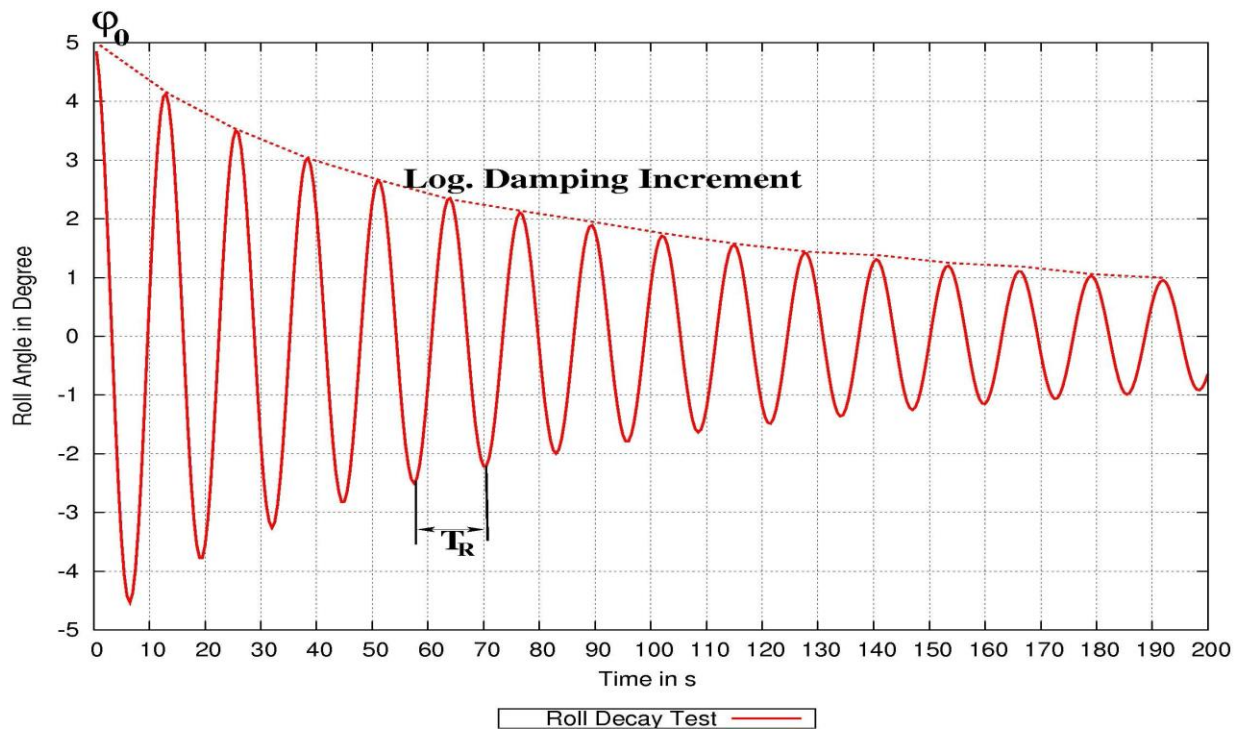


## Analyse van de natuurlijke slingerperiode van zeeschepen varende naar en komende van de haven van Zeebrugge en dit gebaseerd op FULL SNMS vaarbestanden



(Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van bachelor in de toegepaste wetenschappen: Maritime operations.)

**Auteur:**

J.M.D. De Hantsetters

Waterbouwkundig Laboratorium, Antwerpen, België

**Analyse van de natuurlijke slingerperiode van zeeschepen varende  
naar en komende van de haven van Zeebrugge en dit gebaseerd op  
FULL SNMS vaarbestanden**

**Auteur:**

J.M.D. De Hantsetters

**Docenten:**

M.Meerburg

A.Degroot

**Mentor:**

Ir. J. Verwilligen

**School:**

HZ University of applied science

De Ruyter Academy

**Jaar van publicatie:**

2017

**Versie:**

2.19

# **Voorwoord**

Op de schoolbanken hebben we gesproken over het gedrag van schepen in de golven. Deze opgedane kennis heb ik kunnen toepassen op het onderzoek dat ik heb uitgevoerd op mijn stageplaats bij het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen.

Tevens heeft het Waterbouwkundig Laboratorium mij de kans gegeven om via onderzoek een bijdrage te leveren aan de kennis over het slingergedrag van schepen varende naar en komende van de haven van Zeebrugge.

Met veel enthousiasme heb ik mij dan ook ingezet voor mijn eindwerk want dit eindwerk is mijn bijdrage aan de maritieme sector.

Dit werk zou ik nooit geschreven hebben als er geen mensen waren die mij steunden. Als eerste wens ik mijn mentor Ir. Jeroen Verwilligen te danken. Met raad en daad heeft hij mij bijgestaan en dit gedurende mijn gehele stageperiode. Zonder zijn deskundig advies en goede begeleiding was dit eindwerk niet mogelijk geweest.

Ook wil ik mijn ouders danken voor de mogelijkheid die ze me gegeven hebben om deze studie aan te vangen en te volbrengen. Zij hebben mij op elk mogelijk vlak gesteund.

Veel dank gaat naar Ir. Marc Mansuy en Ir. Manases Tello Ruiz voor hun advies, het gezelschap op kantoor, de wetenschappelijke discussies en de steun die ze mij gegeven hebben.

Verder wil ik alle medewerkers van het Waterbouwkundig Laboratorium bedanken voor de aangename stage en de leuke momenten die we samen beleefd hebben.

Diksmuide

22/03/2017

# **Samenvatting**

De Vlaamse havens willen zich aantrekkelijker maken voor grotere schepen. Hiervoor moeten de havens, toegangsgeulen, sluizen, e.d. zich aanpassen aan de steeds groter wordende schepen (Vlaamse Overheid ,z.d.).

De toegankelijkheidscriteria dienen herbekeken en aangepast te worden aan de grote schepen. Daarom vraagt de Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit (GNA), bevoegd voor de scheepvaartafwikkeling op de Westerschelde, om de toegankelijkheidscriteria van de Scheldehavens te bestuderen rekening houdend met het heersende golfklimaat, de afmetingen van de grote schepen en hun gedrag tijdens het aanvaren van de havens.

De hoofdvraag, gesteld in dit onderzoek luidt:” Hoe beïnvloedt het slingergedrag de toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge.”

De bevindingen zijn dat de slingerfrequentie van eenzelfde schip in de verschillende geografische gebieden (Scheur, Bocht Scheur en Zand) dezelfde is, dat de diepgang T een invloed heeft op de slingerfrequentie van het schip en dat het heersend golfklimaat een invloed heeft op de UKC

Deze bevindingen geven de karakteristieken van het slingergedrag van het schip weer.

De verkregen informatie kan gebruikt worden om specifiek onderzoek te doen naar bepaalde parameters en dit ter verbetering van de reeds bestaande toegankelijkheidscriteria zie § 7.4. Zo kan het tijvenster voor grote schepen vergroten. Dit maakt de haven economisch aantrekkelijker voor de rederijen

Er is geen verschil in slingerhoeken tussen de bestudeerde gebieden. De slingerhoeken liggen tussen de 0.5° en 3.8°.

De dominante slingerperiodes liggen tussen de 12.5s en 33.3s. Het heersend golfklimaat heeft een grote invloed op de slingerhoek, maar niet op de slingerfrequentie.

Er wordt een diepgangreductie van gemiddeld 1.6% berekend. Verder onderzoek zal moeten uitmaken in welke mate deze diepgangreductie kan worden toegepast in het probabilistisch beleid. Dit is een beleid gebaseerd op risico analyses.

Met dit onderzoek staat men weer dicht bij het realiseren van het probabilistische toegangsbeleid.

# **Abstract**

The ports in Flanders aim to appeal to larger ships, which requires the adaption of the ports, access channels, locks... to the ever larger ships (Flemish Government, n.d.).

The accessibility criteria therefore need to be revisited and altered to accustom large ships. As a result, the Joint Nautical Authority (GNA), responsible for the handling of shipping on the Western Scheldt, requests a study of the accessibility criteria. The study needs to take into account the dominant wave climate, the measurements of the large ships and their behaviour during port approach.

The main research question is as follows: how does the rollbehavior influence the accessibility to the port of Zeebrugge?

The main findings suggest that the rollfrequency of a single ship in the different geographical regions (Scheur, Bocht Scheur and Zand) remains the same throughout. Furthermore, depth T influences the rollfrequency of the ship and the dominant wave climate has an influence on the yaw angle. Lastly, the width/depth relation has a significant influence on the GM values of the ship.

These findings reflect the characteristics of the ship's roll.

The results of this study can be used to further research certain parameters to further improve the existing accessibility criteria, which can be found in § 7.4.

# Inhoudsopgave

|                                                                      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| Voorwoord .....                                                      | i    |
| Samenvatting .....                                                   | ii   |
| Abstract .....                                                       | iii  |
| Inhoudsopgave .....                                                  | iv   |
| Figuren- en tabellenlijst.....                                       | viii |
| Lijst met afkortingen .....                                          | x    |
| 1 Inleiding .....                                                    | 1    |
| 1.1 Situering project .....                                          | 1    |
| 1.1.1 Achtergrond informatie opdrachtgever .....                     | 2    |
| 1.2 Onderzoeksvragen.....                                            | 2    |
| 1.3 De Randvoorwaarden.....                                          | 3    |
| 2 Theoretisch kader.....                                             | 5    |
| 2.1 Inleiding .....                                                  | 5    |
| 2.2 Deterministisch toegangsbeleid (Vantorre et al., 2013) .....     | 5    |
| 2.3 Probabilistisch toegangsbeleid (Vantorre et al., 2013).....      | 6    |
| 2.4 Meetinstrument: FULL SNMS.....                                   | 7    |
| 2.4.1 Werking.....                                                   | 7    |
| 2.4.2 Nauwkeurigheid van het FULL-SNMS systeem .....                 | 7    |
| 2.4.3 Meetgegevens .....                                             | 9    |
| 2.5 Slingerperiodes van schepen (Krüger, et al 2008) .....           | 9    |
| 2.6 UKC (Gourlay, T. 2007).....                                      | 10   |
| 2.6.1 Slingerhoek .....                                              | 11   |
| 2.7 Golven vs schip: Ontmoetingsfrequentie (Vantorre, M. 2007) ..... | 11   |
| 2.8 Fast Fourier-Analyse .....                                       | 13   |
| 3 Onderzoeksmethode.....                                             | 14   |
|                                                                      | iv   |

**Analyse van de natuurlijke slingerperiode van zeeschepen varende naar en komende van de haven van Zeebrugge en dit gebaseerd op FULL SNMS vaarbestanden**

|       |                                                                   |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1   | Inleiding .....                                                   | 14 |
| 3.2   | Methode.....                                                      | 14 |
| 3.3   | Benodigde data.....                                               | 15 |
| 3.3.1 | Full SNMS Vaarbestanden.....                                      | 15 |
| 3.3.2 | Beschrijving golfgegevens.....                                    | 16 |
| 3.4   | Afmetingen schepen.....                                           | 17 |
| 3.5   | onderzoeksgebied.....                                             | 17 |
| 4     | Uitvoering .....                                                  | 19 |
| 4.1   | Inleiding .....                                                   | 19 |
| 4.2   | VBA-Macro's.....                                                  | 19 |
| 4.2.1 | Verwerking meetgegevens tot tijdreeksen .....                     | 20 |
| 4.2.2 | Frequentieanalyse (Fast Fourier Analyse) .....                    | 22 |
| 4.3   | Ontmoetingsfrequentie ( $f_e$ ).....                              | 25 |
| 4.4   | Berekening aanvangsstabiliteit (GM) .....                         | 26 |
| 4.4.1 | basisformule.....                                                 | 26 |
| 4.4.2 | Bepalen van de i- waarde.....                                     | 26 |
| 5     | Resultaten.....                                                   | 28 |
| 5.1   | Inleiding .....                                                   | 28 |
| 5.2   | Invloed van de scheepsafmetingen op de diepgangsverandering ..... | 28 |
| 5.2.1 | $\Delta T$ ifv de slingerhoek .....                               | 29 |
| 5.2.2 | $\Delta T$ ifv de diepgang van het schip .....                    | 30 |
| 5.2.3 | $\Delta T$ ifv. de breedte.....                                   | 31 |
| 5.2.4 | $\Delta T/T$ ifv Lengte .....                                     | 31 |
| 5.2.5 | $\Delta T/T$ ifv B/T .....                                        | 32 |
| 5.3   | Dominante slingerfrequentie.....                                  | 32 |

|       |                                                                              |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3.1 | Slingermax- slingermin ifv de dominante slingerfrequentie .....              | 32 |
| 5.3.2 | Invloed scheepskarakteristiek op de slingerbeweging.....                     | 33 |
| 5.4   | Invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip..... | 37 |
| 5.4.1 | Inleiding.....                                                               | 37 |
| 5.4.2 | Bestuderen van de invloed van de golfparameters op de slingerhoeken .....    | 37 |
| 5.4.3 | Vergelijking slingerfrequentie en ontmoetingsfrequentie.....                 | 39 |
| 5.5   | GM vs afmetingen schip .....                                                 | 40 |
| 5.5.1 | GM vs Breedte .....                                                          | 40 |
| 5.5.2 | Diepgang vs GM.....                                                          | 41 |
| 5.5.3 | B/T vs GM .....                                                              | 42 |
| 6     | Conclusie.....                                                               | 43 |
| 6.1   | Inleiding .....                                                              | 43 |
| 6.2   | Invloed van de scheepsafmetingen op de diepgangsverandering .....            | 43 |
| 6.2.1 | $\Delta T$ ifv de diepgang van het schip .....                               | 43 |
| 6.2.2 | $\Delta T$ ifv de breedte van het schip .....                                | 43 |
| 6.2.3 | $\Delta T/T$ ifv B/T .....                                                   | 43 |
| 6.2.4 | Conclusie m.b.t. invloed op de scheepsafmeting.....                          | 44 |
| 6.3   | Dominante slingerfrequentie.....                                             | 44 |
| 6.3.1 | Dominante slingerfrequentie per deelgebied .....                             | 44 |
| 6.3.2 | Slingerfrequentie vs diepgang .....                                          | 46 |
| 6.3.3 | Slingerfrequentie vs Breedte.....                                            | 46 |
| 6.3.4 | Conclusies m.b.t. de dominante slingerfrequentie.....                        | 46 |
| 6.4   | Invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip..... | 46 |
| 6.4.1 | Bestuderen van de invloed van de golfparameters op de slingerhoeken .....    | 46 |
| 6.4.2 | Vergelijking slingerfrequentie en ontmoetingsfrequentie.....                 | 47 |



|       |                                                                                                                            |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.4.3 | Vergelijking GM vs diepgang en B/T .....                                                                                   | 47 |
| 6.4.4 | Conclusies m.b.t. het invloed van het heersend golfklimaat .....                                                           | 48 |
| 7     | Discussie .....                                                                                                            | 49 |
| 7.1   | Inleiding .....                                                                                                            | 49 |
| 7.2   | Kwaliteit van het onderzoek script.....                                                                                    | 49 |
| 7.2.1 | Validatie .....                                                                                                            | 49 |
| 7.2.2 | Betrouwbaarheid.....                                                                                                       | 49 |
| 7.3   | Beperkingen van het onderzoek .....                                                                                        | 49 |
| 7.4   | Advies voor de opdrachtgever .....                                                                                         | 50 |
| 8     | Antwoorden op de onderzoeksvragen.....                                                                                     | 51 |
| 8.1   | Antwoorden op de subvragen.....                                                                                            | 51 |
| 8.1.1 | De betrouwbaarheid van de geselecteerde data. ....                                                                         | 51 |
| 8.1.2 | Wat is de natuurlijke slingerfrequentie per schip.....                                                                     | 52 |
| 8.1.3 | Bestaat er een verband tussen de natuurlijke slingerfrequentie, maximale slingerhoek en de afmetingen van het schip? ..... | 52 |
| 8.1.4 | Wat is de invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip .....                                    | 52 |
| 8.2   | Antwoord op de hoofdvraag.....                                                                                             | 52 |
| 8.2.1 | Hoe beïnvloedt het slingergedrag de toegang tot de haven van Zeebrugge?....                                                | 52 |
|       | Bronvermelding.....                                                                                                        | 55 |
|       | Bijlagen .....                                                                                                             | 56 |
|       | I. Lijst gebruikte meetpunten.....                                                                                         | 56 |
|       | II. Tabel voorbeeld selectie gegevens .....                                                                                | 59 |
|       | III. Diepgangsverandering vs afmetingen schip .....                                                                        | 61 |
|       | IV. Bestands nr. en bestandsnaam Tabel Dominante slingerfrequenties.....                                                   | 63 |
|       | V. Lijst en tabel gebruikte meetpunten GM.....                                                                             | 66 |

# **Figuren- en tabellenlijst**

## **Grafieken**

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafiek 1: Weergave van de slingerhoek in functie van de tijd $T_r$ =Rolperiode(S., Krüger, et al.,2008)..... | 9  |
| Grafiek 2: Slingergrafiek CMA CGM Andromeda 20131119 .....                                                    | 22 |
| Grafiek 3: Fourier analyse CMA CGM Andromeda 20131119 .....                                                   | 24 |
| Grafiek 4: Slingerhoek vs $\Delta T$ .....                                                                    | 29 |
| Grafiek 5: $\Delta T$ ifv de diepgang van het schip .....                                                     | 30 |
| Grafiek 6: $\Delta T$ ifv de breedte .....                                                                    | 31 |
| Grafiek 7: $\Delta T$ ifv Lengte .....                                                                        | 31 |
| Grafiek 8: $\Delta T/T$ ifv $B/T$ .....                                                                       | 32 |
| Grafiek 9: Verschil slingermax en slingermin vs slingerfrequentie .....                                       | 33 |
| Grafiek 10: Slingerfrequentie vs diepgang.....                                                                | 33 |
| Grafiek 11: Slingerfrequentie vs breedte.....                                                                 | 34 |
| Grafiek 12: Slingerfrequentie ifv $B/T$ .....                                                                 | 34 |
| Grafiek 13: Slingerfrequentie vs lengte .....                                                                 | 35 |
| Grafiek 14: Verschil slingerhoek vs breedte.....                                                              | 36 |
| Grafiek 15: Verschil slingerhoeken vs lengte.....                                                             | 36 |
| Grafiek 16: Verschil rol max en rol min vs 10% hoogste golven.....                                            | 38 |
| Grafiek 17: Verschil rolmax en rolmin vs significante golfhoogte .....                                        | 38 |
| Grafiek 18: Verschil rol max en rol min vs Deining .....                                                      | 39 |
| Grafiek 19: Slingerfrequentie vs ontmoetingsfrequentie golven hoge frequentie .....                           | 39 |
| Grafiek 20: GM vs Breedte .....                                                                               | 41 |
| Grafiek 21: Diepgang Vs GM .....                                                                              | 41 |

viii

**Analyse van de natuurlijke slingerperiode van zeeschepen varende naar en komende van de haven van Zeebrugge en dit gebaseerd op FULL SNMS vaarbestanden**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Grafiek 22: GM vs B/T .....                                               | 42 |
| Grafiek 23: grafiek verhouding frequentie Zand op frequentie Scheur ..... | 45 |

## **Tabellen**

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1: Deterministische waarden vereiste UKC .....                                       | 6  |
| Tabel 2: Coördinaten deelgebieden (WGS 84).....                                            | 17 |
| Tabel 3: Waarden Maximale uitval per gebied.....                                           | 22 |
| Tabel 4 :Vergelijken i-waarden.....                                                        | 27 |
| Tabel 5: Gemiddelde frequentie, gemiddelde verschil slinger max en min per deelgebied..... | 44 |
| Tabel 6: Verhouding frequentie Zand op frequentie Scheur (f(s)) .....                      | 45 |
| Tabel 7: Courante afmetingen van schepen varende naar de haven van Zeebrugge .....         | 50 |
| Tabel 8: Reductie deterministische criteria door delta T.....                              | 53 |

# **Lijst met afkortingen**

- DGNSS: Differential Global Navigation Satellite System
- DGPS: Differential Global Positioning System
- FFT: Fast Fourier Transformation
- GNA: Gemeenschappelijke Nautische Autoriteiten
- GPS: Global Positioning System
- Hz: Hertz
- LOA: Lengte over alles
- MOW: Mobiliteit en Openbare Werken
- MBZ: Maatschappij van de Brugse Zeevaart
- MVB: Meetnet Vlaamse Banken
- PRN: Pseudorandom Noise
- QPS: Quality Positioning Services: Ontwikkelaar Full SNMS-apparatuur en tevens bestandstype waarin de vaargegevens opgeslagen werden
- RTK: Real time Kinematic
- SNMS: schelde navigator marginale schepen
- TTFF: Time To First Fix
- TXT: Tekst
- UKC: Under Keel Clearance: kielspeling uitgedrukt als percentage van de scheepsdiepgang
- ULCS: Ultra Large Container Ships
- VBA: Visual Basic for Application
- WL: Waterbouwkundig Laboratorium

# **1 Inleiding**

## **1.1 Situering project**

De Vlaamse Havens willen zich aantrekkelijker maken voor grotere ( $L \geq 225\text{m}$ ,  $T \geq 12.5\text{m}$ ) schepen. Hierdoor moeten de havens zich aanpassen aan de steeds groter wordende schepen (Vlaamse Overheid Z.D.).

Om een haven veilig binnen te varen, moet er voldoende water onder de kiel staan (UKC, Under Keel Clearance), dit om te voorkomen dat het schip de bodem raakt en te verzekeren dat het schip zijn manoeuvreerbaarheid kan behouden.

Daarom heeft de Vlaamse overheid toegankelijkheidscriteria voor diepgelegen schepen opgemaakt. Deze schepen zijn, tijdens het aanvaren van de haven, onderhevig aan verschillende factoren die hun kielspeling kunnen veranderen zoals golven, getijden, wind, squat enz. (Vantorre et al., 2013)

In dit onderzoek zal enkel de kielreductie ten gevolge van slingeren bestudeerd worden.

Het bepalen van de vereiste UKC kan volgens twee principes berekend worden:

- Deterministisch principe: de toegankelijkheid wordt bepaald door definitie van een minimale kielspeling. Dit principe ligt aan de basis van het huidige toegangsbeleid
- Probabilistisch principe: de toegankelijkheid wordt bepaald door een aanvaardbare kans waarmee het schip de bodem raakt. Dit principe wilt men in de toekomst gaan gebruiken om het nieuwe toegangsbeleid te bepalen

Na het berekenen van de vereiste UKC verkrijgt het schip een tijvenster waarin het de haven kan binnenvaren.

Teneinde gebruik te maken van het probabilistische principe dienen de toegankelijkheidscriteria herbekeken en aangepast te worden. Daarom vraagt de Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit, bevoegd voor de scheepvaartafwikkeling op de Westerschelde, om de toegankelijkheidscriteria van de Scheldehavens te bestuderen rekening houdend met het heersende golfklimaat, afmetingen van de schepen en hun gedrag tijdens het aanvaren van de havens. Het slingergedrag wordt beschouwt als de belangrijkste factor omdat hierin al reeds de afmetingen, gedrag van het schip en klimatologisch invloed in verrekend zitten.

Met de verkregen informatie kan een risicoschatting opgesteld worden. Deze risicoschatting kan de veiligheidsmarges van de reeds bestaande criteria vergroten. Waardoor er minder strenge criteria's kunnen worden toegepast.

### **1.1.1 Achtergrond informatie opdrachtgever**

Het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) is een expertisecentrum dat wetenschappelijk onderzoek doet naar de effecten van water in beweging. Het onderzoekt de invloed van menselijke activiteit en van de natuur op watersystemen en de gevolgen ervan voor de scheepvaart en voor de watergebonden infrastructuur. ( <http://www.watlab.be/nl>, 11/06/2015)

Het onderzoek ondersteunt de Vlaamse overheid, maar ook privéinstellingen en internationale organisaties doen beroep op de gespecialiseerde kennis van het Waterbouwkundig Laboratorium

Het Waterbouwkundig Laboratorium maakt deel uit van het beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken en valt onder de bevoegdheid van het Departement Technisch Ondersteunende Diensten van de Vlaamse Overheid.

Het beleidsdomein Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) is één van de 13 beleidsdomeinen van de Vlaamse overheid. MOW staat op een duurzame manier in voor een veilige, vlotte en slimme mobiliteit en voor het geïntegreerd en efficiënt beheren en realiseren van infrastructuur in dienst van maatschappij en economie in Vlaanderen. Met Vlaanderen in Actie, Pact 2020, draagt Mobiliteit en Openbare Werken ertoe bij om op maatschappelijk en economisch vlak Vlaanderen tegen 2020 naar de top vijf van de Europese regio's te leiden.

Het Waterbouwkundig Laboratorium is gelegen aan de Berchemlei 115, 2140 te Antwerpen. De stage wordt in de kantoren van WL uitgevoerd.

Het doel van het onderzoek is het berekenen van de invloed van het slingergedrag van containerschepen varende naar Zeebrugge op de diepgang en, in latere studies, de invloed die het heeft op het toegangsbeleid.

## **1.2 Onderzoeksvragen**

De hoofdvraag luidt: Hoe beïnvloedt het slingergedrag van containerschepen de toegankelijkheid tot de haven van Zeebrugge?

Dit onderzoek wordt gevoerd om uit registraties data te verzamelen die een idee geven over het slingergedrag van de schepen. Het bepalen van de natuurlijke frequentie van het schip, de GM-waarde en de eventuele invloed van het slingergedrag op de UKC zullen bestudeerd worden. Deze resultaten zullen in verdere studies gebruikt worden om een risicoanalyse te maken die gebruikt zal worden om de veiligheidsmarges van de reeds bestaande criteria's te vergroten.

In eerste instantie zal er onderzocht worden welke type schepen er met het FULL SNMS systeem geloodst geweest zijn. Nadien zal een selectie gemaakt worden op basis van hun representativiteit.

Teneinde de hoofdvraag van een goed beargumenteerd, betrouwbaar antwoord te voorzien dienen er eerst deelvragen beantwoord te worden. De deelvragen leiden uiteindelijk naar het antwoord van de hoofdvraag.

- 1) Hoe betrouwbaar is de geselecteerde data?
- 2) Wat zijn de minimale en maximale slingerhoeken per schip?
- 3) Wat is de natuurlijke slingerfrequentie per schip?
- 4) Bestaat er een verband tussen de natuurlijke frequentie, de maximale slingerhoek en de afmetingen van het schip?
- 5) Wat is de invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip?
- 6) Wat is de invloed het slingergedrag op de UKC?

Daar het slingeren niet altijd rond het nul punt gebeurt, is het verschil tussen de minimale en maximale slingerhoek een goede weergave van de mate van slingeren. Deze gegevens zullen nodig zijn om de diepgangsreductie te berekenen.

### **1.3 De Randvoorwaarden**

Het afbakenen van het onderzoekdomein zorgt ervoor dat de onderzoeker zich kan focussen op het onderwerp van het onderzoek. Het voorkomt langdradige afwijkingen die de diepgang van het onderzoek belemmeren.

Volgende randvoorwaarden worden gesteld:

- 1) De verzamelde data zijn enkel afkomstig uit de vaart met een FULL SNMS Qastor navigatie systeem in de periode van 01/08/2013 tot 01/06/2014.
- 2) Het betreft enkel het traject naar de haven van Zeebrugge of vertrekkend uit de haven van Zeebrugge.
- 3) Enkel het traject binnen de drie gedefinieerde geografische plaatsen (Scheur, Bocht Scheur, Zand) zullen besproken worden (dus niet de bewegingen in de haven zelf).
- 4) Enkel containerschepen, geloodst met het FULL SNMS systeem, zullen besproken worden
- 5) Squad e.d. wordt uitgesloten uit dit onderzoek

In dit eindwerk wordt een studie uitgevoerd naar slingerbewegingen van grote schepen varende naar en komende van de haven van Zeebrugge.

Dit werk is opgebouwd uit 8 hoofdstukken. Hoofdstuk 1 geeft een beschrijving van het project, de opdrachtgever, de onderzoeksvragen en de randvoorwaarden.

In hoofdstuk 2 bevindt zich het Theoretisch Kader. In dit hoofdstuk staat de theoretische achtergrond die nodig is om de analysemethode en resultaten te begrijpen.

In hoofdstuk 3 wordt een korte beschrijving gegeven van de gebruikte data. Vanwaar worden ze gehaald en hoe worden ze verkregen.

De onderzoeksmethode wordt in hoofdstuk 4 uitgelegd, er wordt in beschreven hoe de data verwerkt zullen worden.

De resultaten staan beschreven in hoofdstuk 5. Na het verwerken van de gegevens worden de resultaat in grafieken gezet en in dit hoofdstuk besproken.

Na het beschrijven van de resultaten in hoofdstuk 5 wordt de discussie in hoofdstuk 6 weergegeven.

Hoofdstuk 7 beschrijft de conclusies en in hoofdstuk 8 wordt er antwoord gegeven op de onderzoeksvragen.



## 2 Theoretisch kader

### 2.1 Inleiding

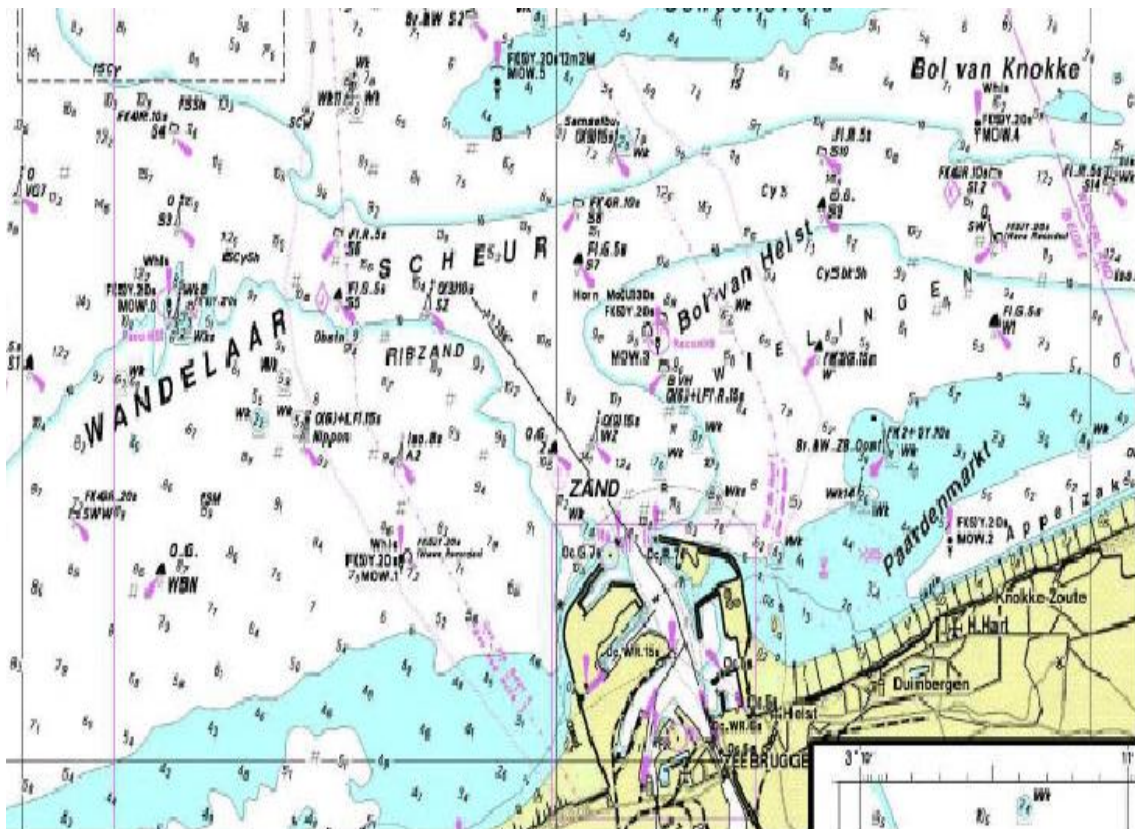
Om een beter inzicht te krijgen in de theorie achter het onderzoek zal in dit hoofdstuk de theorie besproken worden die nodig is om het onderzoek te begrijpen. Het deterministisch en probabilistisch toegangsbeleid zullen uitgelegd worden.

De verschillende parameters, nodig voor het onderzoek zullen theoretisch aangehaald worden en de theorie rond slingeren van het schip zal uitgelegd worden.

In hoofdstuk 3 zal deze theorie toegepast worden op de analysemethode.

### 2.2 Deterministisch toegangsbeleid (Vantorre et al., 2013)

Het deterministisch principe gaat uit van een minimale UKC die het schip moet hebben op de toegangskanalen naar de haven. De UKC wordt bepaald als een percentage van de diepgang. Als de UKC kleiner is dan de minimale vereiste UKC dan mag het schip de haven niet binnen varen. Een deterministisch criterium houdt geen rekening met dagelijkse variaties in het golfklimaat (toestand van de zee). Het golfklimaat zorgt voor veranderingen in UKC.



Figuur 1: Aanloop Haven Zeebrugge

Vandaag de dag wordt door de Belgische autoriteiten in de Belgische havens enkel het deterministische toegangsbeleid gevoerd.

De gehanteerde waarden zijn de volgende en worden weergegeven in Tabel 1.

**Tabel 1: Deterministische waarden vereiste UKC**

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| Scheur West           | 15.0% |
| Scheur Oost           | 15.0% |
| Pas Van het Zand      | 12.5% |
| Westerschelde         | 12.5% |
| Belgische Schelde     | 10%   |
| Buitenhaven Zeebrugge | 10%   |
| Kanaal Gent-Terneuzen | 1m    |

### **2.3 Probabilistisch toegangsbeleid (Vantorre et al., 2013)**

Het probabilistisch principe gaat uit van een kansberekening. Wat is de waarschijnlijkheid dat het schip, met de huidige UKC, de bodem raakt. Wanneer deze kansen binnen de accepteerbare marge van de havenautoriteiten (<1%) ligt, mag het schip de haven binnen varen.

Er wordt een risicoanalyse gemaakt waarbij rekening gehouden wordt met de waarschijnlijkheid van voorkomen, het aantal keren dat het kan voorkomen, de impact van het gevolg en de drukte van het vaarwater.

Het voordeel van het gebruiken van het probabilistisch principe is dat het tij poort in het merendeel van de gevallen groter wordt. (Vantorre et al., 2013)

Om een nauwkeurige probabilistische berekening uit te voeren dient de invloed van het slingergedrag van het schip en de parameters van het heersende golfklimaat beter bestudeerd te worden.

Wanneer het schip ten gevolge van slecht weer een grote slingerhoek heeft, zal dit de probabilistische benadering nadelig beïnvloeden. Met andere woorden, als het mooi weer is en het schip slingert bijna niet, dan zal de haven makkelijker toelating geven tot opvaart met een kleine UKC dan als het slecht weer is en het schip een grote slingerhoek vertoont.

Het is de bedoeling dat in de toekomst wordt overgeschakeld op het probabilistische toegangsbeleid. Dit onderzoek brengt een bijdrage aan het uitwerken van het probabilistische toegangsbeleid opgesteld door de Belgische autoriteiten voor de Belgische havens.

## 2.4 Meetinstrument: FULL SNMS

### 2.4.1 Werking

Het FULL SNMS systeem zal, in dit onderzoek, als meetinstrument gebruikt worden. Het zal de slingerhoeken, koersen, snelheid en plaats van het schip registreren.

SNMS staat voor Schelde Navigator Marginale Schepen en wordt gebruikt door de loodsen van Antwerpen, Gent, Vlissingen en Zeebrugge.

Het Belgische Loodswezen (DAB Loodswezen) heeft zeven FULL SNMS systemen aangekocht. De toestellen worden respectievelijk gebruikt in:

- Antwerpen: vier toestellen
- Gent: twee toestellen
- Kustgebied (hoofdzakelijk Zeebrugge): één toestel



Figure 1: Full SNMS systeem

Het is een uiterst nauwkeurig GPS systeem gecombineerd met accurate nautische kaarten dat de loodsen in staat stelt om grote schepen (marginale schepen) met een grote nauwkeurigheid de havens binnen te loodsen. De definitie van groot is:

- LOA: vanaf 225m en
- Diepgang: Vanaf 10m

Er zijn twee versies van de SNMS in omloop: de Lite SNMS en de Full SNMS.

De Lite is een gespecialiseerde loods computer die aangesloten wordt op de scheepsconsole. Hierbij wordt de positiebepaling van het schip als input gebruikt voor het navigatieprogramma.

Bij de FULL SNMS maakt de loods gebruik van eigen GPS-systeem en meetapparatuur. De Full SNMS bestaat uit een computer en drie Pods. Twee Pods zijn GPS-ontvangers en worden op de beide brugvleugels van het schip gepositioneerd. De derde pod is een WIFI-router en verzorgt de draadloze communicatie van de GPS-antennes naar de laptop.

### 2.4.2 Nauwkeurigheid van het FULL-SNMS systeem

Om de nauwkeurigheid te vergroten krijgt het FULL-SNMS systeem zijn gegevens niet uit de scheepscomputer/console zelf maar uit eigen pods. De kwaliteit van ontvangst van de GPS antennes en de eventuele ontvangst van referentiesignalen van walstations bepalen de nauwkeurigheid van de bekomen data. In de Full SNMS worden onderstaande 'positioning modes' onderscheiden:

- GPS+GLONASS ‘Stand-alone’
- DGPS
- DGNSS(DGPS+DGLONASS)
- RTK

Hieronder worden de verschillende deelsystemen toegelicht:

➤ **GPS+GLONASS ‘Stand- Alone’**

Bij het GPS+GLONASS satelliet system wordt enkel gebruik gemaakt van de satellieten zelf. De satellieten bezitten een nauwkeurige atoomklok die vanuit grondstations gesynchroniseerd wordt. De ontvanger berekent de tijd die nodig is om een signaal naar de satelliet te sturen en terug te ontvangen.

Door gebruik te maken van drie satellieten kan een ruwe schatting van een positie gemaakt worden. Dit is echter een onnauwkeurige schatting want in realiteit wordt een driehoek verkregen waarbij elk hoekpunt een positie kan zijn. Door statistiek en kansberekening kan een positie bepaald worden.

Door een vierde satelliet toe te voegen gebeurt een tijdscorrectie waardoor uiteindelijk één positie bepaald word. Deze modus is de minst nauwkeurige modus die het FULL SNMS systeem heeft (ordegrootte 2 m).

➤ **DGPS**

Ook hier wordt gebruik gemaakt van satellieten. De satellieten zullen echter eerst de positie bepalen van een vast punt (walstations) waarvan de coördinaten nauwkeurig bepaald zijn. Het verschil tussen beide posities is de fout die altijd dezelfde is. Indien men deze fout, van de positie van het schip aftrekt, wordt een nauwkeuriger positie verkregen (ordegrootte 0.22 m).

➤ **DGNSS**

Bij DGNSS wordt het DGPS systeem en het DGLONASS systeem met elkaar gecombineerd. Dit leidt tot een sterke toename in het aantal beschikbare satellieten. De Time To First Fix (TTFF) wordt zo gereduceerd, wat leidt tot een nog grotere nauwkeurigheid in positiebepaling (ordegrootte 0.2 m).

➤ **RTK**

RTK staat voor Real Time Kinematic. Er zal op het moment zelf (Real time) via een communicatielink, een correctie worden toegepast op de bewegende (Kinematic) ontvanger.

De ontvanger (Rover) krijgt nog altijd correcties binnen van een basisstation echter verschilt deze met DGPS principe door het feit dat hier geen afstandsmeting ten opzichte van de satellieten bepaald wordt maar dat er gezocht wordt naar een faseverschil tussen de uitgezonden L1 en L2 draaggolven die de satellieten uitzenden.

Daar de golflengte van de L1 en L2 draaggolven aanzienlijk korter zijn dan de frequentie van de PRN berichten kan er een veel grotere nauwkeurigheid bereikt worden (ordegrootte 0.05 m).

In het onderzoek zullen de gegevens van de meest nauwkeurige positioning mode gebruikt worden.

### 2.4.3 Meetgegevens

Bij de FULL SNMS haalt de computer zijn meetwaarden niet uit de instrumenten aan boord maar uit de drie PODs.

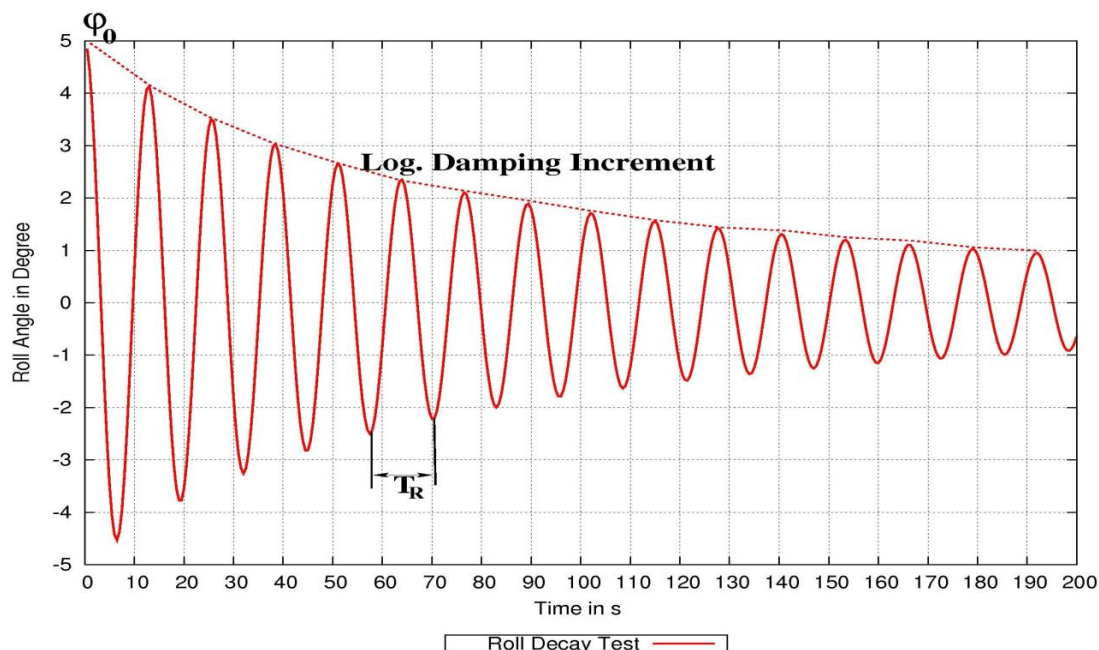
Parameters zoals koers, snelheid, positie, slingerhoeken, stamphoeken, het aantal satellieten, de methode van gegevens berekening... worden gemeten en opgeslagen.

Er worden vijf metingen per seconde uitgevoerd. Dit levert een meetfrequentie op van 5 Hz en een meetperiode gelijk aan  $1/5=0.2\text{s}$ . Deze meetfrequentie zorgt voor zeer veel nauwkeurige data wat de kwaliteit en betrouwbaarheid van het onderzoek ten goede komt.

## 2.5 Slingerperiodes van schepen (Krüger, et al 2008)

De slingerhoeken, geregistreerd door het FULL SNMS systeem zal, uitgezet in een grafiek, de vorm vertonen die in grafiek 1 wordt weergegeven.

Een schip reageert op de golven door te gaan slingeren. Hierbij rolt het schip van de ene zijde naar de andere zijde. Een schip dat uit zijn evenwichtspositie (slingerhoek =  $0^\circ$ ) verstoord wordt zal steeds met dezelfde slingerperiode (gedempt) oscilleren rond de evenwichtsstand. Deze tijdsperiode wordt de natuurlijke slingerperiode genoemd. De slingerbeweging van een schip beschrijft hetzelfde principe als de slinger van een staande klok.



**Grafiek 1: Weergave van de slingerhoek in functie van de tijd  $T_R$ =Rolperiode(S., Krüger, et al..2008)**

Grafiek 1 geeft deze slingerhoek in functie van de tijd grafisch weer. Het schip krijgt een plotse uitwendige kracht te verduren door een golf of door de wind en krijgt daardoor wat slagzij.

9

**Analyse van de natuurlijke slingerperiode van zeeschepen varende naar en komende van de haven van Zeebrugge en dit gebaseerd op FULL SNMS vaarbestanden**

Wanneer de uitwendige kracht stopt zal het schip zich weer in zijn oorspronkelijke conditie herstellen. Het schip moet echter de opgebouwde energie kwijt. Daar het schip zich verzet tegen deze beweging treedt er een demping op. Door de demping neemt de amplitude af en de slingerperiode neemt toe. Daar het maken van een slingerbeweging energie kost zal vervolgens het schip minder energie hebben om terug te slingeren en zal het de slingerbeweging gaan dempen. De slingerhoeken worden kleiner. Zo dempt het schip het slingeren en komt uiteindelijk terug naar de oorspronkelijke conditie. Uit deze grafiek kan men gemakkelijk de slingerperiode halen.

De natuurlijke slingerfrequentie kan uit de grafiek bepaald worden of kan berekend worden met de formule van Weiss:

$$f(r) = \frac{\sqrt{g * GM}}{2\pi i} \quad (2-1)$$

Waarbij:

$$i = \sqrt{\frac{I_{xx}}{\Delta}} \sim 0,4B = \text{Giratiestraal van het schip} \quad (2-2)$$

$F(r)$  = slingerfrequentie (Hz)

$GM$  = metacenterhoogte (m)

$G$  = gravitatiekracht =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$\Delta$  = displacement (ton)

$I_{xx}$  = massatraagheidsmoment ( $\text{kg.m}^2$ )

$B$  = breedte van het schip (m)

Waarbij de gyratiestraal van het schip gesteld kan worden op  $0.4 * \text{breedte}$ . Schepen met een hoge bovenbouw (veel containers aan dek) vormen hierop de uitzondering. Bij deze schepen kan een waarde van  $i = 0.45 * \text{Breedte}$  gebruikt worden (Krüger, S., et al, 2008).

## 2.6 UKC (Gourlay, T. 2007)

De Under Keel Clearance van een schip is de afstand tussen de onderkant van het schip (de kiel) en de bovenkant van de bodem. Deze moet voldoende groot zijn om geen schade aan de bodem of het schip te veroorzaken. Hoe kleiner de UKC hoe groter de kans om aan de grond te lopen. De UKC speelt een grote rol bij het berekenen van de risico's en het opstellen van veiligheidsmarges in het probabilistische beleid.

Er zijn scheepsafhankelijke factoren die invloed hebben op de UKC. De belangrijkste zijn: squat, slingerhoeken en dynamische responsie op golven. Enkel de invloed van de slingerhoek zal in dit onderzoek bestudeert worden. In verder onderzoek kunnen de andere factoren individueel bestudeert worden.

### 2.6.1 Slingerhoek

Bij het slingeren kan de kielspeling ter hoogte van de kim van het schip gevoelig afnemen. Het effect van de slingerhoeken is groter op containerschepen dan op bulkschepen. (Gourlay, T. 2007)

Met de volgende formule kan de slingerhoek voor een zeker hellend moment berekend worden.

$$\phi = \frac{M}{mgGM} \quad (2-3)$$

Waarbij:

$\phi$ =slingerhoek (°)

M=hellend moment

m=massa schip (ton)

g=gravitatiekracht aarde (9.81 m/s<sup>2</sup>)

GM=metacenter hoogte (m)

Deze hoek zorgt voor een extra inzinking aan de kim van het schip. Deze inzinking is ongeveer gelijk aan  $\phi$  (rad) keer de helft van de breedte van het schip (Gourlay, T., 2007).

De diepgangsveranderingsformule door slingeren is de volgende:

$$\Delta T(\theta) = \left(\frac{B}{2}\right) * \tan \theta \text{ (cm)} \quad (2-4)$$

Waarbij:

$\Delta T(\theta)$ =verandering in diepgang door slingerhoek  $\theta$  (m)

B=breedte van het schip (m)

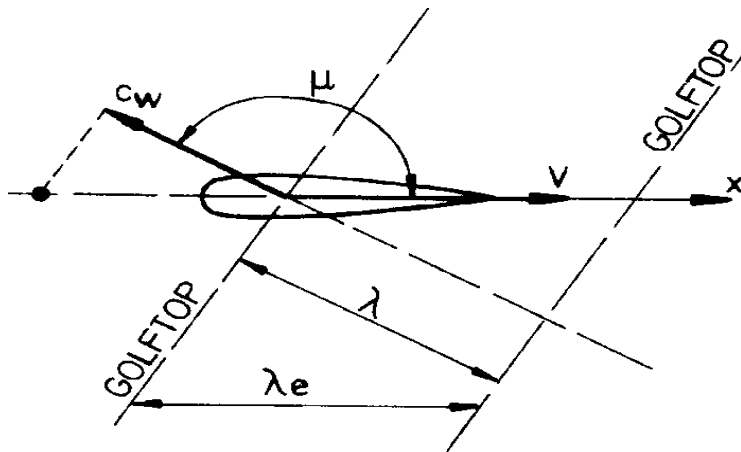
Deze formule zal gebruikt worden in het onderzoek om de  $\Delta T$  te berekenen.

## 2.7 Golven vs schip: Ontmoetingsfrequentie (Vantorre, M. 2007)

Indien de golven niet achterin of voorin op het schip komen maar zijdelings het schip raken, resulteert dit in een slingering van het schip. Dit onderzoek bestudeert dit slingergedrag.

Een schip kan gaan slingeren volgens een frequentie dicht bij zijn eigen frequentie (natuurlijke frequentie) of volgens een frequentie die aansluit bij de frequentie waarmee het schip de golven raakt, de zogenaamde ontmoetingsfrequentie. Bepalend hierin zijn de golfparameters:

- Golfhoogte
- Golflengte
- Golfperiode
- Golffrequentie
- Golfsnelheid.



Figuur 2 toont een schets van de parameters die van belang zijn tijdens een ontmoeting tussen een golf en een schip.

Stel dat een golf met een periode  $\lambda$  een schip met een snelheid  $v$  raakt, dan zal het schip een golf met een periode  $\lambda_e$ , de ontmoetingsperiode, voelen. Onder invloed van deze periode zal het schip gaan slingeren

De ontmoetingsfrequentie kan, met behulp van bovenstaande

Figure 2: Golf vs Schip (Vantorre, M. 2007)

golfparameters, als volgt berekend worden:

$$f(e) = \frac{(\omega(1 - \frac{v}{c_w} \cos \mu))}{2\pi} \quad (2-5)$$

Waarbij:

$\omega$ =golffrequentie (Hz)

$C_w$ =voortplantingssnelheid van de golven

$\mu$ =invalshoek van de golven op het schip (°)

$v$ =snelheid van het schip in m/s

Als de ontmoetingsfrequentie met de slingerfrequentie vergeleken wordt kan bepaald worden in welke mate de golven de slingering veroorzaken. Als de slingerfrequentie van het schip dicht bij de ontmoetingsfrequentie ligt hebben de golven een grote invloed op het slingeren van het schip. Indien de slingerfrequentie ver van de ontmoetingsfrequentie ligt oefent de eigen frequentie van het schip een grote invloed op het slingeren van het schip uit. (Vantorre, M. 2007)

Deze vaststelling zal nodig zijn om te kunnen bepalen of de GM waarde uit de slingerfrequentie van het schip berekend kan worden.



## 2.8 Fast Fourier-Analyse

Elke slingergrafiek, opgesteld door middel van gegevens uit de SNMS bestanden, kan ontbonden worden in de som van sinusoïden met verschillende amplitude, frequentie en fase. Dit wordt het superpositieprincipe genoemd. Een Fourier-analyse betreft het ontbinden van een signaal in zijn harmonische componenten (sinusoïden). De Fourier-analyse zet een grafiek in het tijdsdomein om naar een grafiek die zich in het frequentiedomein bevindt. Op basis hiervan kunnen de dominantie frequenties in een tijdssignaal gedetecteerd worden als die frequenties waarmee de grootste amplitude overeenstemt.

De frequenties met de grootste amplitude hebben het meeste invloed op het geanalyseerde signaal. Er kan gezegd worden dat deze frequentie de grootste invloed uitoefent op het schip.

## **3 Onderzoeksmethode**

### **3.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksmethode besproken. Het is een kwalitatief onderzoek. De onderzoeker probeert inzicht te krijgen in een probleem en probeert door middel van associatie het probleem te begrijpen en op te lossen.

Er wordt in het kort besproken welke stappen er moeten uitgevoerd worden en welke gegevens we nodig hebben om het onderzoek uit te voeren. De methode zal leiden tot gegevens die een antwoord zullen bieden op de onderzoeksvragen.

### **3.2 Methode**

Als eerst zullen de vaarbestanden, met oa de slingerhoeken, snelheid van het schip, gps-coördinaten schip, koers van het schip, omgezet worden naar een MS-Excel bestand. Vervolgens zal er geselecteerd worden op gebied en op positioning mode.

Na filtering zal het bestand per deeltraject (Scheur, Bocht Scheur, Zand) opgeslagen worden. Vervolgens worden de meetresultaten in tijdseries opgesplitst.

Na deze stap kan er antwoord gegeven worden op de deelvraag: “Hoe betrouwbaar is de geselecteerde data.”

Uit de tijdserie kan een maximale en minimale slingerhoek gehaald worden. Deze zal uitgezet worden ten opzichte van de afmetingen van het schip

De langste tijdserie zal vervolgens via de Fast Fourier Analyse geanalyseerd worden. Uit de Fast Fourier analyse zal uiteindelijk de dominante slingerfrequentie gehaald worden. Deelvraag: “Wat is de natuurlijke slingerfrequentie per schip” wordt beantwoord.

Met bovenstaande gegevens kan antwoord worden gegeven op de deelvraag: “Bestaat er een verband tussen de natuurlijke frequentie, de maximale slingerhoek en de afmetingen van het schip?” en “Wat is de invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip?”

De GM waarde is de enige onbekende slingerfrequentieparameter in dit onderzoek. In dit onderzoek zal het rechtstreekse verband tussen de GM en andere belangrijke scheepsparameters (Breedte, Diepgang, slingerfrequenties) bestudeert worden.

Om de GM-waarden te berekenen moet het schip slingeren volgens zijn eigen frequentie. Door de slingerfrequentie te vergelijken met de ontmoetingsfrequentie kan bestudeert worden of al dan niet de golven of de eigen frequentie de grootste invloed heeft op het slingeren van het schip en kan eventueel de GM-waarden berekent worden.

De ware GM-waarden van de, in deze studie gebruikt schepen, zijn niet geweten. Daarom zal, vanuit de Fast Fourier Analyse verkregen frequenties, de GM waarden berekent worden. Deze zullen grafisch tov andere parameters, uitgezet worden.

De bekomen en berekende gegevens zullen in grafieken worden uitgezet en besproken. Deze grafieken zullen volgende relaties weergeven:

- $\Delta T$  ifv slingerhoek
- $\Delta T$  ifv afmetingen schip (T,B,L)
- $\Delta T/T$  ifv B/T
- $\Delta \theta_{max,min}$  ifv slingerfrequentie
- Slingerfrequentie ifv afmetingen schip (T,B,B/T,L)
- $\Delta \theta_{max,min}$  ifv afmetingen schip (B,L)

Als laatste word de deelvraag: “Wat is de invloed van het slingergedrag op de UKC” beantwoord.

### 3.3 Benodigde data

#### 3.3.1 Full SNMS Vaarbestanden

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van full SNMS vaarbestanden en golfgegevens. Het full SNMS vaarbestand wordt omgezet in volgende formats teneinde de data te kunnen verwerken:

##### ➤ **QPS Bestand**

Voor het doel van het onderzoek werden 83 geloodste vaarten van en naar de haven van Zeebrugge geanalyseerd. 74 Vaarten waren met containerschepen en 9 vaarten met tankers. De vaarten werden uitgevoerd in de periode augustus 2013 tot mei 2014. De vaarten werden uitgevoerd met assistentie van het Full SNMS Qastor navigatie programma. Elke vaart is opgenomen in een QPS bestand. De bestanden kunnen met Qastor terug afgespeeld worden. De extensie QPS kan enkel door het Qastor programma gelezen worden.

9 Vaarten met tankers is onvoldoende om een uitspraak te doen over het slingergedrag van tankers. Daarom worden tankers niet meegenomen in het verder onderzoek.

In deze QPS bestanden zitten de gegevens die nodig zijn voor het onderzoek. Teneinde de gegevens uit deze bestanden te halen moet het bestand eerst omgezet worden naar een tekstbestand, hiervoor wordt gebruik gemaakt van de Qastor Data Analysing Tool.

De QPS bestanden zijn verkregen via de Dienst Afzonderlijk Beheer, DAB, Loodswezen.

##### ➤ **TXT bestand**

Het QPS bestand wordt via de Qastor Data Analysing Tool omgezet in een TXT bestand. Dit TXT bestand kan via een standaard tekstverwerkingsprogramma (Winpad,Winword) op iedere computer geopend worden.

De structuur van het TXT-bestand is echter ongeschikt voor verdere analyse.

### ➤ **MS-Excel™ bestand**

Door gebruik te maken van het wiskundeprogramma MATLAB™ kan het TXT bestand omgezet worden in een MS-Excel™ bestand. MATLAB™ wordt zo geprogrammeerd dat het de structuur in het TXT bestand kan herkennen en dus weet welke data zich waar in de reeks zich bevindt.

MATLAB™ haalt vervolgens de data uit de reeks en plaatst deze volgens een vooraf vastgelegde structuur in een MS-EXCEL™ bestand. Het MS-EXCEL™ wordt toegepast als input voor de analyse van de slingerbeweging.

### **3.3.2 Beschrijving golfgegevens**

De golfgegevens, verkregen via MVB (Meetnet Vlaamse Banken, Vlaamse hydrografie: afdeling kust), zijn directionele golfgegevens en bezitten volgende gegevens.

- Golfrichting hoogfrequente golven (graden)
- Golfrichting laagfrequente golven (graden)
- Gemiddelde golfperiode (s)
- Significante golfhoogte (cm)
- Deining (cm)
- Gemiddelde hoogte van de 10% hoogste golven (cm)

Significante golfhoogte betekend het gemiddelde van het hoogste 1/3<sup>de</sup> deel van de gemeten golven.

Deze gegevens worden gebruikt om de ontmoetingsfrequenties te berekenen.

Bovenstaande gegevens worden verkregen voor volgende locaties:

1. Westhinder
2. Kwintebank
3. ZW-Akkaert
4. Bol Van Heist



**Figuur 2: Positie meetstations**

Voor de hoogfrequente golven worden golven verondersteld met een periode tussen 2 en 5 seconden. Voor de laagfrequente golven worden golven met een periode groter dan 10 seconden verondersteld. Het spectrum ertussen wordt vermeld als middenfrequente golven. Het zijn echter de uitersten die het meeste invloed hebben op het schip.

De golfgegevens gebruikt in het onderzoek hebben betrekking op hetzelfde gebied en op de datum waarop het schip zich in dat gebied bevond.

Deze golfgegevens worden toegepast voor het berekenen van de ontmoetingsfrequentie van de golven op het schip.

$$f(e) = \frac{(\omega(1 - \frac{v}{c_w} \cos \mu))}{2\pi} \quad (2-5)$$

### 3.4 Afmetingen schepen

De scheepsinfo (lengte, breedte, diepgang, datum aankomst, datum vertrek, uur aankomst, uur vertrek) wordt verkregen via de Maatschappij van de Brugse Zeevaart (MBZ)

### 3.5 onderzoeksgebied

Het vaartraject wordt opgedeeld in drie geografische gebieden:

- Scheur (diepwater vaargeul)
- Bocht Scheur (het veranderen van de koers in de diepwatervaargeul scheur naar de koers van de lichtenlijn)
- Zand (koers ongeveer gelijk aan de lichtenlijn om zo de haven binnen te varen)

De deelgebieden worden begrensd door de coördinaten weergegeven in Tabel 2. De coördinaten worden zoveel mogelijk in de buurt van boeien gekozen omdat deze als referentiepunten kunnen dienen. In Figuur 3 worden de deelgebieden weergegeven op een zeekaart.

**Tabel 2: Coördinaten deelgebieden (WGS 84)**

|     | Scheur  |        | Bocht Scheur |        | Zand    |        |
|-----|---------|--------|--------------|--------|---------|--------|
| MIN |         |        | 51.391°      | 3.129° | 51.363° | 3.129° |
| MAX | 51.408° | 3.129° | 51.408°      | 3.175° | 51.391° | 3.198° |



Figuur 3: Geografische deelgebieden met meetstations Bol van Heist (BVH) en ZW-Akkaert

Daar de schepen een grote diepgang hebben zijn de routes van en naar de haven van Zeebrugge beperkt. De schepen kunnen dus enkel via de diepwaterroutes de haven bereiken. De geografische deelgebieden liggen dan ook op een diepwaterroute.

## 4 Uitvoering

### 4.1 Inleiding

De door middel van Matlab<sup>TM</sup> gecreëerde databestanden (formaat: xls conform MS Excel<sup>TM</sup>) worden gebruikt als inputbestanden voor de verdere analyse.

Om goede resultaten te boeken dient een goede onderzoeksmethode toegepast te worden. In dit hoofdstuk wordt de uitvoering en de resultaten besproken. Beginnend van de ruwe data tot het eindresultaat zullen de stappen nauwgezet uitgelegd worden.

### 4.2 VBA-Macro's

De analyse gebeurt door gebruik te maken van het wiskundeprogramma MS Excel<sup>TM</sup>. Er worden VBA-macro's geschreven die de opeenvolgende dataverwerkingen automatisch uitvoeren.

Een VBA-macro is een stukje programma waarmee de gebruiker via programmeertaal (in dit geval Visual Basic) het programma MS Excel<sup>TM</sup> instructies geeft van wat hij moet doen en hoe hij het moet doen. Door gebruik te maken van macro's kunnen handelingen geautomatiseerd worden .

Het schrijven van VBA-macro's en het gebruik van MS-Excel<sup>TM</sup> wordt door zelfstudie eigen gemaakt. Hiervoor wordt een boek van Buijnes, G.,(2008) en van de Groot, W., (2013) gebruikt

De macro's worden gedefinieerd in een aansturend MS Excel<sup>TM</sup> bestand (verder batchbestand genoemd). Vanuit het batchbestand worden de achtereenvolgende verwerkingen van de verschillende vaarten aangestuurd en worden de belangrijkste resultaten van de verwerking samengevat. Het batchbestand bestaat uit drie tabbladen namelijk "Dataverwerking", "Fourieranalyse" en "Uitgebreide samenvatting FFT":

- in het tabblad "Dataverwerking" worden alle bestanden opgegeven (bestandsnaam, plaats op de harde schijf) waar de macro's "Dataverwerking" dienen op toegepast te worden. Dit zijn de ruwe databestanden gecreëerd met Matlab<sup>TM</sup>. Op deze data worden er macro's uitgevoerd die de data automatisch zullen selecteren en voorbereiden op de volgende stap, de Fourier-analyse;

Op dit tabblad worden macro's uitgevoerd die de volgende handelingen automatisch uitvoeren:

1. Inputbestand openen
2. Het kopiëren van de data van het inputbestand naar het templatebestand (het bestand waarmee zal verder gewerkt worden)
3. Selectie op basis van de satellietontvangst (RTK) zie § 2.4.2
4. Selectie van het traject op basis van de coördinaten zie § 3.5

5. Samenvoegen van de scheepsgegevens uit verschillende andere MS-Excel™ bestanden.
  6. Uitvoeren van een correctie op de koers tgv de positie van de POD's zie § □
  7. Invoegen van blanco lijnen daar waar het verschil in tijdstap te groot wordt zie § □
  8. Aanmaken van de map waar het outputbestand moet komen
  9. opsplitsing naar deelgebieden op basis van de coördinaten zie § 3.5
- in het tabblad “Fourieranalyse” worden de data bestanden opgegeven waarop de Fourier-analyse moet worden toegepast. Als input voor de Fourier-analyse gelden de bestanden die bekomen worden als resultaat van de dataverwerking uit het eerdere tabblad;
  - in het tabblad “Uitgebreide samenvatting FFT” wordt een samenvatting gemaakt met de resultaten van de Fourier-analyse alsook met de data verzameld uit andere bestanden.

#### **4.2.1 Verwerking meetgegevens tot tijdreeksen**

De meetgegevens bekomen uit de meetvaarten worden in het navigatieprogramma opgeslagen. Voor meer informatie omtrent Full SNMS zie § 2.4.

De gegevens worden dan via een bijpassend programma omgezet naar een TXT file en via Matlab omgezet in een MS- Excel™ bestand. Dit MS-Excel™ bestand bevat nu alle data geregistreerd door de POD's.

In het totaal zijn er 83 vaarten bruikbaar geregistreerd. Van de 83 vaarten zijn er 74 vaarten met containerschepen en 9 met tankers. Daar de groep tankers te klein is zal enkel gewerkt worden met de 74 container bestanden. Uit deze 74 vaarten worden inputgegevens geanalyseerd.

##### **➤ *Filtering nauwkeurigheid***

Het bekomen van goede resultaten begint met het toepassen van betrouwbare data. Daarbij moet rekening gehouden worden met de nauwkeurigheid van de data. Daarom worden de data geselecteerd op de meest nauwkeurigste plaatsbepalingsmethode namelijk de Real Time Kinematic methode of afgekort RTK. Door toepassing van deze positioneringsmethode wordt een nauwkeurigheid voor de hoogte tot 3cm bekomen. De horizontale positie heeft een nauwkeurigheid van 2cm. Voor de analyse van de slingerbeweging van het schip is het vereist dat het signaal van beide GPS-antennes RTK-gecorrigeerd is.

De hoge nauwkeurigheid wordt bekomen doordat de RTK methode gebruik maakt van RTK-correcties uitgezonden door referentiestations. Deze correcties worden door een GPRS-modem (General packet Radio service), een manier om mobiele data te versturen, die zich in de laptop van het Full SNMS systeem bevindt, ontvangen. De GPRS-modem werkt met GSM signalen. Er moet een voldoende sterk GSM signaal van de wal ontvangen worden om de GPS-antennes te voeden met RTK-correcties. Wordt dit signaal verstoord, dan schakelt het FULL SNMS systeem automatisch over naar een andere, minder nauwkeurige, positiebepalingsmethode. Dit gebeurt vooral als het schip te ver (>10 mijl) uit de kust vaart.



De positiebepalingmethode wordt geregistreerd en is in de uitdraai van de data te zien. Enkel gegevens die met de RTK methode bekomen zijn zullen gebruikt en verwerkt worden.

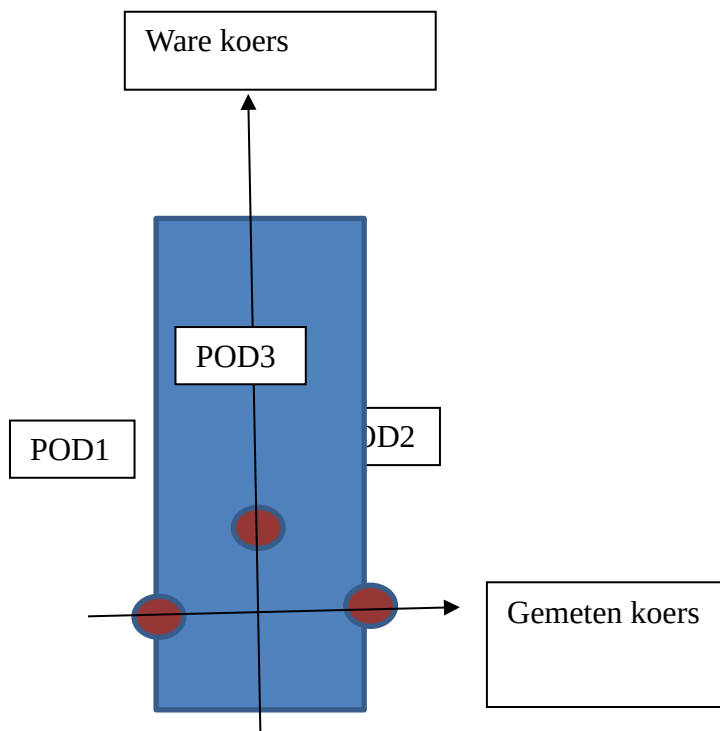
Door voor beide antennes enkel RTK-registraties te gebruiken daalt het aantal meetpunten sterk maar daar we enkel de meest nauwkeurige plaatsbepalingmethode gebruiken komt deze “RTK selectie” de nauwkeurigheid van de data ten goede.

#### ➤ *Selectie op geografisch gebied*

Na filtering op nauwkeurigheid wordt er geselecteerd op geografisch gebied. Zo wordt de haven geweerd uit de selectie en worden er deelgebieden gedefinieerd waarvoor de koers van het schip constant is. Door de koers constant te houden kan later de invloed van de golven beter bestudeert worden. Door deze selectie krimpt het aantal beschikbare meetpunten. Als de data in een sjabloon geplakt zijn, wordt een selectie gemaakt op basis van de gebruikte positiemethode. Vanuit het sjabloon worden de data voor de deelgebieden geselecteerd en in individuele bestanden opgeslagen. Per deelvaart wordt een slingergrafiek (zie Grafiek 2: Slingergrafiek CMA CGM Andromeda 20131119) alsook een vaartraject gemaakt.

#### ➤ *Corrigeren van de koers t.g.v. posities POD's*

Daar de POD's in breedte richting op het schip gemonteerd worden, zullen de metingen dwars op de lengterichting van het schip gebeuren. Hierdoor zullen de gemeten koersen 90° verkeerd gemeten worden. In het navigatieprogramma worden de koersen correct weergegeven maar in de uitdraai van de data is dit niet het geval. De correctie wordt gedaan door het navigatieprogramma maar niet door de POD's Zelf. Er moet dus eerst een correctie van 90° gebeuren op de koers.



**Figuur 4: Correcties POD naar Ware koers**

#### ➤ **Meetreeksen opsplitsen in tijdreeksen**

Na controle van de slingergrafiek van het schip is duidelijk dat er gedurende langere periodes geen registraties zijn. Er ontstaan gaten in de grafiek. Hierdoor ontbreken piekwaarden. MS-Excel™ zal automatisch de uitersten met elkaar verbinden, waardoor geen realistische slingerprofiel bekomen wordt. Om te voorkomen dat MS-Excel™ deze punten zomaar zou verbinden worden de meetgegevens opgesplitst in continue tijdseries. Deze worden gedefinieerd op basis van een maximale tijdsuitval van data waarvoor geacht wordt dat deze de vorm van het signaal niet noemenswaardig verstoren. Gebaseerd op de maximale uitval worden de meetreeksen dus opgesplitst in tijdreeksen.

**Tabel 3: Waarden Maximale uitval per gebied**

| Gebied       | Maximale uitval |
|--------------|-----------------|
| Scheur       | 10s             |
| Bocht scheur | 10s             |
| Zand         | 5s              |

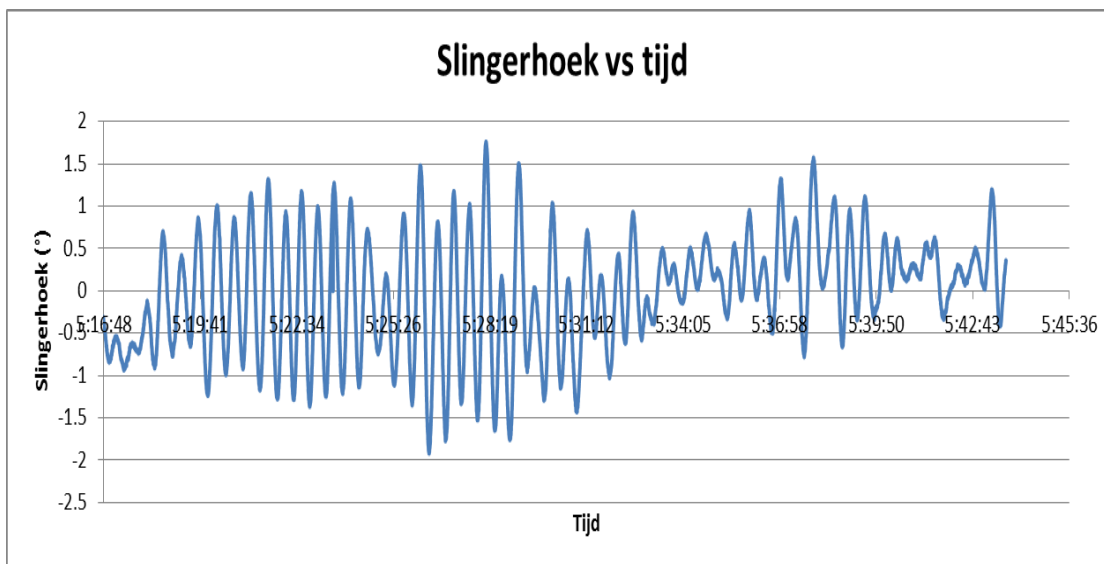
Na selectie, blijkt dat 61.16% van de data niet bruikbaar is voor dit onderzoek.

Bij het bespreken van de resultaten worden de resultaten van de langste tijdseries gebruikt.

#### **4.2.2 Frequentieanalyse (Fast Fourier Analyse)**

##### ➤ **Input data voor de Fast Fourier Analyse**

Als de slingerhoeken worden uitgezet tegen de tijd wordt een periodiek signaal bekomen (zie Grafiek 2: Slingergrafiek CMA CGM Andromeda 20131119).



**Grafiek 2: Slingergrafiek CMA CGM Andromeda 20131119**

Op de X-as staat de tijd, op de Y-as staat de slingerhoek t.o.v. de verticaal. Uit bovenstaande grafiek is mooi te zien hoe een schip reageert op de golven of op andere verstoringen (windvlagen, gieren...). Er zal van uitgegaan worden dat golven voor de grootste verstoringen zorgen.

Eerst krijgt het schip een duw, een verstoring van zijn evenwicht, het begint te schommelen, in de eerste fase wordt het schommelen erger, vervolgens treedt de dempingsfactor van het schip in werking en wordt de oscillerende beweging van het schip gedoofd en neigt het schip terug naar evenwicht en stabiliteit. In de grafiek is dit te zien als, in eerste instantie een toename in de slingerhoek. Na verloop van tijd verminderd deze slingerhoek. Vervolgens wordt het schip, door een nieuwe golf, weer uit zijn evenwicht gebracht. Dit gaat zo door.

➤ **Gegevens nodig voor het uitvoeren van de Fast Fourier analyse mbv MS-Excel™**

Om de Fourier-analyse uit te voeren zijn volgende gegevens nodig:

D= totaal aantal gegevens

t=tijdsduur, de duur van een reeks

$f_s = \frac{D}{t}$  = staalname frequentie (samplefrequency)

s<sub>a</sub>=aantal gebruikte metingen

De S<sub>a</sub> wordt ingevoerd omdat de Fourier-analyse enkel toepasbaar is op een hoeveelheid metingen die als grondtal 2 hebben m.a.w. 2<sup>n</sup>= aantal nodige metingen om de Fourier-analyse uit te voeren met MS- Excel™.

Hoe groter s<sub>a</sub> hoe nauwkeuriger de uitkomst van de berekeningen zijn. Daarnaast moet het aantal metingen voldoen aan “2<sup>n</sup>= aantal gebruikte metingen”.

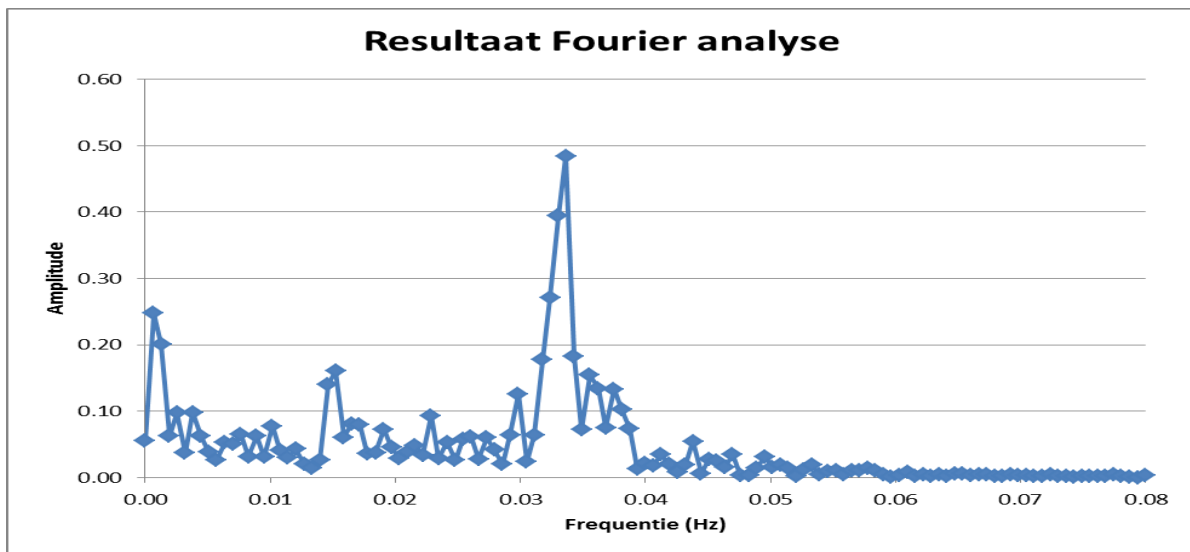
Dit houdt in dat er een keuze dient te worden gemaakt, enerzijds om aan een reeks, minder nauwkeurige data toe te voegen of anderzijds uit een bestaande reeks een selectie te nemen.

De samplefrequentie is het aantal metingen per seconde. Het FULL SNMS systeem meet iedere 0.2s en heeft bijgevolg samplefrequentie 5Hz. Dit levert iedere 0.2s een meetwaarde op. Echter levert deze samplefrequentie niet altijd voldoende data op om de Fourier-analyse uit te voeren want de Fourier-analyse methode in MS-Excel vraagt altijd 2<sup>n</sup> aantal meetgegevens. Er wordt daarom gekozen om meetwaarden te laten vallen of extra meetwaarden te berekenen. De berekende extra meetwaarden worden dummy data genoemd

Men wil echter zoveel mogelijk effectief gemeten data gebruiken en zo min mogelijk dummy (berekende/geschate) data toevoegen. Daarom wordt bij het toepassen van de Fourier-analyse, door het interpoleren van data een nieuwe samplefrequency (f<sub>s</sub>) berekend. Deze samplefrequency wordt als stap voor het interpoleren van data gebruikt en is een balans tussen het gebruik van gemeten data en het tussenvoegen van dummy data.

De Fourier-analyse wordt uitgevoerd door middel van het analysepakket, Data Analysing tools. Het resultaat van deze verwerking vormt een reeks complexe getallen die door eenvoudige berekeningen omgezet kunnen worden in enerzijds een frequentie en anderzijds de bijpassende

amplitude (zie Grafiek 3: Fourier analyse CMA CGM Andromeda 20131119). Deze laatste vertegenwoordigt de mate van invloed van de frequentie in de gehele trilling.



**Grafiek 3: Fourier analyse CMA CGM Andromeda 20131119**

Grafiek 3 toont een voorbeeld van een resultaat van de Fourier Analyse. Op de X-as de frequentie van een individuele signaal en op de Y-as de bijhorende amplitude, mate van invloed van deze frequentie op het signaal. De grote amplitudes (zonder eenheid) bevinden zich in het begin van de grafiek. Vanaf een zeker punt vermindert de amplitude. Hogere frequenties zijn niet zo sterk aanwezig en hebben dus weinig tot geen invloed op het slingergedrag van het schip. Deze grafiek toont dus welke frequenties en amplitudes er het meest van invloed zijn op de slingerfrequentie van het schip.

De grafiek start op 0.06. Dit komt omdat de Fourier-analyse eerst de gemiddelde waarde berekent. Deze is in dit geval 0.06 en kan gezien worden als de offset waarde. De waarde gegeven bij 0Hz is in de Fourier-analyse altijd de offset waarde. De slingeringen gebeuren rond deze offsetwaarde en niet rond de slingerhoek 0°.

De hoogste amplitude (0.48) stemt overeen met frequentie 0.035Hz. Het schip heeft dus met deze frequentie geslingerd. Verder wordt deze frequentie de dominante slingerfrequentie genoemd. Frequenties hoger dan 0.05Hz hebben geen invloed op het slingergedrag van dit schip in deze omstandigheden.

Er dient echter rekening gehouden te worden met de beperking van Excel met betrekking tot het noodzakelijke aantal meetresultaten. In de Fourier-analyse van MS-Excel™ is de maximale limiet gezet op 4096 meetresultaten. Voor het uitvoeren van de Fourier-analyse wordt tevens gebruik gemaakt van macro's. De volgende handelingen worden door macro's uitgevoerd:

1. Selectie op basis van de lengte van de tijdseries.
2. Invoegen van blanco lijn wanneer de tijdstap te groot wordt
3. Omzetten van de koers (°) naar koers (rad)

4. Berekenen van de gemiddelde koers
5. Berekenen van de tijdsduur per tijdserie
6. Bepalen van de tijdserie nodig voor de Fourier-analyse
7. Interpolatie van de tijdseries naar bijpassende slingerhoeken
8. Uitvoeren van de Fourier-analyse
9. Uit het complex getal de natFreq en natAmplitude berekenen
10. Wegschrijven van de resultaten naar de samenvatting
11. Nieuwe map en outputbestand aanmaken

Eerst wordt een selectie uitgevoerd op basis van de lengte van de tijdsreeksen. De tijdreeksen moeten langer zijn dan 75 cellen wat uitkomt op een tijdsduur van 15sec ( $75 \cdot 0.2s = 15s$ ). Enkel de tijdreeksen die meer dan 15s registratietijd bevatten zullen gekopieerd worden in het Fourier-sjabloon en zullen door MS-Excel™ geanalyseerd worden.

Na de Fourier-analyse wordt gekeken hoe vaak de golf geanalyseerd wordt. Er wordt vastgesteld dat indien de lengte van het inputsignaal minimaal 5x de dominante slingerperiode bedraagt de Fast Fourier Transformatie gunstig uitgevoerd kan worden. Er wordt een criterium opgesteld dat enkel de meetpunten waarbij de cycli minstens 5x doorlopen worden, gebruikt worden in het verdere proces.

### 4.3 Ontmoetingsfrequentie ( $f_e$ )

Met behulp van volgende formule kunnen de ontmoetingsfrequenties van de golven op het schip berekend worden (Vantorre, M. 2007):

$$f(e) = \frac{(\omega(1 - \frac{v}{c_w} \cos \mu))}{2\pi} \quad (2-7)$$

waarbij:

$F_e$ =ontmoetingsfrequentie (Hz)

$\omega$ =golfperiode golven (rad/s)

$v$ =snelheid van het schip (m/s)

$C_w = \frac{g}{\omega}$ =voortplantingssnelheid van de golf (m/s) (4-1)

$\mu$ =invalshoek van de golven op het schip (rad)

$g$ =valversnelling op aarde (9.81 m/s<sup>2</sup>)

De golfparameters worden in het bestand toegevoegd en vervolgens worden de voortplantingssnelheid ( $C_w$ ) en de invalshoek ( $\mu$ ) berekend.

Er wordt onderzocht of er een verband bestaat tussen de ontmoetingsfrequentie en de dominantie slingerfrequentie. De mate waarin de dominante slingerfrequentie dicht bij of verder van deze ontmoetingsfrequentie ligt vertelt iets over het feit dat deze slingerfrequentie de eigen frequentie van het schip, dan wel een afgeleide van de invloed van de golven op het schip is.

Indien bewezen kan worden dat de dominante slingerfrequentie de eigen frequentie (of natuurlijke frequentie) van het schip is, dan kan deze toegepast worden om de GM te berekenen.

## 4.4 Berekening aanvangsstabiliteit (GM)

### 4.4.1 basisformule

Indien, in vorig hoofdstuk, bewezen is dat de dominante slingerfrequentie en de ontmoetingsfrequentie niet in elkaars buurt liggen kan geconcludeerd worden dat de dominante slingerfrequentie voor het belangrijkste deel bepaald wordt door de eigenfrequentie van het schip.

Uit de bekomen slingerfrequentie kan dan de aanvangsstabiliteit bepaald worden. De belangrijkste parameter is hierbij de GM waarde. Deze wordt berekend met volgende formule:

$$GM = \frac{((f(R) * 2\pi i)^2}{g} \quad (4-2)$$

Waarbij:

GM= afstand tussen het gewichtszwaartepunt en het metacenterpunt (m)

g= valsnelheid op aarde 9.81m/s<sup>2</sup>

i= giratiestraal van het schip

### 4.4.2 Bepalen van de i- waarde

Om bovenstaande formule te kunnen gebruiken moet de giratiestraal berekend worden.

De giratiestraal wordt berekend door volgende formule:

$$i = \sqrt{\frac{I_{xx}}{\Delta}} \quad (2-2)$$

Waarbij:

I<sub>xx</sub>=massa traagheidsmoment rond de X-as

Δ=deplacement (m<sup>3</sup>)

Het massatraagheidsmoment en het deplacement voor de schepen uit dit onderzoek zijn niet gekend. Er dient dus een andere berekeningsmethode gebruikt te worden.

Uit de literatuurstudie (Krüger, S.& Kluwe, F. 2008) blijkt dat de i-waarde bij benadering kan bepaald worden door de formule i=0.45B waarbij B de breedte van het schip voorstelt.

Met behulp van gegevens uit de simulator wordt de relatie tussen i, B en T bestudeerd en wordt nagegaan of de formule i=0.45B toepasbaar is op dit.

Voor twee schepen in twee verschillende beladingscondities wordt de giratiestraal, met behulp van de bovenstaande formule (i=0.45\*B) i berekend Het Waterbouwkundig Laboratorium bezit een databank waarin gegevens van schepen worden opgeslagen. Deze gegevens worden dan gebruikt in de vaarsimulator.

Uit deze databestand worden voor twee gelijke schepen in twee verschillende ladingscondities de  $I_{xx}$  en  $\Delta$  gehaald. De berekende  $i$  waarde wordt vervolgens vergeleken met de  $i$ -waarde uit de database van de simulator:

**Tabel 4 :Vergelijken  $i$ -waarden**

|   |      |      |       | kg.m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> |          |        |          | 4.4       |
|---|------|------|-------|-------------------|----------------|----------|--------|----------|-----------|
|   | B    | T    | B/T   | $I_{xx}$          | A              | Depl     | $i$    | $0.45*B$ | $4.4*B/T$ |
| A | 56.4 | 14.2 | 3.969 | 6.54E+10          | 801.444        | 2.23E+08 | 17.116 | 25.38    | 17.464    |
| A | 56.4 | 16.5 | 3.422 | 6.18E+10          | 929.472        | 2.68E+08 | 15.195 | 25.38    | 15.058    |
|   |      |      |       |                   |                |          |        |          |           |
| B | 48.8 | 13.1 | 3.725 | 3.44E+10          | 639.28         | 1.38E+08 | 15.783 | 21.96    | 16.391    |
| B | 48.8 | 15.2 | 3.211 | 3.67E+10          | 741.76         | 1.67E+08 | 14.821 | 21.96    | 14.126    |

Uit Tabel 4 :Vergelijken  $i$ -waarden blijkt dat  $i=0.45*B$  toch niet zo'n goeie benadering is voor  $i$ . Er wordt daarom gekeken naar een andere berekeningsmethode om  $i$  te bepalen.

Door try en error blijkt dat  $i=4.4* B/T$  een betere benadering is van de  $i$ -waarde. Deze berekeningsmethode zal daarom in dit werk gebruikt worden om de waarden van  $i$  te berekenen.

# 5 Resultaten

## 5.1 Inleiding

Uit het onderzoek komen volgende resultaten:

- Aantal gebruikte metingen
- $\Delta_{\max}$  en  $\Delta_{\min}/2$
- Dominante slingerfrequentie
- GM-waarde

Deze resultaten, die zich in tabellen bevinden (zie bijlagen III en IV), worden in dit hoofdstuk visueel uitgezet in grafieken.

Volgende resultaten zijn hier grafisch terug te vinden;

1. Verandering in diepgang tgv de slingerbeweging (zie §5.2)
2. Dominante slingerfrequentie (zie §5.3)
3. Relatie slingerbeweging tov scheepskarakteristieken (zie §5.3.2)
4. Invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip (zie §5.4)
5. GM vs afmetingen schip (zie § 5.5)

## 5.2 Invloed van de scheepsafmetingen op de diepgangsverandering

Uit de tijdreeksen wordt de minimum slingerhoek van de maximale slingerhoek afgetrokken. Dit bereik is een maat voor het slingeren van het schip op dit traject en onder deze golfparameters.

Om de slingerhoek te berekenen dient het verschil van de maximale en de minimale slingerhoek te worden gedeeld door 2.

Dit slingeren heeft een invloed op de dynamische diepgang van het schip. Als het schip een helling heeft wil dit zeggen dat de ene zijde van het schip dieper in het water zit dan de andere zijde van het schip.

Gebruikmakend van de formule voor de slingerhoek (zie §2.5) kan die inzinking berekend worden:

$$\Delta T(\theta) = \frac{B}{2} * \tan \frac{slinger_{\max} - slinger_{\min}}{2} \quad (5-1)$$

Waarbij:



$$\frac{\Delta T(\theta) = \text{vermindering in UKC ten gevolge van een slingerhoek } \theta}{\frac{\text{slingermax} - \text{slingermin}}{2}} = \text{Slingerhoek} = \theta$$

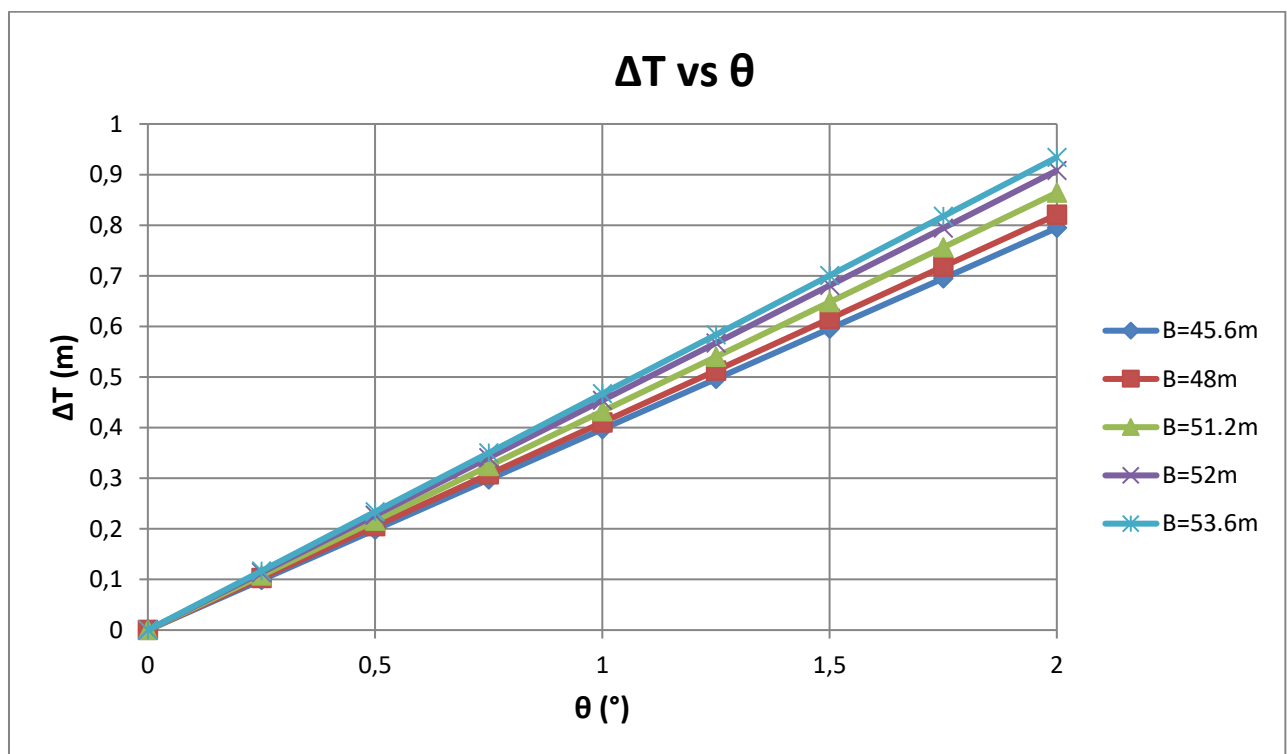
B= breedte van het schip

Deze vermindering in UKC wordt uitgezet tegen de afmetingen van het schip en de golfparameters. Zo wordt een beter inzicht bekomen in de invloed van het schip, het slingeren en op de vermindering van de UKC. Deze inzichten kunnen de stuurmannen en de havenautoriteiten ondersteunen bij hun beslissing of het binnenvaren van een haven, met een zekere slingerhoek, aanvaardbaar is.

Voor het opstellen van de grafieken in dit hoofdstuk zijn 69 meetwaarden gebruikt.

### 5.2.1 $\Delta T$ ifv de slingerhoek

Uit voorgaande formule kan een theoretische grafiek berekend worden met als resultaat de verandering in diepgang naargelang de breedte van het schip (grafiek 4). Op de X-as worden de slingerhoeken weergegeven en op de Y-as wordt de verandering in UKC aangegeven. De breedtes waarvoor de grafiek is opgesteld zijn de breedtes van de schepen die in het onderzoek zijn opgenomen. De grafiek is een grafische voorstelling van de formule (5-1).

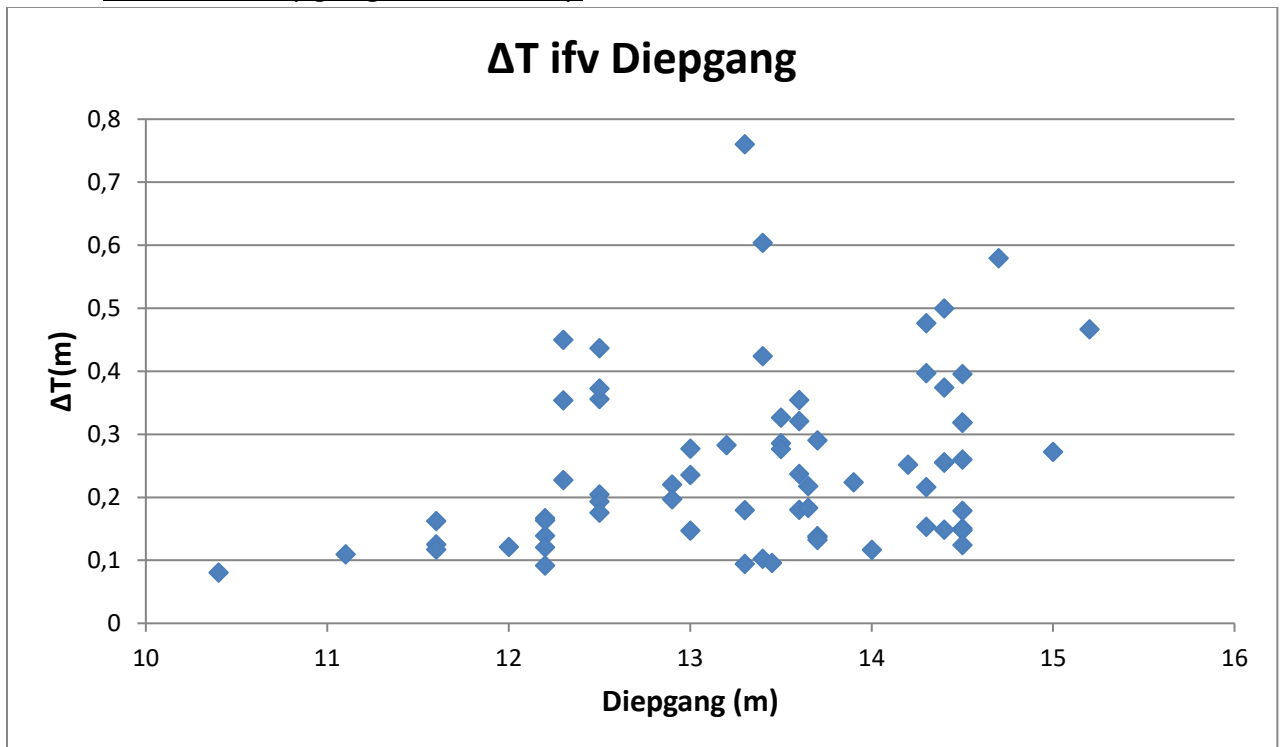


**Grafiek 4: Slingerhoek vs  $\Delta T$**

Uit Grafiek 4 is voor een gegeven slingerhoek en een gekende breedte snel een verwachte UKC reductie af te lezen. Deze grafiek kan handig zijn voor het bepalen van het risico om aan de grond te lopen.

De maximale slingerhoek in dit onderzoek bedraagt  $2^\circ$ .  $\theta$  wordt bijgevolg berekend tot en met  $2^\circ$ . Eigenlijk kan voor elke slingerhoek de  $\Delta T$  waarde berekend worden.

### 5.2.2 $\Delta T$ ifv de diepgang van het schip

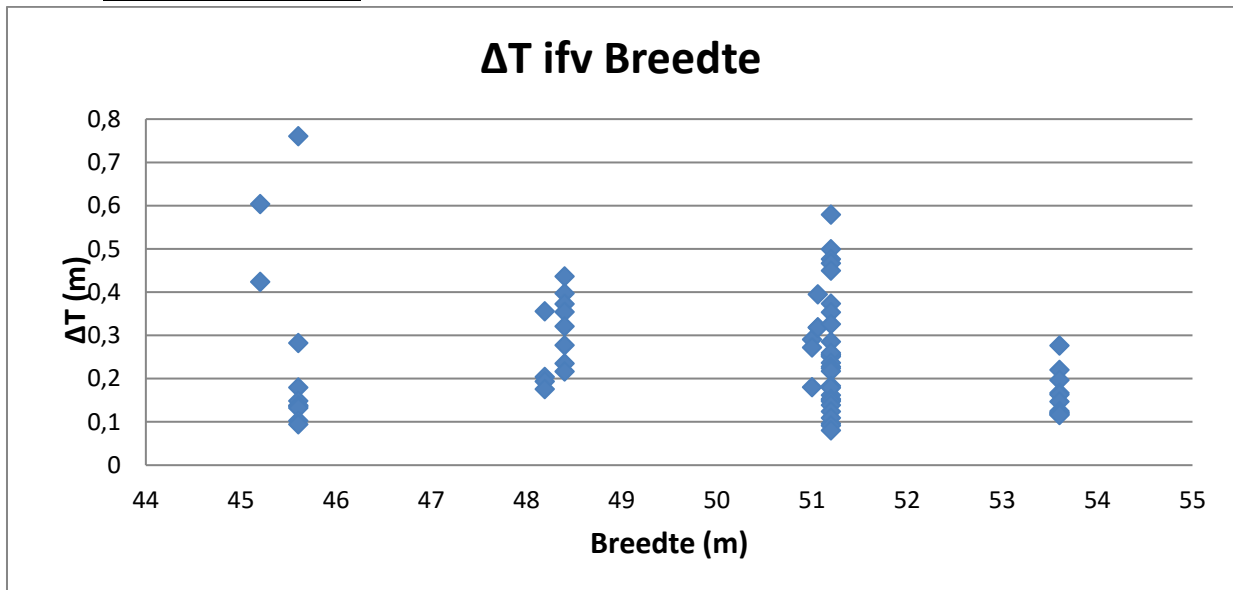


Grafiek 5:  $\Delta T$  ifv de diepgang van het schip

In grafiek 5 is het verband tussen  $\Delta T$  en de diepgang weergegeven respectievelijk op de Y-as en op de X-as. Er zijn in het totaal 69 metingen in de grafiek opgenomen.

De diepgang varieert tussen de 10m en de 16m. De vermindering van de UKC varieert tussen de 0.08m en de 0.8m.

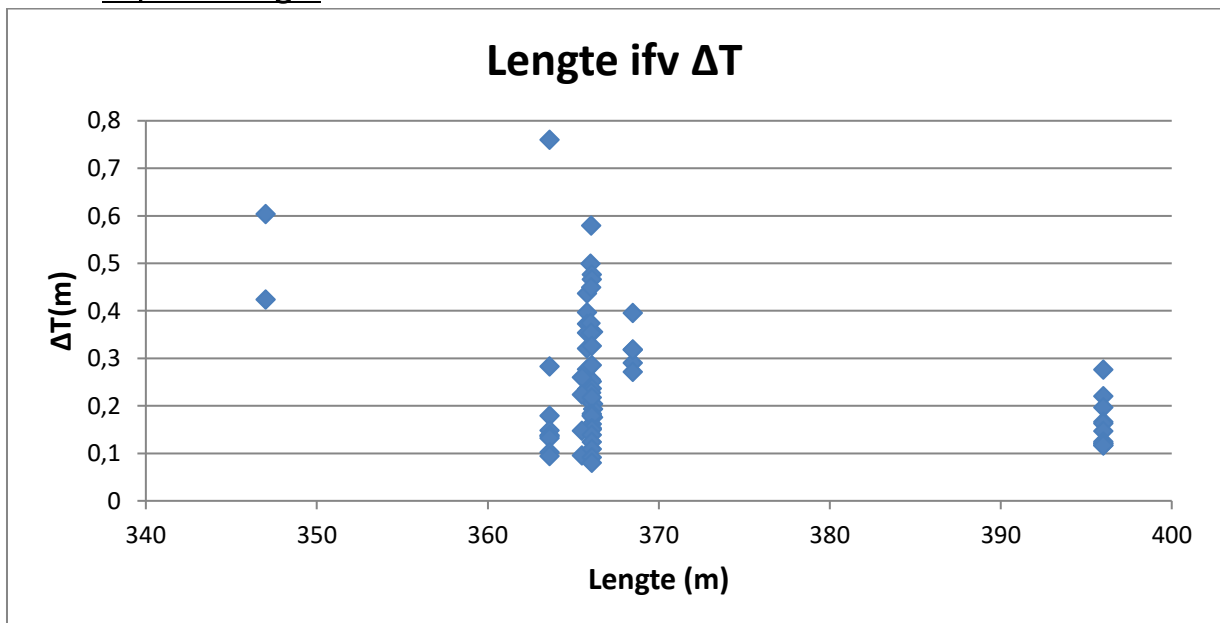
### 5.2.3 $\Delta T$ ifv. de breedte



Grafiek 6:  $\Delta T$  ifv de breedte

Grafiek 6 beschrijft het verband tussen de Breedte van het schip (X-as) en de UKC verandering (Y-as). Deze grafiek baseert zich op 69 metingen.

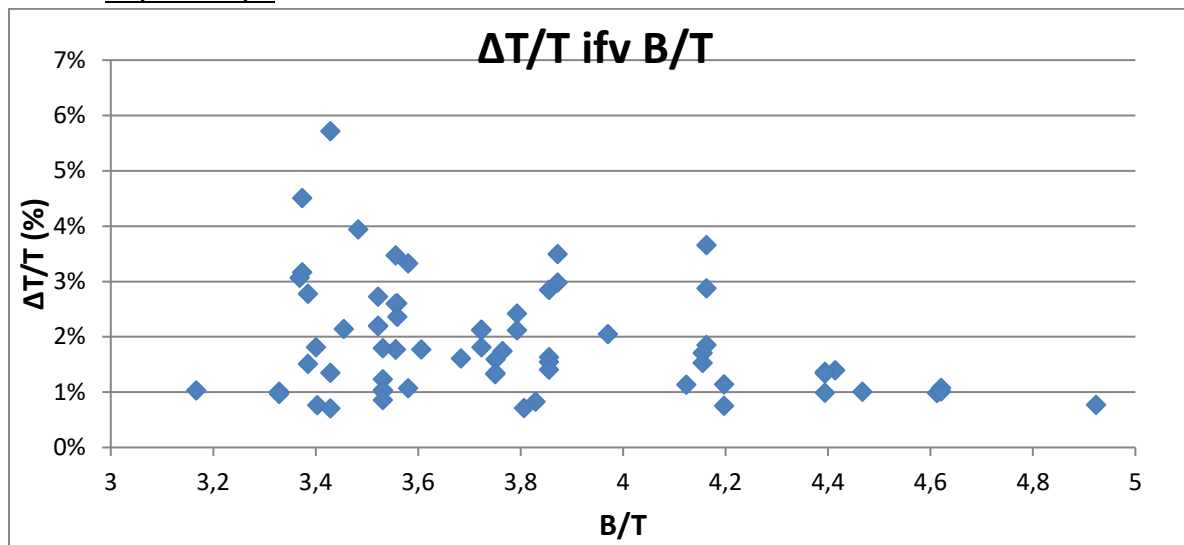
### 5.2.4 $\Delta T/T$ ifv Lengte



Grafiek 7:  $\Delta T$  ifv Lengte

Over de invloed van de lengte van het schip kan geen uitspraak gedaan worden aangezien er onvoldoende variatie in de metingen zit.

### 5.2.5 $\Delta T/T$ ifv $B/T$



Grafiek 8:  $\Delta T/T$  ifv  $B/T$

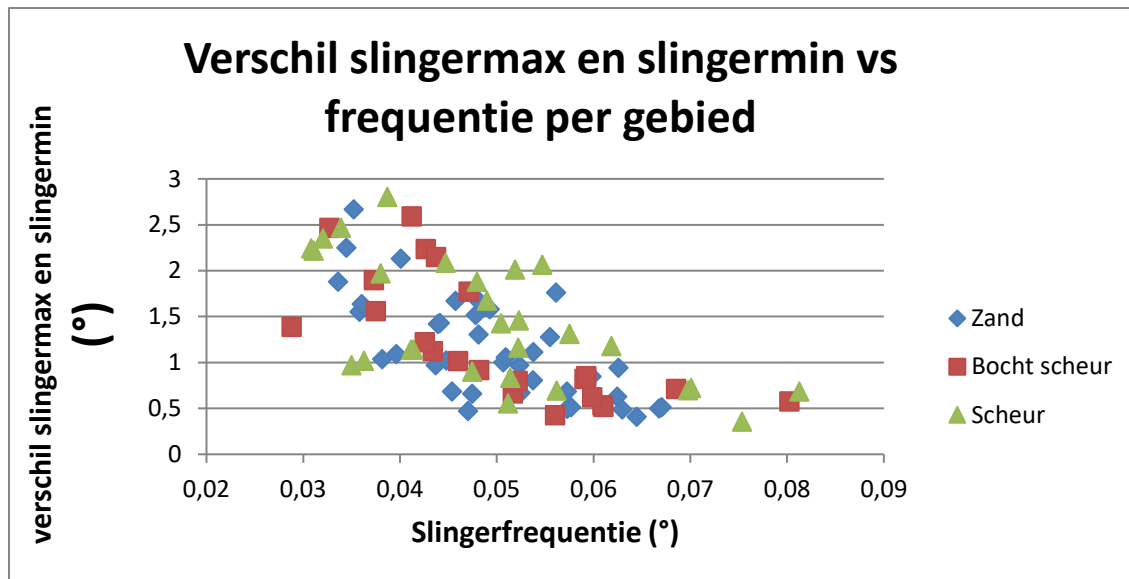
Grafiek 8 toont het verband tussen de  $B/T$  (x-as) en  $\Delta T/T$  (Y-as). Het bereik van  $B/T$  loopt van 3-5 en deze van  $\Delta T/T$  loopt van 0.8%-6%.

## 5.3 Dominante slingerfrequentie

### 5.3.1 Slingemax- slingermin ifv de dominante slingerfrequentie

De dominante slingerfrequentie die berekend wordt als piekwaarde uit de Fourier-analyse zal in grafieken worden weergegeven en worden besproken. Er wordt gekeken naar de invloeden van de afmetingen van de schepen op het slingeren, er wordt gekeken naar de invloed van de golven op het slingergedrag van de schepen.

Voor het deelgebied Pas van 't Zand werden 42 vaarten gebruikt, voor de Bocht Scheur waren dat 23 vaarten en voor het Scheur waren dit er 30. Het totaal aantal meetpunten bedraagt 95.



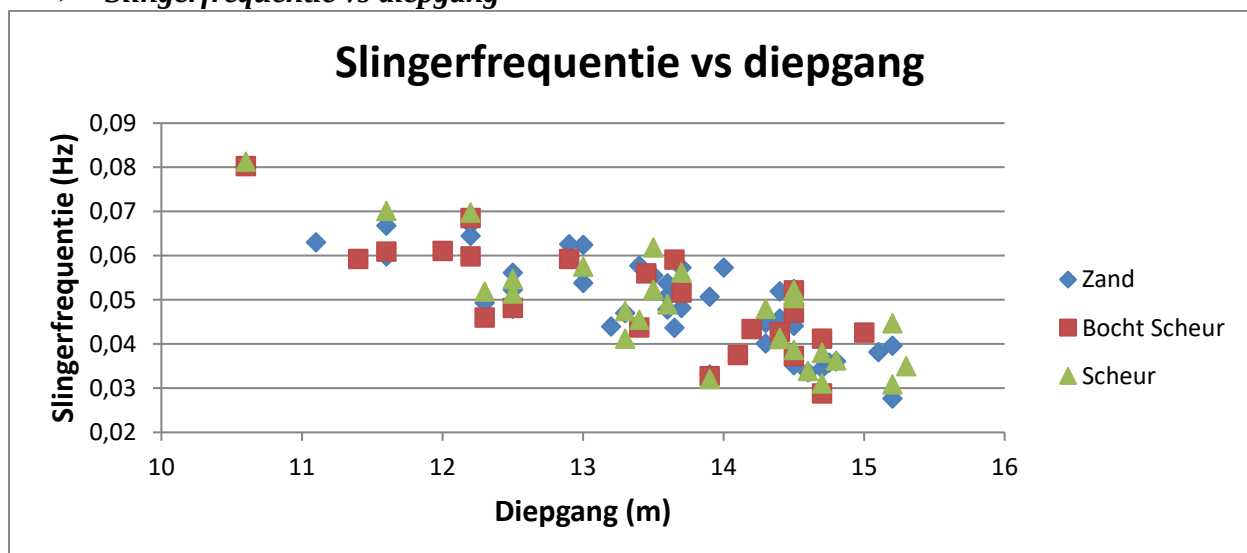
Grafiek 9: Verschil slingermax en slingermin vs slingerfrequentie

In Grafiek 9 wordt het opgemeten slingerbereik (verschil tussen maximale en minimale slingerhoek binnen de geanalyseerde tijdreeks) (Y-as) tegenover de natuurlijke slingerfrequentie(x-as) gezet. De slingerfrequentie komt voort uit de Fourier-analyse. Het verschil in maximale- en minimale waarden wordt beschouwd als een maat voor het slingeren. Het schip heeft tussen deze 2 uitersten geslingerd.

Het merendeel van de meetwaarden is gelegen tussen de 0.035Hz en de 0.065Hz met respectievelijk een slingerbereik van 0.5° tot 3°.

### 5.3.2 Invloed scheepskarakteristiek op de slingerbeweging

#### ➤ Slingerfrequentie vs diepgang

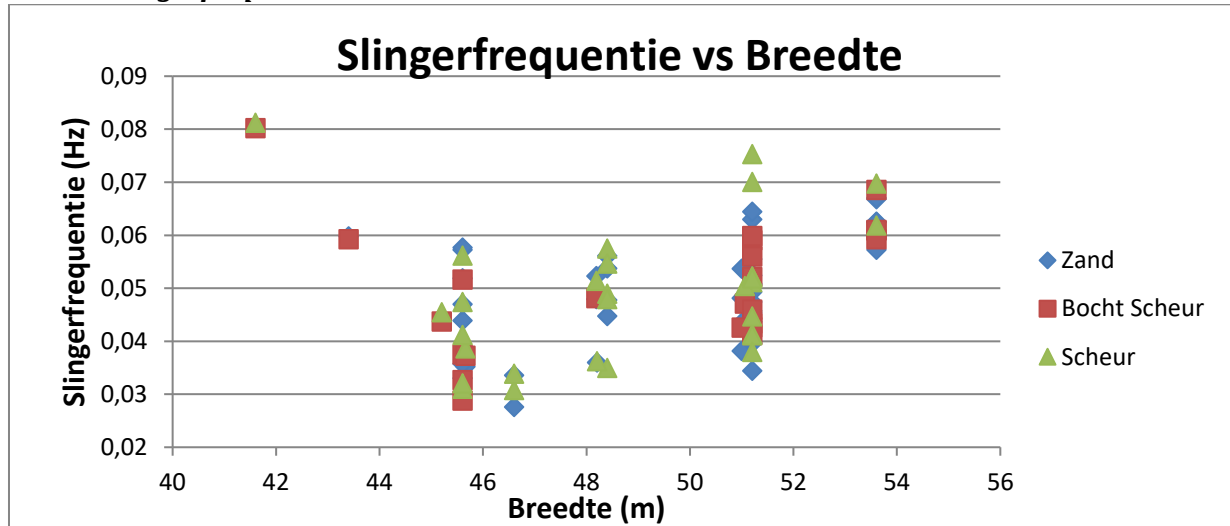


Grafiek 10: Slingerfrequentie vs diepgang

Grafiek 10 is de weergave van de slingerfrequentie uitgezet tegen de diepgang. Op de X-as staat de diepgang in meter, op de Y-as staat de slingerfrequentie in Hertz.

Voor het Zand worden 42 vaarten gebruikt, voor de Bocht Scheur zijn dat er 23 en voor het Scheur zijn dit er 30. Het totaal aantal meetpunten bedraagt dus 95.

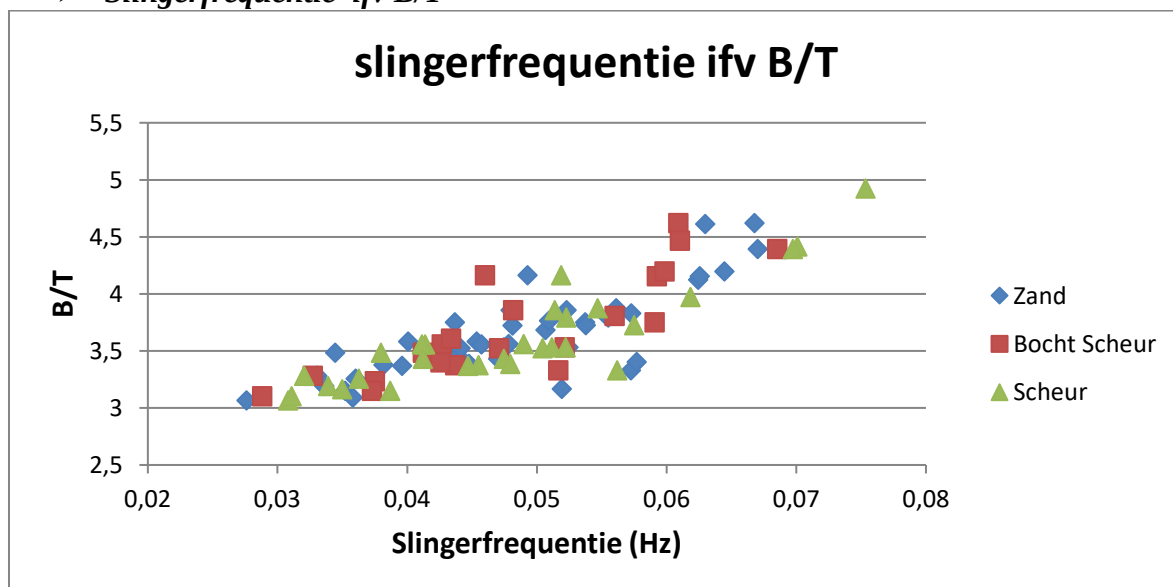
➤ **Slingerfrequentie vs breedte**



Grafiek 11: Slingerfrequentie vs breedte

Grafiek 11 geeft het verband tussen de breedte van het schip en zijn slingerfrequentie weer. Op de X-as staat de breedte in meter en op de y-as staat de slingerfrequentie in Hertz.

➤ **Slingerfrequentie ifv B/T**



Grafiek 12: Slingerfrequentie ifv B/T

Grafiek 12 geeft de verhouding tussen B/T en de slingerfrequentie weer. Op de X-as staat de slingerfrequentie op de y-as B/T.

B/T is een verhouding die de vorm van het middenschip weergeeft en is van belang voor de stabiliteit van het schip.

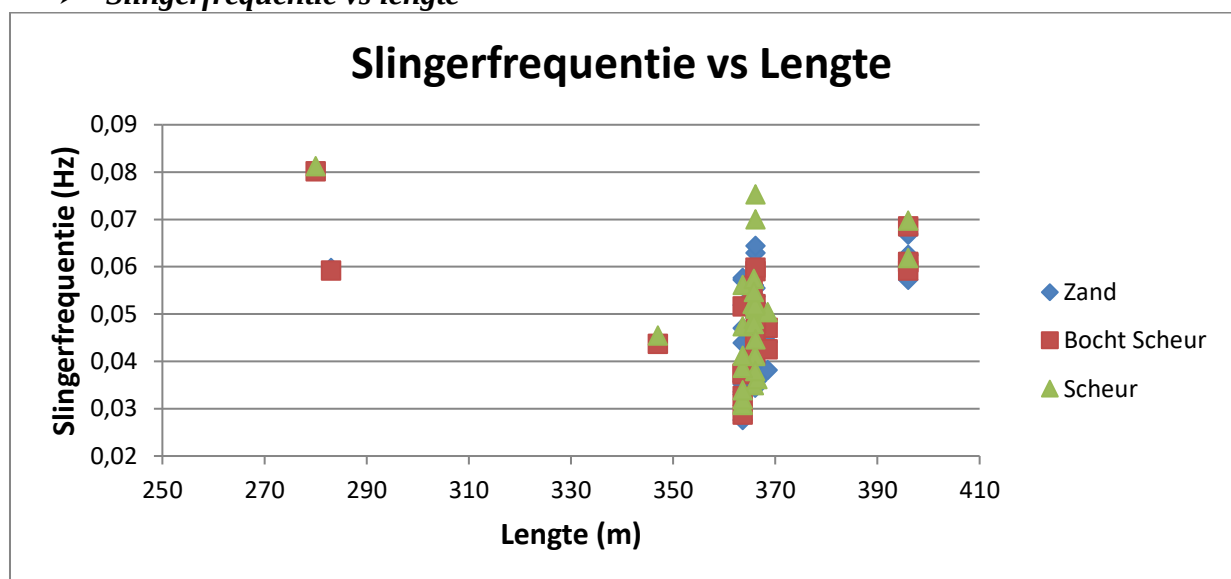
Het frequentiebereik ligt tussen 0.03Hz en 0.08Hz. De B/T verhouding ligt tussen de 3 en de 5. Zowel de waarden voor het Zand, Bocht Zand en Scheur liggen in eenzelfde bereik. Alle deelgebieden vertonen dezelfde trend.

In Grafiek 12 is een trend te zien. Wanneer de verhouding B/T groter wordt vergroot de slingerfrequentie.

De meeste grote schepen, die van of naar de haven van Zeebrugge varen, hebben een breedte van 45.6m of 51.3m. Dat levert een frequentiebereik op tussen de 0.057Hz en de 0.0697Hz. Deze frequenties zullen het meest van toepassing zijn bij het binnen- of buitenvaren van de haven van Zeebrugge.

De vorm van het middenschip (weergegeven door de verhouding B/T) is eveneens bepalend voor de slingerfrequentie van het schip.

#### ➤ *Slingerfrequentie vs lengte*



Grafiek 13: Slingerfrequentie vs lengte

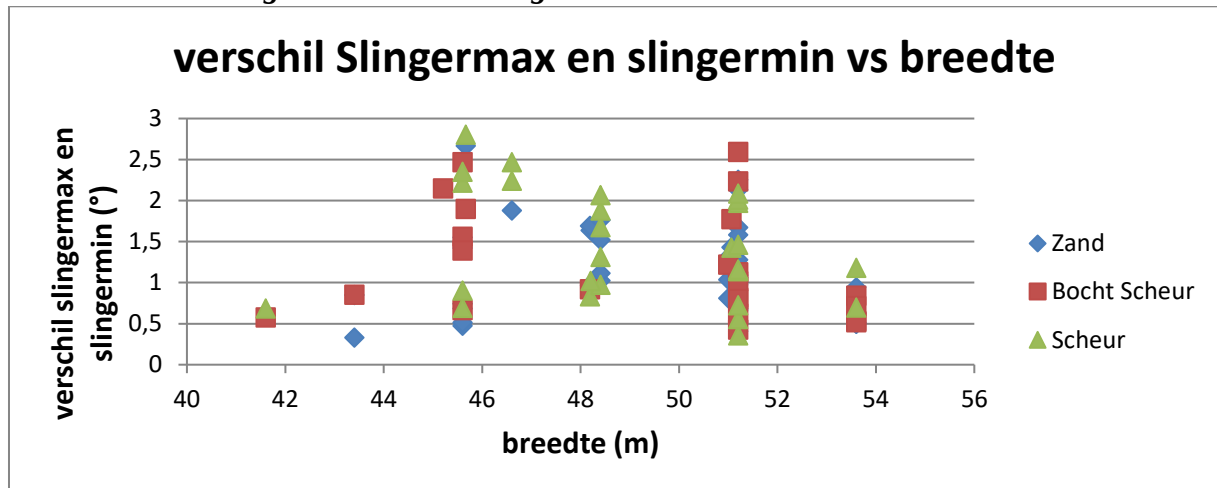
Grafiek 13 toont het verband tussen de lengte van het schip (X-as) en de slingerfrequentie (Y-as).

Zoals uit de grafiek is af te leiden zijn de meeste schepen in de studie 363.6m lang. Het frequentiebereik dat bij deze lengte past ligt tussen de 0.028Hz en de 0.0629Hz.

Door het gebrek aan variatie met betrekking tot de lengte kan, op basis van de verkregen meetwaarden, geen uitspraak gedaan worden over de invloed van de lengte van de schepen op het slingergedrag van het schip.

Wegens te weinig meetwaarden is het niet mogelijk om een uitspraak te doen.

➤ *verschil slingerhoek max en slingerhoek min vs breedte*



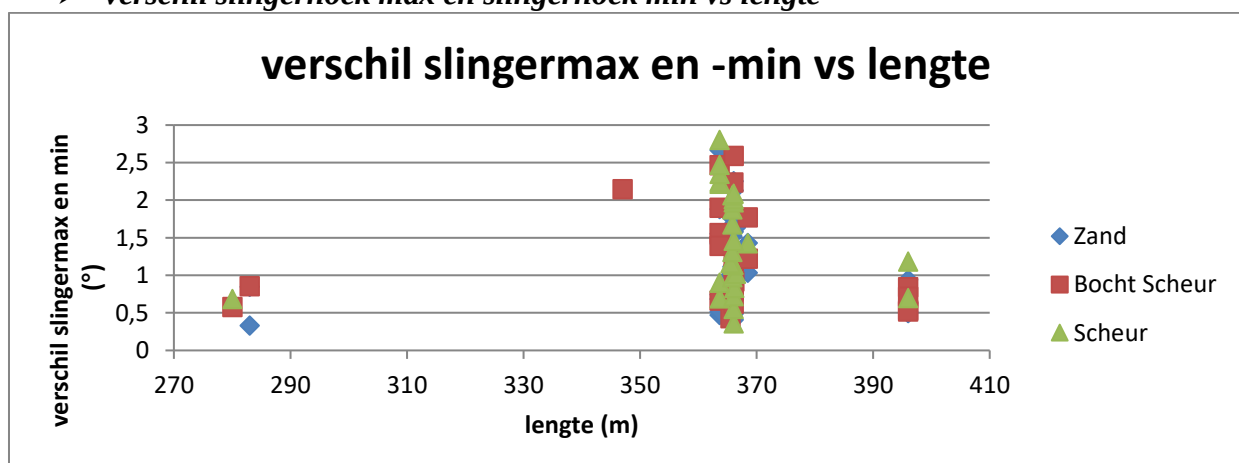
Grafiek 14: Verschil slingerhoek vs breedte

Bovenstaande grafiek beschrijft het verband tussen het verschil van de maximale slingerhoek en de minimale slingerhoek ten opzichte van de breedte. Op de X-as staat de breedte in meter, op de y-as staat het verschil in slingerhoek tussen de minimale en maximale waarde.

De grootste groep metingen bevinden zich bij 45.6m, 51.2m en 53.6m met respectievelijk een bereik van 0.47° tot 2.8°, 0.36° tot 2.23° en 0.52° tot 1.18°.

Er kan echter op basis van deze gegevens geen conclusie gemaakt worden.

➤ *verschil slingerhoek max en slingerhoek min vs lengte*



Grafiek 15: Verschil slingerhoeken vs lengte



Zoals bij Grafiek 7 het grootste deel van de metingen bij schepen met een lengte van 366m gebeurde, is dit ook het geval in Grafiek 15. Daarom kan er geen uitspraak gedaan worden omtrent de invloed van de lengte van het schip op de slingerhoeken.

## **5.4 Invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip**

### **5.4.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt de invloed van de golven op het schip bestudeerd. De verschillende eigenschappen van de golven zullen worden uitgezet tegen de slingerhoeken.

Uit de golfparameters kan uiteindelijk de ontmoetingsfrequentie berekend worden (zie hoofdstuk 4.3). Deze ontmoetingsfrequentie beschrijft de invloed van de golven op de slingerfrequentie van het schip.

Indien de slingerfrequentie ver van de ontmoetingsfrequentie verwijderd is, kan verondersteld worden dat het schip slingert met zijn eigen beweging. Naarmate de slingerfrequentie dichterbij de ontmoetingsfrequentie ligt zal het schip slingeren volgens de eigenschappen van de golven.

Men moet steeds vermijden dat het schip slingert met eenzelfde frequentie als de ontmoetingsfrequentie. Indien dit het geval is treedt resonantie op. Resonantie kan leiden tot parametrisch rollen of ongewoon grote slingerhoeken. Dit is nefast voor de stabiliteit van het schip en kan het schip in grote problemen brengen.

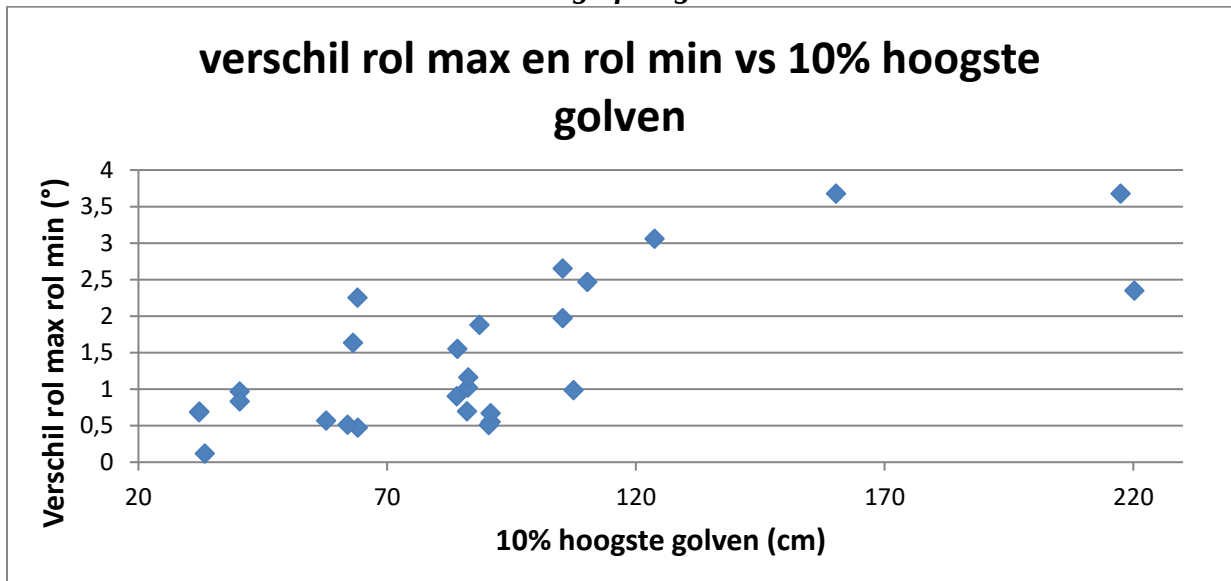
### **5.4.2 Bestuderen van de invloed van de golfparameters op de slingerhoeken**

Bij de golfanalyse uitgevoerd in dit hoofdstuk worden de meetgegevens uit de trajecten Scheur en Pas van't Zand gebruikt.

Er worden 11 schepen geselecteerd op basis van de kwaliteit van de metingen. Van elk schip zijn in de beide deelgebieden meetpunten gegeven.

In het Scheur wordt een koers tussen de 70° en de 90° gevaren en in het Zand wordt een koers tussen de 100° en de 170° gevaren. Alle vaarten gaan naar of komen van de haven van Zeebrugge.

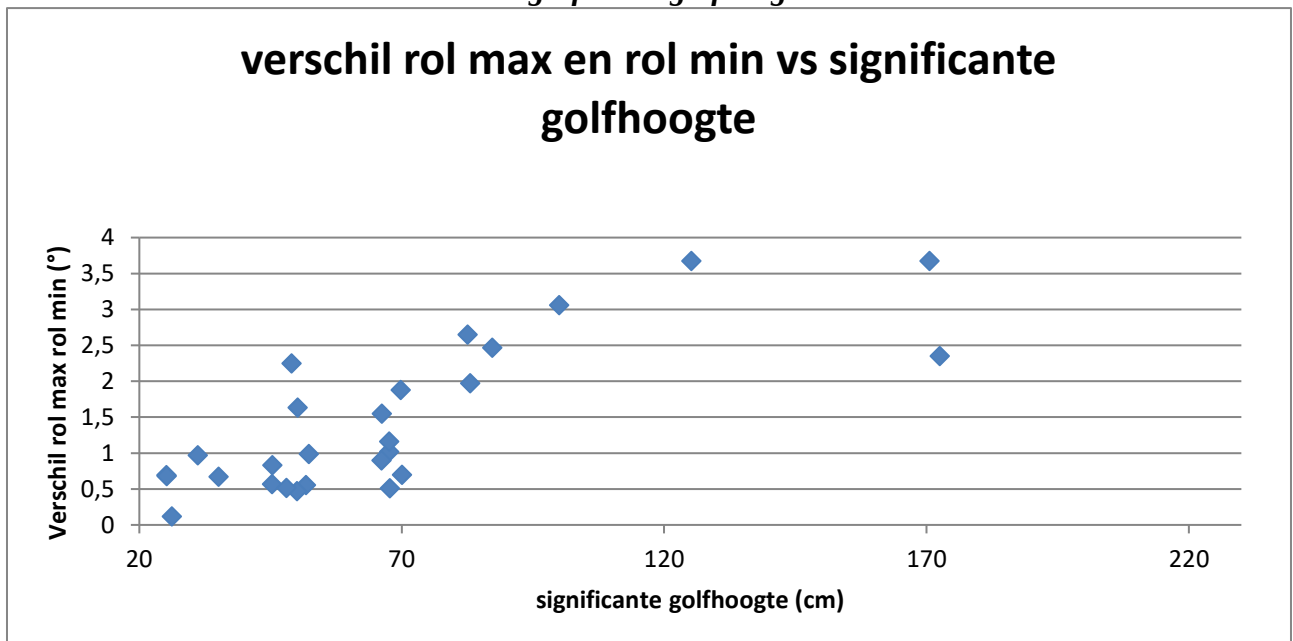
➤ *Verschil rol max en rol min vs 10% golfhoogte*



Grafiek 16: Verschil rol max en rol min vs 10% hoogste golven

Bovenstaande grafiek (Grafiek 16) is een weergave van de 10% hoogste golven (X-as) tov het verschil in rolmax en rolmin (Y-as).

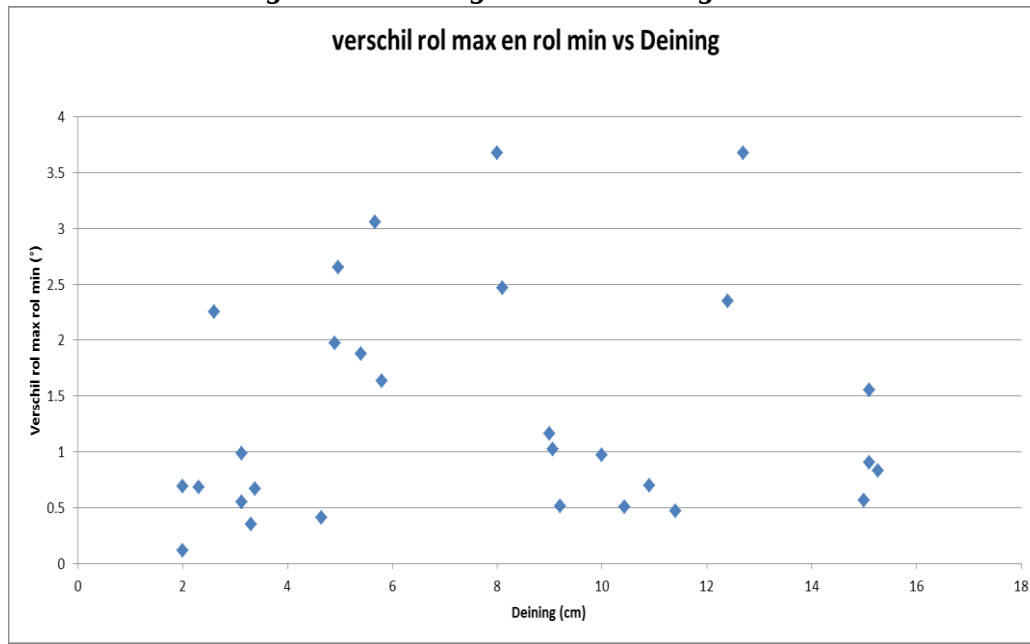
➤ *Verschil rol max en rol min vs significante golfhoogte*



Grafiek 17: Verschil rolmax en rolmin vs significante golfhoogte

Bovenstaande grafiek (Grafiek 17) is een weergave van de significante golfhoogte (X-as) ten opzichte van het verschil in rolmax en rolmin.(Y-as).

➤ ***Vershil slinger max en slinger min vs deining***



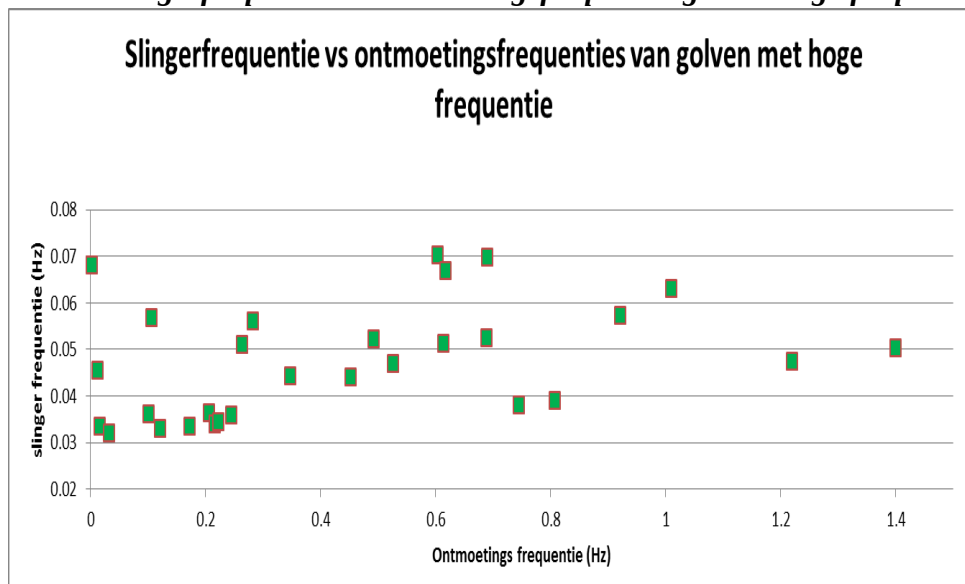
**Grafiek 18: Verschil rol max en rol min vs Deining**

In bovenstaande grafiek (grafiek19) is het verschil van rol max en rol min (Y-as) uitgezet tegen de deining (x-as).

### 5.4.3 Vergelijking slingerfrequentie en ontmoetingsfrequentie

In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen de slingerfrequentie van het schip en de ontmoetingsfrequentie met de golven.

➤ ***Slingerfrequentie vs ontmoetingsfrequentie golven hoge frequentie***



**Grafiek 19: Slingerfrequentie vs ontmoetingsfrequentie golven hoge frequentie**

Grafiek 19 beschrijft het verband tussen de ontmoetingsfrequentie (X-as), berekend met de waarden voor de golven met een hoge frequentie, en de slingerfrequentie (Y-as).

Het bereik van de ontmoetingsfrequentie valt tussen de 0.01Hz en de 1.4Hz. en dit voor een bereik van de slingerfrequentie dat ligt tussen de 0.03Hz en de 0.07Hz.

## **5.5 GM vs afmetingen schip**

De GM is een belangrijke parameter wat de stabiliteit van het schip betreft. Tevens is het een belangrijke parameter die het slingergedrag van het schip bepaalt. Daarom is een goede studie naar de GM waarden van de schepen die varen naar en vertrekken uit de haven van Zeebrugge een belangrijk criterium voor het bepalen van het toegangsbeleid van de haven van Zeebrugge. Als GM waarde vertelt ook iets over de mate van diepgangsreductie.

Dit hoofdstuk bespreekt de GM-waarde die berekend wordt op basis van de slingerfrequentie van het schip.

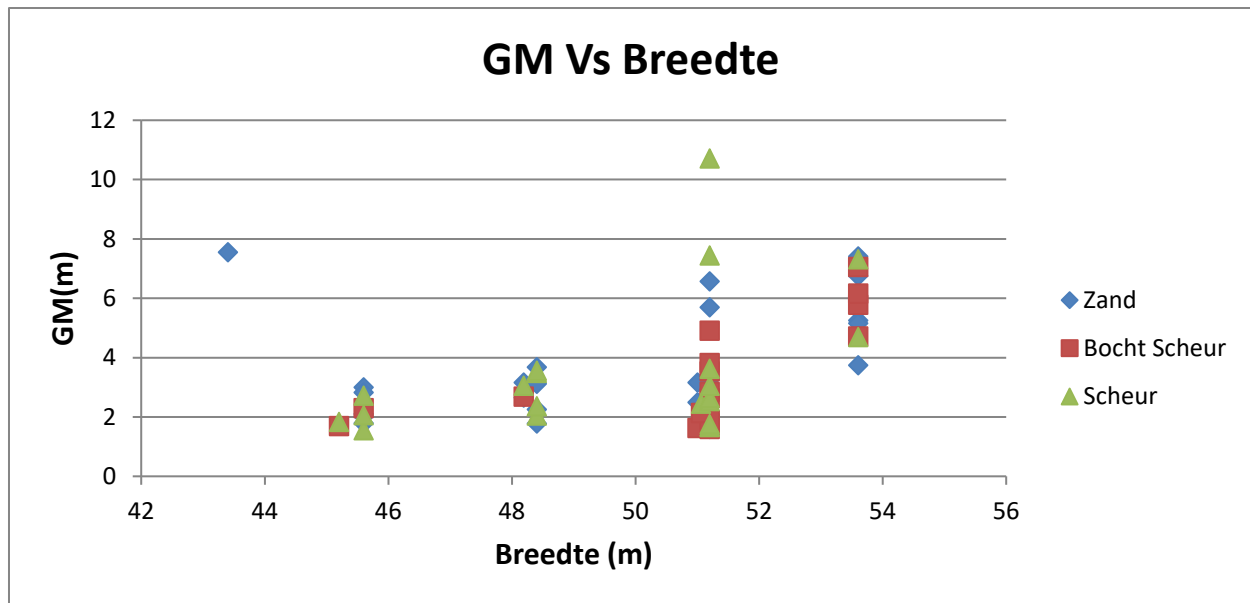
De GM wordt uitgezet tegen de afmetingen van het schip en eventuele verbanden worden besproken. Er zijn in totaal 69 meetpunten gebruikt.

### **5.5.1 GM vs Breedte**

Op de X-as van Grafiek 20: GM vs Breedte bevinden zich de GM waarden uitgedrukt in meters, op de y-as worden de scheepsbreedtes in meters weergegeven.

Er is een vaag stijgende trend uit Grafiek 20: GM vs Breedte af te leiden. Ook zijn de verschillende breedtes die de haven van Zeebrugge binnenvaren af te leiden uit bovenstaande grafiek.

Er is geen duidelijke invloed van de breedte op de GM waar te nemen, gebaseerd op de gebruikte waarnemingen.

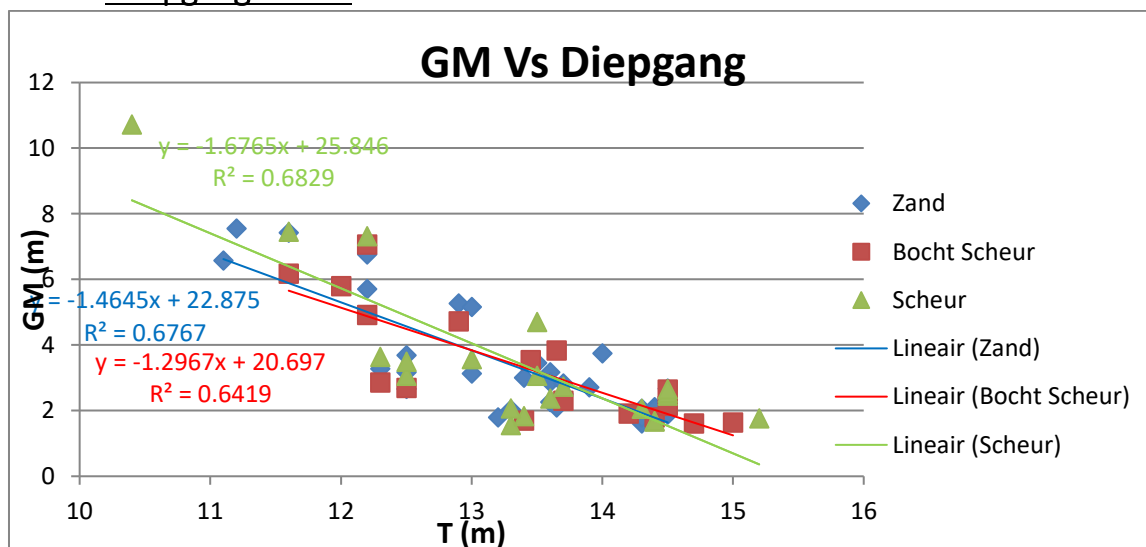


**Grafiek 20: GM vs Breedte**

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat er een vage, stijgende trend bestaat tussen de breedte van het schip en de GM waarde.

De breedte is van invloed op de GM waarde van het schip.

### 5.5.2 Diepgang vs GM



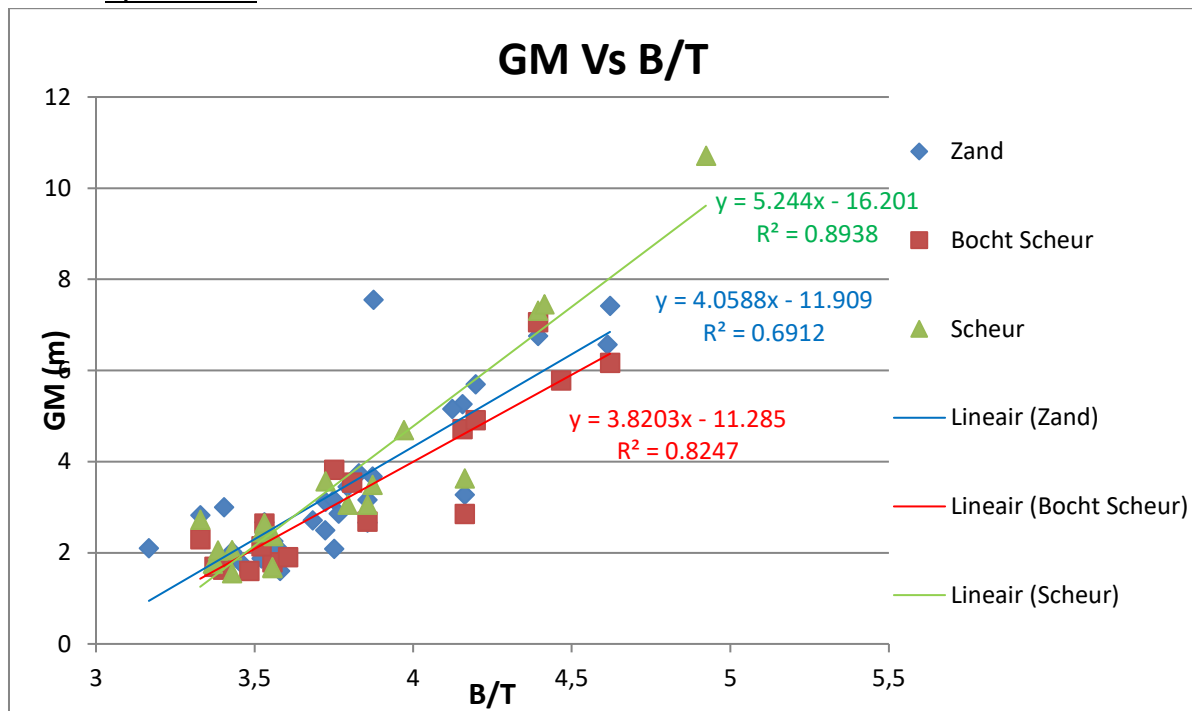
**Grafiek 21: Diepgang Vs GM**

De GM wordt weergegeven op de X-as en de diepgang wordt weergegeven op de Y-as.

De GM waarden bevinden zich tussen 1.1m en de 11m.

De spreiding van de punten in alle gebieden komt overeen. Het is duidelijk dat de GM in alle gebieden dezelfde is en over het gehele traject niet verandert.

### 5.5.3 B/T vs GM



**Grafiek 22: GM vs B/T**

De verhouding B/T wordt weergegevens op de Y-as. De GM wordt weergegevens op de x-as. Ook hier is de B/T verhouding een waarde die de vorm van het middenschip beschrijft.

## 6 Conclusie

### 6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 worden de resultaten van het onderzoek weergegeven. In dit hoofdstuk zullen voorgaande grafieken worden geïnterpreteerd.

### 6.2 Invloed van de scheepsafmetingen op de diepgangsverandering

#### 6.2.1 $\Delta T$ ifv de diepgang van het schip

Grafiek 5 toont een beperkt stijgende trend. Hoe groter de diepgang hoe groter de  $\Delta T$ . In dit onderzoek wordt geen rekening gehouden met de invloed van squat op de inzinking van het schip.

Anderzijds dient opgemerkt dat voor dezelfde diepgang een grote spreiding aan slingerhoeken optreedt. Dit komt doordat de slingerhoek in belangrijke mate mee bepaald wordt door het golfklimaat. Dit wordt verder in dit hoofdstuk besproken (zie §5.4).

#### 6.2.2 $\Delta T$ ifv de breedte van het schip

Uit Grafiek 6 is vast te stellen dat de schepen die de haven van Zeebrugge aandoen, naargelang de breedte onderverdeeld kunnen worden in 4 categorieën:

- 45.6m
- 48.0m
- 51.2m
- 53.6m

De categorie 51.2m is het meest vertegenwoordigd in deze grafiek.

Op basis van de gegevens is het niet mogelijk een uitspraak te doen over de invloed van de breedte op de  $\Delta T$ .

#### 6.2.3 $\Delta T/T$ ifv B/T

Grafiek 8 toont een verband tussen beide parameters. Een kleinere waarde voor B/T stemt overeen met doorgaans grotere slingerhoeken.

Naarmate de B/T verhouding groter wordt, wordt de spreiding kleiner (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Dit houdt in dat een schip met een grotere B/T verhouding minder onderhevig is aan slingeren dan een schip met een kleine B/T verhouding. Een schip met een grote B/T verhouding is dus stabielere dan een schip met een kleine B/T verhouding.

#### 6.2.4 Conclusie m.b.t. invloed op de scheepsafmeting

de B/T verhouding speelt een belangrijke rol in het bepalen van de diepgangreductie van het schip.

Schepen met een kleinere B/T verhouding zijn meer onderhevig aan schommelen en zullen sneller een grotere diepgangreductie ondervinden.

De meest voorkomende B/T verhouding voor de haven van Zeebrugge ligt tussen de 3.4 en de 3.8. Hierbij past een diepgangreductie van 2% van de diepgang.

### 6.3 Dominante slingerfrequentie

Er is duidelijk een afnemende trend te zien, lage frequenties stemmen overeen met grote slinger bereiken en omgekeerd

#### 6.3.1 Dominante slingerfrequentie per deelgebied

Gebaseerd op Grafiek 9 kan een tweede vaststelling gemaakt worden; De gemiddelde frequentie in alle deelgebieden is bijna dezelfde, namelijk ongeveer 0.05HZ (zie Tabel 5). Dit wil zeggen dat noch de golven noch de koers van het schip, noch de snelheid van het schip invloed uitoefenen op de slingerfrequentie van het schip. Uit Tabel 5 blijkt verder dat het vaargebied wel een invloed heeft op het slingerbereik van het schip.

**Tabel 5: Gemiddelde frequentie, gemiddelde verschil slinger max en min per deelgebied**

| Deelgebied   | Gemiddelde frequentie (Hz) | Gemiddelde verschil slinger max en slinger min (°) |
|--------------|----------------------------|----------------------------------------------------|
| Scheur       | 0.048988                   | 1.430821438                                        |
| Bocht Scheur | 0.050378                   | 1.205521731                                        |
| Zand         | 0.048876                   | 1.111574997                                        |

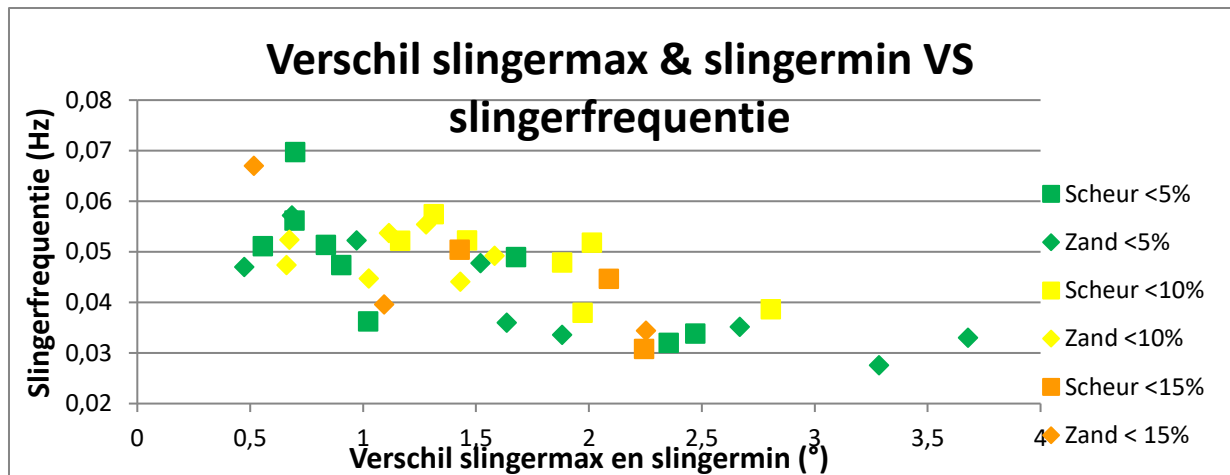
Gebruikmakend van de formule  $\frac{f(s)-f(z)}{gem(f(s),f(z))}$  wordt per schip de afstand tussen de frequentie in het Scheur en de frequentie in het Pas van 't Zand berekend en, dit voor een totaal van 19 schepen. De schepen worden geselecteerd op basis van hun slingergrafiek. De duidelijkste slingergrafieken worden gebruikt.

Voor deze 19 schepen zal uiteindelijk ook de ontmoetingsfrequentie berekend worden.

De afstand die  $f(s)$  van  $f(z)$  aflight is belangrijk om aan te duiden dat er weinig tot geen verschil bestaat tussen de slingerfrequentie in het Scheur en de slingerfrequentie in het Zand.

Deze afstand wordt in Grafiek 23 weergegeven als de kleur van het embleem. Verder bestaat Grafiek 23 uit de x-as waarop het verschil tussen rolmax en rolmin in ° staat en op de y-as de slingerfrequentie (HZ).





**Grafiek 23: grafiek verhouding frequentie Zand op frequentie Scheur**

Uit bovenstaande grafiek is af te lezen dat het bereik van de afstand tussen  $f(s)$  en  $f(z)$  maar loopt tot 15% van de afstand tot het gemiddelde van  $f(s)$  en  $f(z)$ . Er is geen noemenswaardig verschil tussen de frequenties in het Scheur en de frequenties in het Zand. Een schip varende in het Scheur zal met dezelfde frequentie slingeren in het Zand.

De waarden uit grafiek 23 worden weergegeven in Tabel 6

**Tabel 6: Verhouding frequentie Zand op frequentie Scheur ( $f(s)$ )**

| Aantal meetwaarden | Afstand tussen $f_s$ en $f_z$ (%) |
|--------------------|-----------------------------------|
| 9 (47%)            | <5%                               |
| 7 (37%)            | 5-10%                             |
| 3 (16%)            | 10-15%                            |

Van alle geanalyseerde schepen blijkt bij 9 schepen de afwijking tussen de dominante slingerfrequentie in het Scheur en in de Pas van het Zand kleiner dan 5% te zijn. Dit is een eerste indicatie dat de dominante slingerfrequentie eerder de eigenfrequentie van het schip beschrijft dan de ontmoetingsfrequentie van de golven. Bij de rest van de schepen ligt het verschil tussen de dominante slingerfrequentie en de ontmoetingsfrequentie tussen de 5% en de 15%.

De ontmoetingsfrequentie wordt berekend met de golfparameters, deze verschillen per gebied, en met de koers en snelheid van het schip. Deze parameters zijn verschillend per gebied. Aangezien de dominante slingerfrequentie per gebied dezelfde blijft hebben deze parameters geen invloed op het slingeren van het schip en kan dus een indicatie zijn dat het de dominante slinger frequentie eerder bij de eigenfrequentie dan wel bij de ontmoetingsfrequentie aanliggen.

Bij alle schepen ligt het verschil tussen  $f(s)$  en  $f(z)$  beneden de 15% van de afstand tot het gemiddelde.

### **6.3.2 Slingerfrequentie vs diepgang**

Grafiek 10 toont een duidelijk dalende trend van de slingerfrequentie met de diepgang. Hoe groter de diepgang, hoe lager de slinger frequentie.

De diepgang van het schip is gerelateerd aan de ladingsconditie van het schip en bepaald mee de slingerstabiliteit van het schip. De slingerfrequentie vertoont een duidelijke relatie met de scheepsdiepgang.

Er kan gezegd worden dat een dieperliggend schip een grotere slingerhoek heeft met een lagere frequentie dan een schip dat minder diep in het water ligt.

### **6.3.3 Slingerfrequentie vs Breedte**

Bij bredere schepen wordt de slingerfrequentie hoger.

### **6.3.4 Conclusies m.b.t. de dominante slingerfrequentie**

De slingerfrequenties per schip zijn dezelfde in elk gebied namelijk rond de 0.05Hz. Daarom kan besloten worden dat de golven geen invloed hebben op de frequentie, echter wel op de slingerhoeken van het schip. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

Het leidt echter tot het besluit dat een schip, varende naar de haven van Zeebrugge een slingerfrequentie zal bezitten die rond de 0.05Hz zal zijn.

Er kan geconcludeerd worden dat de diepgang een invloed heeft op het slingergedrag van het schip. Bij kleinere diepgang zal de slingerfrequentie groter worden (wat inhoudt dat de slingerperiode korter wordt).

Bij de breedte is een gelijkaardige trend als bij de diepgang vast te stellen, hoe breder het schip hoe groter de slingerfrequentie.

Over enig verband tussen de lengte van het schip en de invloed op het slingeren kan niets gezegd worden aangezien er te weinig meetwaarden zijn.

## **6.4 Invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip**

### **6.4.1 Bestuderen van de invloed van de golfparameters op de slingerhoeken**

#### **➤ *Verskil rol max en rol min vs 10% hoogste golven***

Er is vast te stellen dat met groter wordende golfhoogtes ook de slingerhoeken groter worden. De golfhoogte heeft een invloed op de slingerhoeken van het schip.

#### **➤ *Verskil rol max en rol min vs significante golfhoogte***

Er is een stijgende trend waarneembaar. De slingerhoeken stijgen met toenemende golfhoogte. De significante golfhoogte heeft een invloed op de slingerhoeken van het schip.

➤ ***Verskil slinger max en slinger min vs deining***

Er is duidelijk geen trend waar te nemen. Er is een willekeurige spreiding van de meetpunten in Grafiek 18. De punten in Grafiek 18 liggen willekeurig verspreid. Er is dus geen verband vast te stellen. De deining heeft geen invloed op de slingerhoeken van het schip.

#### 6.4.2 Vergelijking slingerfrequentie en ontmoetingsfrequentie

➤ ***Slingerfrequentie vs ontmoetingsfrequentie golven hoge frequentie***

De eerste conclusie is dat er geen trend in de grafiek zit. Er is geen verband tussen de ontmoetingsfrequentie en de slingerfrequentie.

De tweede conclusie is dat de ontmoetingsfrequentie veel hoger ligt dan de slingerfrequentie.

Daar in Grafiek 19 geen trend waar te nemen is en de waarden van de slingerfrequentie ver van de waarden van de ontmoetingsfrequentie liggen kan besloten worden dat de slingerfrequentie van het schip niet beïnvloedt wordt door de ontmoetingsfrequentie met de golven.

#### 6.4.3 Vergelijking GM vs diepgang en B/T

➤ ***GM vs diepgang***

Uit de grafiek is duidelijk een dalende trend vast te stellen. Naarmate de diepgang toeneemt, daalt de GM waarde.

Er kunnen trendlijnen gebruikt worden om de trend wiskundig weer te geven. Per deelgebied is er een trendlijn opgesteld. De gemiddelde trendlijn kan beschreven worden met volgende formule:

$$Y = -1.4663X + 22,942 \quad (6-1)$$

En dit met een  $R^2$  waarde van 0.644.

De diepgang heeft een grote invloed op de GM waarde van de schepen. Hoe groter de diepgang hoe kleiner de GM.

➤ ***GM vs B/T***

De stijgende trend in Grafiek 22 toont aan dat de B/T verhouding tevens een grote invloed uitoefent op de GM waarde.

Van de ingevoegde trendlijnen wordt een gemiddelde trendlijn gemaakt met formule:

$$y = 4.331X - 13.018 \quad (6-2)$$

En dit met een  $R^2=0.8257$

De trend duidt aan dat de B/T waarde een invloed uitoefent op de GM van het schip en dit volgens de beschreven formule.

#### **6.4.4 Conclusies m.b.t. het invloed van het heersend golfklimaat**

Zowel de significante golfhoogte als de 10% hoogste golven hebben een grote invloed op de slingerhoeken die het schip maakt. De deining heeft bijna geen invloed op de slingerhoeken van het schip

De golfhoogte is berekend op basis van hoogfrequente golven en de deining is berekend op de laagfrequente golven. Er kan geconcludeerd worden dat de hoogfrequente golven een invloed hebben op deze schepen en de laagfrequente golven niet.

Voor de berekening van de ontmoetingsfrequentie zullen daarom de golfparameters van de hoogfrequente golven gebruikt worden.

De slingerfrequentie van het schip wordt hoofdzakelijk bepaald door de eigen frequentie, daar in de grafiek aangetoond werd dat de ontmoetingsfrequentie geen invloed heeft op de slingerfrequentie. Dit werd reeds voor een deel aangetoond in hoofdstuk 6.3.1.

Hierdoor is het mogelijk om de GM-waarde uit de dominante slingerfrequentie te berekenen. Met deze GM-waarden wordt verder gerekend.

# **7 Discussie**

## **7.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt de kwaliteit en de beperkingen van de studie besproken.

## **7.2 Kwaliteit van het onderzoek script**

### **7.2.1 Validatie**

De systematische fout wordt verkleind door enkel de nauwkeurigste berekeningsmethode van het FULL SNMS Systeem te gebruiken (RTK) zie hoofdstuk 2.4.2. Er is echter niet berekend hoeveel de betrouwbaarheid verhoogt door toepassing van deze selectie.

### **7.2.2 Betrouwbaarheid**

Om dit onderzoek haalbaar te maken is beslist om bepaalde factoren te laten vallen en enkel te focussen op de invloed van de golven op het schip. De gegevens nodig om de invloed van golven op een schip te berekenen zijn nauwkeurig bepaald en zijn voorhanden. Gegevens nodig voor het berekenen van de invloed van wind en squat zijn niet voorhanden en zouden enkel de toevallige fout in het onderzoek vergroten. Daarnaast zou de complexiteit die het tot gevolg heeft een negatieve invloed hebben op de nauwkeurigheid van de data.

Verder worden de data, verkregen uit de metingen, reeds meerdere malen gefilterd en geselecteerd zie hoofdstuk 4.2.1. teneinde de betrouwbaarheid te verhogen..

## **7.3 Beperkingen van het onderzoek**

In dit onderzoek wordt geen rekening gehouden met de wind en andere weersverschijnselen met uitzondering van de golven. Dit enerzijds omdat golven de grootste invloed hebben op het schommelen van het schip en anderzijds om het onderzoek te vereenvoudigen. Dit verhoogt de haalbaarheid van het onderzoek.

Verder zijn er onvoldoende gegevens om de categorie “tankers” en “bulk” te onderzoeken. De steekproefgroottes zijn niet representatief. Daarom is in het onderzoek geen rekening gehouden met “tankers” en “bulkcarriers”. Enkel containerschepen worden onderzocht.

## 7.4 Advies voor de opdrachtgever

Volgende vaststellingen worden gemaakt:

- a. Courante afmetingen die varen naar de haven van Zeebrugge:

**Tabel 7: Courante afmetingen van schepen varende naar de haven van Zeebrugge**

|           | Breedte (m) | lengte (m) | Diepgang (m) |
|-----------|-------------|------------|--------------|
| min       | 43,40       | 279,20     | 10,40        |
| gemiddeld | 49,26       | 362,96     | 13,66        |
| max       | 53,60       | 396,00     | 15,20        |

- b. Slingerfrequenties per schip zijn in de verschillende gebieden gelijk

Uit het onderzoek komen volgende verbanden:

- Diepgang en B/T heeft invloed op de slingerfrequentie en de GM-waarde van het schip
- Golfklimaat(golfhoogte) heeft invloed op de slingerhoeken

Voor Grafiek 21 en Grafiek 22 werd een formule opgesteld. Met deze formules kan de GM waarde van ULCS bij benadering berekend worden. Deze formules zijn respectievelijk:

$$GM = -1,4663 * T + 22,942 \quad (5-4)$$

$$GM = 4.331 * \frac{B}{T} + 13.018 \quad (5-5)$$

Het advies luid als volgt:

“Breidt het onderzoek uit naar een grotere variatie van scheepsafmetingen en naar de verschillende type schepen die belangrijk zijn voor de Vlaamse havens.

Verkrijg, van de schepen, de GM waarde berekend uit het stabiliteitsprogramma aan boord. Deze GM-waarden kunnen dan als validatie van de formules gebruikt worden.

Dit zal uiteindelijk leiden naar meer gedetailleerde en nauwkeuriger resultaten waaruit een GM-vergelijking kan gehaald worden voor een groter bereik aan schepen.”

## 8 Antwoorden op de onderzoeksvragen

### 8.1 Antwoorden op de subvragen

#### 8.1.1 De betrouwbaarheid van de geselecteerde data.

Zowel in de eerste fase als in de tweede fase van het onderzoek wordt een selectie volgens nauwkeurigheid gedaan. Volgende nauwkeurighedsselectie wordt uitgevoerd in de eerste fase:

- Selectie op RTK kwaliteit, scheepspositie en slingerhoek) zie §□ op p. 20)
- Maximale uitval meetsignaal (5s, 10s, 20s) (zie§ □ op p. 22)

Na selectie blijkt dat maar 39% van de data geschikt zijn voor het onderzoek. Alle 0-waarden en uitschieters worden verwijderd.

In de tweede fase (na de Fourier- analyse) worden volgende nauwkeurighedsselecties uitgevoerd:

- een eerste selectie op tijdsduur (>15 s) (zie § □ op p. 23)
- een selectie langste tijdsreeks (zie § □ op p.22)
- lengte minimaal 5x de dominante slingerperiode (zie §□ op p. 23)

Doorheen het hele analyseproces wordt de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de data in het oog gehouden.

Als een patroon van afwijkende resultaten wordt vastgesteld, worden de afwijkende resultaten geanalyseerd en wordt gekeken hoe dit komt en hoe dit afwijkend patroon vermeden kan worden. Er wordt gekeken naar de vorm van het inputsignaal (slingergrafiek) en naar de Fourier grafiek om te bepalen of de bekomen afwijkingen realistisch zijn of mogelijk te wijten aan nauwkeurighedsfouten.

Er kan besloten worden dat de data waarmee gewerkt wordt goed betrouwbaar zijn.

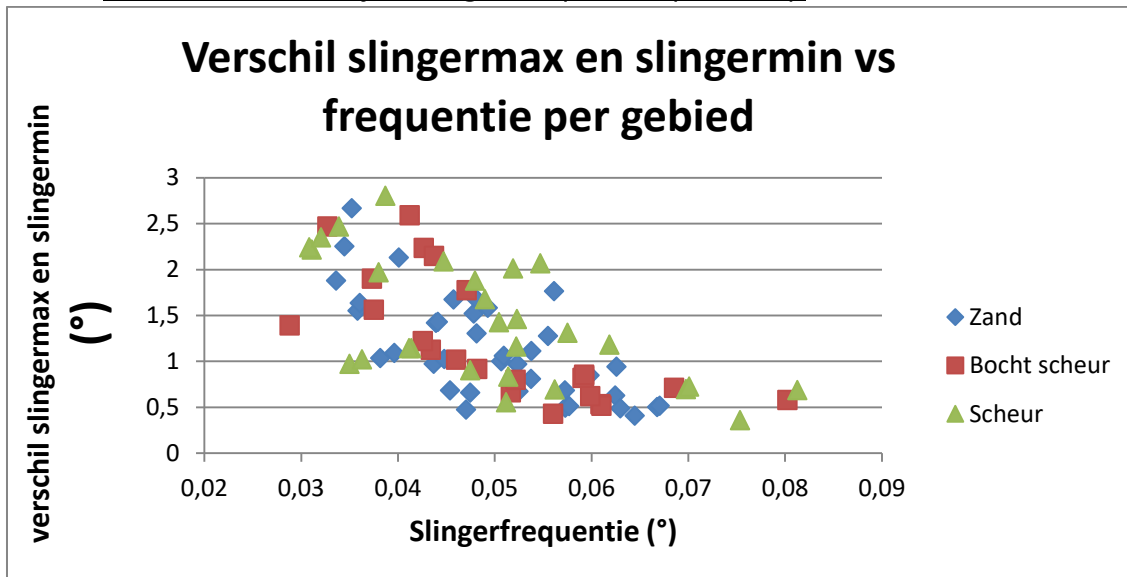
#### ➤ ***Wat zijn de minimale en maximale slingerhoeken per containerschip***

De diepgangen van de onderzochte containerschepen lopen van 10.4m tot en met 15.3m. Het interval voor het verschil in slingerhoeken begint bij  $0.5^\circ$  en gaat tot  $3.8^\circ$ .

De minimale slingerhoek (of slingeramplitude) bedraagt  $0.5^\circ/2=0.25^\circ$  en de maximale slingerhoek bedraagt  $3.8^\circ/2=1.9^\circ$

Er zijn geen significante verschillen tussen de geografische deelgebieden, hoewel de slingerbeweging gemiddeld hoger is in het Scheur dan in het Pas van 't Zand.

### 8.1.2 Wat is de natuurlijke slingerfrequentie per schip



Grafiek 9: Verschil slingermax en slingermin vs slingerfrequentie

De uiteindelijke slingerfrequenties van de schepen zijn de dominante frequenties bekomen uit de Fourier-analyse.

Deze dominante slingerfrequenties liggen tussen de 0.03Hz en de 0.08Hz. Dit betekent dat de dominante slingerperiodes liggen tussen de 12.5s en de 33.3s.

Er is geen verschil in dominante frequenties tussen de deelgebieden onderling.

### 8.1.3 Bestaat er een verband tussen de natuurlijke slingerfrequentie, maximale slingerhoek en de afmetingen van het schip?

Voor de dominante slingerfrequentie is een duidelijke trend te zien met de diepgang en de B/T verhouding (zie Grafiek 10 en Grafiek 12). Dit is een belangrijke indicatie dat de dominante slingerfrequentie bepaald wordt door de natuurlijke frequentie van het schip eerder dan door externe invloeden.

### 8.1.4 Wat is de invloed van het heersend golfklimaat op het slingergedrag van het schip

Het heersend golfklimaat heeft een grote invloed op de slingerhoeken (Grafiek 16: Verschil rol max en rol min vs 10% hoogste golven) en niet op de slingerfrequentie. Er kan geconcludeerd worden dat de dominante slingerfrequentie eigenlijk gelijk is aan de natuurlijke slingerfrequentie van het schip. Daardoor is het mogelijk om uit deze dominante slingerfrequentie de benaderde GM-waarde van het schip te berekenen.

## 8.2 Antwoord op de hoofdvraag

### 8.2.1 Hoe beïnvloedt het slingergedrag de toegang tot de haven van Zeebrugge?

Er zijn twee mogelijke benaderingen van de toegangscriteria. De eerste is de deterministische benadering de andere de probabilistische benadering.



➤ **Invloed van het slingergedrag op het deterministische toegangsbeleid.**

Tabel 8: Reductie deterministische criteria door delta T

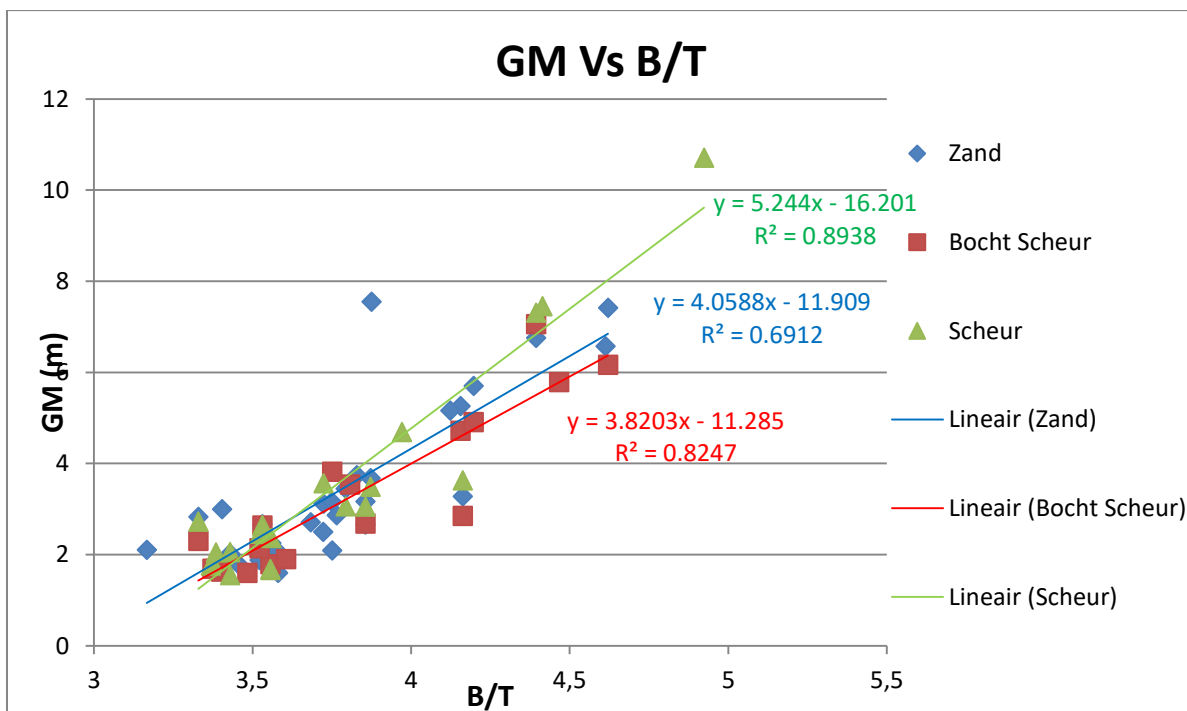
| Gebied | Reductie door $\Delta T$ |
|--------|--------------------------|
| Scheur | 2.3%                     |
| Zand   | 1.6%                     |

Uit Tabel 8, blijkt dat in het Scheur gemiddeld een UKC reductie van 2.3% van de diepgang plaats vindt.

In het Zand is de UKC reductie gemiddeld 1.6% van de diepgang.

➤ **Invloed van het slingergedrag op het probabilistisch toegangsbeleid**

Met dit onderzoek is bewezen dat het mogelijk is om op basis van het slingergedrag de GM waarde te berekenen.



Grafiek 21 en Grafiek 22 blijkt dat een duidelijk verband bestaat tussen de GM en de diepgang enerzijds en de GM en de B/T verhouding anderzijds.

Uit deze trendlijnen worden de volgende formules afgeleid:

$$GM = -1,4663 * T + 22,942 \quad (5-4)$$

$$GM = 4.331 * \frac{B}{T} - 13,018 \quad (5-5)$$

Door gedetailleerdere studies uit te voeren kan een grafiek opgesteld worden die de verhouding tussen GM,  $\Delta T$  en de B/T verhouding van het schip weergeeft. Vervolgens kan met de grafiek,

GM en B/T waarde zeer snel een  $\Delta T$ -waarde afgelezen worden en kan deze in rekening gebracht worden.

De GM-waarden vastgesteld in deze studie kunnen als input dienen voor probabilistische berekeningen en voor een meer gedetailleerde toegankelijkheidsberekening.

Door rekening te houden met de verandering in diepgang zal het probabilistische toegangsbeleid een grotere periode waarin schepen de haven kunnen binnenvaren, opleveren.

# **Bronvermelding**

- Vantorre, M., Richter, J., Eloot, K. & Verwilligen, J. (2010). Development of decision supporting tools for determining tidal windows for deep-drafted Vessels
- Vantorre, M., Candries, M. & Verwilligen, J. (2013). Optimization of Tidal Windows for Deep-Drafted Vessels by Means of ProToel. DELFT 2013: *International Workshop on Next Generation Nautical Traffic Models*
- Faltinsen, O.M. (1990). *Ocean Technologie:Sea Loads On Ships And Offshore Structures* (pp. 37-127). United Kingdom: Cambridge University Press
- Krüger,S.& Kluwe, J.(2008). *A Simplified Methode for the Estimation of the Natural Roll Frequency of Ships in Heavy Weathe*, Hamburg-Harbur:TU
- Gourlay, T. (2007). *Ship Underkeel Clearance in Waves*, Proc. Coast and Ports, Melbourne, July 2007
- Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken.(z.d.). *The Ports of Flanders: Key facts and figures*
- Baltic Marine Environment Protection Commission,(2014). *Draft Guidelines for Mariners on Determination of Ship's Safe under Keel Clearance*, Finland 2014
- Bruijnes, G.. (2008), *Macro's en VBA in Excel 2007: de basis*. Amsterdam:Pearson Education benelux
- de Groot, W. (2013), *Microsof Excel voor professionals*, Culembor: Van Duuren Informatica
- Waterbouwkundig Laboratorium, [http://www.watlab.be/nl,\(11/06/2015\)](http://www.watlab.be/nl,(11/06/2015))

# Bijlagen

## I. Lijst gebruikte meetpunten

| Bestand nr. | bestand naam                                       |
|-------------|----------------------------------------------------|
| 1           | CMA_CGM_Aquila_20140324_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz         |
| 2           | CMA_CGM_Andromeda_20131119_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 3           | CMA_CGM_Aquila_20140323_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz         |
| 4           | AL_Riffa_20140202_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz               |
| 5           | CMA_CGM_Titan_20140408_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz          |
| 6           | CMA_CGM_Columba_20140519_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz        |
| 7           | MSC_Benedetta_20140516_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz          |
| 8           | THALASSA_Hellas_20140130_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz        |
| 9           | MSC_Bettina_20140209_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz            |
| 10          | CSCL_Saturn_20140408_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz            |
| 11          | MSC_Beatrice_20140504_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz           |
| 12          | CMA_CGM_Andromeda_20131118_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 13          | THALASSA_Patris_20140410_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz        |
| 14          | MSC_Beryl_20140426_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz              |
| 15          | MSC_Bettina_20140210_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz            |
| 16          | AL_Qible_20140319_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz               |
| 17          | CMA_CGM_Andromeda_20140219_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 18          | MSC_Sonja_20140406_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz              |
| 19          | MSC_Beryl_20140427_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz              |
| 20          | CMA_CGM_Nevada_bb_20140216_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 21          | THALASSA_Pistis_20140409_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz        |
| 22          | AL_Riffa_20140201_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz               |
| 23          | CMA_CGM_Magellan_20140415_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz       |
| 24          | CSCL_Jupiter_20140426_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz           |
| 25          | CMA_CGM_Laperouse_20140401_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 26          | CMA_CGM_Nevada_20140501_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz         |
| 27          | MSC_Beatrice_20140503_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz           |
| 28          | IRENA_20140311_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                  |
| 29          | MSC_Beryl_20131025_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz              |
| 30          | MSC_Bettina_20140511_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz            |
| 31          | MSC_Beryl_20131026_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz              |
| 32          | CMA_CGM_Laperouse_20140331_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 33          | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20131107_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz |
| 34          | CMA_CGM_LA-ER64SE_20131022_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz      |
| 35          | CMA_CGM_Marco_Polo_20130807_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz     |
| 36          | CMA_CGM_Jules_Verne_20140218_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz    |

|    |                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------|
| 37 | CSCL_Jupiter_20131108_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                    |
| 38 | CSCL_Venus_20140411_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                      |
| 39 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20140130_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz          |
| 40 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140217_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz             |
| 41 | MSC_Bettina_20130823_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                  |
| 42 | MSC_Beatrice_20140503_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                 |
| 43 | CMA_CGM_Laperouse_20140331_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz            |
| 44 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140217_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz          |
| 45 | CSCL_Saturn_20140403_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                  |
| 46 | CMA_CGM_Nevada_20140501_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz               |
| 47 | CMA_CGM_Andromeda_20140219_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz            |
| 48 | MSC_Katrina_20140220_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                  |
| 49 | MSC_Benedetta_20140516_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                |
| 50 | AIN_Snan_20140312_FFT_SCHEUR_MU20s_F5Hz                     |
| 51 | AL_Qible_20140319_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                     |
| 52 | MSC_Sonja_20140406_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                    |
| 53 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20131106_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz       |
| 54 | MSC_Beryl_20131025_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                    |
| 55 | THALASSA_Patris_20140410_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz              |
| 56 | MSC_Bettina_20140511_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                  |
| 57 | MSC_Beryl_20140427_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                    |
| 58 | MSC_Beryl_20140426_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                    |
| 59 | AL_Riffa_20140202_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                     |
| 60 | AL_Riffa_20140201_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                     |
| 61 | MSC_Beryl_20131026_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                    |
| 62 | MSC_Bettina_20140209_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                  |
| 63 | CMA_CGM_Gemini_20140224_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz               |
| 64 | CMA_CGM_Aquilla_20140324_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz              |
| 65 | CMA_CGM_Andromeda_20131119_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz            |
| 66 | CMA_CGM_Aquila_20140323_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz               |
| 67 | CMA_CGM_Titan_20140408_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                |
| 68 | CMA_CGM_Thalassa_20131109_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz             |
| 69 | CMA_CGM_Columba_20131104_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz              |
| 70 | AL_Qible_20140319_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz               |
| 71 | CMA_CGM_Andromeda_20131119_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz      |
| 72 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20140130_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz |
| 73 | CMA_CGM_Jules_Verne_20130903_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz    |
| 74 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140218_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz    |
| 75 | CMA_CGM_Laperouse_20140331_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz      |
| 76 | CMA_CGM_Thalassa_20131109_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz       |

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| 77 | MSC_Beatrice_20140207_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz                |
| 78 | MSC_Beatrice_20140504_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz                |
| 79 | THALASSA_Patris_20140410_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz             |
| 80 | AL_Riffa_20140201_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz                    |
| 81 | AL_Riffa_20140202_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz                    |
| 82 | CMA_CGM_Amerigo_vespucci_20140430_RTK_BOCHT SCHEUR<br>_MU10s_F5Hz |
| 83 | CMA_CGM_Gemini_20140223_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz              |
| 84 | CMA_CGM_Gemini_20140224_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz              |
| 85 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140217_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz         |
| 86 | CMA_CGM_Nevada_20140501_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz              |
| 87 | CMA_CGM_Titan_20140408_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz               |
| 88 | CSCL_Venus_20140411_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz                  |
| 89 | MSC_Beatrice_20140503_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz                |
| 90 | THALASSA_Pistis_20140318_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz             |

## II. Tabel voorbeeld selectie gegevens

|               | # metingen | t0         | te         | Lengte | Breedte | T     | tTOT     | aantal cycli |
|---------------|------------|------------|------------|--------|---------|-------|----------|--------------|
| Bestand<br>nr | [-]        | [hh:mm:ss] | [hh:mm:ss] | [m]    | [m]     | [m]   | [s]      | cycli        |
| 69            | 8984       | 14:08:07   | 14:38:14   | 347    | 45.2    | 13.4  | 1780.87  | 80.99337769  |
| 76            | 920        | 14:05:02   | 14:08:07   | 347    | 45.2    | 13.4  | 182.8571 | 7.990914345  |
| 70            | 3445       | 13:39:17   | 13:50:50   | 363.61 | 45.6    | 13.3  | 682.6667 | 28.12852287  |
| 12            | 4760       | 14:20:11   | 14:36:11   | 363.61 | 45.6    | 13.2  | 952.5582 | 41.83197784  |
| 48            | 470        | 4:36:13    | 4:39:03    | 363.61 | 45.6    | 13.3  | 167.8689 | 7.963020802  |
| 25            | 3335       | 14:19:42   | 14:30:54   | 363.61 | 45.6    | 14.4  | 671.4754 | 34.84976959  |
| 43            | 1549       | 19:41:18   | 19:52:52   | 363.61 | 45.6    | 13.7  | 682.6667 | 38.35718536  |
| 32            | 1971       | 20:04:17   | 20:18:57   | 363.61 | 45.6    | 13.7  | 871.4894 | 49.88267136  |
| 75            | 228        | 20:02:17   | 20:04:16   | 363.61 | 45.6    | 13.7  | 119.0698 | 6.14853096   |
| 34            | 3427       | 18:40:41   | 18:52:12   | 363.61 | 45.6    | 13.4  | 682.6667 | 39.37185669  |
| 17            | 6040       | 4:55:24    | 5:20:22    | 363.61 | 45.6    | 13.3  | 1462.857 | 68.76299286  |
| 26            | 896        | 6:15:26    | 6:19:57    | 366.14 | 48.19   | 12.5  | 269.4737 | 14.09017658  |
| 86            | 1189       | 6:09:24    | 6:13:59    | 366.14 | 48.19   | 12.5  | 273.0667 | 13.14933109  |
| 46            | 1255       | 5:49:26    | 5:55:31    | 366.14 | 48.19   | 12.5  | 359.2982 | 18.45770264  |
| 20            | 4051       | 20:14:04   | 20:28:00   | 366.14 | 48.19   | 12.5  | 835.9184 | 40.08103943  |
| 61            | 560        | 5:43:37    | 5:45:32    | 365.8  | 48.4    | 12.5  | 113.7778 | 6.220693111  |
| 58            | 747        | 11:22:16   | 11:25:06   | 365.8  | 48.4    | 14.3  | 167.8689 | 8.044843674  |
| 31            | 2696       | 5:31:36    | 5:40:42    | 365.8  | 48.4    | 12.5  | 538.9474 | 30.24244308  |
| 57            | 3121       | 9:04:38    | 9:15:52    | 365.8  | 48.4    | 13.6  | 671.4754 | 32.87991714  |
| 19            | 1662       | 8:49:22    | 8:55:02    | 365.8  | 48.4    | 13.6  | 335.7377 | 16.04830933  |
| 54            | 813        | 5:20:53    | 5:23:49    | 365.8  | 48.4    | 13    | 173.5593 | 9.976359367  |
| 29            | 1734       | 5:38:26    | 5:44:44    | 365.8  | 48.4    | 13    | 372.3636 | 20.02002907  |
| 14            | 3584       | 11:36:39   | 11:50:03   | 365.8  | 48.4    | 14.3  | 803.1373 | 35.95021057  |
| 21            | 824        | 9:12:44    | 9:15:34    | 368.47 | 51      | 13.7  | 167.8689 | 8.075512886  |
| 90            | 1152       | 23:30:24   | 23:34:15   | 368.47 | 51      | 15    | 230.1124 | 9.793445587  |
| 28            | 3375       | 16:48:09   | 16:59:26   | 366.07 | 51      | 13.6  | 671.4754 | 36.07151413  |
| 79            | 1006       | 7:00:54    | 7:04:16    | 368.47 | 51.06   | 14.5  | 200.7843 | 9.452653885  |
| 13            | 3059       | 6:46:47    | 6:57:02    | 368.47 | 51.06   | 14.5  | 611.3433 | 26.95893669  |
| 55            | 1386       | 7:04:17    | 7:08:55    | 368.47 | 51.06   | 14.5  | 276.7567 | 13.95383644  |
| 70            | 631        | 3:12:19    | 3:16:16    | 366    | 51.2    | 14.4  | 235.4023 | 10.0388546   |
| 10            | 3638       | 4:45:34    | 4:57:47    | 366.07 | 51.2    | 14.3  | 731.4286 | 29.30748367  |
| 16            | 2714       | 3:16:17    | 3:29:29    | 366    | 51.2    | 14.4  | 787.6923 | 36.01072311  |
| 51            | 2200       | 2:54:21    | 3:07:14    | 366    | 51.2    | 14.4  | 758.5185 | 31.190485    |
| 50            | 4351       | 2:40:47    | 3:07:14    | 366    | 51.2    | 14.4  | 1575.385 | 65.15982056  |
| 77            | 1871       | 20:58:59   | 21:05:29   | 366.07 | 51.2    | 14.2  | 386.4151 | 16.7581749   |
| 45            | 2813       | 0:51:56    | 1:01:50    | 366.07 | 51.2    | 11.6  | 585.1429 | 41.00042725  |
| 82            | 478        | 3:26:39    | 3:29:06    | 365.5  | 51.2    | 13.45 | 146.2857 | 8.190890312  |

|    |      |          |          |        |      |       |          |             |
|----|------|----------|----------|--------|------|-------|----------|-------------|
| 81 | 831  | 23:28:21 | 23:31:09 | 366.04 | 51.2 | 14.7  | 167.8689 | 6.91595602  |
| 62 | 1585 | 10:08:48 | 10:14:44 | 366.07 | 51.2 | 15.2  | 353.1035 | 15.77642822 |
| 60 | 2685 | 20:36:45 | 20:48:03 | 366.04 | 51.2 | 12.3  | 671.4754 | 34.82871246 |
| 22 | 3685 | 20:51:22 | 21:07:15 | 366.04 | 51.2 | 12.3  | 952.5582 | 46.93333817 |
| 56 | 442  | 18:06:56 | 18:09:18 | 366.07 | 51.2 | 13.5  | 140.274  | 7.330910206 |
| 30 | 3139 | 19:12:33 | 19:24:53 | 366.07 | 51.2 | 13.5  | 731.4286 | 40.57738113 |
| 52 | 1004 | 22:20:03 | 22:25:27 | 365.5  | 51.2 | 14.5  | 320      | 16.70490074 |
| 24 | 3565 | 20:34:28 | 20:46:24 | 366.07 | 51.2 | 13.6  | 706.2069 | 35.95358276 |
| 80 | 688  | 20:48:03 | 20:51:21 | 366.04 | 51.2 | 12.3  | 196.9231 | 9.054802895 |
| 23 | 3112 | 23:16:02 | 23:26:37 | 365.5  | 51.2 | 13.9  | 630.1539 | 31.91125107 |
| 11 | 3621 | 13:54:23 | 14:06:41 | 366.07 | 51.2 | 13.65 | 731.4286 | 31.93631935 |
| 78 | 933  | 14:06:41 | 14:09:50 | 366.07 | 51.2 | 13.65 | 186.1818 | 10.99675083 |
| 89 | 721  | 16:42:23 | 16:46:34 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 249.7561 | 13.02073097 |
| 15 | 3303 | 5:30:53  | 5:42:04  | 366.07 | 51.2 | 14.3  | 660.6451 | 29.96287918 |
| 27 | 2926 | 16:46:35 | 17:00:25 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 819.2    | 42.94192123 |
| 18 | 5146 | 23:28:21 | 23:45:45 | 365.5  | 51.2 | 14.5  | 1024     | 48.56967545 |
| 88 | 1235 | 11:28:31 | 11:32:39 | 366.07 | 51.2 | 12.2  | 246.747  | 14.76450062 |
| 42 | 1073 | 16:28:10 | 16:33:01 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 288.4507 | 14.75067806 |
| 37 | 5512 | 4:41:51  | 5:00:17  | 366.07 | 51.2 | 11.1  | 1077.895 | 67.86943054 |
| 38 | 4307 | 11:32:39 | 11:47:03 | 366.07 | 51.2 | 12.2  | 853.3333 | 54.99760056 |
| 41 | 2575 | 21:08:36 | 21:17:14 | 366.07 | 51.2 | 10.4  | 518.481  | 39.05559921 |
| 53 | 1096 | 17:18:32 | 17:22:22 | 396    | 53.6 | 13.5  | 227.5556 | 14.06755257 |
| 36 | 3810 | 12:58:02 | 13:11:00 | 396    | 53.6 | 12.9  | 772.8302 | 48.33428192 |
| 74 | 845  | 13:11:00 | 13:13:50 | 396    | 53.6 | 12.9  | 167.8689 | 9.942547798 |
| 85 | 1024 | 15:16:04 | 15:19:48 | 396    | 53.6 | 12.2  | 222.6087 | 15.25397682 |
| 44 | 4041 | 15:02:29 | 15:16:04 | 396    | 53.6 | 12.2  | 803.1373 | 56.0113945  |
| 35 | 3294 | 11:00:53 | 11:12:06 | 396    | 53.6 | 13    | 671.4754 | 41.91247177 |
| 72 | 1404 | 16:48:50 | 16:53:50 | 396    | 53.6 | 11.6  | 296.8116 | 18.07178688 |
| 73 | 616  | 17:03:59 | 17:06:08 | 396    | 53.6 | 12    | 128      | 7.808760166 |
| 40 | 3307 | 15:19:48 | 15:35:12 | 396    | 53.6 | 12.2  | 910.2222 | 61.00939178 |
| 39 | 5059 | 16:53:50 | 17:11:31 | 396    | 53.6 | 11.6  | 1050.256 | 70.12879181 |
| 33 | 831  | 12:41:51 | 12:44:42 | 396    | 53.6 | 14    | 170.6667 | 9.772289276 |



### III. Diepgangsverandering vs afmetingen schip

|             | natFreq  | L      | B     | T    | $\Delta_{\max \min}$ | $(\Delta_{\max \min})_{\text{rol}/2}$ | $(\text{verschil rolmax en rolmin})/2$ | $\Delta T1$ | B/T   |
|-------------|----------|--------|-------|------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------|-------|
| Bestands nr | Hz       | [m]    | [m]   | [m]  | (°)                  | °                                     | rad                                    | m           | /     |
| 69          | 0.04548  | 347    | 45.2  | 13.4 | 3.060                | 1.530                                 | 0.027                                  | 0.604       | 3.373 |
| 76          | 0.0437   | 347    | 45.2  | 13.4 | 2.149                | 1.075                                 | 0.019                                  | 0.424       | 3.373 |
| 70          | 0.041204 | 363.61 | 45.6  | 13.3 | 3.820                | 1.910                                 | 0.033                                  | 0.760       | 3.429 |
| 12          | 0.043915 | 363.61 | 45.6  | 13.2 | 1.421                | 0.711                                 | 0.012                                  | 0.283       | 3.455 |
| 48          | 0.047436 | 363.61 | 45.6  | 13.3 | 0.902                | 0.451                                 | 0.008                                  | 0.179       | 3.429 |
| 25          | 0.0519   | 363.61 | 45.6  | 14.4 | 0.745                | 0.373                                 | 0.007                                  | 0.148       | 3.167 |
| 43          | 0.056187 | 363.61 | 45.6  | 13.7 | 0.695                | 0.348                                 | 0.006                                  | 0.138       | 3.328 |
| 32          | 0.057238 | 363.61 | 45.6  | 13.7 | 0.684                | 0.342                                 | 0.006                                  | 0.136       | 3.328 |
| 75          | 0.051638 | 363.61 | 45.6  | 13.7 | 0.664                | 0.332                                 | 0.006                                  | 0.132       | 3.328 |
| 34          | 0.057674 | 363.61 | 45.6  | 13.4 | 0.514                | 0.257                                 | 0.004                                  | 0.102       | 3.403 |
| 17          | 0.047006 | 363.61 | 45.6  | 13.3 | 0.473                | 0.236                                 | 0.004                                  | 0.094       | 3.429 |
| 26          | 0.052288 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 0.971                | 0.486                                 | 0.008                                  | 0.204       | 3.855 |
| 86          | 0.048154 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 0.919                | 0.459                                 | 0.008                                  | 0.193       | 3.855 |
| 46          | 0.051372 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 0.835                | 0.418                                 | 0.007                                  | 0.176       | 3.855 |
| 20          | 0.047949 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 1.691                | 0.846                                 | 0.015                                  | 0.356       | 3.855 |
| 61          | 0.054674 | 365.8  | 48.4  | 12.5 | 2.067                | 1.033                                 | 0.018                                  | 0.437       | 3.872 |
| 58          | 0.047923 | 365.8  | 48.4  | 14.3 | 1.880                | 0.940                                 | 0.016                                  | 0.397       | 3.385 |
| 31          | 0.056114 | 365.8  | 48.4  | 12.5 | 1.764                | 0.882                                 | 0.015                                  | 0.373       | 3.872 |
| 57          | 0.048967 | 365.8  | 48.4  | 13.6 | 1.676                | 0.838                                 | 0.015                                  | 0.354       | 3.559 |
| 19          | 0.0478   | 365.8  | 48.4  | 13.6 | 1.519                | 0.759                                 | 0.013                                  | 0.321       | 3.559 |
| 54          | 0.057481 | 365.8  | 48.4  | 13   | 1.312                | 0.656                                 | 0.011                                  | 0.277       | 3.723 |
| 29          | 0.053765 | 365.8  | 48.4  | 13   | 1.114                | 0.557                                 | 0.010                                  | 0.235       | 3.723 |
| 14          | 0.044762 | 365.8  | 48.4  | 14.3 | 1.024                | 0.512                                 | 0.009                                  | 0.216       | 3.385 |
| 21          | 0.048106 | 368.47 | 51    | 13.7 | 1.305                | 0.652                                 | 0.011                                  | 0.290       | 3.723 |
| 90          | 0.042559 | 368.47 | 51    | 15   | 1.221                | 0.610                                 | 0.011                                  | 0.272       | 3.400 |
| 28          | 0.05372  | 366.07 | 51    | 13.6 | 0.809                | 0.405                                 | 0.007                                  | 0.180       | 3.750 |
| 79          | 0.047079 | 368.47 | 51.06 | 14.5 | 1.774                | 0.887                                 | 0.015                                  | 0.395       | 3.521 |
| 13          | 0.044098 | 368.47 | 51.06 | 14.5 | 1.430                | 0.715                                 | 0.012                                  | 0.319       | 3.521 |
| 55          | 0.050419 | 368.47 | 51.06 | 14.5 | 1.427                | 0.713                                 | 0.012                                  | 0.318       | 3.521 |
| 70          | 0.042646 | 366    | 51.2  | 14.4 | 2.236                | 1.118                                 | 0.020                                  | 0.500       | 3.556 |
| 10          | 0.040069 | 366.07 | 51.2  | 14.3 | 2.131                | 1.066                                 | 0.019                                  | 0.476       | 3.580 |
| 16          | 0.045717 | 366    | 51.2  | 14.4 | 1.673                | 0.837                                 | 0.015                                  | 0.374       | 3.556 |
| 51          | 0.04112  | 366    | 51.2  | 14.4 | 1.143                | 0.572                                 | 0.010                                  | 0.255       | 3.556 |
| 50          | 0.041361 | 366    | 51.2  | 14.4 | 1.143                | 0.572                                 | 0.010                                  | 0.255       | 3.556 |

|    |          |        |      |       |       |       |       |       |       |
|----|----------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 77 | 0.043368 | 366.07 | 51.2 | 14.2  | 1.125 | 0.563 | 0.010 | 0.251 | 3.606 |
| 45 | 0.070069 | 366.07 | 51.2 | 11.6  | 0.725 | 0.362 | 0.006 | 0.162 | 4.414 |
| 82 | 0.055992 | 365.5  | 51.2 | 13.45 | 0.429 | 0.215 | 0.004 | 0.096 | 3.807 |
| 81 | 0.041199 | 366.04 | 51.2 | 14.7  | 2.592 | 1.296 | 0.023 | 0.579 | 3.483 |
| 62 | 0.044679 | 366.07 | 51.2 | 15.2  | 2.088 | 1.044 | 0.018 | 0.467 | 3.368 |
| 60 | 0.051869 | 366.04 | 51.2 | 12.3  | 2.013 | 1.007 | 0.018 | 0.450 | 4.163 |
| 22 | 0.049271 | 366.04 | 51.2 | 12.3  | 1.582 | 0.791 | 0.014 | 0.353 | 4.163 |
| 56 | 0.052261 | 366.07 | 51.2 | 13.5  | 1.460 | 0.730 | 0.013 | 0.326 | 3.793 |
| 30 | 0.055477 | 366.07 | 51.2 | 13.5  | 1.278 | 0.639 | 0.011 | 0.286 | 3.793 |
| 52 | 0.052203 | 365.5  | 51.2 | 14.5  | 1.163 | 0.582 | 0.010 | 0.260 | 3.531 |
| 24 | 0.050911 | 366.07 | 51.2 | 13.6  | 1.059 | 0.530 | 0.009 | 0.237 | 3.765 |
| 80 | 0.045981 | 366.04 | 51.2 | 12.3  | 1.018 | 0.509 | 0.009 | 0.227 | 4.163 |
| 23 | 0.05064  | 365.5  | 51.2 | 13.9  | 1.002 | 0.501 | 0.009 | 0.224 | 3.683 |
| 11 | 0.043663 | 366.07 | 51.2 | 13.65 | 0.973 | 0.487 | 0.008 | 0.217 | 3.751 |
| 78 | 0.059065 | 366.07 | 51.2 | 13.65 | 0.820 | 0.410 | 0.007 | 0.183 | 3.751 |
| 89 | 0.052134 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 0.799 | 0.400 | 0.007 | 0.179 | 3.531 |
| 15 | 0.045354 | 366.07 | 51.2 | 14.3  | 0.685 | 0.343 | 0.006 | 0.153 | 3.580 |
| 27 | 0.052419 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 0.673 | 0.336 | 0.006 | 0.150 | 3.531 |
| 18 | 0.047431 | 365.5  | 51.2 | 14.5  | 0.660 | 0.330 | 0.006 | 0.147 | 3.531 |
| 88 | 0.059837 | 366.07 | 51.2 | 12.2  | 0.622 | 0.311 | 0.005 | 0.139 | 4.197 |
| 42 | 0.051138 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 0.555 | 0.278 | 0.005 | 0.124 | 3.531 |
| 37 | 0.062965 | 366.07 | 51.2 | 11.1  | 0.490 | 0.245 | 0.004 | 0.109 | 4.613 |
| 38 | 0.06445  | 366.07 | 51.2 | 12.2  | 0.410 | 0.205 | 0.004 | 0.092 | 4.197 |
| 41 | 0.075327 | 366.07 | 51.2 | 10.4  | 0.359 | 0.180 | 0.003 | 0.080 | 4.923 |
| 53 | 0.06182  | 396    | 53.6 | 13.5  | 1.182 | 0.591 | 0.010 | 0.276 | 3.970 |
| 36 | 0.062542 | 396    | 53.6 | 12.9  | 0.942 | 0.471 | 0.008 | 0.220 | 4.155 |
| 74 | 0.059228 | 396    | 53.6 | 12.9  | 0.842 | 0.421 | 0.007 | 0.197 | 4.155 |
| 85 | 0.068524 | 396    | 53.6 | 12.2  | 0.713 | 0.357 | 0.006 | 0.167 | 4.393 |
| 44 | 0.069741 | 396    | 53.6 | 12.2  | 0.698 | 0.349 | 0.006 | 0.163 | 4.393 |
| 35 | 0.062418 | 396    | 53.6 | 13    | 0.629 | 0.315 | 0.005 | 0.147 | 4.123 |
| 72 | 0.060886 | 396    | 53.6 | 11.6  | 0.534 | 0.267 | 0.005 | 0.125 | 4.621 |
| 73 | 0.061006 | 396    | 53.6 | 12    | 0.518 | 0.259 | 0.005 | 0.121 | 4.467 |
| 40 | 0.067027 | 396    | 53.6 | 12.2  | 0.515 | 0.258 | 0.004 | 0.120 | 4.393 |
| 39 | 0.066773 | 396    | 53.6 | 11.6  | 0.501 | 0.251 | 0.004 | 0.117 | 4.621 |
| 33 | 0.05726  | 396    | 53.6 | 14    | 0.497 | 0.248 | 0.004 | 0.116 | 3.829 |

#### IV. Bestands nr. en bestandsnaam Tabel Dominante slingerfrequenties

|             |            | natFreq     | Roll Max | Roll Min | verschil max en min<br>slinger |
|-------------|------------|-------------|----------|----------|--------------------------------|
| Bestand nr. | Datum/tijd | Hz          | [°]      | [°]      | (°)                            |
| 50          | 24/03/14   | 0.027603    | 1.47     | -1.814   | 3.284000039                    |
| 70          | 19/11/13   | 0.033054538 | 1.761    | -1.917   | 3.678000093                    |
| 51          | 23/03/14   | 0.033591192 | 1.092    | -0.789   | 1.880999982                    |
| 16          | 2/02/14    | 0.034427214 | 1.259    | -0.993   | 2.251999915                    |
| 80          | 8/04/14    | 0.035202295 | 2.74     | 0.072    | 2.668000013                    |
| 60          | 19/05/14   | 0.035782024 | 1.349    | -0.204   | 1.552999973                    |
| 22          | 16/05/14   | 0.036015399 | 0.764    | -0.872   | 1.635999978                    |
| 81          | 30/01/14   | 0.038152453 | -0.064   | -1.1     | 1.036000021                    |
| 59          | 9/02/14    | 0.039595127 | 1.448    | 0.355    | 1.092999965                    |
| 4           | 8/04/14    | 0.040068824 | 0.875    | -1.256   | 2.131000042                    |
| 53          | 4/05/14    | 0.043662935 | 0.438    | -0.535   | 0.973000002                    |
| 33          | 18/11/13   | 0.043915406 | 0.889    | -0.532   | 1.421000004                    |
| 72          | 10/04/14   | 0.044097871 | 0.79     | -0.64    | 1.430000007                    |
| 39          | 26/04/14   | 0.044762224 | 0.7      | -0.324   | 1.023999989                    |
| 82          | 10/02/14   | 0.045353968 | 0.324    | -0.361   | 0.685000002                    |
| 12          | 19/03/14   | 0.045716736 | 1.202    | -0.471   | 1.673000008                    |
| 71          | 19/02/14   | 0.047005951 | 0.382    | -0.091   | 0.472999997                    |
| 65          | 6/04/14    | 0.047431324 | 0.132    | -0.528   | 0.659999996                    |
| 2           | 27/02/14   | 0.047800142 | 0.581    | -0.938   | 1.518999994                    |
| 47          | 16/02/14   | 0.047948509 | 1.182    | -0.509   | 1.691000044                    |
| 17          | 9/04/14    | 0.048106082 | 0.247    | -1.058   | 1.304999962                    |
| 66          | 1/02/14    | 0.049270838 | 0.773    | -0.809   | 1.582000017                    |
| 3           | 15/04/14   | 0.050640412 | 0.483    | -0.519   | 1.002000004                    |
| 64          | 26/04/14   | 0.050910834 | 0.736    | -0.323   | 1.059000015                    |
| 1           | 1/04/14    | 0.05190029  | 0.254    | -0.491   | 0.745000005                    |
| 69          | 1/05/14    | 0.052287761 | 0.787    | -0.184   | 0.971000001                    |
| 6           | 3/05/14    | 0.052419338 | 0.212    | -0.461   | 0.672999993                    |
| 83          | 3/11/14    | 0.053719785 | 0.33     | -0.479   | 0.809000015                    |
| 84          | 25/10/13   | 0.053764723 | 1.114    | 0        | 1.113999963                    |
| 63          | 11/05/14   | 0.055476889 | 1.183    | -0.095   | 1.277999967                    |
| 73          | 26/10/13   | 0.056113906 | 1.339    | -0.425   | 1.763999999                    |
| 85          | 31/03/14   | 0.057238415 | 0.429    | -0.255   | 0.683999985                    |
| 44          | 7/11/13    | 0.057259507 | 0.015    | -0.482   | 0.496999993                    |
| 40          | 22/10/13   | 0.057673614 | 0.115    | -0.399   | 0.513999991                    |
| 74          | 7/08/13    | 0.062418479 | 0.269    | -0.36    | 0.629000008                    |
| 36          | 18/02/14   | 0.062541917 | 0.35     | -0.592   | 0.942000002                    |

|    |          |             |        |        |             |
|----|----------|-------------|--------|--------|-------------|
| 34 | 8/11/13  | 0.062964804 | 0.263  | -0.227 | 0.490000001 |
| 75 | 11/04/14 | 0.064450316 | 0.329  | -0.081 | 0.409999996 |
| 43 | 30/01/14 | 0.066773012 | 0.209  | -0.292 | 0.501000002 |
| 32 | 17/02/14 | 0.067026921 | 0.43   | -0.085 | 0.515000008 |
| 25 | 23/08/13 | 0.075326964 | -0.039 | -0.398 | 0.359000001 |
| 23 | 3/05/14  | 0.051137604 | -0.042 | -0.597 | 0.555000003 |
| 35 | 22/04/15 | 0.056187283 | 0.395  | -0.3   | 0.695000023 |
| 86 | 22/04/15 | 0.06974075  | 0.48   | -0.218 | 0.697999984 |
| 46 | 22/04/15 | 0.07006909  | 0.192  | -0.533 | 0.724999994 |
| 26 | 22/04/15 | 0.051371537 | 0.642  | -0.193 | 0.835000023 |
| 20 | 22/04/15 | 0.047435965 | 0.649  | -0.253 | 0.90199998  |
| 76 | 23/04/15 | 0.034964889 | 0.597  | -0.376 | 0.97299999  |
| 68 | 23/04/15 | 0.036260288 | 0.793  | -0.228 | 1.020999983 |
| 87 | 22/04/15 | 0.041361213 | 0.592  | -0.551 | 1.143000007 |
| 67 | 22/04/15 | 0.041120268 | 0.592  | -0.551 | 1.143000007 |
| 5  | 22/04/15 | 0.052202817 | 0.197  | -0.966 | 1.163000017 |
| 37 | 22/04/15 | 0.061820298 | -0.523 | -1.705 | 1.182000041 |
| 24 | 23/04/15 | 0.057480976 | 1.403  | 0.091  | 1.311999999 |
| 45 | 22/04/15 | 0.050419137 | 1.035  | -0.392 | 1.426999956 |
| 10 | 22/04/15 | 0.052261371 | 0.869  | -0.591 | 1.460000038 |
| 88 | 23/04/15 | 0.048966676 | 0.662  | -1.014 | 1.676000059 |
| 38 | 23/04/15 | 0.047923386 | 1.248  | -0.632 | 1.880000055 |
| 28 | 22/04/15 | 0.037972134 | 0.731  | -1.241 | 1.972000062 |
| 77 | 22/04/15 | 0.05186893  | 1.024  | -0.989 | 2.013000071 |
| 89 | 22/04/15 | 0.054674059 | 1.208  | -0.859 | 2.066999972 |
| 42 | 23/04/15 | 0.044679336 | 1.736  | -0.352 | 2.087999994 |
| 27 | 22/04/15 | 0.031068165 | 0.634  | -1.584 | 2.217999995 |
| 78 | 22/04/15 | 0.030801985 | 0.776  | -1.467 | 2.243000031 |
| 11 | 22/04/15 | 0.032043092 | 1.572  | -0.78  | 2.351999998 |
| 49 | 22/04/15 | 0.03388872  | 0.987  | -1.483 | 2.470000029 |
| 7  | 22/04/15 | 0.038670819 | 2.099  | -0.706 | 2.804999948 |
| 54 | 22/04/15 | 0.045479681 | 1.058  | -2.002 | 3.060000062 |
| 29 | 22/04/15 | 0.04120389  | 1.841  | -1.979 | 3.819999933 |
| 61 | 22/04/15 | 0.042645525 | 1.406  | -0.83  | 2.236000001 |
| 31 | 22/04/15 | 0.032699633 | 1.038  | -1.43  | 2.467999935 |
| 58 | 22/04/15 | 0.060886394 | 0.255  | -0.279 | 0.534000009 |
| 14 | 22/04/15 | 0.061005939 | 0.302  | -0.216 | 0.517999992 |
| 57 | 22/04/15 | 0.059228066 | 0.219  | -0.623 | 0.842000023 |
| 19 | 22/04/15 | 0.051638052 | 0.471  | -0.193 | 0.66399999  |
| 41 | 22/04/15 | 0.043700311 | 0.799  | -1.35  | 2.149000049 |
| 62 | 22/04/15 | 0.043368321 | 0.196  | -0.929 | 1.125000015 |

|    |          |             |        |        |              |
|----|----------|-------------|--------|--------|--------------|
| 9  | 22/04/15 | 0.059064578 | 0.269  | -0.551 | 0.819999993  |
| 15 | 22/04/15 | 0.047078647 | 1.311  | -0.463 | 1.773999989  |
| 56 | 22/04/15 | 0.045981422 | 0.68   | -0.338 | 1.018000007  |
| 30 | 22/04/15 | 0.041198567 | 1.21   | -1.382 | 2.592000008  |
| 48 | 22/04/15 | 0.05599241  | 0.172  | -0.257 | 0.429000005  |
| 52 | 22/04/15 | 0.037493858 | 2.332  | 0.771  | 1.56099999   |
| 18 | 22/04/15 | 0.028796626 | -0.087 | -1.478 | 1.391000047  |
| 8  | 22/04/15 | 0.068523727 | 0.558  | -0.155 | 0.713000029  |
| 79 | 22/04/15 | 0.048154287 | 0.732  | -0.187 | 0.919        |
| 55 | 22/04/15 | 0.03727356  | 3.097  | 1.197  | 1.8999999857 |
| 13 | 22/04/15 | 0.059836596 | 0.325  | -0.297 | 0.621999979  |
| 90 | 23/04/15 | 0.052133784 | 0.226  | -0.573 | 0.799000001  |
| 21 | 23/04/15 | 0.042559404 | 1.111  | -0.11  | 1.220999941  |

## V. Lijst en tabel gebruikte meetpunten GM

| bestand nr | bestand naam                                                  |
|------------|---------------------------------------------------------------|
| 1          | CMA_CGM_Thalassa_20131109_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz               |
| 2          | CMA_CGM_Thalassa_20131109_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz         |
| 3          | CMA_CGM_Columba_20131104_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                |
| 4          | CMA_CGM_Andromeda_20131118_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                 |
| 5          | CMA_CGM_Andromeda_20140219_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz              |
| 6          | CMA_CGM_Laperouse_20140401_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                 |
| 7          | CMA_CGM_Laperouse_20140331_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz              |
| 8          | CMA_CGM_Laperouse_20140331_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                 |
| 9          | CMA_CGM_Laperouse_20140331_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz        |
| 10         | CMA_CGM_LA-ER64SE_20131022_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                 |
| 11         | CMA_CGM_Andromeda_20140219_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                 |
| 12         | CMA_CGM_Nevada_20140501_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                    |
| 13         | CMA_CGM_Nevada_20140501_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz           |
| 14         | CMA_CGM_Nevada_20140501_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                 |
| 15         | CMA_CGM_Nevada_bb_20140216_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                 |
| 16         | MSC_Beryl_20131026_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                      |
| 17         | MSC_Beryl_20140426_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                      |
| 18         | MSC_Beryl_20131026_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                         |
| 19         | MSC_Beryl_20140427_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                      |
| 20         | MSC_Beryl_20140427_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                         |
| 21         | MSC_Beryl_20131025_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                      |
| 22         | MSC_Beryl_20131025_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                         |
| 23         | MSC_Beryl_20140426_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                         |
| 24         | THALASSA_Pistis_20140409_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                   |
| 25         | THALASSA_Pistis_20140318_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz          |
| 26         | IRENA_20140311_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                             |
| 27         | THALASSA_Patris_20140410_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz          |
| 28         | THALASSA_Patris_20140410_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                   |
| 29         | THALASSA_Patris_20140410_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                |
| 30         | AL_Qible_20140319_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz                 |
| 31         | CSCL_Saturn_20140408_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                       |
| 32         | AL_Qible_20140319_RTK_ZAND_MU5s_F5Hz                          |
| 33         | AL_Qible_20140319_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                       |
| 34         | AIN_Snan_20140312_FFT_SCHEUR_MU20s_F5Hz                       |
| 35         | MSC_Beatrice_20140207_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz             |
| 36         | CSCL_Saturn_20140403_RTK_SCHEUR_MU10s_F5Hz                    |
| 37         | CMA_CGM_Amerigo_vespucci_20140430_RTK_BOCHT SCHEUR_MU10s_F5Hz |

|    |                                                              |
|----|--------------------------------------------------------------|
| 38 | AL_Riffa_20140202_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz               |
| 39 | MSC_Bettina_20140209_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz                  |
| 40 | AL_Riffa_20140201_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz                     |
| 41 | AL_Riffa_20140201_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                        |
| 42 | MSC_Bettina_20140511_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz                  |
| 43 | MSC_Bettina_20140511_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                     |
| 44 | MSC_Sonja_20140406_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz                    |
| 45 | CSCL_Jupiter_20140426_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                    |
| 46 | AL_Riffa_20140201_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz               |
| 47 | CMA_CGM_Magellan_20140415_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                |
| 48 | MSC_Beatrice_20140504_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                    |
| 49 | MSC_Beatrice_20140504_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz           |
| 50 | MSC_Beatrice_20140503_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz           |
| 51 | MSC_Bettina_20140210_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                     |
| 52 | MSC_Beatrice_20140503_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                    |
| 53 | MSC_Sonja_20140406_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                       |
| 54 | CSCL_Venus_20140411_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz             |
| 55 | MSC_Beatrice_20140503_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz                 |
| 56 | CSCL_Jupiter_20131108_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                    |
| 57 | CSCL_Venus_20140411_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz                      |
| 58 | MSC_Bettina_20130823_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz                  |
| 59 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20131106_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz       |
| 60 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140218_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz             |
| 61 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140218_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz    |
| 62 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140217_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz    |
| 63 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140217_RTK_SCHEUR _MU10s_F5Hz          |
| 64 | CMA_CGM_Marco_Polo_20130807_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz              |
| 65 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20140130_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz |
| 66 | CMA_CGM_Jules_Verne_20130903_RTK_BOCHT SCHEUR _MU10s_F5Hz    |
| 67 | CMA_CGM_Jules_Verne_20140217_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz             |
| 68 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20140130_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz          |
| 69 | CMA_CGM_A_Von_Humboldt_20131107_RTK_ZAND _MU5s_F5Hz          |

|         | Roll Max    | Roll Min | Lengte | Breedte | T    | B/T      | GM       |
|---------|-------------|----------|--------|---------|------|----------|----------|
| Bestand | [°]         | [°]      | [m]    | [m]     | [m]  | /        | m        |
| 1       | 1.057999969 | -2.002   | 347    | 45.2    | 13.4 | 3.373134 | 1.833573 |

|    |             |        |        |       |      |          |          |
|----|-------------|--------|--------|-------|------|----------|----------|
| 2  | 0.799000025 | -1.35  | 347    | 45.2  | 13.4 | 3.373134 | 1.692904 |
| 3  | 1.840999961 | -1.979 | 363.61 | 45.6  | 13.3 | 3.428571 | 1.554887 |
| 4  | 0.888999999 | -0.532 | 363.61 | 45.6  | 13.2 | 3.454545 | 1.79313  |
| 5  | 0.648999989 | -0.253 | 363.61 | 45.6  | 13.3 | 3.428571 | 2.06081  |
| 6  | 0.254000008 | -0.491 | 363.61 | 45.6  | 14.4 | 3.166667 | 2.104458 |
| 7  | 0.395000011 | -0.3   | 363.61 | 45.6  | 13.7 | 3.328467 | 2.724963 |
| 8  | 0.42899999  | -0.255 | 363.61 | 45.6  | 13.7 | 3.328467 | 2.827872 |
| 9  | 0.470999986 | -0.193 | 363.61 | 45.6  | 13.7 | 3.328467 | 2.301571 |
| 10 | 0.115000002 | -0.399 | 363.61 | 45.6  | 13.4 | 3.402985 | 3.001031 |
| 11 | 0.381999999 | -0.091 | 363.61 | 45.6  | 13.3 | 3.428571 | 2.023616 |
| 12 | 0.787       | -0.184 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 3.8552   | 3.165847 |
| 13 | 0.731999993 | -0.187 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 3.8552   | 2.685096 |
| 14 | 0.642000002 | -0.193 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 3.8552   | 3.055871 |
| 15 | 1.182000041 | -0.509 | 366.14 | 48.19 | 12.5 | 3.8552   | 2.662197 |
| 16 | 1.207999945 | -0.859 | 365.8  | 48.4  | 12.5 | 3.872    | 3.49164  |
| 17 | 1.248000026 | -0.632 | 365.8  | 48.4  | 14.3 | 3.384615 | 2.049792 |
| 18 | 1.338999987 | -0.425 | 365.8  | 48.4  | 12.5 | 3.872    | 3.677967 |
| 19 | 0.662       | -1.014 | 365.8  | 48.4  | 13.6 | 3.558824 | 2.365975 |
| 20 | 0.58099997  | -0.938 | 365.8  | 48.4  | 13.6 | 3.558824 | 2.254589 |
| 21 | 1.402999997 | 0.091  | 365.8  | 48.4  | 13   | 3.723077 | 3.568193 |
| 22 | 1.113999963 | 0      | 365.8  | 48.4  | 13   | 3.723077 | 3.121727 |
| 23 | 0.699999988 | -0.324 | 365.8  | 48.4  | 14.3 | 3.384615 | 1.78829  |
| 24 | 0.246999994 | -1.058 | 368.47 | 51    | 13.7 | 3.722628 | 2.498592 |



|    |             |        |        |       |       |          |          |
|----|-------------|--------|--------|-------|-------|----------|----------|
| 25 | 1.110999942 | -0.11  | 368.47 | 51    | 15    | 3.4      | 1.631342 |
| 26 | 0.330000013 | -0.479 | 366.07 | 51    | 13.6  | 3.75     | 3.161747 |
| 27 | 1.31099999  | -0.463 | 368.47 | 51.06 | 14.5  | 3.521379 | 2.141261 |
| 28 | 0.790000021 | -0.64  | 368.47 | 51.06 | 14.5  | 3.521379 | 1.878698 |
| 29 | 1.034999967 | -0.392 | 368.47 | 51.06 | 14.5  | 3.521379 | 2.45591  |
| 30 | 1.406000018 | -0.83  | 366    | 51.2  | 14.4  | 3.555556 | 1.791257 |
| 31 | 0.875       | -1.256 | 366.07 | 51.2  | 14.3  | 3.58042  | 1.60353  |
| 32 | 1.202000022 | -0.471 | 366    | 51.2  | 14.4  | 3.555556 | 2.05855  |
| 33 | 0.592000008 | -0.551 | 366    | 51.2  | 14.4  | 3.555556 | 1.665417 |
| 34 | 0.592000008 | -0.551 | 366    | 51.2  | 14.4  | 3.555556 | 1.684991 |
| 35 | 0.195999995 | -0.929 | 366.07 | 51.2  | 14.2  | 3.605634 | 1.905042 |
| 36 | 0.192000002 | -0.533 | 366.07 | 51.2  | 11.6  | 4.413793 | 7.452002 |
| 37 | 0.172000006 | -0.257 | 365.5  | 51.2  | 13.45 | 3.806691 | 3.539564 |
| 38 | 1.210000038 | -1.382 | 366.04 | 51.2  | 14.7  | 3.482993 | 1.604226 |
| 39 | 1.735999942 | -0.352 | 366.07 | 51.2  | 15.2  | 3.368421 | 1.764665 |
| 40 | 1.024000049 | -0.989 | 366.04 | 51.2  | 12.3  | 4.162602 | 3.631954 |
| 41 | 0.773000002 | -0.809 | 366.04 | 51.2  | 12.3  | 4.162602 | 3.277221 |
| 42 | 0.869000018 | -0.591 | 366.07 | 51.2  | 13.5  | 3.792593 | 3.060766 |
| 43 | 1.182999969 | -0.095 | 366.07 | 51.2  | 13.5  | 3.792593 | 3.448996 |
| 44 | 0.196999997 | -0.966 | 365.5  | 51.2  | 14.5  | 3.531035 | 2.647207 |
| 45 | 0.736000001 | -0.323 | 366.07 | 51.2  | 13.6  | 3.764706 | 2.862059 |
| 46 | 0.680000007 | -0.338 | 366.04 | 51.2  | 12.3  | 4.162602 | 2.854241 |
| 47 | 0.483000001 | -0.519 | 365.5  | 51.2  | 13.9  | 3.683453 | 2.710821 |

|    |             |        |        |      |       |          |          |
|----|-------------|--------|--------|------|-------|----------|----------|
| 48 | 0.437999994 | -0.535 | 366.07 | 51.2 | 13.65 | 3.750916 | 2.089761 |
| 49 | 0.268999994 | -0.551 | 366.07 | 51.2 | 13.65 | 3.750916 | 3.824062 |
| 50 | 0.225999996 | -0.573 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 3.531035 | 2.64021  |
| 51 | 0.324000001 | -0.361 | 366.07 | 51.2 | 14.3  | 3.58042  | 2.054445 |
| 52 | 0.211999997 | -0.461 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 3.531035 | 2.669212 |
| 53 | 0.131999999 | -0.528 | 365.5  | 51.2 | 14.5  | 3.531035 | 2.185398 |
| 54 | 0.324999988 | -0.297 | 366.07 | 51.2 | 12.2  | 4.196721 | 4.913038 |
| 55 | -0.042      | -0.597 | 366.07 | 51.2 | 14.5  | 3.531035 | 2.540275 |
| 56 | 0.263000011 | -0.227 | 366.07 | 51.2 | 11.1  | 4.612613 | 6.571821 |
| 57 | 0.328999996 | -0.081 | 366.07 | 51.2 | 12.2  | 4.196721 | 5.69989  |
| 58 | -0.039      | -0.398 | 366.07 | 51.2 | 10.4  | 4.923077 | 10.71446 |
| 59 | -0.523      | -1.705 | 396    | 53.6 | 13.5  | 3.97037  | 4.693754 |
| 60 | 0.349999994 | -0.592 | 396    | 53.6 | 12.9  | 4.155039 | 5.261246 |
| 61 | 0.218999997 | -0.623 | 396    | 53.6 | 12.9  | 4.155039 | 4.718472 |
| 62 | 0.558000028 | -0.155 | 396    | 53.6 | 12.2  | 4.393443 | 7.061353 |
| 63 | 0.479999989 | -0.218 | 396    | 53.6 | 12.2  | 4.393443 | 7.314409 |
| 64 | 0.268999994 | -0.36  | 396    | 53.6 | 13    | 4.123077 | 5.160185 |
| 65 | 0.254999995 | -0.279 | 396    | 53.6 | 11.6  | 4.620689 | 6.166662 |
| 66 | 0.301999986 | -0.216 | 396    | 53.6 | 12    | 4.466667 | 5.785053 |
| 67 | 0.430000007 | -0.085 | 396    | 53.6 | 12.2  | 4.393443 | 6.756232 |
| 68 | 0.209000006 | -0.292 | 396    | 53.6 | 11.6  | 4.620689 | 7.416715 |
| 69 | 0.015       | -0.482 | 396    | 53.6 | 14    | 3.828571 | 3.74425  |