



Zwavelmetingen aan boord

Welke mogelijkheden zijn er om de zwavelinhoud van de brandstof voorafgaand aan het bunkeren nauwkeurig te testen?



Auteur:

J. Bakker (60790)

Begeleidend docent:

J.A. Ooms-de Waal



Rapportageverslag

Onderwijsinstelling: HZ University of Applied Sciences

Opdrachtgever: Anet Shipping C.V.

Opleiding: Maritiem Officier

Studiejaar, Semester: 2018-2019, semester 8

Plaats van uitgave: Singapore

Datum van uitgave: 7 juni 2019

Versie: 1.2



Zwavelmetingen aan boord

Welke mogelijkheden zijn er om de zwavelinhoud van de brandstof voorafgaand aan het bunkeren nauwkeurig te testen?

Auteur:

J. Bakker (60790)

Begeleidend docent:

J.A. Ooms-de Waal



Rapportageverslag

Onderwijsinstelling: HZ University of Applied Sciences

Opdrachtgever: Anet Shipping C.V.

Opleiding: Maritiem Officier

Studiejaar, Semester: 2018-2019, semester 8

Plaats van uitgave: Singapore

Datum van uitgave: 7 juni 2019

Versie: 1.2

Omslagafbeelding: (Joose, 2018)

Opgehaald van: <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/mobiliteit/30601/stookolie-minder-co2>

Samenvatting

Vanaf 1 januari 2020 is het voor alle schepen verboden om brandstof te gebruiken die meer dan 0.50% m/m (massa/massa) zwavel bevatten tenzij, het schip is uitgerust met een scrubberinstallatie of een ander goedgekeurde methode door de IMO om SO_x uit de uitlaatgassen te filteren. Dit betekent dat ongeveer 37,000 schepen over zullen gaan stappen op een ander soort brandstof. Olieraffinaderijen zullen laagzwavelige brandstof tegen een concurrerende prijs willen verkopen. Om de prijs zo laag mogelijk te houden zal er zo dicht mogelijk als uitvoerbaar is naar de 0.50% m/m zwavel toegewerkt worden. Hierdoor zou het voor kunnen komen dat de zwavelinhoud toch net wat hoger uitvalt.

De onderzoeksvraag van dit onderzoek luidt: 'Welke mogelijkheden zijn er om brandstof aan boord van schepen op zwavelinhoud te testen?'. Hiervoor is kwalitatief en kwantitatief onderzoek uitgevoerd door enquêtes af te nemen bij (H)WTK's en meetresultaten van brandstofmonsters te vergelijken. Uit het kwantitatieve deel van dit onderzoek is gebleken dat 35% van de zwavelinhoud vermeld op de BDN (bunker delivery note) niet overeenkomt met de resultaten van het opgestuurde brandstofmonster die onafhankelijk in een laboratorium onderzocht worden. De meest geschikte manier om brandstofmonster op zwavelinhoud te testen aan boord van schepen is ED-XRF (Energie-dispersieve Röntgenfluorescentie-spectrometrie) gebleken. Uit het kwalitatieve deel van dit onderzoek is gebleken dat 41% van alle ondervraagde wel eens heeft meegemaakt dat de zwavelinhoud op BDN niet overeenkomt met de laboratoriumresultaten. 73% heeft interesse in een apparaat die de zwavelinhoud van brandstof aan boord kan meten. Een ED-XRF-apparaat kan ook ingezet worden om bijvoorbeeld ijzer of koper te detecteren in smeerolie. Zo'n apparaat kan dus breder ingezet worden.

Voordat zulke apparaten aan boord te vinden zullen zijn zal er meer onderzoek uitgevoerd moeten worden. Zo moet bijvoorbeeld de meetmethode getest worden door personen zonder enige chemisch achtergrond om te onderzoeken of de nauwkeurigheid hoog genoeg is. Wanneer de nauwkeurigheid niet hoog genoeg is zal het resultaat geen toegevoegde waarde hebben.

Abstract

After the 1st of January 2020 it will be illegal for ships to burn fuel that contains more than 0.50% m/m sulphur unless a desulphurization plant like a scrubber is used. 37,000 ships worldwide will have to switch to a different fuel oil. Oil refineries will want to offer low sulphur fuel for a competing price. To keep the prices low, companies will try to aim for exactly 0.50% m/m sulphur content. This way it could happen that the sulphur content of the fuel will be a little higher than 0.50% m/m.

The research question of this thesis is: 'what possibilities exist that can be used on board ships to test the fuel oil for sulphur content'. To answer this question, qualitative and quantitative research was conducted. A survey was sent to different engineers on board ships and lab results of the fuel samples were compared to the results shown on the BDN (bunker delivery note). The quantitative part of this research project shows that 35% of the sulphur content shown on the BDN contradict the results from an independent laboratory. This part of the research project is only conducted on M.V. Anet. The most suitable way to measure sulphur content of fuel oil on board ships would be ED-XRF (Energy-Dispersive X-Ray fluorescence spectrometry). The qualitative part of this research project shows that 41% of the questioners had noticed in the past that the sulphur content on the BDN did not match the sulphur content shown in the lab results. 73% shows interest in a device which can detect sulphur in fuel oil on board. An ED-XRF machine can also be used to detect different kind of elements like iron and copper in lubrication oil for example. So, this device could be used for more than only sulphur content in fuel oil.

Before measuring devices like this can be found on board ships, more research must be conducted. The accuracy and repeatability of this method should be tested with persons who have no chemical background. If the accuracy and repeatability is not high enough, the results produced on board will be useless.

Voorwoord

Allereerst wil ik de HZ University of Applied Sciences bedanken en met name Mvr. Ooms-de Waal en Mr. Meerburg voor de begeleiding die ze mij hebben gegeven tijdens de voorbereiding en de uitvoering van dit onderzoek. Ook wil ik Kapitein E.A.K. Bos bedanken die mij de kans heeft gegeven om mijn afstudeerstage aan boord van zijn schip te mogen lopen. En tot slot wil ik de hele bemanning van M.V. Anet bedanken die mij tijdens mijn afstudeerstage de fijne kneepjes van het vak hebben geleerd.

Jesper Bakker, 13-05-2019



Inhoud

1. Inleiding.....	1
2. Theoretisch kader.....	3
2.1. Wat is SO _x ?.....	3
2.2. SO _x wetgeving	4
2.2.1. Lokale wetgevingen.....	5
2.3. MARPOL-monsters	6
2.4. Meetmethode	6
2.4.1. Hoe werkt XRF?.....	7
2.5. Conceptueel model	7
2.6. Begrippen en definities.....	8
3. Methode	9
4. Resultaten.	10
5. Discussie.....	12
6. Conclusie en aanbeveling	14
Bibliografie	16
Bijlage 1, Enquêtevragen	18
Bijlage 2, BDN en laboratorium-resultaten.....	20



1. Inleiding

Als eerste werden limieten van SO_x uitstoot genoemd in de herziene versie van MARPOL Annex VI in 1997. Deze nieuwe limieten werden vanaf 19 mei 2005 van kracht. Een maand later werd er besloten om ook deze versie van de MARPOL te herzien door veel strengere eisen aan de zwavelinhoud van brandstof te stellen. Na een studie van 3 jaar werd tijdens de 58^{ste} zitting van de Marine Environmental Protection Committee (MEPC) besloten om de strengere eisen van kracht te laten gaan (IMO, sd). Hierin stond dat de zwavelinhoud van elk soort brandstof dat wordt gebruikt niet meer zal zijn dan:

1. 4.50% m/m vóór 1 januari 2012
2. 3.50 % m/m op en na 1 januari 2012; en
3. 0.50 % m/m op en na 1 januari 2020.

Ook stond erin dat vóór 2018 deze eisen herzien zouden kunnen worden. Een onafhankelijk onderzoek die de beschikbaarheid en vraag naar laagzwavelige brandstof zal onderzoeken, zou moeten uitwijzen of de deadline van 1 januari 2020 opgeschoven zou moeten worden naar 1 januari 2025 (IMO, 2008).

Tijdens de 70^{ste} zitting van het MEPC in Londen is besloten dat de deadline die gesteld is in 2008 niet 5 jaar opgeschoven zou worden. Vanaf 1 januari 2020 is het voor alle schepen verboden om brandstof te gebruiken die meer dan 0.50% m/m zwavel bevatten tenzij, het schip is uitgerust met een scrubberinstallatie of een ander goedgekeurde methode door de IMO om SO_x uit de uitlaatgassen te filteren (IMO, sd).

Het is nu onmogelijk voor de IMO om de zwavel deadline van 1 januari 2020 naar achter te verplaatsen zonder hun eigen regels te breken. Dit betekent dat de wereldvloot van schepen over moeten gaan stappen op een ander soort brandstof of scrubbers zullen moeten installeren. Volgens Shell zullen minder dan 2000 schepen vóór de deadline scrubbers aan boord hebben. Dit betekent dat ongeveer 37,000 schepen over zullen gaan stappen op een ander soort brandstof (Schioldrop, 2018).

Raffinaderijen zullen de vraag naar HSFO dramatisch zien dalen na oudjaarsavond 2019 omdat deze brandstof voor veel schepen geen optie meer is. Om van HSFO (U)LSFO te maken moeten nieuwe apparaten worden aangeschaft door de raffinaderijen. Deze apparaten zullen een grote investering vragen van raffinaderijen en zijn bovendien erg arbeidsintensief. In plaats daarvan zal brandstof gemixt worden om een lager percentage zwavel te verkrijgen. Door het grote prijsverschil tussen HSFO en (U)LSFO kan er een aansporing ontstaan bij bedrijven om niet zo nauwkeurig om te gaan met de zwavelinhoud van de brandstof. Scheepseigenaren en charteraars moeten dus zeker weten dat de brandstof die besteld is daadwerkelijk minder dan 0.50% m/m zwavel bevat (XOS, sd). Voordat de resultaten van het laboratorium bekend zijn en naar het schip zijn gestuurd duurt vaak een aantal dagen. De geteste brandstof wordt meestal dan al gebruikt voor de voorstuwing. Deze resultaten duren dus te lang en hier zou verandering in gebracht kunnen worden.

Olieraffinaderijen zullen laagzwavelige brandstof van 0.50% m/m tegen een concurrerende prijs willen verkopen. Hierdoor zal er gebruik gemaakt worden van zogenaamde 'blends'. Door andere soorten brandstoffen aan hoogzwavelige brandstof toe te voegen wordt een laagzwavelige brandstof verkregen. Om de prijs zo laag mogelijk te houden zal er zo dicht mogelijk als uitvoerbaar is naar de 0.50% m/m zwavel toegewerkt worden. Hierdoor zou het



voor kunnen komen dat de zwavelinhoud toch net wat hoger uitvalt. Iets te hoog zwavelhoudende brandstoffen was ook te zien tussen 2006 en 2014 toen de regels in de Emission Control Area's (ECA) van 1.50% m/m zwavel naar 1.00% m/m zwavel veranderden. Dit zou in 2020 ook kunnen gaan gebeuren (International Bunker Industry Association, 2017).

In januari van dit jaar heeft de Duitse Wasserschutzpolizei een zekerheidsstelling van € 30.000,- opgelegd aan een schip dat in de Duitse Bocht brandstof heeft verstoekt wat een te hoog zwavelpercentage had. De zekerheidsstelling is opgelegd in afwachting van een definitieve boete (Schuttevaer, 2019). De definitieve boete zal waarschijnlijk dus nog hoger uitvallen. Om deze boetes te voorkomen zou het de moeite waard kunnen zijn om te investeren in een apparaat die de zwavelinhoud van brandstof kan meten.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen over hoe vaak het daadwerkelijk voorkomt dat de BDN niet overeenkomt met de laboratorium resultaten en verschillende methodes van het meten van zwavel in brandstof te vergelijken om een uitspraak te kunnen maken over welke methode het beste toepasbaar is aan boord van schepen. Om een uitspraak te kunnen maken is er een onderzoeksvraag en een aantal deelvragen opgesteld:

Onderzoeksvraag:

Welke mogelijkheden zijn er om brandstof aan boord van schepen op zwavelinhoud te testen?

Deelvragen:

1. Hoe vaak komt het voor dat het opgegeven zwavelgehalte in de brandstof niet klopt met de bunker delivery note?
2. Welke methode is het meest geschikt om de zwavelinhoud van de brandstof te testen aan boord van schepen?
3. Wat vinden zeevarende van het aan boord testen van de brandstof op zwavelinhoud?

De beantwoording van de onderzoeks- en deelvragen is tot stand gekomen door in het theoretisch kader een bronnenonderzoek uit te voeren naar verschillende methodes om de zwavelinhoud van brandstof te testen. Vervolgens is er kwalitatief onderzoek uitgevoerd door middel van enquêtes die zijn afgenomen bij zeevarenden. In deze enquête is onder andere gevraagd of zeevarende het een goed idee vinden om de brandstof te testen voorafgaand aan het bunkeren. Deze gegevens zijn verwerkt om een objectieve uitspraak te kunnen verwoorden over de noodzaak van het aan boord testen van brandstof. In bijlage 1 is de volledige enquête bijgevoegd.

Vervolgens is er kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar hoe vaak het daadwerkelijk voorkomt dat de brandstofspectificaties van de BDN's niet kloppen door deze te vergelijken met de laboratorium resultaten aan boord van M.V. Anet.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt behandeld hoe SO_x gevormd wordt en waarom dit slecht is voor mens en milieu. Ook worden verschillende methodes uitgelegd om de zwavelinhoud van brandstof te meten.

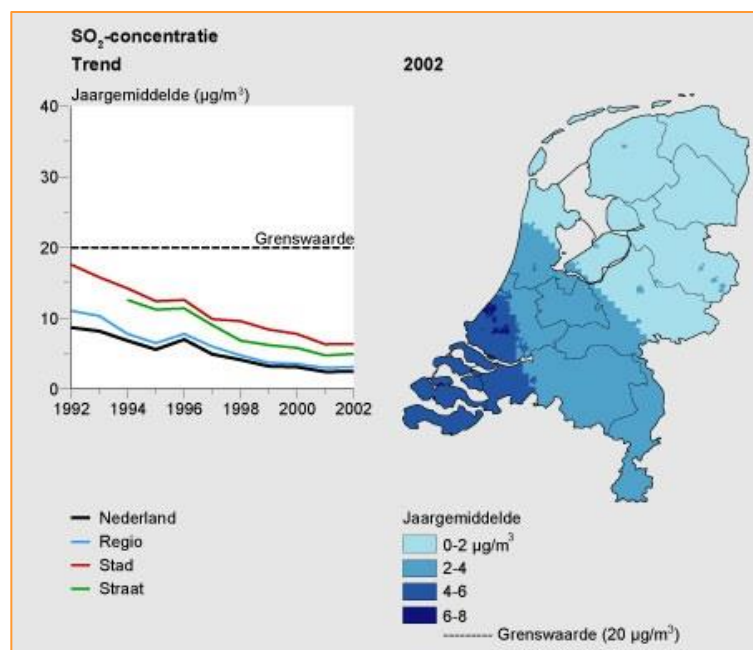
2.1. Wat is SO_x?

HFO komt tijdens het destilleren van ruwe olie onderin de fractionneerkolom vrij. Het is dus eigenlijk een soort afvalproduct. Er blijven dus ook allemaal (afval)stoffen in achter zoals zware metalen maar ook zwavel. De zwavel in de brandstof zorgt voor de SO_x.

De SO_x die in MARPOL bedoeld wordt is SO₂ (Zwavedioxide) en SO₃ (Zwaveltrioxide). Deze gassen worden tijdens de verbranding in de arbeidsslag gevormd. De zwavel die in de brandstof zit reageert met de zuurstof in de lucht waardoor SO₂ ontstaat. Indien er na deze reactie nog genoeg tijd en zuurstof over is wordt SO₃ gevormd. De gevormde SO₃ is erg onstabiel en zal direct reageren met waterdamp in de lucht waardoor zwavelzuur (H₂SO₄) ontstaat. De verhouding waarin zwavedioxide en zwaveltrioxide ontstaan is ongeveer 15:1 (ir. A.P. Abbink Spaink, 1998). Het zwavedioxide blijft 1 tot 7 dagen in de lucht en wordt vervolgens met behulp van zonlicht ook omgezet in zwavelzuur. Het zwavelzuur zorgt voor zure regen wat nadelig is voor de flora en fauna door de lage pH-waarde van de zure regen.

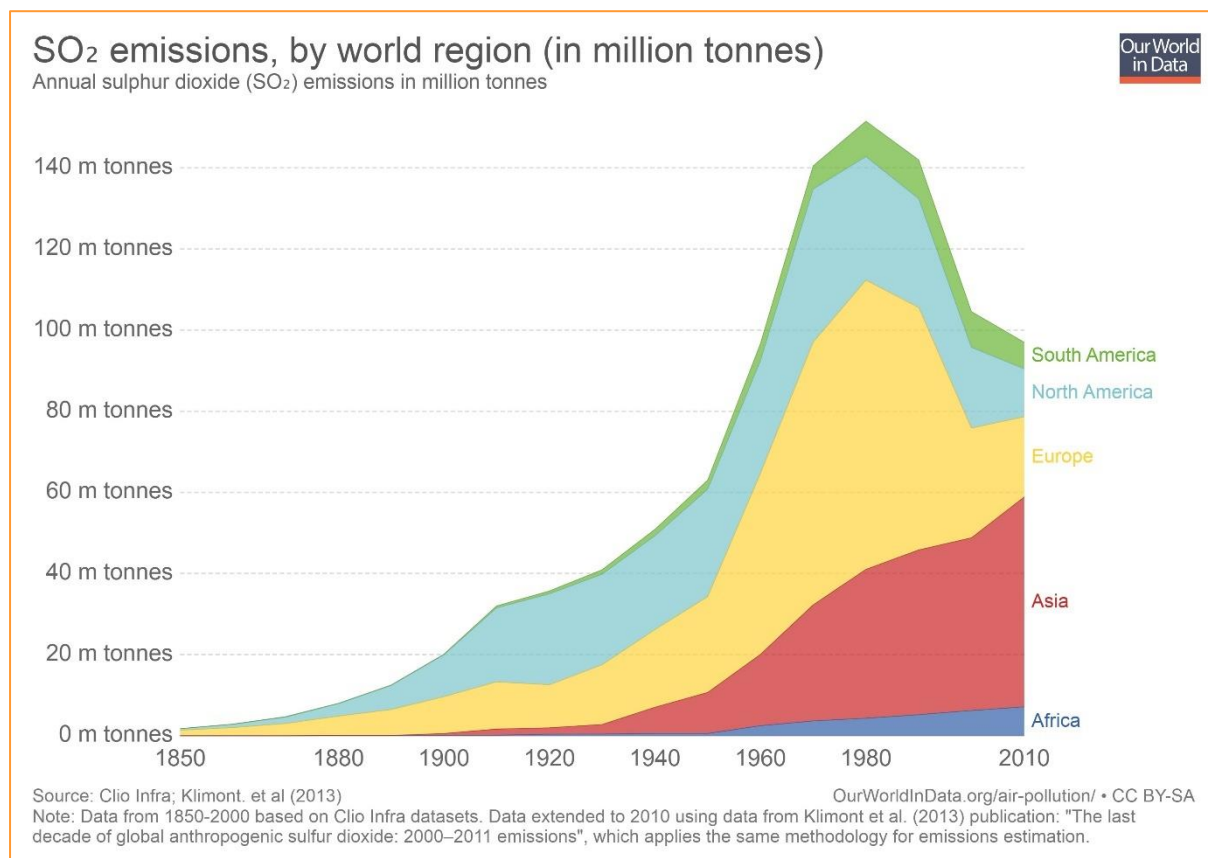
De gevormde SO₂ kan voordat het verder reageert naar zwavelzuur ook ingeademd worden. Bij blootstelling aan SO₂ kunnen de luchtwegen geïrriteerd raken. Symptomen zijn pijn tijdens ademen, hoesten, keel irritatie en moeite met ademen. Hogere concentraties kunnen ervoor zorgen dat de long en hartfuncties achteruitgaan (U.S. National Park Service, 2018).

In Nederland is er weinig reden tot paniek met betrekking tot de SO₂ concentratie in de lucht. De Europese Unie heeft grenswaarde voor SO₂-concentratie opgesteld per land. Nederland houdt zich hier netjes aan (Rijksoverheid, 2003). In figuur 1 is het Nederlands SO₂-concentratie jaargemiddelde van 2002 te zien. Sinds 2002 is deze concentratie alleen maar afgenomen (Luchtmeetnet, 2017).



Figuur 1 Jaargemiddelde SO₂-concentratie Nederland 2002. Bron: (Rijksoverheid, 2003)

Wereldwijd was de SO₂ uitstoot tot 1980 fors toegenomen. Sinds 1980 is deze weer afgenomen. Deze afnamen is te danken aan maatregelen die genomen werden door de industrie, energiebedrijven en raffinaderijen toen verzuring door zure regen veel aandacht kreeg. De EU heeft ook eisen gesteld aan leden (RIVM, 2012). De IMO is sinds 1997 ook bezig geweest om de zwaveluitstoot te verminderen en dat is duidelijk te zien. In figuur 2 is de wereldwijde SO₂ uitstoot te zien. Hier is een duidelijke vermindering te zien sinds 1980.



Figuur 2 wereldwijde SO₂ uitstoot. Bron: (Ritchie & Roser, 2017)

2.2. SO_x wetgeving

Wereldwijd zijn er verschillende gebieden waar verschillende regels gelden met betrekking tot maximale zwavelinhoud van brandstof. In dit hoofdstuk worden alle verschillende regels, limieten en gebieden behandeld wereldwijd.

Sinds 1 januari 2012 mag er wereldwijd alleen brandstof gebruikt worden met minder dan 3.50 % m/m zwavel (MARPOL Annex VI Regulation 14.1.2). In de ECA's mag sinds 1 januari 2015 alleen brandstof gebruikt worden met minder dan 0.10% m/m zwavel (MARPOL Annex VI Regulation 14.4.3). Voordat een ECA binnen wordt gelopen moet een schip volledig zijn overgeschakeld op een lager zwavelhoudende brandstof. Het overschakelen moet bijgehouden worden op een manier die goedgekeurd is door de vlaggenstaat. De datum, tijd, positie en hoeveelheden van de verschillende brandstoffen die aan boord zijn moeten vermeld worden.

De verschillende ECA's die zijn goedgekeurd door de IMO bestaan uit zes verschillende gebieden. Twee van deze gebieden bevinden zich in Europa en de andere vier in Noord-Amerika. Deze verschillende gebieden zijn:

- Baltische zee
- Noordzee
- Stille oceaan, Kust van Canada en de VS
- Atlantische oceaan, kust van Canada, VS, Frankrijk en Golf van Mexico, kust van VS.
- Kust van Hawaï
- Caribische zee van VS (Puerto Rico)

De twee Europese ECA's bestaan uit de Baltische zee en de Noordzee. De precieze grenzen zijn te vinden in MARPOL Annex V Regulation 5.1(f). De andere vier ECA-gebieden worden gedefinieerd met verschillende positie die te vinden zijn in Appendix VII van MARPOL Annex VI. In figuur 3 is een overzicht te zien met alle ECA's in het donkerblauw die door de IMO zijn goedgekeurd. In de rest van de wereld (lichtblauw) geldt dus maximaal 3.5% m/m zwavel en na 1 januari 2020 nog maar 0.50% m/m zwavel.

2.2.1. Lokale wetgevingen



Figuur 3 ECA kaart. Bron: (MI News Network, 2017)

Er zijn ook nog een paar lokale ECA's. Deze gebieden zijn niet goedgekeurd door de IMO maar zijn wel opgenomen in nationale wetgevingen. IJsland is er daar een van. In de haven mag alleen brandstof gebruikt worden met niet meer dan 0.10% m/m zwavel. Tot 200 nm uit de kust mag er maximaal 2.0% m/m zwavel in de brandstof zitten.

Alle Europese havens zijn ook onderdeel van een lokale ECA-zone. Hier mag maximaal 0.10 % m/m zwavel in de brandstof zitten.

In alle Turkse havens mag ook alleen brandstof gebruikt worden met minder dan 0.10% m/m zwavel in de brandstof.

In Azië zijn ook 2 lokale ECA's. In Taiwan zijn 7 havens waar een maximale zwavelinhoud van 0.50% m/m geldt. De tweede lokale ECA is in China (Netpas, sd). Sinds 1 januari 2019 mag in dit gebied verboden door 60 posities geen brandstof verstoekt worden met meer dan 0.50% m/m zwavel. In de toekomst wordt deze regel nog strenger. Maar de Chinezen gaan nog verder. Vanaf 1 juli 2019 zal het verplicht worden voor sommige schepen om wal stroom te gaan gebruiken (Gard, 2018).

2.3. MARPOL-monsters

Tijdens het bunkeren worden monsters genomen van de gebunkerde brandstof. Het schip krijgt 2 monsters. Het eerste monster is om op te sturen naar een laboratorium. Het tweede monster moet minimaal 12 maanden bewaard worden of totdat alle brandstof verbruikt is. Dit monster kan opgevraagd worden door een port state control officier (PSCO) waarna het monster ook getest wordt in een laboratorium om uit te wijzen of de brandstof voldoet aan MARPOL Annex VI.

Het laboratorium test het monster op een heleboel verschillende stoffen. Een van de stoffen is zwavel. Het monster dat door het schip opgestuurd wordt, wordt door het laboratorium getest volgens een methode die opgesteld is door de International Organization of Standardization (ISO) namelijk ISO 8754:2003 (aardolieproducten – Bepaling van het zwavelgehalte – Energie-dispersieve röntgenfluorescentiespectrometrie). Wanneer een brandstofmonster naar een laboratorium gestuurd wordt, wordt dit monster dus gemeten door middel van energie-dispersieve röntgenfluorescentiespectrometrie (ED-XRF). Wat XRF precies inhoudt wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 2.4.1. Deze ISO verwijst vervolgens door naar ISO 4259. Hierin staat hoe met meetresultaten omgegaan moet worden. Zo heeft deze methode een zekerheid van 95%. Dit zou betekenen wanneer een monster een zwavelinhoud van 0.53% m/m heeft deze voldoet aan MARPOL Annex VI. Echter wanneer hetzelfde monster door PSC naar een laboratorium gestuurd wordt en er een resultaat uitkomt van 0.51% m/m zwavel, dan voldoet de brandstof niet (International Bunker Industry Association, 2017).

Halverwege 2021 zal MEPC waarschijnlijk een beslissing maken welke ISO standaard voor alle monster gebruikt zal worden. Maar naar alle waarschijnlijkheid zal de ED-XRF-methode gebruikt gaan worden (International Bunker Industry Association, 2018)

2.4. Meetmethode

Er zijn verschillende methodes om (onder andere) zwavel te meten in brandstof. De methode die het meeste gebruikt wordt is Röntgenfluorescentiespectrometrie (XRF). In Canada wordt deze methode door PSC ook toegepast om inspecties uit te voeren aan boord (Gard, 2016). MARPOL Annex VI schrijft deze methode ook voor om de zwavelinhoud van brandstof te meten. XRF is een simpele manier om het element zwavel te identificeren. Bij andere methodes zoals UV-fluorescentiespectrometrie (UV-spectrometrie) reageert de brandstof eerst met zuurstof waarna er door een UV-licht SO_2 gemeten wordt. Dit omdat UV-spectrometrie alleen toegepast kan worden op gassen. UV-spectrometrie is destructief (reageren met andere stoffen) en duurt daarom ook langer (Bruce, 2011). Voor het aan boord meten is de XRF-methode dus erg geschikt omdat het monster niet veel voorbehandeling nodig heeft en het meten enkele seconden duurt. Volgens een onderzoek uitgevoerd in 1998 waarbij verschillende methodes getest zijn, wordt de XRF-methode aanbevolen als het beste (Daučík, Židek, & Kaláb, 1998). Daarbij kan een XRF-apparaat ook erg compact zijn.

Behalve zwavel kunnen er ook andere elementen gemeten worden wat het ook geschikt zou kunnen maken voor het meten van bijvoorbeeld ijzer in smeerolie om slijtage van de motor te kunnen detecteren in een vroeg stadium. Alle elementen die qua gewicht tussen natrium ($_{11}\text{Na}$) en uranium ($_{92}\text{U}$) zitten kunnen met deze methode gemeten worden (zwavel heeft als atoomnummer 16). De gevoeligheid van deze methode ligt tussen de PPB en hogere gewichtspercentages (Bruker, 2019).

2.4.1. Hoe werkt XRF?

Een kleine hoeveelheid brandstof wordt in een bakje gedaan. Dit bakje wordt goed afgesloten waarna het bakje in het apparaat gezet wordt. Het apparaat bestraalt het bakje met Röntgenstraling. Door deze straling gaan de elektronen van het element schuiven waardoor er een kleine hoeveelheid energie vrijkomt die voor elk element uniek is. Door deze energie te meten kan worden bepaald wat de concentratie van een bepaald element in het monster is (Applied Rigaku Technologies inc., 2018). De complete analyse neemt ongeveer 5 minuten in beslag. ED-XRF wat genoemd wordt in hoofdstuk 2.3. is een vorm van XRF waar de totale energie uitgezonden door een element gemeten wordt. Een andere vorm van XRF is Wavelength-Dispersive XRF (WD-XRF). Net zoals een prisma het licht in de kleuren van de regenboog breekt, breekt deze methode de röntgengolven. Vervolgens worden alle verschillende golflengtes gemeten. Deze methode is wat nauwkeuriger dan ED-XRF maar heeft hetzelfde idee (XOS, sd).

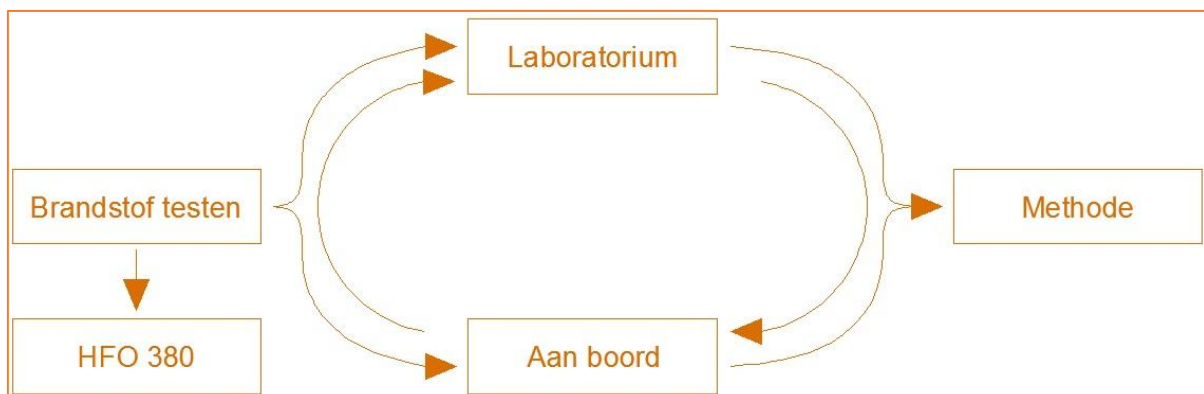
Er zijn verschillende soorten apparaten beschikbaar op de markt. Van handheld XRF-analysers tot grotere machines ter grootte van een koelkast. In figuur 5 is een handheld XRF-analyser te zien en in figuur 4 is een desktop analyser afgebeeld. Het prijskaartje van deze apparaten begint bij ongeveer €1000,- en kunnen oplopen tot €30.000,-.



Figuur 5 XRF handheld. Bron: (Bruker, 2019) Figuur 4 XRF Desktop. Bron: (Bruker, 2019)

De methode die het meest gebruikt wordt is de methode met behulp van röntgenstraling. De IMO schrijft de ED-XRF-methode ook voor in MARPOL Annex VI. Andere methodes zoals met behulp van Uv-licht wordt veel minder toegepast.

2.5. Conceptueel model



Figuur 6 Conceptueel model. Bron: Eigen creatie

2.6. Begrippen en definities

Tabel 1 Begrippenlijst. Bron: Eigen creatie

Begrip	Definities
MEPC	Marine Environmental Protection Committee
(S)ECA	(Sulphur) Emission Control Area
ED-XRF	Energie-dispersieve Röntgenfluorescentie-spectrometrie. Het bepalen van elementen in vaste, vloeibare of gasvormige stoffen door middel van röntgenstraling. Wordt bepaald door het meten van uitgezonde straling van element
WD-XRF	Golflengte-dispersieve Röntgenfluorescentiespectrometrie. Het bepalen van elementen in vaste, vloeibare of gasvormige stoffen door middel van röntgenstraling. Wordt bepaald door het meten van de verschillende golflengtes van uitgezonde straling van element
UV-fluorescentiespectrometrie	(Ultra Violet) Het bepalen van gasvormige chemische verbindingen door middel van UV of zichtbaar licht.
BDN	Bunker Delivery Note



3. Methode

De gekozen methode om data te verzamelen is mixed methode. Dit wil zeggen dat er gebruik is gemaakt van kwalitatief en kwantitatief onderzoek. Deelvraag 1 is beantwoord door kwantitatief onderzoek uit te voeren aan boord van M.V. Anet. Deelvraag 2 is beantwoord door bronnenonderzoek in het theoretisch kader. Deelvraag 3 is beantwoord door kwalitatief onderzoek uit te voeren door middel van enquêtes.

Alle BDN's aan boord van M.V. Anet zijn verzameld waarna de zwavelinhoud op de BDN's vergeleken zijn met de resultaten van de monsters die naar het laboratorium gestuurd waren. Hierdoor is er onderzocht hoe vaak het voor is gekomen dat de twee zwavelinhouden niet met elkaar overeenkomen om deelvraag 1 te kunnen beantwoorden.

Een vragenlijst is opgesteld (zie bijlage 1) ontworpen om tot de beantwoording van deelvraag 3 te komen. Er zijn enquêtes verstuurd naar (Hoofd) scheepswerktuigkundige (H)WTK's. Toen er genoeg resultaten verzameld waren zijn alle resultaten gecodeerd waarna ze netjes verwerkt zijn. Hierdoor is er een duidelijk overzicht gevormd waardoor er conclusies getrokken zijn en de beantwoording van de onderzoeksvragen tot stand is gekomen.

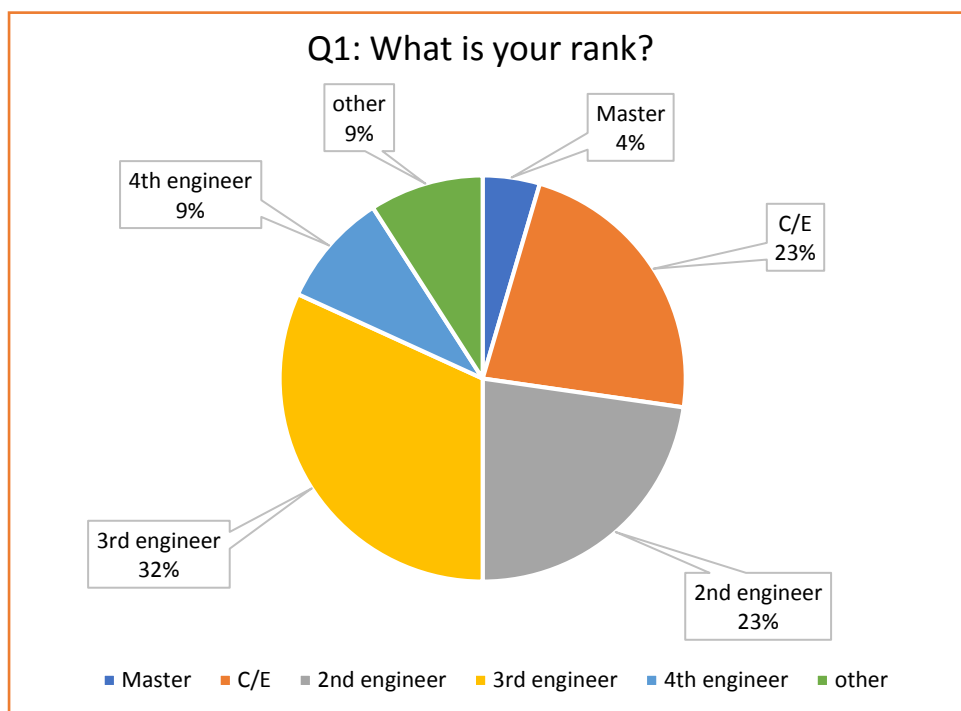
Het onderzoek gaat over het testen van brandstof aan boord van schepen. De onderzoekspopulatie van dit onderzoek is dus ook brandstof. Specifieker is dit IFO380 maar andere soorten zwavelhoudende brandstoffen zijn ook meegenomen in het onderzoek zoals (U)LSFO, MDO en MGO. Voor het kwalitatieve deel van dit onderzoek is een steekproef genomen. Deze steekproef bestaat uit de (H)WTK's van verschillende nationaliteiten die met verschillende soorten brandstoffen te maken hebben. De (H)WTK's waarbij enquêtes zijn afgenomen zijn hierdoor representatief voor de totale populatie. Voor het kwantitatieve deel is ook een steekproef genomen. Deze steekproef is M.V. Anet. Brandstof monsters van alleen dit schip zijn vergeleken om te onderzoeken hoe vaak het voorkomt dat de zwavelinhoud niet klopt met de BDN. Deze steekproef is niet representatief voor de hele populatie. Wel zijn zoveel mogelijk verschillende havens en bunkerleveranciers meegenomen waardoor de steekproef wel een goede indicatie kan geven.

Van de afgenomen enquêtes is de identiteit van alle personen beschermd gebleven. Deze gegevens zijn in geen enkel document verwerkt wat aan dit onderzoek verbonden is.

4. Resultaten

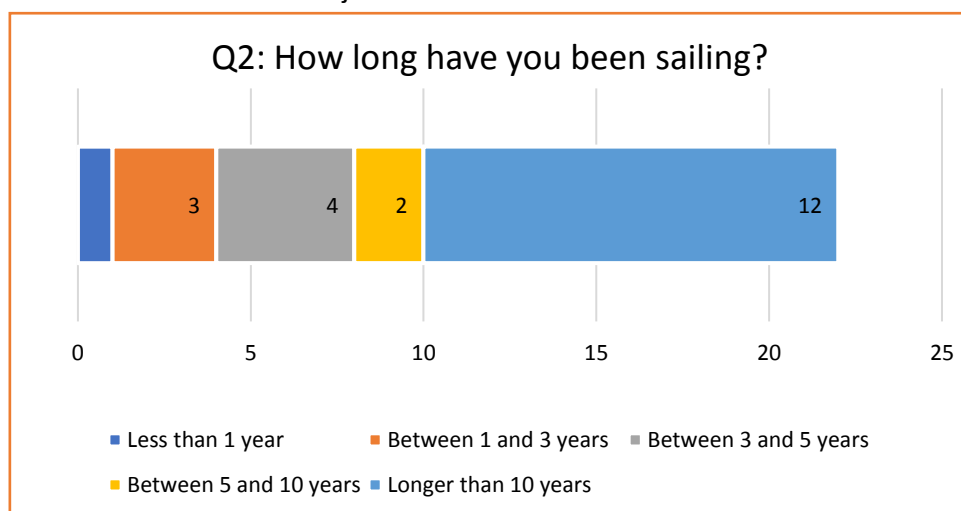
Er zijn zo veel mogelijk BDN's aan boord van M.V. Anet verzameld waarna de zwavelinhoud op de BDN's vergeleken zijn met de resultaten van de monsters die naar het laboratorium gestuurd waren. Hier is uitgekomen dat 35% van alle verzamelde BDN's en laboratoriumresultaten niet overeenkomen. Bij het vergelijken is rekening gehouden met een zekerheidsmarge van 95% zoals voorgeschreven is door ISO 4259.

Er zijn in totaal 22 enquêtes verzameld van verschillende zeevarende die op verschillende soorten schepen werkzaam zijn. In figuur 7 is te zien welke verschillende rangen de ondervraagde zeevarende hebben. De rang van de 2 ondervraagde die "other" in hebben gevuld waren allebei 1st engineer.



Figuur 7 resultaten vraag 1 enquête. Bron: eigen creatie.

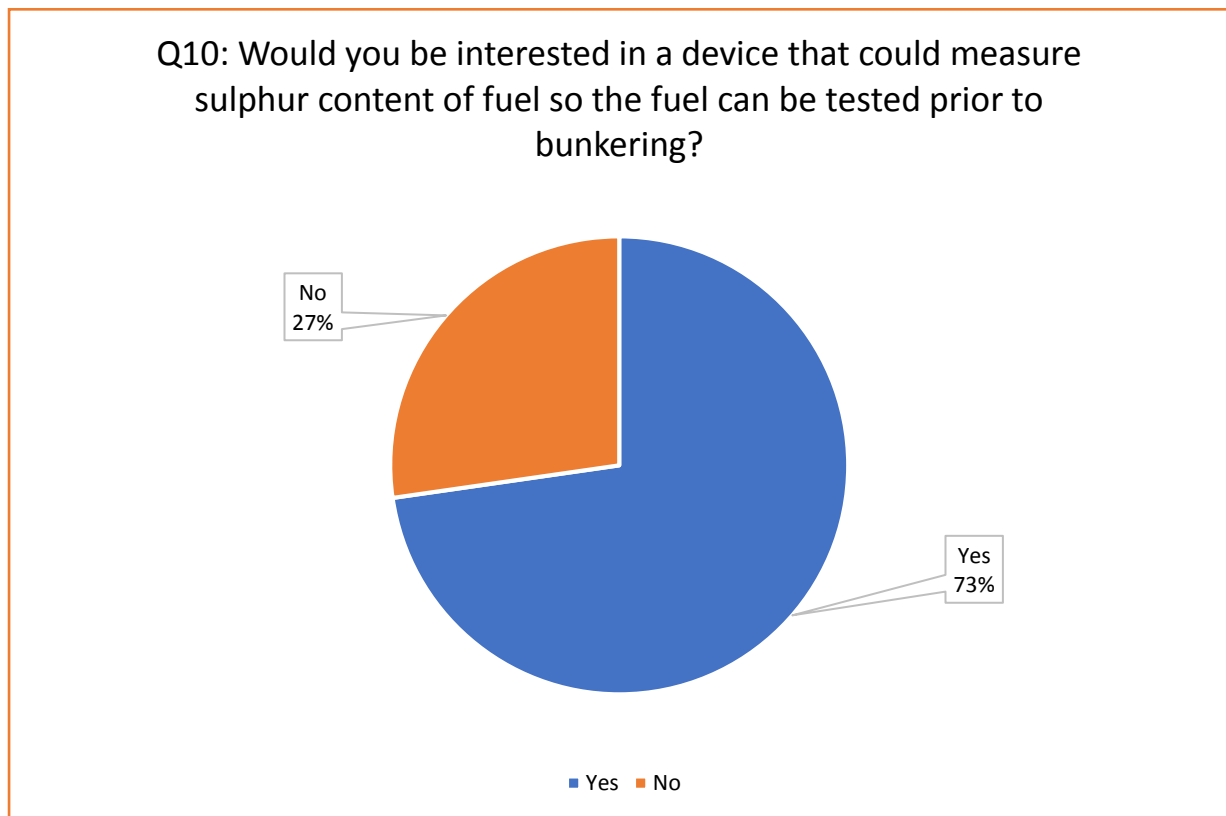
De resultaten van vraag 2 zijn in figuur 8 te vinden. Hier is te zien hoe lang de ondervraagde zeevarende al werkend zijn in de zeevaart.



Figuur 8 resultaten vraag 2 enquête. Bron: eigen creatie.

Geen van de ondervraagde zeevarende hadden een desulphurization plant zoals een scrubber aan boord. Deze schepen worden ook niet in de toekomst nog uitgerust met bijvoorbeeld een scrubber. 59% verstoekt IFO380 buiten de SECA-gebieden. De rest verstoekt MGO. Binnen het SECA-gebied vaart 73% ook op MGO en maar 27% gebruikt laagzwavelige MDO. 50% van de ondervraagde heeft wel eens meegemaakt dat de brandstof off-spec was. 82% daarvan heeft aangegeven dat de zwavel niet klopte met de BDN. De andere 2 ondervraagde hebben aangegeven dat de viscositeit en het stolpunt niet klopte. Eén ondervraagde heeft aangegeven dat dit voor 1 juli 2010 was. 8 ondervraagde hebben aangegeven dat dit na 1 januari 2015 was en 2 wisten de precieze datum niet.

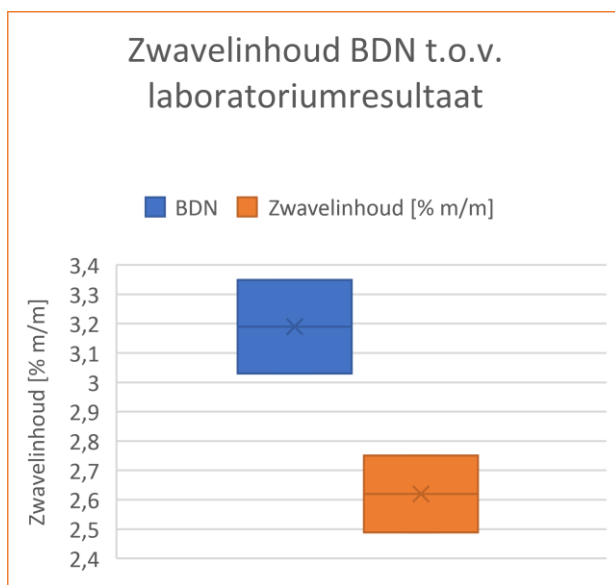
In figuur 9 zijn de resultaten van vraag 10 te zien.



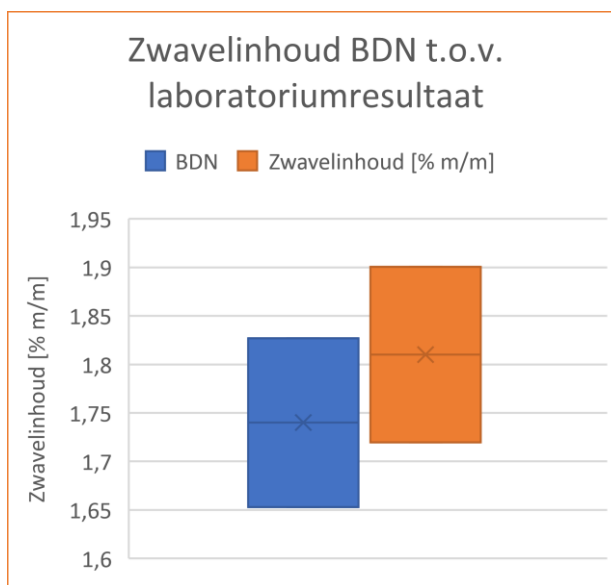
Figuur 9 resultaten vraag 10 enquête. Bron: eigen creatie.

5. Discussie

Om een duidelijk beeld te krijgen hoe vaak het daadwerkelijk voorkomt dat de zwavelinhoud op de BDN niet klopt, is er aan boord M.V. Anet onderzocht hoe vaak het voor is gekomen in het verleden dat de resultaten niet overeenkomen. Omdat ISO 4259 voorschrijft dat de resultaten 95% zeker zijn is hier ook rekening mee gehouden bij het vergelijken. Door de boven en ondergrens te bepalen van het BDN-resultaat en het laboratorium resultaat is in figuur 11 heel makkelijk te zien dat de resultaten niet binnen de foutmarge vallen. Zo is in figuur 10 ook heel makkelijk te zien als de resultaten wel binnen de foutmarge vallen.



Figuur 11 BDN-resultaat en laboratoriumresultaat die niet overeenkomen. Bron: eigen creatie.



Figuur 10 BDN-resultaat en laboratoriumresultaat die overeenkomen. Bron: eigen creatie

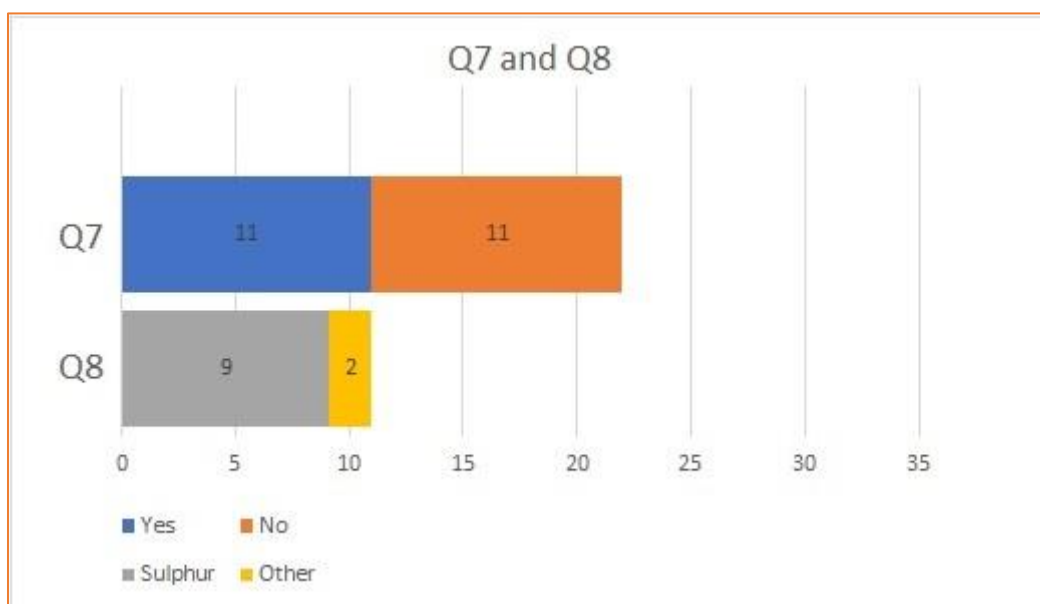
In totaal zijn de resultaten van 49 HFO, 4 LSFO, 5 ULSFO en 2 GO monsters vergeleken met hun BDN. Rekening houdend met de foutmarge van beide resultaten vallen 21 van de 60 monsters niet binnen elkaars foutmarge. Dit komt erop neer dat 35% van de zwavelspecificaties op de BDN's aan boord van M.V. Anet niet overeenkomen met de resultaten van het laboratorium. In totaal hadden 4 monsters een te hoge zwavelinhoud (monster 50, 51, 56 en 59). Monster 50 en 51 waren LSFO bedoeld om te verstoken in een SECA-gebied en hadden een zwavelinhoud van respectief 1.030% m/m en 1.040% m/m. De ondergrens van deze twee monsters valt wel onder de 1.0% m/m. Monster 56 en 59 waren respectief ULSFO en GO en ook bedoeld om te verstoken in een SECA-gebied. Deze monsters hadden beide een zwavelinhoud van 0.11% m/m. Zelfs de ondermarge van deze monsters zijn te hoog (0.1045 % m/m) (zie bijlage 2).

Het kwantitatieve deel van dit onderzoek geeft aan dat 35% van de zwavelspecificaties op de BDN's niet overeenkomen met de laboratorium specificaties. Welke van de 2 resultaten niet kloppen kan geen uitspraak over gedaan worden. Hoe dan ook, deze grote verschillen in resultaten zouden niet voor moeten komen. Het is dezelfde brandstof die getest werd dus er zou (binnen de foutmarge van 95%) hetzelfde uit moeten komen. In afbeelding 13 zijn de verschillen tussen de BDN en laboratoriumresultaten uitgezet in een grafiek. Hier is goed te zien hoe groot soms de verschillen zijn. 14 van de 60 monster hebben een verschil in zwavelinhoud van meer dan 10%. Al deze 14 monsters vallen lager uit dan de maximale zwavelinhoud van brandstof zoals de MARPOL voorschrijft maar in 2020 mag de brandstof

nog maar tussen de 0% m/m en 0.50% m/m zwavel bevatten. Nu is dat nog tussen 0% m/m en 3.50% m/m. Als dezelfde verschillen in zwavelinhoud tussen de BDN en laboratoriumresultaten voorkomen na 2020 zullen heel veel brandstofmonsters te veel zwavel kunnen bevatten.

De steekproef bestaande uit (H)WTK's komt neer op 23% C/E, 23% 2/E, 32% 3/E, 9% 4/E en 9% 1/E. Ook heeft één kapitein/eigenaar de enquête ingevuld. Hierdoor is de verdeling van de steekproef goed gelukt (zie figuur 7). Een breed bereik van verschillende rangen hebben de enquête ingevuld waardoor er gesteld kan worden dat de steekproef representatief is voor de totale populatie. Meer dan de helft van de ondervraagde vaart al langer dan 10 jaar. De steekproef die genomen is heeft dus ook veel ervaring op zee.

Uit de enquêtes blijkt dat het vaak voorkomt dat de brandstof specificaties niet overeenkomen met de BDN. 50% van de ondervraagde heeft dit al eens meegemaakt (Q7) waarvan 82% aangeeft dat het zwavelgehalte niet klopte (Q8). Dat is 41% van alle ondervraagde (zie figuur 12). Hoewel de BDN een officieel document is waardoor de schuld niet op de scheepseigenaar geschoven kan worden indien de brandstofsificatie niet kloppen met de BDN, geeft een groot deel van de ondervraagde wel aan (73%) dat ze interesse hebben in een apparaat waarmee de brandstof getest kan worden.



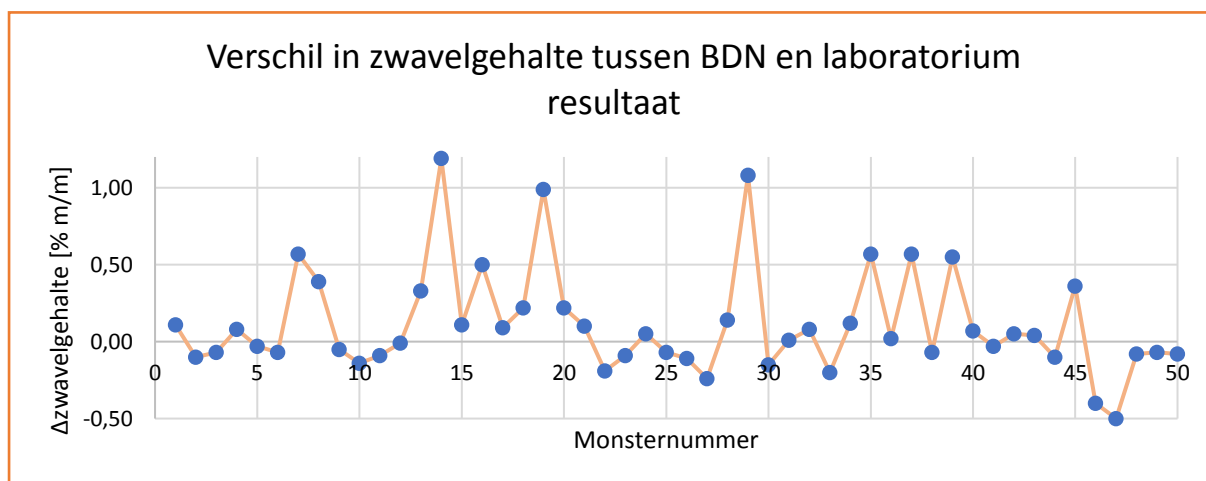
Figuur 12 Resultaten Q7 en Q8. Bron: eigen creatie

Eén van de ondervraagde heeft zelfs aangegeven dat er al aan kantoor gevraagd was om een apparaat aan te schaffen waarmee de brandstof aan boord getest kan. De vraag die hieruit volgt is hoe wordt er dan een representatief monster genomen? Normaal gesproken wordt er een continuous drip sample genomen tijdens het bunkeren maar dit is niet mogelijk als een monster voorafgaand aan het bunkeren getest moet worden. Er zal dus een andere manier gevonden moeten worden om een gehomogeniseerd monster van de brandstof te kunnen nemen voorafgaand aan het bunkeren. Als dit moeilijk uitvoerbaar is, is de betrouwbaarheid van de meting laag.

6. Conclusie en aanbeveling

De onderzoeksvraag van dit onderzoek luidt: 'Welke mogelijkheden zijn er om brandstof aan boord van schepen op zwavelinhoud te testen?'. Hiervoor is kwalitatief en kwantitatief onderzoek voor uitgevoerd door enquêtes af te nemen bij (H)WTK's en meetresultaten van brandstofmonsters te vergelijken. Er zijn 3 deelvragen opgesteld waardoor beantwoording van de hoofdvraag gerealiseerd is geworden.

Het antwoord op deelvraag 1, 'Hoe vaak komt het voor dat het opgegeven zwavelgehalte in de brandstof niet klopt met de bunker delivery note?', is onderzocht door de resultaten van de brandstofmonster te vergelijken met de BDN. In totaal zijn 60 BDN's vergeleken met de laboratorium resultaten. De gebunkerde brandstof was gebunkerd in verschillende havens in Azië, Europa, Noord-Amerika, Midden-Amerika en Zuid-Amerika. Dit geeft een mooie verdeling van verschillende bunkerleveranciers. Dit deel van het onderzoek is alleen uitgevoerd op M.V. Anet waardoor deze niet representatief is voor de wereldwijde vloot maar het resultaat kan wel goed als indicatie gebruikt worden. Hieruit is gebleken dat 35% van de zwavelspecificaties op de BDN's aan boord van M.V. Anet niet overeenkomen met de resultaten van het laboratorium. 47% van de BDN's vallen hoger uit dan resultaten van het laboratorium. In figuur 13 is het verschil in zwavelgehalte te zien. Een positief verschil geeft aan dat de BDN een hoger resultaat had.



Figuur 13 verschil in zwavelgehalte. Bron: eigen creatie.

Uit het theoretisch kader is gebleken dat het antwoord op deelvraag 2, 'Welke methode is het meest geschikt om de zwavelinhoud van de brandstof te testen aan boord van schepen?', de ED-XRF-methode is. Dit komt voort uit het onderzoek uitgevoerd door P. Daučík, Z. Židek en P. Kaláb. De zwavelinhoud van de brandstof wat vermeld staat op de BDN, zoals voorgeschreven volgens MARPOL ANNEX VI (ISO 8754:2003), wordt ook volgens deze methode getest. Het zou dus logisch zijn om deze methode ook te gebruiken bij het testen aan boord. Omdat ED-XRF-apparaten erg compact kunnen zijn is dit ook te realiseren aan boord van schepen.

Door middel van de enquête is deelvraag 3, 'Wat vinden zeevarende van het aan boord testen van de brandstof op zwavelinhoud?', onderzocht. Hieruit is gebleken dat 73% van alle ondervraagde geïnteresseerd is in een apparaat wat de zwavelinhoud van brandstof aan boord kan meten. De enquête bevestigt de bevindingen op deelvraag 1 ook. 41% van allen ondervraagde heeft wel eens meegemaakt dat de zwavelinhoud van de brandstof niet overeenkwam met de BDN.



Naast de zwavelinhoud in brandstof meten kunnen verschillende onzuiverheden van verschillende soorten vloeistoffen aan boord ook gemeten worden. De smeerolie kan via deze manier op bijvoorbeeld ijzer of koper getest worden om slijtage van verschillende machines te detecteren in een vroeg stadium. Zo'n apparaat kan dus breder ingezet worden dan alleen het testen van brandstof. Het apparaat kan verschillende elementen in vaste, vloeibare en gasvormige vorm meten.

Er zijn verschillende mogelijkheden om brandstof op zwavelinhoud te testen. Voor gebruik aan boord is de ED-XRF-methode het meest geschikt doordat dit apparaat makkelijk in gebruik is en compact kan zijn. Er is gebleken dat het geregeld voorkomt dat de zwavelinhoud op de BDN niet correct is waardoor een meerderheid van de zeevarende geïnteresseerd is in een apparaat waarmee de zwavelinhoud van de brandstof aan boord gemeten kan worden.

De bemanning van koopvaardij schepen zijn duidelijk geïnteresseerd in een apparaat dat zwavel in brandstof kan meten. Hoe scheepseigenaren en rederijen hierover denken is in dit onderzoek niet onderzocht. Hier zou verder onderzoek naar gedaan kunnen worden. Hierdoor kan er een uitspraak gedaan worden over de waarschijnlijkheid dat er zulke apparaten in de toekomst aan boord van schepen te vinden zullen zijn.

Mocht er een ED-XRF-apparaten aan boord zijn en de bedoeling hiervan is om de brandstof voorafgaand aan het bunkeren te testen dan moet er een methode bedacht worden om een representatief monster te kunnen nemen voorafgaand aan het bunkeren. Hier zal verder onderzoek naar gedaan moeten worden als de meting aan boord nauwkeurig wil zijn.

Ook moet er onderzocht worden of de meetmethode nauwkeurig genoeg uitvoerbaar is door bemanning zonder enige chemische achtergrond. Hier kan aan de wal eenvoudig praktijkonderzoek naar gedaan worden.



Bibliografie

- Applied Rigaku Technologies inc. (2018). *rigakuedxrf.com*. Opgeroepen op januari 29, 2019, van Elemental Analysis by Energy Dispersive X-ray fluorescence (EDXRF): https://www.rigakuedxrf.com/index.php?gclid=EAlaIqobChMlwfo5-OS4AIVD853Ch3WWgqgEAAYASAAEgLdAPD_BwE
- Bruice, P. Y. (2011). *Organic Chemistry*. Santa Barbara: Pearson. Opgeroepen op januari 29, 2019
- Bruker. (2019). *bruker.com*. Opgeroepen op januari 29 2019, van X-ray Diffraction & Elemental Analyses: <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis.html>
- Bruker. (2019). *bruker.com*. Opgeroepen op januari 29 2019, van How does X-ray Fluorescence (XRF) work?: <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-fluorescence/what-is-xrf.html>
- Daučík, P., Židek, Z., & Kaláb, P. (1998). *Determination of Sulphur Content in Fuels*. Bratislava: Slovak University of Technology. Opgeroepen op januari 30, 2019, van https://www.chempap.org/file_access.php?file=525a667.pdf
- Gard. (2016, september 30). *gard.no*. Opgeroepen op januari 29, 2019, van Onboard verification of fuel sulphur content: <http://www.gard.no/web/updates/content/21951078/onboard-verification-of-fuel-sulphur-content>
- Gard. (2018, december 17). *gard.no*. Opgeroepen op januari 28, 2019, van China expands its sulphur emission control areas: <http://www.gard.no/web/updates/content/26771455/china-expands-its-sulphur-emission-control-areas>
- IMO. (2008). *Resolution MPEEC.176(58)*. IMO. Opgeroepen op januari 24, 2019, van [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/Resolution%20MEPC.176\(58\)%20Revised%20MARPOL%20Annex%20VI.pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Air%20pollution/Resolution%20MEPC.176(58)%20Revised%20MARPOL%20Annex%20VI.pdf)
- IMO. (sd). *Prevention of Air Pollution from Ships*. Opgeroepen op Januari 24, 2019, van IMO.org: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>
- International Bunker Industry Association. (2017, februari 22). *ibia.net*. Opgeroepen op januari 30, 2019, van IBIA raises awareness of sulphur compliance verification challenges at IMO: <http://ibia.net/ibia-raises-awareness-of-sulphur-compliance-verification-challenges-at-imo/>
- International Bunker Industry Association. (2018, juli 17). *ibia.net*. Opgeroepen op januari 30, 2019, van IMO working group makes progress on sulphur testing and verification issues: <https://ibia.net/imo-working-group-makes-progress-on-sulphur-testing-and-verification-issues/>
- ir. A.P. Abbink Spaink. (1998). *Emissies uit Scheepsmotoren*. HARLINGEN: STOWA. Opgeroepen op januari 27, 2019



- Joose, B. (2018, December 03). *Rotterdamse scale-up maakt stookolie met 90 procent minder CO2-uitstoot*. Opgeroepen op Januari 24, 2019, van Duurzaam bedrijfsleven: <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/mobiliteit/30601/stookolie-minder-co2>
- Luchtmeetnet. (2017). *luchtmeetnet.nl*. Opgeroepen op februari 1, 2019, van Zwaveldioxide (SO2) jaargemiddelde dagwaarde: <https://www.luchtmeetnet.nl/rapportage>
- MI News Network. (2017, januari 16). *marineinsight.com*. Opgeroepen op januari 28, 2019, van Maersk Line To Introduce New Low Sulphur Surcharge In Response To Environmental Regulations: <https://www.marineinsight.com/shipping-news/new-low-sulphur-surcharge-response-environmental-regulation/>
- Netpas. (sd). *netpas.net*. Opgeroepen op januari 28, 2019, van (S)ECA and Port List: http://netpas.net/extension/common/seca_list.php#each
- Rijksoverheid. (2003, oktober 3). *clo.nl*. Opgeroepen op januari 28, 2019, van SO2-concentratie in Nederland (jaar- en wintergemiddelde), 1992-2002: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl044101-zwaveldioxide>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2017, oktober). *ourworldindata.org*. Opgeroepen op januari 28, 2019, van Air Pollution: <https://ourworldindata.org/air-pollution>
- RIVM. (2012, augustus 28). *rivm.nl*. Opgeroepen op januari 28, 2019, van Uitstoot luchtverontreiniging beneden emissieplafonds: <https://www.rivm.nl/nieuws/uitstoot-luchtverontreiniging-beneden-emissieplafonds>
- Schildrop, B. (2018). *IMO2020 Report*. Skandinaviska Enskilda Banken. Opgeroepen op januari 21, 2019, van <https://www.mpropulsion.com/ugc-1/1/2/0/Bjarne%20Schildrop%20IMO%20report.pdf>
- Schuttevaer. (2019, januri 18). *schuttevaer.nl*. Opgeroepen op februari 1, 2019, van Turkse kapitein betraapt op gebruik van zwavelhoudende stookolie: <https://www.schuttevaer.nl/nieuws/zeevervaart/nid30313-turkse-kapitein-betrapt-op-gebruik-van-zwavelhoudende-stookolie.html>
- U.S. National Park Service. (2018, September 11). *nps.gov*. Opgeroepen op Januari 28, 2019, van Sulfur Dioxide Effects on Health: <https://www.nps.gov/subjects/air/humanhealth-sulfur.htm>
- XOS. (sd). *xos.com*. Opgeroepen op januari 21, 2019, van Simple Sulfur in Bunker Fuel Compliance: <https://www.xos.com/landing-pages/simple-sulfur-in-bunker-fuel-compliance>
- XOS. (sd). *xos.com*. Opgeroepen op januari 30, 2019, van Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence (WDXRF): <https://www.xos.com/WDXRF>



Bijlage 1, Enquêtevragen

Sulphur measurement survey

1) What is your rank?

- 1) Master
- 2) C/E
- 3) 2nd Engineer
- 4) 3rd Engineer
- 5) 4th Engineer
- 6) Other: _____

2) How long have you been sailing?

- 1) Less than 1 year
- 2) Between 1 and 3 years
- 3) Between 3 and 5 years
- 4) Between 5 and 10 years
- 5) More than 10 years

3) Is your ship equipped with a desulphurization plant (for example a scrubber)?

- 1) Yes
- 2) No

4) In 2020, will your ship use a low sulphur fuel or use a desulphurization plant to comply with MARPOL Annex VI?

- 1) Low sulphur fuel
- 2) Desulphurization plant

5) What type of fuel do you sail with outside a SECA sea area?

- 1) IFO380 (<3.50%)
- 2) IFO180 (<3.50%)
- 3) ULSFO (<0.10%)
- 4) MDO
- 5) MGO
- 6) Other: _____



6) What type of fuel do you sail with within the boundaries of a SECA sea area?

- 1) IFO380 (<3.50%)
- 2) IFO180 (<3.50%)
- 3) ULSFO (<0.10%)
- 4) MDO
- 5) MGO
- 6) Other: _____

7) Have you ever noticed after bunkering that the fuel was not as described in the bunker delivery note (more sulphur or less sulphur than stated or other divergent fuel properties)?

- 1) Yes
- 2) No

If no, proceed to question 10.

8) If yes, what was off-spec?

1. Sulphur content
2. Other: _____

9) If yes, when was this?

1. Prior to 1 July 2010
2. Between 1 July 2010 and 1 January 2015
3. After 1 January 2015
4. Specifically dd-mm-yy

10) Would you be interested in a device that could measure sulphur content of fuel so the fuel can be tested prior to bunkering?

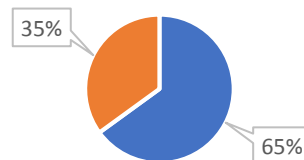
1. Yes
2. No

Bijlage 2, BDN en laboratorium-resultaten

Tabel 2 BDN en laboratorium-resultaten. Bron: eigen creatie

	Aantal	[%]
Aantal monsters binnen marge	39	65%
Aantal monsters buiten marge	21	35%

Aantal monsters die overeen komen met de BDN



■ Aantal monsters binnen marge
■ Aantal monsters buiten marge

	Datum	Haven	Brandstof	BDN-zwavel [%]	Resultaat zwavel [%]		Vershil [%]
HFO							
1	15-5-2010	Houston	HFO	3,55	3,44	Binnen marge	0,11
2	12-9-2010	New Orleans	HFO	2,00	2,10	Binnen marge	-0,10
3	23-10-2010	Gibraltar	HFO	0,90	0,97	Binnen marge	-0,07
4	24-10-2010	Tampa	HFO	3,80	3,72	Binnen marge	0,08
5	23-5-2011	Lake Charles	HFO	3,19	3,22	Binnen marge	-0,03
6	8-7-2013	Trinidad	HFO	1,74	1,81	Binnen marge	-0,07
7	24-8-2013	Takoradi	HFO	3,19	2,62	Buiten marge	0,57
8	22-9-2013	Antwerpen	HFO	2,90	2,51	Buiten marge	0,39
9	21-10-2013	San Juan	HFO	2,34	2,39	Binnen marge	-0,05
10	10-2-2014	Durban	HFO	2,50	2,64	Binnen marge	-0,14
11	3-4-2014	Gibraltar	HFO	3,28	3,37	Binnen marge	-0,09
12	16-6-2014	Gibraltar	HFO	1,64	1,65	Binnen marge	-0,01
13	28-7-2014	Cristobal	HFO	3,07	2,74	Buiten marge	0,33
14	15-11-2014	Singapore	HFO	3,45	2,26	Buiten marge	1,19
15	15-1-2015	Busan	HFO	2,68	2,57	Binnen marge	0,11
16	2-2-2015	Singapore	HFO	3,45	2,95	Buiten marge	0,50
17	25-5-2015	Singapore	HFO	3,23	3,14	Binnen marge	0,09
18	5-6-2015	Singapore	HFO	3,00	2,78	Binnen marge	0,22
19	7-8-2015	Singapore	HFO	3,45	2,46	Buiten marge	0,99
20	15-9-2015	Singapore	HFO	2,77	2,55	Binnen marge	0,22
21	25-11-2015	Montreal	HFO	2,68	2,58	Binnen marge	0,10
22	27-1-2016	Vlissingen	HFO	2,30	2,49	Binnen marge	-0,19
23	19-2-2016	Genoa	HFO	2,53	2,62	Binnen marge	-0,09
24	7-3-2016	Houston	HFO	2,13	2,08	Binnen marge	0,05
25	6-6-2016	Antwerpen	HFO	2,10	2,17	Binnen marge	-0,07



26	16-7-2016	Houston	HFO	2,60	2,71	Binnen marge	-0,11
27	26-8-2016	Pointre-noire	HFO	2,27	2,51	Buiten marge	-0,24
28	20-9-2016	Las Palmas	HFO	2,90	2,76	Binnen marge	0,14
29	17-10-2016	Emden	HFO	2,50	1,42	Buiten marge	1,08
30	21-11-2016	Singapore	HFO	2,52	2,67	Binnen marge	-0,15
31	11-12-2016	Busan	HFO	2,63	2,62	Binnen marge	0,01
32	21-12-2016	Shanghai	HFO	2,10	2,60	Buiten marge	-0,50
33	20-1-2017	Balboa	HFO	1,73	1,81	Binnen marge	-0,08
34	4-4-2017	Las Palmas	HFO	1,80	1,72	Binnen marge	0,08
35	10-4-2017	Antwerpen	HFO	2,37	2,44	Binnen marge	-0,07
36	10-5-2017	Rio de Janeiro	HFO	2,51	2,71	Binnen marge	-0,20
37	30-8-2017	New Orleans	HFO	2,90	2,78	Binnen marge	0,12
38	4-10-2017	Faroe Islands	HFO	2,17	1,60	Buiten marge	0,57
39	30-11-2017	Grundartangi	HFO	1,08	1,06	Binnen marge	0,02
40	1-12-2017	Iceland	HFO	2,17	1,60	Buiten marge	0,57
41	30-1-2018	Skaw	HFO	2,73	2,80	Binnen marge	-0,07
42	27-3-2018	Las Palmas	HFO	3,35	2,80	Buiten marge	0,55
43	18-4-2018	St. Petersburg	HFO	2,45	2,38	Binnen marge	0,07
44	3-6-2018	Las Palmas	HFO	2,35	2,38	Binnen marge	-0,03
45	8-10-2018	Curacao	HFO	2,73	2,68	Binnen marge	0,05
46	6-12-2018	Terneuzen	HFO	2,10	2,06	Binnen marge	0,04
47	14-1-2019	Suez	HFO	2,94	3,04	Binnen marge	-0,10
48	4-3-2019	Mumbai	HFO	3,40	3,04	Buiten marge	0,36
49	17-3-2019	Singapore	HFO	2,92	3,32	Buiten marge	-0,40
LSFO							
50	21-10-2013	San Juan	LSFO	0,950	1,030	Binnen marge	-0,080
51	16-6-2014	Gibraltar	LSFO	0,940	1,040	Buiten marge	-0,100
52	30-11-2014	Busan	LSFO	0,950	0,920	Binnen marge	0,030
53	20-11-2017	Halifax	LSFO	0,638	0,720	Buiten marge	-0,082
ULSFO							
54	6-10-2015	Singapore	ULSFO	0,0890	0,1000	Buiten marge	-0,0110
55	25-11-2015	Montreal	ULSFO	0,0743	0,0894	Buiten marge	-0,0151
56	9-4-2016	Skaw	ULSFO	0,1000	0,1100	Binnen marge	-0,0100
57	6-6-2016	Antwerpen	ULSFO	0,0800	0,0900	Buiten marge	-0,0100
58	2-10-2016	Antwerpen	ULSFO	0,0690	0,0900	Buiten marge	-0,0210
GO							
59	13-8-2017	Pont Lisas	GO	0,097	0,110	Buiten marge	-0,013
60	30-8-2017	New Orleans	GO	0,074	0,080	Binnen marge	-0,006