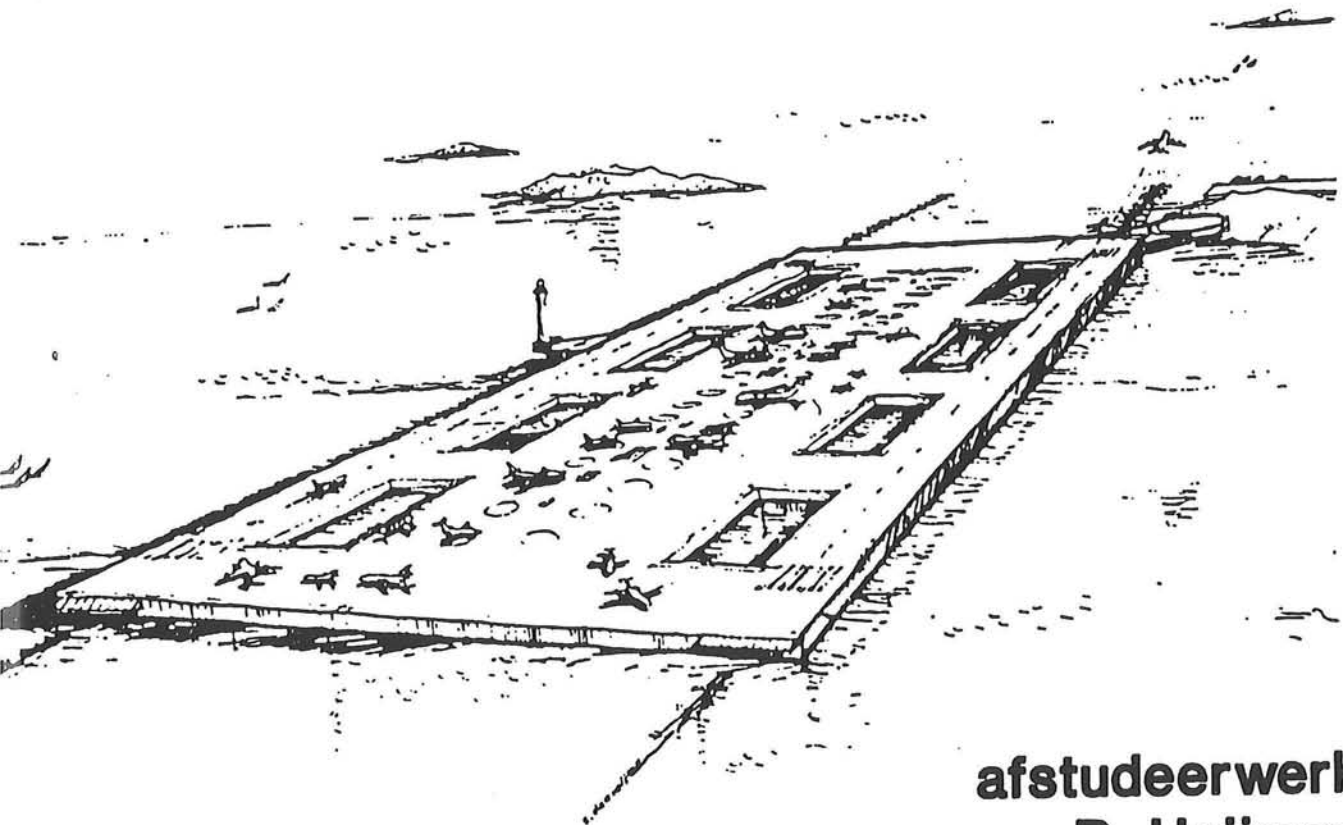


# drijvende vliegvelden *een haalbaarheidsstudie*

## deel 1 literatuurstudie



afstudeerwerk van  
**R. Heijmans en  
H. Verhoeven**



806 568

Technische Universiteit Delft.  
Faculteit CiTG  
Bibliotheek Civiele Techniek  
Stevinweg 1  
2628 CN Delft

**OFFSHORE VLIEGVELDEN**  
**literatuurstudie**

onderdeel van afstudeerproject drijvende vliegvelden

*Daar men niet zo universeel kan zijn dat men alles weet wat van alles te weten is, moet men weinig weten van alles. Want het is veel mooier iets van alles te weten dan alles van een enkel ding.*

Blaise Pascal

afst  
M&C  
90-01

Ronald Heijmans  
Hans Verhoeven

Afstudeercommissie:  
prof. ir. Ch.J. Vos  
ing. H.C. Jager  
W.W. Massie Msc.  
ir. J.M.J. Spijkers

TU Delft  
Faculteit Civiele Techniek  
Vakgroep Mechanica & Constructies  
Sectie Betonconstructies

3190 839



**VOORWOORD**

Deze literatuurstudie is het resultaat van de eerste fase van het afstudeerwerk van R. Heijmans en H. Verhoeven aan de faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. De afstudeerrichting is Mechanica en Constructies, sectie Betonconstructies.

Het onderwerp van het afstudeerwerk is drijvende vliegvelden. De literatuurstudie vormt een wat bredere basis en heeft als onderwerp offshore vliegvelden.

Aanleiding van het onderzoek was de tentoonstelling Nederland 2050 waarvoor een aantal toekomstscenario's is geschreven.

In deze scenario's komen, als oplossing voor het groeiende luchtverkeer en het daardoor te klein worden van bestaande vliegvelden en toenemende hinder voor omwonenden, de drijvende vliegvelden naar voren.

**Delft, 16 mei 1990**



**INHOUD**

VOORWOORD . . . . .	3
INLEIDING . . . . .	7
VERANTWOORDING . . . . .	9
HOOFDSTUK 1 GESCHIEDENIS . . . . .	11
1.1. Transatlantische vluchten . . . . .	11
1.2. De iceberg/aircraft-carrier . . . . .	13
1.3. Drijvende landingsmatten . . . . .	14
HOOFDSTUK 2 TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN IN DE LUCHTVAART .	17
HOOFDSTUK 3 OFFSHORE AIRPORT PLANNING . . . . .	23
3.1. Algemeen . . . . .	23
3.2. Lokatie . . . . .	24
3.2.1. Relatie met vaste land . . . . .	24
3.2.2. Overige offshore activiteiten . . . . .	24
3.3. Kosten van een offshore vliegveld . . . . .	25
3.4. Operationele overwegingen . . . . .	27
3.5. Multifunctioneel gebruik . . . . .	28
HOOFDSTUK 4 CONSTRUCTIE VORMEN . . . . .	29
4.1. Polder binnen een dijk . . . . .	29
4.2. Kunstmatig eiland . . . . .	30
4.3. Platform op palen . . . . .	31
4.4. Drijvend concept . . . . .	32
HOOFDSTUK 5 CASES OFFSHORE VliegVelden . . . . .	35
5.1. Inleiding . . . . .	35
5.2. Cases . . . . .	35
CONCLUSIES . . . . .	55
LITERATUUR. . . . .	57





## INLEIDING

Aan het eind van de zestiger jaren kampten verscheidene steden met een groot probleem:

- a) Er werd een zeer grote groei in het aantal vlieg-bewegingen op de bestaande vliegvelden verwacht.
- b) De steden waren rond de bestaande vliegvelden gebouwd zodat uitbreiding nauwelijks mogelijk was.

Er werd gezocht naar alternatieve mogelijkheden en daar waar op land geen goede alternatieve lokaties waren werd de oplossing offshore gevonden.

In 1973 waren de problemen die met een offshore vliegveld samenhangen zo actueel dat er een conferentie over dit onderwerp gehouden is[6].

Echter doordat voornamelijk de verwachte groei in het luchtverkeer uitbleef zijn vele plannen in de ijskast gezet. De projecten die wel zijn uitgevoerd, zijn veelal uitbreidingen van aan de kust gelegen vliegvelden met een opgespoten landtong.

De groei van de luchtvaart, de bevolking en stedelijke gebieden is toch gestaag doorgedaan zodat nu alsnog een capaciteitsprobleem ontstaat op de vliegvelden. Daarbij komt de mogelijke verdere toepassing van supersonische en andere luidruchtige vliegtuigen wat samen aanleiding geeft tot een hernieuwde inventarisatie van de mogelijkheden voor offshore vliegvelden.

Het doel van deze literatuurstudie is een overzicht te verkrijgen van de geplande en eventueel uitgevoerde offshore vliegveldprojecten. Daarnaast plannings- en ontwerpvariabelen te onderzoeken en een globaal overzicht te geven van de toekomstige ontwikkelingen in de luchtvaart en de gevolgen daarvan voor het ontwerpen van vliegvelden.

In deze studie gaat het over vliegvelden waar op in ieder geval normaal gangbare vliegtuigen kunnen landen. Daarnaast zouden er mogelijkheden zijn voor vliegdekschepen (er is over gedacht om de grote Amerikaanse vliegdekschepen uit de motteballen te halen en die voor de kust van b.v. New York te leggen zodat

daar kleine vliegtuigen op zouden kunnen landen) en watervliegtuigen, welke verbinding kunnen geven tussen aan de kust gelegen steden en vliegvelden.

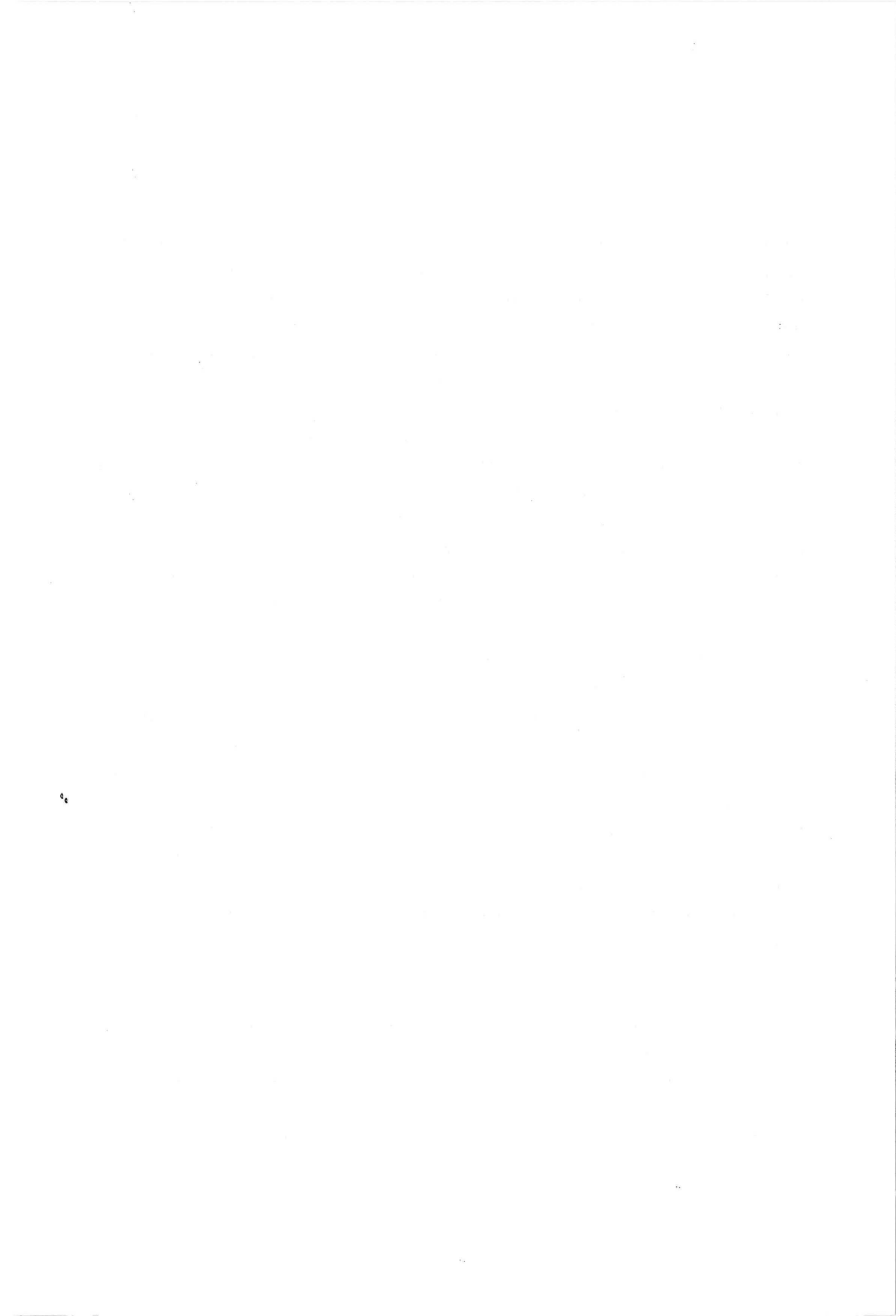
**VERANTWOORDING**

De literatuurstudie is als volgt aangepakt. Eerst is er in het AUBID-systeem van de universiteitsbibliotheek met verschillende trefwoorden getracht een ingang te verkrijgen tot het boekenbestand. Trefwoorden als offshore airport en vliegveld eiland leidden hier tot het gewenste resultaat. Zo werd een aantal rapporten en congresverslagen gevonden m.b.t. offshore vliegvelden. Toen eenmaal een aantal werken ingezien kon worden raakte het zoekproces in een stroomversnelling, immers de literatuurlijst van dergelijke werken vormt weer een bron van vele nieuwe publikaties. Deze referenties maakten het mogelijk ook artikelen uit de vakbladen op te sporen. Via de centrale bibliotheek zijn deze namelijk niet elektronisch ontsloten (althans niet voor minder dan f400,- per uur). Deze zoekronde leverde een stortvloed van tijdschriftartikelen op, die op zichzelf ook weer aanleiding gaven tot de opsporing van "nieuwe" artikelen.

Deze zgn. sneeuwbal methode bouwt als het ware een stamboom van literatuuraanhalingen op en leidt snel tot een grote hoeveelheid literatuur. Als nadeel geldt echter dat men nooit recentere literatuur vindt dan van het werk waarvan men uitging.

Verdere literatuur is gevonden bij de K.M.A. in Breda. Een speurtocht aldaar leverde een flink aantal tijdschrift artikelen op. Bij het K.I.M. in den Helder en het Rijksinstituut voor Oorlogsdocumentatie is weinig meer gevonden.

Voor het onderdeel "toekomstige ontwikkelingen in de luchtvaart", is nuttige informatie verkregen van Prof. Berenschot van de faculteit Lucht- en Ruimtevaart. In de literatuur werd een groot aantal futuristische mogelijkheden getoond die met behulp van Prof. Berenschot op hun realiteitswaarde konden worden geschat. Zo is een "best guess" gemaakt van de toekomstige luchtvaart en geen luchtkasteel neergezet.



## HOOFDSTUK 1 GESCHIEDENIS

### 1.1. Transatlantische vluchten

Wie denkt dat drijvende offshore vliegvelden science-fiction zijn heeft het mis. Al in 1922 voelde men de noodzaak om landingsbanen niet op het vertrouwde land te situeren maar in het veel onvriendelijker milieu van de zee.

Men had in die dagen nauwelijks ervaring met het bouwen in zee en er moest wel een heel erg goede reden zijn om uit te wijken naar deze vijandige omgeving. Die reden was er dan ook.

Overbruggen de gebroeders Wright in het begin van deze eeuw pas enkele tientallen meters, in het begin van de jaren 20 was het bereik van een vliegtuig al opgelopen tot zo'n 400 mijl. Hoewel dit in die dagen een respectabele afstand was, was het niet voldoende om de Atlantische Oceaan over te steken.

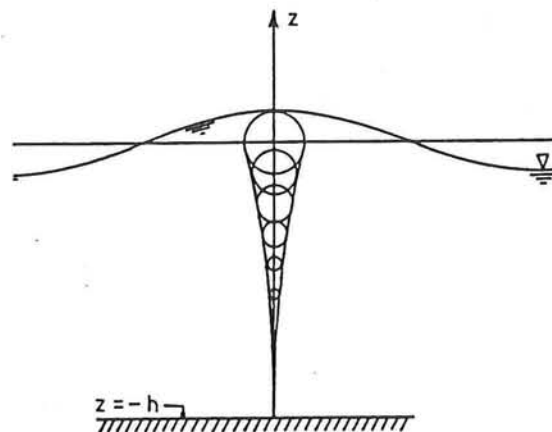
Nu werkte er in Wilmington Delaware een civiel ingenieur genaamd Edward H. Armstrong die wel een oplossing wist voor het transatlantische luchttransport. Hij had het plan opgevat om iedere 400 mijl dwars over de oceaan een drijvend vliegveldje aan te leggen.

Het ontwerp van zo'n bijzondere constructie is natuurlijk geen eenvoudige zaak en het duurde dan ook tot 1929 totdat de ontwerpen gereed waren en met de uitvoering kon worden begonnen.

Het ontwerp dat enige welhaast geniale trekjes vertoont, ziet er globaal als volgt uit. De constructie bestaat allereerst uit een stalen platform van 1200 bij 400 voet, op een hoogte van 75 voet boven het zee-oppervlak. Dit geheel wordt ondersteund door een afgetuid raamwerk met drijvende kolommen. Dit ontwerp is gebaseerd op 2 principes nl.

- Op meer dan 50 voet beneden het wateroppervlak is geen invloed van golven merkbaar.
- Een constructie die geen weerstand biedt aan de golven en waarvan de romp zich boven het wateroppervlak bevindt zal niet gaan rollen, stampen of wat dies meer zij. Het grootste deel van het drijfvermogen wordt geleverd door de drijftanks die net onder het wateroppervlak gelegen zijn. Doordat de

kolommen onder de drijftank kleiner zijn en bijgevolg de oppervlakken waar de dynamische golfkrachten werken groter zijn dan erboven, heffen deze elkaar gedeeltelijk op. De dynamische golfkrachten nemen immers af met toenemende diepte. Door de afmetingen juist te kiezen is het mogelijk om golven van een bepaalde frequentie geheel uit te dempen.

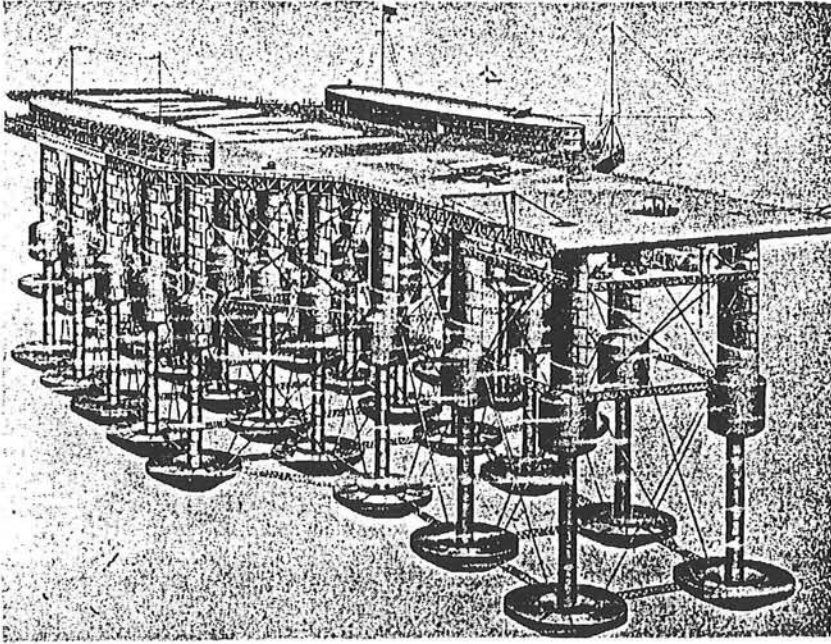


figuur 1-1 orbitaalsnelheid waterdeeltjes

Onder de palen bevinden zich schijven gevuld met ballast die enerzijds door hun vorm verticale bewegingen uitdempen en anderzijds door hun massa voor extra stabiliteit zorgen.

De constructie wordt op zijn plaats gehouden door 21.150 voet lange kabels, met van  $1\frac{1}{2}$ in. tot  $2\frac{1}{4}$ in. verlopende doorsneden. Het is mogelijk het dek op de wind te richten.

Op en onder het dek waren hangars en werkplaatsen gedacht, alsmede een hotel en een restaurant. De meer dan modale luchtreiziger van toen mocht het immers aan niets ontbreken.



*figuur 1-2 artist's impression seadrome*

De bouw van de seadromes zou uitgevoerd worden door de Armstrong Seadrome Development Company, maar waarschijnlijk achterhaald door de crisis is het er nooit van gekomen[19].

Even leek het erop dat het plan alsnog uitgevoerd zou worden toen Pennsylvania-Central Airlines in 1943 weer een voorstel indiende om na de oorlog een transatlantische route met seadromes te beginnen. Nu was er door de voortschrijdende techniek sprake van een afstand tussen de seadromes van 800 mijl[20]. Ook dit voorstel haalde het niet en het hele principe zou spoedig achterhaald worden door de techniek.

Maakte Charles Lindbergh al in 1927 de grote oversteek met een met brandstof volgestouwd vliegtuig, spoedig zouden reguliere transatlantische vluchten mogelijk worden. Dit maakte Mr. Armstrong's idee verder overbodig. Van de Armstrong Seadrome Development Company is verder weinig meer vernomen.

### 1.2. De iceberg/aircraft-carrier

Oorlog brengt behalve veel narigheid ook nogal eens inventiviteit naar boven, die tot vernieuwende ideeën kan leiden. In de voorbereiding op D-day zat men met het probleem dat de landingstroepen niet voldoende luchtsteun kon worden gegeven. In een tijd dat vliegdekschepen schaars waren was het

uitzicht op drijvende vliegvelden gemaakt van ijs, onzinkbaar, goedkoop te maken en gemakkelijk te repareren na een bombardement door water in de kraters te gieten, een lokkend perspectief.

Een zekere meneer Pyke, lid van de staf van Lord Mountbatten, had dit briljante idee bedacht. Nu is ijs nogal bros, maar ook daar was iets op gevonden. Pyke ontwikkelde een mengsel van zaagsel en zeewater dat, indien bevroren, bijna net zo sterk was als beton en noemde het Pykecrete. Het geheel zou bevroren moeten worden door koelelementen. Indien er niet genoeg vermogen was om al het benodigde water te bevriezen, zou dit op natuurlijke wijze plaats kunnen vinden in Noord Canada of Rusland.

Het project kreeg de steun van Mountbatten en ook Churchill was gecharmeerd van het idee. Het kwam zelfs tot een proefmodel van 60 bij 30 voet en 100 ton, gebouwd op Patricia Lake in Canada. De kosten bleken nogal tegen te vallen en ook de bouwtijd was te lang om het project te kunnen voltooien voor de invasie. Tegen die tijd zouden er al genoeg conventionele vliegdekschepen zijn om voor luchtdekking te zorgen.

Uiteindelijk werd het project door de Amerikanen, die het staal voor de constructies zouden moeten leveren, in januari 1944 getorpedeerd.

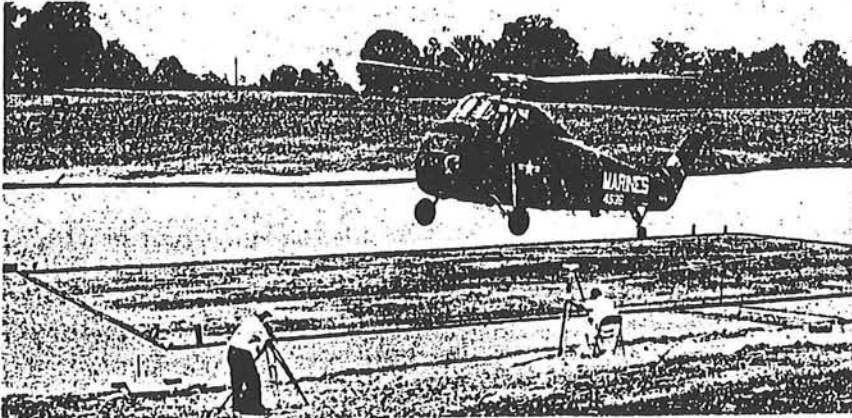
### 1.3. Drijvende landingsmatten

Om het tij in Vietnam te keren bedacht de U.S. Navy in 1966 iets moois. Vietnam bestaat voor een groot deel uit moerassen en sawa's. Wat is er nu mooier als in het nauw gedreven grootmacht dan dit potentieel te gebruiken als helikopter-landingsplaats? Men ontwikkelde hiervoor drijvende landingsmatten van aluminium.

Deze matjes, 3 bij 8 voet groot, waren opgebouwd uit lagen aluminium en polyurethaan, dat voor voldoende drijfvermogen moest zorgen en een gelast raamwerkje dat voor voldoende sterkte moest zorgdragen. De matjes zouden met bouten aan elkaar bevestigd moeten worden, om zo een volledige landingsplaats te creëren.



De landingsmatten zijn zelfs in de praktijk uitgetest (zoals te zien is op de afbeelding) en bleken te voldoen[22].



*figuur 1-3 praktijktest landingsmatten*

De bron vermeldt dat het de bedoeling was de lichtgewicht panelen door de lucht te vervoeren naar de gewenste plek, waar het geheel snel in elkaar gezet kon worden. Niet vermeld wordt hoe een helikopter kan landen om zijn zaakjes af te leveren als er nog geen landingsplaats is, of wat het nut van een mobiele landingsplaats is op een plek waar je toch al kan landen. Onbekend is of de landingsmatten met succes in Vietnam hebben gefunctioneerd, maar gezien de uitslag van het conflict is te verwachten van niet.



**HOOFDSTUK 2 TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN IN DE LUCHTVAART**

Werd in het verleden iedere technologische vinding meteen in de praktijk toegepast, tegenwoordig gaat dit niet meer zo snel. Er dient rekening gehouden te worden met een aantal nieuwe factoren zoals milieu, overlast, economisch rendement etc.

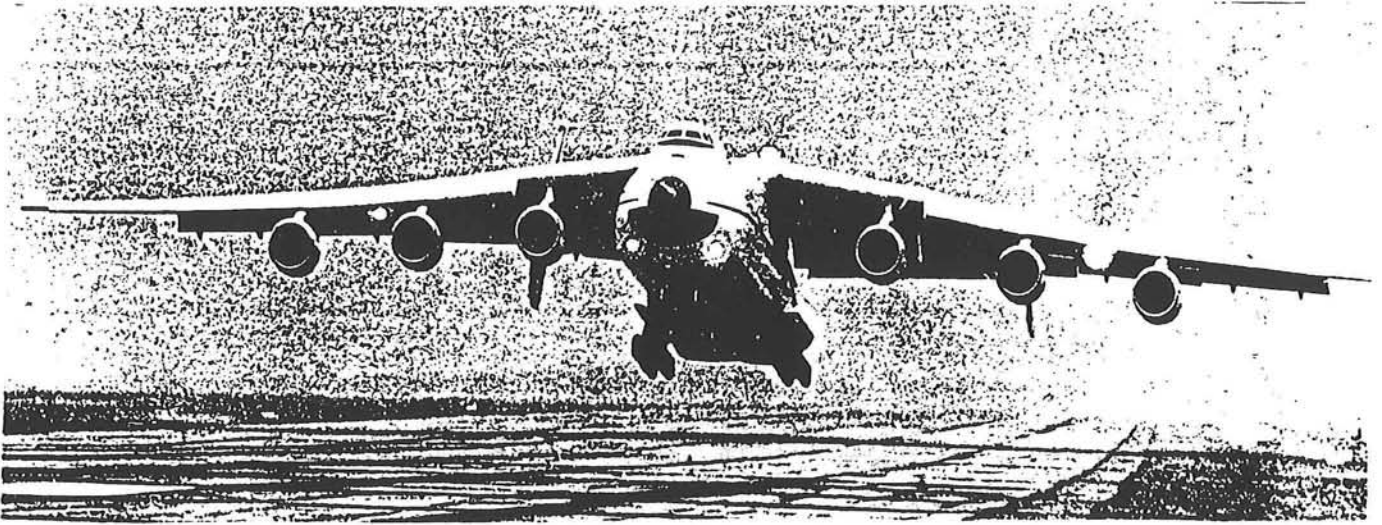
Het is niet te verwachten dat in de nabije en wat minder nabije toekomst geheel nieuwe vliegtuigconcepten tot ontwikkeling zullen komen. Nu al is het zo dat in de Verenigde Staten nauwelijks nieuwe ontwikkelingen hun intrede doen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat vliegtuigfabrikanten, ongeacht hoe lang geleden een vliegtuig ontwikkeld is, ten allen tijde aansprakelijk zijn voor technische ontwerpfouten. Een aantal, voor de vliegtuigindustrie ongunstige juridische uitspraken, heeft er toe geleid dat de verkoopprijs van vooral de wat kleinere vliegtuigen met zo'n 30% is gestegen. Dit leidt er toe dat men een zeer conservatieve houding aanneemt en slechts langzaam voortborduert op beproefde concepten. Typierend is dat de Boeing 747/400 als een primeur wordt gepresenteerd, terwijl het in feite een update is van een 20 jaar oud concept. Wat dichterbij huis zijn de 'nieuwe' Fokker 50 en 100 afstammelingen van de aloude Friendship en Fellowship.

Dit, met het feit dat het vliegtuig behoorlijk uitgeëvolueerd is, maakt dat een radicale verandering in de burgerluchtvaart niet aanstaande is.

Toch is er wel een aantal tendenzen waar te nemen:

- de toepassing van nieuwe materialen. Nu reeds worden kunststoffen en composietmaterialen toegepast in niet dragende delen van vliegtuigen. Dit zal alleen maar toenemen, terwijl langzamerhand de tijd rijp lijkt om deze materialen ook in dragende delen toe te passen (n.b. ARALL). Dit alles zal er toe leiden dat vliegtuigen steeds lichter worden en derhalve meer nuttige lading mee kunnen nemen.
  
- de ontwikkeling van steeds krachtiger motoren. Dit leidt ertoe dat de startbanen steeds korter behoeven te zijn.

- het steeds geluidsarmer worden van vliegtuigmotoren. Dit maakt de overlast steeds minder (althans per vliegtuig). Men is nu vrijwel op het punt gekomen dat de vliegtuigen op zichzelf meer lawaai maken dan de motoren. Voor een nog verdere reductie van de geluidsproductie dient derhalve de aërodynamica mede in beschouwing te worden genomen. Als de eisen m.b.t. geluidsoverlast nog verder aangescherpt worden kan dit een rem betekenen op de ontwikkeling van nieuwe vliegtuigconcepten, terwijl de specifieke kennis op het gebied van geluidsoverlast wel zal toenemen.
  
- de ontwikkeling van een supersonisch passagiersvliegtuig [7,9,11]. Er wordt gewerkt aan een opvolger van de Concorde. Dit vliegtuig zal groter, sneller en zuiniger moeten zijn dan zijn voorganger. Door de krachtiger motoren zal de benodigde startbaan zeker niet langer zijn dan nu het geval is.
  
- het steeds groter worden van vliegtuigen. De Antonov An-225 Mria, op dit moment 's werelds grootste vliegtuig, heeft bijvoorbeeld een spanwijdte van 88,4m. Dit toestel is echter bedoeld voor speciaal transport en zal nooit in groten getale rondvliegen [42]. De B-747/400 zal dat wel doen en dit toestel, met een spanwijdte van 64,8m, geeft nu al problemen door zijn grote afmetingen. Niet voor niets is het toestel voorzien van winglets. Dit is om de totale spanwijdte te verkorten, want daar zijn de grootste problemen te verwachten[16]. De taxibanen en opstelplaatsen zijn nauwelijks berekend op dermate grote spanwijdten. Verwacht wordt dat vliegtuigen die tot 800 passagiers kunnen vervoeren in het begin van de volgende eeuw hun eerste vlucht zullen maken.



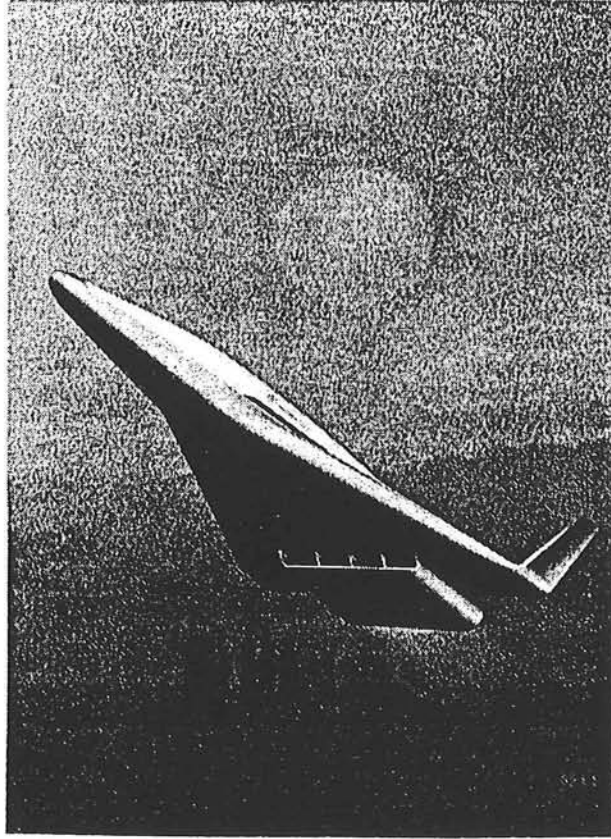
*figuur 2-1 Antonov An-225 Mria*

- het gebruik van propfan aandrijving[18]. Men verwacht veel van dit type motoren, in feite een straalturbine zonder omhulsel, op het gebied van efficiency. De nodige problemen zijn te verwachten op het gebied van geluidsoverlast, er is immers geen omhulsel om het geluid tegen te houden.

Dit zijn ontwikkelingen zoals die nu gezien worden. In het verleden zijn ook verwachtingen voor de toekomst uitgesproken, maar de meeste daarvan zijn niet bewaarheid geworden. Zo voorzag men 20 jaar geleden een grote toekomst voor V/STOL<sup>1</sup> vliegtuigen, dit is niet het geval geworden, behalve dan voor een enkele militaire toepassing. Vliegtuigen met beperkte STOL-eigenschappen worden op enkele plaatsen toegepast. Te noemen zijn de de Haviland Dash 7 en de British Aerospace 146, die beide van relatief korte startbanen gebruik kunnen maken. Ook de toepassing van zgn. scramjets, voor hyperson luchtverkeer is niet te verwachten. Indien men toch met dergelijke snelheden wil vliegen, dan is een vlucht buiten de dampkring meer aan te bevelen i.v.m. de enorme wrijving in de atmosfeer. Bij hyperson snelheden zouden de huidige materialen toegepast in vliegtuigen, gewoonweg smelten.

---

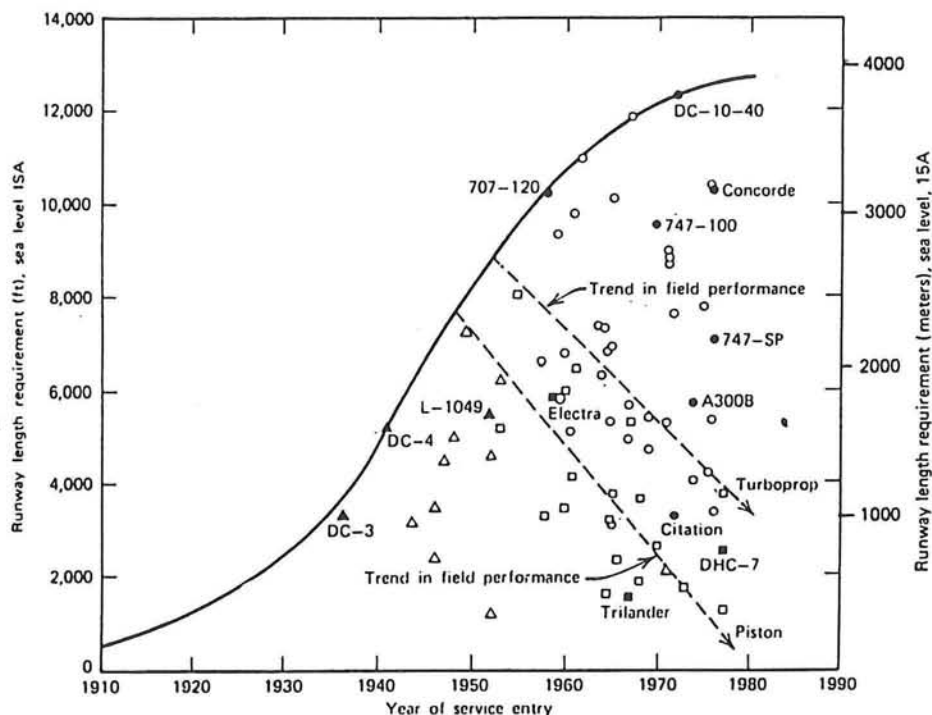
<sup>1</sup>STOL: Short Take Off and Landing  
VTOL: Vertical Take Off and Landing



*figuur 2-2 toekomstvisie scramjet*

Een mens kan slechts 0,5 g extra gedurende een langere tijd verdragen. Om een hypersonische snelheid te bereiken (vanaf zo'n 4000 km/uur) zou zo'n lange tijd nodig zijn, dat een hypersonisch vliegtuig al moet afremmen voor de vlucht goed en wel begonnen is.

Geconcludeerd kan worden dat het vliegveld van de volgende eeuw er niet wezenlijk anders uit zal zien dan het huidige, afgezien van niet voorzien ontwikkelingen. Het langer worden van de startbanen is 20 jaar geleden met het verschijnen van de jumbojets al gestopt (zie figuur 2-3).



figuur 2-3 lengte startbaan

Het steeds zwaarder en groter worden van vliegtuigen zal slechts problemen geven bij taxibanen en opstelplaatsen. De explosieve groei van het luchtverkeer zal wel problemen geven m.b.t. de bereikbaarheid van vliegvelden. Schiphol op wereldschaal een middelgroot vliegveld, is nu op topdagen al nauwelijks te bereiken en dit zal in de toekomst alleen nog maar erger worden. Te verwachten is dan ook dat met name het railvervoer naar vliegvelden toe een grote vlucht zal nemen. Bij London Gatwick neemt de trein al 40% van het totale aantal passagiers voor zijn rekening[16].

Een mogelijkheid die zich de laatste jaren aandient, is de toepassing van relatief kleine vliegtuigen voor regionaal verkeer. Hieraan is de groei van regionale luchtvaartmaatschappijen als het Duitse D.L.T. en het Britse Brymon Airways te danken. Die laatste maatschappij voert vluchten uit op London City Airport, een STOL vliegveld.

Vanaf 1 januari 1993 kunnen in het "Europa zonder grenzen", door het wegvalen van de douane afhandeling, deze regionale luchtverbindingen een grote vlucht nemen. Dit blijkt wel uit het feit dat ook in Dublin plannen zijn voor een in de haven gelegen STOL vliegveld.





## HOOFDSTUK 3 OFFSHORE AIRPORT PLANNING

### 3.1. Algemeen

Voor vijf van de elf grootste wereldsteden en in een aanzienlijk aantal kleinere steden zijn studies gedaan naar de mogelijkheid van een nabij gelegen offshore vliegveld. Vanwaar deze belangstelling?

- a) Nabij stedelijke gebieden worden mogelijke lokaties voor een vliegveld schaars.
- b) Met de groei van het luchttransport neemt de overlast in de stedelijke gebieden toe.
- c) Door een eventuele verhuizing van een vliegveld naar een offshore lokatie komt een groot terrein beschikbaar voor andere doeleinden.
- d) Grondkosten kunnen extreme hoogten aannemen.
- e) Problemen bij het verkrijgen van goedkeuring voor plannen en bij afhandelen van allerlei procedures.

Een offshore vliegveld is per definitie geheel omgeven door water. In de zuiverste vorm zijn alle voorzieningen; banen terminals parkeerplaatsen etc. offshore en zijn deze via het vaste land te bereiken.

Het is niet verstandig een traditionele onshore lay-out aan te passen aan een offshore lokatie. De grote verschillen zijn:

- De bouwkosten van een offshore-vliegveld zijn per vierkante meter (aanzienlijk) hoger dan die op een offshore-lokatie. Door deze hoge kosten moeten de afmetingen van een onshore-lokatie geminimaliseerd worden.
- Aanvliegroutes, bufferzones etc. zullen voor offshore-sites veelal boven het water zijn en dus geen kosten veroorzaken.
- Toegang tot een offshore vliegveld vanaf het land zal extra kosten met zich meebrengen en het aantal toegangswegen zal economisch beperkt zijn.
- De mogelijkheid om vliegveld-gebonden industrie te huisvesten is offshore beperkt. De bufferzones welke onshore hiervoor gebruikt worden zijn niet aanwezig.
- In een aangepaste lay-out voor een offshore vliegveld zullen verschillende functies zich op het land bevinden. De te

scheiden functies van een vliegveld moeten op basis van een economische en functionele analyse verdeeld worden over de offshore en de onshore lokatie. De afstand tussen beide lokaties moet met een geschikt transportmiddel in relatief weinig tijd overbrugd kunnen worden.

Een studie naar alternatieve lokaties, zowel offshore als op het land houdt in:

- vergelijken van onshore en offshore voorstellen.
- evaluatie van offshore alternatieven met verschillende middelen om de lokatie te bereiken.
- studie van het totale offshore complex met zowel onshore als offshore faciliteiten.

### 3.2. Lokatie

Een luchthaven moet zo dicht mogelijk bij de oorsprong van het vervoer liggen. Dit zou betekenen dat een vliegveld bij voorkeur midden in een stedelijk gebied moet liggen. Voor steden die aan het water grenzen, ligt een offshore vliegveld mogelijk dichterbij het centrum dan een lokatie op het land.

#### 3.2.1. Relatie met vasteland

Voor het personen- en goederenvervoer en voor het woon-werkverkeer moet een verbinding met het vaste land tot stand komen. De lokatie van het offshore vliegveld is van belang i.v.m. de tijd die men kwijt is om deze afstand af te leggen. Voor de elektriciteitsvoorziening en aanvoer van onder andere brandstof zal men pijpleidingen naar het offshore vliegveld willen leggen. Deze leidingen kunnen echter niet overal de kust snijden. Het is echter ook mogelijk om met schepen brandstof aan te voeren en elektriciteit op het vliegveld op te wekken indien de kosten van deze leidingen te hoog worden.

#### 3.2.2. Overige offshore activiteiten

De zeeën worden reeds lange tijd voor tal van activiteiten gebruikt. Bij het zoeken naar een lokatie moet met al deze activiteiten rekening worden gehouden. Enige voorbeelden:

- olie en gaswinning

- scheepvaartroutes
- visserij; tijdelijk verstoring ecosysteem, permanent onttrekking visgronden
- telecommunicatiekabels
- militair oefengebied
- kustverdediging, stromen, transport bodemmateriaal
- recreatie
- winning bodemmateriaal
- bestaande luchtvaart
- afvalverbranding en dumping

Andere factoren welke de lokatie bepalen zijn de bodemeigenschappen, waterdiepte en allerlei fysisch-oceanografische en meteorologische eigenschappen. Vanuit het milieu oogpunt worden ook eisen gesteld aan de lokatie: lozen van afval, geluidsoverlast en horizonvervuiling[11].

### 3.3. Kosten van een offshore vliegveld

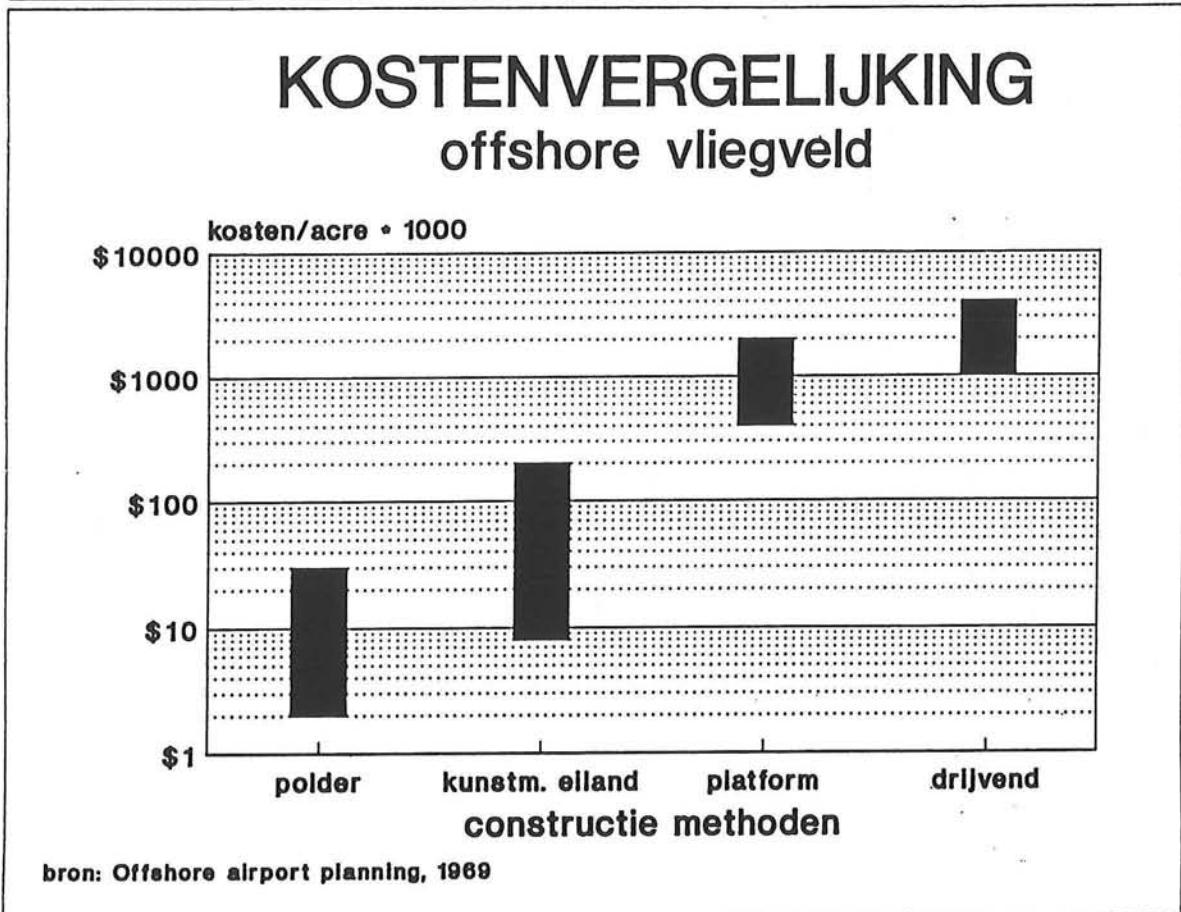
In de afweging tussen een land- of offshore lokatie spelen de kosten een belangrijke rol. Om deze vergelijking te kunnen maken, worden de meest belangrijke kostenverschillen genoemd:

#### a) Lokatie kosten

Met deze kosten wordt hier bedoeld de kosten welke gemaakt moeten worden om op de lokatie een vliegveld te kunnen bouwen. De kosten van de faciliteiten (banen terminals, hangars, vrachtstations, verlichting en navigatiebegeleiding) worden hier niet beschouwd.

Lokatie kosten nemen toe als de waterdiepte toeneemt en de natuurlijke bescherming afneemt. Tegenover deze hogere kosten staan enige moeilijk te kwantificeren opbrengsten als het afnemen van hinder voor de omgeving en de mogelijke ligging nabij stedelijke en zakelijke centra. Een meer te kwantificeren opbrengst van een offshore vliegveld is dat de gecreëerde lokatie een aanvulling is voor de gemeenschap nu geen beslag gelegd wordt op een eventuele lokatie op het vasteland.

Figuur 3-1 illustreert het grote verschil in lokatiekosten van de vier mogelijke constructiemethoden (op logaritmische schaal!)



figuur 3-1 lokatiekosten

### b) Toegangskosten

De kosten die gemaakt moeten worden om een offshore vliegveld te bereiken hangen nauw samen met de lay out van het vliegveld. In het bijzonder zal er een verschil in toegangskosten zijn wanneer een vliegveld zich geheel offshore bevindt of wanneer alleen de banen offshore liggen. Een belangrijke factor in deze kosten is de toegangsconstructie: brug, tunnel, veerverbinding enzovoorts.

### c) Bedrijfs- en onderhoudskosten

Voor een offshore vliegveld moeten een aantal extra kosten worden gemaakt vergeleken met een onshore lokatie:

- speciale constructies voor het plaatsen van verlichting voor het naderen van de landingsbaan.
- drainagesysteem; dit kan gecompliceerder zijn dan voor een onshore lokatie.
- aansluiting op voorzieningen.
- bescherming tegen golfaanval.

### 3.4. Operationele overwegingen

Voor het goed functioneren van een vliegveld worden een aantal extra eisen gesteld:

a) Navigatie hulpmiddelen

Er moeten nieuwe methoden ontwikkeld worden voor de plaatsing van de aanvliegverlichting en de landingssystemen ten einde de tij- en stromings invloeden te elimineren.

b) Weer

De huidige sterk groeiende commerciële luchtvaart-vloot vereist een storingsvrij systeem om veiligheidsrisico's en vertragingen in de vliegschema's te voorkomen.

Het weer speelt hier een belangrijke rol in. Indien het weer op een offshore lokatie voor een afname van het aantal vliegbewegingen zorgt is dit natuurlijk een negatief punt voor de offshore lokatie. Het weer op een offshore lokatie kan aanzienlijk verschillen van het weer op het land. In het bijzonder zijn turbulentie en mist hier van belang.

c) Onderhoud

Het onderhoud van vliegtuigen op een offshore vliegveld neemt t.g.v. corrosie aanzienlijk toe.

d) Vogels

Grote vogelpopulaties zijn een probleem voor bestaande vliegvelden aan het water. Hier zullen al bij de planning en constructie van het vliegveld maatregelen voor genomen moeten worden.

e) Acceptatie door gebruiker

Voor de luchtvaartmaatschappijen:

- veiligheid
- efficiency
- flexibiliteit

Voor de passagiers:

- psychologische factoren
- gebruiksgemak

Voor de gemeenschap:

- esthetica
- veiligheid
- geluidsoverlast
- opbrengst uit investeringen van overheid

Tegenover deze negatieve punten staat dat offshore de lucht

koeler en dichter is, wat de efficiency ten goede komt (vliegtuigen krijgen hierdoor een grotere draagkracht).

### 3.5. Multifunctioneel gebruik[10]

Er zijn twee soorten medegebruikers; plaatsgebonden en vliegveldgebonden gebruikers.

Voorbeelden van de eerstgenoemde categorie:

- diep-water-haven
- elektriciteitscentrale (nucleair of fossiel) die impopulair zijn in stedelijke gebieden en veel koelwater nodig hebben.
- afvalverwerkingsfabriek; b.v. vuilverbrandingsoven
- rioolwater-zuiveringsinstallatie
- stortplaats voor vast afval; mogelijk is dit afval als ophoog materiaal te gebruiken
- raffinaderij, maakt ook gebruik van diep-water-haven
- opslag van olie in tanks
- pijpleiding tussenstation
- industriepark
- een experimenteel aquacultuurstation met boerderij welke een beschermde zeeomgeving nodig heeft

Vliegveldgebonden diensten zijn:

- cruiseschiphaven welke voorziet in een overstappunt voor passagiers
- Rapid Transit Terminal; nodig voor de verbinding van een metropool met het vliegveld
- Inter-City-trein terminal: overstappen tussen trein en vliegveld.
- snelweg verbinding

Veel van deze medegebruikers hebben al ervaring op offshore lokaties. In Nederland heeft men het beleid gevolgd, bij een eventueel aan te leggen offshore vliegveld, dit niet te combineren met andere plaatsgebonden activiteiten, omdat na een aantal jaren mogelijk een conflict ontstaat tussen de primaire en de secundaire gebruikers.

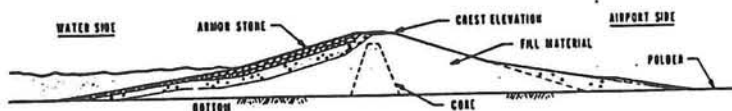
Vliegveld gebonden activiteiten, zoals een goede infrastructuur, zijn echter onmisbaar voor het goed laten functioneren van een vliegveld.

## HOOFDSTUK 4 CONSTRUCTIE VORMEN

Een viertal principes is te onderscheiden om offshore een vliegveld aan te leggen:

#### 4.1. Polder binnen een dijk

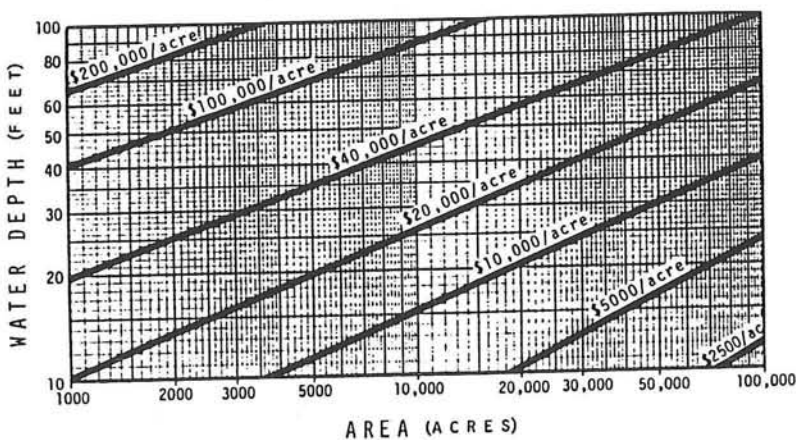
Een polder wordt verkregen door een stuk water te bedijken en het gebied binnen de dijken droog te malen. Het land niveau van de polder ligt dus onder het waterniveau. De bemaling blijft permanent aanwezig in verband met kwel en neerslag.



figuur 4-1 vliegveld in een polder

Voor het creëren van een offshore lokatie in relatief ondiep water is een polder de goedkoopste oplossing.

De kosten per vierkante meter nemen af indien de polder groter wordt en de dijk meer cirkelvormig is. Onderstaand figuur geeft de kosten per acre in relatie tot de waterdiepte en het oppervlak:



figuur 4-2 aanlegkosten polder<sup>[37]</sup><sup>2</sup>

<sup>2</sup>1 acre = 4047 m<sup>2</sup>

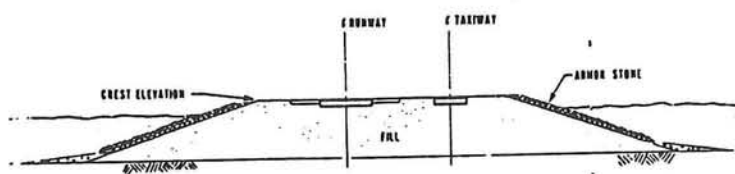
De kosten worden verder bepaald door: ondergrond (draagkracht en permeabiliteit), vindplaats en samenstelling van het materiaal van de dijk, aanlegmethode van de dijk, golfhoogte, oeverbescherming en het drainagesysteem van de polder.

De nadelen van een vliegveld in een polder zijn:

- de kruin van de dijken moet buiten de obstakel-vrije-ruimte vallen. Voor dezelfde baanoriëntatie is in een polder meer ruimte nodig dan op een kunstmatig eiland.
- het gevaar van bezwijken van een dijk. Het risico bij bezwijken van een dijk kan eventueel verminderd worden door de polder met dijken op te delen. Hoe uitgebreider de meetgegevens uit het verleden zijn hoe nauwkeuriger een veilig ontwerppeil bepaald kan worden.
- een storingsvrij drainagesysteem inclusief reserve pompen en aandrijving is noodzakelijk.
- onderbreking van stroming en sediment transport.
- de kosten nemen toe met de diepte.

#### 4.2. Kunstmatig eiland

Een kunstmatig eiland wordt op een geschikte plaats op de zeebodem opgespoten met elders gewonnen zand, eventueel binnen een aangelegde dijk.



figuur 4-3 vliegveld op kunstmatig eiland

Deze methode van aanleg is al veelvuldig gebruikt voor het uitbreiden van bestaande vliegvelden aan de kust. Veelal wordt het eiland op zo'n niveau aangelegd dat er nog een dijk nodig is om het eiland tegen golfaanvallen te beschermen. Als ophoogmateriaal kunnen eventueel ook afval materialen gebruikt worden.

Factoren die de kosten van een kunstmatig eiland bepalen zijn: draagkracht van de ondergrond, vindplaats en samenstelling van het ophoogmateriaal, methode van ophogen, hoogte,



oeverbescherming, waterdiepte en golfhoogte.

De kosten van een kunstmatig eiland zijn minder gevoelig voor een verandering in de omtrek dan die van een polder.

De aanleg van de oeverbescherming is goedkoper dan de dijkbescherming van een polder.

De voordelen van een kunstmatig eiland zijn:

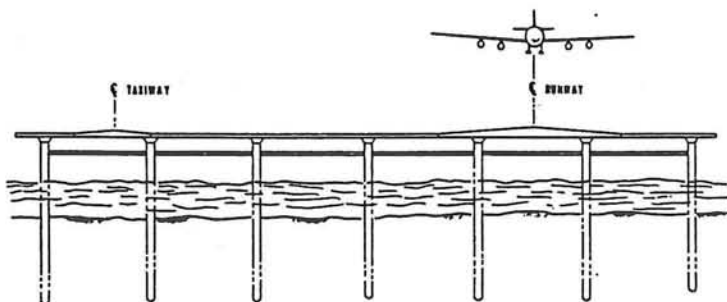
- veel ervaring met deze methode.
- lage kosten per oppervlakte-eenheid.
- een aangelegd eiland kan evt. eenvoudig uitgebreid worden.
- maximale veiligheid: bezwijken van dijk of constructie brengt het vliegveld niet in gevaar.

De nadelen zijn:

- verstoring van stromingen en ecologie.
- kosten nemen toe met de diepte.
- slappe bodem en ophoogmateriaal kunnen grote zettingen veroorzaken.

#### 4.3. Platform op palen

Bedoeld wordt hier een dekconstructie welke rust op palen of op caissons welke in dan wel op de bodem zijn geplaatst.



figuur 4-4 vliegveld op palen

Uitbreidingen van een startbaan op palen zijn al gemaakt. Een vliegveld dat geheel op palen staat is echter nog nooit gebouwd.

In de volgende situaties gaat de voorkeur uit naar deze constructievorm:

- indien een polder of kunstmatig eiland niet mogelijk is in verband met niet financiële redenen b.v. wanneer de getijde

stromen niet onderbroken mogen worden.

- als het oppervlak dat nodig is niet groot genoeg is voor de grootschalige zandverplaatsingsprojecten (b.v. een platform voor enkele landingslichten).
- indien de waterdiepte te groot is om een polder of kunstmatig eiland aan te leggen.

De kosten per vierkante meter nemen af bij het groter worden van het oppervlak door het repetitie effect en de toenemende stijfheid. De ondergrond is van grote invloed op het al dan niet financieel haalbaar zijn van deze variant.

Kostenbepalende factoren zijn: beschikbaarheid van terrein, materialen en arbeid voor het maken van de palen en het dek, paalafstand, lengte en belastingen, dikte van de dekplaten, waterdiepte, golfhoogte en seismische- en windbelasting.

De voordelen van dit type zijn:

- geen onderbreking van stromingen en dispersie van vervuiling.
- mogelijkheid tot het aanbrengen van verschillende dekken.

De nadelen zijn:

- hoge kosten per vierkante meter
- kosten nemen toe met de waterdiepte en overspanning
- platform kan beschadigd worden door aanvaringen, sabotage, explosies en brand.

Het is mogelijk een meerdeks-platform te bouwen waarop de start- en landingsbanen liggen en waartussen de terminals en hangars zich bevinden. Dit laatste vereist een grote kolomafstand en liften voor het manoeuvreren met vliegtuigen. De kosten nemen met deze grotere kolomafstanden snel toe. Voor normale lijnvliegtuigen veroorzaken meerdeks platforms extreem hoge bouwkosten. Op La Guardia Airport (zie casus in paragraaf 5.2) is een enkel dek toegepast, ondersteund op kolommen met tussenafstanden van 10 meter.

#### 4.4. Drijvend concept

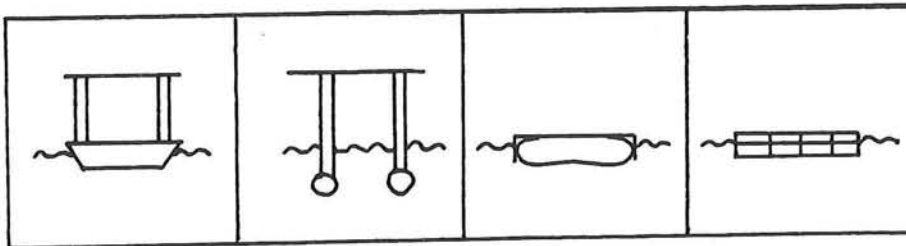
Met de ontwikkeling van het vliegtuig is ook het idee ontstaan drijvende vliegvelden te bouwen als tussenstation voor transatlantische vluchten.

Bij de ontwikkeling van drijvende vliegvelden ontstaan problemen m.b.t. de constructie, het onderhoud en de bedrijfsvoering. De reden dat een dergelijk vliegveld nog nooit is uitgevoerd zijn de aanzienlijke kosten die aan een dergelijk project verbonden zijn. Op kleinere schaal zijn wel drijvende constructies gemaakt: bijvoorbeeld droogdokken en bruggen.

Drijvende vliegvelden kunnen toegepast worden voor grote waterdiepten of voor semi-permanent gebruik. Bij dit laatste moet gedacht worden aan een kleiner vliegveld dat geschikt is als militaire basis. Een tussenvorm is een vliegveld waarvan de start- en landingsbanen op de wind gedraaid kunnen worden. Dit draaien vergt veel tijd waarin de baan niet gebruikt kan worden. Het aanbrengen van voorzieningen als landingslichten en dergelijke wordt aanzienlijk gecompliceerder. Bovendien kunnen moderne vliegtuigen met enige zijwind landen, wat het richten van de baan overbodig maakt.

Mogelijke vormen van drijvende vliegvelden:

- een platform ondersteund door een aantal pontons of één grote drijver.
- een platform ondersteund door tanks onder de waterspiegel met een variabel drijfvermogen.
- een door voorspanning bijeen gehouden betonnen platform, samengesteld uit met polystyreenschuim gevulde "dozen".
- een platform steunend op één of meerdere luchtkussens.
- één grote doosvormige constructie mogelijk samengesteld uit door voorspanning bijeen gehouden identieke prefab secties.



figuur 4-5 mogelijke drijfprincipes

Drijvende vliegvelden zijn in verschillende materialen uit te voeren: beton (plan Toronto Floating Airport), staal (plan Osaka Bay) en glasvezel gewapend kunststof voor ingewikkelde vormen. Zelfs ijs zou gebruikt kunnen worden zoals in paragraaf

1.2 is aangehaald.

Een stalen constructie kan moeilijk worden onderhouden. Ook het onderhoud van een betonnen platform op open zee is moeilijk. Speciale aandacht dient besteed te worden aan de inspectie van de ankerlijnen omdat die maar een korte levensduur hebben.

De verankeringsconstructie wordt zijdelings onderworpen aan krachten door wind, stroom en golven. Met deze verankeringen is ervaring opgedaan in de offshore olie industrie en bij de drijvende bruggen van o.a. Washington.

Factoren die de kosten van een drijvende constructie bepalen zijn: bodemgesteldheid, configuratie van de drijvers, kosten en beschikbaarheid van bouwterrein, arbeid en materialen, golf-, wind- en stroombelastingen, waterdiepte, golfhoogten en ankermethoden.

De voordelen zijn:

- het vliegveld is eventueel verplaatsbaar.
- geen onderbreking stromingen en sedimenttransport.
- ongevoelig voor aardbevingen.
- ook toepasbaar in grote waterdiepten.
- in de drijflichamen is veel ruimte beschikbaar.

De nadelen zijn:

- extreem hoge kosten per vierkante meter.
- gecompliceerd onderhoud en constructie.
- constructie kan beschadigen door bij vorige variant genoemde oorzaken.
- de gehele constructie zou kunnen breken en/of zinken.
- eventueel buiswater op de baan kan gevaar opleveren.

## HOOFDSTUK 5 CASES OFFSHORE VliegVelden

### 5.1. Inleiding

In het nu volgende hoofdstuk wordt een aantal praktijkgevallen van offshore vliegvelden besproken. Het betreft hier zowel uitgevoerde projecten als plannen die in de ijskast zijn gelegd of definitief van tafel zijn verdwenen.

Het begrip offshore dient de lezer overigens niet al te letterlijk op te vatten, het merendeel van de besproken projecten is nog altijd met de kust verbonden en bijgevolg niet zuiver "off"-shore.

### 5.2. Cases

#### **BOSTON**

In 1968 kregen 2 groepjes van 14 studenten van M.I.T. de opdracht te onderzoeken of het mogelijk was om een internationaal vliegveld aan te leggen in de haven van Boston. De beide teams kwamen o.a. na raadpleging van een groot aantal autoriteiten en deskundigen tot de conclusie dat het inderdaad mogelijk was.

Het gebruik van een polder kwam volgens de studenten niet in aanmerking en men koos dan ook voor het principe van ophogen. Als lokatie hiervoor werd Brewster eiland gekozen. Om de kosten beperkt te houden plande men parkeerplaatsen en terminals onshore. Twee tunnel/causeway routes zouden voor de verbindingen moeten zorgen met het vasteland, waarbij tevens gebruik gemaakt zou worden van een elektrisch treintje om de grote aantallen (50 miljoen in 1995) passagiers naar de vliegtuigen te vervoeren. De totale kosten zouden zo'n miljard dollar bedragen[3,29].

Op een congres in 1973 bleek de opzet tot een nieuw vliegveld te komen van de baan i.v.m. de excessieve kosten. Gekozen is voor een verdere uitbouw van het bestaande vliegveld.

## CHICAGO

Eind jaren zestig wezen studies uit dat het uitbreiden van Chicago O'Hare International Airport slechts een oplossing op korte termijn zou zijn. Er diende een nieuwe lokatie gezocht te worden.

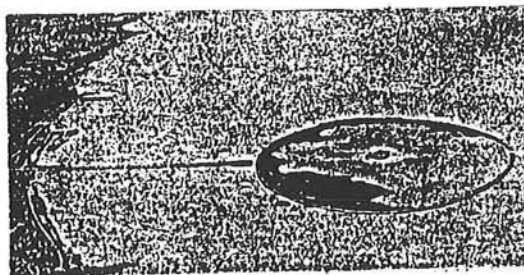
In eerste instantie zijn 15 alternatieve lokaties geselecteerd. Hiervan zijn drie lokaties buiten de stad en een offshore lokatie in Lake Michigan over gebleven voor nader onderzoek. Hiervoor werden de lokatie- en toegangskosten berekend en vergeleken. Ook werd voor alle lokaties afzonderlijk de economische invloed op de omgeving onderzocht. Zo bleek de offshore lokatie bijna eens zoveel nieuwe arbeidsplaatsen op te leveren als een nieuw vliegveld op het land; 17.300 nieuwe banen exclusief de extra werkgelegenheid in de stad.

De kosten van de minst gunstige landlokatie bedragen ongeveer 200 miljoen dollar. De kosten van de offshore lokatie zijn echter 400 miljoen dollar!

Daartegenover staat dat het offshore vliegveld beter te bereiken is en het bestaande O'Hare meer ontlast wordt (het aanbod wordt gehalveerd). Er is berekend dat de kortere reistijd over land voor de passagiers in 1980 omgerekend een besparing oplevert van 50 miljoen dollar per jaar (gerelateerd aan het gemiddeld salaris van een zakelijke luchtreiziger).

De inpassing van het vliegveld in de bestaande patronen, zowel in de stad als in het luchtverkeer is voor alle lokaties zeer goed mogelijk.

Na deze afweging gemaakt te hebben werd de offshore lokatie aanbevolen voor de nieuw te bouwen luchthaven.



*figuur 5-1 artist's impression offshore lokatie*

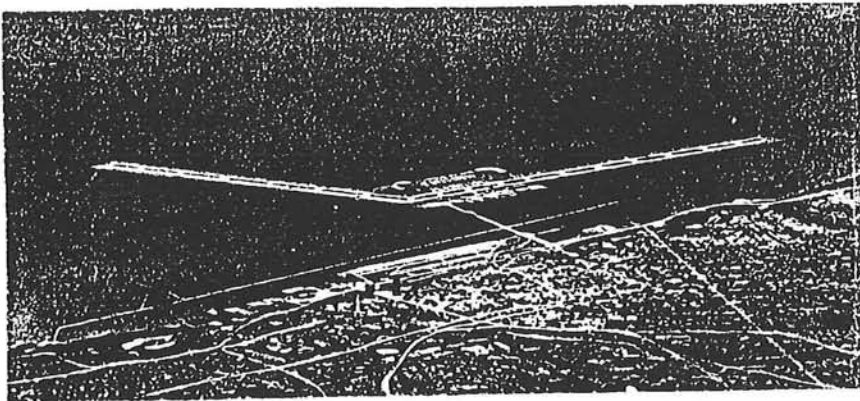
Het vliegveld in Lake Michigan is ontworpen als een cirkelvormige polder ongeveer 14 kilometer uit de kust. De diameter van de polder is ongeveer 7,5 kilometer. De waterdiepte varieert van 11 tot 17 meter en de dijkhoogte boven laagwater is 8 meter. Vanwege de hoge kosten is afgezien van het ophogen van het hele gebied.

In de polder komen vier maal twee evenwijdige banen. Het eiland wordt met een brug-tunnel-dam combinatie verbonden met het land.

De dijkhoogte kan geen probleem zijn voor landende vliegtuigen vanwege de verhouding tussen de 20 meter hoge dijk en de diameter van de polder[24,27,28].

#### CLEVELAND OHIO

Eind jaren zestig is het voorstel gedaan om in vier fasen in Lake Erie een nieuwe regionale luchthaven te bouwen op een kunstmatig eiland voor het al bestaande Burke Lakefront Airport, ongeveer 1½ kilometer van de stad Cleveland.



*figuur 5-2 impressie van het volledige project*

De eerste fase is het opspuiten van 4,25 km<sup>2</sup> land in ongeveer 14 meter diep water. Hierop komen twee banen, elk 3400 meter lang en een terminal met een capaciteit van 46 miljoen reizigers per jaar. Het nieuwe vliegveld is via een vaste oeververbinding te bereiken. Parkeerruimte is er op het eiland. Vervoer tussen de verschillende onderdelen gebeurt met behulp van loopbanden, roltrappen en liften. Elektrische wagentjes rijden over de oeververbinding.

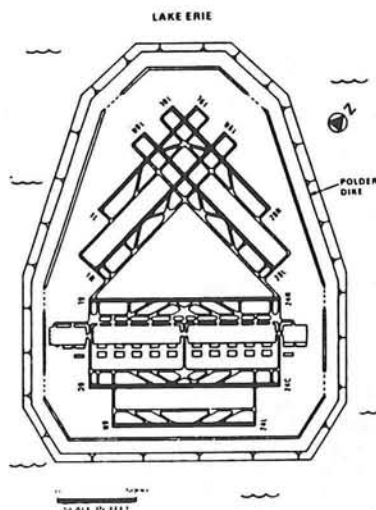
In de tweede fase wordt het kleine Burke Lakefront Airport met een baan in het water uitgebreid. Ook wordt er een railverbinding tussen de stad en de onshore terminal van de elektrische wagentjes aangelegd.

De derde fase is het uitbreiden van de banen tot 4800 meter en verdubbeling van het aantal "gates" tot 40.

In de laatste fase (in het jaar 2000) worden nog eens 2 banen toegevoegd[31].

Het bovenstaande project is nooit ten uitvoer gebracht.

Een vijftal jaren later is opnieuw een studie gemaakt. Nu werden twee lokaties vergeleken; een lokatie op het land ongeveer 60 kilometer van de stad en een offshore lokatie op ongeveer 6,5 kilometer van het zakencentrum.



figuur 5-3 het tweede plan: een luchthaven in een polder

Het offshore vliegveld zou in deze studie in een polder komen te liggen, ongeveer 12 meter onder de waterspiegel. Er komt ook in dit plan een vaste verbinding met de oever. Men was er in 1977 nog niet uit of de parkeerplaatsen onshore gemaakt zouden worden of dat alle faciliteiten offshore zouden komen.

De lay-out van het vliegveld is geheel anders dan in het eerste plan. Het veld bestaat uit drie hoofdbanen evenwijdig aan de kust en vier gekruiste secundaire banen[40,41].



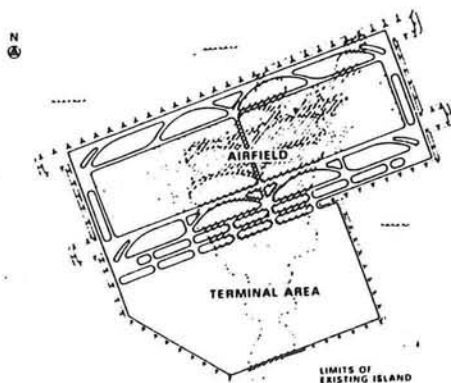
## HENOKO, OKINAWA

De U.S. Navy had op Okinawa behoefte aan ruimte voor een vliegveld en kampementen. Aangezien het eiland zeer dichtbevolkt is en de meeste grond in gebruik is voor de landbouw, koos men ervoor om een ophoging aan te brengen tussen de kust en het koraalrif. Eerst zou een dijklichaam van stortsteen aangebracht worden, waarbinnen het elders weggebaggerde koraalzand zou worden gestort[2].

## HONG KONG

Ook in Hong Kong liep het luchtverkeer, of althans het deel daarvan dat zich op de grond afspeelt, vast. In 1973 is dan ook een onderzoek voltooid naar mogelijke alternatieven. Daarbij is gekeken naar de gehele Colony of Hong Kong en de omliggende New Territories. Gebleken is dat door de steile hellingen en op de vlakke gebieden door de dichte bebouwing, er geen redelijke lokatie onshore te vinden was.

Door het consultancy bureau Ralph M. Parsons Co. is het plan naar voren gebracht om één van de voor de kust liggende eilandjes 120m af te graven en het materiaal te gebruiken om dit eilandje uit te breiden, totdat het groot genoeg is om er een vliegveld op aan te leggen. Op dit moment is het project nog niet voltooid, maar men verwacht wel dat dit spoedig zal gebeuren[41].

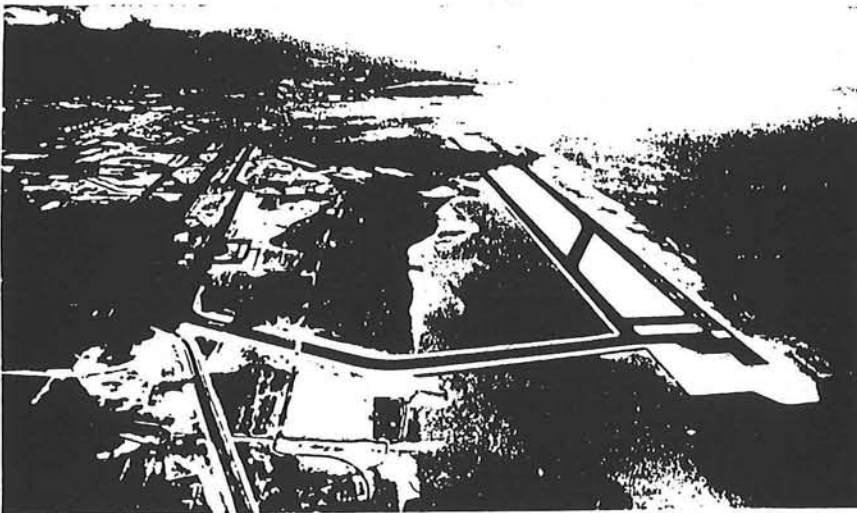


figuur 5-4 Parson's plan voor een vliegveld bij Hong Kong

## HONOLULU

Uit een studie in 1968 bleek dat Honolulu International Airport behoefte had aan een nieuwe start-en landingsbaan. Aangezien het vliegveld aan 3 kanten was omringd door water, was de enige mogelijkheid het uitwijken naar zee.

Uitgebreid onderzoek toonde aan dat de aanleg van de baan op een koraalrif evenwijdig aan het oude vliegveld, haalbaar was. Gekozen werd voor de earth and rock-fill methode, waarbij het materiaal van de zeebodem werd gebaggerd. Het geheel werd tegen golfaanval beschermd door natuurlijk gesteente en betonnen elementen. Het project werd voltooid in 1978[41].



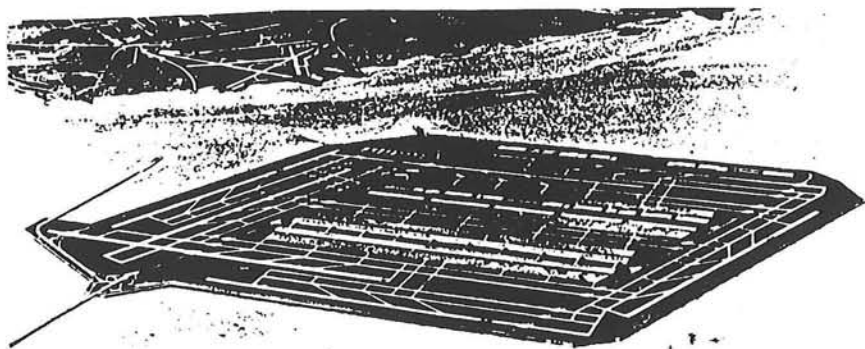
*figuur 5-5 Honolulu International's nieuwe startbaan, gebouwd op een koraalrif*

## KOPENHAGEN

In Denemarken was een offshore vliegveld gepland 6km uit de kust van Kopenhagen. Men ging uit van een kunstmatig eiland dat met 50 miljoen m<sup>3</sup> grond opgebracht zou worden op een zandbank. Het eiland, 40km<sup>2</sup> groot zou 1m boven het waterpeil komen te liggen, beschermd door een 3m hoge ringdijk.

Als het project voltooid was zou het 7, 4km lange startbanen tellen, met een maximale vervoerscapaciteit van 60 miljoen passagiers. Het eiland zou d.m.v. causeways dan wel tunnels verbonden zijn met zowel Kopenhagen als Malmö in Zweden.

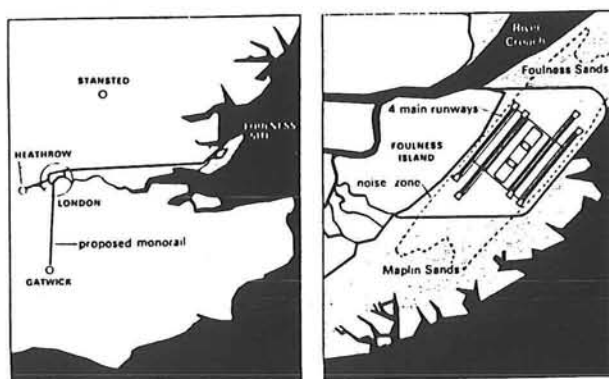
Het project is nooit uitgevoerd[35].



figuur 5-6 Kopenhagen, een tot vliegveld omgebouwde zandbank tussen Denemarken en Malmö in Zweden

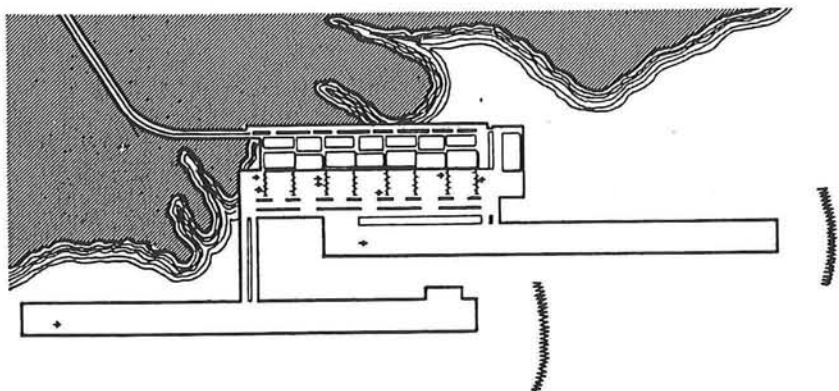
## LONDEN

Eind jaren 60 kreeg Londen naast Heathrow en Gatwick de behoefte aan een derde luchthaven. Een groot aantal lokaties is toen bekeken en twee kwamen eruit als meest kansrijk. Omdat Stansted, gelegen ten noorden van Londen en aanvankelijk de favoriete lokatie, nogal omstreden was vanwege de geluidsoverlast, zocht men naar een alternatief. Dit werd gevonden in de lokatie Foulness, op een zandbank nabij de monding van de Thames. Er werden drie varianten ingediend ter ontwikkeling van deze lokatie. Deze hebben veel met elkaar gemeen, behalve dat één voorstel nabij het vliegveld een uitgebreide havenontwikkeling voorzag, à la Europoort. Alle varianten gaan ervan uit dat er grote hoeveelheden zand opgespoten moeten worden om het geheel droog te houden[25,26].



figuur 5-7 lokatie Foulness

Eind 1969 werd een door de Shell gesponsorde studie voltooid naar een mogelijk drijvend vliegveld bij Foulness. Men ging ervan uit dat de terminals op de zandbank zouden komen te staan en dat de start- en landingsbanen drijvend zouden worden uitgevoerd. Het geheel zou met elkaar verbonden worden door beweegbare bruggen, zodat de startbanen met de zee op en neer konden bewegen.



*figuur 5-8 drijvend vliegveld bij Londen*

De banen zouden uitgevoerd worden in beton, met een cellenstructuur, waarbij de cellen opgevuld zouden zijn met polystyreen. Dit verklaart ook de sponsoring van Shell, leverancier van polystyreen. Het dek zou op fabrieksmatige wijze gefabriceerd worden. Identieke 100m<sup>2</sup> grote elementen zouden aan elkaar bevestigd worden d.m.v. voorspanning en zo het hele dek vormen.

De constructie zou beschermd worden door drijvende betonnen golfbrekers. Een opstaande rand, rond het vliegdek zou moeten voorkomen dat er water op de baan komt.

Berekend is dat de kosten van de drijvende variant nauwelijks hoger zijn dan die van de opgespoten variant[6,33,34,35].

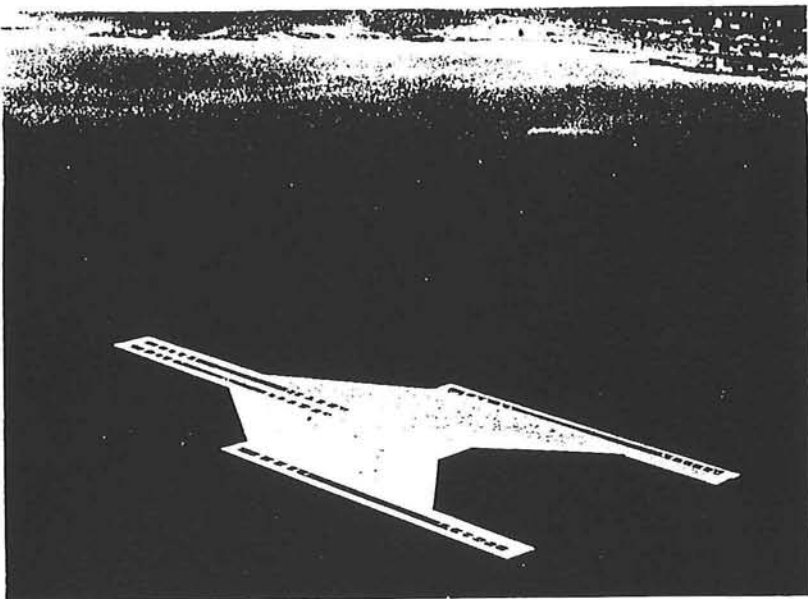
## LOS ANGELES

Voor het groeiende luchtverkeer bij Los Angeles is als oplossing geopperd, een offshore vliegveld dat op caissons gefundeerd zou worden.

Het vliegveld zou vier parallelle banen krijgen en geschikt zijn voor supersonisch vliegverkeer. Het moest mogelijk zijn

500.000 vliegbewegingen per jaar uit te voeren, met een piekcapaciteit van 140 vliegbewegingen per uur. Behalve de verkeerstoren bevinden zich alle ruimten onder het dek. De toestellen zouden te bereiken zijn via liften die van onder het dek omhoog komen. Duidelijk was nog niet hoe het vliegveld een verbinding met de vaste wal zou krijgen.

Vanwege de zeer hoge geraamde kosten, 6 miljard dollar en de negatieve invloed die het vliegveld zou hebben op de beleving van het strand, is het project niet verder onderzocht[35].



*figuur 5-9 artist's impression van een offshore vliegveld bij Los Angeles*

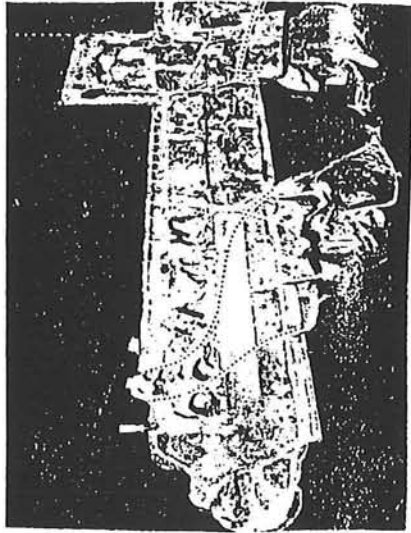
## MACAO

Een ambitieus plan voor een internationale luchthaven is aangekondigd door de Portugese kolonie Macao, gelegen op het vasteland van China bij Hong Kong. Het project houdt in dat een startbaan richting zee wordt aangelegd, vanaf de eilanden Taipa en Coloane. Het geheel zal worden verbonden met het vasteland door een 5.4 km lange brug en een snelweg, eindigend bij de Chinese grens.

De bevoegde autoriteiten verklaarden dat het nieuwe vliegveld, waarvan op dit moment de werkzaamheden al begonnen zijn, geopend zal worden in 1993.

## NAGASAKI

In Nagasaki is in 1975 het eerste Japanse offshore vliegveld verrezen. Het project kwam tot stand door het kleine eilandje Mino, voor de kust van Nagasaki met explosieven te ontgraven en het puin te gebruiken om de startbaan te realiseren. Deze zgn. 'rock-fill' vond plaats in 17m diep water. Van de 125ha die het vliegveld telt bevindt zich slechts 10% op het originele eiland. De rock-fill moest in 19 maanden gerealiseerd worden. Dit betekende dat op piekuren alleen al 110 dumptrucks op de bouwplaats aan het werk waren[39].



*figuur 5-10 Nagasaki*

## NEDERLAND

Begin jaren 70 werd verwacht dat Schiphol in 1985 zijn maximale capaciteit zou bereiken. Uitbreiding van Schiphol had een aantal nadelen waaronder de hinder voor de omgeving; in die tijd had Schiphol vier banen die alle op een dicht bevolkt gebied waren georiënteerd. Verder was de ondergrond te slap om de grote vliegtuigen te laten landen.

Er werden vijf mogelijke lokaties uitgekozen uit een lijst met 14 alternatieven. Twee lokaties lagen op het land en drie lokaties lagen offshore: voor de kust van Goeree, Walcheren en in het Markermeer.

Het offshore vliegveld zou aangelegd worden op een opgespoten

kunstmatig eiland.

De lay out van het vliegveld is zodanig gekozen dat de aanvliegeroutes zo min mogelijk boven het land liggen. Ook moet de lay out zodanig zijn dat de luchthaven in de toekomst eenvoudig uitgebreid kan worden.



figuur 5-11 lokatie Goeree

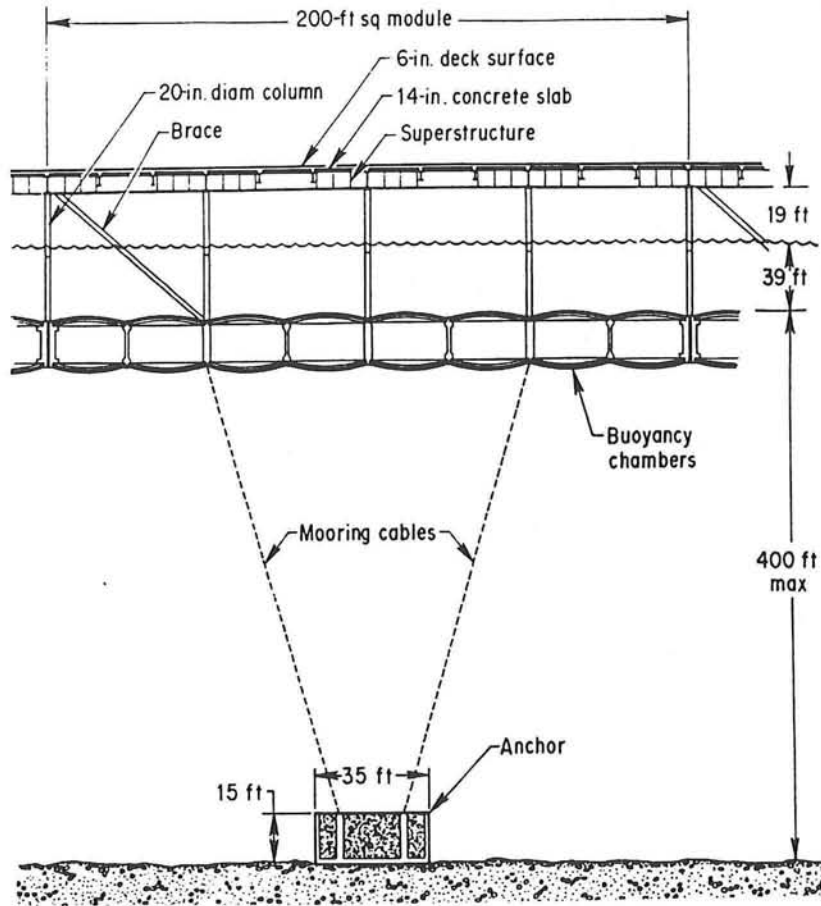
## NEW YORK

In New York loopt het vliegverkeer vast en is er op het land geen lokatie om een nieuw vliegveld aan te leggen.

La Guardia, een vliegveld gelegen in een van de zijarmen van de East River, diende uitgebreid te worden. Dit kon alleen met een op palen ondersteunde constructie gebeuren, omdat een dijklichaam de getijstroom zou beperken, waardoor de vervuiling ze zeer zou toenemen. Het project is van 1964 tot 1967 uitgevoerd[2].

Nog steeds kwam men capaciteit te kort en ook hier werd als oplossing een drijvend vliegveld aangedragen. De configuratie had de vorm van een 'H' en telde twee startbanen. Het geheel zou 12 meter hoge golven moeten kunnen weerstaan. Dit was mogelijk doordat het drijflichaam zich geheel onder water bevond, vrij van golfkrachten. Deze golfkrachten werken nu alleen nog maar op de ondersteuningsconstructie van het dek,

die nauwelijks weerstand biedt aan de golven. De constructie wordt in delen geprefabriceerd, ter plaatste tot één geheel gemaakt en verankerd aan de bodem[35].



figuur 5-12 drijvend vliegveld voor New York

In Raritan Bay is verder nog een plan gemaakt voor een vliegveld op een grondlichaam en bij Sandy Hook is een alternatief op palen uitgedacht[2].

In New York zijn niet alleen de grote vliegvelden overbelast. Ook de verbindingen ernaartoe zijn de grens van hun capaciteit gepasseerd. Als oplossing hiervoor werd het idee geopperd een serie van kleine cirkelvormige drijvende vliegveldjes aan te leggen in en rond de City van New York. Hierop zouden dan V/STOL vliegtuigen kunnen landen, die het spitsverkeer zouden kunnen ontlopen en de City weer toegankelijk kunnen maken[23].





figuur 5-13 drijvend V/STOL vliegveld in de haven van New York

#### ODESSA

Odessa, een havenstad aan de Zwarte Zee in de Sowjet Unie heeft voorgesteld een nieuwe luchthaven aan te leggen waarvan de startbaan in zee zou komen te liggen. Om ijsvorming te voorkomen zou het baanoppervlak uitgevoerd moeten met verwarming. Het is niet bekend hoe het er op dit moment voorstaat met de plannen en of deze kans van slagen maken.

#### OSAKA

Osaka heeft al lange tijd te kampen met een te geringe vliegveldcapaciteit. Al in 1966 had men daartoe het plan opgevat om een drijvend vliegveld aan te leggen. Daartoe was Kawasaki Heavy Industries Ltd. gevraagd een ontwerp in te dienen ter beoordeling van de autoriteiten.

Het vliegveld zou de vorm van een 'T' krijgen. De bovenkant van de 'T' zou gevormd worden door de 4km lange landingsbaan. Het andere deel zou, op het dek de hangars en het bezoekersplatform bevatten en onder het dek de passagiers-terminal en de brandstofopslag. Beide delen zouden 10m boven het water uitsteken. Het geheel zou opgebouwd worden uit geprefabriceerde stalen secties van 225 bij 50 meter die ter plaatste aan elkaar gelast zouden worden. Op dit geheel zou een 40cm dikke betonnen

laag worden aangebracht.

Het probleem van de corrosie dacht men aanvankelijk op te lossen met een teer-epoxy, maar later overwoog men een zinkcoating aan te brengen.

Om het geheel op z'n plaats te houden had men het aanbrengen van 100 ankers gedacht. De geraamde kosten bedroegen toen \$470 miljoen en de geschatte levensduur bedroeg slechts 10 tot 20 jaar afhankelijk van de toegepaste staaldikte.

De ingenieurs van het Ministerie van Transport, die hun fiat moesten geven waren nogal sceptisch, vandaar dat het project niet is uitgevoerd[21].

Twintig jaar later wordt het nieuwe vliegveld bij Osaka wel een feit. Nu is er echter geen sprake van een drijvend vliegveld, maar van een door de mens gemaakt eiland, 5km uit de kust van Osaka. Het complex wordt met de vaste wal verbonden door een brug, voor zowel rail- als wegvervoer.

Het vliegveld-eiland is ontworpen om jaarlijks een totaal van 25 miljoen passagiers te verwerken. Het is daarmee het eerste vliegveld ter wereld dat vanaf het begin af aan wordt ontworpen met een dergelijke capaciteit. De opening staat gepland voor 1993[16].



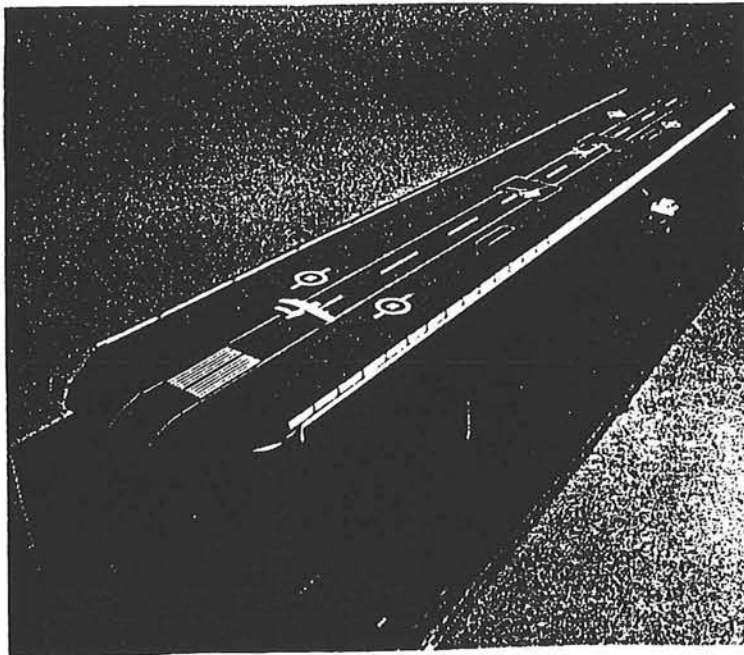
*figuur 5-14 artist's impression van het voltooide Kansai vliegveld in Osaka Bay*

## SEAFORTH STOLPORT

Het offshore engineering bedrijf Seaforth Maritime heeft een drijvend vliegveld ontworpen, gebaseerd op het semi-submersible principe om de constructie te vrijwaren van al te grote golfkrachten. De zgn. Seaforth Stolport is bedoeld als vliegveld voor vliegtuigen met een korte start- en landingsbaan, voor het offshore passagiersverkeer in het East Shetland basin.

De constructie bestaat uit 3 dekken. Het bovenste dek vormt een 600 bij 70m grote startbaan, het middelste wordt gebruikt voor de passagiersafhandeling en het onderste dek fungeert als hangar en werkplaats.

Het ontwerp is voorzien van aandrijfschroeven in het drijflichaam om het mogelijk te maken het vliegdek te richten op de wind[13].



*figuur 5-15 Seaforth Stolport*

## SEOUL

De luchthaven van Korea's hoofdstad Seoul, Kimpo International raakt in toenemende mate overbezet en kan niet goed uitbreiden. Daarom keek men uit naar een nieuwe lokatie. Een mogelijkheid biedt een eiland bij Inchon dat omgebouwd zou kunnen worden tot

een offshore luchthaven. Een andere biedt het eiland Cheju, waarvan voorgesteld is het om te bouwen tot een zogenaamde superhub op de route van Australasië naar Europa en de V.S. Het wordt verwacht dat de regering binnenkort een beslissing zal nemen.

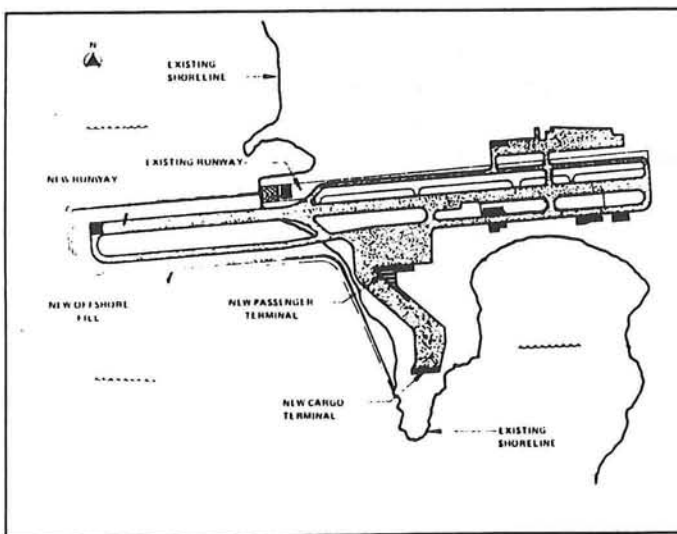
#### ST. THOMAS IN THE VIRGIN ISLANDS

Nadat het vliegveld op St. Thomas aanvankelijk als militair vliegveld in gebruik was, werd het na WO2 omgebouwd tot een burgervliegveld.

In 1978 werden jaarlijks 400.000 passagiers vervoerd, een aantal dat beslist zal zijn gegroeid. In 1977 zette men een proces in gang om de startbaan in zee-richting uit te breiden. Dit was noodzakelijk geworden nadat het vliegveld een zgn. 'Black Star rating' had gekregen van de internationale pilotenvereniging. Het vliegveld gold derhalve als uiterst onveilig en verlenging van de start- c.q. landingsbaan was de enige oplossing.

Het project zou gerealiseerd worden door een dijklichaam op te werpen, beschermd door 6 tot 10 tons rotsblokken tegen golfaanval.

Met deze uitbreiding zou het vliegveld aan de vraag kunnen voldoen tot in de 21<sup>e</sup> eeuw[41].



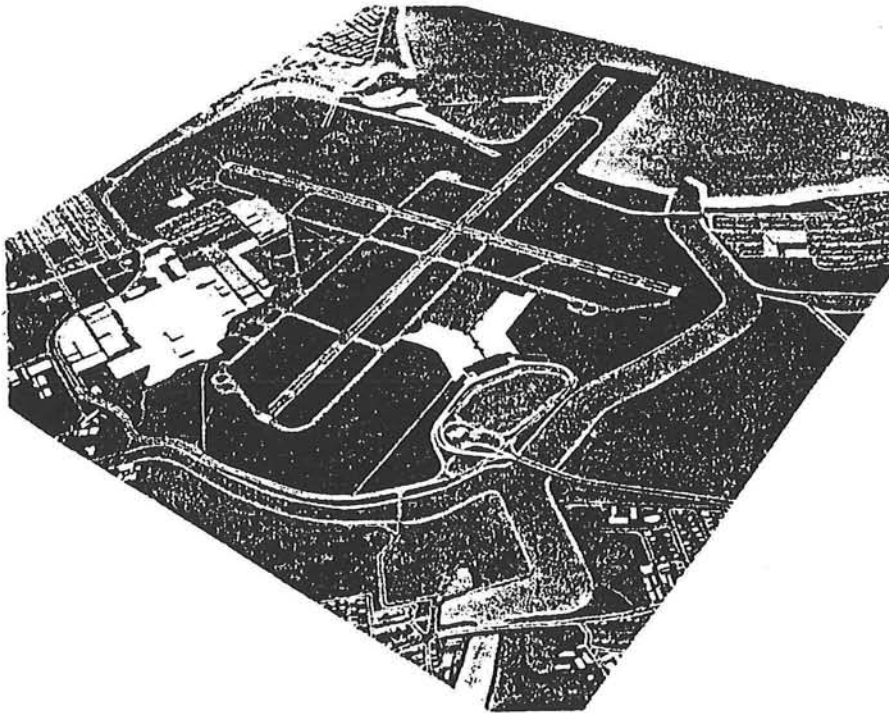
figuur 5-16 St. Thomas

**SYDNEY**

Om Sydney's internationale luchthaven Kingsford Smith Airport geschikt te maken voor supersonische vliegtuigen en het vliegveld aan te passen aan de groei van het luchtverkeer, is de noord-zuid baan met 2100 meter in de aangrenzende Botany Bay uitgebreid.

Dit is gebeurd in twee fasen. De eerste baanverlenging van 900 meter werd in 1969 voor 14,6 miljoen dollar gerealiseerd. Er was drie jaar gewerkt om de 3,8 miljoen m<sup>3</sup> zand op te spuiten. Dit leverde een landtong van 1700 bij 370 meter op.

In 1971 is de baan nog 1200 meter verder in het water gelegd, zodat ook boeing 747 Jumbo Jets op de bijna vier kilometer lange baan kunnen landen. De tweede fase kostte 26 miljoen dollar[32].

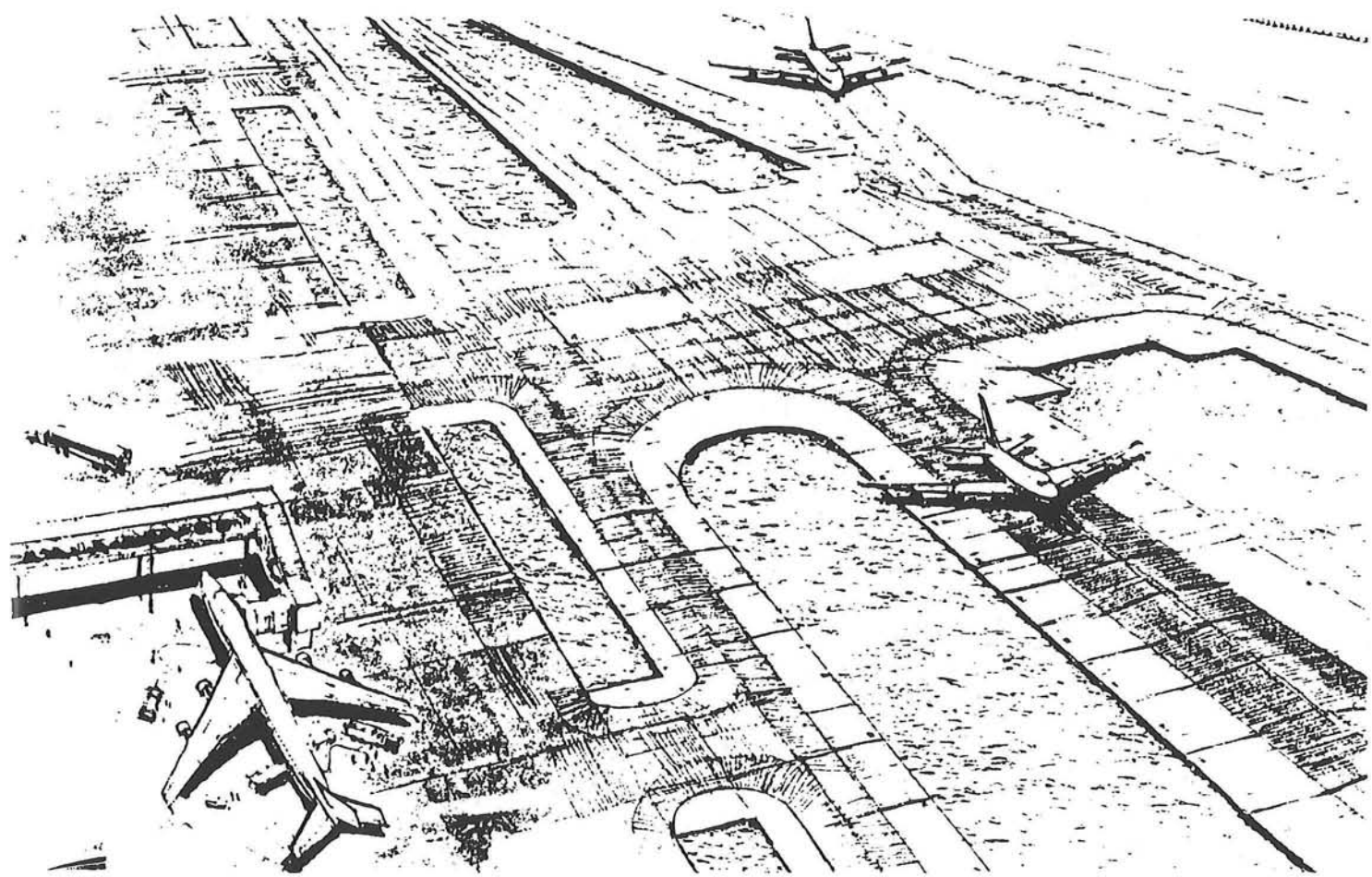


*figuur 5-17 uiteindelijke situatie van Sydney's internationale luchthaven na de voorgenomen uitbreidingen*

**TEL AVIV**

Tel Aviv, Israëls grootste stad kampte begin jaren 70 met onvoldoende mogelijkheden om het luchtverkeer te verwerken. Men kwam toen op de proppen met een voor Israël ongewoon idee, om een gedeelte van de zee voor Tel Aviv te dempen t.b.v. een nieuw vliegveld. Hoewel de Israëli in een grijs verleden al eerder de zee openlegden stond men aanvankelijk toch afwijzend tegenover het idee. Na veel gedebatteer stemde de politiek toch in met het plan en kon het project doorgang vinden.

Het vliegveld zou aangelegd worden in de vorm van een 'T', waarbij het dak van de 'T' evenwijdig aan de kust zou lopen en de belangrijkste startbaan zou zijn. De voet van de 'T' zou de verbinding met de vaste wal vormen en eventueel kunnen dienen als startbaan voor V/STOL vliegtuigen. Het project is in 1973 aanbesteed[6].



## CONCLUSIES

De hoofdconclusie die na voorgaande literatuurstudie gesteld kan worden is dat er weliswaar enige offshore vliegvelden zijn aangelegd, maar dat er nog nooit een drijvend vliegveld van enige importantie is gebouwd. De belangrijkste vraag is dan ook waardoor dit komt. De overheersende reden lijkt hier het kostenvraagstuk. Men stelt, omdat er nog nooit een drijvend vliegveld gebouwd is, dat het wel erg duur moet zijn.

Er zijn aan een drijvend offshore vliegveld natuurlijk hoge kosten verbonden. Deze dienen afgewogen te worden tegenover die van een niet drijvende offshore lokatie of een lokatie op het land. In de literatuur wordt echter de indruk gewekt dat er alleen zeer globale kostenberekeningen hebben plaats gevonden. De bewering dat drijvende vliegvelden per definitie excessief duur zijn is derhalve misplaatst. Voor het project "Seadrome" werd wel een grondige studie ondernomen en bleek dat de kosten van een drijvend vliegveld zelfs lager waren dan de aanleg van een opgespoten vliegveld daar ter plaatste.

Geconcludeerd kan worden dat offshore vliegvelden in veel gevallen een goed alternatief bieden voor een lokatie op het land en dat in bepaalde specifieke omstandigheden zelfs een drijvend vliegveld tot de mogelijkheden behoort en zowel technisch als financieel haalbaar is.





**LITERATUUR**

- 1 Offshore airport planning  
Ralph M. Parsons Company, Los Angeles  
Clearinghouse August 1969
- 2 Evaluation of construction methods for offshore airports  
Ralph M. Parsons Company, Los Angeles  
Clearinghouse August 1969
- 3 Project Bosphorus M.I.T. Report no. 21  
Cahn, David F. e.a.  
M.I.T. Press, Massachusetts juni 1970
- 4 Concrete sea structures; proceedings of the F.I.P. symposium  
Maxwell-cook, Paul V. (editor)  
Federation Internationale de la Precontrainte, Tblisi  
september 1972
- 5 Concrete floating and submerged structures  
Morgan, Rawland G.  
Concrete Society 1973
- 6 First international conference on offshore airport  
technology  
Bethesda, Maryland 29 april - 2 mei 1973  
American institute of aeronautics and astronautics
- 7 The outlook for Aeronautics, 1980-2000 + appendices A&B  
Hudson Inst., Inc.  
Nasa maart 1976
- 8 Planning and evaluation parameters for offshore complexes  
Sincoff, Michael Z. & Djani, Jaris S. (editors)  
Nasa, Washington D.C. september 1976
- 9 Commercial airport development in the next three decades  
Withington, H.W.  
University of Technology, Delft 24-10-'77
- 10 Industrie-eiland en de planologische aspecten  
Eindrapport  
Studiegroep planologie  
Stunet juli 1979
- 11 Het verkeersvliegtuig in de komende twintig jaar  
Wittenberg, Prof.ir.H.  
TH Delft 11 januari 1980
- 12 Airport administration  
Eno foundation for transportation inc., Connecticut  
Wiley, John R.

- 13 Applications for offshore concrete  
Report UR 20  
UEG, London februari 1982  
blz. 133 t/m 139
- 14 Airport Engineering second edition  
Ashford, Norman Wright, Paul H.  
John Wiley & Sons, New York april 1984
- 15 Unconventional aircraft concepts  
Sterk, F.J. Torenbeek, E. (editors)  
Delft University Press 1987
- 16 Airport technology international 1988  
Hudson, Maurice G. (editor)  
Sterling publications Ltd. London 1988
- 17 Mountbatten; The official biography  
Philip Ziegler  
blz. 208 t/m 211
- 18 Luchtverkeerstechniek  
collegedictaat e44  
TU Delft

#### TIJDSCHRIFT ARTIKELEN

- 19 Floating airport planned for trans-ocean travelling  
Engineering News Record  
16 mei 1929 blz. 794
- 20 Floating airport idea revived for postwar construction  
Engineering News Record  
20 mei 1943 blz. 56
- 21 Floating runways, Japan may anchor airport in Osaka Bay near  
kobe  
Engineering News Record  
16 juni 1966 vol. 176 blz. 156
- 22 Floating landing mats for aircraft  
Engineering  
01 juli 1966 blz. 9
- 23 Floating airport: key to inter-city traffic  
Bright, Cooper B.  
Astronautics and Aeronautics  
september 1967 blz. 46
- 24 Offshore airports - A solution to the airport problem?  
Civil Engineering-ASCE  
juli 1967 blz. 74
- 25 Airport in the sea for London?  
Engineering  
10 november 1967 blz.734

- 26 London's third airport: a guide to the sites  
Aeroplane  
6 maart 1968 blz. 11
- 27 Chicago plans airport in the lake  
Skinner, James E.  
American Aviation  
22 juli 1968 blz.39
- 28 An airport in lake Michigan for Chicago  
Pikasky, M. Corey, John B.W.  
Civil Engineering-ASCE  
september 1968 blz. 52
- 29 Jet airport in Boston harbor?  
Civil Engineering-ASCE  
september 1968 blz. 55
- 30 Long Beach Airport looks to sea  
Engineering News-Record  
20 februari 1969 blz. 34
- 31 Ohio legislates for lake Erie airport  
Engineering News-Record  
20 februari 1969 blz. 34
- 32 Sydney's airport reaches over the water to greet Jumbo Jets  
Engineering News-Record  
27 februari 1969 blz. 26
- 33 Seadrome  
Harris, A.J.  
Shell Aviation News  
1970 vol. 379 blz. 10
- 34 A floating airport for London?  
Jeffs, Eric  
Engineering  
16 januari 1970 blz. 57
- 35 Offshore airports - Panacea or problem?  
Zimmerman, Mark D.  
Machine Design  
9 juli 1970 blz. 20
- 36 Offshore floating terminals  
Harlow, Eugene H.  
Journal of the waterways  
Harbors and coastal engineering division, proceedings of the  
American Society of Civil Engineers  
augustus 1971
- 37 Vliegvelden op zee  
Reed, A.  
Polytechnisch tijdschrift  
5 januari 1972 blz. 25

- 
- 38 Offshore airport site planning  
Wheby, Frank T.  
Transportation engineering journal  
augustus 1974 blz. 543
- 39 Offshore airport sits on rock fill  
ENR  
10 april 1975 blz. 40
- 40 Cleveland mid-lake airport proposed  
World Dredging  
juni 1977 blz. 20
- 41 Looking offshore at the airport future  
Lord, Charles J.  
Astronautics and Aeronautics  
april 1978 blz. 45
- 42 News Flash  
Air & Cosmos Monthly  
mei 1989 blz. 18
- 43 Airports at sea  
International construction nr. 2  
februari '90
- 44 Ruimtevliegtuigen  
Nifterik, Gerard van  
PT Aktueel nr. 10  
7 maart 1990

