Het is alweer onnauwkeurig

Nauwkeurigheid van weersvoorspellingen op zee

Onderzoeksrapport

Auteur : S.C. Jobse
Course : CU12197V8
Opleiding/groep: Nautisch specialist, jaar 4
Studiejaar/semester: 2021-2022, semester 8
Instelling: HZ University of Applied Sciences
Begeleidend docent: 1e beoordelaar P.G. Harts en 2e beoordelaar Y.E. Vonk
Mentor aan boord: E. Barentsen en K. Kingma
Plaats van uitgave: Vlissingen
Datum: 22-08-2022
Versienummer: 5

Het is alweer onnauwkeurig

Nauwkeurigheid van weersvoorspellingen op zee

Onderzoeksrapport

Bron foto omslag: (Wagenborg, 2016)
Plaats van uitgave: Vlissingen
Datum: 22-08-2022
Studentnummer: 00077639
Studiejaar: 4
Semester: 8
Studieonderdeel: Onderzoeksvoorstel
Begeleidend docent: 1e beoordelaar P.G. Harts en 2e beoordelaar Y.E. Vonk
Mentor aan boord: E. Barentsen en K. Kingma
Versie: 5

Samenvatting

Slechte weersomstandigheden kunnen grote gevolgen hebben voor schepen die goederen vervoeren over zee of voor schepen die bezig zijn met het laden en of lossen van goederen. In beide gevallen levert het slechte weer het schip vertraging op en kost het extra geld voor de rederij. Dit geldt ook voor de Amazoneborg. Om het weer te voorspellen aan boord van de Amazoneborg wordt als voornaamste bron het meteorologisch programma Ship Performing Optimizing System oftewel SPOS gebruikt.

Het doel van het onderzoek is om erachter te komen of de meteorologische voorspellingen van SPOS betrouwbaar genoeg zijn voor het navigeren en welke meteorologische waardes van SPOS het meest belangrijk zijn voor de Amazoneborg. Voor dit doel is de volgende hoofdvraag tot stand gekomen: *'Hoe nauwkeurig zijn meerdaagse weersvoorspellingen op zee van het meteorologische programma SPOS?'*

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn twee deelvragen opgesteld:

- Welke meteorologische variabelen uit SPOS zijn belangrijk en meetbaar voor de Amazoneborg?
- In welke mate heeft de tijdsduur van de weersvoorspelling invloed op de nauwkeurigheid van de weersvoorspelling?

Om antwoord te kunnen geven op deze deelvragen is er gebruik gemaakt van kwalitatief onderzoek met literatuuronderzoek en kwantitatief onderzoek met behulp van metingen en observaties. Uit het literatuuronderzoek is het resultaat gekomen dat de luchtdruk, temperatuur, windkracht en windrichting van groot belang zijn om te monitoren. Uit deze observaties kan namelijk zelf de voorspelling worden gemaakt of er een grote kans op slecht weer is en wat voor gevolgen dit weer heeft voor het schip en de lading. Uit de metingen en observaties is als conclusie gekomen dat hoe eerder het weer voorspeld wordt door SPOS hoe onnauwkeuriger de meteorologische waardes gemiddeld zijn.

Het is aangeraden om nog verder onderzoek te plegen naar de nauwkeurigheid van SPOS om zo de betrouwbaarheid van de resultaten te verhogen.

Abstract

Inaccurate meteorological predictions and observations can cause severe problems for ships that transport goods or for ships that are loading or charging. In both cases the bad weather can cause delays, which costs the shipping company a lot of money. This scenario is also realistic for the Amazoneborg. To predict the weather on board of the Amazoneborg the meteorological program Ship Performing Optimizing System (SPOS) is used.

The goal of the research is to find out of the meteorological predictions from SPOS are reliable enough and which meteorological subjects are the most important for the Amazoneborg. The main question, which was leading in this research, was the following:

'How accurate are the weather predictions on sea from the meteorological program SPOS'?

To answer the main question there were two sub questions invented:

- Which meteoroligical subjects from SPOS are the most important and measurable for the Amazoneborg?
- What is the effect of time on the sufficiency of the weather predictions?

To be able to answer the sub questions in this research. Both qualitative research with literature research and quantitative research with measurements and observations was used. From the literature research it becomes clear that the air pressure, the temperature, the wind force and the wind direction are very important to monitor. From these values it is possible to predict if the weather will either deteriorate or improve. The measurements and observations made clear that the earlier the weather is predicted, the more inaccurately the prediction becomes.

It is necessary to do an extra research to increase the accuracy of the results.

Begrippen en definities

Deining	Deining is een door de wind veroorzaakte golfpatroon, dit golfpatroon ontstaat aan het oppervlak.
Geostationaire satelliet	Geostationaire satellieten zijn satellieten waarvan de omlooptijd precies 24 uur bedraagt, hierdoor blijven de satellieten boven een vast punt op aarde hangen. De hoogte van een geostationaire satelliet is 35.800 meter boven het aardoppervlak, door deze hoogte is het scangebied van de satelliet ruim een kwart van de aarde. Doordat de satelliet altijd een kwart van de aarde scant kan er goed worden vastgesteld wat de veranderingen zijn qua meteorologische omstandigheden in dat gebied.
GMT	Greenwich Mean Time, GMT is de tijdzone waarin onder meer het Verenigd Koninkrijk valt. Oorspronkelijk was GMT de middelbare zonnetijd op de lengtegraad van het Koninklijk Observatorium van Greenwich in Londen.
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, het KNMI houdt alle meteorologische data van Nederland in de gaten. Uit deze gegevens kunnen belangrijke beslissingen worden genomen zoals het afgeven van code rood.
Luchtdruk	De kracht van de atmosfeer die werkt op de aarde in hecto Pascal.
Polaire satelliet	De polaire satellieten zweven op hoogtes tussen de 800 en 1000 kilometer, de omlooptijd voor een polaire satelliet komt neer op zo’n 100 minuten. Door de draaiing van de aarde schuift het waarnemingsgebied na elke ronde 25 graden op naar het westen. Hierdoor kan de satelliet per etmaal de gehele aarde scannen.
SPOS	Ship Performing Optimizing System, SPOS geeft metrologische verwachtingen voor de scheepvaart daarnaast geeft SPOS ook routeplanning en -optimalisatie met veiligheid, efficiëntie, navigatie, kosten, havenrotatie, ETA's, snelheid bereiken en extra beperkingen, zoals zeewaardigheid.
Temperatuur	Een fysieke hoeveelheid die ervoor zorgt dat moleculen in beweging komen.
WMO	World Meteorological Organisator, is de overkoepelende gespecialiseerde organisatie van de Verenigde Naties op het gebied van

	weer, klimaat en water en is gevestigd in het Zwitserse Genève.
Zeegang	Golven in het water die worden veroorzaakt door lokale wind op de plek en tijd van observatie.

Inhoud

1. Inleiding 1
2. Theoretisch kader 2
2.1 Weerberichtgeving 2
2.2 Weerverwachtingstechnieken 3
2.3 Observaties 10
2.4 Meteorologie aan boord 11
3. Methode 13
3.1 Datacollectie 13
3.2 Methode per deelvraag 13
3.3 Meetapparatuur 13
3.4 Ethische Aspecten 16
4. Resultaten 17
4.1 Temperatuur 17
4.2 Luchtdruk 17
4.3 Windrichting en windkracht 17
4.4 Weermetingen 19
5. Discussie 23
5.1 Aantal metingen 23
5.2 Nauwkeurigheid van de metingen 23
5.3 Externe invloeden op de metingen 23
6. Conclusie en aanbevelingen 24
Bronnenlijst 25

1. Inleiding

Slechte weersomstandigheden kunnen grote gevolgen hebben voor schepen die goederen vervoeren over zee of voor schepen die bezig zijn met het laden en of lossen van goederen, in beide gevallen levert het slechte weer het schip vertraging op en kost het extra geld voor de rederij. In de extreme gevallen gaat er lading verloren en maakt het schip forse vertragingen waardoor er een grote hoeveelheid geld verloren gaat en het schip langer onderweg is waardoor er meer brandstof moet worden verstookt om de reis te voltooien. Dit zorgt weer voor extra broeikasgassen in de atmosfeer (Olers, 2018). Om schepen te waarschuwen voor slecht weer wordt er aan boord onder andere gebruik gemaakt van het meteorologisch programma Ship Performing Optimizing System (SPOS). SPOS optimaliseert vaarroutes en geeft hierbij de zee- en weersvoorspellingen zoals de luchtdruk, de windkracht, de windrichting, de temperatuur en de golfhoogte (SPOS, sd).

Dit onderzoek had als doelstelling om erachter te komen of de meteorologische voorspellingen van SPOS betrouwbaar genoeg was voor het navigeren en welke meteorologische waardes van SPOS het meest belangrijk waren voor de Amazoneborg.

Om achter deze doelstelling te komen was de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoe nauwkeurig zijn meerdaagse weersvoorspellingen op zee van het meteorologische programma SPOS?

De deelvragen die uit de hoofdvraag waren opgesteld zijn:

- Welke meteorologische variabelen uit SPOS zijn belangrijk en meetbaar voor de Amazoneborg?
- In welke mate heeft de tijdsduur van de weersvoorspelling invloed op de nauwkeurigheid van de weersvoorspelling?

Voor deelvraag 1 werden enkele meteorologische variabelen uit SPOS vergeleken met de meteorologische meetinstrumenten aan boord van de Amazoneborg, hieruit werd geobserveerd welke variabelen overeenkwamen en waarom deze variabelen zo belangrijk waren voor de Amazoneborg. Dit werd onderzocht aan de hand van een literatuuronderzoek. Voor deelvraag 2 werd er gebruik gemaakt van metingen en observaties, de meetbare variabelen die bepaald waren in deelvraag 1 werden vanaf 5 dagen voor de werkelijke metingen bijgehouden voor een vast tijdspunt. De weersvoorspellingen van 5 dagen tot 1 dag voor de werkelijke datum kwamen uit het programma SPOS. Wanneer de live metingen waren verricht werd er geobserveerd hoeveel de voorspellingen er per dag naast zaten. Dit proces werd meerdere keren herhaald en daaruit werd het gemiddelde gehaald. Er werd voor dit onderzoek meer dan 30 metingen gedaan om een betrouwbaar resultaat te krijgen. Deze deelvraag werd beantwoord met behulp van een kwantitatief onderzoek.

De randvoorwaarden voor het onderzoek waren dat het onderzoek zich alleen richtte op de weersvoorspellingen van het programma SPOS dus geen weersvoorspellingen van andere meteorologische instanties. Daarnaast werd er in dit onderzoek alleen de nauwkeurigheid onderzocht van luchtdruk, windkracht, windrichting en temperatuur. Andere meteorologische variabelen waarover SPOS informatie geeft werden buiten beschouwing gelaten.

2. Theoretisch kader

Om te kijken wat de voorspelling van het weer is aan het begin van de reis wordt er gebruik gemaakt van weerberichtgevingen, deze weerberichtgevingen worden tot stand gebracht met weerverwachtingstechnieken. In paragraaf 2.1 is informatie over weerberichtgevingen verder uitgewerkt. Om het weer zo nauwkeurig mogelijk te voorspellen wordt er gebruik gemaakt van verschillende weerverwachtingstechnieken, deze technieken worden verder uitgelegd in het theoretisch kader onder de paragraaf 2.2. Om een duidelijk beeld te krijgen wat de meteorologische omstandigheden zijn op het moment zelve worden er op verschillende plekken op de wereld observaties gedaan, deze observaties kunnen worden uitgevoerd door schepen, vliegtuigen, boorplatformen of boeien. Meer informatie over observaties is in paragraaf 2.3 uitgewerkt. Aan boord worden ook om de vier uur observaties gedaan, de meteorologische waardes die aan boord van belang zijn worden behandeld in paragraaf 2.4.

2.1 Weerberichtgeving

Een weerdienst heeft als voornaamste taak om weersverwachtingen uit te brengen. Om deze weersverwachtingen goed te kunnen uitbrengen wordt het proces van weersverwachtingen in fasen ingedeeld. De fasen zijn:

- Het waarnemen, verzenden en verwerken van de meteorologische waarnemingen,
- Analyse doen van de waarnemingen,
- Vervaardigen van een prognosekaart,
- Vertalen van prognosekaart in een weersverwachting,
- Overdragen van de weersverwachting aan de gebruikers.

Op internationaal vastgestelde tijdstippen vinden synoptische waarnemingen plaats, deze tijdstippen zijn 00.00, 06.00, 12.00, 18.00 GMT. Tijdens deze tijdstippen worden op alle selected ships en landstations meteorologische waarnemingen verricht. Daarnaast worden er op ongeveer 700 landstations en enkele weerschepen aërologische waarnemingen gedaan met behulp van radiosonde. De verkregen waarnemingen worden via de kuststations verzonden naar de betreffende meteorologische diensten. Deze meteorologische diensten vallen allen onder het Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) (C.J. van der Ham, 1983) (Frampton, 2010).

De WMO is een internationale organisatie die valt onder de Verenigde Naties en heeft als taak om het gedrag van de atmosfeer te analyseren. Daarnaast houdt de WMO het internationale weer en het klimaat in de gaten. Meteorologische en hydrografische diensten zijn constant bezig om het weer van de aarde te monitoren, de vroege en vaak betrouwbare waarschuwingen zorgen ervoor dat zeer belangrijke beslissingen kunnen worden gemaakt aan de hand van de voorspellingen. Zo kan de kapitein van een schip bijvoorbeeld de beslissing maken om een andere route te varen zodat het voorspelde slechte weer gemeden kan worden ook al heeft dat als gevolg dat het schip pas later in de haven arriveert. Deze weerwaarschuwingen zorgen ervoor dat er levens en goederen worden gered (WMO, sd).

De meteorologische dienst voor Nederland is het Koninklijke Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Bij het KNMI worden alle waarnemingen ontvangen van het aardoppervlak tussen 90˚west en 40˚oost en ten noorden van 25˚noord. Deze waarnemingen worden gestuurd door onder andere het WMO, selected ships en landstations. Zelf beschikt het KNMI ook over een weerradar, met deze

weerradar kunnen neerslaggebieden worden gelokaliseerd en kunnen verticale afmetingen van grote buienwolken worden bepaald. Daarnaast beschikt het KNMI over meteorologische satellieten, deze satellieten kunnen waarnemen waar er mist is, hoe hoog de zeegolven zijn, de verticale temperatuur verloop meten en het kan meten of er ijs is op zee (C.J. van der Ham, 1983) (KNMI, sd).

Aan boord worden de verwachtte weergegevens gehaald uit het programma SPOS. SPOS heeft meer dan 120 meteorologen en meer dan 20.000 weerstations wereldwijd opgesteld om op die manier de meteorologische variabelen zo nauwkeurig mogelijk te voorspellen. Het meteorologische programma SPOS bestaat wel uit twintig variabelen. De meteorologische gegevens over de twintig variabelen die worden verzameld door alle meteorologische instituten worden samengevoegd en naar elk schip per mail verstuurd. Dit versturen van de nieuwste updates over de meteorologische omstandigheden gebeurt tot wel vier keer per dag zodat het schip te allen tijde goed op de hoogte is van de huidige en toekomstige meteorologische omstandigheden (SPOS, sd).

2.2 Weerverwachtingstechnieken

Er is de mogelijkheid om te allen tijde weersvoorspellingen bij de hand te nemen om zo te kijken wat het weer gaat doen in de toekomst. Deze weersvoorspellingen worden gemaakt door meteorologische instituten, in deze paragraaf wordt gekeken wat de meest voorkomende manieren zijn om het weer te voorspellen. De meest voorkomende weersvoorspellingsmanieren zijn:

- De synoptische methode,
- De statische verwachtingstechniek,
- De numerieke verwachtingstechniek,
- Via satellieten.

2.2.1 Synoptische methode

Tabel 1: De waarnemingen die bij de synoptische methode worden doorgestuurd naar het meteorologische instituut (Floor C. , 1983).

- zicht		- neerslag	+ hoeveelheid + duur
- wind	+ richting + snelheid		
- temperatuur	+ heersende temp. + max. temp. + min. temp.	- weer	+ heersend + afgelopen 1, 3 of 6 uur
- dauwpunt	(vochtigheid)		
- luchtdruk	+ heersende lucht-druk + verandering in de 3 uur	- bewolking	+ bedekkingsgraad + soort + hoogte

Voor het uitvoeren van de synoptische verwachtingstechniek moeten op zoveel mogelijk plaatsen om dezelfde tijd meteorologische waarnemingen worden gedaan, de tijden dat deze waarnemingen

worden gedaan zijn de synoptische tijden. De synoptische tijden zijn 00.00, 06.00, 12.00, 18.00 Greenwich Mean Time. Wanneer uitkomsten van de waarnemingen bekend zijn worden deze zo snel mogelijk doorgestuurd naar meteorologische instituten zoals het KNMI. De meteorologische waarnemingen worden op het aardoppervlak verricht door landstations en schepen en in de lucht verricht door vliegtuigen en ballonen. Deze metingen in de lucht heten ook wel aërologische waarnemingen. De Amazoneborg was tussen de jaren 2007 en 2014 een selected ship, na 2014 werd deze taak overgenomen door een ander schip in de Wagenborg vloot.

De gegevens die uit de metingen komen die worden verricht door de landstations, vliegtuigen en ballonnen staan in tabel 1 vermeld, schepen leveren deze gegevens ook maar voegen daarbij ook de golfhoogte en eventueel ijs toe.

Weerstations zoals het KNMI laten elke dag rond middernacht een weerballon of een radiosonde op, deze weerballon registreert de gegevens van de bovenlucht voor het KNMI. De weerballonen leveren metingen zodra ze opstijgen, deze metingen worden radiografisch doorgestuurd. De weerballon stijgt tot een hoogte tussen de 17 en 25 kilometer en blijft tussen de één en twee uur vliegen. De metingen die de weerballon verricht zijn metingen aan de temperatuur, luchtvochtigheid en luchtdruk. Daarnaast wordt er aan de hand van positiebepaling bepaald wat de windsnelheid en de windrichting is. Door deze metingen kunnen weerstations goed zien wat het verschil per hoogte in de lucht is (KNMI, 2021).

Figuur 1: Een weerballon met meettoestel die wordt gebruikt bij meteorologische instituten (KNMI, 2021).

Met de verkregen meteorologische gegevens wordt geëxtrapoleerd en hieruit worden de verwachtingen gemaakt voor de komende 24 tot 36 uur. Na 36 uur is de weersvoorspelling niet meer betrouwbaar, dit is dan ook een reden dat de synoptische verwachtingstechniek niet wordt gebruikt voor het maken van meerdaagse voorspellingen (C.J. van der Ham, 1983) (Floor C. , 1983) (Frampton, 2010).

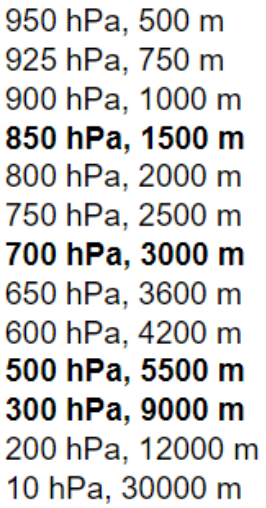
2.2.2 Statische verwachtingstechniek

De statische verwachtingstechniek werkt door een groot aantal weersituaties uit het verleden te onderzoeken en uit deze situaties een statische kans te berekenen dat een bepaald weersverschijnsel voor gaat komen. Denk bij een weersverschijnsel aan bijvoorbeeld neerslag. In Nederland is bijvoorbeeld de kans op neerslag het grootst als de wind uit het zuidwesten komt, de luchtdruk laag is en de luchtvochtigheid groot is. Deze voorspellende factoren heten predictoren. Deze statische verwachtingstechniek kan ook gebruikt worden voor temperatuur, mist, onweer etcetera. De statische verwachtingstechniek wordt vaak gebruikt in combinatie met andere verwachtingstechnieken (C.J. van der Ham, 1983).

2.2.3 Numerieke verwachtingstechniek

De numerieke verwachtingstechniek is een methode om volledig objectief het toekomstige weersverloop te bepalen. Bij het uitvoeren van de numerieke verwachtingstechniek zijn de volgende punten van groot belang:

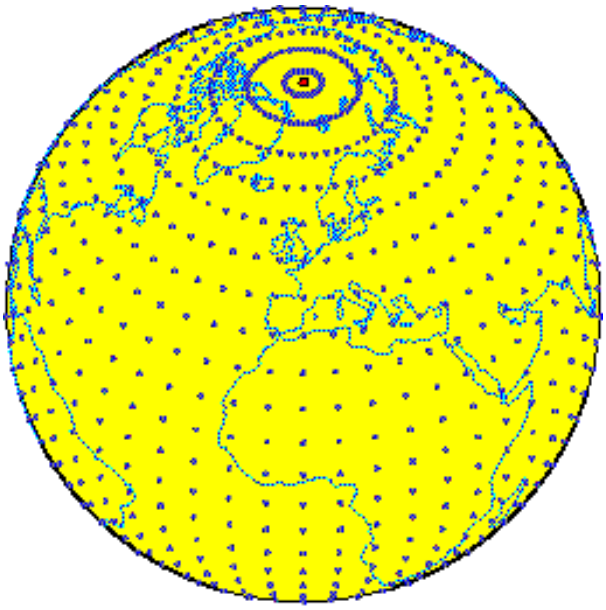
- Het model: Een volledige berekening in alle luchtlagen van de atmosfeer is niet mogelijk, daardoor wordt de atmosfeer in bepaalde lagen opgedeeld en wordt er in deze lagen de meteorologische gegevens bepaald. Deze lagen heten in de meteorologie drukvlakken, drukvlakken zijn luchtlagen in de atmosfeer waarin hoe hoger de luchtlaag hoe lager de luchtdruk. In de meteorologie lopen de drukvlakken tussen de 500 hecto Pascal en de 1000 hecto Pascal, in welke stappen deze drukvlakken lopen is in figuur 2 te zien. Het bepalen van de gegevens in deze drukvlakken gaat via het numeriek rekenschema, bij het numeriek rekenschema worden de berekeningen uitgevoerd voor bepaalde drukvlakken met een koppeling via de tussenliggende lagen (C.J. van der Ham, 1983) (Samuel, 2021).



Figuur 2: De verschillende drukvlakken die worden gebruikt bij de numerieke verwachtingstechniek (Ventusky, sd).

- Roosterpuntanalyse: Om de meteorologische factoren goed en nauwkeurig overal ter wereld te kunnen bepalen zijn er roosterpunten, deze vaste roosterpunten liggen in rechtelijnen over het gehele aardoppervalk verdeeld. De afstand tussen roosterpunten varieert tussen de

300 en 400 kilometer, in figuur 3 zijn de roosterpunten zichtbaar. Door op elk roosterpunt numerieke berekeningen toe te laten kunnen de meteorologische waarde van dat punt worden bepaald. Op de roosterpunten waar geen metingen kunnen worden verricht, denk aan de roosterpunten op de oceaan worden de gegevens uit de omliggende waarnemingsstations gebruikt en met behulp van numerieke analyse de waarden voor het onbrekende roosterpunt bepaald (C.J. van der Ham, 1983) (Frampton, 2010).



Figuur 3: De roosterpunten in rechte lijnen verdeeld over het aardoppervlak (Floor K. , 2004).

- De tijdschaal: Het rekenproces wordt gedaan in tijdsstappen van één uur, de meteorologische waardes worden constant één uur vooruit berekend van het uur waarvan de gegevens al bekend zijn. In kaarten worden op deze manier de gegevens voor twaalf uur vooruit geleverd (C.J. van der Ham, 1983).

Bij de numerieke verwachtingstechniek worden de meteorologische waardes gemeten en voorspeld in de verschillende drukniveaus die in figuur 2 zijn weergegeven. De gegevens worden nauwkeurig voorspeld tussen de twee tot vierdagen vooruit, vanaf dag vijf wordt de nauwkeurigheid al stukken minder (C.J. van der Ham, 1983).

2.2.4 Weerverwachting via satellieten

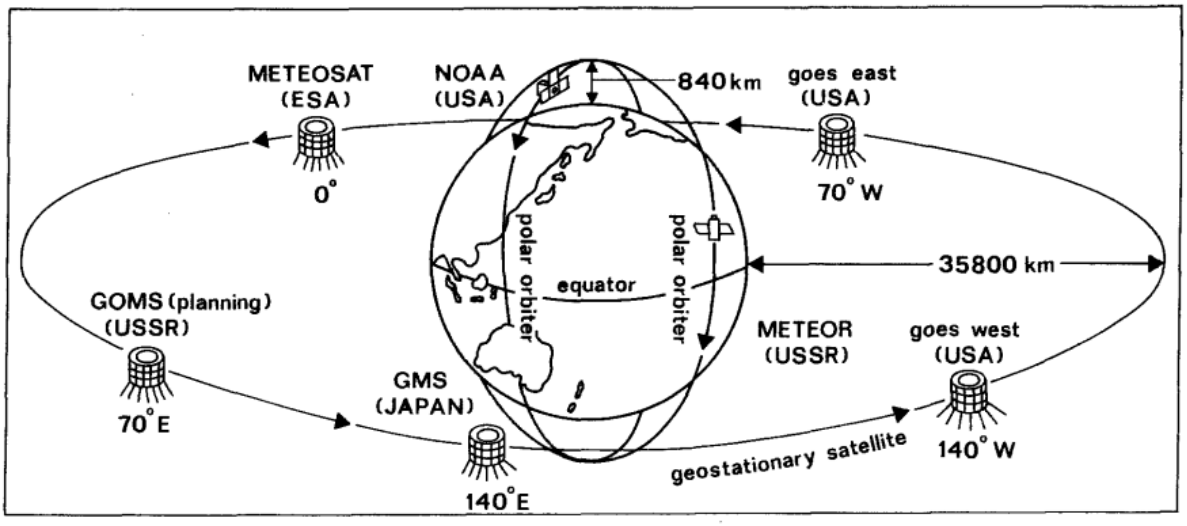
Om het weer nog beter en op nog grotere gebieden tegelijk te kunnen waarnemen is men begonnen aan weersvoorspellingen via satellieten. De satellieten zijn te verdelen in twee groepen, deze groepen zijn gebaseerd op de baan die de satellieten om de aarde volgen.

Groep 1 zijn de polaire satellieten, de polaire satellieten zweven op hoogtes tussen de 800 en 1000 kilometer, de omlooptijd voor een polaire satelliet komt neer op zo'n 100 minuten. Door de draaiing van de aarde schuift het waarnemingsgebied na elke ronde 25 graden op naar het westen. Hierdoor kan de satelliet per etmaal de gehele aarde scannen. De banen die de polaire satelliet volgt is goed te zien in figuur 4.

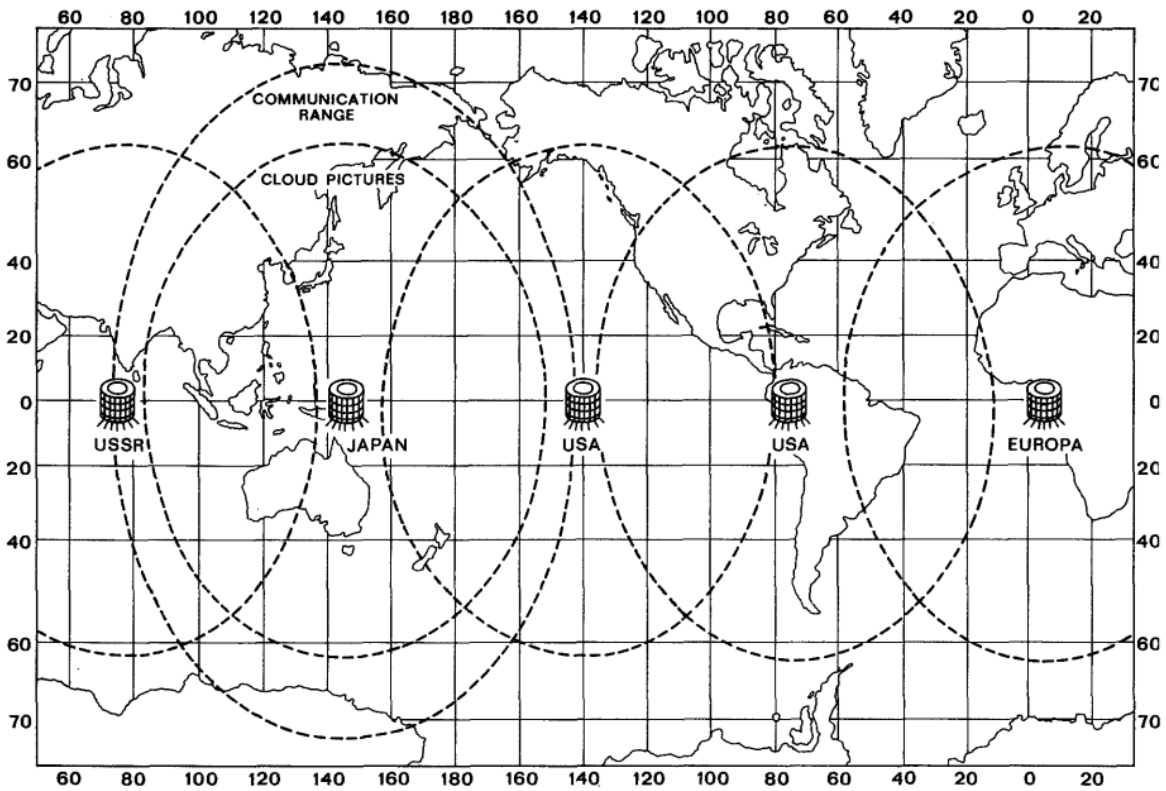
Groep 2 zijn de geostationaire satellieten, geostationaire satellieten zijn satellieten waarvan de omlooptijd precies 24 uur bedraagt, hierdoor blijven de satellieten boven een vast punt op aarde hangen. De hoogte van een geostationaire satelliet is 35.800 meter boven het aardoppervlak, door deze hoogte is het scan gebied van de satelliet ruim een kwart van de aarde. Doordat de satelliet altijd een kwart van de aarde scant kan er goed worden vastgesteld wat de veranderingen zijn qua weer in dat gebied. De geostationaire satelliet is op te delen in vijf verschillende satellieten:

1. Een Amerikaanse satelliet van het type Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES).
2. Een Europese satelliet van het type MeteoSat.
3. De Japanse Geostationary Meteorological Satellite (GMS).
4. De Indian Satellite (INSAT), deze satelliet heeft ook niet meteorologische toepassingen.
5. De Global Observation Meteorological Satellite (GOMS)

Deze vijf satellieten scannen het gehele aardoppervlak, welk satelliet oppervlak wat voor oppervalk scant is te zien in figuur 5.



Figuur 4: De banen van de polaire satelliet om de aarde en de banen van de verschillende geostationaire satellieten om de aarde (C.J. van der Ham, 1983).



Figuur 5: Het gezichtsveld van de verschillende type satellieten (C.J. van der Ham, 1983).

De satellieten nemen opnames van het aardoppervlak met zichtbaar licht en met infrarood, door scans te maken met deze twee verschillende lichtsoorten kunnen er meer aspecten worden waargenomen. Bijvoorbeeld bij het meten van wolken, wolken met een temperatuur die niet veel verschillen van de temperatuur van het aardoppervlak zijn moeilijk te zien met behulp van infrarood, daarom worden de opnames voor deze wolken gemaakt met normaal licht. De opnames met infrarood kunnen daarentegen goed wolken waarnemen die zich op grotere hoogtes bevinden, ook kan infrarood goed de hoogtes van wolken bepalen door middel van temperatuurverschillen van de verschillende wolken te meten. Door de opnames die gemaakt zijn door de geostationaire satellieten elk half uur te vergelijken met vorige opnames kan men de verplaatsing en ontwikkeling van de wolkenvelden waarnemen. Van de wolkenvelden kunnen meteorologen ook fronten en depressies afleiden.

Door de verplaatsing van de wolkenvelden te analyseren kunnen meteorologen de windsnelheden en richting bepalen op het niveau van het type wolken die geanalyseerd zijn. De waardes van de windsnelheden en windrichtingen verschillen wel met de waarnemingen van de radiosondes, dit komt doordat de radiosondes puntwaarnemingen doorsturen en de windsnelheden van de geostationaire satellieten zijn gemiddeld over een langere periode. Dit maakt het dat de verkregen waardes uit radiosondes nauwkeuriger zijn dan de verkregen waardes uit geostationaire satellieten. De geostationaire satellieten zijn daarentegen weer een goede vervangen voor het meten van de bovenlucht op de oceanen waar radiosondes ontbreken.

Daarnaast kunnen satellieten de gemiddelde zeewatertemperatuur van een oppervlakte van één vierkante kilometer bepalen, dit doen de satellieten door met behulp van infrarood opnames de stralingswarmte van het water te meten.

Satellieten kunnen de daarnaast ook nog de volgende meteorologische factoren bepalen:

- Gemiddelde golfhoogte,
- IJs op zee,
- Saliniteit,
- Straling van de atmosfeer,
- Sneeuwgebieden.

Voor weersvoorspellingen op korte termijn zijn de opnames van de satellieten belangrijk, door deze opnames te vergelijken kan er nauwkeurig worden ingeschat wat het weer de aankomende dagen gaat doen, voor weersvoorspellingen op langere termijn moeten de meerdere methodes uit paragraaf 2.2 worden gecombineerd. De satellieten meten de waardes, daarnaast worden deze waardes aangevuld met de resultaten van de synoptische methode en de aërologische methode deze waardes worden met behulp van de numerieke verwachtingsmethode omgezet in meerdaagse voorspellingen (C.J. van der Ham, 1983) (Frampton, 2010).

Het KNMI heeft ook een aantal geostationaire en polaire satellieten rond de aarde zweven die allerlei gegevens verzamelen voor het voorspellen en bepalen van de meteorologische variabelen. De eerste satelliet van het KNMI is Tropomi, Tropomi is een satelliet die de chemische samenstelling van de atmosfeer meet, denk aan verschillende gassen en fijn stoffen die in de lucht zitten. De tweede satelliet is de Meteosat, de Meteosat maakt elk kwartier beelden van het aardoppervlak, de atmosfeer en de aërosolen. De derde satelliet is de Metop, de Metop satellieten zijn polaire satellieten die van allerlei waardes meten zoals de temperatuur, de luchtvochtigheid, de wind, de ozon, luchtvervuilingsdeeltjes en stofdeeltjes. De vierde type satelliet is de windsatelliet Aeolus, de Aeolus bepaalt de wind, dit is belangrijk voor de weersvoorspellingen in Nederland want op deze manieren kunnen depressies op de Atlantische Oceaan snel ontdekt worden. Bij een depressies op de Atlantische Oceaan is de kans op slecht weer in Nederland groot. Welke satellieten wat voor gegevens opnemen wordt weergegeven in figuur 6 hieronder (KNMI, 2017).

Figuur 6: Informatie over de satellieten van het KNMI (KNMI, 2017).

2.3 Observaties

Ten tijde van de Verenigd Oost Indische Compagnie (VOC) werden er door schepen al meteorologische waarnemingen gedaan, dit had als voornaamste doel om de beste route te vinden naar de oost (KNMI, sd).

Tegenwoordig bestaat er het Comprehensive Ocean Atmosphere System (COADS), het COADS is een verzameling van meteorologische observaties die gemaakt zijn door koopvaardijschepen, boeien en platforms. In deze metingen zit natuurlijk een bepaalde afwijking, (Elizabeth C. Kent, 1997) heeft onderzoek gedaan naar de afwijking van de bepaalde meteorologische variabelen. Zo zit er een afwijking in de werkelijke temperatuur van het zeeoppervlak en de temperatuur van het zeewater die de machine koelwater inlaat thermometer aangeeft, het zeewater is in het echt zo'n 0,35℃ graden warmer dan dat de thermometer aangeeft. Dit verschil wordt aan boord verwaarloosd (Elizabeth C. Kent, 1997).

In het gehele onderzoek zijn door (Elizabeth C. Kent, 1997) afwijkingen ontdekt in verschillende variabelen, deze afwijkingen worden benoemd in tabel 2.

Tabel 2: De afwijkingen in verschillende meteorologische variabelen (Elizabeth C. Kent, 1997).

Observed field	Minimum error	Maximum error	Mean error
Surface wind speed	1.3 ± 0.4 m s^{-1}	2.8 ± 0.3 m s^{-1}	2.1 ± 0.2 m s^{-1}
Pressure	1.2 ± 0.4 mb	7.1 ± 2.0 mb	2.3 ± 0.2 mb
Air temperature	0.8° ± 0.3°C	3.3° ± 0.5°C	1.4° ± 0.1°C
Sea surface temperature	0.4° ± 0.2°C	2.8° ± 0.5°C	1.5° ± 0.1°C
Specific humidity	0.6 ± 0.04 g kg^{-1}	1.8 ± 0.3 g kg^{-1}	1.1 ± 0.2 g kg^{-1}

De afwijkingen van de verschillende meteorologische variabelen zijn afhankelijk van de variatie. De variatie is een verzamelnaam voor fouten die ontstaan met het nemen van de observatie, zoals miskalibratie, 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 (Elizabeth C. Kent, 1997).

2.4 Meteorologie aan boord

Het is de taak van de officier van de wacht om op de synoptische tijden weersmetingen te maken, deze weersmetingen kunnen worden bepaald door eenvoudige constateringen en het aflezen van brugapparatuur.

2.4.1 Temperatuur

De temperatuur is een warmte toestand voor een bepaald gas, vloeistof of vaste stof. De uitzetting of inkrimping ten gevolge van de omgevingstemperatuur kan de temperatuur worden afgelezen, dit systeem heet een thermometer. De temperatuur kan worden uitgedrukt in graden Celsius, Kelvin of in Fahrenheit, om van graden Celsius naar Fahrenheit te gaan of van Fahrenheit naar graden Celsius moet er gebruik worden gemaakt van de formule vermeld in figuur 7.

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9}$$

Figuur 7: De formule voor het omrekenen van graden Celsius naar Fahrenheit en andersom (C.J. van der Ham, 1983).

Om van Kelvin naar graden Celsius te gaan moet het aantal graden Celsius worden vermeerderd met 273,15 graden.

2.4.2 De luchtvochtigheid

De luchtvochtigheid valt te meten met behulp van de slingerpsychrometer, in de slingerpsychrometer zit een droge en een natte thermometer. Deze thermometers moeten op zo'n tempo worden rondgedraaid totdat er een windsnelheid van 2 meter per seconde in de thermometers wordt behaald, dit ronddraaien moet ongeveer drie minuten worden gedaan voordat er betrouwbare waardes uitkomen. Na het slingeren moeten beide thermometers worden

uitgelezen, het verschil van beide thermometers wordt ook wel het psychometrische meetverschil genoemd. Aan de hand van deze twee waardes wordt de luchtvochtigheid bepaald. (pce-inst-benelux, sd).

2.4.3 Zeewatertemperatuur

De zeewatertemperatuur die belangrijk is voor de zeevaart bestaat uit de bovenste laag van het zeewater, om deze temperatuur te meten kan er gebruik worden gemaakt van de zogenaamde puts methode. Bij de puts methode wordt er een emmertje zeewater binnenboord gehaald waarna er met een zeewaterthermometer de temperatuur van het zeewater wordt bepaald. De zeewaterthermometer heeft als voordeel ten opzichte van andere thermometers dat de aangegeven temperatuur niet gelijk veranderd wanneer men de thermometer uit de puts wordt gehaald. Tegenwoordig kan de zeewatertemperatuur ook worden afgelezen op de machinekamerconsole, op de console met de belangrijkste waardes van de hoofdmotor. Deze machinekamerconsole staat ook op de brug. Op de console staat aangegeven welke temperatuur het zeewater heeft dat naar de motor gaat als koelmiddel. Als de temperatuur sensor van de hoofdmotor wordt gebruikt moet wel rekening worden gehouden met het feit dat er een foutmarge inzit van 0,35℃ (Elizabeth C. Kent, 1997). Al wordt deze foutmarge niet doorgerekend bij het invullen van het logboek op de Amazoneborg.

2.4.4 Luchtdruk

Luchtdruk is de kracht van de atmosfeer die zich uitoefent op het aardoppervlak, de luchtdruk wordt gemeten in millibar (mbar) of in hecto Pascal (hPa) en is op zee gemiddeld 1013 mbar. De waarde van de gemeten luchtdruk hangt af of het schip zich in een hogedrukgebied of in een laagdrukgebied bevindt. Hoe hoger de ligging van de plaats waar gemeten wordt hoe lager de heersende luchtdruk is. Om de luchtdruk te meten wordt een barometer gebruikt (C.J. van der Ham, 1983) (Wetenschap.infonu, 2017) (Meteo Maarssen, sd).

3. Methode

In het hoofdstuk methode wordt besproken hoe de datacollectie van het onderzoek tot stand kwam en uit welke variabelen deze data bestond. De deelvragen waaruit het onderzoek bestond werden beantwoord met verschillende soorten methodes, deze methodes zijn beschreven in de paragraaf 3.2. Voor de deelvraag 2 waarbij metingen werden verricht was meetapparatuur nodig, deze meetapparatuur was aanwezig aan boord van de Amazoneborg en zal verder worden toegelicht in de paragraaf 3.3.1 tot en met 3.3.3. Daarnaast wordt er in dit hoofdstuk nog aandacht besteed aan de ethische aspecten die golden tijdens het onderzoeken.

3.1 Datacollectie

Om aan de benodigde data te komen voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag werd er gebruik gemaakt van een kwantitatief onderzoeksmethode. Om de nauwkeurigheid van het meteorologische programma SPOS te onderzoeken werd er gebruik gemaakt van observaties en metingen aan boord van mv Amazoneborg. Aan de hand van deze metingen, werd de nauwkeurigheid van de meerdaagse weersverwachtingen bepaald. Het bepalen van de nauwkeurigheid werd gedaan door de meerdaagse meteorologische verwachtingen te vergelijken met de werkelijkheid. De populatie van de steekproef waren de temperatuur, de windkracht, de windrichting en de luchtdruk. Deze meteorologische waardes werden vergeleken met de data die werd opgehaald vanuit SPOS.

3.2 Methode per deelvraag

Deelvraag 1: voor deelvraag 1 werden de meteorologische variabelen van SPOS vergeleken met de meteorologische meetinstrumenten aan boord van de Amazoneborg. Uit deze vergelijkingen werd geobserveerd welke variabelen overeenkomen met elkaar en de werking van de instrumenten met het nut van de variabelen werd onderzocht door middel van literatuuronderzoek. Deze deelvraag werd beantwoord met behulp van een kwalitatief onderzoek.

Deelvraag 2: voor deelvraag 2 werd er gebruik gemaakt van metingen en observaties, de meetbare variabelen die bepaald waren in deelvraag 1 werden vanaf 5 dagen voor de werkelijke metingen bijgehouden voor een vast tijdspunt. De weersvoorspellingen van 5 dagen tot 1 dag voor de werkelijke datum kwamen uit het programma SPOS. Wanneer de live metingen waren verricht werd er geobserveerd hoeveel de voorspellingen er per dag naast zaten. Dit proces werd meerdere keren herhaald en daaruit werd het gemiddelde gehaald. Volgens (Lange, 2017) moet er bij een betrouwbaar onderzoek 30 metingen of meer worden verricht. Deze deelvraag werd beantwoord met behulp van een kwantitatief onderzoek.

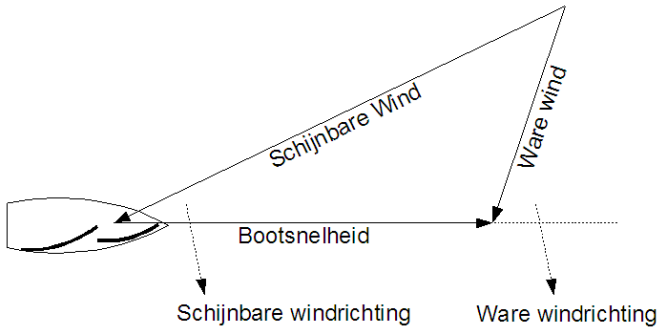
3.3 Meetapparatuur

In de paragraaf 3.3.1 tot en met 3.3.3 zijn de meetapparaten beschreven die essentieel waren om dit onderzoek te doen slagen, deze meetapparaten zijn de windmeter, de barometer en de thermometer.

3.3.1 Windmeter

Op de Amazoneborg werd de windsnelheid en windrichting gemeten met behulp van een ultrasonic anemometer. Dit is een instrument die vier aftakkingen bevat, aan de uiteindes van deze aftakkingen bevinden zich verbredingen met sensoren erin. Daarnaast zit er op een vast punt van de windmeter een meter die bij het installeren naar het ware noorden moet wijzen. Door dat de wind ervoor zorgt

dat de aftakkingen gaan draaien wordt er een elektronisch signaal verstuurd naar het elektronisch circuit. Dit signaal bevat hoe hard de windmeter draait en uit welke richting de wind komt. De draaisnelheid van de windmeter loopt van 0.01 tot en met 85 meter per seconde en de windrichting loopt van 000 tot 360 graden. Deze windkracht en windrichting zijn relatief en zijn zichtbaar op de weergegeven apparatuur in figuur 9. Op de ECDIS kan worden ingesteld dat de ware gegevens van de wind worden weergegeven. Deze waardes zijn voor het onderzoek gebruikt. Voor de gegevens vanuit de windmeter kan worden gekozen om de windkracht weer te geven in knopen of meters per seconde. Om hieruit de juiste windsnelheid en de juiste windrichting te krijgen moet er worden gerekend met vectoren. Hoe er wordt gerekend met vectoren staat in figuur 8 weergegeven.



Figuur 8: Uitleg van de relatieve wind (Frampton, 2010).

De ware wind is de werkelijke windsnelheid in knopen en uit welke richting de wind komt. Bij deze waardes moet in acht worden genomen dat het schip vaart dus bij het aantal knopen wind zit de snelheid van het schip nog inbegrepen en bij de windrichting zit de ware koers van het schip nog bij inbegrepen.

Figuur 9: De indicator van de windmeter op de Amazoneborg.

3.3.2 Luchtdruk apparatuur

Op de Amazoneborg werd de luchtdruk voor het onderzoek gemeten aan de hand van een barometer, de barometer die werd gebruikt voor het meten van de luchtdruk voor het onderzoek is weergegeven in figuur 10. De barometer die werd gebruikt op de Amazoneborg is rijks eigendom van het KNMI. Om de juiste waarde van de barometer af te kunnen lezen moest bij het gebruik van airconditioning de deuren van de brug vijf minuten van tevoren worden opengehouden, dit komt doordat de luchtdruk door de airconditioning op de brug hoger word. Daarnaast moest er boven op de afgelezen waarde nog 5 hPa worden opgeteld, dit is een vaste afwijking die op de barometer van de Amazoneborg zit (Clune, 1975).

Figuur 10: De barometer van de Amazoneborg.

3.3.3 Thermometer

De luchttemperatuur werd gemeten met de thermometer die is weergegeven in figuur 11, hoe deze thermometer werkte wordt beschreven in paragraaf 2.4.1. Op de Amazoneborg bevinden zich er twee thermometers, één op de stuurboordbrugvleugel en één op de bakboordbrugvleugel. Tussen deze thermometers kan een verschil zitten qua temperatuur ten gevolge van welke kant de zon staat. Staat de zon aan stuurboord dan is de waarde op de stuurboordthermometer hoger dan de bakboordthermometer. Voor het onderzoek was het gemiddelde van deze twee thermometers genomen voor het bepalen van de juiste waarde.

Figuur 11: De thermometer aan boord van de Amazoneborg.

3.4 Ethische Aspecten

Om de ethiek in stand te houden werden er in het onderzoek geen namen genoemd of persoonlijke informatie naar voren gebracht.

4. Resultaten

De eerste deelvraag die werd beantwoord luidde als volgt: ‘Welke meteorologische variabelen uit SPOS zijn belangrijk en meetbaar voor de Amazoneborg?’ De meteorologische variabelen die meetbaar zijn aan boord van de Amazoneborg zijn temperatuur, windkracht, windrichting en de luchtdruk. In de paragrafen 4.1 tot en met 4.3 wordt uitgelegd waarom deze meteorologische variabelen belangrijk zijn voor de Amazoneborg. Daarnaast wordt er in paragraaf 4.4 de resultaten van de meerdaagse weermetingen beschreven.

4.1 Temperatuur

De temperatuur bijhouden is voor de Amazoneborg zeer belangrijk, dit komt doordat de Amazoneborg veel papier en pulplading vervoerd, papier en pulplading en het schip gaan door temperatuursveranderingen zweten, dit zweten kan schade toebrengen aan de lading als er niet op geanticipeerd wordt.

Het zweet op de lading is condensatie die ontstaat doordat de pulp wordt geladen in een koud gebied waarnaar het schip vaart naar een gebied met hogere temperaturen. De reis tijdens de metingen was dit van Zweden naar de Verenigde Staten. Hierdoor kwam de Amazoneborg in contact met warmere lucht die een hogere luchtvochtigheid heeft dan de lucht die er in Zweden heerste, als deze lucht in contact komt met de koudere pulplading dan zal de lading gaan zweten, dit heeft te maken met dat het dauwpunt wordt bereikt. Om te voorkomen dat er condens ontstaat tijdens de reis is het zaak dat de temperatuur in het ruim hoger of gelijk is aan de buitenluchttemperatuur. Dit komt doordat warme lucht meer waterdamp kan vasthouden dan koude lucht. Om dit te verwezenlijken worden er ruimdrogers gebruikt, met deze ruimdrogers wordt de luchtvochtigheid naar beneden gebracht. Het is dus vrij belangrijk om de temperatuur in het ruim en buiten te monitoren om te kijken wat voor effect dit heeft op de lading. Aan boord van de Amazoneborg wordt door middel van de natte bol temperatuur gekeken wat de luchtvochtigheid in het ruim is en of er sprake is van het zweten van de lading en of het schip.

4.2 Luchtdruk

De Luchtdruk bijhouden is een belangrijke taak voor het brugteam van de Amazoneborg, dit komt doordat het verloop van de luchtdruk een goed beeld geeft over wat het weer in korte termijn gaat doen. Als de waarde voor de luchtdruk binnen een korte tijd hevig zakt betekend dit dat er een lagedrukgebied aan zit te komen. Ten gevolge van dit lagedrukgebied is de kans op bewolking, regen en wind groot. Het is belangrijk om dit type weer tijdig te kunnen voorspellen.

4.3 Windrichting en windkracht

De windrichting en de windkracht voorspellen, bepalen en bijhouden is een zeer belangrijk aspect voor de zeevaart en dus ook voor de Amazoneborg. Windrichting en windkracht zorgen voor een zeegang, deze zeegang is een belangrijk aspect voor het bepalen van de route met betrekking tot lading in en op het schip.

Als de wind voor een bepaalde periode op een vaste plek waait dan neemt de significante golfhoogte toe, de significante golfhoogte is de gemiddelde golfhoogte van één derde van de grootste golven die er op dat moment zijn. Deze significante golfhoogte is de golfhoogte die aan boord wordt weergegeven in het meteorologische programma SPOS. Op de Amazoneborg wordt door de officier van de wacht SPOS nauwlettend in de gaten gehouden of er gebieden zijn waar er

een langere tijd veel wind staat, als er gebieden op de vaarroute zijn waar voor een constante periode veel wind staat kan dit als gevolg hebben dat de Amazoneborg hoge golven en deining tegemoet gaat.

Ten gevolge van de optredende deiningsgolven en windgolven kan de Amazoneborg bewegingen gaan maken, deze bewegingen kunnen zijn slingeren, stampen of gieren. Als deze scheepsbewegingen te heftig worden kunnen er gevaarlijke situaties ontstaan, denk aan het schuiven van de lading of het overboord slaan van de lading met als gevolg dat het schip stabiliteit verliest.

Door de ontstaande deiningsgolven en windgolven kan het schip gevaarlijk reageren op deze golven, het Maritime Safety Committee (MSC, 1995) beschrijft vier mogelijkheden hoe de Amazoneborg kan reageren waarbij er gevaar dreigt voor de stabiliteit en de lading:

1. **Surfriding:** Als een hoge en steile golven dwars op het schip komen kan surfriding ontstaan, surfriding is als het schip dwars van de golftop naar het golfdal gaat. Er is hierdoor geen controle meer over het schip en er bestaat een kans dat het schip gaat kapseizen of grote hellingen krijgt.
2. **Riding on the wave crest:** Als de golven van achter het schip inkomen gaat het schip surfen of ook wel riding on the wave crest genoemd. Als de lengte van de golf één of twee keer de lengte van het schip is en de golf hoog en steil is kan het schip stabiliteit verliezen dit maakt het uiterst gevaarlijk om in een situatie als deze terecht te komen.
3. **Synchroniserend slingeren:** Synchroniserend slingeren komt voor als de natuurlijke slingerperiode van het schip samenvalt met de golfperiode.
4. **Parametrisch slingeren:** Parametrisch slingeren vindt plaats als de golfperiode gelijk tot een half keer zo groot is als de natuurlijke slingerperiode van het schip. Als deze omstandigheden zich voordoen gaat het schip steeds heftiger slingeren waarbij het lastig is om deze slingering uit het schip te krijgen met alle gevolgen van dien.

Als de situaties zich voordoen zoals hierboven staat beschreven kan de Amazoneborg zulke heftige bewegingen maken dat er grote krachten werken op het schip. Door deze krachten kan de lading gaan schuiven waardoor het schip veel stabiliteit verliest en uiteindelijk kans heeft om lading te verliezen of te gaan kapseizen (MSC, 1995).

Uit de bovenstaande theorie wordt duidelijk dat het belangrijk is voor de Amazoneborg om de windkracht en de windrichting in de gaten te houden. Door de windkracht en de windrichting in de gaten te houden kunnen er bijtijds de juiste handelingen worden verricht om schade aan het schip en aan de lading te worden voorkomen. Deze handelingen kunnen zijn koers veranderen en of vaart veranderen doordat de koers wordt veranderd kan een gebied met hoge deining en golven worden vermeden, het is dus belangrijk om ruim op tijd actie te ondernemen zodat een gebied met veel deining en golven kan worden vermeden.

4.4 Weermetingen

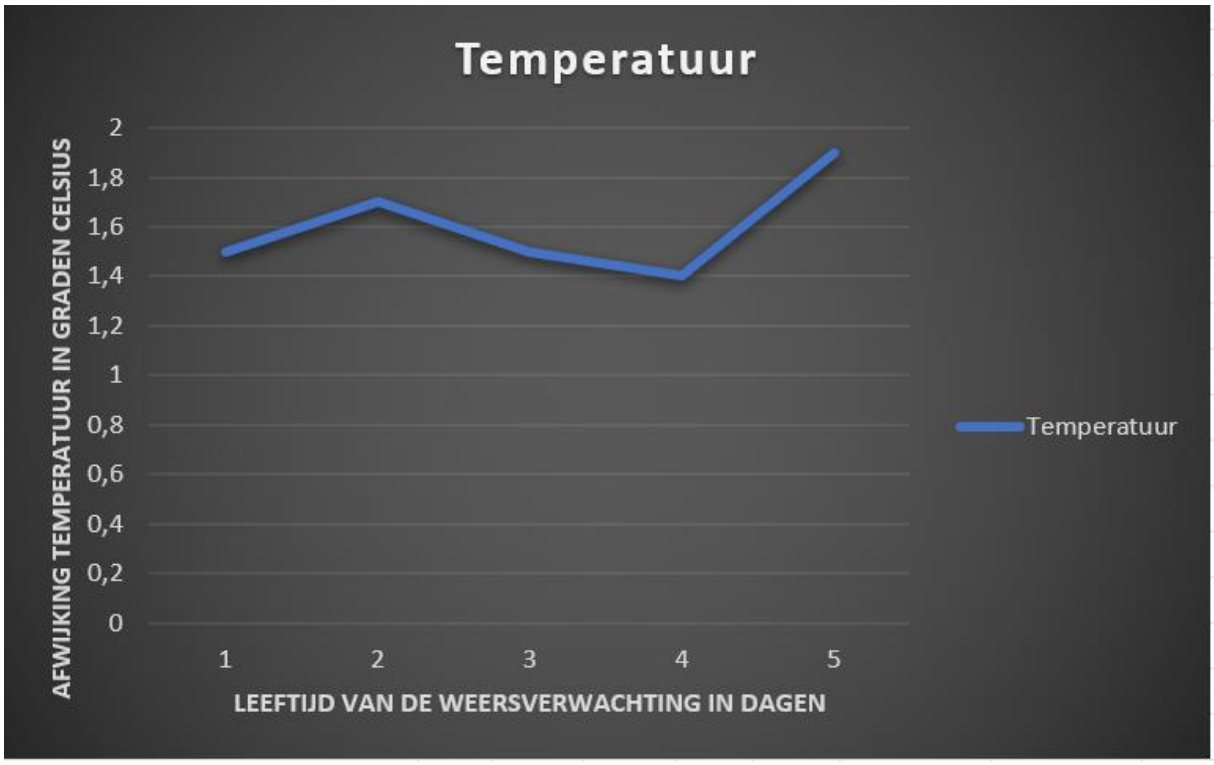
Voor het bepalen van de nauwkeurigheid van de temperatuur, luchtdruk, windkracht en windrichting van het meteorologisch programma SPOS zijn deze variabelen in totaal dertig keer gemeten. Per meting is vanaf vijf dagen van te voor via SPOS elke dag voorspeld wat de waarde zou moeten zijn voor dat moment. De gemiddelde afwijking tussen de voorspelde waarde en de uiteindelijke waarde is berekend en in de onderstaande tabellen en grafieken weergegeven.

4.4.1 Temperatuur

De gegevens voor de temperatuur voorspellingen zijn weergegeven in tabel 3 en figuur 12. De voorspelde waardes voor de temperatuur zijn uit het programma SPOS gehaald en de werkelijke waardes komen van de thermometer op de brugvleugel af. Om de temperatuur af te lezen is er afgerond op hele getallen.

Tabel 3: Gemiddelde afwijking van de temperatuur in graden Celsius.

Leeftijd van de weersverwachting in dagen	1	2	3	4	5
Afwijking temperatuur in graden Celsius	1.5	1.7	1.5	1.4	1.9



Figuur 12: Gemiddelde afwijking van de temperatuur in graden Celsius.

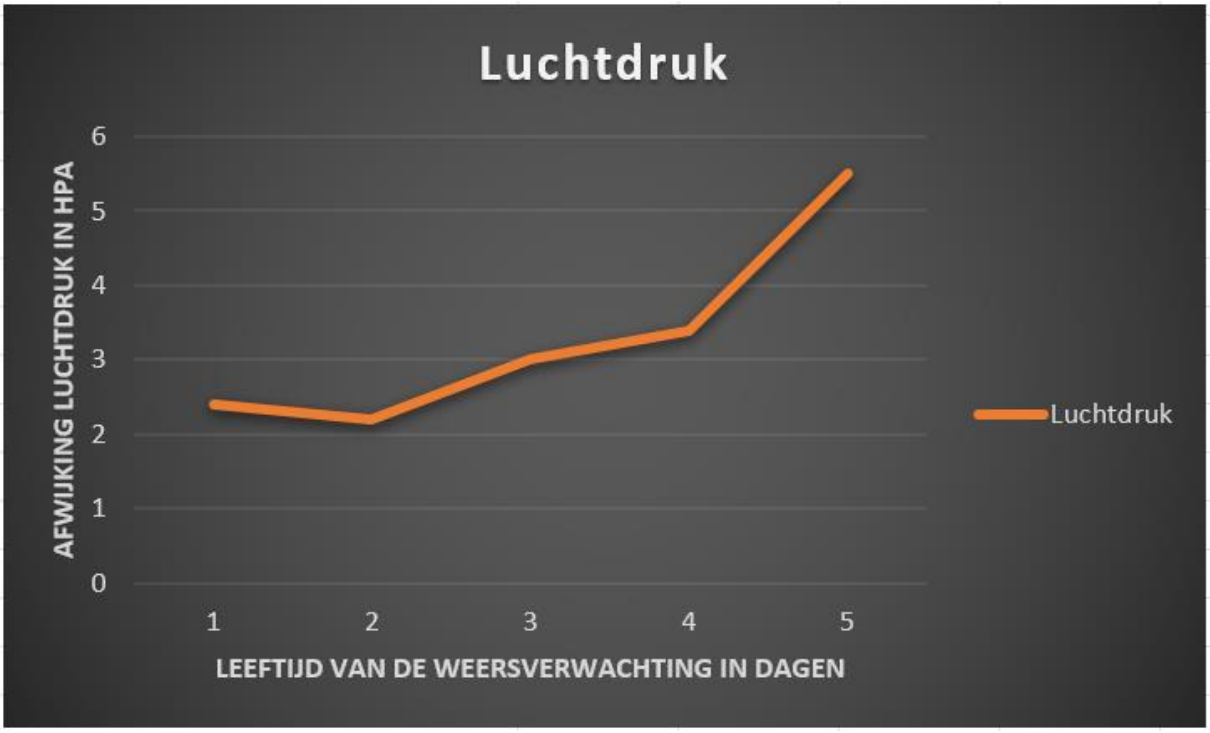
Uit tabel 3 en figuur 12 is te zien dat de temperatuur voorspelling nauwkeurig is, de grootste gemiddelde afwijking is de voorspelling van vijf dagen van tevoren, deze afwijking is 1.9 graden Celsius. Dit betekent dat er van de voorspelde temperatuurwaarde van SPOS uit kan worden gegaan.

4.4.2 Luchtdruk

De gegevens voor de luchtdruk voorspellingen zijn weergegeven in tabel 4 en figuur 13. De voorspelde waardes voor de luchtdruk zijn uit het programma SPOS gehaald en de werkelijke waardes komen van de barometer op de brug af. Om de luchtdruk af te lezen is afgerond op hele getallen.

Tabel 4: Gemiddelde afwijking van de luchtdruk in hecto Pascal.

Leeftijd van de weersverwachting in dagen	1	2	3	4	5
Afwijking luchtdruk in hPa	2.4	2.2	3.0	3.4	5.5



Figuur 13: Gemiddelde afwijking van de luchtdruk in hecto Pascal.

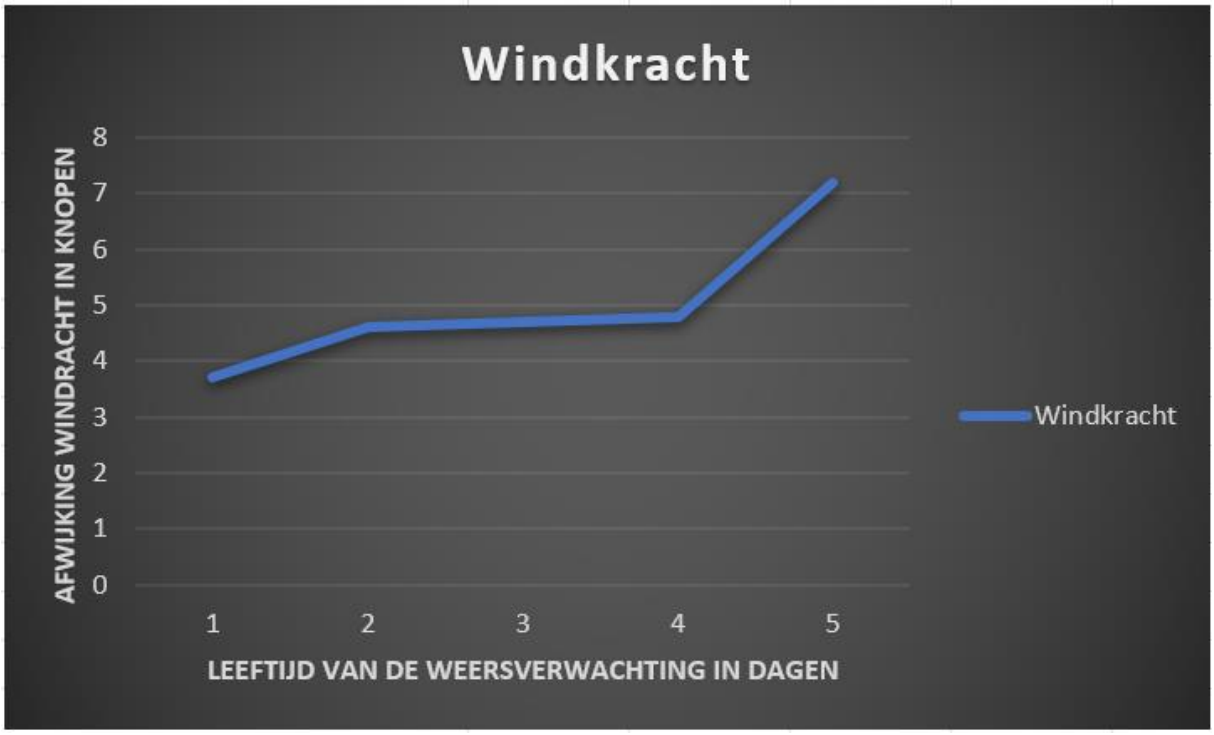
In tabel 4 en figuur 13 is goed te zien dat hoe vroeger het weer voorspeld wordt des te onnauwkeuriger de voorspelde luchtdruk is. Vanaf drie tot vijf dagen voor de werkelijke datum neemt de onnauwkeurigheid van de luchtdruk sterk toe.

4.4.3 Windkracht

De gegevens van de windkracht voorspellingen zijn weergegeven in tabel 5 en figuur 14. De voorspelde waardes voor de windkracht zijn uit het programma SPOS gehaald en de werkelijke waardes komen van de ECDIS op de brug af. Om de windkracht af te lezen is afgerond op hele getallen.

Tabel 5: gemiddelde afwijking van de windkracht in knopen.

Leeftijd van de weersverwachting in dagen	1	2	3	4	5
Afwijking windkracht in knopen	3.7	4.6	4.7	4.8	7.2



Figuur 14: Gemiddelde afwijking van de windkracht in knopen.

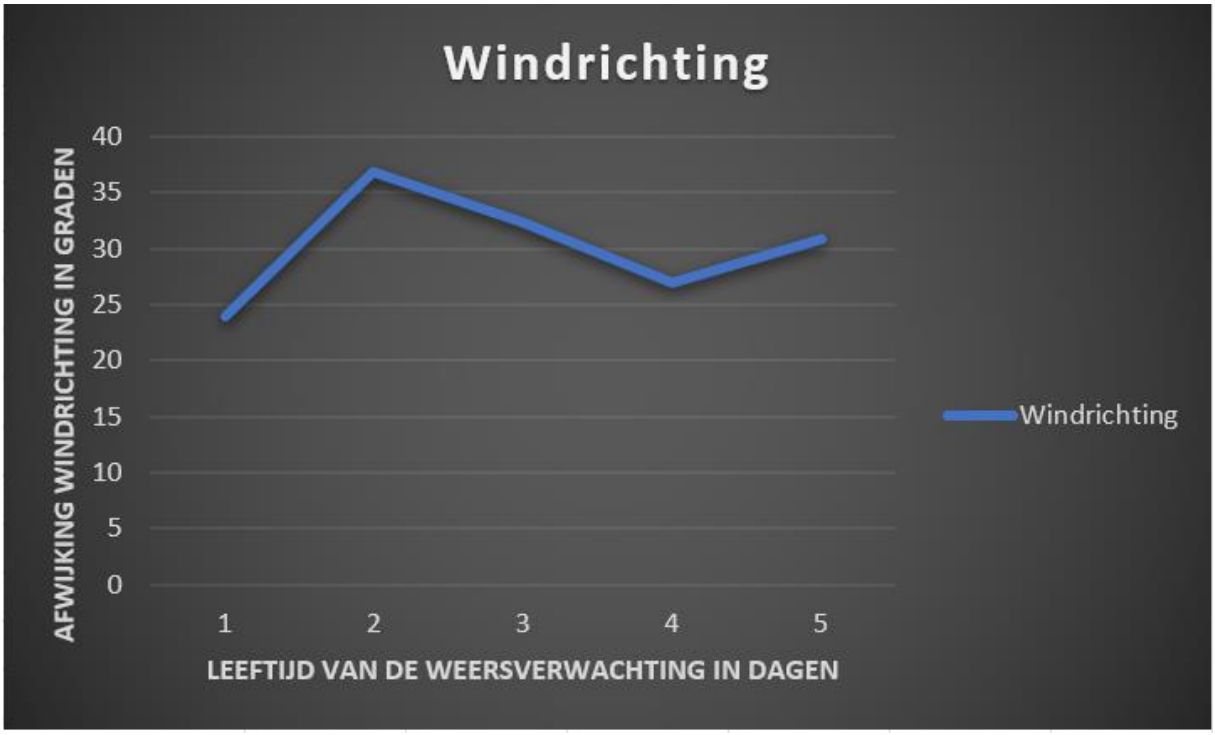
In tabel 5 en figuur 14 is goed te zien dat de gemiddelde afwijking van de voorspelde windkracht tot en met vier dagen voor de werkelijke datum erg dicht bij elkaar ligt, pas vanaf dag vijf neemt de gemiddelde afwijking fors toe. Hieruit is dus te concluderen dat de nauwkeurigheid van de windkracht meting tot en met vier dagen van te voor goed te voorspellen is en daarna neemt de gemiddelde afwijking sterk toe.

4.4.4 Windrichting

De gegevens van de windrichting voorspellingen zijn weergegeven in tabel 6 en figuur 15. De voorspelde waardes voor de windrichting zijn uit het programma SPOS gehaald en de werkelijke waardes komen van de ECDIS op de brug af. Om de windkracht af te lezen is afgerond op hele getallen. Voor het bepalen van de afwijking van de windrichting zijn de windrichtingen in graden verdeeld. Zo is de afwijking van de voorspelling in graden ten opzichte van de werkelijke windrichting.

Tabel 6: gemiddelde afwijking van de windrichting in graden.

Leeftijd van de weersverwachting in dagen	1	2	3	4	5
Afwijking windrichting in graden	24.0	36.8	32.3	27.0	30.8



Figuur 15: Gemiddelde afwijking van de windrichting in graden.

Uit de dertig uitgevoerde metingen van de windrichting kwam naar voren dat voorspelling van twee dagen voor de werkelijke meting het meest onbetrouwbaar is met een gemiddelde afwijking van 36.8 graden. Daarnaast is de gemiddelde afwijking per voorspelde dag constant boven de 24 graden, deze waarde heeft een forse afwijking. Bij het aflezen van de windrichting op SPOS kan er dus vanuit worden gegaan dat de windrichting rond de 20 graden zal afwijken.

5. Discussie

Nu de resultaten over de nauwkeurigheid van SPOS zijn verwerkt zal de discussie plaatsvinden. In de discussie wordt het aantal metingen, de nauwkeurigheid van de metingen en de externe invloeden op de metingen besproken.

5.1 Aantal metingen

Voor het onderzoek waren 30 metingen verricht op verschillende tijdstippen, hoe meer metingen er worden gedaan des te betrouwbaarder het onderzoek wordt. De eerste zes weken van de stage lag de Amazoneborg in het droogdok en werd er niet gevaren daarom is er in verband met tijdsdruk gekozen voor 30 metingen. Deze dertig metingen waren uitgevoerd in de periode van april en mei.

5.2 Nauwkeurigheid van de metingen

Bij het aflezen van de waardes voor de werkelijke temperatuur en luchtdruk kan het zo zijn dat er een klein verschil zit in de afgelezen waarde en de werkelijke waarde, dit is een menselijke fout door deze mogelijke menselijke fout kan de algemene betrouwbaarheid van de resultaten worden beïnvloed.

5.3 Externe invloeden op de metingen

Er zijn meerdere externe invloeden op de metingen waardoor de nauwkeurigheid van de metingen beïnvloedt kan worden. Zo zijn de meteorologische omstandigheden tijdens de gehele onderzoeksperiode niet gelijk geweest, bij de oversteek op de Noord Atlantische Oceaan heeft het schip te maken gehad met slecht weer terwijl het tijdens de reis van Philadelphia naar Florida goed weer is geweest. Bij goed weer is het goed te voorspellen via SPOS waar het schip is na één tot en met vijf dagen terwijl bij slecht weer het een stuk lastiger is om te bepalen waar het schip in SPOS is over vijf dagen, ten gevolge van wisselende scheepssnelheden en koersen. Dit is ook te zien in de resultaten, de afwijking van SPOS is groter tijdens de periode van slecht weer.

Nog een invloed waardoor de nauwkeurigheid van het onderzoek wordt bepaald is de betrouwbaarheid van de meetinstrumenten aan boord, het is onbekend wanneer de thermometer en de barometer voor het laatst geijkt zijn. De windmeter was daarentegen nieuw geïnstalleerd na het droogdok dus van de windmeter mag worden aangenomen dat het de juiste gegevens weergeeft.

6. Conclusie en aanbevelingen

Na het verwerken van de resultaten kunnen er conclusies worden getrokken. In het onderzoek zijn er antwoorden gezocht voor de volgende hoofd- en deelvragen:

Deelvraag 1: '*Welke meteorologische variabelen uit SPOS zijn belangrijk en meetbaar voor de Amazoneborg?* ' De conclusie die uit deze deelvraag resulteert luidt als volgt. De meteorologische variabelen die belangrijk en meetbaar zijn voor de Amazoneborg om een goed weerbeeld te krijgen zijn de luchtdruk, de windkracht, de windsnelheid en de luchttemperatuur. Deze variabelen zijn belangrijk om de lading en het schip veilig van de ene naar de andere haven te krijgen. De resultaten over deze meteorologische variabelen zijn beschreven in de paragrafen 5.1 tot en met 5.3.

Deelvraag 2: *'In welke mate heeft de tijdsduur van de weersvoorspelling invloed op de nauwkeurigheid van de weersvoorspelling?'.* De conclusie die uit deze deelvraag is gekomen luidt als volgt. Bij de voorspellingen van de temperatuur, luchtdruk en windkracht geldt dat hoe vroeger de voorspelling des te groter de afwijking in de voorspelling. Voor de windrichting geldt juist weer dat de grootste afwijking in de weersvoorspelling twee dagen voor de werkelijke datum is. Daarnaast kan er worden geconcludeerd dat de voorspellingen van SPOS betrouwbaar zijn en dat de afwijking in de voorspellingen niet groot zijn. De verdere resultaten van de weermetingen zijn beschreven in de paragraaf 5.4.

Hoofdvraag: '*Hoe nauwkeurig zijn meerdaagse weersvoorspellingen op zee van het meteorologische programma SPOS?'* De hoofdvraag kan worden beantwoord uit de deelvragen, uit de metingen is te concluderen dat de nauwkeurigheid van de meerdaagse weersvoorspellingen op zee van het meteorologische programma SPOS variabel zijn. Zo is de meerdaagse voorspelling van de temperatuur vrij nauwkeurig, de grootste afwijking zit onder de twee graden Celsius maar bij de windrichting bijvoorbeeld zit er een grootte afwijking bij de voorspelling twee dagen voor de werkelijke meting. Daarnaast is de meerdaagse voorspelling van de windkracht ook vrij stabiel alleen bij de voorspelling van vijf dagen van te voren neemt de onnauwkeurigheid sterk toe. Als conclusie kan worden gegeven dat de nauwkeurigheid van de meteorologische waardes afneemt naarmate de voorspelling eerder wordt gedaan.

Het is aanbevolen om een vervolgonderzoek te starten, bij het vervolgonderzoek zullen meer metingen moeten worden verricht dan de dertig tijdens het huidige onderzoek, dit zal de betrouwbaarheid van het resultaat vergroten. Als er een vervolgonderzoek zal plaatsvinden is het aangeraden om de meerdaagse weersvoorspelling te vergroten van vijf naar tien dagen, dit heeft als gevolg dat de nauwkeurigheid van de meerdaagse weersvoorspelling beter te bepalen valt.

Bronnenlijst

C.J. van der Ham, C. K. (1983). *Meteorologie en Oceanografie voor de zeevaart*. Haarlem: Hollandia.

Clune, W. M. (1975). *Mariners Weather Log*. Washington D.C.

Dorrestein, D. P. (1976). *Zeegolven*. Den Haag: Staatsdrukkerij.

Elizabeth C. Kent, P. G. (1997). *A Statistical Determination of the Random Observational Errors Present in Voluntary*. Southampton.

Floor, C. (1983). *Operationele meteorologie*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Instituut Meteorologie: https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubTR/TR34.pdf

Floor, K. (2004). *Weersverwachtingen*. Opgehaald van Keesfloor: https://www.keesfloor.nl/weerkunde/13verw/13verw.htm

Frampton, L.-c. R. (2010). *Meteorology for seafarers*. Glasgow: Brown, Son and Ferguson LTD.

Hong, L. W. (2015). *Wave and Swell Observations at Sea*. Opgehaald van Hong Kong Observatory.

KNMI. (2017). *Satellieten*. Opgehaald van KNMI: https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/satellieten

KNMI. (2021). *Weerballon of radiosonde*. Opgehaald van KNMI: https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/weerballon-of-radiosonde

KNMI. (sd). *Scheepswaarnemingen*. Opgehaald van KNMI: https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/scheepswaarnemingen

KNMI. (sd). *Wij zijn het KNMI*. Opgehaald van KNMI: https://www.knmi.nl/over-het-knmi/over

Lange, A. d. (2017, Oktober 1). *Steekproefgrootte*. Opgehaald van Leansixsigmapartners: https://www.google.com/amp/s/www.leansixsigmapartners.nl/lean-six-sigma/steekproefgrootte-lean-six-sigma-partners%3fhs_amp=true

Merkus, J. (sd). *Verschil tussen kwalitatief & kwantitatief onderzoek*. Opgehaald van Scribbr: https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/kwalitatief-vs-kwantitatief-onderzoek/

Meteo Maarssen. (sd). *Luchtdruk*. Opgehaald van Meteo Maarssen: https://www.meteo-maarssen.nl/wr_nell_2.html

MSC. (1995). *GUIDANCE TO THE MASTER FOR AVOIDING DANGEROUS* . London.

Olers, J. (2018, December 5). *Cargo ships and ports in extreme weather – how we helped our customers*. Opgehaald van Greencarrier: https://blog.greencarrier.com/cargo-ships-and-ports-in-extreme-weather-how-we-helped-our-customers/

pce-inst-benelux. (sd). *Slingerpsychrometer PCE-SPS 1*. Opgehaald van pce-inst-benelux: https://www.pce-inst-benelux.nl/technische-specificaties/slingerpsychrometer-pce-sps-1.htm

Samuel. (2021, 7 11). *Wat zijn drukniveaus in de meteo en hoe moeten we deze interpreteren?* Opgehaald van Noodweer: https://www.noodweer.be/wat-zijn-drukniveaus-in-de-meteo-en-hoe-moeten-we-deze-interpreteren/

(sd).*Schijnbare wind*. EurosWiki.

SPOS. (sd). *SPOS*. Opgehaald van DTN: https://www.dtn.com/weather/shipping/spos/#:~:text=SPOS%20optimizes%20shipping%20routes%2C%20taking,the%20conditions%20that%20are%20ahead.

Ventusky. (sd). *Luchtdrukken*. Opgehaald van Ventusky: https://www.ventusky.com/?p=51.5;3.6;5&l=pressure

Wagenborg. (2016, augustus 25). *Successful North West Passage by Wagenborg*. Opgehaald van Royal Wagenborg: https://www.wagenborg.com/cases/successful-north-west-passage-by-wagenborg

Wetenschap.infonu. (2017, November 22). *De luchtdruk bepalen met behulp van een barometrische formule*. Opgehaald van Wetenschap.infonu: https://wetenschap.infonu.nl/weer/184498-de-luchtdruk-bepalen-met-de-barometrische-hoogteformule.html

WMO. (sd). *What we do*. Opgehaald van World Meteorological Organisation: https://public.wmo.int/en/our-mandate/what-we-do