



# Haalbaarheid onderzoek naar Operationele Planning voor Offshore Wind installatie projecten

Delft, August 31st 2016

K. Frankena, G.G. Heijkoop

# Haalbaarheid onderzoek naar Operationele Planning voor Offshore Wind installatie projecten

## Openbaar Eindrapport

**Ter attentie van:**

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland  
Croeselaan 15  
Postbus 8242  
3503 RE Utrecht

Version	Editor	Status	Remarks	Approved by
1.0	KF, GH	Released		Vincent de Gast

Project nummer: TEW0414016  
Project titel: Haalbaarheid van onderzoek naar operationele planning van Offshore Wind installatie projecten (OWIP)  
Penvoerder/Aanvrager: Systems Navigator Consultants  
Project periode: 1-1-2015 t/m 1-12-2015

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

## Inhoudsopgave

1.	Introductie .....	6
2.	Uiteenzetting logistieke stroom.....	7
3.	Het onderzoek.....	10
4.	Individuele plannings.....	12
4.1.1	Fabrikanten.....	12
4.1.2	Transportaannemer (FL→IH) .....	14
4.1.3	Installatiehaven .....	15
4.1.4	Transportaannemer (IH→IL) .....	16
4.1.5	Aannemer (installatie) .....	17
4.1.6	EPC-aannemer .....	18
4.1.7	Ontwikkelaar .....	18
5.	Technische oriëntatie .....	19
6.	Marktanalyse .....	23
6.1	Fabrikanten .....	23
6.1.1	Funderingen .....	23
6.1.2	Turbines .....	23
6.1.3	Kabels .....	23
6.2	Transportaannemers .....	23
6.2.1	Van Fabricagelocatie naar Installatiehaven.....	23
6.2.2	Van Installatiehaven naar Installatielocatie .....	23
6.3	Aannemers Installatie.....	24
6.3.1	Funderingen .....	24
6.3.2	Turbines .....	24
6.3.3	Kabels .....	24
6.4	Havens.....	24
6.5	Ontwikkelaars.....	24
6.6	Conclusie marktanalyse.....	25
7.	Conclusies .....	27
	Verwijzingen .....	28

## Lijst met afbeeldingen

Figuur 1: Schematische weergave van de logistieke stromen bij offshore windinstallatie .....	7
Figuur 2: Supply chain partijen .....	8
Figuur 3: Kostenplaatje offshore windinstallatie (NREL, 2013) .....	9
Figuur 4: Work Breakdown Structure van de haalbaarheidsstudie .....	11
Figuur 5: Monopile fabricageproces (Fugro) .....	12
Figuur 6: Transition Piece fabricageproces (Fugro) .....	13
Figuur 7: Gantt charts van drie achtereenvolgende planningen .....	22

## Lijst met tabellen

Tabel 1: Samenvatting aanpak planning verstorende factoren .....	21
Tabel 2: Voorbeeld van installatieprocessen .....	21
Tabel 3: Marktpartijen offshore windindustrie .....	25

## Samenvatting

De haalbaarheidsstudie is uitgevoerd voor onderzoek naar operationele planningsoplossingen voor offshore wind installatie projecten. In dergelijke projecten zijn veel partijen aanwezig die van elkaar afhankelijk zijn en/of hun planningen op elkaar dienen af te stemmen. Tijdens de uitvoering van een installatieproject ontstaan veel wijzigingen op de originele planning vanwege externe omstandigheden (weer, getijden, stroming etc.), onvoorziene omstandigheden (uitval van machines, mensen, schepen) en vertragingen. Hierdoor kan een vertraging aan het begin van de supply chain een enorme impact hebben op de vertraging van het project als geheel. Een operationele planningsoplossing kan mogelijk helpen om een integrale aanpak te bewerkstelligen voor de planning waardoor de gevolgen van een vertraging kunnen worden geminimaliseerd en planning zo realistisch mogelijk worden opgesteld. In dit onderzoek is gekeken naar hoe partijen momenteel plannen en wat factoren zijn die voor hen van invloed zijn op de planning. Ook is er gekeken naar de technische vereisten van een dergelijke operationele planning oplossing en onderzoek gedaan naar aanwezigheid van algorithmes en technieken die hiervoor kunnen worden gebruikt. Tenslotte is bij partijen geïnterviewd in hoeverre een dergelijke tool wenselijk is en of zij bereid zijn hierin te investeren en een operationele planning tool tijdens installatie projecten te gebruiken.

Onderzoek naar en ontwikkeling van een operationele planning oplossing is technisch haalbaar en ook de voordelen van een dergelijk systeem zijn bewezen. Er zijn echter grote barrières op het gebied van investering in een dergelijke oplossing en het benodigde gebruik door alle partijen in een installatie project om voordeel te bewerkstelligen. Dit brengt onzekerheid met zich mee, waardoor partijen twijfelen om te investeren.

## 1. Introductie

De offshore windindustrie is een relatief jonge markt. Het aantal voltooide projecten is nog beperkt en de markt kent snelle ontwikkelingen op het gebied van nieuwe marktpartijen en technologische ontwikkelingen. Daarnaast komen de windparken steeds verder op zee te liggen waardoor nieuwe uitdagingen ontstaan. Grote fundering- en turbineonderdelen en langere reizen naar de installatielocatie zorgen voor de nodige complexiteit in de operationele planning en uitvoer van offshore windinstallatieprojecten.

Er zijn veel logistieke activiteiten die parallel plaatsvinden en door verschillende partijen, die elk hun eigen planning volgen, worden uitgevoerd. Bovendien zijn er grote onderlinge afhankelijkheden tussen deze supply chain partijen. Vertraging bij een leverancier van een specifiek turbineonderdeel of tijdens transport heeft gevolgen voor alle daaropvolgende partijen en processen. Wanneer vertragingen optreden waardoor opleverdata in contracten niet nageleefd kunnen worden, kan dit leiden tot grote financiële compensatieregelingen. Het is momenteel lastig een integrale aanpak te hanteren bij het plannen van installatiewerkzaamheden.

Bij offshore transport en installatie bestaan vaak substantiële versturende factoren zoals slechte weersomstandigheden en gesloten sluisen. Omdat de veiligheid van de offshore bemanning voorop staat, kunnen onder bepaalde weersomstandigheden installatieactiviteiten niet uitgevoerd worden of moeten ze zelfs afgebroken worden en de bemanning het offshore park verlaten. Resultaat van deze verstoringen zijn langere installatieduur en oplopende kosten. De weersomstandigheden op zee kunnen slechts op korte termijn voorspeld worden. Naarmate verder in de toekomst wordt voorspeld, daalt de betrouwbaarheid van de voorspelling. Daarom moeten plannings constant bijgewerkt worden aan de hand van nieuwe weersvoorspellingen.

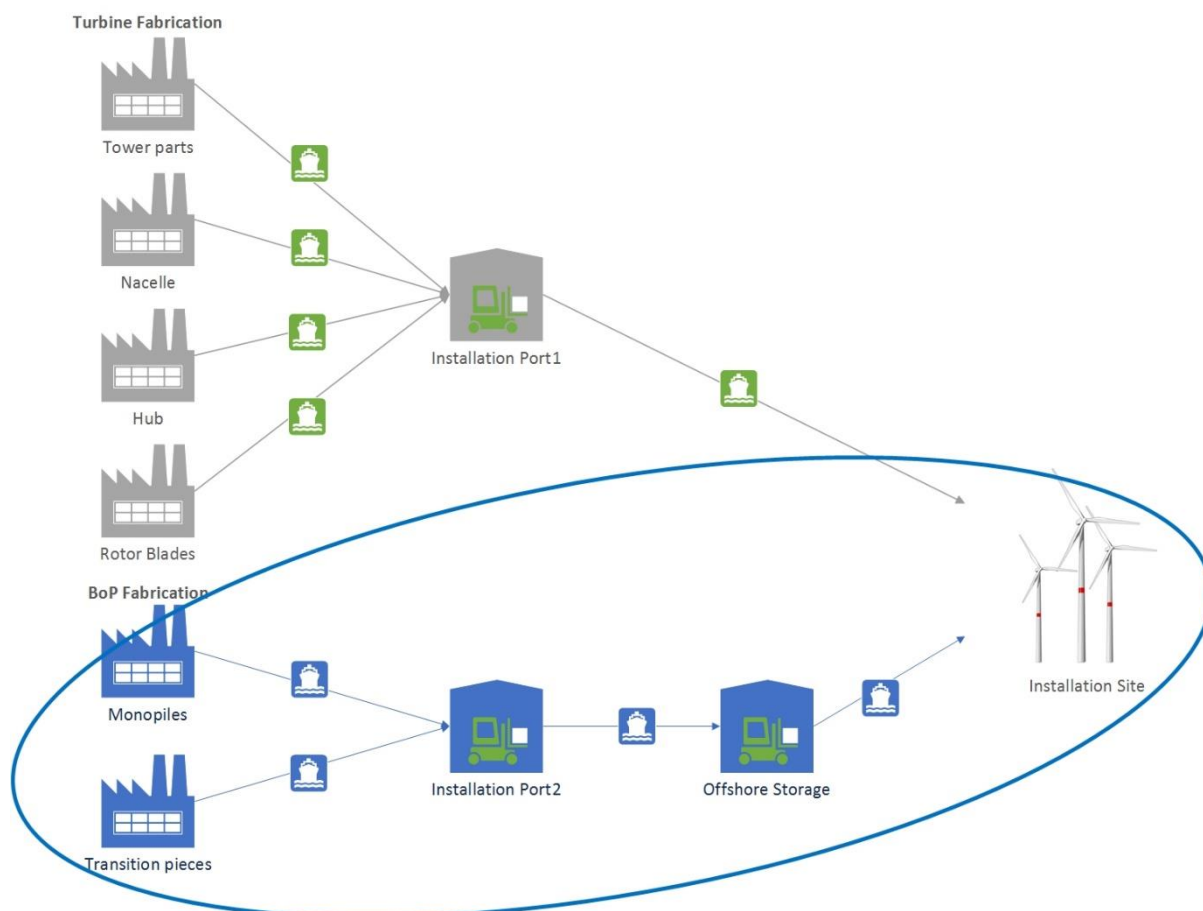
Naast vertragende factoren zorgen de dure, omvangrijke en unieke onderdelen voor complexiteit. Met name funderingen zijn zeer specifiek. De zeebodem is niet vlak over de hele installatielocatie, daarom hebben de funderingen verschillende afmetingen. Wanneer een fundering vertraagd is, kan niet simpelweg een andere fundering meegenomen worden, omdat de lengte niet overeenkomt met de vertraagde fundering. In zulke situaties moet de planning herzien worden om te bepalen welke processen er plaats moeten vinden.

De installatie van offshore windparken wordt doorgaans verdeeld in een aantal werkpakketten. Bijvoorbeeld de funderingen, turbines en de elektrische werken. Vaak kunnen de werkpakketten enkel achtereenvolgens worden uitgevoerd. Daarom worden afspraken gemaakt over opleverdata in contracten, die aangeven wanneer een partij zijn deel van het park af moet hebben. Wanneer de opleverdata in contracten niet nageleefd kunnen worden, moet de vertraagde partij dit meestal financieel vergoeden.

Vanwege de hierboven genoemde factoren is het plannen van installatiewerkzaamheden een complexe activiteit, waar veel kosten mee gemoeid zijn. In dit onderzoek ligt de focus op het plannen van deze installatiewerkzaamheden. Planners moeten inspelen op vertragingen en rekening houden met de beschikbaarheid van resources en voorraden. Daarnaast zijn de plannings van verschillende supply chain partijen sterk van elkaar afhankelijk. Informatie over levering- of aankomsttijden en verstoringen moeten tijdig tussen partijen gedeeld worden om goede afstemming te verzekeren.

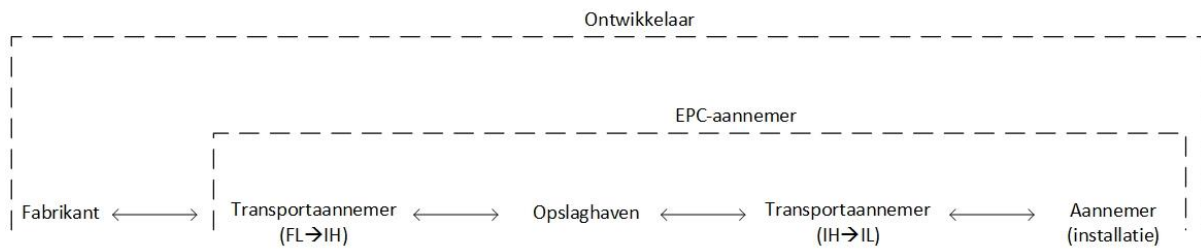
## 2. Uiteenzetting logistieke stroom

Om een beeld te scheppen van de partijen die betrokken zijn bij de installatie van een offshore windpark, wordt een specifieke logistieke stroom uiteengezet. Er wordt gekeken welke activiteiten partijen uitvoeren en hoe ze onderling op elkaar worden afgestemd. Omdat voor iedere logistieke stroom vergelijkbare stappen worden doorlopen in de supply chain, wordt in onderzoek enkel de partijen en logistieke stromen van de funderingen uitgewerkt (Figuur 1).



Figuur 1: Schematische weergave van de logistieke stromen bij offshore windinstallatie

Vooraf is het belangrijk onderscheid te maken tussen een multi-contractmethode en een EPC-contractmethode. Bij een multi-contractmethode huurt de ontwikkelaar aannemers in voor verschillende werkpakketten en is dus zelf verantwoordelijk voor de coördinatie tussen deze aannemers. Indien ontwikkelaars zelf niet over de kennis beschikken om een dergelijk project te coördineren, huren ze daar gespecialiseerde adviesbureaus voor in. Wanneer een EPC-contractmethode wordt toegepast, is de EPC-aannemer verantwoordelijk voor transport, opslag en installatie. Mogelijk huurt een EPC-aannemer sub aannemers in om bepaalde taken over te nemen. Dan moeten er met de sub aannemer afspraken gemaakt worden over onder andere verantwoordelijkheden, echter blijft de EPC-aannemer eindverantwoordelijk. In Nederland wordt, in tegenstelling tot in het buitenland, voornamelijk de EPC-contractmethode gebruikt. De verhoudingen tussen supply chain partijen zijn schematisch weergegeven in Tabel 2.



Figuur 2: Supply chain partijen

De offshore wind supply chain, zoals hier beschreven, begint bij de fabricage van funderingen. Dit wordt gedaan door gespecialiseerde fabrikanten. De fabricage vindt plaats in fabrieken, in het vervolg fabricagelocaties (FL) genoemd. Een fundering bestaat doorgaans uit een monopile en een transition piece. Overige varianten van funderingen zijn jacket, gravity based, drijvende of tripod/-pile funderingen. Afhankelijk van de installatielocatie wordt gekozen voor een van deze varianten. Vanwege de relatief eenvoudige installatie in ondiepe tot medium diepe installatielocaties worden monopiles veruit het meest gebruikt. In dit deel van de supply chain kunnen verstoringen optreden door veranderde leveringstijdstippen van bijvoorbeeld staal en door verstoringen in het fabricageproces.

Wegens vaak beperkte opslagcapaciteit op de fabricagelocatie, worden monopiles en transition pieces na fabricage meestal snel getransporteerd naar de installatiehaven (IH). Daar worden ze opgeslagen, tot ze opgehaald worden voor installatie. Het transport naar de installatiehaven wordt doorgaans uitgevoerd door een onafhankelijk, gespecialiseerd transportbedrijf. Afhankelijk van de fabricagelocaties en de omvang van de onderdelen worden onderdelen door middel van trucks of schepen getransporteerd. Tijdens dit transport kunnen planning verstoringen optreden door stromingen, getijden, sluisen en slechte weers- of verkeers-omstandigheden. Om leveringszekerheid te garanderen worden de onderdelen vaak ruim van te voren geleverd.

Op de installatiehaven huurt de ontwikkelaar/EPC-aannemer opslagruimte. Zij zijn onder andere verantwoordelijk voor het bijhouden en plannen van voorraden. Vaak worden op de installatiehaven onderdelen voor-geassembleerd, bijvoorbeeld het vastmaken van rotorbladen aan de hub of het assembleren van twee torenonderdelen. Vanuit de installatiehaven worden de fundering onderdelen verscheept naar de installatielocatie (IL). Beschikbaarheid van bijvoorbeeld kades of kranen kunnen voor verstoringen in de planning zorgen. Monopiles kunnen na transport naar de installatiehaven offshore opgeslagen worden, of direct geïnstalleerd. In geval van tussentijdse opslag worden Monopiles in bepaalde projecten drijvend vervoerd. De monopiles worden dan van te voren op de installatiehaven dicht gekapseld, waardoor ze blijven drijven, en worden ze verscheept naar de offshore opslaglocatie, meestal nabij de installatielocatie. Vervolgens worden de monopiles op hun aangewezen locaties geïnstalleerd.

Het transport naar de installatielocatie wordt doorgaans gedaan door een (EPC-)aannemer en kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. Bijvoorbeeld met de shuttle methode, waar het installatieschip zelfstandig de onderdelen ophaalt van de installatiehaven en transporteert naar de installatielocatie, of met de feeder methode, waar feederbarges onderdelen verscheppen tussen de installatiehaven en de installatielocatie. Wanneer de feeder methode wordt toegepast kan het transport door middel van de feederbarge worden uitbesteed aan een subaannemer. Dit heeft effect op het aantal lagen waarover gepland moet worden. Weersomstandigheden, getijden, sluisen en stromingen kunnen voor verstoring in de planning zorgen.



De installatie wordt uitgevoerd door een (EPC-)aannemer. De planning van deze (EPC-)aannemer moet worden afgestemd met een eventuele transporteur en met de installatiehaven. Omdat vertragingen op de installatielocatie de grootste financiële gevolgen geven, is de planning van het installatieschip doorgaans leidend. De National Renewable Energy Laboratory (2013) heeft een kostenplaatje van de installatie opgesteld (Figuur 3). Hieruit blijkt dat bijna de helft van de installatiekosten voortkomen uit het gebruik van installatieschepen. Planningen van overige partijen moeten zodanig worden afgestemd, dat de bezettingsgraad van het installatieschip zo hoog mogelijk is.

<b>Baseline BOS Cost Item</b>	<b>(\$/kW)</b>	<b>(\$/kWh)</b>
Development	118	0.0043
Ports and Staging	26	0.0009
Support Structure	800	0.0289
Electrical Infrastructure	498	0.0180
Installation Vessels	1240	0.0448
<b>Total</b>	<b>2682</b>	<b>0.0969</b>

Figuur 3: Kostenplaatje offshore windinstallatie (NREL, 2013)

Het installatiedeel in offshore wind projecten is het meest gevoelig voor vertragingen, omdat het ten eerste zeer gevoelig is voor weersomstandigheden en ten tweede afhankelijk van de voortgang van alle voorgaande activiteiten. Dit maakt dat het plannen van offshore windinstallatieprojecten complex is. De installatiewerkzaamheden op zee zijn voornamelijk gevoelig voor de windsnelheid en golfhoogte. Bij het plannen van deze werkzaamheden wordt gebruik gemaakt van weersvoorspellingen aangeleverd door weerinstituten. Met deze voorspellingen wordt in de dagelijkse planning er van uitgegaan dat de voorspelde weersomstandigheden voor de korte termijn, daadwerkelijk uitkomen.

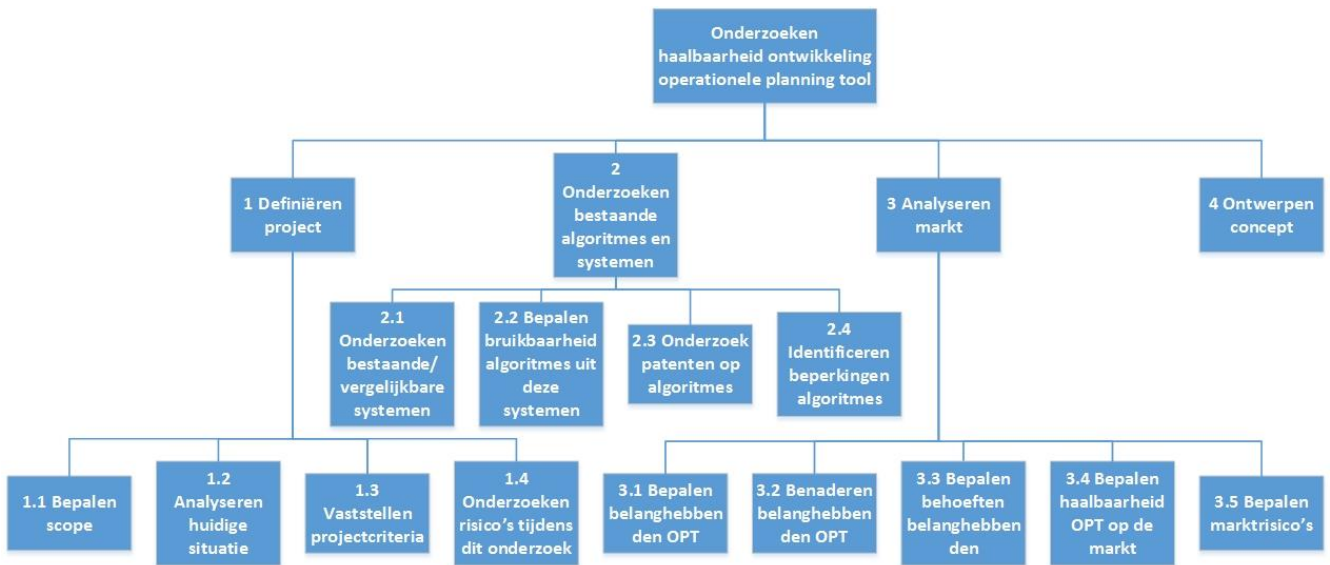
### 3. Het onderzoek

De hiervoor benoemde vertragingfactoren zorgen voor onzekerheden tijdens de ontwikkeling van offshore windparken, wat financiering duurder maakt. Ontwikkelaars zijn tot op heden sterk afhankelijk van overheidssubsidies. Met het streven om het aandeel duurzame energie in 2020 naar 14% van de totale energieopwekking te verhogen, wordt de druk op subsidies groter. Aan de andere kant bestaat de noodzaak om de ontwikkelingskosten drastisch te verlagen. De rijksoverheid heeft, middels het TKI Wind op Zee programma, als doel gesteld om de kosten voor offshore windenergie in 2020 met 40% te verlagen. Er zijn drie *Key Performance Indicators* (KPI's) opgesteld om de verbeteringen te toetsen, namelijk: kostenreductie, economische impact en implementatie en CO2 reductie. Dit onderzoek richt zich op de eerste KPI; kostenreductie en dan met name op ketenintegratie.

Het doel van dit onderzoek is om de haalbaarheid te bepalen van onderzoek naar en ontwikkeling van een operationele planning oplossing die planners van offshore windinstallatiewerkzaamheden ondersteunt. De tool moet een integrale planning ondersteunen die de individuele planning van de supply chain partijen op elkaar afstemt en daarbij naleving van opleverdata faciliteert en daarnaast de mogelijkheid geeft bij verstoringen de consequenties te minimaliseren. Het onderzoek kan worden opgedeeld in drie fases: literatuuronderzoek, technologische mogelijkheden en marktonderzoek. In Figuur 4 is een Work Breakdown Structure weergegeven, die globaal de activiteiten van dit onderzoek beschrijft.

Bij het onderzoeken van de technische mogelijkheden wordt gekeken naar welke technieken nodig zijn om een operationele planning tool te ontwikkelen en welke technieken er beschikbaar zijn. Hier wordt gekeken naar de technieken waarover Systems Navigator tot op heden beschikt en naar de algemene beschikbaarheid van technieken en naar de mogelijkheid om nieuwe technieken te ontwikkelen. Bij dit tweede onderdeel gaat het over de bruikbaarheid van de technieken en of er wel of geen patenten op rusten.

De interesse van de markt is een belangrijk onderdeel van de studie. Dit bepaalt of marktpartijen toegevoegde waarde zien in de beoogde planning oplossing en bereid zijn hierin te investeren. Daarnaast kunnen marktpartijen input leveren over knelpunten en tekortkomingen in het huidige systeem. Dit zal weer gebruikt worden in het onderzoeken van technische mogelijkheden. Tot slot zal een schatting worden gemaakt van de toegevoegde waarde van de beoogde planning oplossing. Dit al de doorslag geven of het ontwikkelen van een operationele planning tool als haalbaar wordt geacht.



Figuur 4: Work Breakdown Structure van de haalbaarheidsstudie

## 4. Individuele planningen

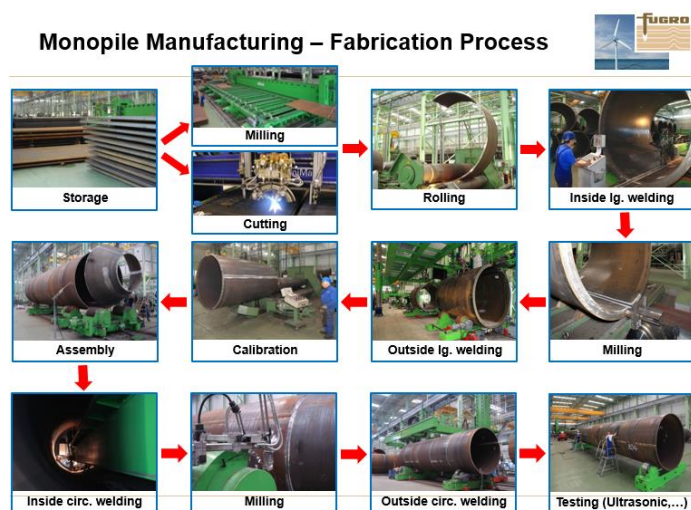
In dit onderdeel worden de planningen van de verschillende supply chain partijen apart belicht. De partijen die worden besproken en hun onderlinge relaties staan weergegeven in **Error! Reference source not found.** Per partij wordt uiteengezet welke werkzaamheden zij plannen, hoe zij dit doen en op basis van welke gegevens. Hieruit wordt vervolgens opgemaakt welke factoren nuttig zijn om mee te nemen in een operationele planning tool en welke informatie relevant is om met andere partijen uit te wisselen. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de informatie helpt de kans op het optreden van vertraging te verkleinen en wanneer het de gevolgen van een vertraging kan verkleinen. Daarnaast wordt bepaald of de relevante factoren stochastisch of deterministisch zijn. De verzamelde gegevens zijn verworven door desk research en interviews.

### 4.1.1 Fabrikanten

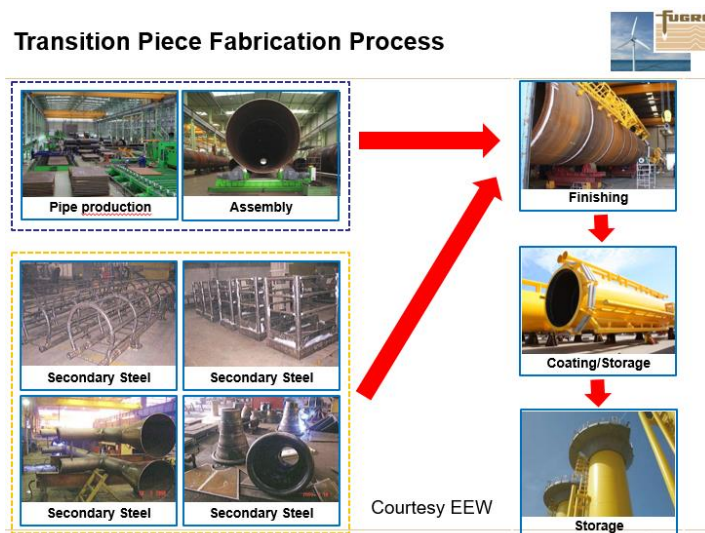
De fabricage van onderdelen heeft de minste directe raakvlakken met de uiteindelijke installatie. Dit betekent echter niet dat het geen invloed op de installatiewerkzaamheden uitoefent. Vertraging in het eerste segment van de supply chain kan doorwerken in alle daaropvolgende segmenten. Hier wordt ten eerste het fabricageproces van funderingen uiteengezet.

De planningen van de fabrikanten wordt bepaald door afspraken over de datum van levering van onderdelen. De ontwikkelaar of de EPC-aannemer van het windpark maakt met de fabrikant afspraken over de data waarop de funderingen geleverd moeten worden. Omdat het hier gaat om zeer grote en zware onderdelen en omdat de fabrikanten doorgaans over weinig opslagruimte beschikken, worden de onderdelen in batches geleverd. Het is mogelijk dat de fabrikant de verantwoordelijkheid krijgt voor het transport naar de installatiehaven, of dat de ontwikkelaar/EPC-aannemer verantwoordelijk is voor het transport. In het eerste geval wordt een datum afgesproken waarop de onderdelen op de installatiehaven geleverd moeten zijn. In het tweede geval wordt afgesproken wanneer de onderdelen gefabriceerd moeten zijn. Dit beïnvloedt de wijze waarop de planningen op elkaar worden afgestemd. In het eerste geval wordt een leverdatum met de ontwikkelaar/EPC-aannemer afgesproken en een afhaaldatum met het transportbedrijf. In het tweede geval wordt enkel een datum afgesproken wanneer de onderdelen gefabriceerd moeten zijn.

De activiteiten die plaatsvinden bij het fabriceren van een monopile zijn weergegeven in Figuur 5. Al deze activiteiten moeten in de planning worden opgenomen. Deze activiteiten vinden sequentieel plaats, daarom is het plannen van deze werkzaamheden niet erg complex. Ditzelfde geldt voor de fabricage van transition pieces weergegeven in Figuur 6.



Figuur 5: Monopile fabricageproces (Fugro)



Figuur 6: Transition Piece fabricageproces (Fugro)

Tijdens de fabricage van de onderdelen van een windpark kunnen allerlei verstoringen optreden. De verantwoordelijke voor vertragingen kunnen zowel de fabrikant zelf, als andere partijen zijn. Bijvoorbeeld de leverancier van subonderdelen die nodig zijn om de onderdelen van het windpark te fabriceren, wanneer het tijdstip van levering verandert moet de planning worden herzien. Ook kan het falen van werknemers en machines tijdens de fabricage voor verstoringen zorgen, in dit geval is de fabrikant zelf verantwoordelijk. Zoals in gesprek met Seaway Heavy Lifting (SHL), een transport- en installatieaannemer, naar voren is gekomen, “begint het klokje te lopen” wanneer leveringsafspraken uitlopen. Omdat het risico niet bij hen ligt, acteren ze niet actief om de vertraging in levering op te vangen, maar wordt dit volledig verhaald op de vertragende partij.

Wanneer er verstoringen of vertragingen optreden, die erin resulteren dat opleverdata niet nageleefd kunnen worden, heeft dit gevolgen voor daaropvolgende activiteiten. De plannings van zowel de fabrikant, de transporteur en de installatiehaven moeten worden herzien, aangezien deze met behulp van opleverdata aan elkaar zijn gekoppeld. Extra kosten die ontstaan door de vertraging worden vaak doorgerekend aan de vertragende partij.

Om de planning van de fabrikant op te stellen zijn een aantal factoren van toepassing. Ten eerste is de planning van de fabrikant afhankelijk van de levering van subonderdelen zoals secundair staal. Daarom zijn leveringstijden van subonderdelen een input in de fabricageplanning. Daartegenover staan de afgesproken tijdstippen waarop de onderdelen gefabriceerd moeten zijn. Tussen deze tijdstippen bestaat het tijdsbestek waarin de fabricage moet plaatsvinden. Beide leveringstijdstippen worden deterministisch bepaald. Ten tweede is de beschikbaarheid van resources van belang voor het opstellen van de fabricageplanning. Dit houdt de beschikbare werknemers en machines in, die de fabricage mogelijk maken. Ook deze factoren worden deterministisch bepaald. Ten slotte zijn de voorraden essentieel voor het opstellen van plannings. Om activiteiten uit te voeren zijn naast personeel en machines ook onderdelen nodig. In de planning moet dit worden meegenomen om tekorten in de voorraad te voorkomen. Fabricageplanningen zijn naar verwachting statisch. De kans op verstoringen is klein, waardoor het aanpassen van de planning weinig nodig is. De factoren die de planning bepalen zijn dus als volgt:

- Leveringstijden van subonderdelen
- Leveringstijden van gefabriceerde onderdelen
- Beschikbaarheid van resources
- Beschikbaarheid van voorraden

Zowel de leveringsafspraken, de beschikbaarheid van werknemers en machines en de voorraden zijn relevante factoren die nodig zijn voor een operationele planning tool. De leveringstijdstippen kunnen gebruikt worden als restricties waarbinnen de werkzaamheden uitgevoerd moeten worden. De werknemers en machines zijn resources die nodig zijn om de fabricage activiteiten uit te voeren. De voorraden/onderdelen zijn de in- en output van de te plannen activiteiten/processen.

#### 4.1.2 Transportaannemer (FL→IH)

Het plannen van het transport van onderdelen van de fabrikant naar de installatiehaven omvat het laden, transporteren en lossen van onderdelen. Dit wordt opgesteld doormiddel van ophaal- en leveringstijdstippen zoals afgesproken met de fabrikant en/of de ontwikkelaar/EPC-aannemer. De fabrikant moet beschikbaar zijn om de onderdelen op het juiste tijdstip te laden. De installatiehaven moet op het verwachte tijdstip van aankomst de resources beschikbaar hebben om de transporttrucks of –schepen te lossen. Deze gegevens bepalen de transporttijden van de transporteur.

Verstoringen die tijdens het transport kunnen optreden zijn vertragingen door drukte of sluizen en eventuele beschadigingen aan onderdelen, waardoor ze reparatie of vervanging vereisen. Vertragingen tijdens het transport naar de installatiehaven hebben, omdat ze meestal ruim van tevoren worden geleverd, weinig invloed op de werkelijke installatieactiviteiten. Desondanks hebben vertragingen waardoor contractdata niet nageleefd kunnen worden mogelijke financiële gevolgen wegens compensatieregelingen. Daarom is het noodzakelijk de impact van vertragingen zo klein mogelijk te houden en om de gevolgen tot een minimum te beperken. Vertragingen tijdens het transport zijn, afhankelijk van het contract, de verantwoordelijkheid van de partij die het transportbedrijf inhuurt of het transportbedrijf zelf. Indien hierdoor contractdata niet gehaald kunnen worden, wordt dit toegerekend aan de verantwoordelijke partij.

Eventuele vertragingen moeten direct worden doorgespeeld naar de installatiehaven, zodat deze zijn planning kan herzien om bij aankomst alsnog te kunnen lossen en daarmee de impact van de vertraging zo klein mogelijk te houden. Wanneer vertragingen vooraf voorzien kunnen worden, door bijvoorbeeld verkeersopstoppingen of slechte weersomstandigheden, moet dit eveneens worden gedeeld. Zo kunnen de installatiehaven en andere daaropvolgende partijen hier rekening mee houden en de kans op extra vertragingen, bijvoorbeeld wegens niet kunnen lossen bij aankomst, voorkomen.

De activiteiten worden ingepland aan de hand van de verwachte transporttijden en van vertragende factoren onderweg, zoals stromingen, getijden, sluizen en slechte weersomstandigheden. Al deze factoren zijn deterministisch bepaald. De afhaal en aflevertijdstippen komen voort uit afspraken. Transporttijden zijn te schatten aan de hand van de afstand en transportsnelheid en de openingstijden van sluizen en havens zijn gegeven. De weersomstandigheden zijn te bepalen uit weersvoorspellingen. De factoren die de transportplanning bepalen zijn dus als volgt:

- Afhaaltijdstippen
- Aflevertijdstippen
- Transporttijden
- Openingstijden sluizen/havens
- Weersvoorspellingen

Voor een operationele planning tool moeten deze factoren eveneens worden meegenomen. Afspraken over de tijdstippen waarop onderdelen worden opgehaald of geleverd moeten worden zijn input voor de planning. Daarnaast zijn de transporttijden nodig. Door de openingstijden van sluizen als restrictie mee te nemen kan worden gepland wanneer onderdelen getransporteerd kunnen worden.

#### 4.1.3 Installatiehaven

Op de installatiehaven huurt de ontwikkelaar/EPC-aannemer opslagruimte. Zij zijn verantwoordelijk voor het bijhouden en plannen van voorraden. In een assessment naar havens voor offshore windontwikkeling voor het Energy Departement van de VS door GL Garrad Hassan (2014), worden de volgende typen installatiehavens beschreven:

- Montage en opslag van offshore wind turbines en bijbehorende componenten;
- Fabricage en opslag van funderingen van offshore wind turbines;
- Montage en opslag van Balance of Plant infrastructuur;
- Basis voor ondersteuning van offshore installatie activiteiten;
- Basis voor ondersteuning van O&M (in dit onderzoek wordt de haven als basis voor ondersteuning van O&M activiteiten buiten beschouwing gelaten).

Het onshore liften, transporteren, laden en lossen, opslag en/of assemblage kan soms worden uitbesteed aan de installatiehaven. Bij eventueel opslagtekort bestaat doorgaans de mogelijkheid extra opslagruimte in te huren. Het kan zijn dat er meer huurders van de installatiehaven zijn, of de turbine onderdelen op dezelfde haven worden opgeslagen, waardoor er een andere partij ook gebruik maakt van de diensten van de installatiehaven. Planningen van deze partijen moeten daarom goed op elkaar worden afgestemd.

De installatiehaven plant de beschikbare opslagcapaciteit voor de gebruikers van de haven, de beschikbaarheid van resources als kades, SPMT's en kranen en de tijden waarop geladen en gelost wordt. Het bijhouden van voorraden wordt bijgehouden door de partij die opslagruimte inhuurt. De haven verhuurt enkel opslagruimte, tenzij anders afgesproken. De beschikbaarheid van ruimte en resources moet echter wel met de gebruikers worden gecoördineerd wanneer er meer partijen gebruik maken van de faciliteiten van de haven.

Laad- en lostijden van schepen en trucks vormen hier de input van de planning. Planningen moeten bij vertragingen tijdens transport worden herzien. Wanneer er geen vertragingen optreden zullen dagelijkse planningen volstaan. De factoren die de planning bepalen zijn dus enkel:

- Laad- en lostijden van gebruikers
- Beschikbaarheid van resources (SPMT's, kranen en kades)
- Beschikbaarheid van opslagcapaciteit

De haven moet eventueel resource uitval melden bij de partijen die hier gebruik van maken. Als kranen niet beschikbaar zijn, wanneer dit wel gepland is, moeten de gebruikers hun planning hierop aanpassen om de impact van deze verstoringen te beperken.

Voor een operationele planning tool zijn de beschikbaarheden van resources belangrijk. Wanneer een schip geladen moet worden, moet de planner weten of de kade en kranen beschikbaar zijn. Daarnaast is het relevant om de beschikbare opslagruimte bij te houden. Zo kan worden bepaald of de voorraad kan worden aangevuld. Ten slotte moet voor het laden en lossen van schepen rekening gehouden worden met de weersomstandigheden en getijden.

#### 4.1.4 Transportaannemer (IH→IL)

Voor het transport naar de installatielocatie kan een aparte partij wordt ingehuurd om onderdelen van de installatiehaven naar de installatielocatie te transporteren. Seaway Heavy Lifting doet dit vaak wanneer de feedermethode wordt toegepast. Zij plannen daarbij zelf de transporten van deze subaannemers in, zo is de planning volledig geïntegreerd.

Het transport van de installatiehaven naar de installatielocatie hangt af van de vraag naar onderdelen op de installatielocatie. Vertraging op de installatielocatie resulteert in de grootste financiële gevolgen en is dus leidend. Afhankelijk van de installatiewindows van het installatieschip, beoogde aankomsttijden van onderdelen op de installatielocatie en de verwachte transporttijd, wordt het tijdstip van vertrek vanuit de installatielocatie bepaald. Voor het berekenen van de verwachte reistijd moet rekening worden gehouden met de openingstijden van sluisen, stromingen en weersomstandigheden onderweg en op zee.

Het transport kan opgedeeld worden in het laden van het schip en het varen naar de installatielocatie. Voor het laden moet de beschikbaarheid van de kade en de benodigde kranen en personeel worden bepaald. Het transport is afhankelijk van openingstijden van eventuele sluisen. Bij zowel het laden als het transport wordt rekening gehouden met de weersvoorspelling.

Aangezien transportplanningen zeer gevoelig zijn voor weersomstandigheden, kunnen deze het best herzien worden na de levering van elke nieuwe weersvoorspelling. Hoe verder het weer vooruit wordt voorspeld, des te groter de onzekerheid. Daarom kunnen veel veranderingen optreden in de gemaakte planning. Deze veranderingen in de planning moeten met andere partijen en subprojecten gedeeld worden. De factoren die de planning bepalen zijn dus:

- De installatiewindows van het installatieschip (moment waarop het installatieschip beschikbaar is en de weersverwachting goed is)
- Vraag naar onderdelen (welke onderdelen en hoeveelheden)
- Beschikbaarheid onderdelen
- Beschikbaarheid resources (kranen, kades, schepen)
- Transporttijden
- Weersvoorspellingen
- Openingstijden sluisen en havens

Wanneer gebruik wordt gemaakt van een offshore tussenopslag, wordt een buffer gecreëerd. De kans dat het installatieschip stil komt te liggen door gebrek aan onderdelen wordt daarmee kleiner. Maar wanneer de weersomstandigheden op zee te slecht worden, moeten de onderdelen weer naar de haven of een andere veilige locatie worden teruggebracht. Dit brengt extra tijd en kosten met zich mee en heeft daarnaast invloed op de planning van andere partijen.

Een operationele planning tool heeft al deze gegevens nodig om een planning te faciliteren. Alle factoren zijn deterministisch te bepalen. De beschikbaarheid van resources wordt bijgehouden en de openingstijden van sluisen en de weersvoorspelling zijn input die restricties op de installatieplanning leggen.



#### 4.1.5 Aannemer (installatie)

De installatie aannemer is verantwoordelijk voor het installeren van onderdelen op de installatielocatie. Zoals eerder vermeld wordt dit werkpakket vaak gecombineerd met het transport vanaf de installatiehaven. De processen van bijvoorbeeld het installeren van een monopile fundering zijn als volgt:

1. Positioneren van het installatieschip.
2. Optillen van de monopile van het dek in een verticale positie.
3. Positioneren van de monopile naar de zeebodem. Het gewicht van de monopile zorgt voor de eerste indaling in de zeebodem.
4. Slaan of drillen van de monopile de zeebodem in.
5. Optillen van het transition piece.
6. Positioneren van het transition piece naar de reeds geïnstalleerde monopile.
7. Vastmaken van het transition piece aan de monopile. Dit wordt gedaan door te grouten of met behulp van bouten.
8. Installeren van overige onderdelen, zoals de j-tubes (buis waardoor de kabels naar de zeebodem worden geleid) en aanmeerplekken. Vaak zijn deze onderdelen vooraf op het transition piece geïnstalleerd.

Voor het plannen van deze processen moet rekening worden gehouden met de weersverwachting. De beschikbaarheid van het installatieschip is essentieel. Wanneer er een installatiewindow is, een moment waarop het installatieschip beschikbaar is en de weersverwachting goed is, kunnen installatie-activiteiten worden ingepland. Zoals eerder benoemt, zijn deze activiteiten leidend voor andere planningen en moeten installatiewindows dus gedeeld worden met voorgaande partijen. Dit moet ervoor zorgen dat de benodigde onderdelen, tijdens het installatiewindow, beschikbaar zijn. Samengevat zijn de belangrijke factoren voor het plannen van de installatiewerkzaamheden als volgt:

- Beschikbaarheid installatieschip
- Weersvoorspellingen
- Beschikbaarheid van onderdelen en resources op de installatielocatie

De activiteiten op het installatieschip hebben planningsaspecten op zich. Naast de hoofdkraan beschikken de meeste installatieschepen over zogenaamde auxiliary (hulp) kranen. Deze kunnen in combinatie met de hoofdkraan worden gebruikt om grote onderdelen te liften, om klemmen en grijpers te vervangen of om kleine onderdelen op het dek te positioneren. Beschikbaarheid van deze auxiliary kranen moet in de planning worden opgenomen.

In gesprek met Seaway Heavy Lifting (SHL) kwam naar voren dat het gebruikelijk is dat de ontwikkelaar milestones afspreekt met de aannemer over tijdstippen waarop onderdelen geïnstalleerd moeten zijn. Wanneer er meer installatiepakketten simultaan door verschillende aannemers worden uitgevoerd, bijvoorbeeld de installatie van funderingen en de installatie van de funderingen voor het substation, moeten ook de planningen van deze aannemers op elkaar worden afgestemd om elkaar niet in de weg te zitten en om ongelukken te voorkomen. Hoe meer activiteiten simultaan worden uitgevoerd, des te complexer het plannen wordt.

#### 4.1.6 EPC-aannemer

De EPC-aannemer is verantwoordelijk voor de *Engineering, Procurement (Aanbesteding) en Construction* van het windpark. Dit betekent dat zij verantwoordelijk zijn voor de engineering van het windpark en de installatie, onderaannemers inkoopt en de constructie uitvoert. Zoals Mark de la Haye, senior venoot bij het advocatenkantoor Ince & Co., vermeldt in een interview afgenomen door Wind Energy Update (2014), zijn er weinig bedrijven die zulke grote werkpakketten kunnen uitvoeren. Enkel grote, ervaren aannemers zijn ertoe in staat een EPC contract aan te nemen. Daarom wordt over het algemeen een multi-contractmethode gebruikt, waarbij de ontwikkelaar zelf werkpakketten verdeelt over aannemers. Nederland beschikt met Van Oord over één van de weinige partijen die over de capaciteiten beschikt om een EPC contract uit te voeren, daarom wordt in Nederland vaak de EPC-contractmethode gebruikt. Seaway Heavy Lifting heeft de ambitie om ook EPC contracten aan te nemen.

De werkzaamheden van een EPC-aannemer overkoepelen doorgaans het transport vanaf de fabrikant tot en met de installatie op zee. Hoewel de meeste risico's bij de EPC aannemer komen te liggen, is een voordeel dat wanneer de EPC-aannemer zo min mogelijk uitbesteedt, de planningen eenvoudiger op elkaar zijn af te stemmen. De EPC-aannemer plant dezelfde werkzaamheden als de transporteurs en subaannemers eerder beschreven. Omdat alle activiteiten door één partij georganiseerd worden, is de planning van deze activiteiten goed geïntegreerd.

#### 4.1.7 Ontwikkelaar

Ontwikkelaars overschaduwen het volledige installatieproject van fabricage tot installatie en zijn doorgaans ook verantwoordelijk voor de front-end development en exploitatie van het windpark. Daarnaast moeten ontwikkelaars het contracteren en de operationele afstemming tussen subaannemers coördineren.

In een paper door Neri et al. (2014) is onderzocht wat de mate van integratie in de offshore wind supply chain is. Het onderzoek geeft een exploratieve weergave van de mate van integratie van de offshore wind supply chain tot nu toe. Een grote factor die de mate van integratie bepaald is de mate van informatie-uitwisseling. Uit het onderzoek blijkt dat de mate van informatie-uitwisseling matig is. Dit leidt tot vertraging en verlies van informatie. De informatie wordt verzameld en gecoördineerd door de ontwikkelaar. Uit het feit dat ontwikkelaars de nog onderontwikkelde supply chain proberen te desintegreren om concurrentie te stimuleren, geeft het gebrek aan besef van de mate van integratie van de supply chain goed weer. De ontwikkelaar is de partij die de meeste invloed uit kan oefenen op de mate van integratie van de supply chain, daarom is dit besef een belangrijk punt. De auteurs concluderen dat er behoefte is aan direct contact en informatie-uitwisseling tussen supply chain partijen. Door één van de geïnterviewde partijen wordt een centraal documentatiesysteem, zoals in de civiele industrie wordt gebruikt, geopperd.

Wanneer de ontwikkelaar een EPC-contractmethode gebruikt, bezit de EPC-aannemer over het algemeen over de expertise om het project te managen. Maar wanneer een multi-contract methode wordt toegepast, moet de ontwikkelaar zelf de interfaces tussen de verschillende aannemers managen. Vaak hebben ontwikkelaars niet voldoende kennis om dit te bewerkstelligen, dus huren ze een extern adviesbureau in die hen hierbij assisteert. Een voorbeeld van zo een adviesbureau is K2 Management, een consultancybureau gespecialiseerd in windprojecten. Zij leveren onder andere advies over engineering, risk- & interfacemanagement en supply chain management. Omdat in Nederland voornamelijk met EPC contracten wordt gewerkt, wordt het coördineren van planningen voornamelijk door de EPC-aannemer uitgevoerd.

## 5. Technische oriëntatie

De literatuur kent weinig recent onderzoek naar de toepassing van 'decision support systems' in logistieke supply chains. Veel literatuur is inmiddels gedateerd. Een van de grootste en meest actieve onderzoekers op dit gebied is Michael Pinedo. Michael Pinedo behandelt in het boek *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services* (2005) welke planning- en scheduling-technieken in Supply Chains worden toegepast. Hier maakt Pinedo onderscheid in verschillende operatiekarakteristieken van planningsvraagstukken. Hij vergelijkt planningen aan de hand van de tijdshorizon waarover wordt gepland, de mate waarin planningen herzien worden en de product differentiatie. Hieruit komt naar voren dat voor planningsvraagstukken zoals in dit document beschreven; met een korte planningshorizon, een hoge mate van planningsherziening en hoge productdifferentiatie, men spreekt van scheduling in plaats van planning. De modellen die voor dergelijke vraagstukken gebruikt worden zijn Assembly Line Modellen en Workcell Modellen. De corresponderende oplossingstechnieken zijn Grouping and Spacing, Heuristics en Make-to-Order/Just-in-Time. Deze modellen worden doorgaans gebruikt voor fabricageprocessen. Toepassing op transportvraagstukken als de offshore windinstallatie is nog niet onderzocht.

Lütjen & Karimi (2012) beschrijven in een onderzoek naar een simulatie aanpak voor een 'port inventory control system' voor de installatie van offshore windturbines hoe omgegaan kan worden met onzekerheden in scheduling. Hier wordt benadrukt dat wanneer de planning te vaak wordt aangepast, het systeem 'nervus' wordt (Geffert et al., 2008). Hierdoor reageert het systeem niet efficiënt op de planningsaanpassingen. Ook gaan Lütjen & Karimi in op verschillende benaderingen van 'dynamic scheduling', namelijk: proactive scheduling, reactive scheduling en predictive-reactive scheduling. De bruikbaarheid van deze benaderingen is afhankelijk van de vertragende factoren. Hier wordt getoetst welke benadering gebruikt kan worden bij het plannen van offshore windinstallatiewerkzaamheden.

Proactive scheduling is toepasbaar indien er sprake is van een kwantificeerbare onzekerheid (Lütjen & Karimi, 2012). Hierdoor kan er een robuuste planning worden opgesteld die vertragingen beperkt. In dit planningsvraagstuk, zijn een aantal versturende factoren die proactief gepland kunnen worden. Bijvoorbeeld de reistijd van schepen met betrekking tot stromingen. De reistijd wordt bepaald aan de hand van de vaarsnelheid en de reisafstand. Door de vaarsnelheid terug te schroeven aan de hand van de gemeten tegenstroming, kan dit proactief worden gepland. Dit geldt ook voor de openingstijden van sluizen en havens. Deze zijn vooraf bekend en hier kan dus rekening mee gehouden worden bij het plannen van activiteiten.

Reactive scheduling wordt doorgaans gebruikt in complexe, dynamische omgevingen (Lütjen & Karimi, 2012). Als initiële planning wordt van de basisprocesduur uitgegaan. Pas wanneer een verstoring optreedt wordt ingegrepen door de planning aan te passen. Dit is toepasbaar voor het falen van werknemers of machines en drukte in verkeer of in de haven. Het is moeilijk te bepalen wanneer dit optreedt en is dus moeilijk in te calculeren. Daarom wordt de planning pas aangepast wanneer zulke verstoringen daadwerkelijk optreden. Hoewel de planning aanpassing doorgaans wordt geautomatiseerd door gebruik te maken van prioriteitsregels zoals kortste procestijd eerst, vroegste eindtijd eerst et cetera, zal in dit geval de planner zelf de prioriteitsbeslissingen moeten maken met behulp van ondersteunende algoritmes die de mate van vertraging doorrekenen.

Predictive-reactive scheduling is een combinatie van de voorgaande benaderingen (Lütjen & Karimi, 2012). Hier wordt een tijdsbuffer in de initiële planning gebruikt en wordt reactief gepland bij verstoringen. De processen die worden gepland vertegenwoordigen complexe installatieactiviteiten, daarom zijn de procestijden onzeker. Er worden tijds marges gebruikt om deze onzekerheden op te vangen. Daarnaast kunnen de processen tijdens de uitvoer alsnog dermate verstoord worden dat de tijds marge wordt overschreden, in dat geval moet er reactief gepland worden. In dit planningsvraagstuk is predictive-reactive scheduling ook bruikbaar met betrekking tot de weersomstandigheden. Omdat de weersomstandigheden op korte termijn goed te voorspellen zijn, kan de tijd dat een activiteit niet uitgevoerd kan worden in principe vooraf worden bepaald. Maar tijdens de uitvoer kan het weer alsnog omslaan, waardoor situaties ontstaan waarbij de planning alsnog aangepast moet worden. Deze combinatie van predictive en reactive plannen kan in dit geval worden toegepast.

Vervolgens bestaat de vraag wanneer de planning herzien moet worden. Sabuncuoglu & Kizilisik (2003) beschrijven drie policies voor planningsaanpassingen. In het geval van verstoringen door het falen van mensen of machines of door drukte in het verkeer of de haven, zal opnieuw gepland moeten worden wanneer een verstoring optreedt. Dit wordt een event-driven policy genoemd. In het geval van weersafhankelijke activiteiten is een periodic policy nodig. Om zo goed mogelijk op de weersomstandigheden in te spelen moet uit worden gegaan van de nieuwste weersvoorspellingen. Doorgaans worden deze periodiek geleverd, bijvoorbeeld elke 12 uur, dus moet na elke voorspellingslevering de planning worden herzien. Wanneer er toch onvoorziene weersomstandigheden plaatsvinden die installatiewerkzaamheden en planning verstoren, moet de planning alsnog worden herzien. Daarom zal wat betreft de weersomstandigheden een hybrid policy gebruikt kunnen worden, waarbij periodiek wordt gepland en bij bepaalde events eveneens de planning herzien moet worden.

Ten slotte bestaat de vraag hoe de planning herzien moet worden. Hiervoor hebben Ouelhadj & Petrovic (2008) onderscheid gemaakt tussen complete rescheduling en schedule repair. Bij complete rescheduling wordt de planning volledig herzien. Bijkomend risico is dat de planning instabiel wordt en dat het systeem "nervus" wordt. Bij schedule repair worden enkel delen van de planning herzien. Maar aangezien de afhankelijkheden van de activiteiten in dit planningsvraagstuk onderling sterk afhankelijk zijn, zal schedule repair vaak niet toepasbaar zijn. Daarom zal complete rescheduling meestal de voorkeur hebben. De versturende factoren die kunnen optreden tijdens de installatie van offshore windparken kunnen zoals in Tabel 1 weergegeven worden samengevat.

Mogelijke plannings-verstoringsen	Kans op optreden	Mate van impact	Planning benadering	Planning policy
<b>Fabrikant</b>				
Aangepaste levering	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
Falen mens of machine	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
<b>Transportaannemer (Fabricagelocatie → Installatiehaven)</b>				
Gesloten sluisen	Deterministisch	Deterministisch	Proactive	Hybrid
Stromingen	Deterministisch	Deterministisch	Proactive	Hybrid
Drukke in verkeer of havens	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
Weersomstandigheden	Deterministisch	Stochastisch	Predictive-reactive	Hybrid
Falen mens of machine	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
<b>Installatiehaven</b>				
Aangepaste levering	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
Weersomstandigheden	Deterministisch	Stochastisch	Predictive-reactive	Hybrid
Falen mens of machine	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
<b>Transportaannemer (Installatiehaven → Installatielocatie)</b>				
Gesloten sluisen	Deterministisch	Deterministisch	Proactive	Hybrid
Stromingen	Deterministisch	Deterministisch	Proactive	Hybrid
Drukke in verkeer of havens	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
Weersomstandigheden	Deterministisch	Stochastisch	Predictive-reactive	Hybrid
Falen mens of machine	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven
<b>Aannemer installatie</b>				
Aangepaste levering	Deterministisch	Deterministisch	Reactive	Event-driven
Weersomstandigheden	Deterministisch	Stochastisch	Predictive-reactive	Hybrid
Falen mens of machine	Stochastisch	Stochastisch	Reactive	Event-driven

Tabel 1: Samenvatting aanpak planning versturende factoren

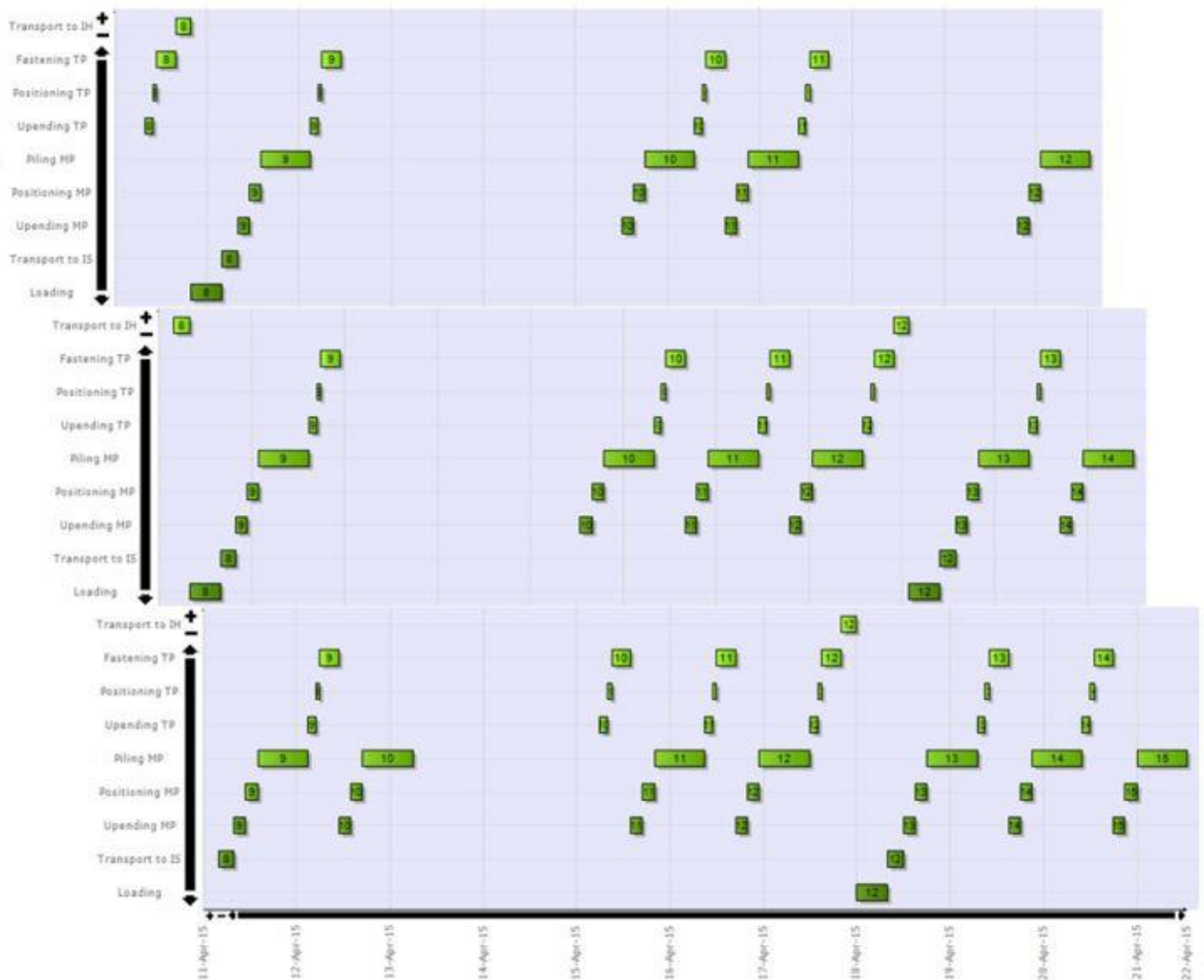
Welke algoritmes van toepassing zijn is sterk afhankelijk van de vormgeving van de uiteindelijke tool. Hoe de tool vorm te geven moet worden bepaald in samenwerking met marktpartijen. Zo krijgt de tool functies die goed zijn afgestemd op de eisen van de uiteindelijke gebruikers. Systems Navigator beschikt over de interne kennis en capaciteit om de nodige algoritmes te ontwikkelen. Een voorbeeld van relevante kennis waar Systems Navigator al over beschikt is de toepassing van weersvoorspellingen in simulatiemodellen. Daarbij is gebruik gemaakt van planningstechnieken die in andere offshore windinstallatietools van Systems Navigator gebruikt worden.

Het opstellen van een planning gebeurt aan de hand van processen. Ieder proces representeert een activiteit. Een voorbeeld van een lijst van processen is weergegeven in Tabel 2.

Process description	Process ID	Duration (hour)	Predecessor	Cycle ID
Loading Installation Vessel	1	9	-	1
Travel to Installation Location	2	4	1	2
Lifting MP	3	1	2	2
Positioning MP	4	1	3	2
Piling MP	5	2	4	2
Lifting TP	6	1	5	3
Positioning TP	7	1	6	3
Fastening TP	8	2	7	3
Travel to Installation Harbour	9	4	8	4

Tabel 2: Voorbeeld van installatieprocessen

Voor ieder proces wordt een tijdsduur bepaald. Daarnaast heeft ieder proces een specifiek voorgaand proces en kan dus enkel starten wanneer dit voorgaande proces voltooid is. Ten slotte moeten cycli worden gedefinieerd. Een cyclus is een achtereenvolgende reeks van processen die niet onderbroken mag worden. Aan de hand van deze processen en de weersvoorspelling wordt een planning opgesteld. Vervolgens worden de processen in de eerste 12 uur van de planning uitgevoerd. Na deze 12 uur wordt de planning volledig herzien aan de hand van een nieuwe weersvoorspelling. In Figuur 7 staat een voorbeeldweergave van de bovenstaande processen. Hier zijn drie planningsperiodes onder elkaar weergegeven. Wat opvalt is dat het aantal ingeplande processen in iedere herziende planning meer wordt. Dit geeft goed weer hoe gevoelig de planning is voor weersvoorspellingen en hoe deze voorspelling over tijd kan verschillen. Deze technieken geven een indicatie van de functies waarover de operationele planning tool kan beschikken.



Figuur 7: Gantt charts van drie achtereenvolgende planningen

## 6. Marktanalyse

Om een beeld te scheppen van de interesse van marktpartijen in een operationele planning tool moet er zicht zijn op het scala van potentiële belanghebbenden. Hier wordt een analyse gedaan van de marktpartijen die de rollen die in hoofdstuk 4 zijn beschreven kunnen innemen. Hoewel dit onderzoek zich met name richt op de Nederlandse offshore windmarkt, worden ook marktpartijen uit het buitenland in de analyse meegenomen, omdat deze zich ook op de Nederlandse markt kunnen bewegen. De marktpartijen staan samengevat in Tabel 3.

### 6.1 Fabrikanten

#### 6.1.1 Funderingen

De fabricage van onderdelen is sterk ontwikkeld in België, Denemarken, Duitsland en Nederland. De grootste fundering fabrikanten zijn het Deense Bladt Industries, het Duitse EEW Special Pipe Constructions GmbH en het Nederlandse SIF Group. Daarnaast is het Belgische Smulders/Iemants Group met een eigen werf in Vlissingen een grote speler. Deze partijen zijn gespecialiseerd in de fabricage van monopiles, jackets en transition pieces.

#### 6.1.2 Turbines

Voor de fabricage van de windturbines, inclusief torens en bladen, zijn Siemens uit Duitsland en Vestas uit Denemarken. Samen bezetten zij zo'n 85% van de Europese markt (EWEA, 2015). Daarnaast zijn er een aantal partijen uit de onshore windmarkt die toetreden of de offshore windmarkt, namelijk Areva, Bard, GE, Gamesa, Samsung, Senvion en WinWind. Areva en Gamesa zijn in 2015 een 50-50 joint venture aangegaan om te kunnen concurreren met Siemens en Vestas.

#### 6.1.3 Kabels

De kabels zijn onder te verdelen in Array kabels, die van de turbines naar het offshore substation lopen en de Export kabels, die van het substation naar het land lopen. Grote fabrikanten van Array kabels zijn Nexans (Frankrijk), Prysmian (Italië), JDR (UK) en Parker Scanrope (UK). Nexans heeft ook een vestiging in Nederland en heeft eerder projecten in Nederland uitgevoerd. Export kabel fabrikanten zijn Prysmian (Italië), NKT (Duitsland), JDR (UK), Nexans (Frankrijk) en Parker Stanrope (UK). Hier zijn Prysmian en NKT de partijen die eerder in Nederland projecten hebben uitgevoerd.

### 6.2 Transportaannemers

#### 6.2.1 Van Fabricagelocatie naar Installatiehaven

Het transport van de fabrikant naar de installatiehaven gebeurt vaak over land. Met name het transport van de bladen is een complexe activiteit, omdat deze niet in stukken opgedeeld kunnen worden. Gespecialiseerde transportbedrijven met grote carriers en racks moeten de onderdelen naar de installatiehaven transporteren. Mammoet is een grote partij op het gebied van transport over land. Voor transport over het water zijn Mammoet en Jumbo Shipping gespecialiseerd in onder andere transport voor offshore windonderdelen. Beide bedrijven zijn gevestigd in Nederland.

#### 6.2.2 Van Installatiehaven naar Installatielocatie

Dit deel van de supply chain is afhankelijk van de organisatie van het project. Wanneer de shuttle methode wordt toegepast, wordt het transport naar de installatielocatie geregeld door de EPC-aannemer of door de aannemer verantwoordelijk voor installatie. Wanneer de feeder methode wordt toegepast, wordt vaak een externe partij ingehuurd om onderdelen te transporteren naar de installatielocatie. Partijen uit Nederland die dit soort werkpakketten aannemen zijn Mammoet, Jumbo Shipping en Seaway Heavy Lifting.

## 6.3 Aannemers Installatie

### 6.3.1 Funderingen

In Nederland is Van Oord de grootste partij die funderingen installeert. Tot op heden is Van Oord, door de overname van Ballast Nedam, verantwoordelijk voor alle fundering installaties in Nederland. In een aantal gevallen is dit in samenwerking geweest met Mammoet in de vorm van een Joint Venture. Daarnaast heeft het Nederlandse Seaway Heavy Lifting ook de capaciteiten om offshore funderingen te installeren. Buitenlandse partijen die funderingen installeren zijn onder andere Bilfinger Construction (De), RWE Innogy (De), A2 Sea (Dk), Seajacks (UK), GeoSea (UK).

### 6.3.2 Turbines

Uit Nederland is Van Oord de grootste aannemer van turbine installatiepakketten. Daarnaast heeft Mammoet de (shallow water) turbines voor het Westermeerwind windpark gebouwd. De enige buitenlandse partij die turbines in Nederlandse wateren heeft geïnstalleerd is A2 Sea uit Denemarken. Andere buitenlandse partijen die turbines installeren zijn onder andere MPI Offshore, onderdeel van het Nederlandse Vroon BV., Seajacks (UK), RWE Innogy (De) en A2 Sea (Dk).

### 6.3.3 Kabels

Er zijn twee Nederlandse partijen die zowel Array als Export kabels installeren: Van Oord en VBMS. Daarnaast heeft het Noorse Oceanteam Power en Unbilical ervaring op de Nederlandse offshore windmarkt. Overige buitenlandse partijen die kabel installatiepakketten aannemen zijn onder andere ABB (De), SIEM Offshore Contractors (De), Jan de Nul Group (Be), DeepOcean (UK).

## 6.4 Havens

Nederland beschikt over een aantal havens die ruimte bieden voor offshore windprojecten. De meest gebruikte haven is Vlissingen. Hier liggen de BOW terminal en de Verbrugge terminals, beide zijn ervaren in offshore windprojecten. In de nieuwe Maasvlakte in Rotterdam komt een terminal uit een samenwerking tussen SIF Group en Verbrugge. Op deze terminal zullen funderingen gefabriceerd worden voor de offshore windparken en de olie en gas industrie. Dit zal de positie van de Rotterdamse haven op de offshore windmarkt versterken. De Eemshaven in Groningen is gezien zijn ligging erg interessant voor de windenergiemarkt. Er zijn een aantal terminals die gespecialiseerd zijn in offshore windprojecten, namelijk WP Offshore Terminals, Orange-Blue Terminals en Wagenborg Terminals. Ten slotte is de haven van IJmuiden-Amsterdam een haven met veel potentie voor de offshore windindustrie. In het verleden heeft de IJmuiden-Amsterdam haven al een aantal offshore windprojecten gerealiseerd.

## 6.5 Ontwikkelaars

De ontwikkelaars kunnen per project aanzienlijk verschillen. Eneco en Ventolines zijn tot op heden de enige ontwikkelaars uit Nederland. Ook Nuon is een ontwikkelaar van offshore windparken in Nederland, maar is overgenomen door het Zweedse Vattenfall. Overige grote ontwikkelaars zijn onder andere RWE Innogy (De), E.On (De), Dong Energy (Dk) en Statoil (No).



<b>Functie</b>	<b>Marktpartij</b>
<b>Fabrikanten</b>	
Funderingen	Bladt Industries (Dk), EEW Special Pipe Constructions (De), SIF Group (NI), Smulders/Iemants Group (Be).
Turbines	Siemens (De), MHI Vestas (Dk), Adwen (Joint-venture tussen Areva (Fr) & Gamesa (Sp)), Bard (De), GE Wind Energy, Senvion (De), WinWind (Fi).
Kabels (Array)	Nexans (Fr), Prysmian (It), JDR (UK), Parker Scanrope (UK).
Kabels (Export)	Prysmian (It), NKT (De), JDR (UK), Nexans (Fr), Parker Scanrope (UK).
<b>Transportaannemers</b>	
Van FL naar IH	Mammoet (NI).
Van IH naar IL	Mammoet (NI), Jumbo Shipping (NI), Seaway Heavy Lifting (NI).
<b>Aannemers installatie</b>	
Turbine	Van Oord (NI), Mammoet (NI), MPI Offshore (UK/NI), Seajacks (UK), RWE Innogy (De), A2 Sea (Dk).
Funderingen	Van Oord (NI), Mammoet (NI), Seaway Heavy Lifting (NI), Bilfinger Construction (De), RWE Innogy (De), Seajacks (UK), GeoSea (UK).
Kabels (Array)	Van Oord (NI), VBMS (NI), Oceanteam Power & Unbilical (No), ABB (De), Jan de Nul Group (Be), DeepOcean (UK).
Kabels (Export)	Van Oord (NI), VBMS (NI), Oceanteam Power & Unbilical (No), ABB (De), Jan de Nul Group (Be), DeepOcean (UK).
<b>Havens</b>	
Vlissingen	BOW Terminal, Verbrugge Terminal
Rotterdam	SIF-Verbrugge Terminal (2016)
Eemshaven	WP Offshore Terminals, Orange-Blue Terminals, Wagenborg Terminals
IJmuiden	IJmondhaven, Middenhavengebied, Grote Hout, APC Terminal, Hoogtij.
<b>Ontwikkelaars</b>	
	Eneco (NI), Ventolines (NI), Nuon (Vattenval, Sw), RWE Innogy (De), E.On (De), Dong Energy (Dk), Statoil (No),

Tabel 3: Marktpartijen offshore windindustrie

## 6.6 Conclusie marktanalyse

Met verscheidene partijen in verschillende rollen is contact geweest om de vereisten voor een operationele planningtool samen te stellen en de uitdagingen voor de betreffende bedrijven te begrijpen. Naar aanleiding van de mogelijkheden van een operationele planning tool is gevraagd naar hun interesse in onderzoek en ontwikkeling van een dergelijke oplossing. Bij dit onderzoek zijn een aantal zaken naar voren gekomen die invloed hebben op de haalbaarheid van zowel de ontwikkeling als het gebruik van de tool.

Over het algemeen zijn partijen positief over de mogelijkheden en potentiële baten van een operationele planning tool. Door betere afstemming kunnen integraal sneller en efficiënter installatieprojecten worden uitgevoerd. Ook het opnieuw doorrekenen van plannings kan met een dergelijke tool sneller worden gefaciliteerd rekening houdend met omgevingsfactoren zoals weer, getijden, stroming, sluisen, beschikbaarheid van resources etc.

Toch zien partijen barrières in de ontwikkeling van een dergelijk tool, omdat het probleem over alle partijen heen loopt en er dus niet één partij als algehele probleemeigenaar kan worden aangewezen. Dit heeft als gevolg dat bij een verder onderzoek naar en ontwikkeling van een operationele planningsoplossing alle partijen moeten deelnemen, om een integrale tool te kunnen opleveren die

ook nog eens de juiste functionaliteit voor iedere partij in het project biedt. De vraag is tevens of een generieke tool kan worden ontwikkeld die bij ieder installatieproject kan worden gebruikt, of dat wellicht voor ieder project een aparte configuratie van de operationele planning tool moet worden ontwikkeld. De initiële investering wordt als hoog ervaren voor veel partijen. De precieze baten voor de individuele deelnemer zijn moeilijk in te schatten, omdat deze liggen in het integrale karakter van projecten. Daarom zijn deze baten niet direct te kwantificeren voor de partijen wat een verantwoording voor een investering mogelijk maakt.

Verder zien partijen als mogelijke reden om niet te investeren dat het risico bestaat dat één van de partijen in het project geen gebruik wil maken van de operationele planning tool waardoor de meerwaarde van de tool meteen enorm verminderd. Er zullen mechanismes moeten worden bedacht om te zorgen dat alle partijen die relevant zijn voor de planning willen en zullen deelnemen.

In het gebruik van de operationele planning tool zien partijen vaak ook barrieres, omdat de tool hen verplicht al hun planning gegevens vrij te geven. Het delen van deze gegevens met externe partijen in het algemeen ligt vaak erg gevoelig. Daarnaast zorgt de operationele planning tool dat vertragingen in de planning vroegtijdig worden gecommuniceerd naar partijen die hierdoor beïnvloed worden. Deze vertragingen worden als gevoelige informatie ervaren, omdat het wellicht aansprakelijkheid zou suggereren voor projectvertragingen. Daarom willen partijen de vertragingen niet delen.

Tenslotte geven veel partijen aan dat met de huidige contractmodellen waarin risico's worden toegekend aan specifieke partijen geen ruimte bieden om gezamenlijk de gevolgen van risico's te minimaliseren. Een ander contractmodel zoals de alliantie zou hier uitkomst voor kunnen bieden. Dit is een contractvorm die in de infrastructuur sector is ontstaan ten tijde van de Betuwelijn ontwikkeling waarbij partijen die deelnemen in een project gezamenlijk risico's dragen in een gezamenlijk risico budget en er baat bij hebben de gevolgen van een vertraging te minimaliseren. Aan het eind van een project wordt namelijk de resterende waarde van het risico budget verdeeld over de deelnemers.

## 7. Conclusies

De haalbaarheidsstudie heeft geholpen een beter beeld te krijgen van de offshore wind installatie markt. De relevante partijen voor wie een operationele planning oplossing belang kan hebben, zijn in kaart gebracht en het is duidelijk geworden welke rol deze partijen kunnen spelen in de algehele project planning. Verder is in de technische orientatie duidelijk geworden welke planningstechnieken er zijn en welke meer of minder geschikt zijn voor een eventuele planningsoplossing. Ook de mogelijkheid om gebruik te kunnen maken van deze planningstechnieken is geïnventariseerd.

Op het gebied van de technische mogelijkheden en het inzicht dat is verworven in de functionele eisen van gebruikers is gebleken dat de ontwikkeling van een operationele planning oplossing voor offshore wind installatie projecten technisch haalbaar moet zijn. Ook is duidelijk geworden dat er wel degelijk voordelen zijn in een integrale benadering van de projectplanning, omdat de daadwerkelijk uitvoering van taken volatiel kan zijn.

De grootste barriere voor het onderzoeken en ontwikkelen van een operationele planning tool voor offshore wind installatie projecten zit hem in het integrale karakter van de problematiek en daarmee het gezamenlijke probleem die niet tot één individuele partij is terug te voeren. Investering moet daarom plaatsvinden met alle partijen en de baten zijn niet direct voor de individuele partij zichtbaar. Ook moeten alle relevante partijen in een project deelnemen om dit een succes te maken, wat een onzekerheid veroorzaakt voor het succes.

Ook zijn de huidige contractvormen die worden toegepast in installatieprojecten niet geschikt voor gebruik van een dergelijke tool. Hiervoor wordt aanbevolen te kijken naar een alliantie als contract vorm voor installatie projecten.

## Verwijzingen

4COffshore. (n.d.). *Organisations working on Gemini*. Opgehaald van <http://www.4coffshore.com/windfarms/contracts-on-gemini-nl18.html>

European Wind Energy Association. EWEA. (2015, January). *The European offshore wind industry - key trends and statistics 2014*. Opgehaald van <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-European-Offshore-Statistics-2014.pdf>

Geffert, V., Karhumäki, J., Bertoni, A., Preneel, B., Návrat, P., & Bieliková, M. (Eds.). (2008). *SOFSEM 2008: Theory and Practice of Computer Science: 34th Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, Nový Smokovec, Slovakia, January 19-25, 2008, Proceedings* (Vol. 4910). Springer. Opgehaald van [https://books.google.nl/books?hl=en&lr=&id=NOJtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=SOFSEM+2008:+Theory+and+Practice+of+Computer+Science+34th+Conference+on+Current+Trends+in+Theory+and+Practice+of+Computer+Science&ots=nazb41\\_0Cw&sig=oAdm03ekOckRkZSf3ZCCh8\\_lglc](https://books.google.nl/books?hl=en&lr=&id=NOJtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=SOFSEM+2008:+Theory+and+Practice+of+Computer+Science+34th+Conference+on+Current+Trends+in+Theory+and+Practice+of+Computer+Science&ots=nazb41_0Cw&sig=oAdm03ekOckRkZSf3ZCCh8_lglc)

GL Garrad Hassan. (2014). *Assessment of ports for Offshore Wind development in the United States*. Opgehaald van [http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f14/Assessment%20of%20Ports%20for%20Offshore%20Wind%20Development%20in%20the%20United%20States\\_1.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f14/Assessment%20of%20Ports%20for%20Offshore%20Wind%20Development%20in%20the%20United%20States_1.pdf)

Hasham, H. (interviewer), De la Haye, M. (interviewee). (2014, 28 april). *Effective contract structuring for European offshore wind*. Opgehaald van <http://analysis.windenergyupdate.com/turbine-supply-chain/effective-contract-structuring-european-offshore-wind>

Lütjen, M., & Karimi, H. R. (2012, January). Approach of a port inventory control system for the offshore installation of wind turbines. In *The Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference*. International Society of Offshore and Polar Engineers. Opgehaald van <https://www.onepetro.org/conference-paper/ISOPE-I-12-142>

Martinez-Neri, I., Mikkelsen, O. S., & Stentoft, J. (2014). Assessing the level of integration in the offshore wind industry value chain. In *23rd Annual IPSERA Conference Proceedings*, South Africa 2014. (pp. 885-895). Opgehaald van [http://findresearcher.sdu.dk/portal/en/publications/assessing-the-level-of-integration-in-the-offshore-wind-industry-value-chain\(b06ffb5e-3bb4-4e5f-8645-c01dca42fba4\).html](http://findresearcher.sdu.dk/portal/en/publications/assessing-the-level-of-integration-in-the-offshore-wind-industry-value-chain(b06ffb5e-3bb4-4e5f-8645-c01dca42fba4).html)

Monopile Fabricageproces (Fugro). (2010, december). *Offshore Wind Project Logistics & Unique Site Technology*. Opgehaald van <http://www.virginiaallies.org/assets/files/allymeeting/OffshoreWind/4.Tom%20McNeilan%20presentation.pdf>

National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2013) *Installation, Operation, and Maintenance Strategies to Reduce the Cost of Offshore Wind Energy*. Opgehaald van <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57403.pdf>

Quelhadj, D., & Petrovic, S. (2009). A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems. *Journal of Scheduling*, 12(4), 417-431. Opgehaald van <http://link.springer.com/article/10.1007/s10951-008-0090-8>

Pinedo, M. (2004). Planning and scheduling in supply chains: an overview of issues in practice. *Production and Operations management*, 13(1), 77-92. Opgehaald van [http://admin.1insaat.biz/uploads/TrbBlogs/pdfs\\_5/58121\\_1285268977\\_314.pdf](http://admin.1insaat.biz/uploads/TrbBlogs/pdfs_5/58121_1285268977_314.pdf)

Sabuncuoglu, I., & Kizilisik, O. B. (2003). Reactive scheduling in a dynamic and stochastic FMS environment. *International Journal of Production Research*, 41(17), 4211-4231. Opgehaald van <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0020754031000149202>