



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL ANTWERPEN

NAUTISCHE FACULTEIT

Studie naar brandveiligheid aan boord van onbemande schepen door toepassing van feitenboomanalyse

Toon Mertens

Scriptie voorgedragen tot het behalen
van de graad van

Master in de Nautische Wetenschappen

Promotor: Helen Verstraelen

Academiejaar: 2019-2020

Woord vooraf

Ik heb gekozen voor het onderwerp onbemande schepen en hun veiligheid met toespitsing op de brandveiligheid.

Eerst en vooral omdat ik er in geloof dat onbemande schepen in de toekomst zeker een deel van de wereldvloot zullen uitmaken. Steeds meer activiteiten in de industrie worden al geautomatiseerd via robots, op afstand bediende apparaten, drones, onbemande vluchten en landvoertuigen zonder bestuurder.

De idee dat schepen onbemand zouden rondvaren vind ik een bijzonder interessant gegeven. Daarom wil ik graag meer te weten komen hoe deze schepen te werk zullen gaan om in de toekomst eventueel deel uit te maken van een project in die materie. Op dit moment is het concept nog steeds moeilijk te vatten en lijkt de toekomst hiervoor veelbelovend. Maar tegelijkertijd is een concrete toepassing niet ver van de realiteit verwijderd.

Bij de intrede van onbemande schepen in de scheepvaart stel ik me meteen de vraag of deze schepen wel veilig zullen zijn. En zo ja, zullen deze schepen dan veiliger zijn dan de huidige conventionele schepen? Na de literatuurstudie hiernaar voor mijn bachelor scriptie heb ik besloten om voor mijn masterscriptie het onderzoek toe te spitsen op de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen.

Door de intrede van het Coronavirus, COVID-19, werd ik beperkt om contact op te nemen met externe personen. Via de digitale communicatie heb ik alsnog informatie verkregen via Krzysztof Wróbel, een wetenschapper aan de maritieme universiteit in Gdynia, Polen.

Tot slot zou ik graag mijn promotor, Helen Verstraelen, van harte willen bedanken voor haar beschikbaarheid, alsook de goede feedback en tips die ik van haar heb gekregen. Door de snelle en duidelijke antwoorden op mijn vragen kon ik mijn werk snel aanpassen.

Toon Mertens

Antwerpen 2019-2020

Samenvatting

In deze masterscriptie wordt bekeken wat de invloed is van onbemande schepen op de scheepsveiligheid met een eigen verdieping op de brandveiligheid aan de hand van een feitenboomanalyse.

De scriptie bestaat uit drie hoofddelen zijnde een algemeen deel over onbemande schepen, vervolgens een bespreking over de huidige scheepsongevallen, om af te sluiten met een onderzoek naar de invloed van onbemande schepen op de scheepsveiligheid.

Het algemene gedeelte over onbemande schepen geeft een overzicht van wat onbemande schepen concreet inhouden. Hierin is onder andere terug te vinden wat onbemande schepen zijn, hun evolutie en welke type schepen het meest geschikt zijn. Dit helpt om een duidelijk idee te krijgen over een onbemand schip hetgeen de basis vormt voor verdere lezing van de scriptie.

Vervolgens volgt de huidige scheepsproblematiek. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de verschillende soorten en oorzaken van de meest voorkomende scheepsongevallen.

Om tot slot te eindigen met de invloed van onbemande schepen op deze scheepsongevallen. Er wordt een analyse gemaakt over de graad van waarschijnlijkheid dat een ongeval met een onbemand schip zich zal voordoen. Op basis van de resultaten van deze analyse wordt ingegaan op welke factoren bij onbemande schepen een positieve dan wel negatieve invloed hebben op de scheepsveiligheid. Aan de hand van deze resultaten wordt toegespitst op de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen. Dit deel doet eigen onderzoek aan de hand van een feitenboomanalyse toegepast op casestudies om de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen te vergelijken met bemande schepen.

Abstract

This master thesis examines the influence of unmanned ships on the ship's safety with the focus on fire safety.

The thesis consists of three main parts, a general part on unmanned ships, a discussion on current ship accidents and a closing chapter with an analysis of the influence of unmanned ships on ship safety specifically regarding fire safety.

The general section on unmanned ships gives an overview of what unmanned ships mean in concrete terms. In this section one finds, among other things, what unmanned ships are, their evolution and which type of ships are the most suitable. This offers a clear idea about an unmanned ship which forms the basis for further reading of the thesis.

Subsequently, the current ship problems are discussed. An overview is given of the different types and causes of the most common shipping accidents.

Finally, the influence of unmanned ships on these shipping accidents is examined. An analysis is made of the degree of probability that an accident with an unmanned vessel will occur. On the basis of the results of this analysis, the factors which have a positive or negative impact on ship safety in the case of unmanned ships are examined. These results will be used to focus on the fire safety on board unmanned ships. This last part of the study uses an own fact-tree analysis of case studies to compare fire safety on board unmanned ships with manned ships.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	I
Samenvatting.....	II
Abstract	III
Inhoudsopgave	IV
Lijst van tabellen.....	VIII
Lijst van figuren	IX
1 Inleiding.....	1
1.1 Probleemstelling.....	3
1.2 Doelstelling van het onderzoek.....	4
1.2.1 Onderzoeksvraag.....	4
1.2.2 Werkwijze.....	4
1.2.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten.....	4
2 Onbemande schepen in de scheepvaart	5
2.1 Twee soorten onbemande schepen	5
2.1.1 Op afstand bediende onbemande schepen.....	5
2.1.2 Autonome schepen	5
2.2 Concrete toepassing	6
2.3 Voordelen en nadelen	6
2.4 Evolutie	8
2.4.1 Werelds eerste commercieel onbemand schip	8
2.5 Eerste autonome koopvaardijship.....	9
2.6 Meest geschikte scheepstypes voor onbemande schepen.....	10
2.6.1 Kleine containerschepen	10
2.6.2 Bulkschepen	11

2.6.3	Dienstschepen	12
2.6.3.1	Autonomous MUNIN vessel.....	12
2.6.3.2	Rolls-Royce's onbemande sleepboot.....	13
2.6.4	Ferry's.....	14
3	Ongevallen bij de scheepvaart.....	16
3.1	Oorzaken van scheepsongevallen	16
3.1.1	Gatenkaasmodel	16
3.1.1.1	Invloed van de organisatie.....	18
3.1.1.2	Onveilige supervisie	18
3.1.1.3	Voorwaarden om onveilig te handelen	18
3.1.1.4	Onveilig handelen	18
3.1.2	Hoofdoorzaken van scheepsongevallen	19
3.1.2.1	Communicatieproblemen	19
3.1.2.2	Vermoeidheid	20
3.1.2.3	Gebrek aan kennis en het niet volgen van de juiste standaarden	22
3.2	Soorten ongevallen.....	23
3.2.1	Aanvaringen	24
3.2.2	Contact	25
3.2.3	Instortingen	25
3.2.4	Schade aan de romp en machine.....	25
3.2.5	Strandingen	26
3.2.6	Brand en explosies	26
4	Invloed van onbemande schepen.....	27
4.1	Effect van oorzakelijke factoren op onbemande schepen	27
4.1.1	Factoren met verlagende impact.....	27
4.1.2	Factoren met neutrale impact	29

4.1.3	Factoren met een verhogende impact.....	30
4.2	Invloed van onbemande schepen op de soorten scheepsongevallen	31
4.2.1	Effect op strandingen	32
4.2.2	Effect op brand- en explosieongevallen.....	32
4.2.3	Effect op aanvaringen	33
4.2.4	Conclusie	34
4.3	Invloed van onbemande schepen op de gevolgen van scheepsongevallen	35
4.3.1	Gevolgen bij stranding	36
4.3.2	Gevolgen bij brand en explosie	36
4.3.3	Gevolgen op aanvaring.....	37
5	Casestudies	38
5.1	Keten van gebeurtenissen	39
5.2	Feitenboomanalyse	40
5.3	Casussen	42
5.3.1	Casus 1: Acro Avon, brand in de machinekamer	42
5.3.1.1	Analyse bemande versus onbemande schepen	44
5.3.2	Casus 2: Caroline Maersk, brand in container	46
5.3.2.1	Analyse bemande versus onbemande schepen	49
5.3.3	Casus 3: Commodore Clipper, brand in <i>reefer</i> trailer	51
5.3.3.1	Analyse bemande versus onbemande schepen	54
5.3.4	Casus 4: Corona Seaways, brand op autodek	55
5.3.4.1	Analyse bemande versus onbemande schepen	58
5.3.5	Casus 5: Dieppe Seaways, brand in boiler ruimte.....	60
5.3.5.1	Analyse bemande versus onbemande schepen	63
5.3.6	Casus 6: Oscar Wilde; het falen van vaste schuim installatie	65
5.3.6.1	Analyse bemande versus onbemande schepen	65

5.3.7	Casus 7: Parida, brand in de schouw.....	68
5.3.7.1	Analyse bemande versus onbemandede schepen	71
5.3.8	Casus 8: SD Dexterous, brand in machinekamer	73
5.3.8.1	Analyse bemande versus onbemandede schepen	73
5.3.9	Casus 9: URD, brand op autodek.....	76
5.3.9.1	Analyse bemande versus onbemandede schepen	79
5.3.10	Casus 10: Wight sky, explosie in de machinekamer	81
5.3.10.1	Analyse bemande versus onbemandede schepen	84
5.4	Overzicht.....	86
5.4.1	Algemene bevindingen.....	88
6	Conclusie	91
	Bibliografie	93

Lijst van tabellen

Tabel 1: Wereldhandelsvloot in 2018 volgens scheepsoort en -grootte.....	1
Tabel 2: Hoeveelheid containerschepen in de wereldhandelsvloot, 2018	10
Tabel 3: Oorzakelijke factoren van 94 ongevallen verdeeld over de modelonderdelen	18
Tabel 4: Factoren met verlagende impact	27
Tabel 5: Factoren met een neutrale impact	29
Tabel 6: Factoren met een verhogende impact.....	30
Tabel 7: Overzicht casussen en effect van onbemande schepen	86

Lijst van figuren

Figuur 1: Sleepboot, Svitzer Hermod	8
Figuur 2: Autonoom containerschip, Yara Birkeland	9
Figuur 3: Ferry Falco van Finn Ferries	15
Figuur 4: Kapitein van de Falco in besturingspositie in het controlecentrum te Turku	15
Figuur 5: Het gatenkaasmodel met vier verdedigingslagen	16
Figuur 6: Verdeling van oorzaken van scheepsongevallen	19
Figuur 7: Hoofdoorzaken van ongevallen (1).....	23
Figuur 8: Hoofdoorzaken van ongevallen (2).....	23
Figuur 9: Hoeveelheid ongevallen per soort ongeval en scheepstype	24
Figuur 10: Invloed van onbemande schepen op het zich voordoen van een scheepsongeval	31
Figuur 11: Invloed van onbemande schepen op de gevolgen van huidige ongevallen.....	35
Figuur 12: Standaard feitenboom	40

1 Inleiding

Van de totale internationale handel van goederen wordt er 90% van de goederen (in volume) vervoerd door schepen (UN, 2020). Dit houdt in dat er jaarlijks rond de 10,3 miljard ton aan goederen over zee wordt getransporteerd (Maes et al., 2018.). In januari 2018 bestond de wereldhandelsvloot uit 116 857 schepen (**Tabel 1**) (EMSA, 2018). Er is een onderverdeling gemaakt tussen schepen van verschillende grootte in GT (Gross Tonnage) en soort.

Tabel 1: Wereldhandelsvloot in 2018 volgens scheepsoort en -grootte

Bron: www.equasis.org

Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
	Count	%	Count	%	Count	%	Count	%	Count	%
General Cargo Ships	4,346	8.1%	11,659	26.1%	245	2.0%			16,250	13.9%
Specialized Cargo Ships	8	0.0%	227	0.5%	61	0.5%	5	0.1%	301	0.3%
Container Ships	19	0.0%	2,213	5.0%	1,538	12.8%	1,441	22.8%	5,211	4.5%
Ro-Ro Cargo Ships	30	0.1%	629	1.4%	565	4.7%	247	3.9%	1,471	1.3%
Bulk Carriers	316	0.6%	3,788	8.5%	6,119	51.0%	1,706	27.0%	11,929	10.2%
Oil and Chemical Tankers	1,931	3.6%	7,241	16.2%	2,642	22.0%	1,943	30.8%	13,757	11.8%
Gas Tankers	36	0.1%	1,116	2.5%	362	3.0%	481	7.6%	1,995	1.7%
Other Tankers	396	0.7%	698	1.6%	12	0.1%			1,106	0.9%
Passenger Ships	4,094	7.6%	2,793	6.2%	277	2.3%	184	2.9%	7,348	6.3%
Offshore Vessels	2,727	5.1%	5,297	11.9%	149	1.2%	294	4.7%	8,467	7.2%
Service Ships	2,744	5.1%	2,750	6.2%	27	0.2%	6	0.1%	5,527	4.7%
Tugs	17,848	33.1%	1,041	2.3%					18,889	16.2%
Fishing Vessels	19,359	35.9%	5,244	11.7%	3	0.0%			24,606	21.1%
Total	53,854	100%	44,696	100%	12,000	100%	6,307	100%	116,857	100%

De scheepvaart is dus essentieel voor de internationale handel. Verbeteren en groeien in deze sector is van groot belang. Om mee te kunnen groeien met deze immense transportindustrie, moeten rederijen en scheepsbouwers ervoor zorgen dat ze de beste technologie en apparatuur aan boord voorzien. Het maken van nieuwere, snellere, duurzame en veiligere schepen wordt steeds verwezenlijkt door het toevoegen van nieuwe technologieën.

Gedurende de laatste jaren zijn onbemande en autonome schepen een van de meest actuele onderwerpen in de scheepsindustrie (Stam, 2017). Het is een industrie die blijft groeien en hierdoor wordt er steeds meer gezocht naar kost-efficiënte en veiligere oplossingen. Op dit moment wordt er al veel gebruik gemaakt van robots en op afstand bestuurd operaties zoals ROV's (*Remotly operated vehicle*). Dit zijn robots die onderwaterwerkzaamheden uitvoeren en vanop afstand worden bestuurd (Bruno et al., 2015). Meestal gebeurt dit aan boord van een schip.

Een voordeel hiervan is dat deze toestellen tot zeer grote dieptes kunnen werken. Dieptes waar de mens niet kan komen omwille van de immense hydrostatische druk die er heerst. ROV's zijn hier wel tegen bestand en de krachtigste ROV's kunnen zelfs tot een maximale diepte van ongeveer 3000m opereren (Momma et al., 2004). Aan de hand van meerdere sensoren en camera's kan de bestuurder in kwestie al zijn handelingen tot op de voet volgen.

Volgens Negenborn (2016), professor "*Multi-Machine Operations & Logistics*" aan de TU Delft is het de bedoeling om dit principe door te trekken naar schepen. Alles zal vanop afstand bestuurd worden zodat de schepen vanuit een controlecentrum of volledig zelfstandig kunnen rondvaren. Door gebruik te maken van sensoren en camera's zoals bij ROV's, kunnen de schepen en hun omgeving gecontroleerd worden. Dit zal ervoor zorgen dat er minder tot geen bemanningsleden nodig zullen zijn om het schip te besturen. Echter, aangezien de schepen onbemand zijn, is het oplossen van defecten aan boord moeilijker dan op bemande schepen. Er zijn geen personen aan boord die de herstellingen kunnen doen wanneer nodig.

Naast de speciale regelgeving die bij de introductie van onbemande schepen komt kijken, zal hun integratie ook afhangen van de marktvraag en de veiligheidsrisico's (Van Hooydonk, 2014). Volgens Van Hooydonk, (2014) zijn sommige personen sceptisch over onbemande schepen en daarom moet men bij het aanvaarden van onbemande schepen ervan kunnen uitgaan dat deze schepen minstens even veilig of zelfs veiliger zijn dan de huidige schepen. Voor het zeevervoer is het absolute aantal dodelijke slachtoffers als gevolg van veiligheid gerelateerde ongevallen laag in vergelijking met andere transportmiddelen (Burmeister et al., 2014). Uit het jaarlijks overzicht van ongevallen op zee (EMSA, 2019) over een periode van 2011 tot 2018 hebben 426 ongevallen geleid tot een totaal van 696 doden waarvan 555 bemanningsleden. Voor diezelfde periode zijn er 6062 bemanningsleden gewond geraakt. Bij onbemande schepen kunnen geen bemanningsleden in gevaar gebracht worden.

1.1 Probleemstelling

In deze scriptie ligt de focus hoofdzakelijk op de veiligheid van onbemande schepen. Zoals het woord “onbemand” zegt, zijn er aan boord van onbemande schepen geen personen aanwezig. Hierdoor kan niemand meteen ingrijpen wanneer er zich een probleem voordoet aan boord van het schip. Dezelfde problemen die aan boord van huidige schepen voorvallen, kunnen zich ook aan boord van onbemande schepen voordoen. Enkele voorbeelden zijn: defecte hardware, schade aan het schip door hevige zee en krachtige wind, aanvaring, brand aan boord, enzovoort. Alleen is er aan boord van onbemande schepen geen crew aanwezig die deze zaken kan oplossen.

Volgens classificatiemaatschappij DNV GL, (2018) dienen de nieuwe autonome en onbemande schepen te beschikken over een niveau van veiligheid dat gelijkwaardig is aan of beter is dan dat van de conventionele activiteiten van de huidige schepen. Die veiligheid heeft betrekking tot beschermen van het leven, de eigendom en het milieu. Voor onbemande schepen is in sommige gevallen gepleit voor een hogere veiligheid en zijn minder veiligheidsmaatregelen vereist omdat er geen sprake is van mensen aan boord. Sommige conventionele veiligheidsmaatregelen zijn namelijk uitsluitend bedoeld om de bemanning te beschermen bijvoorbeeld reddingsboten en reddingsvesten. Deze maatregelen zijn irrelevant voor onbemande vaartuigen en kunnen worden weggelaten zonder daardoor de veiligheid in het gedrang te brengen. Andere conventionele veiligheidsmaatregelen die wel bijdragen aan de veiligheid voor het leven in het algemeen, de activiteiten aan boord of de omgeving vereisen echter een actieve tussenkomst door de mens, zoals bijvoorbeeld brand blussende acties. De mogelijkheden in brandblusmethodes zullen bij onbemande schepen onmogelijk of sterk beperkt zijn met een verhoging van de veiligheidsrisico's tot gevolg. Dit is niet in overeenstemming met de algemene vereiste, die erop gericht is een gelijkwaardig of zelfs beter veiligheidsniveau te garanderen. Hiervoor worden er al richtlijnen ontworpen door onder meer classificatiemaatschappijen zoals DNV GL (2018) en American Bureau of Shipping (ABS) (2020). De richtlijnen hebben betrekking tot het technisch ontwerp van de schepen, de bouw van specifieke systemen en onderdelen. Ze moeten autonome en onbemande scheepsfuncties ondersteunen, met als doel het verkrijgen van een veiligheidsniveau voor het vaartuig dat gelijk is aan of beter is dan dat van een conventioneel vaartuig.

1.2 Doelstelling van het onderzoek

1.2.1 Onderzoeksvraag

Kan of zal de veiligheid en meer specifiek de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen beter of in dezelfde mate kunnen gegarandeerd worden als bij de huidige bemande schepen? Zo ja, hoe? Zo niet, waarom niet?

1.2.2 Werkwijze

Deze scriptie voert een onderzoek naar de veiligheid aan boord van onbemande schepen. Het eerste deel bespreekt algemeen de onbemande schepen in de scheepvaart. Het tweede deel verdiept zich in de veiligheid aan boord van onbemande schepen. Ongevallen aan boord van huidige conventionele schepen worden bestudeerd om te onderzoeken wat de voornaamste oorzaken hiervan zijn. Vervolgens volgt de invloed van onbemande schepen op de waarschijnlijkheid van deze ongevallen, en daarmee de veiligheid in het algemeen, zou kunnen zijn. Het derde en laatste deel onderzoekt aan de hand van casestudies welke invloed onbemande schepen zullen hebben, specifiek op de brandveiligheid. De feitenboom maakt een duidelijke vergelijking tussen de verschillende casussen. Op die manier kan er een conclusie gemaakt worden of onbemande schepen al dan niet veiliger zullen zijn dan bemande schepen.

1.2.3 Randvoorwaarden en uitgangspunten

Elk schip zou in theorie onbemand kunnen rondvaren. Dit onderzoek houdt enkel rekening met koopvaardijsschepen. Duikboten, passagiersschepen en pleziervaart zoals zeilboten en privéjachten worden niet besproken.

Dit werk baseert zich op ongevallenanalyses aan de hand van een feitenboom toegepast op casussen. Deze methode onderzoekt waar de onbemande schepen al dan niet de veiligheid van de scheepvaart kunnen verbeteren.

Deze scriptie behandelt zowel eerder onderzochte studies en ongevallenanalyses als een eigen analyse over casussen omtrent de brandveiligheid. Hierbij wordt gebruik gemaakt van officiële onderzoeksrapporten jonger dan 2010. Het onderzoek beperkt zich tot brandongevallen die niet veroorzaakt zijn door mensen aan boord, zoals de lading, motoren, weersomstandigheden,... Brandongevallen die veroorzaakt zijn door menselijke fouten, al dan niet onrechtstreeks, aan boord kunnen bij onbemande schepen worden geëlimineerd.

2 Onbemande schepen in de scheepvaart

2.1 Twee soorten onbemande schepen

Er bestaan twee soorten onbemande schepen: de op afstand bediende onbemande schepen en de volledig autonome schepen. Volgens Stam, (2017) zijn beide schepen onbemand en zullen aan de hand van de nodige soft- en hardware bestuurd worden.

2.1.1 Op afstand bediende onbemande schepen

Dit zijn schepen zonder crew aan boord die bestuurd worden door een operator vanuit een controlecentrum vanaf de wal. Deze personen verkrijgen al de belangrijke informatie, zoals de navigatie en operationele status van de schepen, en kunnen ze daarmee tot op de voet volgen. Deze onbemande schepen worden nog steeds menselijk aangestuurd. Het grote verschil met een hedendaags schip met crew is dat het onbemande schip slechts één persoon nodig heeft om het hele schip te besturen. Dit is nu ook deels het geval bij de huidige schepen met het *“one-man-bridge-operation”* principe. Dankzij dit principe is het mogelijk om de hoeveelheid bemanningsleden aan boord te verminderen. Bij de intrede van de op afstand bediende onbemande schepen zal stapsgewijs minder bemanning aan boord voorzien worden om finaal te opereren met één persoon aan de wal.

2.1.2 Autonome schepen

Autonome schepen daarentegen worden niet menselijk doch volledig automatisch door computers en software aangestuurd. Aan de hand van meetapparatuur, sensoren en andere elektronische componenten wordt de besturing van de schepen verzekerd. Vanuit een controlecentrum worden de schepen door personen geobserveerd en verkregen data bestudeerd. Echter, de schepen varen en functioneren helemaal zelfstandig: de laad- en losprocedures, het aan- en afmeren, en het varen zelf verlopen automatisch (Stam, 2017).

2.2 Concrete toepassing

Volgens DNV GL (2018) en Prof. Negenborn (2016) zal voor de toekomstige scheepsoperaties de onbemande scheepvaart aangevuld en ondersteund worden door artificiële besturingssystemen. Dit betekent dat een combinatie van menselijke en artificiële intelligentie wordt gehanteerd. De kapitein zit in een stuurhut aan de wal en superviseert meerdere schepen. Zodra bijvoorbeeld het vaarverkeer drukker is of een alarm afgaat, neemt hij de controle van het schip vanop afstand over.

Bij lezing van deze scriptie is het belangrijk te begrijpen dat telkens wanneer er melding gemaakt wordt van de term “onbemande schepen”, gerefereerd wordt naar deze gecombineerde toepassing van op afstand bediend én autonoom.

2.3 Voordelen en nadelen

De voordelen van onbemande schepen zijn zeer belangrijk in het bepalen of dit concept kan doorgroeien tot een volledige integratie in de huidige scheepvaart. De twee voornaamste voordelen zijn zowel te vinden in het financieel als veiligheidsaspect. De schepen zullen minder duur zijn tijdens de vaart doordat er geen crew is die moet vergoed worden. Volgens Prof. Negenborn (2016) kan dit de scheepvaart 30 tot 40% goedkoper maken. Vermits er geen bemanning aanwezig is, kan bijkomend de hele accommodatie weggehaald worden. Dit resulteert dan in meer laadmogelijkheid, minder windweerstand, een lichter leegschip en minder brandstofverbruik. Het leegschip is een maritieme term die gedefinieerd wordt als het gewicht van het schip zonder cargo, brandstof, zoet water, ballast water, personen en proviand. Bijgevolg is er een aanzienlijk kostenvoordeel, onder meer door minder operationele kosten en meer inkomsten per reis. Dit kostenvoordeel wordt geschat op ongeveer 10 tot 20% ten opzichte van bemande schepen (Levander, 2018).

Een bijkomend voordeel is dat autonoom varen nog eens de mogelijkheid van menselijke fouten uitsluit. Volgens wetenschappers (Prof. Negenborn, 2016; Schiaretti et al., 2017) aan de TU Delft zou 75 tot 95% van de ongevallen veroorzaakt worden door menselijke fouten. Verder onderzoekt dit werk of dit weldegelijk klopt. Wat wel wordt vastgesteld is de totale afname van menselijke slachtoffers in de scheepvaart. De cijfers die vermeld staan in 1 Inleiding, namelijk 555 overleden bemanningsleden en 6096 gewonden (EMSA, 2019), kunnen volledig verdwijnen.

Er zijn echter ook nadelen. De jobs aan boord zullen verloren gaan bij onbemande schepen. De huidige bemanning zal moeten overschakelen naar de functie van besturing van onbemande schepen en dus andere profielen en technische competenties nodig zijn. Dit creëert wellicht ook jobs in deze sector, officieren kunnen bijvoorbeeld kiezen voor bijscholing voor deze functies. Een ervaren bestuurder aan boord is waarschijnlijk een competent profiel voor de besturing van de onbemande schepen. In tegenstelling tot medewerkers zonder ervaring in het zeemilieu, kan hij/zij beter interpreteren wat er gebeurt op basis van zijn/haar vaarervaring en zullen zij de juiste beslissingen nemen wanneer er zich een incident of probleem voordoet (Stam, 2017).

Een ander nadeel is ook dat de onbemande schepen vanop afstand elektronisch bestuurd worden. Ze zijn dus zeer afhankelijk van deze elektronische componenten en het hele systeem. Indien er zich een probleem voordoet, is dit veel moeilijker op te lossen.

Nog een uitdaging is het volledig reconstrueren van schepen naar behoeften van de van de nieuwe schepen. De huidige schepen zijn ontworpen om te functioneren met behulp van bemanning aan boord (Kooij et al., 2018). De bemanning kan rondlopen aan boord tussen de machines en apparatuur. Hiermee is er een fysieke connectie tussen mens en machine.

De bemanning kan voelen, luisteren, ruiken en zien wat er gebeurt. De bemanning zorgt ook voor kleine reparaties en onderhoud tijdens de vaart van het schip. Als hier geen rekening mee gehouden wordt, dan is er binnen de kortste keren een defect dat niet onmiddellijk gerepareerd kan worden (Prof. Negenborn, 2016).

Dit zijn de voornaamste voorbeelden van voor-en nadelen en zullen ten opzichte van elkaar moeten worden afgewogen.

2.4 Evolutie

Het idee om onbemande schepen in de vaart te brengen is al meerdere jaren bekend. Ongeveer 20 jaar geleden was er al sprake om onbemande schepen in de scheepvaart te hanteren (Vella, 2017). Gedurende de recente geschiedenis wordt dit idee steeds meer de realiteit. De schepen zullen ofwel bestuurd worden vanaf de wal ofwel volledig autonoom varen. Verschillende bedrijven zoals Rolls-Royce, Yara, Kongsberg en Wärtsilä hebben reeds onbemande schepen in de vaart of projecten om dit te verwezenlijken (Schiaretti et al., 2017).

2.4.1 Werelds eerste commercieel onbemand schip

Rolls-Royce en Svitzer (Wingrove, 2017) hebben succesvol hun eerste testvaart volbracht met het onbemande schip, de Svitzer Hermod. Begin 2017 heeft de sleepboot van 28 meter voor het eerst enkele remote-gecontroleerde manoeuvres uitgevoerd in de haven van Kopenhagen. De kapitein bestuurde het schip vanuit het controlecentrum, merende af en voer ermee tot het hoofdkwartier van Svitzer, maakte een 360° draai en een klein duwmaneuver en merende terug aan.

Het schip beschikt over het Rolls-Royce ship-intelligence system en meerdere camera's om een zo volledig mogelijk overzicht te hebben over het gebied. De bestuurder heeft op die manier een duidelijk zicht wat er gebeurd rond zijn schip. De bestuurderseenheid beschikt over dezelfde besturingsapparatuur als aan boord. Door dit identiek te maken, krijgt de kapitein de beleving dat hij het schip werkelijk aan het besturen is, en niet deze van een simulator. Zie ook verder in het document **Figuur 4** Hetzelfde principe wordt gehanteerd op de Svitzer.



Figuur 1: Sleepboot, Svitzer Hermod

Bron: www.flickr.com 2018

Het schip werd gebouwd in 2016 en is voorzien van een Rolls-Royce *Dynamic positioning System*, wat een besturing op afstand mogelijk maakt. Samen met dit systeem, sensoren en geavanceerde software heeft de kapitein voldoende informatie over de situatie. Tijdens de demonstratie was het schip nog steeds bemand om in te grijpen in geval van een defect.

2.5 Eerste autonome koopvaardijship

Yara, een Noors industriebedrijf dat zich bezig houdt met het produceren van kunstmest, heeft het eerste autonome schip ontworpen. Yara zelf (Skredderberget, 2018) heeft het onderzoek hierover vrijgegeven. Het schip, de Yara Birkeland is een autonoom en elektrisch containerschip. Het schip is nog niet in de vaart, maar zal het eerste autonome koopvaardijship zijn ter wereld. Het schip zal in 2020 te water gaan en rond 2022 volledig autonoom operationeel zijn. De bedoeling is dat het schip containers van een fabriek van Yara zelf, gelegen in Porsgrunn, en naar de containerhavens in Brevik en Larvik zal transporteren. Het schip zal 79,5 m lang zijn en de laadcapaciteit van 120 TEU (*twenty equivalent unit*) te vervoeren. Er wordt geschat dat het schip ongeveer 20 000 containers per jaar zal vervoeren. Het grootste voordeel van dit schip is dat het elektrisch is, dus zeer milieuvriendelijk. En dat het schip ook nog eens de vrachtwagens die op dit moment worden gebruikt voor het traject zal vervangen.



Figuur 2: Autonoom containerschip, Yara Birkeland

Bron: www.yara.com, 2017

2.6 Meest geschikte scheepstypes voor onbemande schepen

In de scheepvaart bestaan er tal van soorten schepen, elk met hun unieke eigenschappen en taken. Bij het integreren van onbemande schepen in de scheepvaart moet er dus gekeken worden wat de beste scheepstypes zijn om als onbemand schip in aanmerking te komen. De grootte van het schip is hierbij ook van groot belang. In een interview (Skou, 2018) met de CEO van Maersk Line, Mr. Soren Skou vertelt Skou dat de kans veel kleiner is dat grote containerschepen om later onbemand rond te varen. Volgens hem zijn de risico's en impact als iets fout loopt hier namelijk te groot, zowel qua veiligheid als op economisch vlak. Het kostenvoordeel om een groot containerschip onbemand te maken is bovendien minder gunstig. Volgens Skou behelzen de kosten voor de bemanning aan boord slechts een klein percentage van de operationele uitgaven van deze schepen.

Voor onbemande schepen wordt de focus gelegd op schepen die klein, goed handelbaar zijn en een gemakkelijk te automatiseren takenpakket kunnen uitvoeren. Er zijn zeer veel mogelijkheden. In dit document worden enkele voorbeelden besproken zoals kleinere containerschepen, bulkschepen, dienstschepen en ferry's.

2.6.1 Kleine containerschepen

In de vorm van waarde wordt aangenomen dat de wereldwijde containervaart goed is voor ongeveer 60 procent van de totale overzeese wereldhandel in 2017 (Statista Research Department, 2020) . **Tabel 2** toont aan dat containerschepen samen met de *general cargo* schepen 18,4% van de wereldhandelsvloot bezitten in functie van scheepsgrootte. *General cargo* schepen worden mee berekend omdat deze schepen ook regelmatig containers vervoeren en zo ook invloed hebben op de containervaart, hoewel dit maar beperkt is.

De containervaart zorgt dus voor een zeer groot percentage in het transport van goederen. Opvallend is dat deze containervaart merendeels bestaat uit containerschepen groter dan 60 000 GT. Zoals eerder gezegd, zijn dit niet de schepen die onbemand zullen rondvaren, maar zal meer gefocust worden op de kleinere tot middelgrote schepen.

Tabel 2: Hoeveelheid containerschepen in de wereldhandelsvloot, 2018

Bron: bewerkt van www.equasis.org

Ship Type	Small ⁽¹⁾		Medium ⁽²⁾		Large ⁽³⁾		Very Large ⁽⁴⁾		Total	
General Cargo Ships	4,346	8.1%	11,659	26.1%	245	2.0%			16,250	13.9%
Specialized Cargo Ships	8	0.0%	227	0.5%	61	0.5%	5	0.1%	301	0.3%
Container Ships	19	0.0%	2,213	5.0%	1,538	12.8%	1,441	22.8%	5,211	4.5%

⁽¹⁾ GT<500 - ⁽²⁾ 500≤GT<25.000GT - ⁽³⁾ 25.000≤GT<60.000 - ⁽⁴⁾ GT≥60.000

Gelijkaardig aan de Yara Birkeland, zullen kleinere containerschepen gebruikt worden om de vrachtwagens te vervangen. Met een capaciteit van 120 TEU behoort dit schip tot de kleinere containerschepen. De Yara Birkeland zal op jaarbasis alleen al 20 000 containers vervoeren wat resulteert in het overnemen van 40 000 vrachtwagenritten. Natuurlijk kan men bij het starten van een dergelijk project niet beginnen met het bouwen van een gigantisch containerschip. Indien het project aanslaat en voldoet aan de eisen die de overheid stelt omtrent regelgeving en veiligheid, kan nadien de onbemande vaart in scheepsvolume stijgen (Kongsberg, 2020).

Containerschepen onbemand laten varen is relatief gemakkelijker in vergelijking met andere schepen. Het laad- en losproces is zeer eenvoudig. Veelal moeten containerschepen steeds dezelfde route bevaren en zullen containers ook niet veranderen qua structuur en eigenschappen. De huidige kranen aan de wal kunnen blijven gebruikt worden om de schepen te laden en te lossen. Er zijn dus weinig variabelen wat maakt dat de automatisatie niet al te complex is. De enige variabelen die dan nog een rol spelen, zijn de navigatie, het verkeer, het weer en de specifieke regelgeving (Sames, 2018).

2.6.2 Bulkschepen

MUNIN (Maritime Unmanned Navigation Through Intelligence in Networks) (www.unmanned-ship.org) is een Europees project dat een technisch concept heeft ontwikkeld voor de besturing en uitvoering van een onbemand koopvaardij schip. Bij evaluatie op technisch en economisch vlak werd nagegaan of het wettelijk haalbaar is om onbemande schepen in de vaart te brengen. Dit concept ging uit van de aanname dat het onbemand schip een bulkschip is.

Volgens het project *MUNIN Autonomous Ships* (2015) hebben bulkschepen de eigenschap om lading te transporteren van punt A naar punt B. Meestal moeten deze schepen zeer lange afstanden afleggen. Het grootste deel van hun reis varen ze vrijwel alleen op de oceaan. Tijdens deze periode van de reis zou het dus voordeliger zijn om het schip onbemand te laten varen. Omdat de schepen vaak log en niet zo vlot manoeuvreerbaar zijn, kan de bemanning aan boord komen zodra het schip in drukker bevaren gebied komt. De bemanning zal in dat geval het schip veilig leiden tot zijn ligplaats voor lossen en laden. Dit betekent echter wel dat de schepen nog steeds voorzien moeten zijn van een accommodatie en fysieke brug.

Men heeft ook de mogelijkheid om niet te opteren voor een aan boord tredende bemanning door deze te vervangen door een manuele overname van de besturing van het schip vanop afstand. Dan zal vanuit een controlecentrum de besturing van het schip worden overgenomen om het naar de ligplaats te brengen. Bij de tweede optie zal het schip bijgevolg doorheen heel de reis onbemand zijn.

Navigatie van het schip is niet de enige uit te voeren activiteit. Controle uitvoeren van de cargo is gedurende de vaart continu vereist. Op regelmatige basis dienen op dat vlak nazichten uitgevoerd te worden. Zo kan bijvoorbeeld de lading verschuiven en de stabiliteit van het schip beïnvloeden. Of door slechte ventilatie kan er condens op de lading terechtkomen en deze beschadigen.

Wanneer er geen bemanning aanwezig is om dit alles te controleren, moet er dus ook de mogelijkheid zijn om de status van de cargo te kunnen opvolgen en beheren vanop afstand.

2.6.3 Dienstschepen

Dienstschepen zoals *multi-purpose* schepen, sleepboten of bevoorrading schepen worden momenteel veel gebruikt als testschip, zoals de Svitser. De schepen zijn zeer goed manoeuvreerbaar en hebben hoogstaande technologie aan boord wat het gemakkelijk maakt om de ze te automatiseren.

2.6.3.1 *Autonomous MUNIN vessel*

MUNIN deed testen met een sleepboot die gebruikt wordt voor noodgevallen. In een video (*MUNIN Autonomous Ships*, 2015) is te zien hoe de testen hiervan worden uitgevoerd en wat de resultaten zijn. Meerdere sensoren en apparatuur worden aangebracht om de samenwerking tussen de nieuwe soft- en hardware met reeds aan boord aanwezige apparatuur, zoals de radar na te gaan. Hierdoor kunnen testen rond objectenherkenning plaatsvinden. Boven op de mast wordt de look-out geplaatst, deze bestaat uit twee camera's. De ene is een lange afstandscamera voor overdag, de andere is een zeer gevoelige infrarood camera voor zowel 's nachts als overdag. Beiden kunnen 360° ronddraaien. Met deze camera's kunnen schepen, reddingsvlotten en andere objecten, die zich op of gedeeltelijk in het water bevinden, herkend worden.

De testen werden uitgevoerd op kalm water en een goede zichtbaarheid. Een reddingsboot en een boei werden gebruikt als klein plezierschip en persoon in het water. De taak van de gesofisticeerde camera's was om deze zaken te kunnen herkennen. De resultaten van de test zijn als volgt:

- Grotere schepen in de nabijheid werden herkend tot op een afstand van 2,2 zeemijl
- Het kleine pleziervaartuig werd herkend tot een afstand van 1,1 zeemijl
- De boei/persoon werd herkend tot een afstand van 0,6 zeemijl

Dezelfde test is niet uitgevoerd met personen, dit zou een goede vergelijking weergegeven tussen de herkenningssystemen en het persoonlijk zicht. Een persoon met goed zicht kan vanop het aardoppervlak tot ongeveer 3 zeemijl ver zien, rekening houdend met de aardkromming. Hoe hoger men van het aardoppervlak verwijderd is, hoe verder men kan zien (Burke, 2019). De analyse van de resultaten toont dat de afstand van herkenning van de schepen en objecten in het water minder ver is dan verwacht. Volgens MUNIN zelf moeten deze afstanden nog verbeteren om dit systeem te kunnen integreren in de commerciële scheepvaart.

2.6.3.2 Rolls-Royce's onbemande sleepboot

Zoals eerder werd vermeld, zie 2.4.1, heeft Rolls-Royce het eerste onbemande schip varend gebracht. Dit was een sleepboot, de Svitzer Hermod.

Sleepboten onbemand maken zou zeer voordelig zijn volgens Levander, (2018), Senior vicepresident van Concepts & Innovation bij Kongsberg Maritime. Ze komen namelijk vaak dicht in de buurt van grote schepen tijdens een sleepopdracht. De sleepboten komen vaak in situaties terecht waar er snel iets kan misgaan (Strickland & Devine, 2017). Zo kan de sleepboot door een verkeerd manoeuvre gemakkelijk kapseizen tijdens het slepen. De sleepboten kunnen ook tussen de grote schepen en de kade vast komen te zitten en verpletterd worden. Of wanneer de trekkrachten in de staalkabels te groot worden, kunnen deze doorknappen met grote verwondingen aan de personen aan boord of zelfs doodslag tot gevolg. Gezien deze potentiële ernstige risico's zijn sleepboten gebaat bij een toekomst van onbemand functioneren. Bijkomend zullen ook hier de operationele kosten dalen door de crew van boord te halen.

Deze voordelen lijken veelbelovend, maar de overgang naar onbemand varen is niet zonder uitdaging. Volgens Strickland & Devine, (2017) zijn er ook nadelen verbonden aan de introductie van deze onbemande sleepboten. De operationele besturing van deze schepen hangt volledig af van de technologie die gebruikt wordt. Een bijkomend nadeel van onbemande sleepboten is het feit dat er geen bemanning meer aan boord is om de operationele taken uit te voeren zoals bijvoorbeeld het bevestigen van de sleeptouwen en kabels aan de schepen. Naast deze zeer realistische aspecten die moeten worden aangepakt, mag de psychologische aanvaardbaarheid van een onbemande sleepboot die langszij komt, niet worden onderschat. Momenteel is het bedrijf Sea Machines (Smith, 2020) bezig met het introduceren van op-afstand-bediende sleepboten. De onbemande sleepboot wordt bestuurd vanop een andere bemande sleepboot in de buurt. Zo kan als tussenstap naar een volledige vloot met onbemande sleepboten, geleidelijk gewoon geraakt worden aan dit toch wel nieuwe concept.

2.6.4 Ferry's

Ferry's varen steeds dezelfde routes tussen minimum 2 havens en de aanlegmanoeuvres zijn veelal gelijkaardige manoeuvres die moeten worden uitgevoerd. Ferry's die dicht tegen de kusten varen kunnen in geval van een incident snel geassisteerd worden (Levander, 2018).

Finn Ferries heeft in samenwerking met Rolls-Royce hun eerste onbemande ferry in de vaart gebracht begin december 2018. Volgens Rolls-Royce (2018) heeft de Falco, een 50m lange ferry van Finn Ferries zijn eerste onbemande vaart succesvol uitgevoerd op 3 december 2018.

Tijdens de demonstratie heeft het schip een autonome vaart uitgevoerd tussen Parainen en Nauvo, in Finland, over een afstand van 1,5 zeemijl. Hierbij waren 80 VIP gasten aan boord. De crew van het schip werd op geen enkele moment gedwongen om in te grijpen. Tijdens de heenvaart voer het schip volledig autonoom en volgde een aangegeven traject en passeerde meerdere obstakels ter vermijding van aanvaring. Tijdens de terugreis werd het bestuurd door een kapitein vanuit een controlecentrum dat 50km verder gelegen is in Turku. Dit laatste wordt gezien als een onbemande vaart, het eerste als een autonome vaart. Het schip beschikt over 2 azimuth propellers van Rolls-Royce. Ook hier wordt gebruik gemaakt van Rolls-Royce *ship intelligence system* om het schip onbemand te laten varen. Samen met meerdere sensoren kan een duidelijk beeld gemaakt worden van de real time situatie met een nauwkeurigheidsgraad beter dan het menselijk oog (www.rolls-royce.com, 2018).



Figuur 3: Ferry Falco van Finn Ferries

Bron: www.bsmib.org, 2019



Figuur 4: Kapitein van de Falco in besturingspositie in het controlecentrum te Turku

Bron: Lundqvist, 2018

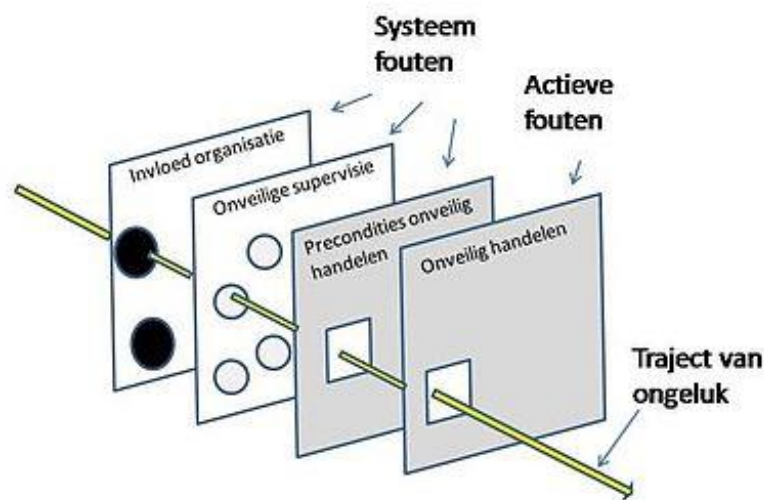
3 Ongevallen bij de scheepvaart

Het navigeren van een schip komt niet zonder gevaar. Meerdere soorten ongevallen kunnen gebeuren aan boord van of met schepen. Deze kunnen ook verschillende oorzaken hebben.

3.1 Oorzaken van scheepsongevallen

3.1.1 Gatenkaasmodel

Een ongeval wordt veroorzaakt door een opeenvolging van fouten. Dit wordt duidelijk gemaakt in het gatenkaasmodel, **Figuur 5**. Het gatenkaasmodel is een ongevallenmodel dat gebruikt wordt om aan analyse- en risico-evaluatie van ongevallen te doen. Het is een abstracte presentatie van de oorzaak en ontwikkeling van een ongeval. Aan de hand hiervan kan worden bepaald waarom en hoe een ongeval ontstaan is (Mullai & Paulsson, 2011).



Figuur 5: Het gatenkaasmodel met vier verdedigingslagen

Bron: Kok, (2012)

Het model is verdeeld in 4 lagen: de invloed van de organisatie, onveilige supervisie, voorwaarden om onveilig te kunnen handelen en uiteindelijk onveilig handelen. Deze lagen maken deel uit van het veiligheidssysteem. Een gat in een laag duidt een fout aan in die bepaalde laag. Dit kan gaan van slechte organisatie tot onveilig handelen zoals het niet volgen van veiligheidsvoorschriften. Een ongeval kan ontstaan als vier gaten in elkaars verlengde liggen. Hiermee willen we aantonen dat elke fout slechts gemaakt kan worden als in een vorig stadium ook een fout is gemaakt die invloed heeft op het volgende stadium.

Dan is er nog een verschil in de soorten lagen. De eerste drie lagen zijn fouten in het systeem of latente fouten. De laatste laag, onveilig handelen, behoort tot actieve fouten.

Actieve fouten zijn fouten die meestal directe gevolgen veroorzaken in een situatie. Zo kan een stuurman een onveilige stuurhandeling uitvoeren wat aanleiding geeft tot een aanvaring of een stranding. De effecten die actieve fouten met zich meebrengen zijn dan ook tijdelijk. Latente fouten zijn fouten in de eerste lagen van het model en zijn zwakke punten in het systeem. Deze fouten hebben een sluimerend karakter. Dit betekent dat deze fouten een meer permanent aanwezig zijn in het systeem. Ze kunnen gedurende zeer lange tijd aanwezig zijn zonder dat iemand deze opmerkt (Stein & Heiss, 2015).

Om een voorbeeld te geven.

De stuurman die de onveilige handeling uitvoert kan te vermoeid geweest zijn waardoor hij onoplettend of verstrooid reageerde. De vermoeidheid behoort tot de 3^{de} laag (voorwaarden om onveilig te handelen). Een goede toezichter zou dit moeten opmerken en hem vervangen met een andere stuurman. Hier zit dus de fout in de 2^{de} laag (onveilig toezicht), ook wel een actieve fout. De oorzaak van de vermoeidheid van de stuurman, kan liggen in het feit dat hij een te strak werkschema moet volgen en veel tijdsdruk heeft waardoor hij onvoldoende slaap krijgt en vermoeid geraakt. Dit is de fout in de 1^{ste} laag (invloed van de organisatie).

Vooraleer de latente fouten worden opgemerkt, zullen er zich eerst meerdere gelijksoortige voorvallen moeten voordoen om nadien deze fouten te kunnen oplossen. Op die manier wordt duidelijk dat de fout in het systeem zit en niet alleen te wijten is aan de actieve fouten.

Een studie van Batalden & Sydnese (2013) toont aan hoe vaak elk onderdeel van het gatenkaasmodel voorkomt bij een ongeval. Het onderzoek van 94 ongevallen laat toe 478 oorzakelijke factoren te bepalen en deze te klasseren per onderdeel van het gatenkaasmodel. **Tabel 3** geeft aan in welk onderdeel de meeste en grootste fouten worden gemaakt. Hoe groter het percentage, hoe groter de gaten in die laag waardoor ze een grotere kans hebben om te aligneren met gaten van de andere lagen.

Tabel 3: Oorzakelijke factoren van 94 ongevallen verdeeld over de modelonderdelen

Bron: bewerkt van Batalden & Sydnese (2013)

Onderdelen van gatenkaasmodel	Verdeling van de 478 oorzakelijke factoren
Invloed van de organisatie	17,8%
Onveilige supervisie	30,8%
Voorwaarden voor onveilig handelen	23,4%
Onveilig handelen	28,0%

3.1.1.1 *Invloed van de organisatie*

17,8% van de oorzakelijke factoren zijn geklasseerd als invloed van de organisatie. Dit gaat in 64,7% van de gevallen over processen in de organisatie, slechte begeleiding, training en risico management. Elementen zoals het beleid van het bedrijf, structurele en culturele zaken zorgen slechts voor 1,3%.

3.1.1.2 *Onveilige supervisie*

Met een percentage van 30,8% beschikt de onveilige supervisie over de grootste hoeveelheid aan oorzakelijke factoren. Deze factoren zijn verdeeld in supervisie aan boord en supervisie aan de wal. 45,6% van de factoren behoren tot de onveilige supervisie aan de wal en 17,7% aan boord.

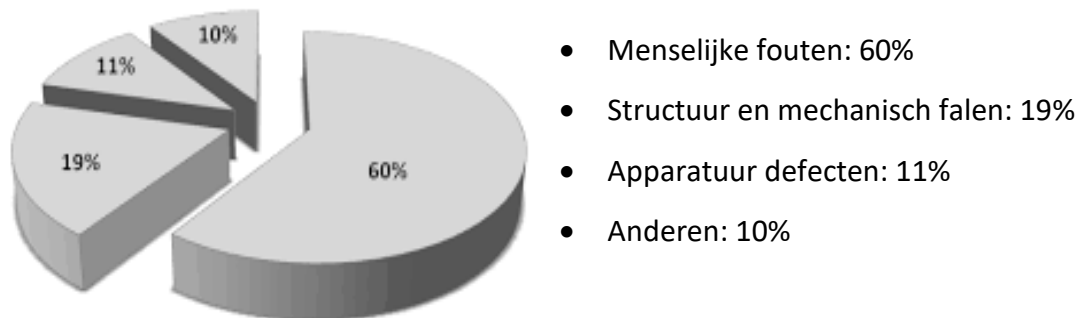
3.1.1.3 *Voorwaarden om onveilig te handelen*

Voorwaarden om onveilig te handelen behoren tot 23,4% van de 478 oorzakelijke factoren. 41,1% betreffen persoonlijke factoren zoals interactie tussen de bemanning, meer bepaald de interne en externe communicatie aan boord. Ook de coördinatie van activiteiten aan boord behoort hiertoe.

3.1.1.4 *Onveilig handelen*

Van 28% van de oorzakelijke factoren die geklasseerd worden als onveilig handelen, zijn hiervan ongeveer de helft te danken aan fouten. De andere helft komt door overtredingen.

3.1.2 Hoofdoorzaken van scheepsongevallen



Figuur 6: Verdeling van oorzaken van scheepsongevallen

Bron: bewerkt van Sulaiman, 2012

Volgens Sulaiman (2012) (**Figuur 6**) zijn 60% van de scheepsongevallen veroorzaakt door de mens. Andere bronnen (DNV GL, 2018; Prof. Negenborn, 2016) beweren zelfs dat dit percentage veel hoger ligt, namelijk tussen 75-90 procent. Het is duidelijk dat menselijke fouten de grootste oorzaak is van ongevallen bij schepen. Dit betekent niet dat de mensen bij opzet of bewust deze ongevallen veroorzaken. Hun gedrag en de prestaties hangen af van verschillende factoren. Deze factoren worden de menselijke factoren of fouten genoemd.

Voorbeelden van soorten menselijke factoren (Batalden & Sydnes 2013):

- Communicatieproblemen
- Vermoeidheid
- Gebrek aan kennis
- Verkeerde standaarden gevolgd

3.1.2.1 *Communicatieproblemen*

Aan boord van een schip is het belangrijk dat de crew goed met elkaar kan samenwerken. Dit kan niet verwezenlijkt worden als er een slechte onderlinge communicatie is. Ook de communicatie tussen andere schepen is belangrijk om ongevallen te vermijden. Om de invloed dit element te doen dalen wordt er gebruik gemaakt van de welbekende SMCP (*Standard Marine Communication Phrases*). SMCP zorgt ervoor dat zeelieden gebruik maken van gestandaardiseerde zinnen in het Engels zodat iedereen elkaar beter kan begrijpen.

Nochtans worden er ondanks het hanteren van SMCP nog steeds ongevallen veroorzaakt door slechte communicatie. Een typerend voorbeeld is het volgende ongeval met een persoon in nood. De persoon in kwestie was genaamd *Hu*. De hulpdiensten werden gecontacteerd en de crew vermeldde dat *Hu* in nood was. De hulpdiensten verstonden dit natuurlijk als 'who' waardoor er een lange tijd werd gediscussieerd. Pas toen ze beseften dat de persoon in nood *Hu* was genaamd, was hij al overleden (Abhishek, 2019).

In de studie, door Batalden & Sydnese (2013), naar de veiligheid aan boord van schepen met gebruik van de ISM-code (International Safety Management) werd vastgesteld dat communicatieproblemen behoorden tot 4,4% van de 478 oorzakelijke factoren.

3.1.2.2 *Vermoeidheid*

De scheepvaartindustrie gaat continu door. Schepen worden bestuurd door bemanningsleden die meestal 24/7 aan boord blijven. Vrije tijd en werk liggen zeer dicht bij elkaar. Terwijl de crewleden aan boord slapen, hebben ze te maken met veel prikkels. Ze slapen in een stressvolle omgeving, het schip beweegt en er is voortdurend lawaai. De nachtrust van de bemanning is snel verstoord en dat geeft ernstige gevolgen op hun prestatievermogen en vermoeidheid (Strauch, 2015).

Volgens de onderzoekers Van Dongen en Gulzenmann (2006) heeft de mens gemiddeld acht continue slaapuren nodig om goed te functioneren. Maar voor bemanningsleden is dit echter niet het geval. Volgens Strauch heeft de gemiddelde bemanning maar 6,6 uur slaap per 24 uur. Een van de dagelijkse rustmomenten moet een ononderbroken periode van minimum zes uur zijn. Er zijn uitzonderingen enkel en alleen voor noodoefeningen.

Van Dongen en Gulzenmann tonen aan dat het slaapmechanisme wordt bepaald door een tweedeling neurobiologisch proces.

Het ene proces, het homeostatisch proces of ook wel de slaapdruk genoemd, zorgt ervoor dat de druk om te slapen groter wordt naarmate men langer wakker is. Hoe hoger de slaapdruk, hoe meer moe men is. Om de slaapdruk zo laag mogelijk te houden moet men gewoon op tijd gaan slapen. Het is ook belangrijk dat men gedurende voldoende tijd ononderbroken doorslaapt, gezien hierdoor de druk wordt afgebouwd.

Het tweede proces zorgt voor de dagelijkse routine in het slapen. Het wordt ook wel de interne klok genoemd. Het wordt geregeld in de hersenen. Dit proces beïnvloedt niet alleen het slaapritme en de vermoeidheid, maar ook andere dagelijkse lichaamsfuncties zoals het metabolisme, de regeling van de lichaamstemperatuur en psychologische functies. De interne klok in het lichaam zorgt ervoor dat wanneer een persoon vermoeid is, dit altijd rond dezelfde periode van de dag zal zijn.

De meeste mensen slapen 's nachts en zijn wakker overdag. Hierdoor zijn de twee processen gesynchroniseerd met elkaar over een periode van 24 uur. De processen kunnen ook asynchroon gaan lopen door het reizen naar andere tijdzones of door het werken volgens wisselende uurroosters waardoor het werk/slaap ritme verandert. De interne klok wordt hier beïnvloed omdat deze langere tijd nodig heeft om zich aan te passen, namelijk aan een ritme van één uur per dag.

Aan boord van schepen werkt de bemanning in shiften. Hierdoor lopen de twee processen asynchroon. Wanneer men wakker is, zal de slaapdruk sneller toenemen en boven de limiet komen waardoor men dus sneller moe wordt dan op een normale dag. Met het gevolg dat de interne klok niet meer werkt op het ogenblik dat men dan gaat slapen. Deze zal ervoor zorgen dat men sneller terug wakker wordt, waardoor het homeostatisch proces niet voldoende tijd heeft gehad om de slaapdruk te verminderen (Van Dongen, 2006).

In een analyse hebben de onderzoekers Lim en Dinges (2010) aangetoond dat het totale slaaptekort op korte termijn (minder dan 48uur) grote effecten heeft op de cognitieve domeinen. Het grootste effect was op te merken bij simpele activiteiten. Ook qua graad van waakzaamheid werd een sterke daling opgemerkt. Dit alles heeft als gevolg dat vermoeidheid verantwoordelijk is voor 16% van de overledenen bij scheepsongevallen en 33% van de gewonden (Strauch, 2015).

3.1.2.3 Gebrek aan kennis en het niet volgen van de juiste standaarden

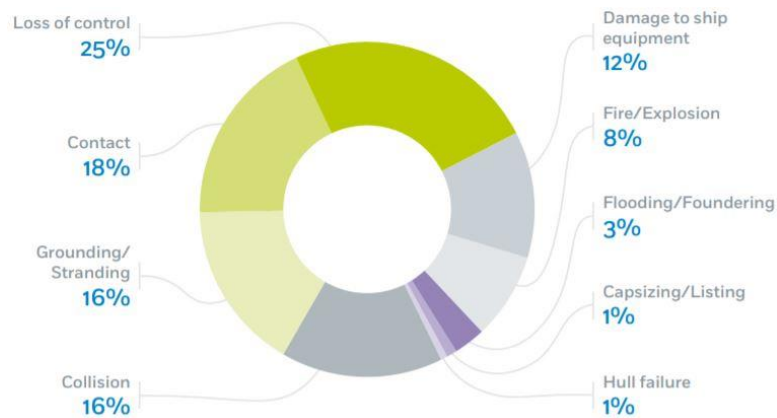
In de studie van Batalden & Sydnés (2013) wordt besproken in welke mate de kennis en handelingen van de bemanning volgens behoren zijn of niet.

Wanneer een bemanningslid weet dat de kapitein niet correct handelt, heeft hij/zij de verplichting om dit duidelijk te maken aan de kapitein, zoals voorgeschreven in sectie 5 van de ISM-code. Hoe de kapitein er nadien mee omgaat, is zijn eigen beslissing. In 42 ongevallen handelt geen enkel bemanningslid volgens dit voorschrift. Bij 25 ongevallen werden niet de juiste bevelen en instructies gevolgd.

Bij het onderzoeken van 94 ongevallen werden 478 oorzakelijke factoren gevonden. Hiervan zijn er 59 factoren, namelijk 12,3%, te wijten aan de incompetentie van de bemanning. In alle gevallen beschikte elk bemanningslid over de nodige kwalificatie en certificaten. Echter in vele gevallen hebben de rederijen onvoldoende nagegaan of ze wel écht de vereiste kennis en de vaardigheden bezaten om een schip veilig te behandelen. Vooral tijdens operationele problemen was er op te merken dat de meerderheid van de bemanning hier over onvoldoende kennis beschikte.

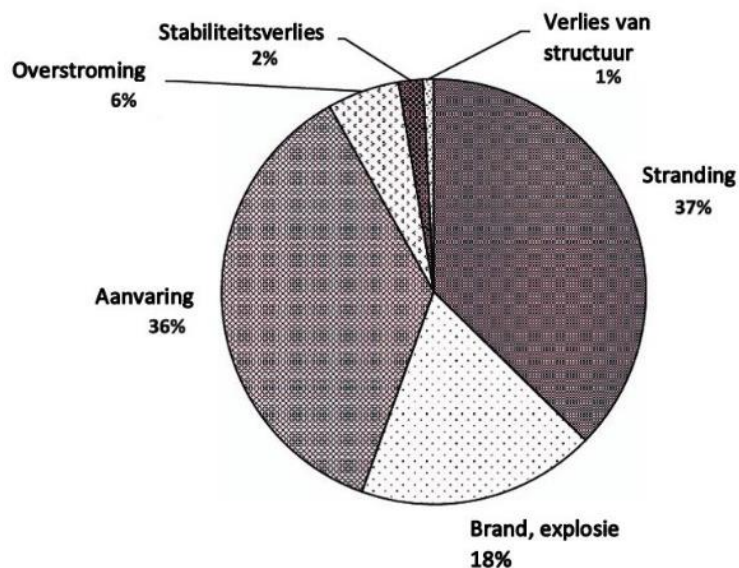
3.2 Soorten ongevallen

In volgende figuren is de onderverdeling te zien van de soorten ongevallen die wereldwijd voorkomen in de scheepvaart.



Figuur 7: Hoofdoorzaken van ongevallen (1)

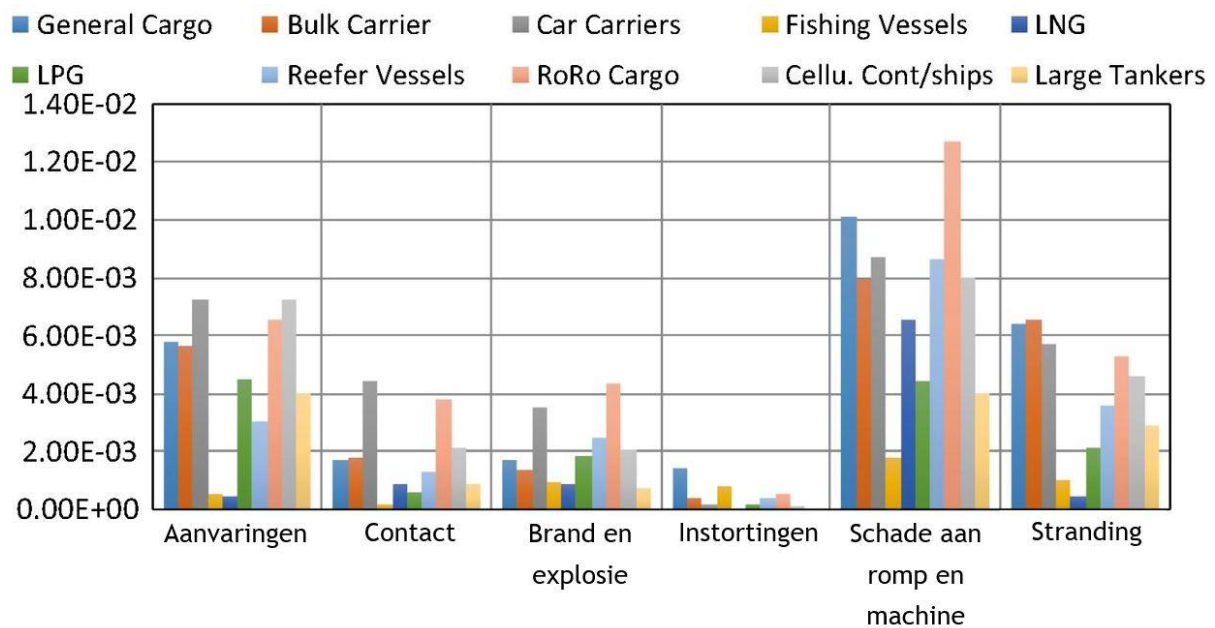
Bron: EMSA, 2015



Figuur 8: Hoofdoorzaken van ongevallen (2)

Bron: bewerkt van (Wróbel, Montewka, & Kujala, 2017)

Door de twee figuren te vergelijken zien we dat er een verschil is in waardes. Dit komt doordat **Figuur 7** uitsluitend rekening houdt met Europese incidenten terwijl **Figuur 8** een studie over incidenten over heel de wereld betreft. We kunnen algemeen vaststellen dat aanvaringen en strandingen het meeste voorkomen.



Figuur 9: Hoeveelheid ongevallen per soort ongeval en scheepstype

Bron: bewerkt van Eliopoulou et al., 2016

De data van **Figuur 9** komen van een studie die een analyse heeft gedaan over scheepsongevallen (Eliopoulou et al., 2016). Ook hier is een meerderheid aan ongevallen te zien in de categorieën van aanvaringen en strandingen.

In het algemeen is te zien dat vissersschepen en LNG (*Liquified Natural Gas*) schepen in mindere mate met ongevallen te maken krijgen. De tabel houdt rekening met de grootte en de capaciteit van het schip, met gevolg dat kleinere schepen zoals vissersschepen een minder zichtbaar effect hebben in de tabel.

3.2.1 Aanvaringen

Een ongeval wordt als aanvaring beschouwd wanneer er contact is tussen twee schepen, ongeacht of de schepen varende, ten anker of aangemeerd waren.

LNG schepen en vissersschepen behoren tot de groep met de minste aanvaringen. Containerschepen, RORO (*Roll on Roll off*) schepen, *general cargo* schepen en bulkschepen behoren tot de groep met de meeste aanvaringen.

Volgens het onderzoek is de reden hiervan vooral te wijten dat deze schepen meer frequent rondvaren in druk bevaren gebieden. Daarbij komt ook nog eens dat bulkschepen, logge en traag manoeuvreerbare schepen waardoor ze niet snel kunnen uitwijken om aanvaring te vermijden.

3.2.2 Contact

Ongevallen die onder de categorie “contact” behoren, zijn ongevallen die veroorzaakt zijn door een externe vorm anders dan een ander schip of de zeebodem. Voorbeelden hiervan zijn: de kaai, ijsbergen, blikseminslag, boeien of andere drijvende elementen in het water.

De hoeveelheid ongevallen van die aard is, zoals te zien is op **Figuur 9**, minder dan de hoeveelheid aanvaringen. De verdeling per scheepstype en de redenen zijn dezelfde als in de categorie aanvaringen.

3.2.3 Instortingen

Instortingen zijn ongevallen waarbij de schepen zinken of beschadigd geraken veroorzaakt door hevig weer, springen van pijpen, romp die in twee breekt, enz.

De oorzaak hiervan ligt vooral in de opbouw van de structuur van het schip en de scheepsleeftijd. Bij oudere schepen is de kans groter dat er schade aan de structuur van het schip kan ontstaan. Hierdoor behoren *general cargo* schepen tot de meerderheid bij dit soort ongevallen. *General cargo* schepen varen gemakkelijker langer rond dan andere schepen. Hierdoor ligt de gemiddelde leeftijd van *general cargo* schepen hoger dan het gemiddelde van de wereldhandelsvloot (UNCTAD, 2011).

3.2.4 Schade aan de romp en machine

Alle ongevallen die veroorzaakt worden door schade of defecten aan de machine of romp van het schip behoren tot deze categorie zonder dat het defect resulteert tot een aanvaring of stranding.

Zoals verwacht behoren de meeste ongevallen tot deze categorie. Schade aan de machine of romp valt onder een zeer groot bereik van ongevallen. Enkele voorbeelden zijn een defect aan de machine, schade aan de romp door staalvermoeidheid of foute constructie.

3.2.5 Strandingen

Dit gaat over ongevallen waarbij schepen hard, met hogere snelheid en gedurende een bepaalde periode de zeebodem raken. Het raken van wrakken onder water valt ook onder deze categorie.

In **Figuur 9** is te zien dat bulkschepen en *general cargo* schepen de scheepstypes zijn die het meeste stranden. Dit komt doordat ze meestal een beperkte manoeuvreerbaarheid hebben waardoor ze minder snel kunnen ingrijpen in vergelijking met een snel en flexibel manoeuvreerbaar LNG schip. In hevig weer zijn deze *general cargo* schepen en bulkschepen nog minder manoeuvreerbaar waardoor ze onbestuurbaar worden en vervolgens stranden.

3.2.6 Brand en explosies

Een ongeval dat onder de categorie brand en explosie behoort, betekent dat de brand of explosie als eerste gebeurtenis gerapporteerd wordt. Een uitzondering wordt gemaakt bij de ongevallen die als gevolg van een defect in de machinekamer een brand veroorzaken. Deze ongevallen behoren ook tot de categorie brand en explosie.

De hoogste hoeveelheid ongevallen in deze categorie zijn te vinden bij RORO schepen. Deze schepen vervoeren rollend materieel zoals auto's, vrachtwagens en andere landvoertuigen waarvan de motor gevoelig is voor brand en explosie.

Volgens Soner et al., (2015) behoren brandongevallen tot een van de meest uitdagende en fatale gebeurtenissen aan boord van schepen. De brand bestrijding vereist een onmiddellijke reactie en grote inspanning van de bemanning. Daarom moeten de nodige brandblussystemen tijdig en zonder enige onderbreking kunnen functioneren. Momenteel zijn deze systemen niet de enige brandbestrijdingsmethodes aan boord, maar is een proactieve aanpak essentieel om gevaarlijke situaties en ongevallen omtrent brand en explosies te bestrijden of te voorkomen (Kuo & Chang, 2003). Aan boord van onbemande schepen zal deze aanpak volledig moeten worden herzien.

Voorgaand overzicht van soorten ongevallen is vereist voor een goed begrip van de scheepsveiligheid in het algemeen, om zo de scheepsveiligheid bij onbemande schepen te kunnen bestuderen.

4 Invloed van onbemande schepen

Wat zijn de gevolgen ten aanzien van de scheepsveiligheid bij onbemande schepen? We maken een vergelijking met de huidige situatie bij bemande schepen om zo na te gaan of onbemande schepen al dan niet veiliger zijn.

4.1 Effect van oorzakelijke factoren op onbemande schepen

In een studie (Wróbel et al., 2017) naar de veiligheid van onbemande schepen worden de categorieën van het gatenkaasmodel samen met hun oorzakelijke factoren voorgesteld. Een samenhang van deze factoren kan immers aanleiding geven tot een ongeval. Deze factoren hebben een bepaalde impact op de veiligheid van onbemande schepen. Hiermee kan namelijk worden bepaald welke categorie de grootste impact heeft op het voorvallen van een ongeval met onbemande schepen. Deze studie focust zich op het onderzoeken in welke mate de factoren uit het gatenkaasmodel de waarschijnlijkheid op een ongeval met onbemande schepen verlaagt, neutraal houdt of verhoogt. De factoren zijn gerangschikt per laag van het gatenkaasmodel en worden in de volgende tabellen verduidelijkt.

4.1.1 Factoren met verlagende impact

Tabel 4: Factoren met verlagende impact

Bron: bewerkt van Wróbel et al., (2017)

1) Invloed van de organisatie	
<ul style="list-style-type: none">Organisatie processen	De beslissingen en regels gemaakt voor alledaagse activiteiten in het bedrijf (standaard operationele procedures en methodes).
2) Onveilig toezicht	
<ul style="list-style-type: none">Geplande onaangepaste operaties	De factoren waarbij supervisie faalt in het geschikt inschatten van een gevaar gelinkt aan een operatie leidende tot onnodig risico.
<ul style="list-style-type: none">Overtredingen aangaande supervisie	Bij beheren van organisatiemiddelen negeert de supervisor bewust instructies, begeleiding, regels of operationele richtlijnen, wat leidt tot een onveilige situatie.

3) Voorwaarden om onveilig te handelen	
• Conditie van de operatoren	Beperkingen in mentale en fysieke conditie van de individuen met negatieve impact op hun presteren.
• Menselijk gedrag	Interacties, management, supervisie, contacten tussen crew en communicatie.
4) Onveilig handelen	
• Kennisfouten	Fouten gebeuren wanneer een individu een gebrek heeft aan de kennis om een probleem routinematig op te lossen, waarbij deze aangewezen is om te werk te gaan, met trage, stapsgewijze, uitvoerige en beperkte processen.
• Fouten in gebruikelijke toepassingen	Fouten omwille van gebrekkig uitgewerkte operationele routinepraktijken of gewoontes, die door individuen regelmatig gewijzigd of niet strikt nageleefd worden.
• Uitzonderlijke overtredingen	Een éénmalige inbreuk op werkpraktijken, zoals veiligheidsvoorschriften die bewust genegeerd worden, ook al was de intentie niet om een overtreding te begaan, doch wel de taak uit te voeren.

De bovenvermelde factoren zijn factoren die een positieve invloed hebben op onbemande schepen. Aan boord van onbemande schepen hebben deze factoren een minder hoge waarschijnlijkheid op het veroorzaken van een ongeval.

Door de introductie van onbemande schepen in de scheepvaart zullen bijvoorbeeld “geplande onaangepaste operaties” geen negatieve invloed meer hebben op de veiligheid van deze schepen. Zo kan bijvoorbeeld een routeplanning op meerdere momenten en door verschillende personen geëvalueerd worden. Dit kan door het besturingssysteem van het schip zelf en de scheepsoperatoren aan de wal zoals een officier aan boord van de huidige schepen dit doet.

4.1.2 Factoren met neutrale impact

Tabel 5: Factoren met een neutrale impact

Bron: bewerkt van Wróbel et al., (2017)

1) Invloed van de organisatie	
• Beheer van organisatiemiddelen	Het geheel van beslissingen van de organisatie aangaande toewijzing en onderhoud van organisatiemiddelen zoals personeel, cash, uitrusting en faciliteiten.
• Organisatie sfeer	De werksfeer in de organisatie (cultuur, beleid, structuur).
2) Onveilig toezicht	
• Niet corrigeren van een gekend probleem	De factoren waarbij supervisie faalt in het corrigeren van gebreken in documenten, processen of procedures, of het falen om ongepaste acties van individuen via supervisie te corrigeren.
3) Voorwaarden om onveilig te handelen	
• Technologische omgeving	Kunstmatige omgevingsfactoren zoals havens, waterwegen en problemen in verband met verkeerscontrole.
4) Onveilig handelen	
• Fouten in vaardigheden	Ongewilde fouten met betrekking tot aandacht of geheugen.

Deze factoren geven geen expliciete verandering in de impact op de veiligheid van onbemande schepen. Dit betekent dat de waarschijnlijkheid dat er zich een ongeval met een onbemand schip voordoet even groot is als bij een bemand schip.

4.1.3 Factoren met een verhogende impact

De laatste groep factoren behoren tot de groep die zorgen voor een verhoogde kans op waarschijnlijkheid dat er zich een ongeval met een onbemand schip voordoet.

Tabel 6: Factoren met een verhogende impact

Bron: bewerkt van Wróbel et al., (2017)

2) Onveilig toezicht	
<ul style="list-style-type: none">• Ontoereikend toezicht	Falen aangaande: een gevaar herkennen, risico's inschatten en controleren, begeleiding, training, en overzicht voorzien, leidende tot menselijke fouten en onveilige situaties.
3) Voorwaarden om onveilig te handelen	
<ul style="list-style-type: none">• Software	Software van systemen, inclusief beleidsdocumenten, checklists, kaarten en tabellen.
<ul style="list-style-type: none">• Hardware	Uitrusting van de werkplek, zoals werkposten, schermen, besturing en zitplaatsen.
<ul style="list-style-type: none">• Fysische omgeving	Natuurlijke omgevingsfactoren die handelingen van individuen zo beïnvloeden dat deze resulteren in menselijke fouten of onveilige situaties.
4) Onveilig handelen	
Fouten in de regels	Ongeschikte inschatting van omgevingsignalen ten aanzien van de probleemoplossende regels in een bepaalde situatie.

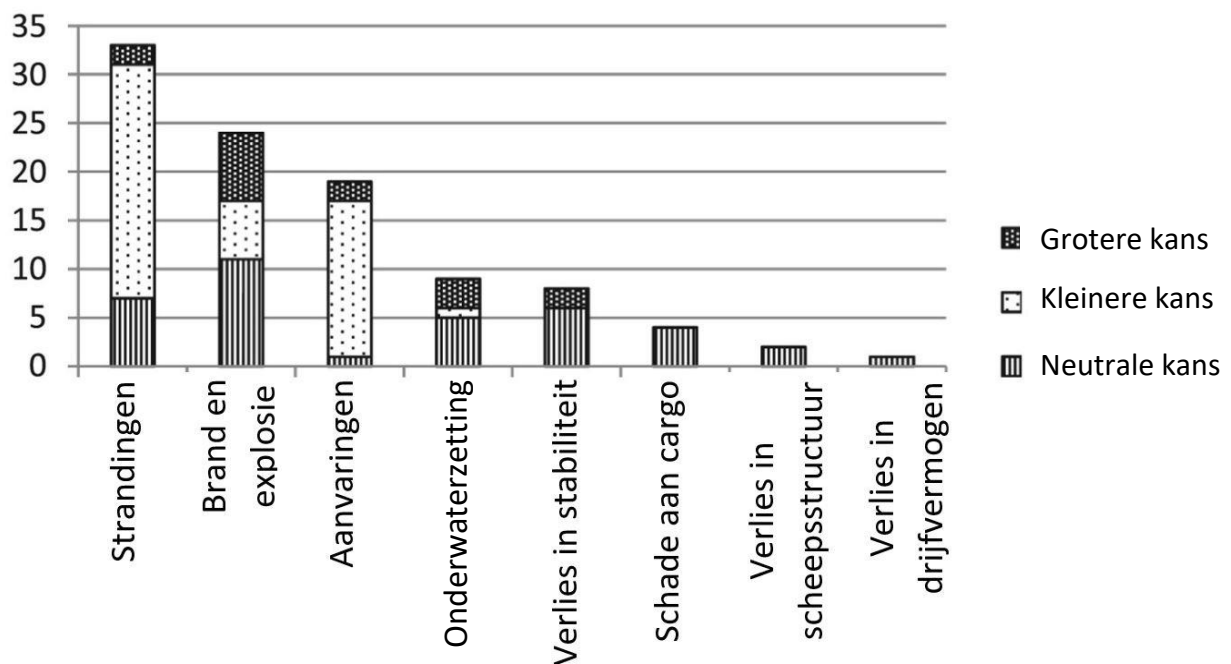
Deze verhogende factoren geven een negatief effect op de veiligheid van onbemande schepen. Bijvoorbeeld fouten in "hardware" zorgen voor een hogere waarschijnlijkheid op ongevallen met onbemande schepen. Meer bepaald door de beperkte mogelijkheid om manueel op te treden in geval van een hardware-defect. Omdat er geen personen aan boord zijn, is het moeilijk om op regelmatige basis aan onderhoud te doen en kan er niet onmiddellijk naar een oplossing gevonden worden in geval van een hardware probleem.

Louter kwantitatief beschouwd, stelt de studie van Wróbel et al. (2017) vast dat de meerderheid van de factoren, namelijk acht van de 18, zorgen voor een vermindering in de waarschijnlijkheid van ongeval bij onbemande schepen.

4.2 Invloed van onbemande schepen op de soorten scheepsongevallen

In een vorig hoofdstuk, zie sectie 3.2, zijn de verschillende soorten scheepsongevallen besproken. In dit hoofdstuk wordt bepaald wat de invloed is van onbemande schepen op de hoeveelheid scheepsongevallen verdeeld per soort.

De waarschijnlijkheid dat er zich een ongeval voordoet met een onbemand schip wordt in **Figuur 10** weergegeven. De resultaten komen van een studie van Wróbel e.a. (2017) waarbij er 100 ongevallen bestudeerd zijn en telkens per soort ongeval werden gecategoriseerd.



Figuur 10: Invloed van onbemande schepen op het zich voordoen van een scheepsongeval

Bron: bewerkt van Wróbel e.a., 2017

Figuur 10 geeft een duidelijke weergave van wat de invloed is van onbemande schepen op de waarschijnlijkheid dat er zich een scheepsongeval voordoet. Per soort ongeval is te zien wat het effect is wanneer onbemande schepen in de scheepvaart geïntroduceerd worden. Hierbij wordt ook weergegeven in welke mate een ongeval met een onbemand schip kan voorkomen. Zoals in de legende is beschreven, kunnen onbemande schepen in vergelijking met bemande schepen zorgen voor een grotere, kleinere of een neutrale kans om een ongeval in de aangegeven soort voor te hebben.

De soorten ongevallen die het meeste voorkomen en waarbij onbemande schepen voor een sterke verandering zorgen in het zich voordoen van zo een ongeval worden verder besproken. Deze soorten zijn: strandingen, brand en explosie en aanvaringen. De andere soorten ongevallen worden niet besproken omdat ze weinig tot geen verandering tonen in graad van hoeveelheid.

4.2.1 Effect op strandingen

Aan de hand van **Figuur 10** kunnen we vaststellen dat onbemande schepen voor een zeer sterke daling zorgen in het aantal strandingen met onbemande schepen. Van de 33 strandingen worden 24 (72%) veroorzaakt door officieren omwille van afleiding, het niet volgen van de aangegeven route of andere menselijke factoren (Burmeister et al., 2014). Theoretisch zijn deze menselijke taken aan boord van onbemande schepen te vervangen door computergestuurde software waardoor deze menselijke fouten bij een ongevallenanalyse voor onbemande schepen te elimineren zijn. Dit laatste geldt vooral voor autonome schepen. Bij onbemande schepen kunnen deze menselijke fouten niet volledig geëlimineerd worden omdat deze schepen worden bestuurd door een persoon aan de wal.

De zeven anderen (21%) worden als neutrale gevallen gedefinieerd omdat deze ongevallen zich zowel kunnen voordoen bij onbemande als bij bemande schepen. De meerderheid van deze neutrale ongevallen zijn te wijten aan onvolledige kaartinformatie of verouderde kaarten.

Op basis van de slechte weersomstandigheden zullen onbemande schepen over het algemeen beter presteren dan bemande schepen. Enkel en alleen in één geval (3%) is de kans op een stranding met een onbemand schip gestegen in slechte weersomstandigheden.

4.2.2 Effect op brand- en explosieongevallen

In geval van een brand of een explosie op een onbemand schip zijn de resultaten minder positief voor onbemande schepen. Uit de 100 bestudeerde ongevallen bestaan 24 daarvan uit branden of explosies. 11 van de 24 ongevallen (46%) zijn te wijten aan cargo die vatbaar is voor zelfverhitting. In deze gevallen is er geen verschil tussen onbemande en bemande schepen betreffende een kans op een brand aan boord. Anderzijds zijn er zes gevallen (25%) waarvan de brand/explosie rechtstreeks door de bemanning veroorzaakt zijn. Hier zullen onbemande schepen wel een positieve invloed hebben op de scheepsveiligheid.

De overige zeven gevallen (29%) worden veroorzaakt door technische fouten op vlak van onvoldoende onderhoud. Onderhoud aan boord van onbemande schepen is zeer moeilijk te verwezenlijken bij gebrek aan bemanning die tijdens de reis het onderhoud verzorgt.

Bij onbemande schepen kunnen tijdens de reis weinig tot geen onderhoudsacties uitgevoerd worden. Om deze reden hebben onbemande schepen een grotere kans geconfronteerd te worden met een brand of explosie aan boord. De onderhoudswerken zullen plaatsvinden in de havens en zullen dan op voorhand gepland worden (Kooij et al., 2018).

4.2.3 Effect op aanvaringen

De introductie van onbemande schepen in de scheepvaart zal volgens deze studie de grootste invloed hebben op aanvaringen. Van de 19 bestudeerde aanvaringen vinden we 16 aanvaringen waarvan de kans op een ongeval met een onbemand schip kleiner wordt. Dit betekent procentueel gezien dat 84% van deze aanvaringen vermeden kan worden door de intrede van onbemande schepen. De reden van deze grote positieve invloed en bijgevolg vermindering in aanvaringen, is dat de oorzaak van deze ongevallen te wijten is aan de crew van het schip. In de meerderheid van de ongevallen werd een ongeval veroorzaakt door het niet volgen van de veiligheidsregels meer bepaald de COLREG (*Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*). Tijdens het navigeren van het schip is het belangrijk om te allen tijde een goede look-out te behouden. Een volledig overzicht van de omgeving en situatie is essentieel om de juiste acties te plannen en vervolgens deze ook uit te voeren. Zoals voorgeschreven is in de "COLREG" moet de officier van wacht ervoor zorgen dat hij correcte look-out uitvoert. Dit betekent dat er niet enkel op de radar mag afgegaan worden, een visuele look-out van de nabije omgeving is eveneens vereist. Hoewel er bij onbemande schepen nog steeds mensen aan bod komen om de schepen te controleren en besturen, kan dit aspect van menselijke factoren grotendeels geëlimineerd worden, maar niet volledig.

4.2.4 Conclusie

Op basis van de resultaten van Wróbel e.a. (2017), kan geconcludeerd worden dat de kans op een ongeval met een onbemand schip voor de besproken soorten ongevallen kleiner is dan bij een bemand schip. Op vlak van explosie- en brandongevallen zouden onbemande schepen een groter risico hebben op het zich voordoen van deze ongevallen, namelijk 29% meer dan bij onbemande schepen. Dit soort ongevallen hebben ook het hoogste percentage waar onbemande schepen een slechtere invloed op hebben.

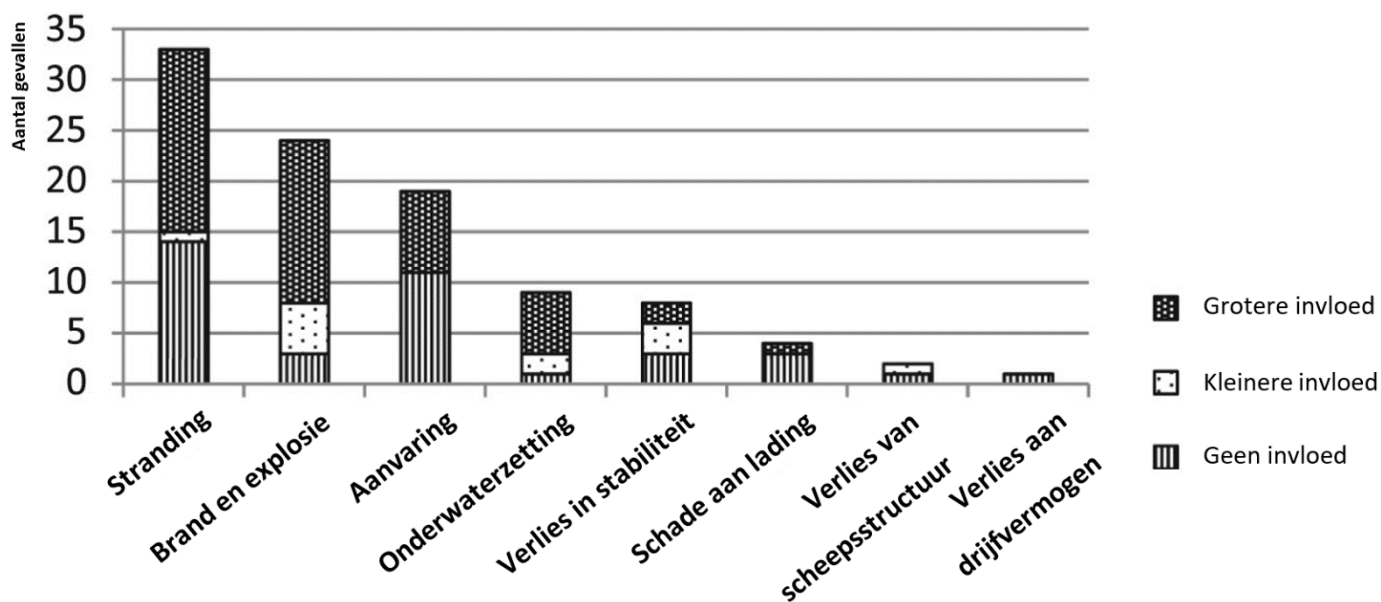
Er is ook vastgesteld dat de oorzaak van deze ongevallen vooral te wijten is aan de menselijke fouten aan boord. Hoewel bij onbemande schepen geen bemanning meer aan boord aanwezig is, betekent dit echter niet dat het aspect “menselijke factoren” volledig kan geëlimineerd worden. Zoals eerder in het document besproken is, zie 2.2, neemt deze scriptie aan dat onbemande schepen deels op afstand bediend, deels autonoom zullen rondvaren. Tijdens de autonome vaart, kunnen de menselijke fouten wel volledig geëlimineerd worden. Bij de op afstand bediende vaart, zal de controle en besturing van deze schepen worden overgebracht naar een persoon in een controlecentrum aan de wal. In dit laatste geval kunnen de menselijke fouten dus niet meer aan boord gemaakt worden, maar wel honderden kilometers verder in het controlecentrum. Telkens menselijke krachten aan het functioneren van het schip gebonden zijn, is het onmogelijk om deze factoren niet in acht te nemen (Ahvenjärvi, 2016).

4.3 Invloed van onbemande schepen op de gevolgen van scheepsongevallen

In dezelfde studie van Wróbel et al. (2017) zijn de gevolgen van scheepsongevallen bestudeerd. Deze wordt vergeleken met wat het effect op onbemande schepen zou zijn. De gevolgen van een ongeval zijn van groot belang. Enkele voorbeelden: zijn er slachtoffers, gewonden en/of doden, gevallen bij het ongeval; wat is de schade aan het schip en/of derden; wat is de totale som aan verlies die hierdoor zijn veroorzaakt?

Net zoals bij de invloed op de soorten ongevallen, zal het introduceren van onbemande schepen ook invloed hebben op de gevolgen van het ongeval. In de onderste figuur (**Figuur 11**) is te zien wat de invloed is van onbemande schepen op de gevolgen van scheepsongevallen. De invloed van onbemande schepen is verdeeld in drie niveaus namelijk; een grotere invloed, kleinere invloed en geen invloed. Door de gevolgen van huidige scheepsongevallen te vergelijken is de invloed van de onbemande schepen op deze gevolgen kunnen worden bepaald.

De gevolgen van de verschillende soorten ongevallen worden in dit deel besproken. Dezelfde soorten ongevallen worden besproken zoals in het hoofdstuk 4.2. Van dezelfde 100 ongevallen zijn ook de gevolgen ervan bepaald.



Figuur 11: Invloed van onbemande schepen op de gevolgen van huidige ongevallen

Bron: Bewerkt van Wróbel et al., (2017)

4.3.1 Gevolgen bij stranding

Volgens de studie van Wróbel et al., (2017) zijn 14 van de 33 gestrande schepen erin geslaagd om het schip drijvende te houden. Ook bij onbemande schepen zou het mogelijk zijn om het schip drijvende te houden. Bij deze gevallen zal er dus theoretisch geen verschil zijn tussen gevolgen op bemande schepen en op onbemande schepen.

Bij maar één geval is er een duidelijke kleinere invloed bij onbemande schepen. Hierbij kwam er water terecht in een mangat. Deze zal niet aanwezig zijn bij onbemande schepen waardoor de gevolgen op onbemande schepen definitief kleiner zullen zijn.

Bij wellicht 18 gevallen zouden de gevolgen van de strandingen groter zijn bij onbemande schepen. In deze gevallen was er nood aan kustpersoneel om het schip te redden en dus ook de scheepsbemanning. De externe hulpdiensten kunnen alsnog aan boord komen van een onbemand schip, maar de afwezigheid van de bemanning zal de hele operatie bemoeilijken.

4.3.2 Gevolgen bij brand en explosie

Van de 24 brand- en explosieongevallen zijn er 16 gevallen die grotere gevolgen zouden hebben bij onbemande schepen. Zo zou er meer schade aan de romp alsook de cargo kunnen veroorzaakt worden bij onbemande schepen. Dit mede doordat de bemanning mee deelneemt aan de brandbestrijding zoals *boundry cooling*, blussen waar CO₂ systemen niet geraken of gebruikt kunnen worden. Bij onbemande schepen is er geen bemanning aan boord die deze taken kunnen uitvoeren, daarom zullen de gevolgen van deze ongevallen groter zijn dan bij bemande schepen.

Bij drie gevallen was de brand zo extreem dat het schip helemaal zou uitgebrand zijn ongeacht het schip onbemand is of niet. Bij deze drie gevallen zou er dus geen invloed zijn van onbemande schepen.

Nog vijf andere gevallen zorgen voor een verbetering bij onbemande schepen. Dit is het gevolg van bemanningsleden die afwezig zijn bij de verzameling waardoor de vaste CO₂ installaties niet meteen gebruikt konden worden. Bij onbemande schepen zullen geen bemanningsleden aanwezig zijn waardoor deze vertraging niet optreedt. Deze vaste brandblussystemen kunnen dan meteen geactiveerd kunnen worden en de gevolgen van het ongeval kleiner zullen zijn.

4.3.3 Gevolgen op aanvaring

Bij 11 van de 19 ongevallen door aanvaring zou er geen invloed van onbemande schepen zijn. Deze 11 schepen hadden telkens minimale hoeveelheid schade en konden hun reis verder zetten nadat het ongeval zich voordeed.

In acht gevallen daarentegen was de schade aan de schepen zo groot dat hulp van de wal nodig was om het schip te redden. Ook waren er gevallen waarbij andere schepen overlevenden uit het water moesten redden. In deze gevallen hebben onbemande schepen een negatieve invloed omdat er nog geen manier bestaat om deze personen op te vangen uit het water zonder een bemanning aan boord. Dit geldt dan wanneer een onbemand schip in contact komt met een bemand schip en de bemanning ervan in het water terecht komt. Ook wanneer er externe hulp van aan de wal wordt verleend, zijn er nog steeds bemanningsleden nodig om deze hulp aan te nemen en de nodige taken te volbrengen. Onbemande schepen kunnen deze hulp niet verlenen waardoor de gevolgen van deze ongevallen groter zullen zijn.

5 Casestudies

Het eigen onderzoek naar de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen maakt gebruik van verschillende casussen. Deze casussen zijn ongevallen die tot de categorie “brand en explosie” behoren. Uit hoofdstuk 4 blijkt namelijk dat onbemande schepen een hogere kans zouden hebben op brandongevallen met zwaardere gevolgen. Vandaar de keuze om op deze categorie meer de focus te leggen.

Het onderzoek bestudeert tien casussen. De casussen komen van officiële onderzoekscentra met officiële onderzoeksverslagen, zoals van de overheid van het Verenigd Koninkrijk (GOV UK, 2020) en de Deense overheid (DMAIB, 2020). Elke casus bevat een korte samenvatting van het ongeval, met vermelding van de oorzaken en de gevolgen. Aan de hand van twee verschillende voorstellingen worden de feiten weergegeven. In eerste instantie wordt een flowchart opgesteld om de keten van gebeurtenissen weer te geven. Hiermee ontstaat een duidelijk overzicht van de feitelijke gebeurtenissen van het ongeval. Nadien wordt een eigen ontworpen feitenboom voorgesteld die toegepast wordt op het ongeval. Aan de hand van de feitenboom is zichtbaar welke acties ondernomen zijn, wat de gevolgen hiervan zijn en welke gevolgen zouden ontstaan indien deze acties niet worden ondernomen. Per casus wordt een analyse gemaakt van bemande schepen versus onbemande schepen. Zoals eerder vermeld in sectie 2.2, worden onbemande schepen nog steeds gesuperviseerd vanuit een controlecentrum en is de menselijke factor dus niet volledig geëlimineerd, doch sterk gereduceerd. In de analyse tussen de bemande en onbemande schepen is dit menselijke aspect in rekening gebracht.

Het onderzoek beperkt zich tot brandongevallen die uitsluitend veroorzaakt zijn door factoren zoals lading, motoren, weersomstandigheden,... Brandongevallen die rechtstreeks veroorzaakt zijn door menselijke fouten (zoals een brand die ontstaat door vonken tijdens het lassen) aan boord kunnen bij onbemande schepen worden geëlimineerd.

De casussen worden nadien onderling vergeleken zodat duidelijk wordt of de brandveiligheid van het schip positief dan wel negatief beïnvloed wordt door onbemande schepen.

5.1 Keten van gebeurtenissen

In het schema van de keten van gebeurtenissen wordt gebruik gemaakt van verschillende kleuren en lijnen. Een beperking van het onderzoek is dat vijf van de tien besproken ongevallen aan boord van RORO schepen gebeuren. Dit komt doordat, zoals in deel 3.2.6 vermeld staat, RORO schepen frequenter geconfronteerd worden met brand- en explosieongevallen. Dit maakt het moeilijker om tot een algemene conclusie te komen betreffende alle soorten schepen. Om die reden wordt dit aspect mee in rekening gebracht in het verdere onderzoek.

In het schema zijn de gebeurtenissen/feiten in vakken weergegeven, deze vakken kunnen van kleur verschillen. De volle vakken zijn gebeurtenissen die zich ook zouden voordoen aan boord van onbemande schepen.

- Een groene kleur betekent dat de gebeurtenis/feit met een positief effect op onbemande schepen doordat deze dan bijvoorbeeld wegvalt zoals "*mustering*".
- Een oranje kleur betekent dat de gebeurtenis ook kan plaatsvinden aan boord van onbemande schepen, ook wanneer dit geautomatiseerd kan worden. Bijvoorbeeld wanneer de bemanning de ventilatie sluit, kan dit ook aan boord van onbemande schepen automatisch verwezenlijkt worden.
- Een vak met een rode kleur betekent dat dit een negatieve invloed zal teweeg brengen op onbemande schepen. Bijvoorbeeld een brandbestrijdingsaanval uitgevoerd door de bemanning.

De gebeurtenissen zijn onderling verbonden met lijnen. Er zijn volle en onderbroken lijnen. De volle lijnen verbinden de gebeurtenissen wanneer het ongeval zich aan boord van onbemande schepen zou voordoen. De onderbroken lijnen verbinden dan weer de gebeurtenissen die werkelijk zijn voorgevallen tijdens het onderzochte ongeval. Het spreekt voor zich dat wanneer er bemanning aan te pas komt, deze actie niet kan doorgaan aan boord van onbemande schepen. Op een onbemand schip kan dit zowel positief als negatief uitdraaien.

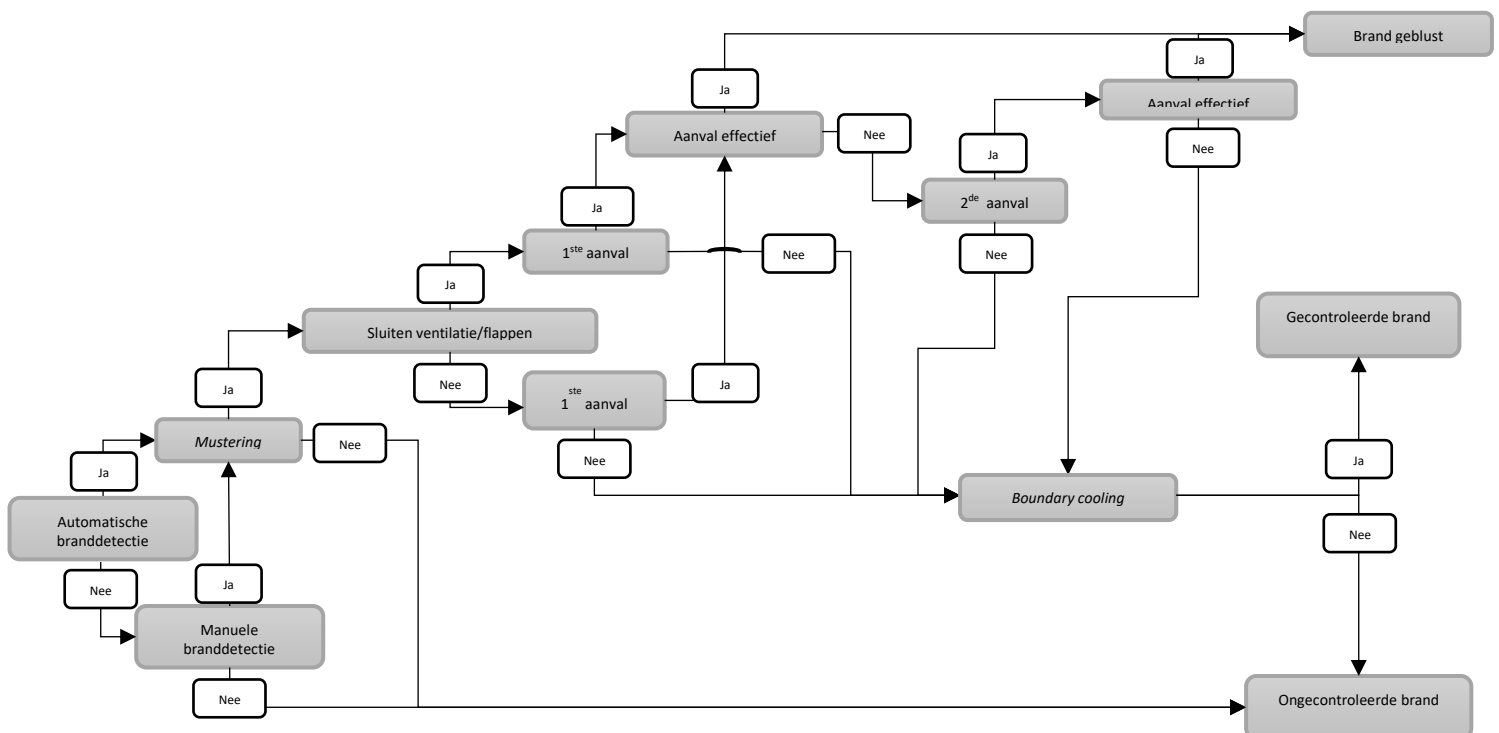
5.2 Feitenboomanalyse

Naast de “keten van gebeurtenissen” geeft een eigen ontworpen feitenboomanalyse een duidelijke vergelijking tussen de verschillende casussen. Dit is een onderzoeksmethode die wordt gebruikt bij ongevallen- en incidentenonderzoek (Ir. De Munck, 2018). Bij deze analysemethode worden visueel weergegeven:

- de feiten en ondernomen acties: verbonden door een oranje lijn
- het feitelijke resultaat: in oranje omcirkeld
- de hypothetische gevolgen indien bepaalde acties niet ondernomen worden: geen kleur.

Aan de hand hiervan wordt bepaald welke invloed onbemande schepen zouden hebben op de brandveiligheid.

In de feitenboom ligt de focus op de inspanningen om de brand te blussen of tegen te gaan. Deze feitenboomanalyse wordt op elke casus toegepast.



Figuur 12: Standaard feitenboom

Bron: eigen werk

Een aantal hoofdzaken komen in alle casussen voor:

- Branddetectie:

Er zijn twee mogelijkheden: automatische en manuele branddetectie. Bij een automatische detectie zal de brand, zoals het woord zelf zegt, automatisch gedetecteerd worden door een specifiek detectiesysteem. Een manuele branddetectie betreft de brand die door een persoon visueel wordt opgemerkt, ofwel doordat de persoon in kwestie zich fysiek in de ruimte bevindt ofwel door vaststelling van de brand op een CCTV (*closed-circuit television*).

- Een aanval

Een aanval om de brand te bestrijden kan zowel uitgevoerd worden door de bemanning als door een vast brandblussysteem. Wanneer de aanval wordt uitgevoerd, kan deze wel of niet effectief zijn. Effectief betekent dat de aanval een essentiële bijdrage heeft gehad om de brand ofwel te blussen ofwel onder controle te houden. Dit wil zeggen dat niet elke effectieve aanval zal leiden tot het blussen van een brand.

- Boundary cooling

Zoals te zien is op de standaardfeitenboom situeert *boundary cooling* zich meer naar het einde van de feitenboom. Dit om het overzichtelijk te houden. Uiteraard speelt *boundary cooling* in werkelijkheid niet alleen een rol met betrekking tot een gecontroleerde of ongecontroleerde brand, maar ook met betrekking tot het blussen van de brand (Gabites, 2015).

- Gecontroleerde/ongecontroleerde brand

Dit onderzoek spreekt van een gecontroleerde brand indien *boundary cooling* is toegepast. De ruimte waar de brand zich bevindt zal helemaal uitbranden. Indien geen *boundary cooling* toegepast is, is sprake van een ongecontroleerde brand, aangezien de brand over het gehele schip kan uitbreiden.

Door deze vier hoofdzaken ook systematisch op te nemen in de feitenboom kan een consistente vergelijking gemaakt worden. De hoofdzaken zijn in elke casus aanwezig, maar uiteraard is elk ongeval uniek waardoor er telkens andere gevolgen zullen ontstaan.

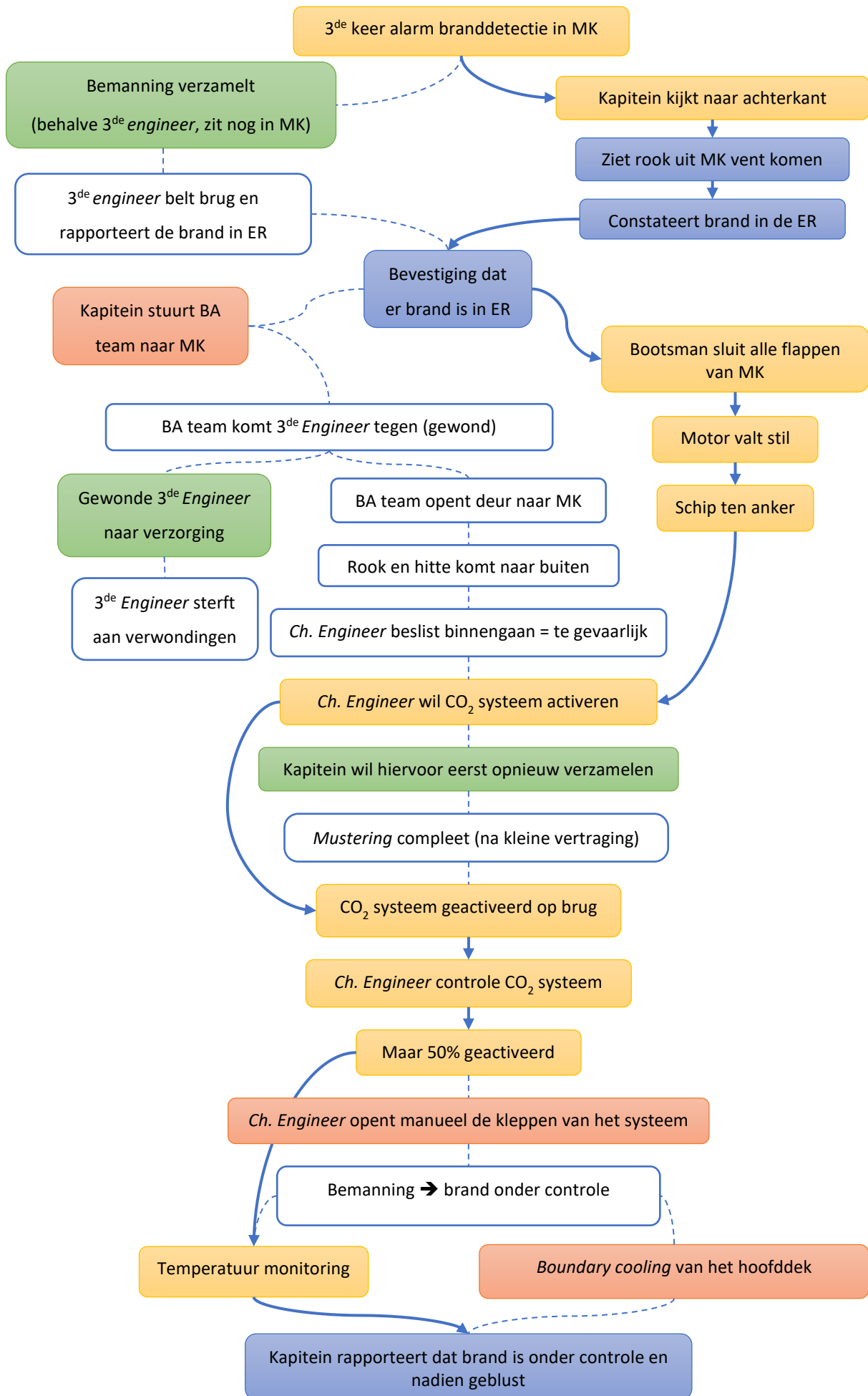
5.3 Casussen

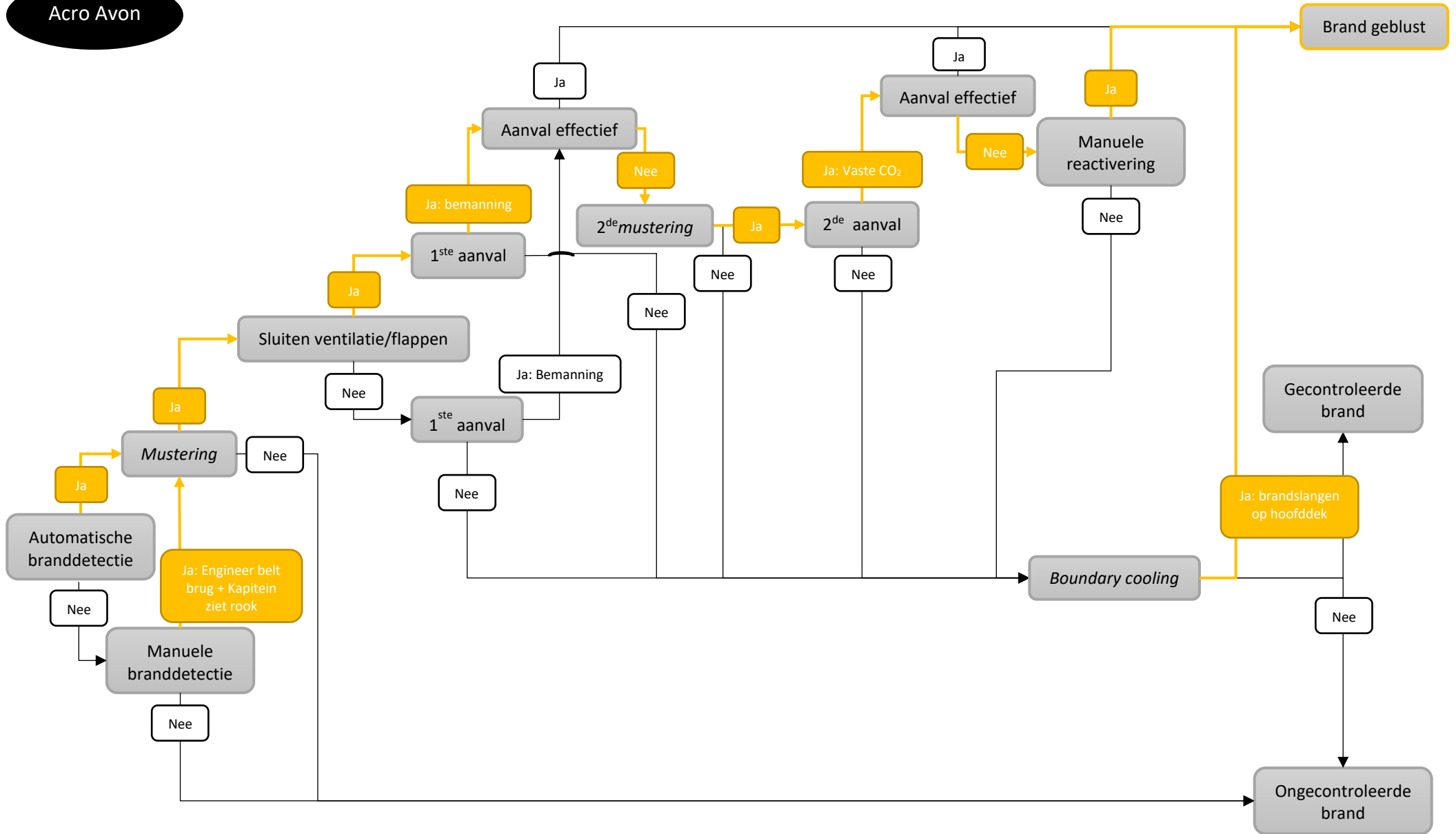
5.3.1 Casus 1: Acro Avon, brand in de machinekamer

Op 18 augustus 2015 brak een brand uit in de machinekamer van het baggerschip de Acro Avon. De derde scheepswerktuigkundige, die reparaties aan het uitvoeren was in de machinekamer, kwam hierbij om het leven. De brand werd vervolgens geblust door het vaste CO₂ systeem nadat de bemanning niet aan manuele brandbestrijding kon doen door de hitte en rook in de machinekamer. Als gevolg van de brand verloor het schip al zijn voortstuwing en ging ten anker.

De oorzaak van de brand werd door de MAIB (*Marine Accident Investigation Branch*) van het Verenigd Koninkrijk vastgesteld. Uit hun conclusie kwamen twee mogelijke oorzaken. Een van de mogelijke oorzaken was de reparatie door de derde scheepswerktuigkundige van een kapotte brandstofpijp waardoor de brandstof ontbrandde. Op onbemande schepen kunnen we deze oorzaak uitsluiten aangezien er geen reparaties kunnen uitgevoerd worden door personen aan boord. De tweede mogelijke oorzaak, met name een defecte brandstofpijp die bij een draaiende generator brandstof doet ontbranden, kan echter ook voorkomen aan boord van onbemande schepen.

Bron: GOV UK, 2020





5.3.1.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- Bemanning verzamelt

Aan boord van onbemande schepen is dit niet van toepassing. Dit wordt gecategoriseerd als een positieve invloed omwille van de tijdswinst die ontstaat door niet te moeten verzamelen voor de *mustering*. Dit aspect komt een tweede maal voor wanneer de kapitein opnieuw wilt verzamelen vooraleer hij de vaste CO₂ installatie kan activeren. Dit is ook niet nodig aan boord van onbemande schepen, waardoor dit systeem onmiddellijk kan worden geactiveerd.

- Gewonde 3^{de} engineer

De derde scheepswerktuigkundige raakt gewond en overlijdt doordat hij nog aanwezig was in de machinekamer toen de brand uitbrak. Het is evident om te zeggen dat aan boord van onbemande schepen geen slachtoffers kunnen vallen.

Nadeel bij onbemande schepen:

- Kapitein stuurt een BA team naar de MK (machine kamer)

Hier zullen onbemande schepen een negatieve invloed op hebben. Een BA-team (*breathing aparatus*) zorgt voor de lokale brandbestrijding. Dit is echter niet mogelijk aan boord van onbemande schepen. Hier is men volledig afhankelijk van vaste brandblus apparatuur.

- Ch. engineer opent manueel de kleppen van het CO₂ systeem

Aangezien aan boord van onbemande schepen enkel de mogelijkheid bestaat om apparatuur aan boord vanop afstand te bedienen, kan deze handeling niet plaatsvinden. Onbemande schepen zullen daarom moeten vertrouwen op deze vaste apparatuur en wellicht meerdere back-up systemen plaatsen.

- Boundary cooling van het hoofdek

Boundary cooling wordt gedaan om verdere verspreiding van de brand tegen te gaan.

De bemanning verwezenlijkt dit door middel van brandslangen. Aan boord van onbemande schepen kan dit niet gebruikt worden. Zoals eerder vermeld zal ook hiervoor een vast systeem gebruikt moeten worden.

Bespreking

In dit geval werd de brand geblust en onder controle gehouden na het leveren van meerdere inspanningen. Als we deze feitenboom toepassen op hetzelfde ongeval aan boord van onbemande schepen, geeft dit andere gevolgen.

We veronderstellen dat dezelfde brand uitbreekt aan boord van een onbemand schip. Ook hier zal het automatische branddetectiesysteem afgaan, een *mustering* is echter niet nodig. Zoals eerder vermeld, is een aanval door de bemanning niet mogelijk, maar kan wel onmiddellijk worden overgegaan tot het activeren van het vaste CO₂ brandblussysteem. Het feit dat het systeem niet werkt omwille van een geblokkeerde hoofdklep is even goed mogelijk aan boord van onbemande schepen. Het reactiveren van dit systeem is echter niet mogelijk en er zal dus een back-up systeem moeten worden voorzien. Dit kan een tweede vaste brandblusinstallatie zijn. In dit geval was er geen back-up systeem voorzien. Dan is er enkel nog de *boundary cooling* die ervoor zorgt dat de brand gecontroleerd blijft en zich niet verspreid over het hele schip. In dit geval wordt er aan *boundary cooling* gedaan door middel van het hoofddek te besproeien met brandslangen. Ook bij de keten van gebeurtenissen van het ongeval is vermeld dat de *boundary cooling* in dit geval niet kan toegepast worden aan boord van onbemande schepen. Hiervoor zal een vaste brandblusinstallatie moeten worden voorzien om het hoofddek nat te kunnen maken.

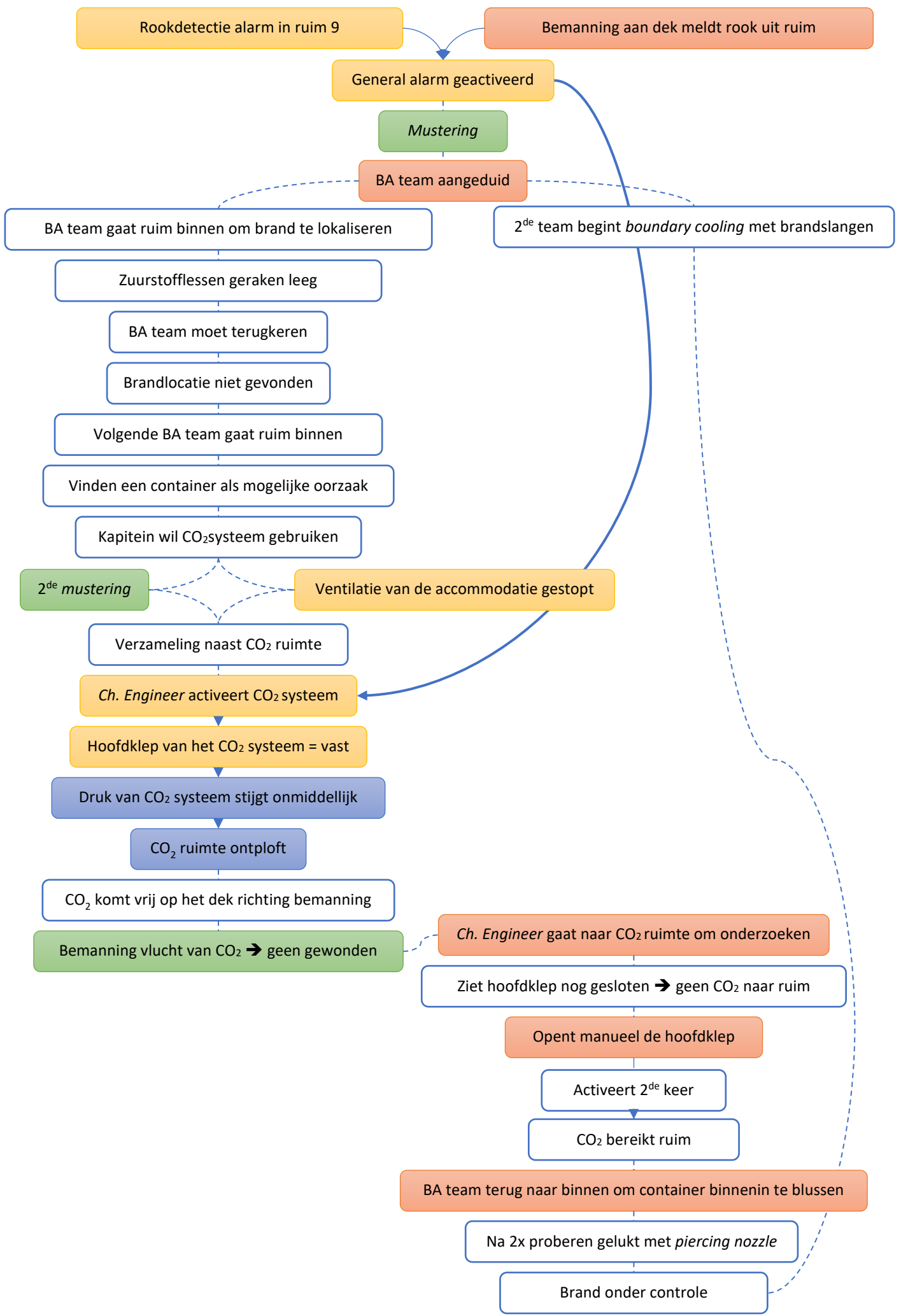
Dit betekent dat de brand kan resulteren in een ongecontroleerde brand en bijgevolg zeer nadelige gevolgen met zich meebrengt wanneer het zich zou voordoen aan boord van een onbemand schip. Indien de manuele systemen echter vervangen kunnen worden door geautomatiseerde systemen die vanop afstand of automatisch te activeren zijn, kan ook bij een onbemand schip deze brand geblust worden.

5.3.2 Casus 2: Caroline Maersk, brand in container

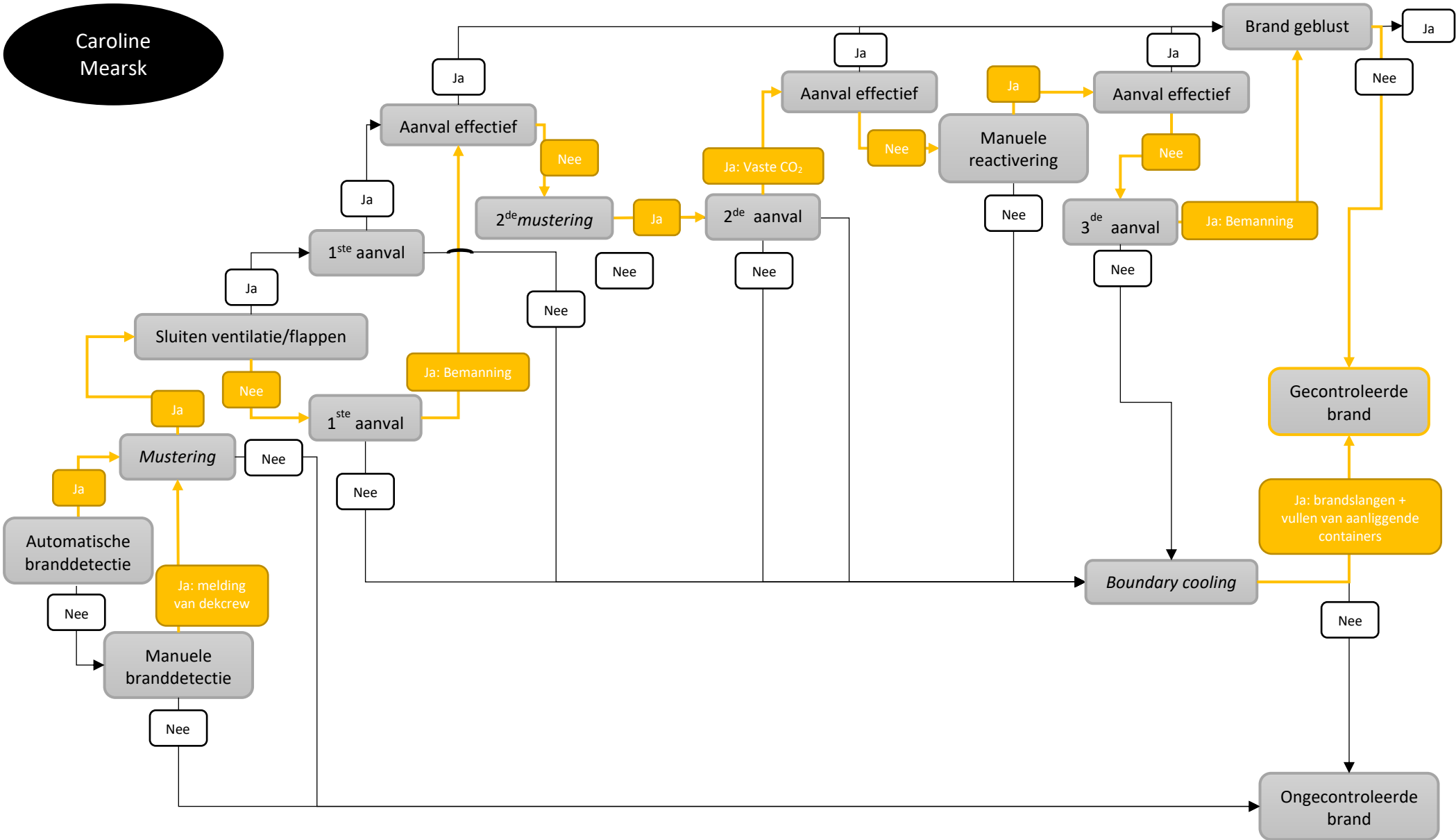
Op 26 augustus 2015 brak een brand uit in een container die getransporteerd werd door de Caroline Maersk. Op het ogenblik van de uitbraak bevond het schip zich op een afstand van ongeveer 50 Nm van de Vietnamese kust.

De brand werd veroorzaakt door de lading houtskool in de container. Deze ontbrandde spontaan en werd gezien als de onmiddellijke oorzaak van de brand. Ondanks een defect bij het activeren van het vaste CO₂-systeem slaagde de bemanning er in om de brand onder controle te houden. Aangezien een kolenbrand blijft smeulen kan deze niet volledig worden geblust totdat de lading wordt gelost. Ook bij een onbemand schip kan deze soort brand ontstaan.

Bron: DMAIB, 2020



Caroline Mearsk



5.3.2.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- Mustering

Net zoals bij de vorige casus is een *mustering* nodig om de bemanning te verzamelen. Aan boord van onbemande schepen is dit niet van toepassing en kan er ook hier tijd gewonnen worden om onmiddellijk tot de brandbestrijding over te gaan.

- Bemanning moet vluchten voor ontsnapte CO₂

Aan boord van onbemande schepen kan dit ook voorvallen, maar dan is er geen gevaar voor personen die zouden kunnen stikken in de CO₂.

Nadeel bij onbemande schepen:

- Bemanning meldt rook uit ruim

Aan boord van onbemande schepen is het niet mogelijk om een brand manueel te detecteren.

- BA team aangeduid

Het BA team wordt naar de brand gestuurd om deze specifiek te lokaliseren. Ook zorgt de bemanning voor de *boundary cooling* met behulp van brandslangen en worden de aanliggende containers gevuld met water om verspreiding van de brand tegen te gaan. Aan boord van onbemande schepen zijn beide acties niet mogelijk gezien de bemanning volledig zorgt voor de brandbestrijding. Later gaat het BA team opnieuw naar binnen om de brand in de container te blussen door middel van een *piercing nozzle*. Ook dit is niet mogelijk aan boord van onbemande schepen.

- Ch. Engineer opent manueel hoofdklep

Een controle van het systeem is mogelijk aan boord van onbemande schepen op basis van sensoren om te controleren of het systeem correct is geactiveerd. Wanneer te zien dat een klep niet correct is geopend, kan enkel worden overgegaan naar een 2^{de} back-up systeem. Het manueel openen van de hoofdklep zal dus niet mogelijk zijn aan boord van het onbemande schip.

Bespreking

Aan de hand van de feitenboom kunnen we nagaan welke invloed onbemande schepen op dit ongeval zouden hebben.

In een onbemande context is er uitsluitend een automatische branddetectie. Doordat de rook ook zichtbaar was aan dek, zouden naast sensoren ook camera's op dek deze rook eveneens kunnen detecteren. Vervolgens zal ook hier geen *mustering* nodig zijn en kan er meteen overgegaan worden tot het sluiten van de ventilatie. In dit geval is dit echter niet van toepassing. Het gaat hier over een brand in de ladingsruimte van een containerschip, waardoor de eerste aanval meteen kan doorgaan. Op een onbemand schip kan de bemanning vervangen worden door een vast brandblussysteem. In deze casus wordt er gebruik gemaakt van een vaste CO₂ installatie. Na activering ontploft het systeem. Dit kan zich ook voordoen aan boord van onbemande schepen, maar reactivering zoals in deze casus gebeurt, is niet mogelijk. Hierdoor is de brand enkel nog te controleren door middel van *boundary cooling*. Deze wordt verwezenlijkt door de bemanning zelf. Het vullen van de aanliggende containers is niet mogelijk aan boord van onbemande schepen tenzij de structuur van de containers ook verandert. Een vast sprinklersysteem is wel mogelijk.

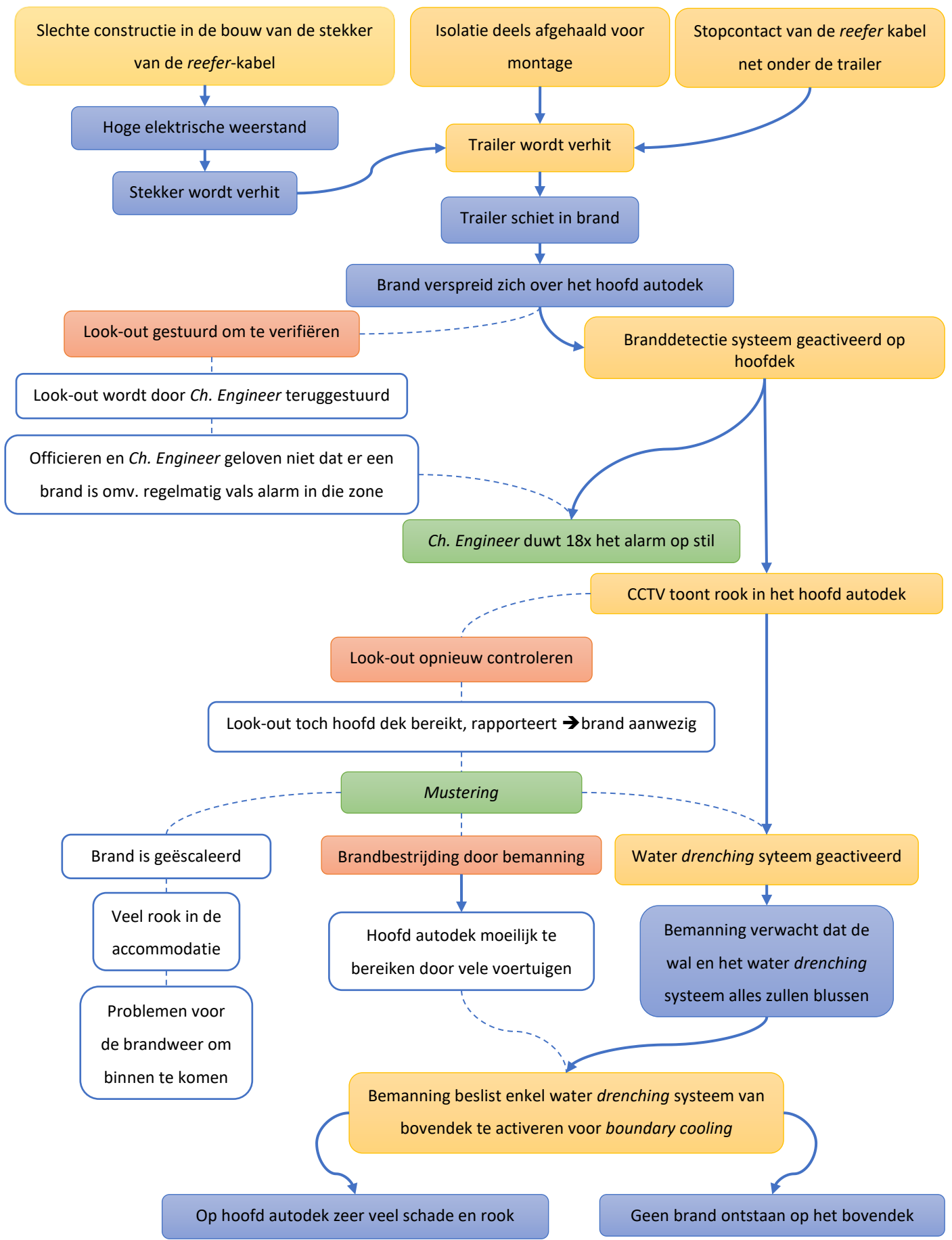
Wanneer we al deze stappen volgen, zal ook hier de brand aan boord van een onbemand schip eerder uitdraaien tot een ongecontroleerde brand of tot een door middel van vaste sprinklerinstallatie gedeeltelijk gecontroleerde brand.

5.3.3 Casus 3: Commodore Clipper, brand in *reefer* trailer

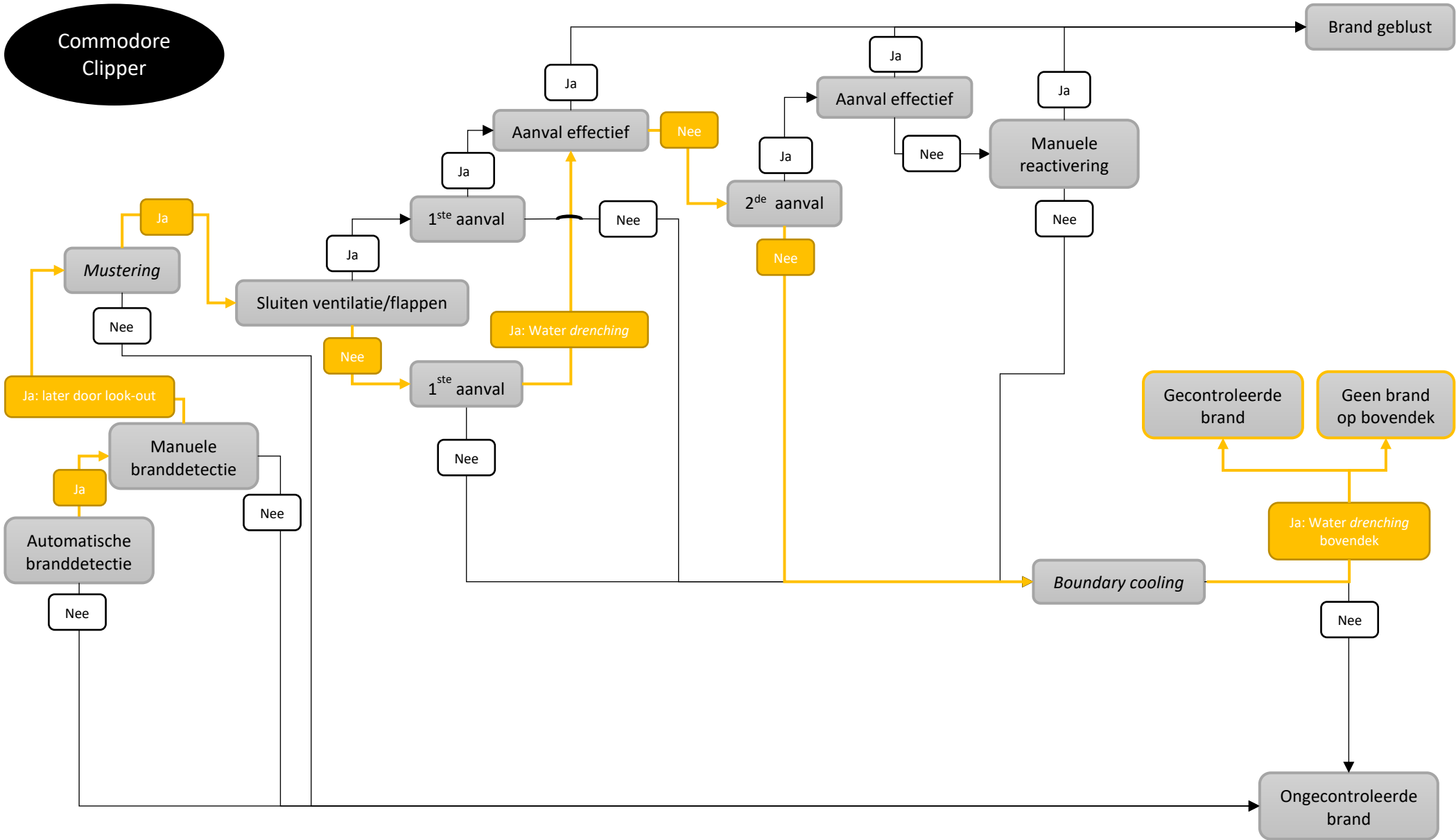
Op 16 juni 2010 brak er brand uit op het hoofddek op de RORO-ferry, Commodore Clipper. Het hoofddek was volgeladen met vrachtrailers. De brand werd veroorzaakt door een elektrische fout in de aansluiting van een *reefer* trailer aan de stroomvoorziening van het schip. Hierdoor geraakte deze aansluiting oververhit en vatte de trailer vuur.

De brand kon door de bemanning niet worden geblust, maar wel onder controle worden gehouden. Nadat het schip aanmeerde in Portsmouth, kon de brandweer aan boord komen om de verdere brandbestrijding uit te voeren.

Bron: GOV UK, 2020



Commodore Clipper



5.3.3.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- Mustering

Nadeel bij onbemande schepen:

- Look-out 2x gestuurd om brand te verifiëren
- Brandbestrijding door bemanning

Bespreking

Wanneer het branddetectiesysteem afslaat, wordt onmiddellijk een look-out gestuurd voor een visuele check op de plaats waar de brand zich zou moeten bevinden. Dit is niet mogelijk aan boord van onbemande schepen waar enkel een automatische detectie kan plaatsvinden. Vervolgens kan wederom de *mustering* geschrapt worden. Het schip maakt gebruik van een vast water *drenching* systeem, hierdoor worden er geen brandflappen gesloten of ventilatie gestopt. Aan boord van onbemande schepen kan deze methode van brandbestrijding ook gebruikt worden. In dit geval is dit echter niet genoeg om de brand op de Commodore Clipper te blussen. De crew beslist om geen manuele brandbestrijding te doen omwille van de moeilijke bereikbaarheid van de trailer. Dit brengt ons tot de *boundary cooling* die tot stand is gebracht door het activeren van een tweede water *drenching* systeem op het bovendeck. Hierdoor werd de brand beperkt tot enkel het hoofddek waar hij uitbrak, met het gevolg dat er op dit dek veel schade en rook ontstond.

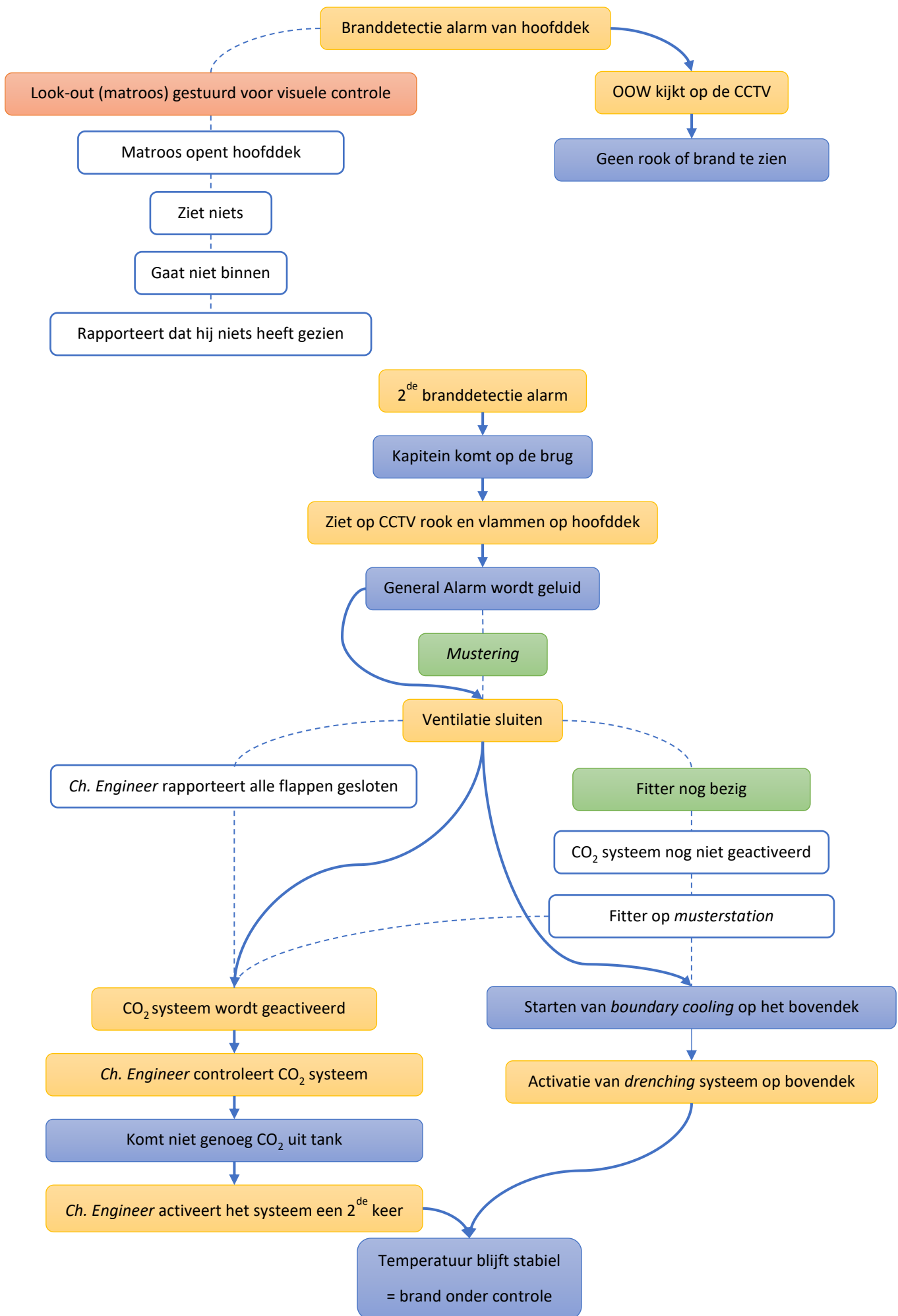
Op onbemande schepen kan *boundary cooling* ook uitgevoerd worden. Op die manier zal dit ongeval gelijkaardige gevolgen met zich meebrengen aan boord van een onbemand schip. Water *drenching* systemen kunnen aan boord van onbemande schepen veel sneller geactiveerd worden door het elimineren van de *mustering*. Echter moet het water *drenching* systeem nog steeds gecontroleerd worden. Zo moet er bijvoorbeeld voldoende waterafvoer zijn op het dek zodat geen vrijvloeistofoppervlak gecreëerd wordt. Dit kan met sensoren of visuele controle aan de hand van camera's.

5.3.4 Casus 4: Corona Seaways, brand op autodek

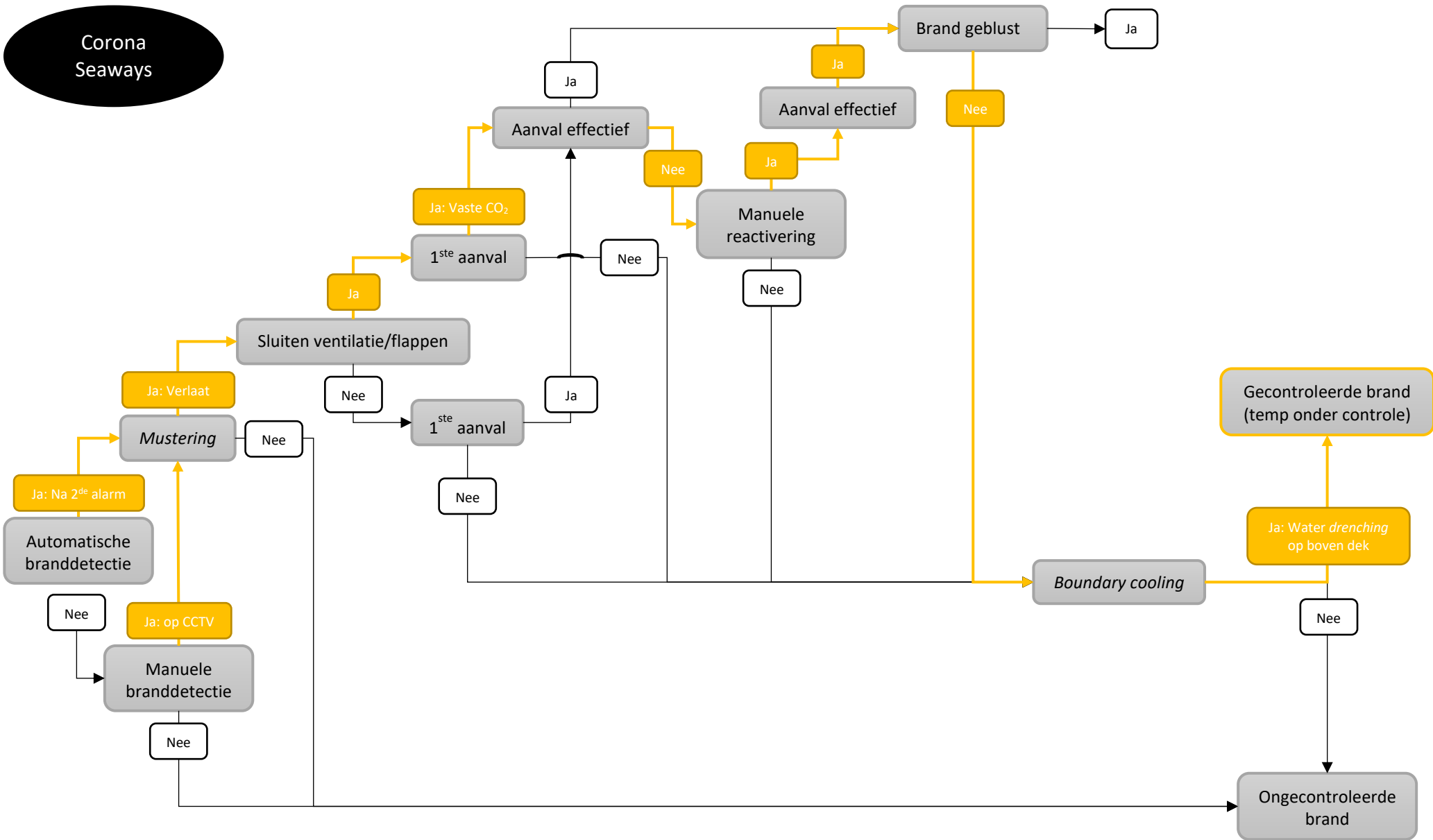
Op 4 december 2013 brak een brand uit op het hoofddek van de RORO ferry, de Corona Seaways tijdens een oversteek. De bemanning verzamelde, sloot al de ventilatie en flappen en begon met *boundary cooling*. De vaste CO₂ installatie werd geactiveerd om de brand te blussen. Door indicatie van een constante temperatuur op het hoofddek werd vastgesteld dat de brand onder controle was. Het schip kwam aan in Helsingborg, Zweden, waar de hulpdiensten aan boord konden komen om de brand volledig te blussen.

De brand werd veroorzaakt door een elektrisch defect in de motor van een oude vrachtwagen die zich bevond op het hoofd autodek.

Bron: GOV UK, 2020



Corona Seaways



5.3.4.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- Mustering

In dit geval was een *mustering* nodig om het vaste CO₂ systeem te kunnen activeren. Doordat de fitter nog bezig was met het sluiten van de ventilatieflappen was deze nog niet aanwezig op zijn *musterstation* met als gevolg dat het CO₂ systeem nog niet geactiveerd kon worden. Bij onbemande schepen kan het CO₂ systeem onmiddellijk geactiveerd worden, waardoor de effecten van de brand sneller kunnen worden afgezwakt.

Nadeel bij onbemande schepen:

- Look-out gestuurd voor een visuele controle

Wanneer het eerste branddetectiealarm afgaat, wordt meteen een look-out gestuurd naar de plaats van de branddetectie. Dit is echter niet mogelijk aan boord van onbemande schepen. Hoewel de look-out wordt gestuurd, stelt hij geen brand vast. Dit komt doordat het hoofddek moeilijk te betreden is omwille van de vele voertuigen die op het hoofddek gestockeerd zijn. Dit maakt dat het verschil met onbemande schepen minder groot wordt.

Bespreking

Wanneer we de feitenboom volgen zien we dat de brand pas na het tweede branddetectiealarm is ontdekt. Bij het eerste alarm werd zowel een look-out gestuurd als een inspectie van de CCTV. Na deze inspecties was er nog geen brand vastgesteld. In deze casus had de bemanning het vermoeden van een vals alarm. Aan boord van onbemande schepen kan dit ook het geval zijn. Maar na een tweede branddetectiealarm wordt de brand ontdekt via de CCTV, welke ook kan gebruikt worden op een onbemand schip. Zoals eerder besproken, kan de *mustering* geëlimineerd worden waardoor meteen kan overgegaan worden tot het afsluiten van de ventilatie. Aan boord van onbemande schepen, kan dit tot stand gebracht worden door middel van automatische sluitingsmechanismen.

Vervolgens volgt de eerste aanval. Ook aan boord van de Corona Seaways wordt er geopteerd om onmiddellijk het vaste CO₂ systeem te activeren. Hiervoor moet echter opnieuw verzameld worden, wat aan boord van een onbemand schip niet hoeft. Na het activeren van het CO₂ systeem, voert de hoofdwerktuigkundige een controle uit en constateert dat het systeem niet de volledige hoeveelheid aan CO₂ heeft kunnen uitsturen naar de brand. De hoofdwerktuigkundige activeert manueel het systeem voor een tweede keer met als gevolg dat het nu wel de plaats van de brand volledig bereikt. Ondanks dat de volledige hoeveelheid toch over het hoofdek verspreid wordt, is de brand nog niet volledig geblust. Maar samen met het activeren van het vaste water *drenching* systeem op het boven dek als *boundary cooling*, kan de brand onder controle worden gebracht.

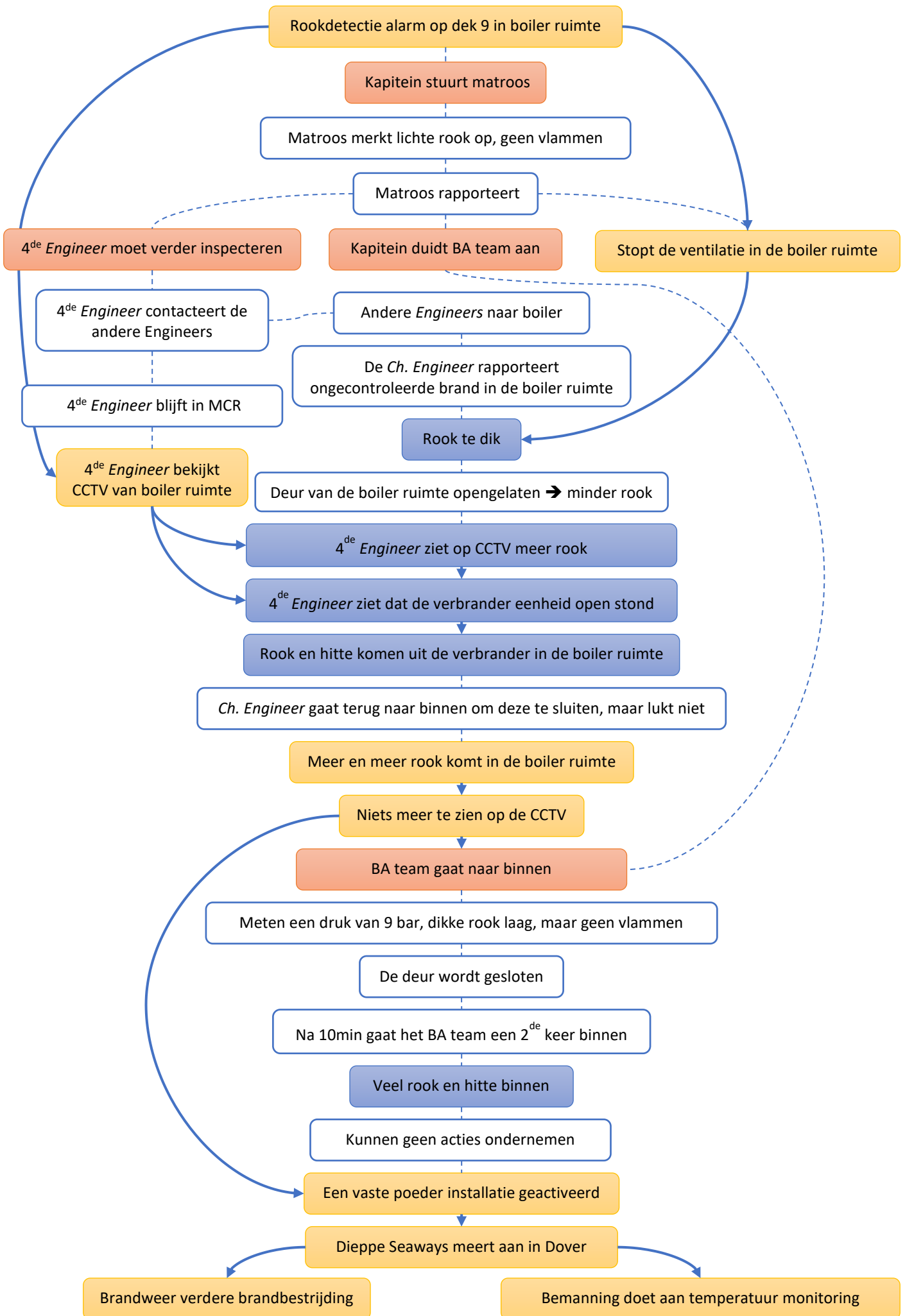
Aan boord van onbemande schepen kunnen dezelfde acties worden toegepast. Stel dat dit ongeval zich voordoet aan boord van een onbemand schip, dan kunnen we zeggen dat de kans groter is op positievere gevolgen dan bij het huidige ongeval. Dit komt doordat de ondernomen acties op de Corona Seaways vergelijkbaar zijn met de acties die zouden genomen worden op een onbemand schip. Enkel zal een onbemand schip niet gehinderd worden door *mustering* en het manueel sluiten van ventilatieflappen, dit laatste kan automatisch geopereerd worden. Hierdoor kunnen de aanvallen om de brand te blussen sneller aanvatten en de situatie dus sneller onder controle gehouden worden. Ook het CO₂-systeem kan aan boord van een onbemand schip vanop afstand gereactiveerd worden.

5.3.5 Casus 5: Dieppe Seaways, brand in boiler ruimte

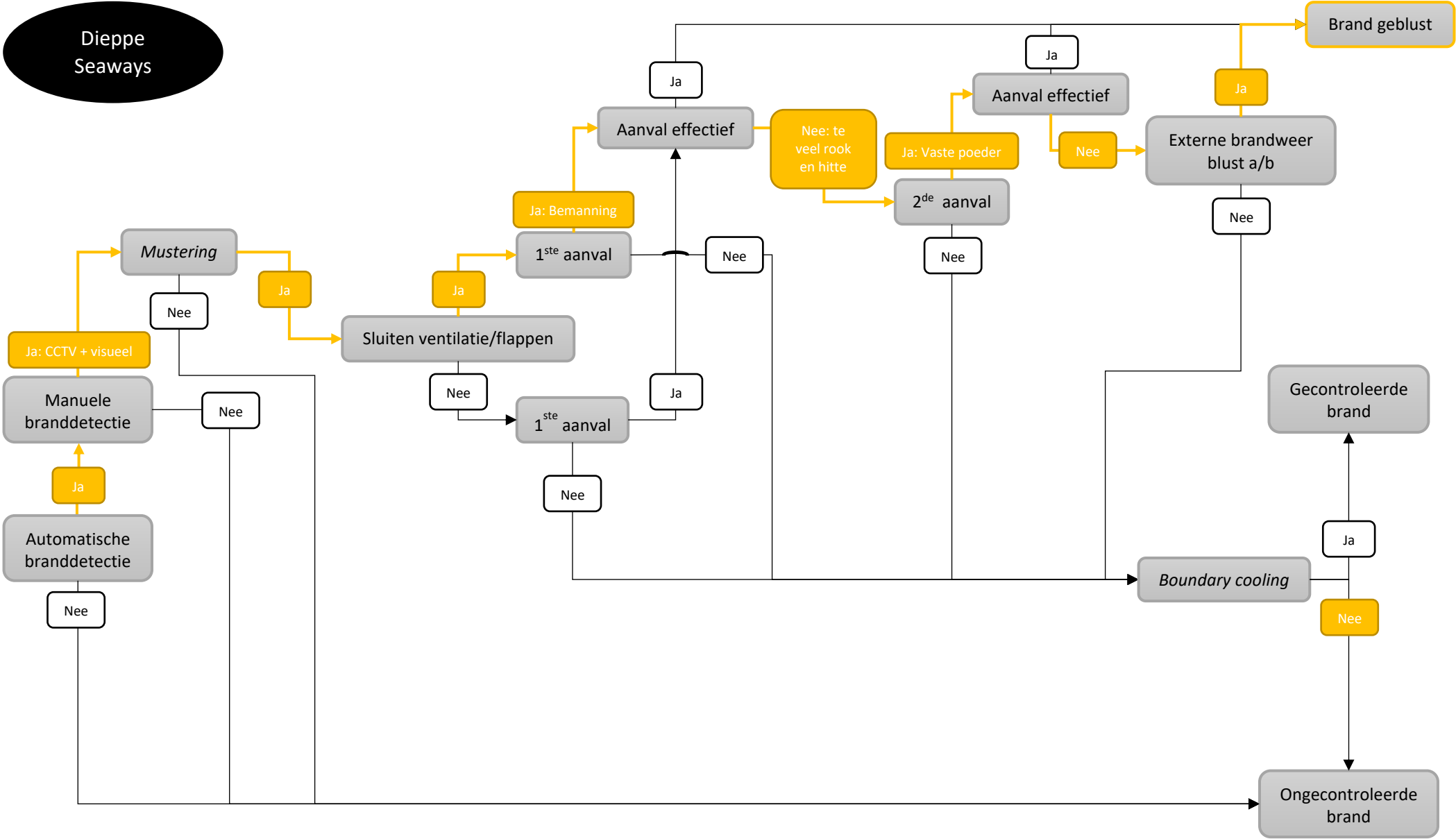
Op 1 mei 2014 brak een ongecontroleerde brand uit op de Dieppe Seaways. De brand bevond zich in de boiler ruimte waar vlammen uit de ketel van de verbrander kwamen. De bemanning probeerde de brand te blussen door het toepassen van verschillende brandblusmethodes. Deze methodes waren niet voldoende om de brand te blussen of onder controle te krijgen omwille van een openstaande klep van de verbrander. De brand werd uiteindelijk geblust door de externe hulpdiensten aan de wal wanneer het schip aanmeerde in de haven van Kent.

Een scheur in de thermische olie verwarmers werd vastgesteld als oorzaak van de brand.

Bron: GOV UK, 2020



Dieppe Seaways



5.3.5.1 Analyse bemande versus onbemane schepen

Voordeel bij onbemane schepen:

In dit ongeval zijn geen gebeurtenissen of feiten waarop onbemane schepen een positievere invloed op zouden hebben. Wat wel voordelig is dat er tijd wordt gewonnen doordat de vaste brandblussystemen onmiddellijk geactiveerd kunnen worden

Nadeel bij onbemane schepen:

- Kapitein stuurt matroos

Net zoals bij de vorige casus is het sturen van een persoon naar de plaats waar de brand wordt gedetecteerd, niet mogelijk.

- 4^{de} Engineer moet verder inspecteren

Doordat de matroos geen brand constateert, wordt de vierde werktuigkundige gestuurd om de situatie beter te onderzoeken. Dit is gelijkaardig aan het voorgaande en ook niet mogelijk aan boord van onbemane schepen.

- Kapitein duidt een BA team aan.

Net zoals het sturen van een matroos om de zaak te inspecteren, is het niet mogelijk om aan boord van onbemane schepen een BA-team aan te wijzen. En dus ook geen brandbestrijding kan doen

Bespreking

De brand wordt automatisch gedetecteerd en vervolgens ook manueel door de scheepswerktuigkundigen en op de CCTV. Aan boord van een onbemand schip zullen beide zaken doorgaan, want de CCTV kan worden gebruikt aan boord van onbemande schepen. Als gevolg van de manuele detectie vindt een *mustering* plaats, die ook hier kan geëlimineerd worden. Na het sluiten van de ventilatie wordt een eerste aanval door de bemanning uitgevoerd. Door de hitte en vele rook wordt deze echter afgebroken. Ook aan boord van een onbemand schip is er geen mogelijkheid om deze manuele brandbestrijding toe te passen. Daarom wordt als tweede aanval het vaste poedersysteem geactiveerd, maar ook deze volstaat niet om de brand te blussen. Aan boord van een onbemand schip kan deze installatie onmiddellijk worden geactiveerd waardoor de brand minder lang ongecontroleerd blijft branden. Dit kan alsnog onvoldoende zijn om de brand te blussen.

Dankzij het snelle optreden van de kapitein die besloot om onmiddellijk naar de dichtstbijzijnde haven te varen, kon het schip snel aanmeren en konden de externe hulpdiensten aan boord komen. Ook bij een onbemand schip kunnen deze hulpdiensten aan boord komen wanneer het schip aan de kade ligt. Een ander belangrijk aspect is dat er geen *boundary cooling* werd toegepast waardoor de brand zonder de assistentie van de externe hulpdiensten een zeer grote kans had om te evolueren tot een ongecontroleerde brand.

Aan boord van een onbemand schip zullen dezelfde stappen ondernomen worden. Alleen zal ook in dit geval tijd gewonnen kunnen worden door onmiddellijk over te gaan tot het activeren van de vaste brandblusinstallatie. Ook is er aan boord van onbemande schepen de mogelijkheid om te kiezen voor een efficiëntere brandblusmethode zoals CO₂.

5.3.6 Casus 6: Oscar Wilde; het falen van vaste schuim installatie

Op 2 februari 2010 brak een brand uit in de tweede machinekamer aan boord van de RORO ferry, de Oscar Wilde. De brand ontstond in de *diesel alternator fuel supply module* en verspreidde zich over de hele ruimte. Als brandbestrijdingsmethode werd de vaste brandblusinstallatie met *high expansion foam* geactiveerd. Deze methode faalde om de brand te blussen en de brand werd nadien geblust door de bemanning. Bron: GOV UK, 2020

5.3.6.1 Analyse bemande versus onbemane schepen

Voordeel bij onbemane schepen:

Ook in dit ongeval is er geen sprake van bepaalde gebeurtenissen waarbij onbemane schepen een positievere invloed op hebben.

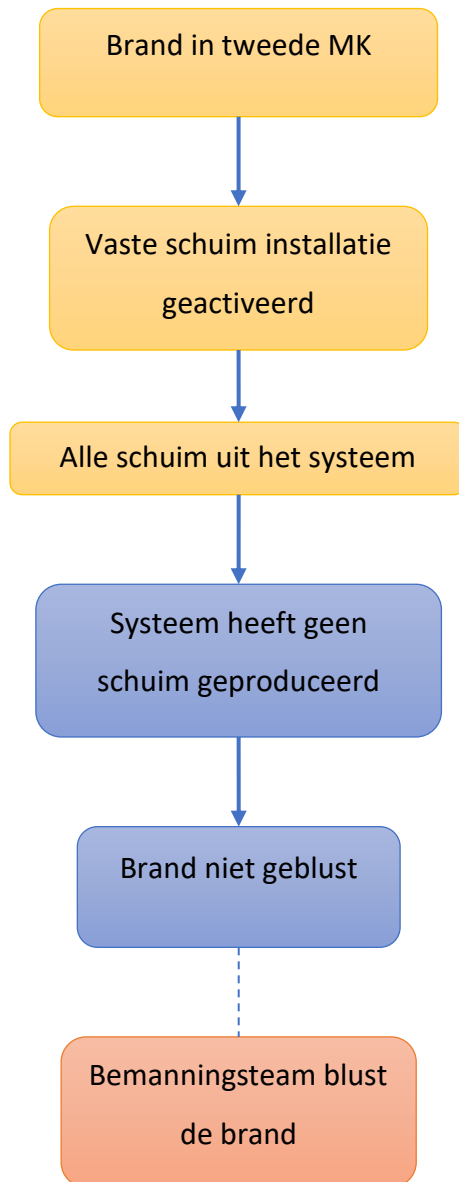
Nadeel bij onbemane schepen:

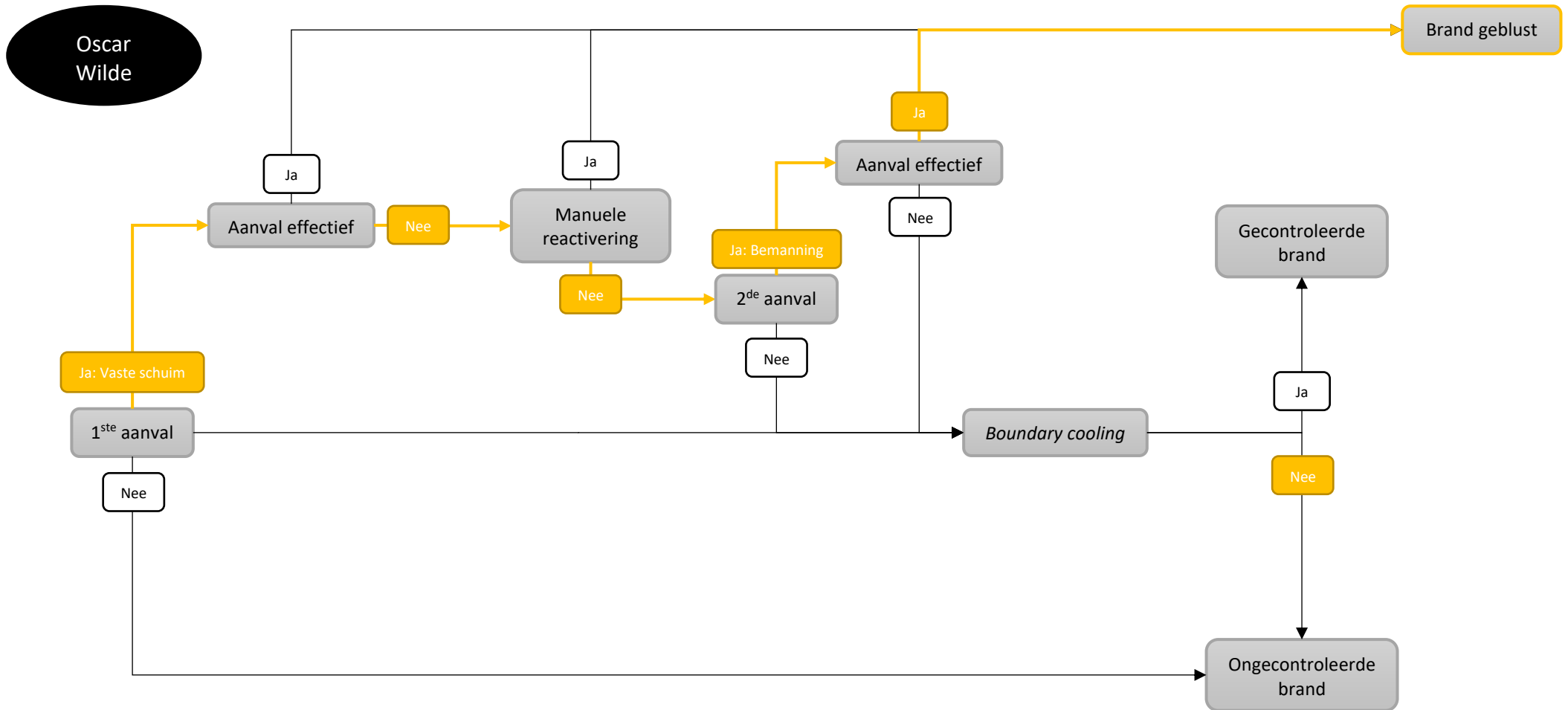
- Bemanning blust de brand

Het spreekt voor zich dat dit niet mogelijk is aan boord van onbemane schepen en dus gezien wordt als een negatief feit.

Bespreking

Voor de feitenboom van dit ongeval wordt een iets andere opbouw gehanteerd. Omwille van het feit dat er in dit geval meer focus wordt gelegd op het falen van de vaste installatie. Er is geen aanwijzing van een automatische of manuele detectie van de brand. Bij de eerste aanval wordt meteen de vaste installatie met schuim geactiveerd, welke ook mogelijk is aan boord van onbemane schepen. Deze aanval was niet effectief doordat het systeem geen schuim produceerde tot aan de *nozzles*. Het systeem wordt geen tweede keer geactiveerd, maar er wordt wel een tweede aanval tot stand gebracht. Deze aanval wordt echter uitgevoerd door de bemanning, wat niet mogelijk is aan boord van een onbemand schip. De bemanning slaagt er vervolgens in om de brand te blussen. Een onbemand schip is dus nog afhankelijk van de al dan niet toegepaste *boundary cooling*. In dit geval is deze niet van toepassing, waardoor de brand aan boord van een onbemand schip zal leiden tot een ongecontroleerde brand.





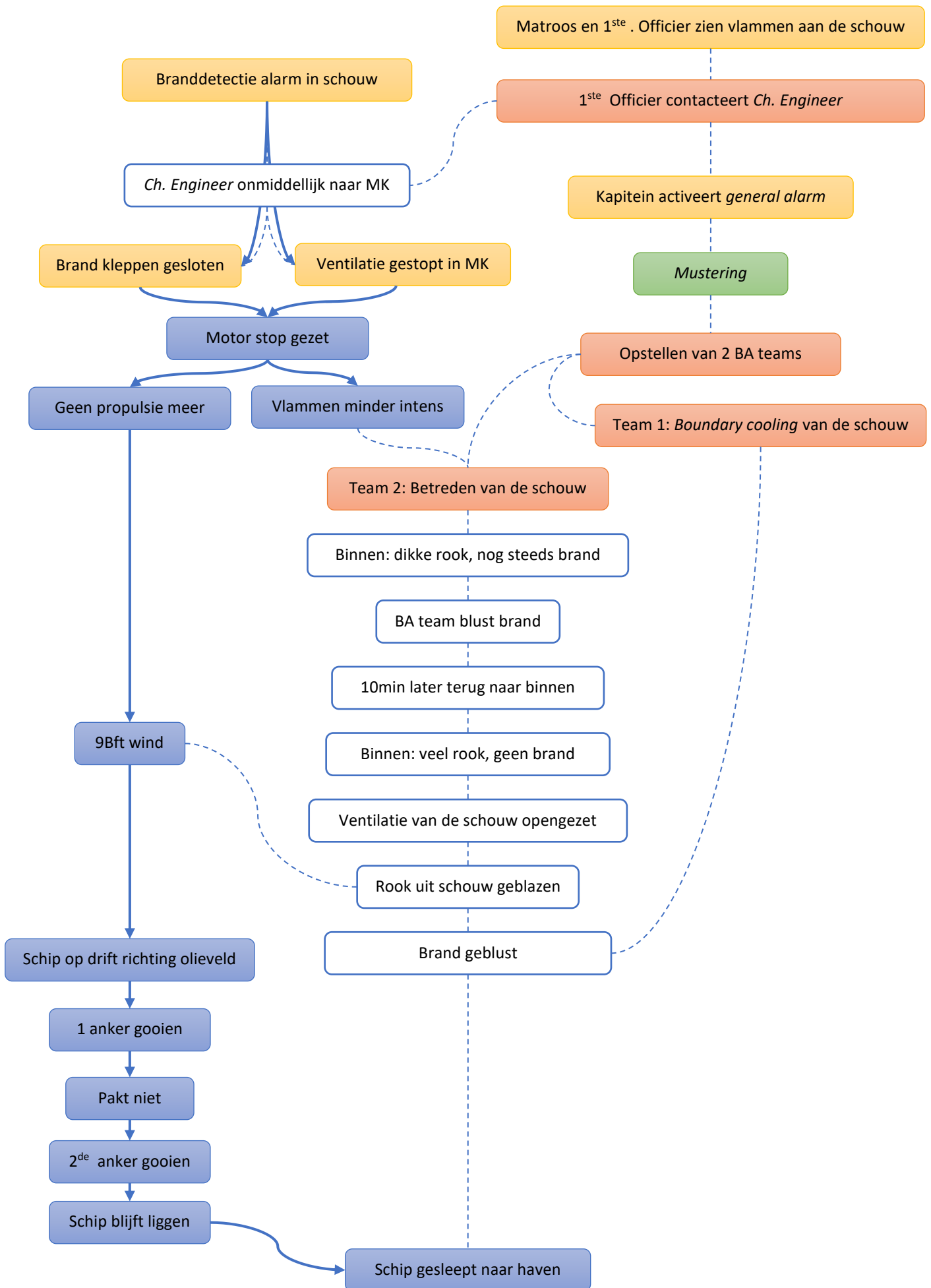
5.3.7 Casus 7: Parida, brand in de schouw

Op 7 oktober 2014 ontwikkelde er zich een brand op het RORO schip, de Parida. Door de brand diende de motor stilgelegd worden met het gevolg dat het schip op drift geraakte. Omwille van de hevige wind van 9bft werd het schip richting een olieveld met olieplatformen geblazen met risico op aanvaring. Na het gooien van beide ankers kwam het schip tot stilstand en werd het nadien terug naar de haven gesleept.

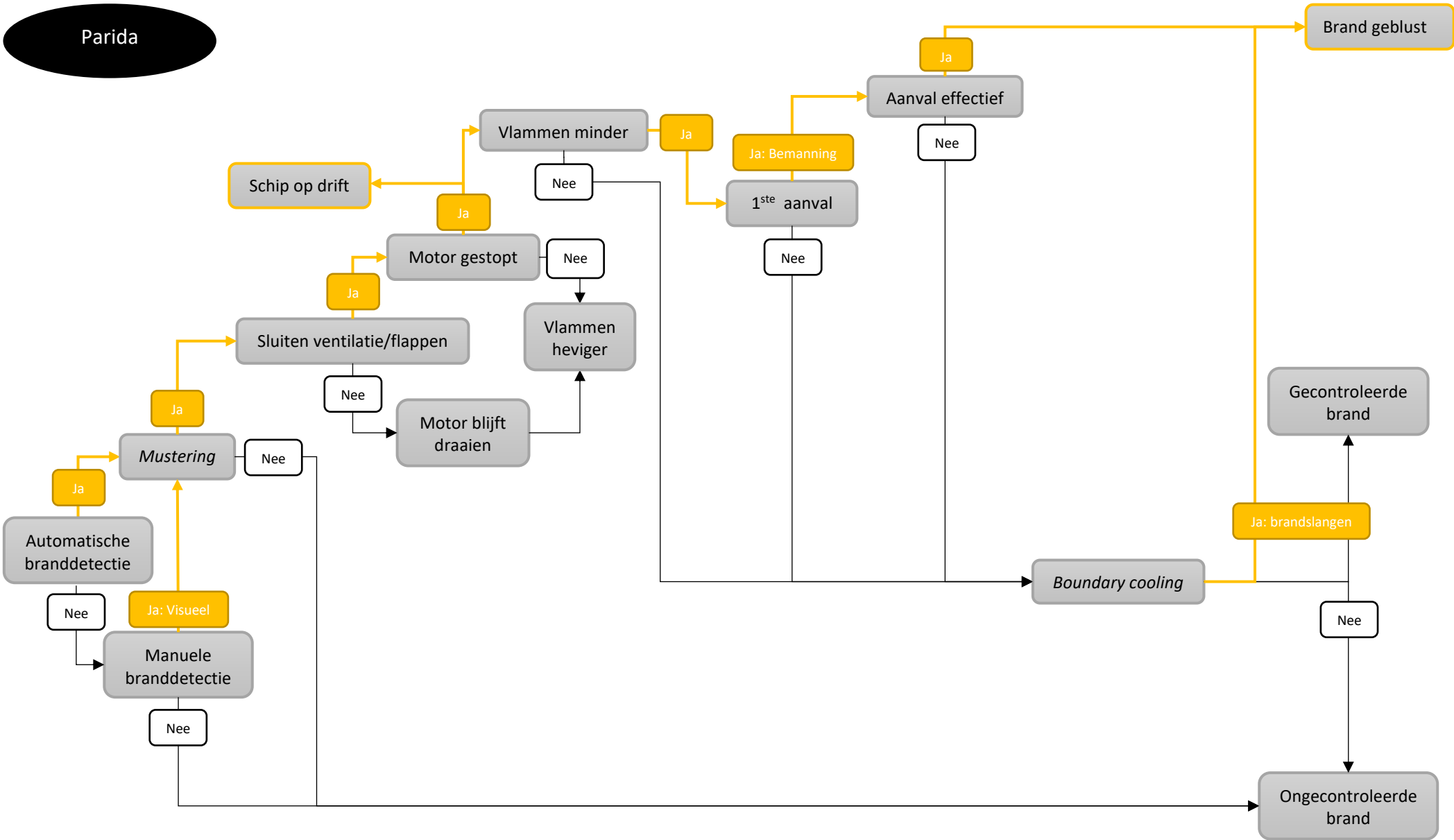
De brand werd uiteindelijk geblust door de brandbestrijdingsinspanningen van de bemanning.

De oorzaak van de brand was te wijten aan een klein defect in een drukmeter van het warmteolie-systeem. Deze geraakte defect omwille van de hevige bewegingen van het schip door de harde weersomstandigheden.

Bron: DMAIB, 2020



Parida



5.3.7.1 Analyse bemane versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- Mustering

Nadeel bij onbemande schepen:

- 1^{ste} Officier contacteert Ch. Engineer

Na het zien van de vlammen contacteert de eerste officier de hoofdwerktuigkundige om hem op de hoogte te brengen van de situatie. Dit kan niet aan boord van een onbemand schip daarom wordt dit gezien als een nadeel bij onbemande schepen . Toch heeft dit in deze situatie weinig invloed omwille van de acties die ervoor en erna genomen worden.

- Opstellen van 2 BA teams

Er worden twee brandbestrijdingsteams opgesteld om zowel een aanval te doen als de *boundary cooling* te starten. Zoals meermaals vermeld in de andere casussen is het aan boord van onbemande schepen niet mogelijk om aan deze manuele brandbestrijdingsmethodes te doen.

Bespreking

De feitenboom laat toe na te gaan wat de invloed is van onbemande schepen op dit ongeval. Net zoals in dit geval kan de brand ook aan boord van een onbemand schip opgemerkt worden door het branddetectiesysteem en door visuele detectie aan de hand van bijvoorbeeld camera's. Vervolgens komt de *mustering*, deze kan opnieuw geschrapt worden waardoor onmiddellijk kan worden overgegaan tot het sluiten van de ventilatiekleppen. Dit kan aan boord van een onbemand schip vanop afstand geactiveerd worden. Het gevolg hiervan is echter wel dat de hoofdmotor moet gestopt worden waardoor schip op drift geraakt. Aan boord van een onbemand schip is het ook mogelijk om ten anker te gaan en dus dezelfde acties te ondernemen als op de Parida. Een positief gevolg van het stoppen van de hoofdmotor is wel dat de brand in de schouw minder hevig wordt. Aan boord van de Parida gaat dit echter wel gepaard met de *boundary cooling* die wordt uitgevoerd. Dit zorgt ervoor dat de temperatuur niet te hoog wordt en de brand dus beter onder controle kan worden gehouden.

Als eerste aanval wordt de bemanning in de schouw gestuurd met brandslangen om de brand te blussen. Deze aanval is effectief en de bemanning slaagt erin om de brand te blussen. Aan boord van een onbemand schip kan er geen manuele brandbestrijding plaatsvinden en zal dus een vaste brandblusinstallatie moeten worden voorzien in de schouw. Het vervangen van de manuele *boundary cooling* is een moeilijker gegeven. Een mogelijkheid is dat hier ook een vast systeem geplaatst wordt, bijvoorbeeld een water sprinklersysteem aan de buitenkant van de schouw waardoor de wand kan gekoeld worden met water.

Indien dit ongeval zich voordoet aan boord van een onbemand schip zal de brand eerder uitdraaien tot een ongecontroleerde brand. Indien de manuele brandblusmethodes vervangen worden door automatische systemen kan een beter resultaat bekomen worden. Dit is echter aan boord van de Parida niet het geval waardoor het moeilijk is om te zeggen dat de brand ook geblust zou kunnen worden aan boord van onbemande schepen.

5.3.8 Casus 8: SD Dexterous, brand in machinekamer

In juni 2010 voerde de sleepboot, SD Dexterous, een sleepoperatie van een militair schip uit wanneer er brand uitbrak in de machinekamer. Door het snel handelen van de bemanning om het CO₂ systeem te activeren samen met de *boundary cooling* die werd toegepast door een andere sleepboot, werd de brand snel geblust.

Omwille van slecht onderhoud en een foute constructie van een injectiepijp, ontstond hierin een scheur. Het gevolg hiervan was dat er brandstof begon te lekken op de hete motor en ontbrandde.

Bron: GOV UK, 2020

5.3.8.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

In dit geval zijn er geen specifieke voordelen voor onbemande schepen.

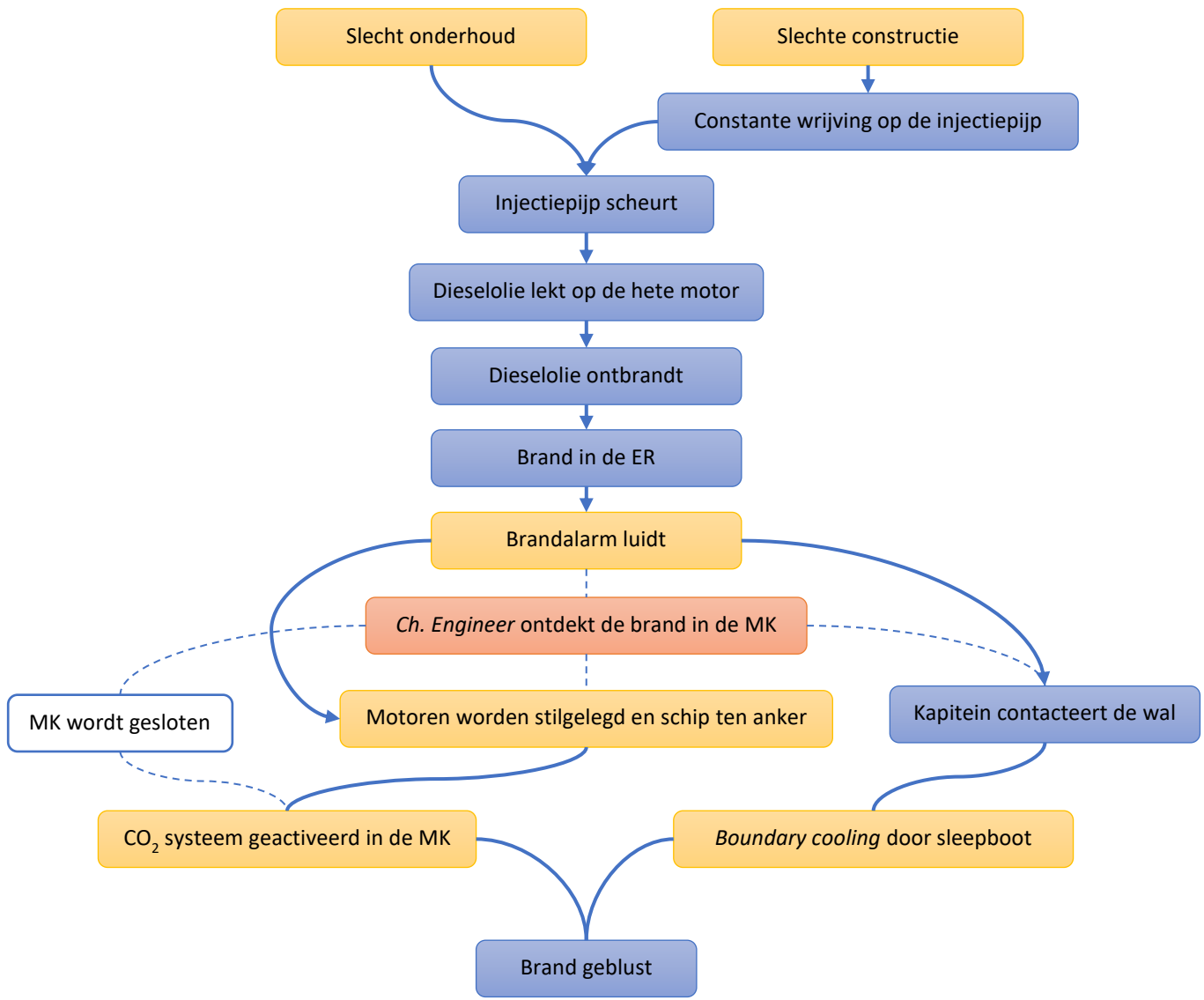
Nadeel bij onbemande schepen:

- Ch. Engineer ontdekt de brand in de MK

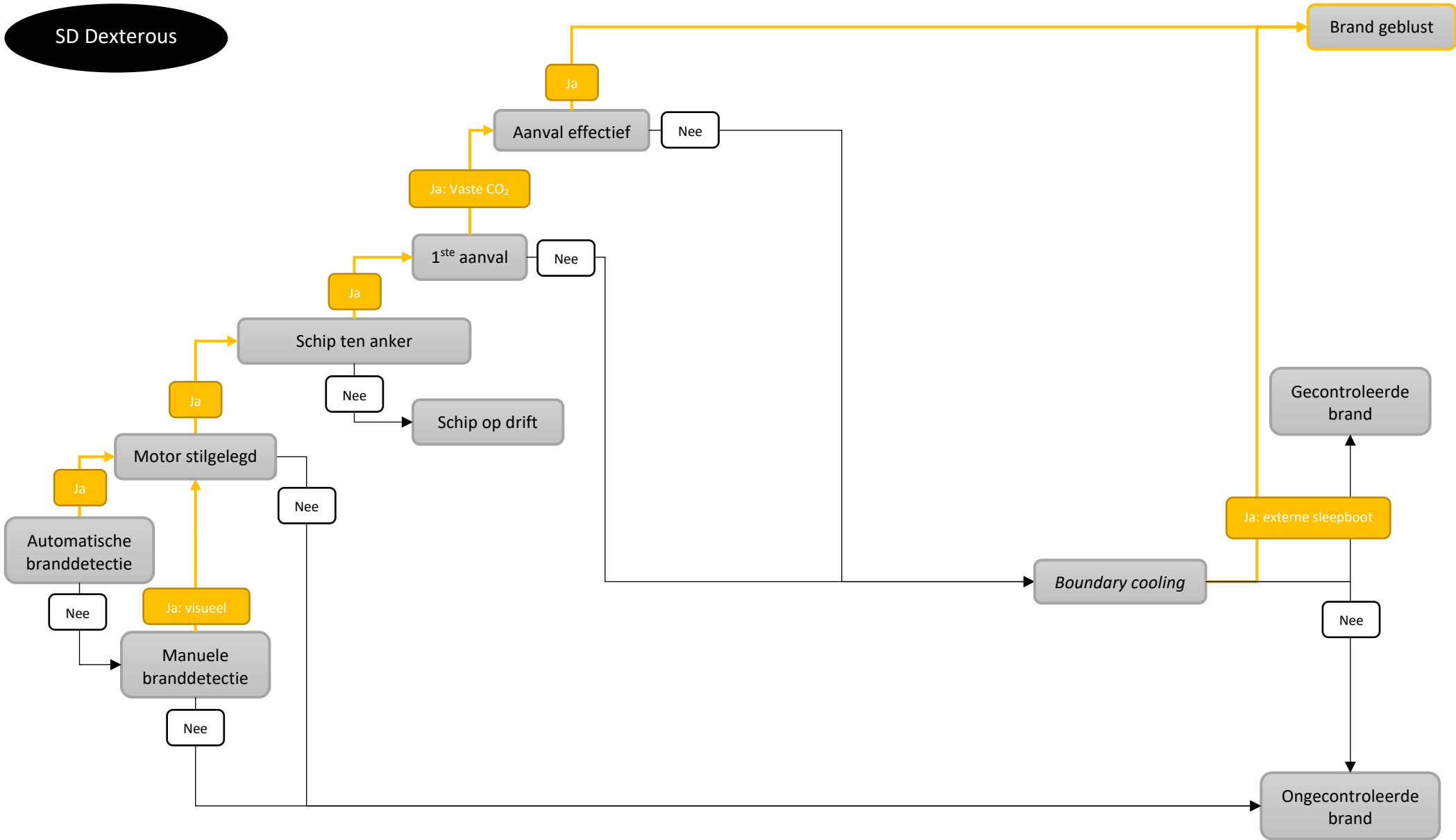
Doordat het branddetectie alarm afgaat, gaat de hoofdwerktuigkundige kijken in de machinekamer en ontdekt de brand. Het feit dat deze persoon fysiek in de machinekamer gaat kijken, is niet mogelijk aan boord van een onbemand schip. Er is echter wel de mogelijkheid om dit te vervangen door het invoeren van camera's (bijvoorbeeld optische of infrarode) in de machinekamer.

Bespreking

Dit ongeval is een zeer goed voorbeeld van welke acties zullen genomen moeten worden in geval van een brand in de machinekamer aan boord van een onbemand schip. De brand zal zowel automatisch gedetecteerd kunnen worden als manueel via CCTV. Ook de motoren kunnen aan boord van een onbemand schip worden stilgelegd net zoals het ten anker gaan. Vervolgens zal ook het vaste CO₂ systeem geactiveerd kunnen worden en in dit geval voldoende zijn om de brand te blussen. Doordat de kapitein onmiddellijk de wal informeert over de situatie kan een sleepboot in de nabijheid de *boundary cooling* komen uitvoeren. Dit is ook mogelijk aan boord van een onbemand schip, op voorwaarde dat op dat moment ook externe assistentie beschikbaar is.



SD Dexterous

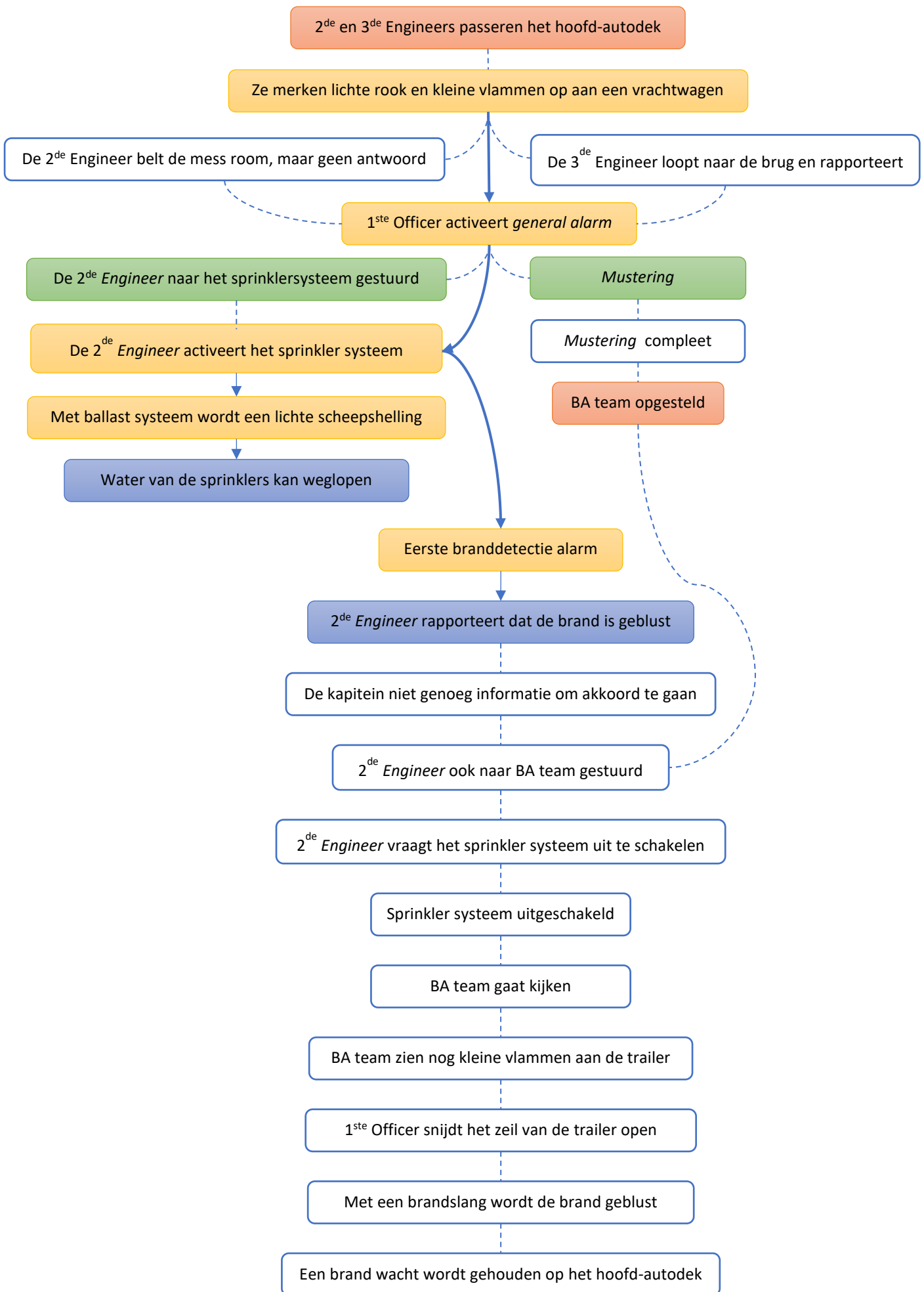


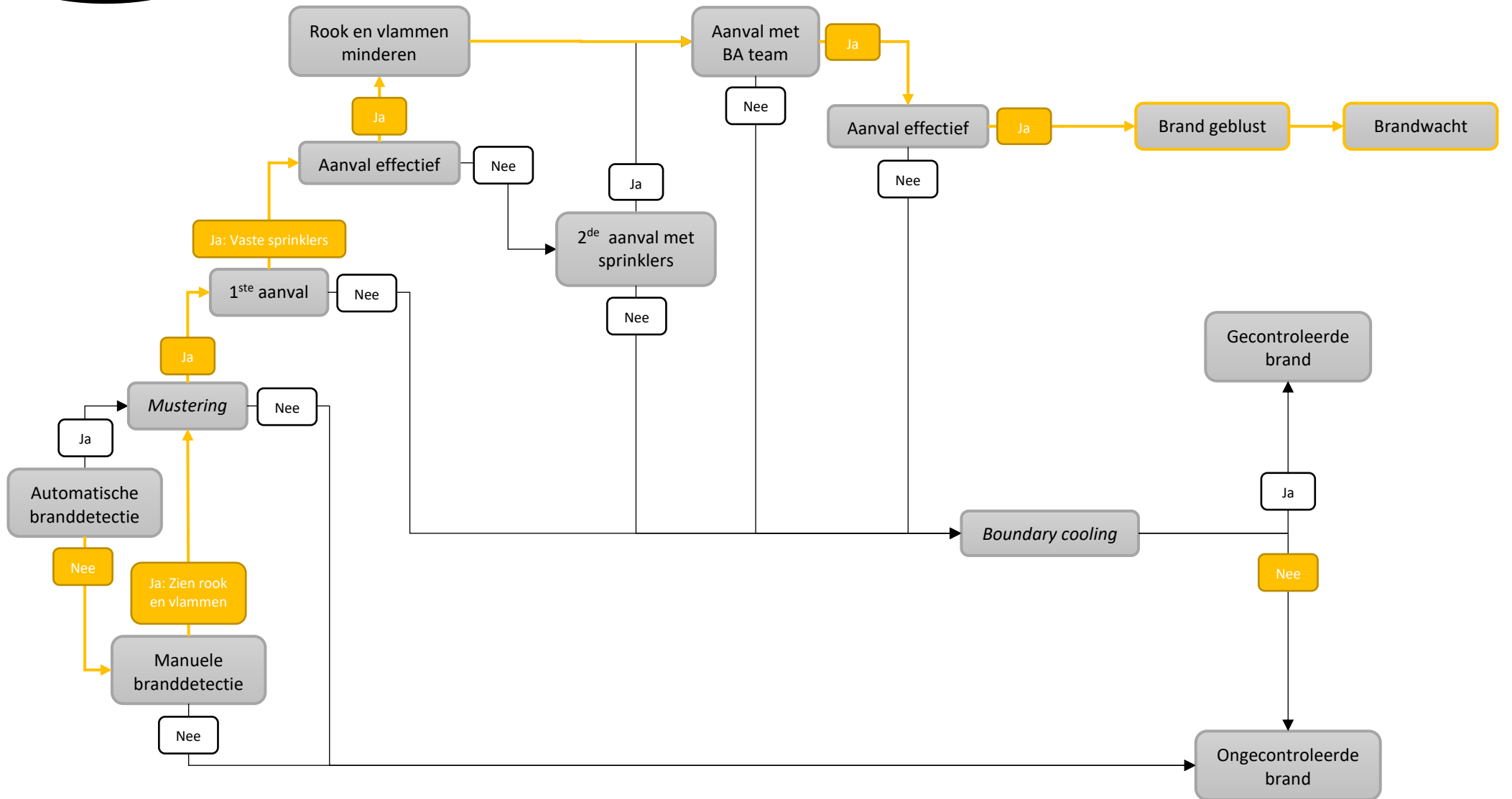
5.3.9 Casus 9: URD, brand op autodek

Op 4 maart 2014 ontdekten twee bemanningsleden, die toevallig het hoofddek passeerden, een brand boven op een vrachtwagen. De brug werd gealarmeerd en de sprinklerinstallatie van het autodek werd snel geactiveerd. Tien minuten later werd de sprinklerinstallatie gestopt om de bemanning het effect van de blusoperatie te laten beoordelen. Omdat de brand niet volledig was geblust, probeerde de bemanning de brand te blussen met behulp van een brandslang. Ongeveer 30 minuten na de eerste ontdekking was de brand gedoofd en de normale operatie werd hervat. Er werd een brandwacht opgericht op het autodek gedurende de rest van de reis.

De brand werd veroorzaakt door een kapotte lamp net boven een aanhangwagen van een vrachtwagen. De lamp geraakte oververhit en zorgde ervoor dat het zeil van de aanhangwagen in brand schoot.

Bron: DMAIB, 2020





5.3.9.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- De 2de engineer naar het sprinklersysteem gestuurd

Bij onbemande schepen kan de vaste brandblusinstallatie geactiveerd worden vanop afstand en is het niet nodig om een persoon aan boord te hebben die het systeem manueel activeert.

- Mustering

Nadeel bij onbemande schepen:

- 2^{de} en 3^{de} engineer passeren het hoofddek

Doordat de twee werktuigkundigen het hoofddek passeren, merken ze rook en lichte vlammen op aan een vrachtwagen. Pas later gaat een automatisch branddetectiesysteem af. Aan boord van onbemande schepen lopen geen personen rond die dergelijke zaken kunnen opmerken en is detectie enkel mogelijk door sensoren, camera's en andere elektronische detectiesystemen.

- BA team opgesteld

Bespreking

In de feitenboom is duidelijk dat er geen automatische detectie plaatsvindt. Dit is pas het geval nadat de bemanning al een eerste aanval heeft uitgevoerd met het vaste sprinklersysteem. De brand is in dit geval manueel ontdekt door twee werktuigkundigen. Het vervangen van deze manuele detectie voor onbemande schepen werd hierboven vermeld. Wanneer de brand dan werkelijk wordt gedetecteerd, hoeft opnieuw geen *mustering* uitgevoerd worden en kan onmiddellijk worden overgegaan tot de eerste aanval. In dit geval wordt er gebruik gemaakt van het vaste sprinklersysteem op het hoofddek welke ook op een onbemand schip kan worden gehanteerd. In dit geval is de aanval effectief met als gevolg dat de brand sterk vermindert in intensiteit. Hierdoor kan de bemanning overgaan tot een manuele aanval met brandslangen en ademapparatuur. Ook deze aanval is effectief en kan de bemanning de nog resterende brand in de vrachtwagen blussen. Aan boord van een onbemand schip is deze laatste aanval niet mogelijk waardoor de brand nog steeds kan blijven doorgaan.

Aan boord van de URD heeft de bemanning het sprinklersysteem stopgezet om een visuele controle te doen van de brand. Bij onbemande schepen kan het vaste brandblussysteem geactiveerd blijven en aan de hand van temperatuurcontrole nagegaan worden of de brand al dan niet geblust is.

In dit ongeval werd er geen *boundary cooling* toegepast, welke ook niet nodig bleek te zijn. Afhankelijk van de constructie van het schip kan op de andere dekken ook een vast sprinkler of water *drenching* systeem geactiveerd worden.

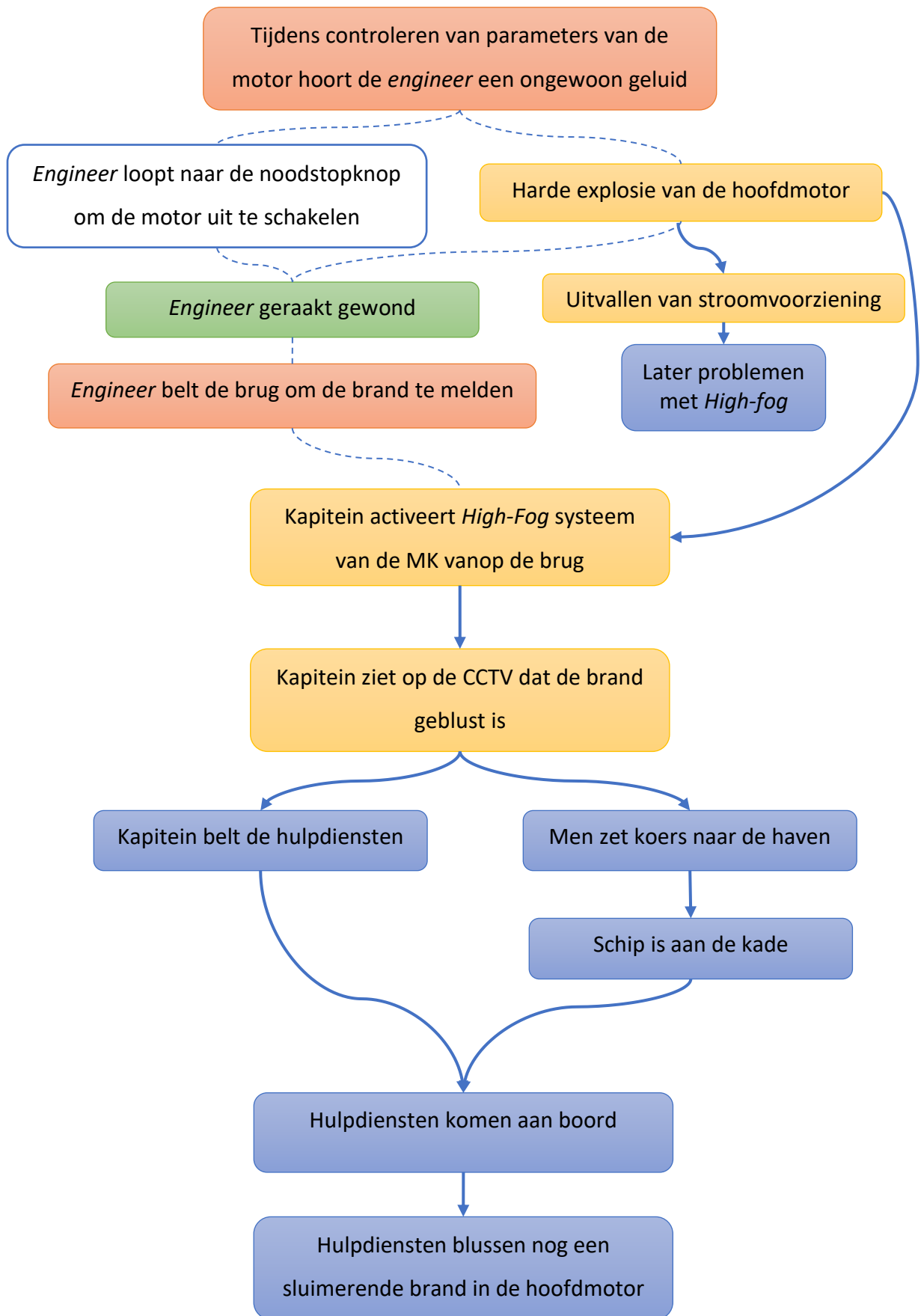
5.3.10 Casus 10: Wight sky, explosie in de machinekamer

Op 12 september 2017, bij het naderen van Yarmouth, Isle of Wight, kreeg de RORO-ferry Wight Sky te maken met het falen van een van de hoofdmotoren, gevolgd door een brand. De brand werd in minder dan 2 minuten onder controle gebracht door de bemanning en later geblust door de hulpdiensten wanneer het schip aanmeerde. Een werktuigkundige van het schip, die in de buurt van de motor stond, liep ernstige brandwonden op.

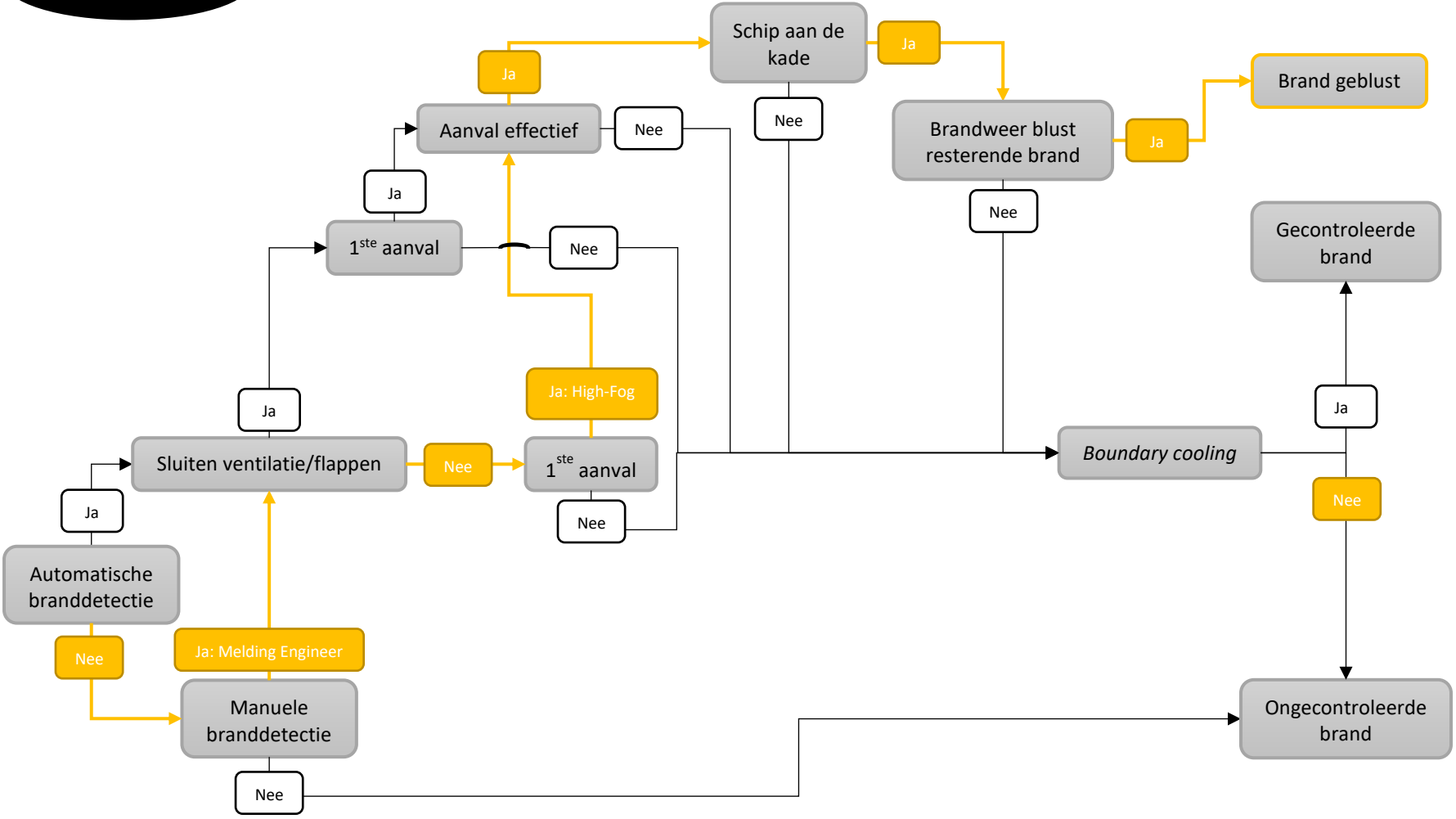
Als gevolg van de brand viel de stroomvoorziening na 27 minuten uit. Deze voorziet normaal de stroom voor al de essentiële apparatuur waaronder de vaste brandblusinstallatie.

Uit onderzoek bleek dat de brand veroorzaakt was door resterend vuil in de hoofdmotor nadat deze was vernieuwd. Toen de hoofdmotor opnieuw in werking werd gebracht, ontbrandde het vuil in de motor met een explosie van de hoofdmotor als gevolg.

Bron: DMAIB, 2020



Wight sky



5.3.10.1 Analyse bemande versus onbemande schepen

Voordeel bij onbemande schepen:

- Engineer geraakt gewond

Het spreekt voor zich dat gewonde personen niet mogelijk zijn aan boord van onbemande schepen. Dit aspect van veiligheid is een zeer groot voordeel van onbemande schepen

Nadeel bij onbemande schepen:

- Tijdens controleren van parameters van de motor hoort de *engineer* een ongewoon geluid

Wanneer de werktuigkundige een ongewoon geluid van de motor hoort, kan hij nog snel op de noodstop drukken. Het was echter al te laat om de explosie van de motor tegen te gaan. Aan boord van onbemande schepen is dit moeilijk toe te passen, tenzij het geluid in bepaalde ruimtes opgenomen wordt. Hierdoor zou eventueel op dezelfde manier ingegrepen kunnen worden. Zintuiglijke waarnemingen, zoals tast en gehoor, zijn echter niet volledig vervangbaar door een geluidsopname en sensoren.

- Engineer belt de brug om de brand te melden

Ondanks de verwondingen van de werktuigkundige, slaagt hij er toch in om de brug te alarmeren via de interne communicatie aan boord. Nadien wordt het brandalarm manueel geactiveerd.

Bespreking

In dit ongeval wordt niets vermeld over een automatische detectie. De enige manier waarbij men de brand heeft ontdekt, is door de melding van de werktuigkundige. Er wordt gesproken van een explosie van de hoofdmotor. Hierbij kan wel verondersteld worden dat er een luide knal te horen is of vibraties te voelen zijn aan boord. Aan boord van een onbemand schip kan deze manuele detectie moeilijk vervangen worden. Zoals bij de vorige casussen kunnen de personen aan de wal echter wel aan de hand van camera's zien dat er zich een explosie/brand voordoet in de machinekamer. Om verder te onderzoeken welke acties aan boord van onbemande schepen kunnen worden genomen, veronderstellen we dat ook hier de brand wordt gedetecteerd.

De vaste brandblusinstallatie die gebruikt wordt, is een *high-fog* systeem. Hierbij is geen *mustering* nodig waardoor onmiddellijk kan worden overgegaan tot het activeren van dit systeem. Het sluiten van ventilatiekleppen wordt niet toegepast, dit kan wellicht de intensiteit van de brand verminderen. Ondanks het feit dat dit niet gebeurt, heeft het *high-fog* systeem positief effect op de brand die via de CCTV geblust lijkt te zijn. Door de uitval van de stroomvoorziening voor het *high-fog* systeem, kan deze geen 2^{de} keer gebruikt worden. Deze uitval is te wijten aan een knop op het verdelingsbord. Deze stond nog op manuele in plaats van automatische stand voor de wissel van stroomvoorziening. Aan boord van onbemande schepen kan dit niet voorvallen doordat al de apparatuur aan boord van het schip in verbinding staat met het controlecentrum en dus de stroomvoorziening automatisch zal gewisseld worden wanneer deze uitvalt. Net zoals bij de Wight sky, kan een onbemand schip ook aanmeren in een haven en kan de brandweer van de wal aan boord komen om de resterende brand te blussen.

5.4 Overzicht

In **Tabel 7** staat een overzicht van de resultaten van de casussen. De linker kolom van bemande schepen vermeldt de eindresultaten van elk ongeval. Er zijn drie verschillende uitkomsten en deze zijn ook steeds in het oranje omcirkeld op de feitenboom van elke casus. De rechter kolom van onbemane schepen vermeldt de meest waarschijnlijke resultaten indien hetzelfde ongeval zich zou voordoen aan boord van een onbemand schip. De kleurencode duidt het verschil in resultaat aan ten opzichte van het bemande schip. Deze kleurencode is ook terug te vinden in de schema's van de keten van gebeurtenissen. Een groene kleur duidt op een verbetering in het resultaat van het onbemane schip in vergelijking met het bemande schip. Een oranje kleur geeft aan dat er geen verschil is tussen bemande en onbemane schepen. Tot slot duidt een rode kleur aan dat het resultaat van het onbemane schip slechter is in vergelijking met het bemande schip.

Tabel 7: Overzicht casussen en effect van onbemane schepen

Bron: eigen werk

Casussen	Bemane schepen	Onbemane schepen
Casus 1	Geblust	Ongecontroleerde brand
Casus 2	Gecontroleerde brand	Ongecontroleerde brand
Casus 3	Gecontroleerde brand	Gecontroleerde brand (sneller)
Casus 4	Gecontroleerde brand	Gecontroleerde brand (sneller)
Casus 5	Brand geblust	Brand geblust (sneller)
Casus 6	Brand geblust	Ongecontroleerde brand
Casus 7	Brand geblust	Ongecontroleerde brand
Casus 8	Brand geblust	Brand geblust
Casus 9	Brand geblust	Gecontroleerde brand
Casus 10	Brand geblust	Brand geblust

De tabel toont aan dat drie van de tien brandongevallen aan boord van onbemande schepen leiden tot een positiever resultaat. Het resultaat op zich is hetzelfde als bij een bemand schip. De verbetering situeert zich uitsluitend op het vlak van tijdswinst door eliminatie van *mustering*, waardoor het onbemande schip een sneller resultaat geeft. Tijdswinst is immers een belangrijk voordeel bij het bestrijden van een brand. Hiermee zal de brand minder uitbreiden en sneller onder controle gebracht worden.

Twee van de tien gevallen bereiken bij onbemande schepen identiek dezelfde resultaten als bij de bemande schepen. Dit wordt verklaard doordat de acties die genomen werden aan boord van de bemande schepen geen menselijke ingreep vereisten, zodat deze op exact dezelfde wijze toegepast kunnen worden aan boord van een onbemand schip. In deze gevallen wordt er ook geen *mustering* toegepast, waardoor er ook geen factor van tijdswinst geldt.

In de andere vijf van de tien gevallen geven onbemande schepen een negatiever resultaat ten opzichte van bemande schepen. De voornaamste reden hiervoor is de menselijke factor, namelijk dat de brand aan boord van een bemand schip geblust wordt of onder controle wordt gehouden door de bemanning. In vijf gevallen maakt de bemanning gebruik van manuele brandblussystemen zoals ademapparatuur en brandslangen om de brand lokaal te gaan bestrijden. Wat opvalt is dat de vaste brandblussystemen in vier van de tien gevallen niet correct functioneren en falen bij de eerste activatie. In drie van deze gevallen heeft de bemanning de systemen moeten reactiveren door bijvoorbeeld een vastgelopen klep manueel te openen. Aan boord van onbemande schepen zijn deze manuele handelingen niet mogelijk.

5.4.1 Algemene bevindingen

Door de beperktheid in grootte van het onderzoek is het niet mogelijk om deze bevindingen te extrapoleren naar de volledige scheepvaart. Hierdoor is er nog de mogelijkheid om deze suggesties verder te onderzoeken. Algemene bevindingen van dit eigen onderzoek naar de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen betreffen de branddetectie (automatisch en manueel), *mustering*, *boundary cooling* en vaste brandblussystemen.

- **Branddetectie:**

Het detecteren van de brand is van cruciaal belang om de brandbestrijding te starten. Aan boord van onbemande schepen is het belangrijk dat deze detectie automatisch gebeurt waardoor bijvoorbeeld onmiddellijk de vaste brandblusinstallatie geactiveerd wordt. Om deze actie te laten doorgaan is het van belang dat er effectief een brand aanwezig is en het niet gaat om een vals alarm. Wanneer een alarm afgaat, focust de operator zich op het betreffende schip. Hij/zij kan een bijkomende controle uitvoeren aan de hand van camera's die verspreid zijn over het schip. Wanneer ook hier de brand te zien is, zal er bijna 100 procent zekerheid zijn dat het niet gaat om een vals alarm. Ook bij deze "manuele" detectie via camera's kan de operator niet oplettend zijn en de brand te laat opmerken. Op deze manier is de menselijke factor niet volledig te elimineren.

In vier van de tien ongevallen werd de brand pas vastgesteld na de manuele detectie. In twee van deze vier gevallen is er zelfs geen sprake van een automatische detectie. Een mogelijkheid om aan boord van een onbemand schip deze automatische detectie te garanderen is het plaatsen van een dubbel detectiesysteem. Bijvoorbeeld het plaatsen van meerdere rooksensoren op verschillende hoogtes in de ruimte. Samen met infrarood camera's kunnen deze hardware gekoppeld worden aan computers die automatisch nagaan of de temperatuur boven een toelaatbare waarde stijgt.

- **Mustering:**

In al de bestudeerde gevallen wordt de *mustering* aan boord van onbemande schepen geëlimineerd. Dit geeft een zeer grote tijds winst voor onbemande schepen. Met het gevolg dat ook sneller de nodige brand bestrijdende acties kunnen aanvatten en dus de kans groter is op een positievere afloop van de brand dan aan boord van bemande schepen.

- **Boundary cooling:**

De *boundary cooling* voert een belangrijke functie uit om de brand te blussen of onder controle te houden. In drie van de tien gevallen wordt een manuele *boundary cooling* toegepast door middel van brandslangen, wat niet mogelijk is aan boord van onbemande schepen. In deze gevallen is het essentieel om een vaste installatie te voorzien zoals een *water drenching* of sprinkler systeem om alsnog deze *boundary cooling* uit te voeren.

Aan boord van de huidige schepen zijn nog niet overal in het schip deze vaste systemen geïnstalleerd, bijvoorbeeld het dek is momenteel nog niet voorzien van dergelijke systemen. Aan boord van onbemande schepen is dit wel nodig. Omdat het dek buiten is en het bluswater gemakkelijk en snel overboord kan stromen, kan hier een systeem geïnstalleerd worden dat het dek kan voorzien van koelwater indien het dek gekoeld moet worden. Ook ruimtes zoals de schouw of de ruimen zullen van vaste *boundary cooling* systemen moeten worden voorzien. Aan de buitenwanden van deze ruimtes kunnen bijvoorbeeld vaste sproeisystemen geplaatst worden zodat het koelwater over deze wanden kan stromen en zo de hitte kan wegnemen.

- **Brandblussystemen:**

Er zijn twee problematieken met betrekking tot brandblussystemen. Enerzijds is manuele brandbestrijding een veel voorkomende handeling op conventionele schepen die bij onbemande schepen wegvalt. Anderzijds kennen de vaste brandblussystemen disfunctionaliteiten zoals onvoldoende uitstoot van CO₂, blokkeren van kleppen, afwezigheid van schuimproductie...

Om deze problematieken op te lossen is het zinvol te werken aan:

- De uitrusting van meerdere back-up systemen van de vaste brandblusinstallatie. Indien er een defect is aan het primaire systeem, kan een secundair systeem worden geactiveerd.
- De mogelijkheid om vanop afstand het vaste brandblussysteem te reactiveren. Bij vaststelling van onvoldoende effectiviteit van het systeem, kan een operator dat systeem reactiveren.

- De onderhoudswerkzaamheden.

Aangezien deze werken niet aan boord en dus uitsluitend uitgevoerd kunnen worden in de havens, is het aangewezen om onbemande schepen frequenter naar de havens te sturen voor deze werkzaamheden. De grondigheid en het testen van het onderhoud vooraleer het schip opnieuw mag uitvaren zijn hierbij cruciaal.

6 Conclusie

Onbemande schepen zullen in de toekomst zonder twijfel bijdragen tot de maritieme industrie en de steeds groeiende wereldhandelsvloot. In deze scriptie werd onderzocht of deze onbemande schepen de veiligheid in de scheepvaart zullen evenaren of zelfs bevorderen en meer specifiek de brandveiligheid.

Het antwoord op deze vraag ligt nog in het midden.

Op basis van de resultaten van meerdere studies is de conclusie dat op algemeen vlak onbemande schepen veiliger zijn dan bemande schepen. Een van de belangrijkste redenen is dat het gevaar dat de mens het slachtoffer wordt als gevolg van een ongeval volledig verdwijnt. De kost van een mensenleven of het verwonden van bemanningsleden heeft nog steeds een grotere impact dan materiële schade. Bijkomend zijn de meerderheid van scheepsongevallen namelijk veroorzaakt door hoofdzakelijk menselijke fouten. De meesten hiervan zijn te elimineren door de introductie van onbemande schepen. Dit betekent echter niet dat er geen menselijke fouten meer gemaakt kunnen worden. Door het feit dat in deze scriptie gewerkt is met het combinatieprincipe van menselijke én artificiële toepassing, namelijk dat onbemande schepen zullen gesuperviseerd blijven door personen met autonome processen als ondersteunende toevoeging, kan hier het aspect van menselijke fouten niet volledig geëlimineerd worden. De intrede van onbemande schepen zal de menselijke factor wel sterk doen dalen en in de meeste gevallen kunnen elimineren. Dus algemeen gesteld, ondanks dat de gevaren voor de bemanning zelf verdwijnen, betekent dit niet dat onbemande schepen überhaupt veiliger zijn voor het leven, de eigendom en het milieu.

Aan de hand van eigen beperkt onderzoek in verband met de brandveiligheid aan boord van onbemande schepen, is de conclusie dat het gebruik van onbemande schepen in de meerderheid van de gevallen leidt tot meer negatieve gevolgen in vergelijking met bemande schepen. De voornaamste reden hiervoor is dat er aangaande brandveiligheid nog een significante afhankelijkheid bestaat van manuele brandblusbestrijdingen door de bemanning om de brand volledig te blussen. Aan boord van onbemande schepen kan men enkel brandbestrijding toepassen met behulp van vaste brandblusinstallaties die automatisch of vanop afstand geactiveerd worden.

In sommige gevallen blijken echter deze vaste installaties niet voldoende om de brand volledig te blussen en is alsnog een brandbestrijdingsteam nodig om de laatste vlammen te doven, wat onmogelijk is bij onbemande schepen.

Bij de bouw van de onbemande schepen zal vooral gefocust moeten worden op het voorzien van automatische branddetectiesystemen, vaste systemen voor *boundary cooling* en vaste brandblussystemen. Idealiter worden deze installaties automatisch geactiveerd bij het detecteren van een brand. Indien dit niet tot stand wordt gebracht, is er nog steeds een operator aan de wal die deze systemen vanop afstand kan reactiveren of een back-up systeem kan activeren ingeval van falen. Niet alleen de posities waar deze systemen worden geïnstalleerd, de back-up- en reactiveringssystemen spelen een rol, ook het onderhoud aan deze systemen is cruciaal in het bekomen van een gelijkwaardige of betere brandveiligheid aan boord van deze schepen.

Betreffende toekomstige studies rond dit thema lijkt het derhalve aangewezen om zich vooral te focussen op de uitdagingen rond brandblusbestrijdingen wil men aan boord van onbemande schepen een beter of minstens gelijkwaardig niveau van brandveiligheid als aan boord van de huidige bemande schepen verkrijgen. Een andere uitdaging bestaat erin om te bestuderen of de introductie van onbemande schepen aanpassingen vereist van SOLAS hoofdstuk II/2: bouw – brandveiligheid, branddetectie en brandblussing.

Bibliografie

- Abhishek, B. (2019). *Two Incidents That Prove Improper Communication Leads To Accidents At Sea*. Geraadpleegd 1 mei 2019, van <https://www.marineinsight.com/marine-safety/two-incidents-that-prove-improper-communication-leads-to-accidents-at-sea/>
- Ahvenjärvi, S. (2016). The Human Element and Autonomous Ships. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 10(3), 517–521. Geraadpleegd 14 mei 2019, van <https://doi.org/10.12716/1001.10.03.18>
- American Bureau of Shipping (ABS). (2020). *Autonomy*. Geraadpleegd 3 mei 2020, van <https://ww2.eagle.org/en/innovation-and-technology/digital/autonomy.html>
- Batalden, B.-M., & Sydnese, A. (2013). Maritime safety and the ISM code: A study of investigated casualties and incidents. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 13, 3–25. Geraadpleegd 3 april 2019, van <https://doi.org/10.1007/s13437-013-0051-8>
- Bruno, F., Muzzupappa, M., Lagudi, A., Gallo, A., Spadafora, F., Ritacco, G., Angilica, A., Barbieri, L., Di Lecce, N., Saviozzi, G., Laschi, C., Guida, R., & Di Stefano, G. (2015). A ROV for supporting the planned maintenance in underwater archaeological sites. *OCEANS 2015 - Genova*, 1–7. Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271602>
- Burke, R. (2019, november 25). *The longest sightline on Earth*. Geraadpleegd 1 mei 2020, van <https://calgaryvisioncentre.com/news/2017/6/23/tdgft1bsbdlm8496ov7tn73kr0ci1q>
- Burmeister, H.-C., Bruhn, W. C., Rødseth, Ø. J., & Porathe, T. (2014). Can unmanned ships improve navigational safety? *Proceedings of the Transport Research Arena, TRA 2014, 14-17 April 2014, Paris*,.

COLREG. Geraadpleegd 14 mei 2019, van

<http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/COLREG.aspx>

DMAIB. (2020). *Danish Maritime Accident Investigation Board (DMAIB)*. Geraadpleegd 27

april 2020, van <https://dmaib.com/reports/?categorizations=9512%2c9520>

DNV GL. (2018). *DNV GL rules and standards*. Geraadpleegd 3 mei 2020, van

<https://rules.dnvgl.com/ServiceDocuments/dnvgl/#!/industry>

Eliopoulou, E., Papanikolaou, A., & Voulgarellis, M. (2016). Statistical analysis of ship

accidents and review of safety level. *Safety Science*, 85, 282–292. Geraadpleegd 20

april 2019, van <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.02.001>

EMSA. (2018). *The World Merchant Fleet in 2018—Statistics from Equasis*. EMSA.

Geraadpleegd 26 april 2019, van <http://www.emsa.europa.eu/equasis-statistics/download/5877/472/23.html>

EMSA. (2019). *Annual overview of marine casualties and incidents 2019*. Geraadpleegd 1 mei

2020, van <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/download/5854/3734/23.html>

Gabites, I. (2015, februari 18). *Taking heat out of ship fires*. Geraadpleegd 9 mei 2020, van

<https://apfmag.mdmpublishing.com/taking-heat-ship-fires/>

GOV UK. (2020). *Marine Accident Investigation Branch*. Geraadpleegd 27 april 2020, van

https://www.gov.uk/maib-reports?keywords=fire&vessel_type%5B%5D=merchant-vessel-100-gross-tons-or-over&date_of_occurrence%5Bfrom%5D=2010

IMO profile. (z.d.). Geraadpleegd 1 mei 2020, van <https://business.un.org/en/entities/13>

Ir. De Munck, P. (2018, februari). *Ongevallenonderzoek: Feitenboom*. Geraadpleegd 1 april

2020, van <https://www.prebes.be/download-presentatie?bestand=provincial/2873/feitenboom%20prebes.pdf>

Kongsberg. (2020). *AUTONOMOUS SHIP PROJECT, KEY FACTS ABOUT YARA BIRKELAND*.

Geraadpleegd 1 mei 2020, van

<https://www.kongsberg.com/maritime/support/themes/autonomous-ship-project-key-facts-about-yara-birkeland/>

Kooij, C., Loonstijn, M., Hekkenberg, R. G., & Visser, K. (2018). Towards autonomous shipping: Operational challenges of unmanned short sea cargo vessels. *Marine Design XIII, Volume 2: Proceedings of the 13th International Marine Design Conference (IMDC 2018), June 10-14, 2018, Helsinki, Finland*, 871.

Kuo, H. C., & Chang, H. K. (2003). A real-time shipboard fire-detection system based on grey-fuzzy algorithms. *Fire Safety Journal*, 38(4), 341–363. Geraadpleegd 5 mei 2020, van [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(02\)00088-7](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(02)00088-7)

Levander, O. (2018, maart 14). *Unmanned Ships – Are We There Yet?* [Interview].

Geraadpleegd 2 mei 2020, van <https://www.offshore-energy.biz/interview-unmanned-ships-are-we-there-yet/>

Lim, J., & Dinges, D. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological Bulletin*, 375–389.

Maes, F., Merckx, J.-P., Pirlet, H., & Verleye, T. (z.d.). *Maritiem transport, scheepvaart en havens*. Geraadpleegd 3 mei 2019, van

<https://biblio.ugent.be/publication/8586772/file/8586779>

Momma, H., Watanabe, M., Hashimoto, K., & Tashiro, S. (2004). Loss of the Full Ocean Depth ROV Kaiko—Part 1: ROV Kaiko—A Review. *ISOPE-I-04-194*, 3. Geraadpleegd 4 april 2019, van <https://doi.org/>

- Mullai, A., & Paulsson, U. (2011). A grounded theory model for analysis of marine accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 43(4), 1590–1603. Geraadpleegd 4 mei 2020, van <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.022>
- MUNIN Autonomous Ships*. (2015, oktober 3). [Wetenschap en technologie]. Geraadpleegd 5 april 2019, van https://www.youtube.com/watch?v=IKtaLbHG_Gg
- O. Sulaiman. (2012). Human reliability analysis (HRA) emanating from use of technology for ships navigating within coastal area. *African Journal of Business Management*, 6(10). Geraadpleegd 4 mei 2019, van <https://doi.org/10.5897/AJBM10.1636>
- Prof. Negenborn, R. (2016). *Autonoom varen*. Geraadpleegd 28 april 2020, van https://www.tudelft.nl/3me/onderzoek/check-out-our-science/autonoom-varen/Rmt2011ch2_en.pdf. (z.d.). Geraadpleegd 11 mei 2019, van Geraadpleegd 12 april 2019, van https://unctad.org/en/Docs/rmt2011ch2_en.pdf
- Rolls-Royce and Finferries demonstrate world's first Fully Autonomous Ferry*. (2018, december 3). [Bedrijfswebsite van Rolls-Royce]. Geraadpleegd 15 april 2019, van <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/03-12-2018-rr-and-finferries-demonstrate-worlds-first-fully-autonomous-ferry.aspx>
- Sames, P. (2018). *Unmanned ships on the horizon*. Geraadpleegd 14 mei 2020, van <https://www.dnvgl.com/article/unmanned-ships-on-the-horizon-94273>
- Schiaretti, M., Chen, L., & Negenborn, R. R. (2017). Survey on autonomous surface vessels: Part I-A new detailed definition of autonomy levels. *International Conference on Computational Logistics*, 219–233.
- Skou, S. (2018, februari 16). *Maersk CEO on Unmanned Ships: 'Not In My Lifetime'* [Interview]. Geraadpleegd 11 april 2019, van <https://gcaptain.com/maersk-ceo-on-unmanned-ships-not-in-my-lifetime/>

- Skredderberget, A. (2018, maart 4). *The first ever zero emission, autonomous ship*.
Geraadpleegd 11 april 2019, van <https://www.yara.com/knowledge-grows/game-changer-for-the-environment/>
- Smith, A. (2020, januari 29). *Steering the Future with Autonomous Control and Intelligent Perception Systems*. Geraadpleegd 1 mei 2020, van <https://sea-machines.com/steering-the-future-with-autonomous-control-and-intelligent-perception-systems>
- Soner, O., Asan, U., & Celik, M. (2015). Use of HFACS–FCM in fire prevention modelling on board ships. *Safety Science*, 77, 25–41. Geraadpleegd 5 mei 2020, van <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.03.007>
- Stam, B. (2017, juni 17). *Onbemande schepen: De beste stuurder staan aan wal*.
Geraadpleegd 10 april 2019, van <http://www.maritiemnederland.com/techniek-innovatie/onbemande-schepen-de-beste-stuurder-staan-aan-wal/item2299>
- Statista Research Department. (2020). *Container Shipping—Statistics & Facts*. Statista.
Geraadpleegd 4 mei 2020, van <https://www.statista.com/topics/1367/container-shipping/>
- Stein, J. E., & Heiss, K. (2015). The Swiss cheese model of adverse event occurrence—Closing the holes. *Seminars in Pediatric Surgery*, 24(6), 278–282. Geraadpleegd 5 mei 2019, van <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2015.08.003>
- Strauch, B. (2015). Investigating Fatigue in Marine Accident Investigations. *Procedia Manufacturing*, 3, 3115–3122. Geraadpleegd 5 mei 2019, van <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.859>
- Strickland, J. D., & Devine, T. (2017). Unmanned Surface Vehicles: Realizations & Applications. *11th Symposium on High Speed Marine Vehicles*, 37–43.

- Van Dongen, H. P. A. (2006). Shift Work and Inter-Individual Differences in Sleep and Sleepiness. *Chronobiology International*, 23(6), 1139–1147. Geraadpleegd 7 mei 2019, van <https://doi.org/10.1080/07420520601100971>
- Van Hooydonk, E. (2014). The law of unmanned merchant shipping – an exploration. *The Journal of International Maritime Law*, 20, 403–423.
- Vella, H. (2017, december 7). *Unmanned ships set to sail the seas*. Geraadpleegd 23 februari 2019, van <https://www.raconteur.net/business-innovation/unmanned-ships-set-to-sail-the-seas>
- Wingrove, M. (2017, juni 29). *Svitzer and Rolls-Royce demonstrate remote control tug operations*. Geraadpleegd 10 april 2019, van https://www.tugtechnologyandbusiness.com/news/view,svitzer-and-rollsroyce-demonstrate-remote-control-tug-operations_48281.htm
- Wróbel, K., Montewka, J., & Kujala, P. (2017). *Towards the assessment of potential impact of unmanned vessels on maritime transportation safety* (Vol. 165). Geraadpleegd 2 april 2020, van <https://doi.org/10.1016/j.res.2017.03.029>