

IFF Magdeburg , ISL Bremen  
Name der Forschungsstelle(n)

16053 BG  
AiF-Vorhaben-Nr. / GAG

01.05.2009 -31.03.2010  
Bewilligungszeitraum

## **Abschlussbericht für den Zeitraum 01.05.2009-31.03.2010**

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die



geförderten IGF-Forschungsvorhaben

### **Forschungsthema:**

**Verbesserung der Planungsgrundlagen für  
kampagnengeprägte Supply Chains (SC) am  
Beispiel von Offshore- Windenergieanlagen  
(OWEA)**

# Abschlussbericht LOG-OWEA

## Gliederung

<b>1</b>	<b>Forschungsthema</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Forschungsziel/ Lösungsweg/ Ergebnisse</b>	<b>5</b>
3.1	<i>Forschungsziel</i>	5
3.1.1	Angestrebte Forschungsergebnisse	5
3.1.2	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	5
3.2	<i>Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels</i>	5
3.3	<i>Forschungsergebnisse</i>	7
3.3.1	AP 1000 Beschreibung des Grundmodells der Supply Chain	7
3.3.2	AP 1100 Ermittlung der Rahmenparameter des Logistiknetzes	19
3.3.3	AP 1200 Identifikation und Abbildung von Störgrößen	33
3.3.4	AP 1300 Prozessmodellierung für das Gesamtnetz	38
3.3.5	AP 1400 Anpassung für Steuerungsaufgaben	50
<b>4</b>	<b>AP 1500 Demonstration: Hinterlandanbindung von Seehäfen</b>	<b>59</b>
4.1.2	AP 1600 Dokumentation (Anwendungshilfe)	66
4.1.3	AP 1700 Projektmanagement	69
<b>5</b>	<b>Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)</b>	<b>72</b>
6.1	<i>Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse</i>	72
6.2	<i>Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU</i>	73
6.3	<i>Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende</i>	73
<b>7</b>	<b>Durchführende Forschungsstellen</b>	<b>75</b>



## Zusammenfassung

Ausgangspunkt des Vorhabens „LOG-OWEA“ bilden die neuen Herausforderungen der Windenergiebranche durch die zunehmende Anzahl von Offshore-Windenergieanlagen vor der deutschen Nord- und Ostseeküste. Die damit verbundenen finanziellen, technischen und auch die logistischen Dimensionen der Windparkprojekte erfordern die Entwicklung neuer Transportketten über große Distanzen. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Transparenz der Logistikkosten sowie die Auswirkungen von spezifischen Einflussparametern auf die Steuerung der Supply Chains, wie Kampagnenbildung, meteorologische Einflüsse sowie Engpässe bei knappen und kostenintensiven Ressourcen.

Der Schwerpunkt des Projektes lag in der Modellierung von kampagnengeprägten Supply Chains in einem Simulator, der in ein Planungs- und Steuerungswerkzeug für Logistikdienstleister eingebettet ist. Das Simulationsmodell berücksichtigt Auswirkungen von Störgrößen auf die Supply Chain im Windenergiebereich und ermöglicht deren Bewertung hinsichtlich der Erreichung logistischer Ziele und des Ressourceneinsatzes.

Hierzu wurden im Projekt die wesentlichen Anforderungen dieses spezifischen Netzwerkes an das zu erstellende Tool herausgearbeitet. Dies geschah in erster Linie in Expertengesprächen, in denen die ablaufenden Prozesse im Netzwerk erfasst wurden. Neben den Abläufen war es notwendig, die Produkt- und Montagestruktur der WEA zu erfassen, um aus deren hersteller- und betreiberspezifischen Unterschieden die notwendigen Anforderungen an das Modell abzuleiten. Diese Randbedingungen wurden durch die Aufnahme weiterer Besonderheiten der Logistikkette ergänzt. Einen Schwerpunkt stellten dabei insbesondere die Störgrößen dar. Diese wurden entsprechend der Expertenpriorisierung im Tool integriert. Durch die Auswertung von Wetterdaten wurde eine Systematik zur Abbildung einer Wetterfunktion im Modell erstellt. Zur systematischen Erfassung aller für die Simulation erforderlichen Informationen, wie Produkt- und Netzwerkstruktur und den Prozessparametern wurde eine intuitiv bedienbare grafische Oberfläche erstellt, die es dem Nutzer ermöglicht, Modelle zu erstellen und durch die Verwendung von gespeicherten Kataloginformationen diese variabel den erforderlichen Änderungen anzupassen. Zur Unterstützung der Planung und Steuerung wird automatisch ein Masterplanvorschlag durch das Tool generiert, der als Planungsbasis für das Netzwerk dient und vom Benutzer angepasst werden kann. Über eine Schnittstelle erfolgen auf Basis dieser Daten automatisch die Erstellung des Simulationsmodells und der Start der Simulation. Hierzu wurde das vorhandene Simulationsmodell angepasst und neben den Schnittstellen um zusätzliche Funktionen (z.B. Wetter) ergänzt. Zur Darstellung der Simulationsergebnisse in Form von im Projekt definierten Kennzahlen wurde eine Auswertungsoberfläche gestaltet und programmiert. Diese Funktionalitäten wurden durch zwei Basisszenarios, die ein einheitliches Netzwerk mit zwei verschiedenen Versorgungsstrategien abbilden, als Demonstrator entwickelt, mit dem einerseits die Funktionen und Möglichkeiten des Tools getestet werden konnten. Andererseits besteht damit die Möglichkeit die Ergebnisse dieses Projektes Interessenten und potenziellen Anwendern vorzustellen.



Der im Rahmen dieses Projektes entstandene Demonstrator eines Simulationstools zur Simulation von Logistikketten für die Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen ermöglicht die durchgängige Abbildung der Produktions- und Transportprozesse innerhalb des Netzwerkes unter Berücksichtigung von relevanten Störgrößen der Prozesse insbesondere der Witterungsbedingungen. Somit wurde das Ziel des Vorhabens erreicht.



## **1 Forschungsthema**

### **LOG-OWEA**

Verbesserung der Planungsgrundlagen für kampagnengeprägte Supply Chains (SC) am Beispiel von Offshore- Windenergieanlagen (OWEA)

## **2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Die Motivation für den Forschungsantrag ergab sich aus der Diskussion zu den Folgen des Klimawandels und den steigenden Anforderungen an die Nutzung regenerativer Energien. Eine besondere Stellung nehmen hierbei Windenergieanlagen ein, da sie gegenwärtig die einzigen großtechnisch einsetzbaren und wirtschaftlich zu betreibenden Anlagen zur Energiewandlung aus regenerativen Energien darstellen. Die Windenergiebranche steht gegenwärtig vor neuen, großen Herausforderungen durch die geplante Errichtung von ca. 4000 Offshore-Windenergieanlagen vor der deutschen Nord- und Ostseeküste bis zum Jahr 2020. Diese ergeben sich sowohl aus den finanziellen, technischen und auch aus den logistischen Dimensionen der Windparkprojekte. Um die Investitionen zu rechtfertigen, müssen die einzelnen Anlagen immer größer ( $\geq 5$  MW) werden. Außerdem ist der gesamte Herstellungs- und Betriebsprozess von Offshore-Windenergieanlagen zu optimieren. Das erfordert die Entwicklung neuer Transportketten über große Distanzen.

Der Anteil der Logistikkosten an einer Offshore-Windenergieanlage liegt bei geschätzten 15 bis 20 Prozent. Von einer in anderen Branchen längst üblichen Logistikkostentransparenz ist die Windenergiebranche noch weit entfernt. Neuartige logistische Fragestellungen ergeben sich aus den spezifischen Einflussparametern auf die Steuerung von Supply Chains, z.B. Kampagnenbildung und kurzfristige Terminänderungen durch meteorologische Einflüsse sowie Engpässe bei knappen und kostenintensiven Ressourcen.

Die bisher durchgeführten Forschungen im Bereich Offshore-WEA beziehen sich bisher fast ausschließlich auf die technischen Herausforderungen bei der Konstruktion, Herstellung, Errichtung und Betrieb der Anlagen. Bezüglich der logistischen Fragestellungen bei der Produktion, Installation und insbesondere der Instandhaltung (Ersatzteillogistik) und Demontage (Entsorgungslogistik) der Offshore-Anlagen sind bisher nur wenige Forschungsarbeiten durchgeführt worden. Die in dieser jungen Branche überwiegend mittelständisch geprägten Anlagenhersteller und Zulieferer sind gezwungen, ihre Produktions- und Logistikkonzepte auf die besonderen Anforderungen in der Supply Chain der OWEA anzupassen. Dazu muss die Branche mit modernen Planungs- und Steuerungsinstrumenten ausgestattet werden, in welche die Erfahrungen aus einem langjährigen Projektgeschäft eingebettet sind. Deren Bereitstellung bzw. Weiterentwicklung lassen sich in ihrem Gesamtansatz nur auf der Basis eines größeren verfahrensorientierten Forschungs- und Entwicklungsprojektes gewährleisten.

### **3 Forschungsziel/ Lösungsweg/ Ergebnisse**

#### **3.1 Forschungsziel**

##### **3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse**

Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse liegen in der Modellierung von kampagnegeprägten Supply Chains über einen Simulator, der in ein Planungs- und Steuerungswerkzeug für Logistikdienstleister integriert wird. Das Simulationsmodell berücksichtigt Auswirkungen von Störgrößen auf die Supply Chain im Windenergiebereich und ermöglicht deren Bewertung hinsichtlich der Erreichung logistischer Ziele und des Ressourceneinsatzes.

Die wirtschaftlichen Ergebnisse zeigen sich in der Verbesserung der Planbarkeit und Transparenz der ablaufenden logistischen Prozesse bis hin zur Verbesserung von Steuerungsinstrumenten im laufenden Prozess, die Abschätzung von Projektrisiken sowie Reaktion auf Störgrößen.

##### **3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse**

Der innovative Beitrag des Projektes besteht in der Entwicklung und beispielhaften Anwendung eines neuen Verfahrens zur Planung und Steuerung logistischer Prozesse in der Windenergiebranche. Bekannte Arbeiten auf dem Gebiet der maritimen Logistik und Projektlogistik werden auf die Logistikkette von Offshore-Windenergieanlagen übertragen.

Die Grundlage bilden Methoden und Werkzeuge zur Gestaltung logistischer Netzwerke und des Supply Chain Managements (Materialflussansatz mit Input- / Output-Stores, SCOR-Modell, Push- und Pull-Konzepte, Beschreibung des Bullwhip-Effektes). Weiterhin werden Steuerungsregeln für Logistikketten hinsichtlich planerischer Aktivitäten (z.B. für die Losgrößenplanung, Forecasting, Strategic Network Planning, Distribution and Transport Planning) und Optimierungsansätze (Parallelisierung, Integration, Einsparung von Prozessen) angewendet. In den erweiterten Simulator fließen neben den Ergebnissen aus einem Vorläuferprojekt auch Erfahrungen aus der Recherche und Anwendung von unterstützenden Planungssystemen im Supply Chain Management ein (z.B. SAP APO, i2 RHYTHM, 4flow vista).

Die Spezifik der OWEA-Supply Chain (meteorologische Kampagnen, Komplexität, Wiederholungsgrad, Engpassressourcen) wurde bisher noch nicht umfassend in einem Modell berücksichtigt.

#### **3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels**

Als methodischer Ansatz wird die diskrete Simulation der betrachteten Supply Chains gewählt. Dabei wird auf Ergebnissen eines von der Bremerhavener Gesellschaft für Innovationsförderung und Stadtentwicklung (BIS) geförderten Projektes mit dem Titel „WEA-Simulation Logistikkette“ aufgebaut. Das Modell ist in Zusammenarbeit der Logistik Service Agentur und dem Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik in Bremerhaven entwickelt worden. Mit der Simulation lässt sich die Logistikkette für Offshore- Wind-Energie-Anlagen vom Hersteller bis hin zu der Verbauung auf See simulieren.



Die Supply Chain umfasst im Idealfall alle Fertigungs- und Absatzstufen des Erstellungsprozesses eines Produktes - von der Rohstoffgewinnung bis zum Endkunden eines Produktes. Dabei besitzt die Supply Chain häufig taktisch-strategischen Charakter. Dieser resultiert aus der Tatsache, dass zwischen den einzelnen Unternehmen sich grundsätzlich stabile, partnerschaftliche Geschäftsbeziehungen etablieren, wodurch ein intensiver Informationsaustausch sowie eine gemeinsame Zielformulierung und Planung für die Supply Chain möglich werden.

Die beschriebene langfristige Dimension der Supply Chain wird im Sinne des Vorhabens durch eine kampagnengeprägte Dimension ersetzt. Diese umfasst eine temporäre Ausgestaltung der Unternehmensbeziehungen in Abhängigkeit von wechselnden äußeren Einflussfaktoren. Dieses Merkmal ist in Branchen wie der Windenergie, dem Maschinen- und Anlagenbau (Projektgeschäft) oder der Land- und Forstwirtschaft zu finden, die stark saisonalen Schwankungen unterliegen und aufgrund dessen Supply Chains sich nur für bestimmte Zeiträume herausbilden bzw. ihr Aufbau in Abhängigkeit von äußeren Einflussfaktoren variiert.

Das verwendete Simulationsprogramm ist eine Eigenentwicklung des ISL im Ergebnis des obengenannten Projektes. Es basiert auf dem Simulationstool Plant Simulation (ehemals eM-Plant oder SIMPLE++) von Tecnomatix, das von Siemens PLM Software vertrieben wird ([www.emplant.de](http://www.emplant.de)).

Die notwendigen Erweiterungen des Simulationsmodells umfassen folgende Punkte:

- Abbildung des rückwärts- und vorwärtsgerichteten Informationsflusses parallel zum Materialfluss, hierbei insbesondere die Einbindung einer Rückwärtsrechnung der Produktions- und Transporttermine des eingebundenen Masterplans.
- Aufnahme zusätzlicher z.T. parallel ablaufender Materialflüsse aus dem Umfeld der Errichtung und des Betriebs von Offshore-Windparks (z.B. Instandhaltungsprozess für den Austausch von Großkomponenten, Rückführung von Altteilen sowie von Betriebs- und Hilfsstoffen parallel mit der Errichtung von Neuanlagen)
- Einbeziehung aktueller Störungsdaten (Wetter, technisch bedingte Ausfälle wichtiger Ressourcen, Reaktionszeiten von Lieferanten und Logistikdienstleistern bis zur Bereitstellung von Ressourcen) für den Anstoß der Rückwärtsrechnung.

### 3.3 Forschungsergebnisse

#### 3.3.1 AP 1000 Beschreibung des Grundmodells der Supply Chain

In diesem Arbeitspaket sollte ein Soll-Profil der Supply Chain für die Errichtung und den Betrieb von Offshore-Windparks erstellt werden. Die Grundlage bildet die Erfassung und Strukturierung eines idealen Verlaufes von Material- und Informationsflüssen in Form einer logistischen Kette. Hierzu erfolgte, ausgehend von allgemeinen Recherchen zu Netzwerken und deren Abbildung, die Analyse des abzubildenden Netzwerkes. Zu diesem Zweck wurden Interviews mit der Windforce AG durchgeführt, die zur Erfassung der Produktstruktur einer Offshore-Windenergieanlage als Basis für die anschließende Erfassung der prinzipiellen Zusammensetzung des Lieferantennetzwerkes dienen. Neben dem prinzipiellen Aufbau des Lieferantennetzwerkes erfolgten Interviews mit der Windenergie-Agentur Bremerhaven/Bremen e.V. zu möglichen Netzwerkkonstellationen, die je nach Konsortium auftreten können. Diese Informationen wurden durch die LSA ergänzt und detailliert. Insbesondere logistische Aspekte wie zum Beispiel Versorgungsstrategien und der Kampagnencharakter standen hierbei im Mittelpunkt. Durch die Forschungseinrichtungen wurden die erfassten Informationen dokumentiert und daraus die für das Modell notwendige Netzwerkstruktur mit dem erforderlichen Detaillierungsgrad entwickelt sowie eine Abbildung als Knoten und Kanten für das Netzwerk in verschiedenen Ebenen erarbeitet. Hierzu wurden verschiedene Knotentypen unterschieden und Prozesse für die Prozessebene definiert und im Rahmen von Projekttreffen abgestimmt. Diese Modellstruktur wurde mit dem vorhandenen Simulationsmodell abgeglichen und in den nachfolgenden Arbeitspaketen angepasst.

##### 3.3.1.1 Unternehmensnetzwerke

Der Begriff „Netzwerk“ wird in vielen unterschiedlichen Lebens- und Wissenschaftsbereichen verwendet.<sup>1</sup> Der Untersuchungsgegenstand im Rahmen dieses Projektes ist das Unternehmensnetzwerk. Daher werden im Folgenden Netzwerk-Definitionen anderer Wissenschaftsbereiche nicht berücksichtigt.

In der Literatur existieren vielfältige Definitionen von Unternehmensnetzwerken. Sydow definiert ein Unternehmensnetzwerk als „[...] eine auf die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen zielende Organisationsform ökonomischer Aktivitäten [...], die sich durch komplex-reziproke, eher kooperative denn kompetitive und relativ stabile Beziehungen zwischen rechtlich selbstständigen, wirtschaftlich jedoch zumeist abhängigen Unternehmungen auszeichnet.“<sup>2</sup> Die Unabhängigkeit der beteiligten Unternehmen betont auch *Hippe* nach dem von einem Netzwerk gesprochen werden kann, „[...] wenn zwischen mehreren rechtlich selbstständigen und formal weitgehend unabhängigen Unternehmen eine koordinierte, kooperative Zusammenarbeit stattfindet.“<sup>3</sup> Hierbei hebt *Hippe* das von den beteiligten Unternehmen gemeinsam verfolgte,

---

<sup>1</sup> Mayer verweist in diesem Zusammenhang u.a. auf Rechnernetzwerke in der Informatik, soziale Kooperationsnetzwerke von Löwen in der Zoologie und verzweigte Makromoleküle in der Chemie (vgl. Mayer, A. G. (2000), S. 49ff.)

<sup>2</sup> Sydow, J. (1992), S. 79.

<sup>3</sup> Hippe, A. (1996), S. 25.

übergeordnete Ziel hervor. Gemeinsame Strategien zur Erreichung des gemeinsam verfolgten, übergeordneten Ziels bilden seiner Ansicht nach die Basis von Unternehmensnetzwerken.<sup>4</sup> Ebenso sieht auch Siebert ein gemeinsames Ziel als entscheidend für das Vorhandensein eines Unternehmensnetzwerkes an. In diesem Zusammenhang weist Siebert darauf hin, dass die beteiligten Unternehmen ggf. ihre eigenen Individualziele zu Gunsten des Kollektivziels aller am Netzwerk beteiligten Unternehmen unterordnen.<sup>5</sup>

Insofern verstehen sowohl *Sydow* und *Hippe* als auch *Siebert* Unternehmensnetzwerke als Intermediäre zwischen Markt<sup>6</sup> und Hierarchie.<sup>7</sup> *Corsten* und *Gössinger* sprechen in diesem Zusammenhang von einer Kombination hierarchischer und marktlicher Elemente.<sup>8</sup> Somit verbinden Unternehmensnetzwerke aufgrund ihres marktlichen als auch hierarchischen Charakters wettbewerbliche mit unternehmenstypischen Mechanismen. Sie unterliegen den wettbewerblichen Charakteristika „Spezialisierung und Effizienzdruck“ und den eher unternehmenstypischen Merkmalen „Vertrauen“, also Verzicht auf ein gegenseitiges Ausnutzen, sowie „Informationsintegration“.<sup>9</sup>

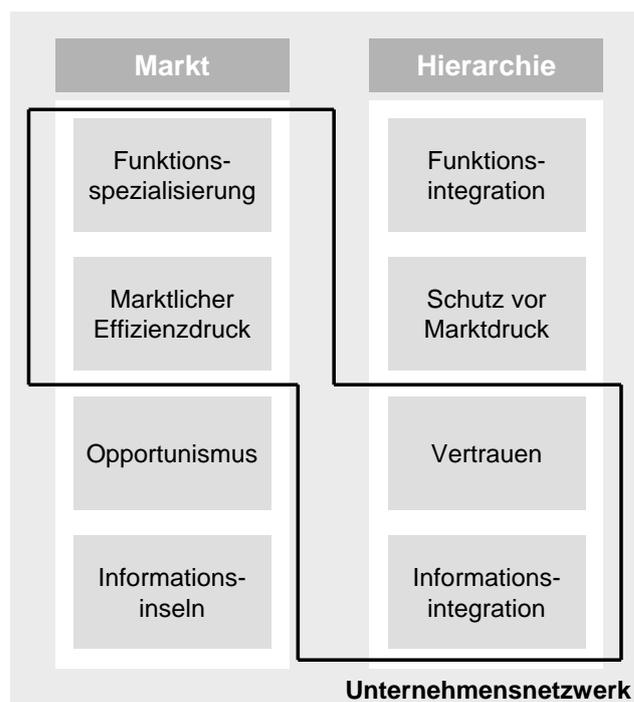


Abbildung 1: Marktliche und hierarchische Elemente von Unternehmensnetzwerken<sup>10</sup>

<sup>4</sup> vgl. Hippe, A. (1996), S. 25f.

<sup>5</sup> vgl. Siebert, H. (2003), S. 9.

<sup>6</sup> Im „Markt“ tauschen Marktteilnehmer gleichberechtigt eine spezifizierte Leistung aus. Preise übernehmen die Koordination der Transaktionen (vgl. Sydow, J. (1992), S. 98). Der Begriff „Hierarchie“ wird in diesem Zusammenhang für Organisation bzw. Unternehmen verwendet (vgl. Mildenerger, U. (1998), S. 17). Dabei ersetzt die Weisung der Unternehmensleitung (gegenüber eines Funktionsbereichs) die marktliche Koordination (vgl. Sydow, J. (1992), S. 98).

<sup>7</sup> vgl. Sydow, J. (1992), S. 102; vgl. Hippe, A. (1996), S. 25f.; vgl. Siebert, H. (2003), S. 9.

<sup>8</sup> vgl. Corsten, H./Gössinger, R. (2001), S. 6.

<sup>9</sup> vgl. Siebert, H. (2003), S. 10 ff.

<sup>10</sup> Corsten, H./Gössinger, R. (2001), S. 6.

Netzwerke werden daher im Vergleich zur Hierarchie als deutlich flexibler angesehen, wobei die Zusammenarbeit im Vergleich zum Markt strukturierter verläuft. Die am Netzwerk beteiligten Unternehmen schränken ihr Selbstbestimmungsrecht ein, handeln allerdings weiterhin autonom.

Zusammenfassend wird im Rahmen dieses Projektes unter einem Unternehmensnetzwerk eine intermediäre Organisationsform zwischen Markt und Hierarchie verstanden, bei der mehrere Unternehmen bzw. Unternehmensbestandteile ein gemeinsames Ziel verfolgen, wobei deren Zusammenarbeit koordiniert erfolgt.

Für die im Rahmen dieses Projektes zu betrachtenden logistischen Netzwerke zur Errichtung von Offshore-Windparks besteht diese einheitliche Zielsetzung in der wirtschaftlichen und termingemäßen Errichtung eines Offshore-Windparks.

Ähnlich der Variantenvielfalt von Unternehmensnetzwerk-Definitionen existieren verschiedene Ansätze zur Beschreibung von Netzwerk-Betrachtungsebenen. Hippe unterscheidet in Mikroebene und Makroebene.<sup>11</sup> Während die Makroebene das Gesamtnetzwerk abbildet, wird das einzelne Netzwerkmitglied auf der Mikroebene dargestellt. Ergänzend berücksichtigt er differenzierte Sichtweisen auf das Netzwerk: die Makro- sowie die Mikrosicht.<sup>12</sup> Die Mikrosicht repräsentiert den Blickwinkel eines einzelnen Akteurs innerhalb eines Netzwerkes, der keinen Überblick über das Gesamtnetzwerk besitzt. Dieser Akteur entscheidet auf Basis seiner subjektiven Sichtweise.

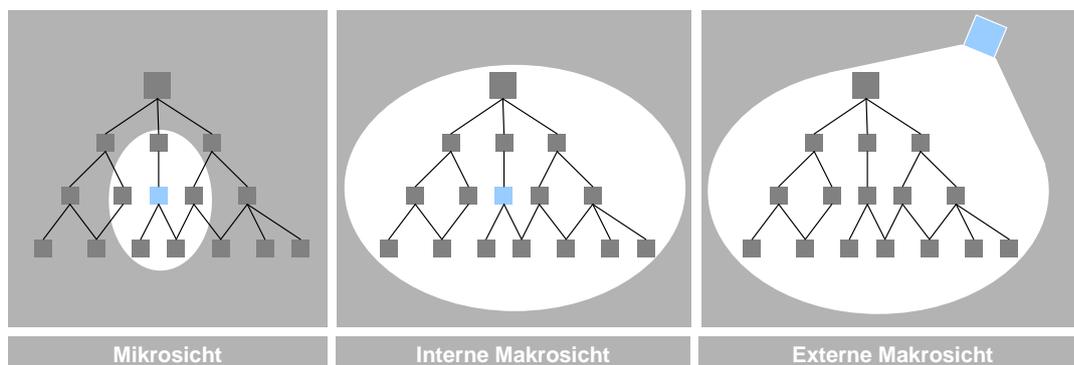


Abbildung 2: Betrachtungsebenen in Unternehmensnetzwerken<sup>13</sup>

Bei der Makrosicht differenziert Hippe wiederum in eine interne und eine externe Makrosicht. Die externe Makrosicht stellt den Blickwinkel eines externen Betrachters auf das Gesamtnetzwerk dar und besitzt folglich einen objektiven Charakter. Die Sichtweise eines beteiligten Unternehmens, das im Gegensatz zur Mikrosicht über einen Überblick des Unternehmensnetzwerkes verfügt, wird als interne Makrosicht bezeichnet (siehe Abbildung 2). Wie die Mikrosicht ist auch die interne Makrosicht subjektiv ausgerichtet.<sup>14</sup>

<sup>11</sup> Vgl. Hippe, A. (1996), S. 35ff.

<sup>12</sup> Eine ähnliche Auffassung teilt Mildnerberger, U. (1998), S. 24ff.

<sup>13</sup> nach Ausführungen von Hippe, A. (1996), S. 35ff.

<sup>14</sup> Vgl. Hippe, A. (1996), S. 35ff.

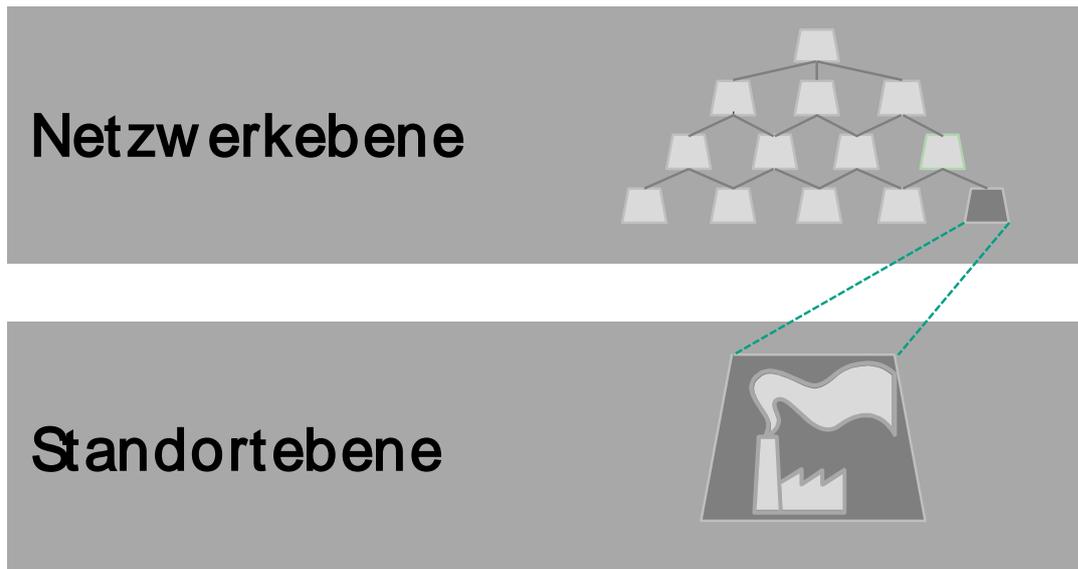


Abbildung 3: Zwei Ebenen des Netzwerkes

Eine weitere mögliche Unterscheidung von Unternehmensnetzwerkebenen liefern *Eversheim, Schellberg* und *Terhaag* mit einer Differenzierung in Netzwerk- und Standortebene.<sup>15</sup> Da die genannten Autoren Netzwerke aus dem Blickwinkel der Produktion betrachten, steht selbige im Mittelpunkt der Betrachtungen. Dabei wird die Standortebene als die Ebene betrachtet, auf der die eigentliche Produktion stattfindet. Die Verteilung der Aufträge, die zwischenbetriebliche Logistik sowie die Kundenanbindung werden folglich auf der Netzwerkebene durchgeführt.<sup>16</sup>

Im weiteren Verlauf der Ausführungen wird der Unterscheidung in Standort- und Netzwerkebene von *Eversheim, Schellenberg* und *Terhaag* gefolgt. So wird das Netzwerk auf diesen Betrachtungsebenen abgebildet und als Grundlage des vorhandenen Simulationsmodells verwendet.

### 3.3.1.2 Unternehmensnetzwerke - Supply Chain

Wie in Abschnitt 3.3.1.1 beschrieben, wird unter einem Unternehmensnetzwerk im Rahmen dieses Projektes eine Organisationsform verstanden, bei der mehrere Unternehmen bzw. Unternehmensbestandteile ein gemeinsames Ziel verfolgen, wobei deren kooperative Zusammenarbeit koordiniert erfolgt.

Der Begriff der Supply Chain hat in den letzten beiden Jahrzehnten verstärkt Eingang in die wissenschaftliche Diskussion gefunden. Eng verknüpft mit dem Supply Chain-Begriff, ist die Logistik bzw. die Logistikkette.

Wurde die Logistik zunächst auf das Lager- und Transportwesen beschränkt, wird ihr heute mit den Teildisziplinen Beschaffungslogistik, Produktionslogistik, Distributionslogistik und Entsorgungslogistik eine Querschnittsfunktion mit koordinativen Aufgaben zugeschrieben. Wenn eine Ausweitung der logistischen Betrachtungen auf die Lieferanten und Kunden des Unternehmens erfolgt, ist von einer logistischen Kette (oder

<sup>15</sup> Vgl. Eversheim, W./Schellberg, O./Terhaag, O. (2000), S. 40f.

<sup>16</sup> Vgl. Eversheim, W./Schellberg, O./Terhaag, O. (2000), S. 40f.

Logistikkette) die Rede. In dieser werden, um einen reibungslosen Ablauf der überbetrieblichen Leistungserstellung zu gewährleisten, die Informations- und Güterflüsse der beteiligten Unternehmen abgestimmt.<sup>17</sup>

Eine Steigerungsform der logistischen Kette stellt die Supply Chain (Versorgungskette) dar, in der auch die vor- und nachgelagerten Stufen der Lieferanten und Kunden des Unternehmens berücksichtigt werden. Im Unterschied zur logistischen Kette entscheiden die Unternehmen in einer Supply Chain nicht anhand einzelwirtschaftlicher Kalküle, sondern im Sinne der gesamten unternehmensübergreifenden Wertschöpfung zu Gunsten des Kunden.<sup>18</sup> Im Zentrum des Supply Chain Managements steht folglich die „[...] unternehmensübergreifende Koordination der Material- und Informationsflüsse über den gesamten Wertschöpfungsprozess von der Rohstoffgewinnung über die einzelnen Veredelungsstufen bis hin zum Endkunden mit dem Ziel, den Gesamtprozess sowohl zeit- als auch kostenoptimal zu gestalten.“<sup>19</sup>

Wie bereits angedeutet, handelt es sich bei einer Supply Chain i. d. R. nicht um eine lineare Kette, sondern um ein Geflecht aus Unternehmen.<sup>20</sup> Darüber hinaus verfolgen die an einer Supply Chain beteiligten Unternehmen mit der konsequenten Kundenorientierung ein gemeinsames Ziel.<sup>21</sup> Insofern weist eine Supply Chain ähnliche Merkmale wie ein Unternehmensnetzwerk auf und wird im Rahmen des vorliegenden Projektes als ein solches verstanden.

In der Literatur wird der Begriff Supply Chain teilweise abgelehnt, da es sich weniger um eine Lieferkette als um ein komplexes Netzwerk handelt. So führt *Sydow* (2002) den Begriff des Logistiknetzwerks ein. Dieses definiert er als „Unternehmensnetzwerk, das Ausgaben des strategischen und operativen Logistikmanagements fokussiert“.<sup>22</sup> Als klassische Stationen eines logistischen Netzwerks zählt *Vahrenkamp* (1999) Zulieferer, Produzenten, Großhändler, Speditionen, Lagerhäuser und Warenverteilzentren, Logistik-Dienstleister sowie Einzelhändler auf.<sup>23</sup> Eine Supply Chain geht jedoch über eine klassische Logistikkette hinaus, da die einzelnen Teilnehmer ihre Entscheidungen nicht getrennt voneinander treffen, sondern die ganze Kette durch ein gemeinsames Management gesteuert wird.<sup>24</sup> Im Folgenden werden die Begriffe Supply Chain, Lieferkette bzw. Wertschöpfungs- oder Versorgungskette und Logistiknetzwerk (wie in den meisten Literaturquellen<sup>25</sup>) synonym verwendet.

Unter einer Supply Chain wird daher im Rahmen dieses Projektes eine unternehmensübergreifende Wertschöpfungskette verstanden, welche die Stufen vom Vorlie-

---

<sup>17</sup> Vgl. Corsten, H./Gössinger, R. (2001), S. 81f.

<sup>18</sup> Vgl. Corsten, H./Gössinger, R. (2001), S. 83.

<sup>19</sup> Scholz-Reiter, B./Jakobza, J. (1999), S. 8.

<sup>20</sup> Vgl. Corsten, H./Gössinger, R. (2001), S. 92.

<sup>21</sup> Vgl. Corsten, H./Gössinger, R. (2001), S. 85.

<sup>22</sup> Sydow (2002), S. 10.

<sup>23</sup> Vgl. Vahrenkamp (1999), S. 309.

<sup>24</sup> Vgl. Corsten und Gössinger (2001), S. 83; Jehle (2000), S. 208.

<sup>25</sup> Vgl. z.B. Busch und Dangelmaier (2004), S. 4. Für differenziertere Begriffsdefinitionen vgl. hierzu Jehle (2005), S. 34 ff.



feranten über Logistikdienstleister, das produzierende Unternehmen bis zum Kunden (Windparkbetreiber) beinhaltet. Diese Supply Chain zeichnet sich vor allem durch gemeinsame Ziele, unabhängige Mitglieder, freiwillige Beteiligung, klare Verteilung von Funktionen und Verantwortungen und die Integration unterschiedlicher Arbeitsstufen aus.

Das Netzwerk zur Errichtung von Offshore-Windkraftanlagen hat Ähnlichkeiten mit einer ARGE, wie sie im Bauwesen anzutreffen ist. Jedoch findet im Gegensatz zum Bauwesen die Produktion im Wesentlichen in entsprechenden Industrieunternehmen mit festen Standorten statt. Lediglich die Endmontage erfolgt auf einer Baustelle. Die zeitlich begrenzte Zusammenarbeit der Netzwerkpartner ist aber in beiden Fällen auf das Projekt beschränkt. Das Projekt ist durch eine instabile Zusammensetzung des Netzwerkes gekennzeichnet, und wird je nach Windparkbetreiber und den für den Windpark verwendeten Anlagen entsprechend zusammengestellt. Diese Flexibilität des Netzwerkes erfordert die Möglichkeit des Neuaufbaus zu Beginn des Projektes und die Anpassung des Netzwerkes während der Projektlaufzeit.

#### 3.3.1.3 Grundmodell

Ausgehend von den oben genannten verschiedenen Sichtweisen auf ein Netzwerk ist die Anwendung entsprechend der Stellung des Anwenders im Netzwerk zu gestalten. So kann die Standortsicht aus Sicht eines einzelnen Unternehmens im Netzwerk gestaltet werden. Ebenso muss eine standortübergreifende Sicht auf das komplette Netzwerk zum Beispiel durch Logistikdienstleister des Netzwerkes oder den Betreiber des Windparks bzw. eine durch ihn beauftragte Managementorganisation garantiert werden.

Aus diesen verschiedenen Sichten resultieren die Anforderungen an die Betrachtungsebenen des Grundmodells der Netzwerk- und Standortebene.

In Rahmen des Projektes wurden die Abläufe im Netzwerk untersucht und für die Abbildung im Modell Prozesse definiert. Die Aufnahme der Abläufe entlang der Logistikkette wurde ausgehend von den in AP1100 näher beschriebenen Produkt- und Montagestruktur verallgemeinert.

Ausgangspunkt der Betrachtungen bildet die Fertigung eines Teiles oder einer Baugruppe bei einem Teilefertiger, bei dem im Rahmen eines Transformationsprozesses aus (ein oder mehreren) Eingangsmaterialien unter Nutzung bestimmter Ressourcen wie zum Beispiel Personal, Maschinen und Ausrüstung das entsprechende Teil oder Baugruppe in einer definierten Zeit an einem definierten Ort hergestellt wird. Ausgangspunkt ist dabei ein Eingangslager, in dem die Eingangsmaterialien für die Fertigung, bei denen es sich je nach Hersteller um Rohmaterialien, Halbzeuge, Bauteilen oder Baugruppen handeln kann, nach ihrer Anlieferung bis zu ihrer Fertigung gelagert werden. Hier belegen diese Materialien (z.B. Spinnerteil-Rohling) entsprechende Lagerkapazitäten bzw. Lagerflächen, die auf Grund der in den überwiegenden Fällen größeren Bauteilabmessungen als bei herkömmlichen Erzeugnissen auch große Dimensionen annehmen können. Zur Fertigung werden die Eingangsmaterialien aus dem Eingangslager entnommen und im Rahmen des Fertigungsprozesses weiterver-

arbeitet. Das Ergebnis dieses Prozesses stellt das entsprechende Erzeugnis dieser Fertigungsstufe (zum Beispiel Spinnerteil) dar.

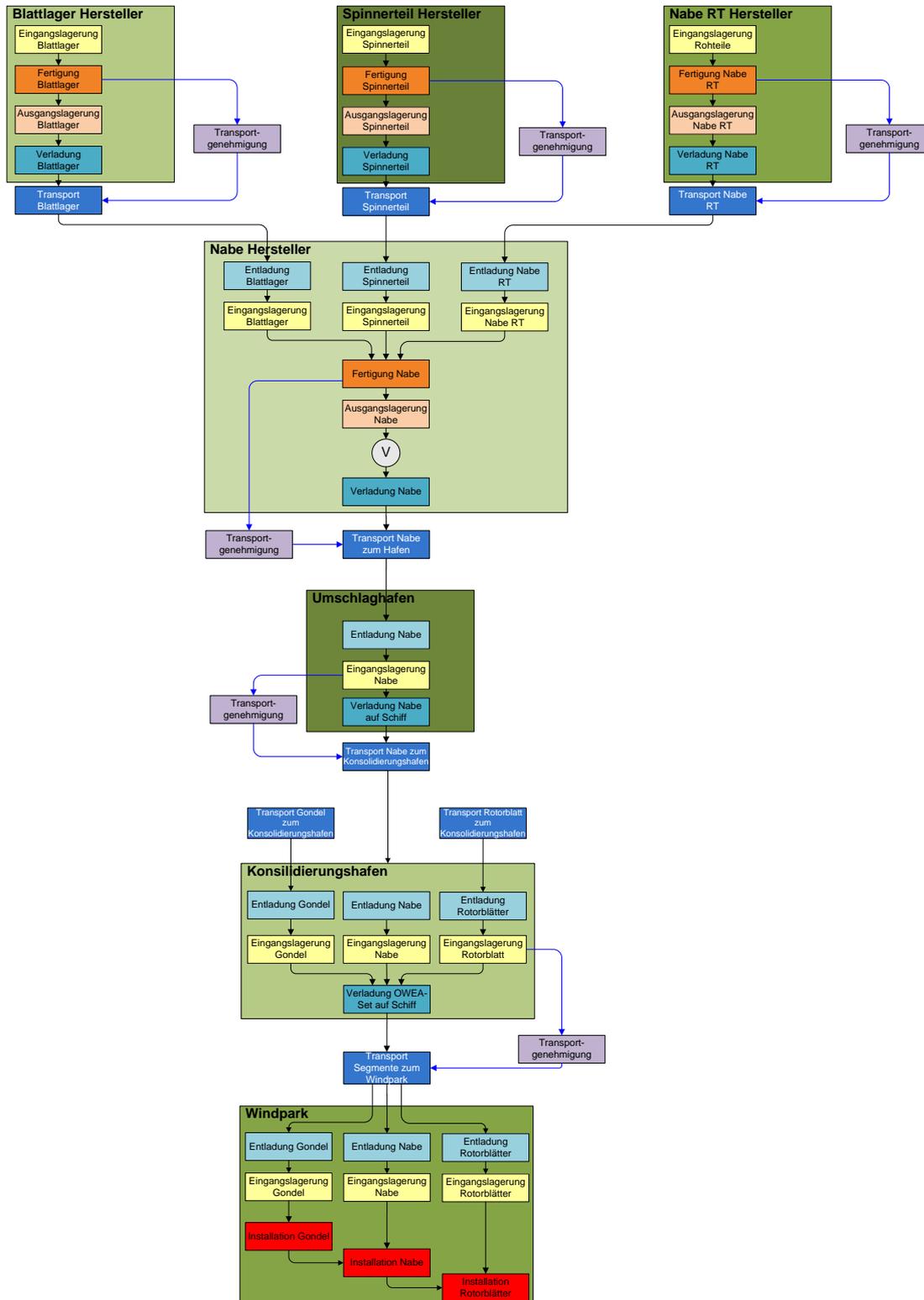


Abbildung 4: Prozess am Beispiel der Fertigung der Nabe

Nach der Fertigung wird das Erzeugnis bis zum Transport zum nächsten Fertigungs- bzw. Montagestandort in einem Lager zwischengelagert. Die hierzu notwendige La-

gerfläche muss entsprechend der Lagerdauer und der Teilegröße vorgehalten werden. Um am nachfolgenden Fertigungsstandort (Montage der Nabe) weiterverarbeitet werden zu können, ist ein Transport zwischen den Standorten erforderlich. Da es sich, wie schon erwähnt, bei den meisten Bauteilen und Segmenten für Offshore-Windenergieanlagen in der Regel um große, sperrige und auch sehr schwere Güter handelt, sind diese Transporte meist Sonder- und Schwerlasttransporte, deren Aufwand für Organisation, Steuerung und Durchführung entsprechend höher als bei herkömmlichen LKW-Transporten ist. Ein entscheidender Unterschied besteht in den zusätzlichen Genehmigungs- und Überwachungsverfahren der Transporte, die einen nicht unbeträchtlichen Einfluss auf die Funktion des Gesamtnetzwerkes haben. Nach den ggf. erfolgten Genehmigungen werden die Erzeugnisse einzeln oder in Transportlosen, d.h. mehrere gleiche oder mehrere verschiedene Güter auf einem Transport, beim Hersteller des Erzeugnisses auf die Transportmittel verladen. Für diesen Teilprozess sind zusätzlich zu den für den Transport benötigten Ressourcen wie Transportmitteln weitere Ressourcen wie Kran oder Anschlagmittel erforderlich. Diese sind oft spezielle Ressourcen, die nur in beschränkter Anzahl zur Verfügung stehen bzw. hohe Kosten für die Nutzungszeit verursachen. Dabei kann es zu Wartezeiten in Prozessen kommen, da einzelne Ressourcen auf nicht verfügbare andere Engpass-Ressourcen warten müssen. Nach der erfolgten Verladung erfolgt der eigentliche Transport der Güter vom Hersteller zum Standort der nächsten Fertigungsstufe, den Baugruppen- oder Segmentherstellern. Die Transporte werden meist als Schwerlasttransporte mit entsprechender Sonderausrüstung durchgeführt. Auf Grund der Lasten können diese nur auf eingeschränkten Fahrtrouten erfolgen. Am Zielort werden die Güter (zum Beispiel Spinnerteil) in das Eingangslager entladen. Für diesen Teilschritt gelten die gleichen Aussagen, wie beim Verladen der Güter beim Produzenten.

Im Eingangslager des Baugruppen- oder Segmentherstellers (Monteur der Nabe) werden alle angelieferten Bauteile und Baugruppen der Zulieferer bis zur Montage zwischengelagert. Für die bisher betrachtete Beispielkette des Netzwerkes zur Montage der Nabe werden im Rahmen des Projektes die drei Unterbaugruppen Spinnerteil, Nabe-Rohteil und Blattlager berücksichtigt. Diese Baugruppen bilden somit die Eingangsmaterialien für den nachfolgenden Montageprozess und werden zu Beginn des Prozesses aus dem Lager entnommen. Analog der allgemeinen Beschreibung des Fertigungsprozesses beim Hersteller des Spinnerteiles erfolgt auch hier ein Transformationsprozess (Montage) unter Nutzung von Ressourcen in einer bestimmten Montagezeit. Auch in diesem Fall wird die montierte Baugruppe bzw. das Segment (Nabe) bis zum Transport zum nächsten Fertigungsschritt in einem Ausgangslager gelagert. Abgesehen von den geänderten Erzeugnissen und dem Standort gelten für das Ausgangslager die gleichen Aussagen wie beim Fertiger (Hersteller Spinnerteil) in der vorlagerten Wertschöpfungsstufe. An den Lagerprozess schließt sich der Transport der WEA-Baugruppe zu seinem nächsten Montageort an. Diese können sich entsprechend der Montagestruktur (siehe Abschnitt 3.3.2.2) voneinander unterscheiden. In dem hier betrachteten Beispiel wird die WEA-Montage unter Ver-

wendung eines Konsolidierungspunktes<sup>26</sup> betrachtet. Hierzu ist der Transport der Nabe zum Konsolidierungshafen erforderlich, der im betrachteten Beispiel nicht direkt, sondern über den Umschlagpunkte (Hafen) erfolgt. Im ersten Schritt geschieht hier analog der vorangegangenen Fertigungsstufe ein Verladen der Güter (Nabe) mit anschließendem Transport zum Hafen. Hier wird im günstigsten Fall eine direkte Verladung der Nabe auf das Transportschiff vorgenommen. In Abhängigkeit von der Lagerstrategie innerhalb des Logistiknetzes kann jedoch auch eine Lagerung am Umschlaghafen erfolgen und somit die Entladung in ein Lager (analog den Fertigungsstandorten) erfolgen. Dies ist insbesondere bei einer Bündelung von Transporten durch Zusammenfassung von mehreren gleichen oder mehreren verschiedenen Gütern notwendig, um die entsprechenden Güter bei zeitlich versetzter Anlieferung zwischenzulagern. Anders als bei den bisher betrachteten Standorten findet am Hafen kein Transformationsprozess statt. Somit erfolgt die Lagerung der Segmente nur in einem Lager (Lagerplatz im Hafen). Die Verladung der Segmente am Hafen erfolgt dabei ebenfalls aus diesem Lager. Der prinzipielle Verladungsprozess ist mit den im Vorfeld betrachteten Prozessen vergleichbar. Im Gegensatz zu den im Vorfeld betrachteten Transporten, bei denen es sich im Wesentlichen um Landtransporte handelt, ist der Transport zum Konsolidierungshafen nun ein Seetransport mit Transport- oder Montageschiffen bzw. Pontons. Die Abläufe im Konsolidierungshafen entsprechen ebenfalls denen des bereits beschriebenen Hafens: Entladung der Güter und anschließende Zwischenlagerung bis zur Verladung zum Weitertransport. Bei der Verladung erfolgt entsprechend der Transportstrategie eine Zusammenfassung verschiedener Segmente zu einer Lieferung. Im dem betrachteten Beispiel werden jeweils ein Maschinenhaus, eine Nabe und 3 Rotorblätter auf ein Montageschiff verladen. Das Montageschiff übernimmt den nachfolgenden Transport zum Windpark. Im Windpark erfolgt dann nacheinander die Montage der Bauteile auf den vormontierten Turm direkt vom Montageschiff aus, ohne einen Entlade- bzw. Lagervorgang. Diese Versorgungsstrategie wird als Pendelverkehr bezeichnet. Die Segmente können jedoch statt mit einem Montageschiff, das gleichzeitig die Montage der Segmente vornimmt, auch mit konventionellen Transportschiffen oder Pontons transportiert werden. In diesem Fall erfolgen im Windpark ein Entladeprozess und gegebenenfalls eine Zwischenlagerung der Bauteile auf dem Montageschiff vor Ort zur Verringerung der Stillstandzeiten der Transportschiffe. Anschließend werden diese Segmente entsprechend ihrer Montagereihenfolge durch das Montageschiff oder einen Schwimmkran montiert. Die Montage der Segmente im Windpark stellt das Ende der Logistikkette dar.

Aus der Betrachtung dieses Ablaufes am Beispiel der Nabe ergibt sich die Notwendigkeit, zur Abbildung der Lager- und Fertigungs- und Transportprozesse im Logistiknetzwerk, die Standortebene weiter zu untergliedern.

---

<sup>26</sup> in der Regel ein zur Erreichung des Windparks günstig gelegener Hafen

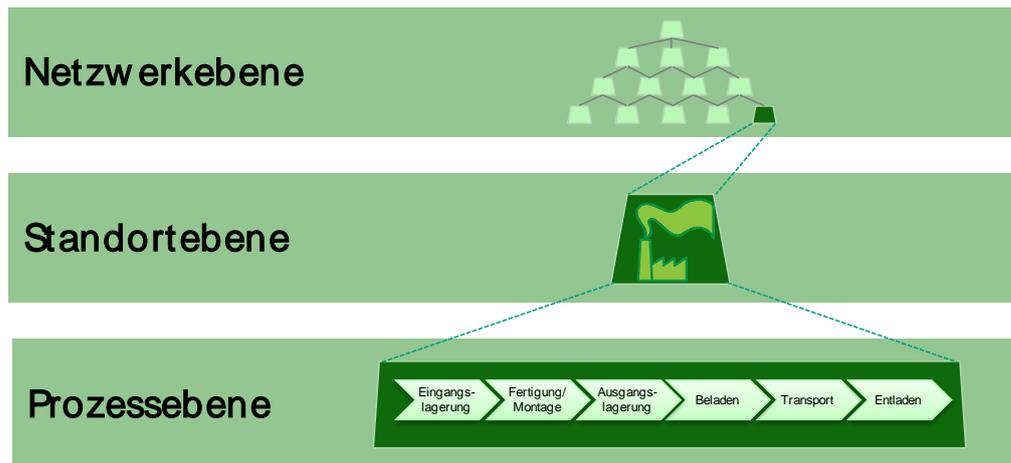


Abbildung 5: Drei Ebenen des Logistiknetzes

Allgemein können die Abläufe entlang der Logistikkette als Transformationsprozesse (Fertigung oder Montage) mit vor- und nachgelagerten Lagerprozessen beschrieben werden, die an den eigentlichen Standorten stattfinden. Des Weiteren sind zwischen den Standorten Transportprozesse notwendig. Schnittstelle zwischen den Lager- und Transportprozessen bilden die Be- bzw. Entladevorgänge, die nicht separat zu den Transporten betrachtet werden müssen, da in diesen Prozessen andere Ressourcen (z.B. Kran usw.) als im reinen Transportprozess verwendet werden. Die zur Durchführung der Transporte erforderlichen Genehmigungsprozesse werden im Projekt nicht als gesonderte Prozesse betrachtet. Zur Verbesserung der Transparenz wird nur die durch die Genehmigung verbundene Einflussnahme auf die Transportprozesse dargestellt. Auf die Abbildung der Genehmigung wird im Abschnitt 3.3.3 näher eingegangen.

Somit wurde im Rahmen des Projektes die Transportebene in folgende sechs Teilprozesse untergliedert:

- Eingangslagerung
- Fertigung/Montage
- Ausgangslagerung
- Beladung
- Transport
- Entladung

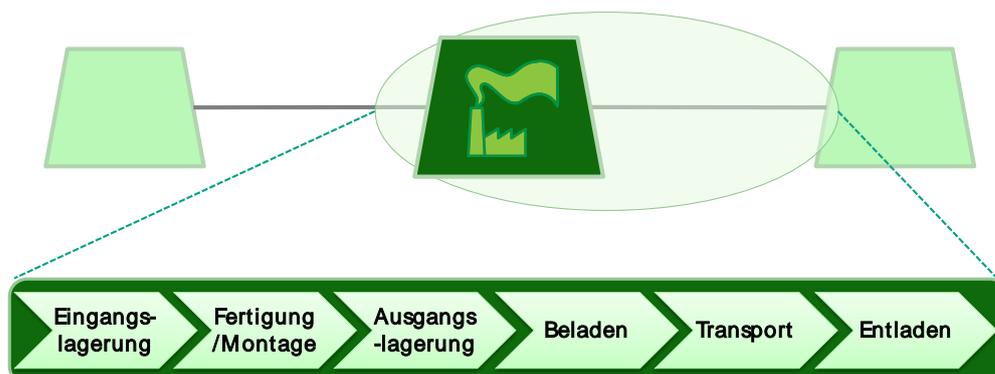


Abbildung 6: Sechs Teilprozesse der Prozessebene

Die Abläufe im Netzwerk können dann durch diese Teilprozesse entsprechend beschrieben werden. Hierzu werden zu jedem Teilprozess entsprechende Basisdaten definiert, die den Prozess charakterisieren. Die wesentlichen Merkmale sind dabei die Prozesszeiten, die zur Prozessdurchführung notwendigen Ressourcen wie Fertigungs-, Lager-, Transport- und Handlingsressourcen und die möglichen Störquellen, die den Prozess negativ beeinflussen. Für die Fertigungs- und Montageprozesse sind ebenfalls die Eingangs- und Ausgangsmaterialien zu definieren bzw. aus der Produktstruktur dem Prozess zuzuordnen. Die hieraus resultierenden Bestandteile des allgemeinen Prozesskettenelementes für die Betrachtungen im Rahmen des Projektes sind in Abbildung 7 dargestellt.

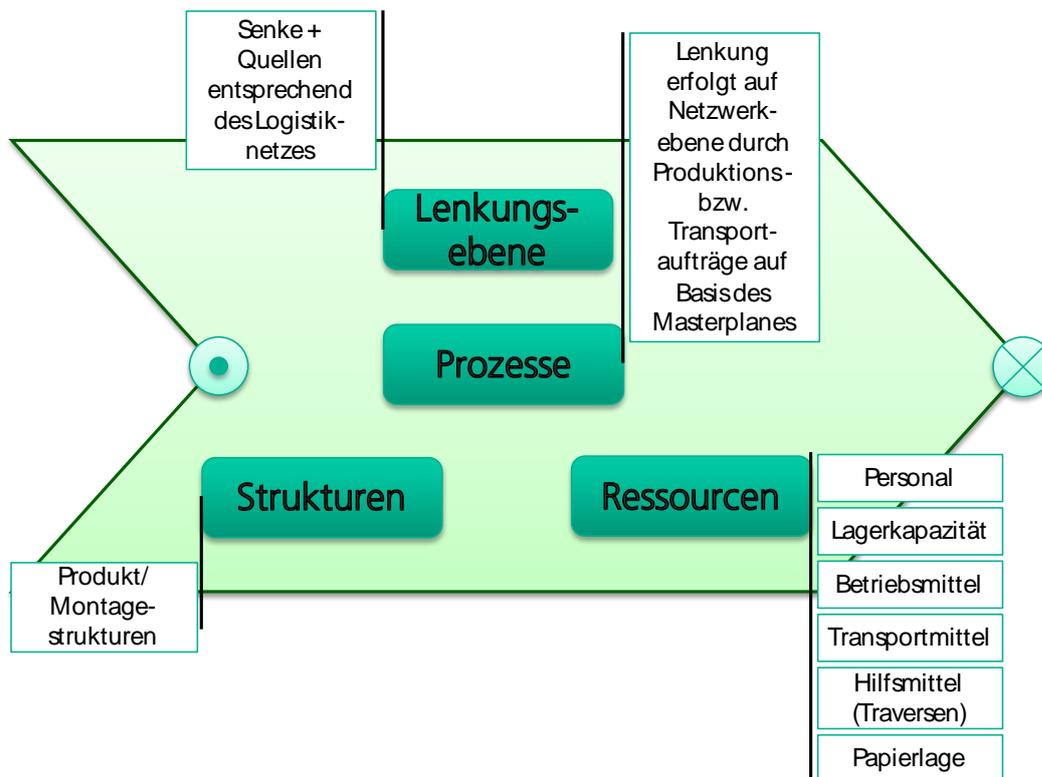


Abbildung 7: Allgemeines Prozesskettenelement des Logistiknetzwerkes

### 3.3.1.4 Netzwerkabbildung

Zur übersichtlichen Darstellung der Netzwerkstruktur wird das Netzwerk auf Basis der Graphentheorie als Knoten und Kanten abgebildet. Die Knoten stellen dabei die entsprechenden Produktions- bzw. Fertigungs- und Umschlagstandorte dar. Umschlagstandorte können zum Beispiel Konsolidierungspunkte zwischen den Fertigungsstandorten zur Zusammenführung von mehreren Gütern und dem anschließenden gemeinsamen Weitertransport zu einer Senke (Zielstandort) sein. Die Knoten werden mit Kanten zu einem Netzwerk verbunden. Die Kanten definieren die entsprechenden Transportrelationen zwischen den Standorten.

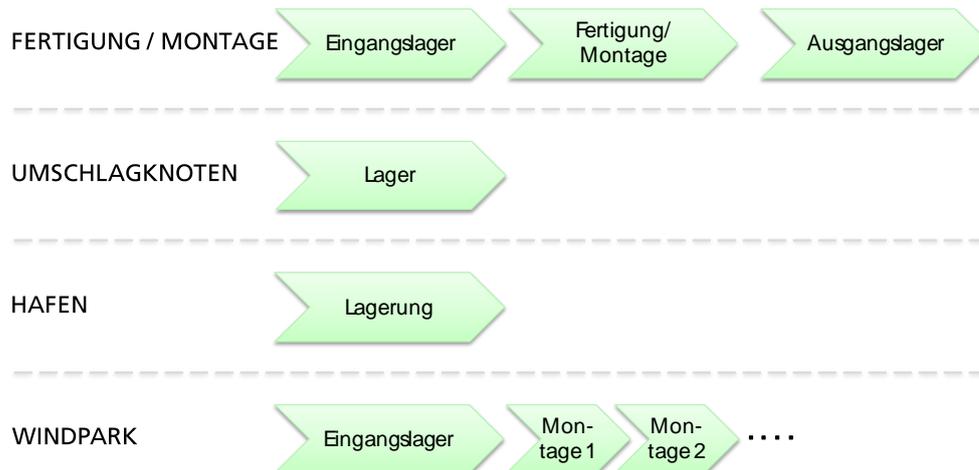


Abbildung 8: Standorttypen und deren Teilprozesse

Im Projekt werden aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an die Standorte vier verschiedene Standorttypen unterschieden (Abbildung 8).

Ein Standorttyp ist hierbei der Fertigungs- bzw. Montagestandort, an dem Transformationsprozesse erfolgen. Dies sind zum Beispiel die Herstellung von Einzelteilen bzw. Baugruppen oder die Montage von Baugruppen zu Komponenten bzw. Anlagensegmenten. Diese Prozesse sind durch eingehende Materialien und deren Transformation in ausgehende Materialien (Produkte) gekennzeichnet. Sie nutzen alle beschriebenen Teilprozesse der Prozessebene. Hierbei können einem Fertigungs- bzw. Montagestandort Prozesse mehrerer unabhängiger Erzeugnisse zugeordnet werden, die jedoch unabhängig voneinander und parallel ablaufen. Diese Prozesse werden nicht weiter in Teilprozesse zerlegt.

Eine weiterer Standorttyp sind die Umschlagstandorte. Diese Standorte sind durch entsprechende Umschlag-, Ein- und Auslagerungsprozesse sowie Zwischenlagerungsprozesse gekennzeichnet. Sie stellen Fertigungsstandorte ohne Transformationsprozesse dar und nutzen somit lediglich ein Lager.

Ein besonderer Umschlagstandort und somit der dritte Standorttyp ist der Hafen, bei dem im Simulationstool die Möglichkeit zur Hinterlegung einer Logik für verschiedene Anlieferungsstrategien zum Windpark besteht und die Wetterbedingungen als eine zusätzliche Störgröße für die ausgehenden Transportrelationen hinzukommt.

Der vierte Standorttyp ist der Windpark, der eine Sonderform des Montagestandortes darstellt und dadurch gekennzeichnet ist, dass keine Ausgangslagerung erfolgt, da nach der erfolgten Montage aller Anlagensegmente die WEA als Endprodukt fertiggestellt ist. Des Weiteren ist der Windpark durch mehrere aufeinanderfolgende Montageprozesse gekennzeichnet, die ausgehend von der Montagestruktur der WEA die Montagestufen abbilden.

Die Verbindung der Standorte (Netzwerkknoten) erfolgt über Transportverbindungen, auf denen die Transporte der Güter (z.B. Baugruppen) von Quellstandort zum Zielstandort erfolgen. Sie stellen im Modell die Kanten zwischen den Knoten dar und beinhalten auf der Prozessebene neben dem eigentlichen Transportprozess noch die vor- und nachgelagerten Teilprozesse Beladen und Entladen.

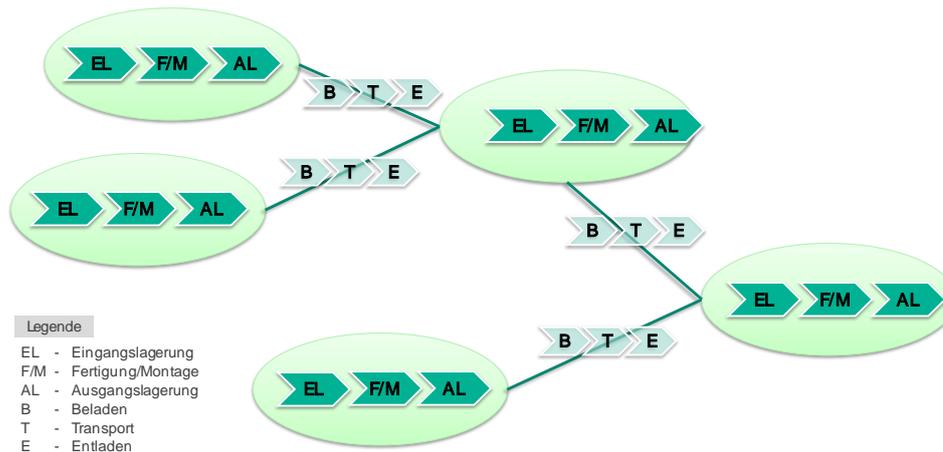


Abbildung 9: Logistiknetz mit Teilprozessen

Somit stellt das Logistiknetzwerk eine Kombination aus den oben genannten Standorttypen dar, die mit Transportverbindungen verknüpft sind (Abbildung 9).

### 3.3.2 AP 1100 Ermittlung der Rahmenparameter des Logistiknetzes

Nachdem die organisatorischen und informellen Zusammenhänge der Prozesskettenelemente in der Supply Chain dokumentiert wurden, wurden im folgenden Arbeitspaket die physischen Rahmenparameter der Logistikkette ermittelt. Dieses Arbeitspaket wurde teilweise parallel zum Arbeitspaket 1000 bearbeitet, da bereits in den erfolgten Interviews aus AP 1000 bereits Informationen zu Randbedingungen gesammelt wurden bzw. diese Randbedingungen sich aus der Produkt- und Montagestruktur ableiten lassen. Die vorliegenden Informationen wurden durch weitere Interviews wie zum Beispiel zur Verladung von Windkraftanlagen (Otto Wulf GmbH & Co. KG) sowie Zuarbeiten der LSA ergänzt. Der Hauptfokus lag dabei auf der Identifizierung der Randbedingungen der Prozesse und notwendiger Ressourcen in den entsprechenden Bereichen der Logistikkette und deren Abbildung im Simulationssystem. Hierzu wurde eine zentrale Ressourcendatenbank definiert, die in der Lage ist die Ressourcen des gesamten Netzwerkes mit deren entsprechenden Parametern abzubilden. Diese wird in das Eingabetool integriert. Des Weiteren wurden in diesem Arbeitspaket ausgehend von den Prozessen, Akteuren und Strategien die Rahmenbedingungen und Anforderungen an das Simulationsmodell beschrieben. Diese sind zum Beispiel die Wetterabhängigkeit (Wellengang) der Offshore-Montage, Realisierung verschiedener Versorgungsstrategien und die flexible Abbildung der Montagestruktur.

#### 3.3.2.1 Produktmodell

In unterschiedlichen Gesprächen und Interviews wurden die Besonderheiten und Eigenschaften des Logistiknetzes herausgearbeitet. Basis hierzu bildeten die Produktstruktur der Windkraftanlage und die damit verbundenen Fertigungsstufen, die Transporte zwischen den einzelnen Standorten innerhalb des Netzwerkes notwendig machen oder für die Veranlassung von Transporten bzw. für den Start nachfolgender Montageprozesse verantwortlich sind.



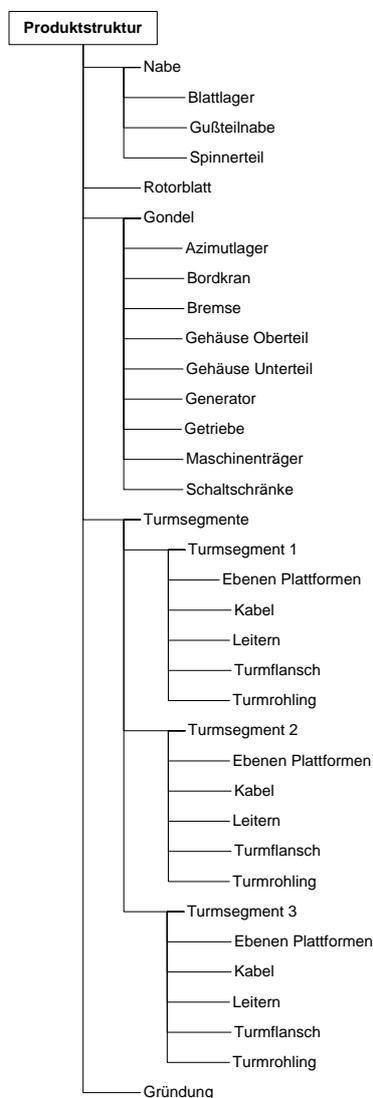
Die Betrachtung der Offshore-Windkraftanlagen-Struktur beschränkte sich dabei auf die derzeit verwendeten Anlagenmodelle mit horizontaler Rotorachse.

Diese besteht in der Regel aus folgenden Bauteilen: 3 Rotorblätter, Rotornabe, Triebstrang, Generator, Windmesssysteme, Mess- und Regeleinheit, Turm, Fundament, sowie einer Vielzahl von Hilfsaggregaten und dem Netzanschluss.

Für die Montage wurden folgende Hauptbaugruppen definiert.

- Fundament (Gründung)
- Turm
- Gondel (Maschinenhaus)
- Rotornabe (Hub)
- Rotorblatt

Produktstruktur der Windenergieanlage



Produktstruktur der Gründung

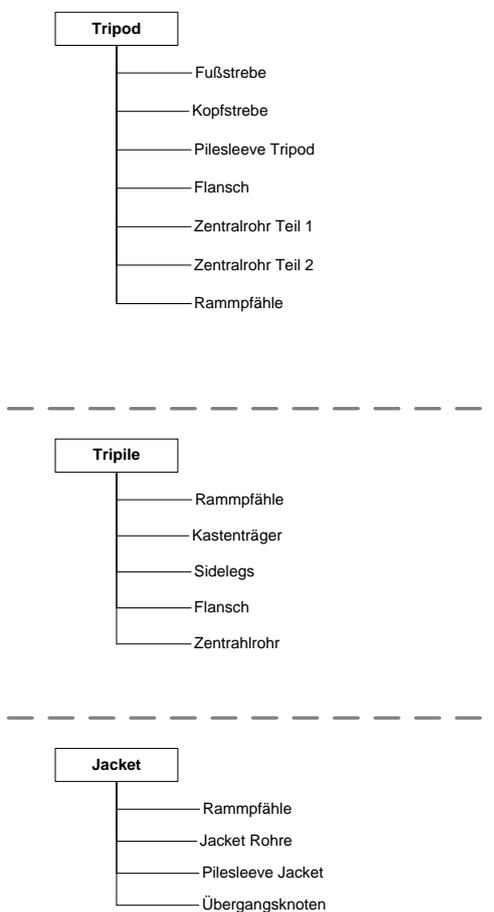


Abbildung 10: Beispiel der Produktstruktur von Offshore-Windenergieanlagen

Gegenüber Landanlagen ist für die Erstellung eines Fundaments für Offshore Windenergieanlagen ein sehr viel größerer Aufwand für dessen Produktion und Installation erforderlich. Unter den verschiedensten Varianten von Gründungskonzepten für Windenergieanlagen auf See stellen das Gravitationsfundament, der Monopile, das

Tripile, der Tripod und das Jacket die Klassiker aus der konventionellen Offshore-Industrie dar. Ein Großteil der anderen Konzepte sind Modifikationen zur Erfüllung der geforderten Eigenschaften mit besonderer Berücksichtigung des für Offshore-Windpark-Projekte gegebenen Kostenrahmens.

Das Gravitationsfundament ist eine Ausführung der Flachgründung und wird bei einer Wassertiefe  $\leq 10\text{m}$  eingesetzt. Die Gravitationskräfte halten den Fundamentkörper hierbei in einer aufrechten Position. Aufgrund der geringen Wassertiefe und Belastbarkeit ist diese Gründungsart im Rahmen des Untersuchungsbereiches dieses Projektes nicht weiter betrachtet worden.

Monopile oder auch Einpfahlgründung ist eine Tiefgründung, bei der einfache Stahl- oder auch Betonröhren in den erforderlichen Dimensionen, in den Seeboden, z.B. durch Bohren, getrieben werden. Mit Hilfe von Ösen werden die Gründungspfähle mit der am Seeboden zu verankernden Struktur verbunden. Monopiles haben Durchmesser von ca. 3 bis 4,5 m und können eine Masse von bis zu 400 Tonnen, in Abhängigkeit von der Größe der zu montierenden Windenergieanlage, erreichen.

Der Tripod besteht zunächst aus einem zentralen Stahlrohr, welches den Turm der Windenergieanlage trägt. An diesem befinden sich drei Stützen, welche in einem Zentralknoten mit dem Hauptrohr und einer Grundkonstruktion verbunden sind. Die Grundkonstruktion wird mit drei Rammpfählen im Seeboden verankert.

Im Rahmen des Projektes wird die Tripodgründung als bevorzugtes Gründungskonzept für größere Wassertiefen betrachtet. Ein Tripod unterteilt sich in folgende Baugruppen:

- Zentralrohrunterteil (je nach Bauart auch ein zusätzliches Zentralrohrmittelteil)
- Zentralrohroberteil
- Führungsrohr (3x)
- Kopfstrebe (3x)
- Fußstrebe (3x)
- Flansch
- Pile

Im Vergleich zu Monopiles sind die Dreibeinfundamente steifere Gründungskonzepte.

Monopilegründungen sind durch die Dimensionen einer 5MW-Windenergieanlage und Wasser- und Rammtiefen von jeweils ca. 30 m Grenzen gesetzt. Sie müssten ca. 70 m hoch einschließlich der Anschlusshöhe über der Wasseroberfläche und mit Durchmessern von bis zu 6 m ausgeführt werden. Hierbei sind technische Grenzen für eine hydraulische Rammung und für die Handhabung gesetzt. Durch die zunehmende Entfernung der Windparks von der Küste, der damit verbundenen größeren Wassertiefe und dem zunehmenden Einsatz von 5 MW-Anlagen tritt die Nutzung von Monopiles in den Hintergrund.

Die Gründung mittels Tripile wird durch drei Stahlpfeiler umgesetzt, die ähnlich dem Monopile in den Meeresboden gerammt werden. Über Wasser wird auf diesen Stahlpfeilern eine Dreibeinkonstruktion aufgesetzt. Die Produktion von Tripile-Fundamenten ist wegen der kompakten Bauweise relativ kostengünstig. Tripile-



Fundamente sind dabei für Wassertiefen von 25 bis zu 50 Metern geeignet. Sie werden in folgende Hauptelemente gegliedert:

- Flansch
- Kastenträger (3x).
- Sidelegs (3x)
- Zentralrohr.

Die Jacket-Gründung besteht aus einer Fachwerkskonstruktion aus Stahl, die der Konstruktion von üblichen Strommasten gleicht. Das Jacket wird an seinen vier Füßen mit Pfählen im Meeresboden verankert. Die Jacket-Konstruktion ist für größere Wassertiefen geeignet und kam bereits in der Ölindustrie erfolgreich zum Einsatz. Da die einzelnen Bauelemente relativ klein sind, lassen sie sich fast vollautomatisch produzieren und können einfach transportiert und montiert werden. Folgende Baugruppen werden für eine Jacketgründung verwendet.

- Jacketturm aus
  - Flansch
  - Übergangsknoten und
  - Rohre
  - Pile (4x)

Zur Abbildung der Herstellung der Gründungsstruktur ist es erforderlich, ca. 2 bis 3 Ebenen in der Netzwerkstruktur vorzusehen. So ist eine entsprechende Detailliertheit für die Herstellung der beschriebenen Produktstruktur möglich. Zur endgültigen Definition der Ebenenanzahl ist jedoch neben dem Herstellungsprozess der Gründung noch der Montageprozess der OWEA vor Ort zu betrachten. Diese Betrachtung erfolgt nach der Darstellung der restlichen Elemente der WEA.

Die nächste Hauptbaugruppe der OWEA stellt der Turm dar. Er ist wesentlicher Bestandteil einer Windenergieanlage. Seine Hauptaufgabe besteht darin, das Maschinenhaus und die Rotorblätter zu tragen. Für Offshore-Windenergieanlagen wird derzeit im Wesentlichen die Turmbauart mit einem konischen Stahlrohr eingesetzt, die aus mehreren zylindrischen Segmenten bestehen. Diese Elemente werden bereits mit entsprechenden Einbauten wie Leitern, Plattformen und Podesten, Anbauten und je nach WEA-Hersteller entsprechenden elektrotechnischen Anlagen ausgestattet. Im Projekt wurde folgende Produktgliederung des Turmes vorgenommen.

- Turmunterteil
  - Flansch
  - Kabel
  - Leitern
  - Ebenen, Plattformen
  - Turm Rohling
  - Optional bzw. nur bei einzelnen Herstellern
    - Elektronik/Schaltschränke
    - Bordkran
- Turmmittelteil und Turmoberteil jeweils bestehend aus



- Flansch
- Kabel
- Leitern
- Ebenen, Plattformen
- Turm-Rohling

Aus dieser Baustruktur heraus sind zwei Fertigungsstufen für die Turmherstellung abzubilden. Einerseits sind dies die Zulieferer der Komponenten und die Hersteller der Turmsegmente. Andererseits die Montage der Turmsegmente aus den einzelnen Komponenten. Auf weitere Stufen, die zum Aufbau der WEA erforderlich sind, wird bei deren Endmontage später eingegangen.

Die Gondel bzw. das Maschinenhaus einer Windenergieanlage beinhaltet fast alle für den Betrieb der Anlage erforderlichen Komponenten: Antriebswelle, Hauptlager, Getriebe (außer getriebelose Anlagen), Generator, Windrichtungsnachführung, Steuerungs- und Sicherheitssysteme und z. T. auch den Transformator. An der Vorderseite der Antriebswelle ist der Rotor montiert, welcher aus der Nabe sowie den drei Rotorblättern mit ihren Verstelleinrichtungen besteht. Ausgehend von den Transportaufwänden wurden für das Projekt LogOWEA folgende Baugruppen der Gondel auf Basis der 3 Hauptbaugruppen Gondelgehäuseunter- und -oberteil und Antriebsstrang definiert:

- Antriebsstrang
  - Getriebe
  - Bremse
- Gondelgehäuse oberer Teil
  - Gehäuse -Oberteil
  - Hubschrauberdeck (je nach Hersteller)
  - Bordkran (je nach Hersteller)
- Gondelgehäuse unterer Teil
  - Azimutlager
  - Maschinenträger
  - Gehäuse-Unterteil
  - Generator
  - Schaltschränke

Für die Montage der Gondel vor Ort existieren verschiedene Montageabläufe, auf die später eingegangen wird.

Aus der konstruktiven und funktionellen Sicht betrachtet, ist die Rotornabe die erste Komponente des mechanischen Triebstrangs der Windenergieanlage. Sie dient zur Aufnahme der Rotorblätter und beinhaltet die Mechanismen für deren Verstellung. Üblicherweise wird die Rotornabe als Stahlgusskörper hergestellt. Im Rahmen der weiteren Betrachtungen werden folgende Baugruppen der Nabe untergliedert:

- Gussteilnabe (Nabe-Rohteil)
- Spinnerteil
- Blattlager

Diese Einteilung erfolgt auf Grund der Größe der Bauteile und der damit verbundenen Relevanz der Teile für Schwerlast- bzw. Sonder-Transporte.

Die Rotorblätter der Windenergieanlage werden an der Nabe montiert und haben die Aufgabe die Windenergie aufzunehmen. Zurzeit werden von fast allen Herstellern Rotoren mit drei Rotorblättern favorisiert. Die Herstellung der Rotorblätter erfolgt hauptsächlich aus glas- beziehungsweise kohlefaserverstärkten Kunststoffen. Daher wurde auf eine weitere Unterteilung der Produktstruktur im Rahmen des Projektes verzichtet. Die Rotorblätter stellen auf Grund ihrer Länge von bis zu 60m besondere Anforderungen an die Transporte hinsichtlich Streckenführung und Transportmittel.

### 3.3.2.2 Montagestruktur

Ausgehend von der in Abschnitt 3.3.2.1 beschriebenen Produktstruktur können durch die verschiedenen Montagestrategien (Ablauf der Montage) für Windenergieanlagen zusätzliche Ebenen in der Betrachtung der Kette notwendig werden, welche nachfolgende an einigen Beispielen beschrieben wird.

Neben den verschiedenen Gründungstypen, die je nach Anlagenhersteller, Windparkbetreiber bzw. Windparkstandort zur Anwendung kommen, ist eine weitere Besonderheit der Gründung, dass sie in der Regel zeitlich vor der eigentlichen Montage erfolgt und somit einen separaten Bauabschnitt der WEA darstellt. Dieser Bauabschnitt bildet dann die Basis für die weitere Montage der WEA und muss daher auch im Simulationsmodell entsprechend abgebildet werden. Des Weiteren kann durch die Montagedauer der Segmente bzw. die eingeschränkte Kapazität der Transportschiffe eine Aufteilung in mehrere Montagestufen erforderlich sein. So erfolgt zum Beispiel das Setzen der drei Rammpfähle des Tripiles vor dem Transport des eigentlichen Tripile zur Baustelle und danach dessen Montage auf den Rammpfählen.

Eine weitere Unterscheidung kann hinsichtlich der Montage der weiteren WEA-Segmente auf die Gründung erfolgen. Eine derzeit angewandte Montagestrategie ist zum Beispiel die Komplettmontage der WEA-Segmente (Turm, Gondel, Nabe und Rotorblätter) im Hafen und der anschließende Transport mittels Schwimmkran zum Windpark (Sail-out). Im Windpark wird die vormontierte Anlage auf die Gründung montiert.

Andere Strategien sehen einen geteilten Aufbau der Anlage verbunden mit der Zusammenfassung von mehreren Segmenten zu Transporten und deren einzelnen Montage im Windpark vor. So können zum Beispiel die drei Turmsegmente einer WEA gemeinsam zum Windpark transportiert werden und dort nacheinander auf die vorhandenen Gründungen montiert werden. Anschließend erfolgt ein weiterer Transport, bei dem die Gondel, die Nabe und die Rotorblätter entsprechend zur Baustelle transportiert und dort nacheinander montiert werden. Hierbei kann je nach Tragfähigkeit der Installationseinheiten (Kran) und dem Gewicht der Gondel eine weitere Aufteilung der Gondel auf mehrere Montagestufen notwendig sein. Die Gondel wird dann in 3 Teilen (Gehäuseunterteil mit Maschinenträger, Maschinenstrang und Gehäuseoberteil) im Windpark angeliefert und einzeln montiert. Dies erfordert die Abbildung dieser Baustufen bereits beim Hersteller der Komponenten.

Eine weitere Möglichkeit zur WEA-Montage ist die Sternmontage bzw. die Verwendung von vormontierten Gondeln mit teilmontiertem Rotor („Bunny“).



Bei der Sternmontage erfolgt an Land bereits die Vormontage des Rotors (auch als Stern bezeichnet) aus der Nabe und den 3 Rotorblättern. Diese Baugruppe wird dann gemeinsam mit der Gondel zur Baustelle transportiert und dort nacheinander auf dem vorhandenen Turm montiert.

Im Gegensatz zur Sternmontage erfolgt bei Nutzung von Gondeln mit teilmontiertem Rotor eine Montage der Gondel mit Nabe und zwei Rotoren an Land, so dass auf See nach dem Aufsetzen der Gondel lediglich noch ein Rotorblatt montiert werden muss.

Weitere Unterscheidungen, die starke Auswirkungen auf die Definition des Netzwerkes haben, sind die unterschiedlichen Bauweisen der Turmsegmente - im Speziellen das untere Turmsegment S3. Je nach Hersteller kann das untere Turmsegment teilweise komplett fertig montiert werden. Es kann aber auch nach erfolgter Herstellung an einem weiteren Standort mit Anbauteilen vervollständigt werden. Im zweiten Fall sind gegenüber der ersten Variante neben einer zusätzlichen Fertigungsstufe weitere Standorte (Knoten) und damit verbundenen Transportverbindungen zu definieren. Da in diesem Falle von Seetransporten ausgegangen werden kann, sind noch zusätzliche Umschlagpunkte erforderlich.

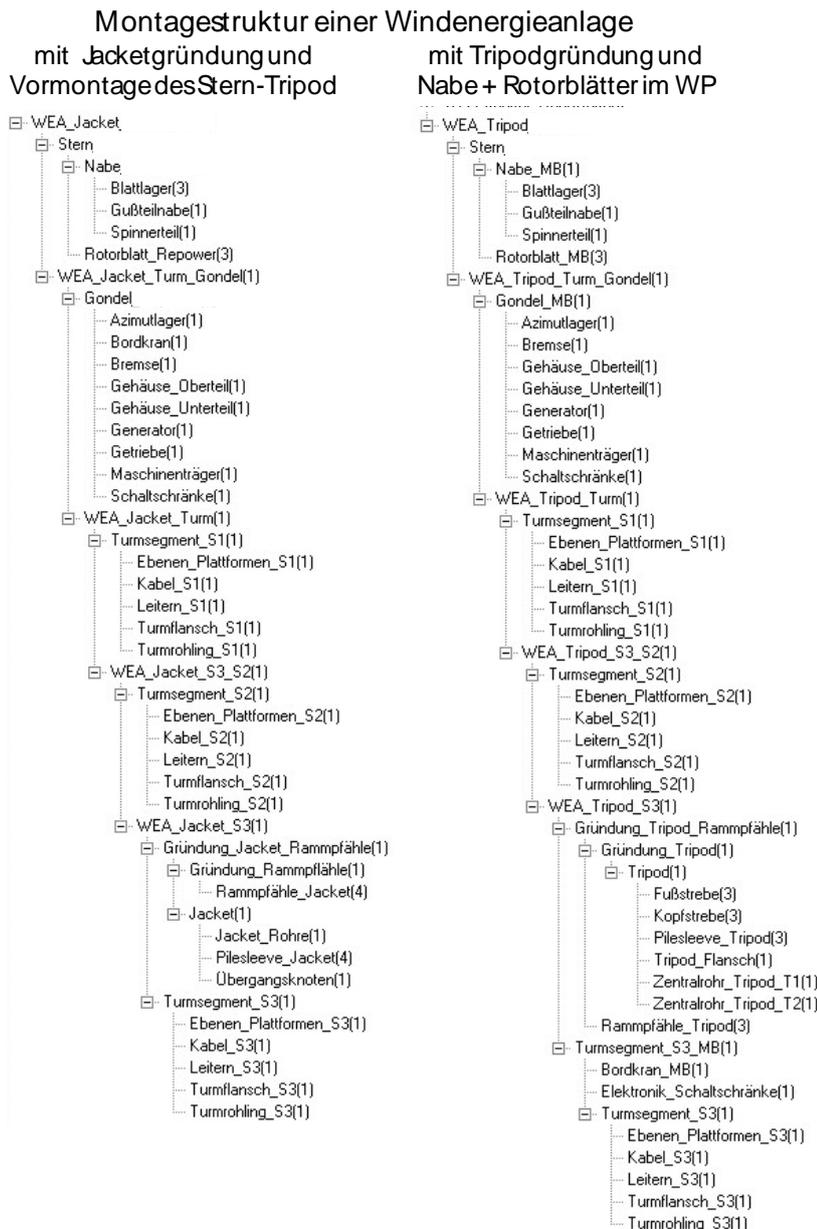


Abbildung 11: Beispiele der Montagestruktur von Offshore-Windenergieanlagen

Wie die Beispiele zeigen, kann eine Vielzahl verschiedener Montage-Strukturen zur Anwendung kommen. Hieraus erwächst die Anforderung an das Simulationsmodell, keine festen vorgefertigten Strukturen abzubilden, sondern diese vom Nutzer frei definierbar zu gestalten, um alle Anwendungsfälle im Tool zu berücksichtigen. Dies betrifft nicht nur die Netzwerke, sondern auch die damit verbundenen Produktstrukturen.

### 3.3.2.3 Wesentliche Prozesse und Akteure

Die Akteure lassen sich in vier Hauptgruppen unterteilen.

Die Betreiber der Windparks bzw. die Projektplaner, die Hersteller der einzelnen Komponenten für die Windkraftanlage (Gründungen, Anlagenhersteller), die Errichtungsunternehmen (Offshore Installation) und als großes Feld dahinter, die gesamte Zulieferindustrie.



Die bisherigen Betrachtungen haben zumeist nur einzelne Felder des gesamten Prozesses der Herstellung der Einzelteile (z. B. Getriebe) bis zur fertig errichteten und angeschlossenen Anlage offshore betrachtet.

Diese Kette ist aber so eng verzahnt, dass für eine saubere Bewertung / Durchführung / Risikoabschätzung der Prozess im Gesamten betrachtet werden muss.

Hierzu wurden zunächst die Akteure lokalisiert und benannt, sowie anschließend die logistischen Prozesse zwischen den einzelnen Beteiligten definiert und festgelegt. Auf der Ebene der Zulieferindustrie (i. d. F. 3rd tier) wurde auf eine Betrachtung der internen Prozesse im Demonstrator verzichtet, ist aber im Modell abbildbar. Einzig die Belegung mit möglichen Verzögerungen durch Definition möglicher Störgrößen als unter Umständen den Gesamtprozess verzögernde Komponente wurde berücksichtigt. Dies gilt ebenso für notwendige Vorlaufzeiten (zeitlicher Abstand zwischen Eingang der Bestellung beim Lieferanten und Auslieferung der Ware).

Auf der Ebene der Anlagenhersteller, Gründungsstrukturbauer, Turm- und Rotorblatthersteller (2nd tier) wurden einzelne Prozesse in der Herstellung berücksichtigt. Hierbei sind die Betrachtungen aber vergleichsweise einfach gehalten worden, um eine im Beginn der Arbeit kontraproduktive Komplexität des Modells zu verhindern. Auch hier sind Störgrößen und Einflüsse, hinterlegt und mit Wahrscheinlichkeiten des Auftretens berücksichtigt.

In der 1st-tier, der Offshore Installation inkl. Vormontage im Verschiffungshafen der Anlagen und Gründungskörper, sind entsprechend der definierten Prozesse (Bsp.: Vormontage des Rotorsterns) ebenfalls Prozesszeiten und Störgrößen (z. B. Wettereinflüsse oder Großgeräteausfall) mit Wahrscheinlichkeiten hinterlegt eingebunden worden.

Der Ablauf der Installation auf See und deren direkte Zuliefertransporte sind als getrennte, aber voneinander abhängige Prozesse mit entsprechender Störwahrscheinlichkeit und Prozessdauer eingebunden.

Die Definition der Akteure entlang der Kette und der zwischen ihnen stattfindenden Prozesse ist auf Grundlage zweier unterschiedlicher Konzepte (zum Zwecke der Vergleichbarkeit zweier unterschiedlicher Vorgehensweisen) durchgeführt worden. Hauptsächlicher Unterschied ist der unterschiedliche Ansatz hinsichtlich der Zulieferung off-shore (Feedersystem/Pendelverkehr).

Insgesamt wurden die Prozesse (entlang der dargestellten Kette) mit Störgrößen belegt, die hauptsächlich aus der jahrelangen Erfahrung im Bereich der Schwerlastlogistik, der Projektverladung über See und der Planung im Bereich Offshore Windenergie der LSA und deren Mitarbeiter gesammelt wurden. Weiterhin wurden hier Experten aus unterschiedlichen Bereichen hinzugezogen (Offshore Installationsunternehmen, nautische Sachverständige mit Erfahrung in der Offshore Installation, Kapitäne von Schwimmkränen und Schleppern (Pontonversorgung), Krandienstleister, Schwergutunternehmer).

### 3.3.2.4 Versorgungsstruktur

Neben den Produktstrukturen und Montagestrategien sind auch verschiedene Logistikstrategien bei der Anlieferung der Segmente zum Windpark zu unterscheiden. An dieser Stelle soll auf zwei Unterscheidungsmöglichkeiten kurz eingegangen werden, die im Rahmen des Projektes hervorgehoben wurden.

#### Sammeltransport - Konsolidierungshafen

Die erste Unterscheidung kann hinsichtlich der Bündelung der Güter vor dem See-Transport zum Windpark vorgenommen werden. Hierbei kann einerseits die Nutzung eines zentralen Konsolidierungsstandortes (Hafen) erfolgen. An diesem Standort werden die Segmente der Windenergieanlagen vom Hersteller angeliefert und von dort aus als Set entsprechend der Montagestrategie zum Windpark transportiert. Dem entgegen steht der Sammeltransport, bei dem die einzelnen Segmente in den verschiedenen herstellernahen Häfen eingesammelt und anschließend zum Windpark transportiert werden. Da der Sammeltransport sehr zeitaufwendig ist und somit die Transport- bzw. Montageschiffe zeitlich stark bindet, wird diese Strategie nicht in Verbindung mit einem Pendelverkehr angewendet. Auch die Anwendung bei Feederverkehr ist durch die langen Anfahrzeiten eher selten. Diese Strategie kann jedoch bei einer räumlichen Konzentration der Hersteller und entsprechender Nähe des Windparks eine mögliche Option sein.

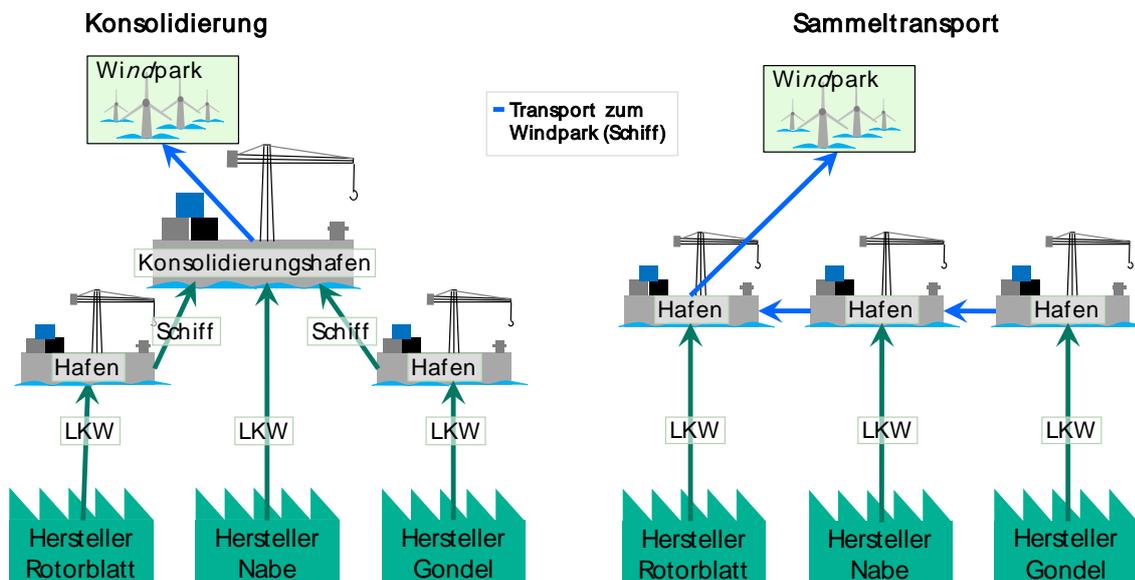


Abbildung 12: Vergleich Bündelungsstrategien

#### Pendelverkehr - Feederverkehr

Neben der Unterscheidung der Bündelungsstrategien für Transporte werden ebenfalls mehrere Möglichkeiten für den Ablauf der Transporte für Bauteile aus den Häfen bzw. Konsolidierungshafen) zum Windpark betrieben. Hierbei unterscheidet man im Wesentlichen zwischen Pendelverkehr und Feederverkehr.

Bei der Versorgung des Windparks im Pendelverkehr erfolgen der Transport und die Montage der Segmente durch die gleiche Transportressource. Hierzu werden Montageschiffe oder Schwimmkräne eingesetzt, die neben der Montagemöglichkeit (Kran)

ebenfalls ausreichend Transportmöglichkeiten an Bord aufweisen, um mehrere Segmente zu transportieren. Durch diese Fähigkeiten sind sie in der Lage, die Segmente im Hafen zu verladen, zum Windpark zu transportieren und dort zu verbauen. Nach der erfolgten Montage der Segmente kehrt das Montageschiff zum Hafen zurück und verlädt erneut Segmente für den nächsten Montagezyklus. Das Montageschiff pendelt somit zwischen Hafen und Windpark. Durch die Nutzung der Installationseinheit zum Transport der Segmente zum Windpark wird die mögliche Montageeinsatzzeit und somit die Montageleistung der Installationseinheit verringert. Diese Verluste erhöhen sich mit zunehmender Entfernung der Häfen vom Windpark. Von Vorteil ist bei dieser Strategie, dass für die Verladung im Hafen kein separater leistungsfähiger Kran erforderlich ist.

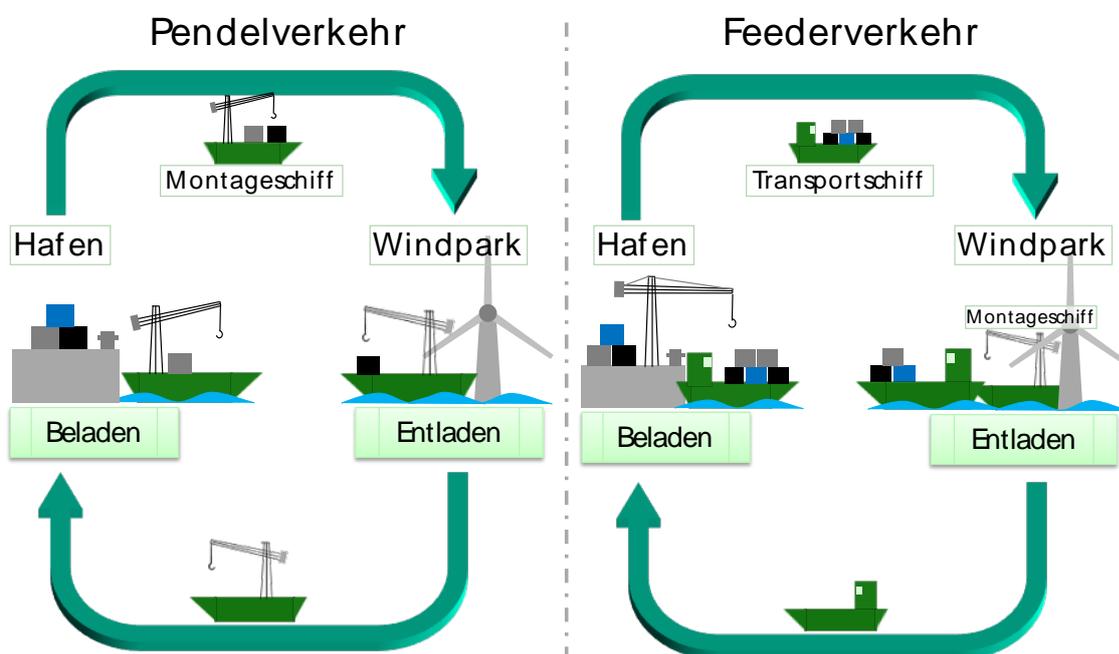


Abbildung 13: Gegenüberstellung Feederverkehr und Pendelverkehr

Im Gegensatz zum Pendelverkehr erfolgt beim Feederverkehr eine Entkopplung von Transport- und Montageressourcen, da hier die Transporte zwischen Hafen und Windpark durch Transportschiffe oder Pontons erfolgen. Die Installationseinheit (Montageschiff bzw. Kran) verbleibt im Windpark, während die Versorgung mit Segmenten durch pendelnde Transportschiffe vorgenommen wird. Hierdurch wird die Montageleistung der Installationseinheiten im Vergleich zum Pendelverkehr deutlich erhöht. Durch Anpassung der Anzahl der Transportschiffe kann somit eine nahezu unterbrechungsfreie Nutzung der Installationseinheit auch bei größerer Entfernung des Windparks zum Hafen ermöglicht werden. Dieser Vorteil erfordert jedoch neben der Installationseinheit zusätzliche Ressourcen wie Transportschiffe und Krankapazitäten im Hafen.

### 3.3.2.5 Wetterabhängigkeit und Kampagnenbetrieb

Für die Montage der Offshore-Windenergieanlagen sind eine ruhige See und möglichst Windstille erforderlich. In der Regel werden die Arbeiten bei einem Wellengang von ca. 1,5m aus Sicherheitsgründen abgebrochen. Betrachtet man die Wetterbedin-

gungen an den Montagestandorten auf See, so werden die Windparks in Gebieten mit relativ hohem Windaufkommen errichtet, um eine hohe Effizienz der Anlagen während des Betriebs zu erzielen. Da die Wellenhöhe und die Windstärke in einem direkten Zusammenhang stehen, ist in diesen Gebieten auch mit relativ hohem See-gang zu rechnen. Hierdurch sind die Zeitfenster für die Montage der Anlagen auf See relativ begrenzt. Wie Abbildung 14 zeigt, stehen in der Regel nur der Zeitraum von April bis September zur Montage der Anlagen zur Verfügung.

Durch diese witterungsbedingt schwankenden Montage-Kampagnen steht die logistische Kette vor der Herausforderung, bei einer kontinuierlichen Auslastung der Fertigungskapazitäten im Hinterland ein zeitlich begrenztes Projektgeschäft für die Montage der Anlagen auf See zu beliefern. Hierdurch kommt es zwangsläufig zur Bildung von Beständen innerhalb der Kette, da keine kontinuierliche Abnahme der Segmente über das gesamte Jahr gegeben ist und lange Herstellungszeiten der Komponenten eine Just in Time-Belieferung erschweren.

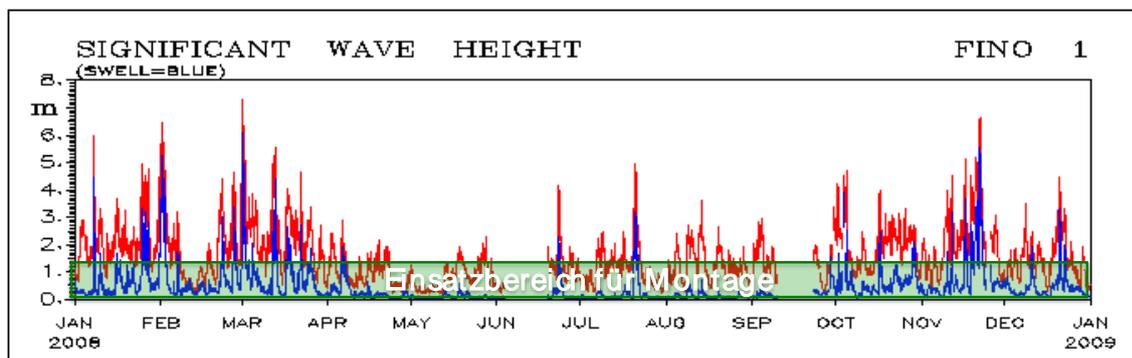


Abbildung 14: Verlauf der signifikanten Wellenhöhe am Standort Fino1 2008<sup>27</sup> (BSH, 2009)

Als eine weitere besondere Rahmenbedingung kommt verschärfend hinzu, dass es sich, wie bereits erwähnt, bei den meisten Komponenten um große und teure Komponenten handelt. Durch diese Kombination ist für die Lagerung der Komponenten ein relativ großer Flächenbedarf erforderlich, der somit nicht unbeträchtliche Lagerhaltungskosten verursacht, da angesichts der Gewichte entsprechende Anforderungen an die Bodenqualität gestellt werden. Andererseits binden die gelagerten Komponenten je nach Fertigungsstufe, in der der Bestand vorgehalten wird, und dem damit verbundenen Komponentenwert für die Dauer ihrer Lagerung beträchtliches Kapital. Zur Bewertung von verschiedenen Strategien für die Puffer- und Lagermöglichkeiten zur Entkopplung der Logistikprozesse im Logistiknetzwerk ist somit die Abbildung der Lagermöglichkeiten und deren kostenseitigen Bewertung für das geplante Modell zwingend notwendig.

Durch den Projektcharakter des Netzwerkes zur Errichtung von Offshore-Windenergieanlagen, die Kampagnen und die mögliche Montage-Laufzeit einer WEA über mehrere Kampagnen kann es zu Wechseln von Akteuren im Netzwerk kommen. Diese Wechsel können sowohl den Herstellungsprozess (Lieferantenwechsel), die Logistikabwicklung (Wechsel der Dienstleister), Veränderungen der Logistikverbin-

<sup>27</sup> BSH 2009



dungen durch veränderte Transportrouten, veränderte Transportmittel oder Verkehrsgegebenheiten (Freigabe oder Sperrung von Straßen für Schwerlastverkehr) betreffen. Davon unmittelbar betroffen ist die Struktur des Netzwerkes. Deshalb ist eine flexible Gestaltung des Netzwerkmodelles erforderlich und die nachträgliche Anpassungsmöglichkeit des Modells durch den Benutzer. Um die Eingabe und Anpassung des Logistiknetzes zu erleichtern, ist eine möglichst einfach und schnell zu bedienende Oberfläche für das Simulationsmodell von Vorteil.

### 3.3.2.6 Prozess- und Transportrestriktionen

Betrachtet man die Produkte und deren Produktstruktur, so wird deutlich, dass der überwiegende Teil der Baugruppen und Segmente sich durch seine großen Abmessungen und Gewichte von herkömmlichen Produkten unterscheidet. Dies wird zum Beispiel bei den Abmessungen der Rotorblätter mit einer Länge von bis zu ca. 60m oder der Gondel mit Abmessungen bis ca. 6m x 25m x 6m deutlich. Aber auch die damit verbundenen Baugruppengewichte, wie zum Beispiel ca. 18t je Rotorblatt, ca. 300t einer Gondel und ca. 700t Gesamtgewicht einer Komplettanlage (ohne Gründung), stellen erhöhte Anforderungen an die Logistik und deren Organisation.

In den Prozessen entlang des Logistiknetzes werden diese Besonderheiten einerseits in den Produktionsprozessen und der begrenzten Herstelleranzahl, andererseits aufgrund der begrenzten Fertigungsressourcen deutlich. Für die Transportabwicklung bedeutet dies weitestgehend die Abwicklung als Schwerlast- bzw. Sondertransporte, die neben eingeschränkten Transportrouten und einer hohen Transportdauer umfangreiche Ressourcen für die einzelnen Teilprozesse des Transportes benötigen. Für die Verladung der Baugruppen sind in der Regel spezielle Hebezeuge, wie Spezialkrane mit höherer Tragkraft, und spezielle Anschlagmittel, wie Traversen, erforderlich. Auch die zum Transport verwendeten Transportmittel stellen meist Sonderkonstruktionen dar, die speziell auf die Baugruppen angepasst sind. Diese Sonderressourcen sind oft nur in geringer Anzahl, teilweise sogar nur als Unikate vorhanden und werden an verschiedenen Einsatzstellen verwendet. Hierdurch können teilweise diese Ressourcen und ihre Verfügbarkeit entscheidenden Einfluss auf die Logistikkette haben. Dies trifft insbesondere auch auf die für die WEA-Montage auf See zu, bei der Schwimmkrane und Installationsschiffe nur in begrenztem Maße zur Verfügung stehen und möglicherweise die Engpassressourcen im Netz darstellen können. Die Abbildung dieser Ressourcen ist für die spätere Nutzung des Systems von großer Bedeutung.

Neben den speziellen Ressourcenanforderungen an die Logistik sind auch organisatorische Besonderheiten in der Logistikabwicklung zu berücksichtigen. Diese betreffen zum einen die Organisation der Transporte. Es sind eine Vielzahl von verschiedenen Akteuren zu koordinieren, wie Transportunternehmen, Polizei und andere Dienstleister für Maßnahmen wie Absperrung und Demontage. Zum anderen sind für diese Transporte spezielle Genehmigungen bzw. spezielles Aufsichtspersonal zur technischen Überwachung (z.B. Germanischer Lloyd), wie z.B. Versicherungsfachleute erforderlich, die im Vorfeld der Transporte eingeholt bzw. aktiviert werden müssen. Der hierzu notwendige Aufwand wächst mit den in den Transport involvierten Verwal-

tungseinheiten (Landkreise) und stellt im Rahmen der Logistikkette eine wichtige Kenngröße dar, die im Modell als Störgröße zu berücksichtigen ist.

### 3.3.2.7 Abgrenzen des Modells

Ausgehend von der allgemeinen Betrachtung der Netzwerke und dem daraus abgeleiteten Grundmodell kann die Netzwerkstruktur variabel aus Knoten und Kanten aufgebaut werden. Ebenso ist die Produktstruktur (bzw. Montagestruktur) und Anzahl der zu montierenden Anlagen im Modell frei definierbar. Die Anzahl der Knoten und Kanten bzw. Produktstufen und –anzahl ist dabei nicht begrenzt. Somit ist es möglich, einerseits das Netzwerk für einzelne oder mehrere Netzwerkzweige in Richtung Rohstofflieferant auszubauen und das Netz tiefer zu gestalten oder auch die Anzahl der möglichen Hersteller zu erhöhen, um das Netzwerk breiter aufzubauen. Jedoch sollte dabei beachtet werden, dass durch die höhere Detaillierung des Netzes und insbesondere durch die Erhöhung der Anlagenanzahl die Komplexität der zu planenden Abläufe und somit des sogenannten Masterplanes (siehe Abschnitt 3.3.5.1) stark ansteigt, wodurch die Übersichtlichkeit und Transparenz des Masterplanes verringert wird.

Bei der Definition der Prozesse wurden für das Modell bestimmte Abgrenzungen vorgenommen. So erfolgt bei den Transportprozessen keine weitere Unterteilung entlang einer Transportroute in mehrere Teilprozesse, zum Beispiel durch Stopps aufgrund von vorgegebenen Unterbrechungszeiten oder Zuständigkeitsbereichen. Je Transportroute wird nur ein Transportprozess definiert, der entsprechend mit Ressourcen und Parametern beschrieben wird. Es ist jedoch möglich, für jede Transportrelation (Kante zwischen den Knoten) mehrere Transportrouten zu definieren, die unterschiedliche Transportstrecken, die Nutzung unterschiedlicher Transportmittel oder verschiedene Anzahlen von Transportgütern je Transport beinhalten können. Die Zuordnung der zu verwendenden Transportroute muss jedoch dann manuell im Masterplan erfolgen, wogegen bei einer eindeutigen Definition der Transportroute diese vom Tool automatisch ausgewählt wird.

Wie bereits im Grundmodell angedeutet, wird für die Prozesse am Fertigungs- und Montagestandort für jedes Produkt nur ein Herstellungsprozess definiert. Eine weitere Unterteilung in Teilprozesse wird im Rahmen dieses Projektes nicht vorgenommen, da diese Genauigkeit zur Abbildung der Gesamtabläufe den Anforderungen entspricht.

Auf die Möglichkeit der graphischen Abbildung der Standorte in einer Landkarte wurde im Projekt verzichtet, da die Übersichtlichkeit der Netzabbildung eher durch die verschiedenen Wertschöpfungsstufen als die räumliche Anordnung gefördert wird. Die Darstellung der Standorte auf einer Landkarte wird durch die inhomogene Verteilung der Standorte innerhalb Deutschlands geprägt, d.h., dass einzelne auf Deutschland verteilte Standorte (z.B. in Sachsen usw.) einer hohen Konzentration von Standorten im Gebiet Bremen, Bremerhaven und Cuxhaven gegenüberstehen. Die Darstellung des Gesamtnetzwerkes würde dann als einzeln verteilte Knoten und als eine Punktwolke mit sich überlagernden Kanten erfolgen und bringt keinen wesentlichen Mehrwert für den Anwender im Logistik-Planungsbereich.

### 3.3.2.8 Definition und Erfassung der notwendigen Daten

Die zur Betrachtung notwendigen Grundlagendaten wurden aus jahrelanger Erfahrung in verschiedenen Bereichen und aus Interviews der maßgebenden Akteure (Hersteller, Zulieferer, Reeder, Offshore Firmen) gesammelt.

Insbesondere bei der Definition von Risikofaktoren im Sinne von Ausfallwahrscheinlichkeiten und Dauern der Ausfälle ist eine Datensammlung ohne Praktiker faktisch nicht machbar.

Einige Daten (z. B. Transitzeiten von LKW normaler Größe und vergleichbares) sind auf Grundlage rein mathematischer Betrachtungen entstanden.

### 3.3.3 **AP 1200 Identifikation und Abbildung von Störgrößen**

Nachdem die organisatorischen und informellen Zusammenhänge der Prozesskettenelemente in der Supply Chain dokumentiert wurden, wurden im folgenden Arbeitspaket die physischen Rahmenparameter der Logistikkette ermittelt. Dieses Arbeitspaket wurden teilweise parallel zum Arbeitspaket 1000 bearbeitet, da teilweise in den erfolgten Interviews aus AP 1000 bereits Informationen zu Randbedingungen gesammelt wurden bzw. diese Randbedingungen sich aus der Produkt- und Montagestruktur ableiten lassen. Die vorliegenden Informationen wurden durch weitere Interviews wie zum Beispiel zur Verladung von Windkraftanlagen (Otto Wulf GmbH & Co. KG) sowie Zuarbeiten der LSA ergänzt. Der Hauptfokus lag dabei auf der Identifizierung der Randbedingungen der Prozesse und notwendiger Ressourcen in den entsprechenden Bereichen der Logistikkette und deren Abbildung im Simulationssystem. Hierzu wurde eine zentrale Ressourcendatenbank definiert, die in der Lage ist die Ressourcen des gesamten Netzwerkes mit deren entsprechenden Parametern abzubilden. Diese wird in das Eingabetool integriert. Des Weiteren wurden in diesem Arbeitspaket ausgehend von den Prozessen, Akteuren und Strategien die Rahmenbedingungen und Anforderungen an das Simulationsmodell beschrieben. Diese sind zum Beispiel die Wetterabhängigkeit (Wellengang) der Offshore-Montage, Realisierung verschiedener Versorgungsstrategien sowie die flexible Abbildung der Montagestruktur.

#### 3.3.3.1 Identifikation der wesentlichen Störgrößen der Prozesse und Ressourcen

Die Identifikation der wesentlichen Störgrößen erfolgte hauptsächlich unter Zuhilfenahme erfahrener Dienstleister und Mitarbeiter relevanter Unternehmen. Gleichzeitig erfolgte dabei die Belegung der Störgrößen mit einer für jede einzelne festgelegte Eintrittswahrscheinlichkeit, da keine ausreichenden Aufzeichnungen über das Auftreten von Störungen zur Verfügung standen, die zu einer statistischen Auswertung herangezogen werden konnten.

Selbst im Bereich der Schwerguttransporte über Land beispielsweise sind hier – eine kompetente Planung und Ausführung vorausgesetzt – wenige Störgrößen wie Ausfall des Transportfahrzeuges oder ähnliches anzunehmen. Allerdings ist im Falle eines Ausfalls eine Verzögerung nicht mehr mit mehreren Stunden, sondern mit ein bis mehreren Tagen zu belegen (Tagfahrverbot usw.). Hinsichtlich des Eintritts eines solchen Falls ist allerdings eine eher geringe Wahrscheinlichkeit anzunehmen – wo-



nach die hinterlegte Störgröße zwar eine entsprechend große Auswirkung hat, nicht aber eine besonders hohe Eintrittswahrscheinlichkeit.

Im Bereich der Offshoremontage oder der Zuliefertransporte über See mittels Ponton sind die Störungen ebenfalls mittels Befragung erfahrenen Personals aber auch auf Grundlage spezifischer Wetterdaten erfolgt.

Ebenso ist hier eine jahreszeitliche Unterscheidung in den Auswirkungen berücksichtigt (Wahrscheinlichkeit von Stürmen im Sommer vs. Herbst).

Hier stellen sich sowohl die Auswirkungen wie auch die Eintrittswahrscheinlichkeiten vollkommen anders dar, als bei den vergleichsweise unanfälligen einfachen logistischen Vorgängen für den „Normalmaßtransport“ mittels LKW. Stellt sich beispielsweise im Installationszeitraum ein Schlechtwetter mit entsprechenden Winden und Wellen ein, so dass auf Grund der engen Restriktionen der Installation die Montage unterbrochen werden muss, ist hier die zeitliche Verzögerung deutlich länger und die Kosten sind unvergleichbar höher, da extrem teures Gerät nicht arbeiten kann.

#### 3.3.3.2 Definition der Abbildungsmöglichkeiten der Störgrößen im Modell

Die identifizierten Störgrößen wurden zu Gruppen zusammengefasst und jeweils bestimmten Objekten im Modell zugeordnet. Im Eingabetool ist die Möglichkeit vorhanden, eine Störgröße zu Objekten einzugeben (siehe Abschnitt 3.3.4.1). Die Abbildung erfolgte hierbei einerseits in den Prozessen (alle Teilprozesse) und Ressourcen des Modells. Diese können jeweils mit einer Störgröße versehen werden. Hierbei kann die Störgröße mit einem Namen und der Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Störung definiert werden. Ein Parameter der Störung stellt die Dauer der Störung dar. Diese wird in Form einer Dreiecksverteilung definiert. Hierzu sind Angaben zur minimalen, maximalen und normalen Stördauer notwendig. Eine Besonderheit stellen dabei die z.B. zur Durchführung von Schwerlasttransporten notwendigen Genehmigungen dar. Diese werden im Modell als separate Ressourcen betrachtet, die z.B. den Verladeprozessen hinzugefügt werden können. Durch ihre Abbildung als Ressource können sie ebenfalls mit Störungen versehen werden und somit die Verladung verzögern.

Klasse	Störfaktor	Abbildungsobjekt
Ressourcen- verfügbarkeit	Verzögerte Zugbereitschaft des Mobilkrans – nicht Verfügbarkeit	Ressourcen
	Nicht eingehaltene Verladebedingungen	Prozess
	Mängel an den Hebefahrzeugen	Ressourcen
	Mangelnde Einsatzbereitschaft des Installations-schiffes oder Ponton	Ressourcen
	mangelnde Einsatzbereitschaft des Fahrers	Ressource
	Fehlende Genehmigungen	Ressource
	Prüfung der Ladung durch Prüfer dauert länger /beginnt später	Ressource
	Bearbeitungszeit der Genehmigungen für den Schwertransport	Ressource
Bedingungen	Fehlendes Equipment zur Ladungssicherung (wenn nicht als Ressource abgebildet)	Transportprozess
	Wetterbedingung	Prozess, ges. Transport
Lagerkapazität	Zufahrt/Konsolidierungspunkt Bodenbeschaffenheiten	Transport/ Prozess
	Kapazität (zu gering)	Lager
Planung	Mangelnde Ladekapazität des Transportmittels	Prozess
	Mangelnde Terminabsprache/einhaltung untereinander	Transport/ Prozess
	Unzureichende Zeitpuffer	Eingabedaten Masterplan
	Routenplanung	Transport/Prozess

Abbildung 15: Übersicht der ermittelten Störgrößen

### 3.3.3.3 Beschaffung und Auswertung der Wetterdaten

Die Wetterdaten wurden zunächst nach dem Gesichtspunkt der Windgeschwindigkeiten aufbereitet. Diese und die Wellenhöhe wurden von der LSA als relevant angesehen. Daher wurden weitere Messwerte nicht näher betrachtet.

Für jede Wetterstation wurden zunächst die relevanten Windgeschwindigkeiten über die Jahre zusammengetragen. Hierbei mussten auch teilweise nicht vorhandene Werte durch Ausweichstationen oder Interpolation ergänzt werden. Danach wurde eine entsprechende Liste mit Wertepaaren aus Zeitpunkt und Windgeschwindigkeit erzeugt. Da der Datenumfang immer noch sehr groß war, wurde die durchschnittliche Windgeschwindigkeit pro Tag ermittelt und diese über fünf Tage geglättet.

Diese wurde dann grafisch dargestellt. Der Graph zeigte, dass eine Abhängigkeit zwischen dem Datum und der Windgeschwindigkeit (in km/h) besteht. Jedoch schwanken die Werte bei aufeinander folgenden Tagen sehr stark (siehe Abbildung 16). Zu sehen ist aber, dass die Windstärke im Frühling und Sommer am geringsten und im Herbst und Winter am stärksten ist. Es konnte eine (Co-)Sinusfunktion hergeleitet werden, die den groben Verlauf in Abhängigkeit des Tages im laufenden Jahr beschreibt. Die allgemeine Formel ist wie folgt beschrieben:

Formel 1: Allgemeine Formel zur Berechnung der Windgeschwindigkeit an einem Tag

$$\begin{aligned} & \text{Windgeschwindigkeit}(\text{Tag}) \\ &= \text{Amplitude} \times \cos\left(2\pi \times \left(\frac{\text{Tag} + \text{Versatz}}{365,25}\right)\right) + \text{Mittelwert} \end{aligned}$$

Für diese Formel galt es nun die Parameter zu quantifizieren. Der Mittelwert wurde hierbei einfach als arithmetisches Mittel über alle Werte bestimmt. Amplitude und Versatz wurden manuell optimiert. Hierbei wurde die errechnete Windgeschwindigkeit mit der tatsächlichen verglichen. Ziel war es, die Summe der Quadrate der Differenzen für jedes Paar Erwartungswert/gemessener Wert, zu minimieren. Dies wurde durch sinnvolles Probieren erreicht, wobei kein Anspruch auf ein Optimum besteht. Die erhaltenen Werte wurden für jede Wetterstation bestimmt und in Funktionen umgesetzt.

Formel 2: Berechnung des Fehlers

$$\sum_{i=1}^n (E(x_i) - \hat{x}_i)^2 \rightarrow \min$$

Um aus Windgeschwindigkeit die Wellenhöhe zu berechnen, ist die Angabe der Wassertiefe notwendig. Mittels der Formel 3 können Windgeschwindigkeit (in km/h) und Wassertiefe (in m) dann in eine Wellenhöhe (in m) umgerechnet werden. Die Originalformel berücksichtigt die Windgeschwindigkeit in Knoten. Da im Programm die Einheit für diesen Wert km/h ist, muss dieser noch in Knoten umgerechnet werden. Das Verhältnis der beiden Einheiten zueinander ist  $1\text{km/h} = 0,51444\text{kn}$ .

Formel 3: Bestimmung der Wellenhöhe aus Wassertiefe und Windgeschwindigkeit<sup>28</sup>

$$\text{Wellenhöhe} = 0,0752 \times (0,51444 \times \text{Windgeschwindigkeit} \times \text{Wassertiefe}^2)^{0,4}$$

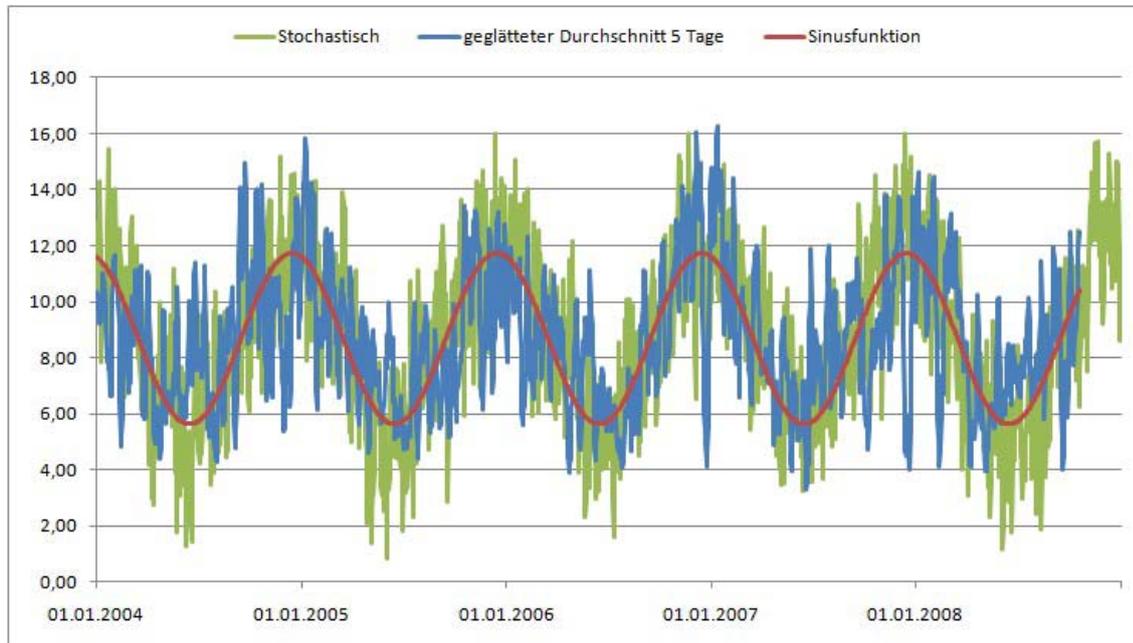


Abbildung 16 Originale Winddaten (geglättet, blau), Abstrahierung durch eine Sinuskurve (rot) und nach dem Hinzufügen von Stochastik (grün)

### Umsetzung in der Simulation

In der Simulation wurde das Wetter als Methode umgesetzt. Diese errechnet für jeden Zeitpunkt eine Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von Tag, zuvor berechneten Funktionswert und dem Standort. Diese Geschwindigkeit wird mittels Formel 2 unter der Angabe der Wassertiefe in die Wellenhöhe umgerechnet.

Die mittlere Windgeschwindigkeit für einen gegebenen Tag  $d$  setzt sich aus der mittleren Windgeschwindigkeit für den Tag  $d-1$ , dem Wert der Sinusfunktion für den Tag  $d$  und einer normalverteilten Schwankung zusammen. Somit orientiert sich der erhaltene Wert immer an der natürlichen Schwankung innerhalb des Jahres, trägt aber auch dem Sachverhalt Rechnung, dass sich das Wetter nicht schlagartig ändert. Innerhalb eines Tages schwankt der Wert dreiecksverteilt um das errechnete Tagesmittel.

Damit zu große oder zu kleine Werte nicht auftreten können, werden die möglichen Werte begrenzt, so dass negative Werte ausgeschlossen werden. Des Weiteren werden zu große Abweichungen vom Sinuswert nicht zugelassen. Maximal können die Werte um +/-6 von der Sinuskurve abweichen.

<sup>28</sup> Nach Schmager, G: Maritim-meteorologische Informationen für Seeverkehr und Offshoreindustrie. Neues vom Wellenatlas (S.173) in Chmielewski, F.-M.; Foken, Th. (Hrsg.): Beiträge zur Klima- und Meeresforschung, Berlin und Bayreuth, 2003, 169-177.

Formel 4: Windgeschwindigkeit für einen Tag  $d$

$$v_{Tag}(d) = 0,5 * v_{Tag}(d - 1) + 0,5 * \sin(d) + normal(0; 2)$$

Formel 5: Windgeschwindigkeit für Stunde  $t$  und Tag  $d$

$$v_{Wind}(t) = v_{Tag}(d) + triangle(-1,5; 0; 1,5)$$

Formel 6: Begrenzen des berechneten Wertes

$$v_{Wind}(t) = \begin{cases} \sin(d) + s & , \quad v_{Wind} > \sin(d) + s \\ \sin(d) - s & , \quad v_{Wind} < \sin(d) - s \\ v_{Wind} & , \quad sonst \end{cases}$$

Formel 7: Negative Werte zu Null korrigieren

$$v_{Wind}(t) = \begin{cases} 0 & , \quad v_{Wind} < 0 \\ v_{Wind} & , \quad sonst \end{cases}$$

- $v_{Wind}$  - Windgeschwindigkeit zum Zeitpunkt  $t$
- $v_{Tag}$  - mittlere Windgeschwindigkeit für einen Tag  $d$
- $\sin(d)$  - Mittlere Windgeschwindigkeit für den Tag aus Formel 1
- $s$  - Halbe Intervallbreite (6 m/s)

### 3.3.4 AP 1300 Prozessmodellierung für das Gesamtnetz

Ausgehend vom allgemeinen Prozessmodell und dem bereits vorhandenem Simulationstool des ISL wurden für das Planungs- und Steuerungstool drei Hauptbausteine definiert: Eingabe, eM-Plant-Modell (Simulator) und Auswertung. Die hierzu notwendigen Anforderungen an das Tool wurden in Gesprächen mit der LSA definiert. Im Eingabetool werden alle für die Simulation erforderlichen Informationen systematisch bereitgestellt, wie Produkt- und Netzwerkstruktur, Prozessparameter und der Masterplan, der einen Projektplan des Gesamtprojektes darstellt. Hierbei werden alle Stammdaten in einer Datenbank abgelegt. Im eM-Plant-Modell erfolgt die Generierung des Modells entsprechend der Eingaben und die Abarbeitung der Simulationsläufe. Im Auswertungsmodul werden die Ergebnisse der Simulation entsprechend zusammengefasst und die im Projekt festgelegten Kennzahlen dargestellt. Die Verbindung der Bausteine erfolgt über eine Schnittstelle mit deren Hilfe die Daten zwischen den Modulen ausgetauscht werden. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde die Eingabeoberfläche entsprechend konzipiert, programmtechnisch umgesetzt und mit der LSA abgestimmt. Des Weiteren erfolgte die Umsetzung der Modellanpassungen in eM-Plant durch das ISL sowie die Definition der Schnittstellen.

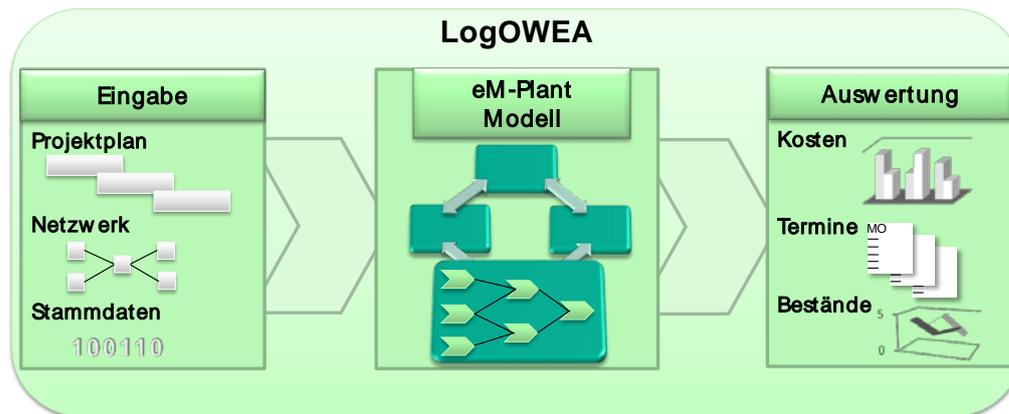


Abbildung 17: Prinzipieller Aufbau des Tools

#### 3.3.4.1 Prozessaufnahme und Eingabe

Für die Aufnahme und Modellierung der Prozesse wurde eine Benutzeroberfläche entwickelt. Diese ermöglicht das Logistiknetz als Graphen von Knoten und Kanten abzubilden. Innerhalb dieser Elemente liegen die Prozesse. Diese wurden zunächst als Montage- und Transportprozesse identifiziert und im Anschluss weiter untergliedert. So wurde der passive Prozess der Lagerung mit aufgenommen, sowohl im Warenein- als auch im Warenausgang. Ferner wurde der Transport in Beladung, Entladung und den eigentlichen Transportprozess im engeren Sinne untergliedert.

Es ergeben sich somit sechs Teilprozesse, die wie folgt auf die Komponenten Knoten und Kante abgebildet wurden. Der Transportprozess im engeren Sinne wird durch die Kante realisiert. Alle anderen Teilprozesse befinden sich im Knoten. Dies bedeutet, dass auch die Beladung und die Entladung in einem Knoten liegt und nicht in der Kante. Die Begründung hierfür liegt darin, dass beim End- und Beladen auch Ressourcen des jeweiligen Knotens benutzt werden können, in dem diese Prozesse stattfinden.

Knoten dienen im erstellten Netzwerk dazu, Standorte zu erfassen. Diese werden zusätzlich in mehrere Typen unterteilt. So gibt es Standorte für Produktion, Montage, Umschlagpunkte, Häfen und den Windpark. Die Unterschiede zwischen diesen Typen veranschaulichen folgende Grafiken, welche auch den Verlauf der Prozesskette innerhalb des Knotentyps zeigen.



Abbildung 18: Montagestandort



Abbildung 19: Produktionsstandort



Abbildung 20: Umschlagsstandort und Hafen



Abbildung 21: Windpark (Pendelsystem)



Abbildung 22: Windpark (Feeder-System)

Im Montagestandort sind sämtliche Prozesse zu finden. Die für die Montage benötigten Teile werden zunächst entladen und dann bis zur Weiterverarbeitung eingelagert. Es erfolgt die eigentliche Montage des Produktes. Nach dem Abschluss dieses Prozesses wird das fertige Produkt eingelagert und wartet im Ausgangslager auf die Beladung und den Abtransport.

Der Produktionsstandort entspricht einem Montagestandort. Allerdings werden für die Herstellung des eigenen Produktes keine Komponenten benötigt bzw. diese liegen außerhalb der Systemgrenzen und werden somit nicht mehr erfasst. Dadurch wird die Prozesskette im Knoten der Produktion verkürzt - Entladung und Eingangslagerung entfallen.

Umschlagsstandorte stellen kein qualitativ neues Produkt her. Sie dienen einzig zum Sammeln und Bündeln von Produkten. Somit entfallen der Montageprozess und ein Lagerungsprozess. Hierbei ist die Auswahl, ob das Eingangslager oder Ausgangslagerung entfallen.



ger entfällt, irrelevant. Wie die Abbildung zeigt, wurde das Ausgangslager entfernt. Häfen werden als besondere Umschlagsstandorte gesehen, die durch ihre Lage am Meer eine zusätzliche (Wetter-)Variable erhalten. Der Nutzer wird hier zur Angabe der relevantesten Wetterstation aufgefordert. Hierfür stehen ihm die fünf Wetterstationen zur Auswahl für die die Daten im Rahmen dieses Projektes beschafft wurden.

Der Windpark ist die Senke des Netzwerks. In ihm werden die Teile zur fertigen OWEA montiert. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten für den Zusammenbau. Im Pendelsystem werden die Komponenten entladen und direkt montiert. Im Gegensatz dazu werden im Feeder-System die Komponenten erst auf ein Installationsschiff umgelagert und dann weiter montiert. Nach Abschluss der Montage, liegen die fertigen OWEA im Ausgangslager. Dieses hätte im Windpark, je nachdem wie man modelliert, auch eine Besonderheit gegenüber anderen Ausgangslagern. Fertige OWEA können bereits Strom produzieren und so Erlöse generieren. Hier besteht also die Möglichkeit, mit negativen Kosten bzw. positiven Erlösen zu rechnen.

#### 3.3.4.2 Umsetzung

Die aufgezeigten Knotentypen unterschieden sich nur in geringem Umfang. Es gibt keine zusätzlichen, sondern nur ausgeblendete Prozesse. Daher ist es möglich alle Knotentypen durch ein Objekt abzubilden und so immer die gleiche Eingabemaske zu benutzen. Dies erleichtert dem Benutzer die Handhabung.

Auf eine Darstellung aller Ansichten der Maske für die einzelnen Knotentypen wird an dieser Stelle verzichtet, da nicht benötigte Elemente lediglich ausgeblendet werden. Es werden jedoch alle möglichen Elemente mindestens einmal präsentiert.

Abbildung 23 zeigt ein Beispielnetz, welches alle Knotentypen enthält. Es verdeutlicht auch, wie ein Netzwerk mittels Knoten und Kanten modelliert wird. Dabei ist auch zu sehen, dass Doppelpfeile möglich sind. Hierbei ist nur zu beachten, dass es sich um zwei verschiedene Kanten handelt, die verschiedene Produkte transportieren. Ein Zirkelbezug ist unbedingt zu vermeiden.

Nachdem das Netz aufgebaut wurde, wird es parametrisiert. Hierzu werden Produkte und Ressourcen angelegt. Abbildung 24 zeigt wie ein Knoten parametrisiert wird. Es werden Art des Knotens (Knotentyp), Firmenname und Standort angegeben. Zusätzlich gibt es im unteren Teil des Fensters eine Tableiste mit mehreren Reitern. Im ersten werden die Ressourcen hinzugefügt, die im Knoten zur Verfügung stehen.

Danach folgen abhängig vom Knotentyp ein oder zwei Lager (siehe hierzu die Unterschiede in den Abbildungen Abbildung 24, Abbildung 25, Abbildung 27 und Abbildung 29). Jedes Produkt erhält sein eigenes Lager. Dies bringt den Vorteil, dass keine komplizierten Algorithmen angesetzt werden müssen, um Lagernutzung zu modellieren. Des Weiteren wird nur die Lagerkapazität für ein Produkt benötigt und keine weiteren Maße wie Länge, Breite, Höhe, Gewicht usw.

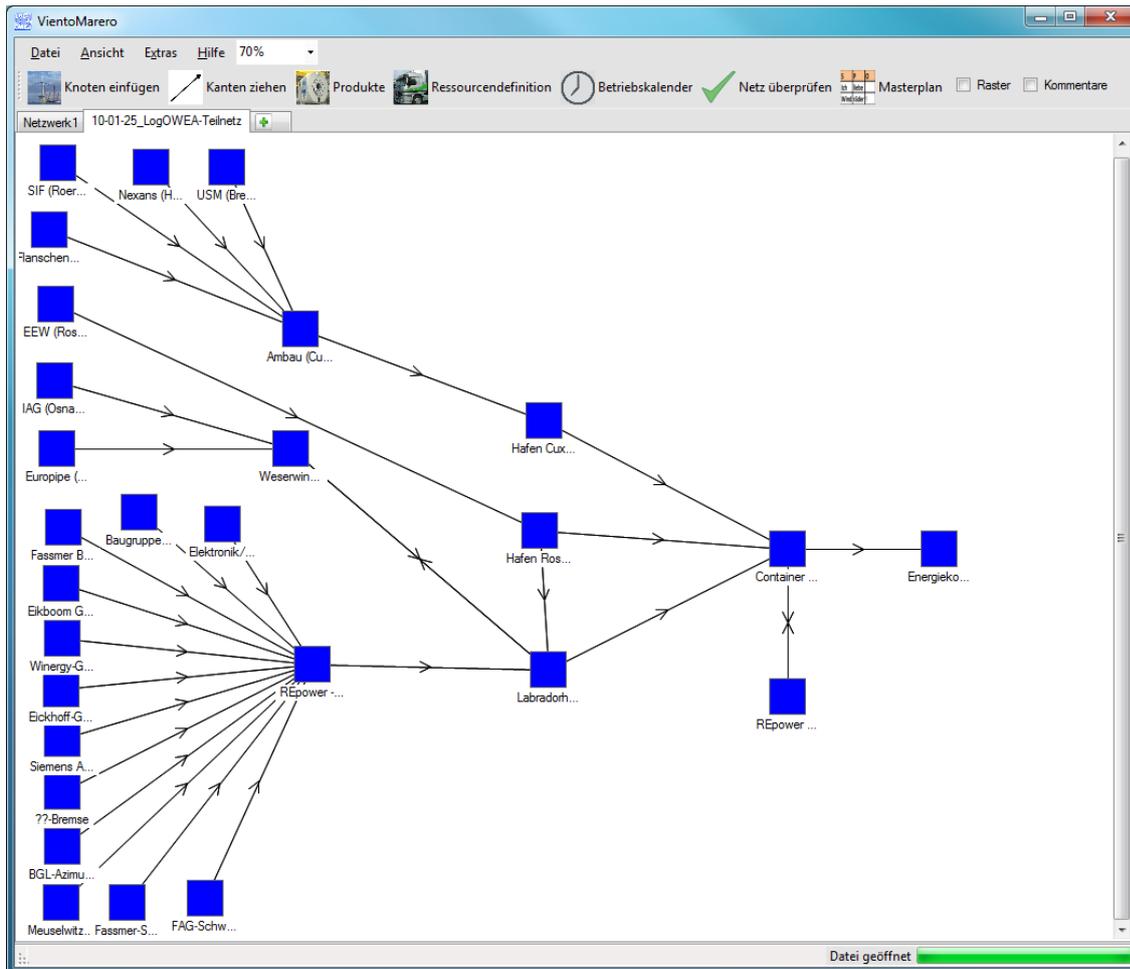
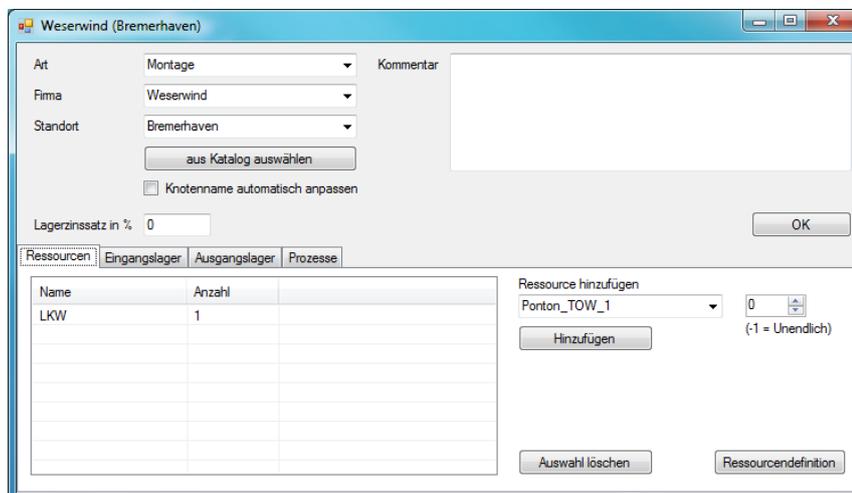


Abbildung 23: Oberfläche des erstellten Programmes mit Beispielnetzwerk

Lediglich für die Berechnung der Kosten werden weitere Angaben benötigt, welche in einer Extramaske angegeben werden (Abbildung 26). Dort werden auch Angaben zu den Prozessen Be- und Entladung vorgenommen. Diese benötigen eventuell Ressourcen, welche zuvor definiert wurden und eine entsprechende Dauer. Diese wird in Form einer Dreiecksverteilung definiert. Hierzu sind Angaben zur minimalen, maximalen und normalen Ladezeit notwendig.



Name	Anzahl
LKW	1

Abbildung 24: Eingabemaske Montage - Ressourcen

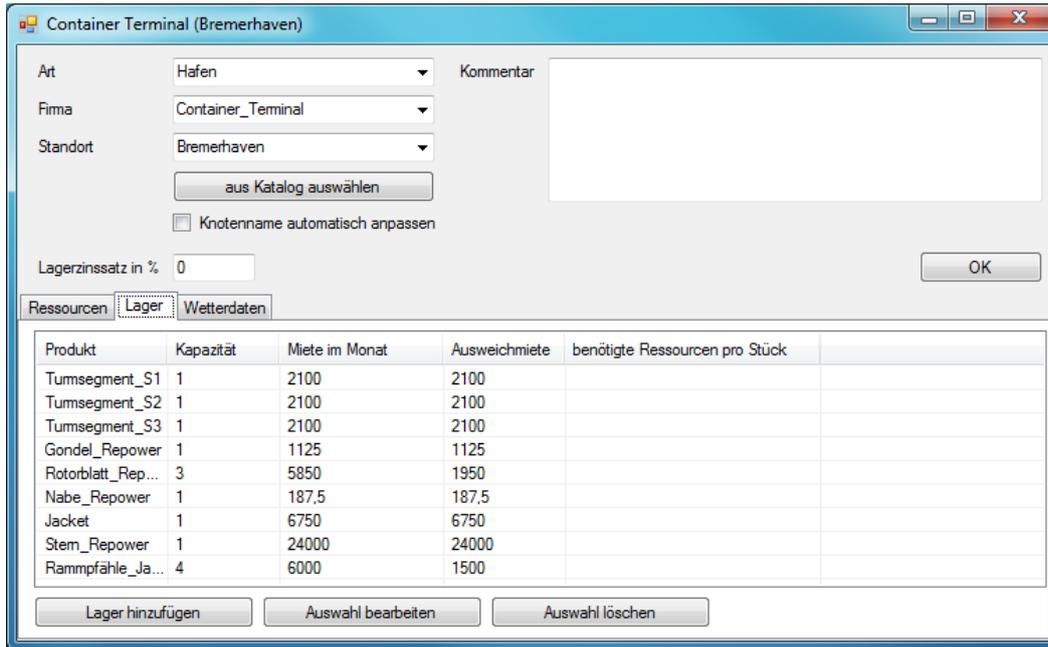


Abbildung 25: Eingabemaske Hafen - Lager

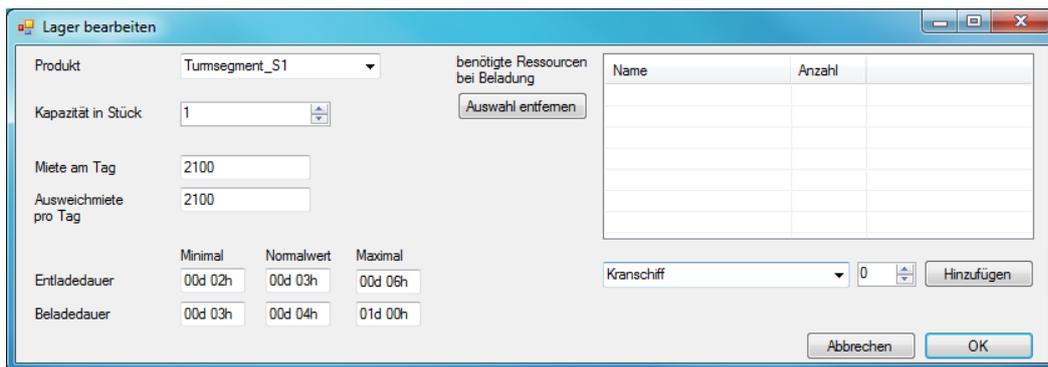


Abbildung 26: Eingabemaske Lager

In der definierten Prozesskette fehlt somit noch die (Montage-)Prozessaufnahme. Diese gibt es in den Typen Produktion, Montage und Windpark, welche im Programm verkürzt nur als Prozess bezeichnet wird. In einem Standort können mehrere Montage- bzw. Produktionsprozesse stattfinden (siehe Abbildung 27). Ein solcher Prozess kann beliebig parallel im Unternehmen durchgeführt werden. Da in der Realität jedoch Grenzen durch Ressourcenanzahl gesetzt sind, empfiehlt sich die Angabe einer Ressource. Diese sollte im Unternehmen dann auch nur begrenzt zur Verfügung stehen. Stehen z.B. nur zwei Montageplätze als Ressource zur Verfügung und es sollen drei Rotorblätter hergestellt werden, so werden die ersten beiden parallel hergestellt und das letzte im Anschluss, sobald ein Montageplatz frei wird.

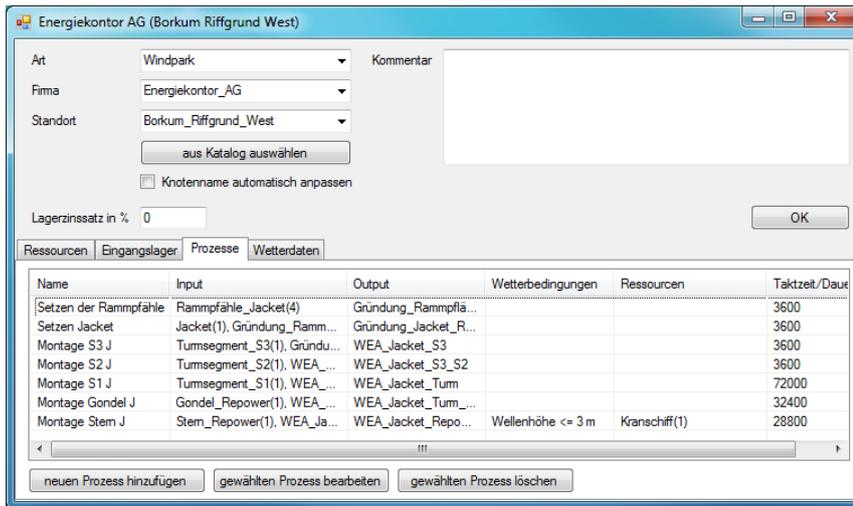


Abbildung 27: Eingabemaske Windpark - Montageprozess

Abbildung 28 zeigt die Datenaufnahme für Montageprozesse. Benötigt werden hier Angaben zum zu produzierenden Output, zu den erwähnten Ressourcen und zur Bearbeitungsdauer/Taktzeit in Form einer Dreiecksverteilung. Das Programm ermittelt aus der Stückliste des herzustellenden Produktes automatisch die benötigten Teile und legt auf Wunsch die benötigten Eingangslager für den Nutzer an.

Im Falle des Windparks kann die Montage nur unter bestimmten Wetterbedingungen durchgeführt werden. Restriktiv wirken sich zu große Wellenhöhen und Windstärken aus. Der Benutzer gibt die Maximalwerte an, unter denen der Prozess noch möglich ist.

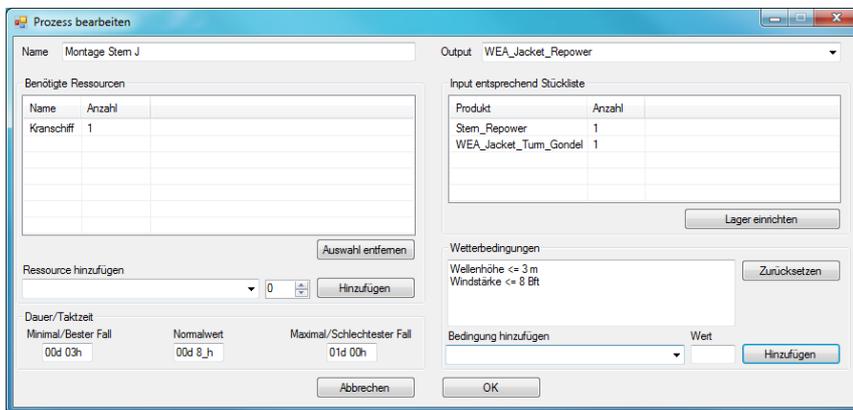


Abbildung 28: Eingabemaske - Montageprozess

Um diese Wetterdaten verwenden zu können, werden noch Angaben zur Position des Windparks benötigt (siehe Abbildung 29). Dies betrifft einerseits die relevante Wetterstation und andererseits die Wassertiefe. Die Wetterstation liefert Informationen über die zu erwartenden Windgeschwindigkeiten, welche über recherchierte Zusammenhänge in Abhängigkeit zur Wassertiefe in Wellenhöhen umgerechnet werden können.

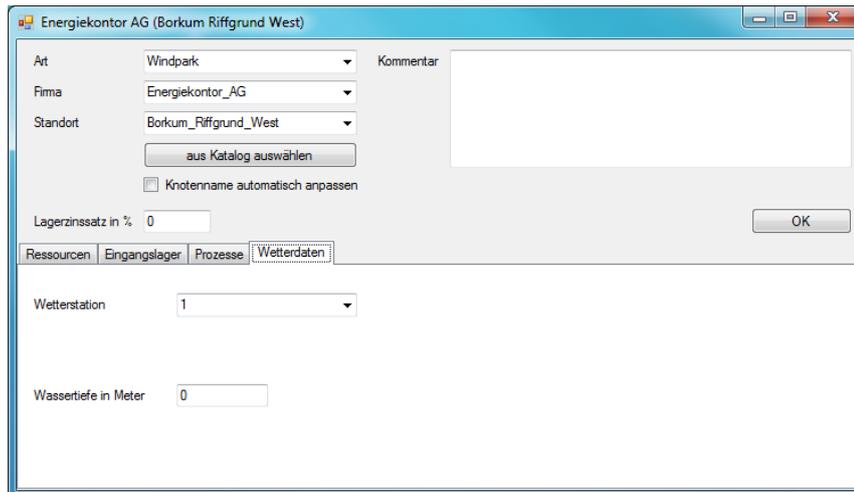


Abbildung 29: Eingabemaske Windpark - Wetterdaten

### 3.3.4.3 Anpassung des Simulationsmodells

Ein aus dem Vorgängerprojekt hervorgegangenes Simulationsmodell bietet die Basis für den Simulationsteil in diesem Projekt. Dieses enthielt jedoch nicht alle in der Projektbeschreibung dargelegten Funktionalitäten, weshalb folgende Anpassungen/Erweiterungen des Modells vorgenommen werden mussten:

- Einsatz von Ressourcen zur Durchführung von Prozessen
  - Störungen durch Ressourcenausfälle
  - Prozessverzögerungen durch fehlende Ressourcen
  - Ressourceneinsatzkosten, Ressourcenausfallkosten
- detaillierte Abbildung von Wettersituationen für unterschiedliche Wetterstationen
  - wetterbedingte Störungen
  - Kosten für verzögerte Seetransporte und/oder Offshore-Montagearbeiten
- Einsatz eines Betriebskalenders
  - verzögerte Transporte durch Pausenzeiten
  - verzögerte Produktions-/Montageprozesse durch Pausenzeiten
- Lagervorbelegung
  - Simulation zu einem festgelegten Startzeitpunkt (während eines laufenden Projektes) ist jetzt möglich
- Stücklisten
  - Stückliste Montage  
zur Gewährleistung, dass alle benötigten Teile zum Montagezeitpunkt vorhanden sind
  - Stückliste Windpark  
zur Einhaltung der Verbaureihenfolge der Komponenten auf See
- Erweiterung des Masterplans
  - Lagervorbelegung
  - Entfernung zum Zielort kann variabel eingegeben werden

- Standortnetzwerkdefinition als Importtabelle
  - Änderungen am Standortnetzwerk sind ohne großen Aufwand möglich
- Standortnetzwerk wird bei Start der Simulation automatisch und parameterbasiert zu einem Simulationsmodell aufgebaut.

#### Definition der Schnittstellen Nutzeroberfläche

Um dem Anwender beim Netzaufbau und bei der Definition der Eingabedaten und sonstigen Parameter zu unterstützen, wird ihm ein externes Steuerungssystem für die komplette Dateneingabe und die der Simulation nachgelagerte Auswertung und Analyse der Simulationsergebnisse zur Verfügung gestellt. Das Simulationstool fungiert dabei als sog. Blackbox, d.h. die Datenein- / und -ausgabe wird via Import- und Exporttabellen sichergestellt, die Simulation selbst erfolgt im Hintergrund.

Zur Anbindung des Steuerungstools bzw. anderer externer Planungssysteme eines Kunden mussten Schnittstellen geschaffen werden, die in folgender Grafik als Übersicht aufgezeigt werden:

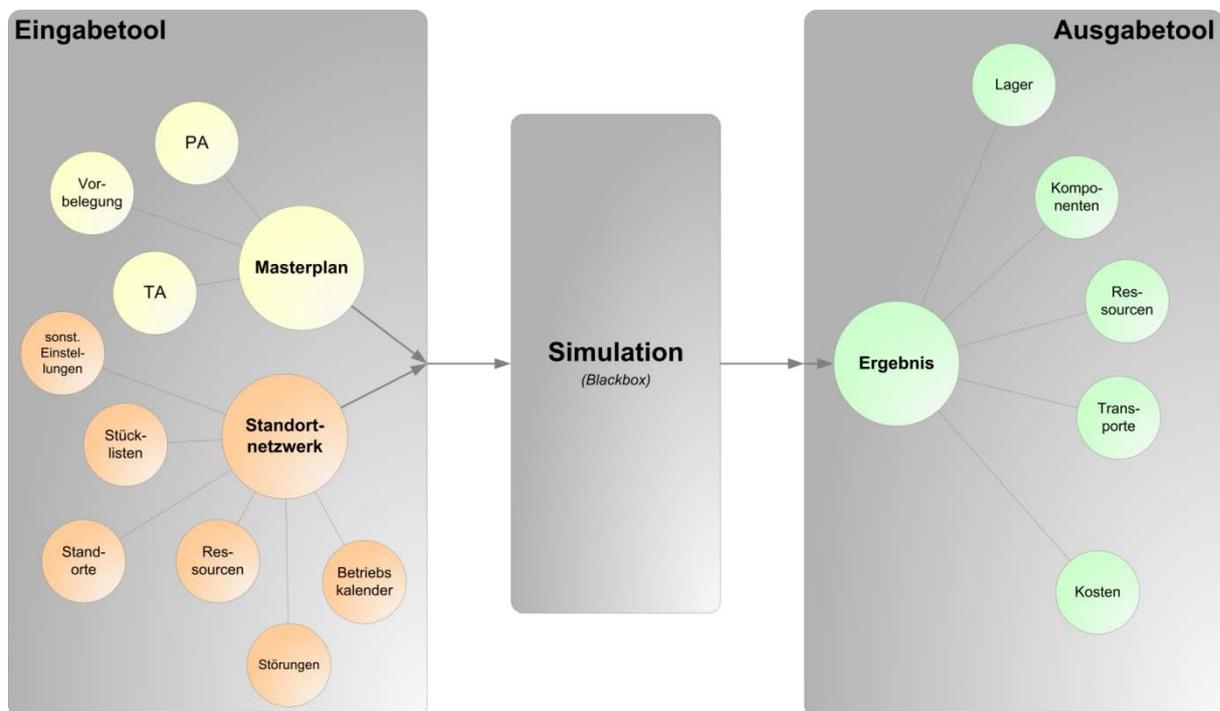


Abbildung 30: Schnittstellen zum Ein-/Ausgabestool

Bei Simulationsstart importiert das Simulationsmodell die vom Steuerungstool generierten Netzwerk- und Bewegungsdaten. Folgende Daten werden dabei vom Simulationstool eingelesen:

- Standortdaten
  - Standorttyp  
Produzent, Montage, Hafen/Umschlag, Windpark
  - Angaben zu Ein- und Ausgangslägern
  - Taktzeiten
  - Lagerkosten



- Stücklisten
  - Stückliste für Montagestandorte
  - Stückliste für Windparks zur Sicherstellung der Verbaureihenfolge
- Betriebskalender

Unterschieden werden der Betriebskalender für Seeaktivitäten (ab Hafenkante) und für Landaktivitäten (z.B. Pausenzeiten während LKW-Transporten)
- Ressourcendefinition
  - Ressourcen zum Einsatz während der Prozesse *Beladen, Entladen, Produktion/Montage*:

Ressourcen jedweder Art können durch Störungen den Start eines Prozesses verzögern (z.B. auch fehlende Dokumente für einen Transport)
  - Ressourcen zur Durchführung von Transporten = Transportmittel
  - Ausfallwahrscheinlichkeiten
  - Kostendaten
  - Zuordnung von Ressourcentypen zu Standorten

Ein Ressourcentyp kann an verschiedenen Standorten eingesetzt werden, es können aber auch für jeden Standort eigene Typen entworfen werden.
  - Ressourceneinsatzarten:
    - Fremdressourcen/Mietressourcen
    - eigene Ressourcen
  - Zuliefersystem:
    - Pendelsystem
    - Feedersystem
  - Störungen
    - Simulation ohne Störungen
    - Simulation mit Ressourcenausfällen UND wetterbedingten Störungen
    - Simulation mit Ressourcenausfällen ODER wetterbedingten Störungen
- Startzeitpunkt
  - Lagervorbelegung zum Zeitpunkt X
- Bewegungsdaten
  - Produktionsaufträge:

Wann sollen wo wie viele Komponenten produziert/montiert werden?
  - Transportaufträge:

Wann sollen welche und wie viele Komponenten von welchem Transportmittel über welche Strecke wohin transportiert werden?

Nach dem Datenimport findet mit Hilfe dieser Parameter automatisch der Aufbau des Standortnetzwerks und der Verteilung der Aufträge statt. Während der Simulation dann werden alle Aufträge Schritt für Schritt ereignisgesteuert abgearbeitet, wobei Auswertungsdaten im Detail protokolliert werden. Am Ende der Simulation – d.h.

nach Beendigung des letzten aktiven Auftrags – werden Berechnungen für Lager-, Transport- und Prozesskosten (Ressourceneinsatz während der Prozesse *Entladen*, *Beladung* und *Montage/Produktion*) durchgeführt und sämtliche protokollierten Daten in einer Tabelle gesammelt. Diese Tabelle wird in die Auswertungsdatenbank exportiert und steht dem Steuerungstool damit zur Auswertungspräsentation zur Verfügung.

#### 3.3.4.4 Simulator

Das verwendete Simulationstool erlaubt es dem Anwender – nach den für dieses Projekt durchgeführten Anpassungen – ein Standortnetzwerk in relativ kurzer Zeit als Modell abzubilden und mit diesem als Grundlage einfach und schnell die beiden beschriebenen Strategien zu simulieren und miteinander zu vergleichen. Vorgegangen wird dabei in drei Stufen:

- Datenimport
- Durchführung der Simulationsläufe
- Datenexport und Ergebnisanalyse

Im Folgenden wird auf die zu durchlaufenden Stufen näher eingegangen:

##### Datenimport – Definition von Standorten

Für den Netzwerkaufbau sind alle Standorte entlang der zu simulierenden Logistikkette zu definieren. Dafür stehen verschiedene Standorttypen zur Verfügung:

- Produktionsstandorte  
An einem Produktionsstandort werden Zulieferteile, wie z.B. Schaltschränke, Generatoren, Turmrohlinge etc. gefertigt, zwischengelagert und anschließend von dort zu einem definierten Zielort transportiert. Die Herstellung der Zulieferteile unterliegt einer Produktionsauftragsliste (PA), deren Transport einer Transportauftragsliste (TA).
- Montagestandorte  
Montagestandorte sind vergleichbar mit Produktionsstandorten, da auch für sie sowohl eine Produktionsauftragsliste als auch eine Transportauftragsliste vorhanden sein muss. Montagestandorte sind zusätzlich abhängig von ihrem Zulieferer, da die Komponenten an diesem Standorttyp aus zugelieferten Teilen zusammengebaut werden. Montagestandorte müssen deshalb Lagerkapazitäten sowohl für zugelieferte Teile als auch für die Komponenten vorhalten.
- Umschlagstandorte/Hafen  
„Umschlag“ meint die Umlagerung von zugelieferten Komponenten auf ein abweichendes Transportmittel zum Weitertransport. Die Weitertransporte unterliegen ebenfalls einer Transportauftragsliste. Außerdem sind Lagerkapazitäten für die zugelieferten Komponenten vorzuhalten (z.B. im Konsolidierungshafen).

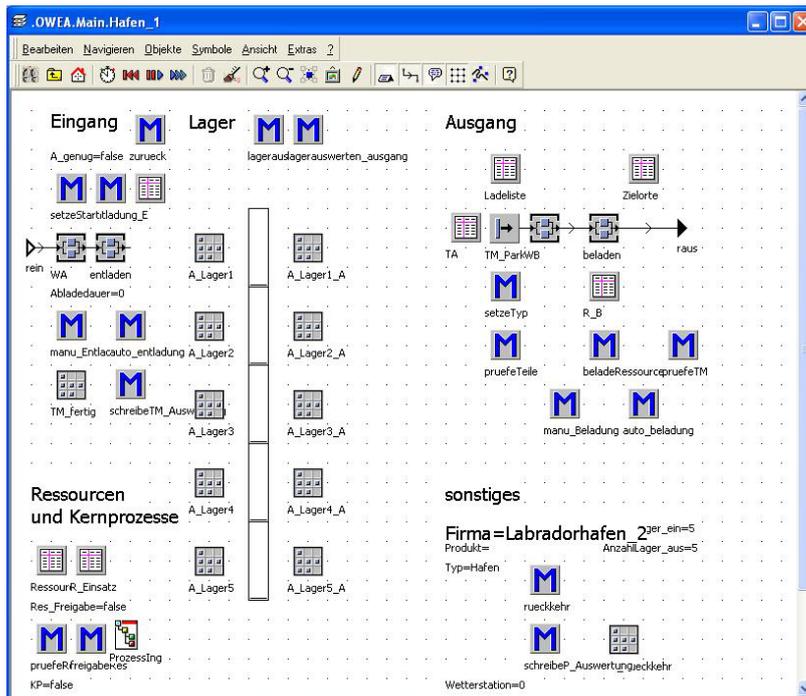


Abbildung 31: Beispiel für einen Hafenstandort im Modell

- Windpark  
Am Windpark (Baustelle) werden die verschifften Komponenten zu einer OWEA aufgebaut.

Für jeden Standort ist zusätzlich festzulegen, welche Ressourcen für welchen Prozess zur Verfügung stehen. Unter Ressourcen sind dabei Transportmittel (Land- und Seetransportmittel) und sonstige Ressourcen, die einen Prozess ermöglichen bzw. verzögern könnten, wie z.B. Mitarbeiter, benötigte Dokumente, Produktionsplätze etc., zu verstehen.

Die Standorte werden mithilfe des Eingabetools definiert und dem Simulationstool als Tabelle zur Verfügung gestellt. Die Standorttabelle wird zu Beginn der Simulation vom Simulationstool eingelesen, worauf sich das Standortnetz automatisch aufbaut.

### Simulation

Nach dem Aufbau des vorgegebenen Netzwerkes zu einem Modell durch Import der Eingabedaten folgt das „Durchspielen“ der durch den Masterplan übermittelten Bewegungsdaten inklusive etwaiger Lagervorbelegungen zu Beginn der Simulation. Diese Bewegungsdaten werden – ebenfalls erzeugt vom Eingabetool – im Anschluss an den Netzwerkaufbau als Masterplan in das Simulationstool eingelesen.

Folgende Fragen stehen dabei nach der Simulation im Vordergrund:

- Ist der simulierte Masterplan überhaupt durchführbar?  
(ansonsten ist der Masterplan entsprechend anzupassen)
- Wo treten Probleme/Störungen auf (z.B. Bottleneck)?



- Welche Auswirkungen haben welche Störfaktoren auf die gesamte Logistikkette und damit auf die Gesamtkosten (Kennzahlensystem)?  
(Simulation von gestörten/ungestörten Szenarios)

Dabei darf nicht vergessen werden, dass Simulation nicht mit Optimierung gleichzusetzen ist, d.h. Ergebnis der Simulation ist kein optimierter Masterplan. Ein Simulationsmodell liefert lediglich die Ergebnisse der importierten Simulationsdaten, welche anschließend vom Anwender zu bewerten sind und ggf. durch manuelle Anpassung des Masterplans verbessert werden können. Durch dieses Vorgehen besteht die Möglichkeit, sich an ein für den Anwender optimiertes Ergebnis schrittweise anzunähern.

#### Datenexport und Auswertungsanalyse

Für die Auswertung werden im Verlauf eines Simulationslaufs detailliert Daten mitprotokolliert, die später zu einer Gesamtauswertung zusammengefasst werden.

#### Durchführung von Mehrfachläufen

Da Störungen zufallszahlenbasiert abgebildet werden, ist es jedoch nicht ausreichend, sich auf die Ergebnisse eines einzelnen Simulationslaufs zu stützen. Vielmehr ist eine Vielzahl von Durchläufen desselben Szenarios und einer anschließend durchgeführten Mittelwertbildung nötig, um „Ausreißer“ (zu gute/schlechte Ergebnisse durch zu günstige/ungünstige Zufallszahlenbildung) zu eliminieren und die Übertragbarkeit eines Ergebnisses in die Realität zu gewährleisten.

### **3.3.5 AP 1400 Anpassung für Steuerungsaufgaben**

Die wesentliche Einflussnahme auf die geplante Abwicklung der Prozesse erfolgte bisher durch den Masterplan, der manuell erstellt wurde und als, neben der Netzwerkstruktur und den Stammdaten, den zeitlichen Planablauf als Input für die Simulation liefert. In diesem Arbeitspaket wurde eine Systematik erarbeitet und als Software implementiert, so dass auf Basis der im Eingabetool erstellten Netzwerkstruktur und Prozesse mittels Vorwärts- oder Rückwärtsterminierung ein Masterplanvorschlag generiert wird, der über eine Benutzeroberfläche vom Anwender modifiziert werden kann. Diese Oberfläche ermöglicht ebenfalls die Definition der Ist-Situationen bei bereits laufenden Projekten. Durch die Projektpartner wurde eine Schnittstelle zum Datenaustausch zwischen Masterplan und Simulationsmodell definiert und umgesetzt, sowie ein automatischer Start der Simulation aus der Benutzeroberfläche implementiert. Zur Auswertung der Simulationsergebnisse wurde entsprechend der gestellten Anforderungen eine Auswertungsoberfläche konzipiert und erstellt, die über eine Schnittstelle die Simulationsergebnisse erhält und es ermöglicht diese grafisch darzustellen.

#### 3.3.5.1 Erstellung des Masterplanes

Der Masterplan ist das zentrale Element für den Nutzer, um auf die Simulation einzuwirken. In ihm werden die Starttermine aller Montage- und Transportprozesse definiert. Der Masterplan bestimmt somit, welche Produkte, zu welchem Zeitpunkt und in welcher Stückzahl produziert und wann weiter transportiert werden. Er bildet letztlich den Projektplan ab.

Da der Masterplan im gewählten Anwendungsfall den Projektplan für die Montage von 80 Windenergieanlagen beinhaltet, ist dieser sehr umfangreich. Prinzipiell kann die Knotenanzahl als Hinweis dienen, wie viele Zeilen der Plan beinhaltet. Da fast alle Teile auch weitertransportiert werden, muss diese Anzahl noch mit zwei multipliziert werden. Somit ergibt sich ein Schätzer für die Zeilenanzahl, der sich wie folgt berechnet.

Formel 8: Schätzer für die Anzahl der Zeilen eines Masterplanes

$$\text{Zeilen} \approx 2 \times n_{\text{Knoten}} \times n_{\text{Windenergieanlagen}}$$

Für einen Windpark mit 80 Windenergieanlagen ergibt sich somit, dass für jeden Knoten 160 Zeilen angelegt werden. Das in Abbildung 23 gezeigte Beispielnetz enthält 28 Knoten. Somit würde der dazugehörige Masterplan ca. 4500 Zeilen enthalten. Da einige Knoten mehrere Produkte herstellen, kann sich die Zahl sogar noch erhöhen. Für unser Beispiel ergeben sich so 92 Zeilen pro Windenergieanlage bzw. 7360 Zeilen für den ganzen Park. Für den Anwender ist diese Zahl schwer zu überblicken, eine manuelle Erstellung kaum ohne größere Fehler machbar.

Aus diesem Grunde wurde ein Algorithmus entwickelt, der einen Masterplan aus den eingegebenen Netzwerkinformationen generiert. Der Nutzer kann hierbei zwischen einem vorwärts- und einem rückwärtsterminierten Masterplan wählen. Es wird weiterhin nur die Anzahl der zu produzierenden Windenergieanlagen verlangt und per Knopfdruck die automatische Erstellung angestoßen.

Für die automatische Erzeugung des Plans wird zunächst eine baumähnliche Struktur hergeleitet. Diese ist allein durch das Netz aus Knoten und Kanten noch nicht gegeben, da es hierbei auch Rückpfeile geben kann. Ebenso ist nicht direkt ersichtlich, welche Produkte wie verteilt werden. Diese Informationen liegen tiefer in den Montage- und Transportprozessen, weshalb diese dazu benutzt wurden die baumähnliche Struktur zu erstellen.

Formel 9: Montagedauern ohne Berücksichtigung von Ausfallzeiten

$$t_{\text{ohne Ausfall}} = \frac{t_{\text{min}} + t_{\text{max}} + t_{\text{normal}}}{3}$$

$t_{\text{min}}$  - Minimale Montagedauer (Bester Fall)

$t_{\text{max}}$  - Maximale Montagedauer (Schlechtester Fall)

$t_{\text{normal}}$  - Normale Montagedauer (Normalfall)

Ist diese erstellt, kann die erhaltene Struktur als Liste dargestellt werden. Hierbei wird der Baum so gestaltet, wie man es aus den Ordnerstrukturen eines PC-Dateisystems kennt. Die Struktur wird beliebig oft hintereinander angefügt, je nachdem wie viele Windenergieanlagen erstellt werden sollen. Im Anschluss werden die Startzeiten für die einzelnen Prozesse bestimmt. Die Startzeiten berücksichtigen die Prozesszeiten der einzelnen Vorgänge. Hierbei kann der Nutzer wählen, ob er Ausfallzeiten von Ressourcen berücksichtigen möchte oder nicht. Die genauen Formeln für die Berechnung der Prozesszeiten sind wie folgt.

Formel 10: Transportdauern ohne Berücksichtigung von Ausfallzeiten

$$t_{ohne\ Ausfall} = 3600 \times \frac{s}{v} + \sum_{k=1}^n (Beladedauer_p + Entladedauer_p)$$

s - Strecke in km

v - Geschwindigkeit in km/h

k - Gesamtzahl der transportierten Produkte/Komponenten

Formel 11 Montage- und Transportdauern mit Berücksichtigung von Ausfallzeiten

$$t_{mit\ Ausfall} = t_{ohne\ Ausfall} + \max_{1 \leq i \leq n} (p_i \times \frac{t_{i,min} + t_{i,max} + t_{i,normal}}{3})$$

i - Index der Ressource

n - Anzahl der benötigten Ressourcen für den Prozess

p<sub>i</sub> - Wahrscheinlichkeit des Ausfalls der Ressource i

t<sub>i,min</sub> - Minimale Ausfalldauer (Bester Fall) der Ressource i

t<sub>i,max</sub> - Maximale Montagedauer (Schlechtester Fall) der Ressource i

t<sub>i,normal</sub> - Normale Montagedauer (Normalfall) der Ressource i

Die Starttermine werden sowohl als Text als auch graphisch dargestellt, ähnlich der Art und Weise, wie man es aus anderen Projektplanungswerkzeugen kennt. Durch die Darstellung als Gantt-Diagramm wird es dem Benutzer erlaubt Termine besser zu vergleichen und zu verschieben (siehe Abbildung 32). Zusätzlich erhält der Nutzer die Möglichkeit, seinen Masterplan nach Microsoft Project zu exportieren.

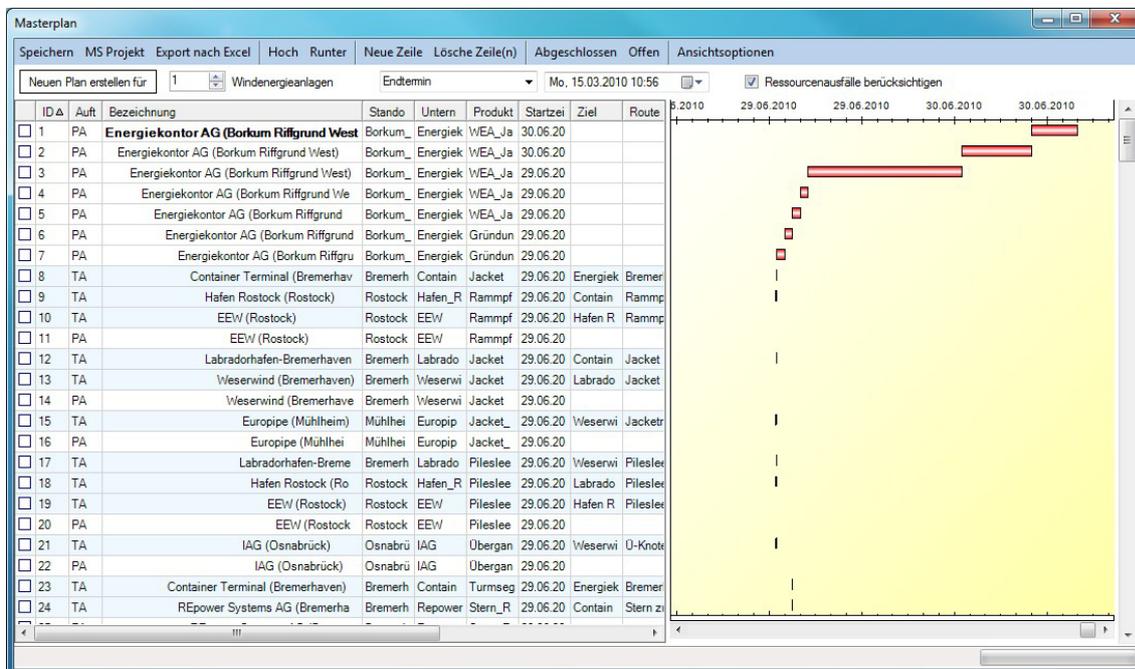


Abbildung 32: Masterplanbeispiel für obiges Netzwerk

Der Plan ist in dieser Form als erster Entwurf zu verstehen, da eine automatische Generierung nur eingeschränkt möglich ist. So wird bei zwei möglichen Lieferanten eines Produktes nur einer berücksichtigt. Ebenso muss geprüft werden, ob alle Pro-



dukte auch in der richtigen Anzahl hergestellt und weiter transportiert werden. Ersteres wird automatisch berechnet.

Für die zweite Prüfung, die auf Richtigkeit des Transportes abzielt, ist keine triviale Berechnung möglich. Daher wird die Simulation kurz gestartet und geprüft, welche Produkte an welchen Knoten liegen geblieben sind und entsprechende Ergebnisse in Tabellen abgespeichert. Diese werden wiederum ausgewertet und der Benutzer so auf Fehler im Plan aufmerksam gemacht. Weiterhin ist es dem Benutzer möglich, neue Zeilen hinzuzufügen, alte zu entfernen, abzuändern oder umzusortieren. Dies muss allerdings stets unter dem Gesichtspunkt der Richtigkeit des Planes erfolgen.

#### 3.3.5.2 Startsituationen schaffen/Vorbelegung von Knoten im Masterplan

Der erstellte Masterplan bildet derzeit einen Startzustand ab. Es wurden noch keine Komponenten produziert. Eine Simulation von einem Zeitpunkt Null ist aber bei laufendem Projekt weniger aussagefähig. Der Benutzer ist eher geneigt einen IST-Zustand abzubilden und von diesem aus Aussagen über zukünftige Termine und Kosten zu treffen.

Hierzu wurde der Masterplan erweitert. Es wurde eine Möglichkeit geschaffen, einzelne Prozesse als abgeschlossen zu markieren. Somit kann der Plan immer auf den aktuellsten Stand gebracht werden. Bei der Übergabe an die Simulation werden abgeschlossene Prozesse speziell behandelt. Sie erscheinen nicht im eigentlichen Masterplan sondern in einer Tabelle für Lagerbelegung. Abgeschlossene Transportprozesse bedeuten immer, dass die entsprechenden Eingangslager im Zielknoten mit den transportierten Produkten gefüllt sind. Beendete Montageprozesse bewirken, dass sich fertigmontierte Produkte in einem Ausgangslager befinden.

#### 3.3.5.3 Umsetzung Masterplan im Simulator

Der Masterplan wird vom Eingabetool nach den Vorgaben des Anwenders automatisch generiert und anschließend vom Simulationstool eingelesen. Er übermittelt dem Simulationsmodell die für die auszuführende Simulation einer Strategie benötigten Bewegungsdaten. Damit sich im Simulationsmodell etwas „bewegen kann“, werden Aufträge benötigt, die im Modell nacheinander abgearbeitet werden. Im Masterplan wird dabei zwischen Produktionsaufträgen (PA) und Transportaufträgen (TA) unterschieden:

Für die Herstellung von Komponenten bzw. Zulieferteilen werden Produktionsaufträge definiert. In diesen wird festgelegt, wann wie viele Komponenten an welchem Standort produziert bzw. montiert werden sollen. Für den anschließenden Transport der Zulieferteile und fertigen Komponenten werden zusätzlich Transportaufträge benötigt, in denen bestimmt wird, wann wie viele Komponenten/Zulieferteile mit welchem Transportmittel über welche Strecke wohin transportiert werden sollen.

#### Implementierung von Startsituationen für die Simulation

Um zu gewährleisten, dass auch während eines laufenden Projektes ggf. der weitere Verlauf dieses Projektes mit den ab diesem Zeitpunkt entstehenden Logistikkosten durch Simulation abgeschätzt werden kann, ist es möglich, eine Lagervorbelegung zu definieren. Die Lagervorbelegung wird zusammen mit den Bewegungsdaten im Mas-

terplan an die Simulation übergeben, wodurch im Modell bei Simulationsstart die entsprechenden Lager automatisch mit der vorgegebenen Menge an Komponenten gefüllt werden.

### Definition und Umsetzung erforderlicher Auswertungsmöglichkeiten

Nach jedem Simulationslauf werden die Ergebnisse für den Anwender zusammengefasst und sind im Nachlauf zu bewerten. Folgende Grafik zeigt die protokollierten Daten aus dem Simulationsmodell auf:

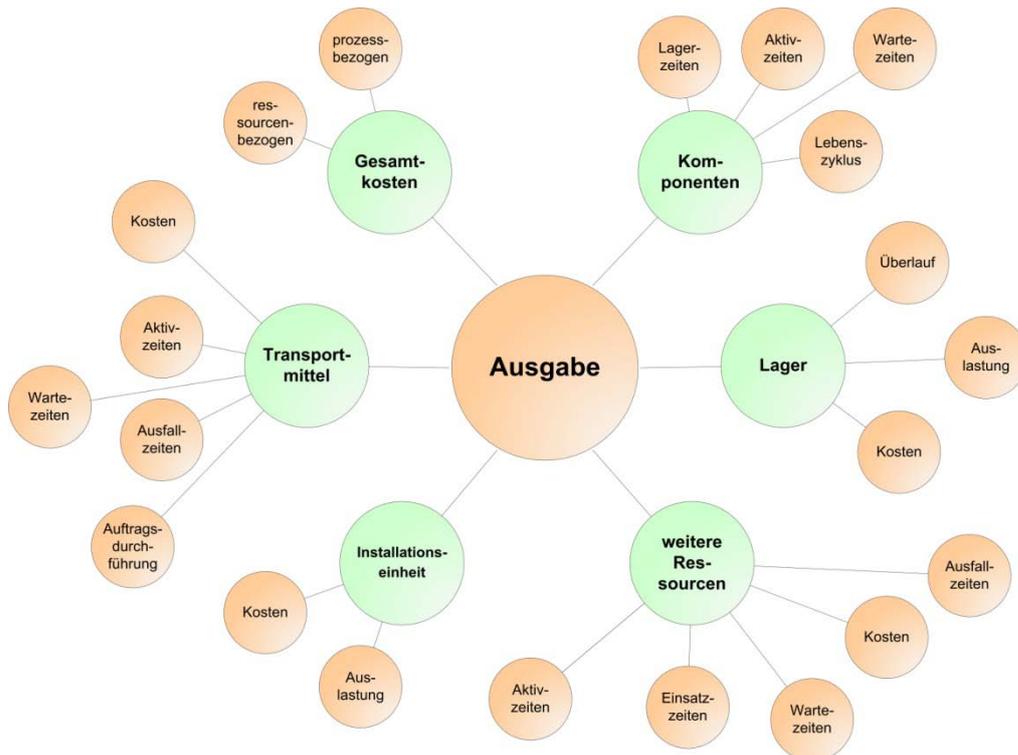


Abbildung 33: Simulationsergebnisse für einen Simulationslauf

Die im Folgenden aufgelisteten Informationen stehen für jeden Simulationslauf zur Verfügung:

- standortbezogene Lagerauswertung
  - Lagerbelegung für jedes Lager im Verlauf der Simulation
  - Lagerüberlauf für jedes Lager im Verlauf der Simulation
  - Lagerkosten
- Auslastung einer auf See verbleibenden Installationseinheit (nur beim Feedersystem)
- standortbezogene Transportmittelauswertung
  - - Landtransportmittel
  - - Wassertransportmittel
  - - Installationsschiffe (beim Pendelsystem)
- standortbezogene Ressourcenauswertung
  - Einsatzstunden jedes Ressourcentyps für jeden Standort
  - Ressourcenkosten

- Komponentenauswertung  
(Lebenszyklus einer Komponente von der Herstellung bis zum Verbau)
- standortbezogene Gesamtkostenauswertung - prozessbezogen
  - entstandene Kosten für „eigene“ Ressourcen am Standort
    - Kosten für Montage-/Produktionsprozesse am Standort
    - Kosten für Belade-/Entladeprozesse am Standort
    - Kosten für Transportprozesse ausgehend vom Standort
    - Kosten für Mobilisierung/Demobilisierung von Ressourcen am Standort
  - Kosten für Fremdressourcen („Mietressourcen“)
    - entstandene Kosten für den gesamten Einsatzzeitraum
    - zusätzlich entstandene Kosten für Mobilisierung/Demobilisierung
  - Lagerkosten am Standort
- standortbezogene Gesamtkostenauswertung - ressourcenbezogen
  - Aufsummierung aller an einem Standort für eine Ressource jeden Typs entstandenen Kosten

Die gesammelten Ergebnisse werden als Tabelle exportiert, dann vom externen Steuerungstool importiert, welches dem Anwender grafisch aufbereitete Daten zur Ergebnisanalyse zur Verfügung stellt.

#### 3.3.5.4 Definition und Umsetzung erforderlicher Auswertungsmöglichkeiten

Die in der Simulation ermittelten Daten können vielfältig ausgewertet werden. Im Programm kann aber nur Rücksicht auf die gängigsten Informationen genommen werden. Im Projekt wurden Kosten und Termineinhaltungen als die relevanten Kenngrößen herausgearbeitet. Folglich wurde die Auswertung darauf ausgelegt, diese Größen abzubilden.

##### Auswertung mehrerer Läufe

###### *Definition der Anforderungen*

Um brauchbare Ergebnisse für eine Simulation zu erhalten, ist es notwendig ein Szenario mehrfach zu berechnen. Dies ist notwendig um den Einfluss zufälliger Größen zu berücksichtigen. Es werden dementsprechend mehrere Replikationen bzw. Simulationsläufe durchgeführt. Die Ergebnisse jedes Laufes sind dabei immer anders (ausgenommen man rechnet mit Festwerten). Der Nutzer benötigt daher eine Übersicht, die ihm die Ergebnisse schnell und übersichtlich zusammenfasst.

Benötigt wird eine geeignete Darstellung, die eine allgemeine Auskunft darüber gibt, in welchen Bereichen die Gesamtkosten und die Fertigstellungstermine schwanken. Der Nutzer sollte weiterhin in der Lage sein, sich einzelne Läufe genauer anzuschauen.

###### *Umsetzung der Anforderungen*

Um den Benutzer ein erstes Gesamtbild zu vermitteln, werden die zwei wesentlichen Größen - Terminabweichung und Gesamtkosten - in einer Tabelle und daneben in einer Punktwolke dargestellt. Somit erhält der Benutzer sofort einen optisch leicht zu

erfassenden Überblick, mit welchen Kosten und welchen Zeitverzug er zu rechnen hat.

Ebenso kann er erkennen, wo sich Punkte ballen und wo der Mittelwert über alle Läufe liegt (siehe Abbildung 34).

Die Punkte um den Mittelwert repräsentieren Replikationen, die als besonders relevant angesehen werden. Es empfiehlt sich somit eine nähere Betrachtung dieser Läufe, wie sie unten beschrieben ist. Wobei zu beachten ist, dass jeder Lauf nur ein mögliches Ergebnis aus einer unendlichen Menge möglicher Ergebnisse darstellt.

Zusätzlich zur Punktwolke erhält der Nutzer die Möglichkeit interessante Werte auch in Tabellenform zu betrachten. Hierbei werden minimale, maximale und durchschnittliche Kosten angegeben. Diese werden wiederum nach Lager-, Ressourcen und Gesamtkosten aufgespalten.

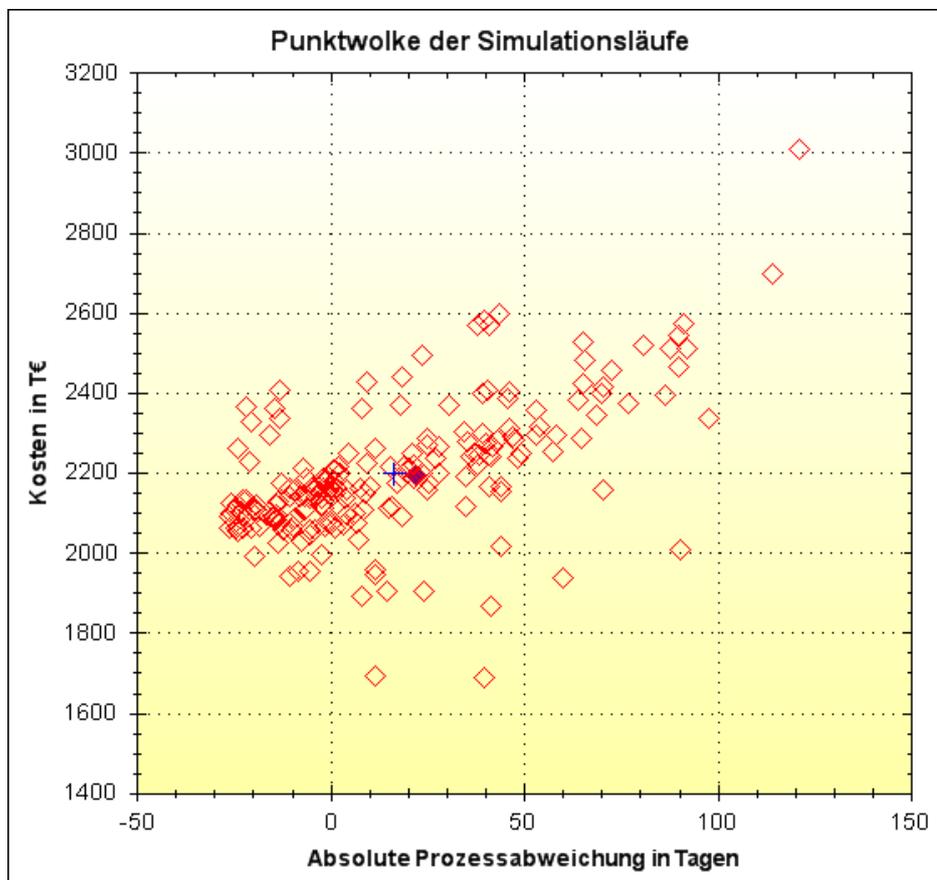


Abbildung 34: Punktwolke der Ergebnisse aller Simulationläufe

Auch der Masterplan erhält eine Auswertung in der Terminabweichungen analysiert werden. Hier kann der Nutzer für alle Prozesse minimale, maximale und durchschnittliche Terminabweichungen betrachten.

Für alle Werte werden zudem Standardabweichungen angegeben. Dies erleichtert dem Nutzer, die Ergebnisse besser einzuschätzen.

Die Auswertung ermöglicht zudem die Übernahme der IST-Startzeiten aus der Simulation als neue PLAN-Startzeiten in den Masterplan. Dies ist besonders anfangs sehr

wichtig, da die Projektpläne sehr groß werden und trotz sorgfältiger Planung teils noch stark von real machbaren Plänen abweichen.

**Auswertung eines einzelnen Laufes**

*Definition der Anforderungen*

Für einen einzelnen Lauf interessieren genaue Angaben zu Terminabweichungen und Kosten. Hierzu ist der entwickelte Masterplan mit seinen SOLL-Startzeiten den ermittelten IST-Startzeiten für diesen Simulationslauf gegenüberzustellen. Kosten sind für alle Knoten und Ressourcen in verschiedene Kategorien wie Mietkosten, Wartekosten usw. aufzuschlüsseln.

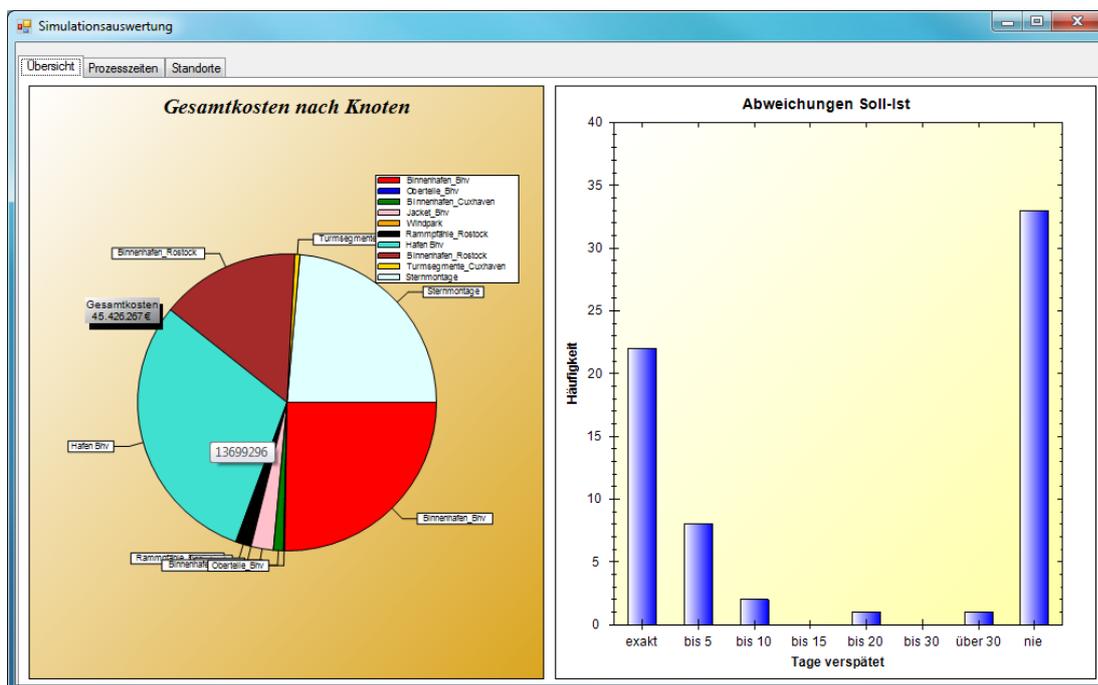


Abbildung 35: Einzellaufauswertung Übersicht

Bei der Auswertung eines einzelnen Laufs ist zu beachten, dass es sich um eine Simulation mit zufallsbedingten Ereignissen handelt. Solche Einflüsse treten von Lauf zu Lauf in einer anderen Zusammensetzung auf. Es gibt keinen absolut richtigen oder falschen Lauf. Zeitverzögerungen, die sich an einer Stelle des Masterplans ergeben, weil es zu Ressourcenausfällen kam, können in anderen Läufen gar nicht oder an anderen Stellen auftreten. Das Gleiche gilt auch für Mehrkosten. Simulationsunkundige Benutzer sollten an dieser Stelle durch das Programm darauf hingewiesen werden.

*Umsetzung der Anforderungen*

Für den einzelnen Lauf wurde zunächst eine Übersicht gestaltet. Hier kann der Nutzer die Gesamtkosten und den Anteil aller Knoten daran mittels Tortendiagramm auf einen Überblick erkennen. Ebenso sieht er eine Zusammenfassung über die Einhaltung der Starttermine im Masterplan mittels Histogramm (siehe Abbildung 35).

Der letzte Eintrag im Histogramm zeigt, welche Prozesse nie gestartet wurden. Dies sollte immer als Achtungszeichen zu sehen sein. Es weist den Benutzer darauf hin, dass der Masterplan in der Form nicht korrekt ist.

Näheres kann in einer weiteren Ansicht in Erfahrung gebracht werden. Dort ist der Masterplan in bekannter Form aufgelistet. Prozesse, die in Zeitverzug geraten sind, werden entsprechend farbig markiert. Das Gleiche gilt für nicht gestartete Prozesse. Dadurch erhält der Benutzer auch ein optisches Hilfsmittel.

Art	Standort	Unternehmen	Produkt	Start-Soll	Start-Ist	Anzahl	Zielstandort	Zielun...	Ende-Ist	Ressourcenausfall Gr...
PA	Cuxhaven	Ambau	Tumseg...	16.03.2010 06:00:00	16.03.2010 06:00:00	3			01.01.0...	00d 00h
PA	Cuxhaven	Ambau	Tumseg...	16.03.2010 06:00:00	16.03.2010 06:00:00	3			01.01.0...	00d 00h
PA	Cuxhaven	Ambau	Tumseg...	16.03.2010 06:00:00	16.03.2010 06:00:00	3			01.01.0...	00d 00h
TA	Cuxhaven	Ambau		26.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	2	Cuxhaven	Hafen_...	26.04.2...	00d 00h
TA	Cuxhaven	Ambau		26.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	2	Cuxhaven	Hafen_...	26.04.2...	00d 00h
TA	Cuxhaven	Ambau		26.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	2	Cuxhaven	Hafen_...	26.04.2...	00d 00h
TA	Cuxhaven	Hafen_Cuxhaven		26.04.2010 12:00:00	26.04.2010 12:00:00	2	Bremerhaven	Contain...	30.04.2...	00d 00h
PA	Bremerhaven	Weserwind	Jacket	29.03.2010 06:00:00	29.03.2010 06:00:00	4			01.01.0...	00d 00h
PA	Rostock	EEW	Rampfä...	01.04.2010 06:00:00	01.04.2010 06:00:00	16			01.01.0...	00d 00h
TA	Rostock	EEW		26.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	3	Rostock	Hafen_...	31.05.2...	00d 00h
TA	Rostock	Hafen_Rostock		26.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	1	Bremerhaven	Contain...	10.06.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Weserwind		29.04.2010 22:00:00	30.04.2010 06:00:00	2	Bremerhaven	Labrado	09.06.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Labradorhafen_2		30.04.2010 06:00:00	30.04.2010 06:00:00	2	Bremerhaven	Contain...	30.08.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Container_Terminal		02.05.2010 06:00:00	Nicht gestartet	1	Borkum_Riffig...	Energie...	Nicht b...	
PA	Borkum_Riffigrund_West	Energiekontor_AG	Gründun...	06.05.2010 08:00:00	Nicht gestartet	1			Nicht b...	
PA	Borkum_Riffigrund_West	Energiekontor_AG	Gründun...	07.05.2010 02:00:00	Nicht gestartet	1			Nicht b...	
PA	Borkum_Riffigrund_West	Energiekontor_AG	Gründun...	07.05.2010 02:00:00	Nicht gestartet	1			Nicht b...	
PA	Borkum_Riffigrund_West	Energiekontor_AG	Gründun...	09.05.2010 07:00:00	Nicht gestartet	1			Nicht b...	
PA	Bremerhaven	Repower_Systems_AG	Rotorblatt	15.04.2010 06:00:00	15.04.2010 06:00:00	9			01.01.0...	00d 00h
PA	Bremerhaven	Repower_Systems_AG	Nabe	15.04.2010 06:00:00	15.04.2010 06:00:00	3			01.01.0...	00d 00h
PA	Bremerhaven	Repower_Systems_AG	Gondel	15.04.2010 06:00:00	15.04.2010 06:00:00	3			01.01.0...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Repower_Systems_AG		24.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	3	Bremerhaven	Labrado	26.04.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Repower_Systems_AG		24.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	9	Bremerhaven	Labrado	29.04.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Repower_Systems_AG		24.04.2010 06:00:00	26.04.2010 06:00:00	3	Bremerhaven	Labrado	26.04.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Labradorhafen_2		24.04.2010 08:00:00	24.04.2010 08:00:00	1	Bremerhaven	Contain...	03.05.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Labradorhafen_2		24.04.2010 08:00:00	24.04.2010 08:00:00	1	Bremerhaven	Contain...	09.06.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Container_Terminal		26.04.2010 08:00:00	26.04.2010 08:00:00	1	Bremerhaven...	Repow...	09.06.2...	00d 00h
TA	Bremerhaven	Container_Terminal		26.04.2010 06:00:00	27.04.2010 03:16:19	3	Bremerhaven...	Repow...	30.08.2...	00d 21h
PA	Bremerhaven_CT	Repower_Systems_AG	ISpan	06.04.2010 23:00:00	01.06.2010 07:46:38	1	Bremerhaven	Repow...	01.01.0...	00d 00h

Abbildung 36: Auswertung der Prozesszeiten

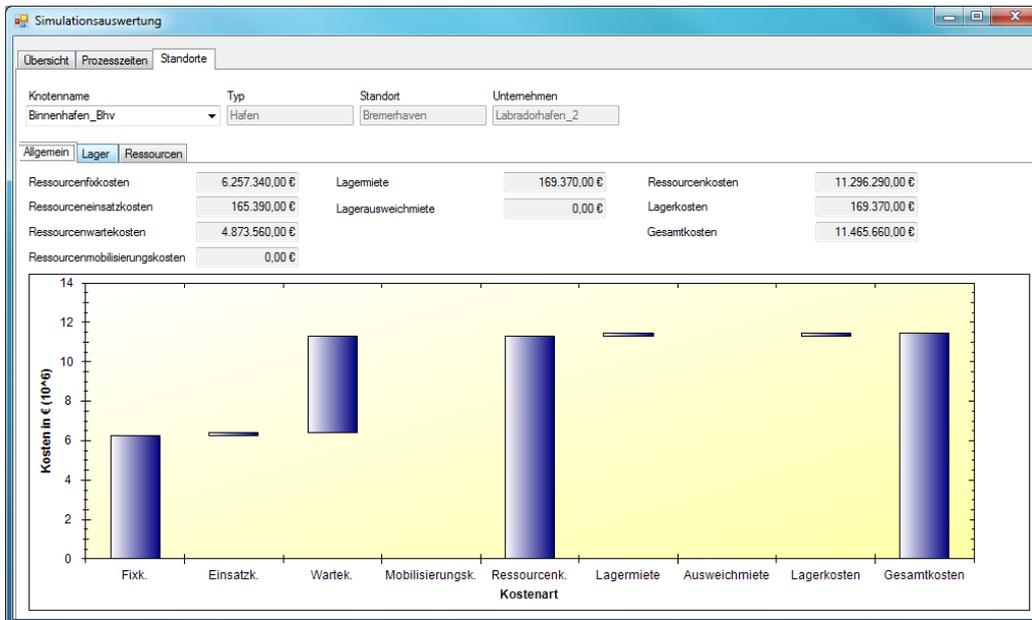


Abbildung 37: Auswertung Kostenübersicht

Als letztes kann sich der Nutzer einen genauen Überblick über alle angefallenen Kosten machen. Hierfür kann er für jeden Knoten, jedes Lager und jede Ressource entsprechende Werte abrufen. Diese werden in Textform und als Balkendiagramm präsentiert.

Für das Lager erhält der Nutzer zusätzlich Auskunft über Belegung und Auslastung. Eine Lagerbelegung von über 100% gibt Auskunft darüber, dass Extra-Lagerkapazitäten beansprucht wurden. Der Benutzer kann somit Spitzen erkennen und durch Änderung des Masterplanes darauf reagieren.

#### **4 AP 1500 Demonstration: Hinterlandanbindung von Seehäfen**

Ausgehend von den Vorbetrachtungen wurden im Rahmen des Projektes die Inhalte des Simulationstools erarbeitet. Diese Inhalte wurden in einem funktionstüchtigen Modell softwaretechnisch umgesetzt (Abschnitt 3.3.4). In diesem Arbeitspaket wurde unter Einbindung aller Projektpartner insbesondere der LSA ein Demonstrator zur Präsentation und Vorführung des Tools erarbeitet. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der Auswahl und Definition der Szenarios sowie der Bereitstellung von realistischen Daten, die für den Demonstrator aus Gründen der Vertraulichkeit adaptiert wurden. Hierbei stellt der Demonstrator ein exemplarisches Modell eines Netzwerkes dar, womit die Funktion des Tools und des darin hinterlegten Konzeptes dargestellt und die Möglichkeiten und Anwendungsfälle nachvollzogen werden können. Der Demonstrator stellt somit den mit einem Basismodell (bestehend aus zwei Szenarios) gefüllten Entwurf eines möglichen Planungs- und Steuerungstools dar. Dieser kann in nachfolgenden Arbeiten zu einer Planungssoftware weiterentwickelt werden. Hierzu ist die professionelle Programmumsetzung des Tools als ein netzwerkfähiges und mit einem konfigurierbaren Rollen- und Rechtekonzept versehenes Softwaretool notwendig, für das ebenfalls ein Nutzungskonzept zur Einbindung der notwendigen Standardsimulationssoftware erarbeitet werden muss.

##### 4.1.1.1 Aufbau der Szenarios

Für die Vorführung und Test des Tools wurden im Rahmen eines Demonstrators Szenarios definiert, mit denen einerseits die Funktionsweise des Tools überprüft und validiert werden soll. Des Weiteren dient der Demonstrator zur Funktionsdarstellung des Tools gegenüber Interessenten. Die Erarbeitung der Szenarios erfolgte in Zusammenarbeit mit der LSA unter Einbeziehung der Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses. Hierbei flossen die verschiedenen Gesprächsergebnisse zwischen LSA und den Industriepartnern in die Diskussionen zwischen Fraunhofer IFF und ISL ein.

Für den Demonstrator wurden eine Windenergieanlage mit folgenden Produktmerkmalen ausgewählt:

- Verwendung einer Jacketgründung
- Anlieferung der vollständig montierten Gondel im Windpark
- vollständige Ausrüstung der Turmsegmente beim Turmhersteller
- Vormontage des Rotorsterns an Land

Alle wesentlichen Hauptbaugruppen und deren Hauptbauteile wurden als graphische Stückliste im Tool abgebildet (siehe Abbildung 38).



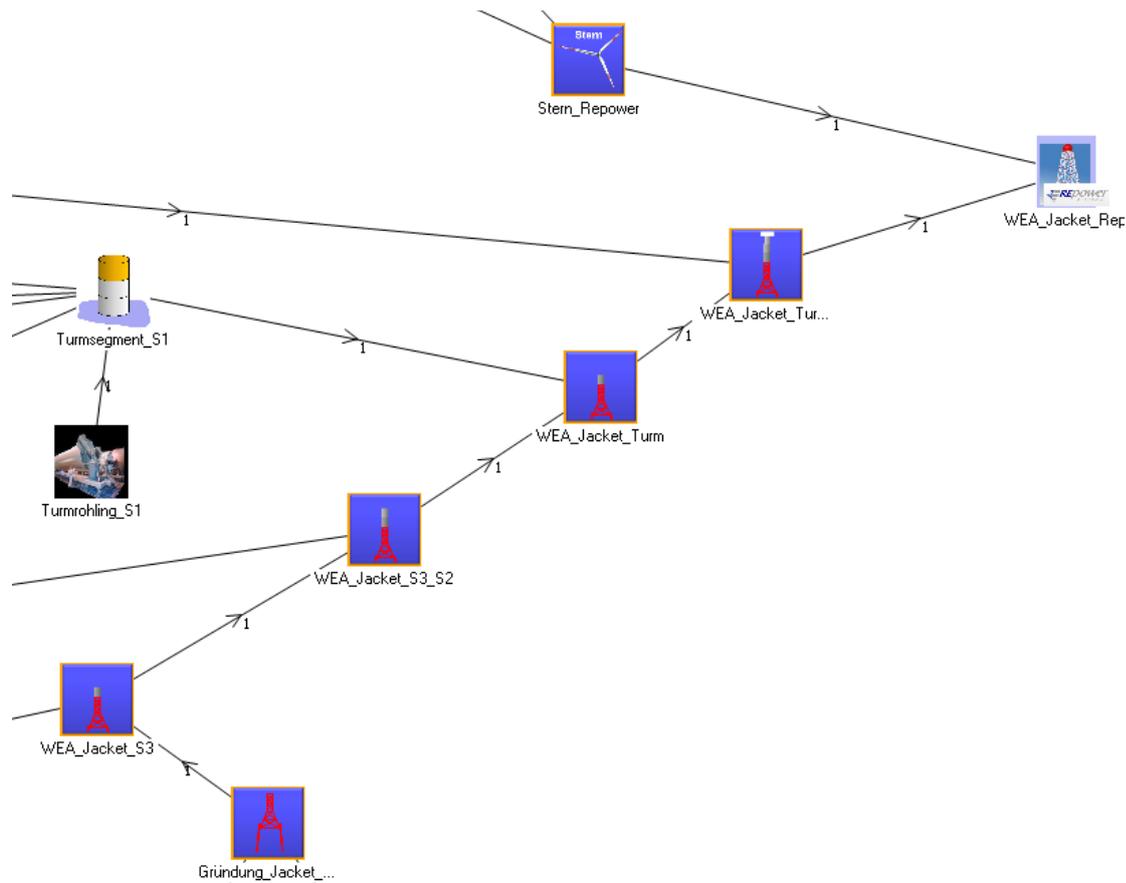


Abbildung 39: Abbildung der Montagezustände in der Stücklistenstruktur

Ausgehend von den Anforderungen der Logistikkette ist die Abbildung von verschiedenen Transportstrategien zwischen dem Hafen und dem Windpark eine wesentliche Anforderung an das Tool. Daher wurde im Rahmen des Projektes der Schwerpunkt auf den Vergleich unterschiedlicher Versorgungsstrategien des Windparks mit den zu montierenden Hauptbaugruppen gelegt. Zwei wesentliche Szenarios wurden für den Demonstrator ausgewählt:

- das Feederprinzip und
- der Pendelverkehr (siehe Abschnitt 3.3.2.4)

Hierzu wurde jeweils ein vollständiges Netzwerk über bis zu fünf Produktionsstufen abgebildet. Beide Szenarios basieren auf der gleichen Produkt- und Netzwerkstruktur sowie auf einer, bis auf die See-Transporte, einheitlichen Datenbasis für Prozesse und Ressourcen. Zur Vereinfachung des Modelles und Verringerung des Datenbeschaffungsaufwandes wurden die Anlagenanzahl von 8 Windenergieanlagen gewählt und nur ausgewählte Prozesse der Produktionsstandorte mit Prozesszeiten hinterlegt. Bei allen anderen Produktionsprozessen werden die Bauteile ohne Zeitverzögerung produziert und somit ebenso die Kosten vernachlässigt. Hierbei wurde der Fokus auf eine durchgängige Abbildung einer Lieferkette über alle Stufen gelegt.

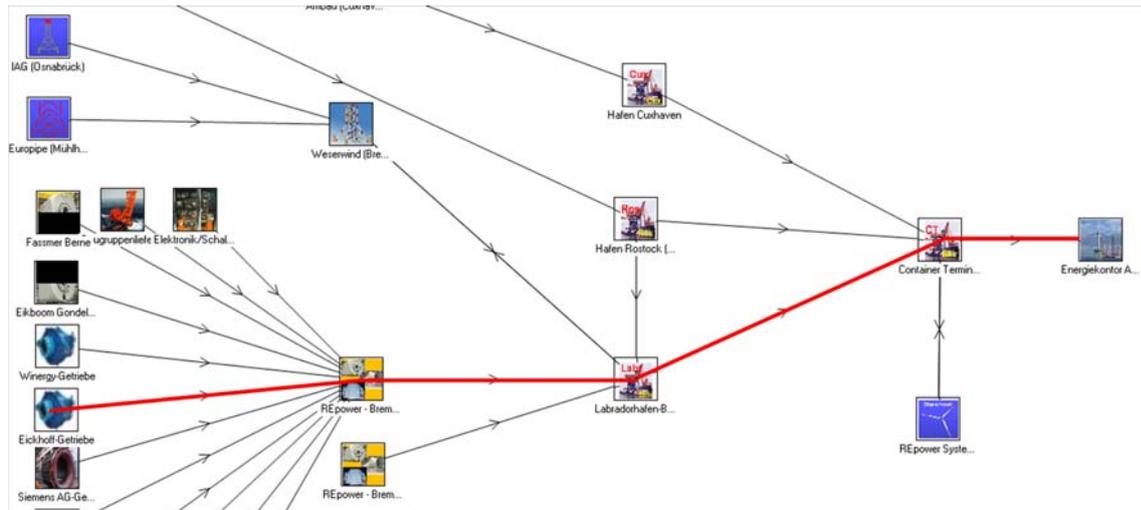


Abbildung 40: Durchgängige Abbildung einer Zulieferkette über alle Stufen

Ausgehend von einem gewählten Windpark wurde das Netzwerk in Anlehnung an ein vorhandenes Netzwerk entsprechend im Tool dargestellt. Dieses Netzwerk kann durch folgende Randbedingungen charakterisiert werden:

- Konsolidierungshafen in Bremerhaven
- Sternmontage im Konsolidierungshafen
- Seetransport für Anlieferung von Jackets und Rammpfählen bzw. Turmsegmenten, Gondel und Stern
- Bidirektionale Transportbeziehungen zwischen zwei Standorten ( z.B. Weserwind Bremerhaven und Labradorhafen Bremerhaven)

Für den Demonstrator wurde die Strategie eines Konsolidierungshafens in Bremerhaven (Containerhafen) verwendet, an dem die Hauptbaugruppen der WEA zum Windpark zwischengelagert und für den Transport zum Windpark zusammengestellt werden. Des Weiteren erfolgt im Konsolidierungshafen die Montage der Rotorblätter und der Nabe zum Stern, der dann als komplette Baugruppe zur Montage im Windpark transportiert wird. Für den Transport der Bauteile zum Windpark wurden folgende Transporte definiert:

- 2 Jackets und 8 Rammpfähle mittels Ponton-Nordsee-Barge mit Schlepper
- je ein Turmsegment 1, 2 und 3, Gondel, Stern mittels Ponton-Nordsee-Barge mit Schlepper

Diese Transportvariante erfordert zwar einen Teil der zusätzlichen Montagebaugruppen nicht, die ausführliche Struktur wurde aber im Demonstrator abgebildet, um auch andere Transportmöglichkeiten abbilden zu können.

Die Standorte des Netzwerkes wurden in Anlehnung an ein bestehendes Produktionsnetz definiert und im Tool als Netz modelliert. Das Netzwerk besteht aus vier Montagestandorten für Hauptbaugruppen, die auf die Orte Bremerhaven, Cuxhaven und Rostock verteilt sind. Diese werden durch 20 Produktionsstandorte mit den in der Stückliste definierten Bauteilen versorgt. Eine Besonderheit stellt die parallele Lieferung der Getriebe von zwei Herstellern dar (siehe Abbildung 40), deren Verwendung im Netzwerk bei der Gestaltung des Masterplanes manuell definiert werden muss.

Den Standorten wurden die entsprechenden Montageprozesse der zugehörigen Produkte aus der Stückliste zugeordnet. Hierbei wurde berücksichtigt, dass an einem Standort ein oder auch mehrere Produkte produziert werden können. Ein Beispiel hierfür ist der Standort Repower in Bremerhaven, an dem die Gondel, sowie die Nabe montiert werden. Am gleichen Standort erfolgt auch die Produktion der Rotorblätter, dieser wird aber als zusätzlicher Knoten dargestellt, da es sich bei diesem Standort um einen Produktionsstandort handelt. Die Montage mehrerer Produkte an einem Standort trifft für folgende Standorte zu:

- Standort Repower in Bremerhaven Gondel, Nabe
- Standort Ambau in Cuxhaven Turmsegment 1, Turmsegment 3, Turmsegment 3

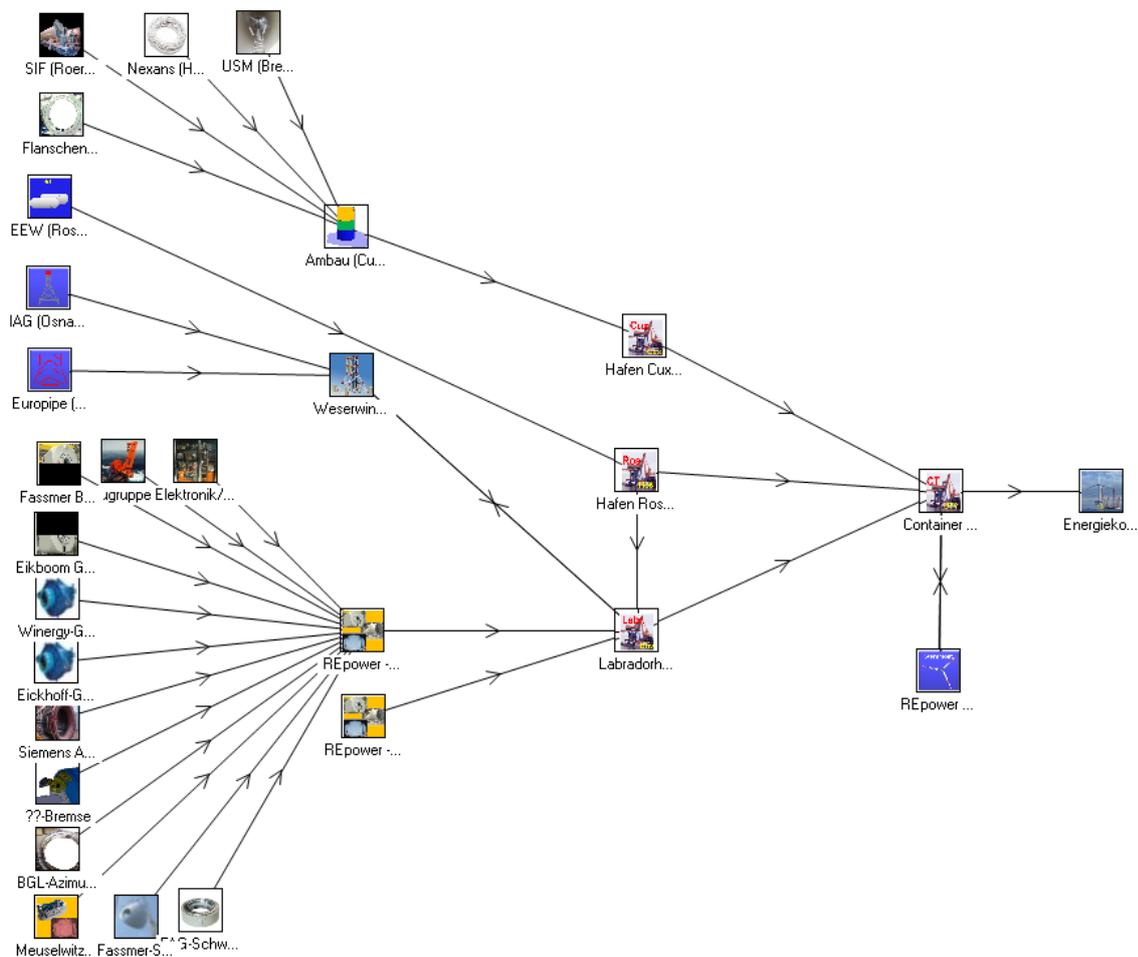


Abbildung 41: Standorte im Netzwerk

Zur Verringerung des enormen Datenerfassungsaufwandes und zur Vereinfachung der Bedienung wurde für den Demonstrator darauf verzichtet, alle Produktionsstandorte mit detaillierten Fertigungs- und Lagerprozessdaten wie z.B. Fertigungszeiten zu versehen. Das Hauptaugenmerk der Betrachtung wurde auf die Prozesse der Hauptbaugruppen gelegt, da diese für die entsprechenden Transportabwicklungen und nachfolgenden Offshore-Prozesse von größerer Bedeutung sind. Zur Abbildung der Auswirkungen von Störungen oder Veränderungen in den vorgelagerten Fertigungsstufen bzw. Netzwerkebenen ist es jedoch notwendig, mindestens einen Ferti-

gungszweig bis zur ersten Stufe mit Prozessdaten zu versehen, um diesen Sachverhalt im Demonstrator darzustellen. Hierzu wurden die Standorte der Prozesskette für die Herstellung der Gondel bis zur Produktion des Getriebes mit Prozessdaten unteretzt. Für alle anderen Produktionsstandorte und Prozesse werden die Prozesse ohne Ressourcen und ohne Zeiten abgebildet. Somit ist eine Abbildung der Produktherstellung im Modell bei einem vertretbarem Datenerhebungs- und -verarbeitungsaufwand gewährleistet. Die Abbildung der Transporte erfolgt dabei über die im Netzwerk definierten Transportrelationen. Diese sind über Routen mit Transportmitteln und Transportlosgrößen definiert. Hierbei werden für den Hinterlandverkehr im Wesentlichen LKW's und zum Teil Schwerlasttransporte und Spezialtransporter eingesetzt, die in den einzelnen Szenarios nicht verändert werden. Gleiches gilt für Zuliefertransporte die zwischen den Häfen, die mittels Küstenmotorschiff bzw. Pontons mit Schlepper erfolgen.

Im Rahmen des Demonstrators werden ebenfalls zusätzliche Umschlagprozesse zwischen den Montagestandorten dargestellt, an denen keine weitere Wertschöpfung am Produkt erfolgt. Dies erfolgt am Beispiel der Transporte der Turmsegmente, der Rammpfähle und der Pilesleeves. So werden zum Beispiel die in Cuxhaven montierten Turmsegmente mittels SPMT (self propelled modular transporter) zum Hafen Cuxhaven und von dort per Schiff nach Bremerhaven transportiert. Diese Seetransporte zwischen den einzelnen Häfen werden ebenfalls in beiden Szenarios gleich definiert.

Das bisher beschriebene Netzwerk dient als Basis und ist für beide Szenarios gleich.

Des Weiteren wurden zur Abbildung der Transportgenehmigungen am Beispiel der See-Transporte für die Gondel die Beladeprozesse im Labradorhafen und im Containerhafen mit der Ressource „Transportgenehmigung“ versehen, um zusätzlich zur Streuung der Beladeweiten die Auswirkung von fehlenden Genehmigungs- oder Versicherungsunterlagen zu simulieren.

#### Szenario 1- Pendelverkehr

Im ersten Szenario wird die Versorgung des Windparks über einen Pendelverkehr abgebildet. Als Pendelverkehr wird die Materialversorgung des Windparks über Montageschiffe verstanden, die zwischen dem Konsolidierungshafen und dem Windpark pendeln. Hierbei werden die für die Montageprozesse notwendigen Baugruppen durch das Montageschiff vom Hafen zum Windpark transportiert und dort verbaut. Anschließend erfolgt die Rückfahrt zum Hafen und ein erneuter Transport- und Montagezyklus. Das Montageschiff (Hubinsel) wird somit als Transportmittel und als Montageressource eingesetzt, wodurch die Nutzung des Montageschiffs zur Montage eingeschränkt wird, aber keine weiteren Transportressourcen wie Pontons oder Schlepper benötigt werden. Die Festlegung der Versorgungsart erfolgt im Aufrufdialog der Simulation.

#### Szenario 2 - Feedersystem

Im zweiten Szenario wird die Versorgung des Windparks über ein Feedersystem abgebildet. Im Gegensatz zum Pendelverkehr werden hierbei die Transporte vom Kon-



solidierungshafen zum Windpark und die eigentliche Montage durch unterschiedliche Ressourcen durchgeführt. Während für die Montage ein Montageschiff (Hubinsel) zum Einsatz kommt, welches im Windpark verbleibt, erfolgt der Transport der Hauptbaugruppen vom Konsolidierungshafen zum Windpark durch andere Schiffe (Ponton\_Nordsee\_Barge\_mit\_Schlepper). Die Kosten für die Hubinsel müssen hierbei beim Aufruf der Simulation eingegeben werden.

Die Netzwerk- und Prozessdaten der Szenarios wurden in separaten Netzwerkdateien gespeichert, die Bestandteil des Demonstrators sind. Die Daten für das Feederprinzip befinden sich in der Datei „LogOWEA-Demonstrator\_Feeder.save“ und für das Pendelprinzip in der Datei „LogOWEA-Demonstrator\_Pendel.save“.

Diese Modelle enthalten jeweils einen bereits für das Szenario manuell angepassten Masterplan für den Aufbau von 8 Windenergieanlagen. Im gespeicherten Masterplan wurden die nach der Masterplan-Prüfung automatisch vorgeschlagenen Veränderungen der Transportaufträge angenommen. Des Weiteren wurden die Transportaufträge für die Transporte der Turmflansche vom Hersteller „Flanschenwerke Zeppenfeld (Zeppenfeld)“ zum Turmhersteller „Ambau (Cuxhaven)“ angepasst. Grund hierfür ist das je Transport 4 Turmflansche gleichzeitig transportiert werden können, je Anlage jedoch nur 3 Turmflansche benötigt werden. Die daraus resultierenden Transportmöglichkeiten, die ebenfalls als Route hinterlegt sind, wurden mit folgender Teilebelegung versehen:

	Turmflansch_S1	Turmflansch_S2	Turmflansch_S3
Route 1	2	1	1
Route 2	1	2	1
Route 3	1	1	2

Da das Tool automatisch die erste Transportroute 8 mal verwendet, würden nach Abwicklung der Transportaufträge 8 zusätzliche Turmflansch\_S1 beim Turmhersteller angeliefert, die nicht benötigt werden. Daher müssen die Transportmengen durch die Verwendung der Routen zusätzlich entsprechend angepasst werden. Hierzu werden die Transportaufträge wie folgt geändert, so dass jede dieser 3 Transportrouten 2 mal verwendet wird und die letzten beiden Transportaufträge entsprechend aus dem Masterplan gelöscht werden.

Masterplan ID	Route
70	Zeppenfeld -> Cuxhaven (2x Turmflansch_S1, 1x Turmflansch_S2, 1x Turmflansch_S3) - Schräglader
155	Zeppenfeld -> Cuxhaven (1x Turmflansch_S1, 2x Turmflansch_S2, 1x Turmflansch_S3) - Schräglader
240	Zeppenfeld -> Cuxhaven (1x Turmflansch_S1, 1x Turmflansch_S2, 2x Turmflansch_S3) - Schräglader
325	Zeppenfeld -> Cuxhaven (2x Turmflansch_S1, 1x Turmflansch_S2, 1x Turmflansch_S3) - Schräglader
410	Zeppenfeld -> Cuxhaven (1x Turmflansch_S1, 2x Turmflansch_S2, 1x Turmflansch_S3) - Schräglader
495	Zeppenfeld -> Cuxhaven (1x Turmflansch_S1, 1x Turmflansch_S2, 2x Turmflansch_S3) - Schräglader
580	Transportauftrag (Zeile) löschen
665	Transportauftrag (Zeile) löschen

Somit sind die notwendigen Mengen entsprechend korrigiert und die Prüfung des Masterplanes ergibt keine Fehlermeldungen. Diese Änderungen wurden in beiden Netzwerkdateien bereits gespeichert und müssen nicht zum Start der Simulation erneut vorgenommen werden.

Die Simulation kann bei Anbindung an eine Lizenz der Simulationssoftware eM-Plant aus der Eingabeoberfläche gestartet werden und läuft im Hintergrund. Eine Vorführung der Eingabe und Auswertungsbausteine des Demonstrators ist jedoch auch ohne Anbindung an ein eM-Plant möglich, da der Demonstrator bereits die Auswertungsdateien für die beiden Szenarios mit 10 Simulationsläufen enthält. Diese Ergebnisdateien, die nach Beendigung der Simulation gespeichert werden, können über den Menüeintrag "Auswertung" aufgerufen und entsprechend ausgewertet werden. Die Ergebnisdaten für das Feederprinzip enthält die Datei „Results\_LogOWEA-Demonstrator\_Feeder.erg“. Analog dazu sind die Ergebnisse für den Pendelverkehr in der Datei „Results\_LogOWEA-Demonstrator\_Pendel.erg“ gespeichert. Bei Nutzung der Simulation werden diese Ergebnisse in einer Ergebnisdatei gespeichert und können wie bereits erläutert aufgerufen werden. Im Auswertungstool können die enthaltenen Szenarios bzw. die Simulationsergebnisse, wie in Abschnitt 3.3.5.4 beschrieben, ausgewertet werden.

Der Demonstrator bietet somit durch seine offene Gestaltung die Möglichkeit die enthaltenen Szenarios zu betrachten und die enthaltenen Ergebnisse darzustellen, als auch veränderte Szenarios zu simulieren und deren Ergebnisse auszuwerten.

#### 4.1.2 AP 1600 Dokumentation (Anwendungshilfe)

Neben der programmtechnischen Umsetzung und der Programmbeschreibung im Rahmen dieses Berichtes wurde eine Dokumentation zur Bedienung des Simulationstools erstellt, das als separates Handbuch vorliegt und ebenso als Hilfe im Demonstrator hinterlegt ist. Da dieses Handbuch im Wesentlichen die Bedienung der



Benutzeroberfläche des Tools beschreibt, wird an dieser Stelle des Abschlussberichtes auf die im Hintergrund agierende Simulationssoftware eingegangen.

### Simulator

Das verwendete Simulationstool erlaubt es dem Anwender – nach den für dieses Projekt durchgeführten Anpassungen – ein Standortnetzwerk in relativ kurzer Zeit als Modell abzubilden und mit diesem als Grundlage einfach und schnell die beiden beschriebenen Strategien zu simulieren und miteinander zu vergleichen. Vorgegangen wird dabei in drei Stufen:

- Datenimport per Excel-Schnittstelle
- Durchführung der Simulationsläufe
- Datenexport per Access-Schnittstelle und Ergebnisanalyse

Im Folgenden wird auf die zu durchlaufenden Stufen näher eingegangen:

#### **Datenimport per Excel-Schnittstelle**

Für die Simulation wird eine Fülle von Daten benötigt. Um dem Anwender die Dateneingabe zu erleichtern und die Fehlerträchtigkeit zu verringern, wurden Schnittstellen geschaffen, über die die Eingabedaten, die vom externen Eingabetool aufgenommen werden, in das Simulationssystem importiert werden können. Der Datenimport wird dabei über zwei Exceltabellen (Standorte.xls und Masterplan.xls) vorgenommen, der Datenexport wurde über eine Access-Datenbank realisiert.

#### *Standortdefinition*

In der Standorte.xls befinden sich alle über das Eingabetool aufgenommenen Standorte entlang der Logistikkette. Verschiedene Standorttypen erfüllen dabei unterschiedliche Funktionen:

- Produktionsstandorte  
An einem Produktionsstandort werden Zulieferteile, wie z.B. Schaltschränke, Generatoren, Turmrohlinge etc. gefertigt, zwischengelagert und anschließend von dort zu einem definierten Zielort transportiert. Die Herstellung der Zulieferteile unterliegt einer Produktionsauftragsliste (PA), deren Transport einer Transportauftragsliste (TA).
- Montagestandorte  
Montagestandorte sind vergleichbar mit Produktionsstandorten, da auch für sie sowohl eine Produktionsauftragsliste als auch eine Transportauftragsliste vorhanden sein muss. Montagestandorte sind zusätzlich abhängig von ihrem Zulieferer, da die Komponenten an diesem Standorttyp aus zugelieferten Teilen gebaut werden. Montagestandorte müssen deshalb Lagerkapazitäten sowohl für zugelieferte Teile als auch für die Komponenten vorhalten.
- Umschlagsstandorte/Häfen  
„Umschlag“ meint die Umlagerung von zugelieferten Komponenten auf ein abweichendes Transportmittel zum Weitertransport. Die Weitertransporte un-

terliegen ebenfalls einer Transportauftragsliste. Lagerkapazitäten für die zuge-  
lieferten Komponenten sind vorzuhalten (z.B. Konsolidierungshafen).

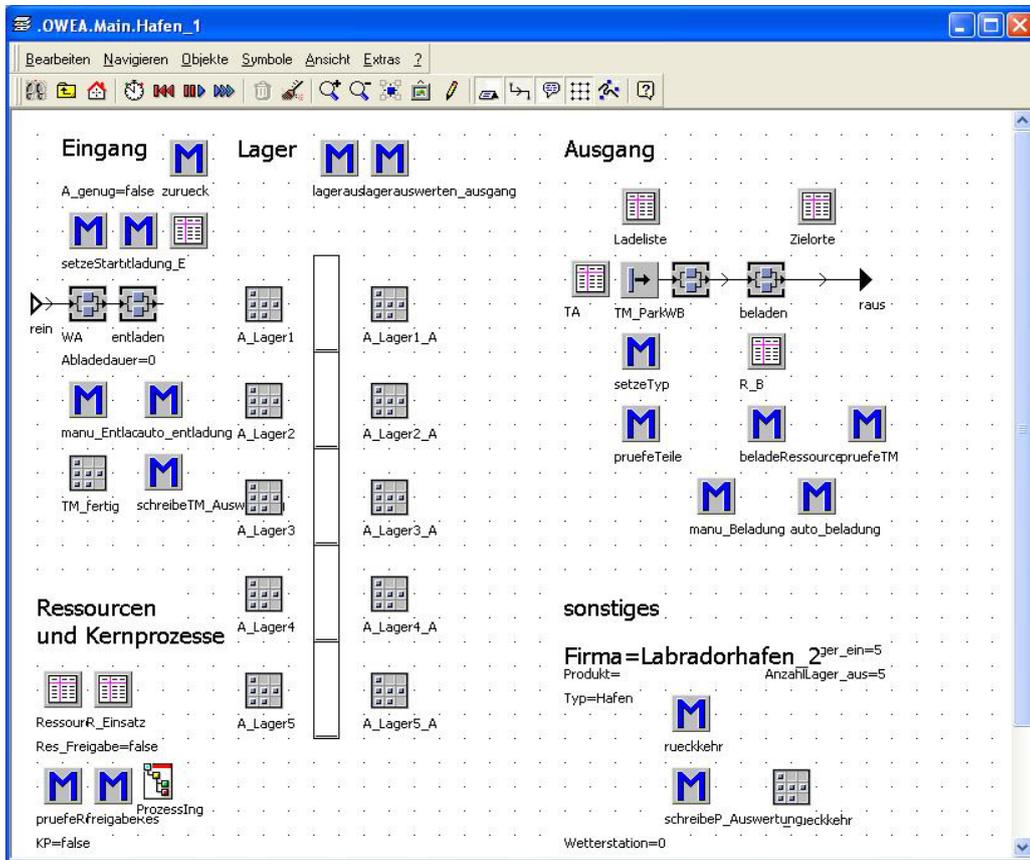


Abbildung 42 Beispiel für einen Hafenstandort im Modell

- Windpark  
Am Windpark (Baustelle) werden die verschifften Komponenten zu einer OWEA aufgebaut.

Für jeden Standort kann zusätzlich festgelegt werden, welche Ressourcen für welchen Prozess zur Verfügung stehen. Unter Ressourcen sind dabei Transportmittel (Land- und Seetransportmittel) und sonstige Ressourcen, die einen Prozess verzögern könnten, wie z.B. Mitarbeiter, benötigte Dokumente, Produktionsplätze etc., zu verstehen.

Die Standorte werden mithilfe des Eingabetools definiert und dem Simulationstool als Tabelle zur Verfügung gestellt. Die Standorttabelle wird zu Beginn der Simulation vom Simulationstool eingelesen, worauf sich das Standortnetz automatisch aufbaut.

#### *Masterplan – Bewegungsdaten*

Der Masterplan – ebenfalls erzeugt vom externen Eingabetool – ist die Auftragsliste – sozusagen der Motor – für die Simulation. Er enthält alle für die Simulation benötigten Bewegungsdaten. Hier werden die für AP 1400 beschriebenen Produktions- und Transportaufträge definiert, die dann in der Simulation Schritt für Schritt abgearbeitet werden. Die Simulation endet nach der Abarbeitung dieser Auftragsliste.



## **Simulation**

Nach dem Aufbau des vorgegebenen Netzwerkes zu einem Modell durch Import der Eingabedaten folgt das „Durchspielen“ der durch den Masterplan übermittelten Bewegungsdaten inklusive etwaiger Lagervorbelegungen zu Beginn der Simulation.

Folgende Fragen stehen dabei nach der Simulation im Vordergrund:

- Ist der simulierte Masterplan überhaupt durchführbar?  
(ansonsten ist der Masterplan entsprechend anzupassen)
- Wo treten Probleme/Störungen auf (Bottleneck)?
- Welche Auswirkungen haben welche Störfaktoren auf die gesamte Logistikkette und damit auf die Gesamtkosten?  
(Simulation von gestörten/ungestörten Szenarios)

Dabei darf nicht vergessen werden, dass Simulation nicht mit Optimierung gleichzusetzen ist, d.h. Ergebnis der Simulation ist kein optimierter Masterplan. Ein Simulationsmodell liefert lediglich die Ergebnisse der importierten Simulationsdaten, welche anschließend vom Anwender zu bewerten sind und ggf. durch manuelle Anpassung des Masterplans verbessert werden können. Durch dieses Vorgehen besteht die Möglichkeit, sich an ein für den Anwender optimiertes Ergebnis heranzutasten.

## **Datenexport und Auswertungsanalyse**

Für die Auswertung werden im Verlauf eines Simulationslaufs detailliert Daten protokolliert, die später zu einer Gesamtauswertung zusammengefasst werden. Dabei handelt es sich um das in AP 1400 beschriebene Datenmaterial.

## **Durchführung von Mehrfachläufen**

Da Störungen zufallszahlenbasiert abgebildet werden, ist es jedoch nicht ausreichend, sich auf die Ergebnisse eines einzelnen Simulationslaufs zu stützen. Vielmehr ist eine Vielzahl von Durchläufen desselben Szenarios und einer anschließend durchgeführten Mittelwertbildung nötig, um „Ausreißer“ (zu gute/schlechte Ergebnisse durch zu günstige/ungünstige Zufallszahlenbildung) zu eliminieren und die Übertragbarkeit eines Ergebnisses in die Realität zu gewährleisten.

### **4.1.3 AP 1700 Projektmanagement**

Das Projektmanagement im Rahmen des Projektes LOG-OWEA erfolgte im Wesentlichen durch das Fraunhofer IFF Magdeburg. Dies umfasste die Koordination der Abstimmung zwischen den Projektpartnern und die laufende Verfolgung des Projektfortschrittes durch mehrere Projekttreffen und regelmäßige Telefonkonferenzen. Ebenso erfolgte die Organisation und Vorbereitung der drei Treffen des projektbegleitenden Ausschusses in Bremerhaven, der sich aus Vertretern verschiedener Nutzergruppen zusammensetzte.

## 5 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Über die bestehenden Verpflichtungen zur Projektdokumentation wurden eine Reihe von Transfermaßnahmen durchgeführt:

- Präsentation über Vorträge / Messen:

Die Ergebnisse des Projektes wurden im Rahmen von Veranstaltungen (Fachvorträge, Präsentationen) der Windenergieagentur Bremerhaven / Bremen e.V. vorgestellt. Darüber hinaus fand eine Vorstellung der Projektidee bzw. der Vorgehensweise bei den folgenden Veranstaltungen statt:

- Windforce 10, 01.-03.06.2010, Bremerhaven
- 3. Wissenschaftstage des Bundesumweltministeriums zur Offshore-Windenergienutzung 17. und 18. November 2009 in Oldenburg
- Seminar der ForWind-Academy (Oldenburg), 10.03.2009, Bremen
- Tag der Logistik, 16.04.2009, Bremerhaven, im Anschluss an den Vortrag Besichtigung von Windenergieanlagen und dazugehörigen Produktionsstätten
- DEWEK, 26. und 27.11.2008, Bremen

- Information / Beratung / Weiterbildung:

In Verbindung mit den Leistungsangeboten der Logistik-Service-Agentur erfolgt eine ständige Information des potenziellen Kundenkreises über den Planungs- und Steuerungsansatz.

- Einbeziehung von Multiplikatoren:

Ein wichtiger Multiplikator für die Projektergebnisse ist der Branchenverein Windenergieagentur Bremerhaven / Bremen e.V., in dem alle Projektpartner als Mitglieder tätig sind. Über diese Kommunikationsplattform ist eine breite Informationsmöglichkeit in der Branche gegeben.

- Übernahme der Ergebnisse in die akademische Lehre:

Es ist beabsichtigt, die Projektergebnisse in die Lehre an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg einzubeziehen. Das geschieht auf der Grundlage einer Kooperationsvereinbarung zwischen dem Fraunhofer IFF und dem Institut für Logistik und Materialfluss ILM an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

- Ein Transfer der Projektergebnisse über eine Pilotanwendung ist durch die Einbindung der Logistik Service Agentur Bremerhaven unmittelbar gegeben.

Die durchgeführten Transfermaßnahmen haben bereits Interesse bei verschiedenen anderen Unternehmen hervorgerufen. So gab es bereits mehrfach Kontakte mit weiteren Unternehmen, die von der Industrieseite initialisiert wurden. Zu nennen sind hier z.B. die BLG Logistics Group, Rhenus Midgard und das Sachverständigenbüro Kapitän H.-J. Möller und Partner. Der mit dem Projektabschluss zur Verfügung stehende Demonstrator bietet die Möglichkeit für einen noch anschaulicheren Transfer der Ergebnisse. Daher ist von weiteren Kontakten zu Industrieunternehmen auszugehen.



Es ist geplant die Erfahrungen, die in den folgenden Jahren in der Windkraft offshore gesammelt werden, stetig in das Modell einfließen zu lassen und so dessen Qualität stetig zu verbessern. Hierzu ist eine Kooperation von Forschungseinrichtungen und beteiligten Unternehmen erforderlich. Ziel muss es weiterhin sein, den Fokus der Betrachtung auf die gesamte Logistikkette und deren Schnittstellen zu lenken und die bisher vorherrschende Betrachtung einzelner Teilgebiete derselben zu minimieren.

## 6 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

### 6.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Im Rahmen des FuE-Vorhabens erfolgte ein ständiger Austausch und Know-how-Transfer direkt in die Anwenderbranche.

Unter den potenziellen Nutzern werden zwei grundsätzliche Gruppen angesprochen:

Die erste Gruppe sind Logistikdienstleister/-manager. Mit der Logistik-Service-Agentur LSA ist im Projekt ein solcher mittelständischer Logistikdienstleister direkt eingebunden. Dieser profitiert unmittelbar von den Ergebnissen, Vorgehensweisen und zu entwickelnden Simulationswerkzeugen zur Unterstützung seiner Geschäftsprozesse. Gleichzeitig erfolgt ein Test der Eignung im realen Unternehmensumfeld.

Die zweite Gruppe sind KMU in der Supply Chain (z.B. Komponentenhersteller, Transportunternehmen, Finalproduzenten u.ä.). Diese erhalten Eingangsinformationen für die Planung der für sie jeweils relevanten Prozesse und Ressourcen. Dazu zählen beispielsweise Mengengerüste über zu produzierende bzw. zu transportierende Einheiten in einem zeitlichen Bezug zur Montagekampagne. Solche Angaben sind in ihrer Komplexität/Gesamtheit nur schwer in Eigenleistung durch solche Unternehmen zu ermitteln.

Die Informationen führen zur Qualitätsverbesserung der Planungen von Produktions- und Logistikstrukturen und damit zur Risikoreduzierung bei den für KMU besonders kritischen kapitalintensiven Prozessen.

Zuordnung der erzielten Forschungsergebnisse zu Fachgebieten gemäß Vordruck 4.1.23:

Fachgebiet	Hauptsächliche Nutzung	Nutzung auch möglich
Umwelttechnik	X	
Produktion		X
Informations- und Kommunikationstechnik		X
Betriebswirtschaft, Organisation	X	

Zuordnung der erzielten Forschungsergebnisse zu Wirtschaftszweigen gemäß Vordruck 4.1.24:

Wirtschaftszweige		Hauptsächliche Nutzung	Nutzung auch möglich
Abteilung	Kurzname		
29	Maschinenbau		X
40/41	Energie- und Wasserversorgung	X	
60	Landverkehr, Transport	X	
72/74	Erbringung von Dienstleistungen überwiegend für Unternehmen	X	

## 6.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Die Projektergebnisse sind allgemeingültig und damit grundsätzlich für alle kampagnengeprägten Supply Chains, auch anderer Branchen, anwendbar. Dazu zählen beispielsweise Prozesse im Bereich der Land- und Forstwirtschaft (z.B. Zuckerverarbeitung, Supply Chain zur Versorgung von Papierfabriken mit Rohstoffen).

Weiterhin werden die grundsätzlichen Projektziele und Kundenbedürfnisse, der Projektträger, Hersteller und Zulieferer unterstützt. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Realisierung von Windparkprojekten im Kosten- und Zeitrahmen
- Rechtzeitige und komplette Verfügbarkeit aller notwendigen Komponenten
- Vermeidung von Fehlerkosten
- Absolute Senkung der Projektkosten
- Senkung der Stückkosten

Damit kann sich die Logistik in der Windenergiebranche vermehrt zum Wettbewerbsfaktor entwickeln und ein Beitrag zum wirtschaftlicheren Ausbau der Wind-Offshore-Technologie leisten.

## 6.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Die Ergebnisse des Projektes haben einen unmittelbaren Bezug zur Logistik. Es werden originäre Prozesse der Produktions- und Transportlogistik zunächst unabhängig von einem Branchenfokus in ihrer Effektivität und Effizienz unterstützt. Die Berücksichtigung besonderer Merkmale kampagnengeprägter Supply Chains als Planungs- und Steuerungsgrößen (z.B. Startpunkte der Kette in Abhängigkeit vom Wetter bzw. der Verfügbarkeit von Ressourcen) ist auch für andere Branchen von Interesse. Naheliegender ist hierbei eine Übertragung in den Bereich der Land- und Forstwirtschaft wo meteorologische Restriktionen zu beachten sind, sowie ein zunehmender Wettbewerb z.B. um begrenzte Verlade- und Transportressourcen für Güter einsetzt (z.B. Erzeugung von Nahrungsmitteln, Energiepflanzen, Papier- und Zellstoffindustrie). Ziel



muss es sein, auch für diese Bereiche die strategische Planung von Kapazitäten, Standorten, Kooperationen und die Steuerung von Supply Chain entscheidend zu verbessern.

Mit der Logistik Service Agentur Bremerhaven ist ein Praxispartner an dem Projekt beteiligt, der nach Abschluss des Projektes die erzielten FuE-Ergebnisse in Form der erstellten Software weiter nutzen wird. Eine Umsetzung ist somit in jedem Fall gegeben. Darüber hinaus gab es, wie in Abschnitt 5 beschrieben, bereits Interesse von weiteren Unternehmen, so dass eine Ausweitung der Nutzung der Software innerhalb eines Jahres als wahrscheinlich erscheint. Der modulare Aufbau der Software ermöglicht dabei ggf. gewünschte Anpassungen der Industriepartner vorzunehmen und einen beliebig hohen Detaillierungsgrad bzw. Abstraktionsgrad zu erzielen und den Demonstrator somit im Laufe der Projekte zu einem Produkt weiter zu entwickeln.

Eine weitere Nutzung der Software durch die beteiligten Forschungsinstitutionen stellt ebenfalls eine mögliche Folgenutzung nach Projektende dar. Es besteht weiterhin ein Bedarf an Untersuchungen zu logistischen Fragestellungen im Themenkomplex OWEA. Dies bezieht sich auf den Aufbau von OWEA, der weiterhin ein Feld für detaillierte Untersuchungen darstellt. Vor allem aber der Betrieb, der die Ersatzteilversorgung und ggf. Repowering erfordert, ist ein Themenkomplex, der bisher nicht umfassend berücksichtigt wird. Für Untersuchungen zur Betriebsphase sind ebenfalls Simulationstools erforderlich, so dass mit der vorliegenden Software eine Grundlage für weitere Forschungsvorhaben gelegt wurde. Durch das Vorhandensein einer Software werden so mögliche weitere Forschungsvorhaben beschleunigt und die daraus resultierenden Forschungsergebnisse stehen schneller zur Verfügung.



## **7 Durchführende Forschungsstellen**

### **Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung IFF**

Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg

Leiter der Forschungsstelle:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr. h.c. mult. Michael Schenk  
Telefon: 0391 / 40 90 471, Telefax: 0391 / 40 90 472,  
E-Mail: michael.schenk@iff.fraunhofer.de

Projektleiter: Dipl.-Ing. René Petri

Telefon: 0391 / 40 90 124, Telefax: 0391 / 40 90 93 124,  
E-Mail: rene.petri@iff.fraunhofer.de

### **Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik (ISL)**

t.i.m.e.Port II, Barkhausenstraße 2, 27568 Bremerhaven

Leiter der Forschungsstelle:

Prof. Dr. Hans Dietrich Haasis  
Telefon: 0421 / 2 20 96 10, Telefax: 0421 / 2 20 96 55,  
E-Mail: info@isl.org

Projektleiter: Dr.-Ing. Holger Schütt

Telefon: 0471 / 30 98 38 13, Telefax: 0471 / 30 98 38 55,  
E-Mail: schuett@isl.org

---

Magdeburg , 05.07.2010

---

Bremerhaven , 05.07.2010