaar beheersen en continu verbeteren van de veiligheid. De Onderzoeksraad erkent dat de beoordeling van de wijze waarop door organisaties invulling wordt gegeven aan eigen verantwoordelijkheid ten aanzien van veiligheid, afhankelijk is van de betrokken organisaties. Aspecten zoals de aard van de organisatie of de omvang daarvan kunnen hierbij van belang zijn en dienen daarom te worden betrokken bij de beoordeling. Hoewel per voorval de oordeelsvorming anders kan zijn, blijft de manier van denken identiek.

¹⁵ Een product met een CE-markering voldoet aan de eisen die zijn gesteld in de van toepassing zijnde Europese norm.

¹⁶ Bak die zorgt voor scheiding en opvang van zwevende/vaste delen en vloeistof. Het afvalwater wordt door overloop afgevoerd. De vaste delen bezinken en moeten na verloop van tijd verwijderd worden.

In beginsel kan de wijze van invulling van de eigen verantwoordelijkheid voor veiligheid door een organisatie worden getoetst en beoordeeld vanuit verschillende invalshoeken. Er is dan ook geen universeel handboek dat in alle situaties toepasbaar is.

De Onderzoeksraad heeft de volgende vijf aandachtspunten geselecteerd waaraan in elk geval invulling moet worden gegeven:

1. Inzicht in risico's als basis voor veiligheidsaanpak
2. Aantoonbare en realistische veiligheidsaanpak
3. Uitvoeren en handhaven veiligheidsaanpak
4. Aanscherping veiligheidsaanpak
5. Managementsturing, betrokkenheid en communicatie

De Raad is van oordeel dat deze keuze gerechtvaardigd is, omdat deze veiligheidsaandachtspunten opgenomen zijn in tal van (inter-)nationale wet- en regelgeving en in een groot aantal breed geaccepteerde en geïmplementeerde normen.

Een meer uitgebreide beschrijving van deze aandachtspunten is opgenomen in Bijlage 5.

4 BETROKKEN PARTIJEN EN HUN VERANTWOORDELIJKHEDEN

De schipper

De schipper is verantwoordelijk voor de deugdelijkheid van het schip en de veiligheid, gezondheid en het welzijn van de bemanning en overige opvarenden. Ter ondersteuning daarvan worden certificaten afgegeven na de inspectie van de onderdelen of uitrusting van het schip waar het certificaat op van toepassing is. Certificaten geven de schipper geen garantie dat het schip te allen tijde in goede staat verkeert. De inspecties zijn een momentopname.

Ook voor niet-gecertificeerde onderdelen van het schip is de schipper/eigenaar eindverantwoordelijk voor zorgvuldige installatie en onderhoud. Van de schipper mag verwacht worden dat hij passagiers en bemanning wijst op de risico's en gevaren tijdens het verblijf aan boord en regelmatig controleert of ze zich aan de veiligheidsmaatregelen houden.

De passagiers

Ook de passagiers hebben een eigen verantwoordelijkheid. Op de tweemastklipper worden aan het begin van de vaart instructies gegeven over gewenst gedrag aan boord. Van de leerlingen en leraren wordt verwacht dat zij hieraan gehoor geven en bij onvolkomenheden de schipper daarvan in kennis stellen.

De Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ)

De 'bruine vloot' kent vooral ondernemers die zowel eigenaar als schipper zijn. Het grootste deel van de vloot vaart van begin april tot eind oktober. Sommige schepen varen in de winter door of worden gedurende deze tijd ingezet als hotelschip. Ongeveer 55% van de schippers is aangesloten bij de Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ), die de belangen behartigt voor de 'bruine vloot'. De schipper van de tweemastklipper was eveneens bij de BBZ aangesloten.

Het werkgebied van de BBZ bestaat uit:

- natuur en milieu / ruimtelijke ordening
- sociaal / economische zaken
- recreatie en toerisme
- nautisch / technische zaken

De BBZ is de vereniging die met de overheid onderhandelt over maatregelen ten aanzien van de hierboven genoemde gebieden.

Voor de aangesloten schippers kunnen collectieve regelingen worden getroffen. Eén daarvan is de Risico-inventarisatie en Evaluatie (RI&E). De BBZ heeft in overleg met de Arbeidsinspectie de onderwerpen van de RI&E vastgelegd en goedkeuring gekregen om het als branchebrede RI&E te gebruiken.

Certificerende instanties

Erkende expertise- en klassebureaus, die door de Inspectie Verkeer en Waterstaat zijn aangewezen als keurende en toezichthoudende instanties, voeren met behulp van experts keuringen uit op het gebied van constructie en uitrusting. Een aantal expertisebureaus heeft zich verenigd in de Stichting Nederlands Bureau Keuringen Binnenvaart (NBKB). Echter niet alle door IVW aangewezen expertisebureaus zijn aangesloten bij het NBKB. Ook de door IVW erkende klassebureaus maken geen deel uit van het NBKB. De expertise- en klassebureaus moeten aan een aantal eisen voldoen, waaronder het hanteren van een gangbaar kwaliteitswaarborgingssysteem. Deze bureaus worden gecontroleerd door de Inspectie Verkeer en Waterstaat.

De schepen in de 'bruine vloot' varende met meer dan twaalf passagiers, vallen onder specifieke regelgeving. Het directe toezicht op de veiligheidsstaat van deze schepen wordt nu uitgevoerd door een aantal door IVW aangewezen partijen, te weten:

- Register Holland (specifiek klassebureau voor de 'bruine vloot');
- Verzekeringsmaatschappij efm expertise b.v., onderdeel van efm onderlinge schepenverzekering u.a.¹⁷ (De maatschappij is opgesplitst in twee werkmaatschappijen: verzekeringen en inspectie).;
- Het Nederlands Keuringsinstituut voor Pleziervaartuigen (NKIP, CE keurmerken, inspectie).

De schepen in de 'bruine vloot' krijgen na een vierjaarlijkse keuring een algemeen certificaat van onderzoek. Het certificaat van onderzoek wordt afgegeven als aan de onderliggende onderdelen, bijvoorbeeld reddingsmiddelen en uitrusting, een geldig certificaat is toegekend.

¹⁷ Uitgesloten aansprakelijkheid.

Deze onderdelen kennen elk weer eigen periodieke keuringsregimes. Brandblussers worden bijvoorbeeld tweejaarlijks gekeurd door een door de IVW erkende keuringsinstantie. Gasinstallaties moeten ook door erkende bedrijven worden gekeurd, maar kennen een regime van een driejaarlijkse keuring. Vuilwatertanks maken geen onderdeel uit van het officiële keurings- en certificeringssysteem.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

De verantwoordelijkheid voor het opstellen van wetgeving op het gebied van binnenvaart ligt bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Daarnaast kan de Europese Commissie wetswijzigingen opleggen.

Inspectie Verkeer en Waterstaat (IVW)

De Inspectie Verkeer en Waterstaat houdt, onder meer ten behoeve van de veiligheid op de Nederlandse binnenwateren, toezicht op de naleving van wet- en regelgeving. Het toezicht richt zich op de binnenvaartonderneming, erkende classificatie- en expertisebureaus en de bemanning van de schepen. Onder eindverantwoordelijkheid van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat worden op dit moment nieuwe vormen van toezicht ontwikkeld.¹⁸ Een van de hoofdredenen van IVW voor het ontwikkelen van nieuwe toezichtarrangementen, is het terugtreden van de overheid en het meer aandacht geven aan eigen verantwoordelijkheid van de burger. De inspectie stelt toezichtarrangementen op waarbij negen principes van goed toezicht worden gehanteerd.¹⁹ Voor enkele transportmodaliteiten²⁰ zijn die toezichtarrangementen reeds afgerond en in de praktijk gebracht. Voor de binnenvaart staat de volledige inwerkingtreding gepland voor 2008.

De Inspectie Verkeer en Waterstaat draagt op basis van dit toezichtarrangement voor de binnenvaart een groot deel van de certificerende werkzaamheden over aan marktpartijen. Dit betekent dat schepen niet meer door de inspectie zelf worden gecontroleerd op constructie en uitrusting. De IVW heeft voor dit specifieke deel het Visiedocument Taakoverdracht opgesteld. In dit document is opgenomen dat IVW niet alleen de keuringen overdraagt, maar tevens de afgifte van de certificaten. De partijen die deze certificerende taken voor de chartervloot op zich nemen, dienen zelf geaccrediteerd te zijn door de Raad voor Accreditatie. Ze moeten voldoen aan ISO/IEC 17020, de norm met algemene criteria voor entiteiten die inspecties uitvoeren. IVW blijft eindverantwoordelijk voor het toezicht op de naleving van wet- en regelgeving, zoals op vaar- en rusttijden en bemanningsterkte.

¹⁸ Nota Toezicht in Beweging, Inspectie Verkeer en Waterstaat, mei 2004. De ontwikkeling van nieuwe vormen van toezicht vloeit voort uit de visie van het kabinet Balkenende-II (Andere Overheid-2003). Eén van de onderdelen van deze visie is dat het primaire toezicht in diverse maatschappelijke sectoren kan worden uitgeoefend binnen de verhoudingen die in de samenleving bestaan tussen bedrijven, maatschappelijke organisaties en burgers onderling. De overheid kan dan vaker metatoezicht uitoefenen (het houden van toezicht op toezicht).

¹⁹ Negen principes van goed toezicht: selectief 'eigen verantwoordelijkheid', selectief 'integraalbeeld per domein', slagvaardig, samenwerkend, onafhankelijk, transparant, professioneel, actief in Europa, digitaal toezicht (bron: brief Minister van Verkeer en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer, 23 oktober 2006).

²⁰ In 2004 toezichtarrangement Luchtvaart, in 2005 Rail, in 2006 Koopvaardij (Toezicht op klassebureaus).

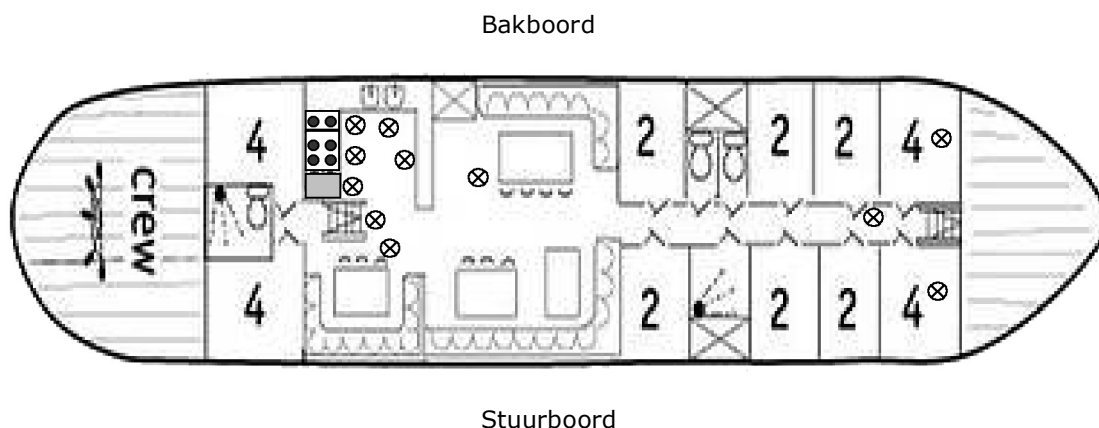
5 ANALYSE

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt in paragraaf 5.2 het schadepatroon beschreven zoals dat na de explosie aan boord van de tweemastklipper is aangetroffen. In paragraaf 5.3 worden twee onderzoeken naar de oorzaak van de explosie beschreven en vervolgens geanalyseerd. Het gaat om het onderzoek dat het Openbaar Ministerie heeft uitgevoerd naar een mogelijke lekkage van propaangas en het onderzoek dat de Onderzoeksraad heeft uitgevoerd naar de vorming van gassen in vuilwatertanks. Ten slotte komt in paragraaf 5.4 het onderwerp veiligheidsmanagement aan de orde.

5.2 POSITIE LEERLINGEN EN VERWONDINGEN, SCHADEPATROON

Aan de hand van de getuigenverklaringen is een schets gemaakt van de posities van de leerlingen ten tijde van de explosie (afbeelding 6). De vier zwaargewonde leerlingen die na de explosie in het ziekenhuis moesten worden opgenomen, bevonden zich ter hoogte van de trap en het fornuis. De verwondingen, voornamelijk gecompliceerde botbreuken van de enkels, vormen een duidelijke aanwijzing dat de explosie onder de vloer vandaan kwam.



Afbeelding 6: Bovenaanzicht positie leerlingen

- De cirkels met kruisjes geven de posities van de leerlingen weer die op het moment van de explosie in het schip aanwezig waren.
- De vier meest zwaargewonde leerlingen bevonden zich in de keuken en bij de trap aan de achterzijde van het schip, tevens de uitgang naar buiten.

De explosie die op 8 juni aan boord van de tweemastklipper plaatsvond, veroorzaakte benedendeks grote materiële schade. Zij vernielde het interieur van de verblijfsruimte, enkele hutten en de keuken (zie afbeeldingen 7-11). De vloer in de verblijfsruimte was voor een groot deel opengebroken. Op enkele plaatsen zaten stukken laminaat afkomstig van de vloer in het plafond (zie afbeelding 9). De wanden waren op veel plaatsen gebarsten en de lichtkoepel in het plafond was door de kracht van de explosie uit de sponning geblazen.

De vaste banken in de verblijfsruimte waren als gevolg van de explosie voor een groot deel losgeschoten van de wand. Verder waren de aan de vloer vastgeschroefde eettafels losgekomen. Eén tafel was door de scheidingswand van een aangrenzende slaaphut geslagen.

De deur van de oven stond open en het linker scharnier was defect.²¹ De bedieningsknop van de oven en van één van de kookpitten ontbrak. Deze knoppen lagen op de grond in het keukengedeelte. Op de vloer lagen verder losse voorwerpen zoals etenswaren, glas, schoeisel en toiletartikelen.

²¹ Rapport Kiwa N.V.: Explosie op schip "Bree Sant". Een onderzoek naar de oorzaak van de explosie, 2006.



Afbeelding 7: Schade aan het interieur aan bakboordzijde, zicht naar voorzijde van het schip (foto: Onderzoeksraad voor Veiligheid)



Afbeelding 8: Zicht naast de trap aan stuurboordzijde richting achterschip (foto: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

De vloeren in de benedendekse ruimten van het schip bestonden uit stroken laminaat die waren vastgelijmd op een ondervloer.²² De ondervloer was vastgemaakt aan houten balken op de bodemconstructie in de verblijfsruimte van het schip. In de hutten aan de achterzijde van het schip lagen onder de vloer kabels en aansluitingen voor elektra, diverse leidingen voor drink- en douchewater, heet water voor de convectoren en leidingen voor de afvoer van vuilwater uit douches, toiletten, wastafels en keukens. In de verblijfsruimte liepen deze kabels en leidingen weliswaar boven de vloer, maar waren achter de banken en in keukenkastjes weggewerkt. In de douche en- toiletruimten lagen tegels op de ondervloer.

²² Type Viroc (cementvezelplaat). De laminaatvloer loopt niet door onder bankjes, keukenkastjes en dergelijke, de cementvezelplaat wel.

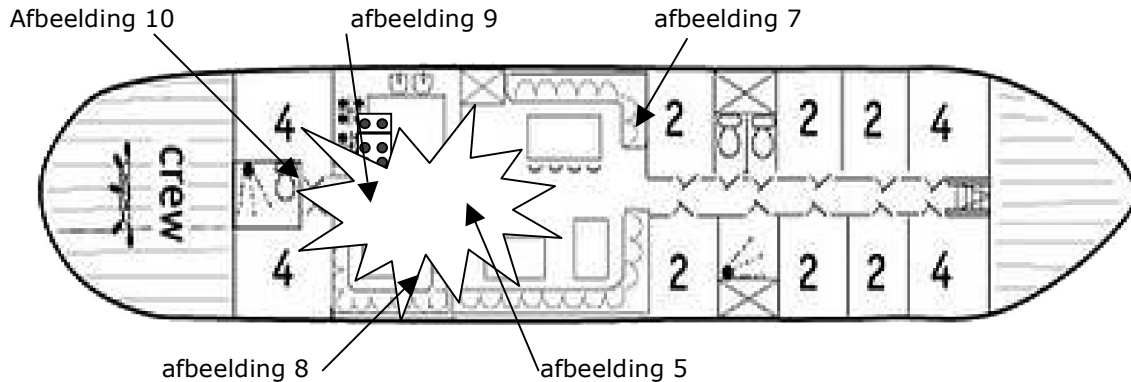


Afbeelding 9: Schade aan het plafond. Delen van de laminaatvloer hebben zich in het plafond geboord (foto: TNO Bouw en Dienstverlening)

Het toilet aan de achterzijde tussen de twee hutten was door de klap van de explosie van de bevestiging losgescheurd en vertoonde scheuren (zie afbeelding 10). De vloer en wand in dat toilet vertoonden eveneens scheuren en loszittende delen. De aangrenzende hut aan stuurboordzijde had grote schade opgelopen. Zo was één van de dubbele kooien (stapelbedden) losgekomen van de wand. De schade aan de hut aan stuurboordzijde bleek ernstiger te zijn dan de schade in de aan de verblijfsruimte grenzende hut aan bakboordzijde.



Afbeelding 10: Toilet die op de vuilwatertank was geplaatst. De omhoog gedrukte vloer is op deze afbeelding duidelijk zichtbaar (foto: TNO Bouw en Dienstverlening)



Afbeelding 11: Bovenaanzicht explosie en positie afbeeldingen

Het schadepatroon gaf voldoende aanwijzingen om te veronderstellen dat de schade was ontstaan door een opeenhoping van een explosief mengsel onder de vloer. De grootste schade werd in het midden van de benedendekse ruimte onderaan de trap en aan stuurboordzijde aangetroffen. Gezien het schadebeeld bevond het centrum van de explosie zich ongeveer ter hoogte van de kast onder de trap naar buiten. Het centrum van de explosie is niet noodzakelijkerwijs de locatie waar het gasmengsel is ontstoken.

De leerlingen met de ernstigste verwondingen wilden op het moment van de explosie de trap opgaan naar het bovendek of stonden bij het fornuis. Twee andere leerlingen die dicht bij het fornuis stonden, hadden lichtere verwondingen. Het aanrecht in de keuken was deels ontzet, maar de totale schade was aanmerkelijk minder dan aan de andere zijde van het schip.

5.3 TOETSING SCENARIO'S

5.3.1 Analyse scenario propaangasexplosie

Inleiding

Aan boord van de schepen in de 'bruine vloot' wordt voornamelijk gebruik gemaakt van propaangas uit flessen voor huishoudelijk gebruik. De installatie van propaangas moet aan strenge wettelijke voorschriften voldoen en wordt daarvoor driejaarlijks gekeurd door een erkende keuringsinstantie. Zo mag er bij het testen van de installatie, in tegenstelling tot gasinstallaties in woningen, geen enkel (ook niet miniem) drukverlies optreden. Verder wordt aan het gas propaan, net als aan aardgas, een geurstof (odorant, mercaptaan²³) toegevoegd. Deze geurstof fungeert in het geval van een lekkage en ontsnapping naar een ruimte als waarschuwing voor uittredend onverbrand gas. Deze geur is zeer karakteristiek en wordt door de meeste mensen direct geassocieerd met 'een gaslucht'.

Strafrechtelijk onderzoek

Het Openbaar Ministerie heeft een strafrechtelijk onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van de explosie aan boord van de tweemastklipper. Het OM heeft beslag gelegd op het schip, waarna het Nederlands Forensisch Instituut in samenwerking met Kiwa/Gastec een technisch onderzoek uitvoerde. Dit technisch onderzoek omvatte de gehele gasinstallatie, de gasflessen, de gasdrukregelaar, de leidingen, de koppelingen, het fornuis in de verblijfsruimte en het gasstel in het schippersverblijf.

Uit dit onderzoek zijn geen gebreken aan de gasinstallatie naar voren gekomen die een gasophoping onder de vloer konden verklaren. De rapportage van KIWA/Gastec aan het NFI vermeldt verder een zeer geringe lekkage aan de leiding, die mogelijk is veroorzaakt door de explosie.

²³ Propaan wordt met circa 20 ppm mercapto ethaan geodoriseerd. Dit is een andere component dan die gebruikelijk aan aardgas wordt toegevoegd (tetrahydrothiofeen).



Afbeelding 12: Fornuis klaar voor transport voor nader onderzoek, aanwezige bedieningsknoppen in nulstand gedraaid (de ovenknop is de 3^e van links, rechts mist de knop van een gaspit) (foto: TNO Bouw en Dienstverlening)

Het functioneren van het fornuis is vervolgens enkele weken later in het laboratorium nader onderzocht. Uit dit onderzoek bleek dat alle knoppen op het fornuis naar behoren functioneerden, op de knop van de oven na. Opvallend aan deze knop was dat deze, als hij deels ingedrukt was, verdraaid kon worden zonder dat de knop volledig ingedrukt hoefde te worden. Bij het testen van de knop bleek dat de gaskraan open kon blijven staan zonder dat de thermo-elektrische beveiliging in werking trad.

Thermo-elektrische beveiliging:

Bij het aansteken van de ovenbrander wordt de bedieningsknop ingedrukt en tegen de klok in gedraaid. De bediener van het fornuis moet nu de ontstekingsknop indrukken zodat de ovenbrander met een elektrische vonk wordt ontstoken. Als de vlambeveiliging een vlam waarneemt, dan blijft er gas uitstromen, ook wanneer de bedieningsknop wordt losgelaten. Als de vlam gedoofd is bij een open stand van de bedieningsknop zal de vlambeveiliging de toevoer van gas afsluiten. Dit voorkomt onbedoelde uitstroom van (onverbrand) gas.

KIWA/Gastec concludeerde dat vervuiling door aanslag van etensresten de oorzaak was van het haperen van de thermo-elektrische beveiliging. Deze aanslag werd bij de andere knoppen niet gevonden, omdat deze werden afgeschermd door een lekbak.

De bedieningsknop van de oven is bij het uitvoeren van de testen in de stand gezet zoals de technische recherche die op de avond van de explosie heeft gefotografeerd. In de conclusies gaat het NFI er vanuit dat de ovenknop in deze stand heeft gestaan voor de explosie. Bij deze stand kan 0,19 m³ propaan per uur de oven instromen. De onderste explosiegrens van propaan bedraagt 2,2%.²⁴ Dit zou betekenen dat per uur maximaal 8,63 m³ explosief mengsel gevormd kon worden.

²⁴ De explosiegrens is de concentratie van een gas of damp van vloeibare en/of vaste stof uitgedrukt in volumeprocent in lucht, waarbij het damp-luchtmengsel bij ontsteking kan exploderen. De onderste explosiegrens wordt bepaald door de laagste concentratie van een brandbaar gas, damp of stoffvormige vaste stof in lucht of in een ander gas, waarbij een explosie mogelijk is. De bovenste explosiegrens wordt bepaald door de hoogste concentratie van een brandbaar gas, damp of stoffvormige vaste stof in lucht of in een ander gas, waarbij een explosie mogelijk is. Boven de bovenste explosiegrens en beneden de onderste explosiegrens is er geen explosiegevaar. Bij een te veel aan vluchtige componenten (boven de bovenste explosiegrens) is wel kans op brand aanwezig. De onder- en bovenwaarden van explosiegrenzen verschillen per vluchtige stof. Het gebied tussen de onderste en bovenste explosiegrenzen wordt het explosieve gebied genoemd. onderste en bovenste explosiegrenzen.

De totale ruimte onder de vloer is geschat op 6,25 m³.²⁵ Als het scenario van een lekkage van propaangas als oorzaak van de explosie aan boord van de tweemastklipper klopt, dan was - op basis van de geschatte gasuitstroom - na ongeveer 43 minuten de onderste explosiegrens bereikt. Deze tijd kan echter ook korter zijn geweest indien de gasophoping slechts onder een deel van de vloer heeft plaatsgevonden. Ook bestaat de mogelijkheid dat het gas gedurende eerdere maaltijdbereidingen was uitgestroomd en al enige tijd onder de vloer aanwezig was.

Het NFI is mede op basis van het onderzoek van KIWA/Gastec tot de volgende conclusies gekomen.

- De explosie is zeer waarschijnlijk ontstaan door de explosie van een propaan-luchtmengsel dat zich onder de houten vloer bevond en dat tot ontploffing is gekomen doordat propaangas boven de houten vloer in contact is gekomen met een ontstekingsbron.
- Dit propaangas kon via de beluchtingsopeningen in de bodem van de oven onder de oven terecht komen. Het gas kon wellicht niet in de leefzone terecht komen doordat er een houten plint gemonteerd was voor de oven. Hierdoor heeft men het mogelijk niet kunnen ruiken.
- Door het niet functioneren van de thermo-elektrische beveiligings- en regelcombinatie kon onverbrand propaan langdurig naar de ovenbrander stromen. De thermo-elektrische beveiligings- en regelcombinatie (gasregelblok) van de oven is blijven kleven doordat deze over langere tijd vervuild is geraakt. De vervuiling was mogelijk doordat bij het ontwerp geen afschermplaatje hiervoor was voorzien. Dit was wel het geval bij de vonkontstekers naast het gasregelblok.

Bevindingen Onderzoeksraad

Uit onderzoek blijkt dat de gasinstallatie aan boord van de tweemastklipper op de voorgeschreven wijze was geïnstalleerd, zoals vermeld in het Binnenscheppenbesluit Bijlage II hoofdstuk 8. Ook werd deze periodiek gekeurd door een daartoe erkend bedrijf. Een belangrijk onderdeel van deze keuring is het afpersen van de leidingen, waarbij geen enkele vorm van lekkage mag worden geconstateerd. Het certificaat voor de gasinstallatie op de tweemastklipper had een geldigheid tot 1 maart 2007.

In Nederland komen aan land met enige regelmaat gasexplosies voor door problemen met de aardgasleiding. Deze explosies vinden vooral plaats in of nabij woningen. De Onderzoeksraad en zijn voorganger de Raad voor de Transportveiligheid hebben vier openbare rapporten uitgebracht over gasexplosies met aardgas. Bij twee van deze voorvallen werd voorafgaande aan de explosie in meer of mindere mate gas geroken door betrokkenen.

De door KIWA/Gastec berekende hoeveelheid propaangas die nodig is om de aangetroffen schade te bewerkstelligen, is zodanig dat het verbazingwekkend is dat niemand van de aanwezigen het gas heeft geroken.

Het NFI heeft in haar conclusies vermeld dat het gas is ontstoken door de aanwezigheid van propaangas boven de vloer. De koelkast of het gasfornuis worden als bron voor de ontsteking aangemerkt. In beide gevallen zou een herkenbare gaslucht door luchtwervelingen aanwezig moeten zijn geweest.

Berekeningen geven aan dat zelfs als slechts 0,4% van de benodigde explosieve hoeveelheid gas in de verblijfsruimte was gekomen, dit door de aanwezigen zou kunnen worden geroken. Vooral gelet op de aanname dat er sprake is geweest van een al langer bestaande lekkage, zou de gaslucht al eerder waargenomen kunnen zijn.

Om de theorie over de mogelijke verspreiding van de gassen te testen, heeft de Onderzoeksraad aan boord van de betreffende tweemastklipper experimenten uitgevoerd met een gas dat in gedraging aan propaan gelijkend is en waaraan dezelfde geur is toegevoegd. Daarbij werd de situatie op het moment van de explosie benaderd. Uit deze proeven blijkt dat na circa vijf minuten gas ruikbaar is in de verblijfsruimte.

²⁵ Per uur kon er maximaal $0,19\text{m}^3/0,022 = 8,63\text{m}^3$ explosief mengsel worden gevormd. De inhoud van de ruimte van het schip onder de geëxplodeerde vloer bedroeg 6,25m³. Voor het bereiken van de onderste explosiegrens in de ruimte was minimaal $6,25/8,63 = 0,72$ uur (ca. 43 minuten) nodig.

In het geval van de explosie aan boord van de tweemastklipper heeft geen van de aanwezigen aan boord van het schip gas geroken voorafgaand aan het incident. Naast de mogelijkheid dat de leerlingen geen gas hebben geroken door de heersende etensluchten, kan het ook zijn dat de leerlingen de gaslucht niet als zodanig hebben herkend.

Uit onderzoek van de Onderzoeksraad blijkt dat ook in gevallen dat de odorisatie van het gas aan de normen voldoet, problemen kunnen ontstaan met de ruikbaarheid van propaangas. Een niet-limitatieve opsomming van een aantal situaties:

- Gewenning. Bij het bepalen van de noodzakelijke ruikbaarheid van het gas is hier wel rekening mee gehouden, maar feit blijft dat bij langzame toename van de gasconcentratie in een ruimte, het gas pas bij veel hogere concentratie geroken wordt.
- Het reukvermogen van de aanwezigen is minder dan dat waarvoor de norm met betrekking tot ruikbaarheid is opgesteld. De norm heeft betrekking op proeven waarin geurwaarnemers werden gebruikt. Het kan zijn dat het reukvermogen van deze mensen afwijkend is. Ook bij verkoudheid of allergieën bestaat die kans. Hiervoor bestaan in dit geval overigens geen aanwijzingen.
- Maskering. De gaslucht kan worden gemaskeerd door een andere penetrante lucht.
- Op 30 augustus 2003 ontstond een brand en explosie in een woonhuis in Bergschenhoek. De bewoonster heeft aangegeven wel een 'merkwaardige' lucht te hebben geroken, maar heeft dit niet geassocieerd met aardgas.

Uit het experiment dat de Onderzoeksraad aan boord van de tweemastklipper heeft laten uitvoeren, blijkt dat de opbouw van het gas/lucht mengsel onder de vloer tot het bereiken van de explosieve grens, snel verloopt. Sneller dan de concentratie in de keuken dat door daar aanwezige personen zal worden herkend. De met de geurstof ingebouwde veiligheidsmarge, al dan niet in samenhang met bovenstaande mogelijke situaties, is daarmee dan teniet gedaan.

De Raad pleit dan ook voor een aanpassing aan de odorisatie. Enkele jaren geleden is door de gasbranche een onderzoek opgestart naar een alternatieve, milieuvriendelijker wijze van odoriseren. Deze milieuvriendelijke odoranten zijn beschikbaar, maar worden nog nauwelijks toegepast.

De huidige eisen aan propaangas zijn vastgelegd in de Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 20.26 Over deze publicatiereeks heeft de onafhankelijke Adviesraad Gevaarlijke Stoffen in de uitgave 'De publicatiereeks nader beschouwd' (2006) de regering geadviseerd dat ten aanzien van de veiligheidsaspecten waarvoor de naar het oordeel van de Adviesraad noodzakelijke regelgeving ontbreekt, heldere en concrete doelvoorschriften worden opgesteld.

In het licht van deze ontwikkelingen kan volgens de Onderzoeksraad een onderzoek naar verbetering van de detectiemogelijkheden, waaronder de odorisatie, mogelijk nieuwe inzichten geven waarmee de veiligheid bij het gebruik van propaangas kan worden verhoogd.

De uitkomst uit het experiment ondersteunt de conclusies van het OM en wijst erop dat het zeer waarschijnlijk is dat een lekkage van propaangas de oorzaak is van de explosie aan boord van de tweemastklipper. Ook het schadepatroon en de positie van de vier zwaargewonde leerlingen ten tijde van de explosie lijken te wijzen in de richting van een propaangasexplosie als gevolg van een gasophoping onder de vloer.

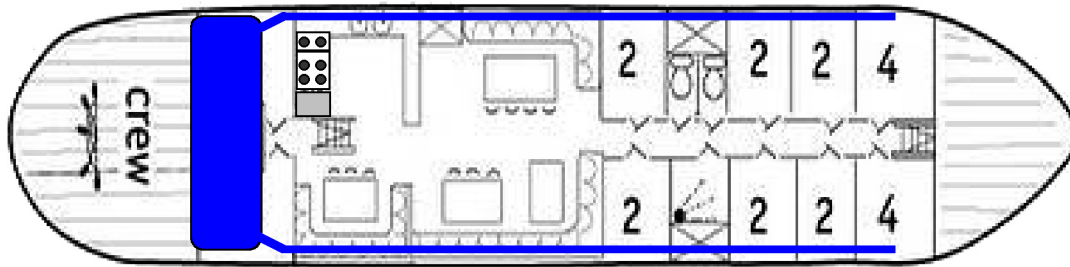
5.3.2 Analyse scenario biogas explosie

Vuilwatertank

Biogassen zijn gassen ontstaan uit afval van etensresten en/of uitwerpselen. De enige plaats waar biogassen aan boord van een schip kunnen ontstaan, is in de vuilwatertank. Deze tank wordt doorgaans twee maal per dag geleegd, door met behulp van een versnijderpomp²⁷ de inhoud van de tank te lozen op het oppervlaktewater. De stalen vuilwatertank heeft een inhoud van ongeveer 1,5 m³ en is over de breedte van het schip geplaatst (zie afbeelding 13). De vuilwatertank is in 1995 voor de betreffende tweemastklipper op maat gemaakt en in het schip gemonteerd. Op de tank was een beluchter/ontluchter aangebracht. Deze zorgt voor de afvoer van gassen en toevoer van verse lucht bij het leegtrekken van de tank (zie schema's vuilwatertank in bijlage 4).

²⁶ Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 20 Propaan (5 m³). De opslag van propaan en butaan in stationaire bovengrondse reservoirs met een inhoud groter dan 0,15 m³ en ten hoogste 5 m³.

²⁷ Een versnijderpomp versnijdt het afvalwater en pompt het met kracht weg.



Afbeelding 13: Rioolleiding en vuilwatertank onder de achterste twee hutten, douche en toilet

Biogassen waterstof en methaan

Uit literatuuronderzoek van TNO blijkt dat waterstofgas onder anaërobe condities biologisch gevormd kan worden uit uiteenlopende substraten. Koolhydraten zijn daarvan het bekendst, maar hetzelfde geldt ook voor ethanol, mierenzuur, eiwitten en aminozuren. Deze productie vormt een onderdeel van de anaërobe vergisting, waarin organisch materiaal wordt omgezet in zuren, alcoholen, waterstofgas en kooldioxide. Het anaërobe vergistingsproces bestaat uit vier delen:

- In de hydrolyse worden lange koolstofketens enzymatisch gesplitst tot kortere ketens.
- In de tweede stap, de verzuring, worden de korte ketens verder afgebroken tot vluchtige vetzuren.
- In de acetogenese worden de vluchtige vetzuren verder omgezet naar azijnzuur, waterstofgas en koolstofdioxidegas.
- De laatste stap of de methanogenese zorgt dat azijnzuur, maar ook koolstofdioxide en waterstofgas wordt omgezet tot biogas.

Biogas bestaat voornamelijk uit methaangas (CH₄) en koolstofdioxide (CO₂), maar er zijn ook enkele zeer geringe hoeveelheden (rest)gassen aanwezig, zoals zwavelwaterstof (H₂S) en ammoniak (NH₃).

In veel gistingen worden de genoemde zuren en het waterstofgas, kooldioxide en azijnzuur omgezet in methaangas (methanogene fase). Echter als deze methanogene fase afwezig is, dan kan zich waterstofgas ophopen. Waterstofgas heeft een onderste explosiegrens van 4 vol % en een bovenste explosiegrens van 75,6 vol %.

Methanogene bacteriën kunnen methaangas vormen in de laatste fase van het anaërobe vergistingsproces. De componenten azijnzuur, waterstofgas en kooldioxide kunnen door andere micro-organismen uit een breed assortiment organische verbindingen worden geproduceerd. Bruikbare verbindingen zijn onder andere koolhydraten (suiker, zetmeel, cellulose), eiwitten, aminozuren, dierlijke vetten, plantaardige olie en zeep. Methaanvorming kan plaatsvinden bij pH waarden tussen 6 en 9 en bij temperaturen tussen 10 en 70 graden Celsius. De groep mesofiele methaanvormers (zij die van gematigde temperaturen houden) zijn zeer temperatuurgevoelig: tot 40 graden Celsius gaan deze steeds sneller werken. Methaanbacteriën vermenigvuldigen zich zeer langzaam: een verdubbeling van eens in de 3 tot 10 dagen. Methaanvorming kan afwezig zijn indien onvoldoende methanogene bacteriën aanwezig zijn, doordat de afvoer van slib met deze bacteriën sneller is dan de groeisnelheid. Methaan is bij kamertemperatuur en bij atmosferische druk een gas. Het explosieve gebied van methaan bevindt zich tussen 4,4 vol % en 16 vol %.

Explosies van biogassen komen minder frequent voor. Op basis van een quick-scan van de database van TNO zijn gegevens gevonden van zeven methaangasexplosies in de periode van 1986 tot 2006. Vijf van deze explosies vonden plaats in vuilwatersystemen, waarvan één in Nederland (1987), één in Groot-Brittannië (1986), één in Canada (2005) en twee in de Verenigde Staten (beiden in 2003). De overige explosies deden zich voor in varkensstallen in Nederland in 1986 en in 2005.

Bevindingen Onderzoeksraad

De vuilwatertank van de tweemastklipper aan boord waarvan de explosie plaatsvond, is gelegen onder de verhoogde vloer van de twee hutten aan de achterzijde van het schip (zie afbeelding 13). Tussen deze twee hutten is een toilet rechtstreeks op de tank geplaatst. Twee andere toiletten zijn via een PVC- rioolbuis met de vuilwatertank verbonden. Het toilet op de tank is als gevolg van de explosie van de bevestiging losgescheurd en vertoont zelf ook scheuren (zie afbeelding 10).

De vloer en wand in dit toilet vertonen scheuren en loszittende delen. De explosie heeft in de aan het toilet grenzende hut aan stuurboordzijde veel meer schade aangericht dan in de aan het toilet grenzende hut aan bakboordzijde.

Aan boord van het schip zijn in het vuilwatersysteem, naast de schade als gevolg van de explosie, ook enkele, al voor de explosie bestaande gebreken geconstateerd. Een onderdeel van de PVC-rioolpijp die nabij de tank onder de vloer waren aangebracht en boven de vloer van de recreatieruimte onder de banken doorliepen naar de voorzijde van het schip, was verbonden met tape en deels verlijmd met PVC-lijm. Deze verbinding was niet gasdicht. Op de overige verbindingen van de PVC-rioolpijpen is geen tape aangetroffen.

Verder liep de beluchting/ontluchting van de vuilwatertank van de zijkant van de tank naar het bovendek. Echter door de lengte van de flexibele slang en het feit dat deze niet werd ondersteund, zakte deze door (zie schema's vuilwatertank bijlage 4). Door de bewegingen van het schip en het vloeistofniveau in de tank kon deze slang op het laagste punt vollopen en dichtslibben met als gevolg dat de slang niet meer kon functioneren als beluchting/ontluchtingsgat (zie afbeelding 14).



Afbeelding 14: Verstopte ontluchting van de vuilwatertank (foto: TNO Bouw en Dienstverlening)

De versnijderpomp voor het afvoeren van het afvalwater was boven de bodem in de zijde van de tank geplaatst. Hierdoor was het niet mogelijk de tank volledig leeg te pompen, waardoor daarin afvalresten (residu) achter konden blijven.²⁸ In de hierboven beschreven situatie is het mogelijk dat zich uit het residu biogassen konden vormen in de tank en dat deze gassen, vanwege de verstopte beluchting, een uitweg zochten via de verbindingen van de rioolpijp. Bij elke spoeling van een toilet wordt vloeistof toegevoerd naar de tank, die de daar aanwezige gassen verdrijft.

De vuilwatertank van de tweemastklipper werd twee maal per dag geheel gelegeerd, daardoor zouden er weinig waterstofvormende en methaanvormende bacteriën achter kunnen blijven. Een deel van de bacteriële activiteit wordt echter meegeleverd door de feces zelf (daar zitten ook kleine hoeveelheden methaan- en grote hoeveelheden waterstofvormende bacteriën in). Een ander deel van de activiteit heeft zich kunnen ontwikkelen in een (slib)residu in moeilijk toegankelijke plaatsen van de vuilwatertank. Dit zijn de zones waarin resten achterblijven na het leegzuigen. Hierin kunnen zich naast waterstofvormende bacteriën ook methaanvormende bacteriën ontwikkelen.

Een mogelijke aanwijzing dat er sprake is geweest van een explosie als gevolg van aanwezige biogassen, zou kunnen zijn dat enkele van de betrokken leerlingen in interviews stankoverlast hebben gemeld in de dagen voorafgaand aan de explosie. Methaan en waterstofgas zijn reukloze gassen, maar de waarneming van stank wijst op het ontsnappen van rioolgasen.

Een andere aanwijzing die wijst in de richting van problemen met de vuilwatertank is de buitentemperatuur in de periode voorafgaand aan de explosie. In de eerste week van juni 2006 was het 's nachts vrij koud.

²⁸ De tank was voorzien van een aanzuig, dat gebruikt kan worden om vuil dat zich dieper in de tank bevindt, weg te pompen. De tank kan echter nooit helemaal droog worden gepompt.

Op 6, 7 en 8 juni schommelden de minimumtemperaturen tussen de 4 en 6 °C. In de loop van deze dagen liep de luchttemperatuur overdag op tot 18 °C. De temperatuur van het IJsselmeerwater was op 8 juni rond de 16 °C. Op het stalen schip was de opwarming van de zon duidelijk voelbaar. Uit getuigenverklaringen blijkt dat de leerlingen niet meer met blote voeten op het dek konden lopen. Het is aannemelijk dat het gistingproces van de bacteriën in gang is gezet door de hogere omgevingstemperatuur. Het relatief warme IJsselmeerwater en de opwarming van het schip door de zon in combinatie met de afgesloten ontluchting hebben de condities gecreëerd voor de vorming van biogassen.

Bij het onderzoek aan boord is verder door de onderzoekers een hoge concentratie H₂S (zwavelwaterstof) waargenomen bij (door middel van doppen) afgesloten doucheputjes.²⁹ Dit verschijnsel duidt op vorming en ophoping van gas. Ook enkele maanden na de explosie is aan boord van de tweemastklipper een explosief mengsel van methaan in de vuilwatertank gemeten. Daarnaast is ook het giftige zwavelwaterstof weer aangetroffen. Het afdoppen van de doucheputjes en de verstopte beluchting/ontluchting bevorderen het anaërobe proces, waarbij de stankwaarneming een duidelijke indicatie is.

Onderzoek door andere instanties heeft aangetoond dat in vuilwatertanks explosieve gasmengsels kunnen voorkomen. Om meer over de vorming van deze gasmengsels te weten te komen, is voor dit onderzoek gekeken naar de ontwikkeling van gassen in vuilwatertanks voor huishoudelijk gebruik in landelijke gebieden (die niet zijn aangesloten op een rioolstelsel). Deze septic tanks zijn een verdere ontwikkeling van de eenvoudige vuilwatertank aan boord van deze tweemastklipper.

Bouwers van septic tanks waarschuwen voor explosies door opgehoopt methaangas. Ook onafhankelijke onderzoeksinstituten zoals universiteiten waarschuwen hiervoor. Om explosies te voorkomen is het van belang dat de tanks worden voorzien van een ontluchting waardoor het gas naar buiten kan stromen. In vuilwatertanks wordt ongeveer 25% van de aanwezige organische stof in rioolwater omgezet in het methaanhoudende biogas.

De vuilwatertank op het schip verschilde van de moderne septic tanks, waarin langdurig vloeistof wordt opgeslagen, omdat het slib en afvalwater twee maal per dag werd verwijderd. Hierdoor was de doorstromingshoeveelheid veel hoger dan in septic tanks. Dat kan consequenties hebben voor de hoeveelheid waterstofproducerende en methaanproducerende bacteriën die zich al dan niet hebben kunnen handhaven in een regime met een dergelijke doorstroming. Verder zal de loze ruimte boven in de tank in normale omstandigheden tijdens het legen van de tank met verse zuurstofhoudende lucht worden gevuld. Gezien de hierboven beschreven situatie van de afsluiting van de ontluchting, moest zuurstofhoudende lucht betrokken worden uit de aangrenzende loze ruimte onder de vloer of via de watersloten van douches en toiletten.

Om dit scenario te testen is op aanwijzing van de Onderzoeksraad op 14 februari 2007 een aanvullend onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek toonde aan dat de beschreven omstandigheden voldoende zijn om anaërobe processen te starten en biogassen te produceren. In combinatie met de verstopte afdichting kon het gas zich ophopen in de tank. In het experiment is met onschuldig gas in de tank de druk opgebouwd. Uiteindelijk bleek dat gas via het waterslot in de doucheputjes naar buiten te komen. Dit betekent dat explosieve gasmengsels uit de vuilwatertank kunnen ontsnappen en zich ongemerkt kunnen ophopen in een ruimte aan boord van het schip. De gassen kunnen bij een vermenging met de benodigde hoeveelheid zuurstof een explosief mengsel vormen. In dit geval heeft het experiment echter niet kunnen aantonen dat de explosieve mengsels uit de vuilwatertank op het moment van de explosie de ruimte onder de vloer daadwerkelijk hadden gevuld. Hierbij wordt opgemerkt dat de experimenten werden uitgevoerd nadat de rioolleidingen waren gerepareerd, dan wel vervangen. Daardoor was er vermoedelijk geen sprake meer van de eerder geconstateerde, ondeugdelijke aansluiting in de verbinding.

5.3.3 *Samenvattende analyse scenario's*

Uit de aangetroffen schade aan boord van de tweemastklipper ontstond het vermoeden dat deze volgens twee scenario's kon zijn ontstaan. De Onderzoeksraad heeft beide scenario's onderzocht en in de praktijk getoetst met een vergelijkbaar gas dat geen explosief mengsel vormt met zuurstof. Bij dit experiment is gebleken dat propaangas snel zijn weg vindt naar de bodem van het schip. Het gas kon zich verspreiden onder de vloer en binnen korte tijd een zodanige concentratie opbouwen dat een explosief mengsel werd gevormd.

²⁹ De schipper heeft verklaard dat deze doppen tijdens de vaart geplaatst worden om stankoverlast te voorkomen.

Naar alle waarschijnlijkheid is de explosie aan boord van de tweemastklipper dan ook veroorzaakt door een lekkage van propaangas.

Uit het onderzoek van de Raad is echter ook naar voren gekomen dat in vuilwatertanks gassen tot ontwikkeling kunnen komen. Deze gasvorming zou onder bepaalde omstandigheden ook risico's kunnen opleveren voor degenen die dit soort tanks in gebruik hebben. Het experiment dat de Onderzoeksraad heeft laten uitvoeren, heeft echter geen uitsluitel kunnen geven over het feit of methaangas op het moment van de explosie de ruimte onder de vloer daadwerkelijk tot een explosiegrens had gevuld. De oorspronkelijke condities konden namelijk niet meer gereproduceerd worden, omdat onder andere de PVC afvoerleidingen hersteld waren. Uit het onderzoek van de Raad zijn wel tekortkomingen geconstateerd aan het vuilwatersysteem van de tweemastklipper.

5.3.4 Ontstekingsbron van de explosie

Aan boord van de tweemastklipper waren diverse bronnen aanwezig die het gasmengsel mogelijk hebben ontstoken. Van geen van deze hierna genoemde ontstekingsbronnen heeft de Raad echter onomstotelijk kunnen vaststellen dat ze daadwerkelijk het gas hebben ontstoken. Wel kan op basis van het schadepatroon aan boord en de verklaringen van de leerlingen worden vastgesteld dat er sprake is geweest van een steekvlam die onderuit het schip kwam. Dit ter hoogte van de ruimte achter de trap, tevens de toegang naar de twee achterste hutten.

Het onderzoek heeft de volgende mogelijke ontstekingsbronnen gelokaliseerd.

- Het gasfornuis: Op het moment van de explosie bereidden leerlingen het avondeten en waren alle gaspitten van het vierpits gasfornuis in gebruik.
- Onder de vloer in de twee slaaphutten aan de achterzijde van het schip bevonden zich kabelverbindingen door middel van lasdozen, waarbij van enkele lasdozen het dekseltje miste. Hierdoor was een open elektriciteitsverbinding aanwezig. Deze open verbinding maakt een vonkoverslag mogelijk.
- In het toilet tussen de twee achterste slaaphutten is een prop toiletpapier gevonden waarin restanten van een kortstondige blootstelling aan open vuur zijn gevonden (brand- en roetsporen). Het onderzoek heeft niet geleid tot het achterhalen van de oorzaak van de brand- en roetsporen in deze prop toiletpapier.
- Leerlingen die op het moment van de explosie aan het koken waren, verklaarden dat vlak voor de explosie een van de medeleerlingen de koelkast opende. De koelkast heeft een schakeling voor de binnenverlichting bovenin de deur. Het schakelen van de verlichting bij het openen van de koelkast kan een vonkoverslag hebben veroorzaakt. Ook kan het aanslaan van de koelkast het gas hebben ontstoken.

5.4 VEILIGHEIDSMANAGEMENT

5.4.1 Inleiding

Een veiligheidsmanagementsysteem speelt een belangrijke rol bij het beheersen en verbeteren van de veiligheid. Een dergelijk systeem wordt in de praktijk vooral aangetroffen bij grote organisaties en niet of in mindere mate bij kleine ondernemingen zoals die in de zeilende passagiersvaart.

Deze kleine ondernemingen zijn ontstaan in de jaren zeventig toen enkele hobbyisten oude schepen gingen restaureren. Om de restauratie betaalbaar te maken, is men gaan zeilen met passagiers. Bij de verbouwing van de schepen stond het klassieke uiterlijk voorop, maar moest wel worden voldaan aan de eisen van de Binnenschepenwet. Inmiddels is deze bedrijfstak de hobbyfase ontgroeid. Er is ondertussen sprake van schaalvergroting door grotere schepen in te zetten waarop grote aantallen passagiers (150 en meer) kunnen meevaren. Met de schaalvergroting en professionalisering van de individuele bedrijven, neemt ook het belang van de verantwoordelijkheid van de schipper/eigenaar voor de veiligheid van de opvarenden toe.

5.4.2 Veiligheidsaanpak in de zeilende passagiersvaart

De schepen in de 'bruine vloot' worden over het algemeen geëxploiteerd door een schipper/eigenaar. Ongeveer 55% van de schippers en/of eigenaren in Nederland heeft zich aangesloten bij de Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ). De BBZ heeft exclusief voor haar leden de branchespecifieke RI&E ontwikkeld.

Met behulp van deze RI&E kunnen eigenaren/schippers onder andere toetsen of de veiligheid aan boord van hun schip kan worden gewaarborgd. Tevens kunnen zij aan de hand daarvan een plan van aanpak opstellen om geïdentificeerde problemen op te lossen.

Uit het onderzoek blijkt dat deze waarborging op losse schroeven kan komen te staan als aan elementaire onderdelen geen aandacht wordt besteed. Bij de explosie van 8 juni 2006 speelden voornamelijk ontwerp en onderhoud een rol. Zowel het gasfornuis als de vuilwatertank zijn zodanig ontworpen dat het mogelijk is dat het systeem na verloop van tijd onvoldoende functioneert. Ook als voldaan wordt aan voorschriften die zijn vastgelegd in normen en wet- en regelgeving.

Uit gesprekken met de branchevertegenwoordiger (BBZ) blijken in de zeilende passagiersvaart ten aanzien van bovengenoemde risico's drie problemen te bestaan:

- 1) De branche is niet op de hoogte van mogelijke risico's in het ontwerp van zowel fornuis als vuilwatertank.
- 2) De branche kent geen systeem op basis waarvan dergelijke risico's kunnen worden onderkend en die het nemen van preventieve maatregelen mogelijk maakt.
- 3) Door het ontbreken van kennis van mogelijke risico's op het gebied van vuilwatertanks en gasfornuizen, heeft het regulier onderhoud van deze onderdelen onvoldoende invulling gekregen.

De BBZ is een belangrijke partij als het gaat om het delen van kennis in de sector. Naar aanleiding van de uitkomsten van het onderzoek dat het OM uitvoerde naar de explosie, heeft de BBZ het belang van het onderhoud van de gasfornuizen onder de aandacht van haar leden gebracht. De BBZ speelt waar mogelijk een actieve rol in het proces van regelgeving en handhaving, zowel nationaal als internationaal. Echter doordat de BBZ uitsluitend actief is voor haar leden, is het onduidelijk of alle schippers in de chartervaart de waarschuwing hebben ontvangen en ter harte zullen nemen.

Tevens is de brancheorganisatie, vooruitlopend op mogelijke verplichtingen van de opvang van vuilwater in de chartervaart, een experimenteel project gestart met vuilwatertanks. De aandacht van dit project is echter gericht op de milieueisen, niet op de risico's die samenhangen met het gebruik van vuilwatertanks, zoals de vorming van gassen.³⁰

5.4.3 Toezicht en handhaving van de veiligheidsaanpak

De uitvoering en handhaving van de veiligheid is een verantwoordelijkheid van verschillende partijen. Naast de Arbeidsinspectie en Inspectie Verkeer en Waterstaat (Toezichteenheid Binnenvaart - TEB), spelen door de delegatie van inspectietaken ook marktpartijen een rol. Omdat deze in principe concurrerend werken, is het wenselijk dat IVW/TEB in samenspraak met de Arbeidsinspectie zorgt dat er een totaaloverzicht is van de veiligheidstoestand van de zeilende passagiersvaart.

De Inspectie Verkeer en Waterstaat beweegt zich in die richting door middel van op het domein toegesneden toezichtarrangementen. Daarbij wordt uitgegaan van de eigen verantwoordelijkheid van de schippers, eigenaren en de betrokken marktpartijen. De marktpartijen in deze specifieke branche zijn Register Holland, efm expertise b.v. en het bureau NKIP. Met de toezichtarrangementen als hulpmiddel voor het metatoezicht houdt de IVW een totaalbeeld van de zeilende passagiersvaart als onderdeel van de sector binnenvaart.

³⁰ Vanaf 2009 is het voor de pleziervaart verboden om toiletwater rechtstreeks op het oppervlaktewater te lozen. In de toekomst zal dit verbod wellicht ook gaan gelden voor de chartervaart. De Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ) is in 2001 het project 'Vuilwater in de Chartervaart' gestart. Het project is een samenwerkingsverband tussen de directie IJsselmeergebied (RDIJ) van Rijkswaterstaat, de Provincie Fryslân, het RIZA en de branche organisatie de BBZ. De doelstelling van dit project is het realiseren van een verwijderingstructuur van vuilwater afkomstig van de Nederlandse Chartervaart, met het oogmerk om de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren. In 2006 is het voor een beperkt aantal schepen (16 schepen, gegevens BBZ) mogelijk om in een pilotproject afvalwater via de vuilwatertank af te geven aan de wal via een speciale vuilwaterinstallatie (vacuümzuiger).

6 CONCLUSIES

In dit hoofdstuk staan de samenvattende conclusies van het onderzoek naar de explosie aan boord van de tweemastklipper op donderdag 8 juni 2006.

1. De explosie aan boord van de tweemastklipper vond omstreeks 19.50 uur plaats in de woonruimte van het schip. Aan boord van het schip bevonden zich op dat moment elf leerlingen, van wie er vier zwaargewond raakten door de explosie.
2. De breukvlakken en verplaatsingsrichting van de explosie duiden op onder de vloer opgehoopt gas. Het front van de explosie heeft zich benedendeks onder de vloer in horizontale richting verplaatst naar de aan voor- en achterzijde gelegen slaapvertrekken en vanuit de vloer in opwaartse richting naar plafond en lichtkoepel (de koekoek).
3. Het NFI concludeert dat de explosie is ontstaan als gevolg van een lekkage van propaangas. Deze lekkage zou zijn veroorzaakt door een niet-werkende thermo-elektrische koppeling van het fornuis als gevolg van het onvoldoende schoonhouden van het kooktoestel.
4. Uit experimenten die de Onderzoeksraad heeft laten uitvoeren aan boord van de betreffende tweemastklipper, is naar voren gekomen dat gas dat uit de oven uitstroomt zich in korte tijd onder de vloer kan ophopen.
5. De Raad concludeert op basis van zijn onderzoek dat de explosie aan boord van de tweemastklipper hoogstwaarschijnlijk is veroorzaakt door een lekkage van propaangas uit het kooktoestel. Verder staat vast dat op het schip meerdere ontstekingsbronnen aanwezig waren die dit gas hebben kunnen doen ontsteken.
6. De Raad heeft daarnaast vastgesteld dat in vuilwatertanks gassen tot ontwikkeling kunnen komen, die onder bepaalde omstandigheden aanzienlijke risico's kunnen opleveren voor de opvarenden. Een van die kritische omstandigheden is een verstopte ontluchting van de vuilwatertank, waardoor de gassen niet meer afgevoerd worden naar de buitenlucht. Dit heeft tot gevolg dat gassen uit de vuilwatertank via andere wegen (bijvoorbeeld verbindingen van de rioolbuizen, afvoerputjes van douches en wastafels en toiletten) kunnen ontsnappen en zich ongemerkt kunnen ophopen in een ruimte aan boord van het schip. De gassen kunnen bij een vermenging met de benodigde hoeveelheid zuurstof een explosief gasmengsel vormen.
7. Uit dit onderzoek is gebleken dat de odorisatie van gas onder sommige omstandigheden onvoldoende garanties biedt voor een tijdige signalering van lekkages. Zeker op schepen is dit het geval, omdat het propaangas zwaarder is dan lucht en snel een weg vindt naar ruimtes onderin het schip die niet of onvoldoende geventileerd worden. Onderzoek naar verbetering van detectiemogelijkheden van propaangas, waaronder het gebruik van een betere geurstof, wordt door de Raad wenselijk geacht. Ook zou onderzoek verricht dienen te worden naar mogelijke andere vormen van signalering aan boord van schepen.
8. Gezien de risico's van het gebruik van gas en de reeds ter beschikking zijnde alternatieven is de Raad van oordeel dat de overgangstermijn die thans tot het jaar 2045 geldt, heroverwogen dient te worden.
9. De bedrijfstak maakt niet of nauwelijks gebruik van een veiligheidsmanagementsysteem. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat de schepen in handen zijn van één schipper/eigenaar. Er is een orgaan dat kennis verzamelt en deelt, de overkoepelende (branche)organisatie BBZ. Echter, ongeveer de helft van alle schippers is bij de BBZ aangesloten.

7 AANBEVELINGEN

De Onderzoeksraad doet op basis van zijn onderzoek naar de explosie aan boord van de tweemastklipper de volgende aanbevelingen:

1. De Raad beveelt de Inspectie Verkeer en Waterstaat aan om, gezien de risico's die het gebruik van vuilwatertanks met zich meebrengt, de controle van de installatie en het onderhoud van deze tanks onderdeel uit te laten maken van het systeem van certificering en inspectie.
2. De Raad beveelt de Inspectie Verkeer en Waterstaat aan om met de voorgenomen inrichting van het toezicht op de binnenvaart tevens zorg te dragen voor een actueel te houden totaaloverzicht van de veiligheidstoestand in de zeilende passagiersvaart.
3. De Raad beveelt de Minister van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan onderzoek te doen naar verbetering van detectiemogelijkheden van propaangas, waaronder een verbetering van de te gebruiken geurstof.
4. De Raad beveelt de Vereniging voor Beroeps Chartervaart (BBZ) aan om de kennis over de risico's en preventie van gasophoping onder de vloer onder de aandacht van de branche te brengen. Specifieke aandacht voor de vuilwatertanks en mogelijke vormen van signalering wordt daarbij ook wenselijk geacht.

BIJLAGE 1 ONDERZOEKSVERANTWOORDING

Melding en onderzoek Onderzoeksraad

Op donderdag 8 juni 2006 is de explosie aan boord van de tweemastklipper gemeld aan de Onderzoeksraad door het Korps landelijke politiediensten. Diezelfde avond en in de week daaropvolgend heeft de Onderzoeksraad een eerste onderzoek ingesteld, gelijk met het onderzoek van het Openbaar Ministerie (OM). In de eerste dagen heeft mede door het beslag op het schip intensief overleg plaatsgevonden met het OM. Nadat het OM meedeelde methaangas niet als mogelijke oorzaak te zien, heeft de Onderzoeksraad dat deel van het onderzoek onder eigen verantwoordelijkheid voortgezet. De Onderzoeksraad heeft daarvoor expertise aangetrokken van TNO Bouw en Ondergrond (chemisch-analytisch expertiseteam). Daarnaast zijn enkele andere partijen betrokken geweest bij onderdelen van het onderzoek. Op 14 augustus 2006 heeft de raad ingestemd met het voorstel tot onderzoek.

Scope

Het onderzoek van de Onderzoeksraad is gericht op de achterliggende factoren die geleid hebben tot dit voorval. In het rapport is uitgegaan van de twee meest waarschijnlijke scenario's die beiden de veiligheidsbeleving aan boord kunnen beïnvloeden. Het scenario met propaangas is van belang vanwege de gevaren die open vuur aan boord van een schip kan hebben. Dit wordt ook onderkend door de overheid gezien de op handen zijnde wijziging in regelgeving, waarbij propaangas voor huishoudelijk gebruik aan boord van passagiersschepen zal worden verboden. Het scenario van biogassen is van belang voor de ontwikkeling en het gebruik van vuilwatertanks aan boord van schepen. De aandacht daarvoor is ontstaan vanuit milieu oogpunt. Met dit rapport wordt ook aandacht gegeven aan mogelijke veiligheidsrisico's van vuilwatertanks.

Overige onderzoeken

Het voorval is door het KLPD in samenwerking met het NFI onderzocht ten behoeve van een eventuele strafrechtelijke vervolging.

Interviews en informatie

In het kader van het onderzoek zijn interviews gehouden met de direct betrokkenen, waaronder de schipper en de leerlingen die zich aan boord van de tweemastklipper bevonden ten tijde van de explosie. In totaal heeft de Raad 19 interviews gehouden. Deze interviews waren er met name op gericht om inzicht te krijgen in de oorzaak van de explosie. Daarnaast is informatie opgevraagd bij de Inspectie Verkeer en Waterstaat en de verzekeraar van het schip (efm onderlinge schepenverzekering u.a.).

Analyse

De analyse heeft zich gericht op de reconstructie van het voorval en de directe en achterliggende oorzaken. Voor dit doel zijn diverse onderdelen uit het schip onderzocht op aanwijzingen die de oorzaak van de explosie konden verklaren. Voor een beter inzicht in de verspreiding van het gas zijn aan boord van de betreffende tweemastklipper experimenten uitgevoerd met een onschuldig gas met vergelijkbare eigenschappen als die van propaangas. Met behulp van een TRIPOD-analyse is gezocht naar mogelijk falende barrières en latent aanwezige factoren die bijgedragen hebben aan de oorzaak van de explosie.

Concepten

Het concept eindrapport (zonder beschouwing en aanbevelingen) is ter beoordeling op feitelijke onjuistheden voorgelegd aan de betrokkenen. De Onderzoeksraad heeft de ontvangen reacties, voor zover relevant, verwerkt in het definitieve eindrapport.

Onderstaande reacties van de BBZ op de conclusies uit het conceptrapport zijn niet verwerkt:

Conclusie 4: lekkage van propaangas vanuit het kooktoestel.

Gekeken naar de gehele gasinstallatie aan boord, is gebleken dat het kooktoestel de zwakste schakel was. Dit is ook het onderdeel waarbij de schippereigenaar moet vertrouwen op de kwaliteit van het toestel, onderbouwd met een CE normering. Men mag verwachten dat een fabrikant maatregelen neemt om vervuiling van het thermokoppel door etensresten te voorkomen. Dat de fabrikant dit onderkent blijkt uit het feit dat de overige thermokoppels wel afgeschermd zijn. Er kan dus ook gesteld worden dat de constructie van het kooktoestel geleid heeft tot een niet werkende thermo-elektrische koppeling, met lekkage tot gevolg. Hieruit blijkt tevens dat het systeem van CE normering dit probleem niet ondervangt, mogelijk is er in dit traject verbetering mogelijk.

Commentaar Onderzoeksraad voor Veiligheid:

In de bijbehorende gebruiksaanwijzing van het kooktoestel wordt expliciet het onderhoud en reinigen van de branders en gaskranen genoemd.

Conclusie 5: ontwikkeling van explosieve gassen in vuilwatertanks.

Het bestuur van de BBZ deelt uw zorg dat er zich gassen kunnen vormen in vuilwatertanks, die bij vermenging van zuurstof een explosief mengsel kunnen vormen. Daarom dringt het bestuur van de BBZ bij de overheid aan op nader onderzoek naar mogelijk explosiegevaar van gassen vanuit de vuilwatertank. Tussen 2007 en 2011 zullen veel schippereigenaren hun schip aanpassen aan de eisen vanuit de Binnenschepenwet. Inbouw van vuilwatertanks maakt hier vaak een onderdeel van uit. Het is dus van groot belang om meer duidelijkheid te krijgen over de mogelijke gevaren, en welke maatregelen nodig zijn om dit eventuele gevaar te voorkomen. Het bestuur van de BBZ vraagt aan u of het mogelijk is dit mee te nemen in het onderzoeksrapport, mits dit binnen uw competentie ligt.

Commentaar Onderzoeksraad voor Veiligheid:

De gevaren zijn ontstaan door gebrekkig of achterstallig onderhoud en/of onjuiste installatie. Naar aanleiding van het onderzoek zijn aanbevelingen opgesteld om daar op toe te zien.

Conclusie 6: De zeilende passagiersvaart is zich onvoldoende bewust van bovenstaande risico's.

De (zeilende) passagiersvaart is zich inderdaad niet bewust van de mogelijke risico's vanuit vuilwatertanks, maar ze is zich wel degelijk bewust van de risico's van het gebruik van propaangas aan boord van schepen. Daarom worden deze installaties door erkende bedrijven geïnstalleerd en driejaarlijks gecontroleerd door een erkend bedrijf. Dus conclusie 6 zien we graag beperkt tot het risico van het vormen van een explosief mengsel vanuit de vuilwatertank.

Daarnaast is niet alleen de zeilende passagiersvaart, maar ook de "gewone" passagiersvaart is zich hiervan onvoldoende bewust. Het ongeval had ook kunnen plaatsvinden aan boord van een motorpassagiersschip.

Commentaar Onderzoeksraad voor Veiligheid:

Een driejaarlijkse controle door een erkend bedrijf is niet voldoende. De gebruiksaanwijzing van het kooktoestel noemt letterlijk: 'door deskundig personeel minstens twee maal per jaar laten nazien.'

Conclusie 7: veiligheidsmanagementsysteem

Binnen de zeezeilvaart (het zeilen met traditionele zeilschepen met passagiers op zee) loopt op dit moment een pilot voor een op maat gesneden veiligheidsmanagementsysteem. Dit veiligheidsmanagementsysteem is door de BBZ ontwikkeld in nauwe samenspraak met en met subsidie van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat Generaal Transport en Luchtvaart (DGTL). In ons gesprek in november 2006 is dit niet naar voren gekomen, omdat het systeem toen nog in ontwikkeling was. Het is niet ondenkbaar dat dit veiligheidsmanagementsysteem in de toekomst mogelijk ook toepasbaar is op de passagiersvaart op de binnenwateren. Blijft de vraag of men met een veiligheidsmanagementsysteem een mogelijke constructiefout aan een kooktoestel opspoor (zie onze eerdere opmerking bij conclusie 4).

Commentaar Onderzoeksraad voor Veiligheid:

Onderdeel van het veiligheidsmanagement systeem is het onderhoudschema van (onderdelen) van het schip. De instructie over onderhoud van het kooktoestel zou daarin kunnen worden opgenomen. Zie ook commentaar bij conclusie 4 en 6.

Projectteam

Het projectteam bestaat uit de volgende personen:

ing. G.Th. Koning MSHE	Projectleider
drs. S.H. Akbar	Onderzoeker
W. Boutkan	Onderzoeker
dr. S.M.W. van Rosenberg	Onderzoeker
dr. E.M. de Croon	Analist
drs. S. Pijnse van der Aa-van Gelder	Secretaris-rapporteur
drs. H.J.A. Zieverink	Secretaris-rapporteur

BIJLAGE 2 ONDERZOEK TNO



Utrechtseweg 48
Postbus 360
3700 AJ Zeist

www.tno.nl

T 030 694 41 44

F 030 694 47 77

TNO-rapport

V7598

**Onderzoek naar de mogelijkheid van het
ontstaan van een explosief gasmengsel in
de septic tank van de tweemastklipper**

Datum	26 juni 2007
Auteurs	Dr.ir. J.W. van Groenestijn
Opdrachtgever	De Onderzoeksraad voor Veiligheid
Projectnummer	034.64313

Aantal pagina's	13
Aantal bijlagen	

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Vraagstelling.....	3
2	Conditie van de septic tanks tijdens de explosie	4
3	Aanwezige substraten voor de biologische vorming van waterstofgas en methaangas	5
4	De biologische productie van waterstofgas	6
5	Biologische productie van methaangas	7
6	Waarnemingen in septic tanks.....	8
7	Was er voldoende substraat om grote hoeveelheden waterstofgas en methaan te vormen?	9
8	Was de snelheid van productie van waterstofgas en methaan toereikend?	10
8.1	Waterstof.....	10
8.2	Methaan	10
9	Conclusie.....	11
9.1	Suggesties voor een experiment.....	11
10	Ondertekening.....	12
11	Referenties	13

1 Vraagstelling

In de haven van Medemblik heeft zich een explosie voorgedaan op een tweemastklipper. Naar de oorzaak wordt gezocht. Naast de mogelijkheid van een lekkage van propaangas wordt onderzocht of zich in de septic tank een explosief gas heeft kunnen vormen. De vragen van de betrokken veiligheidsonderzoekers zijn: (i) zijn er mogelijkheden van vorming van explosieve mengsels in dit systeem?, en (ii) hoe zou een experimenteel onderzoek moeten worden ingericht om hierover nog meer inzicht te verkrijgen?

Ter beantwoording van de vraag is beschikbare informatie over methaan en waterstofgasvorming in septic tanks verzameld. Het moet duidelijk worden of deze gassen uit feces gevormd kunnen worden onder de omstandigheden van de tweemastklipper waarop zich de explosie heeft voorgedaan (tank dagelijks leeggemaakt, slechte ontluchting, zomerse temperaturen) en of zich vervolgens een explosief mengsel heeft kunnen vormen. De te verwerven kennis is nodig om te bepalen of een experiment nodig of zinvol is, en welk experiment dat moet zijn.

2 Conditie van de septic tanks tijdens de explosie

Uit het rapport over de eerste bevindingen (Ham en Kamperveen, 2006) kan vernomen worden dat het gaat om een septic tank met een volume van 1,5 m³ en een diepte van 0,4 m, die een of twee maal per dag werd geleegd. Bij volle bezetting werd twee maal per dag geleegd. Er waren in het etmaal voor de explosie ongeveer 25 personen aanwezig, hetgeen bijna de maximale capaciteit (28) was van het schip. De tank werd gevoed met water uit vier toiletten, twee douches en het spoelwater uit de keuken. Een relevante bijzonderheid was dat de ontluchting van de tank (nagenoeg) verstopt was. In het etmaal voor de explosie zouden geen etensresten naar de tank zijn afgevoerd en was het een zeer warme dag (dertig graden). Voor de explosiedatum is wel eens rioolstank waargenomen in het interieur van het schip. Ook bleken de afvoeren van toiletten en douches slecht af te lopen; om deze reden werd passagiers geadviseerd om niet aan boord te douchen, maar gebruik te maken van faciliteiten op de wal.

3 Aanwezige substraten voor de biologische vorming van waterstofgas en methaangas

Omdat er geen aanwijzing bestaat dat de head space van de septic tank een explosief mengsel van organische oplosmiddelen heeft bevat, of ontbrandbare concentraties van H₂S (het is voor biologische systemen zeer moeilijk om een gas met meer dan 5% H₂S te produceren, wegens de remmende werking van sulfide op de biologie die deze sulfides produceert), richt de aandacht zich op waterstofgas en methaan.

Belangrijke grondstoffen voor de biologische productie van waterstof en methaan zijn in dit geval organische stoffen uit feces, toiletpapier en douche/keukenwater.

Feces is een mengsel van darmbacteriën en resten onverteerd voedsel. Belangrijke kennis hierbij is dat mensen cellulose niet kunnen verteren. De menselijke darmflora verwijderd slechts 20% van de aangevoerde cellulose (Rob Havenaar, TNO spijsverteringsexpert, persoonlijke communicatie). Jönsson *et al.* (2005) hebben een inventarisatie gedaan naar de hoeveelheden en samenstelling van feces. Een goed gemiddelde is 135 gram natte feces per persoon per dag. Hiervan is 25 gram/p.dag droge stof. De hoeveelheid organische stikstof aangevoerd via feces is 1,2 g/p.dag en de hoeveelheid eiwit-koolstof 4 g/p.dag. Daarnaast verbruikt een mens 23 gram (droge stof) toiletpapier per dag, dat voornamelijk uit cellulose bestaat naast een kleine hoeveelheid lignine. Volgens de auteurs bevat feces geen snel-afbreekbare koolhydraten, maar voornamelijk cellulose en hemicellulose. Volgens Kurasawa (2000) bevat de droge stof van feces 21% vet, 15% as, 5% stikstof, 9% plantaardige koolhydraten en 5% bacteriële koolhydraten. De douche en de keuken leveren kleine hoeveelheden zeepresten, vetten, eiwitten en koolhydraten.

4 De biologische productie van waterstofgas

Waterstofgas kan onder anaërobe condities biologisch gevormd worden uit uiteenlopende substraten. Koolhydraten zijn daarvan het bekendst (Schlegel, 1986), maar ook ethanol, mierenzuur, eiwitten en aminozuren (Schlegel, 1986). Deze productie vormt een onderdeel van de anaërobe vergisting, met name de acidogene fase, waarin organisch materiaal wordt omgezet in zuren, alcoholen, waterstofgas en kooldioxide. In veel gistingen worden de genoemde zuren en alcoholen verder omgezet in azijnzuur, waterstofgas en kooldioxide (acetogene fase) en vervolgens worden waterstofgas en kooldioxide, of azijnzuur omgezet in methaangas (methanogene fase). Biogas bestaat voornamelijk uit methaangas (CH₄) en kooldioxide (CO₂), maar er zijn ook geringe hoeveelheden zwavelwaterstof (H₂S) en ammoniak (NH₃) aanwezig. Echter als de genoemde methanogene fase afwezig is dan kan zich waterstofgas ophopen. Methaanvorming kan afwezig zijn indien onvoldoende methanogene bacteriën aanwezig zijn (doordat de afvoer van slib met deze bacteriën sneller is dan de groeisnelheid; methanogene bacteriën groeien langzamer dan acetogene bacteriën), de pH lager is dan 6,5, de sulfideconcentratie hoger dan 500 mg/l is, en er chemicaliën aanwezig zijn die de groei van methanogenen remmen (methanogenen zijn gevoeliger dan acetogenen).

Cellulose is een van de substraten die onder anaërobe condities in waterstofgas kunnen worden omgezet (Schlegel, 1986). Naast cellulose kan ook hemicellulose worden omgezet in waterstof (Vrije en Claassen, 2003), vooral door het bacteriegeslacht *Clostridium*. Een productie van 18 mmol H₂ per gram VSS per dag is mogelijk in anaërobe vergisters die worden bedreven onder mesofiele condities (37 graden Celsius) en worden gevoed met microcrystallijn cellulose (Lay, 2001). VSS betekent hier 'volatile suspended solids; ofwel de organische stof van zwevende slibdeeltjes. In dit slib bevinden zich cellulose-consumerende bacteriën. Zhang *et al.* (2006) hebben gemeten aan waterstofproductiesnelheden in goed gemengde reactoren met glucose als substraat. Ook het werk van anderen is besproken. Productiesnelheden tussen 3 en 14 mmol H₂/l.h worden gevonden.

Mesofiele waterstofvormende bacteriën produceren meestal 2 mol H₂ uit een mol hexose (zoals glucose) (Vrije en Claassen, 2003).

Eiwitten en aminozuren kunnen ook worden omgezet in waterstofgas. Dit verschijnsel wordt kort genoemd door Schlegel (1986) en door Pieter Claassen van Agrotechnology and Food Sciences (persoonlijke communicatie). Claassen heeft zelf experimenten gedaan met biologische waterstofproductie met mengsels van gistextract en suikers waarbij geconcludeerd kon worden dat waterstof voor een groot deel uit gistextractbestanddelen (vnl aminozuren) geproduceerd werd. Volgens Claassen is vet geen substraat voor biologische waterstofproductie.

Biologische waterstofvorming is mogelijk binnen een ruim pH-gebied (4 - 9) en temperatuurtraject (4 - 80 graden Celsius). Een groot deel van de menselijke feces bestaat uit waterstofvormende bacteriën, die in de darmen complexe voedingsstoffen hydrolyseren en vergisten (Stocchi en Levitt, 1992). In de darm wordt reeds een begin gemaakt met de vergisting van cellulose. Ongeveer 20% van de passerende cellulose wordt afgebroken. Dit proces wordt in feite in een septic tank voortgezet.

5 Biologische productie van methaangas

In de laatste fase van het anaërobe vergistingsproces kunnen methanogene bacteriën methaangas uit azijnzuur vormen of uit een mengsel van waterstofgas en kooldioxide. De genoemde 3 componenten kunnen door andere micro-organismen uit een breed assortiment organische verbindingen worden geproduceerd via de eerder genoemde hydrolyse, acidogenese en acetogenese. Bruikbare substraten zijn onder andere koolhydraten (suiker, zetmeel, cellulose, hemicellulose), eiwitten, aminozuren, dierlijke vetten, plantaardige olie en zeep. Methaanvorming kan plaats vinden bij pH's tussen 6 en 9 en bij temperaturen tussen 10 en 70 graden Celsius. De groep mesofiele methaanvormers (zij die van gematigde temperaturen houden) zijn zeer temperatuurgevoelig: tot 40 graden Celsius gaan deze steeds sneller werken. Methaanbacteriën vermenigvuldigen zich zeer langzaam: een verdubbeling van eens in de 3 tot 10 dagen, vandaar dat in goede vergistingreactoren het slib (met daarin de methaanbacteriën) veel langer verblijft dan het te reinigen water. Gebeurt dat niet, dan spoelen de methaanbacteriën te snel uit, waardoor de methaanvormende activiteit uit een reactor kan verdwijnen.

Hoe snel wordt methaan gevormd? In geoptimaliseerde gistingsreactoren die gevoed worden met suikerafvalwater kan 0,5 mol methaan worden gevormd per liter reactor per dag. Er bevindt zich dan wel 30 gram (droge stof) actief anaëroob slib in een liter reactor. Moeilijker afvalwatersoorten (zoals leerlooierijafvalwater) worden in soortgelijke reactoren omgezet met 0,05 mol methaan/1.dag bij 30 graden Celsius (eigen ervaring). Als dat wordt gedeeld door 30 gram slib/l, dan is de methaanvormende activiteit van dat slib 1,7 mmol methaan/gram slib/dag.

De productie van methaan en andere gassen uit cellulose in een nagebouwde (laboratoriumschaal) septic tank is goed bewezen door Vaishnav en McCabe (1996).

6 Waarnemingen in septic tanks

Het is bekend dat in septic tanks explosieve gasmengsels kunnen voorkomen. Bouwers van septic tanks waarschuwen voor explosies van het opgehoopte methaangas [1]. Ook onafhankelijke instellingen zoals universiteiten waarschuwen hiervoor [2]. Volgens Siemen Veenstra (Vitens, ex-medewerker van het IHE, gespecialiseerd in rioolwaterzuivering voor ontwikkelingslanden) wordt in een normale septic tank meestal methaan opgehoopt. Belangrijk is dat er een ontluchtingsgat is, waardoor het gas naar buiten kan. Ongeveer 25% van de organische stof in rioolwater wordt in een septic tank omgezet in het methaanhoudende biogas (Veenstra, persoonlijk communicatie). Er bestaat veel literatuur over de productie van methaan in septic tanks [3].

De literatuur over waterstofophoping in septic tanks is schaars, maar een goede studie naar dit verschijnsel is uitgevoerd in het begin van de twintigste eeuw naar aanleiding van een explosie in een septic tank in Illinois in 1909. Op zoek naar de mogelijke oorzaak van de explosie zijn analyserapporten opgevraagd waarin de gassen in de head spaces van 5 soortgelijke septic tanks zijn geanalyseerd. Het resultaat staat in tabel 1 (Jesse, 1913).

Tabel 1. Gassamenstelling in de head space van septic tanks

Plaats septic tank	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CH ₄ (%)	H ₂ (%)	N ₂ (%)
Exeter, UK monster 1	3,9	22,7	4,5	2,2	66,1
Exeter, UK monster 2	3,5	8,0	40,1	6,2	42,2
Exeter, UK	0,6	-	24,4	38,4	38,6
Manchester, UK	6,0	-	73,0	3,0	16,0
Lawrence, Massachusets	3,4	0,5	78,9	-	16,3
Worcester, Massachusets (June)	17,0	1,9	52,1	-	29,5

Naast methaan, blijkt ook vaak waterstof op te hopen.

Een normale septic tank is gevuld tot aan een overstortrand, waarbij het water langzaam wegloopt in de bodem of in een riool. Het volume van een septic tank voor 1 huishouden ligt tussen 1 en 3 m³, dus de vloeistofverblijftijd bedraagt vele dagen. Het slib verblijft veel langer in de tank. Eens in het jaar, of paar jaar, moet het slib uit de tank worden verwijderd (Alaerts *et al.*, 1990). De septic tank op de tweemastklipper verschilt hiervan dat slib en water 2 maal per dag werden verwijderd en dat de volumetrische belasting veel hoger was. Dat kan consequenties hebben voor de hoeveelheid waterstofproducerende en methaanproducerende bacteriën die zich wel of niet hebben kunnen handhaven in een regime met zoveel doorstroming. Verder zal de head space tijdens het ruimen met verse zuurstofhoudende lucht worden gevuld.

7 Was er voldoende substraat om grote hoeveelheden waterstofgas en methaan te vormen?

Er kan al een explosie plaats vinden indien de head space van de septic tank 4% H₂ bevat of 4,4 % CH₄. Stel dat van de 1,5 m³ tankinhoud er 0,75 m³ head space aanwezig is. Indien daarin 4% H₂ aanwezig is, dan komt dat overeen met 1,2 mol H₂. Indien deze hoeveelheid uit koolhydraten gevormd is, dan is daar 0,6 mol hexose voor nodig. Als onderdeel van een polymeer als cellulose weegt elke hexose-monoomeer 162 g/mol. Het gaat dan om de aanwezigheid van 97 gram koolhydraten.

Eigenlijk is een kleinere productie van waterstofgas of methaan ook al toereikend, omdat er door de slechte ontluchting er nog gassen geproduceerd in vorige batches aanwezig zijn in de head space. Deze gassen zijn verdund door de vervanging van vloeistof door buitenlucht tijdens het leegzuigen van de tank.

Per dag wordt per persoon alleen al aan koolhydraten aangevoerd: 23 g via toiletpapier en 0,14 x 25 g via feces, dus samen 26,5 g per persoon per dag. Er waren 25 personen en de tank werd 2 maal per dag leeggemaakt; dus de ophoping van koolhydraten is dan $26,5 \times 25/2 = 331$ gram per cyclus. Dat is al ruim voldoende om bovengenoemde hoeveelheid waterstof te vormen. Nu zal niet alle cellulose goed afbreekbaar zijn, vooral cellulose dat met lignine het slecht afbreekbare lignocellulose-complex vormt (zit in hout en vezels), maar veel cellulose zal goed toegankelijk zijn voor bacteriële afbraak. Rioolwaterreinigingsinstallaties zijn daar ook op gebaseerd. Naast cellulose kunnen ook eiwit en aminozuren als substraat dienen voor waterstofvorming. Eiwit bevat 16% N. Per persoon wordt 1,2 g organische N/dag uitgescheiden. Ofwel 7,5 g eiwit/p.dag. Dat is 94 gram eiwit door 25 personen in een halve dag. Veel van deze eiwit bevindt zich in micro-organismen in feces en dit eiwit kan pas worden afgebroken zodra deze micro-organismen lyseren (opgaan, vervloeien), hetgeen niet volledig in 12 uur zal plaats vinden.

Er wordt dus voldoende materiaal aangeleverd voor de productie van waterstof boven de concentratie die nodig is voor een explosie. Cellulose, met name dat afkomstig uit toiletpapier, lijkt de belangrijkste bron.

Uit 1 mol hexose kan 3 mol methaan worden gevormd, dus meer dan waterstof. Bovendien kan methaan ook uit eiwit en vetten worden gevormd. Er is dus tevens genoeg substraat aanwezig voor de productie van methaan tot hoeveelheden die nodig zijn voor een explosie.

8 Was de snelheid van productie van waterstofgas en methaan toereikend?

Indien de septic tank 2 maal per dag geheel wordt geleegd, dan zullen er weinig waterstofvormende en methaanvormende bacteriën overblijven om tijdens de volgende belading weer voldoende activiteit te kunnen leveren. Een deel van de activiteit wordt meegeleverd door de feces zelf (daar zitten ook kleine hoeveelheden methaan- en grote hoeveelheden waterstofvormende bacteriën in). Een deel van de activiteit heeft zich wellicht ontwikkeld in een (slib)residu in dode zones van de septic tank. Dit zijn zones die steeds ontsnappen aan de dagelijkse lozing. Hierin kunnen naast waterstofvormende bacteriën zelfs methaanvormende bacteriën ontwikkelen. Stel dat dat residu bestaat uit 30 liter slib.

8.1 Waterstof

Er wordt binnen 12 uur ruim 300 gram (droge stof) feces aangevoerd en er is misschien 30 kg residu-slib (nat). Stel dat daarin 130 gram (VSS) waterstofvormende bacteriën aanwezig is. Met de cijfers van Lay (2001), 18 mmol H₂/g VSS/dag, kan worden geschat dat er in een halve dag $0,5 \times 18 \times 133 = 1200$ mmol H₂ kan worden geproduceerd, de benodigde hoeveelheid voor een explosie. Hoewel de hoeveelheden slib en waterstofvormende bacteriën geschat zijn (niet gemeten), is dit een realistisch denkbeeld.

Een andere benadering is de productiesnelheden te nemen van Zhang *et al.* (2006): 3 – 24 mmol H₂/l.h voor uiterst optimale condities en glucose als substraat. Een slecht gemengde septic tank en cellulose is veel minder gunstig voor de productiviteit. De ongeveer 750 liter vloeistof moet een volumetrische activiteit halen van 1200 mmol H₂/750 l * 12 h, ofwel 0,13 mmol H₂/l.h, om de voor een explosie benodigde hoeveelheid te bereiken, 100 maal langzamer dan gevonden door Zhang en medewerkers, hetgeen wel denkbeeldig is.

8.2 Methaan

Een alternatief is de productie van 1320 mmol methaan in 12 uur. Rekenend met een productiviteit van 1,7 mmol methaan/g slib/dag, zou dat kunnen worden bewerkstelligd met 1,5 kg slib (als droge stof). Het is zeker voor te stellen dat deze hoeveelheid aanwezig zou kunnen zijn geweest in het residu-slib na het legen van de septic tank.

Dat de explosie uiterekend op een warme dag heeft plaatsgevonden kan komen doordat de genoemde activiteiten gelden voor relatieve hoge temperaturen (dertig graden range). De meeste anaerobe bacteriën zijn veel minder actief bij 20 graden Celsius. Bij bijvoorbeeld 30 graden Celsius groeien methanogene bacteriën 3 maal zo snel als bij 20 graden Celsius (Lier, 1995).

9 Conclusie

Het is mogelijk dat de explosie op de tweemastklipper is veroorzaakt door de ophoping van biologisch geproduceerd waterstofgas of methaangas in de septic tank.

9.1 Suggesties voor een experiment

Dat in de head space van septic tanks op het land explosieve hoeveelheden waterstofgas en methaan gas kunnen voorkomen is bekend, maar de onzekere factor in het huidige onderzoek is dat de septic tank (of vuilwaterverzamel tank) op de tweemastklipper een ander doorstromingsregime heeft dan een conventionele septic tank. De vraag is of daar ook werkelijk voldoende concentraties H_2 of CH_4 kunnen ophopen. In bovenstaande rapport is dat aannemelijk gemaakt, maar met de nodige aannames. Het betoog kan sterker worden door:

Gasanalyse in de head space van septic tanks van de bruine vloot (liefst zomers; er zal dan nog steeds een flinke vertaalslag moeten worden gemaakt naar de bijzondere situatie van de tweemastklipper)


Bepalen wat de luchtversingsnelheid is via de ontluuchttingsbuizen (bijvoorbeeld via injectie en meting van een gastracer)

Het verkrijgen van meer details over de manier van legen (wat blijft er nog achter in de tank?)

10 Ondertekening



Dr.Ir. J.W. van Groenestijn
Auteur



Ir. O. Bordes
Afdelingshoofd Afdeling Microbiologie

11 Referenties

Alaerts, G.J., Veenstra, S., Bentvelsen, M. and L.A. van Duijl (1990) Feasibility of anaerobic sewage treatment in sanitation strategies in developing countries. IHE Report Series 20, IHE Delft

Ham, J.M. en J.P. Kamperveen (2006) Onderzoek naar de oorzaak van een explosie aan boord van een tweemastklipper, op 8 juni 2006 te Medemblik (rapportage eerste bevindingen). TNO-rapport 2006·A-R0263/B

Jönsson, H., Baky, A., Jeppsson, U., Hellström, D. and E. Kärman (2005) Composition of urine, faeces, greywater and biowaste. Report 2005:6, Urban Water, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden

Kurasawa, S., Haack, V.S. and J.A. Marlett (2000) Plant residue and bacteria as bases for increased stool weight accompanying consumption of higher dietary fiber diets. J. Amer. College of Nutrition 19(4): 146-433

Lay, J. (2001) Biohydrogen generation by mesophilic anaerobic fermentation of microcrystalline cellulose. Biotechnol. & Bioeng. 74(4):280-287

Lier, J. van (1995) Thermophilic anaerobic wastewater treatment; temperature aspects and process stability. Proefschrift WUR

Schlegel, H.G. (1986) General Microbiology. 6th edition. Cambridge University Press

Strocchi, A. and M.D. Levitt (1992) Factors affecting hydrogen production and consumption by human fecal flora. The critical role of hydrogen tension and methanogenesis. J. Clin. Invest. 89(4):1304-1311

Vaishnav, D.D. and J.W. McCabe (1996) Development of an anaerobic sludge respiration inhibition test and its use to assess septic tank safety of consumer products. Environ. Toxicol. Chem. 15(5):663-669

Vrije, T de en P.A.M. Claassen (2003) Dark hydrogen fermentations. In: Reith, J.H., Wijffels & H. Barten (eds) Bio-methane & Bio-hydrogen. Novem

Zhang, H., Bruns, M.A. and B.E. Logan (2006) Biological hydrogen production by *Clostridium acetobutylicum* in an unsaturated flow reactor. Water Research 40:278-734

Internet sites

[1] <http://www.inspect-ny.com/septic/septicsafety.htm>

[2] <http://www.extension.umn.edu/info-u/environment/BD316.html>

[3] <http://www.green-trust.org/methane.htm>



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 98 37

TNO-rapport

2007-A-R0698/A

**Onderzoek naar de oorzaak van een explosie aan
boord van een tweemastklipper, op 8 juni 2006
te Medemblik**

(eindrapport, publieke versie)

Datum	juli 2007
Auteur(s)	Ing. J.M. Ham
Projectnummer	034.64313
Trefwoorden	explosie schip gasverspreiding geur
Opdrachtgever	De Onderzoeksraad voor Veiligheid T.a.v. Ing. G.Th. Koning Postbus 95404 2509 CK Den Haag
Aantal pagina's	20

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In opdracht van de Onderzoeksraad voor Veiligheid heeft TNO een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke oorzaak van een explosie aan boord van een tweemastklipper, in de haven van Medemblik op 8 juni 2006. In september 2006 rapporteerde TNO zijn 'eerste bevindingen' van het onderzoek. Naar aanleiding van dit rapport en van de conclusies van een onderzoek door NFI en KIWA-Gastec, zijn aanvullende studies uitgevoerd, waaronder een experimenteel onderzoek naar de verspreiding van gas dat uit het kookfornuis in de keuken van het schip zou zijn gelekt.

Het onderzoek door TNO heeft de volgende bevindingen opgeleverd:

- Aanvankelijk kwamen twee mogelijkheden in aanmerking als bronnen voor de vorming van een explosief gasmengsel: (i) propaan afkomstig van een lekkage van gas uit het kooktoestel in de keuken, en (ii) gas afkomstig van de afbraak van stof-fen in de opvangtank van het vuilwatersysteem. Voor beide hypothesen werd naar een verklaring gezocht voor de locatie waar de explosie zich zou hebben voorgedaan: onder de vloer onder het achterste gedeelte van de leefruimten van het schip.
- Technisch onderzoek naar de hypothese van het kooktoestel is uitgevoerd door het NFI en KIWA-Gastec. Daarin zijn aanwijzingen gevonden van het in open stand blijven staan van de gastoevoer naar het ovendeel van het toestel, en het daarbij niet functioneren van de thermische beveiliging. Rond deze hypothese bleef de vraag bestaan hoe het mogelijk was dat niemand van de bij het incident betrokkenen de geur van een gaslucht heeft waargenomen en kennelijk het grootste deel van het gelekte gas onder de vloer terecht kwam.
- Het onderzoek gericht op het vuilwatersysteem is vooral ingegeven door de aard en locatie van de explosieschade en door daaromheen aangetroffen sporen. Verder heeft onderzoek uitgewezen dat de beide ontluichtingsleidingen van de vuilwater-tank door vervuiling verstopt waren en dat verdrijving van gassen uit de tank alleen via watersloten en eventuele lekkages in de leidingen zou plaatsvinden. Nadere raadpleging van deskundigen heeft verder opgeleverd dat de vorming van explosieve gassen in riooltanks een bekend verschijnsel is; hierbij gaat het zowel om organische gassen zoals methaan, als ook om (het zeer reactieve) waterstof.
- Omdat de eerste fase van het onderzoek, die in 2006 afgerond werd, nog geen definitieve conclusie over de twee hypothesen gaf, is tot een experimenteel onderzoek besloten. Nabootsing van de omstandigheden en de eventuele vorming van gas in het vuilwatersysteem, was niet goed haalbaar. Er zouden veel onzekere parameters zijn om de situatie van het incident te kunnen reproduceren: zomerse temperaturen, variaties in de 'vulling' van de vuilwatertank, na de explosie vervangen afvoerbuizen, wegnemen van verstopping in de ontluchting, etc.. Daarom is een onderzoek gericht op bestudering van de verspreiding van propaan, uitgaande van het bestaan van een lek van gas zoals aangetroffen in het onderzoek van KIWA-Gastec. Hiertoe is de verspreiding instrumenteel gemeten van een tracergas (kool-dioxide, CO₂) dat aan het ovencompartiment van het fornuis werd toegevoerd. Volgens werden op diverse plaatsen binnen het schip de concentraties van het gas gemeten, als functie van de tijd.

- De verspreidingsmetingen gaven de volgende resultaten:
 - De grootste (en snelste) concentratietoename trad op onder de vloer, ter hoogte van de plaats waar de zwaarste explosieschade was opgetreden. Binnen een tijd van circa 5 minuten werd een concentratie bereikt die overeenkomt met de onderexplosiegrens van propaan (2,1 vol%). Enkele minuten later was een stoichiometrische concentratie aanwezig, en binnen de duur van het experiment werden concentraties tot hoger dan 10 vol% gemeten.
 - Op de meeste andere meetlocaties in het schip, inclusief beneden zitbanken, werden zulke hoge concentraties niet bereikt. Alleen vlak boven de vloer van de keuken werd de kritische onderexplosiegrens uiteindelijk overschreden. Deze bevindingen tonen aan dat een propaanlekkage zich van onder het fornuis bij voorkeur naar de ruimte onder de vloer beweegt. In de huidige constructie zijn ook openingen voor deze verspreiding aangetroffen, in de vorm van niet volledig aansluitende wand- en vloerpanelen van de keuken en luchtspleten onder de oven. Geconcludeerd wordt dan ook dat er sterke aanwijzingen bestaan dat een propaan-gasmengsel de bron van de explosie onder de vloer is geweest.
- Enkele aanvullende metingen zijn nog uitgevoerd:
 - Tracergas dat in de vuilwatertank werd gedoseerd, leidde nauwelijks tot een toename van de gasconcentraties onder de vloer. Dit duidt erop dat er, in de herstelde situatie, geen lekkages van gassen vanuit de tank naar de onder-vloerse ruimten optreden.
 - Een aan het tracergas toegevoegde geurstof –zoals ook wordt toegepast in propaanflessen voor vroegtijdige waarschuwing van een gaslek- kon in de keuken worden waargenomen rond het tijdstip dat onder de vloer de onder-explosiegrens was bereikt, of kort daarna. Hierbij wordt opgemerkt dat de bij de metingen aanwezige personen (van de meetploeg en van de Onderzoeks-raad) zich bewust waren dat een geur aanwezig zou kunnen zijn en dus gericht de lucht hebben gesnoven. Dit was hoogstwaarschijnlijk niet het geval bij de slachtoffers van de explosie. Hun aandacht zal niet zijn gericht op bewust snuiven naar een verdachte geur en bovendien was de aanwezige atmosfeer ook al gevuld met de geuren van de maaltijdbereiding (kruiden en sauzen). Het is dan ook zeer denkbaar dat zij niet (tijdig) een geur hebben waargenomen.

Op basis van het experimentele onderzoek wordt geconcludeerd dat het, onder de omstandigheden die heersten op de tweemastklipper, zeer waarschijnlijk is dat de lekkage van propaan gas de bron is geweest voor de vorming van een explosief gasmengsel onder de vloer van het schip. De opbouw van de propaanconcentratie onder de vloer tot bereiken van het explosieve gebied verloopt sneller dan die van de geurconcentratie in de keuken tot een niveau dat door daar aanwezige personen zal worden herkend.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Beoordeling onderzoek kooktoestel, door KIWA-Gastec	6
3	Vorming van explosieve gassen in het vuilwatersysteem	7
3.1	Expert-mening procestechnoloog Paques B.V.....	7
3.2	Literatuuronderzoek naar gasvorming in rioolsystemen.....	7
4	Experimenteel onderzoek naar gasverspreiding	9
4.1	Overwegingen bij de opzet van een experimenteel programma.....	9
4.2	Uitwerking experiment gasverspreiding.....	9
4.2.1	Dichtheid en opmenging.....	10
4.2.2	Inertie.....	10
4.2.3	Detectie.....	11
4.2.4	Waarneming van geur.....	11
4.2.5	Risico's voor personen.....	11
4.3	Resultaten van de tracermetingen.....	12
4.3.1	Verspreiding van gas uit kooktoestel.....	12
4.3.2	Verspreiding van gas uit tank van vuilwatersysteem.....	15
4.3.3	Geurwaarneming.....	16
5	Conclusies	18
6	Verantwoording	20

1 Inleiding

Op donderdag 8 juni 2006, 's avonds omstreeks 20.00 uur, vond er een ontploffing plaats op een binnenvaartschip, type tweemastklipper. Het schip lag op dat moment afgemeerd in de haven van Medemblik.

De tweemastklipper is in gebruik als recreatieschip waarmee dagtochten worden gemaakt. De benedendekse ruimte is ingericht met woon-/leef- en slaapvertrekken. De explosie veroorzaakte een zware schade, met name in de benedendekse ruimten en de vloeren daarvan. De explosie heeft geleid tot min of meer ernstige verwondingen bij de acht jongeren die zich op dat moment in de genoemde ruimten bevonden. Ten minste drie van hen zijn voor langere tijd in een ziekenhuis behandeld en verpleegd.

Op donderdag 15 juni 2006 ontving TNO Bouw en Ondergrond, het Team Industriële en Externe Veiligheid, van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (hierna ook te noemen: de Onderzoeksraad of de Raad) het verzoek om een deskundigen-bijdrage bij het onderzoek naar de oorzaak en het verloop van het ongeval. Op basis van waarnemingen door het onderzoeksteam van de Raad waren er aanwijzingen dat er mogelijk van een andere bron van explosie sprake was geweest dan een –voor de hand liggende- explosie van het kookgas propaan afkomstig uit het gasfornuis in de keuken. Vanwege een eerste beoordeling van de locatie en aard van de schade kon ook een gasmengsel uit het vuilwatersysteem niet als oorzaak worden uitgesloten.

In september 2006 heeft TNO zijn eerste rapport over dit onderzoek uitgebracht. Dit betrof de ‘rapportage van eerste bevindingen’ in de eerste drie weken na het incident. De belangrijkste conclusie was dat beide hypothesen (explosie afkomstig van kooktoestel, respectievelijk explosie afkomstig uit vuilwatersysteem) mogelijk waren. De eerste oorzaak is op het eerste gezicht het waarschijnlijkst: het kookgas propaan is hoogst brandbaar en explosief. Gezien het schadebeeld daarentegen –de overdruk moet van onder de vloer zijn gekomen en meerdere vuilwaterleidingen waren gebroken- leek een gaslek vanuit de keuken minder vanzelfsprekend.

Aanbevelingen tot nader, diepgaander onderzoek werden gegeven.

Er waren in de gerapporteerde periode nog geen resultaten bekend of beschikbaar over het onderzoek naar het kooktoestel. Ook over de condities van vorming van explosieve gassen in een vuilwatersysteem was nog weinig bekend.

Nadat hierover meer informatie was verzameld, heeft TNO het onderzoek vooral gericht op de verspreiding van eventueel gelekt propaangas in de keukenruimte.

In dit rapport zijn de onderzoeksbevindingen opgenomen die in de periode vanaf circa september 2006 zijn verkregen. Dit omvat de volgende aspecten:

- Beoordeling rapport KIWA-Gastec naar het functioneren van het kooktoestel;
- Vorming van explosief gas in een vuilwatertank;
- Verspreiding van gassen binnen de ruimte van het schip.

2 Beoordeling onderzoek kooktoestel, door KIWA-Gastec

TNO ontving het rapport van KIWA-Gastec op 6 september 2006, met het verzoek van opdrachtgever (de Onderzoeksraad voor Veiligheid) om daarop commentaar te geven.

Het onderzoek van KIWA-Gastec heeft een ernstige afwijking in de deugdelijke werking van het kooktoestel aangewezen. Het meest ernstig was het feit dat de gastoevoerkraan naar de ovensectie open kon blijven staan, ook wanneer er geen vlam aanwezig was. De thermische beveiliging zou niet hebben gewerkt, en door afzetting van vet en vuil op de kraanstang kon een gastoevoer in open stand blijven. Uit foto's van het kooktoestel, genomen kort na de explosie, bleek de oven-gaskraan op een stand te staan waarbij circa 200 liter gas per uur aan de oven zou worden toegevoerd. Indien deze hoeveelheid onder de vloer terecht kon komen, dan zou binnen een tijdsbestek van 43 minuten een explosief gasmengsel onder het beschadigde deel van de vloer worden gevormd. Deze tijdsduur zou zelfs ook korter kunnen zijn.

TNO's evaluatie van het KIWA-Gastec onderzoek is opgenomen in een tussentijds (concept) rapport aan de Onderzoeksraad. TNO's belangrijkste commentaar op het onderzoek was:

- Het onderzoek heeft zich volledig en uitsluitend gericht op het kooktoestel en op de gastoevoerleidingen op het schip. De opgetreden schade en daaruit te trekken conclusies komen in het verhaal nauwelijks voor.
- Het is erg onwaarschijnlijk dat een gaslekkage van de omvang als beschreven gemakkelijk en volledig 'onder de vloer zou verdwijnen', en niet zou zijn opgemerkt in de keukenruimte zelf. De argumentatie dat 'propaan door zijn hoge dichtheid het laagste punt opzoekt' is in tegenspraak met de praktijk waarbij blijkt dat gaslekkages snel worden geroken op 'neushoogte'.
- Volgens een indicatieve berekening zou meer dan 99,5% van het gas onder de vloer moeten zijn verdwenen, en dus slechts 0,5% ervan naar de keukenruimte zijn gelekt, om te verklaren dat ieder van de aanwezigen aan boord ontkent een gaslucht te hebben waargenomen, noch op de bewuste avond, noch daarvóór.
- Indicaties dat het vuilwatersysteem een rol kon hebben gespeeld bij de explosie, waren ruimschoots aanwezig, maar hebben in het onderzoek geen enkele rol gespeeld: ernstige schade aan toiletten en vuilwaterleidingen, breuk van de vloeren rond en boven de vuilwatertank en boven de leidingen, rapportage van slecht functionerende waterafvoeren van toiletten en douches. Ook in de bijbehorende rapportage van het NFI wordt hieraan geen aandacht besteed.

Op basis van deze argumenten en commentaren concludeerde TNO dat er zijn's inziens onzekerheden bleven bestaan over de werkelijke oorzaak van de explosie. Er bleven teveel aanwijzingen die de hypothese van het vuilwatersysteem als mogelijke bron van gasvorming overeind hielden.

Nader onderzoek om deze hypothese te onderbouwen dan wel met grotere zekerheid te kunnen verwerpen, werd daarom aanbevolen.

3 Vorming van explosieve gassen in het vuilwatersysteem

Er zijn twee deelonderzoeken uitgevoerd en tussentijds aan de Onderzoeksraad gerapporteerd naar de mogelijkheid van de vorming van een explosief gasmengsel in het vuilwatersysteem. De belangrijkste conclusies zijn hieronder samengevat. N.B.: In de rapportage wordt voor de opvangtank van het vuilwatersysteem ook wel de term ‘septic tank’ gebruikt. In het spraakgebruik is deze term vaak gebruikt, maar strikt genomen is de functie van de tank afwijkend van die van een traditionele septic tank.

3.1 Expert-mening procestechnoloog Paques B.V.

Paques B.V. te Balk (Fr) is marktleider op het gebied van de ontwikkeling, bouw en levering van aërobe en anaërobe waterzuiveringssystemen. De toepassing van de producten ligt vooral in de industriële sector. Er is echter ook veel kennis over het proces van biologische afbraak van organische producten, zoals deze worden gevonden in vuilwatertanks met afvalstoffen van menselijk oorsprong.

In een interview met de manager Technology Department bij Paques B.V., op 3 oktober 2006 is gesproken over de ervaringen met de vorming van (brandbare) gassen bij de ontleding van voedingsmiddelen en menselijke uitwerpselen in vuilwatertanks en riool-systemen. Verondersteld was dat methaan en organische zwavelverbindingen tot de meest waarschijnlijke gassen zouden behoren.

Van de zijde van Paques werd betoogd dat uit diverse metingen en ook bij incidenten is gebleken dat vooral ook de vorming van waterstof uit ‘biomassa’ een veelvoorkomend verschijnsel is. Met name bij de afbraak van zetmeelproducten kan deze gasvorming gemakkelijk optreden en ook snel verlopen. Men kan hierbij denken aan producten als (nog onverteerde) rijst, pasta’s en aardappelen. Wanneer deze enige tijd blijven staan, vooral bij warm weer, kan een waterstofvormende fermentatie snel ontstaan. Wanneer dergelijk voedsel wordt weggegooid, en bijvoorbeeld door het toilet wordt gespoeld, dan kan dat proces zich in het vuilwatersysteem voortzetten. Het proces verloopt sneller bij hogere temperatuur.

Ervaringen met explosies van vuilwatersystemen waarin zetmeel- en vezelproducten worden verwerkt zijn bekend, bijvoorbeeld in de papierindustrie.

De resultaten van dit overleg bij Paques B.V. gaven aan dat het vuilwatersysteem op de tweemastklipper als bron voor vorming van een explosief gas niet kon worden uitgesloten.

Overigens is uit navraag onder betrokkenen bij de explosie vastgesteld dat er tijdens de betreffende reis geen etenswaren zoals macaroni of rijst door de afvoeren was gespoeld. Wel werd vermeld dat er op de dag vóór de explosie spaghetti was gegeten.

3.2 Literatuuronderzoek naar gasvorming in rioolsystemen

Door de afdeling Food and Biotechnology Innovations van TNO Kwaliteit van Leven is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar kennis en ervaring met de vorming van zowel waterstof als methaan in vuilwatersystemen van toiletten en dergelijke. Dit onderzoek is separaat gerapporteerd.

De belangrijkste conclusie luidt dat het *“mogelijk is dat de explosie op de tweemastklipper is veroorzaakt door de ophoping van biologisch geproduceerd waterstofgas of methaangas in de septic tank”*. Deze conclusie is gebaseerd op schattingen van de vulling van de tank in de periode voorafgaand aan de explosie en op kennis over de snelheid van de afbraakprocessen.

Daarbij wordt wel het volgende opgemerkt: *“Dat in de head space van septic tanks op het land explosieve hoeveelheden waterstofgas en methaangas kunnen voorkomen is bekend, maar de onzekere factor in het huidige onderzoek is dat de septic tank (of vuilwaterverzamel-tank) op de tweemastklipper een ander doorstromingsregime heeft dan een conventionele septic tank. De vraag is of daar ook werkelijk voldoende concentraties H_2 of CH_4 kunnen ophopen. In bovenstaand rapport is dat aannemelijk gemaakt, maar met de nodige aannames. Het betoog kan sterker worden door:*

- *Gasanalyse in de head space van septic tanks van de bruine vloot (lieft zomers; er zal dan nog steeds een flinke vertaalslag moeten worden gemaakt naar de bijzondere situatie van de tweemastklipper)*
- *Bepalen wat de luchtverversingsnelheid is via de ontluichtingsbuizen (bijvoorbeeld via injectie en meting van een gastracer)*
- *Het verkrijgen van meer details over de manier van legen (wat blijft er nog achter in de tank?)*

Deze aanvullende informatie was mede gericht op de vaststelling welk experimenteel programma wenselijk was ter onderbouwing van de ‘biogas-hypothese’.

4 Experimenteel onderzoek naar gasverspreiding

4.1 Overwegingen bij de opzet van een experimenteel programma

Naar aanleiding van de conclusies uit de diverse TNO onderzoeken alsmede van de bevindingen van de onderzoeken van KIWA-Gastec, bleven de beide hypothesen voor de mogelijke oorzaak van vorming van een explosief gasmengsel onder de vloer van de tweemastklipper overeind. Geconcludeerd werd dat het gewenst was om de condities van het ongeval door experimenteel onderzoek na te bootsen, om zodoende inzicht te verzamelen waarmee mogelijk toch één van de hypothesen verder kan worden ondersteund, of juist kan worden verworpen.

De mogelijkheden zijn overwogen is om de gasvorming in het vuilwatersysteem, en de ontsnapping van gas daaruit, experimenteel vast te stellen, zoals was aanbevolen na het literatuur-onderzoek beschreven in paragraaf 3.2. Van deze benadering moest worden afgezien, vanwege de grote onzekerheden in het reproduceren van de condities van het vuilwatersysteem ten tijde van het ongeval. Voor betrouwbare conclusies uit een experiment zouden zowel condities van de ‘vulling’ en het gebruik, als ook de hoge zomertemperaturen moeten worden nagebootst. Deze optie werd als moeilijk realiseerbaar gezien, zeker in de periode waarin zo’n onderzoek moest zijn uitgevoerd (winterperiode). Bovendien waren na de explosie alle vuilwaterleidingen en een deel van het sanitair vervangen, en konden dus ook deze onderdelen van de situatie niet geheel worden gereproduceerd.

Daarom is besloten het onderzoek toe te spitsen op de hypothese van de ontsnapping van propaan uit het kooktoestel, en dan in het bijzonder op de onzekerheden inzake het opbouwen van een explosief gasmengsel onder de vloer van het schip.

Een meetstrategie is uitgewerkt om met behulp van een tracergas de verspreiding van een lekkage uit het fornuis te simuleren en daarmee de opbouw van gasconcentraties in diverse ruimten van het schip te bepalen. De metingen vonden uiteindelijk plaats op 14 februari 2007.

4.2 Uitwerking experiment gasverspreiding

De belangrijkste onderzoeksvragen bij dit onderzoek zijn:

- Hoe verspreidt het gas (propaan) zich dat uitstroomt uit een lekkage van propaan in (het ovengedeelte van) het kooktoestel, naar de ruimten van het schip?
- Waar treedt opbouw van gasconcentraties op die tot de vorming van een explosief gasmengsel kunnen leiden?
- Zal de gaslekkage waarneembaar (ruikbaar) zijn in de leefruimte voordat een explosieve concentratie van propaan optreedt?

In overleg met SGS Environmental Services in Arnhem is een meetstrategie uitgewerkt om op genoemde vragen een antwoord te kunnen krijgen. Hierbij is ervoor gekozen om de verspreiding van een gaslekkage te simuleren met een tracergas dat aan de volgende eisen voldoet:

- Het tracergas moet eenzelfde dichtheid (soortelijke massa) ten opzichte van lucht hebben als het gebruikte kookgas propaan, en het moet een gelijksoortig gedrag ten aanzien van menging met lucht vertonen.

- Het moet relatief inert zijn uit oogpunt van de neiging om chemisch te reageren met stoffen of materialen in de omgeving, of om daaraan te hechten of erin op te lossen.
- Het gas moet te detecteren zijn in een concentratiegebied van de onderexplosiegrens van propaan (2,1 vol%), dus in de range van 0,1 – 10 vol%; verder moet het gas goed te bemonsteren zijn in lucht, zonder adsorptieverliezen in de monstername- en detectieapparatuur.
- Het gas moet op geur waarneembaar zijn, of met een additief ruikbaar gemaakt kunnen worden.
- De experimenten moeten veilig kunnen worden uitgevoerd; dat wil zeggen dat het tracergas niet brandbaar/explosief mag zijn, en niet voor de mens toxisch.

Voor het beoogde gasverspreidingsexperiment is als tracergas kooldioxide (CO₂) gekozen. Dit gas komt van nature in de buitenlucht voor, in een concentratie van circa 0,03 vol%. Het ontstaat ondermeer bij de verbranding van fossiele brandstoffen, en het vormt ook de uitscheiding van de menselijke ademhaling. Kooldioxide wordt ook gebruikt als ‘koolzuur’ in frisdranken en voor sommige typen branden als blusmiddel. Ten aanzien van de geschiktheid als tracergas zijn de bovengenoemde criteria onderstaand uitgewerkt.

4.2.1 *Dichtheid en opmenging*

De molecuulmassa van propaan (C₃H₈) bedraagt (3x12 + 8x1 =) 44 kg/kmol. De molecuulmassa van kooldioxide (CO₂) bedraagt eveneens (12 + 2x16 =) 44 kg/kmol. CO₂ voldoet dus perfect aan de gestelde eis van gelijke relatieve dichtheid.

Ten aanzien van de opmenging in lucht van beide gassen is niet veel informatie gevonden. Van kooldioxide wordt vermeld dat het een ‘verdringingsgas’ is. Het verdringt de zuurstof uit de lucht. Dat wil zeggen: bij een verhoogde concentratie van kooldioxide neemt de CO₂ een deel van het volume van de lucht in, en wordt dus het gehalte zuurstof verlaagd. Incidenten van verstikking door CO₂ zijn bekend, zoals ook met stikstof. Mede door deze eigenschap, is CO₂ voor bepaalde toepassingen een zeer geschikt brandblusmiddel.

Blijkens de Chemiekaart van C₃H₈ gedraagt ook propaan zich als zuurstofverdringer; zie ook paragraaf 4.2.5. Vanwege de hoge brandbaarheid is het als blusmiddel (uiteraard) ongeschikt.

Voor de verwachte opmenging in (stilstaande) lucht kan de diffusiecoëfficiënt een maat zijn. In de literatuur worden daarvoor verschillende waarden gevonden. Voor propaan is een waarde gevonden van $D_{C_3H_8} = 10 \text{ mm}^2/\text{s}$, voor kooldioxide $D_{CO_2} = 14 - 16 \text{ mm}^2/\text{s}$. Hoewel deze verschillen gering zijn, duiden ze erop dat CO₂ zich zelfs iets sneller of gemakkelijker in stilstaande lucht zal opmengen dan propaan.

4.2.2 *Inertie*

Propaan is chemisch inert voor de meeste stoffen. Het reageert onder verbrandingsverschijnselen met zuurstof. Het gas is niet oplosbaar in water.

Ook kooldioxide kan als chemisch inert worden beschouwd. De Chemiekaart voor CO₂ noemt het volgende: “Reageert explosief met verschillende metaalpoeders. Reageert heftig met sterke basen en alkalimetalen. Reageert bij hoge temperatuur heftig met ammoniak en diverse amines. Tast sommige kunststoffen, rubber en coatings aan”. De oplosbaarheid in water bedraagt 0,2 gram/liter.

De omstandigheden tijdens het verspreidingsexperiment leveren uit dit oogpunt geen beperkingen. Voor controle op een eventuele interactie met de monstername- en meetapparatuur worden vooraf en achteraf validatiemetingen uitgevoerd. Verder komt het te doseren gas niet in contact met water.

4.2.3 *Detectie*

De analyseapparatuur van SGS is ingericht op de meting van kooldioxide in de concentratieranges 0 – 5 vol%, 0 – 20 vol% en 0 – 100 vol%. Dit omvat in ieder geval het bereik waarop het onderzoek gericht is (0,1 – 10 vol%).

De van nature aanwezige achtergrondconcentratie (0,03 vol%) vormt in verhouding tot het concentratiebereik van interesse geen belemmering. Dit komt overeen met 1,5% van de representatieve waarde voor de LEL van propaan, en valt daarmee binnen de meetnauwkeurigheid. Bovendien zijn de tracermetingen gericht op een toename van de concentratie; een aanwezige achtergrondconcentratie speelt dan een ondergeschikte rol.

4.2.4 *Waarneming van geur*

Propaan en kooldioxide zijn beide reukloze gassen. Aan propaan in gasflessen wordt een gasvormige geurstof toegevoegd, om een eventuele lekkage snel te kunnen ruiken. Naar analogie van propaan in gasflessen, en om dit onderdeel van de metingen te ondersteunen, is aan het te doseren kooldioxide gas 20 ppm ethylmercaptaan (C_2H_5SH) toegevoegd.

Toelichting: Als waarschuwingsgas worden in propaangasflessen gewoonlijk mercaptanen toegepast; dit zijn organische zwavelverbindingen met een zeer lage geurdrempel. In propaanflessen wordt ethylmercaptaan toegevoegd. De concentratie dient zodanig te zijn dat de geur door de mens kan worden waargenomen op het moment dat de propaanconcentratie nog ruimschoots beneden het explosieve gebied ligt. Volgens een inventarisatie bij leveranciers van flessengas bedraagt de toevoeging van C_2H_5SH circa 20 ppm (20 delen mercaptaan op 1 miljoen delen propaangas). De waarnemingsdrempel van C_2H_5SH ligt op 0,2 ppb (= 0,0002 ppm); de herkenningdrempel op 1 ppb (0,001 ppm).

Bij een toevoeging van 20 ppm betekent dit dat de mercaptaangeur door mensen zal worden herkend wanneer het gas ($20 / 0,001 =$) 20.000 maal is verdund. De onderexplosiegrens van propaan bedraagt 2,1 vol%. Dit betekent dat een wanneer een uitstroming van propaan circa 50 maal verdund wordt met lucht, het gasmengsel niet meer kan worden ontstoken. Bij een 50-voudige verdunning van het gas bedraagt de mercaptaanconcentratie nog altijd ($20.000 / 50 =$) 400x de geurherkenningdrempel. Een lek van propaangas zou dus snel waargenomen moeten worden, in ieder geval ruimschoots vóórdát van een explosieve propaanconcentratie sprake is.

4.2.5 *Risico's voor personen*

De Chemiekaart van kooldioxide stelt: “*Bij hoge concentraties in de lucht, bijvoorbeeld in een slecht geventileerde ruimte, ontstaat zuurstofgebrek met kans op bewusteloosheid*”. Dezelfde waarschuwing wordt overigens ook gegeven voor propaan, maar daarvoor geldt dat de gevaren vooral zijn gelegen in de brandbaarheid. De risico's van brand en explosie treden bij propaan dan ook bij een veel lagere concentratie op dan de gevaren van verstikking.

Voor kooldioxide worden in de ‘Interventiewaarden gevaarlijke stoffen’ de volgende waarden genoemd:

- Voorlichtingsrichtwaarde (VRW): niet van toepassing;
- Alarmeringsgrenswaarde (AGW), voor één uur blootstelling: $50.000 \text{ mg/m}^3 = 2,7 \text{ vol\%}$, met aantekening: neurotoxiciteit;
- Levensbedreigende waarde (LBW), voor één uur blootstelling: $100.000 \text{ mg/m}^3 = 5,5 \text{ vol\%}$, met aantekening: geen sterfte mensen.

De AGW en LBW liggen binnen het bereik waarop ook de metingen gericht zijn: 0,1 – 10 vol%, en dan vooral 1 – 5 vol% (het explosieve gebied van propaan). Hieruit is geconcludeerd dat bij de experimenten enige waakzaamheid geboden was. Aangezien er

continu metingen van CO₂ zouden plaatsvinden in de ruimten waar zich tijdens de experimenten mensen konden bevinden, zou een vroegtijdige alarmering van gevaarlijke concentraties kunnen worden gegeven, op basis van de meetsignalen. Bovendien zouden steeds minimaal twee personen tegelijk in de leefruimte aanwezig moeten zijn.

4.3 Resultaten van de tracermetingen

De CO₂-tracermetingen zijn separaat gerapporteerd door de organisatie die de metingen heeft uitgevoerd: SGS Environmental Services. Hieronder zijn de belangrijkste onderdelen van de aanpak en van de conclusies samengevat.

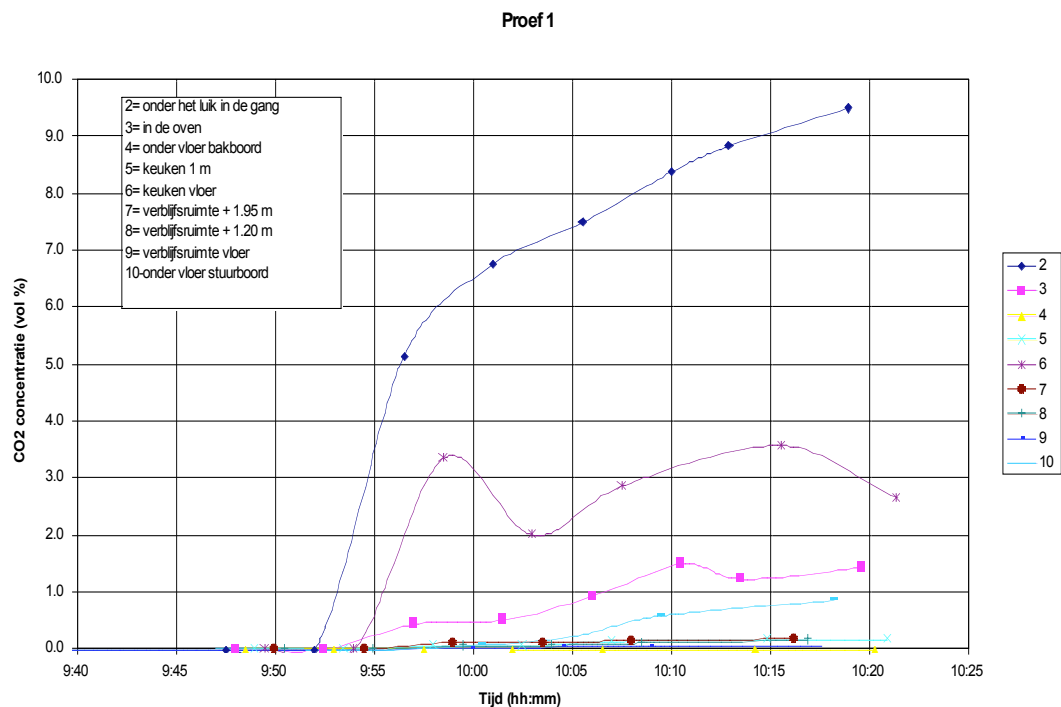
4.3.1 Verspreiding van gas uit kooktoestel

Er zijn twee meetprogramma's uitgevoerd om de verspreiding van een mogelijke propaanlekkage uit de oven van het fornuis te simuleren.

Kooldioxide werd ter plaatse van de branders van de oven (onderzijde van het fornuis) gedoseerd, in een debiet van 200 liter/uur, hetgeen overeenkomt met het lekkagedebiet zoals gemeten door KIWA-Gastec. Vervolgens is (de toename van) de CO₂-concentratie gemeten, op een tiental plaatsen:

- Op drie hoogten in de keuken;
- Op drie hoogten in de verblijfsruimte (woonkamer);
- Op twee plaatsen onder banken van de zithoeken (bakboord en stuurboord);
- Onder de vloer, achter de trap (ter plaatse van de grootste explosieschade);
- In de bakoven van het fornuis.

In Figuur 1 is een grafiek opgenomen met het gemeten verloop van de CO₂-concentraties op de verschillende locaties. Het betreft de metingen van het eerste experiment. De dosering van CO₂ is daarbij gestart omstreeks 09.45 uur.



Figuur 1 Concentratieverloop CO₂ op de verschillende meetlocatie; eerste experiment.

Uit de resultaten van de uitgevoerde metingen blijkt:

- Door 200 l/h CO₂-gas aan de oven van het fornuis te doseren, loopt de concentratie bij het meetpunt onder de vloer het snelst op. Binnen circa 5 minuten wordt een concentratie aan CO₂ bereikt die overeenkomt met de onderexplosiegrens van propaan (2,1 vol%). Na circa 9 minuten is een stoichiometrisch mengsel gevormd (circa 4 vol%), en in 15 – 20 minuten loopt de concentratie onder de vloer op tot circa 10 vol%.
- In de andere meetlocaties is de toename van de CO₂-concentratie (veel) trager. Een concentratie overeenkomend met de LEL van propaan (2,1 vol%) wordt alleen bereikt op vloerhoogte in de keuken; de maximale concentratie op die locatie bedraagt circa 3,5 vol%, na 10 à 12 minuten. Op de andere locaties worden concentraties bereikt van 0,1 – 1,5 vol%.
- Het is opmerkelijk dat de CO₂-concentraties in de verblijfruimte op grotere hoogte (1.95 m) hoger zijn dan vlak boven de vloer. De metingen in de keuken bevestigen dat het gas via een luchtspleet vlak boven de vloer naar de keukenruimte stroomt. Daar worden de hoogste concentraties op vloerniveau gevonden. In het transport naar de rest van de leefruimte blijkt niettemin een verticale opmenging plaats te vinden, zodanig dat het (relatief zware) CO₂ zich mede op grotere hoogte opbouwde. Hierbij wordt opgemerkt dat de CO₂-concentraties in deze gevallen ruimschoots (een factor 10 of meer) onder de onderexplosiegrens van propaan bleven.

Na afloop van de metingen is geprobeerd vast te stellen langs welke weg het gas zich van onder de oven (vooral) naar de ruimten onder de vloer van het schip kon verspreiden. De normale situatie is als volgt: Onder het fornuis bevindt zich een loze ruimte over de gehele breedte van het kooktoestel, met een hoogte van 20 à 25 cm boven de vloer. De ruimte is aan de voorzijde middels een plintplaat, onderlangs het fornuis, afgescheiden van de keuken. Aan de bovenzijde van de plint is een 1 cm brede spleet opengehouden, voor ventilatie en aanzuigen van verbrandingslucht voor de oven. Figuur 2 toont deze situatie, na verwijdering van de plint.

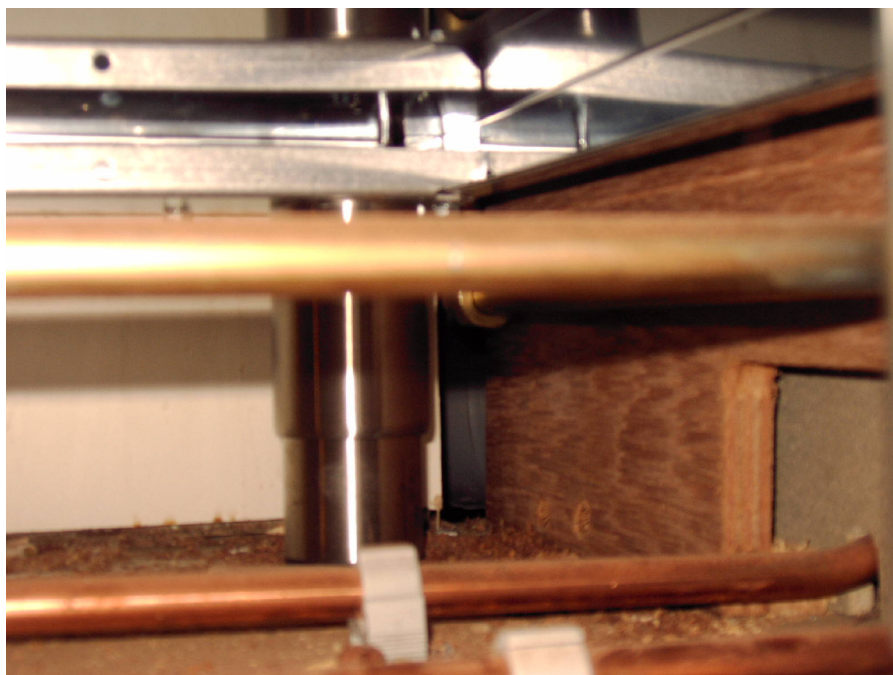


Figuur 2 Vooraanzicht van het (nieuwe) kooktoestel, na verwijdering van de frontplint.

Na wegnemen van de plintplaat bleek dat de wand waartegen het fornuis staat geplaatst niet op alle plaatsen naadloos aansluit aan de zijwanden. Dit is met name het geval bij de aansluiting tegen de zijwand aan bakboordzijde. Zie ook onderstaande foto's in Figuur 3 en 4. Ook kunnen er open verbindingen (kieren) bestaan bij aansluitingen van de wand op de vloer. Dit was niet goed vast te stellen.



Figuur 3 Onderzijde oven, links scheidingswand nieuwe doucheruimte.



Figuur 4 Onderzijde oven, rechts scheiding met keukenblok (bakboord). Aansluiting achterwand in hoek niet dicht. Diverse spleetopeningen naar naast- en ondergelegen ruimten.

4.3.2 *Verspreiding van gas uit tank van vuilwatersysteem*

Dit deel van de metingen was gericht op het vaststellen van mogelijke lekkage van gassen uit de vuilwatertank naar de ruimte onder de vloer. Hiertoe werd kooldioxide in de tank gebracht, via een van de -overigens afgedichte- ontluuchtingsleidingen. Vervolgens werd (de toename van) de CO₂-concentratie onder de vloer gemeten. Ook werd het gehalte aan totaal-koolwaterstoffen (TOC) gemeten, zowel in de tank als onder de vloer. Deze meting zou een aanwijzing kunnen zijn van de vorming van brandbare gassen uit de inhoud van de tank, en van de ontsnapping ervan.

Beide metingen wezen uit dat er bij deze experimenten nauwelijks gassen vanuit de vuilwatertank naar de ruimte onder de vloer lekten. De in de tank opgebouwde overdruk, ontstaan door de gedoseerde CO₂, zou bij voorkeur kunnen ontsnappen via de watersloten van toiletten, douches en wastafels. Dit werd ook waargenomen (gasbellen, geluid) én geroken (mercaptaan).

De gemeten concentratie aan TOC in de tank bedroeg gemiddeld 395 ppm, ofwel 0,04 vol%. Deze concentratie ligt een factor 50 lager dan de onderexplosiegrens van propaan en een factor 100 lager dan die van methaan. Hoewel de weers- en temperaturomstandigheden duidelijk anders waren dan die op de dag van de explosie, is deze marge toch zo groot dat het onwaarschijnlijk wordt geacht dat de vorming van koolwaterstoffen in de vuilwatertank hebben kunnen leiden tot een explosief mengsel onder de vloer.

Tijdens de metingen is wel geconstateerd dat de in juni 2006 aangetroffen verstopping van de ontluuchting van de tank aan stuurboordzijde was gecorrigeerd. De aansluiting van de ontluuchtingsleiding is nu op een andere plaats aangebracht, meer aan de bovenzijde van de tank. Hierdoor is de kans op vollopen van de leiding en ophoping van vuil verminderd.

Deze aanpassing heeft aan bakboordzijde niet plaatsgevonden. Deze plaats is een stuk moeilijker bereikbaar voor aanpassingen aan de constructie. Het vermoeden bestaat dat aan deze tweede ontluchting helemaal niets is gedaan na de vaststelling van de verstopping in de eerste. Het vermoeden bestaat dat de ontluchting aan bakboordzijde ten tijde van de metingen nog steeds verstopt was.

4.3.3 *Geurwaarneming*

De beoordeling van geurwaarneming is vooral geconcentreerd op de periode van het eerste verspreidingsexperiment. In die fase, aan het begin van de meetdag, was de luchtkwaliteit aan boord nog redelijk vrij van de geur van mercaptaan. Naarmate de dag vorderde kon een geleidelijke verdere opbouw van de concentratie van geurstof worden verwacht. Het wordt dan voor mensen steeds moeilijker om de geur nog te onderscheiden; er treedt een vorm van gewenning (adaptatie) op, waardoor het onderscheiden van de geur moeilijker of zelfs onmogelijk wordt.

Vanaf het tijdstip van doseren van CO₂ gas is één van de leden van het SGS-meetteam in de keuken van de boot gebleven om zijn geurwaarnemingen te noteren. Ook tijdens het verdere verloop van het experiment is nagegaan of de aanwezige personen de geur in de leefruimte waarnamen.

De geur van mercaptaan werd circa vijf minuten na het begin van de gasdosering waargenomen door de (op geurwaarneming getrainde) SGS-medewerker, in de keuken nabij de oven. Aansluitend werden de overige aanwezigen (medewerkers van de Onderzoeksraad en van TNO) in de leefruimte en keuken van het schip uitgenodigd. Vanaf circa 15 minuten na start van de dosering van het gas werd de geur door alle aanwezigen waargenomen. De omschrijving varieerde daarbij van 'vaag te ruiken' tot 'goed waarneembaar'. In het verdere verloop van het experiment was de geur zelfs buiten op het dek waarneembaar.

Naar aanleiding van deze (kwalitatieve) geurmetingen valt het volgende op te merken. Op het tijdstip van de eerste geurwaarneming, ongeveer 5 minuten na het begin van de gasdosering, heerste nog op geen van de meetlocaties een concentratie overeenkomend met de onderexplosiegrens van propaan. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat vroegtijdige ontdekking van een gaslekkage het ontstaan van een explosief mengsel had kunnen voorkomen.

Hierbij dient wel bedacht te worden dat deze eerste geurwaarneming werd gerapporteerd door een op geur getrainde SGS-medewerker. De geur werd pas later, na 10 à 15 minuten, ook door alle andere aanwezigen bevestigd. Op dat moment was de CO₂ concentratie onder de vloer al gestegen tot 5 à 6 vol%, dus ruimschoots in het explosieve gebied van propaan.

Ook op vloerhoogte in de keuken was na 15 min een explosieve concentratie bereikt: 2,5 – 3,5 vol%. Op waarnemingshoogte (circa 1 m) in de keuken heerste een CO₂-concentratie van circa 0,06 vol%. De hiermee overeenkomende mercaptaanconcentratie bedroeg dan $0,06 \times 10^{-2} \times 20 \text{ ppm} = 0,012 \text{ ppm} = 12 \text{ ppb}$. Deze waarde ligt een factor 12 boven de herkenningdrempel en een factor 60 boven de detectiedrempel van ethylmercaptaan.

Gezien deze waarnemingen, is het feit dat geen van de bij het ongeval aanwezige jongeren een gaslucht zegt te hebben geroken wellicht niet verrassend.

Hoewel de geurconcentratie tijdens de metingen toch beduidend de herkenbaarheids-grens overschreed, duurde het tijdens de metingen nog enige tijd voordat alle aan-

wezigen de geur bevestigden. Daarbij waren de betrokkenen zich ervan bewust dat ‘er een geur zou komen’.

De jongeren die bij het ongeval aanwezig waren hadden die voorkennis niet; zij waren dan ook niet gericht aan het ruiken. Bovendien werd juist een (nasi-)maaltijd bereid waarin met kruiden en andere geurende ingrediënten werd gewerkt. Dit laatste kan de gevoeligheid van het reukzintuig ook sterk hebben verminderd.

In een overigens geurvrije ruimte was de gaslucht mogelijk wel waar te nemen geweest, binnen enkele minuten na ontstaan van de lekkage. De CO₂-verspreidingsmetingen tonen aan dat binnen diezelfde tijdspanne ook al een explosief mengsel onder de vloer kan zijn gevormd.

Tijdens de verdere gasverspreidingsmetingen zijn geen bewuste geurwaarnemingen meer uitgevoerd. De reden om hiervan verder af te zien is dat verdere waarnemingen zouden worden verstoord doordat de leefruimte van het schip door het uitvoeren van het eerste experiment niet meer helemaal geurvrij was.

5 Conclusies

Uit de aanvullende onderzoeken naar de mogelijke oorzaak van de explosie aan boord van de tweemastklipper, op 8 juni 2006, kan worden geconcludeerd:

- Bij het technisch onderzoek, uitgevoerd door het NFI en KIWA-Gastec, naar de hypothese dat een gaslekkage uit het kooktoestel verantwoordelijk was voor het ontstaan van een explosief gasmengsel, bleven enkele vragen niet of onvoldoende beantwoord. Zo worden de conclusies nauwelijks vanuit het opgetreden schadebeeld onderbouwd. Ook bleef de vraag bestaan hoe het mogelijk was dat niemand van de bij het incident betrokkenen de geur van een gaslucht heeft waargenomen en kennelijk het grootste deel van het gelekte gas onder de vloer terecht kwam.
- TNO concludeerde in een eerste fase van zijn onderzoek dat de mogelijkheid van vorming van een explosief gasmengsel in het vuilwatersysteem van het schip een zeer denkbare optie is. Nadere raadpleging van deskundigen heeft opgeleverd dat de vorming van explosieve gassen in riooltanks een bekend verschijnsel is; hierbij gaat het zowel om organische gassen zoals methaan, als ook om (het zeer reactieve) waterstof. Op literatuur gebaseerde gegevens tonen aan dat de hoeveelheden gevormd gas voldoende kunnen zijn om in de vuilwatertank een explosief gasmengsel te kunnen vormen. Gezien de geconstateerde verstopping van de ontluichtingsleidingen op het systeem, werd lekkage van gassen naar de omgeving zeer wel denkbaar geacht.
- Een experimenteel onderzoek is uitgevoerd naar vaststelling van de verspreiding van eventueel gelekt gas uit het fornuis naar de omgeving. Hiertoe is instrumenteel de verspreiding gemeten van een tracergas (kooldioxide, CO₂) dat aan het ovencompartiment van het fornuis werd toegevoerd. Vervolgens werden op diverse plaatsen binnen het schip de concentraties van het gas gemeten, als functie van de tijd. De verspreidingsmetingen gaven de volgende resultaten:
 - De grootste (en snelste) concentratietoename trad op onder de vloer, ter hoogte van de plaats waar de zwaarste explosieschade was opgetreden. Binnen een tijd van circa 5 minuten werd een concentratie bereikt die overeenkomt met de onderexplosiegrens van propaan (2,1 vol%). Enkele minuten later was een stoichiometrische concentratie aanwezig, en binnen de duur van het experiment (circa 25 min.) werden concentraties tot hoger dan 10 vol% gemeten.
 - Op de meeste andere meetlocaties in het schip, inclusief beneden zitbanken, werden zulke hoge concentraties niet bereikt. Alleen vlak boven de vloer van de keuken werd de kritische onderexplosiegrens uiteindelijk overschreden. Deze bevindingen tonen aan dat een propaanlekkage zich van onder het fornuis bij voorkeur naar de ruimte onder de vloer beweegt. In de huidige constructie zijn ook openingen voor deze verspreiding aangetroffen, in de vorm van niet volledig aansluitende wand- en vloerpanelen en luchtspleten onder de oven. Geconcludeerd wordt dan ook dat er sterke aanwijzingen bestaan dat een propaan-gasmengsel de bron van de explosie onder de vloer is geweest.
- Enkele aanvullende metingen zijn nog uitgevoerd:
 - Tracergas dat in de vuilwatertank werd gedoseerd, leidde nauwelijks tot een toename van de gasconcentraties onder de vloer. Dit duidt erop dat er, in de

herstelde situatie, geen lekkages van gassen vanuit de vuilwatertank naar de ondervloerse ruimten optreden.

- Een aan het tracergas toegevoegde geurstof kon in de keuken worden waargenomen rond het tijdstip dat onder de vloer de onderexplosiegrens was bereikt, of kort daarna. Het is zeer wel denkbaar dat de slachtoffers van de explosie niet tijdig een geur hebben waargenomen, ten eerste omdat ze niet bewust waren gericht op het ruiken van een verdachte geur en ten tweede omdat de aanwezige atmosfeer ook al werd gevuld met de geuren van de maaltijdbereiding (kruiden en sauzen).

Op basis van deze metingen wordt geconcludeerd dat het, onder de omstandigheden die heersten op de tweemastklipper, zeer waarschijnlijk is dat de lekkage van propaan de bron is geweest voor de vorming van een explosief gasmengsel onder de vloer van het schip. De opbouw van de propaanconcentratie onder de vloer tot bereiken van het explosieve gebied verloopt sneller dan die van de geurconcentratie in de keuken tot een niveau dat door daar aanwezige personen zou zijn herkend.

6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

De Onderzoeksraad voor Veiligheid
T.a.v. de heer Ing. G.Th. Koning
Postbus 95404
2509 CK Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ing. J.M. Ham (projectleider, onderzoeker)

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

SGS Environmental Services, Arnhem
TNO Kwaliteit van Leven, Zeist
Efectis Nederland B.V., Rijswijk

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

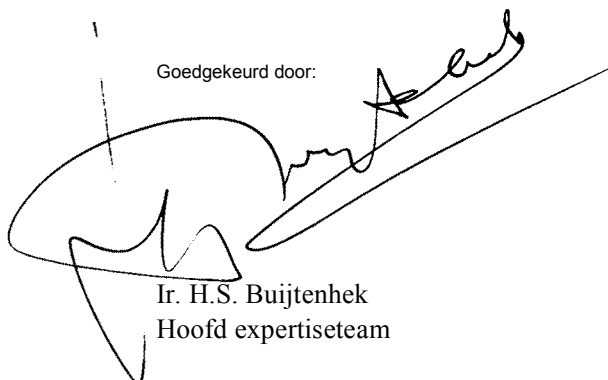
oktober 2006 – maart 2007

Ondertekening:



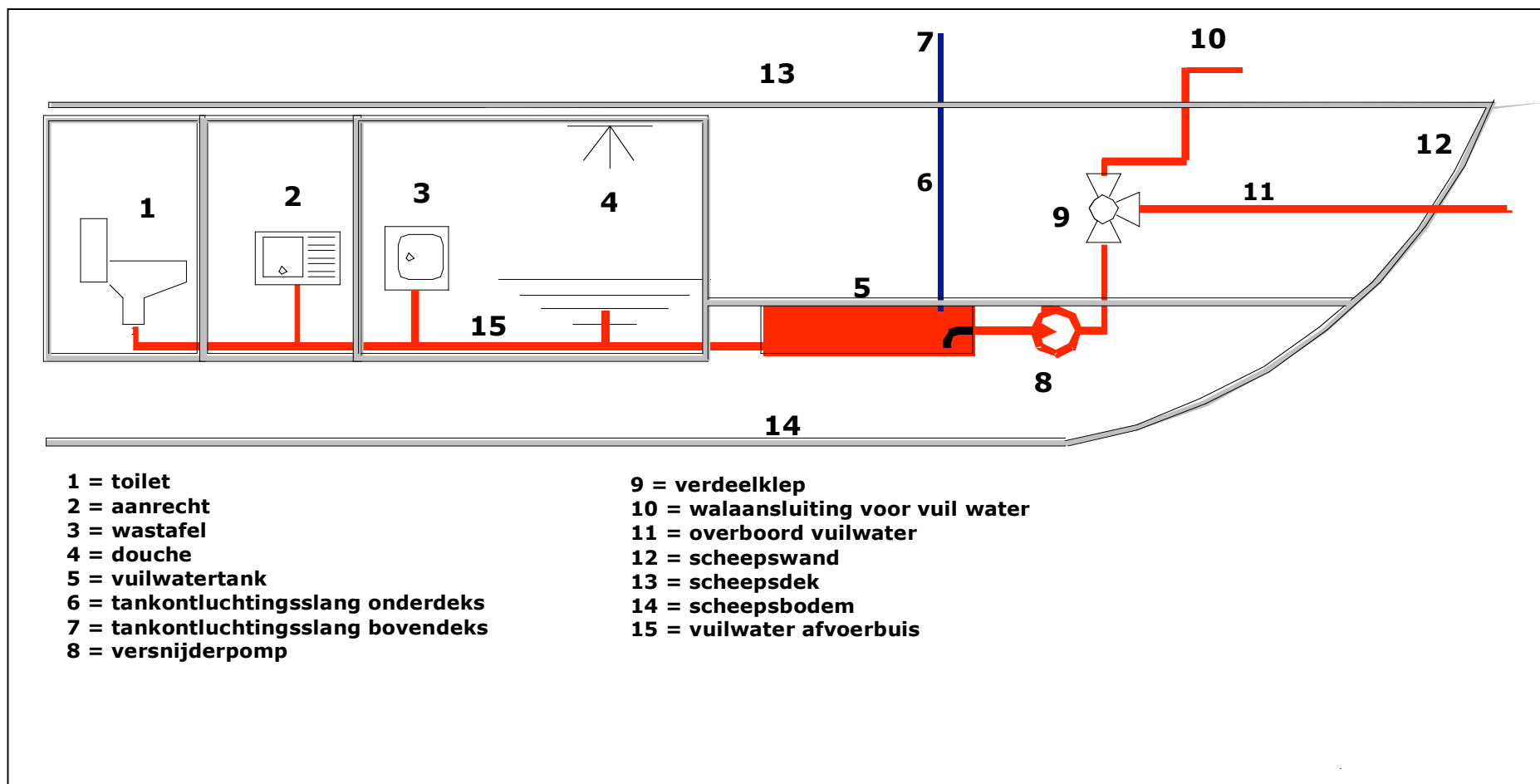
Ing. J.M. Ham
Projectleider

Goedgekeurd door:

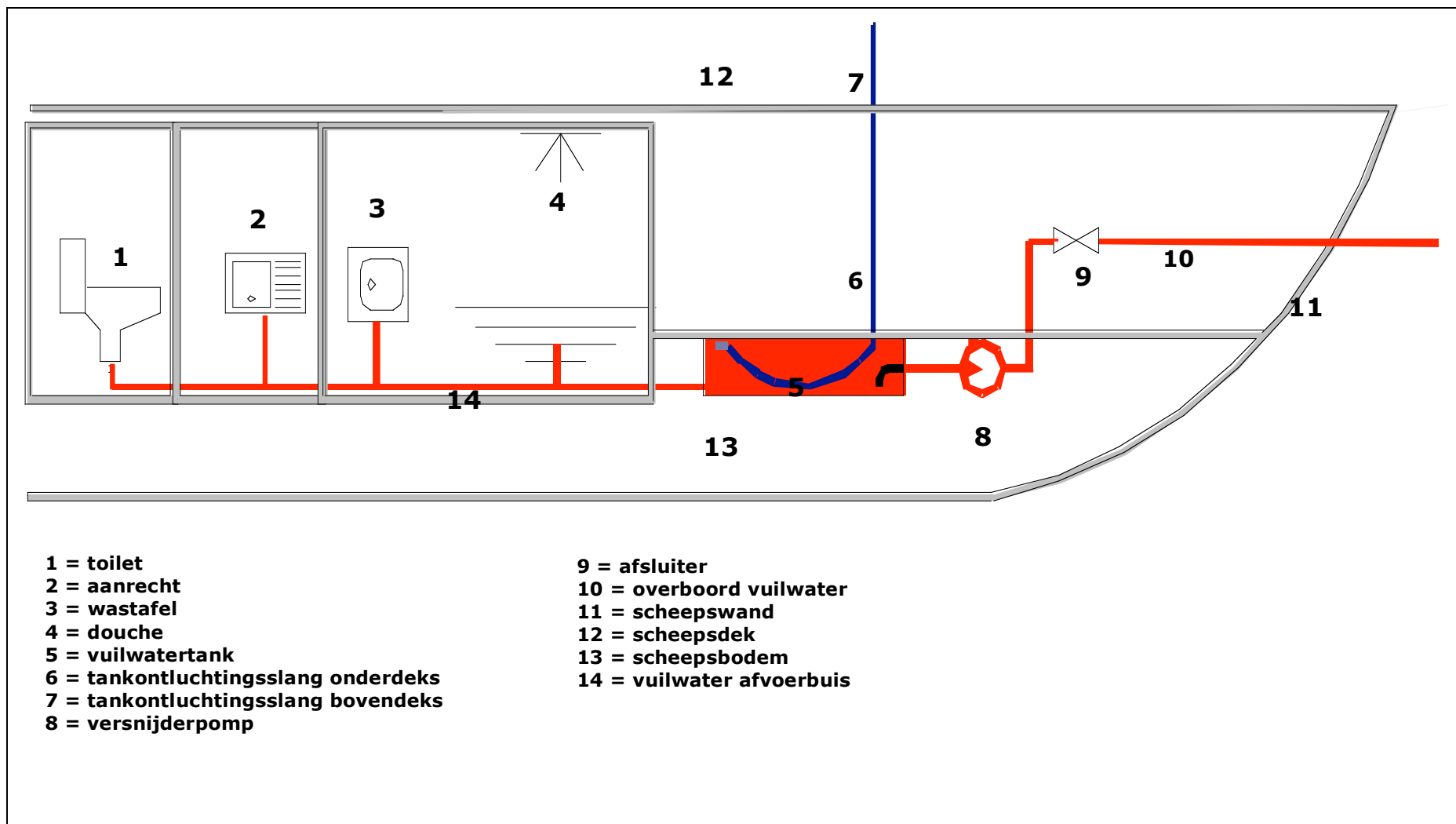


Ir. H.S. Buijtenhek
Hoofd expertiseteam

BIJLAGE 4 ONTWERP VUILWATERTANK



Figuur 1: Vereenvoudigd schematisch overzicht vuilwatertank bij afgifte vuilwater aan boord van schepen in het algemeen



Figuur 2: Vereenvoudigd schematisch overzicht vuilwatertank bij afgifte vuilwater op de onderzochte tweemastklipper

BIJLAGE 5 **BEORDELINGSKADER VAN HET VEILIGHEIDSMANAGEMENT**

In het verleden is gebleken dat de structuur en de invulling van een veiligheidsmanagement-systeem een cruciale rol speelt bij het aantoonbaar beheersen en continu verbeteren van de veiligheid. Dit geldt voor alle organisaties die actief of meer van een afstand betrokken zijn bij activiteiten waarbij een potentieel gevaar voor de burger in Nederland kan ontstaan. Het betreft organisaties van diverse aard en omvang en met verschillende rollen en verantwoordelijkheden zoals ministeries, provincies, gemeenten en private bedrijven. De vereiste wijze van invulling van het veiligheidsmanagementsysteem in een bepaald onderzoeksgebied is direct afhankelijk van de context. Deze context wordt onder meer bepaald door de aard, de omvang en de verantwoordelijkheden van de betrokken partijen. Ook de fases in de levenscyclus (focus op ontwerp, uitvoering, beheer, etc.) zijn bepalend voor de context. Gebaseerd op (inter)nationale wet- en regelgeving en in een groot aantal breed geaccepteerde en geïmplementeerde normen heeft de Onderzoeksraad een aantal veiligheidsaandachtspunten gedefinieerd die invulling zouden moeten krijgen in het veiligheidsmanagementsysteem van betrokken organisaties. Dit betreffen de volgende aandachtspunten:

Inzicht in risico's als basis voor veiligheidsaanpak

Startpunt voor het bereiken van de vereiste veiligheid is:

- (i) een verkenning van het systeem en daarna
- (ii) een inventarisatie van de bijbehorende risico's. Op basis hiervan wordt vastgesteld welke gevaren beheerst dienen te worden en welke preventieve en repressieve maatregelen daarvoor noodzakelijk zijn.

Aantoonbare en realistische veiligheidsaanpak

Ter voorkoming en beheersing van ongewenste gebeurtenissen dient een realistisch en praktisch toepasbare veiligheidsaanpak (ofwel veiligheidsbeleid), inclusief de bijbehorende uitgangspunten, vastgelegd te worden. Deze veiligheidsaanpak dient op managementniveau vastgesteld en aangestuurd te worden. Deze veiligheidsaanpak is gebaseerd op:

- (i) relevante vigerende wet- en regelgeving,
- (ii) beschikbare normen, richtlijnen en 'best practices' uit de branche, en eigen inzichten en ervaringen van de organisatie en de voor de organisatie specifiek opgestelde veiligheidsdoelstellingen.

Uitvoeren en handhaven veiligheidsaanpak

Het uitvoeren en handhaven van de veiligheidsaanpak en het beheersen van de geïdentificeerde risico's vindt plaats door:

- (i) een beschrijving van de wijze waarop de gehanteerde veiligheidsaanpak tot uitvoering wordt gebracht, met aandacht voor de concrete doelstellingen, plannen inclusief de daaruit voortvloeiende preventieve en repressieve maatregelen.
- (ii) transparante, eenduidige en voor ieder toegankelijke verdeling van verantwoordelijkheden op de werkvloer voor de uitvoering en handhaving van veiligheidsplannen en maatregelen.
- (iii) duidelijke vastlegging van de vereiste personele inzet en deskundigheid voor de verschillen taken.
- (iv) een duidelijk en actieve centrale coördinatie van veiligheidsactiviteiten.

Aanscherping veiligheidsaanpak

De veiligheidsaanpak dient continu aangescherpt te worden op basis van:

- (i) de periodiek en in ieder geval bij iedere wijziging van uitgangspunten, uitvoeren van (risico)analyses, observaties, inspecties en audits (proactieve aanpak).
- (ii) een systeem van monitoring en onderzoek van incidenten, bijna ongevallen en ongevallen, alsmede een deskundige analyse daarvan (reactieve aanpak). Op basis hiervan worden evaluaties uitgevoerd en wordt eventueel door het management de veiligheidsaanpak bijgesteld. Tevens worden verbeterpunten aan het licht gebracht waarop actief kan worden gestuurd.

Management sturing, betrokkenheid en communicatie

Het management van de betrokken partijen/organisatie dient:

- (i) intern zorg te dragen voor duidelijke en realistische verwachtingen ten aanzien van de veiligheidsambitie, zorg te dragen voor een klimaat van continue verbetering van de veiligheid op de werkvloer door in ieder geval het goede voorbeeld te geven en ten slotte voldoende mensen en middelen hiervoor beschikbaar te stellen.
- (ii) extern duidelijk te communiceren over de algemene werkwijze, wijze van toetsing daarvan, procedures bij afwijkingen etc. op basis van heldere en vastgelegde afspraken met de omgeving.

De Onderzoeksraad erkent dat de beoordeling van de wijze waarop door organisaties invulling wordt gegeven aan eigen verantwoordelijkheid ten aanzien van veiligheid afhankelijk is van de betrokken organisaties. Aspecten als bijvoorbeeld de aard van de organisatie of de omvang kunnen hierbij van belang zijn en dienen daarom te worden betrokken bij de beoordeling. Hoewel per voorval de oordeelsvorming anders kan zijn, blijft de manier van denken identiek.