

2019

alWeer onnauwkeurig

Nauwkeurigheid van de
ECMWF weersverwachtingen

ECMWF:



René Waleson,

00070818

Vlissingen

HZ University Of Applied Sciences

Maritiem officier 2018-2019

22-08-2019

Versie 4.0

alWeer onnauwkeurig

Nauwkeurigheid van de ECMWF weersverwachtingen

Onderzoeksrapport

Afbeelding voorpagina: *Figuur 1, (Waleson, 2019)*

René Waleson

00070818

Vlissingen

HZ University of Applied Sciences

Maritiem officier 2018-2019

Onderzoeksrapport

Voorwoord

Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van ons onderzoek aan de HZ University of Applied Sciences. Ik wil in de eerste plaats graag mijn dank betuigen aan alle docenten en zeevarenden die met me hebben meegedacht in het verloop van het onderzoek. In het speciaal wil ik Dhr. J. Luteijn en Dhr. S. Hobbij bedanken voor de begeleiding tijdens het schrijven van dit onderzoeksrapport. Ik zou daarnaast ook mijn dank willen betuigen aan de European Centre for Medium Range Weather Forecasts voor het verlenen van de data in grib bestanden. Ten slotte wil ik rederij Anthony Veder bedanken voor mijn stageperiode op de Prins Hendrik.

René Waleson

Honolulu, 25 juni 2019

Samenvatting

Een onjuiste weersvoorspelling kan leiden tot onverwachts slecht weer wat grote schade kan veroorzaken aan zeeschepen. Het schip de Prins Hendrik maakt voor haar weersverwachtingen gebruik van de door de internetwebsite Windy weergegeven ECMWF-model.

Het doel van dit onderzoek is daarom om te bepalen hoe nauwkeurig de door Windy weergegeven ECMWF model weersdata is. Dit komt tot stand door de weersverwachtingen te vergelijken met waarnemingen aan boord, om zo een uitspraak te kunnen geven over de nauwkeurigheid. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Hoe nauwkeurig zijn de meerdaagse weersverwachtingen van het ECMWF-model op zee¹?*

Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag is er een kwantitatief onderzoek uitgevoerd, aan de hand van een selecte kwantitatieve steekproef met metingen/observaties. Deze metingen/observaties zijn aan boord van de Prins Hendrik vergeleken met de voorspellingen die het ECMWF-model levert. Uit het verschil tussen de meting en voorspelling is er een bepaalde nauwkeurigheid berekend. Verder zijn er ook enkele deelvragen opgesteld. Uit de resultaten van de deelvragen is gebleken dat de bovengenoemde nauwkeurigheid ook afhankelijk is van hoe oud de voorspelling is en hoe nabij de Prins Hendrik bij de kust vaart. Uit de metingen van de gehele steekproef bleek dat het ECMWF-model enkele keren van de geobserveerde waarde afwijkt.

Op basis hiervan wordt aanbevolen om eventueel een vervolgonderzoek te starten met de aanbevelingen beschreven in het hoofdstuk "Conclusie & aanbevelingen".

¹ Zie 3.4 Afbakening

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	1
2. Theoretisch kader	3
2.1 ECMWF.....	3
2.2 Het berekenen van de nauwkeurigheid.....	6
2.3 De observatie	8
2.4 Juiste manier van meten	9
2.4.1 Wanneer?.....	9
2.4.2 Meten van de luchtdruk.....	10
2.4.3 Meten van de temperatuur	11
2.4.4 Meten van de wind	11
2.5 Verstoringen.....	12
2.6 Begrippen en definities	13
2.6.1 Zeegang.....	13
2.6.2 Luchtdruk	13
2.6.3 Planetary Boundary Layer	13
2.6.4 Temperatuur	13
2.6.5 Wind.....	13
3. Methode	14
3.1 Kwalitatief	14
3.2 Kwantitatief.....	14
3.3 Datacollectie	14
3.3.1 Verantwoording populatie.....	14
3.4 Afbakening	15
3.5 Methode per deelvraag	15
3.6 Verantwoording kwaliteitsborging	15
3.7 Ethische aspecten	15
3.8 Gebruikte apparatuur	16
3.8.1 Wind apparatuur.....	16
3.8.2 Temperatuur apparatuur	16
3.8.3 Luchtdruk apparatuur	17

4.	Resultaten	18
4.1	Variabelen	18
4.2	Het verkrijgen van data.....	20
4.3	Wind.....	20
4.3.1	Resultaten	20
4.4	Temperatuur	24
4.4.1	Resultaten	24
4.5	Luchtdruk	26
4.5.1	Resultaten	26
4.6	Verstoringsen.....	28
4.6.1	Resultaten	28
5.	Discussie.....	31
6.	Conclusie & aanbevelingen.....	32
	Literatuurlijst.....	33
	Afbeeldinglijst	34
	Tabellen.....	34
	Vergelijkingen	35
	Bijlage I, De afgelegde route van de Prins Hendrik.....	36
	Bijlage II, De absolute verschillen van de metingen	37

1. Inleiding

Kosten door schade aan het schip, aan de grond lopen, het verliezen van lading, verwondingen en dodelijke ongevallen kunnen de resultaten zijn van slecht weer. Slecht weer is een factor die de maritieme industrie en recreatie riskant kan maken, vooral zeegang en zeedeining zijn aanzienlijke factoren op het schip die onnodig veel schade kan veroorzaken (Maritime Injury Center, 2019). Als zeevarende is het gebruik van weersverwachtingen van groot belang. De gevolgen van het niet gebruiken, onnauwkeurigheid, negeren of verkeerd beoordelen ervan zou zeer groot kunnen zijn. Als voorbeeld hiervan is er het tragische ongeluk van vrachtschip El Faro:

“El Faro was zoekgeraakt in de Caraïbische wateren op een oktober 2015. Een maand later was het schip gevonden, gezonken en alle drieëndertig bemanningsleden waren overleden. Het schip voer tijdens de reis van Florida naar Puerto Rico recht in de orkaan Joaquin. Na verder onderzoek is gebleken dat de kapitein, een ervaren zeeman, bezit had over de weersvoorspellingen van de storm, maar besloot het schip zijn koers te laten behouden en voer zo recht de orkaan in. Zelfs met de best voorspelde informatie, kunnen bemanningsleden slechte keuzes maken wat vreselijke gevolgen had. (Maritime Injury Center, 2019).”

Toekomstige weersomstandigheden zijn niet altijd even nauwkeurig te voorspellen, met name op de zeeën en oceanen. Toch helpt een goede weersverwachting zeevarende met het vermijden van slecht weer en de zeegang die daarbij hoort. Om de zeegang en deining die leiden tot schade te vermijden, is het van belang dat de voorspellingen nauwkeurig zijn (Maritime Injury Center, 2019). Om deze reden is de doelstelling van dit onderzoek om te bepalen hoe nauwkeurig de door Windy weergegeven ECMWF model weersdata is. Dit komt tot stand door de weersverwachtingen te vergelijken met waarnemingen aan boord, om zo een uitspraak te maken over de nauwkeurigheid. Om dit zo goed mogelijk te beantwoorden, wordt er daarom in dit onderzoek de volgende hoofdvraag gesteld:

Hoe nauwkeurig zijn de meerdaagse weersverwachtingen van het ECMWF-model op zee²?

Om een antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag, moeten eerst de volgende deelvragen worden beantwoord.

- Welke variabelen die een weermodel levert zijn in dit onderzoek toetsbaar?
- In welke mate heeft de leeftijd van de weersverwachting invloed op de nauwkeurigheid?
- Heeft de aanwezigheid van land effect op de nauwkeurigheid van de weersverwachting?

Om de doelstelling te behalen en de hoofd- en deelvragen te beantwoorden is er een kwantitatief onderzoek uitgevoerd. Dit is gedaan aan de hand van een selecte kwantitatieve steekproef met metingen/observaties. Wat verder toegelicht is in **Methode**. De metingen voor dit onderzoek zijn vier maanden lang gemeten aan boord van de LPG-tanker Prins Hendrik. Die metingen zijn alleen metingen van temperatuur, wind en luchtdruk. De Prins Hendrik heeft Zuid en Midden-Amerika en Hawaii als vaargebied, alle metingen hebben dan ook daar plaats gevonden in de periode februari tot juni 2019. De resultaten die iets zeggen over de nauwkeurigheid van het ECMWF-model zullen alleen geldig zijn in het in die periode bevaren gebied.

² Zie 3.4 Afbakening

Voorafgaand aan het onderzoek, heeft er e-mailcontact plaatsgevonden met medewerkers van het hoofdkantoor van Anthony Veder. Hieruit werd duidelijk dat de Prins Hendrik de afgelopen tien jaar het Caribische gebied als vaargebied had. Hoogstwaarschijnlijk zal dit zo blijven. Hiervan uitgaande was er dus een kans om tropische cyclonen tegen te komen, aangezien het Caribisch gebied daar bekend om staat (Ham, 1998). Om deze reden was er oorspronkelijk het idee om ook het effect van een tropische cycloon op de nauwkeurigheid te onderzoeken. Helaas, zoals een maritieme docent op de HZ University of Applied Sciences al een keer eerder had gezegd:

“Er is niets zo veranderlijk als de scheepvaart (Meerburg, 2019).”

Sinds het aanmonsteren in Argentinië heeft het schip de Prins Hendrik het Caribisch gebied niet meer aangedaan, maar vaart nu tussen Argentinië en de Hawaï eilandengroep. Dit is nadelig voor het tegenkomen van tropische cyclonen, aangezien er op de Zuidelijke Stille Oceaan geen tropische cyclonen voorkomen.

2. Theoretisch kader

2.1 ECMWF

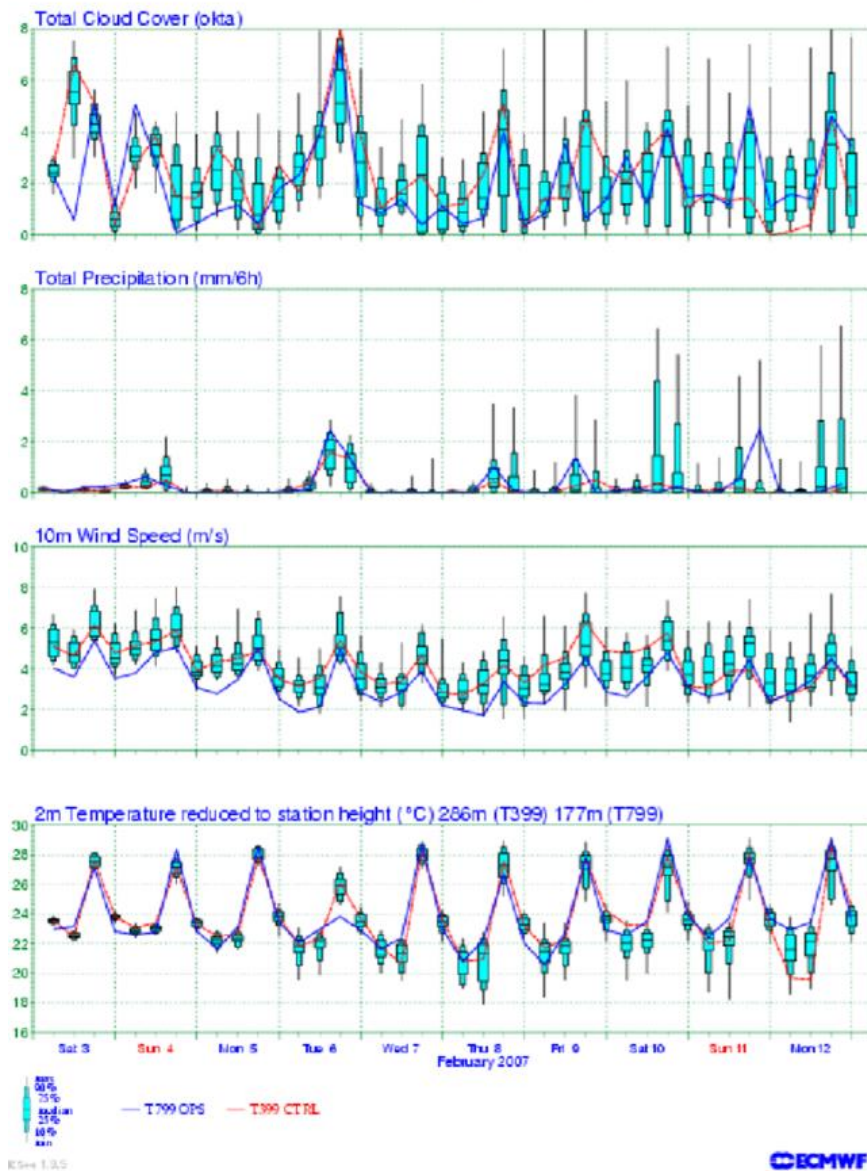
De modellen die het ECMWF gebruikt om het weer te voorspellen, vallen in de categorie Global Climate Models (GCM). Deze GCM's kunnen worden gebruikt om het klimaat van minder dan een uur tot enkele eeuwen in de toekomst te voorspellen. De modellen van het ECMWF zijn vooral bedoeld voor de korte termijn voorspellingen. De meest belangrijke voorspellingen van het ECMWF worden samengesteld aan de hand van de volgende twee voorspellingsmodellen. Allereerst is er het voorspellingsmodel die tot tien dagen in de toekomst kan voorspellen. Deze werkt met een resolutie van 25 kilometer, wat betekent dat de aarde opgedeeld is in vlakken van 25 bij 25 kilometer. Deze resolutie is de hoogste resolutie die het ECMWF gebruikt voor haar modellen. Ook al is er bij dit voorspellingsmodel een hoge resolutie en toenemende nauwkeurigheid van de voorspellingen, zal er altijd een bepaalde onzekerheid in de voorspellingen bestaan die niet volledig op te lossen is door de resolutie te verhogen (Wijnands, 2007).

Het weer is chaotisch (ECMWF, 2018) dit is te verklaren aan de hand van het zogenaamde vlindereffect van Edward Lorenz. Het vlindereffect beschrijft dat het klappen van de vleugels van een vlinder in Brazilië, maanden later een tornado in Texas zou kunnen veroorzaken. Dit komt terug bij het modelleren van het klimaat. De huidige status van het klimaat is niet nauwkeurig te bepalen. Hoe langer het voorspellingstermijn wordt, hoe meer de voorspellingen zullen afwijken van de uiteindelijke metingen (Wijnands, 2007).

Om deze reden bepaalt het ECMWF zijn voorspellingen langer dan tien dagen in de toekomst op een andere manier. Dit is het Ensemble Prediction System (EPS), dit voorspellingsmodel bepaalt in totaal 51 weersvoorspellingen met een resolutie van 50 kilometer. Deze 51 voorspellingen hebben een andere instelbegintoestand vergeleken met het klimaatmodel. Dit verstoort de begintoestand van het voorspellingsmodel om de effecten van onzekerheden in die begintoestand te beïnvloeden.

Figuur II, laat de output van het EPS zien. Bij elk tijdstip zijn de 10%, 25%, 50%, 75% en 90% kwantielen berekend met de minimale en maximale waarde. De verwachting op basis van het EPS zonder verstoring is aangegeven met de rode lijn (T399). De blauwe lijn (T799) weergeeft de voorspelling van het eerstgenoemde voorspellingsmodel die gebruik maakt van een resolutie van 50 kilometer. Omdat het een globaal klimaatmodel is, is het mogelijk om voor iedere plaats in de wereld een 10-daagse voorspelling te geven (Wijnands, 2007).

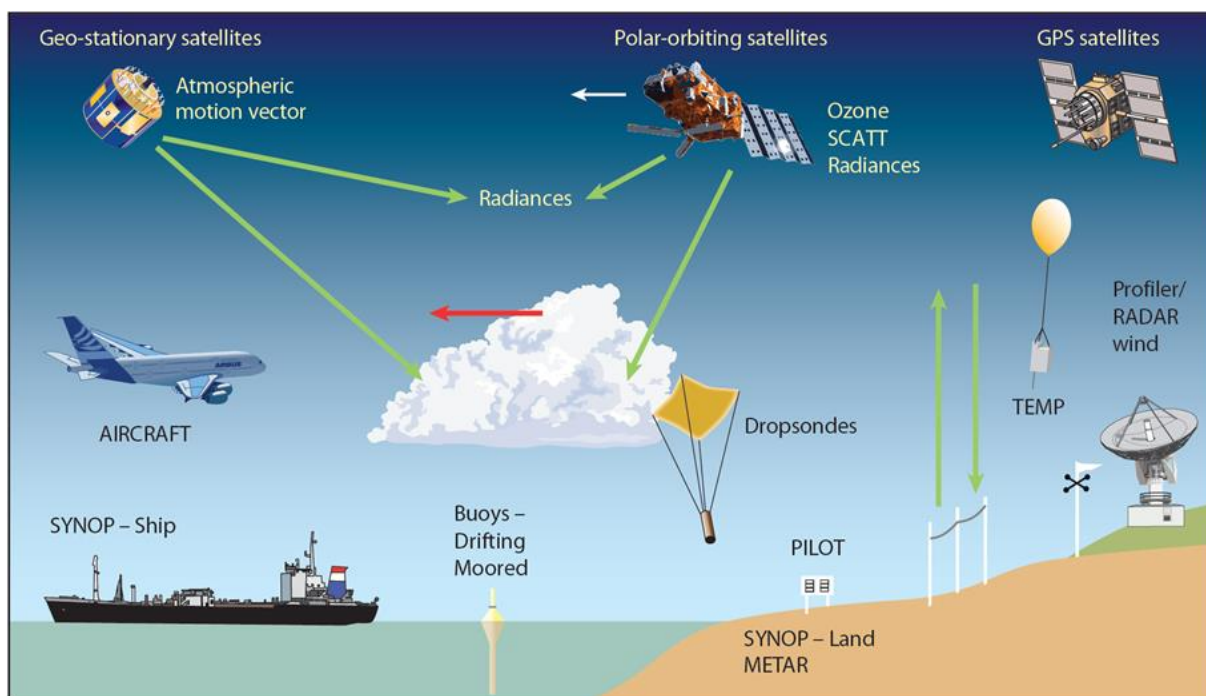
EPS Meteogram
 Caguas (98m) 18.2°N 66.15°W
 Deterministic Forecast and EPS Distribution Saturday 3 February 2007 00 UTC



Figuur II, (ECMWF, 2018)

De kwaliteit van satellietobservaties veranderd nog steeds vrij snel (ECMWF, 2019). Vaak maken satellieten duizenden individuele observaties voor dezelfde locatie en vereisen verfijnde technieken om de verkregen informatie te interpreteren. Nieuwe technieken voor het verwerken van terrestrische gegevens zijn ook in ontwikkeling, bijvoorbeeld het rekening houden met de drift van de radiosondes die ontstaat na de lancering. Waarnemingen, met name van satellieten leveren samen met een verbeterde modellering een belangrijke bijdrage aan het verbeteren van de weersvoorspellingen op middellange termijn (ECMWF, 2019).

Het ECMWF gebruikt vele verschillende bronnen voor het verzamelen van de data. In “Figuur III, ECMWF-methodes van data verzamelen” is een duidelijke weergave te zien van alle verschillende methodes en bronnen (ECMWF, 2019).



Figuur III, ECMWF-methodes van data verzamelen (ECMWF, 2019).

2.2 Het berekenen van de nauwkeurigheid

In dit onderzoek is de nauwkeurigheid getest door de voorspelling te vergelijken met de daadwerkelijke observatie aan de hand van berekeningen. Het berekenen van de nauwkeurigheid kan op drie verschillende manieren gedaan worden. De simpelste manier daarvan is het rekenen met de Mean Absolute Error (MAE). De MAE meet de gemiddelde grootte van de fouten in een reeks voorspellingen, zonder rekening te houden met hun richting. Het is het gemiddelde over het testmonster van de absolute verschillen tussen voorspelling en werkelijke waarneming, waarbij alle individuele verschillen gelijk zijn (Thinker, 2016).

De formule van de MAE:

Vergelijking I, Mean Absolute Error (Wood, 2019)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j|$$

n: Het aantal waarnemingen

Y_j : Werkelijke waarde

$\hat{Y}_j$: Voorspelde waarde

Een probleem met de MAE is dat de relatieve grote van de error niet altijd opvalt. Soms is het moeilijk om een grote fout te onderscheiden van een kleine. Om dit probleem te voorkomen, bestaat er de mogelijkheid om de MAE in procenten om te zetten. De Mean Absolute Percentage Error (MAPE) geeft de mogelijkheid om verschillende voorspellingen van andere stations te vergelijken (Wood, 2019). Bijvoorbeeld kan er nu iets gezegd worden over de nauwkeurigheid van ECMWF vergeleken met die van een ander weermodel. Desondanks dat deze verschillende manieren van bepalen hebben.

De formule van de MAPE:

Vergelijking II, Mean Absolute Percentage Error (Wood, 2019)

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum \left| \frac{y - \hat{y}}{y} \right|$$

n: Het aantal waarnemingen

Y: Werkelijke waarde

$\hat{Y}$: Voorspelde waarde

Een probleem met de MAPE is dat men ervan uit gaat dat de schaal gebaseerd is op hoeveelheden, zoals euro's en kilogrammen. In deze situatie kan er makkelijk gebruik worden gemaakt van percentages. Echter wordt er in dit onderzoek bijvoorbeeld waardes van temperaturen gegeven. Aangezien deze aangegeven is op de Celsius schaal, maakt het het gebruik van percentages minder logisch. Je kan dit dan natuurlijk niet optellen, 1 Celsius, 2 Celsius. Het gebruik van de MAPE is dan alleen zinvol als het veranderen van de schaal geen invloed heeft op het percentage. Het veranderen van kilogrammen naar pond geeft hetzelfde percentage, alleen bij het veranderen van Fahrenheit naar Celsius geeft dit dan weer andere percentages.

Sinds de MAE en de MAPE gebaseerd zijn op de gemiddelde fout, kunnen ze ook de impact van grote fouten onderschatten. Als er te veel naar het gemiddelde wordt gekeken, is er een kans dat de minder vaak voorkomende grotere fouten over het hoofd wordt gezien. Om hiervoor te corrigeren is in dit onderzoek ook gebruik gemaakt van de Root Mean Square Error (RMSE) (Wood, 2019).

De formule van de RMSE:

Vergelijking III, Root Mean Square Error (Thinker, 2016)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}$$

n: Het aantal waarnemingen

y_j : Werkelijke waarde

$\hat{y}_j$: Voorspelde waarde

Door de fouten te kwadrateren voor het berekenen van het gemiddelde en dan vervolgens de vierkantswortel van het gemiddelde te trekken, krijgen de grote minder vaak voorkomende fouten meer betekenis dan het gemiddelde. Er bestaat ook een mogelijkheid om de RMSE en de MAE met elkaar te vergelijken, zo is te zien of er in voorspellingen grote en minder vaak voorkomende fouten zitten. Hoe groter het verschil tussen de RMSE en de MAE is, hoe onregelmatiger de grootte van de fout is. Via bovengenoemde drie manieren kan de nauwkeurigheid van een voorspelling op een eenvoudige manier worden geëvalueerd. Echter moet men wel alert blijven op dat deze nauwkeurigheid iets zegt over het verleden van de voorspellingen. Dit garandeert dan niet direct dat het voor de volgende keer even nauwkeurig zal zijn. Professionals maken constant updates op de methodes om zo de fouten in de voorgaande voorspelling te verbeteren (Wood, 2019). Ook bestaat er een mogelijkheid dat er een anomalie komt waar het model niet op kan anticiperen, het zogenaamde black swan event. Als een black swan event toeslaat, is het onmogelijk om de grootte van de fout te weten (Wood, 2019). Fouten als het black swan event worden niet meegeteld als normale fouten die door RMSE, MAPE, en MAE worden gebruikt.

2.3 De observatie

Als zeevarende natie, kent Nederland op maritieme meteorologisch gebied een lange historie. Sinds de zeventiende en achttiende eeuw werden aan boord van de schepen van de Verenigde Oost-Indische Compagnie (VOC) systematisch weersobservaties verricht. Dit werd destijds voornamelijk gedaan om de snelste route te vinden voor de schepen die naar het destijds Nederlands-Indië moesten. (KNMI, 2019)

Deze observaties die vrijwillig door schepen worden gemaakt, hebben natuurlijk een bepaalde nauwkeurigheid. Om iets te kunnen zeggen over die nauwkeurigheid heeft Elizabeth. C. Kent onderzoek verricht naar hoe groot die fouten in de observaties zijn. Zij heeft hiervoor gebruik gemaakt van het Comprehensive Ocean-Atmosphere Dataset (CODAS) systeem. Dit CODAS-systeem is een verzameling van meteorologische observaties afkomend van schepen, boeien en werkplatformen.

Ook al is de nauwkeurigheid van individuele observaties niet altijd even goed, koopvaardijsschepen zijn dan toch de enige betrouwbare bron van luchttemperatuur, luchtvochtigheid en zee oppervlaktetemperatuur op de oceanen (C.Kent, 2019). Uit het onderzoek van Elizabeth. C. Kent is onder andere gebleken dat de zeeoppervlaktetemperatuur gemiddeld 0.35°C hoger is als deze wordt gemeten door de machine koelwater inlaat thermometer. Dit resultaat wordt in het rapport meerdere keren onderbouwd. De zeeoppervlaktetemperatuur data in het onderzoek van Elizabeth. C. Kent. Is hier uiteindelijk op gecorrigeerd.

Uiteindelijk als resultaat van C. Kent zijn de volgende RMS errors gebleken:

Tabel I, RMS Error ship observations .

Die fouten zijn afhankelijk van de variatie. De variatie is een verzamelnaam voor fouten die ontstaan met het nemen van de observatie, zoals miscalibratie, locatie van de meetinstrumenten, het gemiddelde trekken van een anemometer, het coderen van de codes, nauwkeurigheid van de doorgegeven scheepspositie en het vermogen van de waarnemer om nauwkeurig te schatten (C.Kent, 2019).

Tabel I, RMS Error ship observations (C.Kent, 2019)

Observed field	RMS Error		
	Minimum Error	Maximum Error	Mean Error
Surface wind speed	1.3 m/sec	2.8 m/sec	2.1 +- 0.2 m/sec
Pressure	1.2 mbar	7.1 mbar	2.3 mbar +-0.2 mbar
Air temperature	0.8°C	3.3°C	1.4°C +- 0.1°C
Sea surface temperature	0.4°C	2.8°C	1.5°C +- 0.1°C
Specific humidity	0.6 g/kg	1.8 g/kg	1.1 g/kg +-0.2 g/kg

2.4 Juiste manier van meten

“De meteorologische waarnemingen, welke op zee worden verricht, vormen niet alleen een onmisbare bijdrage voor het samenstellen van weerkaarten waarop de weersverwachtingen gebaseerd zijn, maar zijn tevens van blijvende waarde voor de studie van de klimatologie van de oceanen. Het is daarom van groot belang, dat in het scheepsweerrapport alleen de resultaten van betrouwbare observaties worden opgenomen (KNMI, 2001).”

Dit citaat uit het boek “Meteorologie op zee” van het KNMI beschrijft duidelijk de situatie. De resultaten van de observaties aan boord moeten betrouwbaar zijn. Men spreekt hierbij over observaties van de zeewateroppervlaktetemperatuur, oppervlakte vochtigheid, luchttemperatuur en de wind (KNMI, 2001).

2.4.1 Wanneer?

Het World Meteorological Organisation (WMO) heeft enkele eisen gesteld aan de observaties die door de schepen worden verricht. Een daarvan is het tijdstip wanneer de observaties gemaakt moet worden. Er is gesteld de observatie zal plaats vinden op de synoptische tijden:

- 00:00 UTC
- 06:00 UTC
- 12:00 UTC
- 18:00 UTC

Indien er meer observaties nodig zijn, zullen deze plaats vinden op één van de volgende tijden:

- 03:00 UTC
- 09:00 UTC
- 15:00 UTC
- 21:00 UTC

Wanneer het aan boord onpraktisch is om op tijd een observatie te maken, dan moet de observatie zo dicht mogelijk bij de synoptische tijd zitten. In speciale gevallen mag de observatie zelfs een uur naast de synoptische tijden zitten. Als dit gebeurt moet het daadwerkelijke tijdstip wel vermeld worden (World Meteorological Organization, 2008).

2.4.2 Meten van de luchtdruk

“De satellieten kunnen tegenwoordig veel waarnemen, maar het is nog niet mogelijk om met een satelliet de luchtdruk op aarde te meten (KNMI, 2001).”

Voor het meten van de luchtdruk is het meten op de plaats zelf de beste methode. Alleen kan dit vaak onpraktisch zijn met het meten. Bijvoorbeeld als je androïde barometer op de brug van het schip staat en de druk op zeeniveau Mean Sea Level (MSL) moet worden gemeten. Voor deze situatie kan de volgende formule toegepast worden (Blauwevinvis, 2019). Deze formule corrigeert voor de hoogte waarop de androïde barometer zich bevindt. Bij de Prins Hendrik is dit ook het geval, daarom zal deze formule dan ook in dit onderzoek worden toegepast bij de gemiddelde diepgang.

Vergelijking IV, Correctie formule luchtdruk (Blauwevinvis, 2019)

$$P(0) = \frac{P(h)}{e^{-M \cdot g \cdot \frac{H}{R \cdot T}}}$$

$P(0)$ = de druk op hoogte nul, deze kan in de praktijk enigszins variëren.

$P(h)$ = de druk in hPa of mbar die men op een gekozen hoogte wil berekenen

e = een grondtal voor logaritmische schaalverdeling (de luchtdruk neemt immers volgens een logaritmische schaal af) met de vaste benaderende waarde 2,71828...

M = molaire massa van lucht = 0,0288 kg per mol

g = de valversnelling, deze is 9,81 m/s² maar verschilt altijd iets afhankelijk van de positie op aarde en de hoogte, voor het gemak kan 9,81 worden aangehouden

R = de gasconstante = 8,3144621 J K⁻¹ mol⁻¹

T = de absolute temperatuur in Kelvin, dat is 273,15 graden hoger dan de temperatuur in Celsius (Blauwevinvis, 2019)

Bij het opstellen van de observatie is het belangrijk om ervoor te zorgen dat de brugdeuren even open hebben gestaan. De airconditioner installatie aan boord zorgt voor een overdruk in de accommodatie. Bij het openen van de deuren wordt deze overdruk opgeheven en zal de barometer de juiste luchtdruk aangeven. De enige correctie bij de barometer is de instrumentcorrectie, deze moet volgens het WMO eisen eens in de drie maanden worden gecontroleerd. Deze controle moet uitgevoerd worden door een Port Meteorological Officer (PMO) en hij zal de uiteindelijke correctie op de barometer zelf noteren (KNMI, 2001).

2.4.3 Meten van de temperatuur

De temperatuur is gemeten aan de hand van een psychrometer. Deze bevindt zich op beide brug vleugels en geeft de temperatuur aan met een schaal in stappen van 0.1° C. Met enige regelmaat wordt het tankje van de natte bol ververst met nieuw gedestilleerd water. Voor elke meting moet worden gecontroleerd of de droge bol daadwerkelijk droog is. De psychrometer van het merk CAMON heeft een meetbereik van -15° C tot 50° C. Deze is niet gekalibreerd door het KNMI. De enige correctie bij de psychrometer is de instrumentcorrectie, deze moet volgens het WMO eisen eens in de drie maanden worden gecontroleerd. Deze controle moet uitgevoerd worden door een PMO en hij zal de uiteindelijke correctie noteren (KNMI, 2001). Tijdens het meten moet ermee rekening worden gehouden dat de psychrometer zich niet in direct zonlicht bevindt, om zo invloed van de zon zijn radiatie te minimaliseren. Hierom is er aan beide boordzijde een psychrometer geïnstalleerd. Deze beide psychrometers zijn aan de buitenzijde van de brug geïnstalleerd met oog op voldoende lucht circulatie rond de psychrometer. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat de deuren van de brug afgesloten zijn. Anders kan de vaak koelere lucht van de accommodatie langs de psychrometer naar buiten stromen.

2.4.4 Meten van de wind

“Zeevarenden kunnen de windrichting en de windkracht goed schatten met behulp van de richting en de hoogte van de door de wind veroorzaakte zeeegang (KNMI, 2001).”

De wind die via bovenstaande manier wordt bepaald is de ware wind. De anemometer aan boord van de Prins Hendrik geeft de schijnbare wind aan. Met behulp van een correctie op koers en vaart is er de mogelijkheid om de ware wind te berekenen. Er is een mogelijkheid dat de anemometer aan boord beïnvloed kan worden door wind die opgestuwd wordt wanneer deze tegen de accommodatie klappt. Dit zal iets zeggen over de nauwkeurigheid van de anemometer gegevens. De toekomstige metingen zijn anders dan wat er in het scheepslogboek wordt geschreven; daar is de wind gegeven in windkracht, in dit onderzoek wordt het aangegeven in windsnelheid. De eenheid van die windsnelheid is knopen. Bij het meten is er ook rekening mee gehouden dat de meting van de wind een gemiddelde is van de afgelopen tien minuten. Indien er in die tien minuten plots een verandering is gekomen, moet de meting na dat keerpunt gemeten worden. Indien het schip zich dichtbij de kust of ondiep water bevindt, moet men wel beseffen dat het zeeoppervlak dan niet alleen door de wind wordt gevormd. Verschillende factoren kunnen dan invloed hebben, zoals sterke getijden stromingen, plankton en olieverontreiniging (KNMI, 2001).

Bij de data van het ECMWF bestaat er een optie om de windsnelheid te verkrijgen op een hoogte naar keuze. Voor dit onderzoek is er gespecificeerd naar de hoogte van 27.1 meter boven zeeniveau. Dit is zo gekozen, omdat de anemometer op deze hoogte is geïnstalleerd.

Windkracht knopen	Windrichting graden	Windkracht m/s	Windrichting graden	Windkracht m/s	Windrichting graden	Windkracht m/s
0	< 1	Windstil	0 - 0,2	Spiegelgladde zee	0,0 M	0,0 M
1	1 - 3	Zwakke wind	0,3 - 1,5	Golfjes welke de zee een geschud aanzicht geven, geen schuimvorming	0,1 M	0,1 M
2	4 - 6		1,6 - 3,3	Kleine, korte golven, maar beter gevormd, glasachtig aanzicht en breken niet	0,2 M	0,3 M
3	7 - 10	Matige wind	3,4 - 5,4	Kleine golven; toppen beginnen te breken, schuim heeft glasachtig aanzicht, hier en daar een schuimkop	0,5 M	1,0 M
4	11 - 16		5,5 - 7,9	Kleine langer wordende golven, vrij veel schuimkoppen	1,0 M	1,5 M
5	17 - 21	Vrij krachtige wind	8,0 - 10,7	Matige golven, aanmerkelijk grotere lengte, overal schuimkoppen, hier en daar opwaaiend schuim	2,0 M	2,5 M
6	22 - 27	Krachtige wind	10,8 - 13,8	Hoge golven, zware schuimstrepen, rollers beginnen te vormen, zichtbeperking door verwaaiend schuim kan optreden	3,0 M	4,0 M
7	28 - 33	Harde wind	13,9 - 17,1	Vorming grotere golven brekende koppen, overal grote schuimkoppen, veel opwaaiend schuim	4,0 M	5,5 M
8	34 - 40	Stormachtige wind	17,2 - 20,7	Hogere golven, veel schuim, brekende koppen beginnen strepen te trekken in de richting van de wind	5,5 M	7,5 M
9	41 - 47	Storm	20,8 - 24,4	Matig hoge golven, de toppen van de golven waaien af, goed ontwikkelde schuimstrepen	7,0 M	10,0 M
10	48 - 55	Zware storm	24,5 - 28,4	Zeer hoge golven, overstortende golfkoppen grote oppervlakken schuim, wit aanzicht van de zee, zicht wordt verminderd door opwaaiend schuim	9,0 M	12,5 M
11	56 - 63	Zeer zware storm	28,5 - 31,6	Buitengewoon hoge golven, zee geheel bedekt met schuim, zicht sterk verminderd	11,5 M	16,0 M

Figuur IV, Windtabel aan boord (KNMI, 2001)

2.5 Verstoringen

Zoals eerder beschreven is het weer lastig te voorspellen. Daarom komt er veel bij kijken indien er een verwachting gemaakt moet worden. Wanneer deze verwachting geconstrueerd is, zit daar natuurlijk een bepaalde nauwkeurigheid aan. Die nauwkeurigheid is onder andere afhankelijk van de hoeveelheid van verstoringen die aanwezig zijn.

Een van die verstoringen kan de aanwezigheid van land zijn (World Meteorological Organization, 2008). Bij het maken van weersverwachtingen, bestaat er een mogelijkheid dat er niet genoeg rekening wordt gehouden met de effecten van het land. Hierbij kan men denken aan bijvoorbeeld extra energie uitstoot van industriecomplexen, de precieze werking van de lokale winden, land en zeewind en vooral de landmassa zelf. De landmassa levert een grote bijdrage aan het bewegen van het weer. In de zomer warmt het land sneller op dan het water van de zee, op dat moment is er dus warm land met koud zeewater. In de winterperiode koelt het land weer snel af, alleen gaat dit veel trager bij de zee, dit veroorzaakt in de winter koud land en een relatief warme zee. Dit proces is op grote schaal (seizoenen) en op kleine schaal (dag en nacht) te vinden. Het proces op kleine schaal veroorzaakt de boven genoemde land en zeewind (KNMI, 2001). Ook al is er onzekerheid of er voldoende rekening wordt gehouden met het verstoring effect van het land, zijn er op het land alsnog meer meetpunten beschikbaar ten opzichte van de zee.

2.6 Begrippen en definities

2.6.1 Zeegang

Binnen dit onderzoek is het begrip zeegang gedefinieerd als golven in het water die veroorzaakt worden door de lokale wind op de plek en tijd van de observatie. In andere rapporten wordt dit ook zeegang genoemd in plaats van golven (Ham, 1998).

2.6.2 Luchtdruk

In dit onderzoek wordt luchtdruk gedefinieerd als de kracht die de atmosfeer uitoefent op het aardoppervlak. In de meteorologie wordt de luchtdruk in hectopascal (hPa) beschreven. De eenheid hPa is gelijk aan 100 pascal en 1 millibar (mbar) (Ham, 1998).

2.6.3 Planetary Boundary Layer

De Planetary Boundary Layer (PBL) kan als volgt beschreven worden: De PBL is een belangrijke parameter in het klimaatstelsel, deze bemiddelt de energie-uitwisselingen, vochtigheid, koolstof en vervuiling tussen het oppervlak en de bovenliggende atmosfeer (Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, 2014).

2.6.4 Temperatuur

Het WMO beschrijft temperatuur als een fysieke hoeveelheid die kenmerkend is aan de willekeurige beweging van moleculen in een fysiek object. Temperatuur is het fenomeen waarbij twee objecten met thermisch contact dezelfde temperatuur proberen te krijgen (World Meteorological Organization, 2008).

2.6.5 Wind

Binnen dit onderzoek is wind gedefinieerd als een twee dimensionale vector gespecificeerd met twee waarden: de richting en snelheid. Deze richting zal de gemiddelde horizontale wind zijn, uitgedrukt in windrichtingen (World Meteorological Organization, 2008).

3. Methode

3.1 Kwalitatief

Kwalitatief onderzoek is een onderzoek dat zich richt op interpretaties, ervaringen en betekenis. Enkele voorbeelden van kwalitatief onderzoek zijn observatieonderzoek, interviews en literatuuronderzoek (Swaen, 2019).

3.2 Kwantitatief

Een kwantitatief onderzoek is gericht op het toetsen van hypothesen en probeert feiten te achterhalen. Deze methode levert voornamelijk cijfermatige gegevens op die vervolgens in grafieken of tabellen gepresenteerd kunnen worden. Hierbij kan er bijvoorbeeld gebruik worden gemaakt van secundaire analyses, enquêtes en monitoring (Swaen, 2019).

3.3 Datacollectie

De hoofdonderzoeksvraag is onderzocht aan de hand van een kwantitatieve onderzoeksmethode. Om de nauwkeurigheid te toetsen, is er gebruik gemaakt van een selecte kwantitatieve steekproef met observaties/metingen aan boord van de LPG-tanker Prins Hendrik. Aan de hand van de metingen uit die steekproef, is de nauwkeurigheid van de meerdaagse weersverwachtingen bepaald. Dit is gedaan door deze aan boord te vergelijken met de realiteit. De populatie van de steekproef zijn de metingen van de temperatuur, wind en luchtdruk. Om tot een goede meting/observatie te komen, is er gebruik gemaakt van de aan boord aanwezige anemometer, psychrometer en androïde barometer. Deze metingen/observaties zijn vervolgens vergeleken met de data van het ECMWF-model. Deze zijn vergeleken aan de hand van een Microsoft Excel bestand waar alle gegevens in geplot zijn. Vervolgens zijn er in het Microsoft Excel bestand ook de formules van “2.2 Het berekenen van de nauwkeurigheid” toegepast. Om de data van dit ECMWF-model in te zien, is er voornamelijk gebruik gemaakt van de internetwebsite Windy.

Aan boord van de Prins Hendrik zijn er grotendeels van de tijdproblemen met het internet. Hoogstwaarschijnlijk is er iemand van de bemanning die continu een download aan heeft staan. Door het trage internet, was het vaak niet mogelijk om de website Windy te bereiken. Als oplossing hierop is er contact opgenomen met het ECMWF en is er toestemming gevraagd voor het gebruik van de mail service. Hierdoor was het mogelijk om dagelijks op aanvraag data te ontvangen.

3.3.1 Verantwoording populatie

Voor dit onderzoek is er besloten om een populatie van 51 metingen te behouden. Dit is gedaan met oog op het werkschema dat aan boord wordt aangehouden. Er was een richtlijn dat er dagelijks een meting werd verricht. Wanneer het schip zich in een haven bevond of wanneer andere speciale werkzaamheden aan boord plaatsvonden, was er een mogelijkheid om die dag over te slaan.

3.4 Afbakening

De 51 metingen in dit onderzoek zijn verzameld van 01-02-2019 tot 02-06-2019 aan boord van de LPG-tanker de Prins Hendrik. De metingen zijn alleen metingen van temperatuur, windrichting, windsnelheid en luchtdruk op zeeniveau. Deze parameters zijn uitgekozen, omdat deze nauwkeurig te bepalen zijn aan boord van schepen (World Meteorological Organization, 2008) en uit de resultaten van “4.1 Variabelen”. Ook zijn dit onder andere de metingen die een weermodel benodigd van observerende schepen. Het schip de Prins Hendrik heeft Zuid- en Midden-Amerika en Hawaï als vaargebied, alle metingen vinden daar dan ook plaats in de periode februari tot juni. De resultaten die iets zeggen over de nauwkeurigheid van het ECMWF-model zijn alleen geldig in het in die periode bevaren gebied. Hier wordt verder op ingegaan in het hoofdstuk rondom de discussie.

3.5 Methode per deelvraag

De eerste deelvraag: *“Welke variabelen die een weermodel levert zijn in dit onderzoek toetsbaar?”* is beantwoord aan de hand van literatuuronderzoek en observaties aan boord.

“In welke mate heeft de leeftijd van de weersverwachting invloed op de nauwkeurigheid?” Deze deelvraag is beantwoord aan de hand van een selecte kwantitatieve steekproef. Aan de resultaten is te zien dat en hoeveel de leeftijd van de weersverwachting invloed heeft op de nauwkeurigheid.

“Heeft de aanwezigheid van land effect op de nauwkeurigheid van de weersverwachting?” Ook deze deelvraag is beantwoord door de resultaten van de selecte kwantitatieve steekproef. In het verloop van de metingen is er gekeken naar de effecten van het land.

3.6 Verantwoording kwaliteitsborging

De kwaliteit van de metingen die tijdens dit onderzoek verricht zijn, is afhankelijk van de waarnemer. Het is het beste als er slechts één waarnemer is. De waarnemer zal waardes moeten aflezen, observeren en middelen over een bepaalde tijd. Indien er dan in die observaties fouten worden gemaakt, zijn deze even groot (KNMI, 2001). Het is daarnaast ook van belang dat iedere meting met hetzelfde apparaat wordt verricht. Hiermee is er een grote kans dat de mogelijke standaardfout van de apparatuur hetzelfde is. Aan de hand van bovenstaande voorwaarden blijven de systematische fouten hetzelfde. Enkele apparaten aan boord zijn niet gecertificeerd en worden niet met regelmaat geijkt. Dit gegeven wordt meegenomen in de stelling over de algemene nauwkeurigheid.

3.7 Ethische aspecten

De internetwebsite Windy en het ECMWF worden niet verantwoordelijk gehouden voor de mogelijke afwijking in de weerberichten die door hen uitgebracht zijn. Dit is bepaald ter voorkoming van imago schade aan de internetwebsite Windy en het ECMWF.

3.8 Gebruikte apparatuur

3.8.1 Wind apparatuur

Voor het nemen van de metingen is er gebruik gemaakt van de aan boord aanwezige anemometer. Deze bevindt zich op een hoogte van 27.1 meter boven zeeniveau bij een gemiddelde diepgang. De bij de bouw van het schip geïnstalleerde anemometer is van de Nei Nippon Electric Instrument Inc. Het is niet bekend of deze na installatie nog gekalibreerd is. De anemometer heeft de mogelijkheid om de kracht en de windrichting te meten. De verkregen waardes zijn vervolgens af te lezen vanaf de brug van het schip. De windsnelheid is aangegeven op een schaal met stappen van 1 knoop. De indicatie van de windrichting is gegeven in graden. Recht op de kop is 0 graden, dan is er vervolgens van 0 tot 180 over stuurboord en 0 tot 180 over bakboord. Kortom: de anemometer meet de hoek tussen het voorschip en waar de wind op het schip valt. Onderstaande figuren laten de aan boord van de Prins Hendrik gebruikte apparatuur zien.



Figuur V, Windsnelheid indicator Prins Hendrik



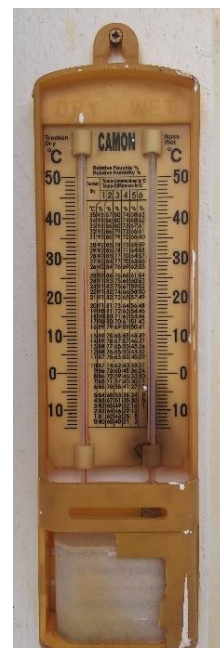
Figuur VII, Windrichting indicator Prins Hendrik



Figuur VI, Anemometer Prins Hendrik

3.8.2 Temperatuur apparatuur

“Figuur VIII, Psychrometer Prins Hendrik” laat een van de gebruikte psychrometers zien. Deze zijn nader beschreven in “2.4.3 Meten van de temperatuur”.



Figuur VIII, Psychrometer Prins Hendrik

3.8.3 Luchtdruk apparatuur

Aan boord van de Prins Hendrik wordt de luchtdruk gemeten door een androïde barometer, deze bevindt zich boven de navigatietafel op de brug en is van het merk Argo Navis. Zoals genoemd in “2.4.2 Meten van de luchtdruk” is het aan boord zeer belangrijk dat voor het meten van de luchtdruk de deuren naar buiten een tijdje moeten open hebben gestaan. Anders wordt de barometer beïnvloed door de aanwezigheid van de airconditioninginstallatie. Geen enkele officier was zich bewust van deze situatie. Volgens de WMO-eisen moet de androïde barometer eens in het jaar worden gecontroleerd. Dit is in de praktijk echter vaak moeilijk te realiseren. Deze controle moet uitgevoerd worden door een PMO en hij zal de uiteindelijke correctie noteren (KNMI, 2001). “Figuur IX, Androïde barometer van Argo Navis, Prins Hendrik” laat de gebruikte androïde barometer zien.



Figuur IX, Androïde barometer van Argo Navis, Prins Hendrik

4. Resultaten

Dit onderzoek heeft enkele maanden gelopen. De resultaten worden in dit hoofdstuk behandeld. Om goed overzicht te houden, worden de hoofd en deelvragen uit “1. Inleiding” nog een maal herhaald.

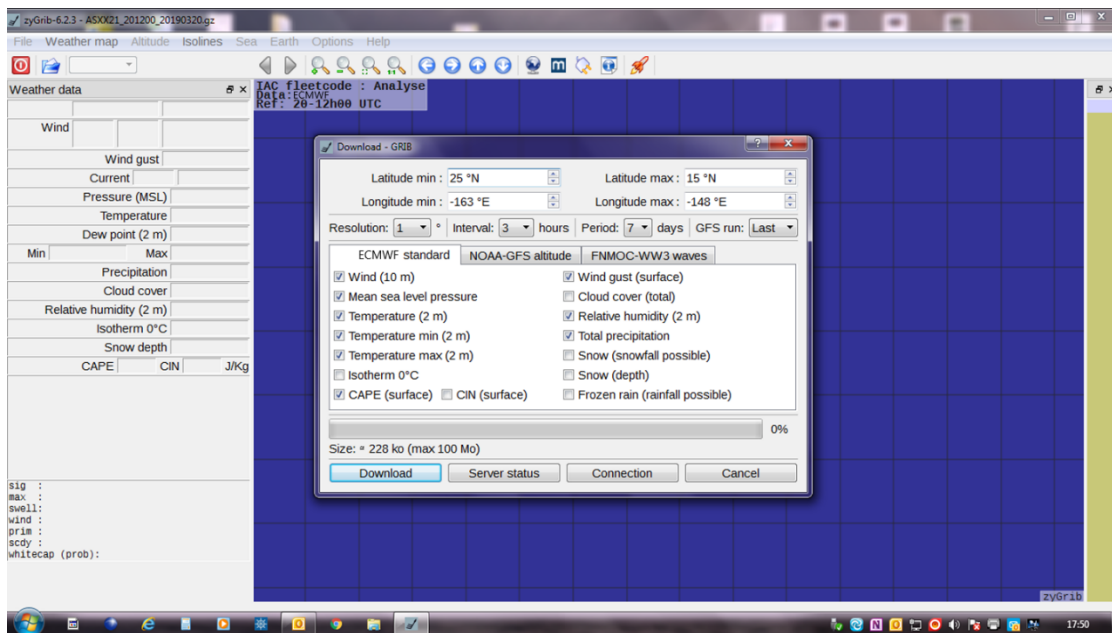
Hoe nauwkeurig zijn de meerdaagse weersverwachtingen van het ECMWF-model op zee³?

Om een antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag, moeten eerst de volgende deelvragen worden beantwoord.

- Welke variabelen die een weermodeel levert zijn in dit onderzoek toetsbaar?
- In welke mate heeft de leeftijd van de weersverwachting invloed op de nauwkeurigheid?
- Heeft de aanwezigheid van land effect op de nauwkeurigheid van de weersverwachting?

4.1 Variabelen

Om een idee te krijgen welke variabelen een weermodeel levert, is er gekeken naar welke opties het ECMWF geeft met het downloaden van de data. “Figuur X, Programma ZyGrib” is een beeld van het programma ZyGrib, het laat zien welke gegevens geladen en ingezien kunnen worden vanuit het ECMWF grib bestand.



Figuur X, Programma ZyGrib

³ Zie 3.4 Afbakening

Vervolgens is er aan de hand van observaties gekeken welke variabelen gemeten kunnen worden met de aan boord van de Prins Hendrik aanwezige apparatuur. Aan de hand van het boek van de WMO (World Meteorological Organization, 2008) is gebleken dat schepen alleen in staat zijn om de volgende variabelen te meten:

- Windsnelheid en richting
- Atmosferische druk
- Weersomstandigheden
- Wolken (hoeveelheid, type)
- Zicht
- Lucht temperatuur
- Luchtvochtigheid
- Neerslag
- Zeeoppervlaktemperatuur
- Zeegang en deining (hoogte, periode en de richting)

Hiervoor is er gesteld dat het schip de volgende apparatuur aan boord moet hebben:

- Androïde barometer
- Psychrometer
- Zeewater thermometer
- Regenglas
- Een professionele waarnemer

(World Meteorological Organization, 2008)

Aan boord van de Prins Hendrik is alles van bovenstaande aanwezig, behalve het regenglas. Ondanks dat het zicht en de bewolking aan boord kan worden waargenomen, kan het niet getoetst worden, omdat het ECMWF geen voorspellingen geeft over het zicht en de bewolking op een locatie. In principe kan dan alles behalve het zicht, bewolking en neerslag getoetst worden in dit onderzoek. Het is echter ook belangrijk om te noteren dat van de meeste apparaten aan boord onduidelijk is wanneer deze voor het laatst zijn gekeurd en gekalibreerd. Met dit in het achterhoofd en een oog op de grootte van de meting populatie, is besloten dat in dit onderzoek alleen de atmosferische druk, zeeoppervlak temperatuur, windrichting en windsnelheid getoetst zullen worden op hun nauwkeurigheid.

4.2 Het verkrijgen van data

Bij het verkrijgen van de data waren enkele tegenslagen. Zoals al eerder beschreven in “3.3 Datacollectie” was er een probleem met het internet aan boord. Dit was problematisch, aangezien het in eerste instantie de bedoeling was om de data van het ECMWF te verkrijgen via de internetwebsite Windy. Deze was helaas niet makkelijk te bereiken. Toch was er een oplossing gevonden door contact op te nemen met ECMWF zelf. Zij verlenen die data aan particulieren indien het gebruikt zal worden voor onderzoek. Die data werden via de email ontvangen als grib bestanden.

Aan boord van de Prins Hendrik wordt het programma ZyGrib gebruikt voor het inzien van de weersverwachtingen. De data die normaal aan boord worden ontvangen zijn van de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). In plaats van de NOAA grib bestanden, werden de ECMWF grib bestanden ingezien via ZyGrib. Indien mogelijk, werden de data weer van Windy afgenomen. De gemeten windsnelheid en windrichting aan boord worden sterk beïnvloed door de grondkoers en grondsnelheid van het schip. De waardes die aangegeven worden op de indicatoren zijn dan ook de relatieve wind (KNMI, 2019). Om de gemeten wind te vergelijken met die van de voorspellingen, moet het eerst omgerekend worden in absolute wind. De absolute wind is de snelheid en richting zonder invloed van het schip (World Meteorological Organization, 2008). Dit omrekenen is voor elke meting van de windsnelheid en windrichting gedaan aan de hand van een Excel bestand. Deze corrigeert de waardes aan de hand van de huidige grondkoers en grondsnelheid.

4.3 Wind

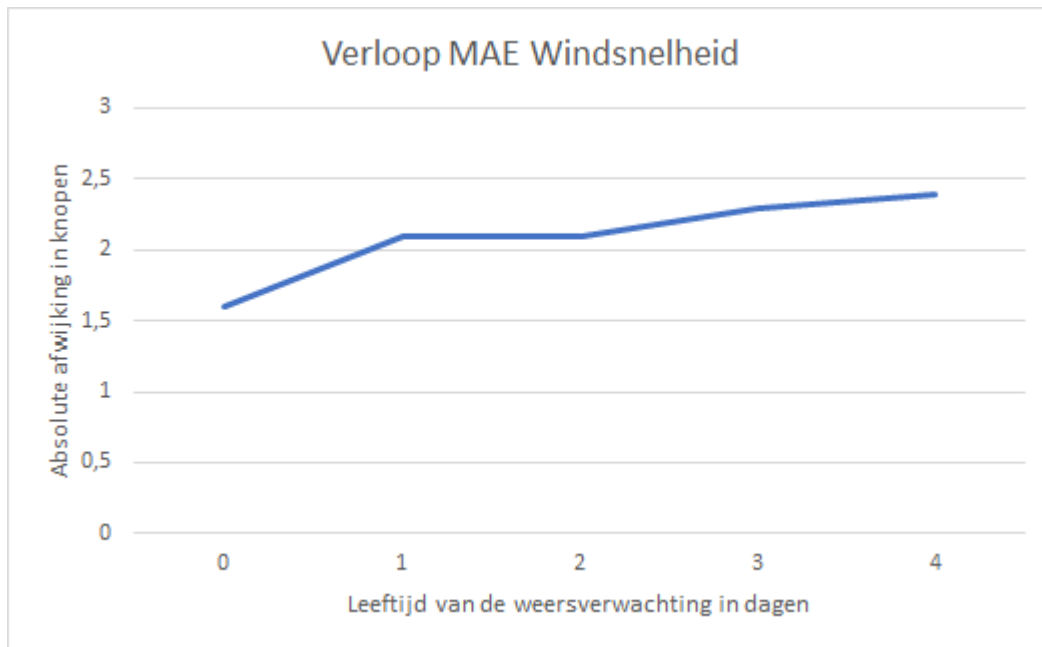
De wind is in de periode van 01-02-2019 tot 02-06-2019 gemeten op de synoptische tijden. De 51 metingen zijn verricht aan de hand van de methodes die het WMO en KNMI aanhouden. Verder zijn de metingen verricht door slechts één waarnemer, om zo inschattingfouten te minimaliseren. Een uitgebreidere beschrijving over het meten van de wind is te vinden in “2.4.4 Meten van de wind”.

4.3.1 Resultaten

Na het nemen van een meting, werd deze in een Excel bestand geplot. Door de gemeten waarde af te trekken van de voorspelde waarde wordt het verschil ertussen verkregen: de fout. Vervolgens is er ook de standaarddeviatie bepaald. Voor het berekenen van de standaarddeviatie is nu niet het absolute verschil nodig tussen gemeten en voorspeld. Verder zijn er ook de MAPE en RMSE bepaald over de resultaten.

4.3.1.1 Windsnelheid

De windsnelheid is in dit hele onderzoek en aan boord gemeten in knopen. In totaal zijn er 51 metingen verricht aan de hand van de genoemde methode. De data van de ECMWF-windsnelheid zijn in de internetwebsite Windy en ZyGrib aangegeven op een decimaal achter de komma. Tijdens het aflezen van de anemometer is de windsnelheid ook genoteerd op een decimaal achter de komma. "Figuur XI, Verloop MAE Windsnelheid" laat zien dat de fouten niet altijd even groot zijn. Deze wijken het meeste af bij de voorspelling van vier dagen van tevoren. Alle onderstaande grafieken in dit hoofdstuk weergeven de totale gemiddelde fout (MAE) per dag.



Figuur XI, Verloop MAE Windsnelheid

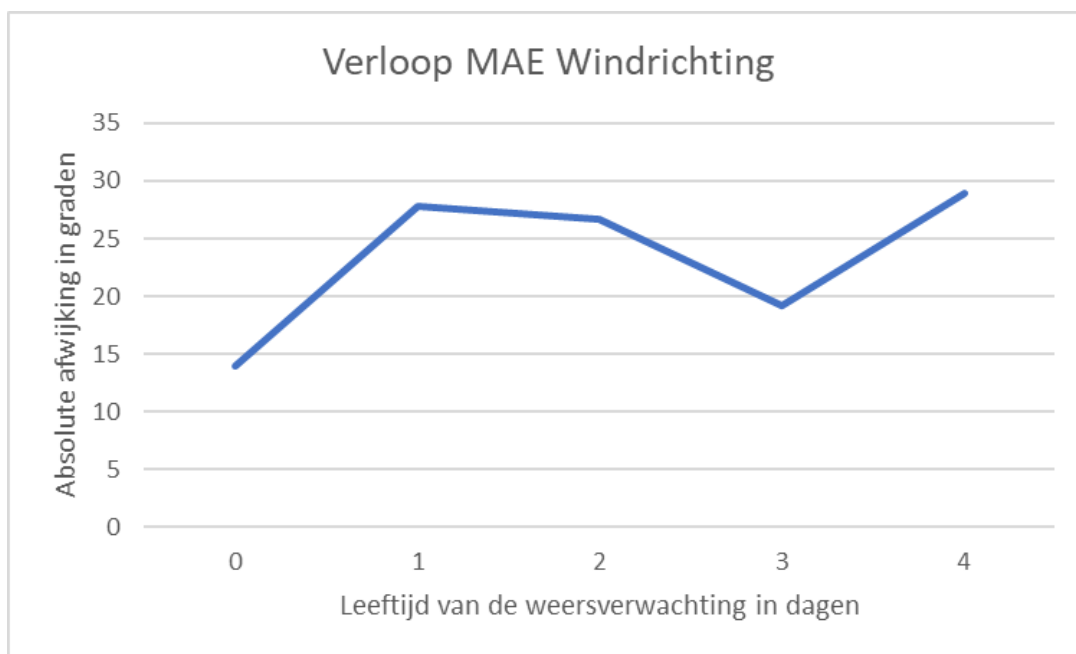
De eindresultaten van alle windsnelheid metingen zijn te zien in “Tabel II, Resultaten windsnelheid (kn)”. Het is te zien dat de RMSE oploopt naar mate de leeftijd van de voorspelling toeneemt.

Tabel II, Resultaten windsnelheid (kn)

	Op de dag zelf	1 dag van tevoren	2 dagen van tevoren	3 dagen van tevoren	4 dagen van tevoren
MAE	1,6	2,1	2,1	2,3	2,4
STDEV	2,3	2,4	2,2	2,7	2,3
RMSE	2,8	3,2	3,1	3,5	3,3

4.3.1.2 Windrichting

De windrichting is in dit hele onderzoek en aan boord gemeten in windstreken. Windstreken kunnen jammer genoeg niet van elkaar afgetrokken worden. Om deze reden was het nodig om alle windstreken om te zetten in het aantal graden wat ze representeren, van 0 tot 360. In totaal zijn er 51 metingen verricht aan de hand van de voorheen genoemde methode. “Figuur XII, Verloop MAE Windrichting” laat zien dat de fouten hier ook niet altijd constant zijn. Deze wijken het meeste af bij de voorspelling van vier dagen van tevoren.



Figuur XII, Verloop MAE Windrichting

In “3.8.1 Wind apparatuur” wordt onder andere besproken dat de aan boord aanwezige anemometer ook de windrichting kan aangeven. Echter is er in dit onderzoek besloten om de metingen te maken aan de hand van de richting van het golfpatroon, dus op zicht. Dit is besloten na overleg met de begeleidende mentor aan boord, omdat het toegevoegde waarde zal hebben op de betrouwbaarheid van de metingen. Zoals “2.4.4 Meten van de wind” al beschreef:

“Zeevarenden kunnen de windrichting en de windkracht goed schatten met behulp van de richting en de hoogte van de door de wind veroorzaakte zeegang (KNMI, 2001).”

De eindresultaten van alle windrichting metingen zijn te zien in “Tabel III, Resultaten windrichting (graden)”. Er is te zien dat in tegenstelling tot de andere parameters, de RMSE het grootst is bij één dag van tevoren. Daarna wordt de nauwkeurigheid beter, alleen niet zo veel beter dan de voorspelling op de dag zelf.

Tabel III, Resultaten windrichting (graden)

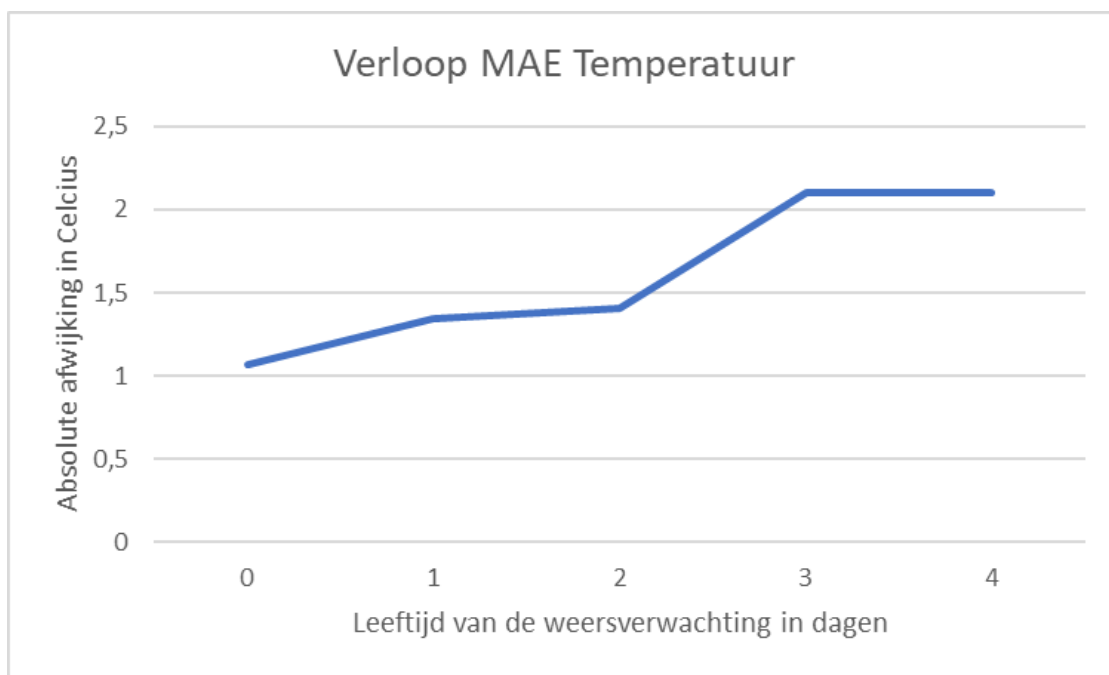
	Op de dag zelf	1 dag van tevoren	2 dagen van tevoren	3 dagen van tevoren	4 dagen van tevoren
MAE	13,90	27,79	26,68	19,19	28,90
STDEV	36,32	54,85	53,77	47,69	43,12
RMSE	38,56	61,01	59,55	50,97	51,55

4.4 Temperatuur

De temperatuur is in de periode van 01-02-2019 tot 02-06-2019 gemeten op de synoptische tijden. De 51 metingen zijn verricht aan de hand van de methodes die het WMO en KNMI aanhouden. Verder zijn de metingen verricht door slechts één waarnemer om zo inschattingsfouten te minimaliseren. Een uitgebreidere beschrijving over het meten van de temperatuur is te vinden in "2.4.3 Meten van de temperatuur".

4.4.1 Resultaten

De temperatuur is in dit hele onderzoek en aan boord aangegeven in de eenheid Celsius. In totaal zijn er 51 metingen verricht aan de hand van de voorheen genoemde methodes. De data van de ECMWF temperatuur zijn op de internetwebsite Windy en ZyGrib aangegeven op één decimaal achter de komma. Tijdens het aflezen van de psychrometer is de temperatuur ook genoteerd op een decimaal achter de komma. "Figuur XIII, Verloop MAE Temperatuur" laat zien dat de fouten niet altijd even groot zijn. Deze wijken het meeste af bij de voorspelling van drie dagen van tevoren.



Figuur XIII, Verloop MAE Temperatuur

De eindresultaten van alle temperatuurmetingen zijn te zien in Tabel IV, Resultaten temperatuur. Er is te zien dat de RMSE en STDEV uiteindelijk zal oplopen naar mate de leeftijd van de voorspelling toeneemt.

Tabel IV, Resultaten temperatuur (Celsius)

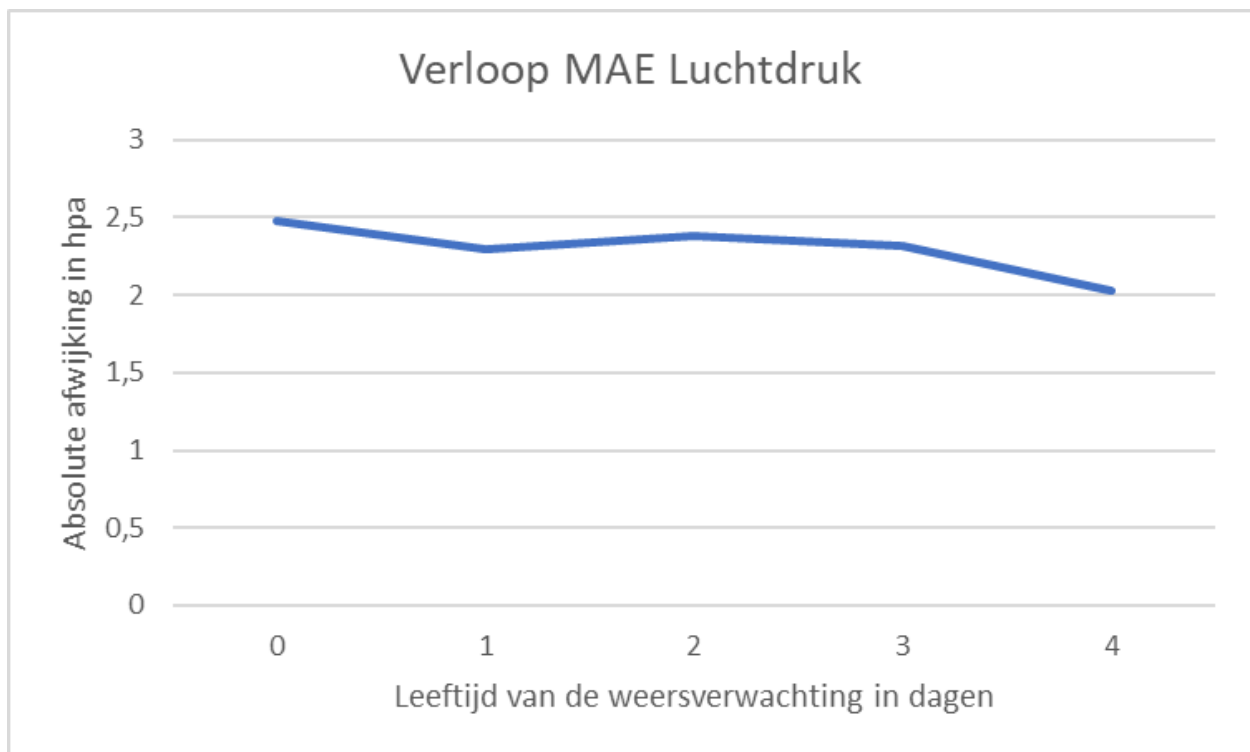
	Op de dag zelf	1 dag van tevoren	2 dagen van tevoren	3 dagen van tevoren	4 dagen van tevoren
MAE	1,1	1,3	1,4	2,1	2,1
STDEV	1,9	1,9	1,8	2,8	2,4
RMSE	2,1	2,3	2,3	3,5	3,2

4.5 Luchtdruk

De luchtdruk is in de periode 01-02-2019 tot 02-06-2019 gemeten op de synoptische tijden. De 51 metingen zijn verricht aan de hand van de methodes die het WMO en KNMI aanhouden. De waarnemingen zijn verricht door slechts één waarnemer om zo inschattingfouten te minimaliseren. Een uitgebreidere beschrijving over het meten van de luchtdruk is te vinden in 2.4.2 Meten van de luchtdruk.

4.5.1 Resultaten

De luchtdruk is in dit hele onderzoek en aan boord aangegeven in hectopascal (hpa). In totaal zijn er 51 metingen verricht aan de hand van de voorheen genoemde methodes. De data van de ECMWF luchtdruk zijn in de internetwebsite Windy en ZyGrib aangegeven op één decimaal achter de komma. Tijdens het aflezen van de androïde barometer is de luchtdruk ook genoteerd op één decimaal achter de komma. "Figuur XIV, Verloop MAE Luchtdruk" laat zien dat de fouten niet altijd even groot zijn. Deze wijken het meeste af bij de meest recente voorspelling.



Figuur XIV, Verloop MAE Luchtdruk

De eindresultaten van alle luchtdruk metingen zijn te zien in “Tabel V, Resultaten luchtdruk”. Het is te zien dat de RMSE uiteindelijk zal oplopen naar mate de leeftijd van de voorspelling toeneemt.

Tabel V, Resultaten luchtdruk (hpa)

	Op de dag zelf	1 dag van tevoren	2 dagen van tevoren	3 dagen van tevoren	4 dagen van tevoren
MAE	2,5	2,3	2,4	2,3	2,0
STDEV	2,7	2,4	3,0	3,0	1,9
RMSE	3,7	3,3	3,8	3,8	3,8

4.6 Verstoringen

Tijdens dit rapport wordt onder andere de deelvraag over het effect van land behandeld. Om deze vraag te beantwoorden zijn de volgende stappen gezet. Indien het schip een landmassa naderde, werden nog steeds metingen verricht volgens “2.4 Juiste manier van meten”. Om te constateren of een landmassa dicht in de buurt⁴ was, werden de aan boord aanwezige radars en ECDIS gebruikt. De reis van de Prins Hendrik verliep tijdens de periode van de metingen tussen Argentinië en de Hawaii eilandengroep. Deze reis heeft een goede variatie. Dit maakt de resultaten van deze deelvraag betrouwbaar. Dit komt doordat het schip de ene keer zeer dichtbij de kust vaart (2 Nautische mijlen uit de kust) en vervolgens verder vaart op oceaan navigatie door de Zuidelijke Stille Oceaan (3000 Nautische mijlen uit de kust). Door de verschillende omstandigheden aan de kust versus open zee/oceaan, kan er onderzocht worden vanaf wanneer land(massa's) invloed hebben op de verschillen tussen de voorspelling en de metingen.

4.6.1 Resultaten

De resultaten van de metingen die verricht zijn tijdens het varen in de nabijheid van land, zijn vergeleken met de resultaten van de metingen die verricht zijn tijdens het varen ver uit de kust. Op deze manier is er gekeken of er een dusdanig verschil in zit wat door het land veroorzaakt wordt. “Tabel VI, Resultaten invloed van land” laat de resultaten zien van de metingen van ver uit de kust en de metingen van nabij de kust; buiten of binnen honderd nautische mijlen. Over het algemeen kan er gesteld worden dat de MAE, Standaarddeviatie en RMSE een grotere waarde hebben dichtbij de kust dan ver uit de kust. Behalve bij de windsnelheid. Daar blijken de waarden nabij de kust nauwkeuriger. Verder zijn de resultaten ook weergegeven in “Figuur XV, Verloop MAE ver uit de kust” en “Figuur XVI, Verloop MAE bij de kust”.

⁴ Binnen 100 Nautische mijlen

Tabel VI, Resultaten invloed van land

Ver uit de
kust
(>100Nm)

Luchtdruk (hpa)					
MAE	1,85	1,73	1,60	1,46	1,11
STDEV	2,40	2,25	2,15	2,23	1,57
RMSE	3,32	3,02	3,54	3,45	2,35

Temperatuur (Celsius)					
MAE	0,82	1,02	1,12	1,32	1,34
STDEV	0,83	1,14	1,11	1,42	1,41
RMSE	1,11	1,68	1,90	2,60	2,69

Richting (Graden)					
MAE	1,41	8,79	4,91	3,87	8,79
STDEV	4,74	25,19	13,68	12,97	16,35
RMSE	19,36	50,11	43,91	32,86	39,57

Kracht (kn)					
MAE	1,19	1,79	1,67	1,82	1,78
STDEV	2,11	2,60	2,39	2,86	2,44
RMSE	2,33	2,92	2,81	3,06	2,81

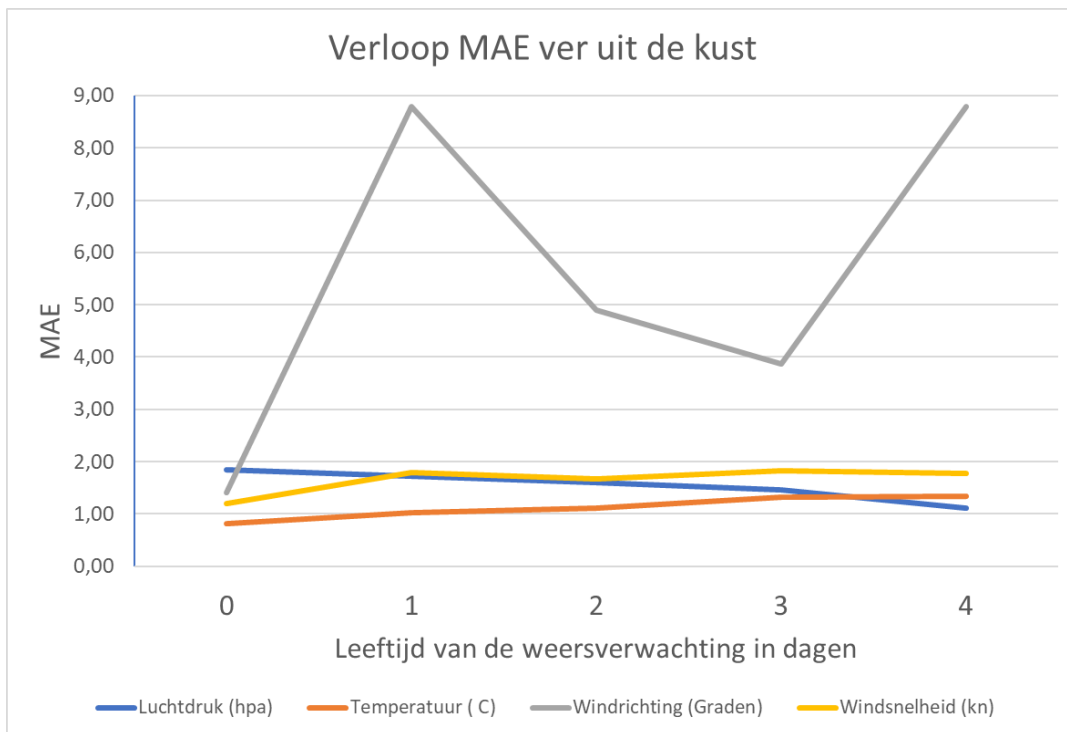
Kust
(<100Nm)

Luchtdruk (hpa)					
MAE	1,96	1,89	2,46	2,46	2,14
STDEV	3,35	2,83	4,08	3,88	2,09
RMSE	3,32	3,02	3,54	3,45	2,35

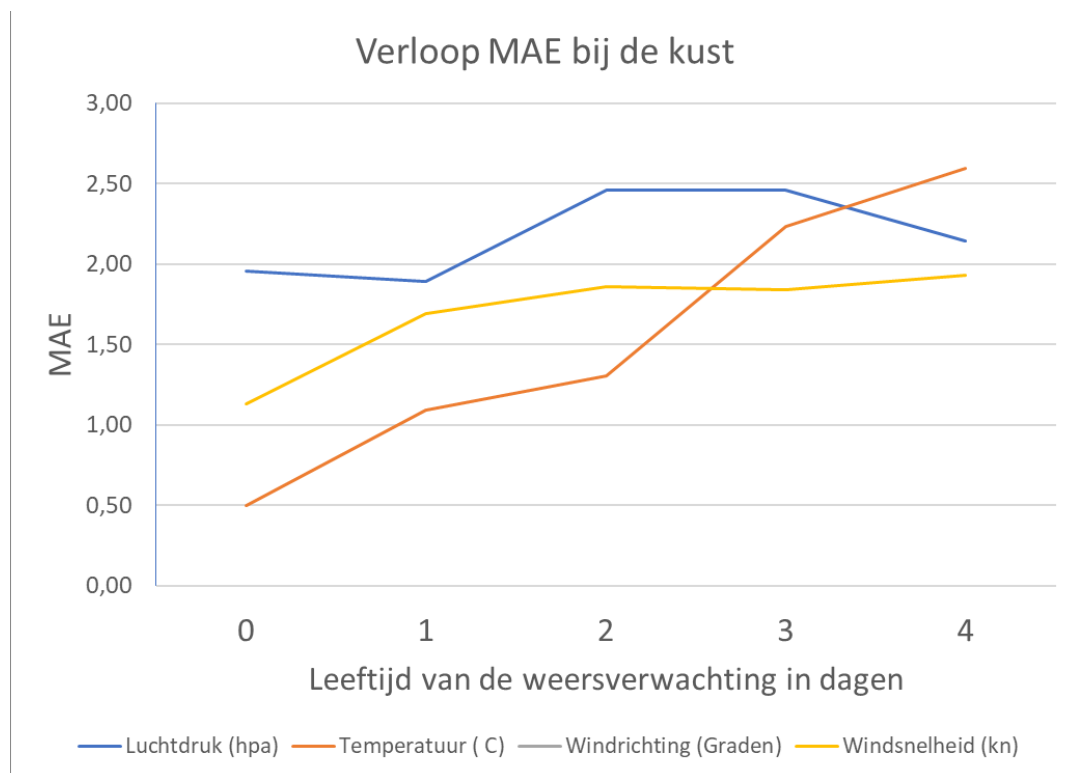
Temperatuur (Celsius)					
MAE	0,50	1,09	1,31	2,23	2,59
STDEV	0,92	1,64	2,03	2,71	2,60
RMSE	1,11	1,68	1,90	2,60	2,69

Richting (Graden)					
MAE	13,62	31,38	33,75	22,50	41,45
STDEV	28,70	69,61	62,41	46,99	45,01
RMSE	19,36	50,11	43,91	32,86	39,57

Kracht (kn)					
MAE	1,13	1,69	1,86	1,84	1,93
STDEV	1,97	1,94	1,98	1,75	1,57
RMSE	2,33	2,92	2,81	3,06	2,81



Figuur XV, Verloop MAE ver uit de kust



Figuur XVI, Verloop MAE bij de kust

5. Discussie

Nu het onderzoek naar de nauwkeurigheid van de ECMWF weersverwachtingen voltooid is, zal er een discussie plaatsvinden. De nauwkeurigheid van de resultaten die dit onderzoek levert is niet actueel, aangezien het een nauwkeurigheid is van een oude weersverwachting. Omdat het voorheen een bepaalde nauwkeurigheid had, betekent dit niet dat het weer zo zal zijn. Verder is deze niet geldig voor elk gebied waar het ECMWF voorspellingen voor maakt. Dit komt doordat de verkregen resultaten, resultaten zijn van de reizen tussen de Hawaii eilandengroep en Argentinië in de periode van februari tot juni 2019. Hierom zegt de berekende nauwkeurigheid alleen iets over de gemaakte reis en er mag niet gesteld worden dat deze nauwkeurigheid aan zal houden.

De betrouwbaarheid van de apparatuur die tijdens dit onderzoek gebruikt is voor het meten van de dagelijkse metingen is onbekend. Dit is afhankelijk van de beschikbare informatie per apparaat. Zoals wanneer deze voor het laatst gekalibreerd is en of het überhaupt gecertificeerd is. De anemometer was gecertificeerd en voor het laatst gekalibreerd in 2001. Dat deze nu al 18 jaar geleden voor het laatst gecertificeerd is telt mee in de betrouwbaarheid van de resultaten. De twee psychrometers die aan boord zijn gebruikt, zijn niet gecertificeerd en gekalibreerd. Ook dit speelt mee in de betrouwbaarheid van de resultaten. Bij de androïde barometer is het onbekend of deze in de loop der jaren gecertificeerd of gekalibreerd is geweest. Dit kan ook invloed hebben op de betrouwbaarheid van de geleverde resultaten.

Bij het nemen van een meting en het aflezen van de schalen kunnen menselijke fouten ontstaan. Dit is sterk afhankelijk van de waarnemer zijn ervaring. Aangezien de waarnemer nog onervaren is, bestaat er een kans dat er afleesfouten/inschattingfouten gemaakt zijn tijdens het maken van de dagelijkse waarneming. Hierdoor wordt de algemene betrouwbaarheid van de metingen beïnvloed.

Bij het berekenen van de hoogtecorrectie op de luchtdruk, is er berekend vanaf de gemiddelde diepgang. Dit is echter een gemiddelde, zoals de naam al zegt. De ene keer lag het schip de Prins Hendrik dieper in het water, hoger in het water of slingerde veel op de oceaan. Hierdoor wordt de correctie op de luchtdruk minder betrouwbaar.

De resultaten over de nauwkeurigheid zijn berekend aan de hand van 51 metingen. De steekproef populatie van 51 metingen is vergeleken met voorgaande rapporten over weersverwachtingen relatief klein. Andere rapporten, zoals die van C. Kent hebben duizenden metingen verricht in dezelfde periode (C.Kent, 2019). In dit onderzoek is een kleinere populatie gekozen om overeen te stemmen met het werkschema aan boord van de Prins Hendrik. De kleine populatie heeft invloed op de betrouwbaarheid van de uitspraak.

6. Conclusie & aanbevelingen

Na het voltooien van dit onderzoek kunnen de resultaten verwerkt worden tot conclusies. In dit onderzoek is er geprobeerd om een antwoord te vinden op de volgende hoofd- en deelvragen.

Hoofdvraag:

Hoe nauwkeurig zijn de meerdaagse weersverwachtingen van het ECMWF-model op zee⁵?

Deelvragen:

- Welke variabelen die een weermodel levert zijn in dit onderzoek toetsbaar?
- In welke mate heeft de leeftijd van de weersverwachting invloed op de nauwkeurigheid?
- Heeft de aanwezigheid van land effect op de nauwkeurigheid van de weersverwachting?

Op de deelvraag *“Welke variabelen die een weermodel levert zijn in dit onderzoek toetsbaar?”* is er een antwoord gevonden aan de hand van de resultaten beschreven in *“4.1 Variabelen”*. Er is gebleken dat in dit onderzoek alleen de atmosferische luchtdruk, zeeoppervlak temperatuur, windsnelheid en windrichting toetsbaar zijn.

Een antwoord op *“In welke mate heeft de leeftijd van de weersverwachting invloed op de nauwkeurigheid?”* is gevonden aan de hand van de resultaten beschreven in het hoofdstuk *“Resultaten”*. Bij de windsnelheid, windrichting en temperatuur is duidelijk te zien dat naarmate de leeftijd van de weersverwachting toeneemt, de grootte van de fout toeneemt. Dit gebeurt bij de MAE, STDEV en RMSE. Dit is echter niet helemaal het geval bij de atmosferische luchtdruk. Daarbij is te zien dat de MAE, STDEV en RMSE juist het laagst zijn bij vier dagen van tevoren. De dagen tussen vier dagen van tevoren en op de dag zelf hebben wel een hogere afwijking. Er kan dus aan de hand van deze resultaten gesteld worden dat de luchtdruk nauwkeuriger is met oudere voorspellingen.

De deelvraag *“Heeft de aanwezigheid van land effect op de nauwkeurigheid van de weersverwachting?”* is behandeld. Uit de resultaten daarvan is gebleken dat de nauwkeurigheid afneemt wanneer men nabij de kust navigeert. Dit was te zien in een vergroting in de MAE, standaarddeviatie en RMSE. Dit was echter niet het geval bij de windsnelheid, deze bleek uiteindelijk iets nauwkeuriger te zijn in de nabijheid van land.

Aan de hand van de conclusies op de deelvragen, is het mogelijk om de hoofdvraag te beantwoorden. Het blijkt dus dat het ECMWF-model vaak van de geobserveerde waarde afwijkt. Dit is overigens afhankelijk van waar het schip zich bevindt, nabij de kust is het minder nauwkeurig als op de volle oceaan. Ook is het belangrijk dat er wel op de juiste manier gemeten wordt. Daarnaast hebben oudere voorspellingen een kleinere nauwkeurigheid ten opzichte van nieuwere voorspellingen. Het is aangeraden om een vervolgonderzoek te starten. Indien er een vervolgonderzoek zal plaatsvinden, zijn er de volgende aanbevelingen: Ten eerste moet de apparatuur aan boord recentelijk gekalibreerd zijn om de meetnauwkeurigheid te vergroten. Ten tweede is het aangeraden dat de waarnemer een ervaren meteoroloog is, om zo de betrouwbaarheid te verbeteren. Het is ook aangeraden om een populatie te kiezen die groter is dan 51 metingen, zodat er meer materiaal is om mee te vergelijken.

⁵ Zie 3.4 Afbakening

Literatuurlijst

- Agencia Estatal de Meteorologia. (2013). *Long-term verification of HIRLAM and ECMWF forecasts over Southern Europe: History and perspectives of Numerical Weather Prediction at AEMET*. Madrid, Spain.
- Blauwevinvis. (2019, 3 21). *De luchtdruk bepalen met de barometrische hoogteformule*. Opgehaald van Wetenschap.infonu: <https://wetenschap.infonu.nl/weer/184498-de-luchtdruk-bepalen-met-de-barometrische-hoogteformule.html>
- C.Kent, E. (2019). *A Statistical Determination of the Random Observational Errors Present in Voluntary Observing Ships Meteorological Reports*.
- ECMWF. (2018). *ECMWF's High Performance Computing Facility (HPCF)*. Opgehaald van ECMWF: <https://www.ecmwf.int/en/computing/our-facilities/supercomputer>
- ECMWF. (2018). *Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2018 upgrade*. Forecast Department.
- ECMWF. (2019, Februari). *Observations*. Opgehaald van ECMWF: <https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation/observations>
- Excel. (2019).
- Ham, C. v. (1998). *Meteorologie en oceanografie voor de zeevaart*. Haarlem: de Boer maritiem.
- Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education. (2014). *Comparisons of PBL heights derived from CALIPSO and ECMWF reanalysis data over China*. Lanzou China.
- KNMI. (2001). *Meteorologie op zee*. Opgehaald van KNMI Bibliotheek: <http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubmetnummer/knmipub197.pdf>
- KNMI. (2019). *Scheepswaarnemingen*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/scheepswaarnemingen>
- Laboratory of Atmospheric Physics. (2013). *Factors affecting the comparisons of planetary boundary layer height retrievals from CALIPSO, ECMWF and radiosondes over Thessaloniki Greece*. Thessaloniki, Greece: Aristotle University of Thessaloniki.
- Maritime Injury Center. (2019). *Maritime weather forecasting*. Opgehaald van Maritime injury center: <https://www.maritimeinjurycenter.com/accidents-and-injuries/weather-forecasting/>
- Meerburg, M. (2019). Vlissingen: HZ University of Applied Sciences.
- Provost, C. E. (1997). *Surface Forcing Over the South West Atlantic According to NCEP and ECMWF Reanalyses over the Period 1979-1990*. Parijs: LODYC.
- Swaen, B. (2019). *Wat is kwalitatief en kwantitatief onderzoek?* Opgehaald van Scribbr : <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/kwalitatief-vs-quantitatief-onderzoek/>
- 't Over leven. (2019). *Hoeveel procent van de oppervlakte van de aarde is bedekt met water?* Opgehaald van 't-Over-leven: <https://toverleven.cultu.be/opervlakte-aarde-water>

Thinker. (2016). *MAE and RMSE — Which Metric is Better?* Opgehaald van Medium:
<https://medium.com/human-in-a-machine-world/mae-and-rmse-which-metric-is-better-e60ac3bde13d>

Waleson, R. (2019). *Prins Hendrik ECMWF*. Anthony Veder, Stille Oceaan.

Wijnands, J. (2007). *Klimaatmodellering Een blik op de toekomst*.

Wood, T. (2019). *using mean absolute error forecasting*. Opgehaald van Can Work Smart:
<http://canworksmart.com/using-mean-absolute-error-forecast-accuracy/>

World Meteorological Organization. (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Geneva 2, Switzerland : World Meteorological Organization.

Afbeeldinglijst

Figuur I, (Waleson, 2019)	1
Figuur II, (ECMWF, 2018)	4
Figuur III, ECMWF-methodes van data verzamelen (ECMWF, 2019).	5
Figuur IV, Windtabel aan boord (KNMI, 2001)	11
Figuur V, Windsnelheid indicator Prins Hendrik	16
Figuur VI, Anemometer Prins Hendrik	16
Figuur VII, Windrichting indicator Prins Hendrik	16
Figuur VIII, Psychrometer Prins Hendrik	16
Figuur IX, Androïde barometer van Argo Navis, Prins Hendrik.....	17
Figuur X, Programma ZyGrib	18
Figuur XI, Verloop MAE Windsnelheid	21
Figuur XII, Verloop MAE Windrichting	22
Figuur XIII, Verloop MAE Temperatuur.....	24
Figuur XIV, Verloop MAE Luchtdruk.....	26
Figuur XV, Verloop MAE ver uit de kust.....	30
Figuur XVI, Verloop MAE bij de kust	30

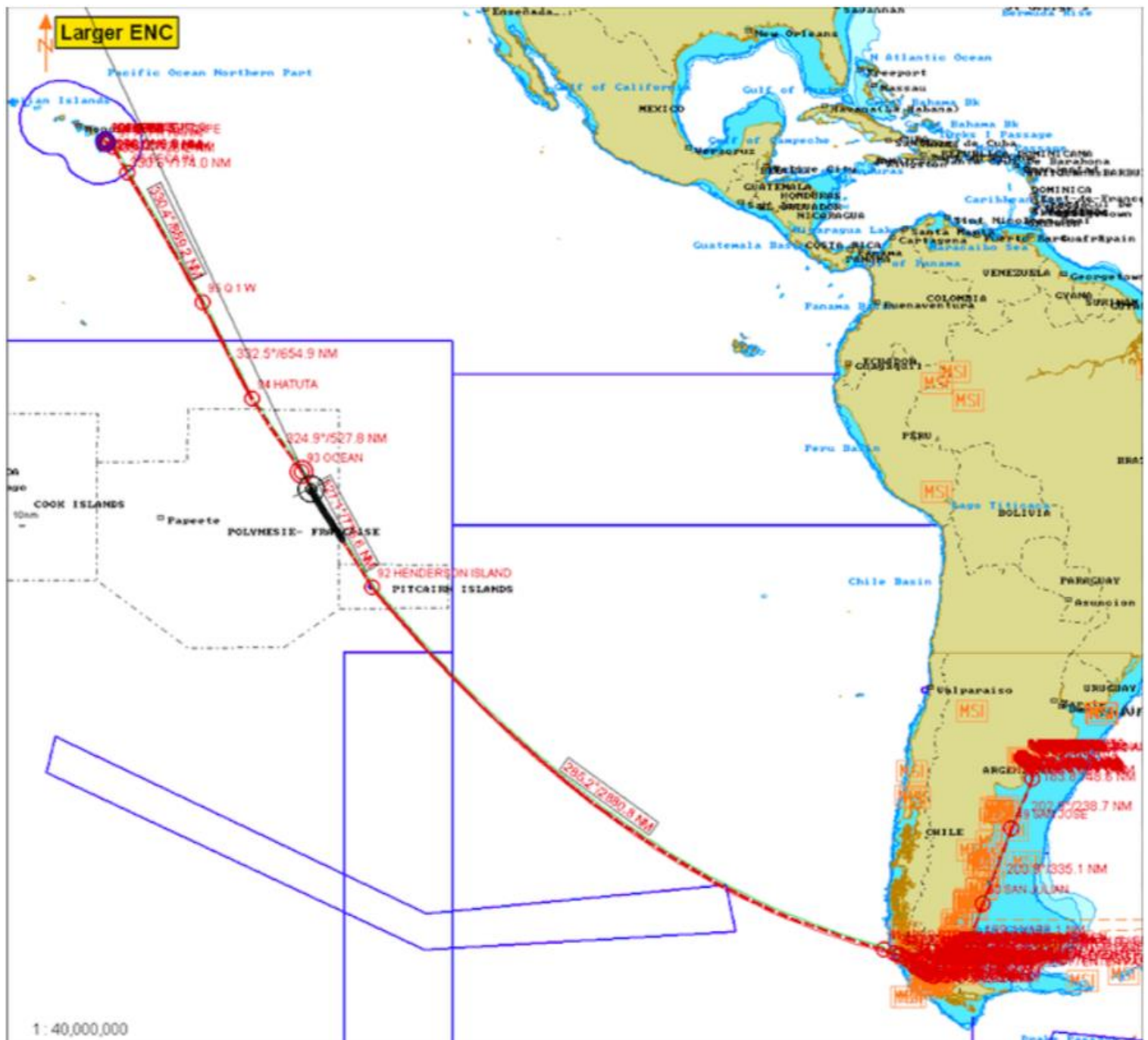
Tabellen

Tabel I, RMS Error ship observations (C.Kent, 2019)	8
Tabel II, Resultaten windsnelheid (kn).....	22
Tabel III, Resultaten windrichting (graden).....	23
Tabel IV, Resultaten temperatuur (Celsius)	25
Tabel V, Resultaten luchtdruk (hpa)	27
Tabel VI, Resultaten invloed van land.....	29
Tabel VII, Luchtdruk	37
Tabel VIII, Temperatuur	38
Tabel IX, Windsnelheid	39
Tabel X, Windrichting.....	40

Vergelijkingen

Vergelijking I, Mean Absolute Error (Wood, 2019).....	6
Vergelijking II, Mean Absolute Percentage Error (Wood, 2019).....	6
Vergelijking III, Root Mean Square Error (Thinker, 2016).....	7
Vergelijking IV, Correctie formule luchtdruk (Blauwevinvis, 2019)	10

Bijlage I, De afgelegde route van de Prins Hendrik



Bijlage II, De absolute verschillen van de metingen

Tabel VII, Luchtdruk

Verwachte waarde 0	Verwachte waarde 1	Verwachte waarde 2	Verwachte waarde 3	Verwachte waarde 4
6	6	6	7	3
1	0,2	0,5	0,2	1
1,7	0	0,6	0,2	0,8
3,2	1,3	2,6	2,6	2,3
3,9	3,1	2,2	4,4	2,5
2,9	3,2	2,5	0,7	0,7
5,6	5,6	5,6	5,6	5,6
0	3,3	1,5	1,9	1,7
2,3	1,6	0,7	0,2	0,1
0	0,4	0,5	0,4	0,1
0,6	0,6	0,1	0,1	0,1
0,6	0,6	0,1	0,4	0,4
1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
0	0	1	1	2
0	0	0	0	0
1	1	1	1	2
0	0	0	0	0
0	0	0	0	3
0	0	2	2	2
0,6	0,6	0	0	0
4	4	4	6	6
0	0	0,5	0,5	0,4
0	0	0	0,5	0,5
2,5	2,5	2,5	1,5	1,5
3	3	3	1	1
1	1	1	1	0
1	1	0,5	0,7	0,7
4	4	8	4	4
5	7	7	7	7
1	1	0	0	0
1	8	6	4	0
0	0	1	1	2
1,5	1,3	1	1,7	1,4
3,8	3,7	3,7	4	4
0	0,1	0,2	0,2	0
4	0	0,5	1	4
14	8	17	16	4
0,2	0,2	1,2	0,8	2,2
9,8	8,8	3,8	6,8	1,2
6,3	5,6	6,1	6,6	5,8
2	2,3	1,1	0,4	0,2
1,9	1,3	1,8	0	1,9
5,2	2	3,2	4,9	4,9
3,2	3,2	2,6	1,4	3,6
0,5	0,3	1,3	1,6	1
0,9	0,7	0,2	0	2
4	3	2	1	2
3	4	1	2	1
6,3	5,6	6,1	6,6	5,8
3	3	3	1	1
4	4	4	6	6

Tabel VIII, Temperatuur

Verwachte waarde 0	Verwachte waarde 1	Verwachte waarde 2	Verwachte waarde 3	Verwachte waarde 4
0,7	0,7	0,5	0,5	0,5
0	0	0	5,8	5,8
1,8	5,5	5,5	5,5	5,5
0,2	0,1	0,3	0,3	0,3
4,3	4,2	4	3,8	3,5
0,7	0,9	0,9	0,9	1,1
0,4	0,4	0,4	0	0
0	1,6	2,8	1,6	1,6
0,1	0,3	0,1	0	0,3
0	0,1	0,2	0	0
1	1	1,1	1,1	1,1
1	1	0,8	0,9	0,9
0,1	0,6	0,8	1	1
0	0	0	3	3
0,2	0,5	0	0,1	3
0	0	0	3	3
0,8	0	0	0	0
0	0,4	0,5	0,3	3
0	0	0	3	3
0	0	0	1	1
0,1	0,1	0,2	0,9	0,9
0	0	0	0	2
0	0	1	1	1
2	2	1	4	4
1	1	1	1	1
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0	0	1	1	1
0,5	0,5	1,5	1,5	1,5
0	5	5	5	5
0,6	0,6	5,6	4,6	4,6
0	5	6	11	11
0	0	0	0	0
0,2	0,2	0,2	4,8	4,8
3	3	3	2	2
1,9	2,1	0,2	0,2	0,4
0	0,8	0,5	0,1	0
0,1	0,1	1,1	1,1	1,1
2,5	2,4	1,7	1,3	2,5
1,5	1,5	1,8	0,9	1,1
0,1	0,3	1	0,7	0,7
0,9	1,5	0,6	0,9	0
0,6	0,6	0,8	1,2	0,4
0,8	0,8	0,6	0,4	0,1
0,2	0,5	0,4	1,1	0,2
0,9	0,7	0,1	0	0,3
0,1	0,7	0,8	0,6	1,1
2	0,5	1,1	0,2	0,8
7,5	6,5	5,5	9,5	7,2
7,5	6,5	5,5	9,5	7,2
0,9	1,5	0,6	0,9	0
7,5	6,5	5,5	9,5	7,2

Tabel IX, Windsnelheid

Verwachte waarde 0	Verwachte waarde 1	Verwachte waarde 2	Verwachte waarde 3	Verwachte waarde 4
6	6	5,6	5,6	5,6
2	2	2	2	2
0,2	9,5	9,5	9,5	9,5
0	5,3	2,5	2,5	2,5
0,3	1,7	1,8	1,4	2,7
2,3	2	3,9	11,1	5,9
1	1	1,8	1,3	1,3
0	0,9	0,2	0,6	0,6
0	1	0,1	3,9	1,2
0,1	1,2	0,3	0	0,1
0	0	1,3	1,3	1,3
0,1	0,1	0,4	0,5	0,5
0,2	0,2	0,8	1	1
0	0	1	1	1
0	1	1	1	1
3	3	3	4	4
0	2	2	2	2
0	0	1	1	1
0	0	0	1	1
0	0	0	0	2
1	1	1	2	2
0	0	0	0	1
0	0	0	0	2
2	2	2,5	2,5	1
0	0	1	1	1
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2	2	2	1	1
3	3	2	1	1
0,2	2,2	2,2	2,2	2,2
1	4	4	4	4
0	1	3	2	2
0	1	1	1	1
0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
0	0	0	0,3	0,2
6,3	6,2	6,8	6,8	5,3
1,7	2,5	0	0,2	0,5
1,5	1,5	1,5	0,5	0,5
6,2	6,1	6,2	4,2	5,2
0,3	0,5	0,2	0,6	0,9
7	7,5	6,7	5,2	8,4
7	7	6,5	6,8	3
4,6	4,4	2,8	0,3	4,2
0,5	0,7	1,2	1,5	2,5
0,6	0,6	0,6	0,4	0,3
4	1	1	2	3
1	0,5	1,2	0,2	0,8
9	8	7	10	4
3	3	3	4	8
1	0,5	1,2	0,2	0,8
0	0	0	1	1
3	3	3	4	8

Tabel X, Windrichting

Verwachte waarde 0	Verwachte waarde 1	Verwachte waarde 2	Verwachte waarde 3	Verwachte waarde 4
0,00	45,00	0,00	0,00	45,00
0,00	11,25	0,00	0,00	0,00
0,00	135,00	67,50	67,50	67,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22,50	22,50	33,75	22,50	33,75
11,25	11,25	11,25	11,25	22,50
0,00	0,00	10,75	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11,25	11,25	11,25	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	22,50	22,50	22,50	22,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	45,00	45,00	45,00
0,00	0,00	45,00	45,00	45,00
0,00	0,00	45,00	45,00	45,00
0,00	0,00	0,00	0,00	45,00
0,00	0,00	0,00	0,00	45,00
0,00	0,00	0,00	0,00	45,00
0,00	0,00	0,00	0,00	45,00
0,00	0,00	0,00	0,00	45,00
0,00	0,00	0,00	0,00	22,50
0,00	0,00	0,00	0,00	22,50
0,00	0,00	0,00	0,00	22,50
0,00	22,50	0,00	0,00	22,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	22,50
0,00	202,50	202,50	202,50	202,50
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45,00	225,00	202,50	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	45,00
33,75	33,75	33,75	33,75	11,25
22,50	0,00	0,00	11,25	11,25
45,00	22,50	45,00	0,00	0,00
112,50	112,50	0,00	22,50	67,50
0,00	0,00	22,50	22,50	67,50
225,00	225,00	270,00	270,00	225,00
0,00	45,00	22,50	0,00	45,00
0,00	0,00	0,00	22,50	22,50
45,00	22,50	0,00	0,00	0,00
22,50	45,00	45,00	22,50	22,50
22,50	22,50	22,50	0,00	0,00
0,00	0,00	45,00	22,50	22,50
0,00	22,50	22,50	0,00	22,50
45,00	22,50	45,00	45,00	0,00
0,00	45,00	22,50	22,50	22,50
22,50	22,50	22,50	0,00	0,00
22,50	22,50	22,50	0,00	0,00
0,00	45,00	22,50	22,50	22,50