COMFORT OP DRIJVENDE EILANDEN

Een onderzoek naar de comfortaspecten op drijvende eilanden en een model toetsing aan de opgestelde comforteisen

Auteurs: R. Trentelman en R. de Vries
School: Hogeschool van Arnhem en Nijmegen
Begeleiders: C. van der Giessen en E. Rob
Bedrijf: Blue21
Begeleidster: Ir. K. Czapiewska
Datum: 24 mei 2018

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie ‘Comfort op drijvende eilanden’. Het is het sluitstuk van een half jaar durende afstudeerperiode bij Blue21. Daarnaast is het een afsluiting van onze HBO-studie Civiele Techniek aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen. Samen met het adviesteam van Blue21 hebben wij antwoord gevonden op onze centrale vraag. Gezien de complexiteit van dit onderwerp, willen wij graag de experts bedanken voor hun ondersteuning en kennisdeling. Ook willen wij graag onze begeleiders vanuit school, C. van der Giessen en E. Rob, bedanken voor hun ondersteuning tijdens dit traject. Verder was de afronding niet mogelijk geweest zonder vrienden en familie die voor de nodige motivatie zorgden. Ook hebben wij veel steun aan elkaar gehad, waarbij wij veel over onszelf te weten zijn gekomen tijdens dit afstudeeronderzoek. In het bijzonder willen wij ook onze vaste begeleidster van Blue21, K. Czapiewska, bedanken voor haar enthousiasme, professionaliteit en kritische kijk op onze scriptie. Wij wensen u verder veel leesplezier!

Roëlle Trentelman en Rutger de Vries,

Doesburg, 22 mei 2018

Samenvatting

Inleiding
Wereldwijd ontstaan ruimteproblemen in de deltasteden door onder andere zeespiegelstijging, toenemende migratie en klimaatverandering. Ook in het dichtbevolkte Nederland is hier sprake van, maar liefst 59% is gevoelig voor overstromingen. Hedendaagse methoden om dit tegen te gaan zijn op een dag misschien niet meer genoeg. Vanwege de ruimteproblemen is een nieuwe innovatie op gang gekomen: het bouwen op water. Blue21 is één van de bedrijven die werkt aan deze ontwikkeling. Het concept 'drijvende eilanden' is nieuw en daarom liggen er nog veel vraagstukken open. Dit afstudeeronderzoek richt zich op de vraagstukken op het gebied van comfort.

Het onderzoek omvat het in kaart brengen van diverse factoren die invloed hebben op het comfort op drijvende eilanden. Op basis van deze factoren is een inschatting gemaakt van eisen die gesteld kunnen worden aan het toekomstige ontwerp voor een drijvend eiland.

Methode
Het onderzoek is uitgevoerd door middel van deskresearch en exploratief onderzoek. Tijdens het deskresearch zijn diverse bronnen over comfort op schepen geraadpleegd en zijn de al verzamelde gegevens van Blue21 geanalyseerd. Er is sprake geweest van exploratief onderzoek, aangezien er van tevoren geen gericht eindresultaat in zicht was. Het onderzoek bestaat uit twee delen: een theoretisch deel en een toetsing. In het theoretisch deel worden de factoren van comfort bepaald. Op basis hiervan worden in het tweede deel suggesties voor eisen opgesteld, waaraan een model getoetst wordt.

Resultaat
De factoren die bijdragen aan comfortabel leven op een drijvend eiland zijn: frequenties van golven, versnelling en hellingshoeken. Aan deze factoren zijn door het bekijken en vergelijken van bestaande onderzoeken verschillende eisen opgesteld. Deze eisen dienen als richtlijn voor toekomstige ontwerpen. Voor frequenties tussen de 0,1 en 2 Hz geldt het volgende: de versnelling die mag plaatsvinden moet onder de 0,15m/s^2 blijven. In deze frequentiereeks bestaat namelijk een grote kans dat zeeziekte optreedt. Op drijvende eilanden is het de bedoeling dat zeeziekte voorkomen wordt. Voor een frequentie van 0,1 Hz en lager, is een maximale versnelling van 0,7 m/s^2 acceptabel. Bij een frequentie van 0,7 m/s2 kan 99% van de mensen nog blijven staan zonder steun nodig te hebben. Tot slot is voor een frequentie van 2 Hz of hoger een versnelling lager dan 0,14 m/s^2 acceptabel om op lange termijn fysieke klachten te voorkomen.

De laatste factor die wordt besproken in dit onderzoek is de hellingshoek. De geschikte maximale hellingshoek, waarbij in dagelijks leven nog goed gefunctioneerd kan worden, is onderzocht door middel van een experiment. In dit experiment is getest wanneer objecten gaan glijden. Daarnaast is literatuuronderzoek verricht. Op basis hiervan is de voorkomende eis van een maximale helling van 2,0 graden opgesteld. Bij hogere waarden kan de veiligheid in het geding komen of een gevoel van onveiligheid optreden.

De eisen zijn vervolgens getoetst aan een modeltest van MARIN. Hieruit bleek dat het model wat nu voor handen is, aan de eisen voldoet. Tijdens de modeltest is getoetst op drie verschillende golfhoogtes. Bij toetsing aan de opgestelde eisen bleek dat de versnellingen van het platform tijdens alle golfcondities voldeden. De golven van 7,65 meter toonde een significant hogere versnelling dan de golven van 3,75 meter. Deze golfconditie had echter een andere periode waardoor hier de eis van 0,7 m/s^2 van toepassing was.

Aanbeveling
Het word aanbevolen om de vier eisen te volgen voor toekomstige ontwerpen. Dit zijn de volgende eisen op het gebied van comfort:

- Tussen de frequentiereeks van 0,1 tot 1 Hz mag de maximale versnelling niet boven de 0,15 m/s^2 komen.
- Bij frequenties lager dan 0,1 Hz is de maximale versnelling 0,7 m/s^2.
- Bij frequenties hoger dan 1 Hz mag de maximale versnelling niet boven de 0,14 m/s^2 komen.
- De hellingshoek op het platform moet minder dan 2,0 graden bedragen.

Dit onderzoek is gedaan op basis van de aanname dat de bewegingen van de golven 1 op 1 worden overgenomen door het platform. Dit betekend dat het platform daardoor dezelfde frequentie van bewegen heeft als de golven. Het zou echter mogelijk kunnen zijn dat de platformen in de praktijk niet precies dezelfde frequentie hebben, verder onderzoek zou dit uit moeten wijzen. Ook wordt het aangeraden om vervolgonderzoek te doen naar de overschrijdingskansen van de eisen.
Daarnaast zal er goed gekeken moeten worden naar de plaatsing van verschillende functies op het eiland. Ondanks het feit dat er nog veel stappen te gaan zijn voordat er drijvende steden over de zee bewegen, is het zeker niet uitgesloten dat er over enkele decennia groepen mensen op zee gaan leven.

Summary

Introduction
This thesis is aimed at researching the challenges involved with the realisation of floating islands. Around the world spatial challenges arise, due to climate change, increased migration to coastal areas and a rising sea level. Because current measures to fight this problem, might not be sufficient in the future. Companies like Blue21 are working hard on developing floating structures at sea to alleviate these problems. The concept of floating islands is relatively new and therefor a lot of factors concerning these structures are still unknown. The research "comfort on floating islands" is part of the exploration of methods that serve to facilitate the realisation of these floating islands.

The scope of this research embodies finding out the different factors that influence the comfort on floating islands. Using these factors, an estimation is made as to what requirements could be set for the design of the floating islands.

Method
The research is conducted based on desk research (which encompasses looking at several sources that are related to comfort on ships and collected data from Blue21) and explorative research, the latter because at the start of the project the end result was not clear. This was caused by the initial lack of information about the subject. The research has been divided into two parts: the first part is purely theoretical, and the second part encompasses an analysis of the model used by MARIN. The first part encloses the assessment of the factors that influence comfort, and the requirements that result from these factors. In the second part, the data from the test conducted by MARIN is evaluated with regards to the requirements that are determined in part one.

Results
The factors that contribute to a comfortable living situation on a floating island are wave frequencies, acceleration and angle of inclination. Based on observing and comparing existing research, requirements have been linked to these factors. These requirements will serve as a future guideline for design of floating islands. For frequencies between 0.1 and 2 Hz the requirement is that the acceleration should remain under $0.15 m/s^2$. The reasoning behind this requirement is that the described frequency range has a high chance of sea sickness occurrence. On the floating islands the aim is to minimize the risk of sea sickness. For frequencies below 0.1 Hz the exceedance boundary is $0.7 m/s^2$. At these frequencies the main factor is safety, and therefor this boundary ensures that 99% of the population is able to maintain balance without feeling the need for support. For frequencies higher than 2 Hz, the exceedance boundary has been set to $0.14 m/s^2$: this is to eliminate long-term physical damage.

In order to find a suitable angle of inclination, which ensures safety and comfort on a daily basis, an experiment was conducted to determine at which angle objects start sliding. Due to the large discrepancy of the results, the eventual requirement has been based on the most occurring angle in existing literature in marine design being 2.0 degrees. When this requirement is exceeded, the safety on board of the floating islands could be compromised and it could lead to a feeling of insecurity.

The requirements as described in the paragraph above, have been used to evaluate the model as tested by MARIN. This revealed that the current model would suffice with regard to the requirements stated in this research. The MARIN test has been conducted with three different wave heights. In these tests it was apparent that the platform experienced significantly higher accelerations at 7.65 m waves when compared to the waves of 3.75 m. This raises the question what the acceptable frequency would be for the occurrence of sea sickness (how many times per year would a x percentage of the population be allowed to suffer from sea sickness) in order for it to remain acceptable.

Recommendation
This research recommends 4 requirements for the future construction of floating islands, based on the comfort and safety on board. The requirements are:

- The maximum acceleration within the 0.1 to 1 Hz frequency range is 0.15 m/s^2
- For frequencies lower than 0.1 Hz, the maximum acceleration is 0.7 m/s^2
- For frequencies higher than 1 Hz, the maximum acceleration is 0.14 m/s^2
- The maximum angle of inclination for the platform must remain under 2.0 degrees

This research has been conducted based on the assumption that the platform has the same motion frequency as the waves. In practice however, this might not hold true. It could be possible that the motion frequency of the platforms differs from that of the waves. Additional research is required to provide clarity on this subject. Furthermore an investigation into exceedance frequencies of acceptable maximum acceleration and angle of inclination would be advised.
Also the placement of different functions on the floating island must be reconsidered. Despite the fact that a lot of supplementary research will be needed before floating islands will become a reality, it is certainly not impossible that people will live at sea in a few decades.

Inhoud

Voorwoord 2
Samenvatting 3
Summary 5
Figuren 9
Tabellen & Grafieken 10
Begrippenlijst 11
1 Inleiding 13
1.1 Aanleiding 13
1.2 Methode 14
1.3 Afbakening 17
1.4 Leeswijzer 17
2 Probleemformulering 18
3 Comfort 20
3.1 Gevoelscomfort 20
3.1.1 Zeeziekte 20
3.1.2 Lichamelijke stress (hoogfrequente trillingen) 22
3.2 Praktisch comfort 22
3.2.1 Materiaal 22
3.2.2 Materieel 23
3.3 Conclusie theoretisch deel 23
4 Vaststellen eisen met betrekking tot comfort 24
4.1 Trillingen 24
4.1.1 Laagfrequente trillingen (zeeziekte) 24
4.1.2 Extreem laag frequente trillingen 26
4.1.3 Hoogfrequente trillingen (lichamelijke stress) 26
4.2 Hellingshoek 26
4.3 Gewenning 26
4.4 Conclusie eisen met betrekking tot comfort 27
5 Toetsing van testmodel 28
5.1 Uitgangspunten voor analyse testmodel 28
5.2 Methode analyse testmodel 28
5.3 Testen van de eisen 29
5.4 Resultaten 30
5.5 Conclusie toetsing 32
6 Conclusie 33

7 Discussie en aanbevelingen 35
8 Bronnen 37
9 Nawoord 39

Figuren

Figuren

Figuur 1 Conceptueel model 15
Figuur 2 ISO 2631-3 "Severe discomfort boundaries", vertical vibration. 21
Figuur 3 Frequentie-intervallen..... 24
Figuur 4 MSI bij verschillende acceleraties (bron: (KANDA,1977)) 25
Figuur 5 Meetpunten model 28
Figuur 6 Overschrijding vrijboord (O.Waals, 2018) 30

Tabellen & Grafieken

Tabellen

Tabel 1: Eisen aan versnelling 27
Tabel 2: Eisen aan roll/pitch-beweging 27
Tabel 3 Testcondities 29
Tabel 4 Toetsing op versnelling 30
Tabel 5 Toetsing op hellingshoek 31

Grafieken

Grafiek 1 Golfverdeling area 11 29

Begrippenlijst

Bewegingsziekte: Gevoel van malaise veroorzaakt door het onvermogen van mensen op een bewegend object om zich te oriënteren ten opzichte van de omgeving.

Comfort: Een gevoel van gemak en bevrediging van lichamelijke behoeften, geheel vrij van pijn of angst.

Deckwetness: Aanduiding voor het verschijnsel waarbij door verschillende oorzaken water op het dek van een drijvend object komt.

Drijvend Eiland: Hieronder wordt verstaan een drijvend platform van aanzienlijke grootte met als voornaamste doel het herbergen van mensen voor werk en wonen.

Gevoelscomfort: Comfort gedefinieerd als het subjectieve comfort zoals dat ervaren wordt door de mensen die aan een specifieke situatie blootgesteld worden.

Frequentie: Maat voor periodiek bewegen, in dit verslag vaak geduid met de eenheid Hertz (Hz).

Heave: Op en neer gaande beweging van een schip over de Z-as.

Hoogfrequente trilling: Trilling met een frequentie groter dan 1 Hz.

Laagfrequente trilling: Trilling met een frequentie kleiner dan 1 Hz.

Lichamelijke stress: Toestand die in een organisme kan ontstaan onder invloed van belastende omgevingsfactoren.

MSI (motion sickness index): Standaardindicatie voor hoeveelheid zeeziekte uitgedrukt in een percentage. Wordt berekend door:

$$\frac{\text{Aantal personen met zeeziekteverschijnselen}}{\text{Totaal aantal personen}}$$

Zie ook VI

Pitch: Kantelbeweging van een schip rond de dwars-as van het schip.

Praktisch comfort: Comfort gedefinieerd als het ongehinderd uit kunnen voeren van dagelijkse taken en werkzaamheden. Dit houdt dus in dat machines moeten blijven werken en er geen fysieke hinder moet ontstaan voor de persoon die de werkzaamheden uitvoert. Tevens mogen er geen onveilige situaties ontstaan voor de aanwezige personen.

RAO: Afkorting van Response Amplitude Operator. Dit is een statistiek die gebruikt wordt om de beweging van een schip op zee te voorspellen.

RMS: Afkorting van Root-Mean-Square. Dit valt te vertalen naar wortel uit het gemiddelde van alle kwadraten.

Roll: Kantelbeweging van een schip rond de lengte-as van het schip.

Versnelling: Het toenemen van een object of beweging in snelheid, vaak geduid in meter per seconde kwadraat (m/s^2).

VI (Vomiting index): Hetzelfde als de MSI, maar hier worden zeeziekteverschijnselen gedefinieerd als braken. Zie ook MSI.

Vrijboord: Dit is de verticale afstand tussen de waterlijn van het schip (of drijvende constructie) tot aan het dek.

Zeeziekte: Het zich onwel voelen op een bewegend schip ten gevolge van het ontregeld geraken van het evenwichtsorgaan.

1 Inleiding

In dichtbevolkte landen zoals Nederland is de grond schaars, waardoor de behoefte ontstaan is voor uitbreiding van bruikbaar oppervlak. Daarbij is door een toename in verstedelijking de ruimtelijke kwaliteit en ontwikkeling van de gebieden rond de deltasteden afgenomen. In de deltasteden zorgt niet alleen verstedelijking voor een toename in kwetsbaarheid voor overstromingen, ook het water speelt een belangrijke rol. Door klimaatverandering en landschaarste zou het leven op water een uitkomst bieden tegen deze problemen. Blue21 houdt zich bezig met het onderzoeken en ontwikkelen van drijvende verstedelijking op zee. Op het moment wordt er veel onderzoek gedaan naar de meest geschikte vormen, configuraties, verbindingen en ook de leefbaarheid en gebruiksvriendelijkheid van drijvende platformen voor op zee. Eén van de relevante onderzoeksthema's is het comfort van de gebruikers/bewoners. Hier is in dit afstudeerwerk een eerste aanzet toe gedaan.

Blue21

Blue21 is een adviesbureau dat vier verschillende diensten verstrekt op het gebied van The Future On Water. Aan de hand van de vier kernwaarden worden deze diensten uitgelegd. "We build on water": ze werken ideeën uit tot concrete concepten waarbij ze partners zoeken voor samenwerking. "We build strong partnerships": het wereldje van drijvende projecten is niet al te uitgebreid. Er is veel kennis en ervaring nodig uit verschillende werkvelden. Daarom werkt Blue21 samen met internationale partners om deze informatie te vergaren. Daarbij zorgen ze voor wereldwijde bewustwording van de ontwikkeling op het gebied van drijvende eilanden onder het motto: "We create awareness". Als laatste doet Blue21 veel onderzoek naar innovatieve technieken, legalisatie en beleidsproblemen waardoor drijvende eilanden in de toekomst ontwikkeld kunnen worden. Dit wordt samengevat onder "We do research". Het onderzoek "Comfort op drijvende eilanden" zal ook bijdragen aan het kunnen ontwikkelen van drijvende eilanden in de toekomst.

Visie

Bij het opstellen van de eisen met betrekking tot het comfort wordt er vanuit een bepaalde visie naar de beschikbare data gekeken. Het streven is om mensen bewust te maken dat leven op zee ook een mogelijkheid kan worden. Dit kan misschien een oplossing bieden voor de landschaarste in de deltasteden. Om mensen te bewegen om die stap te maken, is een hoge mate van sociale acceptatie gewenst. Om dit te bereiken zal er dan ook gestreefd moeten worden naar het verlagen van de drempel tussen het leven op land en het leven op zee. Dit kan bereikt worden door het verschil tussen het leven op land en het leven op zee zo klein mogelijk te maken, bijvoorbeeld door middel van de eisen aan comfort zeer hoog te maken. De afweging die hier gemaakt moet worden is de mate van strenge eisen voor veiligheid en comfort tegenover de kosten van realisatie.

1.1 Aanleiding

Door de eerdergenoemde oorzaken is er animo ontstaan om nieuwe innovaties te ontwikkelen met betrekking tot de ontplooiing van steden. Middels het ontwikkelen van drijvende eilanden is er in potentie veel winst te behalen met betrekking tot flexibiliteit en duurzaamheid. Daarnaast vergroten deze eilanden het bruikbaar oppervlak van de stad. Doordat er echter nog veel onderzoek nodig is naar alle details voordat de realisatie van deze drijvende eilanden nabij is, zal ook het uitzoeken van het comfort op drijvende eilanden weer een stap in de goede richting zijn. Dit onderzoek draagt bij aan de informatiewinning om in de toekomst meer praktische onderzoeken te gaan verrichten die te maken hebben met stabiliteit.

1.2 Methode

Ieder onderzoek gebruikt een bepaalde aanpak om te komen tot het doel. Het doel staat in hoofdstuk 2 beschreven. Om dit doel te bereiken is de volgende methode gehanteerd.

Type onderzoek

Bij het uitvoeren van dit onderzoek is gebruik gemaakt van deskresearch. Veel informatie om de benodigde theoretische kennis te verkrijgen is opgezocht in bestaande literatuur. Daarbij zijn veel bronnen gebruikt waarin experimenten zijn gedaan op dit gebied, maar waarvan de kennis nog niet is toegepast voor het concept van drijvende eilanden. Naast deskresearch kan dit onderzoek ook onder exploratief onderzoek worden geschoven. Dit onderzoek was vooral verkennend van aard. Er was aan het begin nog geen resultaat in te schatten, waardoor ook de richting van het onderzoek pas gaandeweg duidelijker werd. Er is hierbij een theoretisch deel opgezet waarna een casus is getoetst om op basis van dat resultaat conclusies te kunnen beschrijven. Omdat er geen variabelen zijn gemeten en vooral data en informatie is geanalyseerd was dit onderzoek kwalitatief van aard.

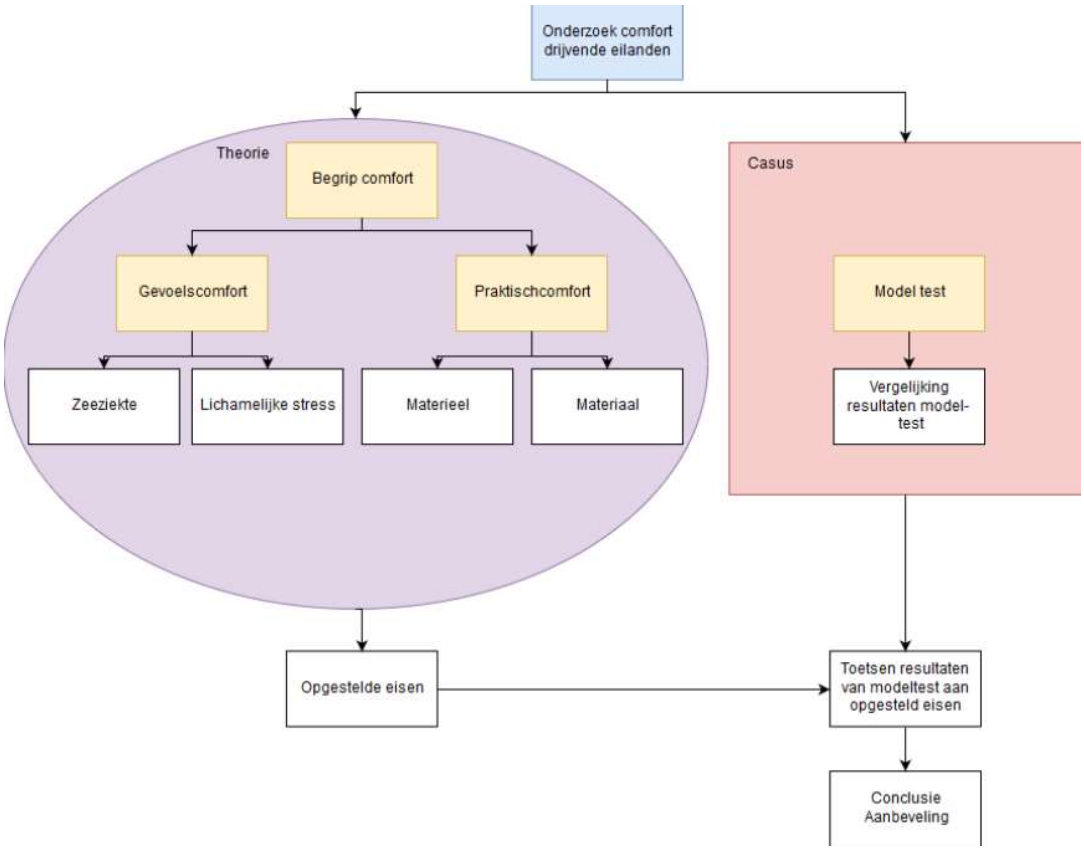
Instrumenten en materialen

Tijdens dit onderzoek is gebruikt gemaakt van diverse materialen en gegevens. Ten eerste zijn er veel bronnen gebruikt om de informatie te vergaren over dit onderwerp. Deze bronnen varieerden van boeken, internetbronnen tot interviews. Als tweede is tijdens het experiment dat in Bijlage B beschreven is gebruikt gemaakt van een aantal materialen:

- Multiplex plaat (hout)
- Glazen met diverse afmetingen
- Geodriehoek

Ook is er tijdens het opstellen van de casus gebruikt gemaakt van een testmodel van MARIN voor het vergelijken van de resultaten.

Procedure



Figuur 1 Conceptueel model

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is een flowchart opgenomen van het conceptueel model van het onderzoek. Het onderzoek is uiteindelijk opgesplitst in twee delen: een theoretisch deel en een casus deel.

Om het doel te bereiken zijn in het theoretisch deel veel bronnen onderzocht. Deze bronnen hadden voornamelijk te maken met comfort op schepen en drijvende constructies. Daarbij bleek dat het begrip comfort een complex begrip was dat in het geval van dit onderzoek uitgesplitst moest worden naar praktisch en gevoelscomfort.

Deze twee onderdelen zijn vervolgens bestudeerd en de informatie die verzameld was, is geplaatst onder één van deze twee kenmerken van comfort. Voor het deel van praktische comfort is er nog een experiment gedaan om daar resultaten van te krijgen in de hoop dat het meer kennis op zou leveren. Aan de hand van al deze informatie en het experiment zijn er vervolgens eisen opgesteld. Hierbij is de visie van Blue21 zoveel mogelijk voor ogen gehouden en is gekeken naar de maximale grenzen die gesteld konden worden.

Vervolgens is in het tweede deel een casus opgesteld met een modeltest van MARIN, waarin het model getest werd op bewegingen als gevolg van de golven op zee. Bij de casus zijn eerst alle gegevens geanalyseerd om te kijken of er gegevens bij zaten die gebruikt konden worden tijdens dit onderzoek. Er is dan ook voornamelijk gekeken naar de frequenties en de versnellingen van de bewegingen. Daarna is er door de resultaten te vergelijken met de opgestelde eisen vanuit het eerste deel een observatie met een toetsing gedaan om te zien of de eisen in de goede richting zaten.

Nadat alle resultaten getoetst waren is er een conclusie geschreven op basis van de geobserveerde resultaten. Daarnaast zijn er tijdens dit onderzoek veel nieuwe vragen bij gekomen die zijn verwerkt in de aanbevelingen voor eventuele vervolgonderzoeken.

Data-analyse
Bij het analyseren van de data en bronnen is zorgvuldig gekeken naar de betrouwbaarheid van deze gegevens. Voor het analyseren van de informatie over comfort is voornamelijk gebruikt gemaakt van tabellen en grafieken. Er zijn verschillende standaarden vergeleken met elkaar en daarbij zijn frequentiebandbreedtes opgesteld voor de eisen. Het golfspectrum dat werd gebruikt is van de Noordzee. Voor het interview dat is gedaan en is gebruikt om meer kennis over het onderwerp te vergaren, waren twee experts van Royal IHC benaderd. (Zie Bijlage F voor transscript.)

1.3 Afbakening

De zee heeft een breed golfspectrum waarbij geen één golf precies hetzelfde is. In Bijlage A zijn de variaties aan golven uiteengezet, waarbij een verdeling is gemaakt aan de hand van de periode. Er wordt alleen gebruik gemaakt van gegevens van de korte golf en deininggolf.

Comfort is over het algemeen een moeilijk definieerbaar begrip. Door het woordenboek wordt de volgende definitie toegekend aan comfort: “Een gevoel van gemak en bevrediging van lichamelijke behoeften, geheel vrij van pijn of angst” (Encyclo, 2018). Dit betekent dat er zonder enige vorm van hinder je alle taken van het dagelijks leven moet kunnen uitvoeren. Deze betekenis wordt gehanteerd tijdens dit onderzoek waarbij alleen een onderscheid wordt gemaakt in praktisch comfort en gevoelscomfort.

Het onderzoek beperkt zich tot het analyseren van versnellingen en frequenties van beweging met betrekking tot zeeziekte.

Voor schepen is er een 3-assenstelsel opgezet om de beweging ervan te omschrijven. Voor dit 3-dimensionale assenstelsel met 6 graden van vrijheid zullen alleen de heave- en pitch beweging worden geanalyseerd omdat deze de meeste invloed hebben op zeeziekte en dus het comfort. Voor de uitleg hiervan wordt verwezen naar Bijlage A paragraaf 1.4.

Er worden geen numerieke berekeningen gedaan tijdens dit onderzoek. De bestaande modeltest van MARIN die dit jaar is uitgevoerd, wordt geanalyseerd om de eisen mee te vergelijken.

Bij het opstellen van de eisen wordt er naast de technische aspecten gekeken naar de visie van bewoning/werken waarbij wonen de hoofdactie is die zonder gebreken uitgevoerd moet kunnen worden.

1.4 Leeswijzer

Om een goed beeld te krijgen van de scriptieopbouw is in deze leeswijzer per hoofdstuk een korte samenvatting geschreven over wat daarin te vinden is.

- Hoofdstuk 2 Probleemformulering: In dit hoofdstuk is de achtergrond beschreven waardoor het probleem is ontstaan voor dit onderzoek. Vervolgens is er aan de hand van de probleemstelling ook een doel geformuleerd voor dit onderzoek.
- Hoofdstuk 3 Comfort: In deze uiteenzetting van informatie over comfort wordt duidelijk gemaakt hoe dit begrip gehanteerd wordt in dit onderzoek. Daarbij wordt ook duidelijk welke variabelen belangrijk geacht worden om eisen voor op te stellen.
- Hoofdstuk 4 Vaststellen eisen met betrekking tot comfort: In dit hoofdstuk wordt alle verzamelde informatie gebruikt voor het opstellen van eisen aan comfort voor de drijvende eilanden.
- Hoofdstuk 5 Toetsing van testmodel: Hierin wordt de casus van de modeltest die gebruikt is voor het toetsen van de eisen geheel uitgelegd. De uitleg van de modeltest wordt besproken met daarbij ook de resultaten van de toetsing.
- Hoofdstuk 6 Conclusie: De eindconclusie van het onderzoek wordt besproken.
- Hoofdstuk 7 Aanbevelingen en Discussie: De verbeterpunten en nieuwe opgekomen vragen voor vervolgonderzoeken komen hier ter sprake.

2 Probleemformulering

Nederland is een dichtbevolkt land. De laatste jaren zijn er steeds meer mensen bijgekomen door toename van migratie en vluchtelingen. Al deze mensen hebben een plek nodig om te wonen. Nederland wordt steeds meer beperkt in de hoeveelheid bewoonbaar oppervlak. De bevolking concentreert zich steeds meer in de stedelijke zones en met name in de deltagebieden. De kwetsbaarheid van deze gebieden neemt hierdoor toe. Nederland krijgt steeds meer te kampen met water vanuit de rivieren en de zee, en het gebrek aan ruimte leidt tot hoge vastgoedprijzen en veel problemen rondom mobiliteit (Urgenda, 2008).

Nederland ligt voor 26% onder NAP. Hierbij is 59% van het land gevoelig voor overstromingen (Planbureau voor de Leefomgeving, 2007). Overstromingen gebeuren zelden omdat Nederland goed beschermd ligt achter de circa 3767 km aan primaire waterkering (LOLA Landscape Archictects, 2014). De primaire kering beschermt Nederland tegen overstromingen vanuit de grote rivieren, het IJsselmeer, het Markermeer en de zee, evenals de regionale waterkeringen die er zijn om bescherming te bieden tegen de binnenwateren. Door de wereldwijde klimaatveranderingen krijgt Nederland steeds meer problemen met de waterberging en afvoer richting de zee. Veel maatregelen die traditioneel worden ondernomen om deze problemen te voorkomen zijn dijkversterking, uiterwaardverlaging of ander rivier verruimende maatregelen. Deze maatregelen zullen alleen in de toekomst niet meer voldoende werken.

Ook bodemdaling geeft problemen in de delta. Vroeger werd de natuurlijke bodemdaling gecompenseerd doordat bij overstromingen van de rivieren veel klei en zand werd afgezet. Door de aanleg van de waterkeringen treedt dit proces niet meer op. Hierdoor is er geen afzetting meer van sediment. Ook ontginning van klei en veen zorgt voor inklinking van de bodem. In het westen van Nederland is hier vooral sprake van. Tegenwoordig is door het zorgvuldiger beheersen van het waterpeil dit proces al lang niet meer zo heftig als voorheen (Nederland leeft met water, 2004).

Al deze oorzaken hebben ervoor gezorgd dat er een nieuwe innovatie op gang dient te komen, namelijk het bouwen op water. Hierdoor zijn er concepten ontstaan van drijvende steden. Deze steden zouden een oplossing bieden voor de ruimteproblemen in de laaggelegen delta's. Door het adaptieve vermogen van het drijvend bouwen kan worden ingespeeld op de gevolgen van klimaatverandering en de toenemende behoefte aan duurzaamheid en flexibiliteit.

Er is nog veel onderzoek nodig naar hoe deze onderdelen dan gerealiseerd moeten worden en wat de gevolgen van en invloeden zijn op deze nieuwe manier van leven. Kennis over drijvende objecten op zee beperkt zich voor alsnog tot olieplatformen en schepen. Langdurig wonen op drijvende platformen op zee is een volledig nieuw concept dat op het moment actief wordt onderzocht en ontwikkeld. Een belangrijk onderwerp hierin is het comfortaspect, want van de drijvende eilanden wordt geacht dat ze kunnen gaan fungeren als een woon/werkplek voor langere tijd. Om ervoor te zorgen dat de drijvende eilanden geschikt zijn als een plek om te wonen en te werken zal er een bepaalde vorm van comfort moeten worden geboden, opdat de mensen de leefomgeving ervaren als zijnde comfortabel. Onduidelijk is echter nog hoe de omgevingsfactoren hieraan bijdragen, wat de invloed van de zee is op de stabiliteit en welke eisen er gesteld moeten worden aan het ontwerp om ervoor te zorgen dat de leefomgeving als comfortabel ervaren wordt.

Probleemstelling: Er is nog weinig bekend over op welke manier het comfort van mensen die gedurende lange tijd op drijvende eilanden verblijven wordt beïnvloed; daarnaast zullen de bijbehorende omgevingsfactoren die dit veroorzaken, moeten worden geïnterpreteerd en geclassificeerd.

Doel
Het doel van het onderzoek is het in kaart brengen van de diverse invloeden van buiten die bijdragen aan het ervaren van een comfortabele leefomgeving op drijvende eilanden. Vervolgens wordt een suggestie gegeven voor de ontwerpeisen van drijvende eilanden. Dit onderzoek naar het comfort op drijvende eilanden draagt bij aan een Europees onderzoek naar het formuleren van randvoorwaarden voor het dimensioneren van drijvende eilanden en de aspecten hiervan. Verder wordt er een model getoetst aan de eisen om te kijken of het model in deze vorm voldoet. De vragen die hierbij beantwoord worden zijn:

- Welke functies moet het drijvend eiland vervullen en welke acties horen daarbij?
- Welke factoren hebben invloed op een comfortabele leefomgeving op drijvende objecten?
- Op welke manier kan de invloed van de factoren meetbaar gemaakt worden?
- Welke eisen ten aanzien van comfort op drijvende eilanden kunnen er gesteld worden op basis van de bestaande literatuur?
- Voldoet het geteste platform aan de gestelde eisen voor comfort?

3 Comfort

Een belangrijk deel van het onderzoek naar het comfort op drijvende platformen is bepalen hoe diverse factoren bijdragen aan het comfort op drijvende platformen. Vervolgens wordt gekeken hoe deze meetbaar gemaakt kunnen worden. Bij het beschouwen van het comfort dat ervaren wordt, wordt er een onderscheid gemaakt tussen praktisch- en gevoelscomfort. Het gevoelscomfort gaat over hoe mensen reageren op bewegingen op de platformen. Het praktisch comfort is de invloed van deze bewegingen op de dagelijkse bezigheden.

3.1 Gevoelscomfort

Uit het bestuderen van de literatuur met betrekking tot het onderwerp comfort bleek dat de belangrijkste twee lichamelijke elementen die een rol spelen bij gevoelscomfort, zeeziekte en lichamelijke stress (hoogfrequente trillingen) zijn. De definities van zeeziekte en lichamelijke stress zijn als volgt omschreven:

- Zeeziekte "*Het zich onwel voelen op een bewegend schip, ten gevolge van het ontregeld geraken van het evenwichtsorgaan*." (Encyclo, 2018)
- Lichamelijke stress *"Toestand die in een organisme kan ontstaan onder invloed van belastende omgevingsfactoren*" (Encyclo, 2018).

In het onderstaande deel wordt gespecificeerd van welke factoren deze beide begrippen afhankelijk zijn op basis van de bestaande literatuur. Daarnaast wordt ook gekeken naar hoe deze factoren meetbaar gemaakt kunnen worden.

Zeeziekte en lichamelijke stress hebben overeenkomsten in het mechanisme waarmee ze veroorzaakt worden. Beide worden veroorzaakt door een combinatie van frequentie en versnelling. De intensiteit van de trilling bepaalt hierbij in hoeverre een trilling invloed heeft op lichamelijke stress en zeeziekte. Belangrijk verschil hierbij is dat zeeziekte vooral ontstaat bij laagfrequente trillingen ($f<1$), lichamelijke stress daarentegen wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van hoogfrequente trillingen ($f>1$).

3.1.1 Zeeziekte

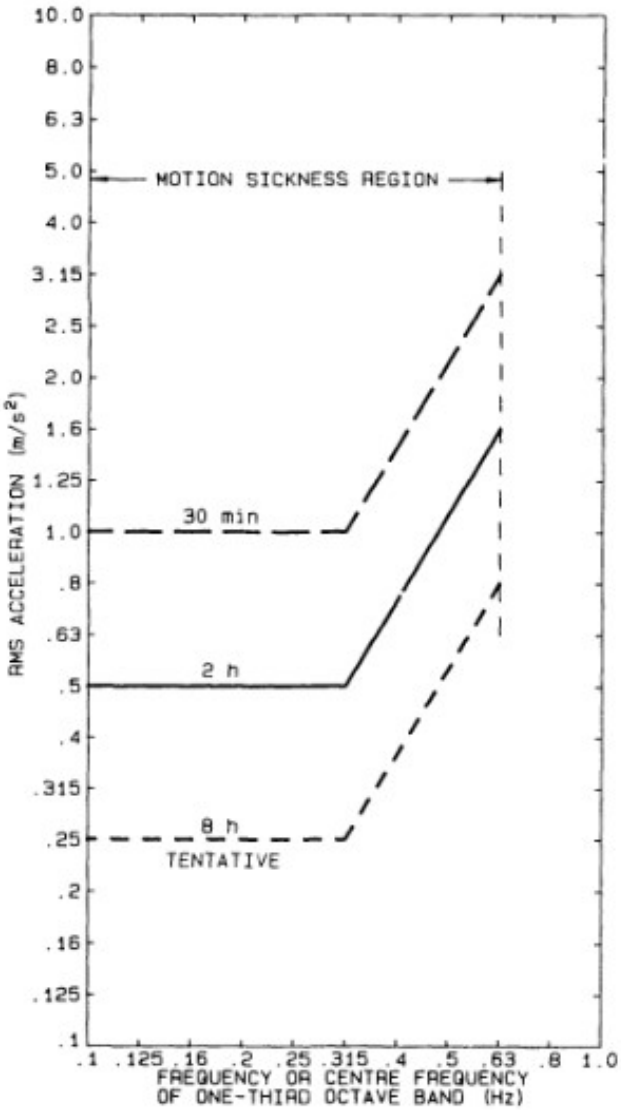
In het verleden is er al veel experimenteel onderzoek naar het verschijnsel zeeziekte uitgevoerd. Om te kunnen bepalen hoe het optreden van zeeziekte gebruikt kan worden in het opstellen van eisen en ranges waarbinnen dit verschijnsel optreedt, is de bestaande literatuur bestudeerd. De laagfrequente trillingen worden hiermee bedoelt.

Zeeziekte ontstaat doordat er verwarring is tussen de signalen van het evenwichtsorgaan en de waarneming van de ogen. Het menselijk lichaam is in de evolutie deze verwarring gaan associëren met neurotoxiciteit, en zal de oorzaak van de vergiftiging weg willen nemen. De meest effectieve manier hiervoor is braken. Daardoor begint zeeziekte altijd met een gevoel van onbehagen, waarna de symptomen toenemen en de persoon uiteindelijk zal braken. Zie Bijlage C voor alle specifieke gevolgen van zeeziekte.

In de bestaande onderzoeken wordt de mate van zeeziekte weergegeven in een grafiek met op x-as de frequentie, en op de y-as de RMS-versnelling. Hierdoor kan er in grafiekvorm een tolerantiegrens gegeven worden voor zeeziekte. De lijnen die deze tolerantie weergeven zijn altijd gebaseerd op tijd. Zoals in de onderzoeken te zien is, is de hoeveelheid mensen die last heeft van zeeziekte gecorreleerd met de tijd. Dit is ook de reden dat de hoogste waarde in deze grafieken vaak 8 uur is. Dat komt omdat na die tijdsperiode gewenning kan optreden, waardoor het aantal gevallen van zeeziekte alleen nog maar terugloopt (KANDA, 1977).

ISO Standard

In de International Standard 2631-3 is een bandbreedte bepaald naar aanleiding van een experiment om de bewegingsziekte te constateren. In dit experiment worden mensen blootgesteld aan laagfrequente trillingen waarbij bewegingsziekte optreedt. In Figuur 2 is weergegeven wat de grenzen zijn voor verblijftijden als er een versnelling en een frequentie tegen elkaar worden uitgezet. Dit model is gebaseerd op mensen die zelden varen (veerbootpassagiers).



Figuur 2 ISO 2631-3 "Severe discomfort boundaries", vertical vibration.

British Standard

Anders dan de international standard, gaat de British standard uit van een inschatting voor het optreden van bewegingsziekte aan de hand van een parameter genaamd “motion sickness dose value” (MSDV). Dit is gebaseerd op de kans-op-overgeven-methode die Lawther en Griffin (1987) hebben gebruikt. Deze manier van benaderen is goed te gebruiken voor nautische omstandigheden (Colwell, 1989). Een nadere uitleg van deze methode staat in Bijlage D.

Military Standard
In de military standard worden vooral de criteria behandeld voor militaire systemen en uitrusting. Hier staat dat voor het voorkomen van zeeziekte, laagfrequente trillingen niet binnen de bandbreedte van 0,1-0,5 Hz mogen komen. Dit is in overeenstemming met de data die te vinden zijn binnen de international standard. Deze is echter wel specifieker in welke versnellingen binnen deze frequentiebanden wel en niet getolereerd worden als het gaat om zeeziekte. (Department of Defense USA, 1999)

3.1.2 Lichamelijke stress (hoogfrequente trillingen)

Een ander belangrijk aspect van comfort dat ervaren kan worden door mensen op drijvende platformen, is het optreden van hoogfrequente trillingen. De kans op het optreden van hoogfrequente trillingen door de invloed van golven op een platform is minder groot dan het optreden van laagfrequente trillingen. Op een platform kunnen hoogfrequente trillingen ontstaan doordat brekende golven tegen de zijkant van het platform aankomen. Dit kan afhankelijk van het gebruikte materiaal, trillingen door de constructie veroorzaken. Door werkzaamheden op het platform kunnen in het materiaal ook trillingen ontstaan. Daardoor dient er bij het opstellen van eisen aan het menselijk welzijn wel rekening te worden gehouden met deze trillingen.

In de bestaande literatuur is al veel bekend over hoogfrequente trillingen en de gevolgen van zowel blootstelling op korte termijn als op lange termijn. Zoals al eerder is genoemd richt dit onderzoek zich op de lange termijn. Dit is gedaan omdat de visie van Blue21 voor bewoning op drijvende eilanden wordt gebruikt.

Bij de effecten van hoogfrequente trillingen wordt er onderscheid gemaakt tussen hand/armtrillingen en lichaamstrillingen. De eerste categorie wordt niet verder behandeld omdat deze met name van toepassing is op beroepsziekten door trillend gereedschap. De gevolgen van de tweede categorie (lichaamstrillingen) zijn echter algemeen toepasbaar. Gevolgen van lichaamstrillingen zijn onder andere: lichamelijke stress of een gevoel van onbehagen (op korte termijn), lage rugklachten, verouderen van de wervelkolom, maagdarmklachten en zwangerschapsproblemen (op lange termijn). Het optreden hiervan is uiteraard afhankelijk van de duur van de blootstellingen en de zwaarte van de trillingen (arbokennisnet, 2008).

3.2 Praktisch comfort

Het tweede deel van comfort bestaat uit praktisch comfort. Voor het gemak wordt er in dit onderzoek onderscheid gemaakt tussen materieel en materiaal. De definitie van materieel comfort luidt: "*geen hinder ondervinden in het doen van dagelijkse taken door disfunctioneren van materieel.*" Hierbij gaat het om diverse huishoudelijke apparaten die aanwezig zijn op de platformen die kunnen disfunctioneren. De definitie van het materiaal comfort luidt: "*Geen hinder van fysieke aard ondervinden bij het uitvoeren van dagelijkse werkzaamheden*." Voorwerpen die door bewegingen gaan rollen of glijden waardoor men niet zijn dagelijkse werkzaamheden kan uitvoeren, vallen onder deze definitie. Ook het niet uit kunnen voeren van menselijke bewegingen zoals recht lopen en uit bed rollen worden hieronder beschouwd.

3.2.1 Materiaal

Het wel of niet verschuiven van objecten is afhankelijk van de schuifwrijving tussen twee oppervlakken. Hoewel er voor een aantal soorten oppervlakken standaardwaarden te vinden zijn, zeggen deze in de praktijk vrij weinig over de uiteindelijk eigenschappen van twee verschillende voorwerpen.
Om te toetsen of er bij een bepaalde helling voorwerpen verschuiven, is er een steekproefexperiment gedaan met een aantal verschillende glazen. Van deze glazen is de

theoretische schuifwrijving bekend en hierdoor kan ook de theoretische hellingshoek bepaald worden (zie Bijlage B voor een toelichting van de afleiding van de formule).
Om de theoretische berekening te toetsen zijn de verschillende glazen getest op een houten vlak; dit werd vervolgens onder een helling gebracht. Hieruit bleek dat er een zeer grote spreiding zat tussen de verschillende glazen en ook bij glazen onderling. Hieruit blijkt dat de praktijk erg verschilde van de theorie in dit opzicht. Wellicht valt dit te verklaren door de invloed van de zwaartepunten en de vorm van het object op het gedrag van het object. Voor de gedetailleerde beschrijving van het experiment zie Bijlage B.

3.2.2 Materieel

Een ander deel van het praktisch comfort is het functioneren van het materieel onder verschillende hellingshoeken en versnellingen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een wasmachine, cv-ketel, droger etc. Omdat op zee veel schommelingen zijn, is niet altijd te garanderen dat deze machines kunnen blijven werken. Nu is het echter wel zo dat er speciale machines te krijgen zijn die geen of minder invloed ondervinden van een veranderende hellingshoek.

3.3 Conclusie theoretisch deel

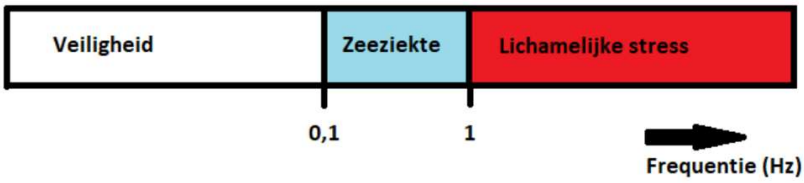
Kijkend naar alle factoren die invloed hebben op het comfort kunnen de volgende invloeden worden omschreven: zeeziekte, lichamelijke stress en praktisch comfort. Zeeziekte is de belangrijkste factor om naar te kijken voor het opstellen van comforteisen. Voor frequenties lager dan 1 Hz treedt zeeziekte veel op. Bij de frequentie hoger dan 1 Hz krijgt men te maken met lichamelijke stress. Er zat veel verschil in de uitkomsten van het experiment. Ook kon de natuurkundige wet niet effectief toegepast worden voor het bepalen van de helling. Daarom is in de bron (NORDFORSK, 1987) gekeken naar de maximale toelaatbare helling op een schip. Daarnaast bleek dat zelfs met de onvoorspelbare experimenten van de glazenproef, de minimale hoek waarbij de glazen gingen schuiven ver boven de toegestane hoek zat. Dit houdt in totaliteit in dat er eisen gesteld moeten worden op basis van, frequentie van platformbewegingen in relatie tot de versnelling van het platform en eisen aan de hellingshoek van het platform.

4 Vaststellen eisen met betrekking tot comfort

In dit hoofdstuk zal uitgelegd worden hoe de eisen die aan het eind van het hoofdstuk worden genoemd verkregen zijn. Deze eisen worden gebaseerd op bestaande literatuur en de factoren die aan bod zijn gekomen in het voorgaande hoofdstuk: versnelling, frequentie en hellingshoek. Dus welke eisen zijn er op basis van de bestaande literatuur te stellen aan deze factoren?

4.1 Trillingen

Zeeziekte en lichamelijke stress worden veroorzaakt door de aanwezigheid van trillingen. De eis voor een comfortabele leefomgeving op een drijvend platform kan geformuleerd worden uit de eigenschappen van deze trillingen. Voor zowel lichamelijke stress als zeeziekte geldt dat hoe hoger de versnelling van de trilling (in m/s2), hoe meer last men ervan heeft (International Organization for Standardization, 1997) (ITTC, 1999). Om een duidelijke eis te stellen aan de toegestane hoogfrequente en laagfrequente trillingen op een drijvend platform zijn er frequentie-intervallen opgesteld, waarbij een maximaal toelaatbare versnelling hoort.



Figuur 3 Frequentie-intervallen

Deze maximaal toelaatbare versnelling wordt bepaald op basis van de menselijke reactie op versnellingen en de visie met betrekking tot het comfortniveau.
De keuze van de frequentie-intervallen met de bijpassende versnelling wordt inzichtelijk gemaakt in Bijlage D. Hierin zijn grafieken en tabellen weergeven die voortgekomen zijn uit voorgaande onderzoeken naar zeeziekte en lichamelijke stress.

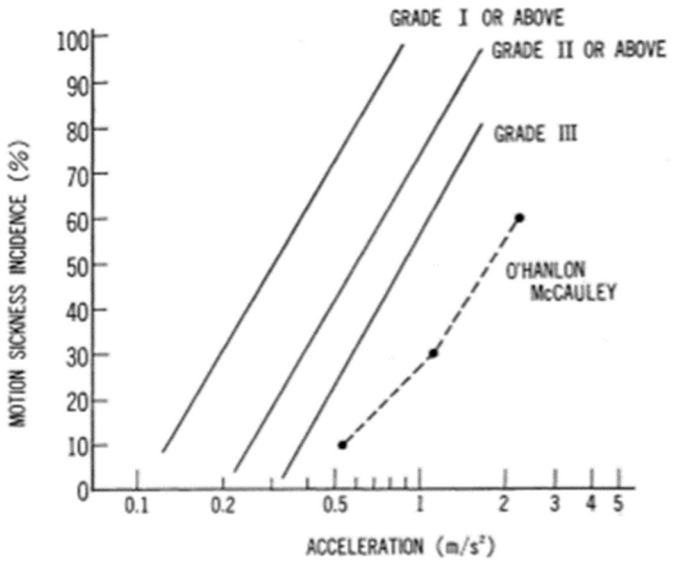
4.1.1 Laagfrequente trillingen (zeeziekte)

Door gebruik te maken van deze grafieken valt af te leiden dat de belangrijkste frequenties die invloed hebben op zeeziekte vallen tussen de 0,1 en 1 Hz. Verschillende bronnen laten zien dat binnen deze frequentieband, de laagste tolerantiegrens voor de versnelling ongeveer 0,25m/s^2 is (ITTC, 1999) (Gerritsma, 1994). Deze tolerantiegrens gaat uit van een blootstelling van 8 uur. Meer dan dit is ook niet nodig zo blijkt; na 2-3 uur blootstelling bereikt de MSI (Motion Sickness Index) haar hoogste waarde, waarna deze afneemt (KANDA, 1977). Voorts wordt er bij cruiseschepen uitgegaan van een maximaal acceptabele versnelling van 0,2m/s^2 (NORDFORSK, 1987). Afgezien van voorgaande bronnen die uitgaan van de Motion Sickness Indices, zijn er ook bronnen die een meer graduele manier hebben van het evalueren van bewegingsziekte. De waardes die hierboven genoemd zijn, gaan uit van een MSI-waarde van 0 dat wil zeggen 0/n aantal personen zijn zeeziek. Voordat er echter zeeziekte optreedt, is er al sprake van verminderd comfort bij mensen die hierdoor beïnvloed worden. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek is dat van Kanda. Dit onderzoek is gebaseerd op zeeziekte onder kadetten tijdens een meerdaagse tocht (KANDA, 1977). Hieronder staat een toelichting van het gradatiesysteem dat daar wordt gehanteerd.

De gradatie die in het onderzoek gebruikt wordt is verdeeld in vier categorieën:

- Nuldegraads: Geen verschijnselen van bewegingsziekte.
- Eerstegraads (licht): Enigszins onaangename gevoelens, maar geen verhinderingen in het dagelijks leven (onaangename gevoelens: zwaar hoofd, moeheid, gapen, slaperigheid en verlies van eetlust).
- Tweedegraads (gemiddeld): Onaangename gevoelens, af en toe misselijk, moeilijkheden met het uitvoeren van werkzaamheden of het uitvoeren van activiteiten.
- Derdegraads (zwaar): Extreem onaangename gevoelens, braken, lusteloosheid.

Door het uitvoeren van praktijkmetingen is te bepalen wat de invloed van bepaalde versnellingswaarden is op het optreden van zeeziekteverschijnselen en in welke mate. Dit valt uit te zetten in een grafiek. In de grafiek geven de lijnen de som aan van de graad van ernst van de verschijnselen en alle graden daarboven; bijvoorbeeld de lijn van grade 2 laat alle gevallen van de tweede en derdegraads bewegingsziekte bij die versnelling zien.



Figuur 4 MSI bij verschillende acceleraties (bron: (KANDA,1977))

Zoals in de grafiek te zien is, treedt eerstegraads bewegingsziekte nog steeds op bij 30% van de mensen als de versnellingswaarde 0,2 m/s^2 is. Dit volgt uit de onderzoeken waarin de grens van versnelling 0,2 m/s^2 gesteld is aan de hand van de MSI (op basis van 0%). Omdat er bij drijvende eilanden gestreefd wordt naar een hoge sociale acceptatie (omdat de mensen van het land gemotiveerd moeten worden om te verhuizen naar de drijvende eilanden), is het wenselijk om het percentage mensen dat onaangename gevoelens ervaart naar beneden te brengen. Hierbij dient er echter wel rekening gehouden te worden met het feit dat een deel van de mensen toch verschijnselen van zeeziekte vertoont, ongeacht de versnelling. In de ISO wordt hiervoor een waarde van 5% genoemd, maar onderzoeken op basis van vragenlijsten laten een percentage tussen de 2 en 13% zien (International Organization for Standardization, 1997). Op basis van geobserveerde testresultaten is er besloten om bij het aflezen van de bovenstaande figuur een grens van 10% aan te houden. Het aflezen van deze waarde uit de grafiek correspondeert met een maximale versnelling van ongeveer 0,12 à 0,13 m/s^2. Als dit getal echter vergeleken wordt met andere onderzoeken die uitgevoerd zijn, lijkt dit een vrij extreme waarde om naar te streven. Daarom is er ook nog gekeken naar een recent onderzoek dat door TNO uitgevoerd is. Daarin is onderzoek gedaan naar comfort in relatie tot bewegingsziekte op drijvende platformen. Hierin wordt een waarde van 0,15 m/s^2 genoemd als acceptabele waarde voor de versnelling in relatie tot bewoning (Janssen, 2007). Kijkend naar de gegevens die volgen uit alle verschillende onderzoeken, lijkt de waarde die in het onderzoek

van TNO genoemd wordt het beste aan te sluiten bij de visie met betrekking tot drijvende eilanden. Aan de ene kant is het een sterke waarborging voor het comfort op drijvende eilanden. Aan de andere kant creëert deze eis een beetje ruimte ten opzichte van een strengere eis om het platform op een economisch meer voordelige manier te dimensioneren.

4.1.2 Extreem laag frequente trillingen

Bij f<0,1 Hz is zeeziekte niet meer de bepalende factor voor de maximaal toelaatbare versnelling, zoals ook te zien is in Figuur 2. Hier is gekozen voor een Amax van 0,7m/s^2. Dit omdat 0,7 de maximale waarde is waarbij 99% van de mensen nog kan blijven staan zonder extra steun. (ITTC, 1999). Bij alle onderzoeken die op het gebied van zeeziekte uitgevoerd zijn, zijn de testsubjecten mensen die niet gewend zijn aan zee bewegingen. Dit zorgt ervoor dat deze onderzoeken toepasbaar zouden zijn voor drijvende eilanden, omdat de populatie van de eilanden ook voornamelijk zal bestaan uit onervaren mensen. Op lange termijn zal dit vermoedelijk veranderen.

4.1.3 Hoogfrequente trillingen (lichamelijke stress)

Zoals in de analyses voorafgaand aan het opstellen van de eisen ook gebleken is, is de kans van het optreden van hoogfrequente trillingen f>1 Hz op een drijvend platform niet zo groot. Omdat het echter niet uit te sluiten valt dat deze aanwezig zijn, is hier ook een eis aan verbonden op basis van bestaande literatuur. Dit is van belang omdat hoogfrequente trillingen de gezondheid en het welbevinden van mensen beïnvloeden. Op basis van bestaande onderzoeken is de laagst getolereerde waarde voor frequenties groter dan 1 Hz bij langdurige blootstelling (24h) 0,14m/s^2, dit wordt dan ook aangehouden als de grenswaarde voor f>1 (ITTC, 1999).

4.2 Hellingshoek

Wat ook bijdraagt aan het waargenomen comfort, is de hellingshoek die het platform aanneemt onder invloed van golven. Zoals te zien is in het de ontwerprichtlijn van NORDFORSK (NORDFORSK, 1987) zijn er verschillende waarden voor de toegestane maximale hellingshoek. Dit is afhankelijk van de diverse schepen waarvoor deze zijn opgesteld. Hier is besloten om de waarden voor het cruiseschip aan te houden, omdat voor deze eis naast veiligheid, ook het subjectief waargenomen comfort meegenomen is. De corresponderende waarde voor deze eis aan hellingshoek is op basis hiervan: een maximale roll/pitch-hoek van 2,0°.

4.3 Gewenning

Uit het onderzoek van Kanda (1977) blijkt dat na verloop van tijd (een aantal dagen) er gewenning optreedt. Door gewenning worden er naarmate de dagen verstrijken minder gevallen van zeeziekte geconstateerd. Nu loopt de mate waarin het verschijnsel gewenning optreedt binnen dit onderzoek per testgroep nogal uiteen. Omdat er geen vaste trend of percentage gekoppeld kan worden aan de mate van het optreden van gewenning, wordt gewenning niet meegenomen bij het formuleren van de eisen.

4.4 Conclusie eisen met betrekking tot comfort

Uit het onderzoek zijn een aantal grenswaarden voor verschillende frequentiebanden naar voren gekomen. Hieronder staat een korte samenvatting van alle frequentiebanden met bijbehorende grenswaarden. Deze eisen zijn een aanbeveling voor de te hanteren comforteisen voor een drijvend eiland op basis van het uitgangspunt: “minimale impact op het welzijn van de mensen die moeten gaan verblijven op deze eilanden”. Ondanks dat het niet binnen de scope van het project valt, is het wel van belang om hierbij aan te tekenen dat hoewel horizontale versnelling geen invloed heeft op zeeziekte, het wel invloed heeft op de veiligheid en de mogelijkheid van mensen om hun balans te houden. De hiervoor toegestane waardes zijn echter over te nemen uit bestaande literatuur(Zie Bijlage D) (ITTC, 1999).

f in Hz	**Amax (m/s^2)**
$0.1 < f < 1$	$A < 0.15$
$f < 0.1$	$A < 0.7$
$f > 1$	$A < 0.14$

Tabel 1: Eisen aan versnelling

Op basis van beschikbare literatuur is een eis gekoppeld aan de maximale hellingshoek van een schip. Deze waarde volgt uit een combinatie van subjectief waargenomen comfort en veiligheid aan boord. Deze eis houdt zowel rekening met het subjectieve comfort als de veiligheid op de platformen.

∠ roll /pitch< 2.0°

Tabel 2: Eisen aan roll/pitch-beweging

5 Toetsing van testmodel

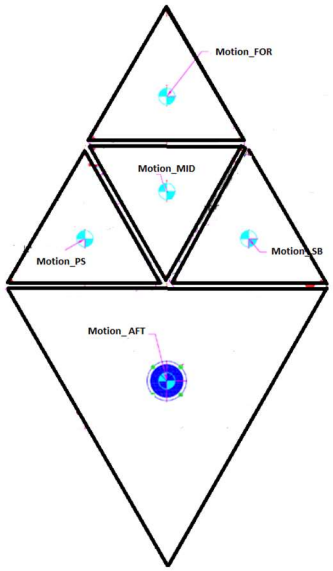
In het voorgaande deel van het onderzoek zijn er eisen gesteld aan comfort. Dit is gebeurd op basis van bewegingen en hellingshoek. In dit deel wordt een onderzoek van MARIN gebruikt om te kijken of deze eisen gehandhaafd kunnen worden bij de echte constructies. In het onderzoek van MARIN is een drijvend modeleiland getest op verschillende bewegingen. Vervolgens zijn in dit onderzoek de data van die bewegingen gebruikt om te kijken of deze voldoen aan de eisen. Vervolgens wordt op basis van de resultaten van deze toetsing, een advies uitgebracht over de verdere ontwikkeling van deze drijvende eilanden.

5.1 Uitgangspunten voor analyse testmodel

Het model dat getoetst wordt aan de eisen, wordt bij het instituut MARIN onderworpen aan verschillende tests in een bassin. Hierbij werd de reactie van het platform op zee-omstandigheden bestudeerd en geanalyseerd. Dit model bestaat uit 87 gekoppelde units van verschillende afmetingen, die een drijvend eiland vormen. Het middelste deel bestaat uit een aantal grote eenheden, terwijl de eenheden die er omheen aangebracht zijn kleiner zijn in afmeting. Samen creëren deze eenheden een eiland met een afmeting van 1,5 bij 2 kilometer. De frequenties die genoemd staan in het onderzoek, zijn die van de golven en niet specifiek die van het platform zelf. Daarom wordt er aan de hand van die golffrequenties getoetst. Deze aanname kan in praktijk anders zijn; daarvoor moet nader onderzoek plaatsvinden.

5.2 Methode analyse testmodel

Het onderzoek van MARIN was bedoeld als een verkennend onderzoek naar de eigenschappen van diverse vormen, krachten en bewegingen van een drijvend eiland. Hierbij is een drijvend eiland onderworpen aan verschillende golfhoogtes en is de invloed van deze golven op het eiland bestudeerd en gemeten.
De eigenschappen die van het eiland gemeten zijn, zijn: versnelling over 3 assen (x, y en z), hoekverdraaiing over 3 assen (x, y en z), koppelkrachten tussen de platformen en de kracht in ankerlijnen. De observaties die gemaakt worden aan het platform hebben te maken met het zichtbare gedrag van het platform: wel of niet meebewegen, wel of geen overschrijding van het vrijboord en in hoeverre verschillende delen van het platform qua gedrag verschillen van andere delen. De meetpunten die gehanteerd worden zijn te zien in Figuur 5.

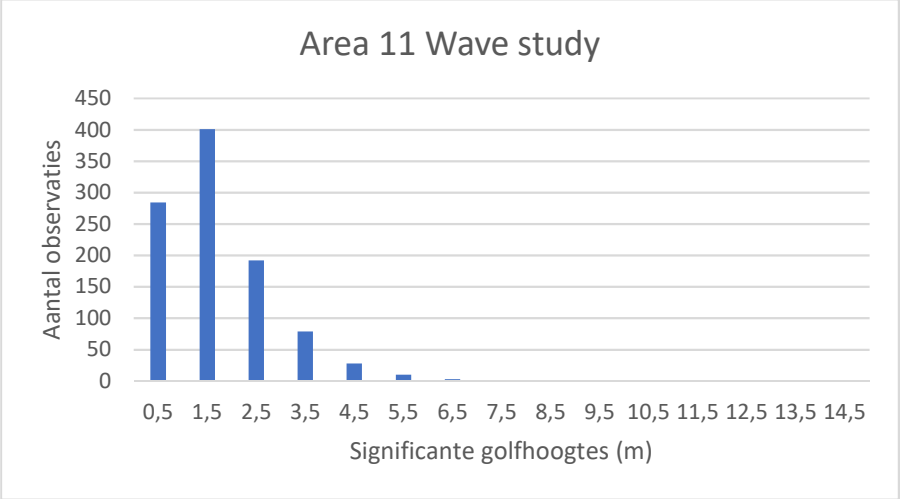


Figuur 5 Meetpunten model

De meetresultaten zijn verkregen door het drijvende eiland te testen bij verscheidene golfcondities. De eigenschappen van de drie geteste condities zijn te zien in Tabel 3. De testcondities zijn zo gekozen dat deze een idee geven van wat het drijvend eiland doet in de meest extreme omstandigheden op de Noordzee. Dit is duidelijk te zien als men de golfhoogtes in de onderstaande tabel vergelijkt met Grafiek 1. In de grafiek wordt een overzicht van de frequenties van optreden van verschillende golfhoogtes in de Noordzee getoond. Het gebied waarop de metingen van de grafiek betrekking hebben, is te zien in de overzichtskaart in Bijlage E. Een korte toelichting van de koppen in de Tabel 3: Hs is significante golfhoogte in meters, Tp is golfperiode in seconden, Schaal is modelschaalverhouding (1:x) en f is frequentie in Hertz (Hz).

Tests	Hs	Tp	Schaal	f
Test 1	3,75	8,3	250	0,120
Test 2	7,65	10,7	250	0,093
Test 3	15,55	14,3	250	0,070

Tabel 3 Testcondities



Grafiek 1 Golfverdeling area 11

5.3 Testen van de eisen

Voor het testen van de eisen uit hoofdstuk 4 is gebruikt gemaakt van de data van deze modeltest. Uit de test zijn de relevante waarden gefilterd, namelijk de versnelling over de Z-as van de 5 meetpunten: MOTION_FOR, MOTION_MID, MOTION_AFT, MOTION_PS en MOTION_SB. De locatie van deze meetpunten in het oorspronkelijke experiment is te zien in Figuur 5. De meetpunten die in de tabel genoemd zijn, zijn dezelfde als die te vinden zijn op het platform van Figuur 5.

De gebruikte afkortingen refereren naar de plek op het platform: FORE: Voorste meetpunt, MID: Middelste meetpunt, SB: Rechter meetpunt, PS: Linker meetpunt, AFT: Achterste meetpunt.
Deze waarden worden in tabelvorm getoetst aan de eisen die opgesteld zijn. Om dit uit te voeren zijn de frequenties van de bewegingen van het platform bepaald. Hiermee kunnen de grenswaarden voor de versnelling uit de tabel bepaald worden. Zoals bij de uitgangspunten is vermeld, is er bij het experiment van MARIN de frequentie van de beweging van het platform niet gemeten. Het gedrag is wel geobserveerd. Daardoor valt er een aanname te maken over de frequentie die getoetst wordt. De frequentie die getoetst wordt, is gelijk aan de golffrequentie. Dit is bepaald op basis van de volgende observatie uit de test: “Due to the flexibility in the connections the island will follow the waves in high seas. The forward two rows of the island will move in phase with the sea and therefore the amount of green water is much smaller than for a rigid island.” (O.J. Waals, 2018). Dit is weliswaar een vereenvoudiging van wat er in de praktijk gebeurt, maar bij gebrek aan meetgegevens voor de platformfrequentie is dit voor nu de meest voor de hand liggende benadering.

In paragraaf 5.4 worden de corresponderende waarden getoetst aan de eisen en in tabelvorm gepresenteerd.

5.4 Resultaten

Zoals ook in de methode vermeld is, is het drijvende eiland getest in 3 verschillende zeegangen: 3,75, 7,65 en 15,55 meter significante golfhoogte (Hs). Daarnaast is in hoofdstuk 2 al vermeld dat één van de belangrijkste bewegingen die invloed heeft op het welzijn van mensen op een drijvend eiland de heave beweging is. Hieronder staat een tabel met de versnellingswaarden van de heave beweging op verschillende delen van het platform tijdens de verschillende zeegangen. In deze tabel zijn de waarden die de gestelde eisen overschrijden als rood gemarkeerd, de waarden die onder de gestelde eisen blijven zijn groen gemarkeerd. Omdat boven een frequentie van 1 Hz een eis van 0,7 m/s^2 geldt in plaats van 0,15 m/s^2, zijn de waarden die voor deze frequentie voldoen geel gearceerd. De keuze voor geel in plaats van groen, is omdat deze classificatie ervan uitgaat dat het platform volledig meebeweegt op de golven en dus ook dezelfde frequentie heeft. Bij de waarden voor de 15,55 meter hoge golven is alleen het achterste meetpunt gemeten. Daarom zij de overige meetpunten blanco.

Meetpunt	3,75 (0,15)	7,65 (0,7)	15,55 (0,7)
FORE	0,17	0,3	NB
MID	0,08	0,25	NB
SB	0,06	0,15	NB
PS	0,05	0,24	NB
AFT	0,07	0,25	0,41

Tabel 4 Toetsing op versnelling

In situaties waar hoge golfslag optreedt, wordt het vrijboord van de buitenste eilandunits overschreden. Dit heeft tot gevolg dat er water op het dek van deze buitenste eilanden terecht komt. Dit fenomeen is ook te zien in Figuur 6.

Figuur 6 Overschrijding vrijboord (O.Waals, 2018)

Daarnaast is er een eis gesteld aan de maximaal toegestane hellingshoek (2,0 graden) van het platform. Ook hier is een vergelijking gemaakt tussen de opgestelde eisen en de gegevens van de test. Hier zijn alle hoeken die voldoen groen gemarkeerd, en de waarden die de grens overschrijden rood gemarkeerd.

Meetpunt	3,75 (2,0)	7,65 (2,0)	15,55 (2,0)
FORE	0,43	1,93	NB
MID	0,4	1,19	NB
SB	0,47	1,22	NB
PS	0,27	2,11	NB
AFT	0,27	0,58	NB

Tabel 5 Toetsing op hellingshoek

5.5 Conclusie toetsing

Om tot een eenduidige conclusie te komen, worden twee aspecten beschouwd welke invloed hebben op de mogelijkheid van mensen om te wonen op een drijvend eiland. Aan de ene kant wordt gekeken naar de bewegingen, waarvoor eerder in dit onderzoek al eisen opgesteld zijn. Aan de andere kant wordt de factor deck wetness beschouwd. Dit blijkt namelijk uit het experiment een belangrijke factor te zijn voor de buitenste eilanden en heeft invloed op de veiligheid van mensen in het gebied dat aan het fenomeen wordt blootgesteld.

Bewegingen

In Tabel 4 is te zien dat het geteste platform op alle gemeten punten voldoet aan de gestelde eisen met als voorbehoud dat bij de toetsing ervan uitgegaan is dat de eilanden dezelfde bewegingsfrequentie volgen als de golven. Dit houdt in dat de golven van 3,75 meter getoetst worden op basis van zeeziekte (0,15m/s^2) en de overige op basis van veiligheid (0,7 m/s^2).
Verder is er gekeken naar de hellingshoek; hier is een frequentieonafhankelijke eis aan verbonden van 2 graden. In Tabel 5 is te zien dat voor de geteste condities het platform voldoet met uitzondering van het portside platform in de 7,65 meter hoge golven. Dit is waarschijnlijk een uitschieter geweest: de gemiddelde helling van het platform op die plek, in die zeecondities, is immers vele malen lager. Voor meer informatie over deze uitschieter zal meer onderzoek nodig zijn.
Op basis van de resultaten is te concluderen dat het platform als zodanig voldoet aan de gestelde eisen met betrekking tot comfort en veiligheid, met uitzondering van het linker platformdeel.

Deck wetness

Uit de experimenten die uitgevoerd zijn door MARIN op de set drijvende eilanden is gebleken dat gedurende extreme weerssituaties de buitenste eilanden te kampen hebben met veel overspoelend water (Figuur 6). Dit wordt veroorzaakt doordat deze eilanden onvoldoende vrijboord hebben ten opzichte van de op dat moment optredende golven.
Deze hoeveelheden water zouden in de praktijk betekenen dat het op die plekken onveilig is voor mensen om te verblijven. Dit zou dus, als er naar bewoning op de eilanden gestreefd wordt, betekenen dat het ontwerp van de buitenste platformen aangepast moet worden. De buitenste platformen zouden een andere functie moeten krijgen (bijvoorbeeld energieopwekking).

Uit de resultaten van het onderzoek valt te concluderen dat het geteste platform geschikt is voor permanente bewoning. Er zullen voor de buitenste eilanden wel maatregelen nodig zijn met betrekking tot de deck wetness en de hellingshoek. Dit zou kunnen bestaan uit corrigerende maatregelen of het verplaatsen van bestemmingen op het platform (bijvoorbeeld bewoning op de binnenste eilanden, omdat deze niet te maken hebben met deck wetness en daarnaast minder bewegen). Deck wetness treed alleen op in zeer extreme gevallen (kans van optreden minder dan 1:1000), daarom zou ook volstaan kunnen worden met een tijdelijke evacuatie.

6 Conclusie

Het onderzoek "Comfort op drijvende eilanden" had als doel:

- Het in kaart brengen van de diverse invloeden van buiten die bijdragen aan het ervaren van een comfortabele leefomgeving op drijvende eilanden.
- Voorstel geven voor de ontwerpeisen van drijvende eilanden.

Om deze doelstelling te behalen zijn de volgende deelvragen beantwoord:

- Welke functies moet het drijvend eiland vervullen en welke acties horen daarbij?
- Welke factoren hebben invloed op een comfortabele leefomgeving op drijvende objecten?
- Op welke manier kan de invloed van de factoren meetbaar gemaakt worden?
- Welke eisen ten aanzien van comfort op drijvende eilanden kunnen er gesteld worden op basis van de bestaande literatuur?
- Voldoet het geteste platform aan de gestelde eisen voor comfort?

Welke functies moet het drijvend eiland vervullen en welke acties horen daarbij?
De hoofdfunctie wonen is gebruikt tijdens dit onderzoek. Doordat bij de functie wonen alle dagelijkse taken horen, was dit een zeer kritieke functie. De eisen die aan deze functie gesteld zijn, moesten streng maar wel in praktijk haalbaar zijn.

Welke factoren hebben invloed op een comfortabele leefomgeving op drijvende objecten?
Vanuit de bestaande literatuur bleek er al vrij veel bekend te zijn over de factoren die invloed hebben op drijvende objecten. De beste overeenkomende kennisbron bleek de scheepvaart te zijn. Uit de literatuur is gebleken dat er drie bepalende factoren zijn: versnelling, frequentie en hellingshoek van platform. Door de eisen die hierin gesteld werden te bestuderen en aan te scherpen op basis van de functie van het drijvend eiland (permanente bewoning), is een voorstel gemaakt voor eisen aan comfort.

Op welke manier kan de invloed van de factoren meetbaar gemaakt worden?
De versnelling kon meetbaar gemaakt worden door te kijken naar maximale waardes bij een bepaalde frequentie waarin mensen zich niet meer goed zouden voelen. De frequentie is meetbaar gemaakt in bandbreedtes. Deze bandbreedtes zijn <0,1 Hz, tussen 0,1 en 0,5 Hz en >1 Hz. De hellingshoek is bepaald aan de hand van de veiligheid die gegarandeerd moet worden. Deze hoek is meetbaar gemaakt in graden. frequentie en hellingshoek

Welke eisen ten aanzien van comfort op drijvende eilanden kunnen er gesteld worden op basis van de bestaande literatuur?
Door veel literatuur te vergelijken zijn er vier eisen opgesteld waaraan comfort getoetst kan worden. De volgende eisen zijn opgesteld:

- Tussen de frequentiereeks van 0,1 tot 1 Hz mag de maximale versnelling niet boven de 0,15 m/s^2 komen.
- Bij frequenties lager dan 0,1 Hz is de maximale versnelling 0,7 m/s^2.
- Bij frequenties hoger dan 1 Hz mag de maximale versnelling niet boven de 0,14 m/s^2 komen.
- De hellingshoek op het platform moet minder dan 2,0 graden bedragen.

Voor de bepaling van de eisen is gekeken naar de frequentie waarin zeeziekte een rol speelt. Daarbij is een maximale versnelling bepaald waarbij mensen nog comfortabel kunnen leven en kunnen blijven staan zonder steun. Voor hogere frequenties >1 Hz is gekeken naar lichamelijke stress.

Voldoet het geteste platform aan de gestelde eisen voor comfort?

Deze vraag is onderzocht door het toetsen van een modeltest aan de opgestelde eisen. De gegevens die beschikbaar waren voor dit onderzoek betroffen testen van het eiland op zijn uiterste belasting. Deze zware belasting kan gebruikt worden om duidelijk te maken welke krachten er door de verbindingen van de gekoppelde units opgevangen moeten worden. Deze data zijn vervolgens getoetst aan de eisen die eerder in het onderzoek opgesteld waren. Hierin was te zien dat het middelste deel van het eiland zelfs onder de meest extreme omstandigheden stabiel genoeg blijft om te voldoen aan de eisen.

Op basis van de resultaten die naar voren komen uit dit onderzoek, valt te concluderen dat de eisen zoals deze opgesteld zijn op basis van de literatuur, in de praktijk haalbaar zijn. Vanuit het comfortperspectief blijkt het model van MARIN in praktijk een goed functionerend ontwerp te zijn. Meer onderzoek zal echter nodig zijn naar minder extreme situaties, omdat deze qua frequentie kritieker zijn met betrekking tot het wel of niet optreden van zeeziekte.
Door het onderzoeken van deze deelvragen is de probleemstelling beantwoord

Probleemstelling: Er is nog weinig bekend over op welke manier het comfort van mensen die gedurende lange tijd op drijvende eilanden verblijven wordt beïnvloed; daarnaast zullen de bijbehorende omgevingsfactoren die dit veroorzaken, moeten worden geïnterpreteerd en geclassificeerd.

Bij het zoeken naar een oplossing voor de probleemstelling zijn er in het onderzoek een paar beperkingen gevonden en daarvoor zijn ook aanbevelingen gedaan. Deze zijn in het volgende hoofdstuk omschreven.

7 Discussie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen gegeven naar aanleiding van dit onderzoek. Als eerste wordt aanbevolen om de vier eisen die zijn gevonden op te nemen in een richtlijn voor het ontwerpen van drijvende eilanden.

Dit zijn de volgende eisen op het gebied van comfort:

- Tussen de frequentiereeks van 0,1 tot 1 Hz mag de maximale versnelling niet boven de 0,15 m/s^2 komen.
- Bij frequenties lager dan 0,1 Hz is de maximale versnelling 0,7 m/s^2.
- Bij frequenties hoger dan 1 Hz mag de maximale versnelling niet boven de 0,14 m/s^2 komen.
- De hellingshoek op het platform moet minder dan 2,0 graden bedragen.

Dit onderzoek is gedaan op basis van een aanname: de bewegingen van de golven worden 1 op 1 overgenomen door het platform. In praktijk wordt gedacht dat de platformen andere frequenties hebben ten opzichte van de golven. Daarnaast kan het van toegevoegde waarde zijn om meer tests te doen met golven die een periode hebben tussen de 2 en 8 sec. Deze golven komen qua frequentie dichter bij het interval voor het optreden van zeeziekte komen. Dit zou uiteindelijk een nadeligere situatie op kunnen leveren voor het comfort. Door deze aanname is het nodig om nader onderzoek uit te voeren om dit aspect van de beweging helder te krijgen.

Daarnaast wordt het aangeraden om een vervolgonderzoek te doen naar overschrijdingskansen van de eisen. Hoe vaak mag de desbetreffende eis overschreden worden om nog acceptabel te zijn. Als voorbeeld hoe vaak in een jaar mogen mensen last ondervinden van zeeziekte. Dit zou bij het ontwerpen van een drijvend eiland kunnen leiden tot kleinere platformdimensies, en dus lagere kosten en eenvoudigere constructie en onderhoud. Hetzelfde geldt voor drijvende eilanden met een andere functie dan wonen, of voor bewoners met ervaring op zee. Hier zou de grens van acceptabele versnelling opgerekt kunnen worden om op die manier goedkoper en compacter te kunnen construeren.

Tot slot is het, met betrekking tot de modeltest, verstandig om goed te kijken welke functies waar op het eiland geplaatst worden. De buitenste platformen gaven een grotere hellingshoek en meer versnelling dan het middelste platform. De zwaarte van de beweging neemt af naarmate het meetpunt dichter naar het midden van het eiland komt. Het zou dus voordelig kunnen zijn om bewegingsgevoelige functies (zoals wonen en bepaalde industrieën) onder te brengen in het middelste deel van een drijvend eiland. Verder naar de buitenrand kunnen de minder gevoelige functies ondergebracht worden. Hierdoor zijn de buitenste platformen niet geschikt voor de functie bewonen maar misschien wel voor duurzame energie opwekken.

Omdat het concept van drijvende eilanden nog vrij jong is, heeft dit onderzoek niet alles kunnen belichten. Welke beperkingen dit onderzoek precies kent staat toegelicht in de onderstaande alinea's.

Beperkingen
Het onderzoek zoals dit uitgevoerd is heeft een aantal beperkingen:

- De golven die getest zijn in het onderzoek van MARIN, komen alleen voor in zeer extreme situaties. Zo is de kleinst geteste golfhoogte, uitgaande van de data die beschikbaar was, al een golfhoogte die behoort tot de 5% hoogste golven. Op basis van deze data geldt voor de twee grotere golfhoogtes (7,65m en 15,55m) dat deze een kans op optreden van kleiner dan 1:1000 hebben. Aangezien er bij de golf van 7,65 meter hoogte een overschrijding van de maximale hellingshoek op het linker platform geconstateerd is, zou dit voor uiteindelijke bewoning geen probleem hoeven zijn omdat de situatie zich zelden voordoet. Om echter uitspraak te kunnen doen over welke overschrijdingsfrequentie acceptabel is, is er informatie benodigd waarover geen beschikking was op het moment van dit onderzoek.

- Verder beperkt de toets op comfortwaarden zich dus op de geteste extreme golfcondities. Hoewel dit intuïtief te bestempelen valt als de meest nadelige situatie, kan het zijn dat door een andere frequentie, een lagere golf wellicht nadeliger is voor het comfort. Maar gezien de beperkte hoeveelheid data is dit aspect in het onderzoek buiten beschouwing gelaten.

- Voorts is er bij de test van het drijvende eiland in het testbassin op een aantal plekken gemeten aan de bewegingen. Alleen, zoals te zien is in de eisen die aan comfort gesteld zijn, zijn deze grenswaarden afhankelijk van de frequentie van de beweging. Nu is bij het geteste eiland de frequentie van de golven wel bekend, maar die van het eiland zelf niet. Voor de toetsing van het geteste eiland is de aanname gemaakt dat het eiland dezelfde frequentie van bewegen heeft als de golven. Het is aannemelijk op basis van de observaties dat dit inderdaad ook zo is. Maar om er met zekerheid wat over te kunnen zeggen, ontbreken de meetgegevens die dit kunnen bevestigen.

Over het algemeen is er in dit onderzoek veel naar voren gekomen over het comfort op drijvende eilanden. Er zijn echter ook een hoop nieuwe vragen ontstaan. Het is duidelijk nog een idee dat in een conceptstadium verkeert. Maar door heel de wereld wordt er door een groep toegewijde mensen gewerkt aan de dag dat dit idee realiteit wordt. Ondanks het feit dat er nog een hoop stappen te gaan zijn voordat er drijvende steden over de Noordzee bewegen, is het zeker niet uitgesloten dat er wellicht over enkele jaren groepen mensen gaan leven op zee.

8 Bronnen

arbokennisnet. (2008, Mei). *Kennisdossier Geluid en trillingen.* Opgehaald van arbokennisnet: http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Samenvatting/Geluid_en_trillingen/S_Trillingen.pdf

Cheung, D. B. (1995). *Chapter 8- Seasickness: Guidelines for all operators of Marine Vessels.* Toronto.

Cheung, D. B. (sd). *Chapter 8- Seasickness: Guidelines for all operators of Marine Vessels.*

Colwell, J. (1989). *Human factors in the naval environment: a review of motion sickness and biodynamic problems.* Dartmouth: Defence Research Establisment Atlantic.

Department of Defense USA. (1999). *MIL-STD-1472F Design Criteria Standard .* Department of Defense USA.

Earth Rocks! Katryn Wiese. (2015, maart 24). Ocean Waves Basics. San Francisco, Calfornië, USA.

Encyclo. (2018, 04 30). *Definitie comfort*. Opgehaald van Encyclo Nederlandse Encyclopedie: http://www.encyclo.nl

Gerritsma, P. I. (1994). *Scan - TU Delft.*

Holthuijsen, L. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters.* Cambridge University Press.

International Organization for Standardization. (1997). *ISO 2631-1.* International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (1997). *ISO 2631-1.*

International towing tank conference. (1999). *Testing an d Extrapolation methods high speed marine vehicles Excrept of ISO 2631, Seasickness and Fatigue.*

ITTC. (1999). ISO 2631 Seasickness and fatigue. *International Towing Tank Conference*, (p. 5).

Janssen, L. d. (2007). *Scheepsbouwkundige beoordeling van drijvende woningen: Aqualife unit 12x8m.* Almelo.

KANDA, G. a. (1977). Ultra-Low Fequency ship vibrations and motion sickness incidence. *Industrial Health*, 1-12.

Koning, i. N. (1996). *Toegepaste vloeistofmechanica.* Groningen: Stam Techniek.

LOLA Landscape Archictects. (2014). *Dijken van Nederland.* Rotterdam: naiOlO.

Nederland leeft met water. (2004). *Waterwijzer 2004-2005.* Den Haag: Het Rijk.

NORDFORSK. (1987). *Seakeeping Criteria.*

O.J. Waals, T. B. (2018). MODEL TESTS AND NUMERICAL ANALYSIS FOR A FLOATING MEGA ISLAND. *Proceedings of the 37th International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering* (p. 11). Madrid: MARIN.

Planbureau voor de Leefomgeving. (2007). *Correctie formulering over overstromingsrisico Nederland in IPCC rapport.* Opgehaald van Planbureau voor de Leefomgeving: http://www.pbl.nl/dossiers/klimaatverandering/content/correctie-formulering-over-overstromomgsrisico

Slingsby, M. (2014). *The behavior of Sea Steading platforms in the Gulf of Fonseca.* Delft: Deltasync.

Thijssen, A. (2009). *Natuurkunde Samengevat.* Amersfoort: ThiemeMeulenhoff.

Toffoli, A. (2017, maart 6). *Types of Ocean Surface Waves, Wave classification.* Opgehaald van Wiley Online Library: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9781118476406.emoe077

Urgenda. (2008). *de Drijvende Stad, benutten van zee en ruimte.* Rotterdam: Urgenda.

9 Nawoord

Gedurende dit afstudeeronderzoek over drijvende eilanden zijn wij veel te weten gekomen over het onderwerp drijvende eilanden en onszelf. Informatie over het project was schaars waardoor bij de start van het onderzoek nog veel uitgezocht moest worden. Gedurende de afstudeerperiode zijn er echter grote stappen gemaakt om kennis te vergaren over het aspect comfort op drijvende eilanden.

Bij aanvang van het onderzoek was het nog niet direct duidelijk wat de beste manier was om het vraagstuk te benaderen. Het schrijven van het Plan Van Aanpak was dan ook een goede gelegenheid om hier een duidelijke invulling aan te geven. Het Plan van Aanpak is echter gedurende het onderzoek ook nog onderhevig geweest aan wijzigingen. Dit had vooral te maken met de wens om de theorie te kunnen verbinden aan de praktijk. Dit bleek echter in veel gevallen heel moeilijk te zijn vanwege de complexiteit van de hydrodynamische berekeningen die nodig zijn om het gedrag van een drijvend platform te beschrijven.

Uiteindelijk hebben wij de link naar de praktijk verwezenlijkt door een onderzoek van MARIN te toetsen aan de door ons opgestelde eisen. Deze toetsing had twee doelen: voldeed het platform aan de opgestelde eisen en waren deze eisen praktisch haalbaar. Uiteindelijk bleek het platform te voldoen volgens de opgestelde eisen in alle geteste zeecondities. Dat liet zien dat niet alleen het platform een geschikt concept was, maar ook dat de eisen praktisch haalbaar waren.

Vanwege onze initiële onbekendheid met het onderwerp, hebben wij veel gehad aan de steun van onze collega’s bij blue21. Zij hebben ons gedurende het proces van afstuderen voorzien van de nodige feedback op onze werkwijze en aangeleverde producten. Daarbij hebben wij ook veel gehad aan de input van, C. van der Giessen en E. Rob Met dit onderzoek hebben wij onze eigen bijdrage geleverd aan de toekomst op water.