

WINDTURBINES IN ZEE

DEEL I:  
ALGEMENE GEZICHTSPUNTEN

Rapport Nr.: RenD 78206  
18 april 1978  
ir M.J.A. Koning  
ir W. Swart

## SAMENVATTING

Dit rapport is een deel van het onderzoek "Windturbines in zee", hetgeen een onderdeel is van de 2e fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie, dat gekoördineerd en beheerd wordt door het Energieonderzoek Centrum Nederland. Het onderzoek "Windturbines in zee", uitgevoerd door Rijn-Schelde-Verolme in samenwerking met Hydronamic, omvat drie taken:

Plaatsingsmogelijkheden buitengaats,

Selektie van de voorkeursplaatsing en

De buitengaatse plaatsing.

Dit rapport geeft de algemene gezichtspunten, zoals het doel, de motivering, de uitgangspunten, het werkplan en het tijdschema.

INHOUD DEEL I

Blad

SAMENVATTING

i

INHOUD

ii

1.0 INLEIDING

1-1

2.0 DOEL VAN HET ONDERZOEK

2-1

2.1 Motivering

2-1

2.2 Uitgangspunten

2-1

2.3 Beperkingen

2-2

3.0 OPZET VAN HET ONDERZOEK

3-1

3.1 Organisatie

3-1

3.2 Werkplan

3-1

3.3 Tijdschema

3-2

3.4 Relatieschema

3-2

3.5 Haalbaarheidskriteria

3-3

4.0 REFERENTIES

4-1

Bijlage 1 : Werkplan

Bijlage 2 : Tijdschema

Bijlage 3 : Relatieschema

Bijlage 4 : Omschrijving werkplan

## 1.0 INLEIDING

In november 1976 werd door Rijn-Schelde-Verolme via de stafafdeling Research and Development een voorstel ingediend bij het Energieonderzoek Centrum Nederland voor een bijdrage aan de 2e fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie. Deze bijdrage betrof een studie van de konsekventies van het benutten van windenergie voor elektriciteitsproductie op zee, meer in het bijzonder omvattende de volgende onderwerpen:

- onderzoek naar de plaatsingsmogelijkheden van windturbines in zee (dat wil zeggen hoe te plaatsen),
- onderzoek naar mogelijke vestigingsplaatsen voor buitengaatse windturbines (dat wil zeggen waar te plaatsen),
- onderzoek naar de konsekventies van het zeemilieu in verband met onderhoud en reparatie,
- oriëntatie in de mogelijkheden van energieopslag en -transport.

Voor de bestudering van deze onderwerpen en van de interactieve aspecten van de buitengaatse plaatsing van grote aantallen windturbines is uitgegaan van de bij Rijn-Schelde-Verolme aanwezige kennis en ervaring, opgedaan bij een aantal studies en ontwerpen, waarbij gelijksoortige aspecten als in het onderhavige onderzoek voorkwamen, als ook van de medewerking van Hydronamic B.V., het projektontwikkelingsbureau van de Koninklijke Bos-Kalis-Westminster Groep, waarmee reeds een aantal projecten zijn voorgesteld of uitgewerkt.

In de tijd, gelegen tussen de indiening van bovengenoemd voorstel en het van het Energieonderzoek Centrum Nederland ontvangen bericht van akkoord, werden de uit te voeren werkzaamheden nader belicht en enigszins verruimd in het aantal onderwerpen. Een overzicht hiervan is gegeven in het Werkplan (zie bijlage 1).

Hoewel de werkzaamheden later zijn aangevangen dan met de aanvangsdatum van de 2e fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie overeenkomt, wordt geen overschrijding van de afsluitdatum van deze 2e fase verwacht. De perioden voor de uitvoering van de in het Werkplan aangegeven werkzaamheden zijn weergegeven in het Tijdschema (zie bijlage 2) terwijl de onderlinge relaties zijn vastgelegd in een Relatieschema (zie bijlage 3). In het hierna volgende zal de filosofie met betrekking tot de aanpak van de bijdragen van Rijn-Schelde-Verolme aan de 2e fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie nader worden omschreven en waar nodig toegelicht.

## 2.0 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek is bedoeld om na te gaan welke konsekventies verbonden zijn aan de plaatsing van een groot aantal windturbines in zee.

## 2.1 MOTIVERING

Vanaf de aanvang van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie was het voor de deelnemers duidelijk dat het plaatsen van grote aantallen windturbines langs de Nederlandse kust van de Noordzee en langs het IJsselmeer planologisch vrijwel uitgesloten moet worden geacht. Het gaat hier immers om ongeveer 5000 windturbine-installaties waarvoor, afhankelijk van de plaatsingswijze, een aaneengesloten oppervlak van minstens 1000 vierkante kilometer moet worden gevonden. Vergelijken met het totale oppervlak van Nederland van ruim 40.000 vierkante kilometer is dit weliswaar niet zo groot ware het niet dat de windturbines bij voorkeur langs de kust moeten worden geplaatst. Het lijkt daarom een logische gedachte om het benodigde oppervlak daar te zoeken waar nog ruimte is, dus in zee en waar bovendien het windenergie-aanbod groot is.

## 2.2 UITGANGSPUNTEN

Uitgangspunten voor het onderzoek naar de konsekventies van de plaatsing in zee zijn:

- .1 Betreffende de windturbine:
  - Middelpunt van de rotor 80 m boven zeeniveau.
  - Vlucht van de rotor 50 meter.
- .2 Betreffende de energiekonversie:
  - Direkte omzetting in elektriciteit bij de windturbine-installatie.

.3 Betreffende het energietransport:

De in elektriciteit omgezette energie wordt via op de zeebodem gelegde kabels aan land gebracht.

.4 Betreffende energielevering:

Aangenomen minimale windsnelheid van 5 meter per seconde wegens inwendige wrijvingsverliezen en maximaal vermogen bij een windsnelheid van 15 meter per seconde en hoger.

### 2.3 BEPERKINGEN

Uiteraard volgen de beperkingen aan het onderzoek in belangrijke mate uit de beschikbare tijd en het beschikbare budget. Daarnaast kunnen beperkingen ontstaan uit de beschikbare kapabiliteiten zoals bijvoorbeeld ervaring en inzicht. Inhoudelijk echter zijn de beperkingen aan het onderzoek vooral gegeven door de hiervoor reeds genoemde uitgangspunten. Hoewel zelfs dan nog een groot aantal vrijheidsgraden overblijft, moeten toch als de belangrijkste voorwaarden worden genoemd:

- .1 De installatie moet konstruktief uitvoerbaar zijn, dat wil zeggen de windturbine moet blijven funktionieren ongeacht de krachten van de zee op de konstruktie. Dit betekent dat de uiteindelijke konstruktie zowel statisch als dynamisch voldoende sterk moet zijn. Dit mag niet leiden tot een onbetaalbare konstruktie.
- .2 De installatie moet op lokatie gebracht kunnen worden, eventueel in gedeelten en aldaar gemonteerd.  
Dit betekent dat de installatie zodanig moet zijn ontworpen dat de montage en de plaatsing op zee mogelijk moet zijn.
- .3 De installatie moet voldoen aan een optimale bouwprocedure die het mogelijk moet maken om een bouwprogramma van twee installaties per dag te realiseren. Alle onderdelen dienen dus zo ver mogelijk te worden gestandaardiseerd.

- .4 De installatie moet voldoen aan een zodanige kwaliteitsnorm dat een hoge graad van bedrijfszekerheid kan worden bereikt.  
Niettemin moet de installatie voor controle en onderhoud bereikbaar zijn.



### 3.0 OPZET VAN HET ONDERZOEK

#### 3.1 ORGANISATIE

De Minister van Economische Zaken heeft het Energieonderzoek Centrum Nederland belast met de uitvoering van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie, in het bijzonder met de coördinatie en het beheer daarvan.

Rijn-Schelde-Verolme Machinefabrieken en Scheepswerven NV (RSV) voert als kontraktant voor de 2e fase van het onderzoek een studie uit naar de konsekwenties van het benutten van windenergie voor de elektriciteitsproduktie op zee.

Met de uitvoering van de studie is de stafafdeling Research and Development belast in samenwerking met de ontwerpafdeling van de divisie Offshore terwijl door Hydronamic BV, het projektontwikkelingsbureau van de Koninklijke Bos-Kalis-Westminster Groep (BKW) wordt medegewerkt aan die activiteiten welke niet specifiek op het terrein van RSV liggen.

Uiteraard worden door RSV verder de noodzakelijke kontakten gelegd, die nodig zijn voor een goede uitvoering van het onderzoek, waarbij te denken valt aan de overige deelnemers aan de tweede fase van het Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie. In de bovengenoemde gevallen blijft RSV verantwoordelijk voor de rapportage als ook voor de financiële zaken.

De studie van de konsekwenties van het benutten van windenergie voor de elektriciteitsproduktie op zee, is opgesplitst in drie deeltaken, te weten:

- .1 Plaatsingsmogelijkheden buitengaats (10.1)
- .2 Selektie van de voorkeursplaatsing (10.2)
- .3 De buitengaatse plaatsing (10.3)

Ten behoeve van de uitvoering van deze deeltaken is een gedetailleerd werkplan opgesteld, alsmede een tijdschema en een relatieschema.

#### 3.2 WERKPLAN

Het werkplan is opgedeeld in een zevental activiteiten, die ieder op zich weer verdeeld zijn in een aantal subactiviteiten.

De in het werkplan (bijlage 1) vermelde activiteiten en subactiviteiten behoren als volgt tot de ondergenoemde deeltaken:

De activiteiten 1, 2 en 3 behoren tot deeltaak 1,

De activiteiten 4 en 5 en de subactiviteiten 7.1 en 7.2 behoren tot deeltaak 2,

De activiteit 6 en de subactiviteiten 7.3 en 7.4 behoren tot deeltaak 3.

Met het werkplan als basis worden in bijlage 4 de activiteiten en subactiviteiten omschreven om aan te geven aan welke aspecten gedacht wordt. Uiteraard kan in deze fase van het onderzoek een en ander alleen globaal omschreven worden, omdat gedurende de uitvoering van de studie aanpassing van de diverse aspecten moet kunnen plaatsvinden, vanwege mogelijke nieuwe ontwikkelingen in de technologie.

### 3.3 TIJDSHEMA

Het tijdschema, zoals weergegeven in bijlage 2, laat zien dat, hoewel later gestart is, geen tijdsoverschrijding van de tweede fase van het Nationaal Onderzoekprogramma verwacht wordt.

Eind april 1978 mag verwacht worden dat deeltaak 10.1 afgerond is, terwijl medio juli de afsluiting van deeltaak 10.2 verwacht wordt, met uitzondering van het korrosie-onderzoek.

### 3.4 RELATIESHEMA

In het relatieschema, bijlage 3, is de onderlinge samenhang weergegeven van alle in het werkplan genoemde subactiviteiten. Tevens is aangegeven, voor iedere subactiviteit, wanneer deze gestart moet worden alsmede wanneer de subactiviteit afgerond moet zijn volgens het tijdschema.

Uit het relatieschema blijkt dat de subactiviteiten 3.3 en 5.3 een evaluatie c.q. een toetsing van een deeltaak inhouden.

### 3.5 HAALBAARHEIDSKRITERIA

Voor deeltaak 1: "Plaatsingsmogelijkheden buitengaats" geldt dat uit een veelvoud van mogelijke draagkonstrukties voor grote windturbines en van mogelijke buitengaatse lokaties een beperkt aantal mogelijke vestigingsplaatsen wordt geselecteerd. Enerzijds moeten de draagkonstrukties bestand zijn tegen de statische en dynamische belasting van de wind en van de zee en anderzijds dienen de lokaties gekozen te worden op grond van een maximaal aanbod van windenergie. Daarbij moet worden voldaan aan de voorwaarden gesteld door de draagconstructie, terwijl de kosten van de plaatsing slechts indicatief van invloed mogen zijn.

Voor deeltaak 2: "Selectie van de voorkeursplaatsing" zullen de kosten een overwegende rol spelen. Daartoe dienen de ontwerpeisen van de constructie te worden opgesteld om een kostenbegroting mogelijk te maken voor zowel de bouw en de plaatsing van de constructie als voor het onderhoud ervan. Bovendien dient rekening te worden gehouden met de kosten voor herstel van de eventuele schade aan het ecosysteem.

Voor deeltaak 3: "De buitengaatse plaatsing" geldt het criterium dat de opbouw van de draagkonstrukties, als ook de gehele installatie, moet zijn gericht op een bouwprogramma van twee installaties per dag, terwijl ook de bouw- en onderhoudsfaciliteiten hierop moeten zijn afgestemd.

Voor de gehele studie van de consequenties van het benutten van windenergie voor de elektriciteitsproductie op zee gelden dus een aantal criteria, waarvan de belangrijkste zijn:

- De installatie moet constructief uitvoerbaar en "betaalbaar" zijn.
- De installatie moet gericht zijn op een bouwprogramma van twee installaties per dag.
- De installatie moet op lokatie gebracht kunnen worden, eventueel in gedeelten en aldaar gemonteerd worden.

- De installatie dient een hoge graad van bedrijfszekerheid te hebben.
- De lokatie dient zodanig te zijn, dat deze niet in strijd is met reeds bestaande of toekomstige planologische bestemmingen.
- De lokatie en de installatie dienen zodanig te zijn dat zo min mogelijke schade aan het ecosysteem ontstaat of kan ontstaan.

#### 4. REFERENTIES

1. Voorstel Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie,  
Projekt Voorbereidings Groep Windenergie, juni 1975.
2. Nationaal Onderzoekprogramma Windenergie,  
Voorstel voor de werkzaamheden in de 2e fase,  
Stichting ECN, januari 1977.
3. Voorstel tot bijdrage van RSV aan de 2e fase van het Nationaal Onderzoek-  
programma Windenergie,  
ir. W. Swart, november 1976.

WERKPLAN

- |      |  |         |
|------|--|---------|
| 1.   | <u>Hoe te plaatsen</u>                       |         |
| 1.1. | Enkelvoudige plaatsing                       |         |
|      | a) stalen konstrukties                       | RSV     |
|      | b) beton konstrukties                        | BKW     |
|      | c) beton + staal kombinaties                 | RSV/BKW |
| 1.2. | Groepsgewijze plaatsing                      |         |
|      | a) groepsmodellen                            | RSV     |
|      | b) "eiland" konstrukties                     | BKW     |
| 1.3. | Evaluatie van de plaatsing                   |         |
|      | a) overwegingen ten aanzien van de plaatsing | RSV/BKW |
|      | b) Beperkingen, invloeden en suggesties      | RSV/BKW |
| 2.   | <u>Waar te plaatsen</u>                      |         |
| 2.1. | Meteorologische voorwaarden                  | BKW     |
| 2.2. | Geotechnische voorwaarden                    | BKW     |
| 2.3. | Legale aspecten                              | RSV     |
| 2.4. | Planologische aspecten                       | RSV/BKW |
| 2.5. | Evaluatie van de lokatie                     | RSV/BKW |
| 3.   | <u>Eerste toetsing en selectie</u>           |         |
| 3.1. | Globale kostenindicatie                      | RSV/BKW |
| 3.2. | Energietransportmogelijkheden                | RSV     |
| 3.3. | Voorlopige selectie van de plaatsing         | RSV/BKW |
| 4.   | <u>Opstellen van de ontwerpisen</u>          |         |
| 4.1. | Belastingen op de konstruktie                | RSV/BKW |
| 4.2. | Ontwerpisenprogramma                         | RSV/BKW |
| 4.3. | Bouw- en onderhoudsaspekten                  | RSV/BKW |
| 5.   | <u>Tweede toetsing en selectie</u>           |         |
| 5.1. | Nadere kostenindicatie                       | RSV     |
| 5.2. | Overige invloeden op de selectie             | RSV     |
| 5.3. | Selectie van de voorkeurs plaatsing          | RSV     |

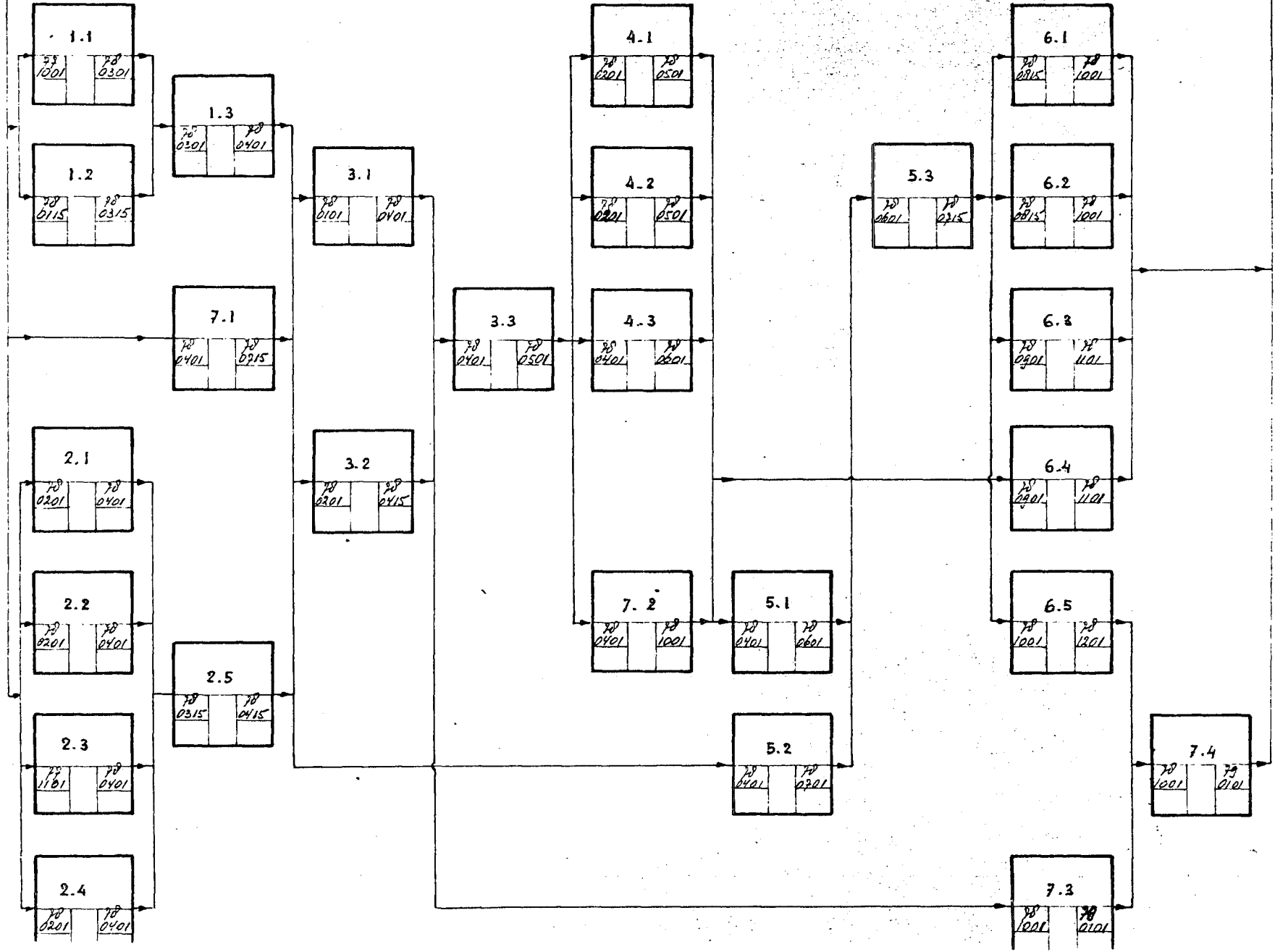
- 6. Procedures en specificaties
- 6.1. Omschrijving van de gekozen constructie RSV
- 6.2. Installatieprocedure in hoofdlijnen RSV
- 6.3. Benodigde bouwfaciliteiten RSV
- 6.4. Benodigde onderhoudsfaciliteiten RSV
- 6.5. Meet- en regeltechnische aspecten RSV
  
- 7. Diverse onderwerpen
- 7.1. Milieu aspecten RSV/BKW
- 7.2. Korrosieonderzoek RSV
- 7.3. Energie opslag en transport RSV
- 7.4. Werkgelegenheids aspecten RSV/BKW

Deel- taak	Tijd Akt. nr.	1977			1978								1978			1979				
		okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	jan	feb		
10.1	1	1																		
		2																		
		3																		
	2	1																		
		2																		
		3																		
		4																		
		5																		
	3	1																		
2																				
3																				
10.2	4	1																		
		2																		
		3																		
	5	1																		
		2																		
		3																		
10.3	6	1																		
		2																		
		3																		
		4																		
		5																		
10.2	7	1																		
2																				
3																				
4																				
10.3	Eindrapport																			



START  
77 07 01

END  
79 03 01



### 1. HOE TE PLAATSEN.

In geval van de enkelvoudige plaatsing wordt een inventarisatie uitgevoerd naar mogelijke draagkonstrukties, in staal en/of beton, al dan niet verankerd op de zeebodem, terwijl bij de groepsgewijze plaatsing bovendien wordt bekeken wat de gevolgen zijn, indien deze plaatsing onafhankelijk van de windrichting is dan wel voor een bepaald kwadrant van de windroos gebouwd wordt, in groepsmodellen of eilandkonstrukties.

### 2 WAAR TE PLAATSEN

Voor de lokatie van de grote aantallen windturbines worden de aspecten bekeken, welke van invloed kunnen zijn op de lokatie, waarbij legale aspecten en planologische aspecten (zoals scheepvaart en visserijbelangen etc.) en meteorologische, oceanografische en geotechnische voorwaarden een rol spelen. In geval van de meteorologische en oceanografische voorwaarden wordt gedacht aan bijvoorbeeld de windroos, de windsnelheid, het windprofiel en in geval van de geotechnische voorwaarden aan de ondergrond en toplagen van de Noordzee.

### 3 EERSTE TOETSING EN SELEKTIE

In dit geval wordt een globale kostenindicatie opgesteld, met als parameter de waterdiepte. Ten aanzien van de energietransportmogelijkheden zal gekeken worden op welke wijze dit kan geschieden in samenhang met de mogelijke koppeling op het reeds bestaande elektriciteitsnet.

### 4 OPSTELLEN ONTWERPEISEN

Hierbij zullen, nadat de voorlopige selectie van de plaatsing is geschied, de belastingen op de constructie (wind, stroming, golfslag) worden geïnventariseerd en aan de hand hiervan ontwerpeisen opgesteld worden voor de bovenbouw en de onderbouw en zullen eisen gesteld worden aan de ondergrond. Eveneens zullen de bouw- en onderhoudsaspekten worden bekeken, zoals de fabricage op het land, transport, consequenties van deze zaken op het ontwerp, een en ander in geval van enkelvoudige dan wel groepsgewijze plaatsing.

## 5 TWEEDE TOETSING EN SELEKTIE

Bij deze tweede toetsing en selectie worden de kosten nader bepaald van het meer definitieve ontwerp met daarin opgesloten het effect van de seriebouw, gerelateerd aan de aantallen te bouwen windturbines en de voorkeursplaatsing.

## 6 PROCEDURES EN SPECIFIKATIES

Binnen deze activiteit van het werkplan worden de specificaties van de toe te passen materialen opgesteld, de bouw en transport faciliteiten, bijvoorbeeld sleep- en afzinkmogelijkheden, omschreven.

## 7 DIVERSE ONDERWERPEN

Hierbij zullen milieuaspekten, zoals verontreiniging, verstoring van het bodemoppervlak, toekomstige ontwikkelingen op de Noordzee etc. worden bekeken, terwijl ten aanzien van het corrosieonderzoek de invloeden van zeewater en zeelucht, aanslibverschijnselen op de constructie geïnventariseerd zullen worden. Daarnaast zullen energieopslag en transportmogelijkheden onderzocht worden, waarbij gedacht wordt aan energiekonversie naar chemische energie als wel mechanische energieopslag dan wel andere vormen. Eveneens zullen de effecten op de werkgelegenheid aan de orde komen in de laatste fase van de studie.