

# ROTATING FLOATING AIRPORT

## Concept Haalbaarheidsstudie



Eindrapport April 2002

Bas Klok  
Joris van den Hark



# ROTATING FLOATING AIRPORT

Concept Haalbaarheidsstudie

Bas Klok  
Joris van den Hark

April 2002

Technische Universiteit Delft  
Subfaculteit Civiele Techniek  
Sectie Offshore Technology



 Van den Noort Innovations B.V.





## Voorwoord

In het kader van het individueel vierdejaars project aan de TUDelft, subfaculteit Civiele Techniek, sectie Offshore Technology, is een onderzoek uitgevoerd naar een drijvend vliegveld in de Noordzee, het Rotating Floating Airport (RFA) ontworpen door Van den Noort Innovations B.V. Het doel is om op hoofdlijnen een beeld te krijgen van de technische en financiële haalbaarheid van het RFA voor de kust van Nederland. Het rapport is geschreven op verzoek van de Royal Haskoning en Van den Noort Innovations B.V.

Tevens moet het onderzoek de Royal Haskoning en Van den Noort Innovations B.V. in staat stellen de resultaten op een goede manier te beoordelen.

We willen de heer Wilmink en de heer Van den Noort bedanken voor alle hulp die zij hebben geboden voor het realiseren van dit rapport.

Bas Klok

Joris van den Hark



## Samenvatting

Het rapport is een haalbaarheidsstudie van een drijvend vliegveld het Rotating Floating Airport (RFA), ontworpen door Van den Noort Innovations B.V. Het doel van de studie is bekijken of het RFA technisch en financieel haalbaar is.

Het RFA bestaat uit een betonnen cilindervormige ring die op de zeebodem wordt gefundeerd. Drijvende elementen in de vorm van pontons worden gekoppeld aan de betonnen ring en kunnen draaien om de betonnen ring. De vorm en werking van het RFA kan vergeleken worden met een vliegwiel of een propeller. Het voordeel van deze constructie is dat het aantal banen gereduceerd kan worden omdat gedraaid kan worden op de gewenste windrichting.

Voor de haalbaarheid analyse van het RFA zijn de volgende knelpunten gelokaliseerd en mogelijke oplossingen aangedragen:

### *Vliegtechnisch:*

Volgens het wereldwijd gebruikte landingssysteem Instrument Landing System (ILS) is het niet toegestaan om te landen op een draaibaar vliegveld. Nieuwe landingssystemen, zoals Tunnel-in-the-sky en het Differential Global Positioning System (DGPS), zullen landen op het RFA wel mogelijk maken.

### *Koppelingen tussen de pontons:*

De bewegingen van een ponton zijn te groot en daardoor ook de koppelingskrachten. Door de pontons meer te laten bewegen is het vliegtechnisch niet mogelijk om van de start- en landingsbanen gebruik te maken. De oplossing ligt in het ontwerp van de ponton. Het Pneumatically Stabilized Platform (PSP) van Float Incorporated kan een oplossing zijn, omdat het ponton met de dezelfde weersomstandigheden kleiner bewegingseigenschappen heeft.

### *Aansluiting van het dek aan op de betonnen bak:*

Het was niet mogelijk om een geheel van pontons (omvang van de berekening te groot qua tijd) te modelleren zodat de krachten op de betonnen bak bepaald konden worden. Dit krachtenspel is nodig om het ontwerp te maken voor de lagering. Als gevolg hiervan kan de haalbaarheid op dit aspect niet bepaald worden. Indicatief kan gezegd worden dat met de aangedragen methoden het wel mogelijk is een lagersysteem van deze omvang te ontwerpen.

### *De kosten:*

Voor het maken van de kostenraming is het RFA vergeleken met verschillende opgespoten eiland concepten. Uit de kostenraming blijkt het RFA, uitgevoerd in stalen pontons geen kostenvoordeel heeft ten opzichte van een opgespoten eiland van 7860 ha. De stalen pontons zijn te duur. Een kostenvoordeel voor het RFA is te halen door goedkopere en beter werkende pontons te ontwikkelen.

### *Inrichting van het RFA:*

Voor de inrichting van het RFA is vervoerstechnisch een concept ontwikkeld waarmee de vervoerstromen van en naar het RFA afgehandeld kunnen worden. Verder uitwerking van dit concept is nodig.

### *Morfologie en vogelgemeenschap:*

De invloed van het RFA op de morfologie in de Noordzee vergeleken met een opgespoten eiland is minimaal. Uit het globale onderzoek komt naar voren dat erosie en sedimentatie



zich beperkt in de directe omgeving van het RFA. De dynamiek van de Nederlandse kust zal niet tot nauwelijks invloed ondervinden van het RFA.

De vogelgemeenschap zal niet toenemen door aanwezigheid van het RFA. Het RFA is niet een ideale broed- of trekplaats in tegenstelling tot een opgespoten eiland welke vogels zal aantrekken.

### Conclusies:

Volgens de huidige regelgeving is het niet toegestaan om te landen op een draaibaar vliegveld. Nieuwe ontwikkelingen met betrekking tot landingssystemen (Tunnel-in-the-sky / DGPS) maken het landen op het RFA wel mogelijk.

Constructief technisch is het RFA op dit moment niet haalbaar. Echter met de nieuwe ontwikkelingen op constructief technisch gebied (PSP, hydrolager, NCC) kan het RFA in de nabije toekomst gerealiseerd worden.

Indien de vliegtechnische en constructief technische knelpunten opgelost zijn, biedt het RFA een prijs- en milieuvriendelijk alternatief ten opzichte van een eiland in de Noordzee.

### Aanbevelingen:

Om het RFA daadwerkelijk uit te voeren is het noodzakelijk de volgende aspecten nader te onderzoeken:

- Onderzoek naar hydrodynamische eigenschappen van nieuw ontwikkelde pontons. Het doel van onderzoek moet zijn een ponton ontwikkelen die de opgelegde beweging van de zee reduceert.
- Onderzoek naar koppelingen tussen pontons, die de koppelkrachten op kunnen nemen (NCC) toegespitst op het RFA concept.
- Onderzoek naar de bewegingen van een reeks gekoppelde pontons van 3000x600x 20 meter<sup>3</sup>. De krachten op de betonnen ring kunnen dan worden bepaald. Deze krachten zijn van belang voor de ontwikkeling van het lagersysteem en het ontwerp van de fundatie.
- Detail onderzoek naar de weersomstandigheden (vooral de wind en windrichting) op de geplande locatie van het RFA. Dit om de wenselijkheid van een roteerbaar vliegveld te bevestigen en tevens de technische eisen met betrekking tot draaisnelheid, draaifrequentie etc. te bepalen.
- Onderzoek naar de planologische aanpak van het gehele bouwproces. Het onderzoek moet toegespitst zijn op de bouw van de pontons en de tunnelelementen.
- Onderzoek naar het downsizen van het RFA (minder vliegbewegingen op zee).
- Onderzoek naar de toepassing van het RFA-concept in bijvoorbeeld het IJsselmeer en andere zeeën.
- Een haalbaarheidsonderzoek naar een combinatie van een kleiner opgespoten eiland (±500 ha) met drijvende roterende start- en landingsbanen. Een vergelijkbaar onderzoek is gedaan voor het Vliegveld van San Francisco door Float Incorporated ([www.floatinc.com](http://www.floatinc.com)).



## Inhoudsopgave

Voorwoord .....	i
Samenvatting .....	ii
Inhoudsopgave .....	iv
1. Inleiding .....	1
2. Probleem analyse .....	2
2.1. Inleiding .....	2
2.2. Probleembeschrijving .....	2
2.3. Locatiebeschrijving .....	2
2.3.1. Inleiding .....	2
2.3.2. Waterdiepte .....	3
2.3.3. Afstand tot de kust .....	3
2.3.4. Restrictiegebieden .....	3
2.3.5. Overwegende stroom- en windrichting .....	3
2.4. Locatiekeuze .....	5
3. Programma van Eisen .....	6
3.1. Inleiding .....	6
3.2. Programma van uitgangspunten .....	6
3.2.1. Technische uitgangspunten .....	6
3.2.2. Juridische en economische uitgangspunten .....	7
3.2.3. Milieu uitgangspunten .....	7
3.3. Randvoorwaarden .....	7
3.4. Toetsingscriteria .....	7
4. Haalbaarheidsanalyse .....	8
4.1. Inleiding .....	8
4.2. Vliegtechnische analyse .....	8
4.3. Capaciteitsanalyse .....	9
4.3.1. Kustverbinding .....	9
4.3.2. Landingsbaan .....	10
4.3.3. Ring/Terminal .....	11
4.4. Constructieve analyse .....	17
4.4.1. Fundering ring .....	17
4.4.2. Koppeling pontons .....	17
4.4.3. Aansluiting ring .....	23
4.4.4. Draaibaarheid RFA .....	27
4.5. Morfologische analyse .....	29
4.5.1. Inleiding invloed van grootschalige landaanwinningprojecten .....	29
4.5.2. Hydrodynamische veranderingen .....	29
4.5.3. Erosie en sedimentatie .....	32
4.5.4. Vogelbewegingen .....	34
4.6. Logistieke analyse .....	35
4.6.1. Bouwplanning .....	35
4.6.2. Benodigd materieel .....	35
5. Kostenraming .....	37
5.1. Inleiding .....	37
5.2. Kostenraming pontons .....	37
5.3. Kostenraming inrichting luchthaven .....	38
5.4. Kostenraming aanpassing infrastructuur .....	38
5.5. Samenvatting totale kosten .....	39
6. Afweging .....	41
6.1. Inleiding .....	41
6.2. Beschrijving eiland variant .....	41





6.3.	Beschrijving criteria .....	42
6.4.	Criteria-analyse .....	46
6.5.	Afweging .....	48
7.	Conclusies en Aanbevelingen .....	50
7.1.	Conclusies.....	50
7.2.	Aanbevelingen.....	51
	Literatuurlijst.....	52
	Verklarende woordenlijst .....	53
Bijlage 1:	Concept RFA.....	54
Bijlage 2:	Windcriteria Schiphol.....	57
Bijlage 3:	Windgegevens Kustgebieden .....	58
Bijlage 4:	Golfspectrum IJmuiden.....	60
Bijlage 5:	Locatiekeuze .....	61
Bijlage 6:	Resultaten 3-D panelmethode .....	62
Bijlage 7:	The Pneumatically Stabilized Platform or PSP .....	64
Bijlage 8:	Nonlinear Compliant Connector.....	71
Bijlage 9:	Uitvoering hydrolager in het IJ .....	73
Bijlage 10:	Vogelproblematiek.....	77
Bijlage 11:	Bouwplanning.....	79
Bijlage 12:	Variant bouwplanning .....	80
Bijlage 13:	Beschrijving varianten .....	81
Bijlage 14:	Beschrijving aanpassing infrastructuur .....	83



## 1. Inleiding

Het transport van mensen en goederen via het luchtruim neemt de laatste jaren veel sneller toe dan was voorzien, aldus cijfers van het CPB (1997). Op welke wijze de Nederlandse luchtvaartinfrastructuur deze groei gaat opvangen, is al enige tijd onderwerp van discussie en onderzoek. Het kabinet heeft in de Integrale Beleidsvisie (IBV) van november 1997 aangegeven dat de luchtvaart in Nederland kan toenemen, mits rekening gehouden wordt met randvoorwaarden op het gebied van milieu, economie, ruimte en dergelijke. In de IBV worden de maatregelen geschetst die moeten leiden tot deze beheerste groei.

Tot op de dag van vandaag is de meest voorkomende optie een opgespoten eiland in de Noordzee. Het nadeel van dit alternatief zijn de hoge kosten die ermee gepaard gaan. Als reactie hierop worden oplossingen aangedragen die steeds innovatiever zijn.

Een voorbeeld hiervan is het bedrijf Van den Noort Innovations B.V. dat een concept ontwikkeld heeft voor een drijvend vliegveld het Rotating Floating Airport (RFA) (zie **bijlage 1**). Omdat dit concept nog in een beginstadium verkeert en een zeer innovatief karakter heeft, hebben de Royal Haskoning en Van den Noort Innovations B.V. ons gevraagd de haalbaarheid van het RFA te onderzoeken.

Het belangrijkste doel van deze studie is de technische, de operationele en de maatschappelijke haalbaarheid van dit concept te toetsen. Tevens zal een indicatie van de totale kosten gegeven worden.

In dit rapport zijn de resultaten van de uitgevoerde werkzaamheden weergegeven. De totale duur van de studie was acht weken. In deze betrekkelijke korte periode zijn verschillende haalbaarheidaspecten van dit concept uitgewerkt en is een raming van de totale kosten gemaakt.

De indeling van het rapport ziet er als volgt uit. In hoofdstuk 2 zal het probleem nader geanalyseerd worden en het doel van de studie toegelicht worden. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 een overzicht van de randvoorwaarden gegeven waarbinnen het probleem opgelost moet worden. De haalbaarheid wordt bekeken in hoofdstuk 4. Hierin zullen een aantal knelpunten nader onderzocht worden. In Hoofdstuk 5 wordt een schatting van de totale kosten van het concept gegeven. Vervolgens in hoofdstuk 6 wordt de haalbaarheid bekeken met behulp van de opgestelde criteria en een vergelijking gemaakt met een eilandvariant. Tenslotte worden in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen gedaan.



## **2. Probleem analyse**

### **2.1. Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt het probleem nader geanalyseerd en vervolgens de probleemstelling en de doelstelling gedefinieerd. Vervolgens wordt in paragraaf drie een locatiebeschrijving gegeven van het RFA en worden tevens de locatie-eisen beschreven. Tot slot wordt in paragraaf vier de locatie keuze toegelicht.

### **2.2. Probleembeschrijving**

De discussie omtrent een eventuele uitbreiding van Schiphol is al een aantal jaren gaande. Gedurende deze periode zijn een aantal mogelijke oplossingen gepresenteerd. Deze kunnen grofweg in twee categorieën opgedeeld worden. De ene behandelt een uitbreiding van Schiphol door middel van de vijfde baan en in de toekomst wellicht een zesde en zevende baan. Aangezien de uitbreiding van Schiphol op de huidige locatie bijna onmogelijk is, onder andere door striktere omgevingseisen, is gezocht naar eventuele andere locaties. De tweede categorie behelst de Noordzee-variant. Hieronder vallen alle concepten waarbij uitbreiding gerealiseerd wordt door Schiphol te verplaatsen naar de Noordzee. De meest voorkomende van de laatste categorie is de zogenaamde eilandvariant. In deze variant wordt een kunstmatig eiland in de Noordzee gebouwd waarop een nieuw vliegveld aangelegd wordt. Dit concept heeft als belangrijkste nadeel dat de kosten zeer hoog zijn.

Het bedrijf Van den Noort Innovations B.V. heeft een concept ontwikkeld voor een drijvend vliegveld, het Rotating Floating Airport (RFA). Dit concept bestaat uit een betonnen ring waarom heen het vliegveld kan roteren. De verwachting is, dat in vergelijking met een eilandvariant, de kosten voor het RFA aanzienlijk lager uit zullen komen. Aangezien het concept nog in een beginstadium verkeerd, zijn er veel knelpunten die nog opgelost dienen te worden. Een van de belangrijkste vragen betreft de haalbaarheid van dit concept. Hoe zit het met de technische, de operationele, de economische en de maatschappelijke haalbaarheid?

In opdracht van de Royal Haskoning en Van den Noort Innvations B.V. wordt de haalbaarheid van het RFA bekeken. Het doel van deze studie is om de technische, de operationele en de maatschappelijke haalbaarheid van dit concept te toetsen. Hierbij zal het RFA-concept vergeleken worden met de eilandvariant. Tevens zal een indicatie van de uiteindelijke kosten gegeven worden.

### **2.3. Locatiebeschrijving**

#### **2.3.1. Inleiding**

Het zoekgebied voor een geschikte locatie voor het vliegveld wordt beperkt door een aantal randvoorwaarden en uitgangspunten. Het betreffen de volgende criteria:

- Waterdiepte;
- Afstand tot de kust;
- Restrictiegebieden;
- Overwegende stroomrichting en windrichting.

In de volgende paragrafen worden deze criteria naar toegelicht.



### 2.3.2. Waterdiepte

In verband met de bereikbaarheid van de locatie voor installatieschepen en ondersteuningschepen en rekening houdend met de economische haalbaarheid van het RFA, komt alleen het gebied in aanmerking met een waterdiepte tussen de 10 en de 20 meter.

### 2.3.3. Afstand tot de kust

Afhankelijk van de locatie voor de kust strekt de bovengrens van 20 meter waterdiepte zich uit tot 10 á 20 kilometer van de kust. Deze afstand valt samen met de 12-mijlszone, ofwel de grens van de Nederlandse territoriale wateren. Deze grens ligt op zo'n 22 kilometer uit de kust. Binnen deze 12-mijlszone gelden over het algemeen dezelfde wetten als op land.

Om verstoring van het zeelandschap te voorkomen wordt een ondergrens van tenminste 10 kilometer uit de kust aangehouden. Op deze afstand is de visuele hinder minimaal.

### 2.3.4. Restrictiegebieden

Bij de locatiekeuze van het RFA moet terdege rekening gehouden worden met andere gebruiksfuncties voor de Nederlandse kust. Gebieden die door planologische restricties niet in aanmerking komen zijn:

- veiligheidszones rond kabels (1000 meter) en leidingen (500 meter);
- een veiligheidszone van 500 meter tot aan mijnbouwinstallaties;
- scheepvaartroutes en ankerplaatsen;
- het verkeersscheidingsstelsel, waar schepen elkaar kunnen passeren;
- militaire oefengebieden;
- vergeven locaties voor delfstoffenwinning (olie, gas, zand en schelpen);
- restrictiegebieden en sloten gebieden (Mijnwet Continentaal Plat);
- baggerstortlocaties.

Het merendeel van deze eisen zijn opgesteld met het ruimtegebruik van vissersschepen in het achterhoofd. Met name het gebruik van trawling-gereedschap voor de visvangst kan grote schade veroorzaken. Vanuit dit oogpunt zijn ook de veiligheidszones rond kabels en leidingen opgesteld. Aangezien de betonnen ring alleen op de bodem is afgesteund en de rest van het RFA drijvend uitgevoerd is, kunnen wellicht de veiligheidsmarges rond kabels en leidingen, in dit specifieke geval, aangepast worden. De eisen omtrent ankerplaatsen en baggerstortlocaties zijn wellicht ook wat minder hard. Voor een dergelijk groot project is het niet onaannemelijk dat deze gebieden zelfs verplaatst worden.

### 2.3.5. Overwegende stroom- en windrichting

De hoofdrichtingen van wind- en zeestroming spelen een belangrijke rol in de locatiekeuze van het RFA. De stroomrichting is bepalend voor de oriëntatie van het vliegveld en de windrichting en windsnelheid zijn mede bepalend voor de capaciteit van het vliegveld. Met name hevige dwarswinden tijdens start- en landingsprocedures zijn uitermate ongewenst. In **bijlage 2** is een overzicht van de windcriteria gegeven van maatgevende dwarswinden in combinatie met de baan omstandigheid, die gehanteerd worden op Schiphol. Door het vliegveld weathervaning te maken, dat wil zeggen roterend om de maatgevende stroom- en windrichting, wordt de grootte van de windcomponent loodrecht op de landingsbaan teruggebracht. Door het vliegveld zodanig te roteren dat de dwarscomponent van de wind binnen de criteria blijft, wordt de operationele duur van het vliegveld gemaximaliseerd.

In **bijlage 3 en 4** is een indicatie gegeven van de windrichting en het getijverloop. Uit deze gegevens blijkt dat de stroomrichting constant is (loopt parallel aan de kust, afwisselend van noord naar zuid en omgekeerd), maar dat de windrichting behoorlijk fluctueert. In deze





bijlage zijn ook de maatgevende waarden voor de stroomsnelheid en de windsnelheid gegeven.



## 2.4. Locatiekeuze

De bovenstaande criteria zijn te vertalen naar ruimtelijke eisen. Hiermee kunnen grafisch gebieden onderscheiden worden die ongeschikt zijn als locatie. De overgebleven gebieden zijn dan geschikt als locatie voor het RFA. Deze gebieden zijn weergegeven in **bijlage 5**.

Grofweg kunnen twee regio's onderscheiden worden. De ene regio ligt ten noorden van IJmuiden en de andere ten zuiden. De regio ten zuiden van IJmuiden heeft als voordeel dat het hemelsbreed de kortste afstand tot Schiphol is. Hierdoor wordt de benodigde lengte van de verbinding tussen Schiphol en het RFA verkleint, wat uiteindelijk resulteert in een kostenvoordeel. De regio ten noorden van IJmuiden heeft als belangrijk voordeel dat de visuele hinder minder is. De kust ten noorden van IJmuiden bestaat voornamelijk uit havengebieden en industriegebieden, terwijl ten zuiden van IJmuiden het RFA voor de kust van Zandvoort en Noordwijk komt te liggen. Dit zijn belangrijke recreatiegebieden, waardoor de visuele overlast groter is en de weerstand tegen de aanleg van een vliegveld op die locatie groter wordt.

De locatiekeuze wordt dus enerzijds bepaald door de grotere visuele hinder ten zuiden van IJmuiden en de langere verbinding tussen Schiphol en een locatie ten noorden van IJmuiden. Aangezien er nog geen duidelijke indicatie is van de mogelijke kosten (en meerkosten) is er voor de rest van dit rapport uitgegaan van de locatie ten noorden van IJmuiden.



### 3. Programma van Eisen

#### 3.1. Inleiding

In de beginfase is het belangrijk de opdracht goed af te bakenen, zodat er in een latere fase geen problemen ontstaan. Dit kan voorkomen worden door zorgvuldig de uitgangspunten en randvoorwaarden van het project op te stellen. Deze eisen leiden uiteindelijk tot het programma van eisen. Aan de hand van dit programma worden criteria opgesteld waarmee het project getoetst kan worden. In de toetsing zal het RFA-concept vergeleken worden met het eiland-in-de-Noordzee concept.

Voor dit project worden de volgende definities gehanteerd:

*Programma van uitgangspunten:*

Beperkingen die niet van buitenaf opgelegd worden. Uitgangspunten zijn keuzen of aangenomen waarden voor onbekenden. De uitgangspunten kunnen gebaseerd zijn op informatie verkregen van derden (referenties) of op eigen verantwoordelijkheid zijn opgesteld (aannamen).

*Randvoorwaarden:*

Beperkingen die van buitenaf opgelegd worden. Dat kunnen fysische omstandigheden zijn, maar bijvoorbeeld ook de wetgeving.

In dit hoofdstuk wordt in de tweede paragraaf het programma van uitgangspunten behandeld. Hierbij is een onderscheid gemaakt in, de technische-, de juridische&economische- en de milieu-uitgangspunten. Vervolgens worden in paragraaf 3 de randvoorwaarden gepresenteerd. In de laatste paragraaf worden een lijst met criteria gedefinieerd.

#### 3.2. Programma van uitgangspunten

##### 3.2.1. Technische uitgangspunten

De technische uitgangspunten bestaan uit constructieve en operationele eisen.

- Het RFA moet ontworpen worden met een toekomstige capaciteit van tussen de 600 duizend en 1,2 miljoen starts en landingen in 2030;
- De eisen met betrekking tot maximaal toelaatbare dwars- en staartwinden tijdens start- en landingsprocedures (zie **bijlage 2**) zijn maatgevend;
- De start- en landingsprocedures worden begeleid met het Instrument landing system (ILS);
- Het roteren van het vliegtuig met de wind (alleen onder extreme omstandigheden wordt het RFA in de wind gedraaid) dient niet al teveel tijd in beslag te nemen;
- De oeververbinding moet aan de capaciteitsgegevens van Schiphol voldoen, rekening houdende met huidige groeicijfers;
- De reistijd van Schiphol naar het RFA mag maximaal een half uur bedragen;
- De contouren van het RFA zodanig kiezen dat de luwe zones tot een minimum worden gereduceerd. Een luwe zone is ideaal als neerstrijksplaats van vogels;
- Het aantal offshore handelingen minimaliseren. De passagiers gaan rechtsreeks vanuit de trein het vliegtuig in.



### 3.2.2. Juridische en economische uitgangspunten

- Het vliegveld moet aangelegd worden binnen de 12-mijlszone;
- De scheepvaart moet geen hinder ondervinden van het vliegveld, zowel in aanlegfase als in exploitatiefase;
- De geluidsoverlast aan de Nederlandse kust moet voldoen aan de geldende normen;
- Het RFA moet ontworpen worden met een levensduur van 100 jaar;
- Het ontwerp dient rekening te houden met andere gebruiksfuncties van de zee.

### 3.2.3. Milieu uitgangspunten

- De schade aan flora en fauna moet geminimaliseerd worden, zowel in aanlegfase als in exploitatiefase;
- Vanwege veiligheidsoverwegingen, moet de aanwezigheid van vogels om en nabij het RFA voorkomen worden;
- Er zijn indicaties dat er meer vogels nabij de kust voorkomen dan verder (5 tot 15 km) uit de kust;
- Het plotseling neerstrijken van grote groepen uitgeputte trekvogels op schepen en booreilanden, de zogenaamde 'falls', zullen naar verwachting geen problemen opleveren;
- Aanvliegroutes zo ver mogelijk uit de buurt houden van verbouwing en industrie;
- Vanuit landschappelijk oogpunt moet het eiland zover mogelijk uit de kust worden geplaatst;
- Vanuit de geluidsproblematiek moet het RFA zo ver mogelijk uit de kust worden geplaatst;
- Bij voorkeur mogen de aanvliegroutes geen waterwegen kruisen, in verband met de funnel.

### 3.3. Randvoorwaarden

- Waterstanden, getijstromingen en golfklimaten;
- Heersend windklimaat;
- Sedimentstromingen langs de kust;
- Ontwerp en uitvoering volgens TGB algemene basis (NEN 6700) met daarin vermelde NEN-normen;
- Technische gegevens van Schiphol.

### 3.4. Toetsingscriteria

Het RFA wordt getoetst aan een opspotten eiland voor de kust. Hieronder zijn de belangrijkste toetsingscriteria bepaald zodat een vergelijking van beide concepten objectief beoordeeld kan worden.

Belangrijke toetsingscriteria zijn:

- Haalbaarheid (technisch versus operationeel);
- Bouwproces;
- Veiligheid;
- Invloed op de (natuurlijke) omgeving;
- Kosten.





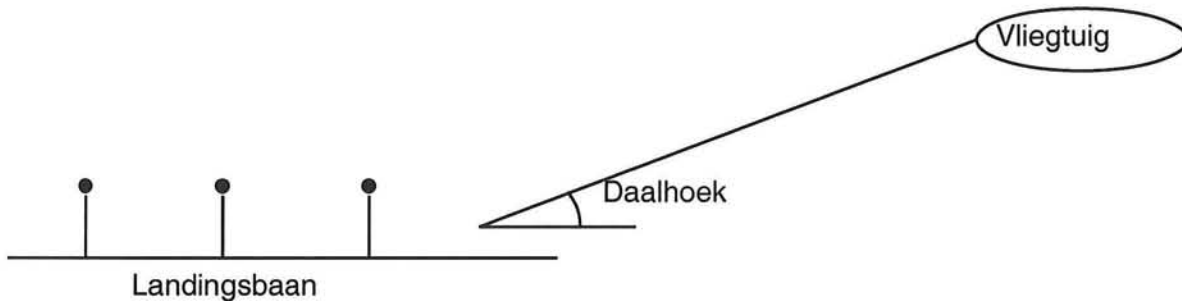
## 4. Haalbaarheidsanalyse

### 4.1. Inleiding

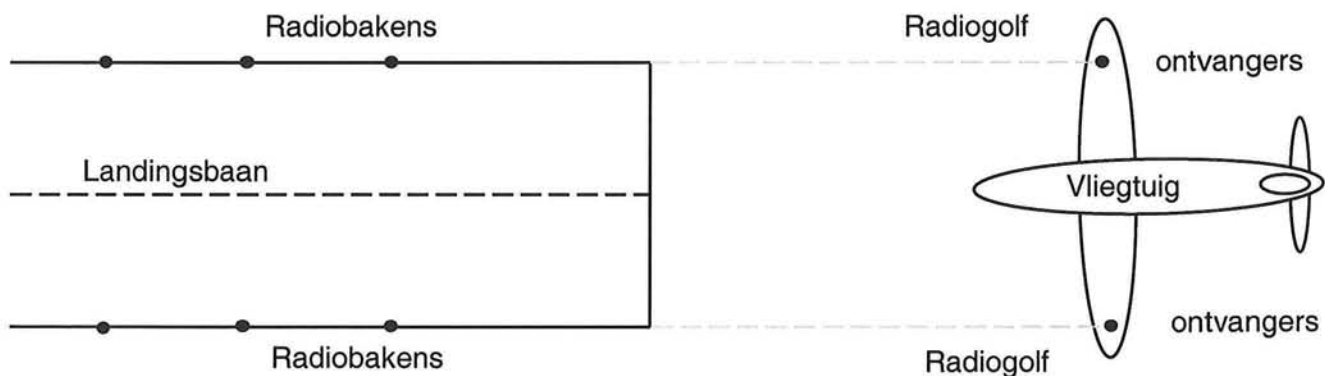
In dit hoofdstuk zullen de verschillende knelpunten van het concept aan bod komen en worden mogelijke oplossingen aangedragen. In de tweede paragraaf is een beknopte analyse gegeven van de vliegtechnische eisen en begeleidingssystemen die momenteel gelden op de grote vliegvelden. In de derde paragraaf wordt een capaciteitsanalyse gemaakt van het RFA. De passagiers- en goederenaantallen waarop het RFA gedimensioneerd zal moeten worden, worden kort aangeduid. Tevens worden een aantal concepten aangedragen om de verschillende vervoersstromen in goede banen te leiden. Vervolgens is in paragraaf vier een constructieve analyse beschreven. Hierbij zijn de volgende punten in oenschouw genomen. De fundering van de ring wordt kort besproken, gevolgd door een analyse van de koppeling tussen de verschillende pontons en de koppeling tussen de pontons en de ring en de draaibaarheid van het concept wordt toegelicht. In paragraaf vijf is een morfologische analyse gegeven. Hierin worden de gevolgen van het RFA voor de stroming rond de Nederlandse kust, en de gevolgen voor de sedimentatie en erosie van de Nederlandse kust behandeld. Tenslotte is in de laatste paragraaf een korte logistieke analyse gegeven, waarin het benodigde materieel/materiaal en een beknopte bouwplanning aan bod komen.

### 4.2. Vliegtechnische analyse

Op alle grote vliegvelden in de wereld wordt gebruik gemaakt van het Instrument Landing System (ILS). Dit systeem begeleidt het vliegtuig tijdens de landingsprocedure. Door middel van radiogolven wordt het vliegtuig naar de landingsbaan begeleidt, zie figuren 4.1 en 4.2.



Figuur 4.1: Zijaanzicht ILS



Figuur 4.2: Bovenaanzicht ILS



Het ILS begeleidt het vliegtuig vanaf ongeveer 5 á 10 kilometer tot aan de landingsbaan. Het vliegtuig wordt, als het binnen het bereik van het ILS komt, in een rechte lijn onder een constante daalhoek en snelheid naar de landingsbaan begeleidt. Dit gebeurt door middel van radiobakens die parallel aan de landingsbaan staan opgesteld en ontvangers in de vleugeluiteinden van het vliegtuig. Een eenvoudig instrumentatiescherm in de cockpit van het vliegtuig kan de piloot het vliegtuig op de juiste koers houden. In het geval van zijwind dient te piloot te corrigeren, zodat het vliegtuig op de juiste koers blijft.

Bij het RFA kan er sprake zijn van een mogelijke rotatie van de landingsbaan op het moment dat een vliegtuig in zijn landingsprocedure zit. Het vliegtuig is gekoppeld aan het ILS, zodat een rotatie van de landingsbaan betekent dat ook de radiobakens meedraaien. De instrumentatie in de cockpit zal deze rotatie weergeven door een verschuiving in horizontale richting van de marker. Voor de piloot betekent dit een extra handeling. Hij moet namelijk bijsturen, zodat het vliegtuig weer in een rechte lijn op de landingsbaan wordt gepositioneerd. In theorie is een rotatie van de landingsbaan te beschouwen als een toe- of afname in de zijwind, die door bijsturing van de piloot gecompenseerd kan worden.

In de huidige regelgeving is deze extra verstoring (door de rotatie van de landingsbaan) niet toegestaan. Op het moment dat de piloot in het ILS zit mag er dus geen rotatie van de landingsbaan plaatsvinden. Dit betekent dat het niet is toegestaan om te landen op het RFA. Opgemerkt dient te worden dat het ILS al een groot aantal jaren wordt gebruikt en sterk verouderd is. Er zijn nieuwe systemen in ontwikkeling die het mogelijk maken om een bocht in de landingsprocedure uit te voeren.

Eén daarvan is het zogenaamde Tunnel-in-the-sky systeem dat ten opzichte van het ILS een stuk flexibeler is in met name de aanvliegroute, -hoogte en -snelheid. Het is met dit systeem niet meer een vereiste om op een afstand van enkele kilometers van de landingsbaan in een rechte lijn met constante snelheid aan te vliegen. Een rotatie van de landingsbaan kan gemakkelijker in dit systeem geïntegreerd worden.

Een ander systeem is het Differential Global Positioning System (DGPS) gecombineerd met het Inertia Navigation System (INS). Dit systeem is in staat de positie van het vliegtuig en de landingsbaan tot op enkele decimeters nauwkeurig te bepalen. Ook in dit systeem is het geen probleem een rotatie van de landingsbaan te integreren.

Bovengenoemde twee alternatieve landingssystemen zijn momenteel nog niet geaccepteerd. Ze zijn dermate ontwikkeld dat ze binnen afzienbare tijd het ILS zullen vervangen. Zodra dat gebeurt, komt de mogelijke realisatie van een RFA een stuk dichterbij.

### **4.3. Capaciteitsanalyse**

#### **4.3.1. Kustverbinding**

Er zijn al verschillende studies gedaan naar een kustverbinding van een eiland voor de kust naar het vaste land. Uit deze studies blijkt dat de verschillende ontwerpen van een verbinding technisch en operationeel haalbaar zijn. In dit rapport zal niet verder worden ingegaan op de haalbaarheid van een verbinding naar het RFA. Wel zal hieronder een korte beschrijving worden gegeven van het systeem dat het meest compatibel is met het RFA.

Het RFA komt ongeveer 20 kilometer uit de kust te liggen, daarom is er een tunnel nodig om het RFA te verbinden met de kust. Op het land zal de verbinding met Schiphol grotendeels bovengronds worden gerealiseerd.

Voor het aantal sporen in de tunnel wordt aangenomen dat er per richting minimaal 1 spoor beschikbaar moet zijn. Dit betekent dat de verbinding uit minimaal 3 sporen moet bestaan, te



weten: voor elke richting 1 spoor plus een extra spoor ten behoeve van onderhoud, bijsturing, calamiteiten en dergelijke.

De verbinding moet per richting de volgende capaciteit hebben:

- Passagiers:  
maximaal 9.000 personen per uur inclusief een aandeel personeel;
- Vracht:  
maximaal 1.200 ton per uur (1.000 ton vracht en 200 ton bevoorrading) waarvan een deel en hoge prioriteit heeft, voorlopig uitgaan van ca. 400 ton vracht per uur tijdens de piekuren;
- Bagage:  
maximaal 350 containers (= 240 ton) bagage per uur.

Voor de Minimum Connecting Time (MCT) wordt uitgegaan van maximaal 45 minuten. Dit resulteert in een reistijd tussen beide terminals van 20 minuten voor passagiers en bagage inclusief in- en uitstappen. De verbinding kan gerealiseerd worden met een drietal vervoerssystemen, namelijk:

- een hoge snelheidstrein;
- een magnetische zweeftrein;
- een verbinding gebaseerd op het Swissmetro principe.

#### 4.3.2. Landingsbaan

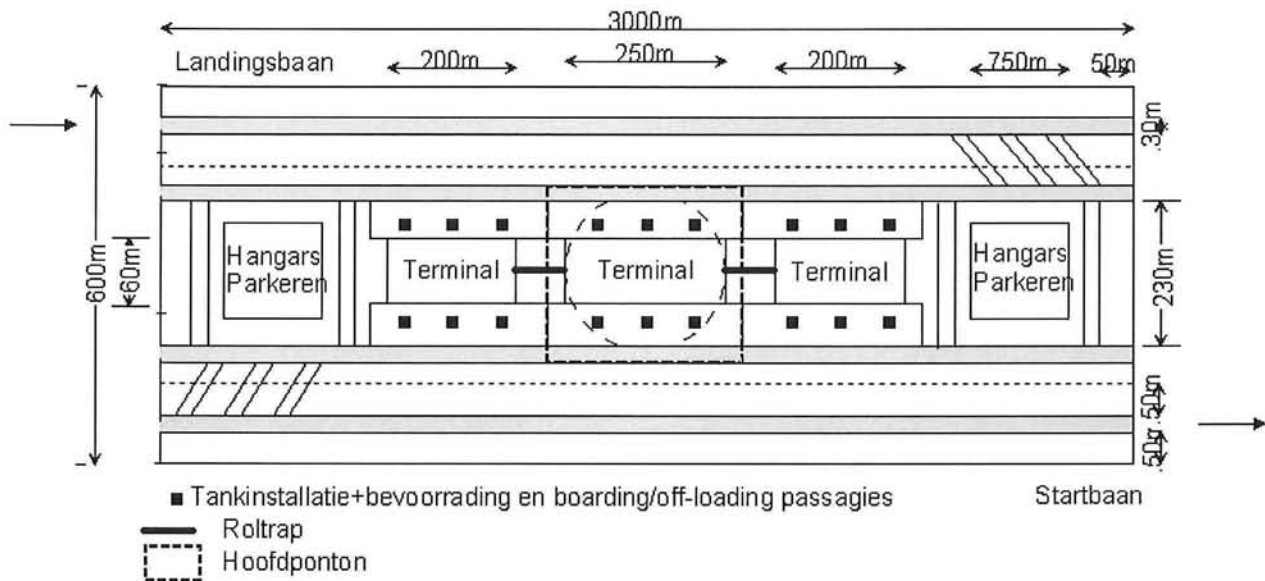
Uit gegevens omtrent de groei van het luchtverkeer blijkt dat rekening gehouden moet worden met 600 duizend vliegbewegingen in het jaar 2010 (momenteel zijn 416 duizend vliegbewegingen geoorloofd). Dit aantal zal in 2003 verder stijgen tot 1,2 miljoen vliegbewegingen. Het RFA is op basis van deze capaciteitsgegevens gedimensioneerd.

600 duizend tot 1,2 miljoen vliegbewegingen per jaar kan omgerekend worden in 30 tot 60 starts en landingen per uur. Aangenomen wordt dat vliegtuigen één uur nodig hebben voor bevoorraden en tanken, wat betekent dat op het RFA per uur plaats moet zijn voor minimaal 30 en maximaal 60 vliegtuigen. Deze capaciteitseisen kunnen vertaald worden naar ruimtelijke eisen. Hierbij zijn de volgende aannamen gedaan om de benodigde oppervlakte van het RFA te kunnen bepalen:

- Minimaal 1 startbaan en 1 landingsbaan van 30x3000 meter<sup>2</sup>;
- Ruimte reserveren voor veiligheidszones rondom de landingsbaan (50 meter ongebruikte ruimte aan beide zijden);
- Minimaal 10 punten waar tanken/bevoorraden en boarding/off-loading plaats kan vinden;
- Oppervlakte reserveren voor terminalruimte (passagiers+vracht);
- Benodigde oppervlakte per vliegtuig 75x75 meter<sup>2</sup> (Boeing 747);
- Ruimte reserveren voor hangars/parkeren van vliegtuigen;
- Ruimte reserveren voor brandweer en overig ondersteunend materieel.



Met behulp van bovenstaande ruimtelijke eisen kan de volgende landingsbaanlay-out ontworpen worden, zie **figuur 4.3**.



Figuur 4.3: Overzicht landingsbaanlay-out

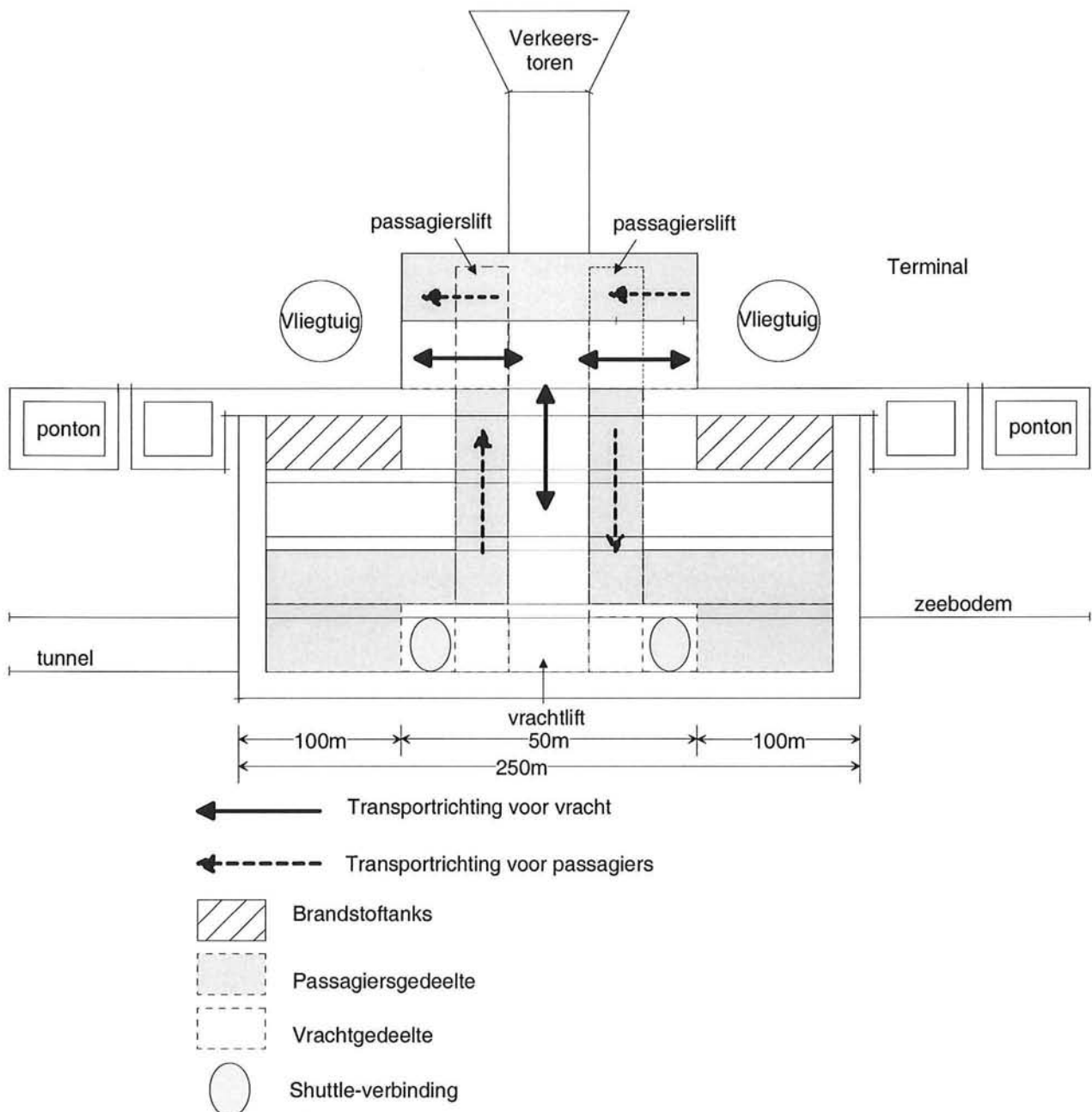
In het figuur zijn een aantal afmetingen gegeven. Het RFA moet minimaal een lengte van 3000 meter en een breedte van 600 meter hebben. Er zijn 3 terminals van elk 200x60 meter<sup>2</sup> met ieder 6 tankinstallaties en 6 passagiersslurven. Het hoofdponton, de aansluiting tussen de ring en de overige pontons, is aangegeven met een stippellijn.

### 4.3.3 Ring/Terminal

Een belangrijk knelpunt is het verticale transport van passagiers en vracht van het station naar het beweegbare dek van het RFA. Er moet een verbinding gecreëerd worden tussen een vaste basis en een beweegbaar dek. De enige op oplossing die technisch en operationeel haalbaar is, is een centrale liftschaft. Het roteren van het bovendek heeft dan weinig gevolgen voor de lift zelf, omdat nabij het centrum van de roterende schijf de rotatiebeweging minimaal is. De centrale liftschaft zal vast aan de ring gemonteerd worden. Hierdoor is een vaste verbinding tussen lift en bodem gecreëerd, waardoor de lift nu minimale hinder ondervindt van de bewegingen van het bovendek.







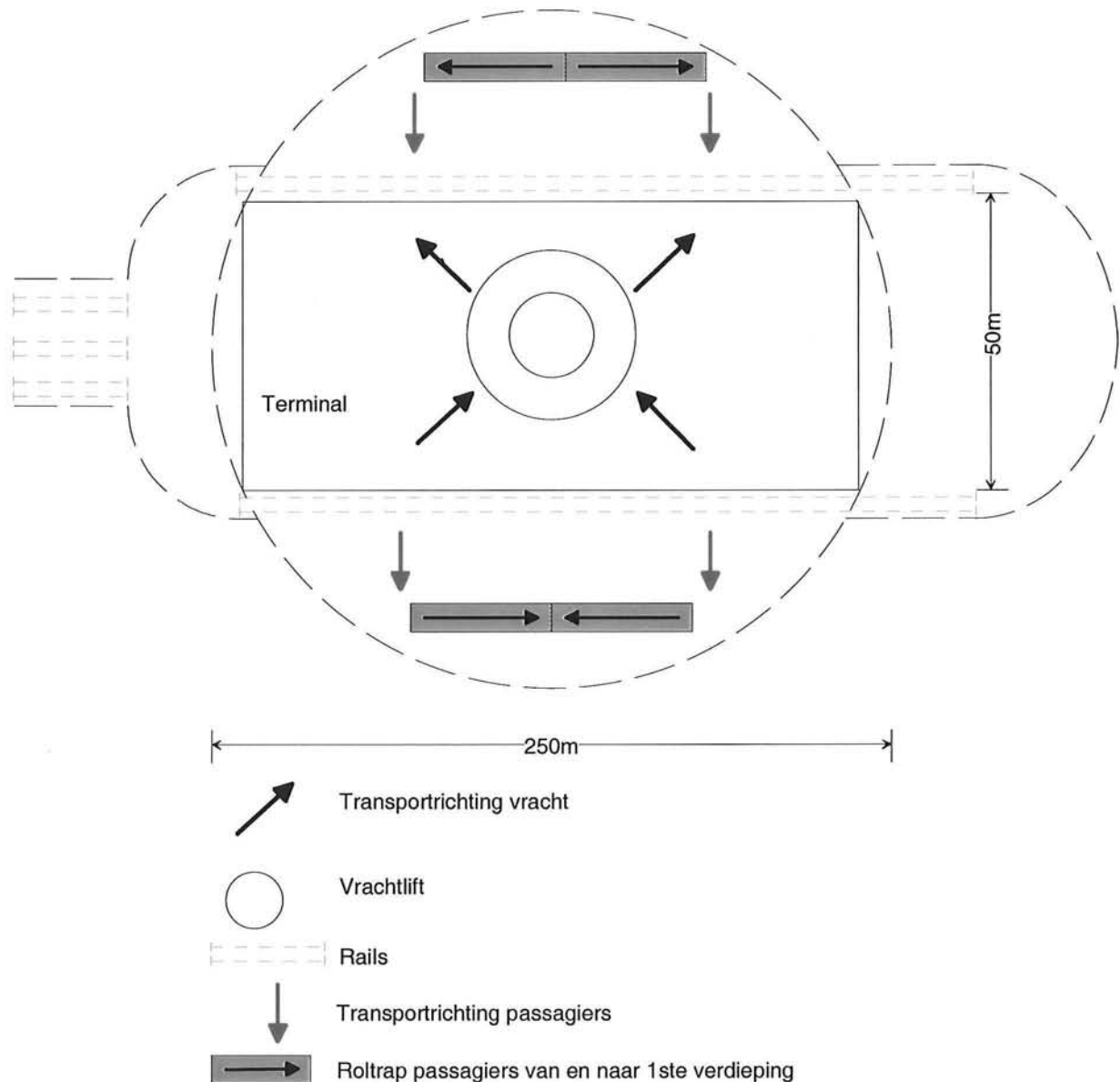
not to scale!

Figuur 4.4: Doorsnede door de ring

Aangezien het vrachttransport en het passagierstransport grotendeels gescheiden lopen, is het wenselijk om deze twee vervoersstromen fysiek van elkaar te scheiden. Door aparte liften te plaatsen voor passagiers en vracht kan aan deze eisen worden voldaan, zie **figuur 4.4**. Dit kan op een aantal manieren gerealiseerd worden. Door de fysieke scheiding van vracht- en passagiersvervoer aan zowel boven- als onderzijde (respectievelijk bij het vliegtuig en het metrostation) geschiedt het laden en lossen van vracht en passagiers op verschillende niveaus/verdiepingen, zie **figuur 4.5**. Eén van de twee vervoersstromen moet vanuit het metrostation naar de eerste verdieping vervoerd worden. Aangezien het passagierstransport via roltrappen aanzienlijk makkelijker en sneller verloopt, is ervoor gekozen om de passagiersliften op de eerste verdieping te plaatsen.



Aan de bovenzijde van de liften komt een vergelijkbaar probleem voor. Het is namelijk wenselijk om de afhandelingen van passagiers en vracht aan bovenzijde op verschillende niveaus/verdiepingen te plaatsen. Dit valt te combineren op de wijze waarop vracht en passagiers van en naar het vliegtuig getransporteerd worden. Vrucht wordt onder het vliegtuig in geschoven en passagiers worden door een slurf naar het vliegtuig vervoerd, waarbij het passagierstransport op een hogere verdieping plaatsvindt. Op deze manier is er een overzichtelijk vervoersconcept gecreëerd waardoor de twee vervoersstromen zo efficiënt mogelijk afgehandeld kunnen worden.

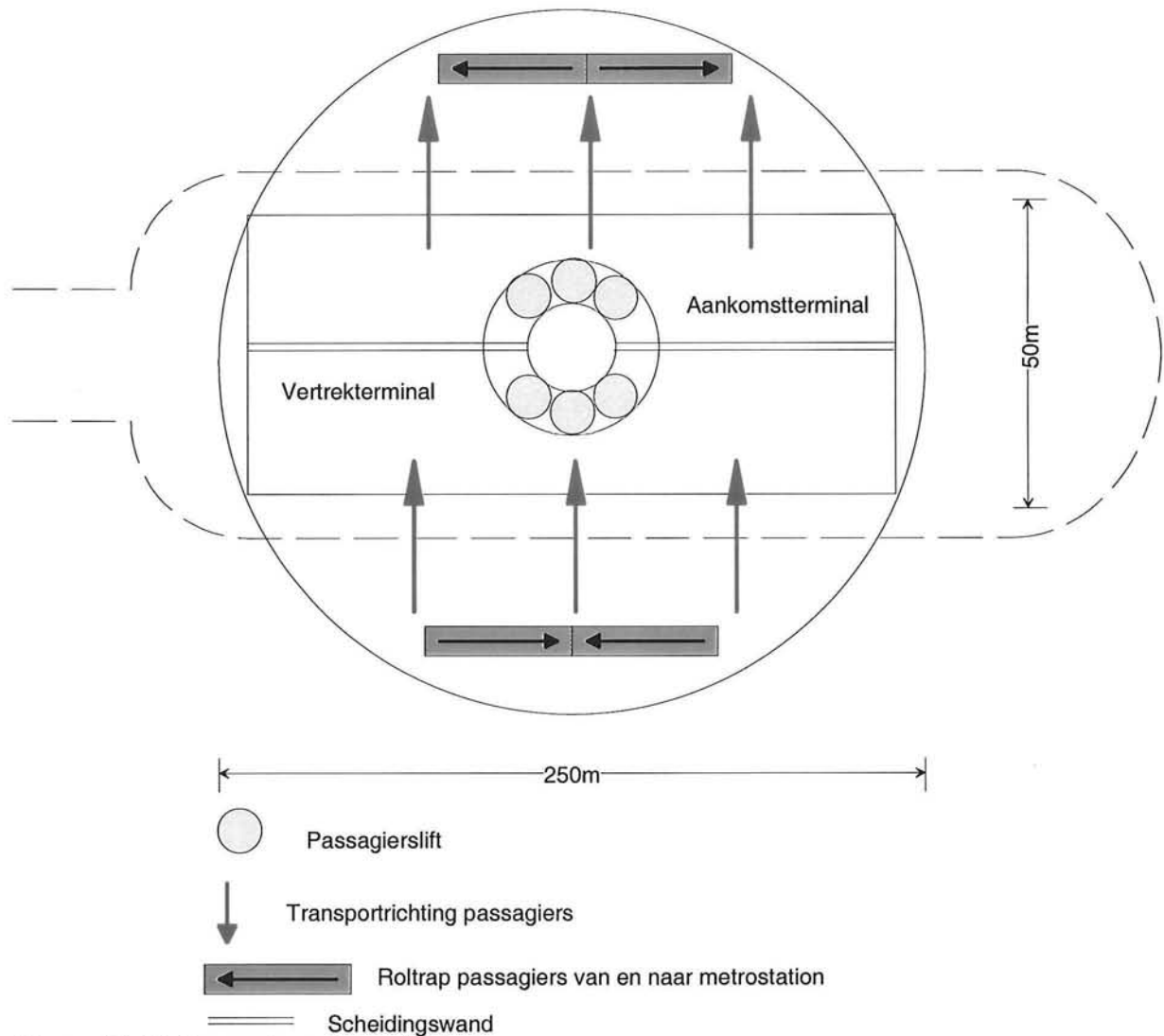


Figuur 4.5: Plattegrond metrostation

In de **figuren 4.5 tot 4.8** zijn de plattegronden van het metrostation, de eerste verdieping, het vrachtdek en het passagiersdek afgebeeld. Deze zullen hieronder kort toegelicht worden.



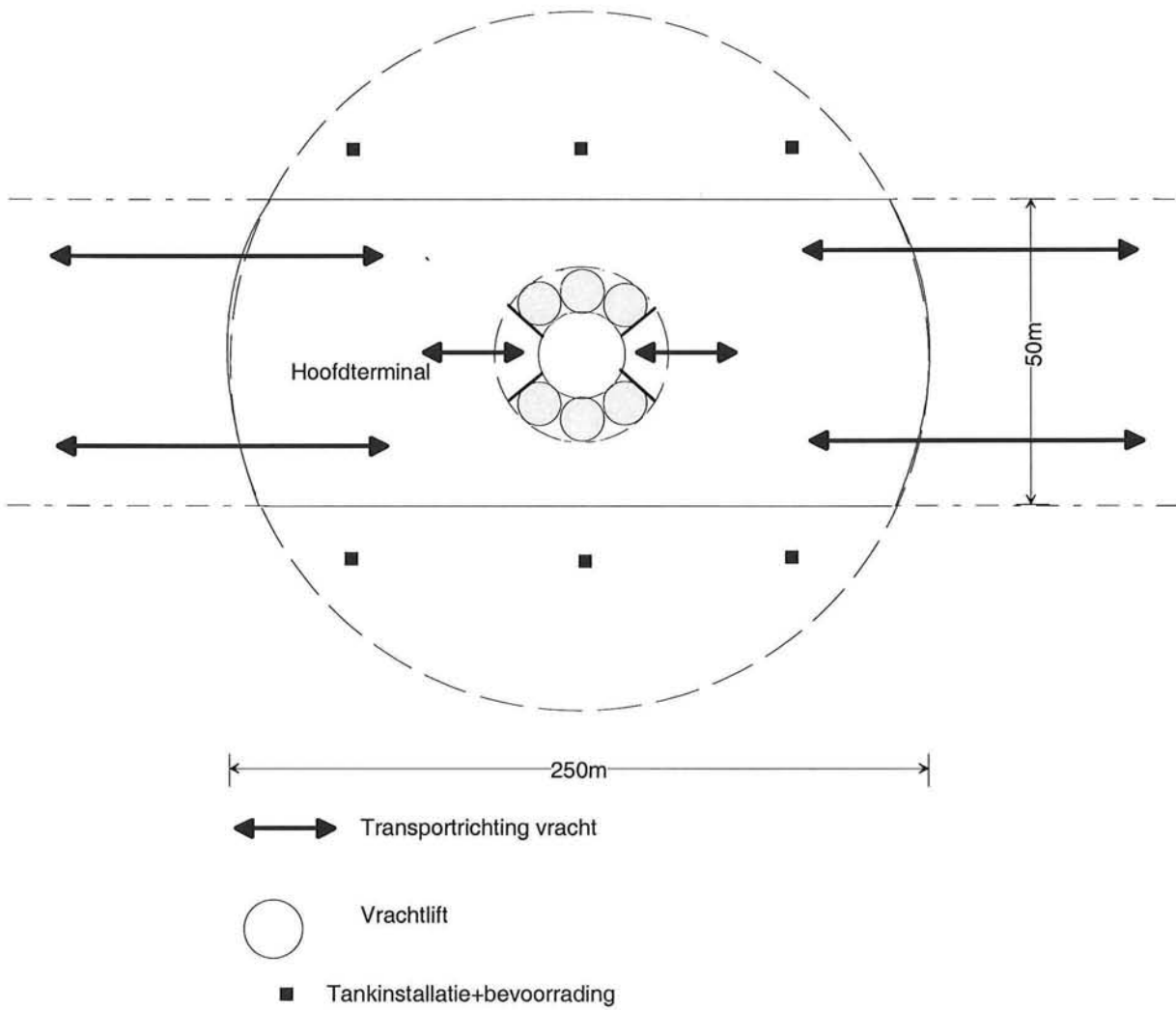
De twee vervoersstromen (passagiers en vracht) zijn gescheiden door aparte perrons te creëren voor beide vervoersstromen. Het is tevens wenselijk om het transport van en naar Schiphol van elkaar te scheiden. Hierboven is al opgemerkt dat de passagiersliften op de eerste verdieping zijn geplaatst. De eerste verdieping is bereikbaar via de weergegeven roltrappen. In het centrum van de ring is de vrachtlift getekend. Deze lift loopt rechtstreeks naar het vrachtdek.



*Figuur 4.6: Plattegrond eerste verdieping*

In **figuur 4.6** is de plattegrond van de eerste verdieping weergegeven. De passagiersliften zijn in het midden aangegeven en bevinden zich in een tweede ring om de vrachtlift. Deze liften zorgen voor een rechtstreekse verbinding met het passagiersdek. Door middel van een scheidingswand zijn de aankomst- en vertrekterminal van elkaar gescheiden.



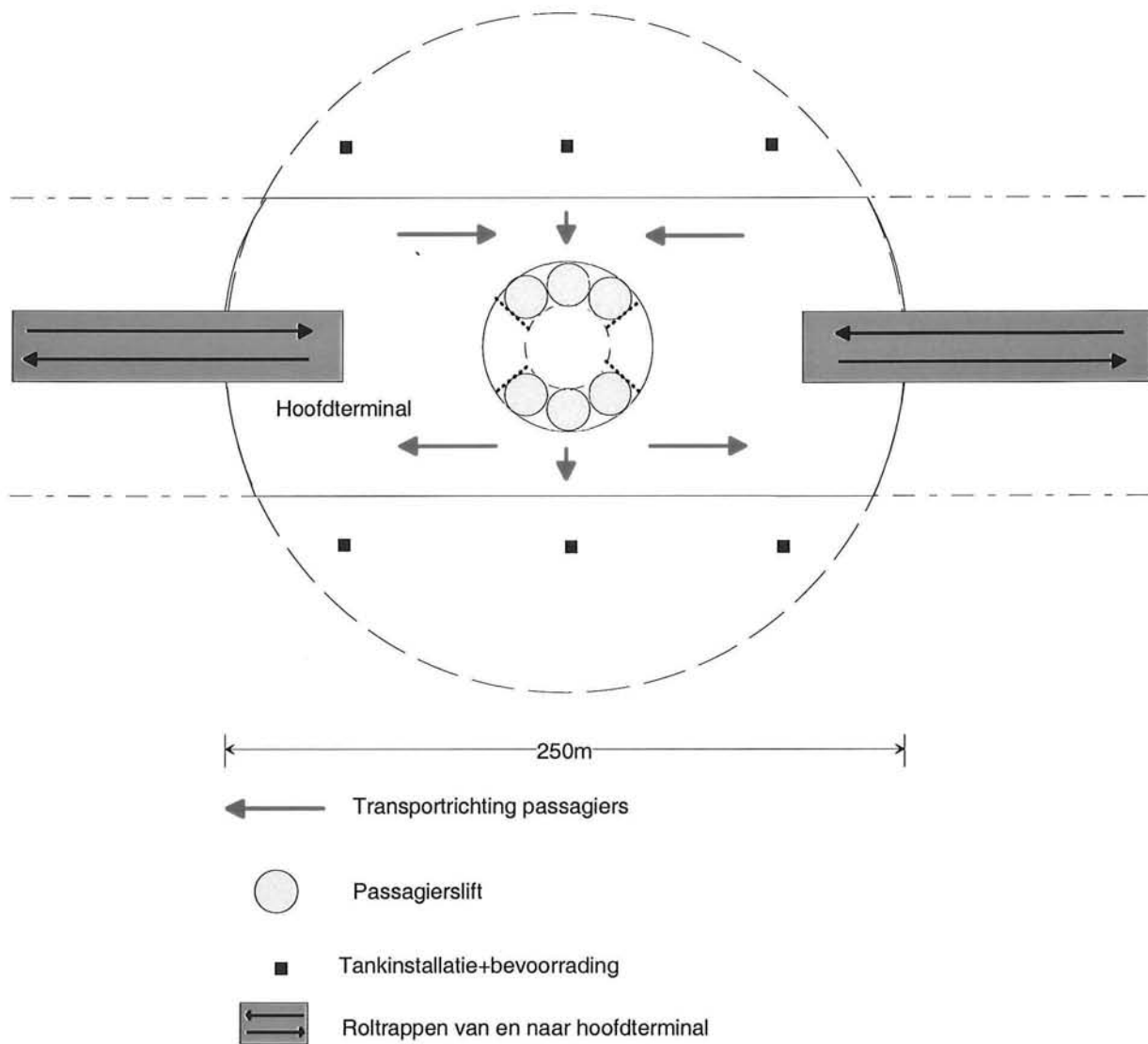


*Figuur 4.7: Plattegrond vrachtdek*

In **figuur 4.7** is de plattegrond van het vrachtdek aangegeven. Op dit dek vinden alle vrachthandelingen plaats. Aan beide zijden van de hoofdterminal zijn grote deuren gecreëerd. Laden en lossen van de vrachtlift kan omwille van de aanwezigheid van de passagiersliften slechts aan twee kanten geschieden.







*Figuur 4.8: Plattegrond passagiersdek*

In **figuur 4.8** is de plattegrond van het passagiersdek afgebeeld. Er zijn zes passagiersliften, te weten drie liften voor transport naar het metrostation en drie voor transport van het metrostation. Ook zijn de roltrappen naar de twee andere terminals getekend.



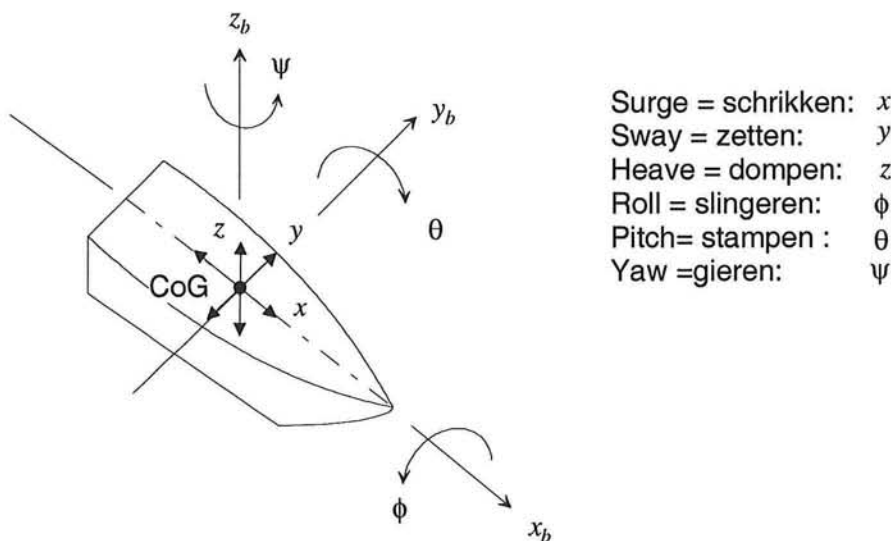
## 4.4. Constructieve analyse

### 4.4.1. Fundering ring

De bodemomstandigheden voor de Nederlandse kust zijn zodanig dat een fundering op palen nodig is. Aangezien alleen de betonnen ring van het RFA op de bodem is afgesteund, zijn alleen palen nodig voor de fundering. Om de krachten op de palen te beperken is een groot aantal palen benodigd. Dit wordt niet als een knelpunt beschouwd en is daarom niet verder uitgewerkt.

### 4.4.2. Koppeling pontons

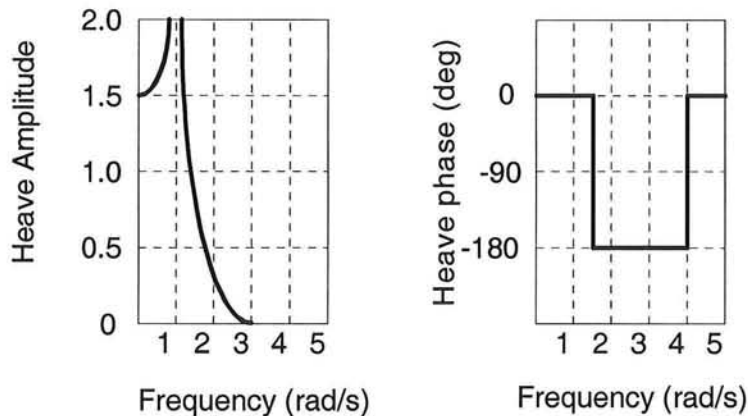
De koppeling van de pontons is een van de belangrijkste knelpunten van het RFA. Er worden strenge eisen gesteld aan onder andere het profiel van de landingsbaan en aan de bewegingen van het gehele vliegveld. De bewegingen van de pontons hebben consequenties voor de koppelkrachten en moeten daarom zo klein mogelijk gehouden worden. Het minimaliseren van de bewegingen tussen de pontons onderling en van het vliegveld als geheel leiden tot zeer grote koppelkrachten en belastingen. Het is maar de vraag of aan deze eisen voldaan kan worden, temeer omdat de pontons drijvend uitgevoerd moeten worden, wat beperkingen oplegt aan het maximale gewicht van een ponton en aan de doorsnede afmetingen van een ponton. Elk ponton kent zes vrijheidsgraden die in **figuur 4.9** gedefinieerd zijn.



Figuur 4.9: Scheepsbewegingen in zes vrijheidsgraden

Als eerste worden de krachten en bewegingen van een ponton in een genormaliseerde zeegang bepaald. Dit is gedaan met behulp van een programma ontwikkeld aan de TUDelft. Dit programma geeft de response weer als functie van de hoekfrequentie. Deze response geeft amplitude karakteristieken en fase karakteristieken aan van de interne en externe krachten en de bewegingen in de zes vrijheidsgraden. Als voorbeeld zijn de amplitude en fase karakteristieken van de "domp" bewegingen (= heave) gegeven in **figuur 4.10**.





Figuur 4.10: Domp bewegingen

In **bijlage 6** zijn een aantal resultaten weergegeven van de 3D-panelmethode. Hiermee is een ponton met dimensies van 300x100x20 meter<sup>3</sup> doorgekend. De resultaten zijn per frequentie gegeven als amplitude en fase karakteristieken. Voor drie verschillende golfrichtingen zijn deze berekeningen uitgevoerd, te weten 90, 135 en 180 graden. Met behulp van deze gegevens is het mogelijk om de krachten en de bewegingen van een ponton voor de kust van IJmuiden te bepalen. Omdat alle gegevens per meter significante golfhoogte zijn gegeven moeten deze waarden nog omgerekend worden naar het maatgevende golfklimaat in IJmuiden. Dat is weergegeven in **bijlage 4**. In **tabel 4.1** zijn een aantal kenmerkende waarden weergegeven.

Tabel 4.1: Kenmerkende waarden golfklimaat IJmuiden

Omschrijving	Waarde
Gem. significante golfhoogte $H_{1/3}$ (cm)	126
Max. significante golfhoogte $H_{1/3}$ (cm)	445
Gem. golfhoogte deining (cm)	24
Max. golfhoogte deining (cm)	260
Gem. golfperiode $TH_{1/3}$ (0.1 s)	57
Gem. golfperiode deining (0.1 s)	160
Gem. golfrichting (graden)	45

Met behulp van deze gegevens kan het golfspectrum nagebootst worden. Hierbij is gebruik gemaakt van de onderstaande formules voor JONSWAP golfspectra.

$$S_{\zeta}(\omega) = \gamma^A \cdot \frac{320 \cdot H_{1/3}^2}{T_p^4} \cdot \omega^{-5} \cdot \exp\left\{ \frac{-1950}{T_p^4} \cdot \omega^{-4} \right\}$$

met:

$S_{\zeta}(\omega)$  : golf energie spectrum (m<sup>2</sup>/s)

$\gamma$  : piekfactor = 3,3

$$A = \exp\left\{ -\left( \frac{\frac{\omega}{\omega_p} - 1}{\sigma\sqrt{2}} \right)^2 \right\}$$



$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p} : \text{hoekfrequentie op spectrale piek}$$

$\sigma$  : een stapfunctie van de hoekfrequentie

als  $\omega < \omega_p$  dan:  $\sigma = 0.07$

als  $\omega > \omega_p$  dan:  $\sigma = 0.09$

$H_{1/3}$  : significant golfhoogte (m)

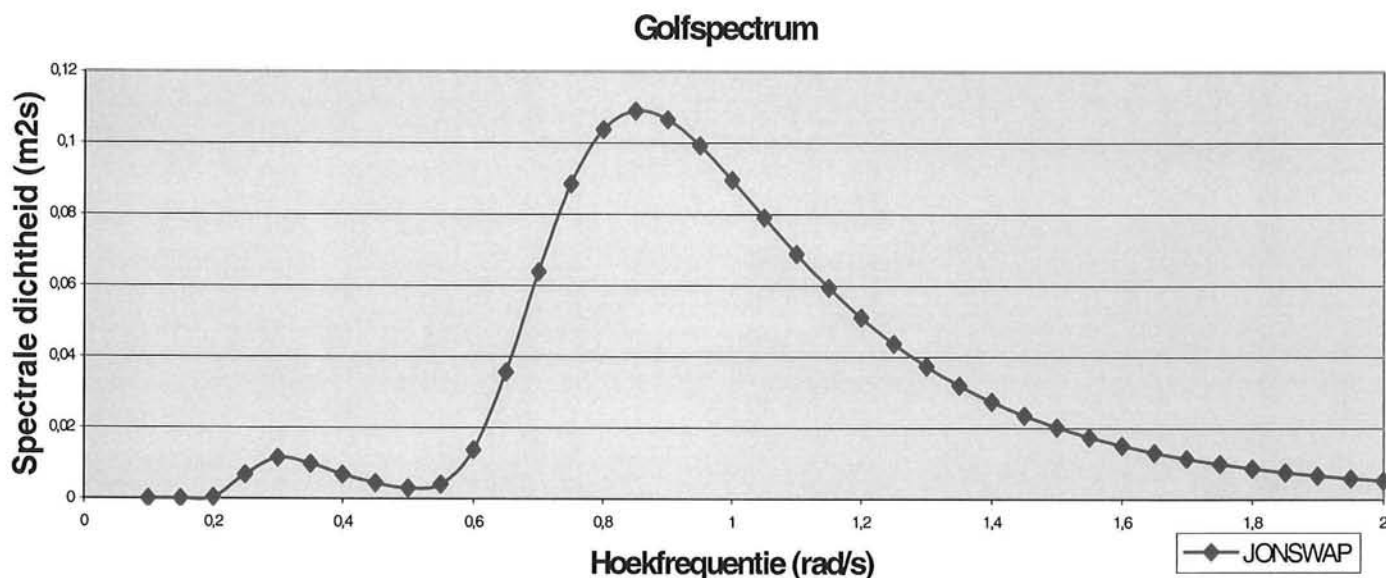
$T_p$  : piekperiode (s)

$\omega$  : hoekfrequentie (rad/s)

Voor mathematisch gedefinieerde JONSWAP spectra geldt de volgende theoretische relatie tussen de karakteristieke periodes:

$$T_p = 1.287 \cdot T_2$$

In **figuur 4.11** is het verkregen golfspectrum ( $S_\zeta(\omega)$ ) gegeven.



Figuur 4.11: Golfspectrum IJmuiden

Het onderscheid tussen lange en korte golven is duidelijk te zien. Met behulp van het golfspectrum  $S_\zeta(\omega)$  kan het spectrum van de response uitgerekend worden:

$$S_z(\omega) = \left| \frac{Z_a}{\zeta_a}(\omega) \right|^2 S_\zeta(\omega)$$

Hierin is:

$S_z(\omega)$  : het damp response spectrum

$\frac{Z_a}{\zeta_a}(\omega)$  : de response amplitude operator (RAO)

$S_\zeta(\omega)$  : het golfspectrum

De momenten van het "damp" response spectrum zijn als volgt gedefinieerd:

$$m_{nz} = \int_0^\infty S_z(\omega) \cdot \omega^n \cdot d\omega \quad \text{met } n = 0, 1, 2, \dots$$

*2 peaks?*





Hieruit kunnen dan de significante response amplitude en de gemiddelde periode bepaald worden.

$$\bar{z}_{a,r3} = 2 \cdot RMS = 2\sqrt{m_{0z}}$$

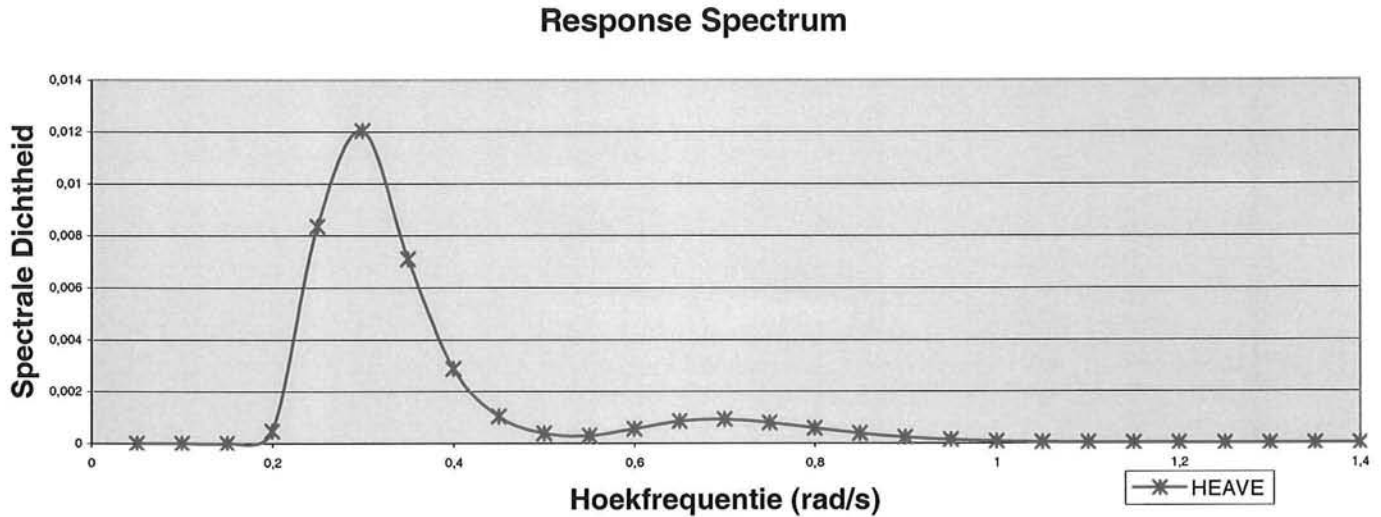
$$T_{1z} = 2\pi \cdot \frac{m_{0z}}{m_{1z}}$$

Dit is gedaan voor de interne en externe krachten en de bewegingen van het ponton voor de verschillende richtingen en wordt hieronder verder uitgewerkt voor de "domp" beweging. Uit het computerprogramma zijn de response amplitudes operatoren (RAO) en fase karakteristieken per frequentie verkregen. Deze zijn weergegeven in **tabel 4.2**. Door middel van bovenstaande berekeningen is dan het response spectrum voor de 'domp' beweging verkregen. Deze is weergegeven in **figuur 4.12**.

Tabel 4.2: RAO + fase karakteristieken

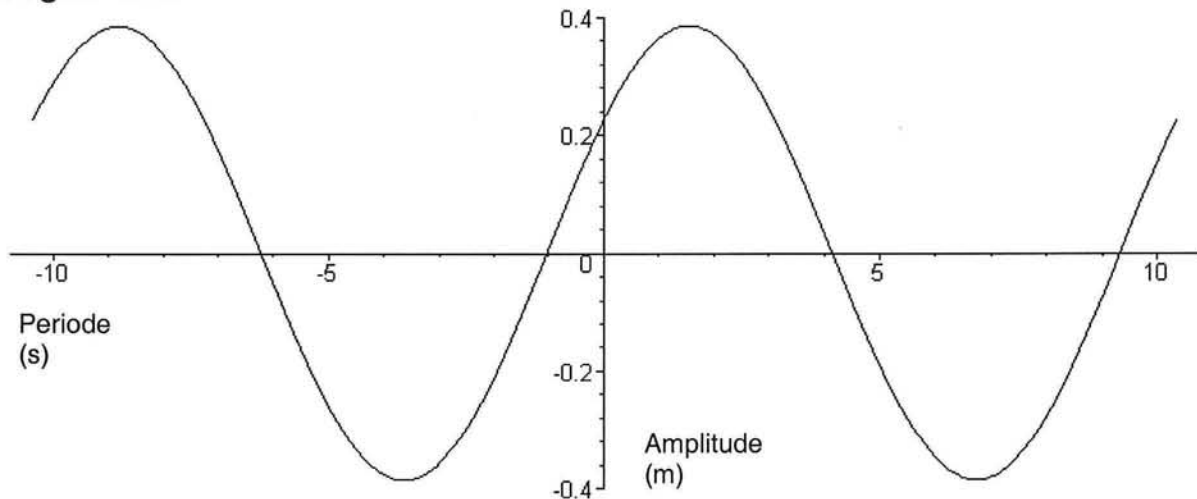
Freq rad/s	Heave/Domp		JONSWAP	Response Spectrum
	RAO m/m	Phase Degr	S(w) m2s	Heave/Domp m2s
0,05	1,00E+00	1,81E-01	0	0
0,1	1,03E+00	1,45E-01	8,47E-47	8,9E-47
0,15	1,07E+00	3,59E+02	6,98E-10	7,936E-10
0,2	1,11E+00	3,54E+02	0,00038	0,0004636
0,25	1,11E+00	3,47E+02	0,006806	0,0083252
0,3	1,02E+00	3,37E+02	0,011515	0,0120271
0,35	8,47E-01	3,27E+02	0,009866	0,007083
0,4	6,49E-01	3,23E+02	0,006824	0,0028709
0,45	4,83E-01	3,22E+02	0,004441	0,0010344
0,5	3,58E-01	3,26E+02	0,002989	0,0003827
0,55	2,66E-01	3,33E+02	0,004103	0,0002912
0,6	2,01E-01	3,43E+02	0,013754	0,0005551
0,65	1,54E-01	3,55E+02	0,035618	0,0008469
0,7	1,20E-01	9,47E+00	0,063745	0,0009195
0,75	9,46E-02	2,50E+01	0,088376	0,0007906
0,8	7,48E-02	4,20E+01	0,10367	0,0005796
0,85	5,91E-02	6,03E+01	0,108981	0,0003805
0,9	4,63E-02	8,02E+01	0,106539	0,0002287
0,95	3,58E-02	1,02E+02	0,099232	0,0001275
1	2,75E-02	1,27E+02	0,089491	6,763E-05
1,05	2,11E-02	1,54E+02	0,078999	3,5E-05
1,1	1,63E-02	1,84E+02	0,068772	1,825E-05
1,15	1,27E-02	2,15E+02	0,059346	9,617E-06
1,2	9,99E-03	2,48E+02	0,050948	5,084E-06
1,25	7,84E-03	2,83E+02	0,043622	2,678E-06
1,3	6,19E-03	3,19E+02	0,037318	1,429E-06
1,35	4,97E-03	3,57E+02	0,031938	7,895E-07
1,4	4,05E-03	3,52E+01	0,027368	4,491E-07





Figuur 4.12: Response spectrum "domp" beweging

Met behulp van het response spectrum kunnen de significante amplitude en de gemiddelde periode bepaald worden. Hiermee is de "domp" beweging in de tijd bepaald. Deze heeft een sinusvorm met een amplitude van 0.39 meter en een gemiddelde periode van 10.4 seconde, zie **figuur 4.13**.



Figuur 4.13: "Domp" beweging

De response spectra van de interne en externe krachten, evenals de spectra van de bewegingen in de zes vrijheidsgraden, zijn opgenomen in **bijlage 6**. Uit deze bijlage kan worden geconcludeerd dat de koppelkrachten op een vastgehouden ponton zeer groot worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze krachten bepaald zijn voor een gemiddeld golfklimaat in IJmuiden. Bij meer extreme omstandigheden (100-jarige storm) zullen de koppelkrachten verder toenemen.



### Conclusie:

Uit de bovenstaande analyse blijkt wanneer er geen speciale voorzieningen getroffen worden, zullen de bewegingen en de koppelkrachten te groot zijn. De bewegingen en de koppelkrachten van het ponton zijn aan elkaar gerelateerd. De koppelkrachten van het ponton kunnen gereduceerd worden door de pontons meer vrijheid te geven. Met andere woorden de pontons zullen minder stijf aan elkaar gekoppeld zijn. Dit heeft directe gevolgen voor de bewegingen, want deze zullen dan toenemen. Andersom geldt natuurlijk hetzelfde, als de bewegingen gereduceerd worden zullen de koppelkrachten fors toenemen. De bewegingen van een ponton lijken op het eerste gezicht mee te vallen, maar het is maar de vraag of ze voldoende klein zijn.

De start- en landingsbanen zijn opgebouwd uit een serie gekoppelde pontons. De eisen voor eventuele verplaatsingen van de start- en landingsbaan in de verschillende richtingen zijn bijzonder strikt. Vliegtechnisch kan een vliegtuig niet starten of landen wanneer de bewegingen van pontons te groot zijn. Bovendien zullen de bewegingen zeker gevoeld worden door de passagiers en de piloten, wat het gevoel van veiligheid ernstig vermindert. Wederom dient opgemerkt te worden dat deze bewegingen bepaald zijn voor een gemiddeld golfklimaat in IJmuiden.

### Oplossingen:

Een mogelijke oplossing voor het bovenstaande probleem is de pontons minder stijf aan elkaar te verbinden, zodat de koppelkrachten beheersbaar blijven. Hierdoor zullen de bewegingen van de pontons toenemen. Een idee is de start- en landingsbaan verend te ondersteunen zodat de bewegingen van de start- en landingsbaan worden geminimaliseerd.

De meest voor de hand liggende oplossing is het RFA niet in de Noordzee aan te leggen maar bijvoorbeeld in het IJsselmeer. In het IJsselmeer is er geen deining en zijn er weinig golven. Hierdoor zullen de koppelkrachten tussen de pontons en de bewegingen van de pontons vermoedelijk niet erg groot zijn. Tevens kan de diepgang van een ponton verkleind worden. Er bestaan ontwerpen van drijvende betonnen matten van enkele meters dikte.

De analyse van het gedrag van een ponton is uitgevoerd op een rechthoekige stalen bak met dimensies van 300x100x20 meter<sup>3</sup>. Door de vorm van een ponton aan te passen, voornamelijk de onderkant, kunnen de bewegingen en de krachten aanzienlijk worden gereduceerd. Er bestaan pontonontwerpen, zoals in **bijlage 7**, die aanzienlijk minder reageren op golven en deining .

De technische haalbaarheid van het RFA is voor een groot gedeelte afhankelijk van de koppelingen tussen de pontons. Een mogelijke koppeling tussen de pontons is het ontwerp van McDormott, de Nonlinear Compliant Connector (NCC), opgenomen in **bijlage 8**.



### 4.4.3. Aansluiting ring

Het RFA moet roteerbaar (weathervaning) zijn, zodat de gewenste positie verkregen kan worden ten opzichte van de wind. De constructie van het RFA wordt uitgevoerd met een lagersysteem met een diameter van 250 meter. De grootte van het lagersysteem wordt gezien als een constructief knelpunt, omdat het nog nooit op deze schaal is uitgevoerd. Een tweede knelpunt is het aandrijfsysteem. Is het mogelijk om het RFA van deze omvang, grootte en massa te draaien?

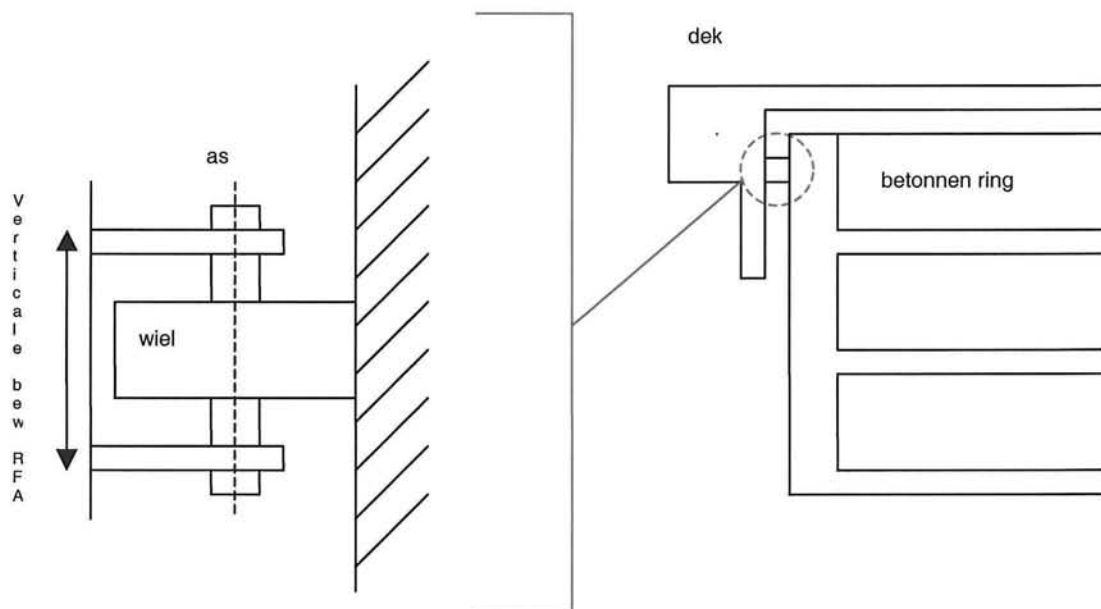
Voor het lagerontwerp zijn een aantal randvoorwaarden opgesteld, namelijk:

- De wrijvingscoëfficiënt van de lager moet zo klein mogelijk worden gehouden om het aandrijfvermogen zo klein mogelijk te houden;
- Het aandrijfsysteem moet relatief klein zijn gezien het ruimtegebrek op zee;
- Het lagersysteem moet gemakkelijk te onderhouden zijn;
- Het lagersysteem moet uit zo min mogelijk corrosieve materialen bestaan;
- Het lagersysteem moet verplaatsbaar zijn in twee richtingen: in de omtrek en over de hoogte.

De krachten die het lagersysteem moet opvangen, komen van de drijvende pontons die gekoppeld zijn aan het dek dat huist op de betonnen ring, zie **figuur 4.14**. Het dek op de betonnen ring is vierkant. Er is een mechanisme nodig in verticale en horizontale richting tussen het dek boven de ring en de ring zelf. In de volgende paragraaf zal worden ingegaan op een aantal lagersystemen geschikt voor het RFA.

#### Rollagering

Een rollagering (**figuur 4.15**) bestaat uit een set van wielen die horizontaal over de buitenkant lopen van de betonnen wand van de ring structuur.



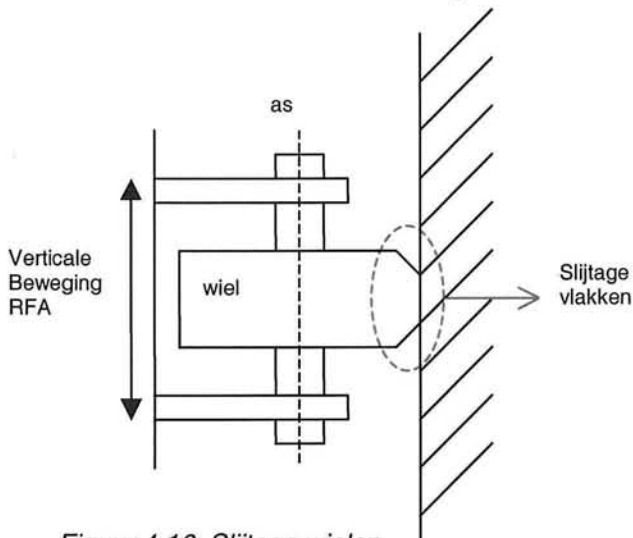
Figuur 4.15: Rollagering

Figuur 4.14: Koppeling ring/pontons

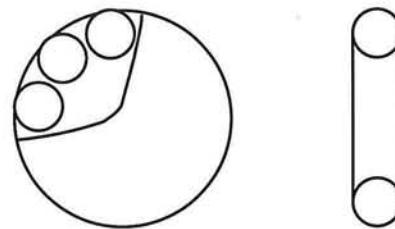




De wrijvingscoëfficiënt  $\mu=0,01$  is laag in dit systeem. Een belangrijk nadeel van dit systeem is dat de verticale beweging van de ring ervoor zorgt dat de kunststof wielen gaan slijten. De slijtage veroorzaakt een verhoging van wrijvingscoëfficiënt (**figuur 4.16**). Bovendien zullen de wielen gaan slippen als gevolg van een kleiner wiel oppervlak waardoor het geheel niet meer als een lager gaat functioneren. Een mogelijke technische oplossing kan zijn de wielen op te delen in kleine rollagers, zie **figuur 4.17**. Op deze manier is het probleem van eenzijdige slijtage opgelost. Er zal nog steeds sprake zijn van slijtage, waardoor deze methode meer onderhoud vergt.



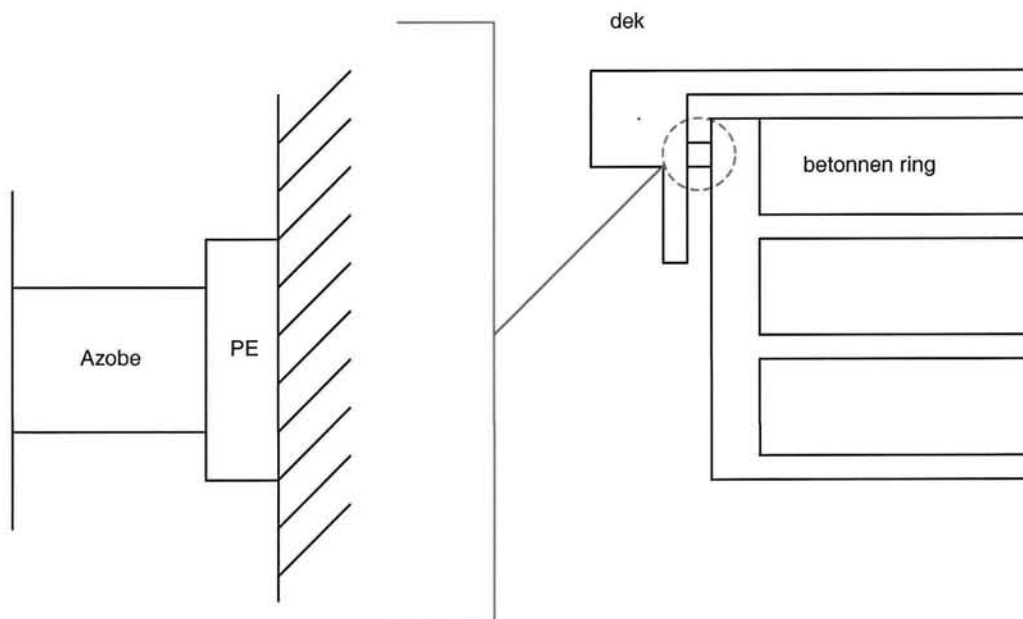
Figuur 4.16: Slijtage wielen



Figuur 4.17: Lagers in de wielen

Schuiflagering

Een schuiflagering (**figuur 4.18**) bestaat uit twee lagen, bijvoorbeeld Azobe en PE die langs elkaar schuiven. De wrijvingscoëfficiënt  $\mu$  kan worden bepaald door de wrijvingskracht tussen Azobe en PE te delen door de normaalkracht van de pontons. De wrijvingcoëfficiënt is een stuk hoger ten opzichte van de rollager en hydrostatische lager en bedraagt ongeveer  $\mu=0,2$ .



Figuur 4.18: Schuiflagering

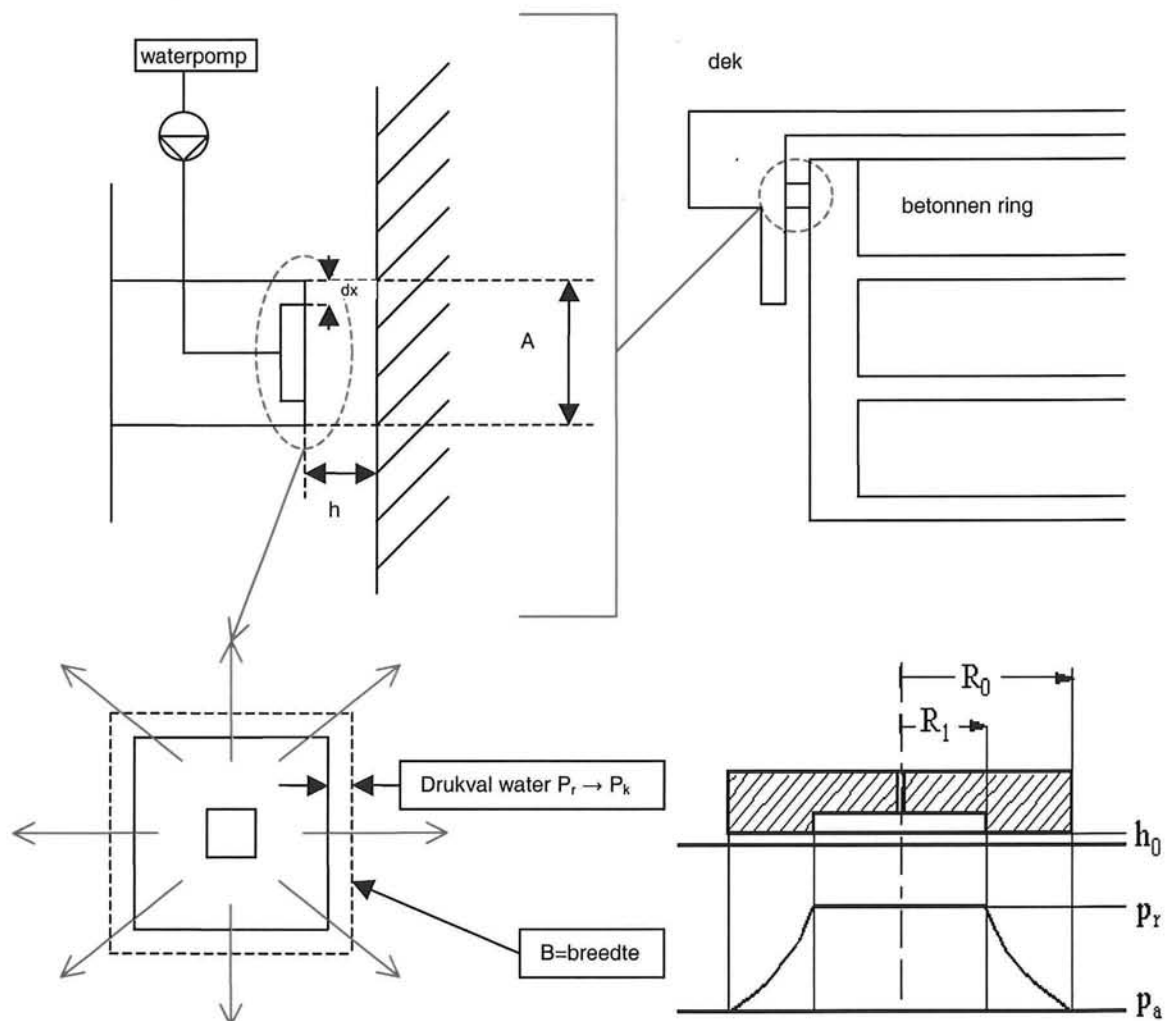


Een hogere wrijvingscoëfficiënt heeft een aantal nadelen namelijk:

- De grotere wrijving zorgt voor meer slijtage, dus meer onderhoud;
- Met een grotere wrijving van de lager neemt het benodigde aandrijfvermogen ook toe;
- En net als bij de rollager zal de verticale beweging van het dek zorgen voor een oneven slijtagevlak tussen Azobe en PE.

### Hydrostatische lagering

Een hydrostatische rollager is schematisch weergegeven in **figuur 4.19** [14]. In deze lager is de wrijving zeer laag en voorspelbaar waardoor slijtage volledig kan worden uitgesloten. Dit is mogelijk door de bewegende oppervlakken volledig van elkaar te scheiden door een zeer dunne film die kan bestaan uit olie, water of lucht. Afhankelijk van de oppervlakte kwaliteit kan een filmdikte van één micrometer al genoeg zijn. Het principe kan vergeleken worden met een douchekop waar water doorheen stroomt. Wanneer de douchekop tegen een vlakke plaat wordt aangedrukt, zal het water een tegendruk geven.



Figuur 4.19: Hydrostatische lagering



Het grote voordeel van een hydrostatische lager is dat het wrijvingsloos beweegt en zodoende geen extra aandrijfvermogen eist. Een praktisch voordeel is dat de waterpompen gemakkelijk het water uit zee kunnen halen en relatief weinig energie gebruiken. Het vermogen van een waterpomp kan op de volgende wijze worden bepaald.

De normaalkracht van de pontons tegen de ring die moet worden opgevangen door de vermenigvuldiging van het werkende oppervlakte  $A$  van de hydrostatische film en de waterdruk  $P_r$ , die wordt geleverd door de waterpomp,  $F_n = A \cdot P_r$ . Het vermogen van de pomp is  $N = P_r \cdot Q$  waarin  $Q$  het debiet is ofwel het volume per tijdseenheid. Het debiet  $Q$  bepaalt direct het vermogen van de waterpomp en kan worden uitgedrukt in de volgende formule:

$$\frac{Q}{b} = \frac{h^3}{12\eta} \frac{dP}{dx}$$

$Q$  = debiet van de waterpomp

$B$  = breedte zie figuur

$h$  = dikte van het waterfilm

$\eta$  = viscositeit

$P$  = waterdruk

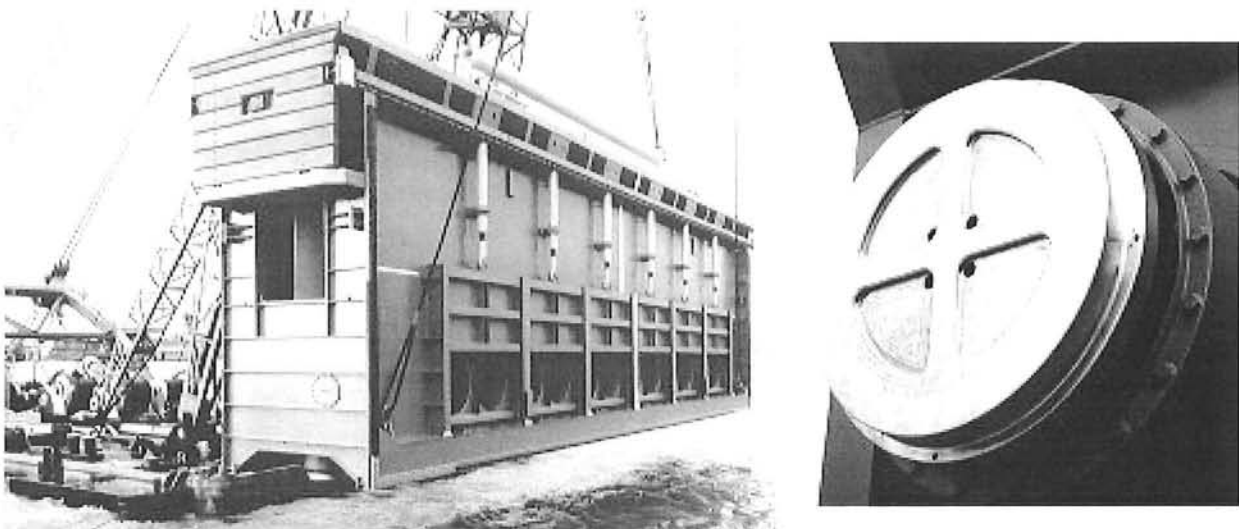
$x$  = lengte van drukval water

In deze formule is de filmdikte,  $h^3$  de factor die het debiet van de pomp bepaalt. Dus hoe kleiner de filmdikte, hoe kleiner het debiet van de pomp, hoe kleiner het vermogen van de pomp hoeft te zijn.

De drie lagerconcepten zijn uitgewerkt in de horizontale richting op de buitenwand van de betonnen ring, maar kunnen ook toegepast worden op de betonnen ring in verticale richting.

### Conclusie

De behandelde concepten kunnen allen gebruikt worden. Wel moet gezegd worden dat elk van de lagers nog in detail moet worden uitgewerkt. Op voorhand gaat de voorkeur uit naar de hydrostatische lager gezien het systeem wrijvingsloos werkt, praktisch is en weinig onderhoud vergt. Dit concept is overigens met succes toegepast in 1995 bij de "Oranje" sluisen in de rivier de IJ in Amsterdam (zie **figuur 4.20**). Voor de "Oranje" sluisen zijn twee cirkelvormige hydrostatische lagers geconstrueerd onder de 25 meter lange sluisdeur. De sluisdeur en een van de lagers zijn zichtbaar op de onderstaande foto's, zie ook **bijlage 9**.



Figuur 4.20: Sluisdeur en een hydrostatische lager op het IJ in Amsterdam



#### 4.4.4. Draaibaarheid RFA

Voor het RFA moet een aandrijfsysteem bedacht worden. De belangrijkste randvoorwaarden voor een dergelijk systeem zijn:

- Het onderhoud aan het systeem moet minimaal zijn;
- Het systeem moet weinig ruimte in beslag nemen;
- Het systeem moet 24 uur per dag operationeel zijn.

##### Roteren van het RFA door middel van een DP systeem

Het RFA kan uitgevoerd worden met een dynamic positioning system (DP). De basis voor het ontwikkelen van een DP systeem zijn de thrusters. Voor van het ontwikkelen van een DP systeem gelden de volgende condities:

- Wat voor een type offshore operatie is het;
- Wat zijn de afmetingen en vormen van de offshore constructie;
- Wat zijn de karakteristieke omgevingcondities zoals: wind, golven, stroming enz.

Wanneer deze condities bekend zijn kunnen de krachten berekend worden die de thrusters moeten leveren om het RFA stabiel te houden. Om een goed idee te krijgen van de specificatie van een DP systeem zijn er twee manieren voorhanden.

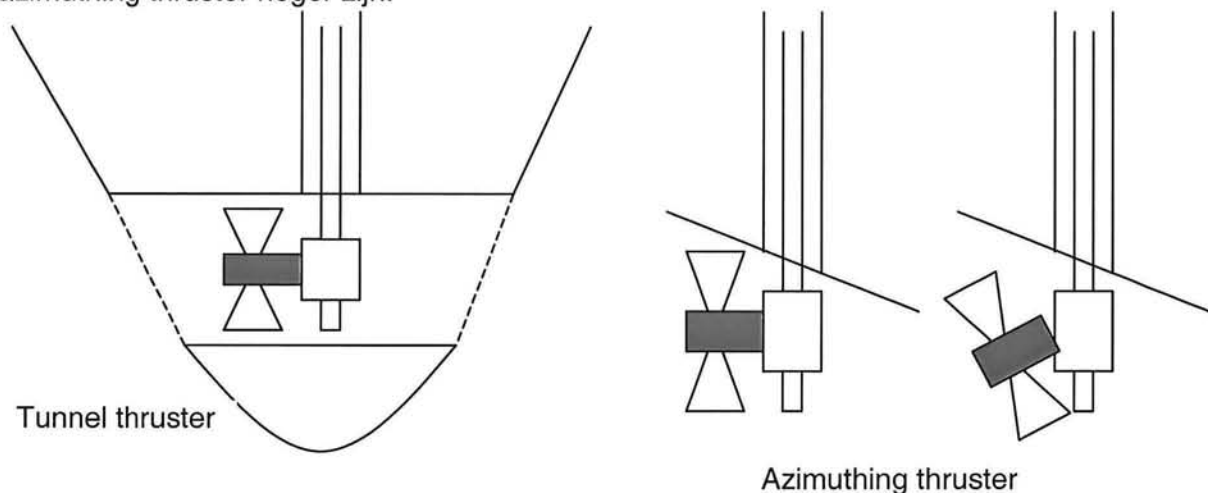
1. Een theoretische studie maken;
2. Testen uitvoeren met een fysiek model en/of computer simulaties.

Daarnaast kunnen praktijkvoorbeelden met eenzelfde geometrie en grootte gebruikt worden als vergelijkingsmateriaal.

Wanneer de omgevingscondities berekend zijn, kunnen de groottes van de thrusters bepaald worden. Als stelregel geldt dat de thrusters geplaatst moeten worden aan het eind van het RFA. Dit heeft de volgende redenen:

- Aan de uiteinden van het RFA kunnen de thrusters een groter draaiend moment creëren;
- De thrusters kunnen de aërodynamische en hydromechanische momenten beter tegenwerken.

Het is ook belangrijk dat de thrusters ten opzichte van elkaar genoeg ruimte hebben om de interacties van tussen elkaar te verkleinen. Dit heeft namelijk een nadelige invloed op de effectieve kracht, die de thrusters kunnen leveren. Gezien de ruimte op het RFA zal de keuze van het type thruster beperkt zijn. Tunnel thrusters nemen bijvoorbeeld meer ruimte in beslag dan azimuthing thrusters (**figuur 4.21**). Daar staat tegenover dat de kosten van een azimuthing thruster hoger zijn.



Figuur 4.21: Twee basistypen thrusters





In het geval van het RFA moet een schatting gemaakt worden van de benodigde hoeveelheid thrusters. Hoewel de condities bekend zijn, is er geen gedetailleerde data over de krachten voorhanden. Middels twee praktijkvoorbeelden is een schatting gemaakt van de benodigde hoeveelheid thrusters. In de **tabel 4.3** hieronder zijn twee voorbeelden gegeven. Het eerste voorbeeld is een middelgroot Boorschip 'Pélican' 's winters in de Noordzee tijdens operationele condities. Het tweede voorbeeld is het boorplatform 'West Alpha' in een vergelijkbare zee als de Noordzee tijdens operationele condities. Gekozen is voor een Liaaen azimuthing thruster die 1800 kW aan vermogen levert. Deze wordt ook gebruikt door de 'West Alpha'. Dus grofweg zal het RFA een DP systeem nodig hebben dat uit 25 tot 30 thrusters bestaat.

*Tabel 4.3: Grove bepaling van het aantal benodigde thrusters RFA*

	<b>Pelican</b>	<b>West Alpha</b>	<b>RFA</b>
Water verplaatsing ( t )	15000	30700	185000
DP energie nodig (kW)	3500	7200	43200
Thrusters	6	4	25-30

Het voordeel van een DP systeem is dat de gewenste oriëntatie van het RFA altijd gerealiseerd kan worden en in een relatief kort tijdsbestek. Een nadeel is dat een DP systeem veel brandstof verbruikt, wat leidt tot een toename in de exploitatiekosten van het RFA. Een uitgebreider onderzoek naar de geometrie van het RFA, de operationele en de stormcondities ter plekke van het RFA, zal nodig zijn om het DP systeem te optimaliseren.

#### *Roteren van het RFA met de getijstrooming*

Bij het roteren van het RFA kan handig gebruik gemaakt worden van de getijstrooming langs de Nederlandse kust. Eén manier is het RFA uit te voeren met een groot aantal kleine roeren die om hun as kunnen draaien en vergrendeld kunnen worden. Wanneer de gewenste positie is bereikt, worden de roeren vergrendeld zodat het RFA in positie blijft.

Een nadelig effect van dit systeem is de invloed van de golven. De stroming van de golven onder het RFA heeft een andere richting dan de stroming van het getij. De posities van de roeren zullen anders zijn ten opzichte van elkaar om evenwicht te bereiken en te behouden. Eventueel verder onderzoek naar de stroming onder ponton, ten gevolge van golven, moet in een toekomstige fase onderzocht worden.



## 4.5. *Morfologische analyse*

### 4.5.1. Inleiding invloed van grootschalige landaanwinningprojecten

#### De kust en de Noordzee

De Nederlandse kustzone vanaf de Voordelta tot de Waddenzee bestaat grotendeels uit een zandige bodem. Nabij de kust bestaat de bodem uit fijn zand (125-250  $\mu\text{m}$ ) en vanaf 20 meter diepte matig fijn zand (250-500  $\mu\text{m}$ ). Op de bodem van het Nederlandse continentale plat komen gebieden met klei, slib en schelpen voor.

#### Sedimenttransport

Grootschalige landaanwinningprojecten en ook het RFA hebben invloed op het sedimenttransport. Sedimenttransport langs de gesloten kust wordt in de ondiepe kustzone voornamelijk gedreven door de golven en op de diepere vooroever door het getij. Veranderingen in grootte en richting van het transport heeft invloed op kustveiligheid (zand), natuur (zand + slib) en ecologie (slib)

Met het ritme van getij en golven bewegen grote hoeveelheden zand (vele honderdduizenden meter<sup>3</sup> per jaar) en slib heen en weer. Het netto zandtransport langs open delen van de kust, goed voor circa 200.000 meter<sup>3</sup> per jaar, is van zuid naar noord gericht.

Landaanwinning in dit gebied breekt ruw in op golf- en getijbeweging en dus op het transport. Veranderingen in de zandtransporten beïnvloeden de erosie en sedimentatiepatronen en daarmee de kosten van het kustonderhoud.

#### Morfologie

Door de aanleg wordt een grootschalige herverdeling van zand in gang gezet met een vergaande en vaak onomkeerbare invloed op het kuststelsel die effect hebben op de kerntaken. Effecten voor morfologie en ecologie kunnen zowel positief als negatief zijn. De onnatuurlijkheid kan deels worden gecompenseerd door een bouwwijze te kiezen waarbij zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van de natuurlijke processen. De tijdsduur waarover de effecten doorwerken hangt af van de omvang van de ingreep. Voor een eiland is dit in de orde van een eeuw. De waardevolle natuurlijke gradiënten kunnen op veel locaties verloren gaan waardoor het kuststelsel kwetsbaarder wordt.

### 4.5.2. Hydrodynamische veranderingen

Het RFA veroorzaakt veranderingen in de hydrodynamische condities, zowel in de directe omgeving als in een gebied van 50 kilometer langs de kust achter het RFA. De invloeden van het RFA op de morfologie zijn gebaseerd op een opgespoten eiland (oppervlakte 8500 ha) in de Noordzee, 20 kilometer uit de kust ter hoogte van Egmond aan Zee. De gegevens zijn gehaald uit een onderzoek in opdracht van het RIKZ: *'Morfologische effecten van een kunstmatig eiland voor de kust van Egmond'*, Suzanne Mulder (november 1999) [11].



### Het astronomische getij

Bij het RFA zijn de veranderingen in het astronomische getij in de Noordzee nihil. Het getij beweegt zich voornamelijk over de zeebodem en zal nauwelijks hinder ondervinden van het drijvende RFA. Tevens zal het RFA de vorm van de getijgolf, de getij-asymmetrie, ook niet wezenlijk veranderen.

### Stroming

De grootte en richting van de langsstroming wordt veroorzaakt door een combinatie van getij en golven. Door een eiland wordt de getijstrooming gedwongen door een kleiner doorstroomprofiel te stromen dan in een situatie zonder eiland. Door deze stroomcontractie nemen de stroomsnelheden lokaal toe, zowel tijdens eb als vloed. De mate waarin stroomsnelheden toenemen, is afhankelijk van de vorm, de omvang en de locatie van het eiland. Dus een grotere toename is te verwachten wanneer het eiland dichterbij de kust ligt. Stroomcontractie treedt altijd op in de directe omgeving van de ingreep en heeft geen merkbare effecten op de kustlijn, mits het eiland op voldoende afstand ligt van de huidige kustlijn.

In het geval van het RFA kan het water gedeeltelijk onder en om het eiland heen stromen. Als het doorstroomprofiel kleiner wordt, nemen de maximale eb en vloed stroomsnelheden over een groot gebied nauwelijks toe. Lokaal zullen grotere veranderingen in stroomsnelheden plaatsvinden. De maximale toename van stroomsnelheid is echter onafhankelijk van de afstand uit de kust. Het stromingspatroon wordt tot op grote afstand van het RFA beïnvloed. Getijstroom langs en onder het RFA veroorzaakt turbulentie als het gevolg van het loslaten van het getij stroom. Hierdoor kunnen horizontale wervels ontstaan, die kunnen leiden tot ontgrondingen op dieper water.

### Golven

Door golven ontstaat er een luwtezone tussen het eiland en de kust. In de luwtezone bestaat een lagere golfenergie, doordat het RFA de golven breekt. De golven in de luwtezone bestaan enerzijds uit gerefracteerde en gediffracteerde golven die om het eiland heen zijn gelopen en anderzijds uit geregenereerde windgolven. Uit het onderzoek van J.J. Jacobse [13] en met behulp van modelberekeningen is onderzocht wat de maximale verlaging van de significante golfhoogte, de golfperiode en de orbitaalsnelheid naar de kust toe zal zijn voor een opgespoten eiland 20 kilometer uit de kust. In **tabel 4.4** is de procentuele afname van de golf karakteristieken weergegeven.

*Tabel 4.4: Afname golfkarakteristieken voor een eiland 20 km uit de kust en de gebruikte berekeningscondities:*

Verval	NW wind	ZW wind
Golfhoogte	7%	5%
Golfperiode	5%	1%
Orbitaalsnelheid	12%	8%

*De berekeningen zijn uitgevoerd voor een windsnelheid (en bijbehorende golfhoogte en golfperiode) die ongeveer tien procent van de tijd per jaar voorkomt: zuidwest 11 m/s en noordwest 8 m/s. Bij extremere condities zullen de effecten van het eiland en het RFA groter zijn.*



De strijklengte waarover de golf zich weer kan ontwikkelen is ca. 18 kilometer (Noordzee). Het RFA heeft een oppervlak van 180 ha en is drijvend uitgevoerd. Met enige zekerheid kan gezegd worden dat de golven genoeg strijklengte hebben om hun oorspronkelijke energiewaarde weer te bereiken. Het langstransport van sediment langs de kust zal minimale hinder ondervinden van het RFA.

### Reststroming

De totale reststroming langs de Nederlandse kust bestaat uit twee componenten, namelijk:

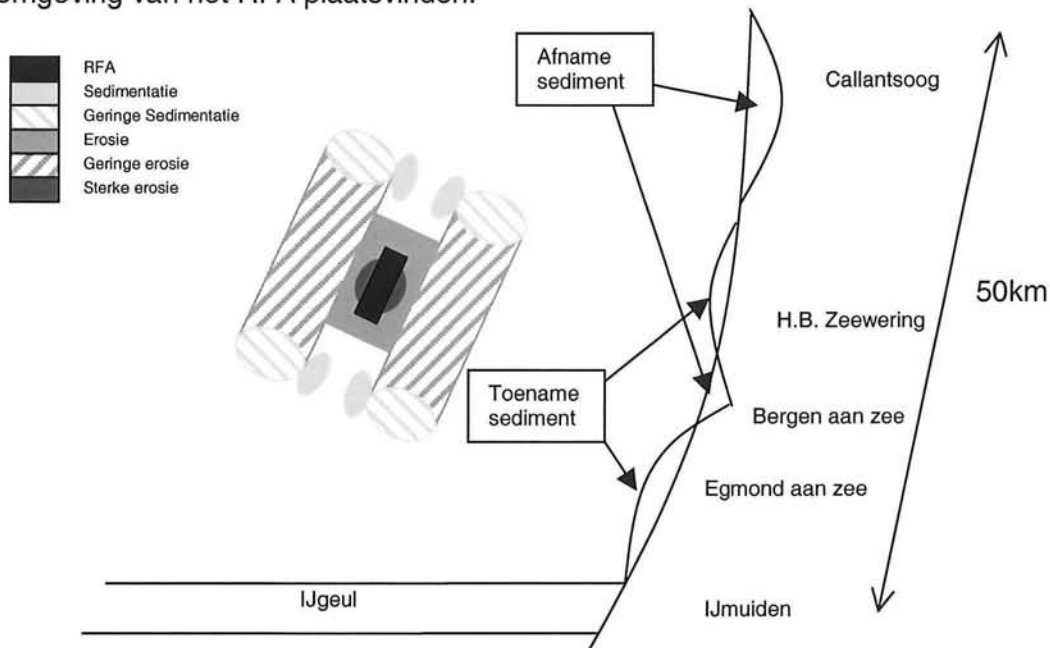
- 1) Reststroming ontstaan uit dichtheidsgradiënten door uitstroming van zoet water in het zoute Noordzeewater langs de Hollandse kust.
- 2) Een noordwaarts gerichte reststroom als gevolg van de getij-asymmetrie en de overheersende ZW windrichting die voorkomen op de Noordzee.

Beide componenten drijven netto kustwaarts gerichte bodemstroming (reststroom) aan.

Het RFA ligt op 20 kilometer uit de kust en zal verwaarloosbare invloed hebben op de reststroming langs de kust. Hetzelfde geldt ook voor het langstransport van sediment langs de kust.

### Zandtransport

Een eiland voor de kust of het RFA verandert het zandtransport in die omgeving. De verlaagde golfenergie zorgt ervoor dat in de actieve zone minder zand kan worden getransporteerd door het golfgedreven langstransport. In het diepe water veroorzaakt de toename in stroomsnelheid juist een groter zandtransport langs de kust. De verlaagde golfenergie speelt hier een ondergeschikte rol, aangezien hier de golven de bodem niet raken. Het RFA heeft een veel kleinere impact op het sedimenttransport in vergelijking met het eiland. In **figuur 4.22** is schematisch weergegeven waar erosie en sedimentatie van zand zal plaatsvinden als gevolg van het RFA. Afname van de golfenergie, hoewel gering, zal toch zorgen voor een verandering van het sedimenttransport. Dit vertaalt zich in sedimentatie en erosie langs de kust. De grootste verandering van sedimenttransport zal in de omgeving van het RFA plaatsvinden.



Figuur 4.22: Erosie en sedimentatie t.g.v. het RFA.





### 4.5.3. Erosie en sedimentatie

Zoals in **paragraaf 4.5.2** is beschreven, zal het sedimenttransport in de omgeving van het RFA het grootst zijn. Dit wordt onderbouwd met onderstaande theoretische beschouwing, waarin twee punten onderzocht worden, namelijk:

- De mate van erosie om de betonnen ring;
- De sedimentatie van het erosiemateriaal afkomstig van de betonnen ring met de vraag: Is het mogelijk dat het RFA in de toekomst vastloopt als gevolg van sedimentatie?

#### De mate van erosie om de betonnen ring

Om een indicatie te geven van de erosie om de betonnen ring, wordt uitgegaan van een aantal randvoorwaarden:

- De maximale vloedstroom om de ring is van het zuiden naar het noorden gericht;
- Het RFA ligt loodrecht op de kust (meest voorkomende oriëntatie zal parallel aan de kust zijn). Deze ligging heeft de grootste invloed op het getij in de omgeving van het RFA.

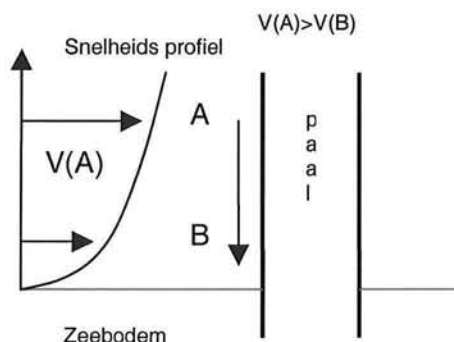
Voor de bepaling van de erosie om de betonnen ring zal eerst de theorie van een stroming om een verticale paal worden behandeld en vervolgens wordt deze theorie toegepast op de getijstrooming om de betonnen ring van het RFA.

#### Theorie

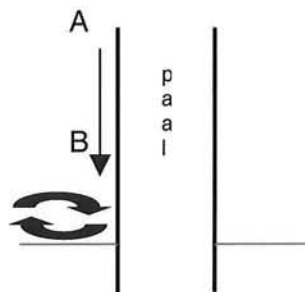
Een stroming om een verticale paal, zijn in theorie drie componenten van belang voor de erosie om de paal:

- 1) Er is geen stromingssnelheid aan de voorkant van de paal. Dit punt wordt het stagnatiepunt genoemd;
- 2) De snelheid van de stroming wordt twee maal zo groot langs de paal;
- 3) De stroming aan de achterkant zorgt voor periodieke afscheiding van wervelingen.

Punt twee en drie zorgen beide voor erosie aan de zijkant en de achterkant van de paal. Punt één zorgt in theorie voor geen erosie, maar in de praktijk blijkt dat de stagnatiedruk per stagnatiepunt over de diepte langs de paal verschilt. Dit komt door het snelheidsprofiel van de stroming (**figuur 4.23**).



Figuur 4.23: Paal met aankomend snelheidsprofiel

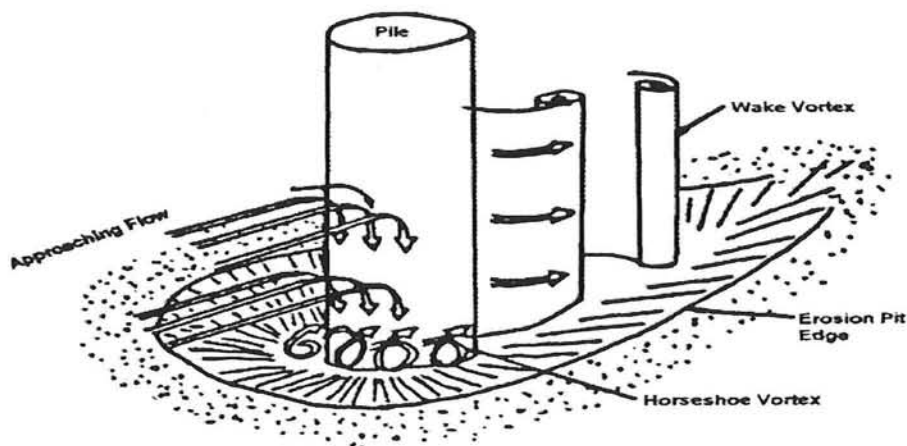


Figuur 4.24: Schematisch detail van een hoefijzer werveling aan de voorkant van de paal.



Het snelheidsprofiel is bij stagnatiepunt A groter dan bij stagnatiepunt B. De snelheid van de stroming net boven het zeebed is kleiner door de wrijving met het zeebed. Hierdoor ontstaat tussen de punten A en B een dynamische drukgradiënt die steiler is dan de hydrostatische drukgradiënt. Het drukverschil is een quasi-statisch residu gericht naar beneden en zorgt voor een omlaaggerichte stroming. Deze stroming bereikt de zeebodem en kan alleen afbuigen tegen de stroming in. Nadat een afstand, in de grote orde van de diameter van de paal, is afgelegd, buigt de stroom naar boven af en terug richting de paal, zodat een werveling gevormd wordt. De werveling wordt groter en beweegt zich langs de paal naar achteren toe. De werveling heeft de vorm van een hoefijzer, zie **figuur 4.24**.

De wervelingen hebben hoge snelheidsgradiënten, wat leidt tot turbulentie. Voor erosie van het zeebed is de schuifspanning tussen de korrels afhankelijk van de snelheidsgradiënten. Dus hier zullen de hoge snelheidsgradiënten zorgen voor een toename in de erosie voor de paal, langs de paal (immers de stroomsnelheid is daar twee keer zo groot) en achter de paal waar de wervelingen zich periodiek van de paal afscheiden. Er ontstaat een geërodeerd gebied om de paal. Het gehele proces is weergegeven in de ondertaande **figuur 4.25**.



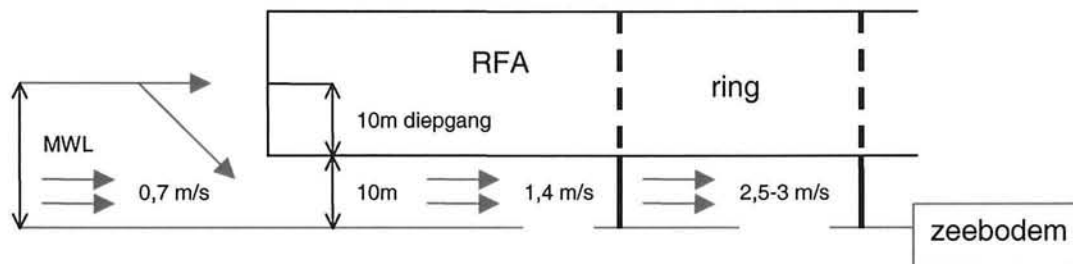
Figuur 4.25: Proces van erosie om een verticale paal

De erosie stopt wanneer een gat is ontstaan van 1 tot 1,5 maal de diameter van de paal. Dit betekent voor een paal met een diameter van 2 meter dat er ongeveer 50 meter<sup>3</sup> erodeert voordat een evenwicht ontstaat. Een erosiegat van deze omvang kan ontstaan binnen één periode van het getij.

#### De praktijk:

Het getij langs de Nederlandse kust heeft in een periode van 12 uur en 40 minuten tweemaal een maximale snelheid van 0,7 meter per seconde (eb en vloed). Het RFA heeft een doorstroomhoogte van 10 meter onder de pontons. Hierdoor wordt de doorstroomhoogte van de golf- en de getijstroming beperkt tot 10 meter. Dit leidt tot een toename van de stroomsnelheid onder het RFA met een factor twee. De stroomsnelheid neemt nog een factor twee toe langs de zijkanten van de betonnen ring (theoretisch). De stroomsnelheid langs de paal zal dan maximaal 2,5 tot 3 meter per seconde zijn (zie **figuur 4.26**). Dit leidt tot grote erosie om de betonnen ring.





Figuur 4.26: Schematische weergave van de toename van stroomsnelheid onder het RFA

Uitgaande van de theorie betekent het, dat een erosiegat om de betonnen ring een diepte kan krijgen van minimaal 1 diameter lengte tot maximaal 1,5 maal de diameter van de betonnen ring. In het geval van het RFA ontstaat er maar liefst een gat met een diepte van 250 tot 375 meter en wordt er 6250 meter<sup>3</sup> zand weggeërodeerd. Dit betekent dat de laterale draagkracht van de betonnen ring pas bij 250 meter kan beginnen. Bovendien heeft dit grote consequenties in het ontwerp van de fundatie (geotechnisch).

De erosie om en langs het RFA kan worden verhinderd door bodembescherming aan te leggen. De omvang van de bodembescherming zal door aanvullend geotechnisch onderzoek bepaald moeten worden. Dit valt buiten het bestek van deze studie.

#### Sedimentatie van het erosiemateriaal

Het geërodeerde materiaal zal zich geleidelijk verspreiden over het zeebed. De aangroei van sediment zal niet zo groot zijn dat het RFA vastloopt. Dit is logisch want als er een zand heuvel van 2 meter hoogte onder het RFA vormt, zal de hoogte tussen de onderkant van het RFA en het zeebed kleiner worden. Dus het verticale stroomoppervlak van getij en golven wordt kleiner, wat een toename van de stroomsnelheid tot gevolg heeft. Een toename van de stroomsnelheid zorgt ervoor dat de sedimentheuvel weg erodeert. Bovendien verandert de stroomrichting van het getij regelmatig van positie en heeft het sediment niet de gelegenheid om in de luwte achter het RFA tot rust te komen.

#### 4.5.4. Vogelbewegingen

In **bijlage 10** is een samenvatting toegevoegd van een onderzoek in opdracht van de Toekomstige Nederlandse Luchtvaart Infrastructuur (TNLI) getiteld: *Vogels en Luchtvaart: Een onderzoek naar aanvaringsrisico's tussen vogels en vliegtuigen en effecten van een nieuwe luchthaven op vogels* [9] en een onderzoek van *Voorkomen en verspreiding van vogels* [10] voor de Noordzee locatie is uitgevoerd door C.J. Camphuysen (Camphuysen Seabird Research). Vooral het laatste onderzoek is van belang voor het RFA. In het onderzoek van C.J. Camphuysen komt naar voren dat de vogeldichtheid tot 10 kilometer uit de kust min of meer constant is, daarbuiten neemt de vogeldichtheid af. Aangezien het RFA 20 kilometer uit de kust ligt zal het luchtverkeer waarschijnlijk geen hinder ondervinden van de vogelbewegingen.



## 4.6. Logistieke analyse

### 4.6.1. Bouwplanning

Een overzicht van de globale bouwplanning is opgenomen in **bijlage 11**. De totale bouwtijd zal 8 jaar bedragen. De maatgevende factoren in de bouwplanning zijn de prefabricatie van de tunnelementen en de pontons. Deze bedragen ieder 4 jaar. Hierbij moet worden opgemerkt dat speciale fabrieken, voor de bouw van de tunnelementen en de pontons, aangelegd moeten worden. De bouwtijd voor de fabrieken wordt geschat op ongeveer 2 jaar.

De bouw van de betonnen ring, de as van het RFA, zal een aantal maanden later beginnen dan de aanleg van de twee fabrieken. In de planning is een periode opgenomen van één jaar voor de aanleg van de ring fundatie. De tijdsduur van één jaar is opgesplitst in twee periodes van een half jaar (het voorjaar en de zomermaanden) om de ruwe weersomstandigheden (en dus zeeomstandigheden) in de herfst en de winter te vermijden. Hetzelfde geldt ook voor de constructie van de ring en de overige handelingen op zee.

Zoals is aangegeven dient de duur van de geïntegreerde offshore operaties te worden beperkt om de afhankelijkheid van de weersomstandigheden te minimaliseren. Daarom zal de bovenbouw geprefabriceerd worden. Dit geschiedt door de bovenbouw op te delen in aparte modules, die op land gebouwd worden. De omvang van de modules worden dusdanig ontworpen dat ze met beschikbare hefschepen geïnstalleerd kunnen worden. Op zee zullen de verschillende modules aan elkaar gekoppeld worden.

Als de bovenbouw van het RFA en alle pontons geïnstalleerd zijn, kan worden begonnen met de aanleg van de start- en landingsbanen. Hiervoor is een periode van één jaar gereserveerd. Na een testfase kan het RFA in gebruik worden genomen.

Een mogelijke variant op bovenstaande bouwplanning is opgenomen in **bijlage 12**. Hierbij wordt in plaats van een afgezonken tunnel een geboorde tunnel aangelegd. Het voordeel is dat er geen speciale fabriek gebouwd hoeft te worden voor de constructie van de tunnelementen. Een nadeel is dat de bouw van een geboorde tunnel meer tijd in beslag zal nemen.

### 4.6.2. Benodigd materieel

Voor de bouw van de pontons moet een fabriek ontworpen worden die de benodigde hoeveelheid pontons kan leveren. Voor deze fabriek gelden een aantal locatie-eisen:

- de bereikbaarheid vanaf land moet goed zijn, in verband met de aan- en afvoer van materiaal, materieel en personeel;
- de bereikbaarheid vanuit zee moet goed zijn, in verband met het transport naar de eindlocatie;
- de afstand tot de definitieve locatie van het RFA moet niet te groot zijn;
- de fabriek moet goed beshut zijn tegen weers-, golf- en stromingsinvloeden.

Aan de hand van de locatie-eisen kunnen grofweg een aantal locaties onderscheiden worden:

- een havenbekken op de Maasvlakte;
- een havenbekken aan het Noordzeekanaal ter hoogte van IJmuiden;
- een nieuw te bouwen haven voor IJmuiden;
- uitbreiding van bestaande bouwdokken in de Rotterdamse of Zeeuwse regio.

Voor het ontwerp van een fabriek voor de bouw van tunnelementen gelden dezelfde voorwaarden als die van de ponton fabriek (hierboven beschreven).





Bij een dergelijk groot project is het goed denkbaar dat de ontwikkeling van speciaal materieel, de totaal kosten van het project ten goede komt. Er bestaat in dat opzicht de vrijheid om materieel te ontwikkelen dat bij relatief zware zeegang kan opereren. Gelet op de beperkte waterdiepte valt te denken aan speciaal te ontwerpen materieel voor het afzinken van de tunnelementen en voor het transport en/of de installatie van de pontons.



## 5. Kostenraming

### 5.1. Inleiding

De kostenraming van het RFA is van wezenlijk belang voor deze studie. De haalbaarheid van het RFA komt in geding wanneer de kosten van een opgespoten eiland goedkoper uitvallen. De kostenraming van de pontons speelt hierin een grote rol en zal in volgende paragraaf 5.2 worden behandeld. In paragraaf 5.5 zal een samenvatting van de totale kosten weergegeven met onder andere de kosten voor het terrein, de schutle verbinding, de inrichting van de luchthaven en de landzijdige infrastructuur aanpassingen. Om een goed beeld te vormen van de kosten zijn meerdere scenario's voor Schiphol toegevoegd. In alle varianten blijft men gebruik maken van Schiphol als luchthaven. Alleen de mate waarin Schiphol wordt belast, is verschillend. Alle kosten van het opgespoten eiland, RFA en andere varianten zijn gebaseerd op globale kostenramingen.

### 5.2. Kostenraming pontons

#### Concept met rechthoekige stalen pontons 300x100x20m<sup>3</sup> (lxbxh)

Met behulp van het boek, VGBouw *kosten normen voor aannemers materiaal* [8] is een inschatting gemaakt van de kosten voor de te maken pontons. Het oppervlak van het RFA minus de oppervlakte van de ring is gelijk aan 60 pontons. De kosten voor 60 stalen pontons komen uit op 8 miljard euro.

#### Concept met Pneumatically Stabilized Platform

Het bedrijf Float incorporated (floatinc.com) heeft het PSP ponton ontworpen. In **bijlage 7** is een overzicht weergegeven van dit type ponton en haar werking. Dit pontonontwerp heeft een aantal voordelen voor het RFA, namelijk:

- Het PSP heeft een groter dekoppervlak;
- Het PSP is goedkoper te maken en te onderhouden;
- Het PSP functioneert beter (stabiel) naarmate de omvang groter wordt.

Float incorporated heeft onlangs een studie gemaakt voor drie drijvende start- en landingsbanen bij het vliegveld van San Francisco, waar de start- en landingsbanen opgebouwd zijn met dit type ponton. Aan de hand van deze studie is een kostprijs van de pontons bepaald voor het RFA. Het RFA heeft 170 ha aan pontonoppervlakte nodig. De pontons worden uitgevoerd met beton en worden geoptimaliseerd, zodat deining en getij nauwelijks invloed hebben. De kosten bedragen ongeveer 2,5 miljard euro.

#### Voordeel van het PSP ten opzichte van een stalen ponton:

- Het PSP kan worden uitgevoerd in beton, dat vermindert de constructiekosten aanzienlijk;
- Het PSP kan in kleine modules gemaakt worden en zijn daarom makkelijker hanteerbaar. Dit zal het koppelp proces offshore aanzienlijk versimpelen;
- Het PSP kan zo worden ontworpen dat de "domp" beweging wordt uitgeschakeld;
- De totale kostprijs van het PSP in vergelijking met stalen pontons is aanzienlijk lager.



### 5.3. Kostenraming inrichting luchthaven

De kosten voor de inrichting van de luchthaven bestaan uit:

- kosten voor de start- en landingsbanen, taxibanen plus overige rijbanen;
- verlichting, meteo en overige systemen;
- platformen, terminals en overige gebouwen;
- overige voorzieningen, o.a.wegen, veiligheidsvoorzieningen en luchthavenmaterieel.

Onderdelen van de inrichting zoals de luchtverkeersbegeleiding (LVB), de kosten voor de verkeerstoren, navigatiesystemen en overige ATC-faciliteiten (Air Traffic Control) zullen door derden worden gefinancierd, aangezien deze partijen die onderdelen zelf zullen gaan exploiteren. Daarmee zullen zaken als catering en vrachtafhandeling ook door derden afgehandeld worden.

De samenwerking tussen NACO en Schiphol heeft geleid tot een globale kostenraming voor deze inrichting. Deze kostenraming is gebaseerd op de inrichtingskosten van Schiphol. De kosten in **tabel 5.1** zijn in miljarden euro. Een beschrijving van de verschillende locaties is opgenomen in **bijlage 13**.

*Tabel 5.1: Kosten voor de inrichting van de luchthavenvarianten zonder de kosten die waarschijnlijk gefinancierd worden door derden zoals navigatie, radar, controle toren, vrachtafhandeling, concessionaires, douane, brandstof distributie, onderhoudsfaciliteiten, hotels, enz.*

	Noordzee	RFA	Flevoland Oost	Flevoland Lelystad en Zuid	Maasvlakte klein	Maasvlakte groot	Maasvlakte eiland
aantal passagiers per jaar (in miljoenen)	70	70	40	20	20	40	40
aantal (nieuwe) banen	6	2	5	1	1	4	4
<b>Inrichtingskosten</b>							
Start- en landingsbanen, taxibanen	1,29	0,36	0,87	0,20	0,20	0,75	0,75
Verlichtingssystemen en meetsystemen	0,48	0,17	0,34	0,10	0,10	0,31	0,31
Platformen en terminal	4,01	1,29 <sup>1</sup>	2,61	1,29	1,29	2,61	2,61
Overige gebouwen	0,07	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06
Overige	0,07	0,04	0,06	0,04	0,04	0,06	0,06
<b>Totaalkosten</b>	<b>5,80</b>	<b>1,93</b>	<b>3,86</b>	<b>1,45</b>	<b>1,45</b>	<b>3,86</b>	<b>3,86</b>

<sup>1</sup> globale kostenraming ring, dek boven ring en fundatie ring

### 5.4. Kostenraming aanpassing infrastructuur

De groei van de luchtvaart heeft als consequentie dat de belasting toeneemt op de omliggende infrastructuur, zowel voor het autoverkeer als het openbaar vervoer. Om de belasting op te vangen zijn op verschillende locaties aanpassingen of uitbreidingen noodzakelijk in de vorm van aanvullende infrastructuur. Iedere locatie voor een uitbreiding van Schiphol zal aanpassingen in de Randstad vergen. Aangezien dit een volgebouwd gebied is, zullen de aanpassingen aan de infrastructuur een grote kostenpost vormen. In **bijlage 14** is een onderzoek toegevoegd over de te maken aanpassingen van de infrastructuur, afkomstig uit het studierapport van Bouwdienst Rijkswaterstaat, *Ontwerp, Civiele Techniek en Kosten*.



In de **tabel 5.2** zijn voor de drie modellen de aanvullende ingrepen in de infrastructuur samengevat. Het RFA is te vergelijken met model 2 en 3. Het RFA leidt tot ongeveer 2,75 miljard euro extra investeringen in de Randstad.

*Tabel 5.2: Kosten infrastructuur aanpassing als gevolg van uitbreiding vliegverkeer. De kosten zijn afgerond op miljarden en exclusief BTW met een nauwkeurigheidsmarge van  $\pm 15\%$ .*

Model 1 (20/80)		Model 2 (70/30)		Model 3 (70/30 met extra tussenstop)	
Verbreden A4/A10: WTC - Prins Clausplein	2x1 rijstrook	Verbreden A4/A10: WTC - Prins Clausplein	2x1 rijstrook	Verbreden A4/A10: WTC - Prins Clausplein	2x1 rijstrook
verbreden A9: knooppunt Badhoevedorp-knooppunt Holendrecht	2x1 rijstrook	verbreden A9: knooppunt Badhoevedorp-knooppunt Holendrecht	2x1 rijstrook	verbreden A9: knooppunt Badhoevedorp - knooppunt Holendrecht	2x1 rijstrook
doortrekken Noordzuid-lijn: WTC - Schiphol		Doortrekken Noordzuid-lijn: WTC – Schiphol		doortrekken Noordzuid-lijn: WTC -Schiphol	
A4 gedeeltelijk in tunnel				Verbinding A4-A44, deels verbreden: deels nieuw:	2x1 rijstrook autosnelweg 2x2 rijstroken
Verleggen van A5	2 x 2 rijstroken				
<b>Totaalkosten (Excl. BTW):</b>	<b>3,65 miljard euro</b>	<b>Totaalkosten (Excl. BTW):</b>	<b>2,75 miljard euro</b>	<b>Totaalkosten (Excl. BTW):</b>	<b>2,75 miljard euro</b>

### 5.5. Samenvatting totale kosten

In deze paragraaf zijn de kosten samengevat voor alle basisvarianten op verschillende locaties [1]. Tevens is kort aangegeven wat onder de onderscheiden kostenposten wordt verstaan. De onderstaande kosten (in miljarden euro) zijn exclusief BTW en hebben een marge van  $\pm 30\%$ .

De volgende kostenposten zijn onderscheiden:

#### Terrein:

Het creëren van landaanwinning (Maasvlakte) of een eiland (Noordzee, Maasvlakte) door het opspuiten van zand en het aanleggen van zeekeringen, en het bouwrijp maken van bestaand land (Flevopolder). Onder terrein vallen ook de kosten voor het fabriceren en installeren van de pontons van het RFA.

#### Verbinding:

Het aanleggen van een deels ondergrondse, deels bovengrondse shuttleverbinding tussen Schiphol en een eiland in de Noordzee of een brugverbinding tussen Maasvlakte eiland en de Tweede Maasvlakte.





Inrichting:

Aanleg van start- en landingsbanen, taxibanen, passagiers- en vrachtterminals, luchthavenfaciliteiten en alle andere lucht- en landzijdige luchthaveninrichting. Hieronder wordt alleen verstaan de inrichtingskosten die de luchthavenbeheerder zelf moet maken, zoals voor de luchtvaartmaatschappijen, overslagbedrijven enz. Investerings op de luchthaven door deze klanten worden dus niet meegerekend. De kosten voor grondverwerving zijn wel inbegrepen, de kosten voor het verplaatsen van woningen en de geluidsisolatie zelf echter niet.

Aanpassingen Schiphol:

Alle benodigde aanpassingen aan terminals en het banenstelsel op het huidige Schiphol, uitgaande van de situatie met de 5<sup>e</sup> baan en een luchthavencapaciteit van 44 miljoen passagiers. Uitgangspunt hierbij is dat de aanvullende locatie en Schiphol tezamen 100 miljoen passagiers verwerken.

Aanvullende infrastructuur:

Verbreding en aanleg van extra weg- en railinfrastructuur om de toegenomen stroom reizigers te kunnen aan- en afvoeren. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de aanpassingen rond de aanvullende locatie en aanpassingen rond Schiphol. Uitgangspunt is dat de aanvullende locatie en Schiphol tezamen 100 miljoen passagiers verwerken.

Totaalkosten aanleg luchthaven:

Hieronder worden verstaan de kosten van de luchthavenaanleg zelf. Daarbij zijn inbegrepen het terrein, de eventuele verbinding, de inrichting en de aanpassingen op Schiphol. De kosten voor de aanpassingen op Schiphol zijn hier niet bij opgeteld.

In de **tabel 5.3** staan de belangrijkste kostenposten aangegeven voor de aanleg van de luchthavenvarianten

Tabel 5.3: Overzicht van de aanlegkosten voor de basisvarianten

Locatievariant	Terrein	Shuttle-verbinding	Inrichting Luchthaven	Landzijdige infrastructuur aanpassingen	Totaalkosten aanleg luchthaven
<b>Noordzee 70 mln passagiers</b>	5,31	7,25	5,80	2,75	<b>21,11</b>
<b>RFA met stalen pontons</b>	8,00	7,25	1,93	2,75	<b>19,93</b>
<b>RFA met PSP pontons</b>	2,50	7,25	1,93	2,75	<b>14,43</b>
<b>Noordzee 20 mln passagiers</b>	3,38	7,25	1,93	3,65	<b>16,21</b>
<b>Flevoland-Oost 40 mln passagiers</b>	0,48	0,00	3,86	5,00	<b>9,35</b>
<b>Flevoland-Oost 20 mln passagiers</b>	0,29	0,00	1,93	5,45	<b>7,67</b>
<b>Flevoland-Zuid/Lelystad 10/20 mln pass.</b>	0,14	0,00	1,45	4,55	<b>6,14</b>
<b>Maasvlakte groot 40 mln passagiers</b>	3,38	0,00	3,86	5,00	<b>12,25</b>
<b>Maasvlakte klein 10/20 mln passagiers</b>	1,45	0,00	1,45	4,55	<b>7,45</b>
<b>Maasvlakte eiland 40 mln passagiers</b>	4,83	3,86	3,86	5,00	<b>17,56</b>



## 6. Afweging

### 6.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal door middel van een criteria-analyse een afweging gemaakt worden. Het RFA zal worden getoetst aan een opgespoten eiland in de Noordzee waarvan slechts de banen van het vliegveld naar zee worden verplaatst (mono-functioneel eiland). In paragraaf twee wordt een beschrijving gegeven van de eilandvariant. In de derde paragraaf is een korte beschrijving gegeven van de toetsingscriteria. In paragraaf 4 is de criteria-analyse gegeven en bijbehorende beoordelingsmatrix. In de laatste paragraaf wordt de keuze toegelicht.

### 6.2. Beschrijving eiland variant

In de criteria-analyse wordt het RFA vergeleken met een opgespoten eiland. Dit eiland moet dezelfde functie-eigenschappen bevatten als het RFA. Als referentie wordt gebruik gemaakt van het studieonderzoek: Luchthaven in zee, schetsontwerpen, 16 december 1999, Directraat-Generaal Rijksluchtvaartdienst [12]. Hierin heeft het kabinet Schiphol de ruimte gegeven om te groeien op een locatie. Deze locatie heeft betrekking op de huidige locatie van Schiphol of het nieuw te bouwen Noordzee-eiland.

Een mono-functioneel eiland, waar alleen de banen naar zee worden verplaatst, zal worden gehanteerd als het referentie kader bij de toetsing van het RFA en wordt toegelicht in de onderstaande **tabel 6.2**.

Tabel 6.2. Mono-functioneel eiland.

<b>Eigenschappen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Schiphol als centrale locatie voor check-in, duty-free winkels en ontvangst van vracht.</li> <li>➤ Verbinding bijvoorkeur beveiligd uitvoeren in verband met luchtzijdige ligging. Een tussenstation is mogelijk.</li> <li>➤ De verbinding is onderdeel van de luchthaven, de snelheid van de verbinding is in dit kader van relatief groot belang</li> </ul>	
<b>Ruimtebehoefte van het eiland:</b>	
Bij een luchthaven van 80 MAP-120 MAP	
Totaal	7860 ha
Bij een luchthaven van 110 MAP-160 MAP	
Totaal	9700 ha
<b>Maatgevende piekstromen</b>	
<b>Belangrijkste vervoersstromen:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Passagiers en bagage (gescheiden)</li> <li>➤ Vrucht</li> <li>➤ Personeel luchthaven (gedeeltelijk)</li> </ul>	

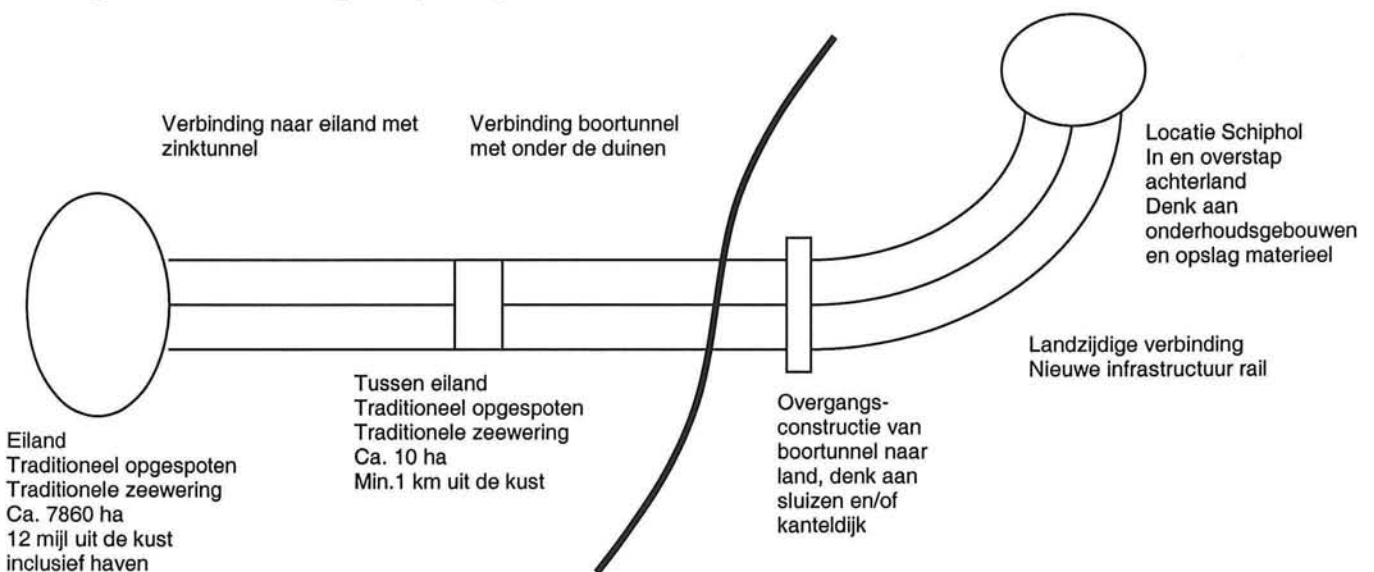


**Peikuurstromen bij 80 MAP**

Gecombineerde personenstromen	17500-19500 pax/h
Bagage	137-206 ton/h
Vracht	595 ton/h

Bij het alternatief 'Banen naar Zee' (zie **figuur 6.1**) blijven alle landzijdige delen van de luchthaven gehandhaafd op de huidige locatie. De luchtzijdige delen van de luchthaven, waaronder bijvoorbeeld de pieren en het banenstelsel, worden geplaatst op het Noordze-eiland. Omdat er een aantal functies achterblijft op het bestaande Schiphol, is de ruimtebehoefte op het eiland minimaal.

Het alternatief 'Banen naar Zee' wordt gekenmerkt door een afhandeling op meerdere locaties, namelijk Schiphol, een eventueel tussen knooppunt en het eiland. De verbinding vormt hiermee een belangrijk onderdeel van de luchthaven en heeft een invloed op de logistieke afhandeling van passagiers- en vrachtstromen.



Figuur 6.1: Voorkeursvorm banen naar de Noordzee MAP 80

### 6.3. Beschrijving criteria

#### Kustlijnverdediging

##### Invloedsgebied:

Stroming(dwars/langs): de stromingsverandering door een eiland uitgedrukt in een invloedsgebied langs de kust (km).

Golven: de afname golfkarakteristieken door een eiland uitgedrukt in een invloedsgebied langs de kust (km).

Ligging kustlijn: verandering van de ligging kustlijn uitgedrukt in een invloedsgebied langs de kust (km).

##### Kustveiligheid(belasting):

Afname windgolf en deining als gevolg van een eiland voor de kust en hierdoor de afname van de belasting op de kust (%).

##### Kustveiligheid (sterkte):

##### Omvang erosie kuil:

Omvang van erosie om en langs een eiland (km<sup>2</sup>).

##### Maximale kuildiepte:



De Maximale kuildiepte als gevolg van erosie om en langs een eiland (m).

Tussen eiland en kust:

Erosie/Sedimentatie tussen eiland en de kust.

Netto zandtransport:

Verandering van netto zandtransport als gevolg van een eiland voor de kust.

Zandbalans:

Verandering van de zandbalans als gevolg van een eiland voor de kust.

## **Kustlijn handhaving**

*Kustlijnonderhoud:*

Het jaarlijkse onderhoud langs de Nederlandse kust door middel van zandsuppleties neemt maximaal toe met 10%. Hoe dichter het eiland bij de kust hoe groter de omvang van het kustonderhoud.

*Beheersbaarheid:*

Om en langs het eiland ontstaan erosiekuilen. Bodembeschermingsmaatregelen moeten worden genomen om aantasting van de fundering van het RFA en de zeewering van het opgespoten eiland te voorkomen.

Bij een eiland minder dan 10 kilometer uit de kust bestaat de kans dat sedimentatie op de lange termijn (enkele eeuwen) zal leiden tot het ontstaan van een natuurlijke verbinding tussen eiland en het land.

De morfologische gevolgen van een eiland zullen gedurende een termijn van enkele tientallen jaren tot een eeuw doorwerken.

*Veerkracht:*

De zandinhoud van de kustzone neemt toe en blijft onder invloed staan van natuurlijke processen. De veerkracht zal dan ook toe nemen.

## **Flora en Fauna**

*Ontwikkeling van het ecosysteem:*

De verandering het ecosysteem heeft invloed op de ontwikkeling van de vispopulatie. Het vislarventransport vindt op een grote schaal plaats. De effecten van een eiland met een tunnel hebben invloed op een veel kleinere schaal. Waarschijnlijk zal slechts een beperkt deel van het totale aantal vislarven in de Noordzee beïnvloed worden door een eiland met tunnel. Echter dat deel van de vislarven dat beïnvloed wordt door een eiland met tunnel bevindt zich dan al in de kustzone. De kustzone fungeert als kinderkamer. Waarschijnlijk heeft een eiland met tunnel daarom geen effect op de grootte van de vispopulatie.

## **Kust en zeevogels problematiek**

*Vogel gemeenschap:*

Aantallen: voornamelijk de eerste jaren zal de vogelpopulatie op een opgespoten eiland explosief kunnen toenemen.

Soorten: het eiland zal aantrekkelijk zijn voor kustvogels. Voornamelijk meeuwen en sterns zullen op het eiland gaan broeden. Pelagische zeevogels zullen het eiland mijden.

Verspreiding: een opgespoten eiland vergroot het verspreidingsgebied van vogels. Een opgespoten eiland kan gaan fungeren als broed-, rust-, en foerageerplaats.

Het RFA heeft nauwelijks invloed op de vogelgemeenschap, omdat het geen ideale broed-, rust-, en foerageerplaats vormt.





## Beleving

### *Rust en ruimte & onderbuik gevoel:*

Ongeveer de helft van de ondervraagde mensen heeft een negatieve beleving van een eiland ongeacht de ligging langs of vanaf de kust en ongeacht hoe het eiland met de kust verbonden is.

Bij de helft van de ondervraagde mensen die neutraal of positief ten opzichte van een eiland in zee staan geldt dat hoe verder het eiland in zee ligt, hoe groter de acceptatie is.

Bij de helft van de mensen die neutraal of positief ten opzichte van een vliegveld in zee staan, krijgt een tunnel sterk de voorkeur boven een dam.

## Recreatie

### *Strand:*

De stranden in de luwte van een eiland zullen zonder verder ingrijpen in breedte toenemen. De samenstelling van het strand zal niet veranderen. In de luwte zal de brandingsenergie iets afnemen.

## Ecologie van strand en duinen

### *Dynamiek en saltspray:*

Morfologische dynamiek is een belangrijke factor bij de duinvorming. De verandering van de morfologische dynamiek van duinen is beperkt. Saltspray is een belangrijk voor het zoet-zoutgradient van het duingebied en bepaalt voor een belangrijk deel de variatie in de vegetatie van het duingebied. Maar eilanden hebben geen invloed op beide parameters.

## Onderhoud havens en vaargeulen

### *Slibbing en aanzanding:*

Een zuidelijk gelegen eiland kan invloed hebben op aanzanding van de Euro/Maasgeul. Vooral in de eerste jaren na de aanleg kan er sprake zijn van een toename in het onderhoudswerk van de IJ-geul wanneer het eiland op een afstand van 10 tot 15 kilometer van de vaargeul afluigt.

## Veiligheid

### *Passagiers(gevoelswaarde):*

Belangrijk aspect is het gevoel van een passagier die gaat vertrekken of landen op een eiland in de Noordzee. Grootte van het vliegveld speelt hierbij een belangrijke rol.

### *Vogels(kans op botsingen):*

Het aantal vogelbewegingen neemt af na 10 kilometer buiten de kust. Maar een eiland voor de kust zal zorgen voor toename van de vogelgemeenschap (Aantallen, soorten en verspreiding).

### *Ruimte:*

De grootte van het eiland draagt bij aan de veiligheid van vliegverkeer, gevoelswaarde en faseerbaarheid.

### *Vliegtechnisch(acceptabel):*

Is het oppervlak van het eiland groot genoeg zodat voldaan wordt aan internationale luchthaven regels, landingssystemen, enz.



## Technisch

### *Constructief:*

Schiphol maakt gebruik van bestaande bouwtechnieken. Het opgespoten eiland is constructief goed uitvoerbaar, omdat het gebruik maakt van bestaande bouwtechnieken. Het RFA heeft een aantal constructieve knelpunten, die niet met bestaande bouwtechnieken kunnen worden opgelost.

### *Onderhoud:*

Bij het opgespoten eiland zal het onderhoud van grotere omvang zijn dan bij Schiphol. Dit is logisch omdat zeeeringen extra onderhoud vergen en het eiland moet regelmatig gecontroleerd worden op verzakkingen. Bij het RFA is de verwachting dat onderhoud complexer en arbeidsintensiever is. Vooral kinderziektes van nieuwe ontwerpen, zoals lagersysteem en koppelingen, zullen veel tijd vergen.

## Bouwproces

### *Op zee:*

Bouwen op zee is doorgaans moeilijker dan op land en zal meer tijd vergen gezien de afhankelijkheid van weersomstandigheden.

### *Tijd:*

Bouwen op zee vergt meer tijd dan op land. Vooral de tunnelbouw is een vertragende factor.

### *Uitbreidbaarheid van het eiland:*

Dit is het punt waar het opgespoten eiland ten opzichte van Schiphol en het RFA een groot voordeel heeft. Het opgespoten eiland kan gemakkelijk worden uitgebreid om de capaciteit te vergroten.

### *Materiaal verbruik:*

Het RFA verbruikt aanzienlijk minder materiaal ten opzichte van Schiphol en een opgespoten eiland.

### *Faseringsmogelijkheden:*

Een opgespoten eiland en Schiphol kunnen makkelijker gefaseerd opgebouwd worden om het groeiende aantal vliegbewegingen op te vangen. Het voordeel van een opgespoten eiland en Schiphol is dat tijdens een fasestap het vliegverkeer geen hinder ondervindt terwijl het vliegverkeer op het RFA dat een kleinere oppervlakte heeft wel hinder ondervindt.

## Operationeel

### *24-uurs operatie:*

Het voordeel ten opzichte van Schiphol is dat er 24 uur per dag gevlogen kan worden.

### *Operationaliteit:*

Door de kleinere oppervlakte van de RFA is de inschatting dat het operationeel houden van het vliegveld tijdens onderhoud in geding kan komen.



## Kosten

### *Bouwen:*

Het bouwen van het RFA met betonnen pontons is goedkoper dan het aanleggen van een opgespoten eiland. Indien het RFA gebouwd wordt met stalen pontons zal er geen kostenvoordeel ontstaan. Schiphol uitbereiden tot 100 miljoen passagiers per jaar is nog duurder dan de andere varianten (aankopen van grond, grotere aanpassing infrastructuur etc.).

### *Onderhoud:*

Het onderhoud van Schiphol is goedkoper dan het opgespoten eiland en het RFA. Het onderhoud van het RFA is moeilijk in te schatten, maar waarschijnlijk het duurst, omdat arbeid/materieel op zee duurder is dan op land.

### *Infrastructuur:*

De kosten voor de aanpassing van de infrastructuur aan de kust zullen voor het opgespoten eiland en het RFA gelijk zijn. Uitbreiding van Schiphol naar 100 miljoen passagiers per jaar zal veel meer gaan kosten dan de twee andere varianten.

## 6.4. Criteria-analyse

Een goede besluitvorming vraagt om een vergelijking van verschillende alternatieven. Het belangrijkste bij de keuze is of het betreffende alternatief de knelpunten oplost. Door de plus- en minpunten van de in **paragraaf 6.3** beschreven criteria op een rij te zetten kunnen de alternatieven met elkaar vergeleken worden. Hoewel de verschillende criteria voor iedereen van belang verschillen, levert dit overzicht wel een totaalbeeld op van de verschillende alternatieven (zie **tabel 6.1**).

### Nulalternatief:

In het nulalternatief wordt de situatie op de middellange termijn als uitgangspunt genomen. Dat wil zeggen, de situatie waarin het vijfbanenstelsel op Schiphol niet is gewijzigd of uitgebreid. Wel is het gebruik van het banenstelsel geoptimaliseerd, onder meer door toepassing van nieuwe luchtvaarttechnische maatregelen. Het nulalternatief vormt de referentie situatie aan de hand waarvan de effecten van de andere alternatieven en varianten vergeleken worden.

### Alternatief 1:

Een opgespoten eiland van 7680 ha voor de kust van Egmond met een tunnelverbinding, zie **paragraaf 6.2**. In dit alternatief worden de start- en landingsbanen naar een eiland verplaatst. De overige functies blijven op Schiphol. Een of meer verbindingen tussen het opgespoten eiland en Schiphol zijn nodig voor reizigers, vracht en werknemers.

### Alternatief 2:

Het RFA van 180 ha met een tunnel verbinding. In dit alternatief worden de start- en landingsbanen en een aantal hangars verplaatst naar het RFA. De overige functies blijven op Schiphol. Een of meer verbindingen tussen het RFA en Schiphol zijn nodig voor reizigers, vracht en werknemers.



Tabel 6.1: Criteria-analyse

Gebruiksfunctie	Parameter	Criteria	eenheid	Nul alternatief: Huidige situatie	Alternatief 1: Eiland op 20 km [banen naar zee]	Alternatief 2: RFA
Kustlijn verdediging	Invloedsgebied	Stroming (langs/dwars)	km	o	70/30-45	50/20-30
		Golven	km	o	30	20
		Ligging kustlijn	km	o	50	40
	Kustveiligheid belasting	Windgolven en deining	%	o	10-15	5-10
	Kustveiligheid sterkte	Omvang erosie kuil langs eiland	km <sup>2</sup>	o	85	30
		Maximale kuildiepte	M	o	40	375 (theoretisch)
		Tussen eiland en kust	+/-	o	-	o
		Netto zandtransporten	hm <sup>3</sup> /jaar	0,25	0,2	0,2 <sup>+</sup>
		Zandbalans		-	+	+
	Kustlijn-handhaving	Kustlijnonderhoud	hm <sup>3</sup> /jaar	0,4	0,6	04 <sup>+</sup>
		Beheersbaarheid	+/-	-	-	+
	Veerkracht	Zandinhoud	+/-	o	+	+
		Morfologische dynamiek	+/-	o	+	+
Flora en fauna	Ontwikkeling ecosysteem	Primaire productie	+/-	o	+	+
Kust en zee vogels problematiek	Vogel gemeenschap	Aantallen, soorten verspreiding,	+/-	o	--	++
Beleving		Rust en ruimte & onderbuik gevoel	+/-	++	--	-
Recreatie	Strand	Breedte strand	+/-	o	o	o
		Karakter strand (sedimentsamenstelling, golven)	+/-	o	-	o
Ecologie van strand en duinen	Dynamiek, saltspray		+/-	o	--	+
Onderhoud havens en vaargeulen	Slibbing en aanzanding	Baggerhoeveelheden	+/-	o	++	+
Veiligheid	Passagiers	Gevoelswaarde	+/-	o	o	-
	Vogels	Kans op botsingen	+/-	o	--	++
	Ruimte	Tot oppervlak	ha	o	++ [7860]	- [180]
	Vliegtechnisch	Acceptabel	+/-	o	++	--
Invloed op gebied	Zeegebonden	Belasting	+/-	o	+	++
	Zichtbaarheid	Belasting	km	o	+ [20]	++ [20]
	Geluidsoverlast	Belasting	km	o	+ [20]	+ [20]
Technisch	Constructief		+/-	o	+	--
	Onderhoud		+/-	o	+	-
Bouwproces	Op zee		+/-	o	+	-
	Tijd		+/-	o	--	-
	Uitbreidbaarheid		+/-	-	+	o
	Materiaal		+/-	o	-	+
	Faseringsmogelijkheden		+/-	o	+	-
	Planning		+/-	o	+	+
Operationeel	24-uurs operatie		+/-	--	++	++
Kosten	Bouwen		+/-	o	+	++
	Onderhoud		+/-	o	-	--
	Operationeel		+/-	o	+	-
	Infrastructuur		+/-	o	+	+

++ positief effect  
 + matig positief effect  
 o neutraal  
 - matig negatief effect  
 -- negatief effect





## 6.5. Afweging

### Interpretatie beoordelingsmatrix

De basis van iedere besluitvorming is dat het alternatief bepaalde knelpunten oplost of verlicht. Het alternatief dat getoetst wordt, is het opgespoten eiland. Het alternatief wat bepaalde knelpunten oplost of verlicht is het RFA. De belangrijkste factoren zijn:

- Technische haalbaarheid (constructief en onderhoud);
- Vliegtechnische haalbaarheid;
- Morfologische&Ecologische consequenties;
- Veiligheid;
- Kosten.

### Technische haalbaarheid

De technische haalbaarheid van het RFA is twijfelachtig, zeker in vergelijking met het opgespoten eiland. De aansluiting van de ring en de pontons, de koppeling tussen de pontons zijn, gesteld aan de verplaatsingseisen waaraan voldaan moet worden, constructief op dit moment niet haalbaar. Met behulp van de aangegeven nieuwe technieken is het mogelijk dit concept te ontwikkelen. Echter veel van deze technieken verkeren momenteel nog in een ontwikkelingsstadium en zullen nog enige jaren van verdere ontwikkeling vergen, voordat ze op deze schaal toegepast kunnen worden.

Het onderhoud van het RFA zal meer energie en tijd kosten omdat de benodigde technieken nieuw zijn. Het zal tijd en energie kosten om de kinderziektes op te lossen.

Het opgespoten eiland is zowel constructief als onderhoud technisch een bekende techniek, die met succes is toegepast.

### Vliegtechnische haalbaarheid

De vliegtechnische haalbaarheid van het opgespoten eiland is vergelijkbaar met die van een vliegveld op land. De vliegtechnische haalbaarheid van het RFA is onvoldoende. Met behulp van het gebruikte ILS is het niet toegestaan (waarschijnlijk ook onmogelijk) om op een draaibaar vliegveld te landen. Er bestaan nieuwe en betere landingssystemen welke toegepast worden in andere industrieën. Toepassing van deze systemen in de luchtvaartindustrie zal de vliegtechnische haalbaarheid van het RFA te gemoed komen.

### Morfologisch&Ecologische consequenties

De invloed van een eiland op de directe omgeving is al meerdere malen het onderwerp van onderzoek geweest. In vergelijking met een eiland scoort het RFA aanzienlijk beter. Dit komt voornamelijk door een veel kleiner oppervlakte van het RFA in vergelijking met een eiland. Hierdoor worden de natuurlijke dynamische processen, zoals erosie en sedimentatie, in minder verstoord. Dit heeft tot gevolg dat de invloed van het RFA op de Nederlandse kust minimaal zal zijn.

Ook ten aanzien van de flora en fauna scoort het RFA beter. Dit komt enerzijds door de kleinere oppervlakte en anderzijds door het feit dat een opgespoten eiland zeer aantrekkelijk is voor vissen en vogels. Vooral de vogelgemeenschap rond het eiland zal groeien waardoor de vliegveiligheid in gedrang komt.



## **Veiligheid**

Wat betreft veiligheid is de keuze minder duidelijk. In het geval van het RFA zal het gevoel van veiligheid van de passagiers en vliegpersoneel minder zijn, omdat een vliegtuig op een kleiner oppervlakte landt, waarvan tevens de oriëntatie niet 100% vast ligt (in verband met de roterbaarheid van het vliegveld). Het eiland zal qua veiligheid dezelfde score hebben als een vliegveld op land.

Veiligheid wordt ook bepaald door de kans op botsingen met vogels. Aangezien het opgespoten eiland veel vogels aantrekt, zal de kans op ongelukken toenemen. Het RFA scoort op dit punt een stuk beter, omdat de vogelgemeenschap het RFA niet aantrekkelijk zal vinden.

## **Kosten**

In hoofdstuk 5 zijn voor een aantal varianten de kosten bepaald. De kosten van een eiland zijn ongeveer vergelijkbaar met de kosten voor het RFA met stalen pontons. Indien deze pontons in beton uitgevoerd worden, worden de kosten aanmerkelijk gereduceerd. Het kostenvoordeel van het RFA ten opzichte van het eiland is dan behoorlijk groot.

## **Conclusie**

Op basis van de onderlinge vergelijking tussen het RFA en het opgespoten eiland, scoort het opgespoten eiland het beste. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door het feit dat het RFA met de huidige technieken constructief technisch en vliegtechnisch niet haalbaar is. Echter met de aangegeven nieuwe ontwikkelingen op constructietechnisch gebied (type pontons, koppeling van pontons, lagering etc.) wordt de haalbaarheid van het RFA aanzienlijk vergroot. Wanneer deze technieken verder ontwikkeld zijn, lijkt het RFA een zeer competitief concept. Dit omdat het RFA een stuk beter scoort op de morfologische en ecologische kwesties. Bovendien zullen de kosten van het RFA, mits betonnen pontons toegepast kunnen worden, een stuk lager zijn.



## 7. Conclusies en Aanbevelingen

### 7.1. Conclusies

Na analyse van de haalbaarheid van het Rotating Floating Airport kan het volgende geconcludeerd worden:

- *Vliegtechnisch:*  
Volgens het wereldwijd gebruikte landingssysteem ILS is het niet toegestaan om te landen op een draaibaar vliegveld.
- *Capaciteit:*  
Vervoerstechnisch gezien, is een concept ontwikkeld waarmee de vervoerstromen van en naar het RFA afgehandeld kunnen worden.
- *Constructief:*  
De relatieve bewegingen van de stalen pontons met de afmetingen 300x100x20 meter<sup>3</sup> zijn te groot. De relatieve bewegingen zijn ook te groot om vliegtechnisch geaccepteerd te kunnen worden.  
Door de bewegingen van de pontons worden de koppelkrachten te groot. Er zijn geen systemen die krachten van deze orde en in alle richtingen (zes vrijheidsgraden) kunnen opnemen.  
Voor de aansluiting tussen de pontons en de ring zijn een aantal bruikbare systemen aangedragen. De voorkeur gaat uit naar de hydrostatische lager, gezien het systeem wrijvingsloos werkt en weinig onderhoud vergt.  
De draaibaarheid van het RFA kan verwezenlijkt worden met thrusters of door de getijstrooming. Het laatste systeem heeft als voordeel dat het gebruik maakt van de getijstrooming langs de kust en dus weinig energie verbruikt.
- *Morfologisch:*  
De invloed van het RFA op de verandering van de morfologie voor en langs de Nederlands kust is kleiner dan de invloed van een opgespoten eiland. Globaal onderzoek naar de erosie rondom de betonnen ring heeft uitgewezen dat bodembescherming nodig is.  
De vogelgemeenschap neemt met de aanwezigheid van een opgespoten eiland toe. In het geval van het RFA is die toename verwaarloosbaar.
- *Kosten:*  
Indien het RFA uitgevoerd wordt met stalen pontons zullen de kosten van het gehele project vergelijkbaar zijn met de kosten van een opgespoten eiland, ongeveer 20 miljard euro. Een groot kostenvoordeel ontstaat wanneer nieuw ontwikkelde betonnen pontons (PSP) toegepast worden. De kosten worden met 30% gereduceerd en zullen ongeveer 14 miljard euro bedragen.

#### **Samenvattende conclusies:**

Volgens de huidige regelgeving is het niet toegestaan om te landen op een draaibaar vliegveld. Nieuwe ontwikkelingen met betrekking tot landingssystemen (Tunnel-in-the-sky / DGPS) maken het landen op het RFA wel mogelijk.

Constructief technisch is het RFA op dit moment niet haalbaar. Echter met de nieuwe ontwikkelingen op constructief technisch gebied (PSP, hydrolager, NCC) kan het RFA in de nabije toekomst gerealiseerd worden.

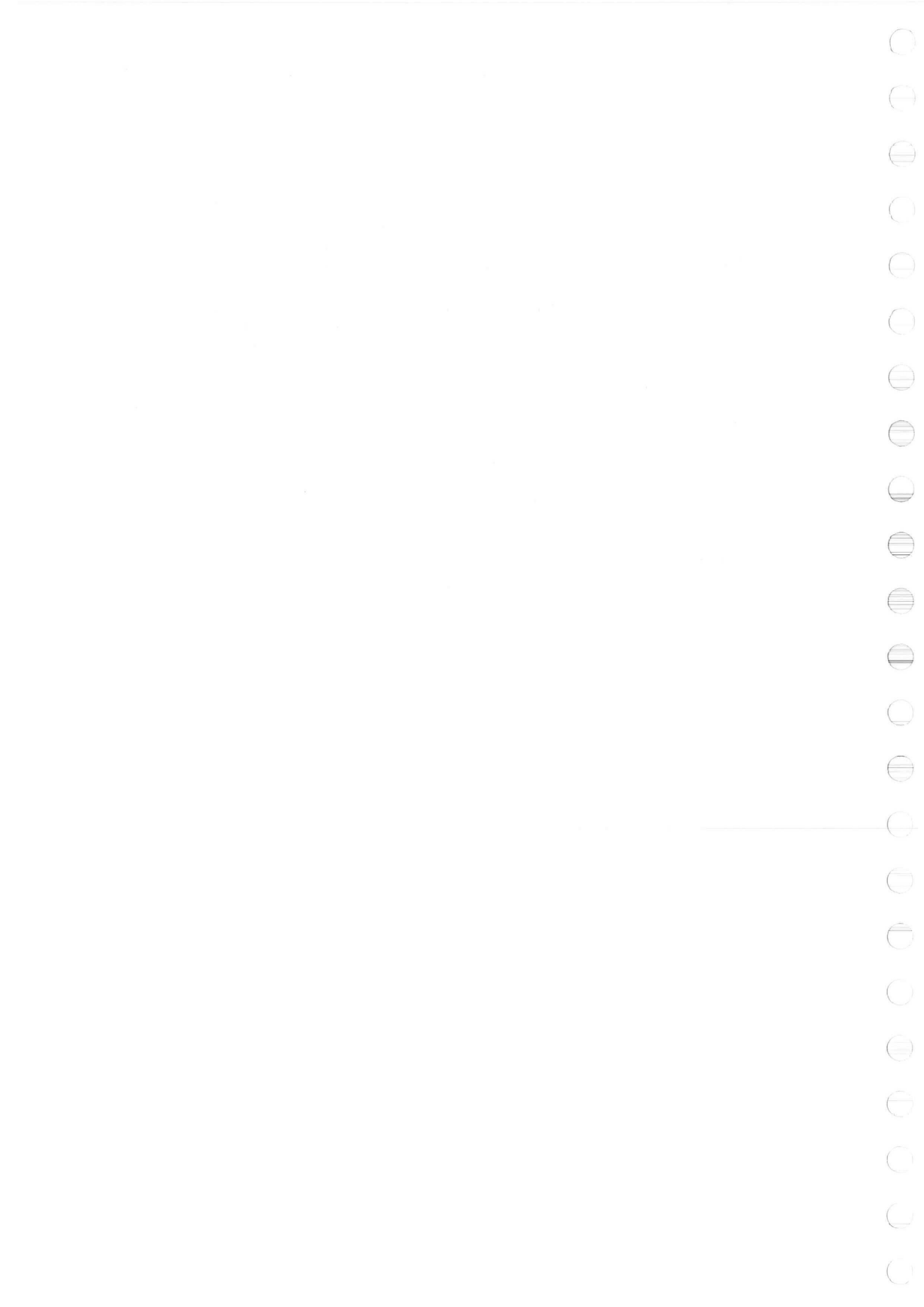
Indien de vliegtechnische en constructieftchnische knelpunten opgelost zijn, biedt het RFA een prijs- en milieuvriendelijk alternatief ten opzichte van een eiland in de Noordzee.



## 7.2. Aanbevelingen

Hieronder worden enkele punten die mogelijk onderwerp van verder onderzoek kunnen zijn:

- Onderzoek naar hydrodynamische eigenschappen van nieuw ontwikkelde pontons. Het doel van onderzoek moet zijn een ponton ontwikkelen die de opgelegde beweging van de zee reduceert.
- Onderzoek naar koppelingen tussen pontons, die de koppelkrachten op kunnen nemen (NCC) toegespitst op het RFA concept.
- Onderzoek naar de bewegingen van een reeks gekoppelde pontons van 3000x600x 20 meter<sup>3</sup>. De krachten op de betonnen ring kunnen dan worden bepaald. Deze krachten zijn van belang voor de ontwikkeling van het lagersysteem en het ontwerp van de fundatie.
- Detail onderzoek naar de weersomstandigheden (vooral de wind en windrichting) op de geplande locatie van het RFA. Dit om de wenselijkheid van een roteerbaar vliegveld te bevestigen en tevens de technische eisen met betrekking tot draaisnelheid, draaifrequentie etc. te bepalen.
- Onderzoek naar de planologische aanpak van het gehele bouwproces. Het onderzoek moet toegespitst zijn op de bouw van de pontons en de tunnelelementen.
- Onderzoek naar het downsizen van het RFA (minder vliegbewegingen op zee).
- Onderzoek naar de toepassing van het RFA-concept in bijvoorbeeld het IJsselmeer en andere zeeën.
- Een haalbaarheidsonderzoek naar een combinatie van een kleiner opgespoten eiland ( $\pm 500$  ha) met drijvende roterende start- en landingsbanen. Een vergelijkbaar onderzoek is gedaan voor het Vliegveld van San Francisco door Float Incorporated ([www.floatinc.com](http://www.floatinc.com)).





## Literatuurlijst

- [1] Locatiestudie luchthaven Noordzee. Verkennend onderzoek naar de ruimtelijke effecten van een luchthaven in de Noordzee. Grontmij Advies & Techniek, Ruimtelijke Ordening & Milieu en TNO-INRO, juli 1998.
- [2] Locatiestudie Schiphol. In opdracht van TNLI. H+N+S Landschapsarchitecten, 2 september 1998.
- [3] Evaluation of Nonlinear Compliant Connector for Mobile Offshore Base (T.R.J. Mills and L. Chen, J. Ray McDermott Engineering, OMAE '99, July 1999).
- [4] Mobile Offshore Base - Nonlinear Compliant Connectors (T. Mills and L. Chen, US Japan Marine Facilities Panel 22nd Meeting, October 1998).
- [5] Nadere verkenning 3 opties. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat Utrecht, april 1998.
- [6] NACO rapportage in het kader van de studie naar drie locaties lange termijn opties TNLI, juni 1998.
- [7] TNLI ontwerp, Civiele Techniek en Kosten, 25 september 1998.
- [8] Kostennormen voor aannemersmaterieel, VGBouw, 1995
- [9] Vogels en Luchtvaart: Een onderzoek naar aanvaringsrisico's tussen vogels en vliegtuigen en effecten van een nieuwe luchthaven op vogels, Toekomstige Nederlandse Luchtvaart Infrastructuur (TNLI).
- [10] Voorkomen en verspreiding van vogels, C.J. Camphuysen (Camphuysen Seabird Research).
- [11] RIKZ: 'Morfologische effecten van een kunstmatig eiland voor de kust van Egmond', Suzanne Mulder (november 1999).
- [12] Luchthaven in zee, schetsontwerpen, 16 december 1999, Directraat-Generaal Rijksluchtvaartdienst
- [13] Invloed van het eiland in de Noordzee op het lokale golfklimaat, J.J. Jacobse, augustus 1998.
- [14] Tribologie Levensduur en prestatie, Anton van Beek, 2001.

### Afstudeerverslagen:

- Verbinding tussen satellietluchthaven in de Noordzee en de kust, R.W. van der Eijk, jan, 1999
- Air cushion supported Mobile Offshore Base. E.J.A. Meevres Scholte, aug. 1999

### Dictaten:

- Offshore Hydromechanics, J.M.J. Journee en W.W. Massie, januari 1998.
- Stochastische Trillingen, A.C.W.M. Vrouwenfelder en E.C. Klaver, februari 1997.

### Internetpagina's:

- [www.floatinc.com](http://www.floatinc.com)
- [www.mob.nfesc.navy.mil](http://www.mob.nfesc.navy.mil)
- [www.getij.nl](http://www.getij.nl)
- [www.golfklimaat.nl](http://www.golfklimaat.nl)
- [www.tribologie.nl](http://www.tribologie.nl)
- [www.google.nl](http://www.google.nl)



## Verklarende woordenlijst

### Gebruikte afkortingen (Nederlands):

RIKZ:	Rijksinstituut voor Kust en Zee
TNLI:	Toekomstige Nederlandse Luchtvaart Infrastructuur
LVB:	Luchtverkeersbegeleiding
CPB:	Centraal Planbureau
IBV:	Integrale Beleidsvisie
TGB:	Technische Grondslagen voor Bouwconstucties
NEN:	Nederlands Normalisatie Instituut
PE:	Poly-ethyleen

### Gebruikte afkortingen (Engels):

RFA:	Rotating Floating Airport
DGPS:	Differential Global Positioning
ILS:	Instrument Landing System
INS:	Inertia Navigation System
MCT:	Minimum Connecting Time
JONSWAP:	Joint Northsea Wave Project
RAO:	Response Amplitude Operator
MOB:	Mobile Offshore Base
PSP:	Pneumatically Stabilized Platform
NCC:	Nonlinear Compliant Connector
DP:	Dynamic Positioning
MWL:	Mean Water Level
ATC:	Airtraffic Control

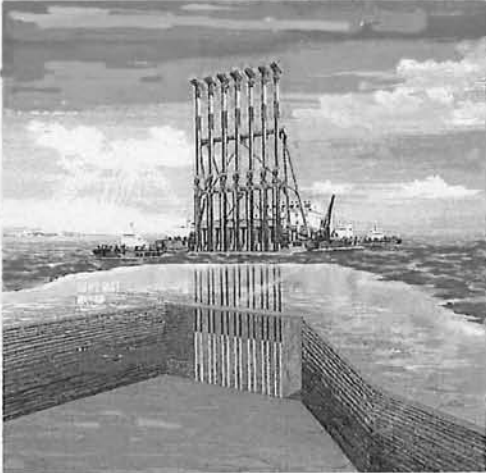




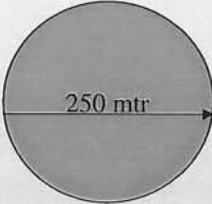


### Bijlage 1: Concept RFA


Making of a foundation on the bottom of the sea.




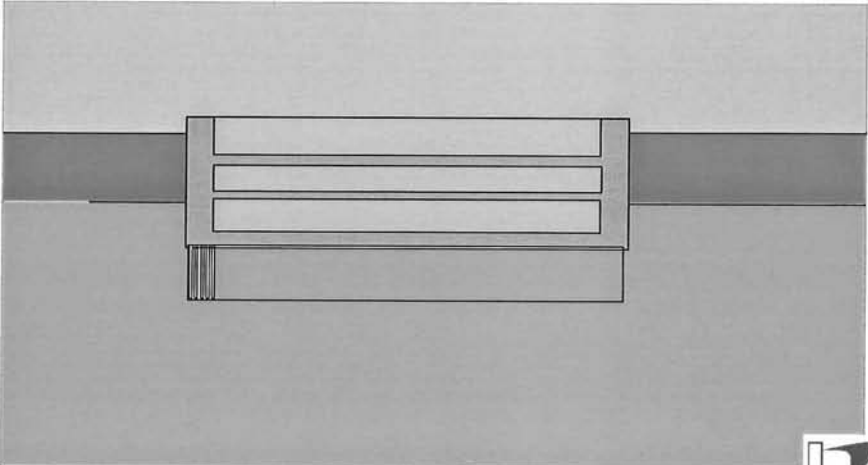
- Only a foundation in a circle with a diameter of 250 meters is necessary



- About 50.000 piles

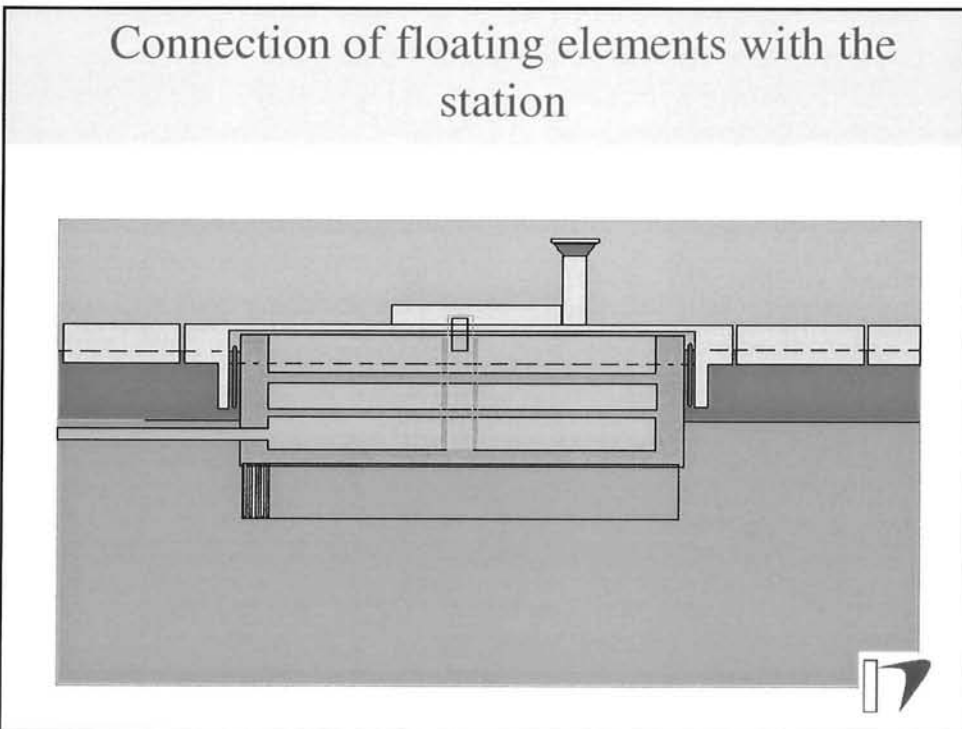
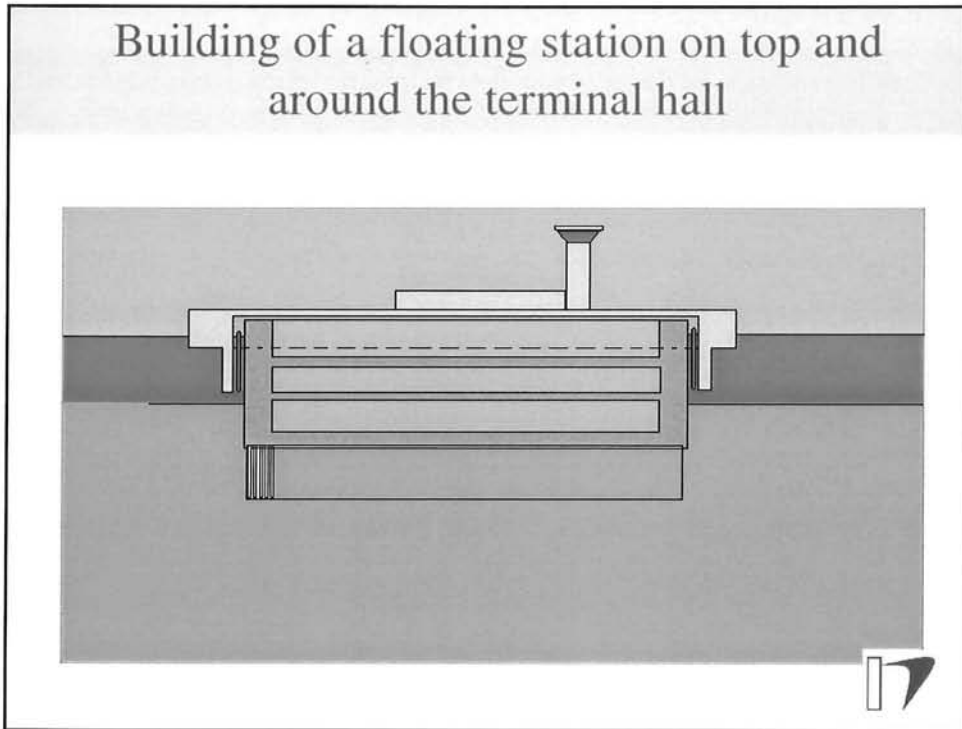


Building of a terminal hall on the foundation with more floors



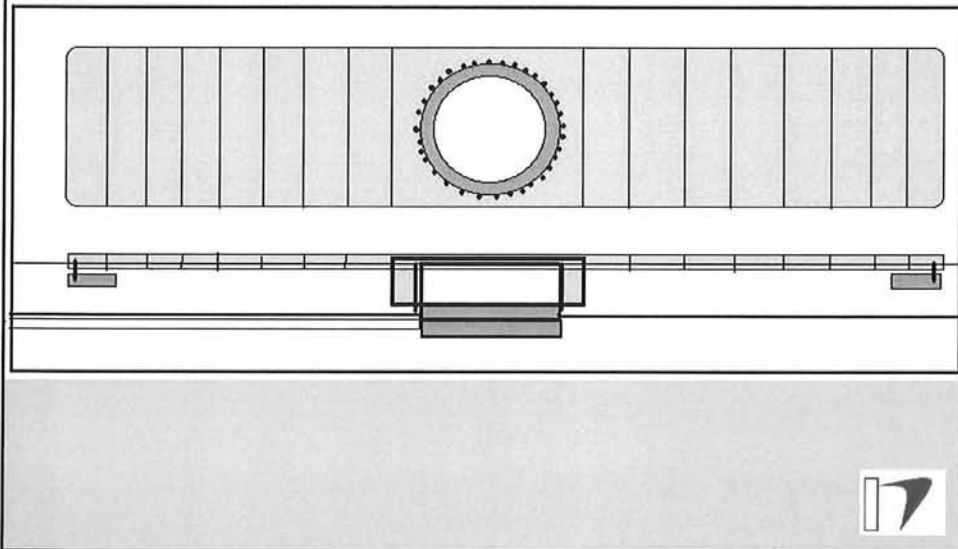




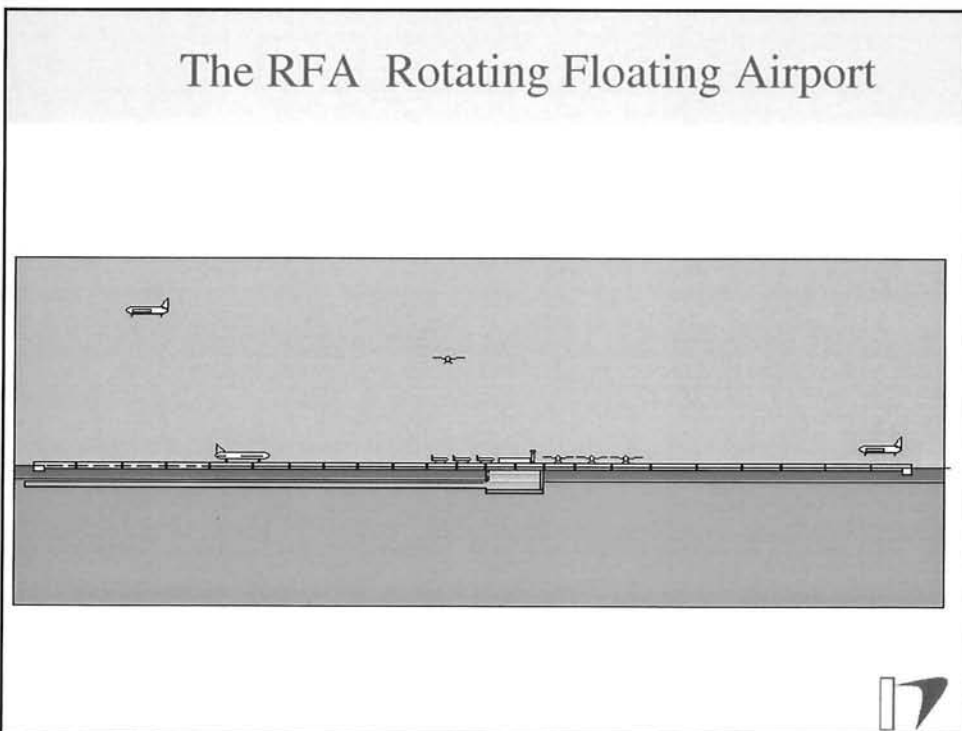




### Building up of the floating airport



### The RFA Rotating Floating Airport





## Bijlage 2: Windcriteria Schiphol

In selecting the runway combination to be used from the preferential runway system, ATC the Netherlands shall apply the wind speed criteria as have been stated in the table below. In applying these wind criteria, gusts below 10 KT shall not be taken into account.

Between 0600-2200 (0500-2100) and with good braking action, ATC the Netherlands may apply more conservative criteria (e.g. a crosswind component of 15 KT and a tailwind component of 5 KT) in order to meet the requirements resulting from noise abatement policy directives.

If the actual wind speed values exceed the wind speed criteria, ATC the Netherlands may apply higher crosswind and/or tailwind values in order to assign a runway combination.

Accepting a runway is a pilot's decision. If a pilot, prompted by safety concerns, requests another runway, this request will be granted. In that case, the pilot must submit a written report (the operator is responsible for proper reporting procedures).

Weather		RVR $\geq$ 550 m and/or cloud base $\geq$ 200 ft		RVR $<$ 550 m and/or cloud base $<$ 200 ft	
		Cross	Tail	Cross	Tail
Braking action	Wind component				
	Good	20	7	15	7
	Medium to good	10	0	10	0
	Medium				
	Medium to poor	5	0	5	0
Poor					

Remarks: 1. Wind speed values are presented in knots.  
2. Braking action information is based on the measured friction coefficient (see EHAM AD 2.7).  
Usually, the braking action at Schiphol Airport is good, even when the runway is wet. The braking action will be less than good only in case of e.g. extreme rainfall or snow.

*Figuur: Windcriteria Schiphol*



### Bijlage 3: Windgegevens Kustgebieden

In **bijlage 2** zijn de windcriteria voor Schiphol gegeven. Dit zijn harde eisen waaraan een mogelijke locatie moet voldoen. Hieruit kan een bovengrens voor de maatgevende windsnelheid bepaald worden. De windgegevens voor de Nederlandse kust moeten aan deze eis voldoen. De belangrijkste factor is de gemiddelde windsnelheid in een jaar. Deze kan als volgt bepaald worden:

$$F_{\bar{v}}(v) = \exp\{\exp(-a(v - u_{\bar{v}}))\}$$

Hierin is:

$a$  = Gumbelparameter

$u_{\bar{v}}$  = Potentiële uurgemiddelde windsnelheid

$N$  = het aantal stationair onafhankelijke 'deelprocessen' in een jaar

$F_{\bar{v}}(v)$  = verdelingsfunctie voor het jaarmaximum

$$\text{Met: } u_{\bar{v}} = u_1 - \frac{\ln(N)}{a}$$

Uit onderstaande figuur kunnen dan de benodigde gegevens gehaald worden. Voor de Nederlandse kust geldt gebied I:

$$u_1 = 22,8 \text{ (m/s)}$$

$$a = 0,54 \text{ (s/m)}$$

$$N = 1500$$

De potentiële uurgemiddelde windsnelheid wordt dan  $u_{\bar{v}} = 9,25 \text{ m/s}$ . Met behulp van onderstaande formule kan dan de maatgevende windsnelheid van een windvlaag berekend worden:

$$v_{vlaag} = g u_{\bar{v}}$$

Hierin is:

$v_{vlaag}$  = snelheid van een windvlaag

$u_{\bar{v}}$  = potentiële uurgemiddelde windsnelheid

$g$  = vlaagfactor

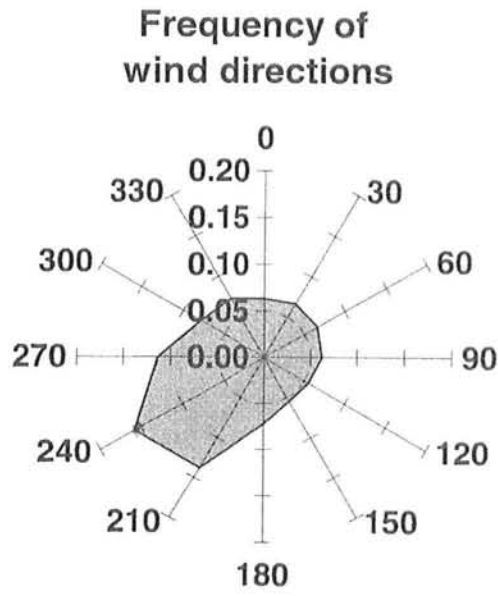
Met een vlaagfactor van 3.5 wordt de snelheid van een windvlaag:  $v_{vlaag} = 32.4 \text{ m/s}$ . In

knopen wordt dit:  $v_{vlaag} = \frac{32.4}{1.852} = 17.5 \text{ knopen}$ . Dit is dus de gemiddelde snelheid van een windvlaag.

Met behulp van de figuur waarin de richtingsafhankelijkheid van de wind aangegeven is, is te zien dat de overheersende windrichting uit het zuidwesten komt. Rekening houdende met het feit dat het RFA over het algemeen Noord-Zuid georiënteerd is en het feit dat de dwarswind (component van de wind die loodrecht op de landingsbaan werkt) maatgevend is, zal in de meeste omstandigheden voldaan worden aan de windcriteria voor Schiphol (zie **bijlage 2**). Alleen in extreme situaties zal de dwarscomponent van windsnelheid in combinatie met de baanomstandigheden, dermate ongunstig zijn dat het niet toegestaan is om te landen op het RFA. In deze gevallen moet de landingsbaan in de wind geroteerd worden, zodat de dwarscomponent afneemt tot onder de limieten van **bijlage 2**. Gedetailleerde analyses van de omstandigheden op de Noordzee, van onder andere de windsnelheid en de -richting in combinatie met de duur en intensiteit van de windvlaag zal moeten uitwijzen hoe vaak het RFA geroteerd dient te worden. Deze informatie in combinatie met de capaciteit van het RFA bepalen de snelheid waarmee het RFA gedraaid moet worden. Deze analyses vallen echter buiten het doel van dit rapport.





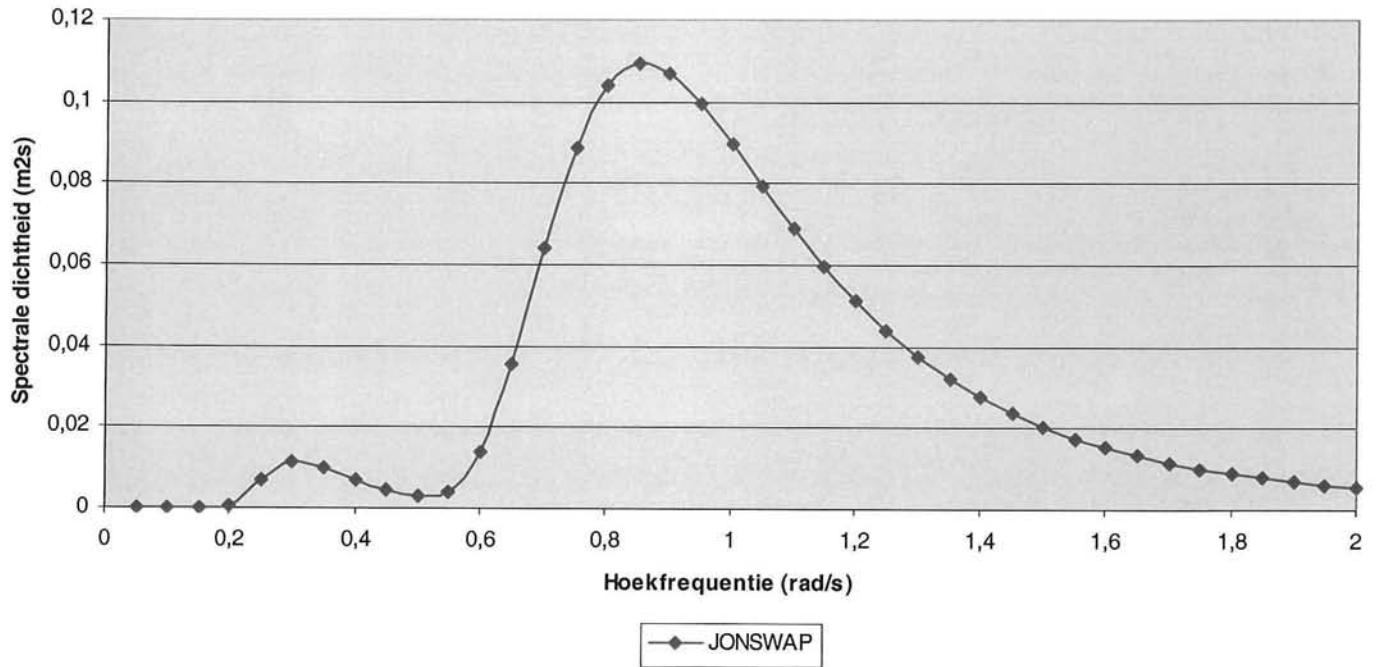


*Figuur: Richtingsafhankelijkheid wind*

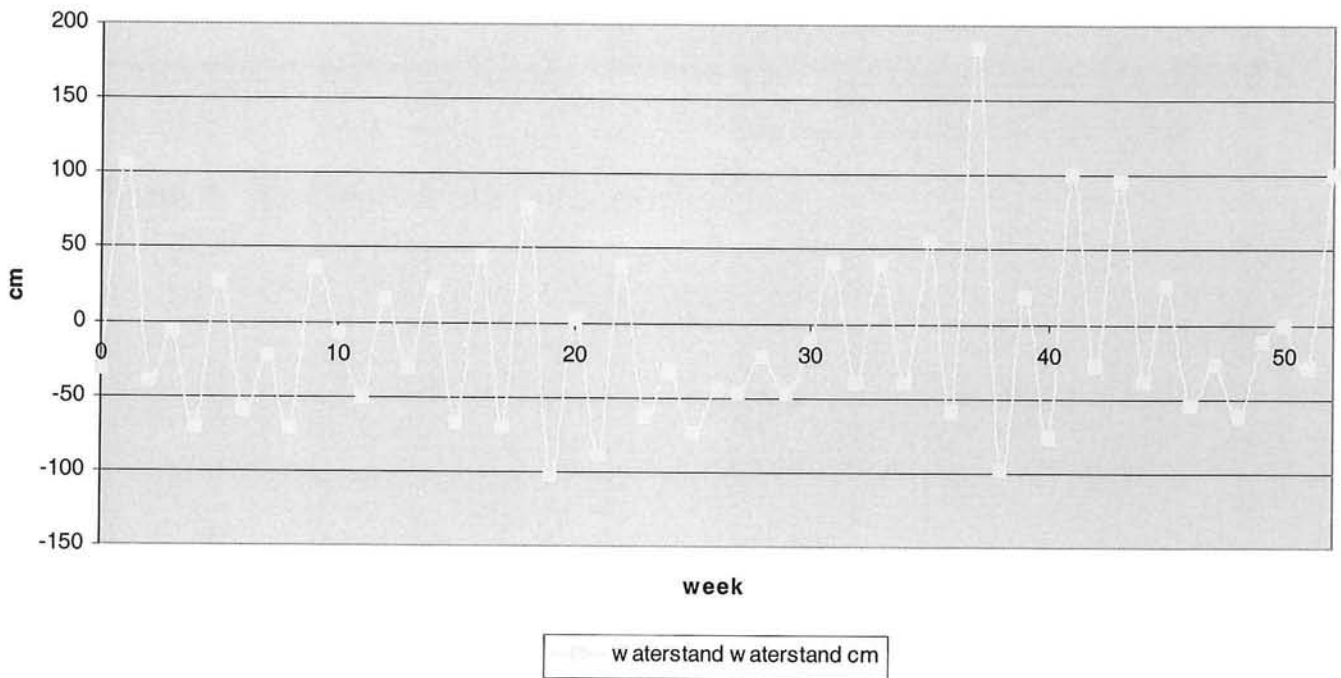


### Bijlage 4: Golfspectrum IJmuiden

Golfspectrum

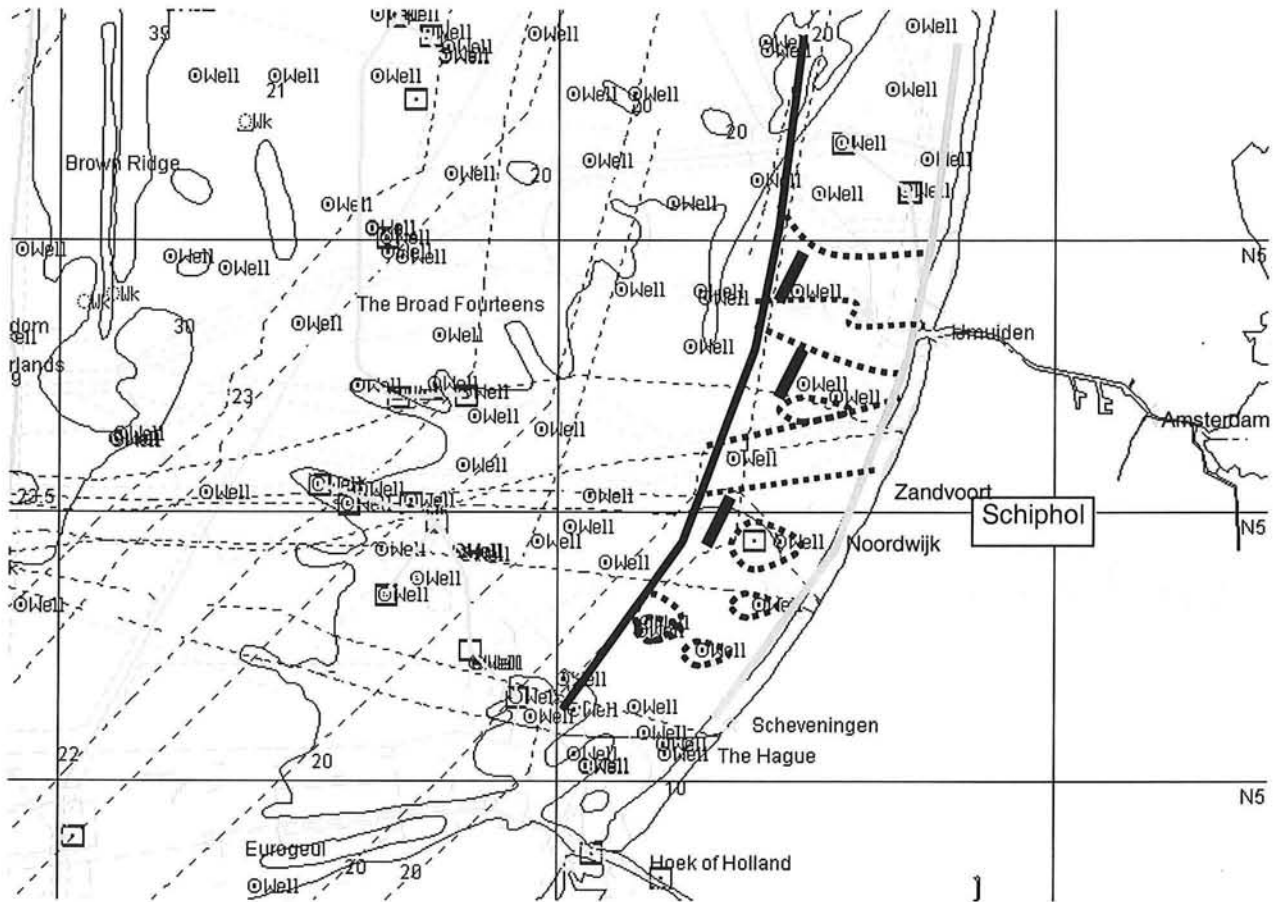


Waterstand 1998





### Bijlage 5: Locatiekeuze



**Legend:**

-  Oil&Gas Platform
-  Oil&Gas Pipeline
-  Submarine Cable
-  Shipping Lane
-  Restricted Area
-  Dutch Territorial Boundary
-  10-km Boundary
-  Possible Location of RFA
-  Safety Area around Wells, Cables and Shipping Lanes

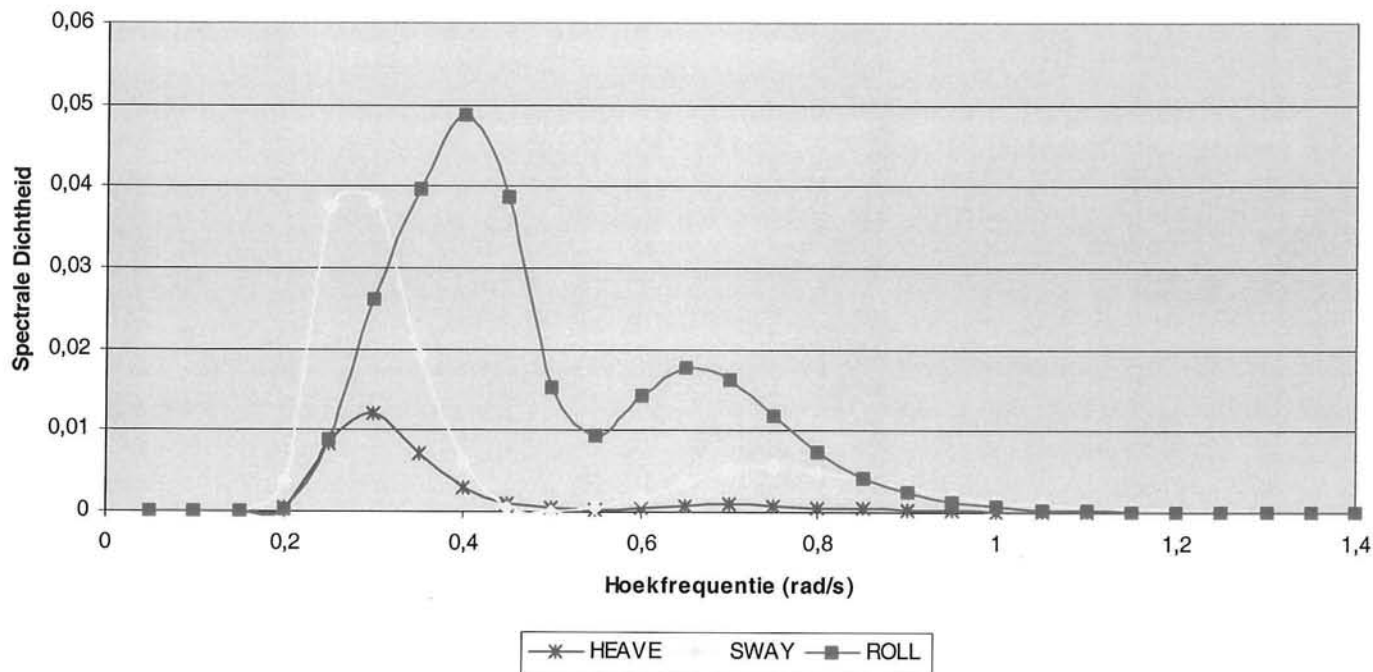
Scale 1:750.000 cm



### Bijlage 6: Resultaten 3-D panelmethode

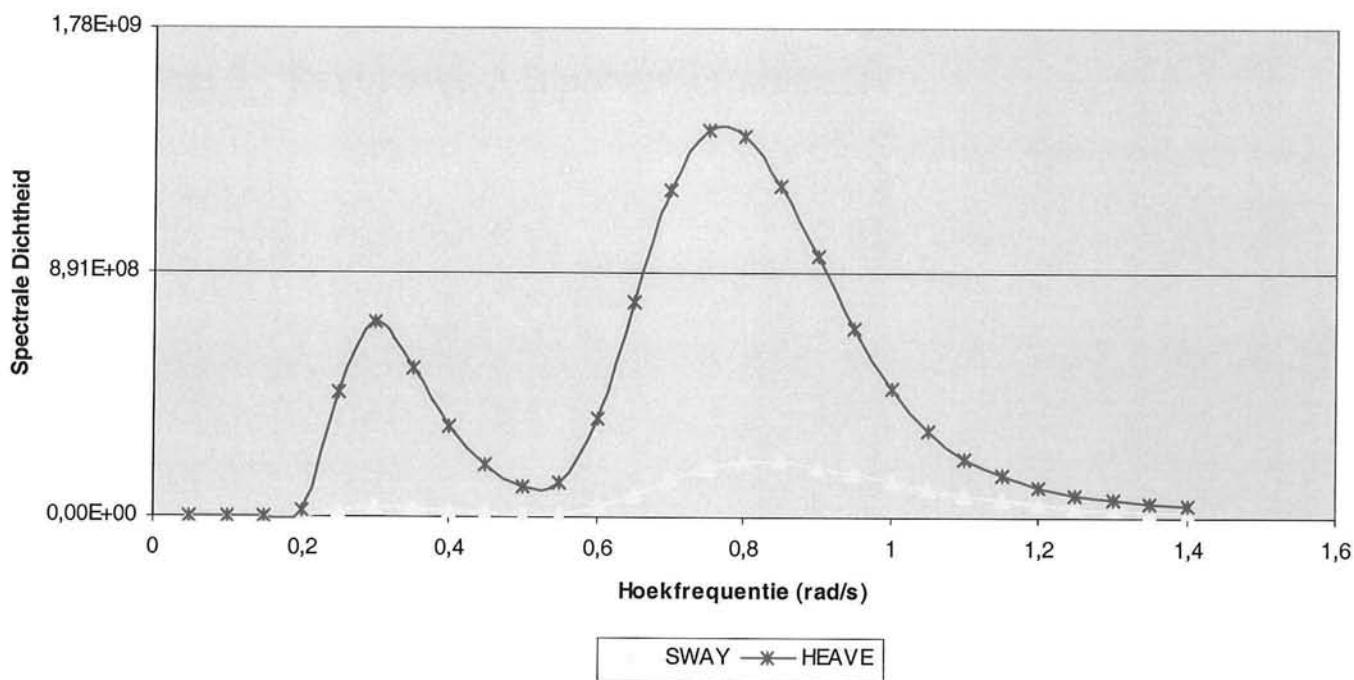
Hieronder is het response spectrum van de bewegingen van het ponton gegeven voor dwarsgolven.

Response Spectrum



Hieronder is het response spectrum voor krachten en momenten gegeven voor dwarsgolven.

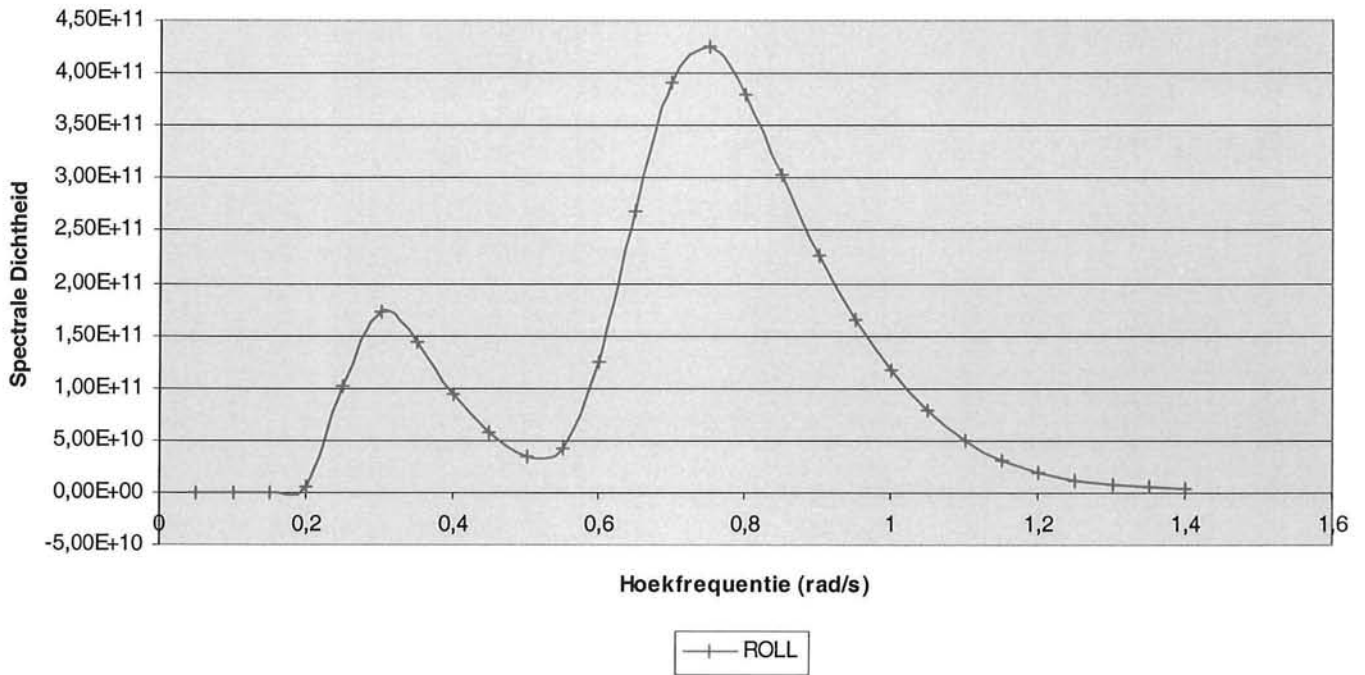
Response Spectrum





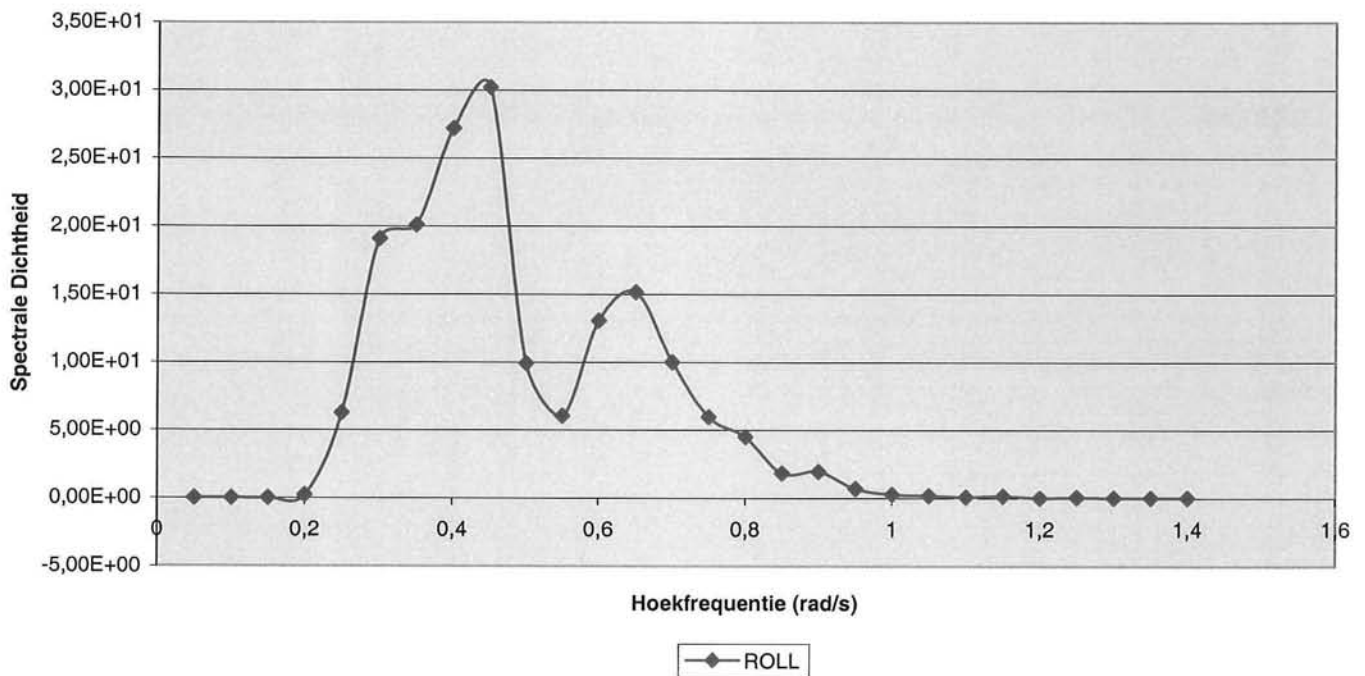


Response Spectrum



Hieronder is het response spectrum voor het midscheeps buigende moment gegeven in dwarsgolven.

Response spectrum





## Bijlage 7: The Pneumatically Stabilized Platform or PSP

Voor meer informatie over het PSP kan gevonden worden op de internetpagina van Float Incorporated, namelijk [www.floatinc.com](http://www.floatinc.com)

### A New Way to Float Large Platforms on the Ocean:

Updated June 2001 - See new pages: "Wave Energy" and "PSP energy production"



Offshore airports, oil and gas production facilities, floating Islands, mobile offshore military bases, additional real estate for coastal cities, floating harbors, floating breakwaters, are just some of the possible uses of this new technology.

The PSP has a number of important features:

- It uses air movement to reduce wave loads and distribute them throughout the platform
- It extracts energy from ocean waves that can be used to make electricity.
- It attenuates the waves leaving a calm surface that permits adjacent ship berthing.
- It has a relatively shallow draft and low adjustable freeboard.
- Compared to most large open-ocean platforms:
  - It has a significantly greater deck load capacity.
  - It is less costly to build and maintain.
  - Its performance improves with size.

### Construction:

The basic construction method is to wet cast the individual cylinders with a integral top slab and assemble them into modules, see figure. These modules can than be joined with other modules to form a complete platform structure as depicted below. This modularity is a key aspect of the concept.



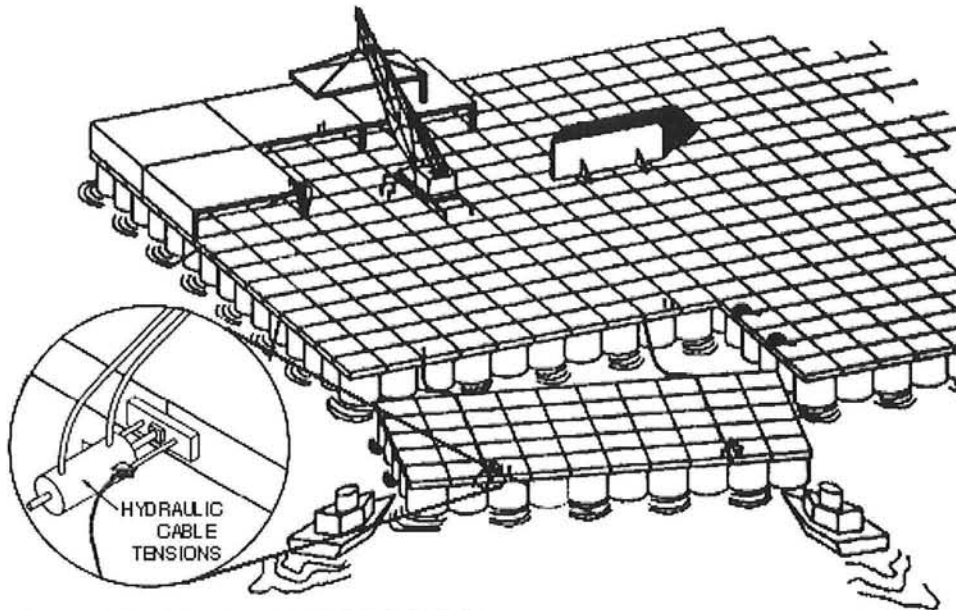


Figure: ON-SITE MODULE ASSEMBLY

The economics of casting a complete module is under study. The number of components in a module will depend on the selected construction and launching environment. A nine component module is considered adequate for maintaining stability during deployment. Generally, the larger the module, the lower the offshore labour cost. All joining of the manufactured units is with post-tensioned cables resulting in a monolithic structure.

#### How It Works:

Most conventional floating platforms acquire their floatation forces by directly displacing the water with their hulls. A pneumatic floating platform utilizes indirect displacement, in which the platform rests on trapped air that displaces the water, see figure. The primary buoyancy force is provided by air pressure acting on the underside of the deck.

The PSP is a distinct type of pneumatic platform, one in which the platform is composed of a number of cylindrical shaped components packed together in a rectangular pattern to form a module. Each cylinder is sealed at the top, open to the ocean at its base, and contains air at a pressure slightly above atmospheric pressure. Modules can be of a size that are relatively easy to manipulate, as shown in the simplified drawing below.

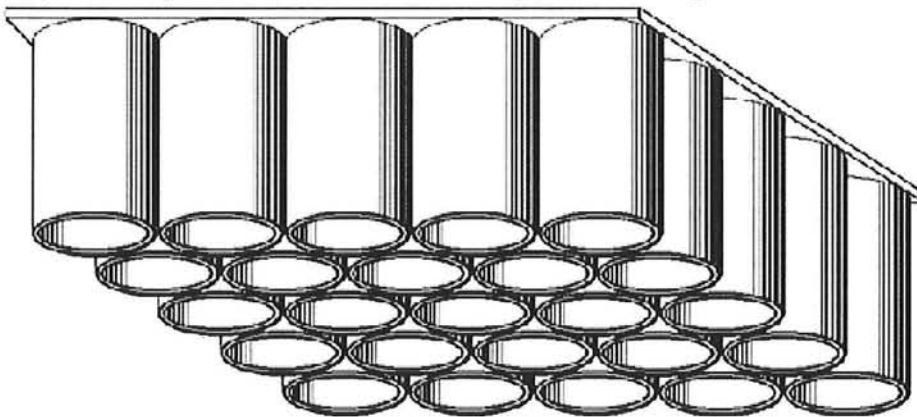


Figure: Underwater shape



Another aspect of the PSP design is that, when needed, air is allowed to flow from a cylinder to its neighbours through a manifold or connecting orifices. The airflow provides a mechanism to help reduce the peaks in the pressure distribution beneath the structure and provide platform stability as well as a mechanism for dissipating wave energy. Directing the moving air through turbo-generators to produce electrical energy is a capability that is now generating considerable interest. See the "Wave Energy" page.

An assembly of cylinders results in enclosed interstitial regions between cylinders, which may be filled with air, foam or other material. These regions are isolated from the air pockets within the cylinders to provide additional buoyancy and righting moment. In comparison to conventional floating platforms, the designers of a pneumatic platform can modify the distribution of the flotation force as needed to minimize the hogging moment or in response to large concentrated loads on the deck. Further, it is possible, for a particular sea state, to tune the oscillation of the water columns inside the cylinders to minimize the overall hydrodynamic loading to which the platform is subjected.

This brings up the fact that the PSP, as with other floating platforms, is sensitive to its environment in form and function, and must be designed taking that into consideration. There is not a "one size fits all" PSP. However, that said, they can be segregated in two broad categories, open ocean platforms, and protected water platforms. These differ markedly in component size and complexity as illustrated in the following examples, see figures.

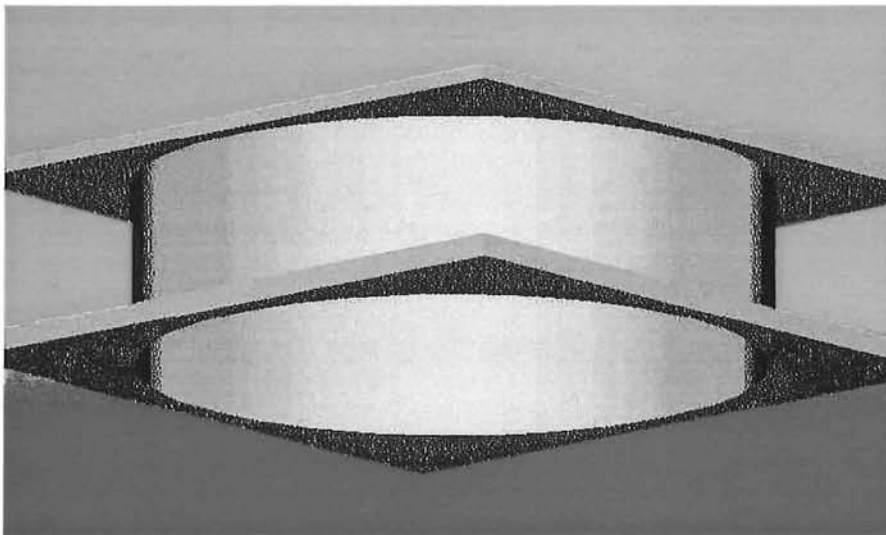


Figure: Protected water Component, 24 x 24 x 10 feet





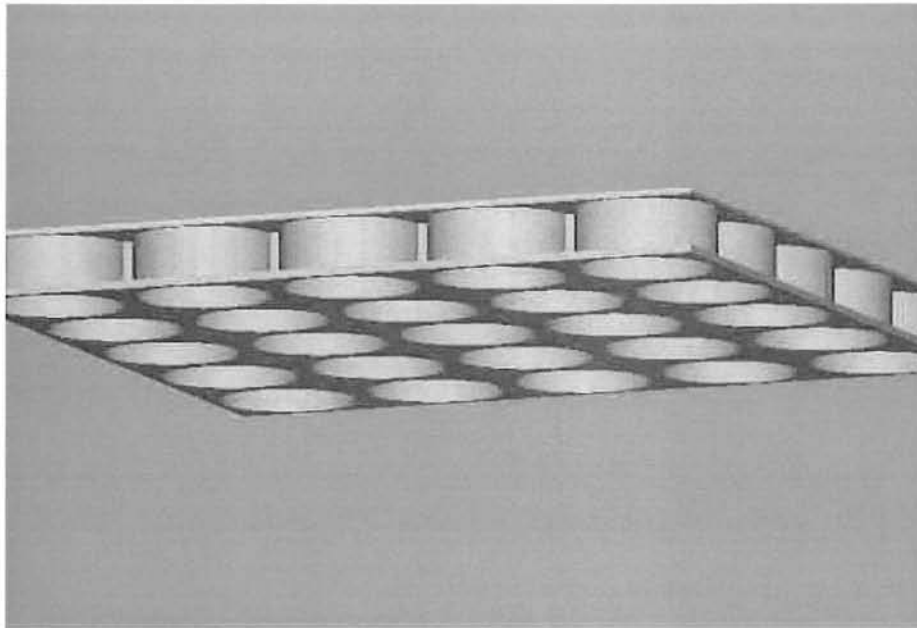


Figure: Protected Water Module



Figure: North Sea Component, 50 x 50 x 200 feet



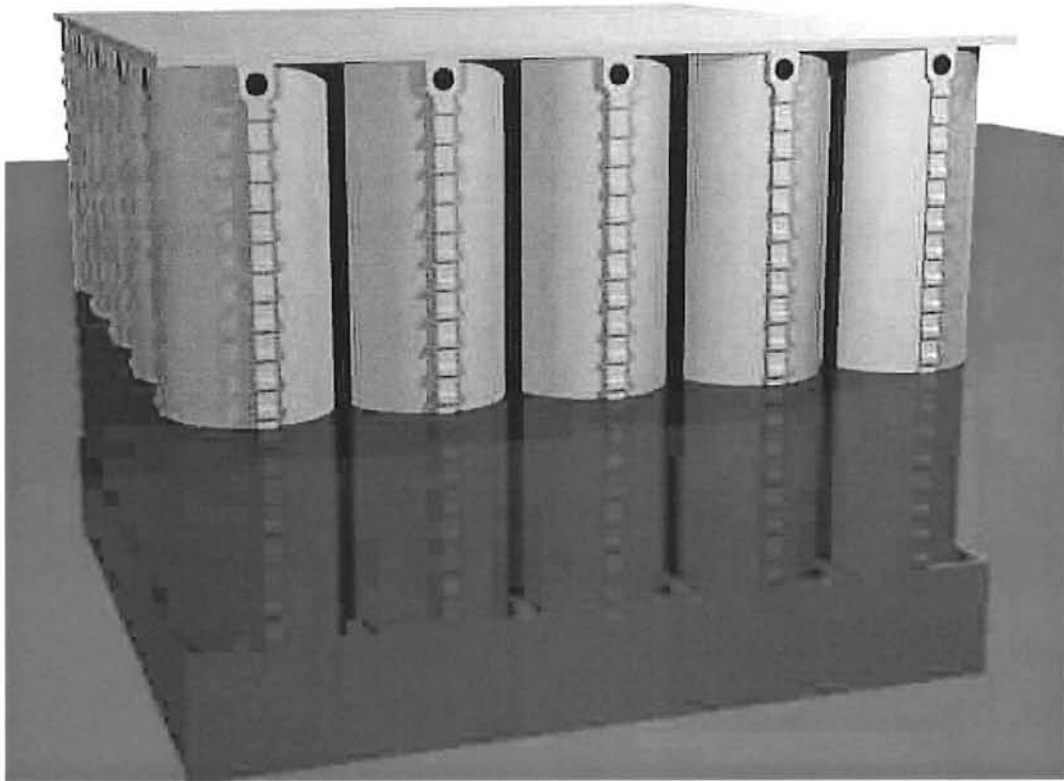


Figure: North Sea Module

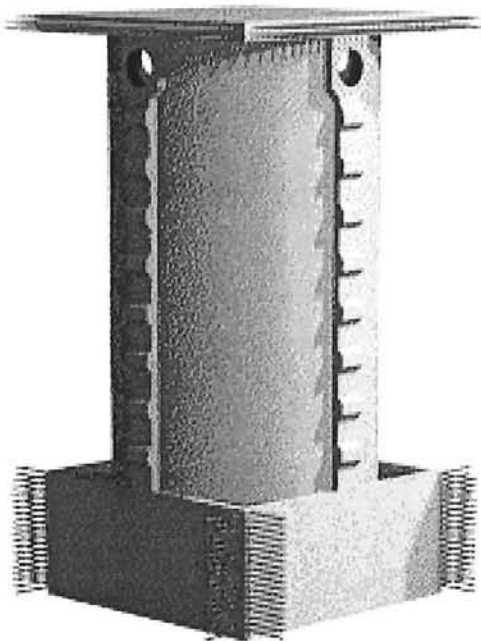


Figure: San Diego Prototype Component, 20 x 20 x 40 feet



### Advantages:

Many small platforms, such as oil drilling rigs and most of the large platforms currently proposed for the open ocean, are based on the semi-submersible hull technology in which the buoyancy is provided by closed chambers below the sea surface. These chambers provide a base for columns that penetrate the water surface and support the platform deck(s). The pneumatically stabilized platform (PSP) is supported on air trapped in its open ended vertical cylinders. The structure derives its buoyancy from the air pressure acting on the underside of the deck.

The PSP offers a number of advantages over semi-submersibles:

The ability of the PSP to handle varying live loads is superior to that of the semi-submersible. Increasing the air pressure supporting the PSP increases the load it can carry. The semi-submersible works very well as a small platform, but encounters structural difficulties as its size is increased. The PSP's performance improves as its size increases. This is due to the attenuation of wave action in the cylinders close to its perimeter. There is virtually no limit to its size. It is not practical to dock a ship at a semi-submersible since the ship motion and platform motion are very different in most sea states. The wave attenuation properties of the PSP permits ship berthing on the down wave side of the platform. The PSP has a low freeboard enabling easy access for roll on roll off cargo. PSPs normally have a substantially shallower draft than semi-submersibles. The cost per square foot of a PSP is expected to be significantly less than for an equal size semi-submersible. Most semi-submersibles are constructed of steel. The PSP is constructed of concrete, which means it will have a longer life and require less maintenance. The PSP, consisting of modules, is easy to assemble. A platform can be configured according to needs and modified relatively easily as needs change. It is capable of generating its own electric power.

### What happens when there is a storm:

The air exchange between the cylinders effectively distributes the wave induced loads and thereby reduces the peak loads on the platform. This makes it easier for the platform to survive a storm. Further, every PSP is designed for its environment. One of the design criteria is survival in the "one hundred year storm." In such a severe storm, platform motion may force a temporary secession of platform functions, but survival should not be a problem.

### Has it ever been done before:

No, not at full scale. Nonetheless, scale models have been extensively tested in wave tanks. Japan studied the floating option for Kansai airport at Osaka, but decided to use land fill instead. Considering the subsidence problem and the resulting cost overrun, the argument can be made that it should have been floated. This argument gets some credibility from the fact that they are now working on Mega float - a prototype floating airport for Tokyo. However, Mega float is a rectangular box-like (flexible mat) structure intended for a protected bay behind a breakwater.

### If it is such a good idea, why hasn't it been done before:

This is the question of the ages. We have had wheels for centuries. We have had luggage for centuries. Why is it only in the last twenty years that we have put wheels on luggage? Seriously, the pressure to move, what at present are land based structures and functions, offshore has been absent. However, demographics, economics and environmental concerns are beginning to force a change. The PSP, clearly the most suitable technology in form and function, will be realized many times over in the coming years.



*What happens if there is a catastrophic loss of air pressure:*

The channels through which the air moves can be designed with emergency valves so that the affected area can be isolated. But in addition, the interstitial volumes -- the volumes between the outside walls of the arrayed cylinders -- are sealed and, if needed, can be filled with foam. The design loads can be set so that, in the unlikely loss of all air pressure, the platform would remain afloat.

*How much will it cost:*

As noted in the discussion of the PSP technology, there is not a "one size fits all" PSP. They can, however, be segregated into two broad categories, open ocean platforms and protected water platforms. These differ markedly in component size, complexity and cost.

At the request of a prospective client, Float designed a floating foundation for a two-story-over-parking office building in protected waters. With little wave loading, air exchange between cylinders was not needed. Cylinders 22 feet in diameter and 8 feet long were designed to support the expected loads. A professional estimating firm put the construction cost, for an 8 acre platform, at about \$28 per square foot, or \$1.2 million per acre. These costs replace both the cost of the land and the building's foundation, which makes them very competitive with protected waterfront real estate costs in urban areas.

Open ocean applications can also benefit from this development. Large platform configurations, with significant areas inside their perimeter, could incorporate simpler and less expensive cylinders in the central area. The PSP arrays, with full air exchange capabilities, would still comprise the platform's perimeter. One open ocean estimate is \$7.5 million an acre. This is based on the design of 100x300 foot prototype platform, using cylinders 20 feet in diameter and 40 feet high, intended to be moored off the coast near San Diego. This was to be a small, one of a kind, demonstration platform. Larger platforms in a similar environment, having the benefit of an economy of scale, should cost less than \$5 million acre. The reality remains that each platform will have to be designed for its proposed function and location. Therefore, it will probably never be possible to quote a fixed per acre cost that will apply everywhere.



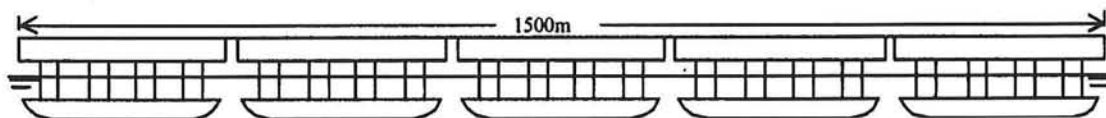


## Bijlage 8: Nonlinear Compliant Connector

In deze bijlage wordt een koppeling beschreven die ontwikkeld is door McDermott voor het Mobile Offshore Base (MOB) project. Tevens wordt gerefereerd aan [3] en [4].

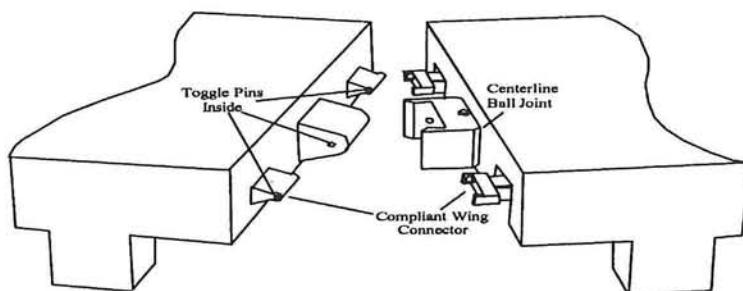
### Mobile Offshore Base (MOB):

Het MOB is een drijvende, multifunctionele logistieke basis welke gestationeerd kan worden voor de kust of in internationale wateren. Het McDermott MOB concept bestaat uit een aantal DP gestuurde semi-submersibles, die op zee gekoppeld worden en zodoende een start- en landingsbaan vormen voor grote transportvliegtuigen (zie figuur).

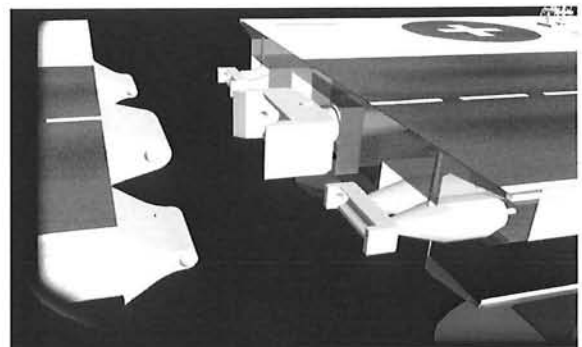


Figuur: McDermott MOB

In een brainstorm sessie heeft McDermott in eerste instantie 50 koppelingen bedacht voor hun toepassing van het MOB. Het meeste bruikbare concept blijkt een scharnier koppeling te zijn vanwege simpliciteit. De koppeling kan vergeleken worden met een deurscharnier waarbij de pitch beweging tussen de aangrenzende pontons wordt toegelaten. Het nadeel van dit systeem is dat het zorgt voor grote laterale buiging en torsie, vooral wanneer er sprake is van dwarsgolven. Op basis van de scharnierkoppeling is men gekomen op de Nonlinear Compliant Connector (NCC), zie figuur.

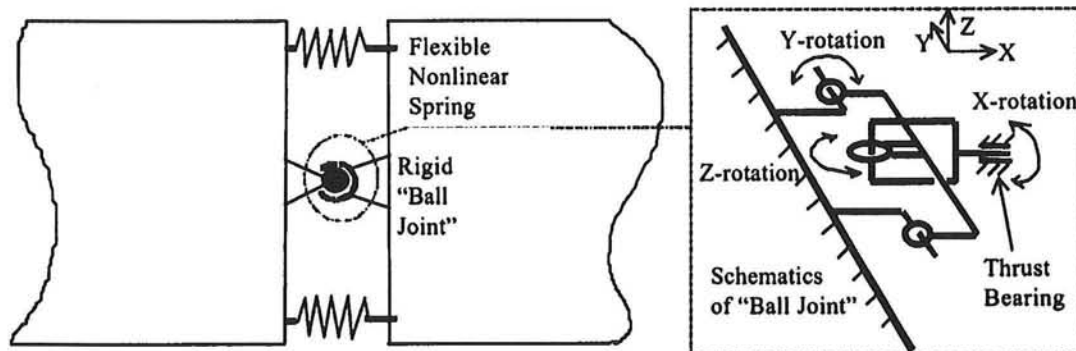


Figuur: Nonlinear Compliant Connector





In dit ontwerp worden bewegingen in meerdere richtingen toegelaten, zodat de belasting op de koppelingen gereduceerd wordt. Het ontwerp bestaat uit een balscharnier in het midden en twee flexibele vleugelkoppelingen aan weerszijden. De bal scharnier in het midden staat relatieve bewegingen van pitch, roll en yaw toe tussen de modules, maar voorkomt heave, surge en sway bewegingen. De flexibele koppelingen aan weerszijden nemen de yaw beweging op. Hieronder is schematisch het calculatiemodel van de NCC weergegeven.



Figuur: Krachtenmodel van de nonlinear compliant connector

Dit concept is nog steeds in ontwikkeling en wordt momenteel op schaal getest in bassins. De meetresultaten wijzen uit dat de NCC een goed compromis is tussen de relatieve bewegingen en de koppelkrachten. Met meer onderzoek en ontwikkeling verwacht McDermott dat dit koppelingssysteem een geschikte oplossing vormt tussen de semi-submersibles in het MOB project.

#### Conclusie:

De NCC heeft een aantal voor- en nadelen ten opzichte van een scharnierkoppeling en worden hieronder kort weergegeven:

- Grote afname van de koppelingkrachten.
- Hogere relatieve bewegingen (surge, heave en sway).
- Minimale hydro-elastische versterking en daardoor minimale blootstelling aan vermoeiingsverschijnselen.
- De ongevoeligheid van de koppelingskrachten ten opzichte van de richting van het MOB en het aantal gekoppelde modules.

Algemeen kan gezegd worden dat hoe meer vrijheidsgraden worden toegelaten door de koppeling, hoe groter de relatieve bewegingen zullen zijn, des te kleiner de koppelingskrachten zullen worden.



## Bijlage 9: Uitvoering hydrolager in het IJ

### Waterfilm van 0.1 mm draagt 25 ton staal

Als alternatief voor sluisdeuren die met wielen rijden over rails, is een nieuw concept toegepast waarbij de deur op een 0.1 mm dunne waterfilm open en dicht glijdt. De waterfilm wordt door een pomp tussen de deur en een vlakke drempel geperst.

Het systeem is voor het eerst in de wereld toegepast bij de "Oranje" sluisen in de rivier de IJ in Amsterdam die in 1995 is opgeleverd. Hiermee is een slijtage vrij openen en sluiten zonder onderhoud gerealiseerd.



*Figuur: Overzicht "Oranje" sluisen*

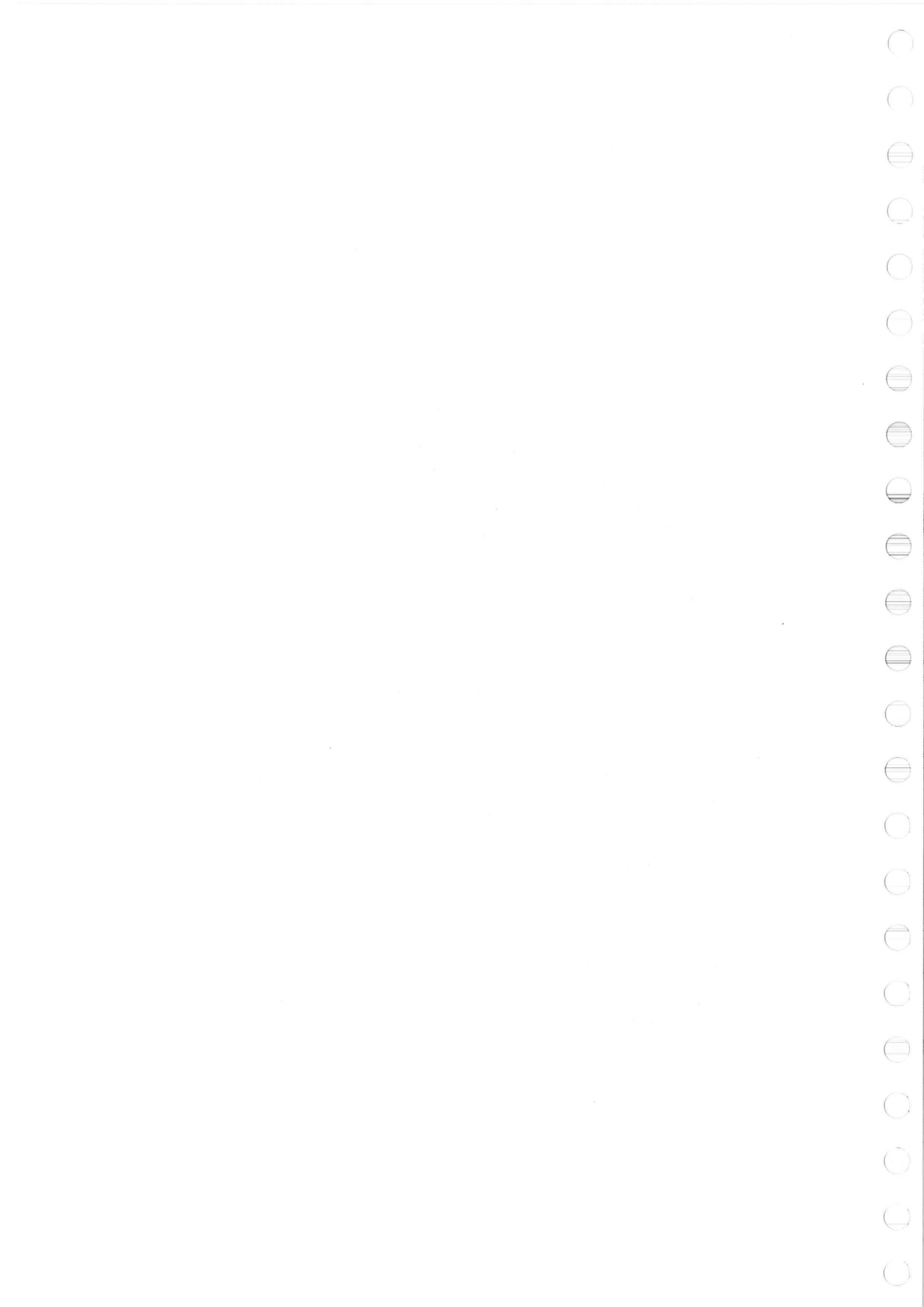
Voor de "Oranje" sluisen zijn twee cirkelvormige hydrostatische lagere geconstrueerd onder de 25 m lange sluisdeur. Een van de lagere is zichtbaar op de foto hieronder.



*Figuur: Sluisdeur en detail hydrolager*

Elk lager wordt belast met een gewicht van 25 ton (250 kN) en gedragen op een 0.1 mm dunne waterfilm. Omdat het lager een diameter heeft van 750 mm zijn de eisen aan de vlakheid van de drempel zeer hoog.

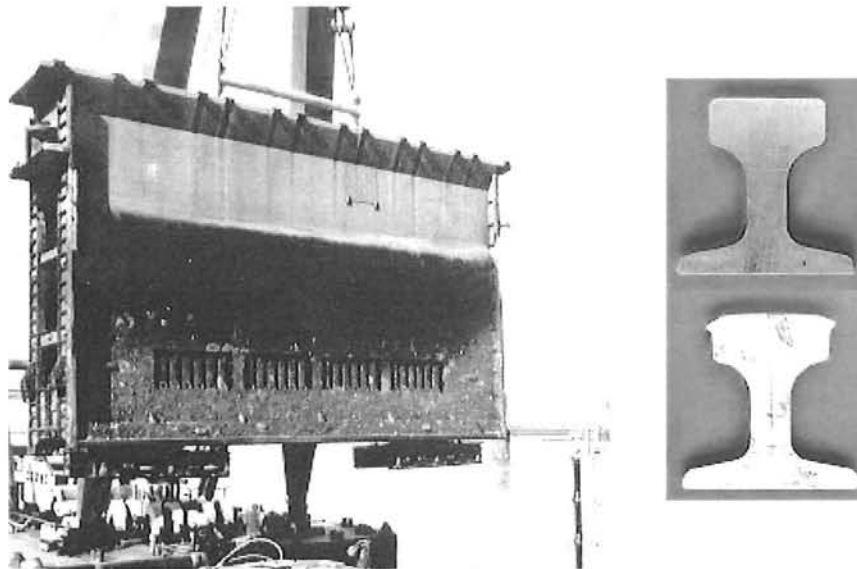
Om een uniforme filmdikte te behouden ook wanneer de deur scheef hangt is het 100 mm dikke lageroppervlak met daarin vier kamers ondersteund door een rubber ring. Bij scheefstelling ontstaat een asymmetrische drukverdeling die, afhankelijk van de stijfheid van de rubber ring, het lager zal verstellen. Voor het lager is in principe een toevoerdruk van 14 bar en een pompvermogen per lager van slechts 1.7 kW voldoende.



Een kleine oneffenheid in de drempel binnen de diameter van de lager kan leiden tot plaatselijk contact. Ondanks dat deze oneffenheid wegslijt na een aantal passages van de deur is een zeer vlakke drempel nodig. In de toekomst zullen elastische lageroppervlakken worden toegepast zodat de vlakheid van de drempel minder belangrijk is.

#### Conventionele oplossing voor sluisdeuren

Conventionele sluisdeuren rijden met stalen wielen over rails.



*Figuur: Conventionele sluisdeur met rails*

Door de hoog belaste lijncontacten treedt plastische deformatie van de rail op bij iedere passage. Regelmatige inspectie en veel onderhoud zijn daardoor nodig.

#### Sluisdeur gedragen op een waterfilm

Tijdens het Rijkswaterstaat / TU Delft project 'hydrovoet' is de zogenaamde 'hydrovoet' ontwikkeld en toegepast bij de nieuwe Prins Willem-Alexander sluisen in Amsterdam. Dit concept heeft bewezen een excellente oplossing te zijn voor het dragen van sluisdeuren.

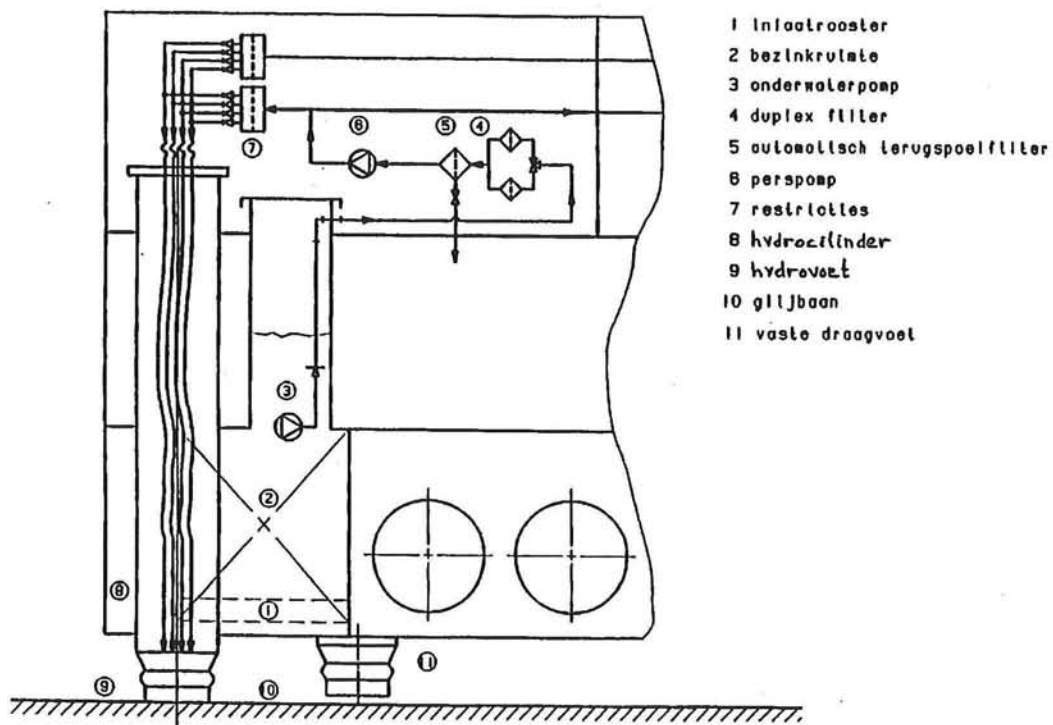
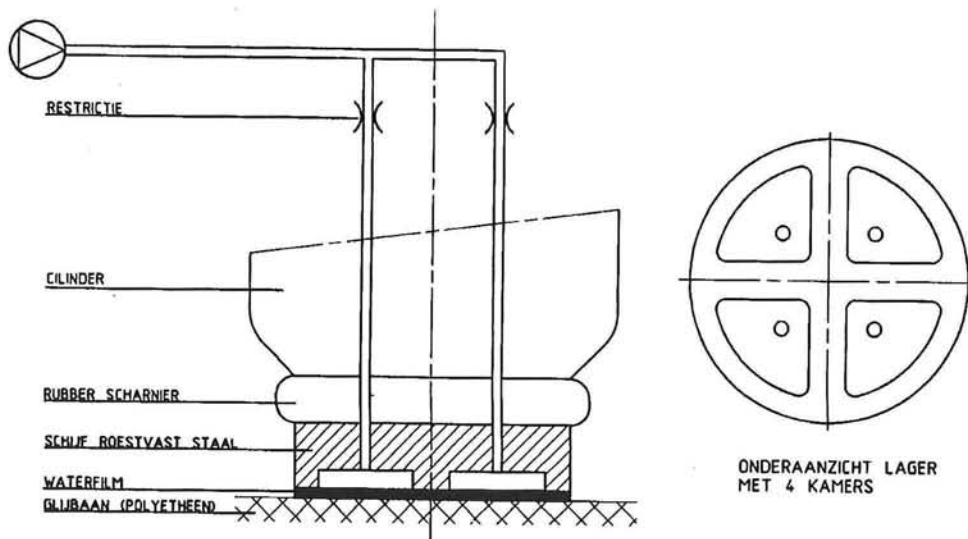
In een vervolgproject 'hydrocontact' is het ontwerp van de 'hydrovoet' verbeterd. In het bijzonder is het niet te altijd te voorkomen contact tussen de voet en de drempel in beschouwing genomen en gebruikt.

Complexe numerieke computer berekeningen waren nodig om het lagergedrag te simuleren onder condities van hydrostatische smering met elastische oppervlakken en lokaal contact.

In de volgende figuren is achtereenvolgens een doorsnede van de hydrolager gegeven en een schematische weergave van de sluisdeur en de aandrijving.

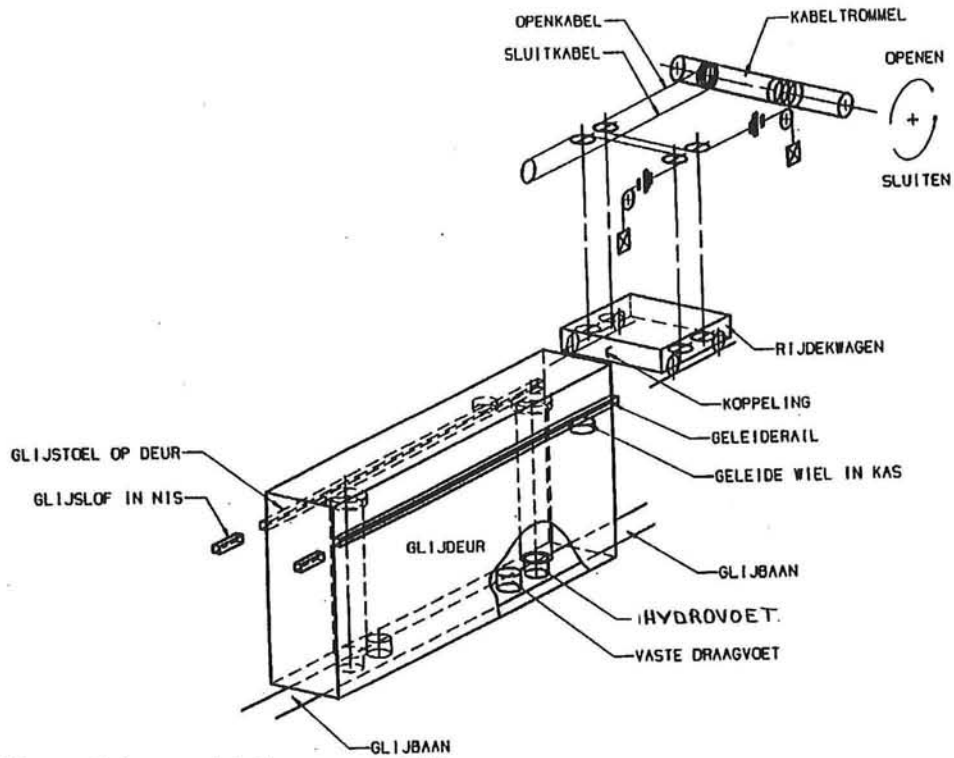






Figuur: Doorsnede hydrolager





Figuur: Schema sluisdeur en aandrijving



## Bijlage 10: Vogelproblematiek

### Samenvatting: Een onderzoek naar aanvaringsrisico's tussen vogels en vliegtuigen en effecten van een nieuwe luchthaven op vogels

Het onderzoek 'Vogels en luchtvaart' is een meerjarig onderzoeksprogramma dat uitgevoerd wordt in opdracht van Toekomstige Nederlandse Luchtvaart Infrastructuur (TNLI). De eerste fase van het onderzoeksprogramma is uitgevoerd in januari-juni 1998. De studie bestond uit twee hoofdvragen: 1) Aanvaringsrisico's tussen vogels en vliegtuigen; 2) Effecten van aanleg en gebruik van een vliegveld op vogels. Bij de studie is uitgegaan van de potentiële locaties voor een aanvullende luchthaven op Schiphol zoals besloten door het kabinet: Noordzee (satelliet), Maasvlakte (overloop) en Flevoland (overloop). In het onderzoek is gebruik gemaakt van zoveel mogelijk bestaande veld- en literatuurgegevens. De resultaten worden gebruikt voor afweging van het kabinet eind 1998.

Voor de bepaling van de aanvaringsrisico's tussen vogels en vliegtuigen is de volgende redenering opgezet. De situatie Schiphol geeft 5 vogelaanvaringen per 10.000 vliegtuigbewegingen (start en landing), waarvan één op de 10 vogelaanvaringen leidt tot schade. Eén op de 1000 vogelaanvaringen leidt tot een crash (in de militaire luchtvaart). Dit betekent dus dat één op de 2.000.000 vliegbewegingen leidt tot een verwoest vliegtuig (militair). Aangenomen is dat een civiel vliegtuig 10 maal minder verongelukt dan een militair vliegtuig. Op basis van deze redenering is geconcludeerd dat de kans op een fatale aanvaring tussen een vliegtuig en vogels op Schiphol met ca. 50 miljoen passagiers (500.000 vliegtuigbewegingen) per jaar, ingeschat wordt op 1 maal in 40 jaar.. De hier gevolgde redenering is moeilijk te verifiëren voor de civiele luchtvaart vanwege de gedane aannames. Vermoedelijk is de hier gepresenteerde schatting een optimistische, omdat de initiële oorzaak van een vogelaanvaring in een keten van 'mishaps' om verschillende redenen vaak niet boven tafel komt in rapportages. De kans op een aanvaring tussen een vogel en een vliegtuig is afhankelijk van de dichtheid van vogels op het vliegveld. Hoewel we de relatie tussen dichtheid en de kans op een ongeluk niet kennen, lijkt het aannemelijk dat het om een lineaire relatie gaat: verdubbeling van de dichtheid vogels = verdubbeling van de kans op ongeluk. Om een vergelijking te maken tussen de situatie op Schiphol en de situatie op een nieuwe luchthaven is de referentiesituatie op Schiphol vergeleken met de verschillende varianten voor een nieuwe luchthaven (satelliet: 70 miljoen passagiers, overloop: 20 en 40 miljoen passagiers). Als referentie voor Schiphol is aangehouden: kans op een fatale aanvaring van eens in de 40 jaar bij 500.000 vliegtuigbewegingen (ca. 50 miljoen passagiers) bij een gemiddelde vogeldichtheid op jaarbasis Schiphol = 100 vogelkilo's per dag per km<sup>2</sup> (Jonkers en Spaans 1997).

Voor de bepaling van de ecologische situatie (vogels) en effecten van een luchthaven in de studiegebieden is een inventarisatie gedaan van richtlijnen en verdragen ter bescherming van vogels. De bepalingen van de richtlijnen en verdragen zijn vergeleken met de vogelsoorten die in het gebied voorkomen of gebruik maken van het gebied om te rusten of foerageren. Nederland is internationale verplichtingen aangegaan ten aanzien van de bescherming van bepaalde vogelsoorten en waterrijke gebieden (wetlands). Tot de volgende richtlijnen heeft Nederland zich verplicht: Wetlands-conventie, EU-vogelrichtlijn, Habitat richtlijn, Conventie van Bonn, Conventie van Bern. Daarnaast heeft Nederland een nationaal beleid waarin de verplichting is aangegaan gebieden binnen de Ecologische Hoofdstructuur te beschermen. De Noordzee, delen rond de Maasvlakte en Flevoland liggen binnen de Ecologische Hoofdstructuur.



## Noordzee

### Samenvatting: Voorkomen en verspreiding van vogels

Het onderzoek naar de Noordzee locatie is uitgevoerd door C.J. Camphuysen (Camphuysen Seabird Research). In de winter komen in de huidige situatie gemiddeld 50 tot 500 vogelkilo's per dag per km<sup>2</sup> voor langs de kust en gemiddeld 5 tot 25 vogelkilo's per dag per km<sup>2</sup> op open zee. In de zomer zijn de dichtheden in de huidige situatie gemiddeld een factor tien lager langs de kust en een factor vijf op open zee. Tot 10 kilometer vanaf de kust is de vogeldichtheid min of meer constant, daarbuiten neemt de vogeldichtheid af. De talrijkste soorten in dit studiegebied zijn eidereend, zwarte zee-eend, kokmeeuw, stormmeeuw, kleine mantelmeeuw, zilverbmeeuw. Grote groepen zee-eenden zijn alleen in de kuststrook gevonden in aantallen die van jaar tot jaar sterk verschillen. De meeste grote groepen meeuwen zijn op minder dan 10 km vanaf de kust gevonden, hoewel regelmatig enkele groepen op open zee (rond Rijnveld) en voor de aanloop naar IJmuiden voorkomen. De seizoenstrek geeft het hele jaar door trekbewegingen langs de kust. De trek op 10 km uit de kust verschilt in intensiteit nauwelijks met de trek langs de kust met een piek in treksterkte van meer dan 500-600 kg per dag. Afgelopen jaren is de treksterkte toegenomen. De talrijkste soorten tijdens de trek zijn: fuut, zwarte zee-eend, scholekster, kieviet, rosse grutto, vier soorten meeuwen, grote stern en visdief. Op basis van gewicht zijn vooral meeuwen en eend-achtige belangrijk. De kustzone is als broed- en foerageergebied voor tienduizenden meeuwen en honderden sterns van ecologische betekenis. Daarnaast is het een doortrekgebied voor 120 soorten kust- en zeevogels. Het is ook een overwinteringsgebied voor duikers, futen, eidereenden, zwarte zee-eenden en alkachtigen.

### *Aanvaringsrisico's:*

De kans op een fataal ongeluk in de huidige situatie is berekend op eens per 6 tot 60 jaar in de kustzone tot eens in ca. 100 tot 400 jaar op open zee bij 650.000 vliegtuigbewegingen (70 miljoen passagiers). Maar als de vogeldichtheid verhoogd wordt met de biomassa van trekvogels dan stijgt de kans op een fataal ongeluk tot 10 km uit de kust met een factor 3.. Opgemerkt moet worden dat een inschatting van aanvaringsrisico's op zee buitengewoon moeilijk, omdat de huidige vogeldichtheden vrijwel geen voorspellende waarde hebben voor een nieuwe situatie met vliegveld, waardoor open zee is veranderd in kustgebied. Daarnaast zijn er moeilijkheden bij schatting door het ontbreken van gegevens over nachtelijke vliegbewegingen van vogels, trekstuwung van vogels langs de kust en massaal neerstrijken van grote groepen vogels op een eiland in bepaalde perioden per jaar. En er is een grote kennisleemte over de totale trekstroom kust- en watervogels. Nader onderzoek is dus zeker nodig.

### *Ecologische effecten:*

Een vliegveld in de Noordzee geeft geen directe aantasting van belangrijke leefgebieden of overwinteringsgebieden door aanleg en gebruik. Wel zal er verstoring optreden door toename van scheepvaart samenhangend met aanleg, onderhoud en transport van en naar eiland. Daarnaast treden er mogelijk veranderingen op in kustmorfologie, die verstrekkend kunnen zijn voor kust- en zeevogels, positief en/of negatief. Een luchthaven zal aantrekkelijk zijn als broed- en rustgebied voor meeuwen en aalscholvers en voor vestiging van sterns. De effecten van een eiland voor doortrekkers is moeilijk te voorspellen, maar aannemelijk is dat trekbanen van laagvliegende vogels worden aangepast (hoger vliegen, afbuigen en omvliegen).













## Bijlage 13: Beschrijving varianten

### Nieuwe luchtvaartinfrastructuur

De onderstaande varianten zijn beschreven in het rapport 'Nadere Verkenning 3 Opties, april 1998, Bouwdienst Rijkswaterstaat [5]. Deze varianten zijn als basis gebruikt voor meerdere themastudies.

### Varianten voor een eiland in de Noordzee:

De volgende kansrijke varianten zijn onderscheiden (zie figuur):

- *Noordzee IJmuiden:* Een eiland zo dicht mogelijk nabij de kust, op ongeveer 10 km vanaf de kustlijn, noordelijk van de toegangsheuvel voor IJmuiden;
- *Noordzee Noordwijk:* Een eiland zo dicht mogelijk nabij Schiphol, dat wil zeggen op ongeveer 10 km vanaf de kustlijn tussen Zandvoort en Noordwijk en 30 tot 35 km vanaf Schiphol;
- *Noordzee veraf:* Een eiland verder in zee, op een afstand van ongeveer 30 km vanaf de kustlijn, zodat de luchthaven vanaf de kust zo min mogelijk merkbaar zal zijn.

### Varianten in Flevoland:

De volgende kansrijke varianten zijn op de locatie Flevoland onderscheiden (zie figuur):

- *Flevoland-Oost* in oostelijk Flevoland (tussen Lelystad, Swifterband, Dronten, Biddinghuizen en het Harderbos). Hier wordt uitgegaan van een uitbreidbare variant, met banen in meerdere richtingen;
- *Flevoland-Zuid* in zuidelijk Flevoland (tussen de A6, het Knarbos, Zeewolde en Almere) met één tot twee parallelle banen in zuidwestelijke richting. Geen dwarswindbanen mogelijk in verband met de Ruimtelijke Ordening;
- *Flevoland-Lelystad* in het gebied van en rondom vliegveld Lelystad, met één tot twee parallelle banen in zuidwestelijke richting. Geen dwarswindbanen mogelijk in verband met de Ruimtelijke Ordening.

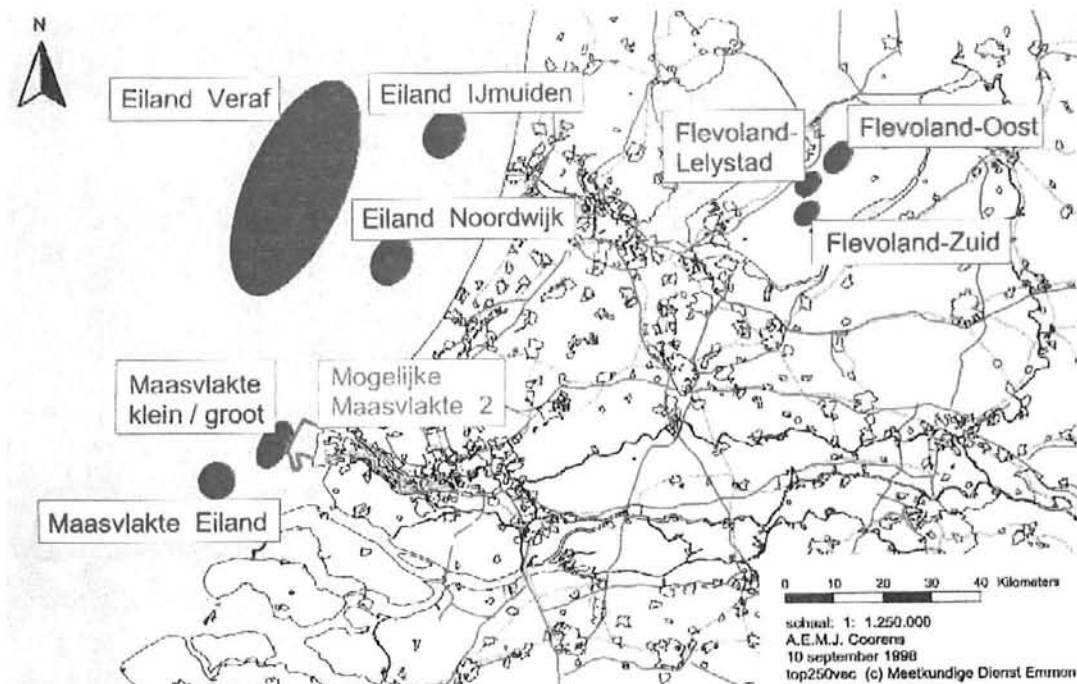
### Varianten op/nabij de Maasvlakte:

De volgende varianten zijn op de locatie Maasvlakte onderscheiden (zie figuur):

*Maasvlakte:* Een luchthaven als onderdeel van een (mogelijke) uitbreiding van de Maasvlakte (mogelijke Maasvlakte 2), in het gebied tussen de Haringvlietmonding en de Eurogeul. Hier worden twee subvarianten onderscheiden:

- 1a. *Maasvlakte klein* met één of twee parallelle ZW-georiënteerde landingsbanen;
- 1b. *Maasvlakte groot* met een meerbanenstelsel op een substantiële uitbreiding van de Maasvlakte;
- *Maasvlakte Eiland* voor de kust van de (tweede) Maasvlakte.





Figuur: Kansrijke locaties voor nieuwe luchthaveninfrastructuur

Benodigde capaciteit van de luchthavenvarianten:

Deze TNLI scenario's zijn het uitgangspunt voor de passagiersverdeling tussen Schiphol en aanvullende luchtvaartinfrastructuur zoals in de TNLI luchthavenvarianten is verwerkt. In tabel zijn de verschillende luchthavenvarianten weergegeven.

Tabel: TNLI scenario's en de verdeling tussen Schiphol en nieuwe luchthaveninfrastructuur [2]

		Aantal passagiers (x miljoen)	Vracht (x miljoen ton)	Vliegtuigbeweginge n (x 1.000)
<b>Schiphol</b>	Schiphol	100	7	800
	Overloop/satelliet	0	0	0
	<i>Totaal</i>	<i>100</i>	<i>7</i>	<i>800</i>
<b>Overloop begin</b>	Schiphol	60	3,7	533,5
	Maasvlakte/Flevoland	10	0,9	91,5
	<i>Totaal</i>	<i>70</i>	<i>4,6</i>	<i>625</i>
<b>Overloop klein</b>	Schiphol	80	5,2	717
	Maasvlakte/Flevoland	20	1,8	183
	<i>Totaal</i>	<i>100</i>	<i>7</i>	<i>900</i>
<b>Overloop groot</b>	Schiphol	60	3,3	531,5
	Maasvlakte/Flevoland	40	3,7	368,5
	<i>Totaal</i>	<i>100</i>	<i>7</i>	<i>900</i>
<b>Satelliet klein</b>	Schiphol	80	5,1	711
	Eiland in de Noordzee	20	1,9	189
	<i>Totaal</i>	<i>100</i>	<i>7</i>	<i>900</i>
<b>Satelliet groot (hub)</b>	Schiphol	30	1,5	255
	Eiland in de Noordzee	70	5,5	645
	<i>Totaal</i>	<i>100</i>	<i>7</i>	<i>900</i>





## Bijlage 14: Beschrijving aanpassing infrastructuur

### Noordzee:

Deze samenvatting is gebaseerd op de locatiestudie door Grontmij en TNO Infra d.d. 31 juli 1998 en in overleg met de betrokken regionale Rijkswaterstaatsdirecties en het Directoraat Generaal Personenvervoer [1].

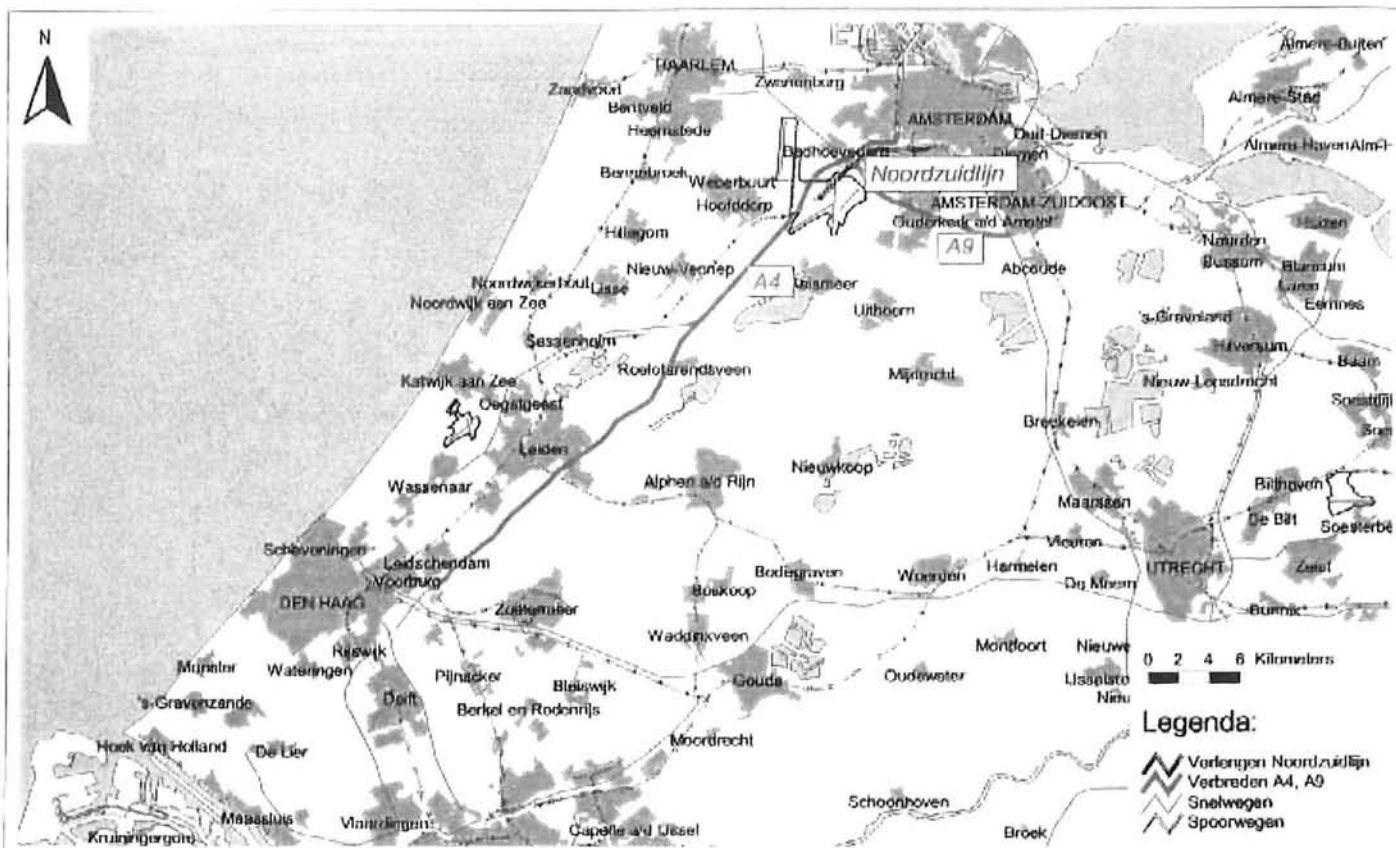
In de locatiestudie Noordzee zijn drie modellen voor een luchthaven op een eiland in de Noordzee uitgewerkt. Model 1, met 20 miljoen passagiers per jaar op het eiland en 80 miljoen passagiers per jaar op Schiphol en model 2, met respectievelijk 70 en 30 miljoen passagiers per jaar, gaan uit van een directe shuttleverbinding vanaf Schiphol naar het eiland. Hierbij blijft Schiphol het centrale punt. De groei van het aantal reizigers en de hoeveelheid vracht zal dan via de terminals van Schiphol worden verwerkt, waardoor een grotere druk op de infrastructuur rond Schiphol en Amsterdam zal ontstaan.

De internationale verbindingen met Schiphol lopen via de corridors van de A4, A16, A1, A2 en A12. In de corridors zal een grote mate van bedrijfsontwikkeling gaan plaatsvinden. De A4 tussen Schiphol en Prins Clausplein zal uitgebreid moeten worden met 2x1 rijstrook. Tevens zal de A4 ter plaatse van de kruising met de banen van Schiphol een extra nieuwe tunnel moeten krijgen en zal het stuk tussen knooppunt Schiphol en knooppunt De Hoek extra verbreed moeten worden met 2x1 rijstrook. Deze rijstrook zal, omdat er verder geen ruimte meer is, in een tunnel moeten worden aangelegd. Op de zuidelijke A10 en de A9 zullen knelpunten ontstaan. De A9 zal tussen knooppunt Badhoevedorp en de aansluiting op de A2 verbreed moeten worden met 2x1 rijstrook. Ook de A10 zal tussen WTC en knooppunt Badhoevedorp met 2x1 rijstrook verbreed moeten worden, deze verbreding zal verhoogd moeten worden aangelegd. Het openbaar vervoer zal uitgebreid worden door de aansluiting op het HSL-net, en de Noordzuidlijn zal vanaf WTC moeten worden doorgetrokken naar Schiphol. Ook deze zal verhoogd aangelegd moeten worden.

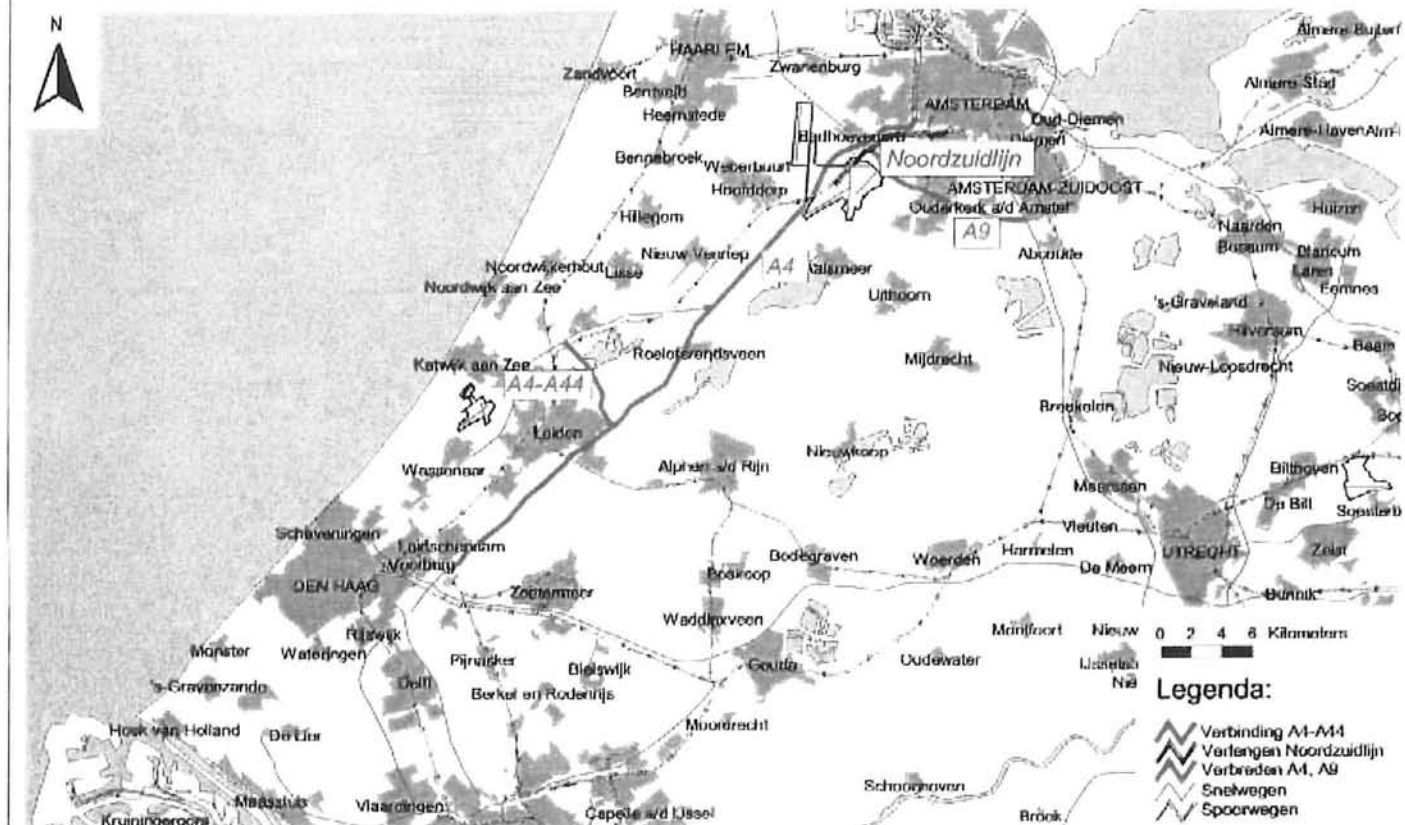
Doordat in model 1 op Schiphol 80 miljoen passagiers moeten worden verwerkt, is hiervoor een gewijzigd banenstelsel ontworpen. Dit gewijzigde banenstelsel heeft voor de infrastructuur tot gevolg dat een deel van de A4 in een tunnel onder twee nieuw geplande banen door zal moeten lopen. Ook zal door het draaien van de noordelijke banen op Schiphol, de A5 Verlengde Westrandweg moeten worden aangepast. Hiervoor zal de dan bestaande A5 moeten worden afgebroken en een nieuwe in de plaats moeten worden aangelegd.

In het derde model, met 70 miljoen passagiers per jaar op het eiland en 30 miljoen passagiers per jaar op Schiphol, is een extra halteplaats in de shuttleverbinding gepland, ter hoogte van Warmond. Door deze extra halte wordt de druk op de infrastructuur rond Schiphol vanuit zuidelijke richting iets verminderd. De tussenstop maakt het mogelijk een directe verbinding vanuit het zuiden naar het eiland te creëren. Bij Warmond ontstaat waarschijnlijk nieuwe bedrijvigheid rond de terminal.





Figuur: Varianten





Qua mobiliteit wordt een toename van verkeer op voornamelijk de A44 en N44 verwacht. Een verbinding tussen A44/N44 en A4 is hierbij wenselijk. Naast deze verbindingsweg is dezelfde aanvullende infrastructuur nodig als bij modellen 1 en 2, zie figuur. Verwacht wordt dat de extra halte in de verbinding naar het eiland een gunstige invloed heeft op de modalsplit. Doordat het openbaar vervoer de efficiëntste verbinding is met het eiland en de bedrijvigheid rond de tussenstop, zullen mensen eerder geneigd zijn van het openbaar vervoer gebruik te maken.

