



Ein generisches Objektmodell zum IT-unterstützten
Lebenszyklusmanagement von Windkraftanlagen im
Offshore-Bereich

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
der Universität Rostock

Rostock, 2012

vorgelegt von:

Ute Dietrich

Gutachter:

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Brökel,
Fakultät Maschinenbau und Schiffstechnik
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik/CAD, Universität Rostock
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici,
Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, Universität Bochum
3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Freiherr von Lukas,
Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Rostock

Datum der Einreichung: 09. März 2012

Datum der Verteidigung: 03. Dezember 2012

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	iii
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis.....	viii
Abkürzungsverzeichnis.....	ix
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	7
1.3 Aufbau der Arbeit	9
2 Stand der Technik	11
2.1 Offshore-Windenergieprojekte in Deutschland.....	11
2.2 Aufbau und Wirkprinzip von Windkraftanlagen	14
2.2.1 Wirkprinzip von Windkraftanlagen.....	14
2.2.2 Konstruktiver Aufbau	15
2.2.3 Regelung und Betriebsführung	18
2.3 Besondere Herausforderungen im Offshore-Bereich.....	20
2.3.1 Technische Herausforderungen.....	20
2.3.2 Ökonomische Herausforderungen.....	25
2.3.3 Genehmigungsrechtliche Herausforderungen.....	26
2.3.4 Ökologische Herausforderungen	27
2.4 Planung und Durchführung von Offshore Windpark-Projekten	28
2.5 Lebenszyklusbetrachtungen von Offshore Windparks	39
2.5.1 Lebenszyklusphasen.....	39
2.5.2 lebenszyklusbezogene Kostenverteilung	42
3 Lebenszyklusmanagement von Offshore- Windparks	46
3.1 Begriffseinordnung und Abgrenzung	46
3.2 Bezugsrahmen für eine lebenszyklusübergreifende IT- Unterstützung	47
4 Modellbildung und Konzept.....	54
4.1 Vorgehensweise Modellbildung	54
4.2 Entwurfskriterien	55
4.3 Das Offshore-Windpark-Modell.....	56
4.4 Anforderungsorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell	62
4.4.1 Ziele des Requirement Engineerings im OWP-Umfeld	62
4.4.2 Typisierung von Anforderungen	63

4.4.3	Anforderungsmanagementprozess.....	66
4.5	Produktorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell.....	67
4.5.1	Dimensionen der produktorientierten Sichtweise	67
4.5.2	Konvergierende Lebenszyklen	70
4.6	Prozessorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell	71
4.6.1	Wissensintensive Prozesse im Offshore-Umfeld	72
4.6.2	Ableitung eines OWP-Prozessmodells	73
4.6.3	Ableitung exemplarischer Prozessstrukturen	83
4.7	Ressourcenorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell.....	88
4.7.1	Anforderungen an ein integriertes Ressourcenmanagement	89
4.7.2	Klassifikationsobjekte für OWP-Ressourcen zur Abbildung nicht-projektspezifischen Wissens	91
4.8	Arbeitsumgebungsorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell.....	93
4.8.1	Abgrenzung von Ressource und Arbeitsumgebung.....	94
4.8.2	Offshore- Arbeitsumgebungstypisierung.....	94
5	Ableitung des OWP-Datenmodells	97
5.1	Abstraktionsstufen des OWP-Datenmodells	97
5.2	UML-Beschreibungsnotation	101
5.3	Objekte des OWP-Domänenmodells	103
5.4	Umsetzung der ‚erweiterten Trinitätsbetrachtung‘ im OWP_Modell	116
5.5	Ableitung von Referenzprozessen	119
6	Exemplarische Umsetzung am Beispiel von Teamcenter	125
7	Evaluierung des gewählten Modellansatzes.....	130
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	135
Anhang.....		i
AI.	Unified Modeling Language	i
AII.	Prototype – Screenshots.....	v
Literaturverzeichnis		x

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1:	PROGNOSE WINDENERGIENUTZUNG IN DEUTSCHLAND BIS 2030 BEZOGEN AUF DIE KUMULIERTE LEISTUNG, QUELLE: [DEWI12001, S.1]	1
ABBILDUNG 2:	VERMIEDENE TREIBHAUSGASE (THG)-EMISSIONEN DURCH DIE NUTZUNG VON EEG-STROM IN DEUTSCHLAND 2010 , STAND DEZEMBER 2011, [AGEE-STAT2011, S.43]	2
ABBILDUNG 3:	PROGNOSE DER WINDENERGIEENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND AN LAND UND OFFSHORE BIS 2020 BEZOGEN AUF NEUINSTALLATIONEN, QUELLE DEWI-STUDIE [DEWI2005, S.45]	3
ABBILDUNG 4:	GESCHÄTZTES POTENTIAL FÜR OFFSHORE-WINDENERGIE IN DER EU, QUELLE: [GASCH,TWELE2010, S. 544]	3
ABBILDUNG 5:	RAHMENBEDINGUNGEN UND ZU BERÜCKSICHTIGENDE EINZELASPEKTE BEI DER PLANUNG UND ERRICHTUNG VON OFFSHORE WINDENERGIEANLAGEN, [DIETRICH,GLAUCHE2011, S.165]	8
ABBILDUNG 6:	AUFBAU DER ARBEIT	10
ABBILDUNG 7:	MECHANISCH-ELEKTRISCHE WIRKUNGSKETTE EINER WINDKRAFTANLAGE, QUELLE: [HAU2008, S.354]	14
ABBILDUNG 8:	PRINZIPIELLER AUFBAU VON WINDKRAFTANLAGEN MIT (RECHTS) UND OHNE GETRIEBE (LINKS), QUELLE [KALTSCHMITT ET AL2006, S. 293 FF]	16
ABBILDUNG 9:	KLASSIFIZIERUNG AUF DEM MEERESGRUND FESTSTEHENDER TRAGSTRUKTUREN. QUELLE: [GASCH,TWELE2010, S. 552]	17
ABBILDUNG 10:	AUFGABEN DES BETRIEBSFÜHRUNGS- UND REGELUNGSSYSTEMS EINER WINDKRAFTANLAGE, QUELLE [HAU2008, S. 398]	19
ABBILDUNG 11:	KOSTENSTRUKTUR EINER DURCHSCHNITTLICHEN ONSHORE- UND OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGE, QUELLE: [DCTI2009, S.38]	25
ABBILDUNG 12:	HAUPT- UND UNTERPHASEN EINES OFFSHORE-WINDPARKPROJEKTES	29
ABBILDUNG 13:	ABLAUF DER HAUPTPROZESSE UND DER WESENTLICHEN ARBEITSAUFGABEN, NACH [POWER2007, S.4]	38
ABBILDUNG 14:	LEBENSZYKLUS EINES OFFSHORE-WINDPARKS, BASIEREND AUF [POWER2007] UND [DENA2010]	41
ABBILDUNG 15:	KOSTENFESTLEGUNG UND KOSTENENTSTEHUNG EINES PRODUKTES ÜBER DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS NACH: [EHRLENSPIEL,KIEWERT,LINDEMANN, 2007, S.13]	43
ABBILDUNG 16:	FESTLEGUNG, BEEINFLUSSUNG UND ANFALL DER LEBENSZYKLUSKOSTEN [SCHILD2005, S.44]	44
ABBILDUNG 17:	FESTLEGUNG, BEEINFLUSSUNG UND ANFALL DER LEBENSZYKLUSKOSTEN FÜR PRODUKTPROJEKTE, ADAPTIERT NACH [SCHILD2005, S. 44]	44
ABBILDUNG 18:	STRUKTURIERTES, FUNKTIONALES UND HIERARCHISCHES SYSTEMKONZEPT, ADAPTIERT AUF EIN OFFSHORE-WINDPARK-PRODUKT, BASIEREND AUF [HERRMANN2010,S.100] UND [GASCH,TWELE2010, S.540]	51
ABBILDUNG 19:	MODELLANSATZ OFFSHORE WINDPARK, [DIETRICH,GLAUCHE2011, S. 170]	56
ABBILDUNG 20:	ENTWICKLUNGSPHASEN DES OBJEKTMODELLS	57
ABBILDUNG 21:	LEBENSPHASENÜBERGREIFENDE SICHTENINTEGRATION DES GENERISCHEN OWP-MODELLS	59
ABBILDUNG 22:	TYPISCHER BEHÖRDEN-ENGINEERING -LEBENSZYKLUS FÜR OWP'S NACH BSH	60
ABBILDUNG 23:	LEBENSZYKLUSPHASENBEZOGENE VERTEILUNG PROJEKTSPEZIFISCHEN UND NICHT-PROJEKTSPEZIFISCHEN WISSENS EINES OFFSHORE-WINDPARK-PRODUKTPROJEKTES	61
ABBILDUNG 24:	EXEMPLARISCHE TYPISIERUNG VON ANFORDERUNGEN AN OFFSHORE-WINDPARKS	64
ABBILDUNG 25:	BEISPIELHAFTE VERKNÜPFUNG VON GENEHMIGUNGSRELEVANTEN ANFORDERUNGEN IN DER AWZ MIT BEHÖRDEN-ENGINEERING-PROZESSEN	65
ABBILDUNG 26:	OWP-ANFORDERUNGSMANAGEMENTPROZESS,QUELLE: [BLAUBACH2002, S.5]	66
ABBILDUNG 27:	MAKRO- UND MIKRO- PRODUKTSICHTEN AUF DAS OFFSHORE-MODELL	68
ABBILDUNG 28:	PRODUKTPROJEKTSTRUKTUR EINES OFFSHORE-WINDPARKS MIT EXEMPLARISCHER PRODUKTSTRUKTUR EINER EINZELANLAGE, BEZUGNEHMEND AUF: [LOG-OWEA2010, S. 20, Abb. 10]	69
ABBILDUNG 29:	KONVERGIERENDE LEBENSZYKLEN VON WINDPARK UND EINZELANLAGE	70
ABBILDUNG 30:	GESTALTUNGSDIMENSIONEN DES OWP-PROZESSMODELLS	75
ABBILDUNG 31:	EINTEILUNG VON PROZESSSCHRITTEN IN GRANULARITÄTSEBENEN, AUFBAUEND AUF REFA	77

ABBILDUNG 32:	ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ABLAUFTYPEN, WISSENSINTENSITÄT UND MERKMALEN VON PROZESSEN	82
ABBILDUNG 33:	ZUORDNUNG EXEMPLARISCHER PROZESSSTRUKTUREN ZU DEN GRANULARITÄTSEBENEN	84
ABBILDUNG 34:	BEISPIELHAFTES ABLAUFBEZIEHUNGSDIMENSION	85
ABBILDUNG 35:	ZUORDNUNG ZUR AUSFÜHRUNGsumgebung UND DER UMWELTBEZOGENEN ABHÄNGIGKEIT	85
ABBILDUNG 36:	QUALITATIVE BEURTEILUNG DER OPERATION 'TRANSPORT ROTOR' ANHAND VON MATRIZEN	87
ABBILDUNG 37:	QUALITATIVE BEURTEILUNG UND VERGLEICH DER OPERATIONEN 'TRANSPORT ROTOR' UND 'AUFSTELLUNG TRAGSTRUKTUR' ANHAND VON RADAR-DIAGRAMMEN	87
ABBILDUNG 38:	BEISPIELHAFTES PROZESSTYPISIERUNG	88
ABBILDUNG 39:	TYPISCHE LEBENSZYKLUSPHASEN VON TRANSPORT- UND BETRIEBSMITTELN BEI KAUF	90
ABBILDUNG 40:	EXEMPLARISCHE STRUKTUR VON KLASSIFIKATIONSOBJEKTEN FÜR OWP-RESSOURCEN	92
ABBILDUNG 41:	BEISPIELHAFTES TYPISIERUNG VON ARBEITsumgebungen SOWIE ZUORDNUNG VON PROZESSEN UND RESSOURCEN	95
ABBILDUNG 42:	EBENEN DES OFFSHORE-WINDPARK-DOMÄNENMODELLS	100
ABBILDUNG 43:	MODELLSICHTEN, DIAGRAMMTYPEN UND IHR EINSATZBEREICH IN DER UML, NACH [HITZ,KAPPEL1999 S.9B]	101
ABBILDUNG 44:	KATEGORISIERUNG DER GENERISCHEN BASISOBJEKTE	104
ABBILDUNG 45:	KLASSENDIAGRAMM FÜR BEZIEHUNGSOBJEKTE	104
ABBILDUNG 46:	BIDIREKTIONALE BEZIEHUNGsmÖGLICHKEITEN ZWISCHEN OBJEKTEN, BASIEREND AUF [TCDATAMODEL2010]	105
ABBILDUNG 47:	ALLGEMEINE ABBILDUNG FÜR DAS OFFSHORE WINDPARK-ANFORDERUNGsmODELL	106
ABBILDUNG 48:	UML-KLASSENDIAGRAMM FÜR DAS OWP-ANFORDERUNGsmODELL	107
ABBILDUNG 49:	ALLGEMEINE ABBILDUNG FÜR DAS OFFSHORE WINDPARK-PRODUKTPROJEKTmODELL	107
ABBILDUNG 50:	UML-KLASSENDIAGRAMM FÜR DAS OWP-PRODUKTPROJEKTmODELL	108
ABBILDUNG 51:	ALLGEMEINE ABBILDUNG DES OFFSHORE WINDPARK-PROZESSmODELLS	109
ABBILDUNG 52:	UML KLASSENDIAGRAMM FÜR DAS OWP-PROZESSmODELLS	110
ABBILDUNG 53:	UML-KLASSENDIAGRAMM FÜR DAS OWP-RESSOURCENmODELL	111
ABBILDUNG 54:	UML-KLASSENDIAGRAMM FÜR DIE KLASSIFIKATION, IN ANLEHNUNG AN [TCDATAMODEL2010]	112
ABBILDUNG 55:	UML-KLASSENDIAGRAMM FÜR DAS OWP-ARBEITsumgebungsmODELL	113
ABBILDUNG 56:	UML-KLASSENDIAGRAMM FÜR DAS OWP-MROmODELL, IN ANLEHNUNG AN [TCDATAMODEL2010]	115
ABBILDUNG 57:	BEISPIEL EINER 'BILL OF PROCESS' UND 'BILL-OF REQUIREMENT', IMPLEMENTIERT IN TC9.1	117
ABBILDUNG 58:	BEISPIEL EINER 'BILL OF MATERIAL', 'BILL-OF WORKAREA' UND 'BILL-OF-RESOURCE', IMPLEMENTIERT IN TC9.1	118
ABBILDUNG 59:	BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN VERSCHIEDENEN STRUKTUR-HIERARCHIEN UND ÜBERFÜHRUNG IN EINE 'OWP_BILL-OF-KNOWLEDGE'	119
ABBILDUNG 60:	REFERENZPROZESS-ABLEITUNG	120
ABBILDUNG 61:	AKTIVITÄTENDIAGRAMM: ALLGEMEINER ABLAUF GENEHMIGUNGSVERFAHREN FÜR OFFSHORE WINDPARKS, BASIEREND AUF [DENA10], [BSH11] UND [ZEILER ET AL2005]	122
ABBILDUNG 62:	WORKFLOW EINER UMWELTVERTRÄGLICHKEITsstUDIE NACH StUK	123
ABBILDUNG 63:	REFERENZZUORDNUNG DER OWP-BEHÖRDEN-ENGINEERING PROZESSSTRUKTUR ZU DEN GRANULARITÄTSEBENEN DES OWP-PROZESSmODELLS	123
ABBILDUNG 64:	DAS IMPLEMENTIERTE OWP-DOMÄNENmODELL INNERHALB DES TC91-BMIDE AM BEISPIEL DER OWP-BEHÖRDEN-ENGINEERING-PROZESSDEFINITION	126
ABBILDUNG 65:	PROTOTYPISCHE IMPLEMENTIERUNG DES OWP-PROZESSmODELLS BASIEREND AUF DEM OWP-DOMÄNENmODELL	127
ABBILDUNG 66:	'OWP_BILL-OF-KNOWLEDGE' AM BEISPIEL EINES ROTOR-TRANSPORTS BASIEREND AUF DEM OWP-DOMÄNENmODELL	128
ABBILDUNG 67:	QUALITATIVE ANGABE UND NORMIERUNG RELEVANTER OWP- MODELLBEWERTUNGskRITERIEN	131

ABBILDUNG 68:	BEWERTUNG VON PROJEKTSPEZIFISCHEM UND NICHT-PROJEKTSPEZIFISCHEM WISSEN INNERHALB DES OWP-MODELLS	132
ABBILDUNG 69:	TEIL 1: NOTATIONSÜBERSICHT DER UML 1.5 [OOSE2006]	I
ABBILDUNG 70:	TEIL 2: NOTATIONSÜBERSICHT DER UML 1.5 [OOSE2006]	II
ABBILDUNG 71:	TEIL 3: NOTATIONSÜBERSICHT DER UML 1.5 [OOSE2006]	III
ABBILDUNG 72:	TEIL 4: NOTATIONSÜBERSICHT DER UML 1.5 [OOSE2006]	IV
ABBILDUNG 73:	BEISPIELIMPLEMENTIERUNG EINES ‚OWP-BEHÖRDEN-ENGINEERING‘ PROZESSTEMPLATES BASIEREND AUF DEM OWP-DOMÄNENMODELL	V
ABBILDUNG 74:	BEISPIEL EINER ASSOZIATIVEN BEZIEHUNG ZWISCHEN OWP_ARBEITSBEREICH UND DEN ZUGEORDNETEN RESSOURCEN BASIEREND AUF DEM OWP-DOMÄNENMODELL	VI
ABBILDUNG 75:	BEISPIELHAFTES ABWICKELUNGSSCHEMASCHILD DER PROJEKTORIENTIERTEN SICHT, TEIL I- ZUORDNUNG DER GRUPPEN UND ROLLEN	VI
ABBILDUNG 76:	BEISPIELHAFTES ABWICKELUNGSSCHEMASCHILD DER PROJEKTORIENTIERTEN SICHT, TEIL II – ZUORDNUNG ZU DEN AUFGABEN	VII
ABBILDUNG 77:	TEILPROZESS ANTRAG: WORKFLOW 1– UMSETZUNG DES BEHÖRDEN-ENGINEERINGS: MEILENSTEIN 1	VII
ABBILDUNG 78:	TEILPROZESS FREIGABE: WORKFLOW 2– UMSETZUNG DES BEHÖRDEN-ENGINEERINGS: MEILENSTEIN 2	VIII
ABBILDUNG 79:	TEILPROZESS ABNAHME: WORKFLOW 3, UMSETZUNG BEHÖRDEN-ENGINEERING: MEILENSTEIN 3	VIII
ABBILDUNG 80:	TEILPROZESS ABNAHME DER ANALYSEN DER BAUPHASE: WORKFLOW 4, UMSETZUNG BEHÖRDEN-ENGINEERING: MEILENSTEIN 4	IX
ABBILDUNG 81:	TEILPROZESS ABNAHME DER MAßNAHMEN: WORKFLOW 5, UMSETZUNG BEHÖRDEN-ENGINEERING: MEILENSTEIN 5	IX

Tabellenverzeichnis

TABELLE 2.2.1-I: GEGENÜBERSTELLUNG DER ERGEBNISSE VERSCHIEDENER PROGNOSEN ZUM AUSBAU DER WINDENERGIENUTZUNG AUF SEE BIS ZUM JAHR 2020, QUELLE: [REHFELD,WALLASCH2008, S. 185]	12
TABELLE 2.2.1-II: ÜBERSICHT GENEHMIGTER OFFSHORE-PROJEKTE IN DEUTSCHLAND ; QUELLE: [RICHTER2009, S.12]	13
TABELLE 2.4-II ASPEKTE UND AUFGABEN IN DER STANDORTANALYSE	31
TABELLE 2.4-III: ASPEKTE UND AUFGABEN IN DER DETAILLIERTEN PROJEKTPLANUNG	32
TABELLE 2.4-IV: ASPEKTE UND AUFGABEN IN DER REALISIERUNG	33
TABELLE 2.4-V: ASPEKTE UND AUFGABEN IN INBETRIEBNAHME UND ÜBERGABE	34
TABELLE 2.4-VI: : ASPEKTE UND AUFGABEN WÄHREND DES VOLLBETRIEBS	35
TABELLE 2.4-VII: : ASPEKTE UND AUFGABEN IN DER PHASE DES REPOWERING	36
TABELLE 2.4-VIII: : ASPEKTE UND AUFGABEN IN DER RÜCKBAU-PHASE	37
TABELLE 4.6.2-I MERKMALE VON OFFSHORE-PROZESSEN	83
TABELLE 4.6.2-II: BEISPIELHAFTER MERKMALKATALOG FÜR OPERATION ,TRANSPORT ROTOR‘	86

Abkürzungsverzeichnis

<i>AGEE</i>	<i>Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien</i>
<i>AWZ</i>	<i>Ausschließliche Wirtschaftszone</i>
<i>BfN</i>	<i>Bundesamt für Naturschutz</i>
<i>BMIDE</i>	<i>Business Modeler Integrated Development Environment</i>
<i>BMU</i>	<i>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit</i>
<i>BNatSchG</i>	<i>Bundesnaturschutzgesetz</i>
<i>BSH</i>	<i>Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie</i>
<i>BWE</i>	<i>Bundesverband WindEnergie e.V.</i>
<i>Dena</i>	<i>Deutsche Energie-Agentur GmbH</i>
<i>DfE</i>	<i>Design for Environment</i>
<i>EEG</i>	<i>Erneuerbare-Energien-Gesetz</i>
<i>ERP</i>	<i>Enterprise Resource Planning</i>
<i>EWEA</i>	<i>The European Wind Energy Association</i>
<i>FFH</i>	<i>Fauna-Flora-Habitat</i>
<i>GFK</i>	<i>Glasfaserkunststoff / Glasfaserverbundstoff</i>
<i>IREB</i>	<i>International Requirements Engineering Board</i>
<i>MES</i>	<i>Manufacturing Execution System</i>
<i>MRO</i>	<i>Maintenance Repair and Overhaul</i>
<i>NSG</i>	<i>Naturschutzgebiet</i>
<i>OWEA</i>	<i>Offshore Windenergieanlage</i>
<i>OWP</i>	<i>Offshore Windpark</i>
<i>PDM</i>	<i>Produktdaten-Management</i>
<i>PLM</i>	<i>Produktlebenszyklus-Management</i>
<i>REFA</i>	<i>Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e.V.</i>
<i>ROG</i>	<i>Raumordnungsgesetz</i>
<i>ROST</i>	<i>Remote Operated Swimmung Tool</i>
<i>SeeAnIV</i>	<i>Seeanlagen-Verordnung</i>
<i>SeeAufgG</i>	<i>Seeaufgabengesetz</i>
<i>sm</i>	<i>Seemeile</i>
<i>StUK</i>	<i>Standarduntersuchungskonzept für die Untersuchung und Überwachung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt</i>
<i>TC91</i>	<i>@Teamcenter Version 9.1</i>
<i>THG</i>	<i>Treibhausgas</i>
<i>TÖB</i>	<i>Träger öffentlicher Belange</i>

<i>UVPG</i>	<i>Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz</i>
<i>UVP</i>	<i>Umweltverträglichkeitsprüfung</i>
<i>UVS</i>	<i>Umweltverträglichkeitsstudie</i>
<i>WEA</i>	<i>Windenergieanlage</i>
<i>WKA</i>	<i>Windkraftanlage</i>
<i>WSD</i>	<i>Wasser- und Schifffahrtsdirektion</i>

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Treibhauseffekt, ungebremster Energieverbrauch und knapper werdende Ressourcen sind die entscheidenden Stichworte für ein Engagement im Umfeld regenerativer Energien. Der weltweite Energiebedarf wird allein in den nächsten 20 Jahren voraussichtlich um 50 Prozent steigen. Seit 1990 sind vor allem die energetisch bedingten CO₂-Emissionen weltweit um mehr als 16 Prozent gestiegen, für das Jahr 2020 wird laut [BWE2009] der Anstieg auf 38 Milliarden Tonnen prognostiziert. Diese steigenden Umweltbelastungen und die zunehmend zu beobachtenden Klimaveränderungen, die in hohem Maße durch Prozesse zur Energieumwandlung hervorgerufen werden, erfordern eine Reduzierung dieser umweltschädigenden Emissionen. Ein wesentliches Ziel nachhaltiger Energiewirtschaft ist die Reduktion des Treibhausgasausstoßes bis zum Jahr 2050 um 80 Prozent [FraunhoferISI2009]. Dies gilt als technisch und wirtschaftlich realisierbar. Allerdings sind dazu eine Vervielfachung der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien sowie eine Steigerung des Anteils um den Faktor 3,5 am Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 notwendig. Bis zum Jahr 2050 müsste konsequenterweise der Anteil der erneuerbaren Energien 50 Prozent am Primärenergieverbrauch betragen [Lange2005, S.11].

Neben der weltweit genutzten Wasserkraft wird den immensen Potentialen der Sonnen- und Windenergie große Bedeutung beigemessen. Ihre Angebote sind allerdings, stärker als die Wasserkraft, an die naturbedingten Abläufe gebunden. Vor allem die Energieerzeugung mit Windkraftanlagen hat in den letzten Jahren weltweit eine große Zunahme erfahren und erlaubt potentiell einen weltweit gewichtigen Anteil zur Elektrizitätserzeugung beizusteuern. Abbildung 1 veranschaulicht den prognostizierten Anstieg der Windenergienutzung in Deutschland bis 2030 bezogen auf die installierte Leistung.

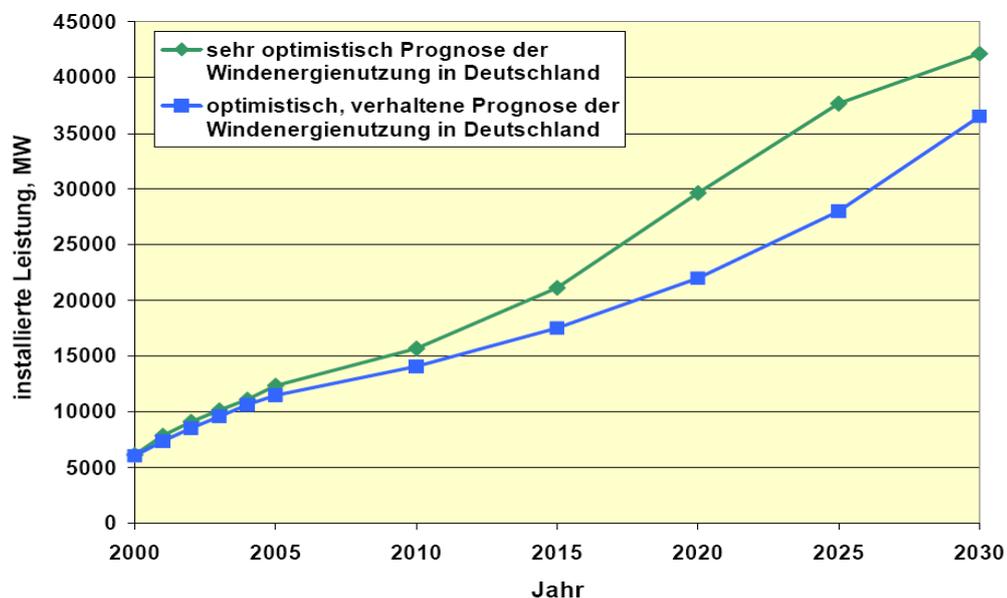


Abbildung 1: Prognose Windenergienutzung in Deutschland bis 2030 bezogen auf die kumulierte Leistung, Quelle: [DEWI12001, S.1]

Um die zur Umsetzung der Nachhaltigkeitskriterien als notwendig erachtete deutliche Reduktion der Energie- und Stoffumsätze und eine Substitution von fossilen durch regenerative Energieträger zu erreichen, wurden von der Politik Maßnahmen zur Umgestaltung der Energiewirtschaft ergriffen. Mit dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien, auch Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) genannt, hat die Bundesregierung einen umfassenden Förderrahmen gestellt. Dieses Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien zielt auf die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von

Strom aus erneuerbaren Quellen und gehört zu einer ganzen Reihe gesetzlicher Maßnahmen, mit denen die Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle und Kernkraft verringert werden sollen. Abbildung 2 verdeutlicht die bereits vermiedene Treibhausgas-Emission durch die Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland 2010.

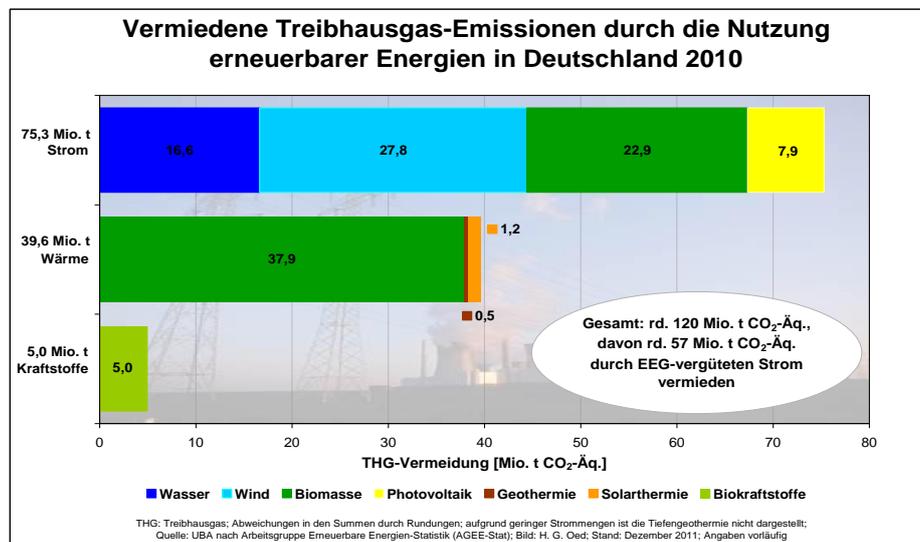


Abbildung 2: Vermiedene Treibhausgase (THG)-Emissionen durch die Nutzung von EEG-Strom in Deutschland 2010, Stand Dezember 2011, [AGEE-Stat2011, S.43]

Aber nicht mehr allein die Anstrengungen, den Klimawandel zu begrenzen und die zu Ende gehenden fossilen Brennstoffe zu schonen, treiben die Entwicklung der Windenergienutzung voran. Zunehmend rücken auch nüchterne wirtschaftliche Überlegungen in den Vordergrund. Steigende Kosten für Energie und immer schärfere Umweltauflagen für die Verbrennung von fossilen Brennstoffen führen zu stetig steigenden Stromerzeugungskosten. Die brennstoffunabhängigen und damit langfristig kalkulierbaren Kosten der Stromerzeugung aus Windenergie werden damit auch für die großen Stromerzeuger attraktiv. Die Energieversorgungsunternehmen investieren zunehmend in die Windenergie. Komplementär dazu versuchen die großen, traditionell im Kraftwerksbau tätigen Industrieunternehmen wie beispielweise E.ON [E.ON2011] oder RWE [RWE2010], in das Geschäft mit der Windenergie einzusteigen. Aber auch die angestammten Windkraftanlagenhersteller haben sich zu global agierenden Unternehmen mit tausenden von Beschäftigten entwickelt. Diese Tendenzen führen letztendlich zu einem Strukturwandel, der nicht nur eine kommerziellere, sondern auch eine professionellere Ausrichtung in der Windenergienutzung erlangt [Hau2008].

Ausgewiesene, sinnvolle Standorte an Land werden in Deutschland allerdings zunehmend knapper. Dies hat verschiedene Ursachen. Mit der Novellierung des EEG wurde 2004 zwar die zukünftige Vergütung der eingespeisten Energie aus Windkraftanlagen fortgeschrieben, die darin enthaltene gesetzlich geregelte Begrenzung der Förderung von Windstrom auf Anlagen mit mindestens 60% Referenzertrag, erschweren allerdings eine Erschließung windschwacher Binnenland-Standorte. Hinzu kommen restriktivere bau-, raumordnungs- und umweltrechtliche Vorgaben, gepaart mit der degressiven Gestaltung des EEG. Dieses sieht ab 2004 eine um 0,5 Cent/kWh reduzierte Vergütung des Windstroms aus Windenergieanlagen an Land sowie eine Erhöhung der Degression der Einspeisevergütung von 1,5 % auf 2 % ohne Inflationsausgleich in den kommenden Jahren vor. Real sinkt damit die Neuvergütung zukünftig errichteter Windenergieanlagen um jährlich 3,5 bis 4 % (bei 1,5 bis 2% Inflation) [Bechberger et al 2008].

Die aufgeführten Faktoren bewirken, in Verbindung mit längeren Lieferzeiten bedingt durch einen weltweiten WKA-Nachfrageanstieg, einen deutlichen Preisanstieg der Anlagen und damit insgesamt eine Verschlechterung der finanziellen Rahmenbedingungen Onshore. Hinzu kommen die trotz teurer Förderprogramme von der Bundesregierung vernachlässigten Anpassungen der Infrastruktur an die Erfordernisse regenerativer Energien [SpiegelOnline2010]. Nach wie vor fehlen intelligente

Stromnetze und vor allem Speichermöglichkeiten, um windarme Perioden auszugleichen. Die Umsetzung neuer Netze zieht häufig überaus lange Planungs- und Genehmigungsverfahren nach sich und muss bei der Planung heutiger Windkraftanlagen zwingend berücksichtigt werden. Durch diese Regularien, aber auch aufgrund der Einschränkungen bei der Flächennutzung in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte, gerät der weitere Ausbau der Windenergie an Land ins Stocken. Die potentiell wichtigste Zukunftsalternative- und perspektive liegt im Ausbau der Windenergienutzung auf dem Meer. Die formulierte Zielsetzung der Bundesregierung liegt hier bis 2025 bzw. 2030 bei 20.000 bis 25.000 MW installierter Leistung [Kohler2010, Folie17].

Abbildung 3 gibt einen Überblick über die prognostizierte Windenergieentwicklung für On- und Offshore incl. Repowering bis 2020 und zeigt den proportional großen Anstieg der geplanten Energiegewinnung auf dem Meer.

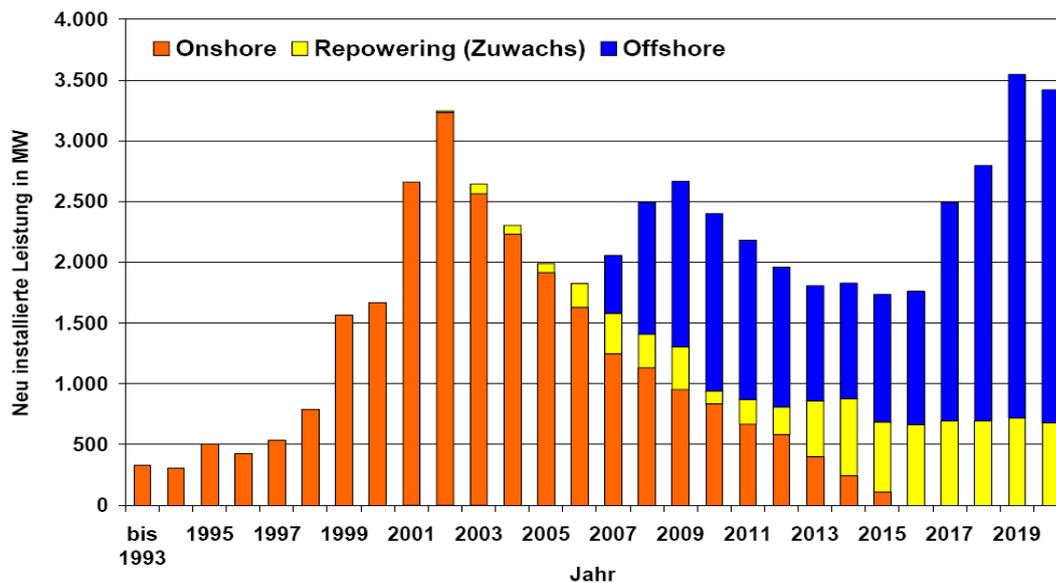


Abbildung 3: Prognose der Windenergieentwicklung in Deutschland an Land und Offshore bis 2020 bezogen auf Neuinstallationen, Quelle DEWI-Studie [DEWI2005, S.45]

Offshore sind gegenüber Onshore-Standorten enorme Windressourcen vorhanden, die sowohl ein großes Raumangebot als auch hohe Windgeschwindigkeiten miteinander verbinden. Bereits 1995 wurde in einer Studie nachgewiesen, dass theoretisch die europäischen Offshore-Windressourcen den Gesamtverbrauch an Elektrizität in Europa übersteigen [GaschTwele2005].

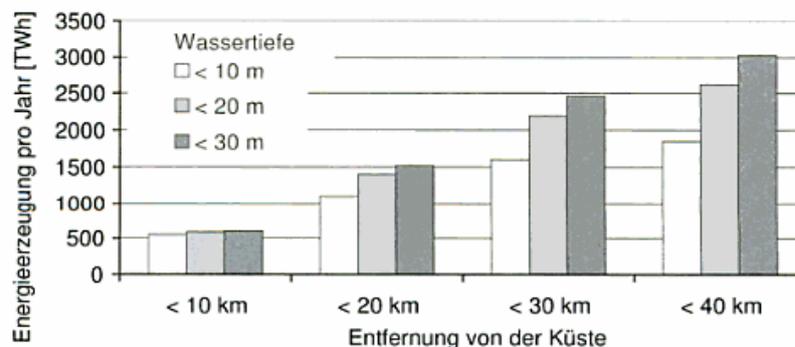


Abbildung 4: Geschätztes Potential für Offshore-Windenergie in der EU, Quelle: [Gasch,Twele2010, S. 544]

Der stärkere und stetigere Wind ermöglicht hier eine Energieausbeute der Windenergieanlagen, die Schätzungen zufolge um 40 % höher ist als an Land [BWE2009]. Allerdings hat Deutschland -im Gegensatz zur Entwicklung bei der Onshore-Windenergie- im Bereich Offshore weitaus mehr

Entwicklungspotentiale als bisher ausgeschöpft wurden. Gründe für die Verzögerung im Ausbau liegen an:

- mangelnder Erfahrungen mit Windparks in großer Entfernung von der Küste, ca. 30-120 km, und in großen Wassertiefen von 20 bis 40 Metern, in denen sehr raue Wetterbedingungen vorherrschen
- den hohen technischen Anforderungen, die mit besonders großen Investitionsrisiken verbunden sind und zu einer vorübergehend eingetretenen Zurückhaltung potentieller Investoren und Kreditgeber geführt haben,
- der erschwerten Kabelanbindung auf See als „Nadelöhr“ und der potentiell nicht ausreichenden Kapazität der Übertragungsnetze an Land, da die Betreiber der Übertragungsnetze die nötigen Optimierungs-, Netzausbau- und Verstärkungsmaßnahmen nicht rechtzeitig realisiert haben [ARGE2007, S.72].

Die Konzentration auf küstenferne, in der deutschen „Ausschließlichen Wirtschaftszone“ (AWZ) gelegene Standorte, ist darauf zurückzuführen, dass der Errichtung von Windparks in küstennäheren Bereichen der Nord- und Ostsee praktisch-politische Grenzen gesetzt sind, vor allem aus Gründen des Naturschutzes und der Schifffahrt, aber auch aus Gründen der Akzeptanz in den Küstenregionen [ARGE2007, S.68]. Hinzu kommen die im Vergleich zu Dänemark und Großbritannien geringen Küstenlängen. Die genannten Entfernungen bzw. Tiefen sind Vorbedingungen für den Ausbau in Deutschland und damit im europäischen Vergleich eine deutliche Herausforderung sowohl bezogen auf die einzusetzenden Technologien als auch die damit verbundenen finanziellen Aufwendungen. Tieferes Wasser und größere Entfernungen bedeuten aufwendigere und teurere Fundamente und Türme, längere und teurere Kabel und eine erschwerte Zugänglichkeit für Aufstellungs- und Wartungsarbeiten. Die Kosten liegen somit im Vergleich zu anderen Ländern wie beispielsweise Dänemark, Großbritannien und Schweden, von Anfang an deutlich höher. Das BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) kommt hier zu der Einschätzung *„das es sich bei der Offshore-Windenergienutzung unter den in Deutschland geltenden Rahmenbedingungen hinsichtlich Wassertiefe und Küstenentfernung um eine völlig neue Art der Windenergienutzung mit innovativer Technik, aber auch neuartigen Risiken handelt, die es in dieser Form auch in unseren Nachbarländern nicht gibt“* [BMU2007, S.113]. Laut der innerhalb des Berichtes vorgenommenen Schätzungen sind für deutsche Projekte ca. 33% höhere Kosten zu veranschlagen als vergleichbare englische oder dänische [Arzt,Weinhold2007, S.40].

Mit dem am 1.01.2009 in Kraft getretenen Erneuerbaren Energiegesetz 2009 und der darin enthaltenen Neuregelung der Vergütungsregelung für Offshore Windenergie hat die Politik auf die hohen Investitionskosten speziell in Deutschland reagiert und für die ersten zwölf Jahre eine Vergütung von zuvor 9,1 ct/kWh auf 15 ct/kWh neu festgesetzt. Das am 17. Dezember 2007 in Kraft getretene Infrastrukturgesetz ist die zweite, wichtige rechtliche Rahmenbedingung, die die Finanzierung von OWPs (Offshore Wind Parks) positiv beeinflussen soll [Richter2009, S.14]. Die hierin festgelegten Vereinbarungen verpflichten die Netzbetreiber- wie an Land bereits üblich – die Investitionskosten für den Netzanschluss des Parks vom Umspannwerk auf See bis zum *„technisch und wirtschaftlich günstigsten Netzanschlusspunkt, zu tragen, vorausgesetzt, die Windparks gehen bis 2011 in Bau“* [Richter2009, S.14]. Die Investitionskosten für die Windenergieanlagen sinken dadurch um rund ein Drittel. Die Netzanbindung gestaltet sich allerdings tendenziell deutlich schwieriger und ist mit zusätzlichen Wartezeiten behaftet, da mit dem Bau des Anschlusses in der Regel erst begonnen wird, wenn sich das Projekt in einem weit fortgeschrittenen Stadium befindet [BWE2009].

Trotz der unterstützenden Maßnahmen ist mit enormen finanziellen Aufwendungen für die Errichtung von Windparks Offshore zu rechnen. Die dafür erforderliche Finanzkraft wirkt sich auch auf die Struktur der Investoren aus. Die Planung und künftige Umsetzung seetüchtiger Anlagen liegt vornehmlich in der Hand mittelständischer Aktien- und Betreibergesellschaften, global agierender Konzerne sowie großer Stromproduzenten, denn die für das Offshore-Windenergiegeschäft

erforderlichen Volumina an Risiko- und Investitionskapital können nur noch von solch großen Unternehmen, gestützt durch Banken und Versicherungen, aufgebracht werden. Die Abstimmung der Akteure innerhalb dieser Allianzen bedingen ebenfalls zusätzliche planerische Mehrinvestitionen [Bechberger et al 2008].

Mit den Offshore-Windparks wird die Idee der kleinteiligen, dezentralen Energieerzeugung mit Windenergie aufgegeben. Windenergie soll nun, zunehmend zentralisiert und industrialisiert, in bisher nicht gekannter Größenordnung zur nationalen Energieversorgung beitragen [Bechberger et al 2008]. Diese Entwicklung bringt eine Menge zusätzlicher Anforderungen an die Planung, Errichtung, Betrieb und letztendlich den Rückbau der Anlagen mit sich. Wie bereits erwähnt, ist davon auszugehen, dass Windparks in größerem Umfang nicht innerhalb der 12-Seemeilen-Zone gebaut werden können. Fast alle aktuell errichteten und in der Planung befindlichen Windparks haben die beschriebenen Standorte in der Ausschließlichen Wirtschaftszone. Aufgrund der Lage außerhalb der 12-Seemeilen-Zone ergeben sich Zuständigkeiten durch Bundesbehörden. Genehmigungen im Rahmen der Seeanlagenverordnung erteilt das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, welches bis dato nicht mit Vollzugsaufgaben befasst war. Raumordnung ist in Deutschland Angelegenheit der Bundesländer, auf Bundesebene ist sie nicht definiert, da typischerweise die gesamte Fläche der Bundesrepublik durch Landeszuständigkeiten abgedeckt ist. Für die sich außerhalb der Zuständigkeiten der AWZ befindenden Windparks sind daher laut BMU Raumordnung und somit gesetzlich geregelte Anwendung raumordnerischer Verfahren bisher nicht möglich. Dies bedeutet, dass die Genehmigung von Offshore-Windparks in der AWZ für jeden Antrag separat erfolgt, ohne Zusammenhang mit den Genehmigungen anderer Vorhaben. Koordinationsprobleme zwischen den zuständigen Entscheidungsträgern und ihren jeweiligen Interessen und damit erhöhte Bestimmungsaktivitäten sind die Folge, da sich die deutschen Küstengewässer in einer intensiven Nutzung durch die Seefahrt, Fischerei, Tourismus und Militär befinden. Darüber hinaus gehören große Teile zum Nationalpark Wattenmeer, der aus Naturschutzgründen nicht wirtschaftlich genutzt werden darf [dena2005, S.31 ff].

Die Fragen der Einwirkung von Offshore-Projekten auf den Naturhaushalt sind ebenso vielschichtig wie an Land, werden allerdings dadurch verschärft, dass die Kenntnisse über die an den projektierten Standorten vorhandenen Lebenswelten weitaus geringer sind [DEWI12001, S. 46]. Die bereits bekannten Flora-Fauna-Habitate und Vogelschutzgebiete sind ebenso zu berücksichtigen wie die Erkenntnisse über die vorkommenden Fischarten und marinen Säuger. Die auch für Offshore-Vorhaben erforderlichen UVP's, nach europäischer Richtlinie, sind deshalb und wegen des größeren Aufwands in der Durchführung, weitaus komplexer und schwieriger. Komplexitätssteigernd wirkt sich zusätzlich aus, dass Offshore-Standorte entfernt und schwer, manchmal nur zeitlich begrenzt, erreichbar sind. Die Lage der Standorte in der offenen See und die dort anzutreffenden Wind- und Wellenbedingungen verlangen eine entsprechende technische Anpassung der Anlage. Die resultierenden hohen qualitativen Anforderungen an Offshore-Windenergieanlagen, auch bedingt durch das zunehmende Größenwachstum der Anlagen, lassen sich wie folgt formulieren: [Gasch,Twele2010, S. 554]

- deutlich höhere Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Reparaturfähigkeit und Wartungsfreundlichkeit der Anlagen, um eine akzeptable Verfügbarkeit und angemessene Betriebskosten auch bei entfernten, schwer zugänglichen Standorten und längeren Instandhaltungszyklen, bedingt durch die schlechten Witterungsverhältnisse, zu gewährleisten,
- ein integrierter ganzheitlicher Entwurf von Offshore-Windparks als ein Gesamtsystem, um Kostenersparnisse vor allem bei Betriebs- und Wartungskosten zu erzielen und zuverlässige Entwürfe realisieren zu können. Die Gesamtdynamik und die Tragstruktur müssen den besonderen Standortbedingungen angepasst werden.
- erhöhte Netzintegration und Regelung – wie bereits erwähnt, werden große Offshore-Windparks zukünftig wie Kraftwerke als Teil nationaler und internationaler Energiesysteme betrieben. Sie müssen daher gut ins Netz integriert sein und die einzelnen WEA's müssen

sowohl unter normalen Betriebsbedingungen als auch im Falle von Störungen schnell regelbar sein.

- optimierte Logistik und Offshore-Installation angesichts der hohen Kosten der Installation von Windparks auf See sowie
- zusätzliche Rückbau-, Recycling- und Entsorgungsfragestellungen bedingt durch die entfernte Lage und die hohen Tiefen

Durch die Bedingungen auf See werden Anforderungen gestellt, die in dieser Art nicht für Anlagen an Land existieren. Allgemein lassen sich diese in technische, wirtschaftliche, genehmigungsrechtliche und ökologische Anforderungen untergliedern. Die wichtige Forderung, dass alle wesentlichen Komponenten einer Windkraftanlage eine wirtschaftlich kalkulierbare Lebensdauer von mindestens zwanzig Jahren erreichen müssen, ist Offshore noch unverzichtbarer als Onshore. Ohne eine entsprechende Einrichtungs-, Wartungs-, und Instandhaltungsstrategie ist die Aufstellung von Windkraftanlagen in großem Stil hier wirtschaftlich nicht zu vertreten. Weitere technische Probleme, hervorgerufen durch den zunehmenden Einsatz von Windkraftanlagen, ergeben sich durch das fluktuierende Energieangebot des Windes, das im Gegensatz zum Primärenergieeinsatz in konventionellen Kraftwerken nicht beeinflusst werden kann. Mit steigender installierter Leistung von Windkraftanlagen treten verstärkt Probleme in den elektrischen Versorgungsnetzwerken auf. Im Verbundnetz führt, bedingt durch die Ausrichtung bisheriger Übertragungs- und Verteilungsnetze auf traditionelle Kraftwerkseinspeisung, fluktuierende Energieeinspeisung zu verstärkten Netzzurückwirkungen, die sich lokal als auch regional bemerkbar machen können. Die Einspeisung der Energie kann daher nur bis zu einem gewissen Grad in die vorhandenen Netze erfolgen [Kaltschmitt et al2006, S. 551, ff].

Sowohl On- als auch im verstärkten Maße Offshore, beinhaltet die Realisierung von schlüsselfertigen Projekten zur Windenergienutzung somit weitaus mehr als die Herstellung oder den Kauf einer Windkraftanlage. Die Energieerzeugung aus Windenergie ist ein Eingriff in die bestehende energietechnische Infrastruktur und mehr noch in die Umwelt der unmittelbaren Umgebung. Damit stößt sie zwangsläufig auf Widerstand. Die Bewertung des Nutzens von Windkraft fällt somit in der Literatur auch sehr unterschiedlich aus. Dort wird ein Spektrum von der absoluten Befürwortung bis hin zur deutlichen Ablehnung dieser Art der regenerativen Stromerzeugung abgedeckt. Je nach Interessenslage und Fokussierung finden sich denn auch Aussagen von einer energetischen Amortisationszeit nach ca. 4-5 Monaten laut *Wikipedia* für Anlagen an Land bis hin zu Zeiten, die dicht an die maximale Betriebsdauer von ca. 20 Jahren für heutige Windkraftanlagen grenzen www.windkraftgegner.de. Ähnlich divergierende Beiträge finden sich bezogen auf die Akzeptanz in der Bevölkerung, den Einfluss auf die Strompreisbildung, die tatsächlichen Auswirkungen auf die Umwelt, den Arbeitsmarkt und die Subventionspolitik. Zum Teil werden diese Diskussionen sehr kontrovers und emotional geführt.

In diesem Spannungsfeld bewegt sich die Planung von Offshore-Windenergieprojekten. Sie beinhaltet neben den technischen Problemstellungen ein in der Regel langwieriges Bemühen, die verschiedensten Interessen auszugleichen, bis eine konsensfähige Lösung gefunden ist. Die Projektentwicklung eines größeren Vorhabens zur Nutzung der Windenergie, in der Regel ein Windpark, ist hier ein ähnlich komplexer Prozess wie bei konventionellen Kraftwerken, der, wie bereits erwähnt, keineswegs allein unter technischen Gesichtspunkten abläuft. Die Verbindung von Stromerzeugungs- und Offshore-Technologien ist vergleichsweise neu. Sie erfordert neben technischen und planerischen Kompetenzen auch eine angepasste Vorgehensweise im Hinblick auf die lokalen Gegebenheiten und Interessen- bzw. Nutzergruppen. [Hau2008]. Die Projektentwicklung beinhaltet somit eine Reihe unterschiedlichster Aspekte und verläuft in Phasen, die sich zwar nicht klar voneinander abgrenzen lassen, die jedoch einen zunehmenden Grad der Konkretisierung und damit der Realisierungschancen kennzeichnen. Diese schrittweise Vorgehensweise ist deshalb so wichtig, da die aufzuwendenden Mittel stetig ansteigen und somit schnell über Erfolgsaussichten und damit über das eingebrachte Geld sowie die zu verantwortende Zeit entschieden werden muss.

Eine erfolgreiche Durchführung von OWP-Vorhaben stellt hohe Anforderungen an alle Beteiligten in Bezug auf Planungen für Beschaffungen, Installation, Inbetriebnahme und Betrieb. Im Laufe dieser Phasen fallen erhebliche Datenmengen an, die einander bedingen bzw. entsprechende Abhängigkeiten beinhalten. Viele der zur Entscheidungsfindung notwendigen Informationen werden heutzutage dezentral an unterschiedlichen Orten und in unterschiedlichen Systemen verwaltet, die keinen oder nur einen eingeschränkten integrativen Zugriff erlauben. Zudem erfolgt die Dokumentation dieser komplexen Prozesse und Abhängigkeiten oft individuell in proprietären Umgebungen, was eine Wiederverwendbarkeit erschwert. So finden sich verschiedene Tools, die eine Ertragsabschätzung von Windkraftanlagen erlauben oder einen Entwurf des Windparklayouts unterstützen bzw. eine virtuelle Raumbetrachtung der geplanten Anlage ermöglichen. Ein einheitliches Informationsmanagement, das sowohl als informationstechnische Basis für den gesamten weiteren Lebenszyklus des Offshore-Windparks dient als auch eine schrittweise Vorgehensweise von der Generalisierungs- bis hin zur Konkretisierungsphase unterstützt, ist in der Regel noch nicht vorgesehen.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die Planung von OWPs bedeutet somit ein mitunter schwieriges Zusammenfügen guter Kompromisse zwischen einer großen Zahl an Rahmenbedingungen und Einzelaspekten, seien es technische, rechtliche, ökonomische, ökologische oder auch (lokal)politische, überblicksweise aufgeführt in Abbildung 5.

Windkraftanlagen, On- und Offshore, besitzen, wie auch alle anderen Produkte, einen entsprechenden Lebenszyklus. Auch hier werden bereits in der Planungsphase die entscheidenden Kosten für alle folgenden Lebenszyklusphasen festgelegt, allerdings mit der Besonderheit, dass hier der Grundstein für ein auf 20 Jahre Laufzeit an Land bzw. 25 Jahre auf dem Meer ausgerichtetes Projekt gelegt wird. Schwächen und Fehler in dieser Phase wirken sich im ungünstigsten Fall während der gesamten Betriebsdauer aus. So führt beispielsweise schon eine Abweichung von den beurteilten Windverhältnissen um 10% zu einer Minderleistung von über 30%. [Gasch, Twele10, S124 ff]. Die Anforderungen an das Transport- und Montagekonzept sowie den späteren Betrieb der Anlage müssen bei der Offshore-Planung genauestens berücksichtigt werden. Die hier gefundenen Lösungsstrategien bestimmen einen enormen Teil der zu erwartenden Probleme und Kosten und sind mit ausschlaggebend für den Erfolg des Gesamtkonzeptes.

Ausgehend von der geschilderten Problemlage und den steigenden Herausforderungen an eine Projektierung von Windparks, bedingt durch die wachsende Komplexität der Planungs-, Errichtungs-, und Betriebsführungsprozesse im Offshore-Bereich, lässt sich die Aufgabenstellung für die vorliegende Arbeit wie folgt formulieren:

Wie lassen sich Offshore- Windparks in allen Lebenszyklusphasen adäquat IT-technisch unter Einbeziehung existierender Systemwelten unterstützen und die Durchgängigkeit des Informationsflusses über den gesamten Lebenszyklus sicher stellen?

Zielsetzung der Arbeit ist es, die vielfältigen, komplexen Zusammenhänge, die während der Durchführung von Offshore-Windpark-Projekten bestehen, durch eine integrierende Betrachtung aller relevanter Sichten in ein geeignetes Objektmodell abzubilden und dadurch Qualität und Effizienz dieser speziellen Projekte über alle Lebenszyklusphasen zu erhöhen.

Für die Autorin stehen im Folgenden, auch aus Gründen der in Deutschland und international vorliegenden Erfahrungen, die informationstechnische Betrachtung der Planungs-, Realisierungs-, Betriebs-, Wartungs- und Instandhaltungsprozesse im Offshore-Bereich im Vordergrund der Modellkonzeption.

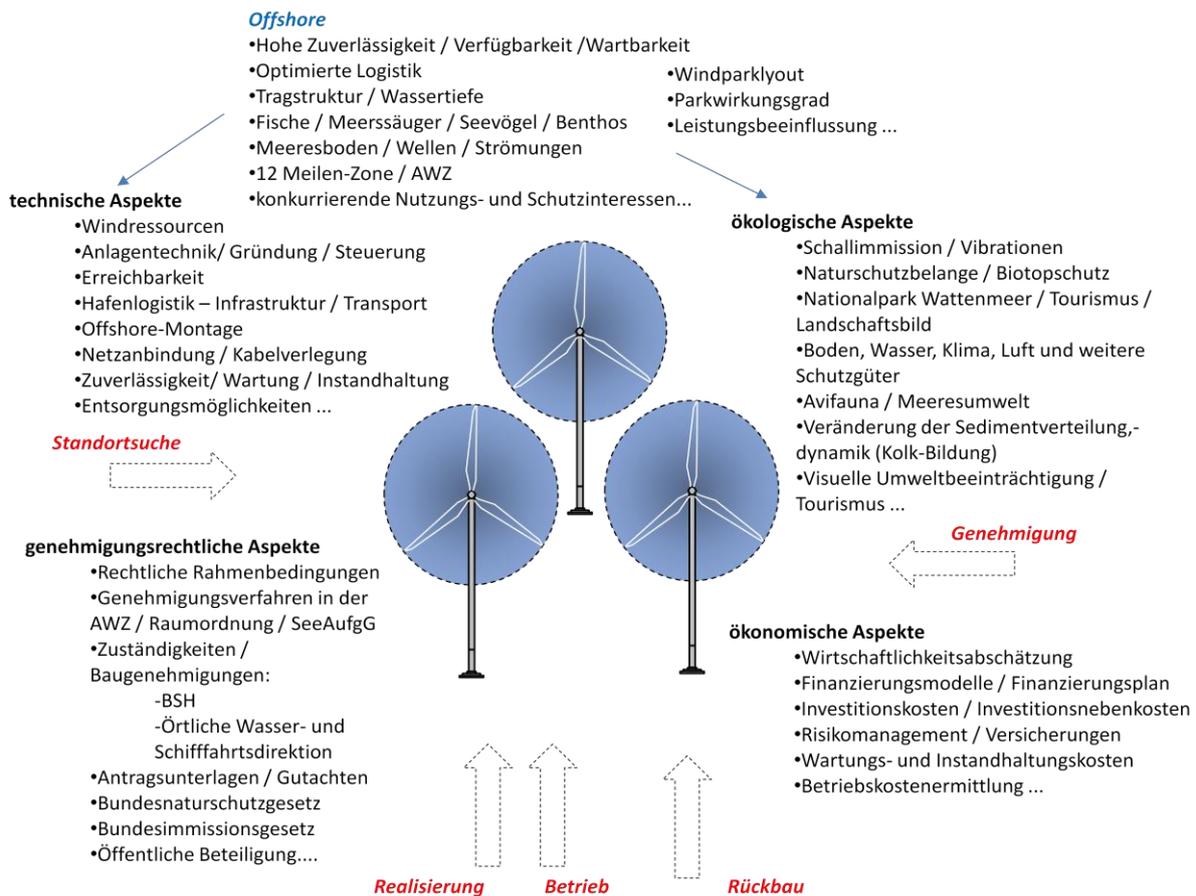


Abbildung 5: Rahmenbedingungen und zu berücksichtigende Einzelaspekte bei der Planung und Errichtung von Offshore Windenergieanlagen, [Dietrich, Glauche 2011, S.165]

Planungsentscheidungen haben zudem einen entscheidenden Einfluss auf den Rückbau- und die Recyclingmöglichkeiten von Anlagen und damit auf einzukalkulierende Kosten.

Aus dieser Aufgabenstellung lassen sich insbesondere die folgenden Teilfragen ableiten:

1. Welche technischen, genehmigungsrechtlichen, ökologischen und ökonomischen Einflussgrößen sind bei der Durchführung eines Planungsprojektes für Windkraftanlagen Offshore zu beachten?
2. Welche Gestaltungsfelder lassen sich für die Beherrschung der komplexen Anforderungen identifizieren und welche Ausprägungen sind zu unterscheiden?
3. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Einflussfaktoren und den Gestaltungsfeldern?
4. Welche allgemeingültigen Vorgehensweisen bzw. Planungsschritte lassen sich identifizieren und in welcher Form informationstechnisch abbilden?
5. Wie lassen sich die Planungsergebnisse und gewonnene Erfahrungen für neue Projektierungsaufgaben bereitstellen und an spezifische Projektanforderungen anpassen?
6. Welchen Einfluss haben die getroffenen Planungsergebnisse auf die folgenden Lebenszyklusphasen?
7. Wie muss ein Datenmodell aussehen, welches den Anforderungen einer spezifischen Projektgestaltung in den unterschiedlichen Phasen und Detaillierungsgraden gerecht wird und welche Modellierungs- bzw. Beschreibungsmethoden können angewandt werden?
8. Wie lässt sich die angestrebte Integration in eine existierende Systemlandschaft umsetzen, so dass die heute eingesetzten Systeme und deren Funktionen möglichst weiterhin verwendet werden können, ohne beliebig viele neue Schnittstellen zu schaffen?

In den folgenden Kapiteln sollen diese Teilfragen einer tiefergehenden Analyse unterzogen und der Versuch einer Beantwortung unternommen werden. Dabei werden die Modellfindung- und Beschreibung sowie eine prototypische Evaluierung und Bewertung des Konzeptes anhand von Anwendungsfällen auf der Basis eines PLM-Systems in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt. Das Sammeln, Verwalten und Bereitstellen von Informationen sowie zugeordneter Prozessbeschreibungen über den gesamten Lebenszyklus sind klassische Aufgaben eines Produkt-Lebenszyklusmanagement (PLM)-Konzeptes. Eine Eignung von PLM-Konzepten speziell für die Bedürfnisse von Windenergieanlagenherstellern- und Betreibern stellt daher ebenfalls einen Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit dar, wobei der Fokus auf die IT-technische Abbildung gelegt wird. Auf die Besonderheiten bei der konstruktiven Gestaltung und professionelle Betreuung von Offshore-Windparks kann hier nur am Rande eingegangen werden. Sie sind, ähnlich wie die sozialpolitische Bewertung von Windenergieanlagen, nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist folgendermaßen gegliedert:

Kapitel 2 gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Offshore-Windenergie-technik in Deutschland und geht auf die hier anzutreffenden besonderen technischen, wirtschaftlichen, rechtlichen und umweltpolitischen Herausforderungen ein. Weiterhin werden in diesem Kapitel die allgemeinen Wirkprinzipien von Windkraftanlagen diskutiert. Die Ausführungen beschränken sich in ihrer Detailliertheit auf die in den weiteren Kapiteln benötigten Grundverständnisse von Windkraftanlagen im Offshore-Bereich. Die Strukturierung der Phasen eines OWP-Projektes erfährt hier ebenfalls eine Schwerpunktsetzung, auf deren Basis ein genereller OWP-Lebenszyklus abgeleitet wird. Es wird detailliert auf die verschiedenen technischen, ökologischen, ökonomischen und genehmigungsrechtlichen Aspekte sowie auf die lebensphasenübergreifende Kostenentstehung – und Beeinflussung eingegangen.

Kapitel 3 stellt den modelltheoretischen Bezugsrahmen für eine lebenszyklusübergreifende IT-Unterstützung vor. Es werden innerhalb der weiteren Modellkonzeption verwendete Begrifflichkeiten eingeführt und Definitionen für diese vorgenommen. Hinzu kommt die Einordnung in und Abgrenzung zu bestehenden Systemtheorie- und Lebenszyklusmanagement-Konzepten.

Kapitel 4 dient der Modellbildung und Konzeptvorstellung. Innerhalb des Kapitels werden die Vorgehensweise bei der Modellierung sowie die beeinflussenden Entwurfskriterien vorgestellt. Darauf aufbauend erfolgt die Einführung und Darstellung des Offshore-Windpark-Modells. Es werden die verschiedenen Entwicklungsphasen des Objektmodells in Form von Sichten diskutiert und im Anschluss detailliert ausgeführt. Die innerhalb des generischen Objektmodells aufgeführten Sichtweisen berücksichtigen die verschiedenen, komplexen Aspekte bei der Umsetzung von Offshore-Windparks.

Kapitel 5 leitet aus dem zuvor eingeführten generischen Modell ein OWP-Datenmodell ab. Hierzu werden die verschiedenen Abstraktionsstufen der OWP-Datenmodellierung und deren Aufbau definiert und diskutiert. Die Spezifikation des Klassenmodells erfolgt basierend auf der Beschreibungssprache UML, auf deren Grundkonzepte an dieser Stelle kurz eingegangen wird. Auf eine Diskussion verschiedener Beschreibungssprachen zur generischen Modellierung wird innerhalb der Arbeit verzichtet. Weitere Schwerpunkte des Kapitels beziehen sich auf die Umsetzung der integrierten Sichtweise im Datenmodell und die Ableitung von Referenzprozessen. Letzteres erfolgt exemplarisch anhand von zuvor definierten Anwendungsfällen.

Kapitel 6 präsentiert die IT-technische Implementierung des OWP-Modells innerhalb der PLM-Umgebung Teamcenter 9.1. Neben der prototypischen Realisierung des Datenmodells werden die beispielhafte Anwendung des vorgestellten Konzeptes und die integrativen Abbildungsmöglichkeiten sowie dessen Umsetzbarkeit und offene Schnittstellen diskutiert.

Kapitel 7 nimmt eine Evaluierung des gewählten Modellansatzes sowie der grundlegenden Konzepte vor. Zur Durchführung der Evaluierung werden entsprechende Bewertungskriterien definiert, mit deren Hilfe eine qualitative Bewertung des Konzeptes erfolgt. Offen gebliebene Problemstellungen sollen einer tieferen Analyse unterzogen werden

Kapitel 8 fasst schließlich die vorliegende Arbeit sowie die erzielten Ergebnisse zusammen und mündet in einem Ausblick auf weiterführende Aktivitäten in diesem Forschungskontext.

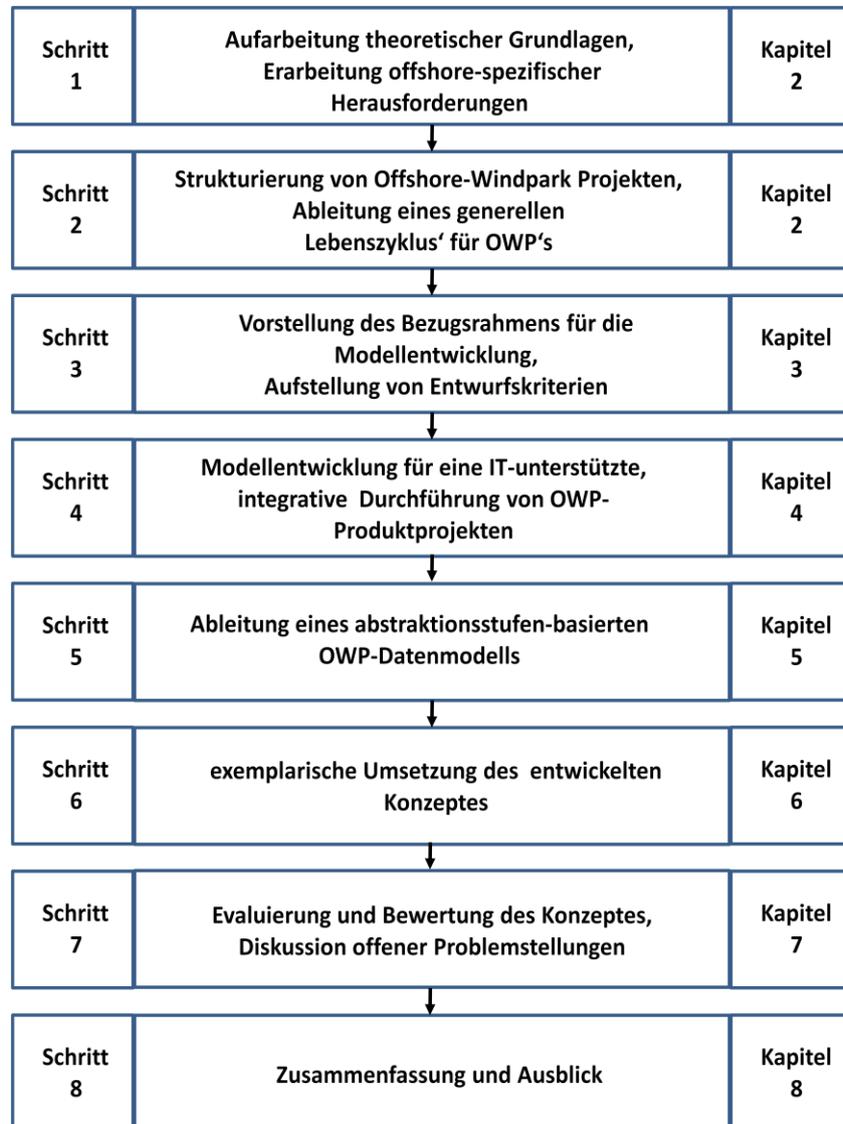


Abbildung 6: *Aufbau der Arbeit*

2 Stand der Technik

Der Winderzeugung auf dem Meer werden gewaltige wirtschaftliche Potentiale zugeschrieben, die sich sowohl auf den heimischen Offshore-Markt als auch auf den Export von Technologien zur Errichtung von Offshore-Windparks beziehen. Als Vergleich seien hier die von der DEWI (www.dewi.de) veröffentlichten Exportquoten im Offshore-Windenergiebereich von 70% aus dem Jahre 2009 und 66% aus 2010 genannt. Hinzu kommen große prognostizierte Zuwachsraten bei der Zahl der Beschäftigten in diesen Unternehmen, aber auch bei Montage-, Zulieferer- und Logistikfirmen, Unternehmen der Hafenwirtschaft und des Schiffbaus. Offshore Windenergiegewinnung hat sich somit in den letzten Jahren zu einer übergreifenden Wachstumsbranche entwickelt. Die hohen Erwartungen an die Windenergienutzung auf See bringen entsprechend große technische und wirtschaftliche Herausforderungen mit sich. Zusätzlich erlangen die in der AWZ vorhandenen komplexen Genehmigungsstrukturen an Bedeutung, ebenso wie die wichtige Berücksichtigung ökologischer Fragestellungen und die zu einer effizienten Planung, Projektierung und Realisierung notwendige, lebenszyklusphasenübergreifende IT-Unterstützung. Das nachfolgende Kapitel gibt einen kurzen Einblick über den Stand der Offshore-Windenergieentwicklung in Deutschland, um basierend auf dieser Statusangabe die besonderen Herausforderungen und offenen Fragestellungen der Windnutzung Offshore zu diskutieren. Zuvor werden die wichtigsten, zum besseren Verständnis der weiteren Ausführungen nötigen Aspekte des Aufbaus von Offshore-Windkraftanlagen grob erläutert. Aufgrund der Fülle an Informationen wird hier auf die den Lebenszyklus von OWP's beeinflussenden Teilaspekte fokussiert. Noch bestehen in Deutschland nur bedingt Erfahrungen in der Planung und Durchführung von Offshore-Windparks. Dennoch sind vergleichbare Vorgehensweisen erkennbar. Diese lassen sich nach Auffassung der Autorin auf adäquate Lebenszyklen abbilden, die ebenfalls im weiteren Stand der Technik-Kapitel eingeführt und erläutert werden. PLM Konzepte haben sich in vielen anderen, vor allem fertigungsrelevanten Bereichen als Konzept zur durchgängigen IT-Unterstützung etabliert. Auch eine Einführung im hier diskutierten Kontext wird durch die beteiligten Unternehmen sukzessive vorgenommen. Noch ist keine Durchgängigkeit ersichtlich, trotzdem ist der Weg des Produkt-Lebenszyklus-Managements ein sehr vielversprechender. Er wird auch innerhalb dieser Arbeit als bevorzugte Umsetzungsplattform zugrunde gelegt.

2.1 Offshore-Windenergieprojekte in Deutschland

Erste Visionen und Studien zur Nutzung der Windenergie außerhalb des Festlandes gehen bis in die siebziger Jahre zurück. Die weltweit erste Offshore-Windenergieanlage wurde allerdings erst 1990 in der Ostsee rund 250 Meter vor der schwedischen Küste mit einer Leistung von 220 KW errichtet [Richter2009, S. 11]. Dieser folgten bis Ende der 90'ger Jahre weitere kleinere Windparks in Dänemark und den Niederlanden. Der planerische Fokus dieser Anlagen lag auf der Demonstration der Machbarkeit, daher wurden sie in relativ geschützten Gewässern installiert [Gasch,Twele2010, S.539]. Die kommerzielle Nutzung der Offshore-Windenergie begann dagegen erst 2000 mit der Errichtung erster Windparks auf See in einer Wassertiefe von bis zu 10 m. In den folgenden Jahren wurden in Dänemark bereits erste große Offshore-Windparks mit einer Leistung von jeweils 160 MW in Betrieb genommen. Der weltweit bisher größte Windpark mit einer potentiellen Leistung von 300 MW wurde im Jahr 2010 allerdings an der englischen Küste eröffnet [SpiegelOnline_22010]. In der Planung sind inzwischen Multi-Megawatt-Anlagen, die bis zu 100 km von der Küste entfernt und in Wassertiefen von über 30 Metern installiert und betrieben werden können. Basierend auf diesen Trends hat es sich die Bundesrepublik Deutschland in ihrer 2002 veröffentlichten: „Strategie zur Windenergienutzung auf See“ zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2030 den Anteil der Offshore-Windenergie an der gesamten Stromversorgung des Landes in der Größenordnung von ca. 15 % zu realisieren [BMU2007, S.3]. Die in der Strategie dargelegten programmatischen, gestuften Zielstellungen müssen inzwischen als so nicht mehr realisierbar angesehen werden. In den ersten Jahren, der sogenannten „Startphase von 2003/4 -2006“, wurde kein einziger Offshore-Windpark in

der typischen Größenklasse von bis zu 80 Einzelanlagen gebaut [BSH03]. Die hier eingetretene Ernüchterung hatte eine Reihe nachfolgender Studien zum Ergebnis mit dem Ziel, eine realistische Prognose der zu erwartenden Windenergienutzung auf See bis 2020 zu liefern. Tabelle 2-I vergleicht die prognostizierte installierte Leistung der verschiedenen Szenarien:

Tabelle 2.2.1-I: Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Prognosen zum Ausbau der Windenergienutzung auf See bis zum Jahr 2020, Quelle: [Rehfeld, Wallasch2008, S. 185]

Jahr	Szenario des Dena Fachbeirat	Szenario des DEWI	Szenario 1 "Optimistischer Ausbau"	Szenario 2 "Verhalten optimistischer Ausbau"
	[MW]	[MW]	[MW]	[MW]
2007	651	476	150	11
2010	5.439	4.382	2.050	1.100
2015	9.793	9.793	7.200	5.000
2020	20.358	20.358	15.000	12.000

Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass der Vergleich deutliche Unterschiede in der zu erwartenden Leistung aufzeigt. Gemeinsam ist allen Studien, dass sie als Ausgangspunkt zur Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen dienten. Basierend auf den unter Kapitel 1 kurz aufgeführten Nachbesserungen, schreiten die Genehmigungsverfahren von Offshore-Windenergieprojekten inzwischen deutlich voran. Mit dem Stand April 2009 befanden sich in Deutschland über 50 Projekte in der Planung, d.h. diese sind genehmigt bzw. die Genehmigung ist bei der zuständigen Stelle beantragt. Bisher wurde der Bau von 28 Projekten zugelassen, wobei sich die Mehrzahl von 20 Projektzulassungen in der Nordsee und 8 in der Ostsee befinden. Dies entspricht nach Richter einer Leistung von „7765 Megawatt, davon 6.444 Megawatt in der Nordsee und rund 1321 in der Ostsee“ [Richter2009, S.16 ff]. In der Nordsee sind im Durchschnitt höhere Windgeschwindigkeiten zu verzeichnen als im Ostseeraum. Allerdings erfordern eine höhere Wassertiefe von hier durchschnittlich 29,4 Metern und größere Distanz zur Küste den Einsatz anspruchsvollerer Technologien. Die Projekte in der Ostsee liegen dagegen bei einer durchschnittlichen Wassertiefe von 25.1 Meter. Deutlicher wird der Unterschied bei Betrachtung der durchschnittlichen Entfernung von der Küste. Die Projekte in der Nordsee liegen mit 55,9 Kilometern wesentlich weiter entfernt als Projekte in der Ostsee, welche im Mittel ca. 26 Kilometer Küstenabstand aufweisen. Tabelle 2-II gibt einen Überblick über den Stand der genehmigten Offshore-Projekte in Deutschland, Stand 2009. Mit Ausnahme des Offshore-Windparks Nordergründe befinden sich alle Vorhaben außerhalb der 12 Seemeilen in der AWZ. Detaillierte Informationen zum aktuellen Stand der Offshore-Windenergieprojekte lassen sich auf den Seiten der Deutschen Energie-Agentur, der dena, unter www.offshore-wind.de finden.

In der Tabelle ist zu erkennen, dass der Großteil der geplanten Projekte einen Umfang von vorerst 80 Anlagen für die sogenannte „Pilotphase“ aufweist. Die erteilten Genehmigungen beinhalten diese Beschränkungen für die erste Phase, erlauben aber in der „Ausbauphase“ eine deutliche Erweiterung der Parks. Inzwischen sind vier Windparks in der Nordsee in Betrieb. Einer der ersten ans Netz gegangenen Windparks war der im April 2010 eröffnete Alpha Ventus-Park, der mit 12 Anlagen der 5 Megawatt-Klasse als Offshore-Testfeld zum Sammeln von Erfahrungen geplant und realisiert wurde [AlphaVentus2010]. Die Ergebnisse sollen dem weiteren Ausbau der Offshore Windenergie zu Gute kommen. 2010 wurde ebenfalls der erste Offshore-Windpark in der Ostsee, 16 km nördlich der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst, fertiggestellt und in Betrieb genommen. Die EnBW Baltic 1 befindet sich in einer Wassertiefe von 16-19 m und beherbergt Anlagen der 2,3 MW-Stufe [www.wind-energy-network.de]. Die gewonnenen Erfahrungen haben u.a. gezeigt, dass die notwendigen Geräte aus der Öl- und Gasbranche für den Einsatz für Offshore-Windenergieanlagen nicht nutzbar waren. Kran- und Reparaturschiffe, aber auch Fundamente mussten neu entwickelt werden [SpiegelOnline2010]. Diese neu entwickelten Fundamente, Geräte und Transportmittel brachten einen großen Zuwachs an technologischem Fortschritt, verschlangen aber auch über den geplanten

Rahmen hinaus Geld und Zeit. Um hier Unterstützung zu liefern, wurden durch die Bundesregierung zusätzliche Forschungsvorhaben auf den Weg gebracht. So wurden z.B. in der Nord- und Ostsee entsprechende Forschungsplattformen -- „FINO 1“, „FINO 2“ und „FINO 3“ -- errichtet [dena2010]. Diese sollen die zum Erhalt und Ausbau des technologischen ‚know hows‘ nötigen Informationen in nachhaltiger und umweltverträglicher Offshore-Energieerzeugung liefern und die weiteren, in Planung befindlichen OWP's, durch windklimatologische Messungen, avifaunistische und meeresbiologische Beobachtungen sowie verkehrstechnische Informationen unterstützen. Zusätzlich dazu sollen sie wichtige Grundlageninformationen zur Wahl und Bemessung geeigneter Tragstrukturen auf dem Meer bereitstellen.

Tabelle 2.2.1-II: Übersicht genehmigter Offshore-Projekte in Deutschland ; Quelle: [Richter2009, S.12]

Nr.	Projektname	MW pro WEA	Anzahl WEA	MW/ OWP	Derzeitiger Eigentümer	Wassertiefe in m	Entfernung in km
Projekte Nordsee							
1	Amrumbank West	5	80	400	E.on	20-25	35
2	BARD Offshore I	5	80	400	BARD	39-41	89
3	Alpha Ventus	5	12	60	"DOTI" (EWE, Vattenfall & E.on)	28-30	45
4	Borkum Riffgrund	5	77	385	DONG, Vattenfall, & Plambeck	23-29	34
5	Borkum Riffgrund West	5	80	400	Energiekontor	29-33	50
6	Dan Tysk	5	80	400	Vattenfall	23-31	45
7	Dollart ("Emden")	4,5	1	4,5	EWE	3	0,01
8	Delta Nordsee	5	48 (80)	240 (400)	E.on	28-32	39
9	Global Tech I	2,5-5	80	300-400	Nordsee Windpower	39-41	100
10	Gode Wind I	5	80	400	Evelop	29-34	45
11	He dreiht	3,6-5	80	288-400	WPD, inno Vent	37-43	75
12	Hochsee Windpark Nordsee	5	80	400	WPD, inno Vent	39-40	75
13	Meerwind (Ost & Süd)	3,6-5	80 (2x40)	bis 400	Windland Energieerzeugung	23-26	53
14	Nordergründe	5	18	90	Energiekontor	13	13
15	Nördlicher Grund	5	64	320	renergys	23-38	86
16	Nordsee Ost	5	80	400	Essent	22	30
17	Butendiek	3-3,6	80	240-300	Scottish and Southern Energy	17-20	43
18	OWP West	3-5	80	240-400	Evelop (Tochter von Econcern)	35	50
19	Sandbank 24	3-5	96	288-480	Projekt GmbH	23-35	100
20	Wilhelmshaven	4,5	1	4,5	Essent	3	0,5
Projekte Ostsee							
1	Arkona Becken Südost	5	80	400	E.on	21-38	35
2	Baltic I	2,5	21	52,5	WPD	16-19	15
3	Breitling	2,5	1	2,5	WPD	2	0,5
4	GEOFRreE	5	5	25	GEO	20-21	19
5	Klützer Winkel	2	1	2	Arcadis	26	3
6	Kriegers Flak	51 x 3,6, 29 x 5	80	329	WPD	20-35	35
7	SKY 2000	2-3	50	bis 150	E.on	20-21	20
8	Ventotec Ost 2	3-5	80	bis 360	Deutsche Bank, GHF	25-45	32
Summe:			1.627	7.765		Mittelwert: 25,5	41,7

Bezugnehmend auf diesen kurzen Ausblick lässt sich feststellen, dass durch die gewonnenen Erfahrungen in den letzten Jahren und die zusätzlichen wirtschaftspolitischen Maßnahmen die Offshore-Windenergiegewinnung in Deutschland einen positiven Aufwärtstrend erkennen lässt. Große Firmen wie RWE und Siemens gehen davon aus, dass hier eine neue, zukunftsweisende Industrie entstehen wird, „die mit der Einzelfertigung der Vergangenheit nichts mehr zu tun habe“ [SpiegelOnline2010.] Auch das BMU rechnet damit, dass zum Ende des Jahres 2011 Offshore-Windparks mit einer Leistung von etwa 1.500 MW installiert und die Produktionskapazitäten so ausgeweitet worden sind, dass ab dieser Frist jährlich ein regelmäßiger Zuwachs auf hohem Niveau

erwartet werden kann [BMU2007,S.3 ff]. Trotz verstärkter Anstrengungen besteht allerdings auch weiterhin enormer Handlungsbedarf, um die ehrgeizigen politischen wie technischen Zielstellungen in der Offshore-Energieerzeugung zu erreichen.

2.2 Aufbau und Wirkprinzip von Windkraftanlagen

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die wesentlichen Aspekte der Wirkungsweise von Windenergieanlagen, den prinzipiellen Aufbau sowie die Regelung und Betriebsführung von WEA's eingegangen. Die kompakte Darstellung hat eine Überblick vermittelnden Einführung in die Offshore Windpark-Technologie zum besseren Verständnis des im Kern der Arbeit entwickelten Modells zum Ziel. Innerhalb der folgenden Ausführungen wird auf die technischen Besonderheiten in diesem Bereich kurz eingegangen. Auf eine umfassendere Darstellung muss und kann an dieser Stelle verzichtet und auf die reichhaltige Literatur verwiesen werden. Gleiches gilt für detaillierte Ausführungen bezüglich der Auslegung von Windparks.

2.2.1 Wirkprinzip von Windkraftanlagen

Unabhängig von der Anwendung im Onshore- oder Offshore-Bereich, der Bauform oder dem konstruktivem Aufbau ist allen Windenergieanlagen die Wandlung der kinetischen Energie der bewegten Luftmasse in mechanische Rotationsenergie gemeinsam. Wind entsteht als Ausgleichsströmung unterschiedlicher Luftdrücke infolge unterschiedlicher Erwärmung der Erdoberfläche. Die Luftmassen strömen dann von Gebieten höheren in Gebiete niederen Luftdrucks. Die Leistung des Windes ergibt sich somit aus der kinetischen Energie der bewegten Luftmasse. Diese steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit und ist proportional zur Masse der Luft, die durch die Rotorkreisfläche trifft. Die kinetische Leistung des Windes ist durch die Luftdichte die Winddurchtrittsfläche und die Windgeschwindigkeit bestimmt [Hau2008, S79 ff]. Dabei entzieht eine Windkraftanlage in einem Windenergiekonverter dem Wind einen Teil seiner Leistung, indem sie die Windgeschwindigkeit durch Abbremsen des Windes reduziert. Windenergiekonverter der modernen Generation entziehen in den meisten Fällen dem Wind die Energie mit Rotoren. Die entzogene Windleistung wird durch diesen Windenergiekonverter in eine Drehbewegung des Rotors und damit in eine mechanische Leistung an der Rotorwelle umgewandelt. Diese wird an der Welle als Moment bei einer bestimmten Drehzahl abgegriffen und an eine Arbeitsmaschine, beispielweise einen Generator, übertragen [Kaltschmitt et al2006, S. 278 ff]. Abbildung 7 gibt eine schematische Übersicht des mechanisch-elektrischen Wirkprinzips wieder.

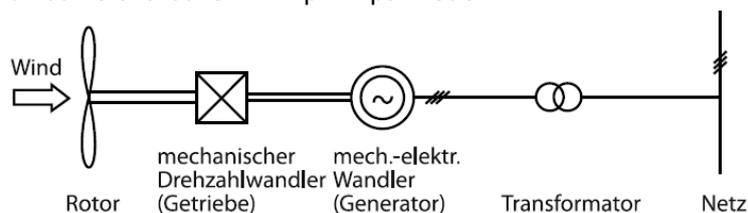


Abbildung 7: *Mechanisch-elektrische Wirkungskette einer Windkraftanlage, Quelle: [Hau2008, S.354]*

Da Leistung Energie oder Arbeit pro Zeit bedeutet, steigt die Leistung des Windes mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Aufgrund der geringen Luftdichte ($\rho_{Luft} = 1,25 \text{ kg/m}^3$) ist die Leistungsdichte des Windes deutlich geringer als beispielsweise die der Wasserkraft ($\rho_{Wasser} = 1000 \text{ kg/m}^3$). Bezogen auf eine durchströmte Fläche, bei einer Windenergieanlage mit horizontaler Achse ist dies die vom Rotor überstrichene Kreisfläche, ergibt sich die Leistung des Windes, die zur Nutzung zur Verfügung steht. Hieraus folgt, dass beispielsweise bei doppeltem Rotordurchmesser die Leistung vier Mal so groß ist. Bei doppelter Windgeschwindigkeit wird die Leistung sogar verachtzefacht [KEMMERICH2011].

Die Windverhältnisse in Bodennähe sind stark von der Beschaffenheit der Erdoberfläche geprägt. Über Oberflächen mit geringer Rauigkeit, wie sie Wasserflächen besitzen, nimmt die

Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe relativ schnell zu. Im Unterschied dazu wird über Gebieten mit hoher Bodenrauigkeit, wie sie für Ortschaften gelten, die Windgeschwindigkeit erst bei größeren Höhen erreicht, da hier die vertikale Zunahme der Windgeschwindigkeit über Grund weniger schnell erfolgen kann [GaschTwele2010, S. 124 ff]. Die Rauigkeit des Bodens ist somit ein Maß für die Zunahme der Windgeschwindigkeit über Grund. Die lokale Thermik spielt in Form von Ausgleichswinden vor allem in Küstennähe eine große Rolle. Tagsüber erwärmt sich die Landmasse stärker als die Wasseroberfläche, warme Luft steigt dort auf und zieht als Seewind Luft vom Meer nach. Nachts kühlt sich das Land schneller als das Meer ab und der Effekt kehrt sich in eingeschränktem Maße um. Die Strömungsverhältnisse des Windes werden zusätzlich von der Geländestruktur, der Orografie, beeinflusst, da aufgrund der nur geringen Kompressibilität der Luft das Strömungsfeld über der Orografie verändert wird. Dabei werden durch den Einfluss der Erdoberfläche auf beiden Seiten des Hindernisses Vertikalbewegungen bei den strömenden Luftmassen erzeugt, wodurch auch die Turbulenzen des Windes zum Boden hin stark ansteigen [Hau2008, S.682 ff. Geringe Rauigkeit, wenig Geländestruktur sowie die thermischen Bedingungen im Küstenbereich und auf See sind wichtige Indikatoren für das verstärkte Engagement der Windenergiegewinnung auf See anstatt an Land. Mit Geschwindigkeiten von weit über 8 m/sec in einer Höhe von 60 m lässt sich nach Aussagen der EEC über den meisten nördlichen europäischen Meeren: „jährlich 40 Prozent mehr Energieausstoß erzielen als an guten küstennahen Onshore-Standorten“ [EEC2011].

2.2.2 Konstruktiver Aufbau

Heutzutage drehen alle modernen Windenergieanlagen um eine horizontale Achse [dena2010]. Innerhalb der vorliegenden Arbeit erfolgt daher eine Fokussierung auf die Horizontalachs-Windkraftanlagen zum Zwecke der Stromerzeugung basierend auf regenerativen Ressourcen. Eine wesentliche konstruktive Unterscheidung heutiger Windenergieanlagen erfolgt in zwei Gruppen, die mit und die ohne Getriebe [Heier2009, S.2 ff]. Beide Bauweisen sind schematisch in Abbildung 8 wiedergegeben. Bei WEA's mit Getriebe dient dieses dazu, die langsame Drehung des Rotors für den Generator, der eine weitaus schnellere Umdrehung pro Minute benötigt, umzusetzen. Windenergieanlagen ohne Getriebe enthalten spezielle Generatoren, die weniger Umdrehungen benötigen und eine Reihe sogenannter Pole besitzen, auch als „elektrisches Getriebe“ bezeichnet [Wagner2004]. Eine netzeinspeisende Windenergieanlage beinhaltet nach [Gasch,Twele2010, S.50 ff] im Wesentlichen die folgenden Komponenten:

- Rotor mit Rotorblättern, aerodynamische Bremse und Nabe
- Maschinengondel zur Beherrschung des Generators und häufig eines Getriebes
- Triebstrang mit Rotorwelle, -lagern, Bremse, Getriebe und Generator
- Windrichtungsnachführung mit Azimutlager und – antrieb zwischen Gondel und Turm
- Turm und Fundament sowie
- elektrische Komponenten für Steuerung und Netzaufschaltung

Abbildung 8 vermittelt einen Überblick über die wesentlichen Komponenten und ihre Anordnung. Eine wichtige Hauptbaugruppe der OWEA stellt der **Turm** dar. Seine Hauptaufgabe besteht im Tragen des Maschinenhaus und des Rotors samt Rotorblättern. 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 [LOG-OWEA2010, S.22].

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. Aus Montagesicht nach

LOG-OEWA2010, S.24] betrachtet, setzt sich die Gondel aus den drei Hauptbaugruppen Gondelgehäuse Unter- und Oberteil sowie dem Antriebsstrang zusammen. Der obere Teil der Gondel beherbergt das Gehäuse-Oberteil und je nach Hersteller Hubschrauberdeck und Bordkran [LOG-OEWA2010, S.23]. Im unteren Teil der Gondel befinden sich neben Azimutlager und Generator auch die Schaltschränke und die Maschinenträger. Die Bezeichnung ‚Azimut‘ bei WEA’s wird für alle Komponenten genutzt, die der horizontalen Windnachführung der Gondel dienen. Zum Azimutsystem gehören im Wesentlichen das Azimutlager, der Azimutantrieb als mehrstufiges Planetengetriebe und die Azimutsteuerung[www.wikipedia.de].

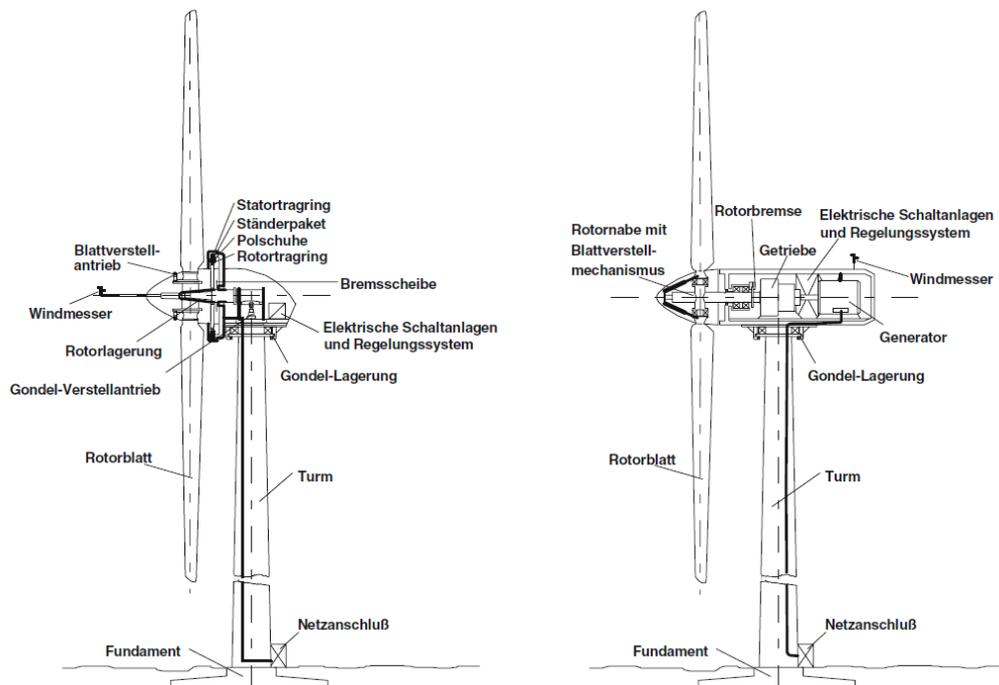


Abbildung 8: *Prinzipieller Aufbau von Windkraftanlagen mit (rechts) und ohne Getriebe (links), Quelle [Kaltschmitt et al2006, S. 293 ff]*

Aus der konstruktiven und funktionellen Sicht betrachtet, ist die Rotornabe des **Rotors** die erste Komponente des mechanischen Triebstrangs der Windenergieanlage, wie er in Abbildung 7 dargestellt ist. Sie dient zur Aufnahme der Rotorblätter und beinhaltet die Mechanismen für deren Verstellung. Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Verstellung der Rotorblätter werden im Zusammenhang mit der Regelung und Betriebsführung im nachfolgenden Kapitel detaillierter vorgestellt. Rotornaben bestehen im Regelfall aus Stahlguss, wobei die Rotorblätter aus glasbeziehungsweise kohlefaserverstärkten Kunststoffen hergestellt werden [Gasch,Twele2010, S.509]. Die Herstellungsverfahren der Rotorblätter beinhalten allerdings ein wesentliches Wettbewerbs-Know-how der WEA-Anbieter und divergieren entsprechend. So wurden sowohl in Europa als auch in Amerika proprietäre, automatisierte Fertigungsverfahren entwickelt, während in Asien und China nach wie vor manuelle Fertigungstechniken zum Einsatz kommen [Guillermin2011, S. 24]. Aktuell werden von fast allen Herstellern die erwähnten 3, bis zu 60 m langen Rotorblätter zur Aufnahme des Windes bevorzugt [Hau2008, S.91].

Gegenüber Landanlagen ist für die Produktion und Installation eines **Fundaments** für Offshore Windenergieanlagen ein sehr viel größerer Aufwand erforderlich. Hier ist der deutlichste Unterschied zu Onshore aufgestellten WEA's zu verzeichnen. Mit Hilfe des Fundamentes werden der Turm und damit die Windkraftanlage im Untergrund zur Standsicherung verankert. 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 [LOG-OEWA2010, S.20 ff]. 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 [Gasch,Twele2010, S. 550 ff]. 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.

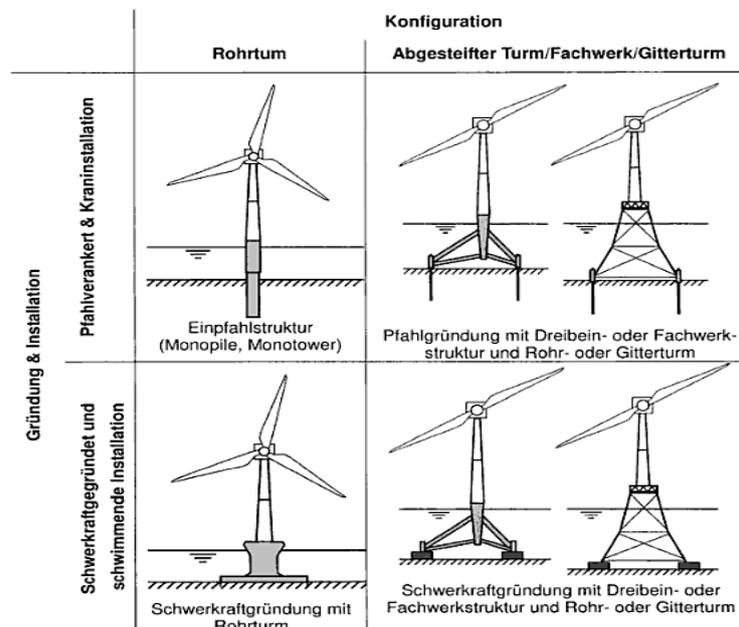


Abbildung 9: Klassifizierung auf dem Meeresgrund feststehender Tragstrukturen. Quelle: [Gasch,Twele2010, S. 552]

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 [LOG-OWEA2010, S.20 ff].

Die **elektrische Ausrüstung** lässt sich in den Generator, in das System zur Netzeinspeisung und in das Steuer- und Überwachungssystem für den Anlagenbetrieb unterteilen [Hau2008, S.389 ff]. Der zur Umwandlung der Rotationsenergie des Triebstranges in elektrische Energie eingesetzte **Generator** wird in Synchron- und Asynchrongeneratoren unterschieden. Beide Ausführungen besitzen Vor- und Nachteile. Asynchrongeneratoren sind robust und wartungsarm. Sie erlauben eine einfache Synchronisation mit dem Netz, belasten das Netz aber mit Blindstrom. Synchrongeneratoren können direkt oder über einen Wechselrichter ans Netz gekoppelt werden, weisen jedoch einen etwas geringeren Wirkungsgrad als die asynchrone Bauweise auf. Weiterhin benötigen Synchrongeneratoren aufwendige Zusatzeinrichtungen zur Netzsynchronisation, da sie bei direkter Netzkopplung alle Leistungsschwankungen der Windkraftanlage ungedämpft übertragen. Bei modernen drehzahlvariablen Anlagen muss der vom Generator erzeugte und in Amplitude und Frequenz schwankende Wechselstrom zusätzlich durch einen Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt, gefiltert und mit Hilfe eines Wechselrichters in Wechselstrom zurückverwandelt werden. Diese Zusatzeinrichtungen haben kostenintensive Anschaffung und Wartung zur Folge [Hau2008, S.278 ff].

Die Drehzahl des Generators, und damit des Rotors, kann konstant, für niedrige und hohe Windgeschwindigkeit zweistufig oder stufenlos anpassbar sein. Inzwischen haben sich verschiedene Varianten von getriebegekoppelten Asynchronmotoren sowie direkt gekoppelten, vielpoligen Synchrongeneratoren etabliert [Hau2008], [Kaltschmidt et al2006, S.300 ff] [www.wikipedia.de]. Bei beiden Generatorvarianten wird die Spannung zuletzt auf die in den jeweiligen Mittelspannungsnetzen übliche Netzennspannung transformiert. Die Windkraftanlage wird über Messwandler zur Ermittlung der übertragenen Leistungen und Leistungsschalter mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Anlagen mit einer Spitzenleistung von mehr als 100 kW müssen zur Sicherung der Netzstabilität die Mittelspannungsrichtlinie erfüllen. Nur die im Offshore-Kontext nicht relevanten Kleinstanlagen speisen in regionale Niederspannungsnetze ein. Die im Umfeld der Windenergiegewinnung eingesetzten handelsüblichen Wechselstromgeneratoren weisen je nach Lastbereich Wirkungsgrade zwischen 90 und 98 % auf [Kaltschmidt et al2006, S.298 ff].

2.2.3 Regelung und Betriebsführung

Aufgrund der sehr langen Laufzeit und den im Offshore-Bereich hohen Anforderungen bezüglich Windenergieausbeute, störungsarmen Betrieb und Zuverlässigkeit erlangen die Regelung und Betriebsführung der Anlagen eine herausragende Bedeutung und werden mit Blick auf ein lebenszyklusübergreifendes Informations-, *‘Frontloading’* eingehender betrachtet. Die Regelung und Betriebsführung einer Windkraftanlage muss in erster Linie den vollautomatischen Betrieb dieser Anlage sicherstellen. Jede andere Verfahrensweise wäre nach *Hau*, insbesondere im Offshore-Bereich, aus wirtschaftlicher Sicht inakzeptabel. Die Wirtschaftlichkeit verlangt darüber hinaus von der Regelung die Erzielung eines in jedem Betriebszustand hohen Wirkungsgrades. Zusätzliche Aufgaben der Regelung und Betriebsführung bestehen in der Minimierung der mechanischen Belastbarkeit zur Vorbeugung von Verschleißteil-Ausfällen und der Gewährleistung von Betriebssicherheit, d.h. der Vermeidung von technischen Störungen und umweltbedingten Gefahrezuständen [Hau2008, S.397 ff]. Regelung und Betriebsführung bilden eine nicht zu trennende Einheit. Die Betriebsführung bekommt entsprechend den Einsatzbedingungen Vorgaben, die zu Sollwerten für das Regelsystem verarbeitet werden. Windverhältnisse und andere Leistungsparameter werden somit zu Input-Werten für die nachfolgende Regelung. Einer der wichtigsten und hier kurz erwähnten Regelbereiche bezieht sich auf die Regelung der Rotordrehzahl. Stand der Technik ist heute der Einsatz drehzahlvariabler pitchgeregelter Anlagen zur Drehzahlregelung im Teillastbetrieb, der sogenannten Momentenregelung und der Drehzahlregelung im Volllastbetrieb, der Pitchregelung. Mit den beiden Stellgrößen, dem Rotorblatteinstellwinkel und dem Generatormoment, werden die zwei Führungsgrößen Rotordrehzahl und Abgabeleistung der Windkraftanlagen geregelt. Große Windkraftanlagen sind häufig mit einer kombinierten Drehzahl-Leistungsregelung ausgerüstet. Die Regelungsstruktur der Drehzahl- und Leistungsregelung hängt wesentlich von der Art des verwendeten Generatorsystems und der gewünschten Betriebsführung ab [Hau2008, S.409].

Neben Drehzahl und Leistungsabgabe werden die Betriebszustände und Funktionsabläufe der Anlagen überwacht und für den Betriebsverlauf notwendige Entscheidungen automatisch getroffen. Das Regelungssystem ist somit das Bindeglied zwischen dem Betriebsführungssystem und den mechanischen und elektrischen Komponenten der Anlage. Es übernimmt somit die internen Steuervorgänge. Abbildung 10 gibt die Aufgaben und das Zusammenwirken von Betriebsführungs- und Regelungssystem schematisch wieder.

Um eine reibungslose Betriebsführung unterstützen zu können, ist der Aufbau von Zustandswissen und Datentransparenz in Kooperation mit einer optimierten Datenerfassung erforderlich. Zustandswissen wird heute durch Condition Monitoring-Systeme aufgebaut, die Datenerfassung erfolgt üblicherweise durch die Anbindung SCADA-basierter Systeme [Crabtree2010, S.4]. Transparenz im Informationsfluss lässt sich durch offene Schnittstellen sowie den Einsatz entsprechender Informationstechnologie erreichen.

Zusätzlich zum Erfassen von prozesstechnischen Parametern zur Anlagensteuerung, zur Ermittlung von Verfügbarkeiten und Ertragszahlen, erfolgt mit Hilfe dieser Systeme die Aufnahme und Bewertung von hoch dynamischen Vorgängen hinsichtlich des Verschleißzustands der mechanischen Komponenten. Heute werden je nach Anlagentyp bis 500 quasistatische Parameter, wie Drehzahl, Leistung, Windgeschwindigkeit, Temperaturen und Drücke protokolliert und zur optimalen Anlagensteuerung ausgewertet bzw. dem Regelungssystem zugeführt [Höring2011, S. 2ff]. Die hoch dynamischen Parameter wie Schwingbeschleunigungen und Drehmomente, die eine Aussage über die wirklichen Belastungen, Kräfte und den Verschleiß ermöglichen, sind aktuell ebenfalls in den Fokus der Online-Erfassung geraten. Eine Online-Überprüfung des Maschinenzustandes mittels Schwingungs- und Drehmomentsensoren in Verbindung mit einer Klassierung über die Prozessdaten ermöglicht es, die Verfügbarkeit von OWEA's zu erhöhen. Condition Monitoring ist somit die Basis für die Einführung einer zustandsorientierten oder wissensbasierten Instandhaltungsstrategie.

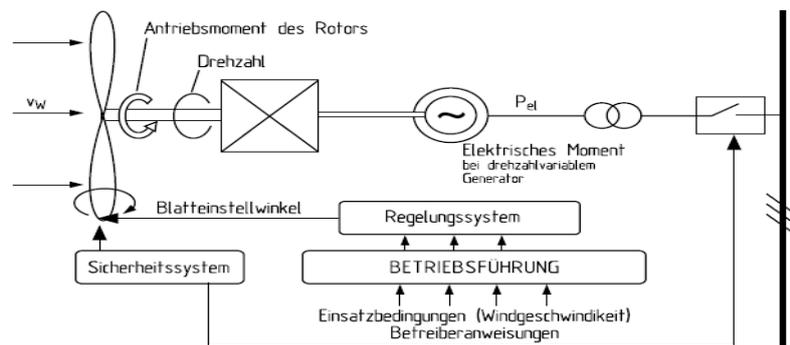


Abbildung 10: Aufgaben des Betriebsführungs- und Regelungssystems einer Windkraftanlage, quelle [Hau2008, S. 398]

Eine zustandsabhängige Maschinenwartung bei Windenergieanlagen bedeutet, dass die Durchführung der Wartungsarbeiten nur dann oder immer dann erfolgen, wenn sie notwendig sind. Diese basiert auf der Erfassung und Bewertung des Verschleißzustandes der Triebstrangkomponenten mittels objektiver Messgrößen wie z.B. Körperschall. Wissensbasierte Instandhaltung basiert dagegen auf prognostizierten Vorhersagen, die durch Online-Messungen, Expertenanalysen und Tendenzberechnungen gestützt werden und Informationen über potentielle Fehler an den Anlagen ermöglichen, lange bevor ein Maschinenproblem vorliegt [Pieterman et al2011, S.4 ff]. Zusätzlich zu den genannten Erfassungen können CMS Lagerschäden, Verzahnungsprobleme, Montage bedingte Fehler, wie Unwuchten und Ausrichtfehler oder auch Resonanzen erkennen. Prinzipiell sollen durch die Maschinenüberwachung:

- ungeplante Maschinenausfälle durch Verschleiß vermieden,
- die Minimierung von kapitalen Folgeschäden erreicht,
- eine Einführung einer zustandsabhängigen Wartung unterstützt,
- bessere Wartungsplanung durch Trendinformationen erleichtert,
- der Einsatzplanung des Servicepersonals optimiert,
- die Schadensuche durch Hinweise aus dem Überwachungssystem verkürzt sowie
- eine abgesicherte Verlängerung der Revisionszyklen ermöglicht werden. [Höring2011, S.3]

Viele der aktuell zum Einsatz kommenden Systeme wie WindSafe von DMT, Bachmann-Monitoring gleichnamiger Firma oder VIP Wind der Firma Voith verfügen bereits über Datenbanken und Möglichkeiten des Datenaustausches. Allerdings sind diese überwiegend nicht mit anderen informationsverarbeitenden Systemen integriert. Die jetzt diskutierten und in der Planung befindlichen Dimensionen von OWP's erreichen die Leistung konventioneller Großkraftwerke und verstärken die Forderung nach einer integrierenden bzw. integrierten Herangehensweise. Die Einbeziehung moderner Condition Monitoring-Funktionalität in übergreifende Informations-Managementkonzepte zur Planung von Windparks lässt hier nach Ansicht der Autorin eine Optimierung erwarten, auf die letztlich ein Fokus der vorliegenden Arbeit gerichtet ist.

2.3 Besondere Herausforderungen im Offshore-Bereich

Im vorlaufenden Kapitel wurde an einigen Stellen wie den Fundamenten bereits auf Besonderheiten im Offshore-Windenergiebereich hingewiesen. In den letzten Jahren hat sich der technologische Stand von Windkraftanlagen hier stark entwickelt. Dies zeigt sich u.a. an den inzwischen im Großanlagensegment eingesetzten Windturbinen. In diesem Segment hat sich die Größe von Windkraftanlagen in den letzten 20 Jahren verundertfacht [EWEA2009, S.6]. Das starke Größenwachstum gepaart mit den besonderen Bedingungen der überwiegend in der AWZ angesiedelten und geplanten WEA's, führen zu herausragenden Anforderungen an alle Belange des Offshore-Windparks. Die unter 2.1 erwähnten Demonstrationsprojekte und die nachfolgenden, bereits in Betrieb genommenen Anlagen, haben zwar die technische Machbarkeit der Offshore-Windparks bewiesen, zeigen jedoch auch die damit verbundenen hohen technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen auf. Offshore-Bauwerke, insbesondere Plattformen für die Öl- und Erdgasgewinnung, gibt es seit ca. 50 Jahren in großer Zahl. Ölplattformen stehen zum Teil in Wassertiefen von mehreren hundert Metern [SpiegelOnline2010]. Die grundsätzlichen technischen Fragen des Transports so großer Anlagen, der Errichtung unter teilweise extrem schlechten Witterungsbedingungen und dem Betrieb derartiger Bauwerke sind hier ebenso bekannt wie geeignete technische Lösungen. Dennoch stehen bei der Offshore-Planung und Aufstellung von Windkraftanlagen wiederum neue Fragen im Vordergrund, für die entsprechende technische und organisatorische Antworten gefunden werden müssen. Zudem zeigen die Erfahrungen in der Offshore-Öl- und Gasindustrie, dass die zu erwartenden Kosten für das Arbeiten auf See ca. fünf- bis zehnmal höher ausfallen werden als an Land [Gasch,Twele2010, S. 584]. Die hohen zu erwartenden Investitionen stellen insbesondere an die Offshore-Technologie eine Herausforderung, nach kostengünstigeren Lösungen zu fahnden. Im Gegensatz zur Errichtung von z.B. Bohrplattformen, die auf millionenschweren Finanzierungen basieren und in der Regel von einer großen Belegmannschaft betrieben werden, sind bei den Offshore-Projekten die wirtschaftliche Grenzen enger gezogen [Hau2008, S. 680]. Zudem müssen völlig neue technisch-organisatorische Lösungen gefunden werden, z.B. für den Betrieb von Offshore-Windparks ohne Bedienpersonal vor Ort.

Die auftretenden Herausforderungen und Probleme können innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht in ganzer Breite und Detailliertheit wiedergegeben werden. Allgemein lassen sich die Anforderungen gemäß der in Kapitel eins bereits eingeführten Aspekte in technische, ökonomische, ökologische und genehmigungsrechtliche Herausforderungen untergliedern, von denen die wichtigsten in den nachfolgenden Kapiteln exemplarisch diskutiert werden. Die hier aufgeführten Anforderungen werden als typisch für den Bereich Offshore-Windenergie angesehen.

2.3.1 Technische Herausforderungen

Eine in der See aufgestellte Windenergieanlage muss den schwierigen Betriebsbedingungen auf dem Meer gerecht werden, die in der Planung und Konstruktion sowohl der Anlage als auch bei der Planung des Transportes und der Montage berücksichtigt werden müssen. Im Offshore-Einsatz gilt es, die nachfolgenden, spezifischen Besonderheiten zu berücksichtigen [Hau08, S. 681 ff]:

- Die mittlere Windgeschwindigkeit ist in der Regel höher als an Land,
- Die Turbulenzintensität über der offenen See ist geringer, allerdings muss je nach gewähltem Anlagenabstand mit einer höheren induzierten Turbulenz im Feld, bedingt durch den Strömungsnachlauf der Nachbaranlagen, gerechnet werden,
- Der Welleneinfluss des Wassers auf die Belastung der gesamten Anlage inklusive der Extrembelastung durch eine sog. „Jahrhundertwelle“. Turm, Rotor und Fundament bilden hier ein schwingungsfähiges System, das auch auf die zusätzlichen dynamischen Belastungen durch ein Zusammenwirken von periodischer Wellenbewegung und Windturbulenz ausgelegt sein muss.
- Es kommt zu hohen Extremlasten durch Eisgang im Meer insbesondere der Ostsee und Eisansatz an der Anlage.

- Der Einfluss auf das Belastungsspektrum durch die Veränderung der Meeresspiegelhöhe bedingt durch die Gezeiten.
- Berücksichtigung der Meeresströmungen sowie die dadurch verbundene „Auskolkung“ des Seebodens auf das Lastspektrum, insbesondere auf die Fundamentstrukturen.
- Der Einfluss des Meerwassers und des Salzgehaltes sowie der hohen Luftfeuchtigkeit in Bezug auf Korrosion und Dauerfestigkeit.

Die natürlichen und durch den Menschen verursachten Umweltbedingungen beeinflussen einen Offshore-Windpark sowohl positiv als auch negativ. Prinzipiell fördert und begünstigt das hohe Windaufkommen und die geringere Oberflächenrauheit auf See den Betrieb von Windenergieanlagen im Offshore-Bereich, gleichzeitig muss man sich hier der problematischen und sensiblen Umweltbedingungen bewusst sein, die die bereits erwähnte große Herausforderung an eine technische Umsetzung mit sich bringen. Werden entsprechend große Windparks gebaut, müssen beispielsweise die auftretenden Hintergrundturbulenzen mit der zu erwartenden Leistungsminderung abgewogen werden. Hinzu kommt das Problem, zuverlässige Daten zur Bodenbeschaffenheit zu erhalten, welche wiederum unabdingbar für den Entwurf des Windparks sind.

Gründung

Als größte Herausforderung in der Offshore-Technologie gilt die *Gründung* (auch Tragkonstruktion) der Offshore-Windenergieanlage, d. h. die Auswahl der passenden, im vorherigen Kapitel bereits aufgeführten Fundamenttechnologie zur Befestigung auf dem Meeresgrund. Hier stehen die geringen Herstellungskosten, die geringen Installationskosten inklusive einer einfachen Verschiffung und Montage sowie die Langlebigkeit bei der Auswahl im Vordergrund. Letzteres bezieht sich auf den Korrosions- und Kollisionsschutz ebenso wie auf die Ermüdung und Verwindung der Anlagen. Gerade die durch Gezeitenbewegungen entstehenden Kräfte, die auf die Fundamente wirken, haben einen Einfluss auf das Gesamttragverhalten und damit auf die Ermüdungsbeanspruchung der Tragstrukturen [Woste2010, S. 61 ff]. Die eingesetzten Technologien sind dabei mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen behaftet. So sind z. B. Aspekte der Kollisionssicherheit, notwendige Rammarbeiten, Vorarbeiten am Meeresgrund oder spezielle Kollsicherungen (Erosionsschutz) zu beachten. Wesentlicher Bestimmungsfaktor für die zu wählende Technologie ist die Einsatzmöglichkeit in tiefen Gewässern, da die ausgewiesenen Vorranggebiete in Deutschland nahezu alle eine Wassertiefe von 20-40 m aufweisen. Ein möglicher Wellengang ist dabei noch nicht einbezogen [Woste2010, S. 62 ff]. Basierend auf den Erfahrungen bei Ölplattformen ist die Korrosionsfrage im Meer nicht das Hauptproblem [Westerwiede2010]. Ein elektrischer Korrosionsschutz kann bereits heute für eine Lebensdauer von 50 Jahren ausgelegt werden, was die Lebensdauer einer Windkraftanlage deutlich überschreitet.

Anlagentechnik

Der Entwicklung Offshore-tauglicher Windturbinen kommt innerhalb der Anlagentechnik eine herausragende Bedeutung zu. Um die geforderte Zuverlässigkeit zu gewährleisten, muss eine redundante Auslegung von Sicherheitskomponenten erfolgen. Ebenso ist hier der Fokus auf die Planung und Realisierung von wartungsarmen Anlagenkomponenten zu legen, verbunden mit der Umsetzung entsprechender Zugangskonzepte für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen. Diese Anforderungen gewinnen angesichts der Witterungsbedingungen und schweren, manchmal nur zeitlich begrenzten Zugänglichkeit auf See eine erhebliche Bedeutung. Eine Berücksichtigung dieser Aspekte erfolgt innerhalb eines umfassenden Logistik- und Wartungskonzeptes während der Planungsphasen. Offshore-Anlagen müssen zusammenfassend den folgenden Anforderungen nach [Eckhardt et al2002, S.4], [Hau2008 S. 682ff] gerecht werden:

- Kapselung gegen Meerwasser, d.h. deutlich erhöhter Korrosionsschutz an fast allen Anlagenbauteilen und die daraus abgeleitete Verwendung meerwasserbeständiger Werkstoffe,

- besser abgedichtete Gondeln und geschlossene Generatorkühlung,
- hohe und höchste Zuverlässigkeit aller Anlagenkomponenten,
- umfangreiche und redundante Condition-Monitoring-Systeme zur Überwachung,
- die aerodynamische Optimierung zur Nutzung von Starkwinden,
- Zugangskonzepte zu Wartungs- und Instandhaltungszwecken, dazu kann die Vorhaltung eines Bordkranes ebenso gehören wie die Installation spezieller Hebezeuge in Maschinenhaus und Turm für schwere Komponenten und Lasten. Zusätzlich muss durch entsprechende Maßnahmen für die Zugänglichkeit der Anlage auf offener See, beispielsweise durch spezielle Anlagehilfen und Befestigungen, gesorgt werden und
- Die Beleuchtung entsprechend den Vorschriften des Luft- und Seeverkehrs

Die vollständige technische Ausstattung der Windkraftanlagen ist bei den kommerziellen Offshore-Windparks integraler Bestandteil eines umfassenden Logistik- und Wartungskonzeptes und wird als dieser entwickelt.

Anforderung an See- und Binnenhäfen

Häfen sind eine entscheidende Schnittstelle zwischen den Transportvorgängen und Arbeitsabläufen an Land und auf See und nehmen laut Deutscher Windenergie Agentur in der Wertschöpfungskette der Offshore-Windenergie zunehmend eine zentrale Stellung ein. Alle auf See zu installierenden Komponenten und auch das Fachpersonal für Bau, Wartung und Service passieren Häfen. Häfen bilden zukünftige Zentren für Montage, Logistik und Verteilung von Anlagenkomponenten und Ersatzteilen. Da die Bauteile der Windkraftanlagen bezogen auf die Leistungsfähigkeit an Größe und Gewicht immer weiter zunehmen, werden auch die Anforderungen an die Häfen steigen. Aus heutiger Sicht müssen Häfen:

- gute seeseitige und landseitige Zufahrtsbedingungen gewährleisten,
- tideunabhängige Wassertiefen für hochseefähige Montageschiffe bieten,
- schwerlastfähige Kajen und Lagerflächen haben,
- große Lagerflächen direkt am Kai für die Beladung von Montage- und Serviceschiffen bereitstellen,
- Flächen in der Nähe der Kajen für Montage und Bau besonders großer Anlagenteile vorhalten,
- mobiles und schwerlastfähiges Equipment für den Umschlag zur Verfügung haben
- auf Umschlagunternehmen möglichst vor Ort zugreifen können und
- Infrastruktur für Personal mit Wartungs- und Serviceaufgaben bereit stellen [Tiedemann2006, S.5].

Neben den Seehäfen gewinnen Binnengewässer und Binnenhäfen für den Transport der großen Anlagenteile der 5 Mega Watt-Technologien an Bedeutung. Gondeln von einigen 100 t, Fundamente, Turmsegmente und bis zu 60 m lange Rotorblätter haben Dimensionen erreicht, die kaum noch über die Straße an seeseitige Verladeplätze transportiert werden können. Entsprechende Entwicklungskonzepte für Häfen und die damit zusammenhängende Infrastruktur, werden daher auch Industrieflächen für neue Produktionsstandorte anbieten. Sie sind somit nicht mehr nur entscheidende Voraussetzungen für die weitere Entwicklung der Offshore-Windenergie, sondern bieten neue Chancen und Synergien für die umgebenden Hafenstädte [Tiedemann2006, S. 2ff].

Logistik, Transport und Offshore-Montage

Die Errichtung, der Betrieb und die Wartung von Offshore-Windenergieanlagen ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern auch eine Frage einer optimal ausgerichteten Logistikkette. Die typische Nabenhöhe eingesetzter Offshore-Windenergieanlagen liegt bei rund 100 Metern über dem Meeresspiegel. Den Rotor mit einbezogen, ist eine Anlage durchschnittlich rund 155 Meter hoch [AlphaVentus2010]. Dazu kommen noch einmal, je nach Wassertiefe, mehrere Meter Fundament- und Gründungstechnologie unter Wasser bis zum Meeresboden [Woste2010, S.67]. Aus Gründen der Transportoptimierung bzw. -minimierung sind viele Stahlbaufertigungskapazitäten für

Offshore-Windenergieanlagen nahe an den deutschen Küsten bzw. Wassertransportwegen entstanden. Spezialschiffe zum Transport und zur Installation der einzelnen Bauteile sowie zur Verlegung von Kabeln zur Vernetzung der einzelnen OWEAs mit der Umspannstation auf See sind zwingend notwendig. Der Einsatz dieser Spezialtechnik unterliegt den erwähnten Witterungsbedingungen mit u.U. engen Zeitfenstern. Zur genutzten Spezialtechnik im Offshore-Bereich gehören laut [dena2010]:

- Plattformen, die als Hubplattformen zum Rammen der Fundamente und Errichten der OWEAs genutzt oder als Umspann- und Wohnplattformen zum Einsatz kommen.
- Kabelverleger, die Kabel für die Vernetzung der OWEAs mit der Umspannstation und die Netzanbindung von OWPs verlegen.
- Wartungsschiffe, die den Transport von Personal und Material zwischen Wohnplattform und OWEAs übernehmen.
- Offshore-Windpark-Versorger, die dem Transport von Personal und Material zwischen den OWPs und dem Festland dienen.
- Schlepper als relativ kleine, leistungsstarke Schiffe, die Umspannplattformen und Pontons schleppen und präzise positionieren können und
- Hubschrauber, die dann zum Einsatz kommen, wenn Wartungsarbeiten schnell oder aufgrund des Wellengangs nicht per Schiff abzuarbeiten sind.

Die mit dem Transport und der Logistik verbundenen Probleme und Kosten nehmen einen völlig anderen Stellenwert ein als bei der Windenergienutzung an Land. Hier müssen, wie erwähnt, Turmsegmente und Rotorblätter mit Längen von über 50 m transportiert werden, was an Land über weite Strecken erhebliche Probleme mit sich bringt. Ähnliches gilt auch für die Offshore-Gründung explizit dann, wenn komplexe Gründungsstrukturen wie Tripod oder Quadropod-Fundamente zum Einsatz kommen. Aus Kostengründen wird trotz der problematischen Größenverhältnisse versucht, die Anlagen und Komponenten soweit wie möglich an Land vorzufertigen, um die teure und zeitlich unsichere Montage auf See zu vermeiden. Laut [Eckhardt et al2002, S.5] werden die Kosten der Montage aufgrund der Bereitstellung von Spezialschiffen mit mindestens 50.000 Euro pro Tag angegeben. Zusätzliche Probleme entstehen durch wetterbedingte Verzögerungen bei der Offshore-Montage und die dadurch erzwungene Lagerung der Komponenten am Fertigungsort [Hau2008, S.694]. So erlauben die Bedingungen in der Nordsee beispielsweise die Offshore-Montage an nur etwa 150 Tagen pro Jahr. Werden 5 Tage für einen vollständigen Installationszyklus angesetzt, können höchstens 30 WEA pro Jahr erreicht werden. Vor allem bei späteren Ausbaustufen der geplanten Windparks mit bis zu 200 Einzelanlagen ist daher die Zeitspanne für die vollständige Errichtung des Fundaments und die Aufstellung einer WEA hinsichtlich der Investitionskosten und Finanzierbarkeit der Offshore-Projekte von entscheidender Bedeutung. Vieles hängt hier von der verwendeten Gründungstechnik und einer plangemäßen Montage auf See ab [Eckardt et al2002, S.5]. Bei Wellenhöhen von über einem Meter werden die Arbeiten extrem schwierig bzw. auch gänzlich unmöglich [Hau2008, S.694]. Eine umfassende Berücksichtigung dieser Effekte in die Logistikplanung ist somit für eine verlässliche Kostenabschätzung zwingend erforderlich. Eine allgemeine Verbesserung der Transportmöglichkeiten von Rotor und Turmsegmenten lässt ebenfalls direkte Kostensenkungseffekte erwarten. So ist beispielsweise der Transport zweigeteilter Rotoren zum Standort mit erheblich weniger Aufwand verbunden [Windmesse2011].

Wartung und Instandhaltung

Im Offshore-Bereich erhält die Fehlerfrüherkennung und Zustandsüberwachung der WEA's aufgrund ihres großen Einflusses auf die Wirtschaftlichkeit eine steigende Bedeutung. Zur Ermittlung der Kostenindikatoren werden beispielsweise in [Orosa et al2010] Algorithmen vorgestellt, die basierend auf der spezifischen WEA-Charakteristik unterschiedliche Strategien für unterschiedlich gefährdete Komponenten ableiten lassen und eine Klassifikation nach Gefährdungsgrad erlauben [Orosa et al2010, S.864 ff]. Um hier Kosten und Aufwand gering zu halten, müssen Wartungsintervalle aufbauend auf diesen Gefährdungsklassen und unter Berücksichtigung der begrenzten

Zugangsmöglichkeiten der Anlagen frühzeitig geplant werden. Eine Herausforderung besteht hier auch in der optimierenden Zusammenlegung die Wartungsintervalle aller Offshore- Anlagen eines Parks. Weitere Möglichkeiten bestehen in:

- der Einführung präventiver Instandhaltung zur Verringerung der Ausfallrate durch eine bessere Kenntnis des Zustands der Anlagen und die Vorhersage möglicher Fehler durch sogenannte Trendinformationen [Höring2003, S.2 ff],
- dem konsequenten Einsatz und Ausbau von Condition-Monitoring-Systemen,
- einer Verkürzung der Schadenssuche durch Hinweise aus dem Überwachungssystem,
- vorgezogenen Retrofitmaßnahmen als Methode, den Bedarf an Reparaturen zu reduzieren,
- der Schaffung verbesserter Zugänge, d.h. der Nutzung neue Transportwege wie beispielsweise das leider gescheiterte Projekt des Cargo-Lifters,
- und der Verbesserung der automatischen Früherkennung von Fehlern zur Verringerung der Reaktionszeit und des Reparaturaufwands [Instandhaltung2011].

Um zu hohe wirtschaftliche Risiken zu vermeiden, werden kritische Systeme zunehmend redundant ausgelegt [Instandhaltung2011]. Dadurch lassen sich zusätzlich mehr Wartungsarbeiten in den Bereich der geplanten Instandhaltung verlegen. Einschränkungen sind hier vor allem durch die Turbinen, die sich nicht redundant ausführen lassen, gegeben. Zur Optimierung der Wartungsintervalle und generellen Zuverlässigkeit von Offshore-Windenergieanlagen bedient man sich der bereits langjährigen Forschung im Bereich der Fehlerfrüherkennung im Rahmen der Onshore-Technologie. So bedarf es zur Betriebsführung und Steuerung sowie zur Optimierung von Servicearbeiten einer zumindest teilmanuellen Überwachung, die heutzutage zumeist durch IT-Systeme unterstützt wird. Zur Senkung der Betriebs- und Instandhaltungskosten von Offshore-Windkraftanlagen ist einer der wichtigsten Schritte die Schaffung und Verwaltung einer hinreichenden Datenbasis [Instandhaltung2011]. Diese in ein Lebenszyklus-basierendes Gesamtkonzept zu integrieren ist eine Voraussetzung, um eine vorausschauende, effiziente und damit kostengünstige Planung von Instandhaltung und Wartung zu ermöglichen.

Betriebsführung und Fernüberwachung

Eine weitere technische Herausforderung im Zuge der Realisierung von Offshore-Windparks stellt die Bereitstellung einer geeigneten Kommunikationsinfrastruktur dar. Hier müssen bis zu mehrere hundert Einzelanlagen überwacht und geführt werden. Betriebsführung umfasst neben dem Erkennen von Unregelmäßigkeiten offshore verstärkt die Erfassung und Prognose der Windstromeinspeisung ins Netz [Eckardt et al2002, S.7]. Große Offshore-Windparks müssen als Kraftwerke im nationalen und internationalen Verbund betrachtet und betrieben werden. Ein effizientes Frühwarnsystem für die Ferndiagnose und –Meldung von Schäden an den Anlagen, die schnelle Regelbarkeit sowohl der einzelnen WEA als auch des gesamten Parks, eine sehr gute Netzverträglichkeit und die Fähigkeiten zur Netzstabilisierung sind hier essenzielle Anforderungen. Ziel ist zum einen die Reduzierung der Vor-Ort-Kontrolle durch den Einsatz von IT gestützten Fernüberwachungssystemen z.B. via GPRS, UMTS etc. [BMU2008, S.108]. Zum anderen gilt es, den Betrieb und die Sicherheit der Anlagen, aber auch des angrenzenden Schiffsverkehrs zu gewährleisten und eine laufende ökonomische wie ökologische Kontrolle zu ermöglichen.

Netzinfrastrukturelle Erschließung

Die Netzanbindung umfasst die interne Verkabelung des Windparks, die Umspannstation auf See, das Seekabel bis zur Küste sowie das sich anschließende Landkabel bis zur Umspannstation an Land [Richter2009, S. 52 ff]. Bei der Gestaltung des Windparks selbst müssen einerseits die Kabellängen für die Netzanbindung minimiert, andererseits aber die Konverterabstände maximiert werden, um „Abschattungseffekte“, welche die Gesamtleistung großer Windparks deutlich reduzieren, zu vermeiden [Kaltschmitt et al, S.323 ff]. Zudem müssen größere Windparks mit über 100 MW mit Hoch- oder Höchstspannungsleitungen, gewöhnlich 110 kV-Seekabel, zur Wechselstromübertragung an das Stromnetz an Land angeschlossen werden. Hierdurch werden auch Offshore-

Umspannungswerke mit 20 kV / 110 kV-Transformatoren auf separaten, mehrstöckigen Plattformen mit eigenen Fundamenten an den Windparkstandorten notwendig, da die Mittelspannung der Windenergieanlagen in Hoch- oder Höchstspannung umgewandelt werden muss. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass Windparks in der Nordsee erheblich stärkeren Kräften ausgesetzt sind als diejenigen der Ostsee. So muss in der Nordsee alle 100 Jahre mit einer Wellenhöhe von bis zu 21 m gerechnet werden - in der Ostsee sind dies "nur" 7,8 m [EEC2011]. Entsprechend unterschiedlich fallen hier die Herausforderungen an die Konstruktion dieser Anlage und den damit aufzubietenden Aufwand aus.

2.3.2 Ökonomische Herausforderungen

Viele der zuvor ausgeführten technischen Anforderungen sind auf die engen ökonomischen Grenzen und Zwänge im Offshore-Bereich zurückzuführen. Die Investitionskosten serienmäßig hergestellter Offshore-Windenergieanlagen liegen Offshore erheblich höher als bei landgestützten Anlagen. Dies ist bedingt u.a. durch den Mehraufwand beim Fundamentbau, bei Aufstellung und Wartung der Anlage, für den Korrosionsschutz und die Netzanbindung per Seekabel. Da diese Mehrkosten durch einen höheren Stromertrag kompensiert werden müssen, eignen sich für den Offshore-Bereich nur Konverter mit großer Rotorfläche und Nennleistungen im Megawattbereich [Woste2010, S.67 ff]. Abbildung 11 gibt einen groben Überblick über die Verteilung der Kosten On- und Offshore wieder

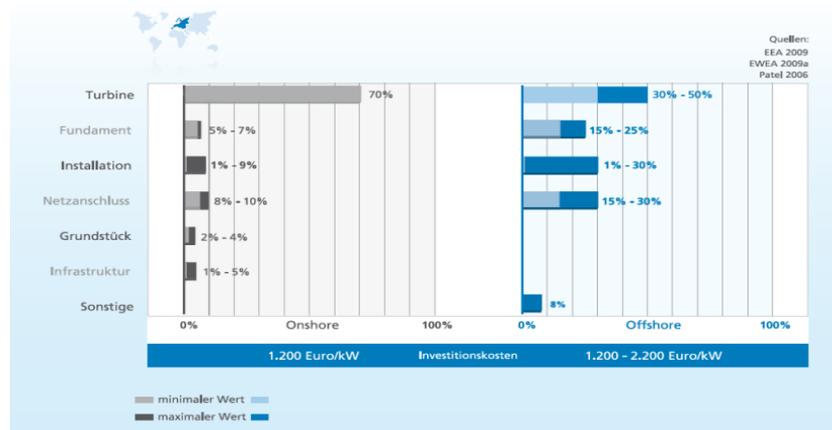


Abbildung 11: Kostenstruktur einer durchschnittlichen Onshore- und Offshore-Windenergieanlage, Quelle: [DCTI2009, S.38]

Investitions- und Energiegestehungskosten können offshore ebenfalls stark differieren, da sie von lokalen Standortparametern wie dem Windangebot, der Wassertiefe und dem Abstand zur Netzanbindung abhängig sind. Hinzu kommen die bereits erwähnten Unterschiede in Nord- und Ostsee. Für Onshore-Technologien stellen die Windturbinen den weitaus größten Kostenfaktor dar. Offshore dagegen sind diese aufgrund der höheren Kosten für Fundament und Installation inklusive des Netzanschlusses ausgeglichener [DCTI2009, S.38 ff].

Für Offshore-Parks werden laut EEC Anlagengrößen zukünftig im Bereich von 2,0 bis 5,0 MW liegen. Den Dimensionen von 85 m Nabenhöhe und 110 m Rotordurchmesser stehen allerdings unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen steigende Kosten pro installierte Leistung bei der Verlegung auf offener See gegenüber. Diese ergeben sich aufgrund der erforderlichen Zusatzinvestitionen für aufwendige Gründungsarbeiten und die küstenferne Netzanbindung in der AWZ. Generell fallen die Kosten umso niedriger aus, je näher die Offshore-Anlagen zur Küste errichtet werden. In Abbildung 11 ist außerdem ersichtlich, dass für Offshore-Anlagen eine fast doppelt so hohe Anfangsinvestition erforderlich ist als im Onshore-Bereich. Hinzu kommen die bereits mehrfach genannten, wirtschaftlich motivierten Anforderungen nach hoher technischer Verfügbarkeit der Anlagen. Der Verminderung des Ausfallrisikos kommt unter ökonomischen Gesichtspunkten besondere Bedeutung zu. Erhebliche Kosteneinsparpotenziale lassen sich hier laut EEC auch durch die Nutzung der Offshore-Windenergieressourcen in einem großtechnischen Maßstab, d.h. mit relativ hoher

Anlagenanzahl, erreichen. Dies gilt insbesondere für die Kosten von Infrastruktur, Netzanbindung, Gründung und Kontrollsystemen, die bei Großwindparks effizienter gestaltet werden können.

Die aufgeführten Kostenfaktoren erfordern speziell im Offshore-Bereich eine Fokussierung auf das Risikomanagement als einen interaktiven Prozess, verteilt über den gesamten Lebenszyklus des Offshore-Windparks [Richter2009, S.19 ff]. Oberstes Ziel aus ökonomischer Sicht ist es, potentielle Probleme frühzeitig zu erkennen, zu begrenzen und zu vermeiden. Dazu bedarf es nicht nur der aufgeführten technischen Maßnahmen, sondern auch verstärkter Aufwände zur Risikobewertung im Sinne der Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten, beispielweise von Schadensfällen und deren potentieller Bedeutung bzw. möglicher Schadenshöhe. Zur Betrachtung ökonomischer Anforderungen gehört auch die Berücksichtigung der wirtschaftlichen Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf das anschließende Küstenland. Hier stehen vor allem die Fragen nach Beeinträchtigungen des Tourismus im Vordergrund. Aber auch die, überwiegend positiv belegten, Herausforderungen an die Strukturentwicklung der küstennahen Länder und ihrer Seehäfen müssen in der ökonomischen Gesamtbilanz eine entsprechende Präsenz erfahren. Um den Prozess der Risikoidentifikation und -Bewertung über alle Phasen eines OWP-Projektes durchführen zu können, ist auch hier eine Integration relevanter Daten und Bewertungsverfahren in ein Gesamtmodell erforderlich. So lassen sich neben den Machbarkeitsstudien, den entsprechenden Risikoanalysen auch die zugeordneten Anforderungen verwalten, überwachen und durch Projekte mit vergleichbaren Rahmenbedingungen bereits zu Beginn des Vorhabens wiederverwenden.

2.3.3 Genehmigungsrechtliche Herausforderungen

Zur Realisierung eines Offshore-Windparkprojektes bedarf es der Durchführung eines Antragsverfahrens bei der jeweils zuständigen Behörde. Gemäß dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen von 1982 unterteilen sich die deutschen Gewässer in Nord- und Ostsee in die Zwölf-Seemeilen-Zone und die bereits eingeführte Ausschließliche Wirtschaftszone, der AWZ. Eine Seemeile (sm) beträgt dabei rund 1,85 km. Das Küstenmeer gilt als deutsches Hoheitsgebiet und unterliegt der rechtlichen Zuständigkeit des jeweiligen Bundeslandes. Seewärts der 12-sm-Zone bis maximal 200 sm Entfernung zur Küste befindet sich die AWZ [Woste2010, S.64]. Planungsrechtlich ist für die Genehmigung eines Offshore-Windparks entscheidend, ob sich dieser in der Ausschließlichen Wirtschaftszone oder in der 12-sm-Zone befindet. Während im ersteren Fall das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) basierend der Seeanlagenverordnung (SeeAnIV) zuständig ist, sind es im zweiten Fall die Raumordnungsbehörden der jeweiligen Küstenländer [Grellet2010]. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Genehmigungsabläufe in den beiden Zonen voneinander. In der 12-sm-Zone gelten vergleichbare Anforderungen wie an Land. Die AWZ hingegen ist kein deutsches Hoheitsgebiet und unterliegt dem internationalen Seerechtsübereinkommen. Für diesen Bereich muss erst noch ein klar geregeltes Verfahren für die Zulassung von Offshore-Windkraftanlagen geschaffen werden, da derzeit die Verfahren in der AWZ zum größten Teil auf Grundlage gemeinsamer Konsensfindung entschieden werden. Für den Bau der Netzanbindungsleitung im Küstenmeer muss zusätzlich die Genehmigung des zuständigen Bundeslandes eingeholt werden [Woste2010, S.66].

Das EEG definiert eine Offshore-Windenergieanlage allgemein als eine mindestens drei Seemeilen von der Küstenlinie entfernte Anlage. Genehmigungsverfahren für die meisten Offshore-Windparks erstrecken sich in Deutschland allerdings von der Ausschließlichen Wirtschaftszone durch die 12-Seemeilenzone über das Festland bis zum Netzanschlusspunkt [Zeiler et al2005, S.71 ff]. Um die Genehmigungsverfahren besser zu koordinieren, wurde der Ständige Ausschuss Offshore Wind der Bundesregierung mit den Küstenländern (kurz: StAOWind) eingerichtet. Der StAOWind vernetzt die Anrainer-Länder, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie [dena2010]. Das BSH ist hier federführend und verantwortlich für die Organisation von Antragskonferenzen und Anhörungen von Beteiligten. Prinzipiell haben die Antragsteller einen Rechtsanspruch auf die Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb von OWP's, sofern nicht die

Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs beeinträchtigt, die Gefährdung der Meeresumwelt einschließlich des Vogelzugs gegeben oder die Erfordernisse der Raumordnung, d.h. handelt es sich bei den geplanten Standorten beispielweise um Schutzgebiete nach §38 BNatSchG, gemindert sind [Zeiler et al2005, S.72]. Anders als im Onshore-Umfeld durchlaufen Offshore-Genehmigungsverfahren mehrere komplexe Phasen, in denen eine Prüfung der Beeinträchtigung der Meeresumwelt durch umfangreiche Konsultationsverfahren und mehrere öffentliche Beteiligungsrunden erfolgt. In diesen Runden wird den Vertretern anderer Interessensgruppen wie Fischerei- und Naturschutzverbänden und Tourismus, Militär, Sportschifffahrt oder auch anderer Offshore-Nutzungsgruppen wie z.B. Erdölförderung und Kiesabbau, Gelegenheit zur Anhörung gegeben. Bei Parks mit mehr als 20 Anlagen muss eine Umweltverträglichkeitsprüfung gemäß dem UVGP durchgeführt und in den Anhörungen präsentiert werden [Woste2010, S.66]. Auch hierfür hat das BSH eine standardisierte Vorgehensweise erarbeitet, die innerhalb der Arbeit in Kapitel. 5.5 im Zuge einer Referenzprozessentwicklung näher untersucht wird.

Die genehmigungsrechtlich getroffenen Vorgaben beinhalten neben der Einhaltung der Raumordnung und der Durchführung von UVP's eine Reihe von offshore-spezifischen, zertifizierungsbedingten Nebenbestimmungen inklusive verbindlicher Konstruktionsvorgaben für alle Komponenten, angefangen vom Fundament bis hin zum Rotorblatt, die wiederum die technischen Anforderungen an OWEA's beeinflussen [Woste2010, S.67]. Diese technischen Vorgaben fokussieren im Wesentlichen auf den Schutz, die Sicherheit und Umweltverträglichkeit während Aufstellung, Betrieb und Rückbau der Anlagen. Erteilte Genehmigungen sind im Offshore-Bereich auf 25 Jahre befristet, wobei mit dem Bau der Anlagen innerhalb von zwei Jahren nach Erteilung begonnen werden muss.

2.3.4 Ökologische Herausforderungen

Die hohen ökologischen Herausforderungen an Windkraftanlagen im Offshore-Bereich resultieren letztlich aus der versuchten Kompromissfindung zwischen dem umweltbedingten Druck, Energien aus erneuerbaren Quellen zu gewinnen, der technischen Machbarkeit und ökonomischen Sinnhaftigkeit dieses Ansinnens und den sich daraus ergebenden, teilweisen Widersprüchen hinsichtlich der Umweltauswirkungen von Windenergieanlagen. So steht die Ökologie des ‚sauberen‘ Stroms gegen die Ökologie der Meere, die durch den Ausbau der Offshore-Windenergie mit der dazugehörigen Seekabelverlegung beeinträchtigt werden können. Hinzu kommen unterschiedliche Nutzungs- und Schutzinteressen in der AWZ, die Auswirkungen auch auf die Akzeptanz der Offshore-Technik in den Küstenregionen haben. Prinzipiell gilt es hier, die Umweltverträglichkeit von Offshore-Windparks hinsichtlich der in Abbildung 5 in Kapitel 1.2 aufgeführten Schutzgüter zu optimieren. Die potenzielle Beeinträchtigung ist abhängig von der Wertigkeit und Empfindlichkeit der örtlichen Meeresumwelt einerseits und der spezifischen Art und Intensität der Wirkfaktoren andererseits [Köppel et al2004, S.17]. Für alle belebten und unbelebten Schutzgüter besteht im Offshore-Bereich somit die Herausforderung, sowohl einer Bestandsbeschreibung als auch einer Auswirkungsprognose aller einzelnen Schutzgüter sowie einer Gesamtbetrachtung der kumulativen Effekte nachzukommen. An Eignungsgebiete für Windkraftanlagen in der Nord- und Ostsee lassen sich nach [Köppel et al2004, S.18 ff] die folgenden naturschutzfachlichen Anforderungen, die aus rechtlichen Normen oder allgemeingültigen Zielen des Naturschutzes ableitbar sind, stellen:

- 1) *keine Gefährdung der Meeresumwelt nach § 3 SeeAnIV,*
- 2) *keine Beeinträchtigung von Meeresschutzgebieten und*
- 3) *generelle Minimierung der Beeinträchtigung der Meeresumwelt.*

Letzteres beinhaltet auch die Forderung, die kumulativen Wirkungen, die sich durch das Zusammenwirken von Eignungsgebieten untereinander oder auch durch den Einfluss anderer Offshore-Aktivitäten ergeben können, so niedrig wie möglich zu halten [Köppel et al2004, S. 18]. Spezielle ökologische Herausforderungen ergeben sich hier, basierend auf den gesammelten Forschungsergebnissen, bezüglich der Schädigung und /oder Vertreibung von Meeressäugern durch

Bau- und Betriebslärm, der Gefährdung des Vogelzugs durch Vogelschlag bedingt durch die Barrierewirkung von Offshore-Parks, den allgemeinen Lebensraumverlust von Seevögeln und die Meeresverschmutzung durch potentielle Schiffskollisionen. Hinzu kommen die zu erwartenden Schädigungen der Fischfauna durch Sedimentfahnen, Vibrationen oder elektromagnetische Felder sowie der Verlust von Benthos-Lebensgemeinschaften durch eine Überbauung des Meeresgrundes bzw. die Verwirbelung der Schichtung des Wassers [Köppel et al2004, S. 20]. Insbesondere geräuschempfindliche Meeressäuger wie Schweinswale, Seehunde und Kegelrobben sind von den Auswirkungen der Offshore-Windenergienutzung betroffen, da die Geräuschpegel während der Bauzeit, speziell beim Rammen der Fundamente, erheblich sind [SpiegelOnline2011]. Weitere Lärmquellen sind bau- und wartungsbedingte Schiffs- und Helikoptereinsätze sowie die Betriebsgeräusche der Windenergieanlagen. Der Schutz der Bodenlebewesen, der Benthos, und Fische stellt wiederum besondere Anforderungen an die Kabelanbindung zum Festland. Stromkabel werden bis zu 3 m tief in den Meeresboden eingegraben, was erhebliche Aufwirbelungen mit sich bringt [Zeiler et al2005, S.74]. Bei fehlender oder ungenügender Sandauflage müssen zusätzlich geeignete technische Maßnahmen ergriffen werden, um die Auswirkungen der Sedimenterwärmung während des Kabelbetriebs zu verringern.

Ökologische Herausforderungen haben in allen Aspekten Auswirkungen auf die zu berücksichtigenden technischen, durch einen Offshore-Windpark umzusetzen Anforderungen. Dadurch haben sie ebenfalls einen entsprechenden Einfluss auf die ökonomischen Randbedingungen und die genehmigungsrechtliche Schwerpunktsetzung. Umweltbedingte Herausforderungen lassen sich, ähnlich den anderen drei diskutierten Aspekten, nicht singulär betrachten und erfordern eine integrierte Betrachtungsweise innerhalb eines Gesamtkonzeptes. Um die sich daraus ergebenden, mitunter hochgradig komplexen Herausforderungen adäquat unterstützen zu können, wird durch Projektentwickler, Planer und Betreiber gemeinsam mit Forschungseinrichtungen zunehmend die Möglichkeit fokussiert, den Ablauf von Offshore-Windparkprojekten nicht nur einer integrierenden Herangehensweise zu unterziehen, sondern soweit wie möglich zu formalisieren und dadurch Nachfolgeprojekten zur Verfügung zu stellen. Große Anstrengungen wurden hierzu in der durch den Bremer Senator für Bau, Umwelt und Verkehr der Hansestadt Bremen in Auftrag gegebenen POWER-Fallstudie von 2007 [POWER2007] unternommen. Inhalt der Studie war die Sammlung und anschließende Auswertung von Erfahrungen und Erkenntnissen aus der Projektierung und Errichtung von acht international aufgestellten Offshore-Windparks. Ein Hauptziel bestand neben der Datensammlung in der Ableitung von Empfehlungen für zukünftige Vorhaben der Windenergiegewinnung auf See. Eine der Kernaussagen der Studie lautete denn auch: *„dass die Planungen für Beschaffung, Installation, Inbetriebnahme und Betrieb hohe Ansprüche an alle Beteiligten stellen und dass die Verfahren sich noch verbessern lassen“*. [POWER2007, S 2]. Um hier eine Unterstützung zu geben, wurden die gesammelten Erfahrungen in einer ersten Phase geordnet, die Schwerpunktasspekte benannt und in Arbeitspakete strukturiert. In einer weiteren Stufe wurden die herausgestellten Hauptaufgaben in eine zeitliche Abfolge gebracht. Aufbauend auf dieser Studie erfolgt im anschließenden Kapitel eine detaillierte Übersicht über die typischen Aufgaben innerhalb von OWP-Projekten und eine Zuordnung zu verschiedenen Phasen. Die in 2.4 durchgeführte Formalisierung bildet die Grundlage für das im Anschluss abgeleitete OWP-Modell.

2.4 Planung und Durchführung von Offshore Windpark-Projekten

Sowohl Planung als auch Bau von Offshore-Windparks unterscheiden sich deutlich von den Vorgängen bei Windparks an Land. Wie in Kapitel 1 erwähnt, unterliegen die Planungsprozesse bei Offshore-Windparks einer ähnlichen Komplexität wie die von konventionellen Kraftwerken. Hinzu kommt die vergleichsweise Neuartigkeit der Verbindung von Stromerzeugungs- und Offshore-Technologien. Langjährige Erfahrungswerte liegen hier derzeit wenig bis gar nicht vor. [RAVE2009, S.14 ff]. Das für alle Vorhaben geltende Ziel ist es, einen möglichst hohen Windenergieertrag bei gleichzeitiger Kostenreduktion und möglichst geringen Umweltauswirkungen zu erreichen und eine über die gesamte Lebensdauer des Windparks reichende, hohe technische Verfügbarkeit der

gesamten Anlage sicherzustellen. Die grundsätzlichen Gesichtspunkte, die bei jeder Planung und Projektierung berücksichtigt werden müssen, sind im Allgemeinen stets die Gleichen und lassen sich durch die folgenden Fragen bündeln:

- Welche Windverhältnisse herrschen am Standort? Sind diese lohnend?
- Welche Windenergieanlage passt zum Standort bezüglich Windregime, Leistungskurve und Standsicherheit?
- Welche Wassertiefe muss berücksichtigt werden, liegt diese möglichst unter 40 Metern?
- Mit welchen Wellenhöhen ist zu rechnen und wie ist der Zustand des Meeresbodens hinsichtlich Zusammensetzung und Neigung [EEC2011]?
- Sind ausreichende Abstände zur umgebenden, maritimen Infrastruktur gegeben und welche Naturschutz- und Biotopbelange sind zu berücksichtigen?
- Wo und wie kann der erzeugte Windstrom ins Netz gespeist werden?
- Wie ist der Standort erreichbar, ist die Entfernung zur Küste unter 30 km [EEC2011]?
- Ist der Standort rechtlich grundsätzlich zulässig?
- Welche Interessen bezüglich gemeinsamer Nutzungsbelange müssen koordiniert und angestimmt werden, z.B. Schifffahrt, Militär, Fischerei etc.

Jede der aufgeführten, komplexen Fragestellungen lässt eine weitere Aufgliederung in detaillierte Einzelfragen zu. In Deutschland liegen, wie in Kapitel 2.1 dokumentiert, überwiegend Erfahrungen in Testfeldern vor. Anhand der dort gewonnenen Informationen und Erkenntnisse und basierend auf der erwähnten POWER-Fallstudie lässt sich die generelle Durchführung von Offshore-Windpark-Projekten in die in Abbildung 12 wiedergegebenen Haupt- und Unterphasen untergliedern.

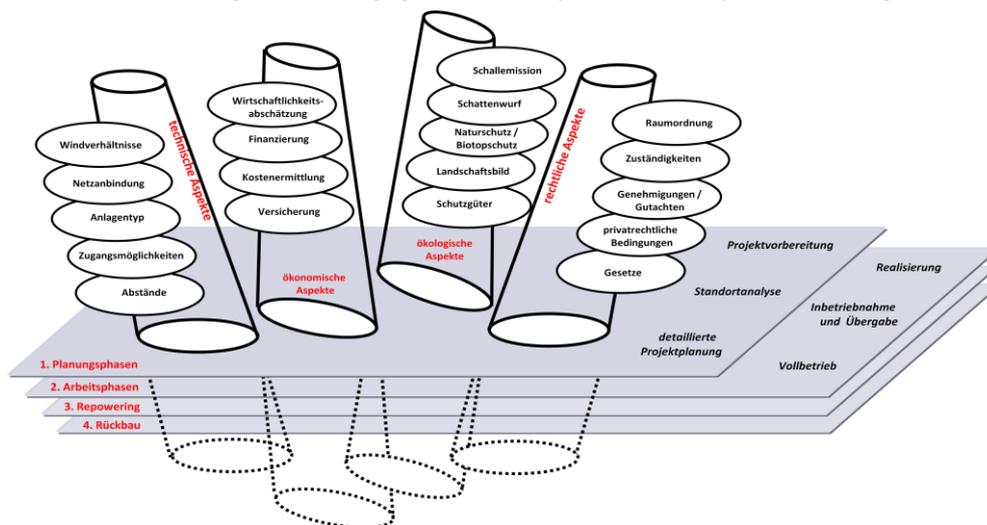


Abbildung 12: Haupt- und Unterphasen eines Offshore-Windparkprojektes

In allen Phasen sind technische, ökonomische, ökologische und rechtliche Aspekte zu berücksichtigen, wobei diese nicht gleichverteilt über die Phasen auftreten. So hat beispielsweise der ökologische Aspekt innerhalb der Standortanalyse ein stärkeres Gewicht als bei Inbetriebnahme und Übergabe. Technische und genehmigungsrechtliche Aspekte werden dagegen in der detaillierten Projektplanung und Realisierung stärker adressiert. Eine wesentliche Empfehlung der POWER-Studie bezog sich auf die Implementierung eines durchgehenden Projektmanagements mit phasenspezifischen Aufgaben. Diese beinhalten integrierende Querschnittsaufgaben über alle Einzelaspekte hinweg.

Die Planungsphasen

Um die Realisierungschancen für ein Projekt direkt zu Beginn des Planungsprozesses abschätzen zu können, ohne bereits zu viel Zeit in eine aufwändige Detailanalyse investieren zu müssen, ist in der Regel eine erste Machbarkeitsstudie hilfreich und ausreichend. Aufbauend auf dieser ersten

Beurteilung kann dann die eigentliche Planung des Projektes erfolgen. Der detaillierten Planung geht eine umfassende Analyse des Standortes voraus, an dessen Ende letztlich die Entscheidung über die Weiterführung oder Einstellung des Vorhabens getroffen wird. Obgleich das potentielle ökologische Risiko durch den Betrieb von Windenergieanlagen auf dem Meer vordergründig zunächst klein erscheint, sind vor, während und nach dem Bau der Anlagen zahlreiche Untersuchungen erforderlich, die bereits in den Planungsphasen Berücksichtigung finden müssen [KPMG2011, S.17ff]. Gibt es eine Pro-Windpark-Entscheidung, werden in der anschließenden Detailplanungsphase die einzelnen Gesichtspunkte und Aspekte vertieft analysiert und im Anschluss ebenfalls einer Bewertung unterzogen.

1. Projektvorbereitung

Ziel einer ersten Machbarkeitsstudie ist vor allem die Abschätzung der Windressourcen, Wassertiefe, Gezeiten, Küstennähe und vor allem der potentielle Netzzugang vorzunehmen [POWER2007, S.4]. Sowohl die mögliche Netzverknüpfungsleistung als auch Entfernung und Zugang zum nächst möglichen Einspeisepunkt sowie das Spannungsniveau für den Netzanschluss müssen frühzeitig mit dem lokalen Netzbetreiber geklärt werden. Sind hier Neuanlagen beispielsweise von Umspannungseinrichtungen erforderlich, müssen die zusätzlichen Bau- oder Beantragungsaktivitäten im Zeit- und Finanzplan einer detaillierten Planung berücksichtigt werden.

Tabelle: 2.3.4-I: Aspekte und Aufgaben in der Projektvorbereitung

Aspekte	Phase - Projektvorbereitung
technische	-Abschätzung des Windangebotes - Ermittlung prinzipieller Netzanschlussmöglichkeiten – und technologien -Betrachtung der Infrastruktur und technischen Bebaubarkeit
ökonomische	-Überblick über Finanzierungskonsortium -erste Prognose der Wirtschaftlichkeit -Investitionskosten /ökonomische Bewertung der wesentlichen Liefer- und Bauleistungen -überschlägliche Betriebskostenermittlung -Risikoabschätzung
ökologische	-erste Abschätzung der Umweltfolgen auf maritimen Biotop, Avifauna, Meeressäuger, Benthos -Beeinträchtigung Landschaftsbild und Tourismus -Überblick über Sedimentgestaltung
rechtliche	-genehmigungsrechtliche Erstabschätzung: -Nutzungskonflikte mit Schifffahrt, Militär, Fischerei -Einbeziehung der Anrainerländer -Regionalplanung -Bebauungsplan -Klärung der Zuständigkeiten (BSH, Küstenländer etc):
Projektmanagement	-Festlegung einer möglichen Projektstruktur / Beteiligung von Akteuren -Strategieentwicklung für: -Medienpolitik -Finanzierungsmöglichkeiten -Genehmigungen

Eine weitere Bedeutung in dieser frühen Phase kommt neben dem Windangebot bzw. der Windgeschwindigkeiten, insbesondere der über das Jahr betrachteten Erreichbarkeit der Offshore Anlagen zu. Diese Angaben bilden eine wesentliche Grundlage für die Durchführungsentscheidung und die damit verbundene frühzeitige Festlegung der Errichtungs- und Instandhaltungsstrategien. Innerhalb dieser Phase wird mit der Definition eines möglichen Projektmanagements begonnen.

2. Standortanalyse

Innerhalb der Standortanalyse-Phase werden detaillierte Untersuchungen bezüglich der technischen, ökonomischen und ökologischen Aspekte am gewählten Standort vorgenommen. Im Ergebnis dieser Phase erfolgt die finale Entscheidung, ob bei entsprechender Eignung eine abschließende Standortauswahl erfolgt oder ob dieser Standort aufgegeben wird. Zu den durchzuführenden Untersuchungen gehören die Baugrunduntersuchungen nach DIN 1054 sowie die geotechnischen Untersuchungen nach DIN 4020. Ziele der Untersuchungen sind die Minimierung des Baugrundrisikos und die Gewährleistung der Standortsicherheit und Gebrauchsfähigkeit unter

Einbeziehung wirtschaftlicher Optimierung. Tabelle 2.4-II zeigt die unter den verschiedenen Aspekten gruppierten Aufgaben innerhalb der Standortanalyse auf.

Ein weiterer, wichtiger entscheidungs- da genehmigungsrelevanter Aspekt zur Durchführung des geplanten Projektes bezieht sich auf die Ermittlung der zu erwartenden Auswirkungen der Windkraftanlagen auf Umwelt, Landschaftsbild und die nebenläufig vorhandenen, u.U. auch konkurrierenden, Nutzungsinteressen, wie unter 2.3.3 und 2.3.4 erwähnt. Sind erhebliche nachteilige Umweltauswirkungen zu erwarten bzw. diese nur mit kostenintensiven Maßnahmen zu mindern, kann auch dieser Aspekt zu einer Aufgabe des Standorts führen.

Tabelle 2.3.4-II Aspekte und Aufgaben in der Standortanalyse

Aspekte	Phase - Standortanalyse
technische	-Ermittlung vorherrschender Windgeschwindigkeiten und -richtungen -Erstellung Leistungskurve der WEA - Flächenbedarfsermittlung des geplanten Windparks -Durchführung von Baugrund-/Meeresgrundanalysen -Analyse der Netzanknüpfungspunkt / Netzinfrastruktur -Betrachtung von Erreichbarkeit und Transportmöglichkeiten zum/vom Standort -Land- (Brücken-/Tunnel-Durchfahrtsbeschränkungen) und Wasserwege --Binnen- und Seehafenlogistik, Verfügbarkeit, Zwischenlagerungen und Montagemöglichkeiten
ökonomische	-detailliertere Wirtschaftlichkeitsabschätzung
ökologische	-geographische, ozeanographische, geologische und biologische Untersuchungen -Naturschutzbetrachtung / Biotopschutz insbesondere Auswirkungen auf Avifauna und Meeressäuger -Untersuchung von Schutzgütern wie Boden, Wasser, Klima, Luft, Landschaftsbild -Einbeziehung touristischer Konzepte in Küstennähe
rechtliche	-Einholen von Gutachten -Festlegung und Beginn von Umweltverträglichkeitsstudien -Schallemissionsgutachten für Realisierungs-, Vollbetrieb-, und Rückbauphase -Ermittlung und Klärung von Interessenskonflikte mit gewerblicher und Sportschifffahrt, Fischerei und Militär
Projektmanagement	-Bündelung aller Analysetätigkeiten, -Vorbereitung der Entscheidungsfindung zur Weiterführung oder Einstellung des Projektes

Basierend auf den ökologischen Herausforderungen und den dazu festgeschriebenen Untersuchungen sowie den technischen und ökonomischen Abschätzungen, erfolgt bereits in dieser Phase die Vorbereitung des Genehmigungsverfahrens und das Einholen erster Gutachten. Die Ergebnisse der technischen und ökologischen Aspekte bilden die Grundlage für eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsabschätzung, die letztlich Ergebnis aller durchgeführten Analysen und Betrachtungen innerhalb dieser Phase ist.

3. Detaillierte Projektplanung

In der anschließenden Phase der detaillierten Projektplanung werden die Ergebnisse der beiden vorlaufenden Phasen aufgegriffen, vertieft und einer Strukturierung hinsichtlich eventueller paralleler Bearbeitung unterzogen. Ziel ist die frühzeitige Schaffung von Voraussetzungen für das zeitintensive Ausschreibungsverfahren und die Auftragsvergabe. Laut [POWER2007, S.5] lassen sich Genehmigungsverfahren, die restlichen Standortuntersuchungen und die Festlegung der funktionalen Anforderungen wichtiger Teile des Windparks parallel angehen. Zu den wichtigen technischen Anforderungen zählen die Auswahl der Anlagen, das Windparklayout und die Planung der zur Realisierung benötigten elektrischen Infrastruktur. Hinzu kommt die Planung der aufzuwendenden Logistik mit Montage- und Transportplanung inklusive der Verlegung von Kabeltrassen on- und offshore. Weitere wichtige Schwerpunkte liegen auf der Planung der On- und Offshore-Hafenlogistik und sonstiger, für die Realisierung benötigter Ressourcen wie Montageschiffe und Plattformen. Da letztere nur in begrenzten Stückzahlen vorhanden sind, müssen diese Überlegungen frühzeitig aufgegriffen werden. Planungen erstrecken sich auch auf die Bereitstellung nötiger Flächen für die Vormontage und Lagerung [dena2010]. Hinzu kommen Verfügbarkeit und Wartbarkeit aller einzusetzenden Ressourcen inklusive der Instandhaltungsplanung der aufzustellenden Windkraftanlagen. Da die detaillierte Projektplanung nicht nur einen langen Zeitraum einnimmt, sondern auch in seinen verschiedenen Aspekten durch eine hohe Komplexität

gekennzeichnet ist, steigen innerhalb dieser Phase ebenfalls die aufgeführten Projektmanagementaufgaben des Controllings und der notwendigen Dokumentationen.

Die Fortführung der aufgesetzten Genehmigungsverfahren mit breiter Öffentlichkeitsbeteiligung steht im Mittelpunkt der rechtlichen Aspektbetrachtung.

Tabelle 2.3.4-III: Aspekte und Aufgaben in der detaillierten Projektplanung

Aspekte	Phase – detaillierte Projektplanung
technische	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der funktionellen Anforderungen, endgültige Anlagenauswahl - Durchführung der Bauplanung <ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der Kabeltrassen – und Verlegung innerhalb und außerhalb des Windparks - Planung der Netzanschlussmöglichkeiten - Planung der windfarminternen Versorgung - Logistik-, Transport-, Montageplanung On- und Offshore - Festlegung der Windparklayout und –Infrastruktur / Standsicherheitsnachweise - Planung der einzusetzenden Ressourcen wie Schiffe, Häfen, Hubschrauber, Plattformen - Erstellung von Wartungs- und Instandhaltungsplänen / Strategien - Flächensicherung und Grenzabstandsregelung - Flugsicherung und Flugkennzeichnung - Eisabwurf, Radar- und Mobilfunk - Planung der technischen Abnahme und Übergabeparameter - Planung der Rückbaumaßnahmen / Entsorgungsmaßnahmen
ökonomische	<ul style="list-style-type: none"> - detaillierte Kostenanalyse / Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Investitions- und Betriebskosten - Aufstellung eines Finanzierungsplans / Berücksichtigung von Rücklagen, Risikomanagement - Bildung von Konsortien / Betreibergesellschaften - Bauausschreibungsbeginn
ökologische	<ul style="list-style-type: none"> - Einleitung der Umweltverträglichkeitsprüfung / UVP - Prüfung der Umweltbeeinträchtigungen während der Aufstellungsphase - Planung ökologischer Maßnahmen nach Rückbau
rechtliche	<ul style="list-style-type: none"> - Ausschreibungsverfahren / Erarbeitung von Vergabebedingungen - Einreichung der Antragsunterlagen und Gutachten (z.B. UVP) - Prüfung gemeinschaftsrechtlicher Vorgaben aus: <ul style="list-style-type: none"> - Bundesgesetzgebung, BSH - Regelung der küstennahen Bundesländer - Zuständigkeit Anrainer - Prüfung genehmigungsrechtlicher Zulässigkeit, Einholung Baugenehmigung - Ermöglichung einer öffentlichen Beteiligung
Projektmanagement	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung des Zeitplanes und der Projektstruktur - Planung internes Controlling-Systems mit: <ul style="list-style-type: none"> - Berichtswesen / Schnittstellenmanagement - Qualitätsprüfung / Kontrolle / Planung der Projektabnahmekriterien

Die Planungsphasen enden mit dem Abschluss der Vergabeverhandlungen und der grundsätzlichen Finanzierbarkeitszusage.

Die Arbeitsphasen

Nach den Planungsphasen wird innerhalb der Arbeitsphasen mit dem Bau der Anlagen und der Aufbereitung der Infrastruktur begonnen. Sind alle Anlagen aufgestellt und prototypisch getestet, kann der Park in Betrieb genommen und vom Hersteller, sofern sich diese unterscheiden, an den Betreiber übergeben werden. Daran schließt sich der Vollbetrieb mit einem Fokus auf Wartung und Instandhaltung an.

1. Realisierung

In den Arbeitsphasen sind alle Planungsschritte abgeschlossen, alle Genehmigungen, zumindest vorläufig, erteilt und aller Verträge unterschrieben [Gasch, Tewe2010, S.518]. Die Realisierungsphase bildet den Abschluss der Planungsphasen durch die Schaffung einer verbindlichen Rechtssicherheit und den Startpunkt für den Beginn des Baus der entsprechenden Anlage bzw. des Windparks. Innerhalb dieser Phase erfolgt auch die tatsächliche Auftragsvergabe, basierend auf dem in der detaillierten Projektplanungsphase erstellten ‚Masterplanes‘ [POWER2007, S.5]. Hier werden alle Vorbereitungen getroffen, um mit der eigentlichen Errichtung des Windparks zu beginnen. Der Anlagentyp und die Anordnung der einzelnen Windkraftanlagen im Windpark wurden bereits innerhalb der Planungsphasen festgelegt und damit auch die Vorgaben für die Bauausführung definiert. Die Errichtung der OWEA's wird in der Regel in der Verantwortung des Herstellers durchgeführt. Dieser sorgt auch für Transport und Montage, die Bestandteile der üblichen Kaufverträge sind [Hau2008, S.752].

Der Aufbau beginnt mit der Schaffung eines Zugangs zum Standort sowie der eigentlichen Baustelleneinrichtung. Hierzu gehört der Ausbau der internen Infrastruktur ebenso wie der entsprechende Leitungsbau. Besondere Beachtung innerhalb der Realisierungsphase ist auf die Kabelverlegung für die Netzanbindung zu legen. Forciert durch die Telekommunikation liegen für die Seekabelverlegung bereits weit verbreitete Technologien vor. Allerdings wurden bis dato weniger Erfahrungen mit der Verlegung von Höchstspannungskabeln gemacht. Beide Kabel besitzen bezogen auf Gewicht, Größe und Steifigkeit sehr unterschiedliche Eigenschaften, deren Auswirkungen Berücksichtigung finden müssen [POWER2007, S.8].

Tabelle 2.3.4-IV: Aspekte und Aufgaben in der Realisierung

Aspekte	Phase – Realisierung
technische	<ul style="list-style-type: none"> -Konstruktion, Fertigung, Vorerprobung der Anlage / Werksabnahme -Schaffung des Zugangs zum Offshore-Windpark, Baustelleneinrichtung, -Transport der Windpark-Teile, Vormontage in Häfen und/oder Montageschiffen -Errichtung von Gründungen für WEA -Kabelverlegung On- und Offshore -Errichtung der eigentlichen WEA-Gruppen, Bau und Installation der Türme, Gondeln und Rotorblätter - u.U. Bau von Umspannstationen -Installation der Elektrik : <ul style="list-style-type: none"> -Interne und externe Verkabelung -Ausrüstung -Anbindung an das Leitungsnetz der öffentlichen Stromversorgung
ökonomische	<ul style="list-style-type: none"> - Finanz-Controlling während der Bauphase - Ermittlung der detaillierten Wartungs- und Instandhaltungskosten
ökologische	<ul style="list-style-type: none"> -Umweltüberwachung während des Transportes und der Bauphase <ul style="list-style-type: none"> -Wassertrübung durch Sedimentaufwirbelung -Bodenerosion, Abrutschungsgefahr -Auswirkungen auf Rast- und Brutverhalten, Vogelflug -Geräuschbelastung während der Bauphase, Schallemissionsbelastung
rechtliche	<ul style="list-style-type: none"> -Abschluss der eingereichten Anträge bzw. vorbereiteten Verträge: <ul style="list-style-type: none"> - Finanzierungsvertrag -Nutzungsverträge/ Rechte -Generalunternehmervertrag zwischen Hersteller und Betreiber -Einspeisevertrag, -genehmigungsrechtliche Verfahren in 12Meilenzone oder AWZ -Abschluss der notwendigen Versicherungen -Angebotsauswertungen - / Vergabe und Verhandlungen mit den Zulieferern
Projektmanagement	<ul style="list-style-type: none"> -Schrittstellenmanagement und Planung von Arbeitsabläufen in der Realisierungsphase -Qualitätssicherung und Kontrolle

Die Seeverkabelung für Offshore Windparks ist zweitaufwendig und aufgrund von Wetterlage und Gezeitenströmung nicht in allen Einzelheiten planbar. Benötigte Taucheinsätze sind oftmals nur eingeschränkt durchführbar und müssen daher ausreichenden Planungsvorlauf erhalten. Nach den Erfahrungen der bisher durchgeführten Unternehmungen sind innerhalb der AWZ nur ca. 60% der Tage eines Jahres für die Errichtung einer Offshore Windanlage geeignet [POWER2010, S.10], [AlphaVentus2010]. Dieser Fakt untermauert die Anforderung nach guter Kenntnis der Wetter- und Umgebungsbedingungen. Ein wichtiger ökologischer Aspekt betrifft die in 2.3.3 aufgeführte Frage des Umweltschutzes während der Realisierungsphase. In den letzten Jahren wurde ein verstärkter Fokus des Umweltbundesamtes auf die Ermittlung und die Einhaltung von Lärmschutzmaßnahmen von 160 dB SEL gelegt [BSH2011]. Diese Festlegungen sollen insbesondere dem Schutz der geräuschempfindlichen Schweinswale dienen, deren Kommunikation durch zu starken Baulärm stark beeinträchtigt wird und bereits zum Rückzug der Tiere aus den betroffenen Gebieten geführt hat [SpiegelOnline2011]. Hinzu kommen Maßnahmen, die den Verlust von Lebensräumen, insbesondere von Rast- und Nahrungsgebieten durch Bauaktivitäten und Baustellenverkehr, verhindern oder zumindest einschränken.

Eng mit den technischen und ökologischen Aspekten verknüpft sind, wie in allen Phasen, die sich für das Windkraftprojekt ergebenen ökonomischen Anforderungen. Für eine solvente Finanzierung müssen in der Realisierungsphase die Finanzmittel von den Investoren eingeworben und der Finanzierungsvertrag verhandelt und abgeschlossen sein. Gleiches gilt für die Kapitaleinlagen, Rückflüsse und Rücklagen, die in der Betreibergesellschaft abschließend organisiert sein müssen. Ab diesem Punkt ist das Projekt endgültig entschieden und die Transport- und Aufbauphase kann beginnen [Gasch,Twele2010, S.518]. Im Fokus der Wirtschaftlichkeit von Offshore-Windparks steht

die Vermeidung von Offshore-Arbeiten, die sich, wie die ausgewerteten Erfahrungen der DENA-Studie zeigen, durch umfassende Tests vor der Serienfertigung sowie einen intensiven Probebetrieb an Land minimieren lassen. Weiterhin lassen sich in der Realisierungsphase bereits notwendige Personalschulungen für die Inbetriebnahme und den nachfolgenden Vollbetrieb der Anlagen parallel zu den anderen Aufgabenpaketen durchführen.

Da die Qualität nicht in ein Produkt, und somit auch nicht in eine Windkraftanlage, ‚hinein getestet‘ werden kann, müssen innerhalb der Wartungs- und Instandhaltungsplanung alle Möglichkeiten zur Optimierung dieses u.U. sehr kostenintensiven Vorganges betrachtet werden. Ein Fokus dieser Arbeit ist es, die hierfür benötigten Daten einschließlich der während des Betriebs der Anlage anfallenden Informationen, allen an der Betriebsführung der Windkraftanlage Beteiligten mittels eines durchgängigen Informationsmanagement einheitlich zur Verfügung zu stellen. Ein Instandhaltungsmanagement-System als Teil eines übergreifenden Produkt-Lebenszyklus-Managements kann hier, wie auch in [Scheer et al2006, S.14 ff] aufgeführt, eine sehr effiziente Basis für Transparenz und schnellen Informationstransfer an alle bzw. von allen Beteiligten darstellen.

2. Inbetriebnahme und Übergabe

„Windkraftanlagen müssen, wie alle komplexen technischen Produkte, vor der Übergabe an den Betreiber getestet und „in Betrieb genommen“ werden...“ [Hau2008, S.766 ff]. Die Inbetriebnahme wird innerhalb der Arbeitsphase als der Zeitraum verstanden, der nach Errichtung der Anlage bis zur Übergabe an den Betreiber existiert und in ausschließlicher Verantwortung des Herstellers verbleibt. Sie geht damit für die Konsortien, in denen Hersteller und Betreiber der Anlage nicht identisch sind, über den eigentlichen technischen Vorgang der Inbetriebsetzung der Aggregate hinaus [POWER2007, S.7]. Die Inbetriebnahme hat, insbesondere im Hinblick auf die vereinbarten Prüfungen und Dokumente, neben den technischen Aspekten auch rechtliche Folgen, wie in Tabelle 2.4-V ersichtlich. Um spätere Interessenskonflikte zu vermeiden, die sich bis hin zu Regressforderungen erstrecken können, ist hier eine klare Definition und transparente Verwaltung der Zielvorgaben der einzelnen Teilschritte bis zur Endabnahme und der daran geknüpften Ergebnisse eine wichtige Aufgabe dieser Phase. Die Inbetriebnahme einer OWEA bzw. eines Windparks ist, laut Erfahrungen der POWER-Studie, ein längerer Prozess. Sind Hersteller und Betreiber nicht identisch, so erfolgt die Inbetriebnahme im Rahmen der Übergabe an den Betreiber und erfordert hier ein Zusammenwirken der Protagonisten.

Tabelle 2.3.4-V: Aspekte und Aufgaben in Inbetriebnahme und Übergabe

Aspekte	Phase – Inbetriebnahme und Übergabe
technische	- Organisation von technischen Schulungen für Inbetriebnahme und Vollbetrieb - Inbetriebnahme des SCADA-Überwachungssystems - Montage und Funktionsprüfung - Probelauf, technische Übergabe und Abnahme
ökonomische	- Beginn der Garantiezeit
ökologische	- Schulungen zur ökologischen Umweltüberwachung
rechtliche	- unabhängige technische Begutachtung - rechtlich bindende Abnahme und Übergabe an den Betreiber - Gewährleistungsvertrag - Durchsetzung von Regressforderungen bei Nichteinhaltung des Zeitplanes
Projektmanagement	- Endabnahme der Anlage

Die Verfahrensweisen des Zusammenspiels bei größeren Windpark-Projekten werden zumeist im Rahmen von zusätzlichen „Generalunternehmerverträgen“ detailliert geregelt. Treten Hersteller auch als Betreiber auf, vereinfacht sich die Vorgehensweise hier deutlich, erhöht aber auch den Verantwortungs- und Aufgabenbereich des Konsortiums [POWER2007, S.6]. Der Inbetriebnahme-prozess beinhaltet die Nachweiserbringung verschiedener Typenzertifizierungen beispielsweise von Turbine, Turm, Rotorblättern und Elektronik inklusive Blitzschutz sowie des normen- bzw.

richtlinienkonformen Offshore-Betriebs der WEA's [BSH-Nr.7005, S.12]. Wesentlicher Punkt für die Sicherstellung eines reibungslosen und richtlinienkonformen Betriebs betrifft die innerhalb dieser Phase vorgenommene Einrichtung der unter 2.2.3 bereits erwähnten SCADA- und Condition Monitoring-Systeme. Die vollzogene Endabnahme ist das eigentliche Endergebnis dieser Phase und schließt damit auch alle weiteren Vorphasen und Planungsphasen ab.

3. Vollbetrieb

Inhalt der Phase des Vollbetriebs ist das Sicherstellen der Leistungsabgabe der parkinternen Windenergieanlagen, deren Regelung und das Erkennen von Unregelmäßigkeiten durch die technische Betriebsführung. Der Betrieb einer OWEA wird, wie in Kapitel 2.3.1 ausgeführt, von der unabdingbaren Forderung diktiert, ohne ständiges Bedienpersonal auszukommen. Einmal errichtet und in Betrieb genommen, muss der Betrieb der Anlagen aus Kostengründen weitgehend automatisch erfolgen [Gasch,Twele2010, S.547]. Der Zugang zu Offshore-Windparks ist jedoch, anders als an Land, durch die Wetter- und Seebedingungen erheblich eingeschränkt, so dass man rechtzeitig über eine anstehende Wartung informiert sein muss. Wartungsintervalle müssen somit frühzeitig geplant werden, um Kosten und Aufwand auch bei der Organisation der benötigten Ressourcen wie Transportschiffe oder Helikopter gering zu halten. Nach [Woste2010, S.5] ist es sinnvoll, die Wartungsintervalle aller Offshore-Anlagen zusammenzulegen.

Tabelle 2.3.4-VI: : Aspekte und Aufgaben während des Vollbetriebs

Aspekte	Phase – Vollbetrieb
technische	<ul style="list-style-type: none"> -Technische Betriebsführung : <ul style="list-style-type: none"> -Optimierung der Leistungserzeugung und Energieabgabe, -Monitoring / Erfassung der Betriebsdaten -technische Zustandsüberwachung der Anlage(n) („condition monitoring“) -Leistungsüberwachung / Erfassung der Leistungscharakteristik -Anlagenregelung -Gewährleistung der Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> -Elektrische Sicherheit -Abbremsen des Rotors / Bruchsiherheit -Schwingungsüberwachung -Brandschutz -Flugsicherung -Dokumentation -Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen
ökonomische	<ul style="list-style-type: none"> -Abrechnung der Stromeinspeisung -laufende Kostenermittlung für Betrieb, Wartung und Instandhaltung
ökologische	<ul style="list-style-type: none"> -Umweltüberwachung während des Betriebes <ul style="list-style-type: none"> -Langzeituntersuchungen Avifauna, Vogelflug, Rast- und Brutverhalten -Analyse der Auswirkungen auf die Biotopentwicklung, Beeinträchtigung Meeressäuger -Geräuschbelastung/ Schwingungen -Untersuchungen Auskalkung ...
rechtliche	<ul style="list-style-type: none"> -Systemdienstleistungs-Bonus bei technischer Weiterentwicklung -Netzfrequenzhaltung -Blindleistungsbereitstellung -Planung Repowering
Projektmanagement	<ul style="list-style-type: none"> -Logistikmanagement für Wartungsarbeiten -Qualitätskontrolle

Hinzu kommen aufgrund der Vielfalt der mitzuführenden Daten und Informationen steigende Anforderungen an deren Aufbereitung und Dokumentation. Nicht zu vernachlässigende, planerische Aufgabenpakete stellen zudem zum Phasenende, auch wenn für den Offshore-Bereich dazu kaum Erfahrungen vorhanden sind, die Phasen des Repowerings und des Rückbaus des gesamten Windparks dar. Die Anlagen werden nach entsprechender Lebensdauer von ca. 25 Jahren vom Netz genommen, runtergefahren und je nach Phasenanschluss ersetzt oder komplett abgebaut. Nach dem Abschalten der Anlagen sind auch die Arbeitsphasen für den Windpark offiziell beendet.

Die Repowering-Phase

Sofern entsprechend beantragt und entschieden, schließt sich die *Phase des Repowerings* an die des Vollbetriebs des Windparks an, wobei hier durchaus Überlappungen auftreten und wünschenswert sind. Die Nutzungsdauer von WEA's ist beschränkt durch die Erscheinungen Ermüdung, Korrosion, Abnutzung und Veralterung [Hau2008, S.775 ff]. Der Veralterung ist hierbei nicht entgegenzuwirken. Mit Fortschreiten der technischen Entwicklung veraltet jede WEA und wird damit unwirtschaftlich.

Unter Repowering wird hier das, auch vorzeitige, Ersetzen von Altanlagen mit leistungsstärkeren und effizienteren Anlagen verstanden. Im Fokus steht hier die effizientere Nutzung bereits erschlossener Windstandorten. Dies wird zum einen durch größere Anlagen, zum anderen aber auch durch elektronische und strömungsmechanische Optimierung erreicht [BWE2010_3, S. 8 ff]. Repowering hat in den letzten Jahre überwiegend für Onshore-Standorte Bedeutung erlangt. Offshore Vorhaben sind dagegen gerade in Betrieb genommen worden, noch im Bau oder vielfältig noch in der Planungs- bzw. Beantragungsphase. Tabelle 2.4-VII gibt eine Übersicht über die wichtigsten Aufgabenpakete dieser Phase. Für Repowering im Offshore-Bereich liegen daher noch keine Erfahrungen vor, findet aber als Zukunftsstrategie Berücksichtigung. Repowering bedarf einer neuerlichen behördlichen Genehmigung, im Offshore-Bereich durch das BSH. Rechtlich gesehen handelt es sich um ein neues Vorhaben, welches neu genehmigt werden muss. Die Phase der Repowering-Beantragung wird somit noch vor Beendigung der eigentlichen Laufzeit der vorhandenen Windkraftanlagen des Windparks begonnen, um möglichst einen reibungsfreien Übergang zu unterstützen. Neben der Neubeantragung und dem Beibringen entsprechender ökologischer Gutachten bzw. UVP's gehört auch der Abbau der Altanlagen bzw. der Teile der Anlagen, die nicht mehr nutzbar durch die leistungsfähigeren sind, zu den Aufgaben der Repowering-Phase. Zusätzlich ist die Behandlung von bestehenden Netzanschlüssen und Infrastruktureinrichtungen zu regeln. Eine Umweltüberwachung ist, wie in jeder anderen Phase auch, ebenfalls wichtiger Bestandteil des Repowerings.

Tabelle 2.3.4-VII: : Aspekte und Aufgaben in der Phase des Repowering

Aspekte	Phase –Repowering
technische	<ul style="list-style-type: none"> -Abbau der Altanlage(n) -Logistik, Transport, Montage Neuanlagen -Installation , u.U. Fundamentneubau -Ersetzung technologisch höherwertiger Komponenten -Netzanschluss -Neuinbetriebnahme des SCADA-Überwachungssystems, Schulungen -Montage und Funktionsprüfung -Probelauf, technische Übergabe und Abnahme, der neuen Anlagen -Errichtung neuer Kennzeichnung für größere Anlagen
ökonomische	<ul style="list-style-type: none"> -Kostenaufstellung für Neuanlagen, Investitionskosten etc. -Leistungsermittlung Neuanlagen -Beginn der Garantiezeit für Neuanlagen -Neukalkulation der Rücklagen für Rückbau -Kalkulation Fördergelder für Repowering --Aufstellung Finanzierungsplan
ökologische	<ul style="list-style-type: none"> -Umweltüberwachung während des Abbaus der Altanlagen und Errichtung der Neuanlagen -Geräuschemission -Sedimentfahnen, -Bodenerosion -Auswirkungen höherer Anlagen auf Vogelflug und Landschaftsbild
rechtliche	<ul style="list-style-type: none"> -Neubeantragung des Windparks mit allen Unterlagen und Gutachten beim BSH -Vertragsabschlüsse zwischen Herstellern, Betreibern und Eigentümer-Konsortien Öffentlichkeitsarbeit für Repowering-Maßnahmen
Projektmanagement	<ul style="list-style-type: none"> -Endabnahme der Neuanlage

Die Rückbauphase

Je nachdem, ob zuvor ein Repowering des Offshore-Windparks vorgenommen wurde oder nicht, schließt sich die finale Phase des Rückbaus an die des Vollbetriebs an. Die zu erwartende Lebensdauer einer WEA bestimmt den Zeitpunkt ihres Rückbaus. In der Rückbauphase erfolgt der Abbau der Anlagen, der Rückbau der Fundamente und der zuvor eingebrachten Netzinfrastruktur ebenso wie alle strukturtechnischen Maßnahmen, die auf den Betrieb des Windparks fokussiert waren [Heier2009, S.436]. Dazu zählen auch alle Hilfseinrichtungen wie Plattformen zum Anlegen von Schiffen für Wartung und Instandhaltung. Windenergieanlagen bestehen heute hauptsächlich aus Metall, und Glasfaserverbundstoffen (GFK). Metalle wie Stahl und Kupfer lassen sich für andere Konstruktionen wiederverwenden, wobei Beton und Glasfasern beispielsweise im Straßenbau als Aufschüttung genutzt werden [BWE2010_2].

Ähnlich dem Repowering liegen auch für den Rückbau von Offshore-Windparks und die damit verbundenen Abläufe bisher keine fundierten Erfahrungen für Anlagen innerhalb der deutschen Küstenbereiche bzw. AWZ vor. Die durch das BSH erlassenen Genehmigungen für Offshore-Windenergieanlagen enthalten Auflagen, die zum Nachweis einer Sicherheitsleistung für die Sicherstellung des Rückbaus verpflichten [BSH2011]. Ziel dieses Nachweises ist nach §12 Abs.3 SeeAnIV: „...den Rückbau abzusichern und im Falle der Zahlungsunfähigkeit des Betreibers sicherzustellen, dass der Rückbau nicht auf Kosten der öffentlichen Hand erfolgen muss“. Durch das BSH werden zudem Vorgaben für die Umweltüberwachung innerhalb der Rückbauphase gemacht. Diese entsprechen im Grunde denen der Realisierungsphase, setzen allerdings einen speziellen Schwerpunkt auf die Trübung des Gewässers durch Sedimentfahnen, wie sie beim Rückbau der Fundamente und dem Heben der Kabel bzw. beim Verankern von Fahrzeugen oder Maschinen auf dem Meeresgrund verstärkt auftreten können.

Tabelle 2.3.4-VIII: : Aspekte und Aufgaben in der Rückbau-Phase

Aspekte	Phase – Rückbau
technische	- Durchführung aller Rückbaumaßnahmen -WEA's, Fundamente -Infrastruktur, Sicherungsanlagen -Durchführung von Entsorgung und / oder Recycling - ‚Wiederherstellung‘ Meeresboden
ökonomische	-Ende der Garantiezeit, Leistungsende -Endabrechnung Kosten für Rückbau, Entsorgung und / oder Recycling
ökologische	-Umweltüberwachung während des Abbaus -Trübung des Wassers durch Sedimentfahnen -Bodenerosion durch Fundamentrückbau -Geräuschemission durch Abbau und Baustellenverkehr -Kabelheben
rechtliche	-Einreichung von Gutachten zum Vertragsende -Endabnahme des ehemaligen Nutzungsgebietes -Aufhebung der Verbindlichkeiten zwischen Zulieferern, Betreibern und Eigentümern
Projektmanagement	-Endabnahme des Überlassungsgebietes

Mit der offiziellen Abnahme der Rückbauphase findet das Projekt ‚Offshore-Windpark‘ sein rechtlich verbindliches Ende.

Diese beschriebenen Phasen entsprechen einer zeitlichen Abfolge innerhalb eines Windenergieprojektes, die durch einen zunehmenden Grad an Konkretisierung des Planungsvorhabens und damit steigenden Realisierungschancen gekennzeichnet sind. Eine grobe zeitliche Abfolge der einzelnen Arbeitsaufgaben ist in Abbildung 13 wiedergegeben. Das Fließbild verdeutlicht eine Übersicht über die Beziehungen zwischen der Prozess- und Teilprozessebene. Gemäß der POWER-Fallstudie [POWER2007, S.2 ff] lässt sich daraus eine mögliche Vorgehensweise zur Durchführung von Offshore-Windpark-Projekten ableiten, deren wichtige Maßgabe neben Komplexitätsreduktion und Wiederholbarkeit, vor allem die angesprochene Suche nach einem Parallelisieren von Prozessschritten zur Beschleunigung der Arbeitsschritte innerhalb von Planung und Realisierung ist. So lassen sich beispielsweise in der detaillierten Projektplanung verschiedene Aufgabenpakete zur Schaffung von Voraussetzungen für das Ausschreibungsverfahren und die Auftragsvergabe parallel bearbeiten. Dazu ist allerdings die Klärung der Zuständigkeit für das Prozessmanagement und die Fixierung eines prozessführenden Systems gleich zu Beginn des OWP-Vorhabens eine wichtige Voraussetzung.

Gemäß [POWER2007, S.5] besteht ein wesentlicher Vorteil in der Bündelung des gesamten Genehmigungsverfahrens in *eine* Genehmigungsbehörde, wie sie inzwischen durch das BSH erfolgt ist. Weiterhin lässt sich erkennen, dass sich Planungsschritte an Land und auf See, wie gefordert, parallel ausführen lassen. Die Bearbeitung von Genehmigungsverfahren, die Standortuntersuchung und die Festlegung der funktionalen Anforderungen wichtiger Teile des Windparks lassen sich, wie im Flussbild ersichtlich, ebenfalls parallel durchführen.

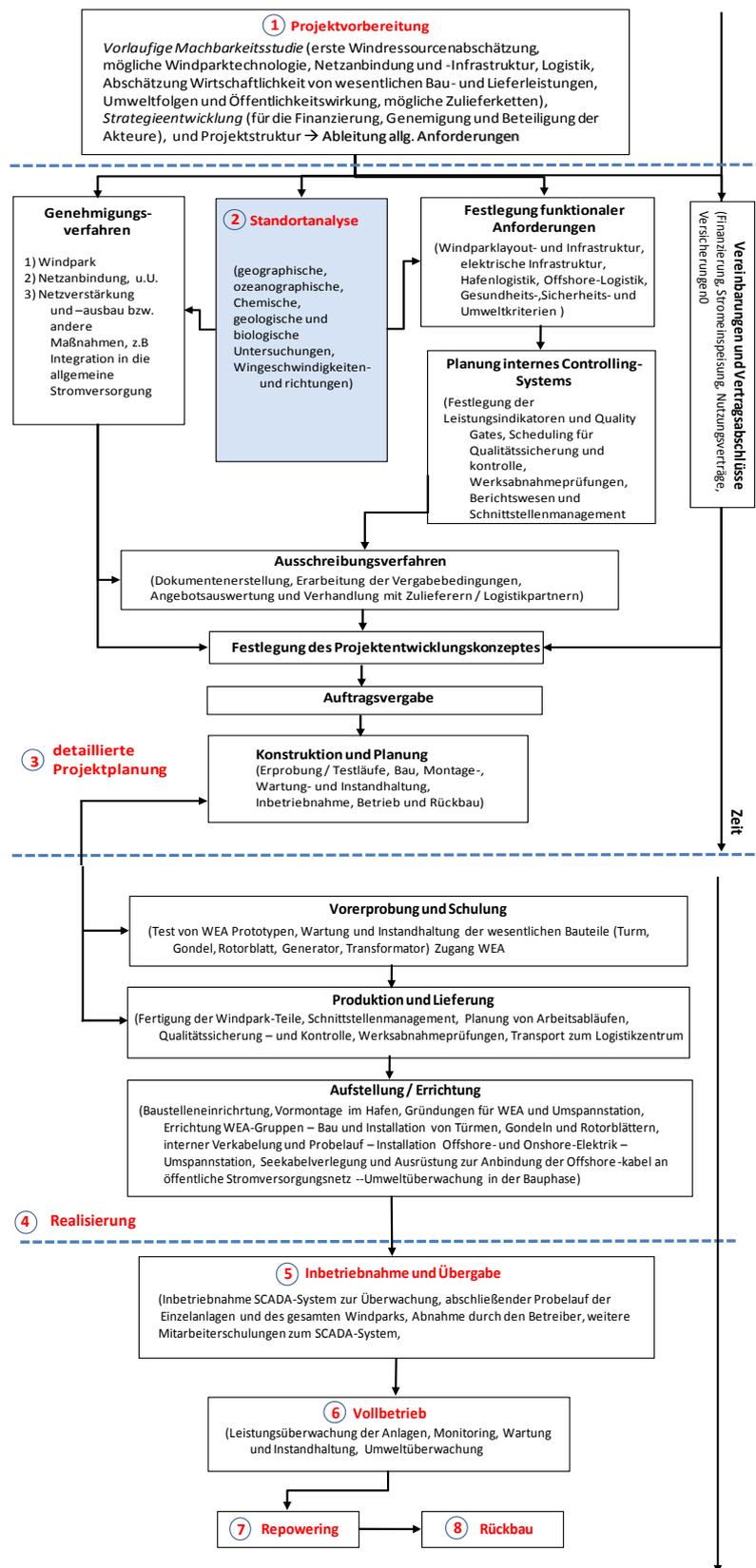


Abbildung 13: Ablauf der Hauptprozesse und der wesentlichen Arbeitsaufgaben, nach [POWER2007, S.4]

Ein weiteres, wesentliches Ziel der versuchten Formalisierung des Ablaufs besteht neben den Parallelisierungsbestrebungen im Zuordnen von Aufgabenpaketen zum Ort der Umsetzung. Insbesondere in der Realisierungsphase erhält dieser Aspekt wichtige Bedeutung, da sich hier

eklatante Unterschiede bei der Kostenverteilung finden ließen. Innerhalb der Studie wird davon ausgegangen, das sich die Kosten von Werk zu Hafen und auf See im Verhältnis 1:3:5 wiedergeben lassen. Arbeiten auf See können demnach bis zu zehnmal teurer ausfallen als Prozesse im Werk [POWER2007, S.6 ff]. Diese Zahlen verdeutlichen die qualitativen Einsparungspotentiale bezogen auf die entstehenden Kosten.

Nicht alle Prozesse lassen sich sinnvoll auf Häfen oder Werke an Land verlagern. Wie bereits in den Anforderungen ausgeführt, spielen Fragen des Transportes und der aufzuwendenden Zeiten ebenfalls gewichtige Rollen. Andere Vorgänge wie das Kabelverlegen zur Schaffung notwendiger Netz-Infrastruktur sind, bedingt durch die Standorte in der See, nicht verlagerbar. Eine entsprechende Betrachtung der Arbeitsumgebungen wird innerhalb der Modellbildung in Kapitel 4 detaillierter aufgegriffen.

2.5 Lebenszyklusbetrachtungen von Offshore Windparks

Zeitlicher Ablauf und Phasenzuordnung von Aufgabenpaketen besitzen eine deutliche Ähnlichkeit zu den aus der Systemtheorie bekannten und diskutierten Lebenszyklusbetrachtungen [Herrmann2010, S.63]. Gegenstand dieser Betrachtungen sind alle Phasen eines *Produktlebens* hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Auswirkungen sowie möglicher Verbesserungspotentiale in der Summenbetrachtung. Für die Autorin ergeben sich erkennbare Analogien, die im folgenden Kapitel näher beschrieben und auf den Kontext von Offshore-Windparks übertragen werden. Das Konzept der Lebenszyklen und deren IT-gestütztes Management bilden, wie durch den Titel der vorliegenden Arbeit bereits vorgegeben, eines der wesentlichsten Grundpfeiler des unter Kapitel 4 und 5 entwickelten Modells.

2.5.1 Lebenszyklusphasen

Das Konzept der Lebenszyklen basiert ganz allgemein auf der Annahme, das künstliche Systeme analog natürlicher Organismen einen Lebenszyklus mit unterschiedlichen Stadien durchlaufen [Lübke2006, S.64 ff]. Zyklen beschreiben periodische Prozesse, die sowohl linearen als auch kreisförmigen Verläufen folgen können. Diese Zyklen lassen sich in Phasen unterteilen, deren Abfolge unter idealtypischer Betrachtung konstant und wiederholbar verläuft. Sie repräsentieren somit ein zeitliches und logisches Modell basierend auf allgemeingültigen Gestaltungsrichtlinien mit produktspezifischem Ausgestaltungsrahmen. Laut *Kölscheid* wird der Lebenszyklus wie folgt definiert:

„Der Lebenszyklus einer Komponente beginnt mit den Prozessen, die zur Realisierung seiner Funktion notwendig sind und endet mit den Prozessen, die die ursprüngliche Funktion der Komponente dauerhaft aufheben. Die Zeit von Beginn bis Ende eines Lebenszyklus wird als Lebensdauer bezeichnet.“ [Kölscheid1999, S.39]

Lebensphasen- oder auch Lebenszykluskonzepte zielen darauf ab, den Zeitbezug von Vorgängen darzustellen und anhand des Verlaufs relevanter Zustandsgrößen charakteristische Bereiche zu identifizieren. Den so identifizierten Bereichen können in einem weiteren Schritt unterstützende Hilfsmittel wie Methoden, Betriebsmittel, Ressourcen oder auch organisatorische Maßnahmen zugeordnet werden [Herrmann2010, S.63]. In der Literatur lassen sich etliche Lebenszyklusmodelle finden, die sich allgemein in lineare und zyklische Modellvarianten unterscheiden. Lineare Modelle beschreiben den Lebenszyklus durch zeitlich-sequentiell folgende und sachlogisch verknüpfte Lebenszyklusphasen. Alle Aktivitäten, die mit dem Produkt verknüpft sind, können Phasen, und innerhalb der Phasen Prozessen zugeordnet werden. Dieser Modellansatz soll in den weiteren Ausführungen als *Produktlebenszyklus* bezeichnet werden. Dem betrachteten Bewertungsrahmen liegt hierbei eine prozessorientierte Ablaufsicht zugrunde, die sich auf Produkte, auf Komponenten des Gesamtproduktes oder auch ein *Produktprojekt* anwenden lässt. Die durchlaufenden Produktlebenszyklen entsprechen den Anforderungen der innerhalb der allgemeinen Systemtheorie definierten Lebenszyklen. Ein System durchläuft, wie bereits erwähnt, ebenfalls verschiedene

Phasen des Werdens, Bestehens und Vergehens [Herrmann2010, S.69]. Im Laufe der Zeit ändern sich wichtige Zustandsgrößen dieses Systems und führen beim Unterschreiten kritischer Werte zu seinem Ende. Im Gegensatz dazu steht bei den zyklischen Modellen nicht das Produkt sondern die Betrachtung der Material- und Stoffkreisläufe im Vordergrund. Diese Modelle beschreiben beispielsweise die Rückgewinnung von Werkstoffen und Energie im Sinne von Kreislaufwirtschaftskonzepten. [Mateika2005, S.12]. Die stofflichen und energetischen Kreisläufe, die durch die letztgenannten, zyklischen Modelle beschrieben werden, werden häufig auch unter den Begriffen ‚Ökobilanz‘ oder auch ‚Lebensweganalysen‘ [Herrmann2010, S.95] zusammengefasst. Sie sind nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Auch der Produktlebenszyklus wird in der Literatur nicht eindeutig verwendet, wobei sich zwei wesentliche Betrachtungsbereiche unterscheiden lassen. Der eine Themenbereich bezieht sich auf den Produkt-Markt-Lebenszyklus [Weiß2006, S.134], der andere und in dieser Arbeit referenzierte, fokussiert dagegen auf den Produkt-Nutzungs-Zyklus und deren Phasen, angefangen von der Planung und Entwicklung von Produkten und ihren zugehörigen Betriebsmitteln und Ressourcen, über deren Fertigungs- und Montageprozesse inklusive deren Herstellung sowie Nutzung bis hin zum Recycling [Abramovici et al2008, S.532 ff], [Karcher2006, S.32], [Eigner,Stelzer2009]. Eine Erweiterung der Phasen des integrierten Produktlebenszyklus durch einen sogenannten Servicezyklus findet sich bei *Kemminer* in [Kemminer1999]. Eine Begründung für den Zusatz wird durch den im Vergleich zu anderen Lebenszyklusphasen langen Verlauf des Servicezyklus gesehen. Gerade im Umfeld der hier betrachteten Offshore-Windparks erhält dieser Zyklus durch die typische, lange Laufzeit eine erhebliche Bedeutung, ähnlich anderen Großanlagen wie Kraftwerken und Öl-Plattformen. Der Servicezyklus für OWP's startet mit der Übergabe des Produktes, verläuft zeitlich parallel zum Nutzungszyklus und überdauert diesen, da auch nach Marktaustritt noch Serviceverpflichtungen bestehen können. Er findet innerhalb der Modellbildung in den MRO (Maintenance, Repair and Overhaul) Prozessen Berücksichtigung.

Hinsichtlich einer IT-technischen Erörterung umfasst der Begriff ‚Produktlebenszyklus‘ die Verbindung von Daten und Informationen, die während der einzelnen Phasen entstehen bzw. sich im zeitlichen Verlauf ändern und stellt dadurch die ganzheitliche Sichtweise auf das Produkt in den Betrachtungsmittelpunkt. Laut [Schuh, et al2008] bezeichnet der ‚Produktlebenszyklus‘ somit die Summe der einzelnen Phasen, die ein Produkt entlang der zeitlichen Dimension durchläuft. Die drei wesentlichsten, auf das Produkt bezogenen Phasen lassen sich unter dem gesonderten Aspekt der Nachhaltigkeit in die:

- Entstehungsphase – *Design for Life Cycle*,
- Nutzungsphase – *Life Time Management* und die
- Entsorgungsphase – *Design for Recycling*

zusammenfassen. Hier von einem Zyklus zu sprechen erhält seine Berechtigung auch daher, da heute das Recycling die Entwicklung beeinflusst und auch, weil es keine einseitige Bewegung vom Produkt zum Kunden mehr gibt. Lange bevor ein Produkt aus dem Verkehr gezogen wird, muss die Entwicklung des Folgeproduktes abgeschlossen sein [Sendler2009, S.9 ff]. Für die Betrachtung von OWP-Produkten bedeutet dies zum einen, dass bereits bei der Projektplanung entsprechende Rückbau und Recycling-Konzepte erstellt werden müssen. Die Entwicklung eines ‚Folgeproduktes‘ wird in diesem Kontext unter dem bereits in Kapitel 2.4 dargelegten Repowering zusammengefasst. Auf das Produkt OWP bezogen lassen sich die in Abbildung 14 dargestellten Lebenszyklusphasen ableiten. Für Offshore-Windparks finden sich einige Unterschiede in der Fokussierung der Lebenszyklusphasen. Im Gegensatz zu konsumorientierten Produkten beliefern Firmen im Umfeld der Offshore-Windenergie keinen anonymen Massenmarkt sondern Einzelkunden mit sehr ‚kunden-, bzw. projektindividuellen Produkten. Lebenszyklusphasen erhalten hier, bedingt durch die Komplexität und lange Lebensdauer, in erster Linie eine andere zeitliche Ausdehnung. Hinzu kommen neue, phasenübergreifende, inhaltliche Schwerpunkte wie das ‚Behörden Engineering‘. Für jede einzelne OWP-Anlage müssen, ähnlich wie bei Raffinerien oder Kraftwerken, diese

zeitintensiven Prozesse neu durchlaufen werden. In Abbildung 14 wird der phasenübergreifenden Charakter genehmigungsrelevanter Aktivitäten anhand der zugeordneten Aufgabenpakete verdeutlicht. Ein Projekt Offshore-Windpark enthält eine spezifische *Standortanalyse-Phase*. Die hier zu erbringenden Arbeitsergebnisse bedingen die Weiterführung oder das Ende des Gesamtsystems und damit die Lebensdauer des Produktes. Hinzu kommen aufgrund der zeitlichen Ausdehnung und Kostenintensität eine spezifische Inbetriebnahme- und Übergabephase. Ein weiterer Differenzierungsaspekt ist in der höheren Gewichtung der Qualitätsorientierung zu sehen. Bei Betriebsphasen von 20 und mehr Jahren, treten Qualitätsmängel häufiger erst nach dem Ablauf der bei anderen Produkten üblichen Gewährleistungspflicht auf [Elwert2007, S.3].

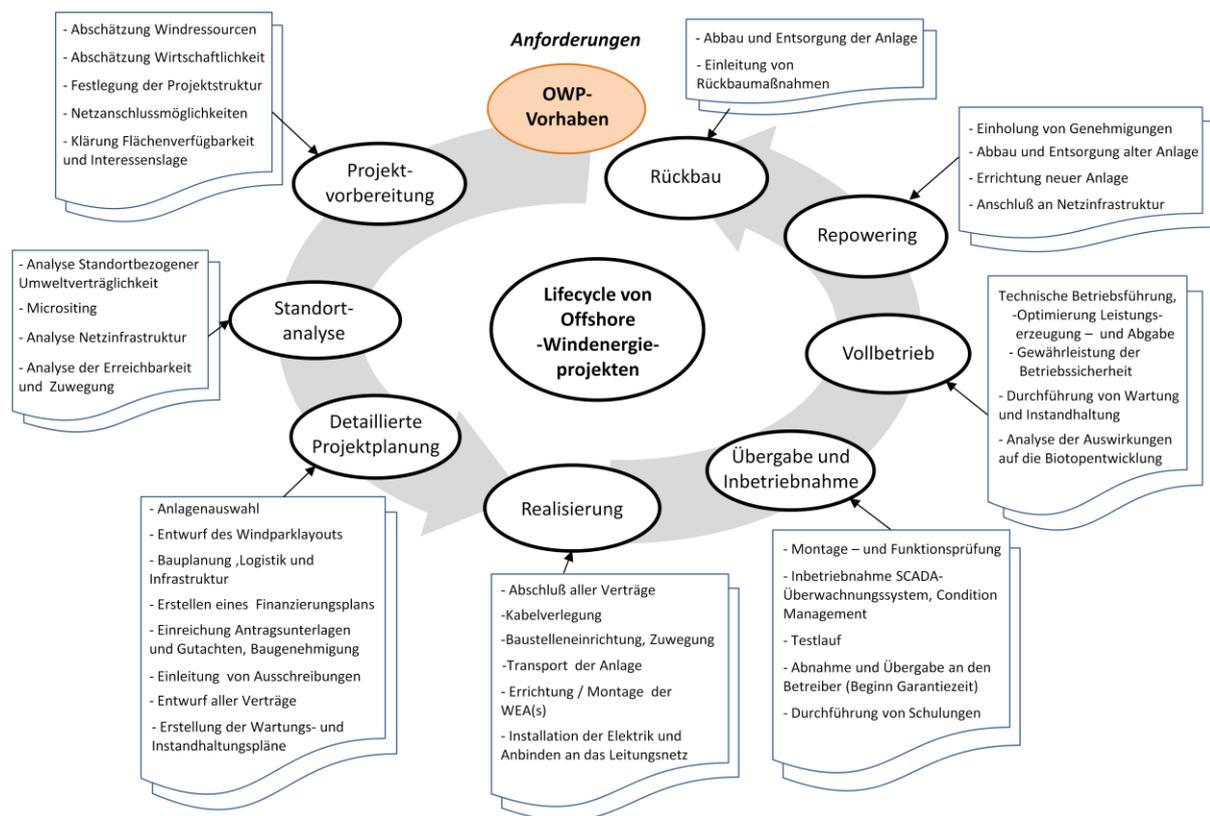


Abbildung 14: *Lebenszyklus eines Offshore-Windparks, basierend auf [POWER2007] und [dena2010]*

Neben dem langen Service-Zyklus muss insbesondere bei den schwer zugänglichen Offshore-Windparks ein Schwerpunkt auf die Wartung und Instandhaltung als Teil der Betriebsphase gelegt werden. *Asset Management* bzw. Anlagenmanagement setzen in der Literatur häufig einen Schwerpunkt auf diese Lebenszyklusphase. Sie umfassen alle Tätigkeiten und Maßnahmen, die dazu dienen, den Wert der Anlage zu erhalten oder zu steigern und Betriebsabläufe zu optimieren [Kienbaum2008, S.2]. Dazu gehören die Betriebsführung, Prozessführung, Verfahrensoptimierung sowie die werterhaltende und möglichst wertsteigernde Instandhaltung. Aufgrund der hohen Kosten, die mit Wartung und Instandhaltung vor allem im Offshore-Bereich verbunden sind, wird hier insbesondere auf die Optimierung zwischen dem zeitlichen Aufwand für die Instandhaltung und Ertüchtigung der Anlage einerseits, und der möglichst großen Verfügbarkeit der Anlage andererseits, fokussiert [Stalloch,Kaiser2009]. Eine zeitliche Phasenverschiebung des Lebenszyklus von Offshore Windparks im Vergleich zu konsumorientierten Produkten zieht auch eine Verschiebung der Kosten, vor allem aber die Auswirkungen der Kostenverteilung und – Einflussnahme nach sich. Der schnelle Zugriff auf aktuelle Informationen über Planung und Zustand aller Anlagen des Windparks, deren Leistungserbringung, über Abweichungen vom Sollzustand und über eingeleitete Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen, ist von entscheidender Bedeutung für eine effiziente und kostengünstige Lebenszyklusbetrachtung. In jeder Lebenszyklusphase werden durch getroffene

Maßnahmen nicht nur die in ihr anfallenden Kosten beeinflusst, sondern ebenfalls die in den Folgephasen zu tätigen Aufwände. Das nachfolgende Kapitel stellt, zum besseren Verständnis des hier verfolgten Gesamtanliegens, die Kostenverteilung sogenannter konsumorientierter den individualisierten Einzelprodukte gegenüber und zeigt qualitativ deren Einflussnahmemöglichkeiten.

2.5.2 lebenszyklusbezogene Kostenverteilung

Lebenszyklusbetrachtungen, wie hier vorgenommen, haben zum einen die Qualität des Produktes und seine ökologischen und sozialen Auswirkungen im Auge, zum anderen legen sie einen deutlichen Fokus auf die Minimierung der anfallenden Kosten durch Ergreifung spezifischer, dem Lebenszyklus angepassten Maßnahmen. Maßnahmen sind nach *Kienbaum* dann effektiv, wenn sie geeignet sind, bestimmte vorgegebene Ziele zu erreichen. Effektives IT Management über alle Lebenszyklusphasen hinweg bedeutet nach Ansicht der Autorin, die „*richtigen Dinge zu tun. Die falschen Dinge effizient zu tun ist immer Verschwendung*“. Maßnahmen sind demzufolge dann effizient, „*wenn bei der Durchführung keine Verschwendung auftritt*“ [www.kienbaum.de]. Verschwendung wird hier auf Zeit, natürliche Ressourcen wie Wasser, Bodenschätze und auf Kosten bezogen. Letztlich stehen die drei genannten zueinander in Beziehung. Sie bedingen sich bekannter Maßen gegenseitig.

Die Betrachtung des Lebensweges eines Produktes unter Kostenaspekten ist eng mit dem Ansatz der Lebenszyklen und der Ermittlung der Kosten über die einzelnen Phasen verbunden. In der Literatur finden sich hierfür eine Vielzahl von Synonymen wie beispielsweise Lebenszykluskostenrechnung [*Zehbold1996*], Life Cycle Cost Analysis [*Blanchard,Fabrycky1991*], oder auch Lebenszyklusrechnung bei [*Pfohl2002*]. Häufig wird auch der ursprüngliche, in den USA geprägte Begriff des Life Cycle Costing gebraucht [*Herrmann2010*, S. 132 ff]. Bezogen auf die VDI-Richtlinie 2884 zielt das Life Cycle Costing darauf ab „[...] *die gesamten Kosten und Erlöse eines Systems und der damit verbundenen Aktivitäten und Prozesse, die über dessen Lebenszyklus entstehen, zu optimieren.*“ [VDI 2884:2005-12]. Diese Definition liegt auch dem Modell vom objektspezifischen und periodenübergreifenden Lebenszyklus zu Grunde, welches eine ökonomische, hier qualitative, Betrachtung des Objektes „von der Wiege bis zur Bahre“ ermöglicht. Die Betrachtung von Kosten entlang der Lebensphasen technischer Produkte ist besonders dann relevant, wenn der Anteil der Kosten in der Nutzungs- und Entsorgungsphase, die so genannten Folgekosten, im Verhältnis zu den Anschaffungskosten hoch sind [*Herrmann2010*, S.131]. In einer ganzheitlichen, lebenszyklusorientierten Betrachtung müssen neben den Folgekosten auch die Auswirkungen eines Produktes über den Lebenszyklus hinaus bezüglich aller Nachhaltigkeitsproblematik berücksichtigt werden. Dies erfordert Wissen über die Existenz und das Ausmaß möglicher ökonomischer, ökologischer und sozialer Folgen in den einzelnen Lebenszyklusphasen und deren Rückwirkung auf Vorgänger- bzw. Folgezyklen. Idealerweise steht dieses Wissen bereits in der Projektvorbereitungs- und Planungsphase zur Verfügung [*Monsour06*]. Diese Anforderung bezieht sich sowohl auf die als konsumorientiert betitelten Produkte als auch auf die projektorientierten Einzelprodukte. Für beide gilt:

- Da die größten Einflussmöglichkeiten auf das Produkt und die Auswirkungen auf die folgenden Lebenszyklusphasen in der Produkt- bzw. Projektplanung und – Entwicklung bestehen, muss hier die Berücksichtigung aller nachfolgenden Lebenszyklusphasen sichergestellt werden [*Mateika2005*, S.4].
- Der lange Zeitraum zwischen der Festlegung des Produktkonzeptes bzw. der Projektvorbereitung und -Planung und dem Auftreten möglicher Auswirkungen führt zu Unsicherheiten innerhalb der Planungsphasen [*Herrmann2010*, S. 260]. Dies gilt auch für Unsicherheiten bezogen auf ökologische, ökonomische, und im Falle von Offshore-Windparks auch rechtliche, Auswirkungen. Es müssen Wege gefunden werden, hierfür gesicherte Abschätzungen liefern zu können.
- Die verschiedenen, nicht vernachlässigbaren Aspekte sind u.U. gegenläufig, das heißt die Berücksichtigung aller Anforderungen führt zwangsläufig zu Konflikten. So stehen den ökonomischen Rahmenbedingungen und Zielstellungen nicht selten die ökologischen Auswirkungen gegenüber.

- Daraus folgt, dass über einen Lebenszyklus betrachtet die Ziele verschiedenster interner und externer Akteure Berücksichtigung finden müssen.

Innerhalb der Produktplanung werden somit nicht nur die wesentlichen Produkteigenschaften definiert, sondern auch ein Hauptteil der späteren Lebenszykluskosten bestimmt. Und nicht nur auf die ökonomischen Aspekte, sondern auch auf die ökologischen wird hier entscheidend Einfluss genommen. So wird in der Projektplanung und Produktentstehung auch gleichzeitig der größte Teil der umweltbezogenen Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus festgelegt. Dies gilt, wie schon eingangs erwähnt, in besonderem Maße für serviceintensive Individualprodukte, zu denen Windparks allgemein und Offshore im speziellen gehören. Der Fokus liegt dabei auf einer Investitions- und Projektplanung, die Kosten optimiert und eine Effizienzsteigerung innerhalb der Betriebsphase durch ein effektives Management der Wartung- und Instandhaltung ermöglicht. Ziel ist die Sicherstellung einer hohen Anlagenverfügbarkeit bei gleichzeitig kostenreduziertem Instandhaltungsbudget [Kienbaum2008].

Zentrale Anforderung an eine IT-Unterstützung ist demnach die zeitgerechte Sicherstellung der *Aktualität, Vollständigkeit und Verfügbarkeit* aller benötigten Informationen vom Engineering bis hin zum Betrieb und der Verschrottung. Dies betrifft sowohl die Kostenerfassung über den Produktlebenszyklus beim Anbieter als auch die Kosten des ausgelieferten Produktes bzw. der Anlage.

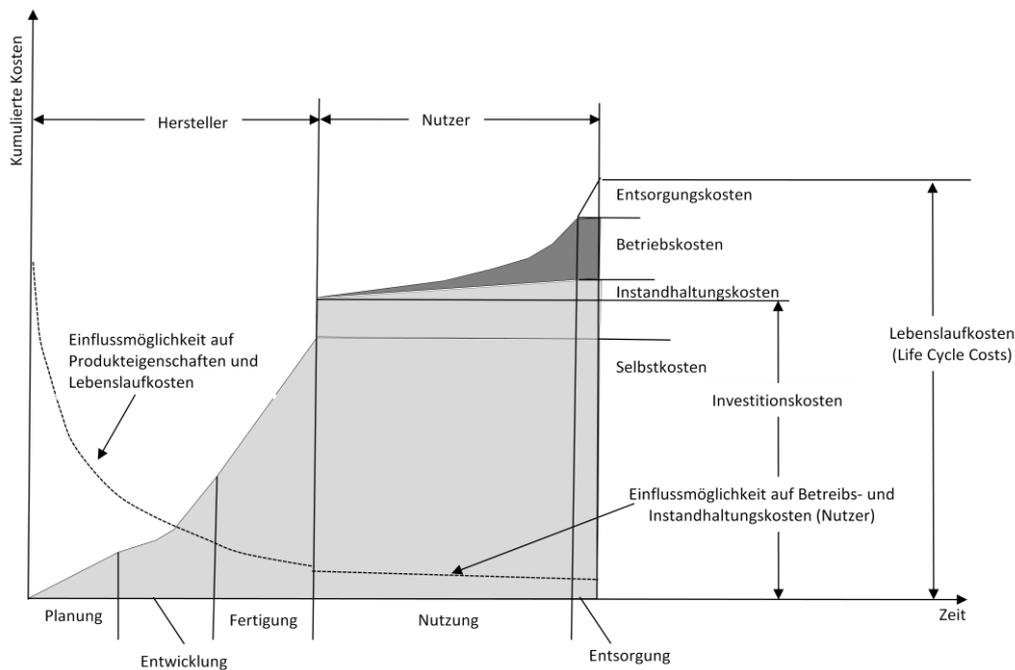


Abbildung 15: *Kostenfestlegung und Kostenentstehung eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus nach: [Ehrlenspiel, Kiewert, Lindemann, 2007, S.13]*

Abbildung 15 gibt die Kostenverteilung eines Produktes bezogen auf den Lebenszyklus wieder. Für konsumorientierte Produkte gilt, dass Kostenfestlegung und Kostenanfall im Lebenszyklus weit auseinander liegen. Nach [Schild2005, S.136] kann davon ausgegangen werden, dass bei Produktionsstart innerhalb der Realisierungsphase zwischen 70-95% der Selbstkosten eines Produktes festgelegt sind, wobei zu diesem Zeitpunkt nur ein Bruchteil der Kosten bereits angefallen ist. Abbildung 16 dokumentiert den Zusammenhang zwischen Beeinflussbarkeit, Kostenfestlegung und –Auftreten im Zeitverlauf für diese Produktart. Für Offshore Windparks, ebenso wie für andere individualisierte Einzelprodukte mit Projektcharakter, lässt sich eine Phasenverschiebung bezüglich der anfallenden Kosten, bei ähnlichen Verläufen von Kostenfestlegung und Beeinflussung, feststellen. Wie in Abbildung 17 grob verdeutlicht, liegen Kostenfestlegung und Anfall der Kosten weitaus dichter zusammen als bei den zuvor dargestellten ‚klassischen‘ Produkten. Die Gründe sind

hier in den sehr hohen Aufwendungen für Planung, Standortanalyse und Realisierung von OWP's zu finden, die alle der Entstehungsphase zugerechnet werden [DCTI2009, S.38]. Innerhalb der Betriebsphase fallen für Wartung und Instandhaltung ebenfalls umfangreiche Kosten an, wobei diese zum Ende der Laufzeit aufgrund von Alterung und Ermüdung zunehmen. Die Kosten für Rückbau und Entsorgung lassen sich nach Ansicht der Autorin bezogen auf die Kostenverteilung als ähnlich betrachten. Ein zusätzlicher Aspekt ergibt sich bei dieser Art von Produkten aufgrund der höheren Veränderungsmöglichkeit der bestimmenden Einflussgrößen, die hinreichende Beachtung finden müssen, da diese kostenentscheidende Auswirkungen haben können. Als Beispiel seien hier veränderte Umgebungsparameter wie Witterung bzw. neue ökologische Erkenntnisse genannt.

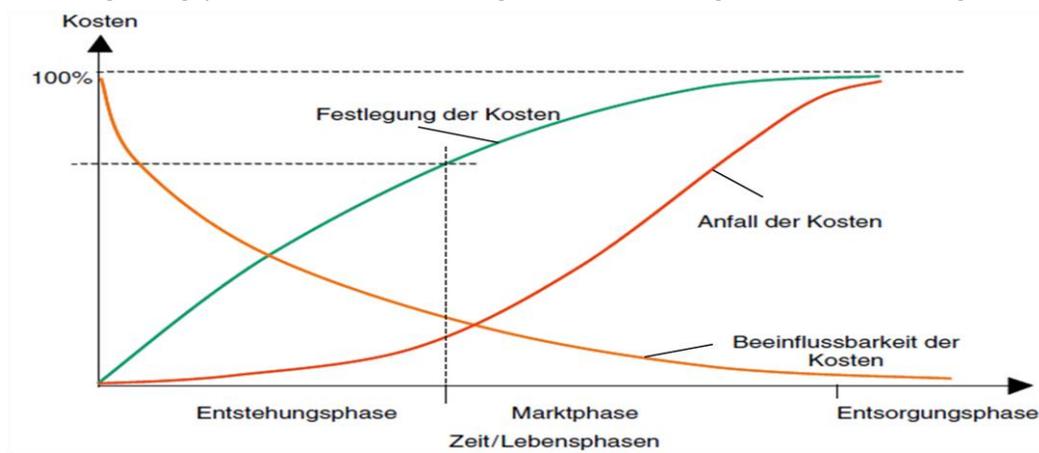


Abbildung 16: Festlegung, Beeinflussung und Anfall der Lebenszykluskosten [Schild2005, S.44]

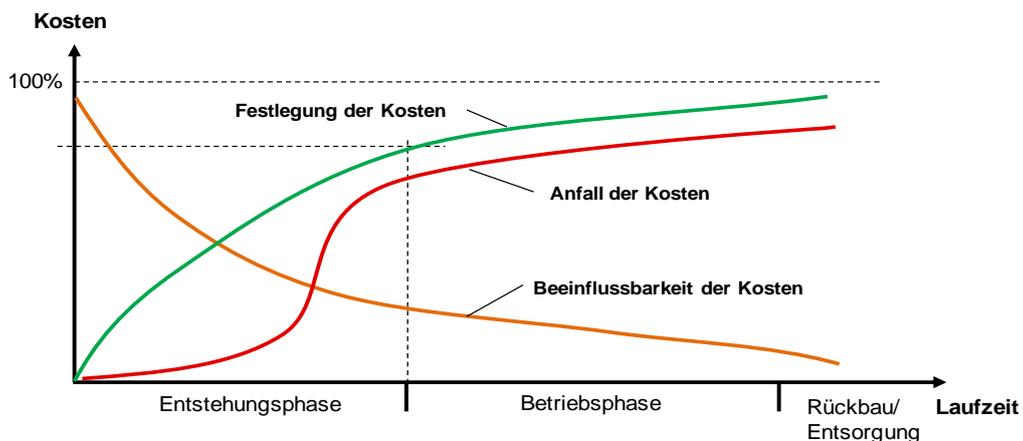


Abbildung 17: Festlegung, Beeinflussung und Anfall der Lebenszykluskosten für Produktprojekte, adaptiert nach [Schild2005, S. 44]

Die dargestellten Kurven verdeutlichen, dass die Kosten am stärksten in der Planungsphase und abgestuft in der Realisierungsphase zu beeinflussen sind. Probleme einer Beeinflussung der Kurvenverläufe im OWP-Umfeld bestehen vor allem darin, dass keine vollständige Determinierung der gesamten Projektstruktur und keine vollständige Festlegung der zu berücksichtigenden Einflussfaktoren zu Beginn des Projektes Offshore Windpark gegeben sind. Es sind weder alle Kostenpotentiale und Ressourcen festgelegt und beschafft, noch sind alle Prozesse definiert und auch das herzustellende Produkt *Offshore Windpark* ist nicht abschließend entwickelt. Ebenso sind Genehmigungen noch nicht erfolgt und Verträge über die Zulieferung bestimmter Komponenten anfangs noch nicht geschlossen. Die bestehenden Unsicherheiten können erst im Laufe des Projektes durch eine Vielzahl an Maßnahmen verringert werden. Nach [Schild2005, S. 131] gilt auch hier, je komplexer, neuartiger und weniger determiniert ein Produkt ist, „...umso mehr alternative

Lösungsmöglichkeiten und Verbesserungspotentiale im Vergleich zur nach derzeitigem Erkenntnisstand möglichen Vorgehensweise gibt es.“

Aufgrund der dargestellten Kostenstruktur- und Beeinflussungsmöglichkeit besteht für das zu entwickelnde Modell eine wesentliche Zielsetzung in der Kostensenkung in den Lebenszyklusphasen der Produkt(Project-)entstehung und den nachgelagerten, durch sie beeinflussten Bereichen. Ein entscheidender Faktor zur Verbesserung der Einflussnahme ist dabei die Informationskultur innerhalb des Projektes und der beteiligten Unternehmen. Sind Informationen in allen Phasen für alle Beteiligten abrufbar, lassen sich bei der Entwicklung zahlreiche Abhängigkeiten berücksichtigen, die für die Gestaltung effizienter Prozesse von Bedeutung sind. Dies gilt verstärkt für die in Einzelprojekten realisierten, kundenspezifischen Produkte. Die Forderung nach Kostensenkung und Nachhaltigkeit ist daher häufig mit der Verkürzung der Durchlaufzeiten von Entwicklungsvorhaben verbunden [Sendler2009, S,54 ff], die die effiziente Prozessgestaltung einschließen. Eine effiziente Prozessgestaltung muss auf die hier thematisierte angemessene IT-Unterstützung zurückgreifen können, die sowohl die geforderte Informationsbereitstellung in allen Phasen ermöglicht als auch alle für die Durchführung des Projekts erforderlichen Daten integrativ abbildet.

3 Lebenszyklusmanagement von Offshore- Windparks

Die Unterstützung des Lebenszyklusmanagements von Offshore-Windparks ist eine der wesentlichsten Zielstellungen der vorliegenden Arbeit und Grundlage des abzuleitenden Modells. Um hier einen klaren, auf den Lebenszyklus und die Lebenszyklusphasen des OWP gerichteten Bezugsrahmen schaffen zu können, ist im Vorfeld eine Klärung und Abgrenzung der für das weitere Verständnis wichtigsten Begrifflichkeiten nötig. Nicht alle Begriffe lassen eine völlig redundanzfreie Beschreibung zu, da gerade im Umfeld des betrachteten Diskursbereiches keine umfangreichen Definitionen in der Literatur zu finden sind. Aufbauend auf dieser Klärung sollen die Begriffe und methodischen Ansätze auf den Offshore-Windenergie-Kontext übertragen und ein entsprechender modelltheoretischer Bezugsrahmen für die Konzeptphase vorbereitet werden. Die in den folgenden Abschnitten getroffenen Einordnungen erheben keinen Allgemeingültigkeitsanspruch. Sie dienen lediglich zur Verständigung und Veranschaulichung einer möglichen, in der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Betrachtungsweise, mit dem Ziel, einer besseren IT-Unterstützung näher zu kommen.

3.1 Begriffseinordnung und Abgrenzung

Lebenszyklusbetrachtungen sind im klassischen Sinne immer an ein Produkt gebunden, wobei Produkte sehr verschiedene, individuelle Ausprägungen und somit auch Lebenszyklen besitzen können. Im Sprachgebrauch wird ein **Produkt** allgemein als Erzeugnis oder Ergebnis eines Tätigkeitsvorhabens verstanden. Es ist das Resultat, der ‚Output‘, der Entwicklungs- und Projektierungsanstrengungen. Wichtiges Kriterium für ein erfolgreiches Produkt ist seine Nützlichkeit für den Anwender bzw. Kunden, d.h. wichtigste Eigenschaft ist seine Vermarktbarkeit [Burghardt2007, S.13]. Diese Charakteristiken gelten in gleichem Maße auch für das **Produkt ‚Offshore-Windpark‘**. Da es weitere, spezielle Eigenschaften besitzt, wird das OWP-Produkt innerhalb der vorliegenden Arbeit im Umfeld des sogenannten Asset angesiedelt. Ein **Asset** ist laut [Kienbaum2008] *als physische und gewöhnlich kapitalintensive Anlage definiert, die eine positive Kapitalrendite erzielen soll, zum Beispiel Raffinerien, chemische Anlagen, Telefonnetze, Öl-Plattformen* und auch Offshore-Windparks als Erweiterung der vorliegenden Definition. Die grundlegende Zielsetzung des Asset Managements ist es, über den kompletten Lebenszyklus, beginnend bei der Akquisition, der Nutzung sowie Rückbau von Asset's, den Erwartungen der ‚Kunden‘ bzw. Shareholder in Bezug auf die vereinbarten Leistungen und Dienstleistungen effizient und effektiv gerecht zu werden. Asset Management auf den Offshore-Windpark angewandt bedeutet demnach, eine Kontrolle der Risiken und Kosten über alle Phasen des physischen Lebenszyklus des Assets hinweg zu unterstützen.

Das **Asset ‚OWP‘** umfasst im vorliegenden Kontext lebenszyklusübergreifend die Gesamtheit aller Teilsysteme und Bestandteile eines Offshore-Windparks., d.h. von der Vorbereitungsphase bis hin zur Realisierung, des Betriebs und Rückbaus, wird der Offshore-Windpark als ein *System*, ein ‚Asset‘, betrachtet. Ein effizientes Management dieses Systems kann nach Meinung der Autorin nur in einer integrierten Umgebung entlang des Lebenszyklus erfolgen. Das OWP-Asset besitzt dabei die folgenden spezifischen Produktmerkmale:

- ✓ *lange Lebensdauer,*
- ✓ *stärkere Gewichtung auf die späteren Lebenszyklusphasen,*
- ✓ *hohe Wertigkeit, hohe Anfangsinvestitionen und dadurch*
- ✓ *häufig Betreiberkonsortien,*
- ✓ *lange Amortisationszeiten,*
- ✓ *größere Qualitätsorientierung und die*
- ✓ *Betrachtung als Unikate, d.h. es gibt keinen Markt für Qualitätstests oder Zertifizierungen der (End-) Produkte wie beispielweise Stiftung Warentest*

Im Gegensatz zur klassischen Produktbetrachtung erfolgt neben der Betrachtung der physischen Bestandteile des OWP's eine Erweiterung auf verschiedene Aspekte der für einen Betrieb des Produktes notwendigen Teilsysteme.

Ein **Projekt** ist demgegenüber ein zielorientiertes Vorhaben zur Herstellung des Produktes und dadurch notwendigerweise immer durch einen zeitlichen Ablauf beschrieben. Es gibt einen Anfangs- und Endtermin. Laut [DIN 69901-5] ist ein Projekt als Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in seiner Gesamtheit gekennzeichnet ist, definiert. Dazu gehören:

- Zielvorgabe, d.h. Eindeutigkeit der Aufgabenstellung
- zeitliche, finanzielle, personelle und / oder andere, z.B. umweltbedingte, Begrenzungen
- Abgrenzungen gegenüber anderen Vorgaben
- projektspezifische Organisation

Das entscheidende Merkmal eines Projektes ist seine *Einmaligkeit* in den Rahmenbedingungen. Insbesondere im Bereich Offshore-Windenergie kommt diesem Kriterium eine besondere Bedeutung zu. Jedes Offshore-Vorhaben zeichnet sich durch gesonderte Randbedingungen aus, ausgelöst durch seine spezifischen ökologischen, ökonomischen, technischen und genehmigungsrechtlichen Aspekte. Wie schon bei Einführung des Asset-Begriffes erwähnt, sind diese unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen als Unikate zu betrachten, die das Merkmal der Einmaligkeit hinreichend erfüllen. Der Projektbegriff, angewandt auf den Offshore-Bereich, umfasst hier alle Aktivitäten, die für das Erreichen des gestellten Projektziels, der Errichtung des Produktes Offshore-Windpark, erforderlich sind. In Erweiterung des klassischen Projektbegriffes endet das betrachtete OWP-Projekt nicht mit der Herstellung des Produktes, sondern umfasst zusätzlich alle weiteren Vorhaben über den gesamten Lebenszyklus' des OWP-Produktes, inklusive der Betriebs-, Repowering- und Rückbauphasen.

In Abgrenzung zum Projektbegriff kennzeichnet der **Prozess** das eigentliche Vorgehen im Projekt, von der Herstellung bis hin zur Entsorgung des Produktes [Burghardt2007, S.9]. Er ist auf die kompletten Planungs-, Realisierungs- und Recyclingabläufe gerichtet. Im Prozess werden die für die Zielerreichung notwendigen Aktivitäten bzw. Arbeitspakete in definierte Abläufe eingeordnet, wobei die jeweils notwendigen Vorgaben sowie die zu erreichenden Ergebnisse festgelegt sind. Innerhalb jeder Prozessstruktur gibt es an den Phasenenden Entscheidungspunkte, sogenannte Meilensteine.

In Anlehnung an [Burghardt2007] werden die Begriffe Produkt, Projekt und Prozess als **'Trinität'** betrachtet, d.h. sie bilden eine Einheit bei gleichzeitiger Abgrenzung zueinander. Das Produkt-OWP ist demnach untrennbar mit dem zu seiner Herstellung und seinem Rückbau erforderlichen *OWP-Projekt* und den dazu notwendigerweise zu durchlaufenden *OWP-Prozessen* verbunden. Die **Trinitätsbetrachtung** bildet dabei einen der wesentlichen Eckpfeiler der nachfolgenden OWP-Modellentwicklung. Die Begriffe *Offshore-Windpark Produkt* und *OWP-Produktprojekt* werden in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet. Produktprojekte umfassen die Summe aller anfallenden Produktindividuen, z.B. die einzelne Windenergieanlage, über den kompletten Lebenszyklus betrachtet. Offshore-Windparks sind, wie schon mehrfach erwähnt, sehr komplexe Produkte, mit sehr komplexen Produktstrukturen und teilweise sehr komplexen Produktindividuen.

Der Lebenszyklus eines Offshore Windparks ist, neben der integrierten Betrachtung von Produkt, Projekt und Prozess, für die nachfolgende Modellbildung von entscheidender Bedeutung und wird im anschließenden Kapitel einer detaillierteren Betrachtung unterzogen. Eine wesentliche Zielstellung dieser Betrachtung ist neben einer Definition des Lebenszyklus die Adaption des Begriffs auf OWP-Produktprojekte, Assets, unter *systemtheoretischen* Gesichtspunkten.

3.2 **Bezugsrahmen für eine lebenszyklusübergreifende IT-Unterstützung**

Für ein ganzheitliches Lebenszyklusmanagement müssen die einzelnen Phasen im Produktlebensweg von Offshore-Windparks stärker aufeinander abgestimmt, die an der Planung, Aufstellung, Nutzung

und Entsorgung beteiligten Akteure zusammengeführt und durchgängige Prozess- und Informationsströme gestaltet werden. Diese Einzelaspekte innerhalb eines Modellansatzes abzubilden und zu unterstützen, ist eine der wesentlichen Anforderungen an den IT-technischen Bezugsrahmen. Dabei stehen die folgenden Ziele im Fokus der Betrachtung:

- die Minimierung der Kosten,
- die Minimierung von Risiken und
- die Minimierung von Umweltbeeinträchtigungen

über alle Phasen des Lebenszyklus hinweg. Neben der flussorientierten Abstimmung zwischen den verschiedenen Lebensphasen müssen auch die Veränderungen wichtiger Zustandsgrößen im ‚System‘ OWP berücksichtigt werden. Der gewählte Modellansatz muss daher sowohl die jedem System eigene Dynamik als auch die Lebenszyklusorientierung widerspiegeln. Er greift aus diesem Grunde das Modell *dynamischer Systeme* aus der *Systemtheorie* auf und bildet einen integrativen Rahmen für eine lebensphasenübergreifende Sichtweise auf das OWP-Produkt und die dazugehörigen Prozesse. Anliegen ist die Verdeutlichung des Zusammenspiels verschiedener, zur konkreten Ausgestaltung von Lösungen erforderlicher Teildisziplinen. Ein wichtiger Punkt bezieht sich auf das Zusammenwirken zwischen dem Lebensweg des Offshore-Windparks und dem der eingesetzten Sekundärprodukte wie den Betriebs- und Hilfsmitteln.

Der Begriff **System**, abgeleitet vom altgriechischen Wort für „das *Gebilde, Zusammengestellte, Verbundene*“, findet in der Literatur häufige Anwendung, allerdings mit oft überbestimmter Bedeutung. Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird *System* als eine:

„in einem betrachteten Zusammenhang gegebene Anordnung von Gebilden, die miteinander in gesetzmäßiger Beziehung stehen und in einer Weise wechselwirken, dass sie als eine aufgaben-, sinn- oder zweckgebundene Einheit angesehen werden können“ definiert [Tröster2011, S.31 ff]. Es umfasst somit eine „Sammlung von Elementen, die in einer definierten Umgebung eine Einheit bilden oder als solche aufgefasst werden kann“ [www.wikipedia.de].

Diese Definition impliziert den Ansatz der Abgrenzung eines Systems zu seiner Umgebung durch erkennbare Systemgrenzen. Alle Elemente innerhalb dieser Grenzen besitzen gemeinsame Eigenschaften, die sie als Teil des Systems erkennen lassen. Alle außerhalb dieser Systemgrenzen liegenden Elemente werden als nicht- systemimmanente Bestandteile aufgefasst. Innerhalb der Systemgrenzen auftretende, miteinander wechselwirkende Elemente können ihrerseits wieder eigene (Sub)Systeme abbilden. Systeme organisieren und erhalten sich durch Strukturen, die die Form der Elemente und ihrer Beziehungen beinhalten [Oelsnitz1994, S.11 ff]. Sie stellen *Erkenntnismodelle* dar, denen die von Aristoteles geprägte Denkweise: „*Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile*“ [Metaphysik VII 10] zugrunde liegt, wodurch eine Erfassung von Situationen und Problemen in einem definierten Rahmen ermöglicht und durch Formalisierungen das Erkennen, Beschreiben und Reduzieren der Komplexität des Gesamtsystems erleichtert wird. Formalisierungen bilden daneben auch die Grundlage für eine IT-unterstützte Abbildbarkeit. Komplexität allgemein sowie Systemkomplexität sind vielfach innerhalb der Literatur beschrieben und definiert worden. Die nachfolgende Arbeit beschränkt sich hier auf die in [Jacobs,Swink2011, S.679] vorgenommene, **allgemeine Komplexitätsdefinition**: „*A system or object (tangible or intangible) can therefore be deemed to be complex if it is made up a multiplicity of diverse, interrelated element*“ und legt diese den weiteren Ausführungen zugrunde. Nach [Pulm2004, S.19] liegt Komplexität demnach vor, „...wenn aufgrund bestimmter Beschränkungen nicht mehr alle Elemente mit allen anderen verknüpft werden können und die Gesamtheit somit nicht kontrolliert werden kann“. Diese Aussage beinhaltet letztlich das Überschreiten der Verknüpfungskapazität der Elemente. Die Komplexität eines Systems bzw. ihrer Teilsysteme kann nicht unmittelbar wahrgenommen und gemessen werden. Nach Herrmann beschreibt die Komplexität eines Systems den Grad der Vielschichtigkeit, Änderungsmöglichkeit, Vernetzung und Folgelastigkeit eines Entscheidungsfeldes anhand von Parameter wie Veränderlichkeit/Dynamik und Vielzahl/Vielfalt [Herrmann2010, S.101]. Zur Komplexitätsreduktion lassen sich Systemgrenzen als Abgrenzung des Diskursbereichs einführen. Diese erlauben

Differenzierungen zwischen Untersuchungsbereich und tatsächlichem Gestaltungsbereich. [Herrmann2010, S.100 ff].

Der im Weiteren genutzte, der Offshore-Windpark-Modellbildung zugrunde liegende Systembegriff ist durch die folgenden Merkmale gekennzeichnet:

- ✓ Eine *hohe Komplexität* als Folge rapider Wissensakkumulation und die exponentielle Entwicklung technologischer Gestaltungsmöglichkeiten: „*Complexity as a System-Property*“ nach (Rosen1977).
- ✓ Das Gesamtsystem setzt sich zusammen aus einer Menge von Elementen, die *Beziehungen* zwischen bestimmten Attributen aufweisen [Pulm2004, S.20 ff].
- ✓ Es lassen sich *Makro- und Mikroebene* unterscheiden. Die Makroebene erlaubt die Sicht auf das System als Ganzes, auf der Mikroebene stehen die Systemelemente mit ihren Strukturierungen, Eigenschaften und Wechselwirkungen im Fokus der Betrachtung [Weidlich1998].
- ✓ Ein System ist *zerlegbar*, d.h. es besteht aus miteinander verknüpften Teil- bzw. Subsystemen, die auf einer bestimmten Granularitätsebene von ihrer Umgebung ab- bzw. ausgrenzbar sind.
- ✓ Innerhalb und zwischen Systemen treten *Rückkopplungen* auf, die die wechselseitige Abhängigkeit und Beeinflussung von Attributen zweier Subsysteme abbilden.
- ✓ *Dynamik*: Ein System ist durch *Zustandsgrößen* und deren (*Zustands-*) *Änderungen* charakterisiert.
- ✓ Auf ein System wirken verschiedene Einflussfaktoren, die *Inputs*, die zu entsprechenden Zustandsänderungen innerhalb des Systems und damit außerhalb der Systemgrenzen wahrnehmbaren Resultaten, den *Outputs*, führen. Outputs können ihrerseits wieder Inputs für andere (Sub-)Systeme darstellen.
- ✓ Systeme basieren auf den Beschreibungselementen Attribute, Funktionen, Strukturen und Hierarchien [Ropohl1979].

Als **Systemtheorie** wird die: ‚*formale Wissenschaft von der Struktur, den Verknüpfungen und dem Verhalten komplexer Systeme*‘ bezeichnet [Herrman2010. S.99].

Obwohl sich die Systemtheorie laut [Pulm2004, S.22] als disziplinübergreifend betrachtet, geht sie immer von einem bestimmten Anwendungskontext aus und erfährt hier spezifische Ausprägungen. Eine Betrachtung des Offshore-Windparks unter Systemtheorieaspekten bedingt somit eine integrierte Sicht auf die Struktur, die Verknüpfungen und das Verhalten komplexer Systeme. Nach [Herrmann2010, S. 99] beschäftigt sich die Systemtheorie mit der Strukturierung von Systemen und betrachtet eine Organisation allgemein als „*offenes, dynamisches, zweckorientiertes, produktives und soziotechnisches System*“. Das hier zugrunde liegende systemtheoretische Modell bezieht sich auf die in den Ingenieurwissenschaften, z.B. innerhalb der Steuerung- und Regelungstechnik, genutzten Ansätze, mittels derer eine systematische Anwendung technischer Hilfsmittel und wissenschaftlich begründeter Methoden auf komplexe Sachverhalte erleichtert werden soll. Die synthetische Betrachtung komplexer Systeme im Sinne eines erkenntnistheoretischen Denkansatzes wird in den folgenden Kapiteln in den Mittelpunkt gerückt. Das durch die Autorin postulierte OWP-Modell vereinigt *funktionale, strukturelle* und *hierarchische* Systemkonzepte. Der funktionale Konzeptansatz fokussiert auf die inneren Zusammenhänge zwischen äußeren Systemeigenschaften, wobei das Verhalten und die spezifischen Zustände des Systems bei sich ändernden Umgebungsbedingungen und nicht dessen innerer Aufbau im Vordergrund der Betrachtung stehen. Der Zweck eines (Teil-)Systems ergibt sich demzufolge aus seiner Funktion, die es innerhalb seiner Umwelt bzw. auch des umgebenden Systems ausüben soll. Dagegen umfasst das strukturelle Konzept die Zerlegung des Systems in einzelne Subsysteme, die untereinander in Beziehung stehen und durch definierte Systemgrenzen von der Umgebung abgegrenzt sind. Sie bilden die *Struktur* des Systems, d.h. „*die Gesamtheit der wechselseitigen Beziehungen zwischen den Systemelementen*“ [Tröster2011, S.31] Jedes System kann seine Subsysteme auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen

abbilden, sie also in Form einer Systemhierarchie darstellen. Diese hierarchische Konzeptsicht beinhaltet die Möglichkeit, Elemente eines Systems als eigenes System anzusehen, die ihrerseits wiederum die Elemente eines umfassenderen Systems bilden. Ganz allgemein lassen sich Systeme nach dem Hierarchisierungsprinzip unter Zuhilfenahme der Dekomposition in untergeordnete Teilsysteme gliedern. Für das System Offshore Windpark wird dabei die Beachtung der Segregations- und Aggregationsproblematik Berücksichtigung finden. Diese besagt, es kann nicht unendlich viel zerlegt oder mit anderen Systemen gekoppelt werden, ohne dass ein Verlust der Aussagekraft und Allgemeingültigkeit eintritt [Tröster2011, S.33 ff].

Einschränkend sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass ein System prinzipiell ein Modell darstellt, welches sich der Mensch, in diesem Falle die Autorin der vorliegenden Arbeit, von der Realität macht und damit subjektiven Erkenntnisgrenzen unterliegt. Diese Grenzen des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses führen nahezu zwangsläufig zur ungleich gewichteten Betrachtung verschiedener Wirklichkeitsaspekte und im Extremfall zur Ausgrenzung von als unverträglich wahrgenommenen Wirklichkeitsausschnitten. Hinzu kommt das willkürlich anmutende Ziehen erwähnter Systemgrenzen als Reaktion auf die Vielzahl von Möglichkeiten im betrachteten Kontext, von denen nur ein Teil realisiert wird. In diesem Sinne wird das vorgestellte OWP-Modell nicht als Aussage formuliert, die wahr oder falsch sein kann sondern als „...ein Mittel zum Zweck der Gewinnung und Ordnung wissenschaftlicher Erkenntnis“ „... mit Beschränkungszwang auf ausgewählte Problemperspektiven“ [Oelsnitz1994, S. 5ff] dargestellt. Aufbauend auf diesem Systemverständnis werden in der folgenden, durch die Autorin eingeführten Modellableitung, auch Offshore-Produktprojekte in ihrer Gesamtheit als Systeme betrachtet, die:

- a) Makro- und Mikroebene besitzen,
- b) zerlegbar in Teilsysteme eine entsprechende Hierarchie abbilden,
- c) einer durch Input, Output und Rückkopplung ausgelösten Dynamik unterliegen,
- d) mit ihrer Umwelt, auch die betrachteten Teilsysteme, in Austauschbeziehungen stehen,
- e) durch Systemgrenzen voneinander abgrenzbar sind und
- f) einem bestimmten, funktionalen Zweck dienen. (Abbildung 18)

Offshore-Windparks sind durch eine hohe Systemkomplexität gekennzeichnet Ein weiterer Grad ist nach Ansicht der Autorin die benötigte Wissensintensität zur Zweckerfüllung der jeweils betrachteten Funktion des untersuchten Teilsystems. Sowohl auf die Komplexität als auch auf die Wissensintensität wird unter Kapitel 4 innerhalb der OWP-Modellbildung noch detaillierter eingegangen.

Eine systemtheoretische Sichtweise eröffnet einen Blick auf den gesamten Lebensweg und alle mit diesem im Zusammenhang stehenden übrigen Lebenswege sowie die Austauschbeziehungen im Sinne einer Wertschöpfungskette. Die Wertschöpfung im vorliegenden Kontext bezieht sich auf die Durchführung eines Offshore-Windpark-Projektes zur Erzeugung regenerativer Energie. Zum anderen erlaubt die Systemtheorie die Definition und Betrachtung von Teilsystemen und eine Unterscheidung zwischen Untersuchungs- und Geltungsbereich. Die Durchführung von Offshore-Windenergie-Projekten ist in der Regel eingebettet in ein dynamisches Umfeld und dessen wichtige Zustandsgrößen, die einer fortlaufenden Veränderung unterliegen, wie beispielweise die Beschaffungsmärkte, spezielle Genehmigungsverfahren, Umweltschutzforderungen und auch die Entwicklungsgeschwindigkeit begleitender Technologien. Aber auch innerhalb des Systems selbst können viele verschiedene Zustände aufgrund ihrer inneren Eigenschaften, den verschiedenen Beziehungen bzw. Interaktionen und den Entscheidungs- bzw. Reaktionsmöglichkeiten auftreten. Aufgrund dieser Vielzahl an unterschiedlichen, möglichen Systemzuständen können sowohl das Umfeld als auch das OWP-Projekt selbst als komplexe Systeme bezeichnet werden. Diese müssen, sofern es interne oder externe Umstände erfordern, die Fähigkeit zur Veränderung besitzen, d.h. ein dynamischer Wandel der Umwelt erfordert eine Anpassung des betroffenen Teilsystems. Insbesondere die Prozessgestaltung mit seinen oftmals starken Witterungsabhängigkeiten sei an dieser Stelle hervorgehoben.

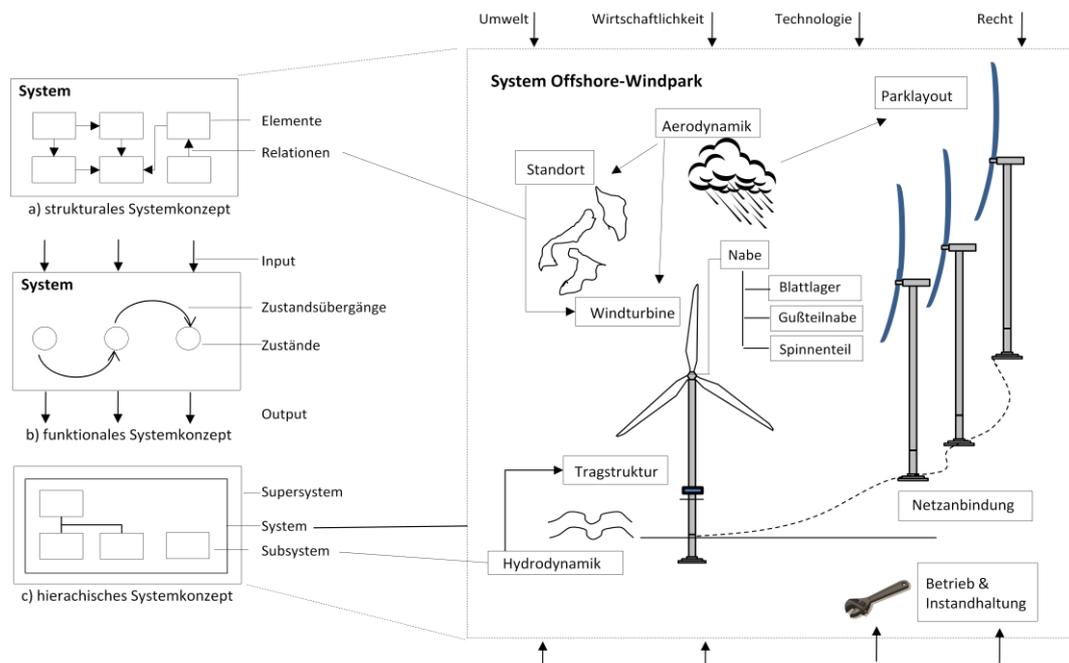


Abbildung 18: *Strukturiertes, funktionales und hierarchisches Systemkonzept, adaptiert auf ein Offshore-Windpark-Produkt, basierend auf [Herrmann2010,S.100] und [Gasch,Twele2010, S.540]*

Innerhalb des anschließenden Kapitels sollen daher diese Modellkonzeptansichten vor allem im **OWP-Prozessmodell** angewendet und um im Offshore-Kontext wichtige Dimensionen erweitert werden. Aus Sicht der Autorin liegt ein Fokus der Arbeit, neben der lebensphasenübergreifenden Gesamtbetrachtung, in der Systemtheorie-Adaption auf den OWP-Fachbereich und in der Schaffung von Möglichkeiten zur Komplexitätsreduktion. Dazu kann und wird, sofern möglich und sinnvoll, auf die durch [Herrmann2010, S.107] bereits eingeführten, allgemeinen Dämpfungsmöglichkeiten der Varietät zurückgegriffen werden:

- Zusammenfassen ähnlicher Vorgänge,
- Standardisierung von Kommunikation,
- Standardisierung von (Teil-)Prozessen und Abläufen,
- Filtern unwichtiger Informationen und nicht-relevanter Details,
- Adaption von Normen und Richtlinien aus anderen Offshore-Bereichen

Alle aufgeführten Punkte erfordern eine genaue Kenntnis der OWP-Abläufe, des in ihnen enthaltenen **projektspezifischen** und **nicht-projektspezifischen Wissens** und der in ihnen agierenden Protagonisten. Auch der Begriff des *Wissens* ist ein in der Literatur vielfältig und oft diskutierter. Innerhalb dieser Arbeit wird einschränkend auf die Definition von Freund zurückgegriffen: „*Wissen ist die Kombination von Daten und Informationen unter Einbeziehung von Expertenmeinungen, Fähigkeiten und Erfahrungen. ... Wissen kann explizit und/oder implizit, persönlich und/oder kollektiv sein*“ [Freund2011]. Explizites Wissen umfasst das formal zu beschreibende oder zu artikulierende Wissen. Es existiert bereits in verschiedenen Formen wie Datenbanken oder Textdokumenten. Die Formalisierung von explizitem Wissen ist damit auch Grad für eine im untersuchten Kontext relevante IT-Unterstützung. Implizites Wissen dagegen basiert auf Erfahrungen und Erinnerungen, es ist Bestandteil menschlichen Verhaltens und dadurch nur einer begrenzten Formalisierung zugänglich [wikipedia.com]. Über den gesamten Lebensweg eines Systems sammelt sich Wissen an, wobei dieses Wissen an das System gebunden, hier als *projektspezifisches Wissen* bezeichnet, oder von ihm unabhängig existent sein kann, hier als *nicht-projektspezifisches Wissen* eingeführt. Wie unter 3.1 ausgeführt, zeichnet sich ein Projekt wesentlich durch seine *Einmaligkeit* in den Rahmenbedingungen aus. Auf das hier definierte *projektspezifische Wissen* übertragen bedeutet Einmaligkeit:

... die Validität des Wissens unter Einbeziehung der konkreten, real existierenden Systemgrenzen des OWP-Produktprojektes und der auf das System einwirkenden technischen, ökologischen, ökonomischen und rechtlichen Aspekte bzw. deren Systemparametern.

Projektspezifisches Wissen entsteht zum einen über die Dauer des Projektes aus der Modell-Instanziierung, objektorientiert betrachtet somit aus Instanziierung der Objektklassen und deren Verknüpfungen. Das projektspezifische Wissen lässt sich nicht nur aus den jeweiligen, systembegrenzenden Rahmenbedingungen ableiten. Es akkumuliert neben diesem *Wissen im und über das Projekt* zusätzlich *Wissen aus vorangegangenen Projekten*. Seine Kennzeichnung erfolgt durch:

- eine nur eingeschränkte, auf Abstraktion beruhende Wissensflexibilisierung,
- begrenzte Formalisierbarkeit,
- Abhängigkeit vom individuellen Wissen der Projektbeteiligten und
- nur in Teilen mögliche Wiederverwendbarkeit in Form von Referenzprozessen oder ‚Best Practices‘

Somit lässt sich projektspezifisches Wissen auch als *unvollständig wiederverwendbare Erfahrung* auffassen [Rupprecht2002, S.7], da nicht jeder Teil des Wissens in einem OWP-Projekt aufgrund der Einmaligkeit anderen Folgeprojekten zur Verfügung gestellt werden kann.

Nicht-projektspezifisches Wissen zeichnet sich dagegen folgerichtig durch seine Gültigkeit auch unter verschiedenen Rahmenbedingungen aus. Es ist durch seine **nicht**-Einmaligkeit charakterisiert, d.h.:

.. die Validität des Wissens ist auch außerhalb und unabhängig von den jeweiligen, durch das OWP-Produktprojekt definierten Systemgrenzen und ohne Einbeziehung der konkreten Projektrahmenbedingungen gegeben.

Es wird somit durch:

- ein erhöhtes Maß an Allgemeingültigkeit und Wiederverwendbarkeit,
- eine bessere formale Abbildungsunterstützung,
- größere Standardisierungsfähigkeit und
- die Möglichkeit des Erbringens durch Dritte, nicht zwangsläufig dem Projekt zuzuordnende Personen oder Organisationen, z.B. durch Hinzukaufen, Leasen, Mieten

beschrieben. Nicht-projektspezifisches Wissen lässt sich über Diensterbringer dem projektspezifischen Wissen hinzufügen. Der Teil, der über die Projektlaufzeit mit anderem, auch nicht-projektspezifischem Wissen assoziiert und instanziiert wird, ist nach Abschluss der Projektlaufzeit integraler Bestandteil des *Wissens über das Projekt*.

Zum Thema Wissen lassen sich in der Literatur eine Reihe anderer Wissensarten und – Einteilungen finden. So werden bei [Thiesse2001, S.11 ff] Wissenskategorien wie Kundenwissen, Wissen in Beziehungen zu Lieferanten und Partnern, prozess- und produktspezifisches Wissen aufgeführt. Bei [Schindler2002] wird zudem in fach- und methodenspezifisches Wissen unterschieden, wobei letzteres aus Sicht der Autorin eindeutig dem nicht-projektspezifischen Wissen zuzuordnen ist. Alle Wissensarten decken eine eigene Sicht auf das vorhandene komplexe Wissen in Organisationen ab. Für das im Folgenden eingeführte Offshore Windpark-Modells wird sich auf die beiden definierten Wissensdimensionen der Projektspezifika beschränkt, weil diese einen deutlichen Bezug zum Lebenszyklus aufweisen und in der Modellentwicklung eine entsprechende Berücksichtigung finden müssen - und werden. Die drei anschließenden Fragenstellungen müssen hier betrachtet werden und im Konzept eine geeignete methodische Beantwortung finden:

- a) *Wie lassen sich projektspezifisches und nicht-projektspezifisches Wissen in der Modellentwicklung berücksichtigen?*
- b) *Wie sind beide Wissensformen über den Lebenszyklus eines Offshore-Windparks verteilt?*
- c) *Welche Abbildungsmethoden lassen sich innerhalb des Modells anwenden?*

Zusammenfassend basiert die Ableitung der modellbasierten Methodik für Offshore-Windparks auf einem dreidimensionalen Bezugsrahmen, der:

- 1. die systemtheoretische Dimension,**
- 2. die Dimension der erweiterten OWP-Trinitätsbetrachtung und**
- 3. die Dimension der Wissensteilung in projektspezifisches und nicht projektspezifisches Wissen**

beinhaltet. Dieser eingeführte Bezugsrahmen wird im folgenden Kapitel näher erörtert. Die nachfolgende Betrachtung kann grundsätzlich auf verschiedenen Abstraktionsstufen erfolgen. Die dazu aufbereitete Methodik muss denn auch auf allen Stufen Gültigkeit haben, wobei innerhalb der vorliegenden Arbeit aufgrund der Fülle an Vorgängen und Beteiligten nur eine exemplarische Evaluierung vorgenommen werden kann. Eine prototypische Umsetzung wird in Kapitel 6 unter Bezugnahme existierender PLM-System-Technologien aufbereitet.

4 Modellbildung und Konzept

Die vielfältigen und komplexen Zusammenhänge, die während der Durchführung von Offshore-Windpark-Projekten bestehen, erzwingen nach Ansicht der Autorin die im Weiteren ausgeführte

... integrierte und integrierende Abbildung in ein einheitliches generisches Modell basierend auf den vorgestellten Paradigmen komplexer Systeme sowie objektorientierter Gestaltungsrichtlinien

Ein solches Modell erlaubt neben der Betrachtung von Funktion, Struktur und Hierarchie, eine verstärkte Berücksichtigung der verschiedenen technischen, ökologischen, ökonomischen und genehmigungsrechtlichen Einflussgrößen auf das System-OWP. Unter Hinzunahme der zeitlichen Dimension lässt sich die ‚Trinität‘ zwischen dem OWP-Produkt, dem zielorientierten Vorhaben über alle Lebensphasen hinweg und der eigentlichen Prozessgestaltung innerhalb des OWP-Gesamtsystems darstellen. Dabei folgt auch diese Arbeit der modelltheoretischen Abstraktionsnotwendigkeit, die im Interesse der Anpassung an einen konsistenten und gleichzeitig überschaubaren Bezugsrahmen in Kauf genommen wird. Um ein hierfür notwendiges Grundverständnis der Modellbildung zu erzielen, wird zu Beginn des folgenden Kapitels kurz auf wesentliche Modellüberlegungen eingegangen. Im Anschluss daran erfolgt die Ableitung des „Dietrich“schen Offshore-Windpark-Modells mit seinen spezifischen Sichtweisen, um darauf aufbauend eine generische Überführung in einen objektorientierten Implementierungsansatz zu ermöglichen. Im Mittelpunkt des postulierten Ansatzes steht aufgrund der herausragenden Prozesshaftigkeit von OWP-Projekten das in Kapitel 4.6 definierte OWP-Prozessmodell. Ein solches Modell trägt mit Hilfe der eingeführten Dimensionen zur Systematisierung und Komplexitätsdämpfung der sehr vielfältigen Prozessabläufe im OWP-Umfeld bei und liefert einen Rahmen für einen durchgängigen, alle weiteren Sichten verknüpfenden Informationsfluss. Das IT-gestützte Management solcherart instanzierter Prozesse und Verknüpfungen wird im nachfolgenden Modellansatz als ‚OWP_Bill-of-Knowledge‘ eingeführt und in Kapitel 5.4 innerhalb der Referenzmodellbetrachtung näher ausgeführt. OWP_Bill-of-Knowledge ist im Modellansatz Träger des projektspezifischen Wissen, verknüpft mit nicht- projektspezifischen Wissensanteilen.

4.1 Vorgehensweise Modellbildung

Modelle dienen allgemein als Hilfskonstruktionen zur vereinfachten Auseinandersetzung mit der ‚Realität‘. Modellbildung ist damit in erster Linie ein ‚fortschreitender Prozess der realen Komplexitätsreduktion mittels modelltheoretischer Abstraktion formaler Sachverhalte‘ [Oelsnitz1994, S.6]. Ein wesentliches Anliegen auch des im Folgenden entwickelten Modells ist demnach die sukzessive Reduktion der Vielschichtigkeit der Realität eines Offshore-Windenergie-Projektes. In Hinblick auf eine informationstechnische Abbildung der ‚realen Welt‘ in die virtuelle stellt dieses Vorgehen eine unverzichtbare Voraussetzung dar.

Vorgehensmodelle organisieren dagegen typischerweise Prozesse der gestaltenden Produktion in verschiedene, strukturierte Phasen, denen wiederum entsprechende Methoden und Techniken der Organisation zugeordnet sind. Aufgabe eines Vorgehensmodells ist es, die allgemein in einem Gestaltungsprozess auftretenden Aufgabenstellungen und Aktivitäten in einer sinnfälligen logischen Ordnung darzustellen. Somit sind Vorgehensmodelle durch unterscheidbare Entwicklungsaktivitäten bzw. -phasen gekennzeichnet, die einer definierten Ablaufstruktur folgen. Neben der Struktur werden innerhalb des Vorgehensmodells auch die Inhalte und Ergebnisse jeder Phase fixiert. Die Summe der in eine zeitliche Reihenfolge gebrachten Aktivitäten definiert somit das Vorgehensmodell.

Modelle bestehen in der Regel aus Grundannahmen und sind Mittel zum Zweck der Gewinnung und Strukturierung von Erkenntnissen. Jeder Ansatz stellt damit in gewisser Weise eher ein Vor-Urteil dar, mit dem der wissenschaftliche Erkenntnisprozess aufgearbeitet wird und begrenzt auf diese Weise, wie bereits unter 3.2 ausgeführt, zugleich die durch ihn erzielbaren Ergebnisse [Olesnitz1994,

S.5]. Diese Aussage gilt auch für das aufzubauende Offshore-Windpark-Modell. Alle Entwicklungsphasen wären gleichwertig zu behandeln, müssen aber einer entsprechenden Priorisierung aufgrund des ebenfalls beschränkten Umfangs der vorliegenden Arbeit folgen. Für die Modellbildung bedeutet dies eine Fokussierung auf das Prozesshafte des Ansatzes, d.h. auf das zu entwickelnde Prozessmodell. Kein Prozess ist sinnvoll zu betrachten ohne die ihn bedingenden Anforderungen, die mit ihm verknüpften, produktbezogenen Aufgaben, die zu seiner Durchführung notwendigen Ressourcen und der jeweiligen Arbeitsumgebung. Alle genannten Sichtweisen erfahren daher in der weiteren Modellbildung eine auf den Prozess bezogene Repräsentanz.

Der in Kapitel 3 vorgestellte systemtheoretische Bezugsrahmen liegt der folgenden OWP-Modellbildung zugrunde und wird basierend auf den nachfolgende Entwurfskriterien generisch abgebildet. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme einer objektorientierte Sichtweise. Objektorientierung erleichtert eine phasenweise Entwicklung und sukzessive Anpassung des Modells unter Beibehaltung bestehender Grundaussagen. Nach der Vorstellung des theoretischen Objektmodells erfolgt eine beispielhafte Ausprägung der organisatorischen und prozessorientierten Sichtweise im Offshore-Anwendungskontext.

4.2 Entwurfskriterien

Eine der wesentlichsten Entwurfsanforderungen für das folgende generische Objektmodell besteht in der integrierten Herangehensweise. Ein Kosten sparender und zuverlässiger Entwurf verlangt einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem der gesamte Offshore-Windpark, von der Vorbereitungsphase bis hin zur Realisierung, des Betriebes und dem letztendlichen Rückbau, als ein komplexes, veränderbares System im Sinne der vorgestellten Systemtheorie angesehen wird. Nur so lassen sich nach Ansicht der Autorin Fragestellungen der späteren Lebensphasen wie des Rückbaus bereits während der Projektplanung und im Umkehrschluss beispielsweise projektspezifisches Wissen der Rückbauphase in den vorlaufenden Lebenszyklen berücksichtigen. Ein genereller Schwerpunkt wird auf die in Kapitel 2.5.2 formulierte Optimierung der Kosten durch gezielte Beeinflussung in den Phasen der Produktentstehung gesetzt. Zusammenfassend bedingen diese die folgenden, durch das „Dietrische“ OWP-Modell umzusetzenden Entwurfskriterien:

- *Das Gesamtsystem OWP ist zerlegbar in die unter Kapitel 4.5 aufgeführten Teilsysteme, die einen bestimmten funktionalen Zweck erfüllen.*
- *Es besteht im Sinne der Objektorientierung aus verschiedenen Elementen, die Eigenschaften und Methoden besitzen und untereinander und zu ihrer Umgebung in Beziehung stehen.*
- *Es lassen sich sowohl für Teilsysteme als auch für Einzelaktivitäten und die sie repräsentierenden Objekte Hierarchien ableiten, z.B. durch Vererbungs-, Klassifizierungs- bzw. nach Ähnlichkeit und Granularität angewandten Gruppierungsstrategien.*
- *Das integrierte OWP-Modell setzt die erweiterte ‚Trinität‘ von Produkt, Projekt und Prozess um.*
- *Das OWP-System durchläuft im Sinne eines individualisierten Produktes verschiedene Lebensphasen, die den Zeitbezug von Vorgängen darstellen und in seiner Gesamtheit den Lebenszyklus des Offshore-Windparks widerspiegeln. Der OWP-Lebenszyklus beginnt mit den Prozessen, die zur Realisierung seiner Funktion notwendig sind und endet mit den Prozessen, die die ursprüngliche Funktion des OWP’s nachhaltig aufheben.*
- *Das konzipierte Modell stellt die optimale Einbindung verschiedener, für das Lebenszyklusmanagement notwendiger Anwendungen wie Anforderungs- und Projektmanagement, Prozessabbildung und Ressourcenverwaltung sicher und erlaubt die modellinterne Umsetzung einer assoziierten Darstellung: **warum** (Anforderungen) **wer** (Rollen) **was** (Produkt) **wann** (Prozess) **womit** (Ressourcen) und wie bzw. **wo** (Arbeitsumgebung) bearbeitet.*
- *Das Modell lässt sich auf andere individualisierte Produktprojekte übertragen*

ist in Abbildung 20 dargestellt und dient im Weiteren als Grundlage zur Modellspezifikation für das System Offshore-Windpark.

In der ersten Entwicklungsphase wird eine *anforderungsorientierte Sicht* zugrunde gelegt. Im Mittelpunkt stehen hier die Ableitung und Strukturierung der wichtigsten Anforderungen an ein Offshore-Windpark-System. Die strukturierten Anforderungen beinhalten dabei ganz wesentlich die verschiedenen technischen, ökonomischen, ökologischen und genehmigungsrechtlichen Aspekte und dienen als wesentlicher Input in die nachfolgenden Lebenszyklusphasen.

Die Unterstützung einer *produktbezogenen Sichtweise* erfolgt in der zweiten Entwicklungsphase. Ein Schwerpunkt wird hier auf die system- bzw. funktionsorientierte Struktur gelegt, die letztlich den funktionalen Zusammenhang der Teile des Systems OWP wiedergibt. Diese Sicht lässt sich auch als ‚besteht-aus‘ Sicht auf die zugrunde liegende Produktbeschreibung formulieren. Unter Kapitel 4.5 wird detaillierter auf die funktionalen Merkmale der wichtigsten Teilsysteme sowie deren Vernetzung untereinander und mit der Umgebung eingegangen. Fokussiert wird hierbei auf die daraus abzuleitenden Aufgabenpakete und deren Verknüpfung mit den dazu notwendigen Arbeitsschritten.

In der dritten Entwicklungsphase wird eine *prozessorientierte Sichtweise* verfolgt. Der Fokus liegt hier auf der Schaffung eines allgemeinen OWP-Prozessmodells zur Abbildung typischer Prozessabläufe während des Lebenszyklus von Offshore-Windparks. Dies erfolgt unter Einbeziehung der für den Offshore-Bereich charakteristischen wissensintensiven Prozesse. Eine wesentliche Zielstellung dieses Modellansatzes besteht in der Unterstützung der Wiederverwendung bzw. Wiederholbarkeit sowie Bewertung verschiedener Prozessabläufe durch die Schaffung eines konzeptionellen Bezugsrahmens und der Ableitung von formalisierbaren Referenzprozessen. Alle Aspekte der gerade im Offshore- Bereich besonders komplexen und aufwendigen genehmigungsrechtlichen Verfahren im Sinne des sogenannten ‚Behörden-Engineering‘ werden hier als spezielle Prozesse betrachtet und gesondert berücksichtigt und mit notwendigen Workflows ergänzt, um eine transparente Statusverwaltung zu ermöglichen.

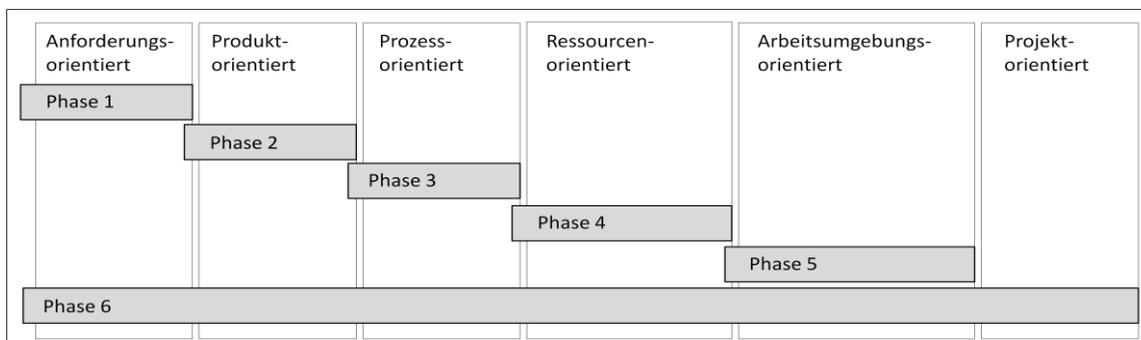


Abbildung 20: Entwicklungsphasen des Objektmodells

In der vierten Entwicklungsphase wird die *ressourcenorientierte Sichtweise* einbezogen, d.h. es werden Objekttypen definiert, die eine strukturierte Modellierung von typisierten Betriebsmitteln und so genannten Mengenressourcen zur Abbildung z.B. von Lager- und Pufferplätzen erlauben. Mit Hilfe der an dieser Stelle einzuführenden Assoziationen zwischen den Ressourcen lassen sich auch komplexe Zuordnungen von Ressourcen im Gesamtsystem ‚Offshore-Windpark‘ darstellen.

Innerhalb der fünften Entwicklungsphase steht die Sicht auf die Arbeitsumgebungen im Vordergrund der Betrachtung. Arbeitsumgebungen können sich bei Offshore-Windparks sowohl an Land als auch auf See befinden. Die Berücksichtigung der *arbeitsumgebungsorientierten Sicht* erlaubt eine effizientere Planung spezifischer, umgebungs- bzw. arbeitsplatzsabhängiger Abläufe und dient der Simulation verschiedenster Gesichtspunkte, angefangen von ergonomischen Fragestellungen bis hin zu kompletten Durchlaufsimulationen. Planungen und Simulationen von Arbeitsplätzen und Umgebungen sind ein sehr komplexes, oft auch eigenständig behandeltes Thema und sollen hier

nicht detailliert betrachtet werden. Es ist vielmehr vorgesehen, hier den entsprechenden modellunterstützenden Rahmen für spätere Detaillierungen und Erweiterungen zu schaffen.

Sowohl Ressourcen als auch Arbeitsumgebungen sind durch nicht-projektspezifische Charakteristika gekennzeichnet. Ihr Einsatz unterliegt zwar projektspezifischen Rahmenbedingungen, ihre Existenz ist allerdings nicht an die Systemgrenzen des Offshore-Windparks gebunden. Beide Sichtweisen beinhalten dadurch einen erheblichen Anteil nicht-projektspezifischen Wissens und lassen sich durch entsprechende formalisierte Methoden innerhalb des Modells abbilden.

In der sechsten und letzten Entwicklungsphase wird die *projektorientierte Sichtweise* auf das Gesamtsystem ‚Offshore-Windpark im Sinne der Trinitätsbetrachtung berücksichtigt und damit den übergreifenden projektmanagementorientierten Anforderungen eine Repräsentanz verliehen. Diese Sichtweise berücksichtigt den zeitlichen Verlauf über alle Lebenszyklusphasen und ist somit orthogonal zu den übrigen Sichtweisen zu verstehen. Neben dem zeitlichen Verlauf beinhaltet die projektorientierte Sicht die Festlegung der für einen qualitativ bewertbaren Ablauf eines Projektes notwendigen Meilensteine. Zusätzlich umfasst der hier zugrunde gelegte Qualitätsmanagementorientierten Ansatz die Sicherstellung eines möglichst kostenschonenden und reibungslosen Gesamtverlaufs des OWP-Projektes. Die exemplarische Darstellung dieser Sichtweise erfolgt innerhalb des sechsten Kapitels aufbauend auf den im PLM-Kontext vorhandenen, etablierten und auch für Offshore-Windparks gut anwendbaren Werkzeugen.

Im Sinne der Objektorientierung ist allen Entwicklungsphasen des Gesamtsystems eine *hierarchische Betrachtungsmöglichkeit* eigen. Dabei können je nach Entwicklungsphase verschiedene Aspekte der Hierarchisierung zur Anwendung kommen: Für die Modellierung von Anforderungen lassen sich Strukturierungsobjekte definieren, die sich mit anderen Objekttypen des Modells verknüpfen lassen. Zur Modellierung von Prozessen werden aufeinander aufbauende Granularitätsebenen und ein Typenkonzept eingeführt, wohingegen für Ressourcen und Arbeitsumgebungen Kollektionsobjekte im Sinne von Gruppen und Klassen vorgestellt werden, mit denen sich Klassifikationshierarchien aufbauen und Aggregationseffekte erzielen lassen. Eine Erleichterung der integrierten Betrachtung von OWP-Teilsystemen innerhalb der produktorientierten Sichtweise erfolgt durch die Anwendung von Dekompositions- und Kompositionsprinzipien.

Die integrierten Sichtweisen des generischen Modells bauen aufeinander auf und setzen die in Abbildung 21 dargestellte, ganzheitliche Betrachtung:

- ✓ *aller Teilsysteme des Produktes und der dazugehörigen Prozesse und Ressourcen*
- ✓ *unter Einbeziehung der verschiedenen ökonomischen, technischen, ökologischen und genehmigungsrechtlichen Anforderungen*
- ✓ *unter Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen und*
- ✓ *basierend auf einem durchgängigen Projektmanagement unter Hinzuziehung definierter Rollen*

um. Eine gesonderte Betrachtung erfahren die hier unter dem Begriff des ‚Behörden-Engineering‘ gesammelten oder an anderen Stellen auch als ‚Governance‘-Prozesse, bezeichneten Aktivitäten. Sie sind integraler Bestandteil eines jeden Offshore-Windpark-Projektes, die sich aufgrund ihrer langen zeitlichen Ausdehnung keiner einzelnen Lebenszyklusphase zuordnen lassen. *Behörden-Engineering* besitzt somit einen eigenen, parallel zum OWP-Produkt laufenden Lebenszyklus. Er umfasst insbesondere die folgenden Aktivitäten:

- alle Behördenkontakte und deren zugeordnete Prozesse innerhalb des gesamten Offshore-behördlichen Genehmigungsverfahrens, d.h. die Erläuterung des Vorhabens und die Abstimmungen der Anforderungen an den Genehmigungsantrag,
- die Bearbeitung der spezifischen Formulare für die jeweiligen zuständigen Behörden,
- die Erstellung und Bearbeitung der genehmigungsrelevanten Planungsdokumente,
- die Durchführung von Screenings zur Umweltverträglichkeitsprüfung,
- das Einbringen, Einfordern und Erstellen von Gutachten,

- das Management rechtlicher Auflagen sowie Qualitäts-, Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltstandards.

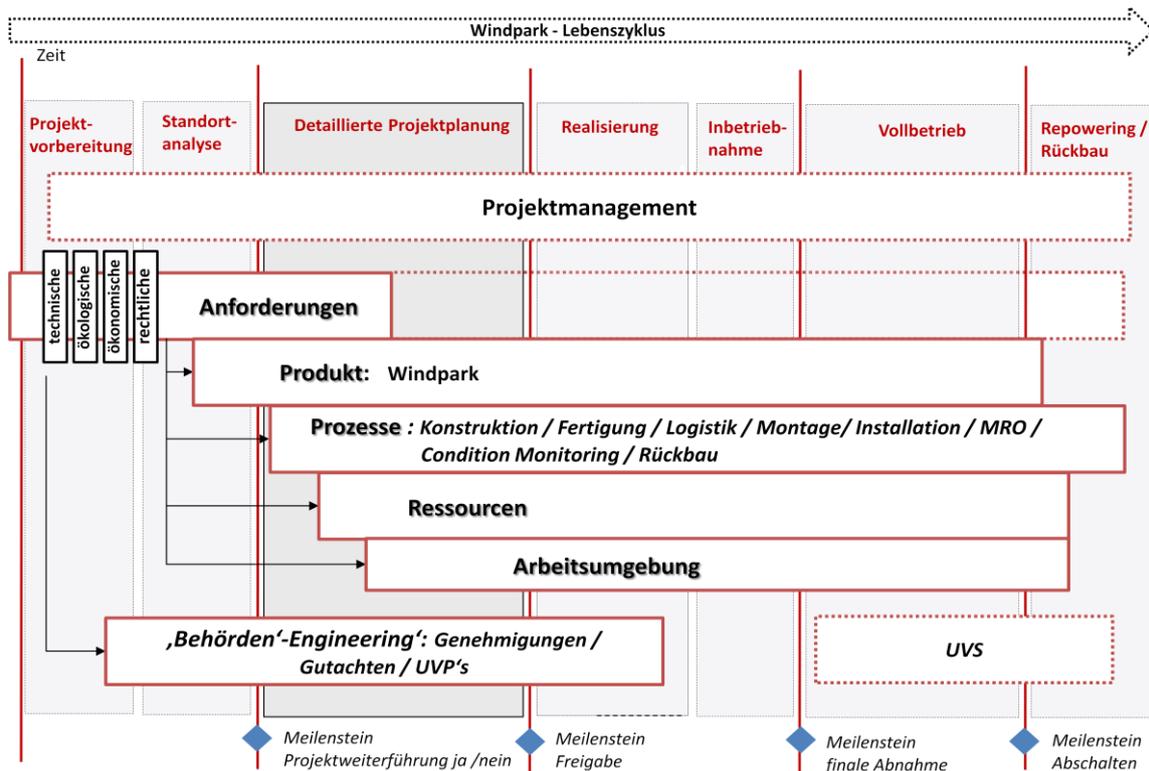


Abbildung 21: lebensphasenübergreifende Sichtenintegration des generischen OWP-Modells

Aber auch nach der Genehmigung von Windparks müssen in regelmäßigen Abständen weitere Unterlagen angefertigt und der jeweils zuständigen Überwachungsbehörde zugeleitet werden. Dabei handelt es sich unter anderem um:

- Emissionserklärungen,
- Fortschreibung der Umwelt- und Sicherheitsanalyse,
- Anträge zur Genehmigung wesentlicher Änderungen,
- Repowering und
- Entsorgungsnachweise

Das Genehmigungsverfahren und das damit verbundene Behörden-Engineering ist für die Planungssicherheit aller Projektbeteiligten von herausragender Bedeutung, da sie letztendlich die grundlegende Voraussetzung beinhaltet, ohne deren Erfüllung ein entsprechendes Projekt nicht umgesetzt werden kann. Abbildung 21 verdeutlicht dieses durch die Darstellung zweier Meilensteine, die einer Entscheidung über die Projektfortführung entsprechen. Projektentwickler von OWP's verlangen in erster Linie ein transparentes und verlässliches Genehmigungsverfahren in möglichst überschaubaren Genehmigungszeiträumen mit entsprechenden Rechtssicherheiten. Jede erteilte Genehmigung enthält heute eine Klausel für nachträgliche Veränderbarkeit. Ziel dieses, etwas im Widerspruch zur geforderten Rechtssicherheit stehenden Eintrages ist es, die Auflagen innerhalb der genehmigten 25 Jahre Betriebsdauer der fortschreitenden Entwicklung anzupassen [Richter09, S.13]. Der in Abbildung 22 dargestellte Lebenszyklus von Behörden-Engineering-Phasen endet somit erst nach der Entsorgung der Anlagen und umweltgerechten Wiederherstellung der beanspruchten Nutzungsfläche.

Wie in Abbildung 22 weiterhin erkennbar, sind Behörden-Engineering-Lebenszyklen von OWP's durch einen formalisierbaren, vom konkreten System OWP unabhängigen, nicht-projektspezifischen Wissensanteil gekennzeichnet. Die innerhalb des Modells betrachteten genehmigungsrechtlichen Aspekte gehen daher auch als formalisierte Anforderungen in den Genehmigungszyklus ein, deren

Erfüllung über die Weiterführung des Gesamtprojektes OWP mitentscheidend sind. Weitere, entscheidungsrelevante Informationen sind in den ökonomischen, ökologischen und technischen Anforderungen zu finden, die sich aus den verschiedenen Aspekten und Einflussgrößen ableiten lassen, welche auf das Gesamtsystem Offshore-Windpark einwirken. Auch deren prinzipielle Umsetzungsmöglichkeiten sind wesentliche Kriterien für die Durch- bzw. Weiterführung eines Projektes dieser Größenordnung. Sie bilden daher, wie in Abbildung 21 sichtbar, den Ausgangswert für die detaillierte Projektplanungsphase.

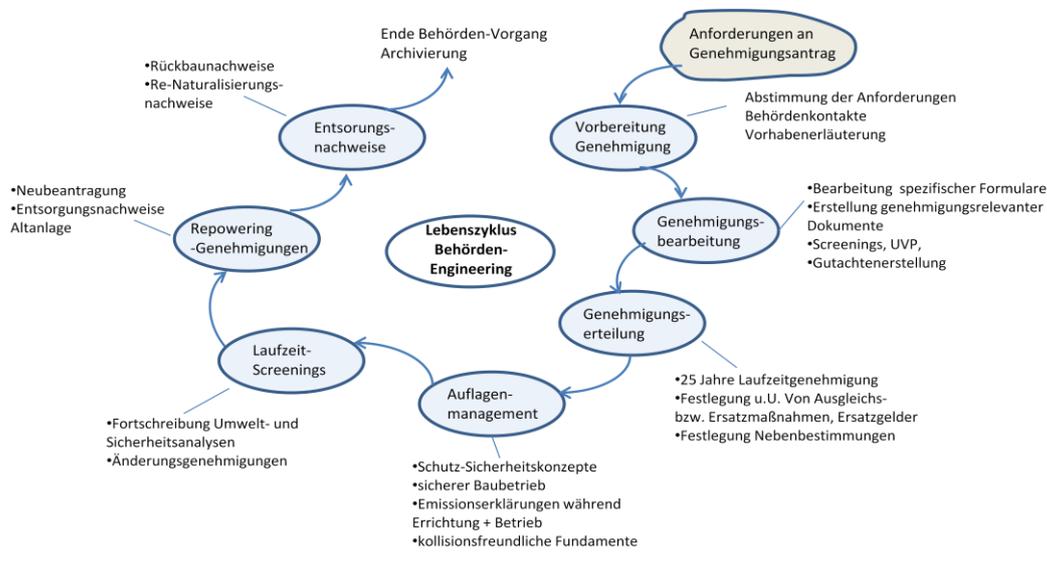


Abbildung 22: Typischer Behörden-Engineering -Lebenszyklus für OWP's nach BSH

Wie bereits in Abbildung 18 in Kapitel 3.2 dargestellt, lässt sich das Produkt *Offshore-Windpark* in die aufgeführten Teilsysteme zerlegen, die innerhalb des Modells durch die produktbezogene Sichtweise abgebildet werden. Zerlegungen erlauben vereinfachte Betrachtungen ihrer Teilkomponenten und deren gegenseitige Wechselwirkungen. Im Sinne des Produktes Offshore-Windparks beinhalten sie alle Komponenten inklusive deren individueller Lebenszyklen, die zum Erreichen des Produktzieles, der Gewinnung erneuerbarer Energie, benötigt werden. Die aufgeführten Teilsysteme spiegeln die wichtigsten Aufgabenpakete wider, deren komplexe Wechselwirkungen nur durch eine integrierte Betrachtung innerhalb eines Gesamtsystems verdeutlicht werden können. Zur Durchführung dieser Aufgabenpakete wird in allen Lebenszyklusphasen projektspezifisches Wissen generiert und nicht-projektspezifisches Wissen benötigt. Beide Wissensdimensionen sind vorhanden, allerdings nach Ansicht der Autorin nicht gleich verteilt, wie in Abbildung 23 bezogen auf die einzelnen Phasen des OWP-Lebenszyklus dargestellt. Projektspezifisches Wissen sammelt sich gehäuft in den Phasen der Standortanalyse an, da hier die einmaligen Projektrahmenbedingungen auf den tatsächlichen Standort bezogen verstärkt einfließen. Detaillierte Projektplanung wie die Planung und Auslegung der einzusetzenden Windkraftanlage, die Planung der benötigten Ressourcen und Arbeitsumgebungen sowie die zur Durchführung benötigten Prozesse, akkumulieren ebenfalls keinen geringen Teil an projektspezifischem Wissen, allerdings lässt sich hier intensiver auf nicht-projektspezifisches Wissen wie Ressourcenkataloge, standardisierte Vorgehensweisen bei der Fertigungs-, Arbeitsumgebungs-, Logistik- und Montageplanung zurückgreifen. Umgekehrt verhält es sich in der Lebenszyklusphase der Realisierung. Die Validität des hier erzeugten Wissens ist maßgeblich von den konkreten, einmaligen, auf das System Offshore-Windpark wirkenden Projektparametern abhängig. In den Phasen der Inbetriebnahme/Übergabe und des Vollbetriebs sind beide Wissensanteile in etwa gleich verteilt. Eine Tendenz der Zunahme nicht-projektspezifischen Wissens wird in der Phase des Repowering/Rückbaus ausgemacht. Hier lassen wiederum verstärkt standardisierte Vorgehensweisen und Methoden einsetzen, wobei natürlich der Vorgang des tatsächlichen Abbaus der Anlage von den jeweiligen Einwirkparametern abhängt und damit einen projektspezifischen Wissensanteil beinhaltet. Die Wahl der einzusetzenden, IT-

unterstützenden Methoden hängt, wie schon erwähnt, mit der Art des Wissens zusammen, d.h. die Form der Unterstützung wird durch die Anteile der hier zugrunde liegenden Wissensdimensionen bestimmt. Für das OWP-Modellkonzept gilt daher:

Je höher der Grad an nicht-projektspezifischem Wissen, je besser die Durchgängigkeit der informationstechnischen Abbildbarkeit und Unterstützungsfähigkeit.

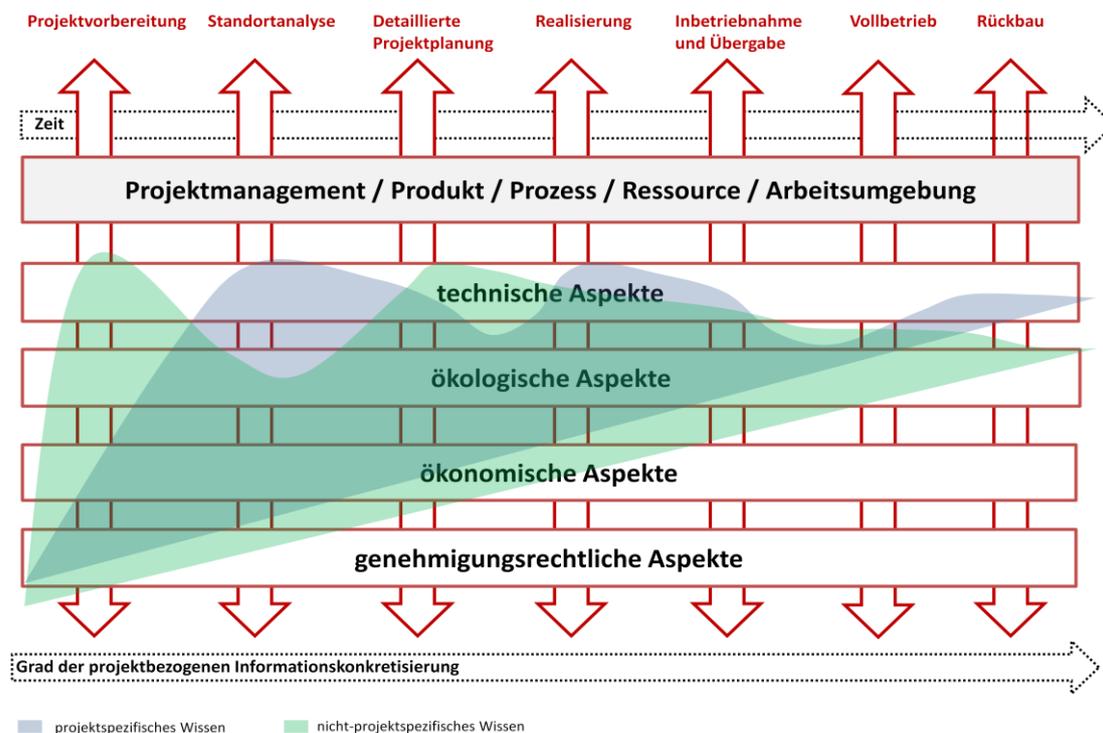


Abbildung 23: *Lebenszyklusphasenbezogene Verteilung projektspezifischen und nicht-projektspezifischen Wissens eines Offshore-Windpark-Produktprojektes*

Abbildung 23 gibt somit eine quantitative Antwort auf die unter 3.2 definierte Frage nach lebenszyklusbezogener Verteilung projektspezifischen und nicht projektspezifischen Wissens. Prinzipiell lassen sich beide Wissensdimensionen in allen eingeführten Modellsichten finden. Da sich allerdings neben der Verteilung über die Lebenszyklen auch Unterschiede innerhalb dieser Sichten ergeben, wird die Frage nach anwendbaren Abbildungsmethoden für nicht-projektspezifisches Wissen hauptsächlich während der ressourcenorientierten- und arbeitsumgebungsorientierten Sichtenbetrachtung diskutiert. Auf die modellseitige Integration projektspezifischen Wissens wird vor allem innerhalb der Referenzprozessableitung eingegangen.

Zu Beginn eines Offshore-Windparkvorhabens, vor allem in der Phase der Projektklärung und Vorbereitung, liegen sehr viele unterschiedlich strukturierte und formalisierte Informationen vor, die untereinander nur zum Teil Abhängigkeiten aufweisen. Diese Informationen werden häufig auf verschiedenste Arten verwaltet, eine Verknüpfung erfolgt weniger durch eine IT-Unterstützung als durch die beteiligten Personen selbst. Diese Informationen, denen noch geringe Strukturiertheit zugrunde liegt, werden innerhalb des Modells als ‚unscharfe Informationen‘ bezeichnet. Im Fortlaufen des Windpark-Projektes nimmt der Grad der Informationsunschärfe durch eine zunehmende projektbezogene Informationskonkretisierung immer weiter ab. Das Ergebnis ist eine verstärkte Formalisierung, die wiederum eine vereinfachte IT-technische Abbildung zur Folge hat. Im weiteren Modellentwicklungsverlauf wird die Frage nach einer adäquaten IT-Unterstützung unscharfer Informationen innerhalb der Anforderungsmodellierung kurz aufgegriffen. Für eine weitreichendere Betrachtung dieses sehr umfangreichen Themas sei auf Sekundärliteratur verwiesen. Zwar spielt eine Berücksichtigung des unscharfen, u.U. auch unvollständigen Wissens

gerade innerhalb der Offshore-Problematik keine unwesentliche Rolle, muss aber aufgrund der notwendigen Fülle als ein eigenständiges, hier nicht im Vordergrund stehendes Themenfeld betrachtet werden.

Die hier vorgestellten, unterschiedlichen Sichtweisen auf das generische Modell eines Gesamtsystems OWP werden innerhalb der nachfolgenden Kapitel einer detaillierteren Betrachtung unterzogen, um sie im Anschluss daran gemäß den formulierten Paradigmen in einen integrativen Objektmodellansatz zusammenzuführen. Eine lebenszyklusbasierende Betrachtung des Gesamtkonzeptes bedingt aus Sicht der Autorin einen prozessorientierten Modellierungsfokus, d.h. das OWP-Prozessmodell bildet einen Schwer- und Mittelpunkt innerhalb der Entwicklungsphasen des Gesamtmodells.

4.4 Anforderungsorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell

An das Gesamtsystem Offshore-Windpark sowie an seine Teilsysteme und die zur Umsetzung der vielfältigen Arbeitsaufgaben notwendigen Prozesse werden die unterschiedlichsten, in ihrer Komplexität stark divergierenden Anforderungen gestellt. Die zudem hohe Komplexität und Wissensintensität von OWP-Prozessen lassen zur Sicherstellung der zu erbringenden Leistungskriterien eine Integration der anforderungsorientierten Sicht in das Objektmodell als zwingend nötig erscheinen. Wesentlich ist dabei, sowohl die vielfältigen, auf ein Offshore-Projekt einwirkenden Aspekte zu berücksichtigen als auch die gewünschten Zielparameter abzubilden und deren Erreichen sicherzustellen. Im Gegensatz zu klassischen Produkten können bei OWP-Projekten zudem in jeder Lebenszyklusphase zusätzliche Anforderungen an die Prozessgestaltung formuliert werden. Anforderungsmodellierung und -management erstrecken sich somit über den gesamten Lebenszyklus hinweg und können nur als kontinuierlicher Prozess, beginnend mit der Projektvorbereitungsphase und der Formulierung der anfänglichen Eingangsgrößen und generellen Zielparameter, bis hin zum Rückbau und der hier zu berücksichtigenden Aspekte, zielführend und wirksam sein. Anforderungsmanagement stellt sich somit im Kontext von Offshore-Windkraftanlagen nicht als eine Phase sondern als eine übergreifende ‚Engineering‘-Tätigkeit dar, für die im Weiteren auch der gängigere Begriff des ‚Requirement Engineering‘ Verwendung finden soll.

4.4.1 Ziele des Requirement Engineerings im OWP-Umfeld

Eine der wichtigsten Zielstellungen angepassten Requirement Engineerings besteht in der zeitigen Erkennung und Vermeidung von Fehlern und eine damit verbundene Verringerung der Kosten durch unnötige bzw. nicht zielführende Mehrarbeit [IREB]. Effizientes, phasenübergreifendes Requirement Engineering gehört daher, ähnlich anderen Großprojekten, zu den kritischen Erfolgsfaktoren bei der Durchführung von Offshore-Windenergieprojekten. Requirement Engineering (RE) ist nach *IREB* als ‚ein kooperativer, iterativer, inkrementeller Prozess‘ zu sehen, dessen Ziel es ist zu gewährleisten, dass:

- alle relevanten Anforderungen bekannt und in dem erforderlichen Detaillierungsgrad verstanden sind,
- alle Anforderungen konform zu den Dokumentationsvorschriften dokumentiert sind,
- ein durchgängiges Projektmanagement realisierbar ist,
- ein transparentes Risikomanagement Unterstützung findet,
- Änderungsmanagement-Aktivitäten kontextbasierend und aufwandsminimierend möglich sind sowie
- eine allgemeine Akzeptanz des Gesamtprojektes vorliegt und deren Abnahme sichergestellt wird.

Im Mittelpunkt effektiven Requirement Engineerings stehen daher alle am Projektergebnis und dessen Zustandekommen interessierten Zielgruppen [Blaubach2002, S.2]. Gerade im verwandten Asset Management sind wichtige Zielgruppen die sogenannten Stakeholder, die bei den hohen

einzusetzenden, finanziellen Aufwendungen entsprechende Transparenz in der Umsetzung der gestellten Anforderungen in Bezug auf eine Risikoabschätzung und – Minimierung erwarten.

Offshore-Projekte sind in der Regel interdisziplinäre Projekte, die sowohl in den Projektteams als auch über den Projektgegenstand eine große Anzahl verschiedener Gewerke bzw. Disziplinen verbinden [dena2010]. Daraus abgeleitet werden innerhalb des hier entwickelten OWP-Modells die folgenden Zielstellungen für das OWP-Anforderungsmanagement definiert:

- *eine Reduzierung der Verzögerungen zwischen Entscheidung und Umsetzung zu unterstützen,*
- *die parallele Spezifikation an Teilsystemen und Komponenten durch mehrere Arbeitsgruppen zu ermöglichen [Hagge,Lampe2007 S.1],*
- *Kriterien für die Prüfung und Freigabe der Genehmigungsunterlagen zu liefern ,*
- *eine zentrale Kommunikations- und Dokumentationsplattform zu schaffen [Hagge,Lampe2007 S.1],*
- *den Aufwand für späte Änderungen im Entwicklungsprozess zu minimieren und der Wiederholung von Fehlern vorzubeugen,*
- *die verschiedenartigen Einflussgrößen und Zielparameter nach zu verfolgen und dadurch eine durchgängige Entwicklungsdokumentation zu erzwingen sowie*
- *die langfristige Verfügbarkeit des entstehenden Wissens zu gewährleisten*

Letztendlich wird durch die anforderungsorientierte Sicht auf das OWP-Modell ein kurzfristiger, auf geänderten Anforderungen basierender Entscheidungswechsel allen beteiligten Objekten kontextbezogen mitgeteilt. Zusätzlich erlaubt diese Sichtenintegration die Definition der spezifischen Anforderungsdarstellung, d.h. in welcher Form die Anforderungen vorliegen und miteinander bzw. mit anderen Komponenten des Gesamtsystems in Verbindung stehen. Sie liefert zudem ein Konzept, wie Anforderungen mit den für ihre Umsetzung erforderlichen Prozessen verknüpft und über alle Lebenszyklusphasen hinweg überwacht werden können. Die technischen Werkzeuge für die Durchführung von Requirement Engineering-Aufgaben sind heute typische Bestandteile von PLM-Systemen. Diese liefern, neben rollenbasiertem Änderungs- und Workflowmanagement, unterschiedliche Möglichkeiten zum Nachverfolgen von Anforderungen innerhalb des Gesamtprojektes. Zudem lassen sie die Anforderungsspezifikation in voneinander unabhängigen Dokumenten zu und führen diese in eine entsprechende Sichtweise zusammen. Eine Dokumentation aller Anforderungen kann hierbei durchgängig sichergestellt werden.

Der zielführende Einsatz der Werkzeuge hängt dabei maßgeblich von der strukturierten und klassifizierten Abbildung der Anforderungen und den kontextbezogenen Verknüpfungsmöglichkeiten ab. Aus diesem Grunde fokussieren die Ausführung im Weiteren auf die Typisierung von Anforderungen und Verknüpfungsbeziehungen als Voraussetzungen für eine effiziente Verarbeitung. Die technische Machbarkeit wird in Kapitel 6 exemplarisch aufgeführt.

4.4.2 Typisierung von Anforderungen

Die im Umfeld von OWP-Prozessen zu behandelnden Anforderungen lassen sich aus Sicht der Autorin zunächst in solche unterscheiden, die während des gesamten Lebenszyklus auf das Gesamtsystem bzw. dessen Teilsysteme einwirken, den sogenannten Einflussgrößen. Diese, in Abbildung 18 bereits dargestellten Einflussparameter, sind aus den verschiedenen technischen, rechtlichen, ökonomischen und ökologischen Aspekten her leitbar und unterliegen einer gewissen, sich gegenseitig beeinflussenden Dynamik. Da sie als einwirkende Parameter Berücksichtigung finden, sollen sie in den folgenden Ausführungen auch als Input-Parameter bezeichnet werden. Die zweite Sparte der Anforderungen beinhaltet die zu erreichenden Leistungsparameter des Systems Offshore-Windpark. Sie enthalten somit die durch den OWP zu erfüllenden Ergebnisse, deren Einhaltung durch das Gesamtsystem während des gesamten Lebenszyklus sichergestellt werden muss. Funktionale Leistungsparameter sind in der Regel in Lasten- und Pflichtenheften rechtlich bindend fixiert und müssen innerhalb des Modells abbildbar, sichtbar und überwachbar sein. Ihre

Änderungen unterliegen häufig auch gestuften ‚Change Request‘ Algorithmen. Da sie auch als Ergebnis der physischen Anlage zu sehen sind, sollen sie an dieser Stelle auch als Output-Parameter betrachtet werden. Neben dieser grundsätzlichen Anforderungsdifferenzierung findet auch die klassische Sichtweise nach [Blaubach2002, S.10 ff] im Modell Anwendung, die die folgende, in Abbildung 24 dargestellte Typisierung beinhaltet:

- **Funktionale Anforderungen** erfassen, was das System können und wie es in seinem geplanten Umfeld die Arbeitsabläufe beeinflussen soll. Elementare Aufgaben, die das geplante System erfüllen soll, werden unter den funktionalen Anforderungen gebündelt. Sie sind äquivalent den Output-Parametern zu sehen.
- **Nicht-funktionale Anforderungen** beziehen sich auf das erwartete Systemverhalten und beschreiben die Eigenschaften, die zunächst schwerer quantifizierbar sind. Nicht-funktionale Anforderungen werden in erster Ebene wiederum in die folgenden unterteilt:
 - **Qualitätsanforderungen** beziehen sich auf OWP-Güteanforderungen wie Zuverlässigkeit, Handhabbarkeit, Erreichbarkeit, Erlernbarkeit, Wartungs- und Servicefähigkeit, Überfrachtungsmöglichkeiten, um nur einige zu nennen und
 - **Randbedingungen (Constraints)** beziehen sich auf die Faktoren, die den Einsatz und Betrieb insgesamt beeinflussen sowie Vorgaben an Ressourcen-, Zeit-, und Kostenbudget sowie geforderte Technologie beinhalten. Sie sind vergleichbar mit den erwähnten Einflussfaktoren und bedingen Abhängigkeiten von Anforderungen.

Orthogonal lassen sich ‚weichere‘ Anforderungstypisierungen wie bewusste, unbewusste oder auch ungeahnte Anforderungen aufstellen, die hier allerdings angesichts der vorgestellten ‚harten‘ Typen und deren Komplexität eine untergeordnete Rolle spielen.

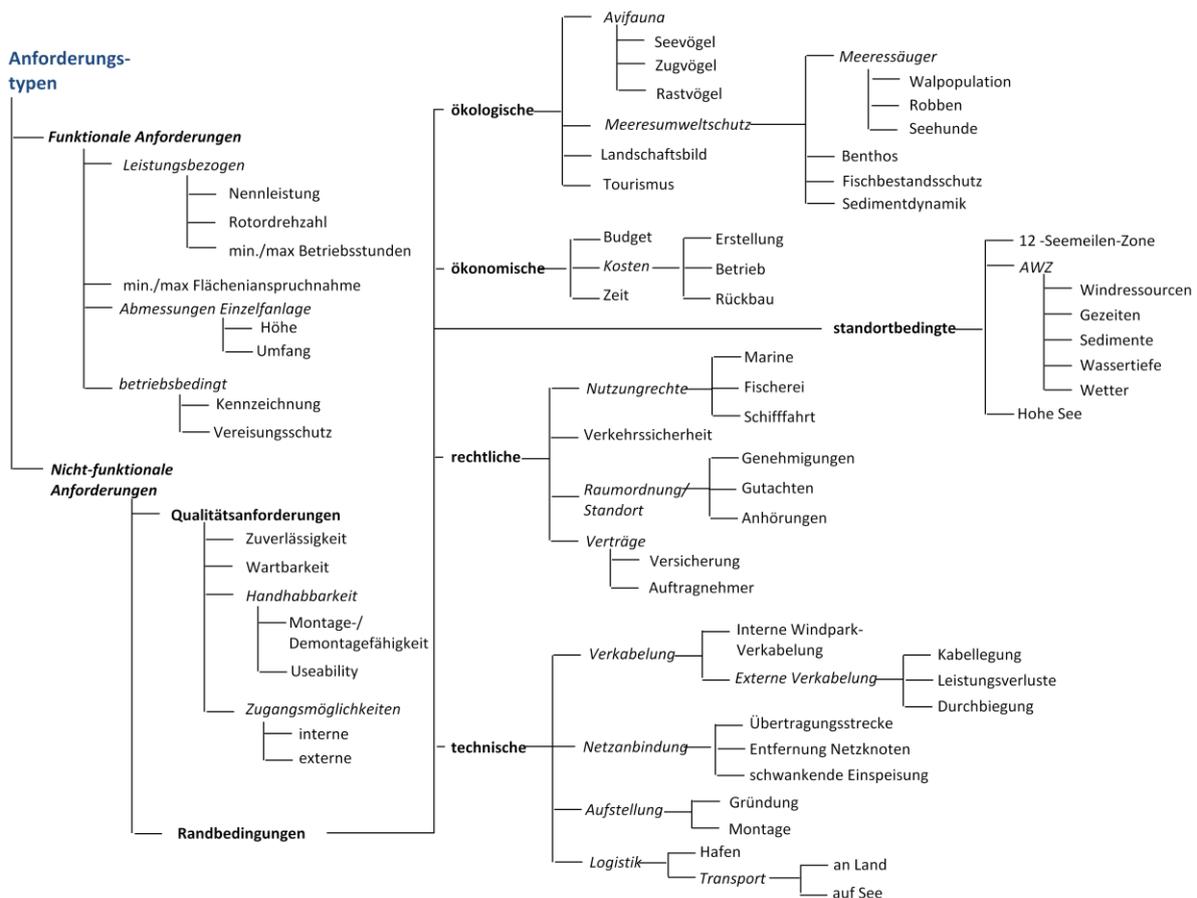


Abbildung 24: Exemplarische Typisierung von Anforderungen an Offshore-Windparks

In Anlehnung an die Komplexität von Prozessen zeichnen sich auch Anforderungen im Offshore-Bereich durch eine teilweise enorme Vielschichtigkeit aus. Dies bedeutet, dass Anforderungen

untereinander, mit anderen Teilprojektergebnissen und vorgegebenen, bzw. sich auch ändernden Randbedingungen in Beziehung stehen. Grundsätzlich besteht bei ungenau oder unvollständig erfassten Anforderungen auch immer die Gefahr des Kollidierens ursprünglich erfasster Anforderungen mit nachträglichen Änderungswünschen, die im Projektverlauf häufig zu Verzögerungen führen [Blaubach2002, S.4]. Hier gilt, je vielfältiger die Abhängigkeiten, umso größer gestaltet sich ein mögliches gegenseitiges Konfliktpotential in deren Umsetzung. So lassen sich oftmals Biotopschutzbedingungen nur schwer mit minimierten Ressourcen- und Kostenaufwendungen vereinen. Letztendlich muss daher durch das abgeleitete Modell sichergestellt werden, dass spezifische Anforderungseigenschaften und *Prioritäten* berücksichtigt werden können, aufgrund derer sie nicht gleichwertig sind.

Die formale Abbildung komplexer Anforderungen lässt sich auch hier in Form von Strukturierungen vornehmen, in denen es Eltern-Kind-Beziehungen, wie in Abbildung 25 am Beispiel der genehmigungsrechtlichen Anforderungen speziell in der AWZ aufgeführt, oder auch auf die Abhängigkeit bezogene Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen, geben kann.

Die Überwachung und Kontrolle von Anforderungen inklusive deren Abhängigkeiten untereinander oder zu anderen Objekten wird durch den Einsatz von Nachverfolgungs-Links, hier ‚tracelinks‘ genannt, dargestellt. Ein ‚tracelink‘ etabliert innerhalb des Modells eine Beziehung zwischen zwei Objekten. In dieser speziellen Beziehung definiert ein Objekt die Bedingung, die das andere partiell oder vollständig erfüllen muss.

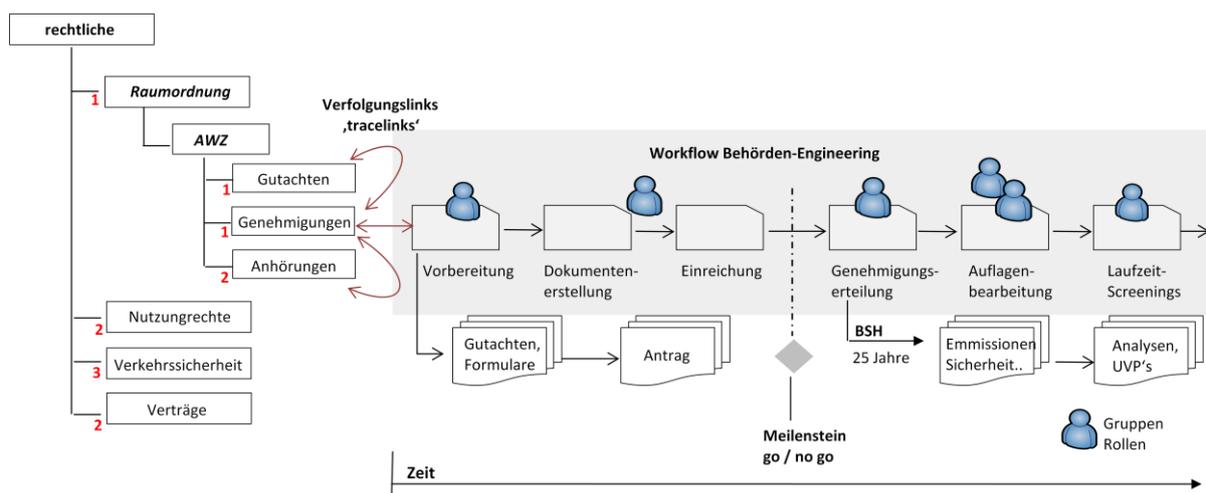


Abbildung 25: Beispielhafte Verknüpfung von genehmigungsrelevanten Anforderungen in der AWZ mit Behörden-Engineering-Prozessen

Die in Abbildung 25 aufgeführte, durch das Modell zu unterstützende Verknüpfung von Anforderungen und Workflow, zeigt zusätzlich eine mögliche Priorisierung von Anforderungen, hier in der Skala von eins bis drei, wobei eins hier für die höchste und drei die niedrigste Stufe stehen. Jede Stufe des dort abgebildeten Workflow-Prozesses nimmt Anforderungen auf und leitet aus der während der Umsetzung gewählten Lösung daraus resultierenden Anforderungen an die nachgelagerten Prozessstufen ab. Die Bearbeitung der zugeordneten Dokumente erfolgt gemäß zuvor definierter, unterschiedlicher Benutzerrechte und -Rollen, da nicht jeder Benutzer Einsicht in jedes Dokument erlangen wird und u.U. auch nur in speziellen Dokumenten Änderungen vornehmen darf. Eine prototypische Abbildung und Umsetzung der dargestellten Zusammenhänge erfolgt in Kapitel 6.

In vielen Belangen der Anforderungsmodellierung wird auf sogenannte Use Case- oder Anwendungsfall-Modellierungen zurück gegriffen. Use Case-Modellierungen unterstützen den Prozess der Anforderungsdetaillierung durch die Betrachtung typischer Szenarien. Der Fokus liegt hier auf der Beschreibung von Aktionsfolgen, die ein (Teil)-System ausführen kann, wenn es mit Akteuren interagiert. Sie lassen sich neben der Anforderungsdetaillierung auch dazu nutzen, die

verschiedenen Abhängigkeiten und Vernetzungsoptionen von Teilsystemen visuell darzustellen und Wirkgrenzen von Randbedingungen besser erkennen zu lassen. Die Definition von Use Cases wird somit auch zur Evaluierung des entwickelten OWP-Modells herangezogen. In Kapitel 5.5 wird eine Definition des Behörden-Engineering-Anforderungsfalls diskutiert.

4.4.3 Anforderungsmanagementprozess

Sind die Anforderungen bekannt und formulierbar, schließt sich der Prozess des Anforderungsmanagements an. Da Anforderungen nicht wie besprochen fix und statisch sind, besitzen sie aus Sicht der Autorin ebenfalls einen eigenen Lebenszyklus. Der an dieser Stelle betrachtete Anforderungsmanagementprozess umfasst proaktive Entscheidungen und Maßnahmen, die – über den gesamten OWP-Lebenszyklus hinweg – kontinuierlich

- ✓ den Status Quo der bekannten Anforderungen erfassen und dokumentieren,
- ✓ ermitteln, bei welchen Anforderungen sich Änderungen ergeben haben,
- ✓ neue Anforderungen, (z.B. durch veränderte rechtliche Rahmenbedingungen), berücksichtigen,
- ✓ festlegen, welche Strategien zur Realisierung der Anforderungen verfolgt werden sollen,
- ✓ rechtzeitig Alternativen einplanen und bei Bedarf aktivieren,
- ✓ bewerten, welche Risiken dabei auftreten können und
- ✓ durch methodisch strukturierte Vorgehensweise reproduzierbare Ergebnisse gewährleisten [Blaubach2002, S.7].

Der aus den Aufgaben abgeleitete Anforderungsmanagementprozess folgt nach [Blaubach202] im Allgemeinen den in Abbildung 26 dargestellten Prozessphasen. In der ersten Phase der **Identifizierung** werden alle für das Offshore-Windpark-Projekt potentiellen Anforderungen ermittelt und dokumentiert, bevor eine entsprechende Strategie zu deren Umsetzung festgelegt werden kann. Die Anforderungserhebung erfolgt dabei auf der Basis aller zur Verfügung stehenden Quellen und Werkzeuge mit dem Ziel einer Anforderungsstrukturierung gemäß der erforderlichen Hierarchisierung. Innerhalb der **Analyse** wird mit der Umwandlung aller zu den identifizierten Anforderungen bekannten Daten in Informationen begonnen, die als Grundlage für die nachfolgende Entscheidungsfindung dienen. Es erfolgt eine Vergabe von Prioritäten für die aufgestellten Anforderungen.

Innerhalb des Modells beinhaltet die **Planung** die Ableitung konkreter Maßnahmen und Entscheidungen aus den zuvor erfassten Informationen durch die Verknüpfung der Anforderungen mit zu deren Umsetzung erforderlichen Prozessen und Workflows.

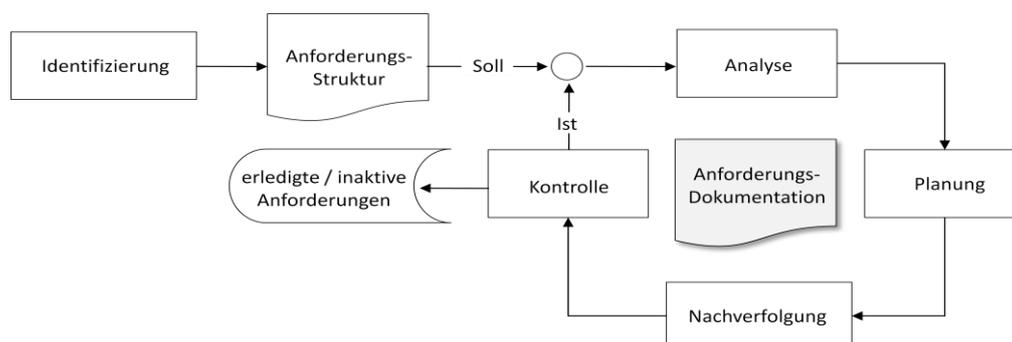


Abbildung 26: OWP-Anforderungsmanagementprozess, Quelle: [Blaubach2002, S.5]

Eine wesentliche Aufgabe des OWP-Anforderungsmanagements besteht, neben der Anforderungsstrukturierung, Dokumentation und des Managements von Änderungen, in der **Nachverfolgung** identifizierter Anforderungen. Eine Rückverfolgung ermöglicht innerhalb des gesamten OWP-Projektes jederzeit eine Überblicksgewinnung über den aktuellen Status der Anforderungen und aller Maßnahmen, die zu deren Realisierung eingeleitet wurden. Zusätzlich wird, basierend auf den entsprechenden Verlinkungen, ein fortlaufender Abgleich der Soll-Werte mit dem Ist-Zustand

gewährleistet, so dass beim Auftreten von Abweichungen schnellstmöglich steuernde Maßnahmen und Korrekturen eingeleitet werden können. Dieser Abgleich wird der **Kontrollphase** zugeordnet, die auch regelmäßige Reviews, beispielsweise durch definierte Meilensteine im Workflow-Prozess, beinhaltet. Erledigte bzw. nicht mehr relevante Anforderungen lassen sich hierbei dem weiteren Anforderungsmanagementprozess entziehen. Wie schon erwähnt, enthalten heute verfügbare PLM-Systeme bereits Werkzeuge für ein effektives Anforderungsmanagement. Kombiniert mit diesen Basisfunktionalitäten lassen sich bereits Anforderungserfassung- und Dokumentation, das Zuordnen von Zeitplänen, ein Änderungsmanagement und Risikobewertungen umsetzen. Zur Nachverfolgung von Änderungen und zum Aufzeigen von Abhängigkeiten und Konflikten stehen ebenfalls Basiswerkzeuge zur Verfügung, die allerdings zur kontextsensitiven Nutzung eine modellseitige Abbildung erfahren müssen. So sollen für das innerhalb dieser Arbeit hergeleitete generische Objektmodell spezielle OWP-Beziehungstypen definiert und unter 5.3 beschrieben werden.

4.5 Produktorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell

Der Bereich des Offshore-Engineering ist durch Unikat und Kleinserienfertigung bei gleichzeitig hohem Projektmanagementaufwand gekennzeichnet. Im Allgemeinen beruht eine wirtschaftlich praktikable Realisierung von Windparks offshore darauf, dass diese als Systeme betrachtet werden, die wiederum aus integrierten Subsystemen bestehen. Der Offshore-Windpark ist nach Auffassung der Autorin somit zugleich integrierendes Gesamtsystem als auch Produkt im Sinne der klassischen Produktzentrierung. Eine produktorientierte Sichtweise auf das zu entwerfende OWP-Modell rückt alle zu diesem Produktprojekt gehörenden Komponenten und deren Zuordnung untereinander in den Mittelpunkt der Darstellung. Sie umfasst neben den Produktmerkmalen auch die Struktur des Produktes. [Rapp] definiert den Begriff Struktur als „die (unsichtbare) Anordnung der Teile des Ganzen zueinander, oder auch das Gefüge, das aus Teilen besteht, die wechselseitig voneinander abhängen“. Daraus abgeleitet lässt sich die Produktstruktur als „die Zuordnung, das Gefüge der Teilelemente, d.h. der Baugruppen oder Produktkomponenten untereinander und deren Komposition zum Produkt“ [Rapp1998] definieren. Aus der durch die Autorin vorgenommenen, kombinierten Betrachtung des Offshore-Windparks zum einen als komplexes System, zum anderen als Produkt im klassischen Sinne, wird deutlich, dass eine modellseitige Unterstützung der produktorientierten Sichtweise mehrere Dimensionen der Strukturierung zulassen muss. Sie wird im Folgenden sowohl auf das Gesamtsystem, der unter 3.2 eingeführten, systemtheoretischen Makrosicht mit seinen Teilsystemen als auch auf die Komponentensicht des Produktes und seiner Teilprodukte, der Mikrosicht, Anwendung finden.

4.5.1 Dimensionen der produktorientierten Sichtweise

Für den hier betrachteten Kontext eines Windparks werden die Dimensionsbetrachtungen der Phase 2 des generischen Objektmodells auf zwei unterschiedlichen Wegen vorgenommen. Zum einen gelingt dies über die **Makro-Produktsicht**, die das System Offshore-Windpark mit seinen Subsystemen bzw. Komponenten abbildet. Zum anderen liegt eine **Mikro-Produktsicht** zugrunde, die die produktorientierte Sichtweise auf die Teilelemente der einzelnen Sub-Systeme widerspiegelt. Beide Sichten haben Einfluss aufeinander und erfordern eine zusammenführende Herangehensweise bei der Modellbildung.

Makro-Produktsicht und Mikro-Produktsicht im Modell-Kontext unterscheiden sich voneinander durch ihre unterschiedliche Konfigurationsunterstützung bezüglich Varianz und Revision. **Varianten** existieren hier zeitlich parallel mit vergleichbaren Ausprägungen ein und desselben Ergebnisses bzw. Produktes und sind damit potentiell gegeneinander austauschbar [Fischer2010]. Die Verwendung der Alternative wird durch den konkreten OWP-Anwendungsfall bestimmt. **Revisionen** oder auch **Versionen** sind dagegen zeitlich nacheinander entstehende, vergleichbare Arbeitsergebnisse bzw. Entwicklungsstufen einer Aufgabe oder eines Produktes innerhalb des betrachteten Windpark-Kontextes. Eine neue Version ersetzt hier eine ältere, die durch Veränderung oder Weiter-

entwicklung aus dieser hervorgegangen ist. Sie stellt in der Regel eine Verbesserung hinsichtlich der zu erfüllenden Aufgabe dar [Fischer2010]. Aufgrund der zuvor erwähnten Unikat-Entwicklung von Offshore-Windparks mit hohen Planungsaufwendungen und der Notwendigkeit, erhebliche Datenmengen zu verwalten, lassen sich innerhalb eines Modells, welches dieses Gesamtsystem abbildet, nur begrenzt parallel existierende Varianten für das System OWP vorhalten. Versionen im zeitlichen Verlauf mit entsprechenden Freigabe-Workflows sind hier vorherrschend. Wird zur Dimension der Mikro-Produktsicht, wie in Abbildung 27 dargestellt, gewechselt, muss eine Unterstützung der zeitgleichen Alternativenbildung durch das OWP-Modell gegeben sein. Gründungskonzepte unterliegen, wie in Kap. 2.2.2 erwähnt, sehr stark den örtlichen Gegebenheiten wie Bodenstruktur, Gezeiten, Wassertiefe und finden daher auch modelltechnisch als Varianten ihre Berücksichtigung.

In der Makro- und Mikro-Produktsicht ergeben sich unterschiedliche Detaillierungstiefen für Planung und Produktstruktur. Das System OWP umfasst die erwähnten Teilsysteme, die in ihrer integrierenden Betrachtung die Gesamtwirkungsweise des Windparks und seine damit assoziierten Gesamtabläufe widerspiegeln. Eine Planung dieser komplexen Wirkweise inklusive der umsetzenden Prozesse führt, über den Lebenszyklus des OWP betrachtet, zu einer starken Planungsdetailierung. Modelltechnisch lässt sich dieser Effekt mit einer eher flacheren, dabei sehr breiten Baumstruktur hierarchisieren. Die Mikro-Produktsicht fokussiert dagegen stärker auf die Planung der Einzelwirkprinzipien der benötigten Komponenten und Baugruppen und deren Entwicklung und Herstellung. Im Kontext von Windenergieanlagen kommen verstärkt die Transportplanungen beispielsweise der Anlagenkomponenten hinzu, die aufgrund ihrer äußeren Begrenzung in besonderem Maße die Konstruktion und Montageplanung beeinflussen. Mikro-Produktsichten lassen sich durch verschiedene Strukturstücklisten, angefangen von der Produktstruktur, die beispielsweise den mengenmäßigen Aufbau der Windenergieanlage wiedergibt, über die Montagestruktur mit dem Fokus auf Montage-Reihenfolge der Baugruppen bis hin zur Logistikstruktur abbilden.

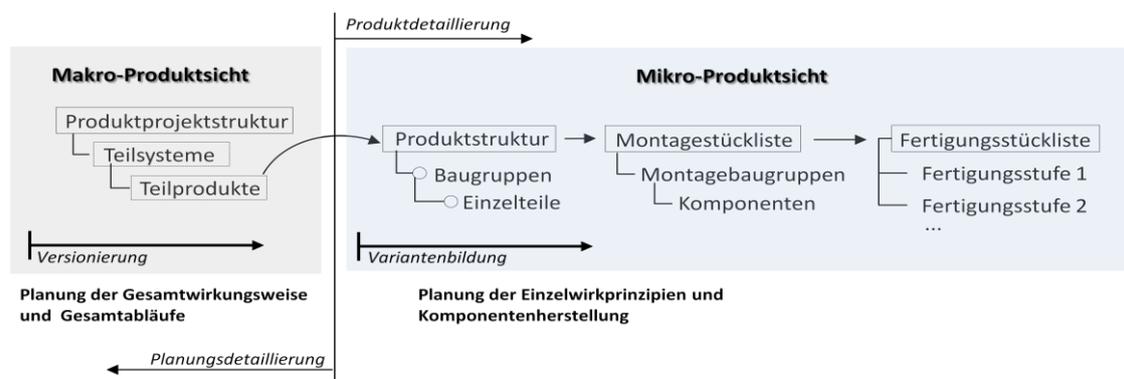


Abbildung 27: Makro- und Mikro- Produktsichten auf das Offshore-Modell

Die Dimension der Mikro-Produktsicht ist durch eine detaillierte Betrachtung der Einzelkomponenten und Wirkweisen daher eher durch tiefe, weniger breite Hierarchie-Abbildungen und Ausprägungen in verschiedenen Kontexten gekennzeichnet.

Die in Abbildung 27 erfolgte, generische Betrachtung der unterschiedlichen produktorientierten Dimensionen wurden in Abbildung 28 exemplarisch ausgeführt. Aus Makro-Produktsicht ist eine der wichtigsten Teilsysteme die einzelne Windkraftanlage, da sie, ähnlich dem Offshore-Windpark, ebenfalls als Produkt, d.h. als ein Ergebnis von Tätigkeitsvorhaben mit Vermarktbarkeits-eigenschaften angesehen wird. Zudem ist sie wesentlicher Funktionsträger der Gesamtanlage. Der Betrachtung der einzelnen Offshore-Windkraftanlagen-Struktur wurden die in [LOG-OWEA2010, S.20] aufgeführten und derzeit überwiegend verwendeten Anlagenmodelle mit horizontaler Rotorachse, zugrunde gelegt. Windkraftanlagen dieser Bauart bestehen in der Regel aus den in Kapitel 2.2 aufgeführten Bauteilen bzw. Baugruppen Rotorblätter, Rotornabe, Triebstrang

Generator, Windmess-Systeme, Mess- und Regeleinheiten, Turm, Fundament sowie eine Anzahl von Hilfsaggregaten. Für eine montagegerechte Planung werden innerhalb des Modells die Hauptbaugruppen *Fundament* (Gründung), *Turm*, *Gondel*, *Rotornabe* und *Rotorblatt* definiert. Sowohl für das einzelne Windrad als auch die Errichtung des Parks lassen sich alternative Montagestrategien entwickeln. Neben den verschiedenen Gründungstypen, die je nach Anlagenhersteller und Windparkstandort zur Anwendung kommen, muss beispielweise die Montagereihenfolge für die Gründung geplant werden und durch das Modell abbildbar sein. Wichtige, auf das *System* wirkende Einflussfaktoren sind hier neben der unterschiedlichen Montagedauer der Segmente die schon mehrfach erwähnten eingeschränkten Kapazitäten und Verfügbarkeiten von Transportschiffen, die wiederum eine Aufteilung in mehrere Montagestufen erfordern. So erfolgt beispielsweise das Setzen der Rammpfähle des Triples vor dem Tripile-Transport zur Baustelle [LOG-OWEA2010, S. 24].

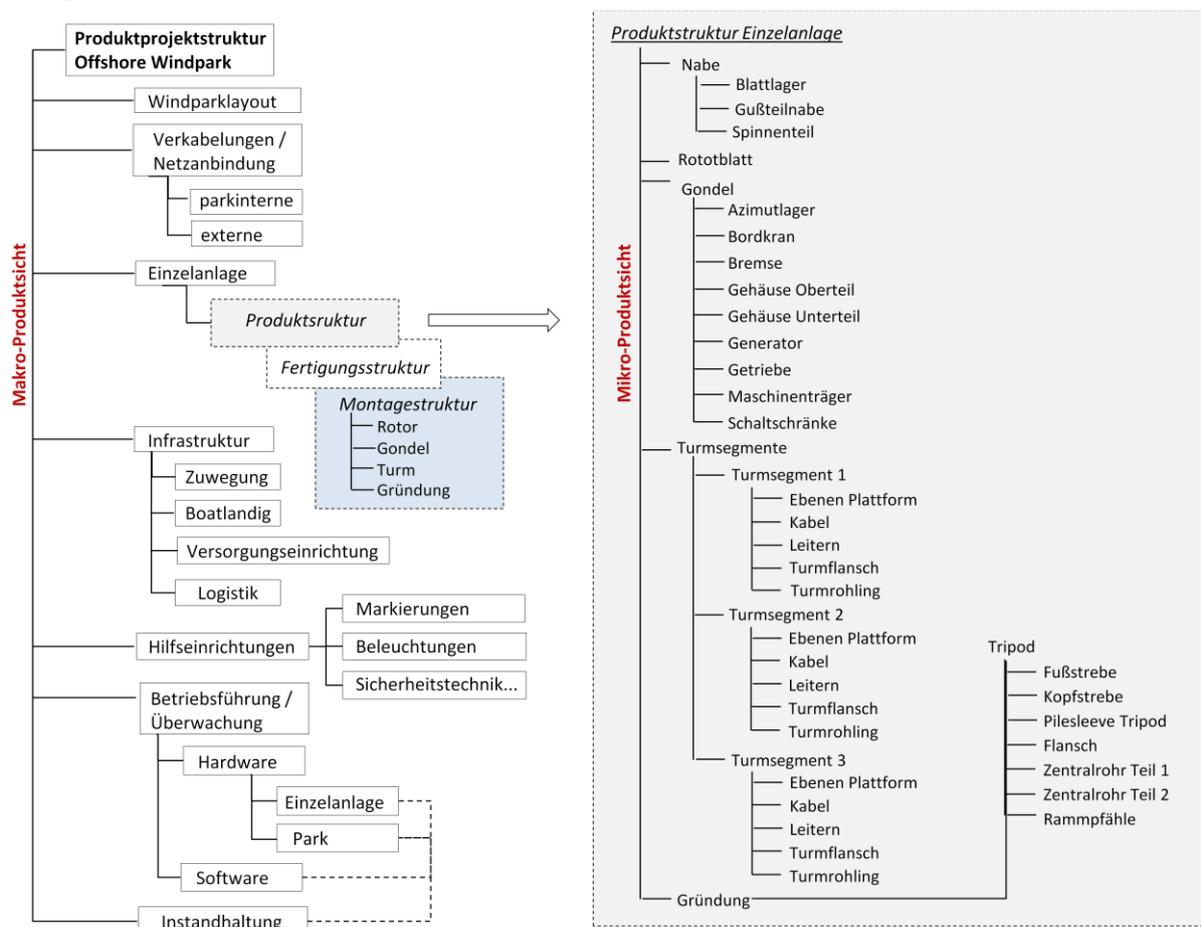


Abbildung 28: Produktprojektstruktur eines Offshore-Windparks mit exemplarischer Produktstruktur einer Einzelanlage, beziehend auf: [LOG-OWEA2010, S. 20, Abb. 10]

Ebenfalls schon mehrfach erwähnt wurden die hohen Anforderungen an die Reparatur- und Wartbarkeit von Windkraftanlage und Gesamtwindpark und deren Niederschlag im OWP-Modell. Bedingt durch die eingeschränkte Erreichbarkeit der Anlagen sind die Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen komplex und sehr kostspielig. Instandhaltungsvorgaben in Kombination mit Zuverlässigkeitsanforderungen beeinflussen somit in nicht unerheblichem Maße die Entwicklung des Produktprojektes OWP und seiner Teilprodukte. Ein Vorverlagern relevanter Informationen in die frühen Phasen der Produktentstehung fördert, unter Berücksichtigung der produktorientierten Dimensions-Sichten, die Entwicklung optimierter Instandhaltungsstrategien.

Die in Abbildung 28 dargestellten Makro- und Mikro-Produktsichten verdeutlichen den unterschiedlichen, strukturellen Aufbau beider Sichtweisen. Die Produktprojektstruktur folgt einer

Zerlegung anhand der Teilsysteme, die Produktstruktur zeigt den Einzelaufbau der Windenergie-Anlage. Aufgrund der verschiedenen, einzubeziehenden technischen, aber auch ökologischen und ökonomischen Aspekte, kann eine Vielzahl verschiedener Strukturen zur Anwendung kommen. Die produktorientierte Sicht des generischen OWP-Modells muss somit die Abbildung sowohl des Windpark-Produktlebenszyklus als auch der Einzelanlage unterstützen und eine Konfigurierbarkeit beider zulassen.

4.5.2 Konvergierende Lebenszyklen

Geknüpft an die mehrdimensionalen Produktbetrachtungen eines Offshore-Windparks lassen sich auch unterschiedliche, mit den Produktindividuen verbundene Lebenszyklen abbilden. Aus Autorensicht sind diese teilweise eingebettet in den Gesamtlebenszyklus des OWP, teilweise sind sie zum Hauptzyklus nebenläufig. Entscheidend ist der betrachtete Kontext. Einzelne WEA's besitzen somit ebenso eigene Lebenszyklen wie die aus Windpark-Sicht in Kapitel 4.7 als ‚Ressourcen‘ definierten Endprodukte. Dabei beeinflussen sich nicht nur die konvergierenden, d.h. aufeinander zu bewegendenden Lebenszyklusphasen. Als Beispiel sei hier der Wartungszyklus eines Transportschiffes genannt, der u.U. erhebliche Verschiebungen in der Realisierungsphase des Windparkprojektes mit sich bringen kann.

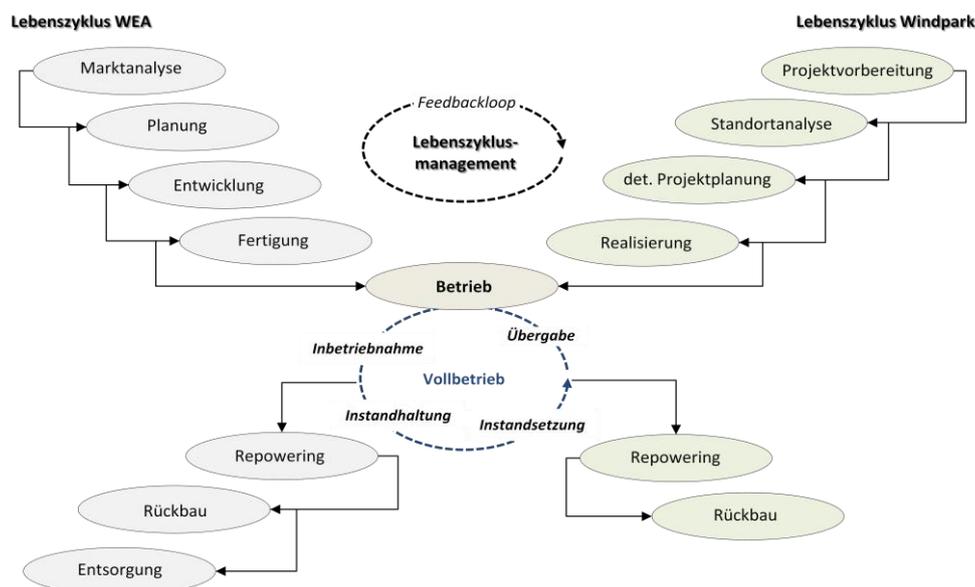


Abbildung 29: Konvergierende Lebenszyklen von Windpark und Einzelanlage

Aus der diskutierten Produktsicht sind die Lebenszyklen der Einzelanlagen für den Windpark von gesonderter Bedeutung. Hier sind einige der wichtigsten gegenseitigen Einflussfaktoren zu finden, die letztlich im Gesamtmodell Berücksichtigung finden müssen. Beide Lebenszyklen verlaufen in den ersten Phasen parallel, wobei bereits hier eine entsprechende Verknüpfung der Phasen gegeben ist. Die Planung des Windparklayouts beeinflusst beispielsweise durch Abstandsfestlegungen den Nachlauf benachbarter Anlagen und damit deren Leistungskurve und Lebensdauer. Die Betriebsphasen beider Zyklen lassen sich aufgrund der starken Überdeckung kaum voneinander trennen. Abbildung 29 verdeutlicht die getroffene Annahme der beiden, innerhalb der Betriebsphase konvergierenden Lebenszyklen. Erst mit der Inbetriebnahme der letzten Windkraftanlage kann der Windpark seinen definierten Vollbetrieb mit Überwachung, Instandhaltung und Instandsetzung aufnehmen. Je nach Sichtweise lassen sich ihnen auch sehr verschiedene Prozesse mit unterschiedlichen *Granularitätsdimensionen* (Abb. 27) zuordnen. Die Mikro-Produktsicht ist mit den Prozessen für Planung, Entwicklung und Fertigung der einzelnen Anlage verknüpft. Die Makro-orientierte Produktsicht fokussiert auf die Vorgänge zur Auswahl geeigneter Anlagen basierend auf den Ergebnissen der Standortanalyse und assoziiert neben den Aufgaben des Windparklayouts und

der Netzanbindung auch die vielfältigen, für die Umsetzung eines Windparkproduktes unerlässlichen Logistik- und Infrastrukturprozesse.

Diese enge Kopplung der konvergierenden Lebenszyklen untermauert die Forderung nach einer integrierten Abbildung und eines abgestimmten Managements. Eine integrierende Sichtweise zu unterstützen, ist formulierte Aufgabe des Modells. Dies kann und muss auf unterschiedlichen Integrationsansätzen erfolgen, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sich eine komplette Datenintegration im Sinne eines vereinheitlichten Datenmodells durchführen lässt. Dazu sind die zu verwaltenden Produkte zu komplex und von unterschiedlichen Unternehmen getrieben. So wird häufiger der Lebenszyklus einer Windenergieanlage in den Phasen Planung, Design, Entwicklung und Fertigung in anderen Systemen verwaltet werden als der ihn beeinflussende Lebenszyklus des Produktprojektes Offshore-Windpark. Ziel ist hier die Bereitstellung einer vereinheitlichenden Sichtweise von *Unternehmen* und *Unternehmung* und somit auch auf u.U. verschieden verwalteten Lebenszyklus-Informationen. Möglichkeiten für eine Sichtenintegration werden in Kapitel 6 kurz diskutiert.

4.6 Prozessorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell

Dem im Folgenden entwickelten Prozessmodell liegen die unter Kapitel 2.5 ausgeführten Lebenszyklusphasen eines OWP und deren spezifische Aufgabenpakete zugrunde. Im Kontext der vorliegenden Arbeit und in Anlehnung an die unter 3.1. getroffene Definition, wird hier ein **Prozess** als die *inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Abfolge einer partiell geordneten Menge von Aktivitäten mit klar definierten Inputs und Outputs zur Erreichung eines Ziels unter Beteiligung von Ressourcen* betrachtet [Remus2002, S.32]. Er beschreibt somit eine Kette logisch aufeinander aufbauender Arbeitsschritte mit einem definierten Beginn und definiertem Ende, die in einer mehr oder weniger standardmäßig vorgegebenen Abfolge zu erledigen sind. Betrachtet als funktionsübergreifender Ablauf, umfasst ein Prozess somit den Fluss und die Transformation von Material, Information und Entscheidungen. Prozesse sind objektbezogene, wertschöpfende Transformationsvorgänge, die zur Erfüllung von Arbeitsaufgaben durchgeführt und durch Ereignisse angestoßen werden. Sie enden mit dem Erreichen eines oder mehrerer Endzustände [Rupprecht2002, S18 ff].

Eine **Arbeitsaufgabe** wird in diesem Kontext als die „*Definition eines Ziels mit den zur Erreichung dieses Ziels notwendigen Angaben über Daten bzw. Objekte, Mittel, Lösungsvorschriften und weitere Randbedingungen*“ verstanden [DIN FB50 S.15]. Der Begriff des im Weiteren verwendeten **Offshore-Windpark-Prozesses**, OWP-Prozess, umfasst in Erweiterung der eingeführten Prozessdefinition:

...alle innerhalb des Lebenszyklus eines Offshore-Windparks zur Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe relevanten Arbeitsabläufe. OWP-Prozesse sind auf die Bearbeitung von Aufgaben innerhalb des Produktes Offshore-Windpark gerichtet. Bezogen auf den Lebenszyklus ist sowohl dem Produkt OWP als auch dem OWP-Prozess ein dynamisches Verhalten inhärent, da sich das Zusammenwirken der Prozesselemente über einen Zeitverlauf erstreckt.

In Abgrenzung zu den im Kontext von Prozessen üblicherweise aufgeführten *Geschäftsprozessen*, sind OWP-Prozesse nicht auf das *Unternehmen* mit seinen betriebswirtschaftlichen Abläufen sondern auf die **Unternehmung Windpark** gerichtet. In diesem Sinne soll im weiteren Verlauf auch von projektspezifischen Prozessen gesprochen werden, da jedes Offshore Windpark-Produkt Projektcharakter besitzt. Projekthafte Prozesse, wie sie innerhalb von Offshore-Vorhaben üblich sind, werden basierend nach [Remus2002, S. 14 ff] innerhalb der folgenden Modellentwicklung durch die speziellen Merkmale:

- hohe Komplexität,
- hohe Individualität / Einmaligkeit,
- hohe Wertigkeit im Sinne der Budgetierung,
- große zeitliche Ausdehnung,

- Internationalität,
- hohe Änderungshäufigkeit,
- viele Prozessbeteiligte,
- starke Vernetzung und
- hohe Wissensintensität

definiert. Ein ganz wesentliches Charakteristikum vieler OWP-Prozesse ist die hohe Wissensintensität, die im Folgenden gesondert aufgeführt wird.

4.6.1 Wissensintensive Prozesse im Offshore-Umfeld

Umfangreiches Wissen ist ein wesentlicher Effizienzfaktor bei der Gestaltung von Offshore-Windkraftprojekten. In diesem Bereich ist allerdings nicht nur allein das Wissen essentiell, eine wesentliche Voraussetzung für erfolgreiche Projekte liegt nach Auffassung der Autorin in der transparenten Verknüpfung der einzelnen Wissensbereiche und deren IT-technische Abbildung. Diese Wissensbereiche beziehen sich nicht allein auf die Kenntnis der einzelnen Teilsysteme und deren Funktionen, Algorithmen, Datenstrukturen oder die unterschiedlichen Einflussfaktoren bedingt aus den verschiedenen, komplexen Interaktionen eines OWP mit seiner Umgebung, sondern betreffen auch das Projektmanagement und die Definition und Strukturierung von Anforderungen an das Gesamtsystem Offshore-Windpark.

Zur Beschreibung oder Definition wissensintensiver Prozesse finden sich in der Literatur unterschiedliche Ansätze. *Heisig* diskutiert Wissensintensität über das Vorhandensein von Variabilität und Ausnahmebedingungen, d.h. anhand der Plan- bzw. Nichtplanbarkeit des Wissensbedarfs [Remus2002, S. 50 ff]. Für *Hoffmann* sind Prozesse dann als wissensintensiv zu bezeichnen, wenn eine Verbesserung mit klassischen Methoden der Geschäftsprozessoptimierung nicht oder nur teilweise möglich ist [Hoffmann2002]. Laut [Gronau et al2003, S.2] machen *Davenport* und *Prusak* die Wissensintensität u.a. anhand der Vielfältigkeit von Eingangs- und Ausgangsparametern fest.

Offshore-Windkraftprozesse zeichnen sich, vor allem in den frühen Phasen der Projektentwicklung, durch ein hohes Maß an Wissensintensität bei gleichzeitiger Unschärfe der vorliegenden Informationen aus. Als Anhaltspunkte hierfür gelten, neben den bisher genannten Kriterien, zusammenfassend vor allem:

- Quellen- und Medienvielfalt [Gronau et al2003, S.2],
- Varianz und hohe dynamische Entwicklung der Prozessorganisation [Gronau et al2003, S.2],
- viele Prozessbeteiligte mit unterschiedlicher Expertise und unterschiedlichen Aufgabenbereichen,
- Einsatz von Kreativität zur Lösung der vielfältigen Aufgaben,
- ein hoher Innovationsgrad zur Umsetzung der komplexen Anforderungen und ein
- verfügbarer Entscheidungsspielraum vor allem in den Phasen der Projektvorbereitung und Realisierung.

Die Betrachtung der Kriterien verdeutlicht, dass OWP-Prozesse als wissensintensive Prozesse aufgefasst werden müssen. Diese Prozesse werden derzeit nur bedingt durch strukturierte Wissensflüsse gestaltet. Eine bessere Strukturierung ebendieser Prozesse ist allerdings auch eine Voraussetzung für eine akzeptable IT-Unterstützung durch ein übergreifendes Prozessmodell. Jedes neue Offshore-Projekt ist hier mit neuen Anwendungsproblemen konfrontiert, für das technische und organisatorische Lösungen erstellt werden müssen, die zugleich die Kostenentwicklung und die Zukunftsfähigkeit im Auge behalten. Hinzu treten Faktoren wie eine sich schnell ändernde technische, manchmal auch administrative, Basis und eine dynamische Projektsituation. Prozesse liefern einen Teil des Kontextes, der für die Interpretation und Konstruktion von prozessrelevantem Wissen entscheidend ist. Gerade Wissen, das in Prozessen entsteht bzw. erzeugt wird, sollte zusammen mit seinem (Prozess-) Kontext abgelegt werden können. Darunter fällt gerade auch Wissen über Prozesse, das in Zusammenhang mit dem Entstehungs- und Verwendungsprozess in die

Wissensbasis eingehen kann. Der Kontext reicht von Informationen zu Einzeltätigkeiten, über Informationen zu Teilprozessen, bis hin zu Informationen über prozessübergreifende Zusammenhänge. Eine wichtige Anforderung besteht demnach in der bereits erwähnten Verknüpfung von Informationen innerhalb eines übergreifenden Modells.

Wissensintensive Prozesse und deren Management sind ein sehr eigenständiges Themengebiet, das innerhalb dieser Arbeit nur insoweit herangezogen werden soll, wie es der weiteren Charakterisierung und damit Formalisierung der betrachteten OWP-Prozesse dient. Bei zusätzlichen Fragestellungen sei auf die sehr umfangreiche Fachliteratur verwiesen.

Aufgrund der starken, wissensintensive Aufgabencharakterisierung im OWP-Umfeld, gekoppelt mit oft schwach strukturierten Prozessen bei hoher Flexibilität, ist eine detaillierte Prozessmodellbeschreibung innerhalb dieser Arbeit nicht gegeben. Eine solche würde eine hohe Wiederholhäufigkeit, aber auch sehr tiefgehende Kenntnisse in den unterschiedlichen Offshore-Wissensbereichen voraussetzen, die für den ersten Punkt nicht gewünscht im zweiten nicht gegeben ist. Das im Folgenden vorgestellte Prozessmodell fokussiert daher mehr auf die zielführende Vermittlung zwischen den Anforderungen und den Bedingungen von Offshore-Windparks und die Ableitung einzelner, zentraler Referenzprozesse. Ziel ist es, einen allgemeinen Überblick über die IT-technische Verknüpfung der einzelnen Projektphasen und deren generalisierte Abbildungsmöglichkeiten zu geben.

4.6.2 Ableitung eines OWP-Prozessmodells

Das innerhalb dieses Kapitels eingeführte Prozessmodell dient der Integration der prozessorientierten Sichtweise in das generische OWP-Modell. Unter einem Prozessmodell versteht die Autorin basierend auf [Rupprecht02, S.21] eine durch einen subjektiven, zweckgebundenen und zeitbezogenen Konstruktionsprozess geschaffene, explizite Repräsentation von Offshore-Windpark-Prozessen und deren Management. Diese hat:

- die interdisziplinäre Zusammenführung verschiedener Fachexpertisen,
- eine Ableitung möglicher Referenzprozesse,
- die Verringerung der Komplexität und der damit verbundenen verbesserten Steuerungsmöglichkeit des Gesamtablaufs,
- bessere Automatisierungsmöglichkeiten,
- eine bessere Koordination und Kommunikation zwischen den Prozessbeteiligten,
- die Optimierung definierter Prozesse durch eine Analyse der vorgegebenen Abläufe und
- allgemeine Transparenzsteigerungen bei der Durchführung von Offshore-Windparkprojekten

zum Ziel. Es bildet die Grundlage für die vorgenommene IT-technische Abbildung von Offshore-Prozessen in Form von Prozessbeschreibungen und deren Verknüpfungen innerhalb der dritten Entwicklungsphase des Objektmodells. Grundlage der Modellbildung zur Prozessgestaltung bildet die Ausrichtung auf die folgenden vier Fragestellungen:

1. **Wie können die Prozesse hierarchisch strukturiert werden?**
2. **Welche Merkmale bzw. Eigenschaften weisen diese Prozesse auf?**
3. **Welche Prozesse sind zur Erledigung einer Aufgabe notwendig?**
4. **In welchem logisch-zeitlichen Ablauf- bzw. Anordnungsbeziehungen stehen die Prozesse zueinander?**

Innerhalb des hier entwickelten OWP-Prozessmodells werden die vier in Abbildung 30 dargestellten Prozessgestaltungsdimensionen definiert. Als **Prozessgestaltungsdimension** wird das Konzept bezeichnet, welches die Anzahl der Freiheitsgrade, der einzelnen Dimensionen, des definiertes *Raumes* zur Gestaltung und Ausführung von Arbeitsvorgängen in Offshore-Windpark-Produktprojekten festlegt. Die erste Gestaltungsdimension bezieht auf die Beantwortung der Frage eins und führt zu diesem Zweck *Granularitätsdimensionen* ein.

Granularitätsdimension definiert die *Tiefe der Unterstützung* der den OWP-Prozessen eigenen Aufgliederungsmöglichkeiten, wodurch die assoziierten Prozessinhalte und Arbeitsaufgaben einer hierarchischen Betrachtungsweise, d.h. einer Strukturierung nach sachlichen Zusammenhängen unterzogen werden können.

Nach dem Dekompositionsprinzip kann jeder Prozess wieder aus mehreren Teil(Sub)Prozessen bestehen bzw. im Sinne einer Aggregationshierarchie selbst Teil eines übergeordneten Superprozesses sein. Teile der untersten Aggregationshierarchie sind atomar, d.h. eine weitere Zerlegung ist nicht sinnvoll. Die Definition von Granularitätsebenen für Offshore-Prozesse stützt sich hier auf die allgemeine Zeitbewirtschaftungs- und Methodenlehre nach REFA [Binner2008].

Zur Beantwortung der zweiten Fragestellung wird eine Definition von Prozesscharakteristiken innerhalb der *Merkmalsdimension* vorgenommen.

Die **Merkmalsdimension** umfasst alle zur qualitativen und quantitativen Beschreibung von Prozessen anwendbaren Kriterien, die unter Zuhilfenahme von Merkmalskatalogen die Verwaltung und das Wiederauffinden von Prozessen innerhalb des Gesamtmodells erleichtert.

Diese Merkmalskataloge enthalten die auf die Eigenschaften von Prozessen zielende zweite Gestaltungsdimension. Der Aufbau von Merkmalskatalogen zur näheren Charakterisierung des betrachteten Diskusbereiches ist eine vielfältig zum Einsatz kommende Methode, die insbesondere in den DIN-Normen 4000 und 4001 eine entsprechende Standardisierung erfahren haben. Zur Definition von Merkmalen wird zum einen auf die in [Goesmann2002, S.70 ff] vorgestellten Merkmalskataloge zur Bestimmung der Eignung von Workflow-Management-Technologien zur Unterstützung von Geschäftsprozessen zurückgegriffen. Ein zweiter, wichtiger Charakterisierungsansatz ergibt sich aus der zuvor getroffenen Annahme, dass viele Prozesse während der Durchführung von OWP-Projekten als wissensintensive, projekthafte Prozesse zu betrachten und daher auch zu beschreiben sind.

Der Frage nach der Zuordnung zu verschiedenen Aufgabenbereichen wird mittels einer *Typisierung* von Prozessen innerhalb der dritten Gestaltungsdimension nachgegangen.

Die **Typisierungs-** oder auch **Klassifikationsdimension** erlaubt eine Zusammenfassung bzw. Gruppierung von Prozessen ähnlicher Merkmale in bestimmte *Prozesstypen* und bildet innerhalb des Modells die Grundlage für die Erzeugung von Prozesstemplates

Dem Aufbau sowohl von Prozesscharakteristiken als auch Typisierungen liegt neben der Schaffung von Prozesstransparenz, die Anforderung nach Wiederverwendung und Optimierung bereits definierter Prozesse zugrunde. Nur Prozesse bzw. strukturierte Teilprozesse, die entsprechend ihrer Typen und Charakteristiken näher beschrieben und klassifiziert wurden, können gezielt wiedergefunden und wiederverwendet werden. Die vierte und letzte Gestaltungsdimension spiegelt die *Ablaufbeziehungen* von Prozessen wider.

Die **Ablaufdimension** definiert den zeitlich-logischen Ablauf bzw. die Anordnungsbeziehungen von Prozessen zueinander. In der einfachsten Form werden hier Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen mit voneinander logisch und/oder zeitlich abhängigen Inputs und Outputs aufgebaut, die sowohl eine sequentielle als auch parallele Abarbeitungsreihenfolge ermöglichen.

Ziel einer solchen Dimension ist es u.a., Möglichkeiten der Prozessparallelisierung zu finden und dadurch einen effizienteren Ablauf des Gesamtvorhabens Offshore-Windpark zu ermöglichen.

Die hier kurz eingeführten und im folgenden Abschnitt näher beschriebenen Prozessgestaltungsdimensionen dienen innerhalb des allgemeinen Objektmodells der IT-technischen Beschreibung der prozessorientierten Sicht auf den betrachteten Diskusbereich. Neben der generischen Modellbildung und der Ableitung entsprechender Objektrepräsentationen, wird eine beispielhafte Prozessbeschreibung versucht, die nicht dem Anspruch auf Vollständigkeit unterliegt. Sie dient an dieser Stelle lediglich der Verdeutlichung der im Modell enthaltenen Ansätze und deren Umsetzung. Zur

Abbildung der Ablaufbeziehungen wird an dieser Stelle auf Möglichkeiten zurückgegriffen, die Pert- und Gantt-Diagramme bzw. auch Projektmanagement-Tools bieten. Auf diese wird bei der prototypischen Implementierung näher eingegangen. Eine weitere Vertiefung dieser Gestaltungsdimension beschränkt sich dabei auf die Darstellung exemplarischer Prozessabläufe

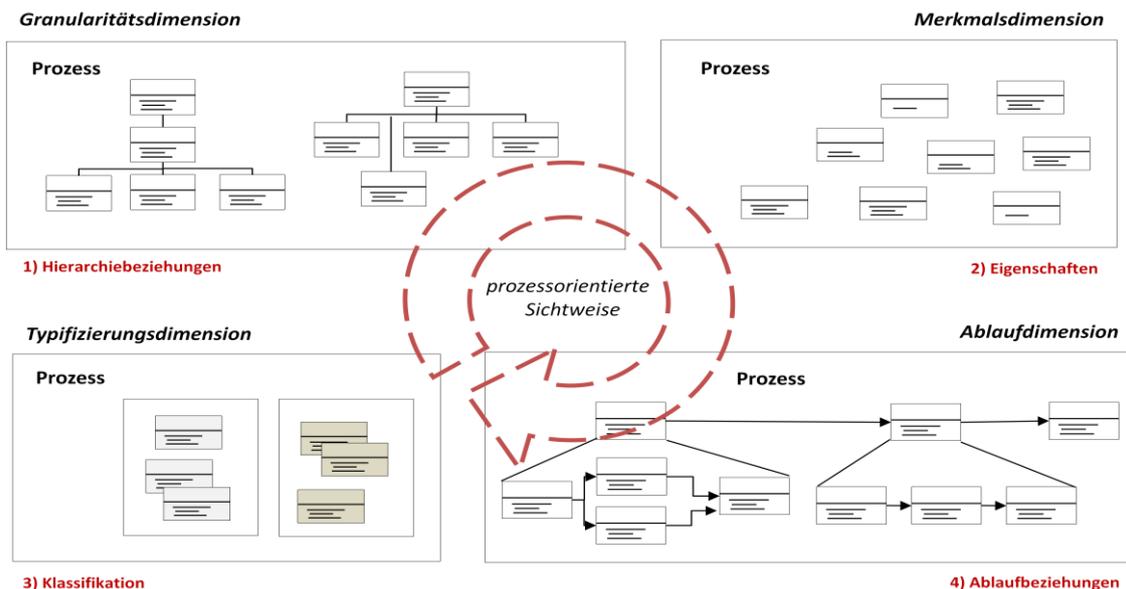


Abbildung 30: Gestaltungsdimensionen des OWP-Prozessmodells

Granularitätsebenen von OWP-Prozessen

Der Begriff der *Granularität* charakterisiert innerhalb des Prozessmodells die Möglichkeit, komplexe Prozesse so zu strukturieren, dass sie einer vereinfachten, lokal, zeitlich und / oder auch funktional abgegrenzten Sichtweise zuzuordnen sind. Damit erlaubt die Einführung von Granularitätsebenen zum einen die Reduktion der Prozesskomplexität durch Komposition bzw. Dekomposition und bietet zum anderen die Möglichkeit, komplexe Sachverhalte in einer dem Allgemeinverstand gut zugänglichen Weise zu formulieren [Schmidtke2004, S.8 ff]. Verfeinerung und Vergrößerung von Prozessrepräsentationen erleichtern eine bessere Formalisierbarkeit und Übersichtlichkeit innerhalb des Gesamtmodells und fokussieren zudem auf die Schaffung von *Prozesstransparenz* sowohl bezüglich der assoziierten Arbeitsaufgabe als auch deren Ablauf und Verknüpfung. Prozesstransparenz kann zu wichtigen Erkenntnissen über mögliche Schwachstellen und Verbesserungspotentiale innerhalb der Abläufe führen und eine IT-technische Abbildung erleichtern. Zudem erlaubt sie eine Dokumentation der einzelnen Arbeitsabläufe, was wiederum ein besseres Verständnis des Zusammenwirkens der Einzelschritte im Kontext der gesamten Wertschöpfung ‚Offshore-Windpark‘ ermöglicht.

Bestandteile der REFA-Methodenlehre sind die sog. prozessorientierten Arbeitsorganisationen. Im Mittelpunkt steht die dem OWP-Prozessmodell zugrunde gelegte REFA-Gliederung von Arbeitsabläufen in sog. Arbeitsablaufabschnitte. Der Arbeitsablauf betont innerhalb der Methodik die operativ-technische Sicht auf die Prozesse, auf die sich an dieser Stelle beschränkt werden soll. Der dieser Definition nahe stehende Geschäftsprozess betrachtet hingegen den Bezug zu betriebswirtschaftlichen Faktoren wie Kosten und Erlöse und wird aufgrund der Fülle an Informationen nur am Rande betrachtet. *REFA* leitet sich aus dem Begriff ‚Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung‘ her. Dieser wurde 1924 als Ausgründung vom ‚Verein Deutscher Ingenieure‘ ins Leben gerufen und ist heute als REFA Bundesverband e.V. aktiv [REFA Wikipedia]. Mit den hier beschriebenen Methoden lassen sich allgemeine Prozesse branchenunabhängig gestalten, verbessern, messen und prüfen. Die hierarchische Prozessgestaltung innerhalb von REFA erfolgt nach dem klassischen Kompositions- bzw. Dekompositionsprinzip in unterschiedliche Granularitätsebenen. Die Zuordnung zur jeweiligen Ebene gibt dabei einen Hinweis auf den

jeweiligen Detailgrad der betrachteten Repräsentation, wobei jede Ebene weitere Unterstrukturierungen erlaubt. Deren Anzahl kann nicht vorgegeben werden, da verschiedene Teilprozesse unterschiedliche Granularitäten erfordern können und somit selbst wieder in Teilprozesse zerlegbar sind.

Unter dem Gesichtspunkt der Prozessorientierung bzw. der Prozessanalyse dient die Gliederung in Granularitätsebenen zur:

1. Prozessidentifikation, d.h. zur Bestimmung der zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe relevanten Betriebs- und Ablaufprozesse,
2. Abgrenzung und Festlegung der Schnittstellen zwischen diesen Prozessen,
3. Prozessstrukturierung mit Festlegung der beteiligten Bereiche unter Berücksichtigung unterschiedlicher Hierarchieebenen sowie zur
4. Bestimmung der Prozesslogik mit Aufzeigen der Abhängigkeiten der einzelnen Aktivitäten untereinander.

Diese Granularitätsebenen lassen sich in *Makro-Ablaufschritte* und *Mikro-Ablaufschritte* unterscheiden (vergl. Abb. 16) [Binner2008]. Die Makro-Ablaufschritte umfassen innerhalb von REFA, Top-down geordnet, den **Gesamtablauf**, den **Teilablauf**, die **Ablaufstufe** und den **Vorgang**. Den Mikro-Ablaufschritten sind **Teilvorgang** und **Vorgangselement** zugeordnet. Abbildung 31 verdeutlicht neben Detaillierungsgrad und Zuordnung zu den der Makro- bzw. Mikro-Ablaufschritten auch die Übertragung auf den hier betrachteten Prozess-Kontext. Eine Beschreibung nach RFEA-Terminologie lautet wie folgt: [Binner2008, S. 173 ff]

Gesamtablauf: Unter einem Gesamtablauf wird der gesamte Arbeitsablauf verstanden, der zur Herstellung eines Erzeugnisses mit einem, wenigen oder auch vielen Einzelteilen oder zur Durchführung eines größeren Vorhabens erforderlich ist. Im Rahmen der Offshore-Windpark-Projektierung wird hier der *Gesamtprozess*, der zur Durchführung dieses OWP-Vorhabens erforderlich ist, betrachtet.

Ein Gesamtablauf kann in verschiedene **Teilabläufe** untergliedert werden, die parallel oder auch sequentiell ausführbar sind. Auf den OWP-Projekt-kontext übertragen, umfassen die Teilabläufe die *Prozesse*, die entlang des Lebenszyklus eines OWP's innerhalb der Lebenszyklusphasen durchlaufen werden. Diese können, wie in Kapitel 2 ausgeführt, in Planungsprozesse, Prozesse der Arbeitsphase, Prozesse des Repowerings und des Rückbaus unterschieden werden.

Teilabläufe bestehen wiederum aus mehreren **Ablaufstufen**, im prozessorientierten Kontext als *Teilprozesse* eingeführt. Eine Ablaufstufe umfasst das Geschehen, das zur Erfüllung definierter Arbeitsaufgaben durch das Zusammenwirken von Mensch, Betriebsmittel und Arbeitsmittel bzw. Ressourcen nötig ist. OWP-Teilprozesse untergliedern die zuvor aufgeführten Prozesse. Als Beispiel seien an dieser Stelle die Arbeitsprozesse genannt, die sich in Realisierungsprozesse, Inbetriebnahmeprozesse und Prozesse, die die eigentliche Laufzeit des Windparks betreffen, untergliedern lassen.

Als **Vorgang** wird der Abschnitt eines Arbeitsablaufs bezeichnet, der in der Ausführung einer Arbeitsaufgabe an einer Mengeneinheit besteht. Der Vorgang kann sich bei der Ausführung eines Auftrages ,n' mal wiederholen. Ein Vorgang besteht im Allgemeinen aus mehreren Teilvorgängen. Bezogen auf den OWP-Kontext wird für den Vorgang die sogenannte *Operation* eingeführt, d.h. jedem Teilprozess können verschiedene Operation zugeordnet werden. Typische Vorgänge bzw. Operationen im OWP-Kontext wären z.B. der Transport des Rotors oder auch die Errichtung der Tragstruktur.

Vorgänge lassen sich wiederum in **Teilvorgänge** zerlegen, die einen Teil der Arbeitsaufgabe ausführen. In Anlehnung an die allgemeine Prozessdefinition werden sie innerhalb des OWP-Prozessmodells als *Aktivitäten* bezeichnet. Teilvorgänge bzw. Aktivitäten sind bereits durch einen starken Detaillierungsgrad gekennzeichnet, wie in Abb. 31 dargestellt. Beispiele für Aktivitäten wären das Charten eines Spezial-Kranschiffes oder das Verankern der Tragstruktur im Meeresboden, das Befestigen des Rotors oder das Anbringen von Spezialausrüstungen auf einem Transportschiff.

Die letzte Granularitätsebene umfasst die **Vorgangselemente**, die weder in ihrer Beschreibung noch in ihrer zeitlichen Erfassung weiter unterteilt werden können. Sie stellen somit innerhalb des Modells die kleinste betrachtete, atomare Einheit dar. Eine Aktivität besteht in der Regel aus einer Vielzahl von nicht zerlegbaren Einzeltätigkeiten, die hier als *Einzelaktivität* bezeichnet werden. Einzelaktivitätsbeispiele werden in der Literatur, [vgl. Binner2008, S. 175], als Bewegungselemente wie das ‚Hinlangen zu einem Gegenstand‘ gegeben. Eine solch feingranulare Zerlegung der Offshore-Prozesse scheint dem Autor nicht sinnvoll, da hier die Abbildung der Prozesse über den gesamten Lebenszyklus des Offshore Windpark-Produktes im Vordergrund steht. Der letzte Detaillierungsgrad soll daher beispielhaft auf Einzelschritte wie das Heben des Rotors auf das Transportschiff oder das Einsetzen, Ausrichten und Fixieren der Tragstruktur begrenzt werden. Selbstverständlich ist es jedem Anwender des Modells überlassen, eigene Prozesse, sofern gewünscht, weiterer Detaillierung zu unterziehen.

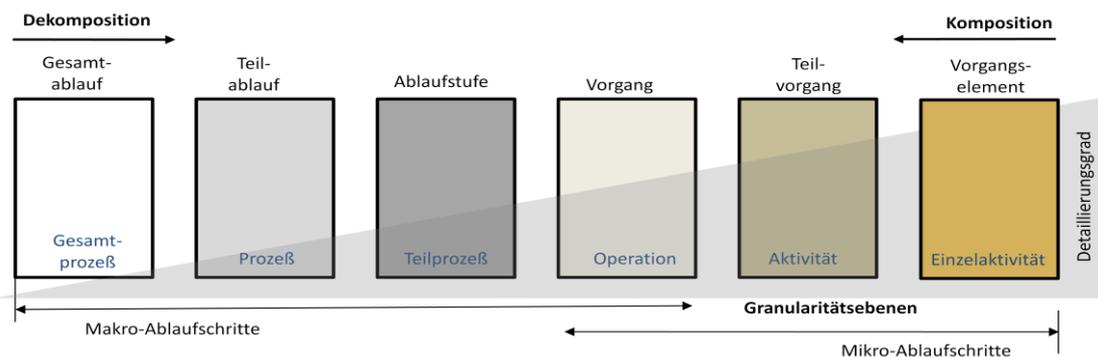


Abbildung 31: Einteilung von Prozessschritten in Granularitätsebenen, aufbauend auf REFA

Die Strukturierung von Prozessen und deren Abbildung im Prozessmodell sind eine notwendige Voraussetzung für eine durchgängige IT-technische Unterstützung. Ein IT-System kann dabei die prozessorientierte Sicht in mehrfachem Kontext unterstützen. Zum einen wird eine Versorgung mit notwendigen Daten sowohl temporal, modal als auch final gewährleistet, zum anderen können diese Abläufe gemäß einer im System hinterlegten Vorgabe oder eines dafür vorgesehenen Algorithmus‘ abgewickelt werden. Das Ziel besteht hierbei zum Teil in einer Dokumentation für eine Organisation oder für die beteiligten Protagonisten. Noch wichtiger ist allerdings die klare Beschreibung, die dann eine mögliche (Teil-) Automatisierung der Ausführung erlaubt. In Abgrenzung zum Geschäftsprozess wird dabei detailliert auf die operative Ebene eingegangen, indem die Prozesse in Bestandteile gegliedert werden, die auf IT-Ebene eindeutig sind und in deterministischer, auf Ereignissen basierender Beziehung zueinander stehen. Dabei werden die innerhalb der REFA-Methodik definierten Granularitätsebenen *Gesamtablauf*, *Teiltablauf*, *Ablaufstufe*, *Vorgang*, *Teilvorgang* und *Vorgangselement* auf die OWP-Prozesse angewandt und beispielhaft instanziiert. (Abb. 31) Die Einführung unterschiedlicher Granularitätsebenen soll innerhalb des Prozessmodells die Möglichkeit unterstützen, auf einer relativ groben Prozessbeschreibungsebene anfangen und sukzessive genauere Prozessbeschreibungen nachpflegen zu können. Dabei gilt die Annahme, durch die Einführung unterschiedlicher Granularitäten eine Formalisierung der Definition von Prozessen zu erleichtern und eine Beschreibung ‚so fein wie möglich‘ und ‚so detailliert wie nötig‘ zu ermöglichen.

Merkmale von OWP-Prozessen

In Anlehnung an Merkmalskataloge, die u.a. zur Bestimmung der Eignung von Workflow Management Technologien zur Unterstützung von Geschäftsprozessen herangezogen werden, [Goesmann2003], kann auch ein Merkmalskatalog für typische OWP-Prozesse Hilfestellung bei der Planung des Gesamtablaufes und dem Wiederauffinden geeigneter Referenzvorgänge liefern. Genannt seien hier die Möglichkeiten der formalen Beschreibung und damit Wiederverwendung, der Betrachtung der Schnittstellen zu anderen Prozessabläufen, die Entdeckung von Schwachstellen oder auch die Auswahl geeigneter Modellierungsmethoden.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Merkmale von Prozessen zu identifizieren und zu klassifizieren. Da eine Beschreibung der Merkmale immer eine Abbildung des realen Systems auf ein Modellsystem bedeutet, kann die Herleitung auch nur anhand des verwendeten Modellansatzes erfolgen. Die charakteristischen Merkmale zeigen sich dabei sowohl an den generellen, verallgemeinerten Ablaufstrukturen auf der sogenannten Typenebene als auch anhand konkreter Prozessinstanzen, der sogenannten Instanzebene.

Für das hier diskutierte OWP-Prozessmodell werden die Merkmale in zwei Klassen unterteilt, in solche, die die *Außensicht* auf einen Prozess repräsentieren und solche, die die *Innensicht* darstellen. Die **Außensicht-Merkmale** umfassen Informationen über den Prozess und seine Beziehungen zu anderen Prozessen und zur Arbeitsumgebung bzw. Umwelt. Merkmale zur Charakterisierung der **Innensicht** werden dagegen erst bei der konkreten Erhebung der Prozesse transparent, z.B. bei der Modellierung auf Typenebene bzw. zur Laufzeit der Instanzen [Remus2002, S.109.] Hierzu zählt auch die Verknüpfung mit benötigten Ressourcen zur Erfüllung der zugewiesenen Arbeitsaufgaben. Prozesse können daneben prozessübergreifende Merkmale wie z.B. die Branche, Organisationsstruktur oder Interprozessverflechtung, auch Merkmale besitzen, die sich auf den gesamten Prozess, die innere Struktur und den OWP-Projektlauf beziehen. Zu diesen Merkmalen gehören neben der Flexibilität auch die Prozesskomplexität, aber auch Kriterien, die sich vor allem auf die mit dem OWP-Prozess verknüpften Aufgaben beziehen. Zusätzlich gibt es Merkmale, die sich ausschließlich auf die mit dem Prozess assoziierten Ressourcen bzw. die am Prozess Beteiligten beziehen. Nachfolgend wird ein Überblick über die zur Charakterisierung von Prozessen im Kontext der Durchführung eines Offshore-Windpark-Projektes wichtigsten Merkmale gegeben und den vorgestellten Dimensionen zugeordnet. Ähnlich wie bei anderen Prozessen, vor allem auch den hier typischen wissensintensiven Prozessen, lassen sich dabei Überschneidungen zwischen den Dimensionen nicht ganz vermeiden. So bestimmen zum Beispiel sowohl Variabilität als auch Strukturierungsgrad die Komplexität eines Prozesses. Eine Zusammenfassung der wichtigsten, im Modell berücksichtigten Merkmale und mögliche Ausprägungen für Offshore-Prozesse, ist in Tabelle 4.6.2-1 zu finden.

Zu den wichtigsten, im Folgenden näher vorgestellten prozessbezogenen Charakterisierungsmerkmalen gehören neben der Prozesskomplexität auch die Variabilität von Prozessen, der bereits erwähnte Strukturierungs- bzw.- Detaillierungsgrad, die Prozessbeteiligung, das Controlling und das Laufzeitverhalten von Prozessen.

Die **Komplexität** umfasst die Zahl der Teilaufgaben eines Prozesses, die Anordnung von Teilaufgaben, d.h. ob diese sequentiell, parallel oder auch iterativ ablaufen können, die Abhängigkeiten zwischen den Teilaufgaben und deren Rückkopplungsbedarf. Zusätzlich charakterisiert die Prozesskomplexität die Möglichkeit einer Formalisierung und Referenzprozessbildung, d.h. mit der Höhe der Komplexität sinkt die Formalisierungsmöglichkeit. Prozesse im Offshore-Bereich sind häufig durch eine hohe Zahl von stark abhängigen Einzelaufgaben gekennzeichnet, die sich wiederum häufiger mit der Bearbeitung von Problemfällen befassen und nicht selten eine Vielzahl von Prozessbeteiligten aus interdisziplinären Bereichen beschäftigen.

Mit der **Variabilität** werden Verhaltensweisen eines Prozesses beschrieben, die vor allem bei der Steuerung von Ausnahmefällen oder der Behandlung von Sonderfällen sichtbar werden. Variabilität ist dabei ebenso ein Ausdruck für die Wiederholungsfähigkeit ohne Strukturveränderung, d.h. der Robustheit und Adaptierbarkeit wie auch Planbarkeit der Kommunikation während der Informationsbeschaffung [Remus2002, S.111]. Gerade in den Anfangsphasen eines OWP-Projektes ist der Grad an Informationsbeschaffung sehr hoch. Die Qualität dieser Informationen, aber auch die Planbarkeit hier notwendiger Kommunikation sowie die Verfügbarkeit der Prozessergebnisse können erheblichen Einfluss auf den Verlauf der nachfolgenden Projektphasen ausüben. OWP-Prozesse besitzen aufgrund ihrer Wissensintensität viele Entscheidungsfunktionen, die Sonderfälle und Varianten im Ablauf berücksichtigen müssen. Die hier charakteristische Variabilität vor allem in den der Planung nachgelagerten Phasen der Errichtung und Inbetriebnahme, ist bedingt durch die starke Abhängigkeit von äußeren Einflussgrößen wie den aktuellen klimatischen Bedingungen.

Die **Strukturiertheit bzw. der Detaillierungsgrad** eines Prozesses bezeichnet die Möglichkeit der Zerlegung eines Gesamtprozesses in einfachere Teilschritte, die Eindeutigkeit sowohl des benötigten Inputs als auch des resultierenden Outputs. Die Fähigkeit der Unterstrukturierung von Prozessen und der Zuordnung zu verschiedenen Granularitätsebenen findet innerhalb des Modells in der bereits eingeführten Granularität nach REFA seine Entsprechung. Die Möglichkeit, eine detaillierte Prozessbeschreibung vorzunehmen, ist dabei typischerweise sowohl von der Variabilität als auch Komplexität des betrachteten Prozesses abhängig. Typisches Beispiel auch im vorliegenden Diskursbereich sind Abläufe im Behörden-Engineering und die damit verbundenen Entscheidungsprozesse. Mögliche Ergebnisse stehen zwar fest, aber der konkrete Ablauf lässt sich, beispielsweise durch nicht planbare Anhörungen, erst im Nachhinein modellieren [Remus2002]. Die Gefahr besteht in einer geringeren Generalisierbarkeit und Übertragbarkeit der betroffenen Abläufe. Für die Modellierung innerhalb eines allgemeingültigen Ansatzes bedeutet dies die Fokussierung auf die stabilen Eigenschaften des Prozesskontextes wie z.B. die an der Entscheidung beteiligten Rollen und Behörden, die verwendeten Systeme sowie die bereits im Vorfeld bekannten Informationen und Checklisten. Der weitere Ablauf bedingt sich dann u.a. durch die definierten Kontextinformationen.

Mit Hilfe der **Beteiligungsdimension** wird, wie der Name impliziert, die Anzahl der im Prozess involvierten Personen und deren Expertise innerhalb des bearbeiteten Prozesskontextes zum Ausdruck gebracht. Die Bearbeitung der wissensintensiven OWP-Aufgaben erfordert häufig die interdisziplinäre Zusammenführung vieler Fachexperten und führt dadurch zu einem hohen Koordinations- und Kommunikationsaufwand zwischen den Prozessbeteiligten [Rupprecht2002, S.31]. Der Austausch von Informationen und Wissen ist in der Regel sehr hoch und durch den vielfältigen Einsatz unterschiedlicher Medien gekennzeichnet. Die Beteiligung kann, bedingt durch die Wissensintensität, zusätzlich eine gewisse Dynamik in der Gruppenbildung charakterisieren, d.h. das Eintreffen bestimmter Ereignisse kann zu einer Neubildung der Gruppen oder auch zu einer Vorwegnahme von Aufgaben und damit Neuordnung des betroffenen Prozessverlaufs führen [Geramanis2007, S.11]. Für eine solche Neuordnung der Abläufe ist ein möglichst hohes Maß an Referenzwissen über die Prozesse sowie über die zugrunde liegende Kommunikations- und Kooperationsinfrastruktur erforderlich.

Die Messbarkeit von OWP-Prozessen wird innerhalb des Modells als **Controlling** bezeichnet, welches wiederum die Qualität der Zielbeschreibung charakterisiert. Proportional zur Wissensintensität der Prozesse, aber auch zum Rückgriff auf projektspezifisches Wissen in Folgeprojekten, nimmt der Mangel an Maßzahlen und eine Ungenauigkeit der Zieldefinition zu, d.h. abhängig von der Wissensintensität lassen sich Prozesse operationalisieren und anhand von Messergebnissen steuern. Unklare Ziele und mehrdimensionale Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Ziel- und Einflussgrößen, wie sie typischerweise bei sehr wissensintensiven Prozessen auftreten, bedeuten für die Bearbeitung von Arbeitsaufgaben einen erhöhten Interpretations- und damit Handlungsspielraum, gekoppelt mit einer sinkenden Formalisierungsmöglichkeit und schwierigerem Controlling der betroffenen Prozesse. Das Controlling erlaubt somit die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen der qualitativen bzw. quantitativen Messbarkeit eines Prozesses und der Größe der möglichen Abweichungen wie z.B. das Auslassen, Einfügen, Ersetzen oder Vertauschen bestimmter Arbeitsschritte, die Wiederholung, das Zusammenfassen und die Zerlegung von Arbeitsaufgaben. Damit gibt die Fähigkeit des Controllings von Prozessen ebenfalls einen Hinweis auf die Variabilität des Prozesses. Die Implementierung dieser Abweichungen verlangt hier eine größere Kreativität und spezielles Wissen über die komplexen Zusammenhänge von Gesamt- und Teilprozess.

Die Häufigkeit der Ausführung von Prozessen wird durch das **Laufzeitverhalten** charakterisiert und kann zwischen *einmaliger*, *regelmäßiger* und *routinemäßiger* Ausführung unterschieden werden. Die Laufzeitcharakteristik von Prozessen ist stark an der vorhandenen Wissensintensität der zugewiesenen Aufgaben geknüpft und wird innerhalb des Modells durch die im Folgenden definierten *Ablauftypen* repräsentiert. Häufig ausgeführten Prozessen liegen dabei eher weniger wissensintensive Routineaufgaben zugrunde als sachbezogenen oder Einzelfall-Prozessen [vgl. Remus2002, S.113].

Zusätzlich zur Häufigkeit der Prozessausführung kann auch die **zeitliche Ausdehnung** von Prozessen charakterisiert werden. Aus der hohen Komplexität und dem hohen Finanzierungsbedarf von Offshore- Windenergieprojekten erwächst in der Regel eine lange Abwicklungszeit von bis zu mehreren Jahren und eine daraus folgende hohe zeitliche Ausdehnung verschiedener OWP-Prozesse. Als Beispiel seien hier wieder die Genehmigungsprozesse innerhalb der AWZ aufgeführt, die zusätzlich zu einer großen zeitlichen Ausdehnung auch eine große Prozessbeteiligung aufweisen können.

Über die **Wertigkeit** von Prozessen wird deren Finanzierungsanforderungen innerhalb des Gesamtablaufs zum Ausdruck gebracht. [Rupprecht2002, S.30]. Der Auftragswert im Offshore-Bereich liegt, ähnlich anderer Großprojekte, enorm hoch, das heißt OWP-Prozesse können eine sehr hohe Wertigkeit bezüglich der anzusetzenden Mittel erlangen. Bezogen auf das Laufzeitverhalten von Prozessen sind höherwertige OWP-Prozesse eher im Bereich der einmaligen Prozessausführung, gekoppelt mit hoher Komplexität und Wissensintensität, zu finden.

Als letzte, im betrachteten Kontext wichtige Eigenschaft von Prozessen, soll noch auf die **Interprozessverflechtung** eingegangen werden. Unter Interprozessverflechtung wird die Vernetztheit von Prozessen verstanden. Darunter fallen Schnittstellen zu anderen Prozessen, die gemeinsame Nutzung von Daten mit anderen Prozessen und Hierarchisierung von Prozessen, d.h. die Generalisierung bzw. Spezialisierung in über-, unter- und nebengeordneten Prozessen. Der Grad der Vernetztheit kann auch als Grad der Integrationsfähigkeit betrachtet werden. OWP-Prozesse sind häufig durch eine erhöhte Anzahl von Schnittstellen zu anderen Prozessen charakterisiert, die die starken gegenseitigen Abhängigkeiten widerspiegeln. Stark vernetzte Prozesse verlangen einen erhöhten Koordinations- und Kommunikationsaufwand und stellen höhere Anforderungen an eine Integration gemeinsam genutzter Daten und Informationen.

Die Durchführung von Prozessen ist auf die ‚Bearbeitung‘ bzw. auch ‚Verarbeitung‘ von sogenannten **Prozessobjekten** gerichtet. Diese Verarbeitung kann auf ein Informationsobjekt, wie z.B. eine Dienstleistung oder ein materialisiertes Objekt wie die einzelne Windenergieanlage oder das gesamte Windpark-Produkt, gerichtet sein [Becker et al1995]. Der Offshore-Windpark selbst verkörpert dabei ein sehr wissensintensives, komplexes Prozessobjekt. Die Unterscheidung zwischen dem eigentlichen Ablauf und der auf das Objekt gerichteten Verarbeitung ist hier häufig schwierig, da das Produkt OWP die Prozessinnovation bestimmt und die möglichen Prozessabläufe umgekehrt Einfluss auf das Produkt ausüben [vgl. Remus02, S.112]. Komplexe Produkte benötigen für Ihre Herstellung ein hohes Maß an Wissen, aber auch die mit dem Produkt verknüpften Dienstleistungen, insbesondere bei Wartung, Instandhaltung und Betrieb, sind als wissensintensive Prozessobjekte zu betrachten.

Typisierung von OWP-Prozessen

Zur Typisierung von OWP- Prozesse werden zwei verschiedene Sichtweisen auf die Prozesse herangezogen. Die eine, allgemeinere, beruht dabei auf der Ausprägung der Wissensintensität innerhalb der Prozesse und charakterisiert implizit das Ablauf- bzw. das erwähnte Laufzeitverhalten. Im weiteren Verlauf der Prozessmodellentwicklung wird diese Sicht als **Ablaufstyp** bezeichnet. Die zweite Sichtweise erlaubt eine funktionsbezogene, kontextbasierende Einordnung der Prozesse und wird im Folgenden als **Funktionstyp** bezeichnet.

Ablaufstypen: Durch die Ausprägungen der Merkmale Komplexität, Variabilität, Strukturiertheit /Detaillierungsgrad, Grad der Arbeitsteilung und Interprozessverflechtung lassen sich die Prozesse hinsichtlich ihrer Ausführungshäufigkeit in Routine-, Regel-, und einmalige Prozesse unterscheiden. **Routineprozesse** kennzeichnet eine klare Struktur, eine gute Planbarkeit, wenige, eindeutig beschreibbare Inputs und Outputs, d.h. sie besitzen wenige Schnittstellen zu anderen Prozessen, sind stabil, weniger komplex und erlauben eine hohes Maß an Formalisierbarkeit. Sie bilden somit verstärkt nicht-projektspezifisches Wissen ab. **Regelprozesse** dagegen sind bei immer noch kontrollierbarer Struktur und Komplexität, häufigen Änderungen seitens der Prozessbeteiligten unterworfen und lassen sich dadurch oft nicht mehr eindeutig determinieren. Der Grad

projektspezifischen Wissens nimmt zu. Ein **einmaliger Prozess** ist durch ein hohes Maß an individueller Wissensintensität und damit Projektspezifität gekennzeichnet, bei dem weder Prozessablauf noch Kommunikationspartner vorherbestimmbar sind. Der Anteil nicht-projektspezifischen Wissens ist hier am geringsten. Die Durchführung einmaliger Prozesse beruht auf einer hohen Kommunikationsintensität, und damit auch individuellen Kommunikationsfähigkeit einzelner Prozessbeteiligter. Im Offshore-Windenergie-Bereich handelt es sich hier um Projekt- oder Managementaufgaben, die nur schwer automatisierbar sind und ein hohes Maß an Individualität und Kreativität beinhalten. Die Wissensintensität steigt ausgehend von den Routineprozessen, die eher schwach wissensintensiv gestaltet werden, über die Regelprozesse bis hin zu den einmaligen Prozessen stetig an [Remus2002, S.113 ff]. Typische wissensintensive Prozesse sind im Offshore-Bereich Montage- und Dienstleistungsprozesse, da diese häufig komplexen Einflussfaktoren wie Wetter, Zugänglichkeit, vorhandenen Ressourcen unterliegen und für ihre Ausführung kreative Elemente ‚Ad Hoc‘ benötigen. Auch Optimierungsprozesse verarbeiten in hohem Maße Informationen und Wissen, da sie zur effizienteren Gestaltung anderer Prozesse deren Daten und Informationen aufnehmen und interpretieren müssen. Die Größe typischer Offshore-Windenergieprojekte bezogen auf die Anzahl und Verschiedenartigkeit der Prozessbeteiligten sowie der eingesetzten finanziellen Mittel, machen auch Managementprozesse, die steuernd auf andere Prozesse einwirken, zu wissensintensiven Prozessen mit einem großen Bedarf an Daten- und Informationsversorgung. Abbildung 32 verdeutlicht qualitativen Zusammenhang zwischen Ablauftypen, Wissensintensität und Merkmalen von Prozessen

Funktionstypen: Durch die Typisierung von Prozessen in funktionsorientierte Prozesstypen wird eine weitere Klassifikationsmöglichkeit hinsichtlich aufgabenbezogener Merkmale zur Verfügung gestellt. Zusätzlich zu den allgemeineren prozessbezogenen Merkmalen wie Komplexität, Variabilität oder auch Detaillierungsgrad lassen sich Prozesstypen hier konkreten, funktionsorientierten Arbeitspaketen zuordnen. Prozesse bestehen zum einen aus einer Abfolge von Elementaraufgaben, zum anderen werden komplexe Aufgaben durch Prozesse bearbeitet. Der Grad der Zerlegung wurde bereits durch die Granularität von Prozessen eingeführt, d.h. Funktionstypen lassen sich durch die Zuordnung zu Granularitätsebenen entsprechend der Aufgabe unterstrukturieren. Eigen ist den instanziierten Funktionstypen sowohl eine direkte Verknüpfung mit den zur Erfüllung der Aufgabe benötigten Ressourcen als auch zur ausführenden Arbeitsumgebung. Funktionstypen umfassen im OWP-Umfeld typische Arbeitsaufgaben wie:

- die Fertigung,
- die Logistik,
- die Montage- und Aufstellung von Windkraftanlagen,
- die Netzanbindung und Inbetriebnahme,
- Wartung und Instandhaltung, aber auch entsprechende
- Administrations- und Behörden-Engineering Aufgaben.

Weiterhin lassen sich die in Tabelle 4.6.2-I unter ‚Aufgabentyp‘ eingeführten, allgemeineren Prozesstypen-Merkmale angeben. Dazu gehören neben der Kommunikationsorientierung des Prozesses auch die aufgeführten Unterscheidungen basierend auf den verknüpften Aufgabencharakterisierungen wie Steuerungs-, Entscheidungs-, Führungs- aber Analyse bzw. Bewertungsaufgaben.

Ein wesentliches Charakteristikum der Offshore- Prozesstypen befasst sich mit der Zuordnung zur Ausführungslokalität, d.h., ob sie an Land bzw. auf See verrichtet werden können. Diese Merkmalsausprägung hat eine mögliche Parallelisierung von landbezogenen und seebezogenen Prozessen sowie eine weitere Standardisierung innerhalb des Gesamtablaufes zum Ziel. Die hier eingeführten Prozesstypen erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Sie dienen im Rahmen der Modellbildung als Beispiele und Vorlage für die Spezifikation eigener bzw. abgeleiteter Prozesstypen. Zusätzlich zu den aufgeführten, prozessbezogenen Merkmalen und Typen lassen sich den OWP-Prozessen auch *aufgabenbezogene*, *ressourcenbezogene* und *arbeitsumgebungsbezogene*

Merkmale zuordnen. Diese, ebenfalls in der Merkmalstabelle dargestellten Merkmalsklassen, spiegeln die Verknüpfung des Prozessmodells innerhalb des Gesamtmodells wider und charakterisieren die Ausprägungen der in Abbildung 21 dargestellten Sichtweisen des generischen Objektmodells.

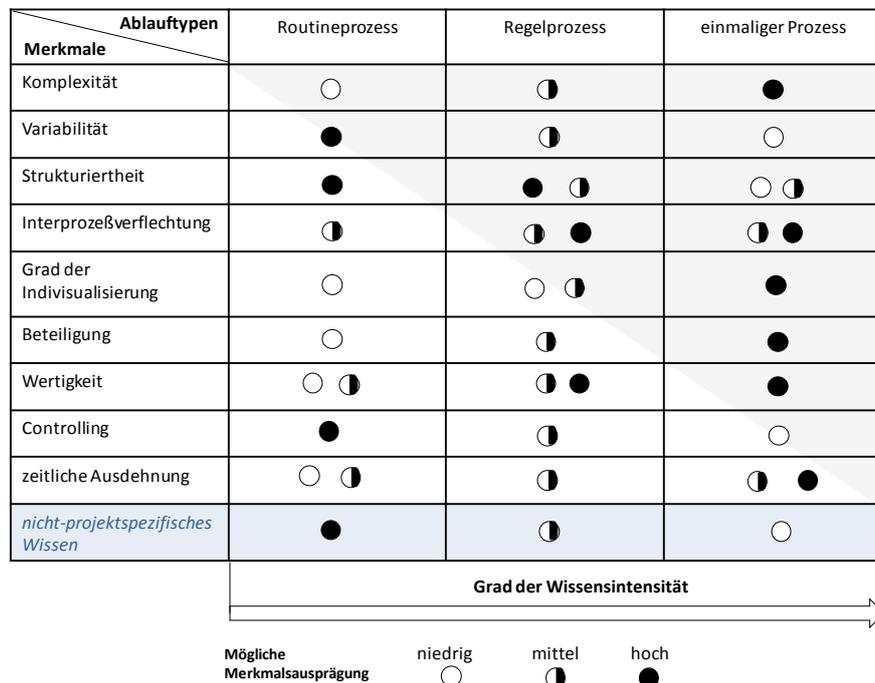


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Ablauftypen, Wissensintensität und Merkmalen von Prozessen

Zusammenfassend ergibt sich für die betrachteten Offshore-Prozesse der in Tabelle 4.6.2-1 dargestellte Merkmalskatalog mit typischen Merkmalsausprägungen für Offshore-Windpark-Prozesse. Der aufgeführte Katalog dient neben einer Zusammenfassung wesentlicher Merkmale zur Zuordnung von Prozessen innerhalb des diskutierten Prozessmodells, den nachfolgenden Zielen der:

- *Identifikation und Auswahl* während eines Offshore-Windparkprojektes durchzuführenden Prozesse, wobei hier Routine- und Regelprozesse im Mittelpunkt der Betrachtung stehen.
- *Ableiten von Formalisierungen* mittels Templates zur besseren IT-technischen Unterstützung sowie zur Erhöhung (Teil-)automatisierter Abläufe. Eine Formalisierung von Prozessen und Teilprozessen erlaubt eine Steigerung der Prozessqualität und daraus abgeleitet einheitlicheren Bewertungskriterien.
- *grobe Übersicht über die Prozesseigenschaften*, d.h. der Merkmalskatalog dient in diesem Kontext durch die Beschreibung wichtiger Prozesseigenschaften zur Wiederauffindbarkeit und Wiederholbarkeit von Routine- und Regelprozessen.
- *Verbesserung von Prozessen* innerhalb des Gesamtablaufs. Prozesse können zusätzlich anhand der Kriterien für bestimmte Qualitätsdimensionen wie z.B. Durchlaufzeiten, Kommunikationsaufwendungen, Kosten, Energie- und Ressourcenverbrauch, Nachhaltigkeit oder Prozessdesign bewertet und mit gewünschten optimalen Werten verglichen werden.

Entscheidung über das Modellierungsszenario und dadurch der Auswahl der Modellierungsmethode. Bestimmte Prozessmerkmale bestimmen den Umfang und den Detaillierungsgrad der Modellierung inklusive den Einsatz von Werkzeugen. So entziehen sich schwach-strukturierte Prozesse häufig einer detaillierten Modellierung des Ablaufs, da dieser gemäß den eingeführten Ablauftypen erst zur Laufzeit bestimmbar ist. Für die Durchführung der Modellableitung bedeutet dies, dass vermehrt Methoden zur Modellierung des Prozesskontextes wie z.B. der Modellierung der Kommunikationsinfrastruktur, des zum Teil auch unscharfen Prozesswissens,

der Prozessbeteiligten oder auch der eingesetzten Ressourcen und Arbeitsumgebungen zum Einsatz kommen müssen [Remus2002, S.117].

Tabelle 4.6.2-1 Merkmale von Offshore-Prozessen

Merkmalsklasse	Merkmal	Mögliche Merkmalsausprägungen für Offshore-Prozesse
Prozeßbezogene Merkmale	Komplexität	hohe Komplexität, d.h. viele Verzweigungen, parallele, iterative Abläufe
	Variabilität	viele Sonderfälle, Ablauf nicht vorherbestimmbar, kreative Anteile
	Strukturierungsgrad/ Detaillierungsgrad	schwach strukturiert
	Beteiligung	•viele Beteiligte •hoher Spezialisierungsgrad •interdisziplinär
	Laufzeitverhalten	wenig Wiederholungen
	Interprozeßverflechtung	•komplexe Beziehungen zu anderen Prozessen, •hohe Datenintegration erforderlich
	Prozeßobjekt	Finanzierung, Genehmigung, Service
	Controlling	ungenauere Ziele, ungenaue Messung
	Prozeßtyp	•typisch, kontext- bzw. Funktionsbezogen - Montage - Management, Behörden-Engineering - Logistik, Transport -Fertigung ... •ad hoc, einzelfallbezogen •Wissensintensiv
	Zeitliche Ausdehnung	lange Dauer
Aufgabenbezogene Merkmale	Wertigkeit	groß, hoher Finanzierungsbedarf
	Aufgabentyp	•kommunikationsorientiert, informationslastig, argumentationsbasiert, einzelfall- und sachbezogen •typische Aufgaben - Lösungsorientiert, umsetzungsorientierte Aufgaben - Steuerungsaufgaben, - Entscheidungsaufgaben, Führungsaufgaben - Analyse- / Bewertungsaufgaben
Ressourcenbezogene Merkmale	Einarbeitung / Lernzeit / Übertragbarkeit	•hoher Einarbeitungsaufwand, lange Lernzeit •schlechte Übertragbarkeit
	Verfügbarkeit	geringe Verfügbarkeit, hohe Auslastung
	Austauschbarkeit	•hoher Spezialisierungsgrad / Einzel-/Spezialanfertigung •niedrige Einsatzbreite
	Kosten	hohe Kosten
	Einsatzgebiet	an Land / auf See
Arbeitsumgebungsbezogene Merkmale	Komplexität	hoch
	Zugang	•teilweiser, wetterbedingter Zugang, schwer zugänglich •auf See

Alle angeführten Ziele sollen letztendlich die Anforderungen nach Effizienz, Kostensenkung und Schutz der Umgebung umsetzen helfen.

4.6.3 Ableitung exemplarischer Prozesstrukturen

Gemäß den vorgestellten Gestaltungsdimensionen erfolgt im folgenden Abschnitt eine exemplarische Anwendung des hergeleiteten Modells. Wie schon die unter Kapitel zwei beschriebenen Arbeitspakete verdeutlichen, entsprechen Lebenszyklusphasen einer zeitlichen Abfolge innerhalb eines Offshore-Windenergieprojektes, die durch einen steigenden Grad an Konkretisierung des Planungsvorhabens und damit der Realisierungschancen gekennzeichnet sind. Jede einzelne Phase besteht aus wichtigen Aufgabenpaketen, die in den Tabellen 2.3.4-I bis VIII in

Kapitel. 2.3 zusammengefasst wurden. Diese Arbeitsaufgaben lassen sich zur Bearbeitung verschieden granulierten Prozessen zuordnen. Die Reduktion der Komplexität sowie die Wiederholbarmachung bzw. Wiederverwendbarkeit vordefinierter Abläufe stehen dabei im Fokus der hier angewandten Granularitätsbetrachtung.

Die Zuordnung zu den Granularitätsebenen lässt sich nur beispielhaft wiedergeben. Maßgeblich bestimmend für den Dekompositionsgrad sind folgende, wesentliche Gestaltungskriterien:

- Verdeutlichen einer zeitlichen Reihenfolge,
- Hinzufügen der Merkmalsdimension und Typifizierung zur Beschreibung von formalisierbaren Referenzprozessen
- Zuordnung zu Tätigkeiten, die an Land bzw. auf See vorgenommen werden müssen.
- klare Abgrenzung der Prozesse zur Senkung der Baukosten

Abbildung 33 zeigt den Aufbau exemplarischer Referenzprozesse und deren Zuordnung zu den Granularitätsebenen. Die Anwendung der Granularitätsdimension gibt den steigenden Detaillierungsgrad durch die farblich unterschiedenen Verläufe wieder. Die Zeitachse lässt eine zeitlich-logische Ablaufreihenfolge erkennen. Die Beispielprozesse stellen Teile des Ablaufs der Realisierung eines Offshore-Windparks dar. Die vorgenommene Abgrenzung schafft hierbei Schnittstellen zwischen den Arbeitsabläufen. Beim Einführen von Schnittstellen ist zu berücksichtigen, dass diese zu einem erhöhten Aufwand, z.B. durch zusätzliche Dokumentationen, Kontrollen, Versicherungen, Schadensermittlung und Schadenserklärung [POWER2007, S.6] führen können. Die Anwendung der Ablaufdimension kann hier zusätzliche Hilfestellung für die Gruppierung von Prozessen geben, die von einem einzigen Unternehmen durchführbar sind. Das begrenzt wiederum die Anzahl der benötigten Schnittstellen und des damit verbundenen Managementaufwandes sowie der Kosten.

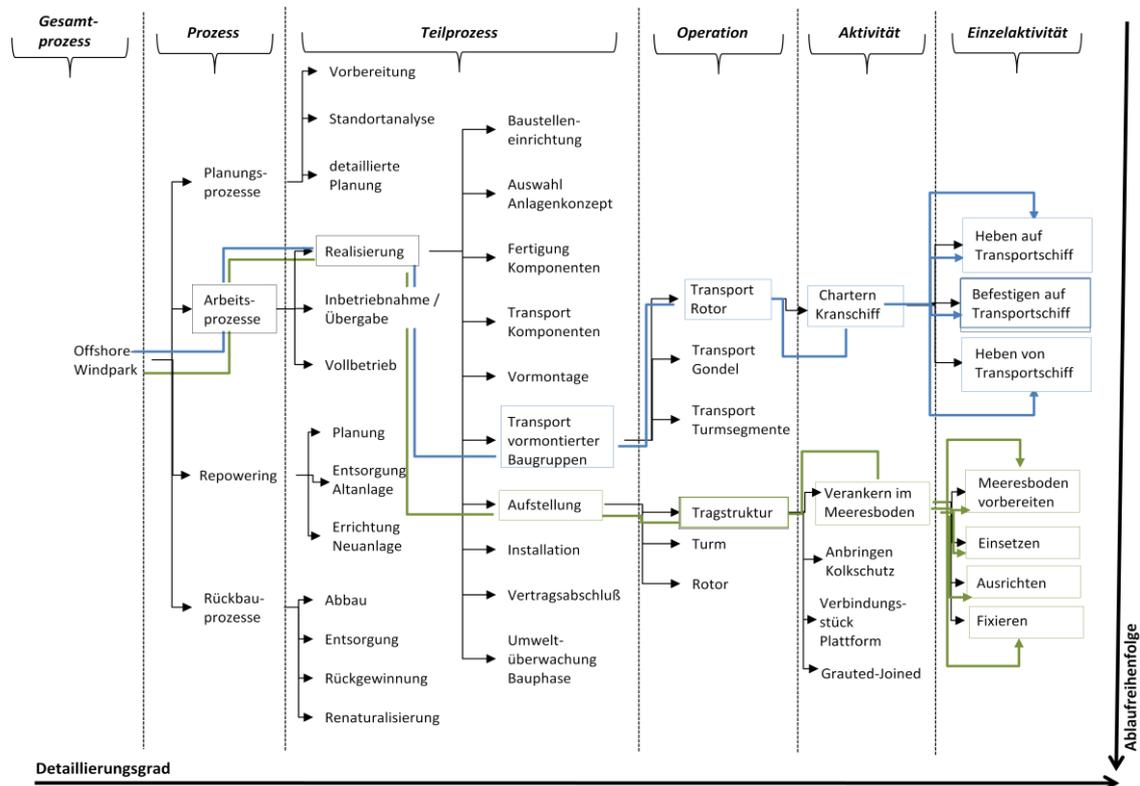


Abbildung 33: Zuordnung exemplarischer Prozessstrukturen zu den Granularitätsebenen

Abbildung 34 veranschaulicht die Einführung der ablaufbezogenen Gestaltungsdimension am Beispiel des Transports vormontierter Baugruppen. Die Gruppierung zur logischen Transport-Ablaufbeziehung erlaubt eine Vergabe des Auftrags an nur ein entsprechend spezialisiertes

Transportunternehmen. Dadurch lassen sich Prozessschritte und die erwähnten Schnittstellen reduzieren, da alle entsprechenden Verträge nur einmal aufgesetzt und die Aktivität ‚Chartern eines Kranschiffs‘ beispielsweise nur einmal durchlaufen werden müssen.

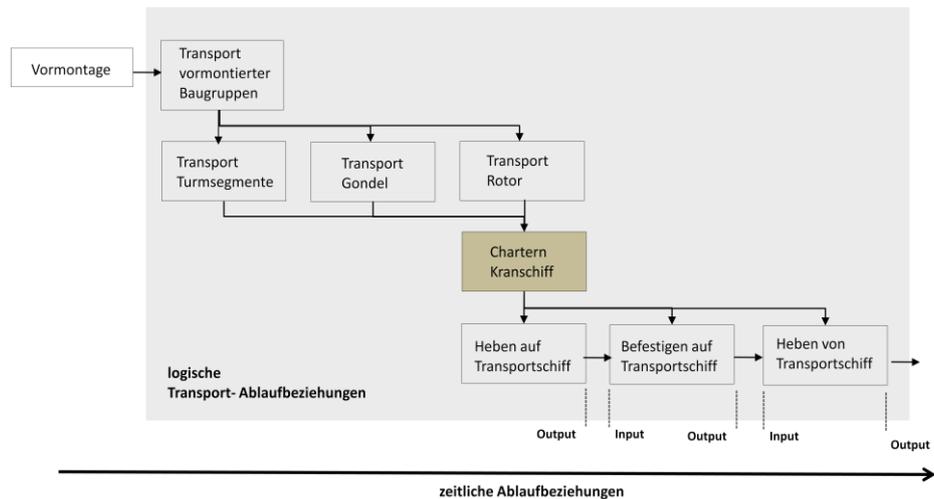


Abbildung 34: Beispielhafte Abbildung der Ablaufbeziehungsdimension

Eine beispielhafte Betrachtung der Referenzprozesse aus der Sicht der Ausführungslokation ist in Abbildung 35, basierend auf [POWER2007, S.7] zu erkennen. Auch diese Form der Betrachtung lässt einen entsprechenden Rückschluss auf die sequentielle oder parallele Ablaufmöglichkeit der Prozesse zu. Ein zusätzlicher Effekt ergibt sich aus der Ableitung von entsprechenden umweltspezifischen, anforderungsbedingten Abhängigkeiten wie Wetter und/oder Gezeiten.

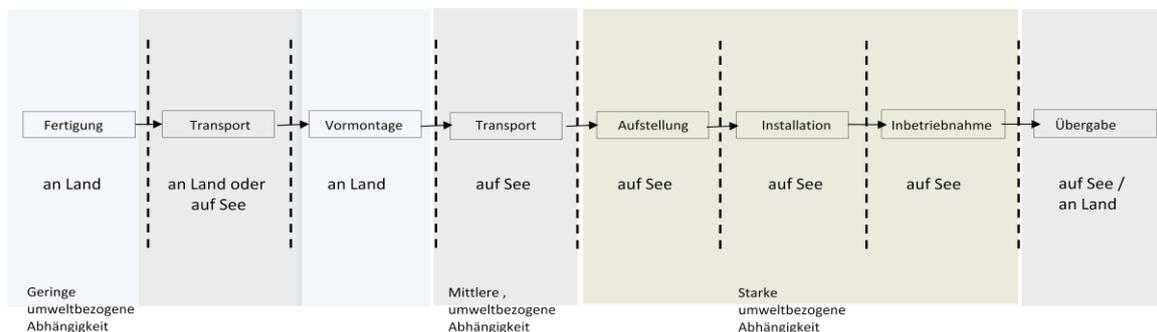


Abbildung 35: Zuordnung zur Ausführungsumgebung und der umweltbezogenen Abhängigkeit

Unter Anwendung der Merkmalsdimension lassen sich für jede Granularitätsstufe entsprechende Merkmalskataloge zur näheren Charakterisierung der Prozessabläufe instanzieren. Merkmals-Instanzierungen erhöhen die Transparenz von Prozessen und erleichtern eine qualitative Beurteilung der einzelnen Prozessabläufe hinsichtlich:

- der aufzuwendenden Mittel,
- der Anzahl der an dem Prozess involvierten Personen bzw. das Finden notwendiger Expertisen, die für die Durchführung unerlässlich sind,
- der einzusetzenden Werkzeuge
- des nötigen Controllings,
- der zeitlichen Ausdehnung,
- der logischen und zeitlichen Abhängigkeiten, inklusive Schnittstellen, und
- der zu erwartenden Abweichungen /Probleme aufgrund der vorhandenen Variabilität.

Eine qualitative Beurteilung hinsichtlich der Merkmalsausprägungen kann durch die Anwendung unterschiedlicher Darstellungsformen erfolgen. Eine häufig angewandte und auch im Kontext der Arbeit genutzte Form ist die Beurteilung mit Hilfe von Bewertungsmatrizen, wie in Abbildung 36 für

die Operation ‚Transport Rotor‘ beispielhaft vorgestellt. Umfangreichere Aussagen über die zu erwartende Prozesscharakteristik, auch hinsichtlich ressourcenbezogener und arbeitsumgebungsbezogener Merkmale, lassen sich durch die Anwendung der in Tabelle 4.6.2-I bereits vorgestellten Merkmalkataloge erzielen. Prinzipiell lassen sich für jede Granularitätsebene, abhängig vom betrachteten Kontext, Merkmalkataloge instanziiieren. Allerdings erhöht sich mit zunehmender Granularität auch eine entsprechende Redundanz in den Aussagen, so dass hier die Beschränkung auf die Prozess-, Teilprozess- und Operationsebene empfohlen wird. Als Beispiel eines instanziierten Merkmalskataloges sei auch hier auf die Operation ‚Transport Rotor‘ Bezug genommen, der in Tabelle 4.6.2-II abgebildet ist.

Tabelle 4.6.2-II: beispielhafter Merkmalkatalog für Operation ‚Transport Rotor‘

Merkmalsklasse	Merkmal	Mögliche Merkmalsausprägungen für ‚Transport Rotor‘ Operation
Prozeßbezogene Merkmale	Komplexität	mittlere Komplexität, d.h. übersichtliche Verzweigungen, wenige parallele, iterative Abläufe
	Variabilität	Ablauf ist wetterabhängig, aber vorherbestimmbar, mäßige kreative Anteile
	Strukturierungsgrad/ Detaillierungsgrad	mittelmäßig strukturiert
	Beteiligung	*übersichtliche Anzahl an Beteiligte *hoher Spezialisierungsgrad
	Laufzeitverhalten	Regelmäßige Wiederholungen
	Interprozeßverflechtung	*mittelmäßig komplexe Beziehungen zu anderen Prozessen,
	Controlling	genaue Ziele, genaue Messung
	Prozeßtyp	*typisch, kontext- bzw. Funktionsbezogen - Logistik, Transport - Wissensintensiv
	Zeitliche Ausdehnung	Ikurz Dauer
	Wertigkeit	groß, hoher Finanzierungsbedarf
Aufgabenbezogene Merkmale	Aufgabentyp	*sachbezogen, *typische Aufgaben - Lösungsorientiert, umsetzungsorientierte Aufgaben - Steuerungsaufgaben,
	Einarbeitung / Lernzeit / Übertragbarkeit	*mittlere Einarbeitungsaufwand, mittlere Lernzeit *gute Übertragbarkeit
Ressourcenbezogene Merkmale	Verfügbarkeit	geringe Verfügbarkeit, hohe Auslastung der Kranschiffe
	Austauschbarkeit	*hoher Spezialisierungsgrad / Einzel-/Spezialanfertigung
	Kosten	hohe Kosten
	Einsatzgebiet	auf See
	Komplexität	hoch
Arbeitsumgebungsbezogene Merkmale	Zugang	*teilweiser, wetterbedingter Zugang, schwer zugänglich *auf See

In Abbildung 37 werden zur Veranschaulichung die Operationen ‚Transport Rotor‘ und ‚Aufstellung Tragstruktur‘ verglichen, die deutliche Unterschiede in der umrandeten Fläche aufzeigen.

Neben der qualitativen Beurteilung in Matrizenform kommen innerhalb des Modells auch sogenannte Radar-Diagramme zum Einsatz. Diese lassen, zusätzlich zu einer ersten, schnellen Charakterübersicht auch vereinfachte Vergleiche zwischen verschiedenen Prozessschritten /Operationen/ Aktivitäten zu. Dabei ist es sinnvoll, die Anwendung der Merkmalsdimension zu Vergleichszwecken nur innerhalb einer Granularitätsebene vorzunehmen, um so die Betrachtung möglichst gleichwertiger Arbeitsabläufe zu erleichtern.

Transport Rotor						
Merkmale \ Ausprägung	sehr stark	stark	mäßig stark	wenig stark	unrelevant	völlig irrelevant
Komplexität		○				
Variabilität				○		
Wissensintensität			○			
Detaillierungsgrad			○			
Beteiligung			○			
Controlling		○				
Laufzeitverhalten			○			
zeitliche Ausdehnung				○		
Wertigkeit	○					
Interprozessverflechtung					○	
Grad der Individualisierung					○	
nicht-projektspezifisches Wissen		○				

Abbildung 36: qualitative Beurteilung der Operation 'Transport Rotor' anhand von Matrizen

Werden Prozesse, Teilprozesse, Operation, Aktivitäten oder auch Einzelaktivitäten beispielweise hinsichtlich ihrer Variabilität verglichen und bewertet, können auch hier verschiedene Referenzvorgehen abgeleitet werden, was wiederum zu einer Vereinfachung des Gesamtdurchlaufs führt. Ein weiteres, wichtiges Merkmal beschreibt die zeitliche Ausdehnung von Prozessschritten. Diese können, wie auch die schon erwähnten Prozessverflechtungen, für mögliche Parallelisierung, vor allem aber für eine zeitliche Abschätzung der einzelnen Ablaufphasen herangezogen werden.

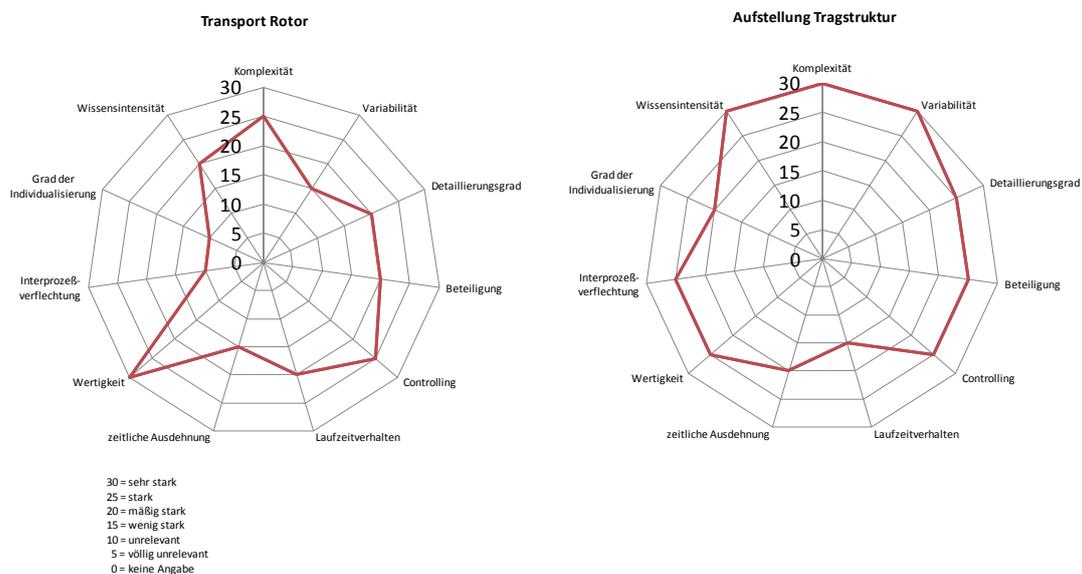


Abbildung 37: qualitative Beurteilung und Vergleich der Operationen 'Transport Rotor' und 'Aufstellung Tragstruktur' anhand von Radar-Diagrammen

Die letzte, innerhalb des OWP-Prozessmodells vorgestellte Gestaltungsdimension der Typifizierung dient zum einen der Klassifikation von Prozessen bezüglich ihres Ablaufverhaltens in Ablauftypen und zum anderen der Zusammenfassung von Prozessen hinsichtlich ihrer Zuordnung zu funktionsorientierten Aufgabenpaketen in Funktionstypen. Die Benutzung von Prozesstypen zielt neben der erleichterten Wiederauffindung und Wiederverwendung von ähnlichen Prozessen, auf die Eingrenzung der Prozesstypenvielfalt. Funktionstypen besitzen, wie auch die Ablauftypen, für den Typ spezifische klassifizierbare Eigenschaften, die eine formalisierte Abbildung innerhalb des Modells unterstützen und zudem eine Zuordnung von IT-Autorenwerkzeugen zur Bearbeitung dieser

Prozesstypen erlauben. Als Beispiel soll hier der Administrationsfunktionstyp genannt werden, dem typischerweise Projektmanagement-Werkzeuge zugeordnet werden.

Spezifische Prozesstypen sind an spezifische Strukturierungsmöglichkeiten und Abläufe gebunden. Sie besitzen generalisierbare Merkmale und Merkmalsausprägungen. Auf eine Ableitung von Referenzprozessen mit den dazugehörigen aufgabenbezogenen und arbeitsumgebungsbezogenen Sichten wird noch umfassender in Kapitel 5 unter Einbeziehung aller generischen Sichten auf das OWP-Modell eingegangen.

Abbildung 38 zeigt eine beispielhafte Klassifikation mit dem Schwerpunkt auf den Logistik-Funktionstyp. Diese Klassifikation erhebt keinen fundierten wissenschaftlichen Anspruch. Sie wird hier nur als Anwendungsbeispiel der Typifizierungsdimension und ganz allgemeinen Klassifikationsmethodik verstanden, anhand dessen eine beispielhafte, prototypische Implementierung vorgenommen werden soll. Der Aufbau von Klassifikationen, zumal so komplexer wie der Klassifikation von typischen Offshore-Prozessen, kann für sich betrachtet einem sehr tiefgehenden wissenschaftlichen Ansatz unterliegen, der hier nicht im Fokus der Betrachtung stand.

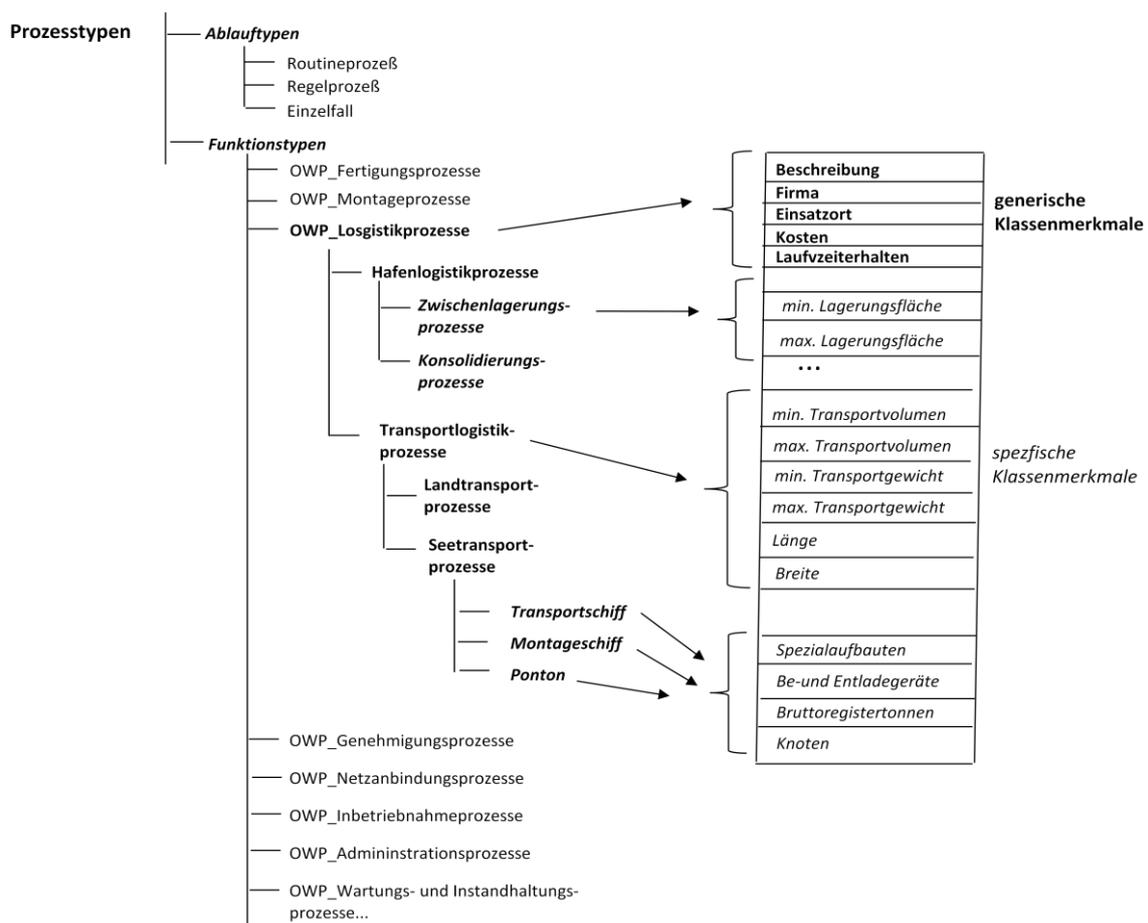


Abbildung 38: beispielhafte Prozesstypisierung

4.7 Ressourcenorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell

Eine effiziente, kostenminimierende Durchführung von OWP-Produktprojekten wird nach Autorensicht durch eine lebensphasenübergreifende, integrierte Prozess- und Ressourcenplanung erheblich erleichtert. Prozesse müssen zur Umsetzung der mit ihnen verknüpften Arbeitsaufgaben auf Ressourcen zurückgreifen, wodurch die Ressourceneignung- und Verfügbarkeit einen unausweichlichen Einfluss auf die Ablauforganisation von OWP-Projekten erlangen. Zur bidirektionalen Verknüpfung wird ein integratives, beide Sichtweisen berücksichtigendes

Objektmodell vorgelegt. Ziel dieses Modells ist die Extraktion von Informationen, welchem Prozess welche Ressource(n) wie lange zugeordnet oder auch welche Ressourcen wo genutzt bzw. noch verfügbar sind.

Unter dem Begriff ‚Ressource‘ werden nach [wikipedia.de] allgemein alle Mittel zusammengefasst, die benötigt werden, um eine Handlung zu tätigen oder einen Vorgang ablaufen zu lassen. Ressourcen können sowohl materielle als auch immaterielle Güter bezeichnen. Die getroffene Auswahl verdeutlicht bereits die breite und vielfältige Anwendung des Begriffs ‚Ressource‘. Im hier betrachteten OWP-Kontext soll dieser Begriff auf

... die materiellen Güter, die zur Durchführung eines Vorgangs mit dem Ziel der Energiegewinnung durch Wind im Offshore-Bereich nötig sind,

beschränkt werden. Eine weitere Eingrenzung der folgenden Ressourcenbetrachtung erfolgt durch die Exklusion der an der Handlung beteiligten Personen, der sogenannten ‚Humanressourcen‘. Für die Betrachtung des Menschen entlang der Wertschöpfungskette werden verschiedene eigenständige Projekt- und Forschungsansätze, im Umfeld der Digitalen Fabrik, beispielsweise am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung oder auch an der FH in Zwickau im Netzwerk Digitale Fabrik, verfolgt. Gemeinsam mit Arbeitsplatz- und Durchlaufsimulationen etablieren sich diese Ansätze zunehmend innerhalb von PLM-Technologien [DassaultSystems2011], [Thobabeb2011]. Der Fokus der ressourcenorientierten Sicht auf das OWP-Modell beschränkt sich somit auf die für das Modell wesentlichen:

- Materialien wie Pipelines, Flowlines, Kabel, Werkstoffe,
- Betriebsmittel wie Maschinen, Anlagen, Linien, Ausrüstungen, Vorrichtungen, Werkzeuge, Mess- und Prüfmittel sowie
- Transportmittel zur Umsetzung der sehr komplexen Logistik-Aufgaben.

Ressourcen haben zwar grundsätzlich variablen Charakter, dürfen oder können jedoch in konkreten Situationen nur bedingt verändert werden. Die Verfügbarkeit geeigneter Ressourcen wirkt, insbesondere im OWP-Umfeld, restriktiv auf Ablauf- und Anordnungsmöglichkeiten der gegebenen Menge von durchzuführenden Prozessen bzw. Aktivitäten, da hier sehr spezielle Anforderungen an die zu verwendenden Ressourcen gestellt werden und zusätzlich externe Einflüsse wie Witterung und Gezeiten zu berücksichtigen sind. Proportional zur steigenden Prozesskomplexität ist auch für viele Ressourcen, verstärkt bei Werkzeugen und Anlagen, ein erheblicher Anstieg an Spezialisierung bei gleichzeitigem Bestreben nach Verkürzung der kostenintensiven Bearbeitungszeiten zu verzeichnen. Durch die starke Verkürzung der direkten Bearbeitungs- bzw. Nutzungszeiten kommt es zu einem prozentualen Anstieg der Nebenzeiten für diese Betriebsmittel und Aufwendungen für Unternehmen, um die gestiegene Vielfalt an spezialisierten Ressourcen und deren Logistik zu decken. [Jendoubi2007, S.21]. Um in diesen Bereichen dem gestiegenen Kostendruck standhalten zu können, kommen zunehmend Ressourcenmanagement-Systeme zum Einsatz. Diese erlauben innerhalb eines Unternehmens die Eindämmung der Vielfalt durch geeignete Klassifikationsmechanismen, die auch hier die Wiederverwendbarkeit und -auffindbarkeit unterstützen. Zusätzlich dienen sie einer Sicherstellung der zeitgerechten Verfügbarkeit von Betriebs- und Transportmitteln. Gerade im Umfeld der kostenintensiven Offshore-Industrie mit ihrem Bedarf nach hoch spezialisierten und daher auch teuren Ressourcen erlangt dieser Punkt zunehmend Bedeutung für den Erfolg des Gesamtprojektes.

4.7.1 Anforderungen an ein integriertes Ressourcenmanagement

Ressourcen besitzen, wie bereits in Kapitel 2.5 erwähnt, einen eigenen Lebenszyklus, der mit Hilfe eines geeigneten Ressourcenmanagements eine entsprechende informationstechnische Abbildung findet. Ressourcen unterliegen im Gegensatz zur eigentlichen Offshore Produktprojekt –Sicht keiner direkten Wertschöpfung, sondern dienen der Prozessdurchführung. Allerdings werden an sie gerade im betrachteten Diskursbereich hohe Anforderungen an die Qualität und Verfügbarkeit gestellt, da

ihr Ausfall zum Stillstand mindestens von Teilbereichen des Gesamtsystems führen kann. Somit ist die Sicherstellung der zeitgemäßen Verfügbarkeit von Material, Betriebs- und Transportmitteln, ohne überhöhte Bestände und damit Kosten zu bilden, eine der wesentlichsten Anforderungen an ein integriertes Ressourcenmanagement im OWP-Umfeld. Die hier gestellten Aufgaben lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Überwachen der Verfügbarkeit von Betriebs- und Transportmitteln,
- Unterstützung der Wiederverwendbarkeit von Ressourcen,
- erleichtertes Auffinden gleichwertiger Ressourcen durch die Bereitstellung geeigneter Suchalgorithmen,
- Zuordnung von Informationen und Dokumenten wie Prüfpläne, Wartungs-, Montage- und Bedienungsanleitungen und
- verbesserte Planung von Wartung- und Instandhaltungszyklen

Bei der Koordination der Betriebsmittel und deren Verwaltung stellen sich die mobilen Betriebsmittel, also Fertigungshilfsmittel wie Vorrichtungen, Werkzeuge, Offshore-Montage-Plattformen oder auch Transportmittel, als besonders komplex heraus, da diese nicht unidirektional durch ein Unternehmen laufen [Jendoubi2007, S.21]. Bei ihnen ergeben sich häufiger unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche für Instandhaltung und Wartung. Der Lebenszyklus' von Ressourcen ist durch folgenden, in Abbildung 39 dargestellten Kreislauf bestimmt:

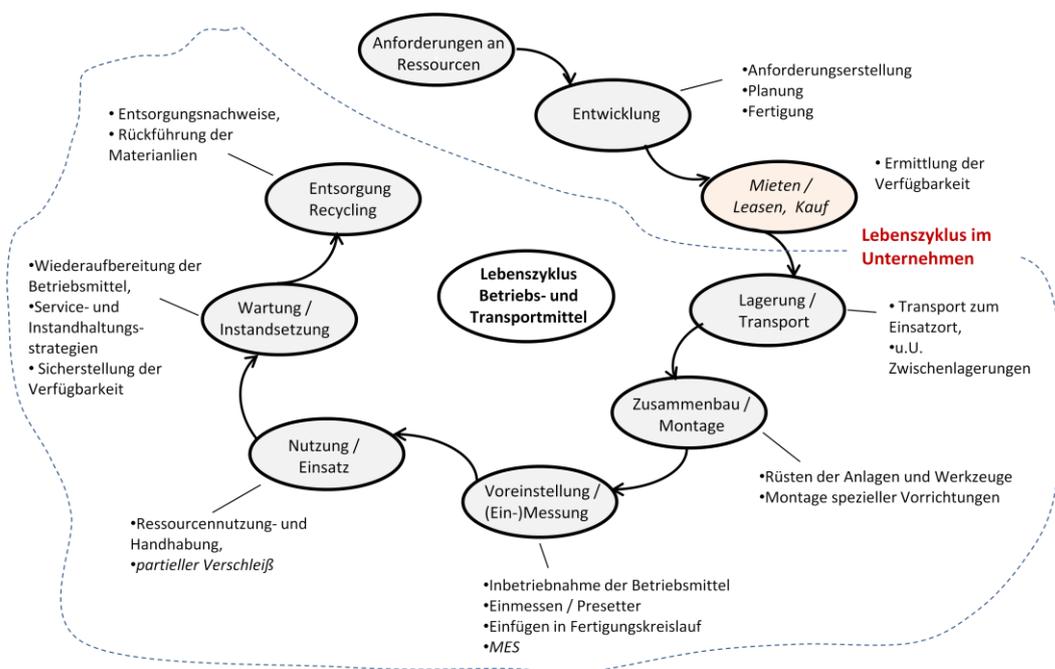


Abbildung 39: Typische Lebenszyklusphasen von Transport- und Betriebsmitteln bei Kauf

Erkennbar ist, dass sich für viele Ressourcen ein Lebenszyklus ergibt, der sich in mehrere Teilzyklen aufteilen lässt. Am Beispiel des dargestellten (Ver-)Kaufs wird der Lebenszyklus im Hersteller-Unternehmen, mit Ausnahme der Gewährleistung, beendet und im Unternehmen des Käufers neu aufgebaut. Bei Leasing oder Mietkonzepten, die typisch für die OWP-Realisierungsphase sind, wird dieser Kreislauf nicht unterbrochen. In jedem Fall endet der Lebenszyklus mit der Verschrottung, d.h. mit der physischen Vernichtung des Betriebsmittels.

Für Großprojekte wie Offshore-Windparks spielen neben der Sicherstellung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der jeweiligen Betriebsmittel die lebenszyklusbezogene Kostenprognose sowie eine Lebenszyklusphasen differenzierte Erfassung der tatsächlich anfallenden Kosten eine gewichtige Rolle. Aufgabe des Ressourcenmanagements ist es, hier methodische Unterstützung für das sogenannten Life Cycle Costing zu geben und so eine Ermittlung aller über den Lebenszyklus

aufzurechnenden Kosten zu ermöglichen. Durch diese Erfassung und Auswertung der Lebenszykluskosten soll vor allem erreicht werden, dass sämtliche Anschaffungs- bzw. Beschaffungskosten und Folgekosten zusammen mit etwaigen Qualitäts- bzw. Leistungsunterschieden genutzter Ressourcen adäquat in die Prozess- und Projektplanung einbezogen werden können.

Die Berücksichtigung von Verfügbarkeit und Kosten benötigter Ressourcen bereits in der Prozessplanung, setzt eine entsprechende Unterstützung innerhalb des Modells und die darauf aufbauende Integration aller hier beteiligten Teilsysteme voraus. Ein lebenszyklusübergreifendes Ressourcenmanagement befindet sich heute häufig an der Nahtstelle dreier Systemwelten. Der Bereich der Kostenanalyse, des Einkaufs und der damit verbundenen Lagerverwaltung und Logistik sind überwiegend Funktionen innerhalb von Enterprise Resource Planning -Systemen. Diese bilden eine mengen-, kosten-, und logistikorientierte Sichtweise auf benötigte Ressourcen ab. Eine Ressourcenauswahl – und Planung bezogen auf die Prozessabläufe wird im Kontext der Digitalen Fabrik überwiegend im Bereich des Product Lifecycle Managements etabliert, während eine Ressourcenüberwachung inklusive Sicherstellung der ‚on-demand‘-Verfügbarkeit allgemein den Fertigungsmanagementsystemen (MES) als Kernfunktionalität zugeordnet ist. Diese erfassen auch anfallende Ist-Kosten sowie Stillstands- und Verschleißparameter.

Im Hinblick auf das Gesamtprodukt ‚Offshore-Windpark‘ spielen MES-Systeme allerdings eine eher untergeordnete Rolle, da diese überwiegend zur Feinplanung und Feinsteuerung von Fertigungsabläufen eingesetzt werden. Sie besitzen eine entsprechende Relevanz für die Fertigung der WEA's. Für Windparks und vergleichbare Großprojekte mit langen Betriebsphasen kommen zur Sicherstellung der Gesamtanlagenverfügbarkeit und der dazu erforderlichen Ressourcen die erwähnten Zustandsüberwachungs- oder ‚Condition Monitoring‘-Systeme zum Einsatz. Diese Systeme sammeln alle zur Laufzeit des Systems anfallenden und zum sicheren, risikominimierenden Betrieb relevanten Daten. Dazu zählen, ähnlich den von MES-Systemen über den Fertigungsverlauf erfassten Informationen, neben prozesstechnischen Parametern zur Anlagensteuerung, der Verfügbarkeit und den jeweiligen Ertragszahlen, auch die Erfassung und Bewertung von hoch dynamischen Vorgängen hinsichtlich des Verschleißzustands der mechanischen Komponenten. Condition-Monitoring Systeme besitzen für die Projektierungs-, Planungs- und Aufstellungsphase nicht die oberste Priorität. Diese erlangen sie während der sehr langen Betriebsphase.

Für die OWP-Modellentwicklung relevant ist die zur Erstellung des Produktes bzw. zur Umsetzung des OWP-Projektes erforderliche Prozessplanung in Kopplung mit den dazu erforderlichen Ressourcen, für die PLM-Systeme unterstützende Ressourcenmanagement-Funktionalitäten bieten. Hinzu kommen die hier zunehmend angebotenen Dienste für Anlagenverwaltungen wie langfristige Service-, Wartungs- und Instandhaltungsplanungen. In PLM-Systemen stehen häufig Ressourcen im Sinne von idealen Ressourcen, z.B. als Bibliotheken oder Kataloge zur Verfügung, die spezielle, für Fertigung und Produktherstellung relevante Eigenschaften beinhalten. Katalogisierung von Ressourcen fokussiert auf die Verwaltung nicht-projektspezifischen Wissen und ist auch hier ein gängiges Ordnungsmittel zur Unterstützung der Wiederverwendbarkeit. IT-gestützte Wiederverwendbarkeit setzt, wie mehrfach ausgeführt, das Wiederauffinden passender Ressourcen und damit eine dem Anwendungskontext angemessene Klassifikation voraus.

4.7.2 Klassifikationsobjekte für OWP-Ressourcen zur Abbildung nicht-projektspezifischen Wissens

Grundlage der Klassifikation ist immer eine geeignete, einheitliche Beschreibung der zu klassifizierenden Objekte. Die Zusammenfassung von Ressourcen zu Klassifikations- oder Kollektionsobjekten bezeichnet den Grad der Übereinstimmung mit den definierten Maßstäben bzw. Merkmalen. Anhand von Merkmalen oder Attributen lassen sich vergleichbare Ressourcen ermitteln und über eine Klassifikationshierarchie effizient verwalten. Mit Hilfe von Baumstrukturen lassen sich Klassifikationshierarchien abbilden, wobei die Tiefe des Baumes einen Ausdruck für den Grad der Spezialisierung der darin klassifizierten Ressourcen darstellt. Der Aufbau von Klassifikationsbäumen

erfolgt hier nach dem Paradigma der Objektorientierung, d.h. die für jeden Knoten definierten Klassen erben die Eigenschaften der jeweiligen Eltern-Klassen und vererben sie ihrerseits wieder an die von ihnen abgeleiteten Sub-Klassen. Die zugeordneten Ressourcen bilden durch die Ausprägung der definierten Merkmale die entsprechenden Klasseninstanzen. Diese Klasseninstanzen lassen sich idealerweise mit den auf sie zurückgreifenden Prozessen verknüpfen.

Wichtige Planungsprozesse fokussieren im Offshore-Windenergie-Umfeld auf die Sicherstellung der Logistik aller beteiligten Ressourcen. Diese wurden daher auch in den Mittelpunkt des in Abbildung 40 dargestellten Klassifikationsansatzes gerückt. OWP-Logistikressourcen sind neben einer erhöhten Kostenintensität durch eine stärkere Abhängigkeit von externen Einflussfaktoren wie Wetter und längere Reaktionszeiten der Lieferanten bestimmt. Herausfordernd macht sich hier die Größe der zu befördernden Teile bemerkbar. Müssen Turmsegmente oder Rotorblätter über Land transportiert werden, sind entsprechend spezialisierte Schwerlasttransporter einzusetzen, die gesonderte Transportgenehmigungen erfordern. Und auch dann sind, wie schon in Kapitel 2 erwähnt, dem Einsatz von Spezialfahrzeugen aufgrund der Abmessungen auf dem Landweg Grenzen gesetzt.

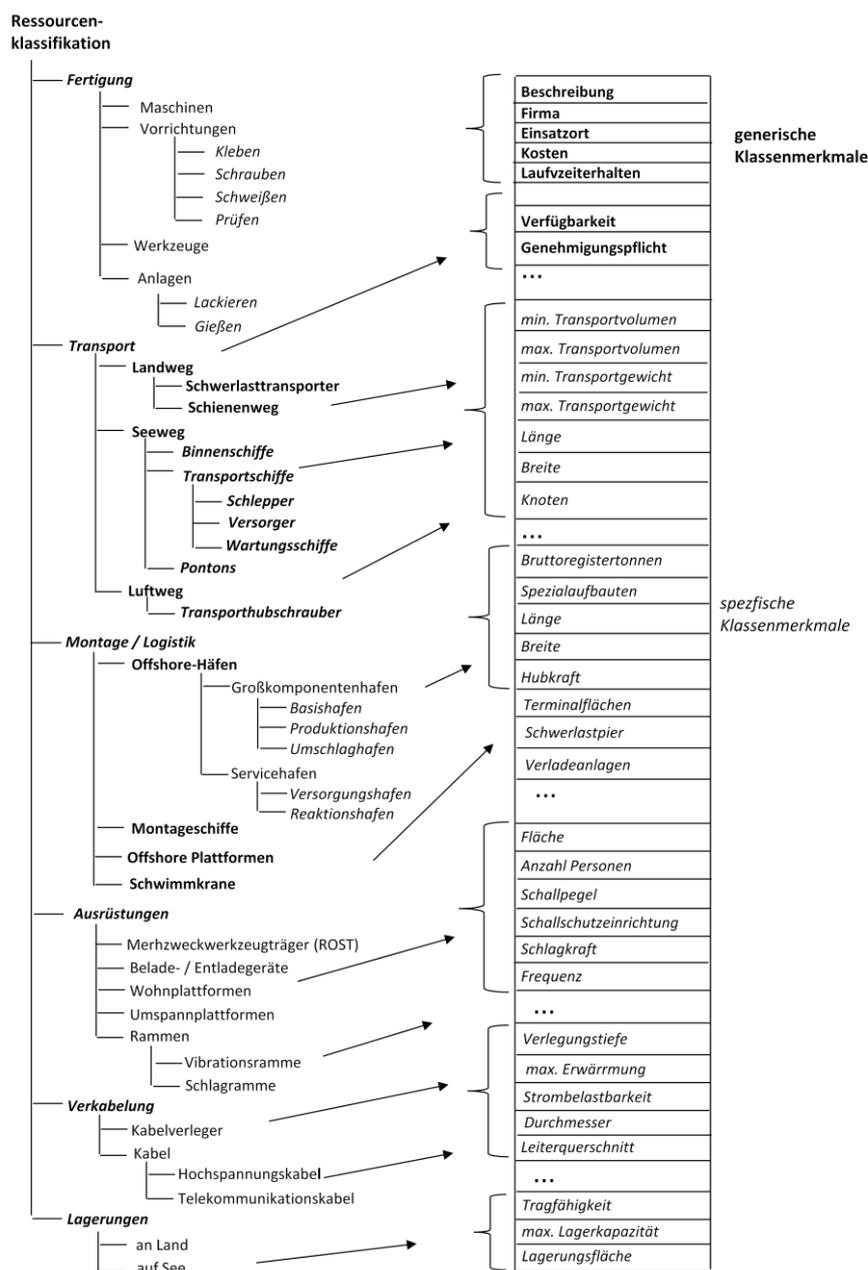


Abbildung 40: exemplarische Struktur von Klassifikationsobjekten für OWP-Ressourcen

Eine weitere, wenn auch eingeschränkte, Transportmöglichkeit ergibt sich durch den Einsatz von Binnenschiffen und Schienenfahrzeugen. Am wichtigsten gestaltet sich hier aber der Zugriff auf hoch spezialisierte Transportschiffe und Pontons. Aufgrund ihrer hohen Spezialisierung stehen diese Transportmöglichkeiten nicht unbegrenzt und auch nicht alternativ zur Verfügung. Und sie sind zudem sehr teuer [Heitmann2011]. Eine den Aufgaben am besten angepasste Auswahl benötigter Ressourcen sowie die termingerechte Planung der zugeordneten Transport- und Logistikprozesse sind daher wichtige Wirtschaftlichkeitsfaktoren von Offshore-Windparks. Insbesondere gilt hier, Prozesse so zu gestalten und mit Ressourcen auszustatten, das Offshore-Arbeiten so weit wie möglich vermieden oder zeitlich begrenzt werden können. Laut [POWER2007, S.10] verhalten sich die Arbeitskosten im Werk zu denen im Hafen oder auf See wie etwa **1 : 3 : 5** und darüber. Diese enormen Unterschiede unterstreichen die Anforderung nach einer sorgfältigen Planung auch der zur Verfügung stehenden Ressourcen.

Die Schaffung einer modellseitigen Unterstützung der Verknüpfung und Integration bietet hier die nötigen Voraussetzungen. Eine beispielhafte Implementierung sowohl der aufgeführten Klassifikationshierarchie als auch der integrierten Sichtweise von Prozess und Ressource wird in Kapitel 6 anhand der in Abbildung 34 in Kapitel 4.6.3 dargestellten Transport-Ablaufbeziehungen vorgenommen.

4.8 Arbeitsumgebungsorientierte Sicht auf das generische OWP-Modell

Die letzte hier diskutierte Sichtweise befasst sich mit Verortung der Vorgänge an die jeweiligen Ausführungsumgebungen. Zuzüglich der integrierten Betrachtung von Prozessen und Ressourcen spielen diese eine ebenfalls gewichtige Rolle. Das ‚Wo‘ wird gefertigt, bearbeitet, transportiert, errichtet, beeinflusst die Planung der Prozesse ebenso wie die Auswahl der dazu notwendigen Arbeitsmittel. Dabei stehen die folgenden Aspekte im Vordergrund:

- Unterstützung einer optimalen, integrierten Planung von Bearbeitungsprozessen bezüglich der Reihenfolge und Machbarkeit, z.B. Montageablaufplanung- und Durchlaufprozessplanung im betrachteten Arbeitsumgebungs-kontext
- Erhöhung der Kapazitätsauslastung der jeweiligen, den Arbeitsumgebungen zugeordneten Ressourcen durch Wege-Optimierung, d.h. bessere Planung des optimalen Einsatzes von Betriebsmitteln u.a. Maschinen, Vorrichtungen und Robotern

Für die effiziente Gestaltung der OWP-Prozesse entlang des gesamten Lebenszyklus erlangt die optimierte Planung insbesondere der sehr unterschiedlich genutzten und mit teuren Betriebsmitteln ausgestatteten Arbeitsumgebungen eine wichtige, weil kostensparende Bedeutung. Zu diesen komplexen Arbeitsumgebungen gehört im Offshore-Umfeld der Hafen. Häfen haben zentrale Aufgaben, da fast alle auf See zu installierenden Komponenten Häfen natürlicherweise passieren. Vor dem Hintergrund der begrenzten logistischen Möglichkeiten an Land, rücken auch zunehmend Binnenhäfen in den Fokus der Betrachtung. Häfen stellen neben den Verlademöglichkeiten, vor allem (Zwischen-) Lager- und Montagekapazitäten bereit [Heitmann2011]. Zusätzlich werden hier Anlagenteile produziert. Sie sind die logistische Basis für alle benötigten Spezialschiffe und der Ausgangspunkt für Wartungs- und Reparaturarbeiten. Wichtige Merkmale für Offshore-Häfen sind große Rangier- und Lagerflächen von bis zu drei Hektar Fläche, z. B. für die 60 Meter langen Rotorblätter [www.offshore-info.de]. Weiterhin müssen Hafenanlagen in ihrer Tragfähigkeit für die tonnenschweren Windparkteile ausgelegt sein sowie gute seeseitige und landseitige Zufahrtsbedingungen aufweisen [Heitmann2011]. In Abbildung 40 wurde eine Einteilung der Hafentypen basierend auf ihren Grundfunktionen vorgestellt. Eine grobe Unterteilung erfolgt hier nach *Heitmann* in die Großkomponentenhäfen und Servicehäfen. Die drei Großkomponentenhafentypen übernehmen vorrangig die erwähnten Aufgaben der Vormontage, der Lagerung und des Transports der Windenergieanlagenkomponenten. In diese Kategorie fallen auch die sogenannten Schutzhäfen. Diese stellen Notliegeplätze als Pufferfunktion bei Schlechtwetter bereit [Heitmann2011, S.7]. Servicehäfen dienen mit ihren Versorgungs- und Reaktionshafentypen überwiegend der Belieferung und Versorgung der Offshore-Windparks. Zu diesem Zwecke werden

dort ausreichende Bestände an Betriebsmitteln und Werkzeugen sowie kleinere und mittelgroße Komponenten zwischengelagert. Versorgungshäfen werden auch als Kontinuitätspunkte bezeichnet, da es sich in der überwiegenden Mehrzahl um regelmäßige und geplante Transporte handelt. Sie sind zusätzlich Ausgangspunkt für den Transport von Personen und Versorgungsgütern und halten in der Regel auch Kapazitäten für Personen-, Büro- und Sozialräume vor. Reaktionshäfen zeichnen sich durch eine geringe Entfernung zu den Windparks aus und sind Ausgangspunkt für zeitnahe, spontane Reparaturen im Crash-Management-Umfeld [Heitmann2011, S.8]. Als Richtwert gelten hier laut Offshore-Info.de maximal zwei Stunden Fahrzeit auf See.

Häfen sind in sich komplexe logistische Systeme, deren IT-technische Abbildung und Unterstützung ganz eigene, unabhängig vom Umfeld der Windenergieerzeugung aufgestellte Anforderungen zu berücksichtigen hat. Ähnlich den Ressourcen besitzen sie eigene Lebenszyklen, die in aller Regel nicht gemeinsam mit dem Offshore-Windenergiepark-Lebenszyklus verwaltet werden. Gründe dafür sind denen unter 4.7.1 erwähnten ähnlich. Auch hier sind sehr unterschiedliche Unternehmen und Nutzergruppen mit unterschiedlichen Systemanforderungen beteiligt. Für die Betrachtung des der Arbeit zugrunde liegenden Kontextes bedeutet dieser Sachverhalt, das entweder auf die zur vollständigen Wege- und Durchlaufplanung notwendigen 3D-Informationen verzichtet bzw. diese nachmodelliert werden müssen. Eine temporäre Sichtenkopplung beider Modelle bzw. der verwaltenden Systeme mit entsprechendem Schnittstellenmanagement wäre hier eine realistischere, empfehlenswerte Möglichkeit.

4.8.1 Abgrenzung von Ressource und Arbeitsumgebung

Aus Sicht der Offshore-Windenergie betrachtet, lassen sich manche Ressourcen und Arbeitsumgebungen nicht völlig scharf trennen. So kann ein Montageschiff zum einen als wichtige Ressource zur Erfüllung der mit ihr verknüpften Transportprozesse betrachtet werden. Zum anderen ist ein Montageschiff auch eine maritime Arbeitsumgebung, deren logistische und montageseitige Prozesse wiederum unter Einsatz von Ressourcen geplant werden müssen. Die unterschiedlichen Herangehensweisen hängen somit unmittelbar mit der Granularitätsdimension der betrachteten Prozesse zusammen. Eine modellseitige Abbildung im Sinne einer Ressource erfolgt basierend auf den expliziten Merkmalen ohne tiefere Kenntnis der eigentlichen Funktionsweise und internen Abläufe. Eine arbeitsumgebungsorientierte Modellierung muss im Unterschied dazu beispielweise auch die Planung von Montage- und Logistikabläufen unterstützen. Diese erhalten gesondertes Gewicht bei Montage – und Durchlaufsimulationen und basieren auf einer genauen, auch räumlichen Kenntnis des Gesamtsystems ‚Arbeitsplatz‘ und seiner zugeordneten Ressourcen.

Innerhalb der vorliegenden Arbeit soll eine Abgrenzung zwischen beiden Sichten wie folgt vorgenommen werden:

*Eine Ressource ist das Mittel, mit deren Hilfe ein Arbeitsvorgang durchgeführt werden kann, **die Arbeitsumgebung ist die Lokation, an dem dieses erfolgt.***

Die Einbeziehung der arbeitsumgebungsorientierten Sichtweise auf das generische OWP-Modell fokussiert hier auf die zur Planung des Gesamtsystems Offshore-Windpark erforderlichen Aspekte, d.h. begrenzt sich auf einer gröbere Granularitätsbetrachtung. So sollen Prozesse mit den für ihre Umsetzung geeigneten Arbeitsumgebungen und den dort zur Verfügung stehenden Ressourcen verknüpft werden können. Detaillierte arbeitsumgebungsbezogene Montage-, Durchlauf- oder Wegeplanungen werden modellseitig berücksichtigt, stehen allerdings nicht im Mittelpunkt der an dieser Stelle angestrebten Sichtenbildung.

4.8.2 Offshore- Arbeitsumgebungstypisierung

Offshore-Arbeitsumgebungen lassen sich, ähnlich den zuvor vorgenommen Hierarchisierungs-betrachtungen, nach definierten Kriterien in Klassenobjekte zusammenfassen und strukturieren. Eine Differenzierung der Lokation außerhalb der Werkshallen lässt sich auch hier hinsichtlich onshore bzw. offshore vornehmen. Das in Kapitel 4.7.2 angemerkte Paradigma, so weit wie möglich

Arbeitshandlungen auf See und damit an maritimen Arbeitsumgebungen zu minimieren, erlangt ebenfalls volle Gültigkeit. Als Besonderheit ist der Offshore- Windpark anzusehen, der zum einen Ziel aller Arbeitsanstrengungen ist, zum anderen aber auch lebenszyklusübergreifend als Arbeitsumgebung angesehen werden muss. Insbesondere in den Phasen der Realisierung und Betriebsführung wird diese doppelte Sichtweise von Produkt und Arbeitsumgebung deutlich.

Die Strukturierung von verschiedenen OWP-Arbeitsumgebungen erfolgt ebenfalls in Form von hierarchisierten Bäumen. Der Grad der Tiefe ist auch hier mit dem Grad der Detaillierung der betrachteten Umgebung und den assoziierten Prozessen proportional. Der Root-Knoten kann, wie in Abbildung 41 dargestellt, für eine ganze Fertigungsfabrik stehen, das unterste Blatt repräsentiert dagegen die individuelle Arbeitsumgebung, in der spezifische Vorgänge unter Einbeziehung von Ressourcen durchgeführt werden. Arbeitsumgebungen können zusätzlich einer Strukturierung in immobile und mobile Arbeitsplätze unterzogen werden. Mobile Arbeitsplätze beziehen sich auf die mehrfach erwähnten Montageschiffe, Pontons und Spezialumgebungen beispielsweise zur Kabelverlegung, aber ebenso auf die während der Phase der Realisierung und des Betriebes zur Verfügung gestellten Wohn- und Arbeitsplattformen. Mobile Arbeitsumgebungen lassen sich hier überwiegend den Prozessen ‚ab Werk‘ zuordnen. Immobile Arbeitsumgebungen sind dagegen mit mehr oder weniger fixen Fertigungsumgebungen zur Herstellung der einzelnen Windkraftanlagen-Komponenten verknüpft.

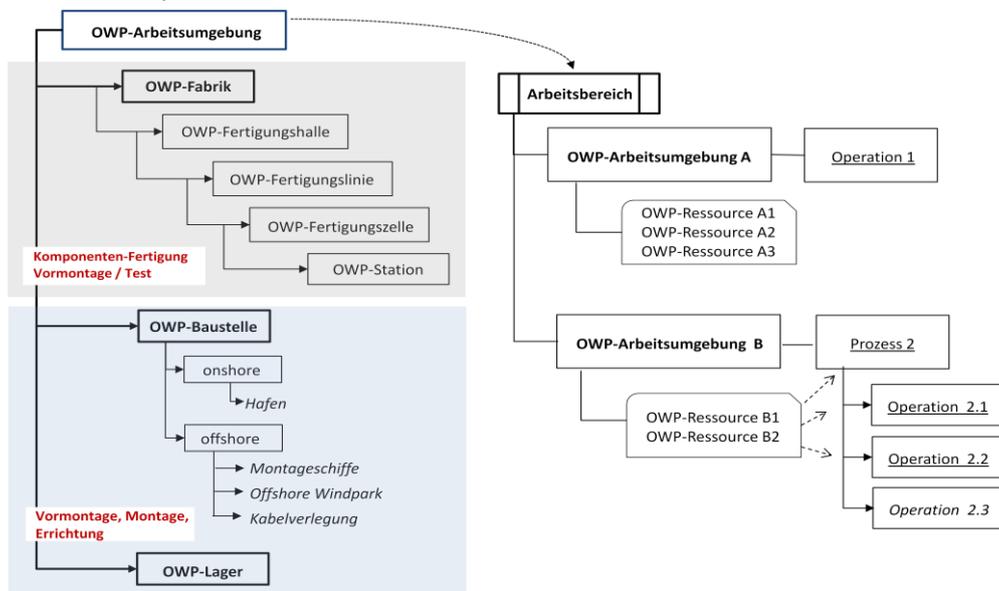


Abbildung 41: Beispielhafte Typisierung von Arbeitsumgebungen sowie Zuordnung von Prozessen und Ressourcen

Abbildung 41 zeigt eine mögliche Bildung von Klassenobjekten für OWP-Arbeitsumgebungen, die auf oberster Ebene in Arbeitsumgebungen zur Fertigung und Bereitstellung der Komponenten von Windkraftanlagen und die anschließende Montage und Errichtung am Zielstandort unterschieden werden. Dabei kann eine Struktur:

- a) eine komplette Fabrikstruktur,
- b) einzelne Arbeitsumgebungen wie Hallen, Linien, Sektionen, Zellen oder Stationen mit Einzelanlagen bzw. Einzelmaschinen und
- c) mobile Fertigungseinrichtungen wie Schiffe, Pontons und Plattformen

abbilden. Hallenlayouts bilden dabei ebenso eine Planungsgrundlage wie die Anforderungen bezüglich Taktzeit und Ausbringungsmenge. Jede Arbeitsumgebung kann Ressourcen umfassen, die permanent oder temporär mit dieser verbunden sind. Zusätzlich werden diesen Arbeitsumgebungen einzelne Operationen oder auch Prozesse zugeordnet, die innerhalb dieser Umgebung durchgeführt werden sollen. Als eine wichtige, spezifische Arbeitsumgebung werden in diesem Kontext auch die

Lagerplätze hervorgehoben. Die gesonderte Einführung eines OWP-Lagerplatzes als Arbeitsumgebung bezieht sich auf die Lagervorgänge ‚ab Werk‘, d.h. überwiegend auf Lagerungen in Häfen, auf Schiffen oder auch Plattformen. Sie verlangen aufgrund der Größe und Schwere der Bauteile optimierende Planungsbetrachtungen in Abhängigkeit des jeweiligen Lagerplatz-Layouts.

Normalerweise sind Arbeitsumgebungen durch ein entsprechendes Standard-Equipment vorkonfiguriert, welches sich allerdings zur Ausführung spezieller Operationen anpassen lässt. Für die im Fokus stehende Unterstützung der Offshore- Prozessabläufe müssen daher Informationen zum potentiellen Arbeitsplatz an unterschiedlichen Stellen des Planungsprozesses nicht nur bereitgestellt sondern auch angepasst bzw. neu erzeugt werden können. Diese Anforderungen zu berücksichtigen, ist Aufgabe der arbeitsorientierten Sichtweise des generischen OWP-Modells. Eine exemplarische Umsetzung dieser Modellsicht wird zusammen mit typischen Referenzprozessen in den Kapiteln 5 und 6 vorgestellt.

5 Ableitung des OWP-Datenmodells

Die informationstechnische Abbildung des in Kapitel 4 vorgestellten Konzeptes erfolgt wie erwähnt basierend auf objektorientierten Modellierungsparadigmen. Die objektorientierte Modellierung bildet eine Alternative zur strukturierten Systemanalyse und zum strukturierten Systementwurf. Eine für die Autorin auswahlbestimmende Besonderheit besteht hier in der Durchgängigkeit der Konzepte, das heißt, sowohl zur Analyse, zum Entwurf als auch zur Implementierung eines Systems kommen dieselben Beschreibungskonzepte zur Anwendung. Zur Analyse und Entwicklung von Systemen stellt das objektorientierte Modellierungskonzept einen Ansatz bereit, der im Wesentlichen auf den Konzepten „Objekt“, „Klasse“ und „Vererbung“ beruht [Fettke2011]. Um ein Verständnis des im Folgenden eingeführten Datenmodellkonzeptes zu erleichtern, sollen diese häufig etwas unterschiedlich benutzten Begriffe im hier verwandten Kontext einer kurzen Beschreibung unterzogen werden.

Objekte sind das zentrale Konzept objektorientierter Modellierung und werden hinsichtlich struktureller und verhaltensbezogener Aspekte näher beschrieben. Unter strukturellem Betrachtungsfokus besitzen Objekte verschiedene *Eigenschaften*, während sie aus einer verhaltensbezogenen Perspektive bestimmte *Dienste* anbieten [Fettke2011]. Die von einem Objekt angebotenen Dienste werden in der Literatur auch als Methoden oder Operationen bezeichnet. Der Objektbegriff ist allgemein so weit gefasst, dass letztlich jeder Gegenstand als ein Objekt verstanden werden kann, der sich als ein Objekt beschreiben lässt. Er umfasst damit sowohl konkrete als auch abstrakte Gegenstände [Stuckenschmidt2011, S.5 ff]. Neben Gegenständen der Anwendungsdomäne beinhaltet der Objektbegriff auch Gegenstände der Implementierungstechnik, der innerhalb des Betrachtungsrahmens der vorliegenden Arbeit allerdings eine untergeordnete Rolle zugewiesen wird. Mit einer *Klasse* wird es dagegen möglich, die gemeinsamen Eigenschaften und Dienste von einer Menge von Objekten einmalig zu beschreiben. Zuweilen werden Klassen auch als Schablonen zur Erzeugung von Objekten dieser Klasse aufgefasst [Stuckenschmidt2011, S.6 ff], d.h. Klassen beinhalten die abstrakte Definition der Eigenschaften eines Objektes, während ein Objekt ein konkretes Exemplar der Klasse darstellt. Zwischen Klassen kann eine Vererbungsbeziehung bestehen, die eine gerichtete Beziehung darstellt. Unter Zuhilfenahme dieser Vererbungsbeziehung kann die untergeordnete Klasse sämtliche Struktur- und Verhaltenseigenschaften der übergeordneten Klasse mitnutzen, was wesentlich zur Wiederverwendbarkeit sowohl von Objekten als auch von Klassen beiträgt. Klassen dienen somit in erster Linie der Strukturierung und Hierarchiebildung von Objektgruppen. Durch eine Erweiterung oder Überschreibung der bereits gegebenen Struktur- und Verhaltenseigenschaften lässt sich zusätzlich die Anforderung nach Anpassbarkeit des Modells umsetzen.

Objekte und ihre Eigenschaften werden im fokussierten Problembereich, hier der Lebensphasenunterstützung von Offshore Windparks, identifiziert, mithilfe einer formalen Modellierungssprache abgebildet und im Laufe des Entwicklungsfortschritts verfeinert. Ziel der Abbildung ist schließlich die Umsetzung in eine objektorientierte Implementierungsumgebung wie beispielsweise Sprache, Datenbanksystem oder Middleware.

Objektorientierte Modellierung wird an dieser Stelle als Methode eingesetzt, die ausgehend von der Problemstellung den erörterten Problembereich als eine Menge kommunizierender und interagierender Objekte beschreibt, die sukzessive in das zu implementierende System überführt werden können.

5.1 Abstraktionsstufen des OWP-Datenmodells

Die Überführung einer auf Objekten und ihren Eigenschaften beruhenden Problembereichsmodellierung in ein *persistentes*, d.h. dauerhaft gespeichertes, *Datenmodell* ist eine allgemeine Voraussetzung zur lebenszyklusübergreifende Verwaltung von Informationen, die nicht nur im Offshore-Kontext Gültigkeit besitzt [Mansour2006], [Lübke2006]. Datenmodelle unterstützen die

explizite Abbildung von Beziehungen zwischen den formulierten Objekten und erlauben die Strukturierung von Informationen durch den Einsatz von Datenmodell-Hierarchien. Um eine ‚top-down‘ oder ‚button-up‘- Implementierungsunterstützung für das OWP-Datenmodell zu geben, wird an dieser Stelle ein Hierarchisierungskonzept in Form von *Abstraktionsstufen* vorgeschlagen.

Ziel der eingeführten Hierarchieebenen ist es, die Sachverhalte und Strukturen der realen Welt über mehrere, aufeinander aufbauende Abstraktionsstufen zu betrachten und darzustellen, um dadurch eine effiziente Implementierung zu vereinfachen.

Der Weg von der Realität zur Objektmodellbeschreibung beinhaltet an sich schon einen Vorgang der Abstraktion. Modellierung ist dabei die konkrete Beschreibung der realen Welt beziehungsweise des Ausschnitts der realen Welt, im Weiteren als **Domäne** bezeichnet, der Gegenstand der aktuellen Betrachtung ist. Je nach *Betrachtungsrichtung* kann die Vorgehensweise der Spezialisierung oder Generalisierung gewählt werden. *Generalisierung* ist ein zentrales Abstraktionskonzept, in welchem auf das Abstrahieren von der Varianz der Spezialfälle und die Konzentration auf einen gemeinsamen, für bestimmte Betrachtungen als wesentlich erachteten Kern fokussiert wird [Frank2004, S2]. Die Generalisierung ist in Abbildung 42 durch einen roten Pfeil markiert. Die Umkehrung, die *Spezialisierung*, gekennzeichnet durch einen blauen Pfeil, ist ein ebenfalls gängiges Konzept zur Strukturierung einer betrachteten Domäne und innerhalb der vorliegenden Arbeit bereits mehrfach zur Anwendung gekommen. Die Unterscheidung realweltlicher Objektarten und deren differenzierte Beschreibung erfolgt im Folgenden durch die Einführung spezialisierter Objekte.

Der Begriff der *Domäne* wird in der Softwareentwicklung in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet. Im hier beschriebenen Kontext wird unter **Domäne**:

... ein Fachgebiet oder auch Anwendungsbereich verstanden, innerhalb dessen der Rahmen für die inhaltliche Spezifizierung festlegt wird. Fachdomäne oder spezifische Domäne bezeichnen somit den Ausschnitt der realen Welt, welcher im Fokus der jeweiligen Betrachtung, im vorliegenden Fall des Lebenszyklus von Offshore-Windparks, steht und in welchem sich spezifische Daten und Prozesse identifizieren lassen.

Das heißt das **OWP-Domänenmodell** konzentriert sich auf die im Offshore-Windpark- Fachbereich relevanten Elemente [Larman2005, S. 168 ff], spiegelt die Anwendungssicht des OWP-Modells wider und legt die gültigen Systemgrenzen des Datenmodells fest. In der betrachteten, spezifischen **OWP-Domäne** existiert somit eine Menge von:

- Prozessen und Vorgängen, in denen in irgendeiner Weise produziert wird und betriebliche Werte bzw. veräußerbare Produkte geschaffen werden, z.B. *Energie*,
- Gegenständen, die Objekte der OWP-Prozesse im Rahmen einer Wertschöpfung sind,
- Personen, die als Erfüllungssubjekte mit der (OWP-)Produktion in irgendeiner Weise beschäftigt sind [Stuckenschmidt2011]. Im Falle der Offshore Windparkbetrachtung wird der Begriff der ‚Produktion‘ auf alle Lebenszyklusphasen im Sinne der für jede Phase spezifischen Wertschöpfung erweitert,
- Regeln, Verfahren, räumlichen und zeitlichen Vorgaben, welche bereits als *Aspekte* eingeführt wurden

Für die Implementierung des Offshore Windpark-Datenmodells werden durch die Autorin die drei in Abbildung 42 dargestellten Abstraktionsstufen der **generischen Basisobjekte**, der **domänenneutralen Businessobjekte** und der **domänenspezifischen Businessobjekte** definiert. Diese erlauben sowohl eine generalisierte, hier als ‚button-up‘ bezeichnete, als auch spezialisierte ‚top-down‘ Entwicklungsrichtung des anwendungsbezogenen OWP-Domänenmodells. Die wesentlichen Grundziele des Domänenmodellansatzes beziehen sich auf Aspekte der Implementierung wie Portabilität, Interoperabilität, Wiederverwendbarkeit und Erweiterbarkeit:

- 1) *Portabilität*, d.h. die größtmögliche Unabhängigkeit des Modells von der eigentlichen Implementierungsumgebung,

- 2) *Interoperabilität*, d.h. die Fähigkeit der oberen Modellschichten, (Fähigkeit des Systems), möglichst nahtlos mit anderen Basiskonzept-Modellen oder Systemen zusammenzuwirken,
- 3) *Wiederverwendbarkeit* als Qualitätsmerkmal des Modellansatzes, d.h. möglichst umfassend in möglichst vielen unterschiedlichen Kontexten verwendet werden zu können,
- 4) *Erweiterbarkeit* zur Anpassung an verschiedene, spezifische Projektbedingungen stellt hier ebenfalls ein Qualitätsmerkmal des Modellansatzes dar [Matsokis et al2010]. Es ist eng mit dem der Wiederverwendbarkeit gekoppelt und wichtiges Paradigma der Objektorientierung.

Diese aufgeführten Anforderungen werden durch eine möglichst weitgehende Trennung der Basisobjekte der generischen Modellebene von den domänenspezifischen Businessobjekten erfüllt.

Generische Basisobjekte stellen Funktionalitäten unabhängig vom eigentlichen Anwendungskontext zur Verfügung, deren Umsetzung auf verschiedenen Datenbanken bzw. hier PLM-Plattform vorgenommen werden kann. Sie umfassen Grundaspekte der Datenmodellverwaltung- und Implementierung. Nach der dem Modell zugrunde liegenden Definition der *Object Management Group* (OMG) bezeichnet eine *Plattform* hier „eine kohärente Menge von Subsystemen und Technologien, die von auf dieser Plattform lauffähigen Anwendungen benutzt werden können. Die Benutzung erfolgt durch die Verwendung genau spezifizierter Schnittstellen und Gebrauchsmuster ohne Kenntnis darüber, wie die über die Schnittstellen angebotenen Dienste implementiert sind“. [Nolte2009, S.11]. Eine Plattform kann dabei *kaskadierend* sein, d.h. eine auf einer bestimmten Plattform laufende Anwendung kann selbst wieder eine Plattform für eine andere, abstraktere oder, je nach Betrachtungsrichtung, speziellere Anwendungen sein. Diese wesentliche Überlegung bezieht sich auf das Vorhandensein von PLM-Plattformen, die an sich lauffähige, meistens auf Datenbanksystemen aufsetzende Umgebungen mit mehr oder weniger generellen Funktionalitäten darstellen und diese anderen, auf ihnen aufbauenden Anwendungen via Vererbung oder Dienstnutzung ohne eigene Implementierungsaufwände zur Verfügung stellen. Die in Abbildung 42 aufgeführten, generischen Basisobjekte beinhalten somit allgemeingültige, zumeist bereits vorhandene Funktionen wie beispielsweise im Teamcenter PLM-System zur Speicherung von persistenten Objekten innerhalb von Datenbankverwaltungssystemen, zur Darstellung von Beziehungen zwischen diesen Objekten oder auch zur Umsetzung von verschiedenen organisatorischen Benutzer- und Zugriffskonzepten angeboten werden. Diese Basisobjekte sind Träger der eindeutigen Objektidentifikation, erlauben die prinzipielle Informationsstrukturierung, die Abbildung unterscheidbarer Beziehungen, die Vergabe verschiedener Status und Versionen sowie das Verwalten von physischen Files, wie sie typischerweise innerhalb von PLM-Systemen nutzbar sind. Diese erste Abstraktionsstufe inkludiert somit das angeführte Generalisierungskonzept.

Darauf aufbauend umfasst die **domänenneutrale Businessobjekt**-Ebene bereits typische, für die lebenszyklusphasenübergreifende Unterstützung notwendige Funktionsobjekte. Beginnend von der Anforderungsmodellierung- und Verfolgung bis hin zur Fertigungsunterstützung durch die Abbildung von Prozessen oder auch der nachfolgenden Servicemanagement-Unterstützung innerhalb der Betriebsphase durch geeignete Service-Objekte, wird eine entsprechende Unterstützung geliefert. Auch für diese Ebene gilt eine domänenunabhängige Allgemeingültigkeit, wobei die Fokussierung auf dezidierte und auf den Lebenszyklus bezogene, spezialisierte Objekte liegt. Viele Betriebsdaten- bzw. PLM-Plattformen stellen auch für diese Ebene bereits entsprechend nutzbare Objekte bereit. Die grundlegende Anforderung nach Implementierungsunabhängigkeit lässt sich auch für diese Abstraktionsstufe weitgehend umsetzen.

Die domänenneutrale Businessobjekt-Ebene liefert die eigentliche Schnittstelle zu den **domänenspezifischen OWP-Businessobjekten**. Für den betrachteten Offshore- Windpark-Kontext sind die wichtigsten domänenspezifischen Objekte in Abbildung 42 aufgelistet, die in Kapitel 5.3 noch näher beschrieben werden. Diese Objekte besitzen den stärksten Spezialisierungsgrad bezogen auf den betrachteten OWP-Fachkontext. Sie bilden einen Rahmen für die exemplarische Umsetzung des im vierten Kapitel vorgestellten OWP-Modellansatzes, ohne einen Anspruch auf Abdeckung aller Einzelheiten zu erheben. Aufgrund des Unikatcharakters, der Vielzahl der zu berücksichtigenden Betrachtungsaspekte während des Lebenszyklus sowie der langen Laufzeit von Offshore-Windparks

kann ein OWP-Datenmodell extrem komplex und umfangreich werden. Eine Hauptschwierigkeit entsteht u.a. durch die enorme Menge denkbarer Daten- bzw. Datenstrukturanforderungen an das OWP-Modell, welche es nahezu unmöglich macht, all diese Anforderungen vorweg zu nehmen und zur Entwicklungszeit des Modells zu berücksichtigen. Diese Nichtdeterminiertheit von Entwurfsentscheidungen begründet die Notwendigkeit laufzeitdynamischer Modellmodifikationen. Bei einem Drei-Ebenen-Modell lassen sich die geforderten Modellanpassungen weitaus besser unterstützen als bei ein- oder auch zweistufigen Modellansätzen, wobei die grundlegende Forderung nach einer Anforderungserfüllung für das Anwendungsgebiet möglichst unabhängig von der zugrundeliegenden Implementierungsumgebung beibehalten wird. Entsprechende anwendungsspezifische Modifikationen können auf der domänenspezifischen Ebene vorgenommen werden, ohne die darunter liegenden Basis- und domänenneutralen Business-Objekte verändern zu müssen. Portabilität und Erweiterbarkeit des OWP-Modells sind hier in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt.

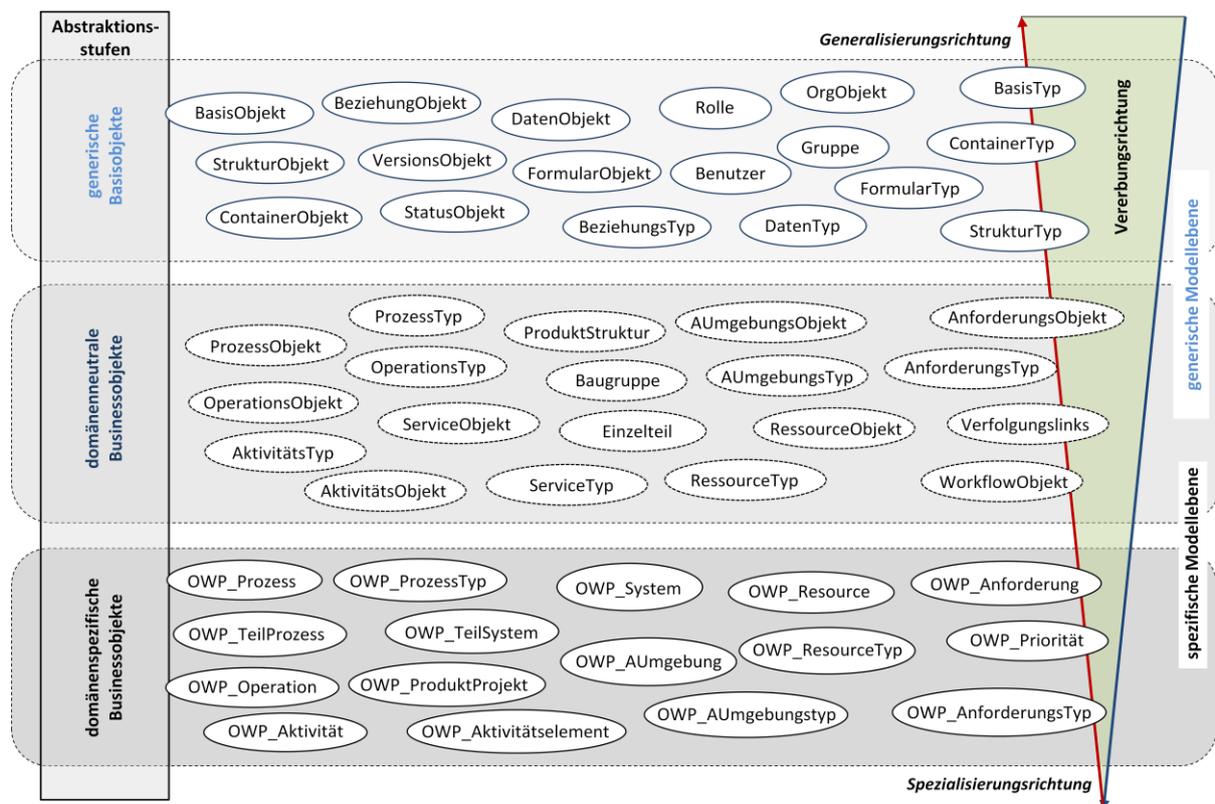


Abbildung 42: Ebenen des Offshore-Windpark-Domänenmodells

Die unterschiedlichen Modellebenen erlauben weiterhin eine hierarische Implementierung des spezifizierten Modells, wobei hier die Richtung der Spezialisierung ‚vom Allgemeinen zum Spezifischen‘, umgesetzt wird. Sie entspricht weitgehend der intuitiven Vorgehensweise der Autorin beim objektorientierten Klassentwurf und erlaubt eine breite Nutzung bereits verfügbarer Funktionalitäten unabhängig von der genutzten Implementierungsplattform. Zur Aufgabe der domänenspezifischen OWP-Modellebene gehört die Bereitstellung von Offshore-Windpark spezifischen:

- Domänenobjekten oder Domänenklassen,
- Assoziationen zwischen Domänenklassen,
- Attribute / Eigenschaften von Domänenklassen.

Die zur Offshore-Windpark-Planung benötigten Domänenobjekte und Assoziationen zu Produkt, Prozess, den Ressourcen sowie den Arbeitsumgebungen, verknüpft mit den umzusetzenden Anforderungen, werden in unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus erzeugt, angepasst oder

bereitgestellt. Die Aufgabe des Datenmodells liegt in der Unterstützung der Abbildung sowohl der Einzelsichten als auch deren Verknüpfung. Das einzusetzende Datenmanagementsystem hat über den gesamten Lebenszyklus hinweg die Aktualität und Durchgängigkeit der Datenstruktur sicherzustellen. Hauptanliegen der vorgestellten Vorgehensweise ist es daher, im OWP-Domänenmodell:

- die strikte Trennung von Anliegen und Implementierung zu verfolgen, um
- eine Berücksichtigung der Minimierung von Abhängigkeiten zu ermöglichen und dadurch
- die Zukunftsfähigkeit des Modells der Offshore-Windpark-Domäne zu gewährleisten.

Dieses Anliegen enthält keine notwendigen Restriktionen für die einzusetzenden Techniken. Die formale Beschreibung des entwickelten Objektmodells erfolgt unter Verwendung der Unified Modeling Language (UML) Modellierungssprache, die umsetzungsunabhängig vorgenommen wird. Die UML wurde hier als Beschreibungsnotation aufgrund ihrer großen Verbreitung, guten Unterstützung durch verschiedenste Software-Werkzeuge, einer breiten Anwendbarkeit und intuitiven grafischen Repräsentation ausgewählt. Sie ist zudem auch für Nicht-Informatiker leichter fassbar. Im nachfolgenden Kapitel wird auf die wesentlichen, dem Verständnis der vorgenommenen Modellierung dienenden UML-Aspekte kurz eingegangen.

5.2 UML-Beschreibungsnotation

Die UML ist eine grafische Modellierungssprache, die sich auf die Definition von semantischen und syntaktischen Notationen zur Beschreibung von objektorientierten Systemen beschränkt. Ein solches System wird häufig nicht ‚in einem Wurf‘ entwickelt. Die Verfeinerung der Entwicklungsstufen folgt vielmehr einem prozesshaften Ablauf, wobei die dabei entstehenden grafischen Repräsentationen einen bestimmten Aspekt des Problembereichs oder des zu realisierenden Systems innerhalb eines vorgegebenen Abstraktionsniveaus beschreiben [OOSE2006]. Im Umfeld von Datenbanken wird UML häufig zur Spezifikation des konzeptuellen Datenbank-Schemas eingesetzt. Durch die UML wird kein Entwicklungsprozess vorgeschrieben, vielmehr ist UML mit unterschiedlichsten Entwicklungsprozessen kombinierbar, was neben einer sehr flexiblen Anwendung insbesondere die stufenweise Sichtenabbildung des beschriebenen OWP-Modells unterstützt.

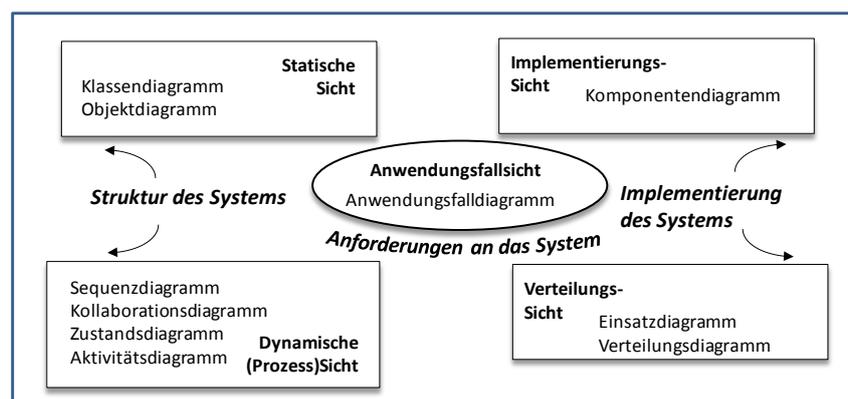


Abbildung 43: Modellsichten, Diagrammtypen und ihr Einsatzbereich in der UML, nach [Hitz,Kappel1999 S.9B]

Zur Beschreibung von Objektmodellen unterscheidet die UML verschiedene Sichten auf das mit ihr modellierte System, wobei jeder der verschiedenen, in Abbildung 43 aufgeführten, UML-Diagrammtypen mindestens einer Sicht zugeordnet ist. Zur Beschreibung des vorgestellten Modells zur Lebenszyklusunterstützung von Offshore Windparks werden das Klassendiagramm zur Darstellung der statischen Sicht und das Aktivitätsdiagramm zur Modellierung von Prozessabläufen eingesetzt. Auf diese UML-Konstrukte soll im Weiteren detaillierter eingegangen werden.

Klassendiagramme beschreiben den statischen, d.h. strukturellen Aspekt des zu modellierenden Anwendungsbereichs in Form von Klassen und den zugeordneten Eigenschaften, Objekten, und deren Beziehungen zueinander sowie die angebotenen Objektschnittstellen. Eine Spezialform des Klassendiagramms ist das *Objektdiagramm*, das ausschließlich aus Objekten und deren Beziehungen besteht. Klassen- bzw. Objektdiagramme eignen sich allgemein für die Darstellung der konzeptuellen Sicht des Diskursbereiches, in der das WAS im Vordergrund der Modellierungsbetrachtung steht. Innerhalb der UML wird häufiger der Begriff des *Objekttypen* benutzt [Larman2005], der synonym zum Begriff der Klasse angewandt wird. Objekte sind in diesem Sprachkontext somit instanziierte Klassen bzw. konkretisierte Objekttypen. Die UML unterstützt die im vorigen Kapitel ausgeführten Konzepte der Generalisierung und Spezialisierung durch eigene, im Anhang A aufgeführte, Notationen.

Verhaltensdiagramme, zu denen die Anwendungsfalldiagramme zählen, erlauben die Beschreibung des Prozessablaufs bzw. den entsprechenden Workflow von Arbeitsschritten, inklusive der Interaktionen zwischen den Anwendungsfällen und den Akteuren (actors). Ein Anwendungsfall kann auch als eine Folge von Szenarios angesehen werden, die durch ein gemeinsames Benutzerziel verbunden sind. Ein Szenario ist wiederum eine Folge von Schritten, die die Interaktionen zwischen einem Akteur und einem System beschreibt [Larman2005]. Anhang A gibt die Notation für Anwendungsfalldiagramme wieder.

Bei der objektorientierten Modellierung stehen traditionell das Konzept des Objektes und seine Interaktion mit anderen im Vordergrund. Die Beschreibung von Abläufen oder auch Prozessen wird in der UML auf verschiedenen Detaillierungsebenen unterstützt, denn einerseits muss der „Ablauf“, d.h. die Realisierung einer Operation einer Klasse, spezifiziert werden, andererseits muss der Ablauf des Gesamtsystems oder auch der von Teilsystemen beschrieben werden. Letztes bezieht sich auf das Zusammenspiel der einzelnen Funktionalitäten innerhalb der Betrachtungsgrenzen. Die UML unterstützt die Prozessbeschreibung durch ihre Aktivitätsdiagramme. Mit ihrer Hilfe kann spezifiziert werden [Frank2004]:

- was die einzelnen Schritte des Ablaufs tun. Dies erfolgt durch die Angabe einer Bezeichnung des Schritts und der durch ihn manipulierten Objekte,
- in welcher Reihenfolge sie ausgeführt werden und
- optional - wer für ihre Durchführung verantwortlich ist.

Aktivitätsdiagramme eignen sich insbesondere zur Beschreibung von Workflow- und Geschäftsprozessen, da diese wie in Kapitel 4 beschrieben durch eine Folge von (Teil) Prozessen, Operationen und Aktivitäten abbildbar sind. Diese werden zur Erreichung eines bestimmten Geschäftsziels ausgeführt und lassen sich ohne konkrete Implementierung zur Modellierung dieser Arbeitsabläufe einsetzen. Im UML-Metamodell ist das Aktivitätsdiagramm als Spezialisierung des Zustandsdiagramms definiert. Die wichtigsten Notationen sind ebenfalls in Anhang A aufgeführt.

Aktivitätsdiagramme unterstützen in Anlehnung an Datenflussdiagramme die Modellierung von Objektflüssen. Objekte können somit als Eingabe für eine Aktivität verwendet werden oder sie werden von einer Aktivität manipuliert und als Ausgabe erzeugt. Abhängig davon erfolgt die Verwendung der entsprechenden Objektsymbole. Ein Rechteck mit dem unterstrichenen Namen des Objektes spezifiziert entweder die Eingabe zu einer Aktivität oder auch die Ausgabe von einer Aktivität, indem eine gerichtete, gestrichelte Kante genutzt wird. Da es im Offshore-Windpark-Kontext eines der wesentlichen formulierten Ziele ist, sofern möglich Prozessabläufe zu parallelisieren, soll an dieser Stelle noch auf die Möglichkeit der Abbildung von nebenläufigen Teilfolgen von Aktivitäten hingewiesen werden. Diese können parallel abgearbeitet werden und sind durch sogenannte Gabelung als Beginn der Nebenläufigkeit, die Vereinigung als markiertes Ende dieser Parallelisierung und den Entscheidungsknoten zur Darstellung alternativer Abläufe symbolisch gekennzeichnet [Larman2005].

Die Modellierung von Prozessabläufen mittels Aktivitätsdiagrammen bietet sich, bezogen auf den beschriebenen Domänenkontext, insbesondere für die Darstellung der erwähnten Behörden-

Engineering-Workflow Prozesse an. Mit ihrer Hilfe wird in Kapitel 5.5 ein entsprechender Referenzprozessablauf abgebildet, der innerhalb des 6. Kapitels einer prototypischen Implementierung unterzogen wird.

5.3 Objekte des OWP-Domänenmodells

Das dreistufige, in 5.1 eingeführte OWP-Domänenmodell inkludiert die zur Umsetzung eines jeden Datenmodells notwendigen Funktionalitäten in Gestalt der generischen Basisobjekte ebenso, wie die domänenneutralen Businessobjekte zur Bereitstellung höherwertiger, anwendungsnäherer Dienstleistungen. Generische Basisobjekte sind durch ihre hohe allgemeingültige Nutzbarkeit am wenigsten auf den zu implementierenden OWP-Domänenkontext spezialisiert. Diese Basisaspekte werden von vielen höherwertigen Engineering Datenbankmanagement-Systemen, beispielsweise innerhalb der Dassault/Enovia oder NX/Teamcenter Produktpalette, bereits in ähnlicher Weise zur Verfügung gestellt. Sie lassen sich in die nachfolgenden, in Abbildung 44 aufgeführten Kategorien untergliedern. Zur besseren Lesbarkeit des Gesamtkonzeptes soll auf die wichtigsten Kategorisierungsobjekte kurz eingegangen werden. Als wichtiges Hilfsmittel zur Darstellung der nachfolgenden Objekte werden die in Kapitel 5.2 vorgestellten UML-Klassendiagramme verwendet

Strukturobjekte bilden die unterste Ebene aller Objekte, auf die die abgeleiteten, Struktur abbildenden bzw. beinhaltenden Objekte zurück greifen. So können Versionen verschieden instanziierte Strukturen eines Objektes beinhalten. Klassifikationsobjekte sind innerhalb dieser Sicht typische Strukturobjekte. Mit Hilfe von Generalisierung und Aggregation lassen sich hierarchische Klassenstrukturen aufbauen. Typenobjekte gliedern und strukturieren verschiedene kontextbezogene Objekte, die Träger spezifischer Eigenschaften dieses Objekttyps sind. Sie dienen damit einer genaueren Charakterisierung des verhandelten Objektes im jeweiligen Bearbeitungsumfeld und erlauben Definition von Gültigkeitsbereichen.

Organisationsobjekte unterstützen, wie der Name bereits impliziert, die Organisation von Objekten oder Objektgruppen innerhalb des Managementsystems. Wichtige Organisationsaspekte wie die Definition von Zugriffsrechten für spezielle Benutzergruppen und Benutzer werden durch diese Objekte übernommen. Für jedes Datenbankmanagement-System sind ein dediziertes Benutzer- und Rollensystem von fundamentaler Bedeutung. Über die Verwaltung von Rechten und Regeln lassen sich Fehlerquellen ausschließen oder zumindest reduzieren bzw. bei Auftreten nachvollziehen. Letzteres gewinnt in Hinblick auf die stark steigenden Dokumentationspflichten zunehmend an Bedeutung. Um paralleles, aber synchronisiertes Arbeiten zu erlauben, müssen bei verteilten Standorten diese so verwaltet werden, das zum einen ausreichend Sicherheit bei der Bearbeitung von gemeinsam genutzten Modellen besteht und zum anderen unnötige Datenredundanz vermieden wird, die ihrerseits im Abgleich wieder Fehlerquellen beinhaltet [Dietrich2011]. Volumen-, Status- und Standortverwaltungsobjekte stellen diese organisatorischen Funktionalitäten bereit.

Containerobjekte unterstützen das Sammeln und Zusammenfassen von Objekten ohne Strukturierungs- oder Organisationsanspruch. Auf solche Objekte werden häufig sogenannte Bulk-Mengen-Operationen aufgesetzt, die quantitative Funktionen beinhalten, keine qualitativen. Bulk-Operationen sind für Containerobjekte oftmals effizienter durchzuführen als Einzeloperationen basierend auf Einzelzugriffen auf Objekte [Dietrich2011]. Als Beispiel sei hier das Durchführen von Sicherheitskopien auf Ordnerobjekte oder das Darstellen von in Containern gesammelten Objekten in verschiedenen Ansichten genannt.

Beziehungsobjekte stellen sehr wichtige Funktionalitäten zur Abbildung von Zusammenhängen innerhalb des OWP-Datenmodells bereit und sollen daher etwas ausführlicher besprochen werden. Mit ihrer Hilfe lassen sich bidirektionale Verknüpfungen zwischen einzelnen Objekten aber auch Objektsammlungen herstellen, die unabhängig vom Objekttyp eine lebensphasenübergreifende Lebensdauer besitzen und bidirektionale Nachverfolgungen der mit ihnen assoziierten Objekte zulassen. Bidirektional bedeutet hier die Teilnahme zweier Objekte an der Beziehung. Das

Beziehungsobjekt enthält Aussagen bezogen auf das Besitzerobjekt, hier BeziehungsEigentuerer_Objekt genannt, als auch auf das Zielobjekt, in Abbildung 45 als BeziehungsZiel-Objekt aufgeführt.

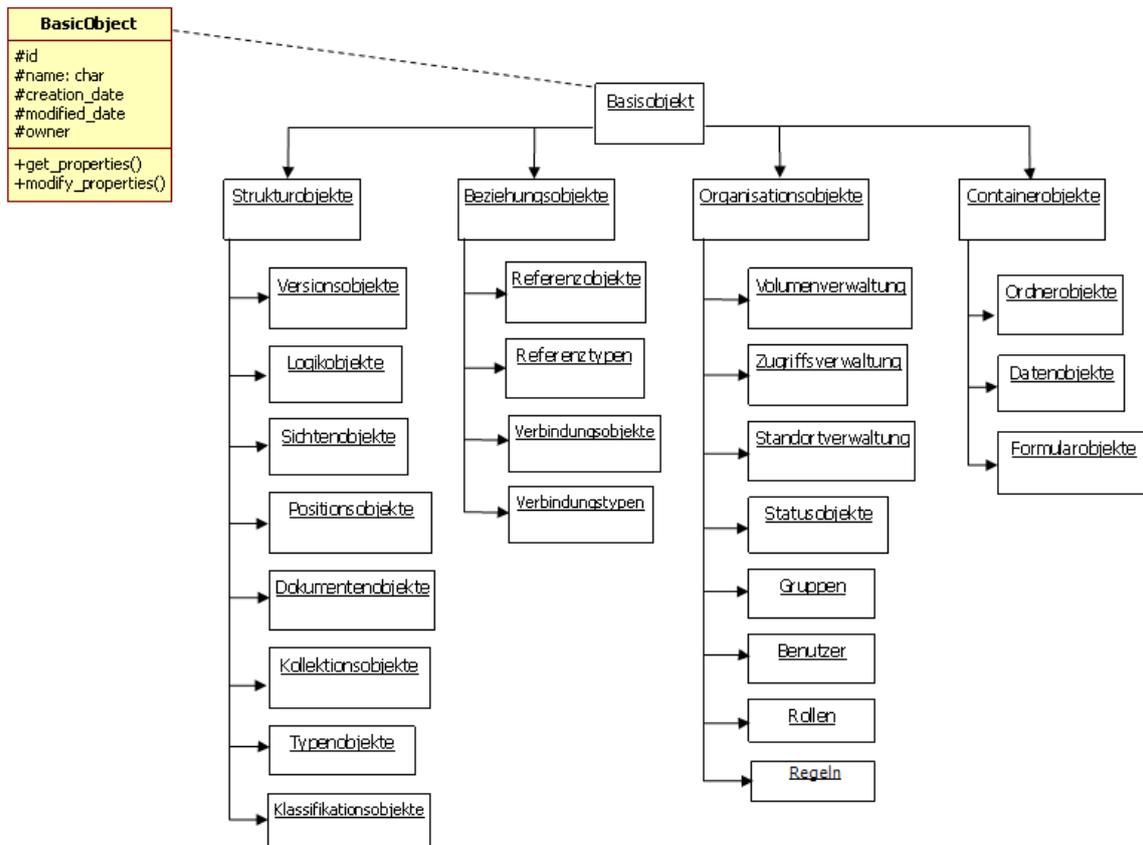


Abbildung 44: Kategorisierung der generischen Basisobjekte

Diese bilateral gehaltenen Assoziationen beinhalten die zur Rückverfolgung ebenso wie zur Verwendungsermittlung von Objekten benötigten Objektreferenzen. Beziehungsobjekte können zusätzlich eine geometrische Zuordnung bzw. Positionierung ausdrücken, die insbesondere im Design-Kontext von Bedeutung ist. Zur Qualifizierung dieser unterschiedlichen Beziehungsrelationen sind Beziehungsobjekte zusätzlich mit einem entsprechend zu vergebenen Referenztyp-Objekt gekoppelt.

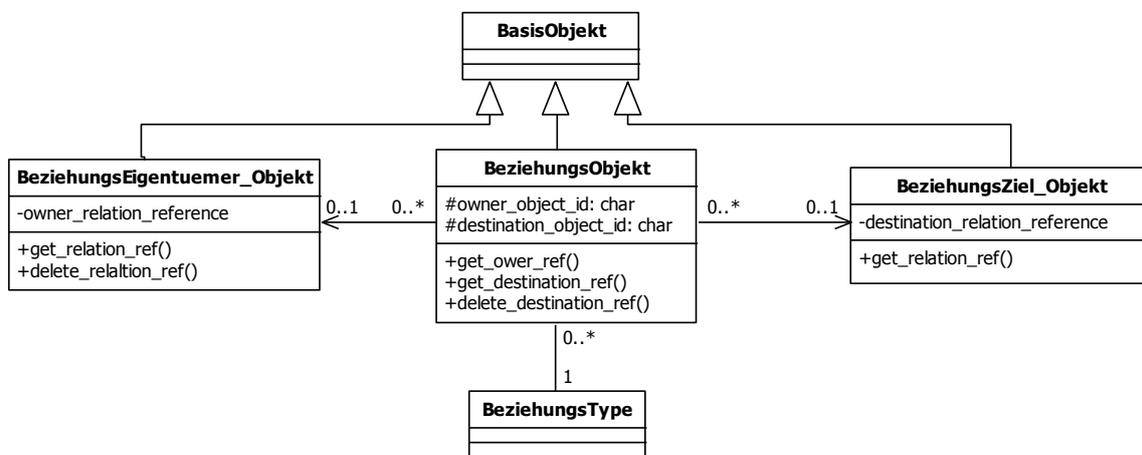


Abbildung 45: Klassendiagramm für Beziehungsobjekte

Um keine ungenutzten oder invaliden Objekte innerhalb des Modells aufzubauen, werden Beziehungsobjekte durch ihre Besitzerobjekte verwaltet, d.h. sie existieren nur innerhalb des Lebenszyklus des Besitzerobjektes und werden mit diesem betrachtet. Beziehungsobjekte werden hier als sogenannte *schwache* Objekte aufgefasst. Das bedeutet eine direkte Abhängigkeit der Beziehungsobjekte zu ihren Besitzerobjekten. Werden diese gelöscht, erfolgt auch eine Löschung des Beziehungsobjektes. Beziehungsobjekte sind daher nur im Zusammenspiel mit ihren Besitzerobjekten gültig. Abbildung 46 gibt die im OWP-Datenmodell gültigen, bidirektionalen Möglichkeiten einer Beziehungsdefinition wieder.

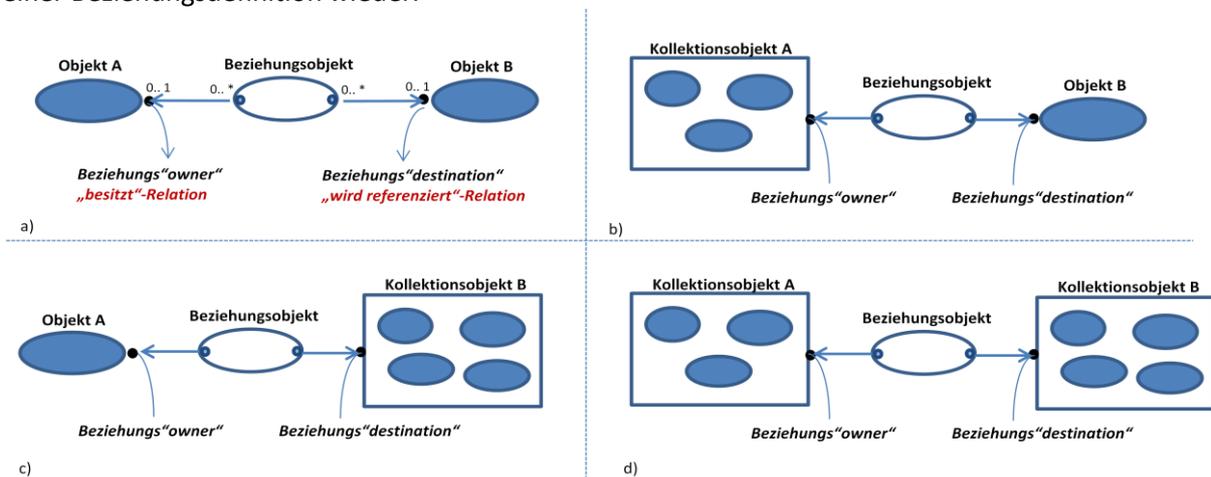


Abbildung 46: bidirektionale Beziehungsmöglichkeiten zwischen Objekten, basierend auf [TCDataModel2010]

Domänenneutrale Businessobjekte lassen sich oftmals in PLM-Systemplattformen finden. Sie implementieren bereits anwendungsnahe, durch unterschiedliche Domänen nutzbare logische Informationsobjekte. Als Beispiel dienen hier die aufgeführten Prozessobjekte oder Produktstruktur- bzw. Ressourcen-Objekte. Sie sind Lieferant höherwertiger Standardbausteine und stellen innerhalb des Datenmodells eine konsistente, durchgängige Funktionalität sicher, die sich aufgrund ihres stärkeren Spezialisierungsgrads an die individuellen Erfordernisse der jeweiligen Fachlichkeit orientieren. Domänenneutrale Businessobjekte besitzen somit bereits konzeptionelle Identität [Nolte2009] und stellen den domänenneutralen Ordnungsrahmen des Objektmodells. Innerhalb der weiteren Betrachtung soll dieser Rahmen mittels der Offshore Windpark-Domänenspezifika in den Arbeitsfokus gerückt werden. Dieser beinhaltet implizit auch die domänenneutralen Businessobjekte als Untermenge.

Die dargestellten Klassendiagramme der OWP-domänenspezifischen Businessobjekte beschreiben das Besondere der Anwendungsdomäne Offshore Windpark. Dies geschieht durch die Definition von Typen von Objekten zur Umsetzung des hergeleiteten OWP-Modells und die verschiedenen statischen Beziehungen zwischen ihnen. Klassendiagramme können je nach Nähe zur Implementierung generell aus drei unterschiedlichen Sichten erstellt und interpretiert werden: die konzeptuelle Sicht, die Spezifikations- und die Implementierungssicht [Fettke2011]. Die Abbildung des domänenspezifischen OWP-Domänenmodells wurde aus konzeptueller Perspektive entworfen und ist entsprechend zu interpretieren, d.h. die dargestellten Diagramme haben einen Bezug zu den implementierenden Klassen, lassen sich aber, im Unterschied zu der generischen Modellebene, nicht unbedingt immer direkt aufeinander abbilden. Alle im Folgenden aufgeführten Klassendiagramme geben nur einen Ausschnitt der jeweils betrachteten Sichtweise auf das Gesamtmodell wieder. Im Vordergrund der Betrachtung stehen die wichtigsten Informationsobjekte, deren Beziehungen und Herleitung aus den domänenneutralen Business- sowie generischen Basisobjekten. Innerhalb der Darstellung fehlen beispielsweise Klassen für die Benutzer sowie deren Rollen und Rechte, die hier nicht näher untersucht werden. Sie stehen in den gängigen PLM-

Architekturen in der Regel bereits zur Verfügung. Attribute und Operationen der Klassen wurden für diese Überblicksdarstellungen ausgeblendet.

Abbildung der Anforderungsorientierten Sichtweise

Abbildung 47 zeigt die allgemeinen Bestandteile des OWP-Anforderungsmodells. Gemäß der in Kapitel 4.4.2 aufgeführten anforderungsorientierten Sicht setzt sich dieses aus den funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungstypen zusammen, denen entsprechende OWP_Einflussgrößen und Prioritäten zugewiesen werden können. Diese Anforderungstypen bilden die eingeführten unterschiedlichen Aspekte ab, die auf ein Offshore-Windpark-System wirken bzw. durch diesen berücksichtigt werden müssen. Um ein entsprechendes ‚Tracen‘ oder auch Rückverfolgen der Anforderungen zu ermöglichen, werden OWP_Verfolgungslinks definiert, die zum einen mit der jeweiligen Anforderung und zum anderen mit denen zu ihrer Umsetzung benötigten Objekten verknüpft sind. Verfolgungslinks lassen somit über den gesamten Lebenszyklus hinweg ein Nachverfolgen der Anforderungen und die Ermittlung des aktuellen Erfüllungsstatus‘ zu.

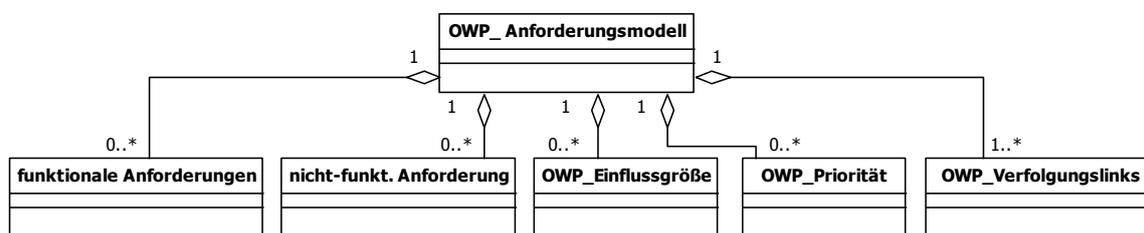


Abbildung 47: Allgemeine Abbildung für das Offshore Windpark-Anforderungsmodell

Die aufgeführten OWP_Einflussgrößen beinhalten die möglichen wirtschaftlichen, technischen, ökologischen und rechtlichen Aspekte, die auf das System Offshore-Windpark und seine Teilsysteme bzw. Einzelkomponenten einwirken und letztlich den gesamten Lebenszyklus beeinflussen. Instanzierte OWP_Einflussgrößen umfassen die konkreten Projektrahmenbedingungen, die den projektspezifischen Kontext für ein Offshore-Produktprojekt beschreiben und die spezifischen Gestaltungsmöglichkeiten des Gesamtmodells, insbesondere des spezifischen Prozessmodells, eingrenzen. Das in Abbildung 48 aufgeführte Klassendiagramm gibt das OWP-Anforderungsmodell über alle drei Abstraktionsstufen betrachtet wieder. Generische und spezifische Modellebene sind durch gestrichelte Linien getrennt, der generische und spezifische Anforderungsmodellkontext sowie die Abgrenzung zu den generischen Basisobjekten wird durch eine grau hinterlegte Schraffur verdeutlicht. OWP_Anforderungen enthalten implizit Abhängigkeiten. Diese sind durch Vorgänger-Nachfolger Beziehungen zum Ausdruck gebracht.

Um die Umsetzung der Anforderungen messen und kontrollieren zu können, werden diese, wie am Beispiel des Behörden-Engineerings in Bild 25, Kapitel. 4.4.2 verdeutlicht, mit Workflows verknüpft. OWP_Workflows beinhalten eine vordefinierte Abfolge von Aktivitäten und auf den Ablauf des Prozesses ausgerichtete Meilensteine, die eine zeitliche Überprüfung der mit ihnen verknüpften Anforderungen im Sinne von Qualitätskriterien ermöglichen. Weiterhin erlauben Workflows eine Zuordnung von Zuständig- bzw. Verantwortlichkeiten. Das Ausführen eines OWP_Workflows sowie die Durchführung einzelner Arbeitsaufgaben sind somit abhängig von der Verrechnung. Diese Verknüpfung wird im Modell durch die in Abbildung. 48 aufgeführten WorkflowObjekte umgesetzt. Die im OWP-Modell verwendeten WorkflowObjekte werden der Ebene der domänenneutralen Businessobjekte zugeordnet, da diese allgemeingültige Funktionalität, ähnlich den Rollen und Rechten, häufig bereits Bestandteil von PLM-Plattformen ist. Rollen- und Benutzerobjekte werden aufgrund ihrer geringeren Spezifik als generische Basisfunktionalität angesehen und in die Basisobjekte verortet. Auf die darauf aufbauende Ableitung domänenspezifischer Offshore-Workflows wird im nachfolgenden Referenzprozesskapitel sowie im Umsetzungskapitel 6 am Beispiel des Behörden-Engineerings näher eingegangen

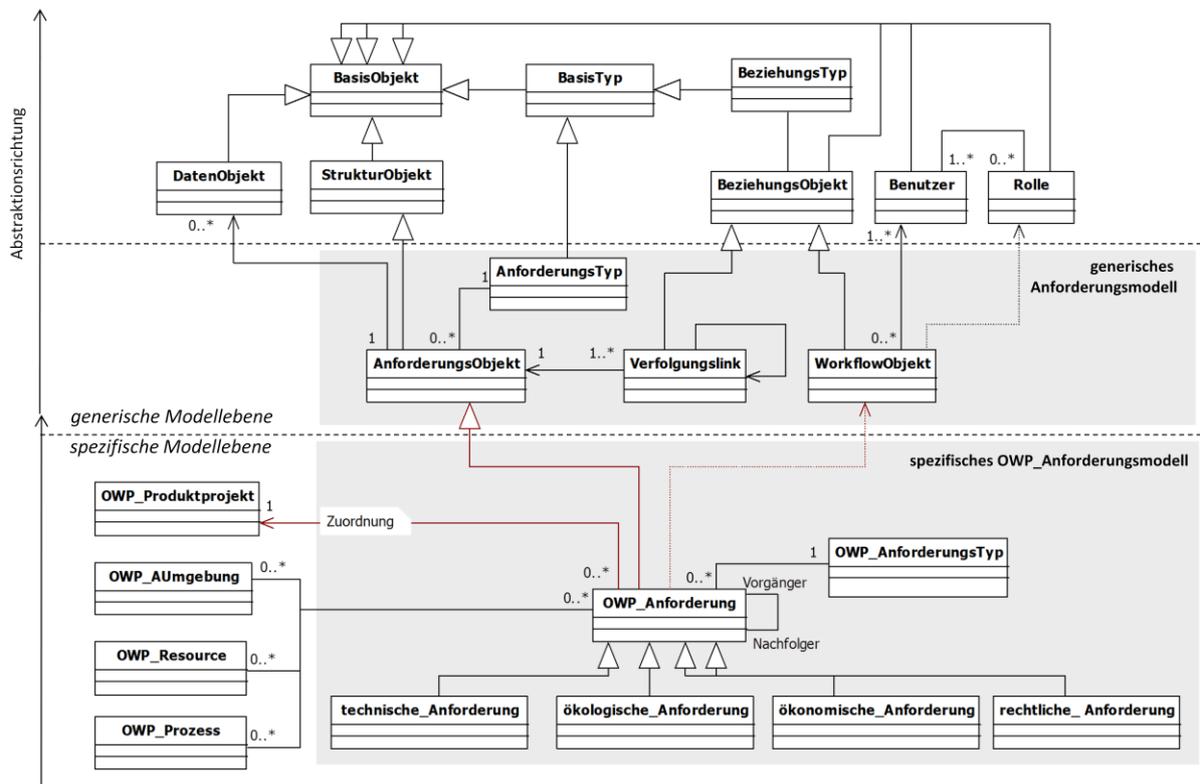


Abbildung 48: UML-Klassendiagramm für das OWP-Anforderungsmodell

Wie erwähnt, lassen sich formale Abhängigkeiten auch zwischen den Anforderungen und den anderen OWP-Sichten definieren. Den Anforderungsobjekten lassen sich in der Regel verschiedene Datenobjekte wie Dokumente, Files etc. zuordnen. Die Abstraktionsrichtung vom Spezifischen zum Generischen wird, wie auch in den folgenden Klassendiagrammen, durch die Pfeilrichtung dargestellt.

Abbildung der Produktorientierten Sichtweise

Die produktorientierte Sicht auf das OWP-Modell wird durch die Klassendiagramme in Abbildung 49 und 50 aufgegriffen. Das in Abbildung 49 vorgestellte OWP_Projektmodell gibt beide Dimensionen der produktorientierten Sichtweise wieder: die Makro-Produktsicht, d.h. die Zerlegung des Windparks in seine Teil(Sub-)Systeme und Teilprodukte sowie die Mikro-Produktsicht im Sinne einer Produktstrukturierung in Baugruppen und Einzelteile. Je nach Struktursicht lassen sich unter Zuhilfenahme der Mikro-Produktsicht unterschiedliche Stücklisten, wie die aufgeführten Montage- oder auch Fertigungsstücklisten, generieren.

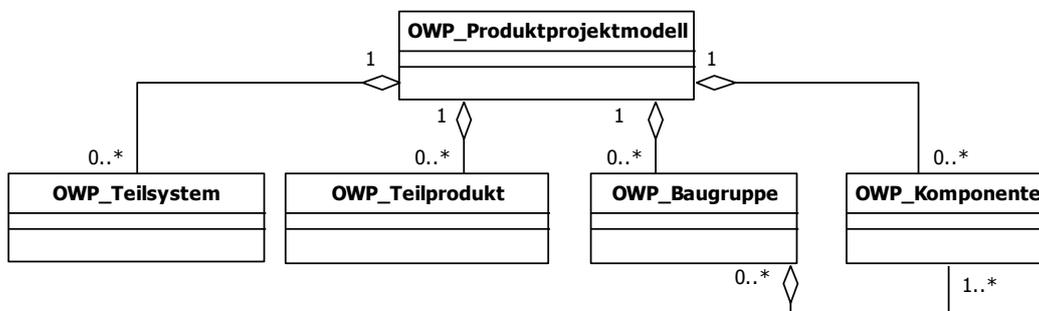


Abbildung 49: Allgemeine Abbildung für das Offshore Windpark-Produktprojektmodell

Als verbindend zwischen beiden Sichten wird die Einzelanlage, d.h. das Teilprodukt OWEA, definiert. Abbildung 50 verdeutlicht diesen Zusammenhang von OWP_Einzelanlage zum OWP_System als auch

zum OWP_Product. Die Einzelanlage ist letztendlich ebenfalls ein Produkt des Gesamtvorhabens Offshore-Windpark. Gleichzeitig steht es in Beziehung zu allen (Sub-)Systemen der Makro-Produktsicht. Die mehrdimensionale Produktbetrachtung erfordert die diskutierte integrierte Abbildung der konvergierenden Lebenszyklen des Offshore-Windparks und der darin enthaltenen Produktindividuen der OWP_Einzelanlagen.

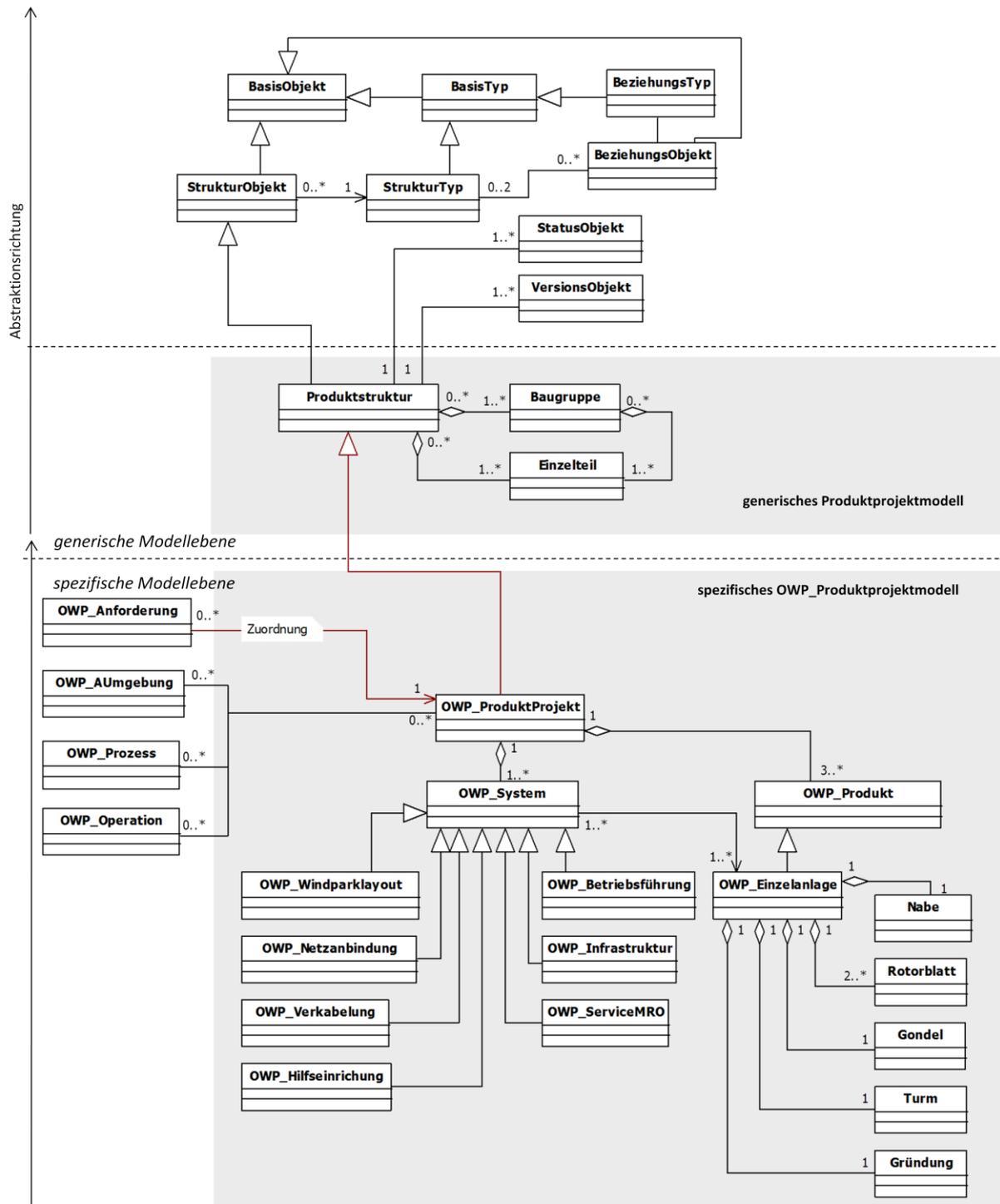


Abbildung 50: UML-Klassendiagramm für das OWP-Produktprojektmodell

Dieser Anforderung wird innerhalb des Klassenmodells durch die Einführung assoziativer Beziehungstypen entsprochen. Ein komplettes OWP-Produktprojektmodell besteht aus beiden Sichtweisen, wie ebenfalls in den Abbildungen 49 und 50 durch die Einführung entsprechender Aggregationsbeziehungen zum Ausdruck gebracht wird. Da laut Definition ein Windpark mindestens

drei Einzelanlagen enthalten muss, steht ein OWP-Produktprojekt mit minimal drei Offshore-Einzelanlagen in Beziehung. Die Produktstruktur einer Einzelanlage besteht, aus grober Detaillierungsebene betrachtet, aus den Grundobjekten Nabe, Rotorblatt, Gondel, Turm und Gründung. Hinzu kommen Objekte wie die verschiedenen Hilfseinrichtungen, Sicherungs-, Monitoring- und Wartungssysteme. Diese finden sich im hier vorgestellten Modell überwiegend in den Teilsystemen ‚OWP_Hilfseinrichtung‘ und ‚OWP_ServiceMRO‘ wieder. Auch diese haben entsprechende Abhängigkeiten untereinander und zu den Komponenten der Einzelanlage. Auf eine sehr tiefgehende Darstellung sowie die Unterstrukturierung der Baugruppenobjekte wurde an dieser Stelle aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Eine detaillierte, beispielhafte Abbildung lässt sich in Kapitel 4.5.1, Abbildung 28 finden.

Produktstrukturen allgemein unterliegen einer entsprechenden Versionierung sowie einer Verknüpfung mit Statusobjekten, die den jeweiligen Bearbeitungszustand der Einzelkomponenten bzw. Baugruppen innerhalb der Produktstruktur verdeutlichen. Die assoziative Umsetzung dieser generellen Businessanforderungen erfolgt daher auf der Ebene der domänenneutralen Businessobjekte.

OWP_Produktprojekt-Objekte stehen mit den Objekten der anderen OWP-Modell-Sichtweisen in Beziehung. Sie lassen sich zur Durchführung der mit ihnen verbundenen Arbeitsaufgaben Prozessen oder auch Operationen zuordnen. Des Weiteren sind sie, geprägt durch die unterschiedlichen Teilsysteme und deren Lokation, mit den nötigen OWP_Arbeitsumgebungen verknüpft. Es lassen sich ihnen neben Teilabläufen auch Orte der Bearbeitung zuweisen. Eine Verknüpfung mit den gestellten Anforderungen ergibt sich vice versa zum beschriebenen OWP_Anforderungsmodell. Die visuelle Abgrenzung zwischen den Bestandteilen des OWP_Produktprojektmodells und den verschiedenen Abstraktionsstufen folgt ebenfalls dem graphischen Paradigma des beschriebenen OWP_Anforderungsmodells.

Abbildung der Prozessorientierten Sichtweise

Das OWP_Prozessmodell referenziert auf die in Kapitel 4.6.2 eingeführten Gestaltungsdimensionen der prozessorientierten Sichtweise des generischen Objektmodells. Hinzu kommt als wesentlicher Bestandteil der Referenzprozess. Mithilfe von Referenzprozessen soll eine effizientere Bearbeitung wiederholbarer (Teil-)Prozesse und ein Zugang zu bereits gemachten Erfahrungen im Sinne von ‚Best Practise‘ erleichtert werden. Referenzprozesse können im Sinne von Musterprozessen selbst Ausgangspunkt neuer, adaptiver Referenzprozesse sein, d.h. sie können um Granularitäten, Merkmale, Typen oder auch Abläufe angepasst oder erweitert werden. Sie dienen somit zur Teilüberführung von projektspezifischen in nicht-projektspezifisches Wissen.

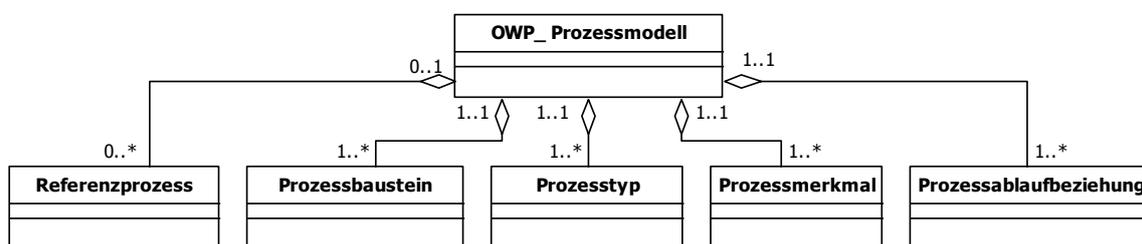


Abbildung 51: *allgemeine Abbildung des Offshore Windpark-Prozessmodells*

Die in Abbildung 51 aufgeführte Klasse ‚Prozessbaustein‘ fasst alle innerhalb der Granularitätsebenen definierten Strukturierungsobjekte des OWP_Prozesses zusammen. Mit ihrer Hilfe lassen sich Dekompositionen bzw. Kompositionen von Abläufen durchführen. Ein OWP_Prozess besteht modellgemäß aus OWP_Teilprozessen, diese wiederum aus OWP_Operationen, OWP_Aktivitäten und OWP_Einzelschritten. Offshore Prozesse unterliegen in ihrer Durchführung zeitlichen, räumlichen und logistischen Abhängigkeiten und Reihenfolgen. Diese Reihenfolgen werden durch die Prozessablaufbeziehung abgebildet. Abhängigkeiten zwischen den Prozessen werden durch die

Abbildung der Ressourcenorientierten Sichtweise

Eng verknüpft mit den Prozessen sind die für ihre Durchführung erforderlichen Betriebsmittel bzw. Ressourcen. Ressourcen lassen sich aus Sicht der Autorin nur effizient in Zusammenhang mit den durch sie durchzuführenden Prozessen sowie den Einsatzorten, d.h. den Arbeitsumgebungen planen. Eine integrierende, modellseitige Abbildung dieser multidimensionalen Assoziation ist ein wichtiges Anliegen der hier vorgenommenen Modellkonzeption. Die folgende Darstellung zeigt eine Übersicht über die wichtigsten UML-Klassen des OWP-Ressourcenmodells.

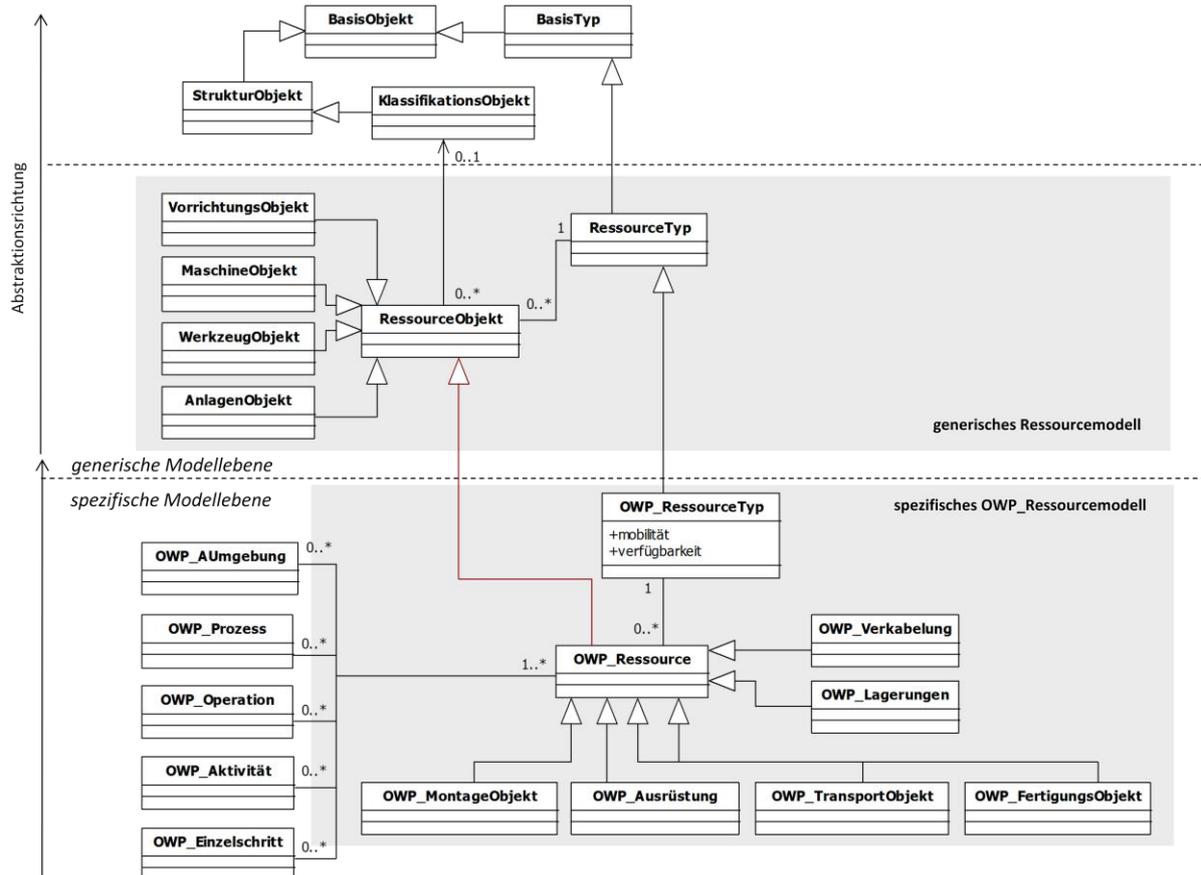


Abbildung 53: UML-Klassendiagramm für das OWP-Ressourcenmodell

Neben der innerhalb des OWP-Prozessmodells beschriebenen Assoziativität gibt das Ressourcenmodell auch die Ressourcenverwaltung mittels Klassifikation wieder. Klassifikation als ein vielfach, überwiegend in produzierenden Unternehmen, genutztes Konzept zur Strukturierung von Betriebsmitteln, wird auf der generischen Modellebene durch die Zuordnung zu Strukturobjekten und die daraus abgeleiteten Klassifikationsobjekte bereitgestellt. Da Klassifikation innerhalb des vorgestellten OWP-Modells eine der Schlüsselpositionen einnimmt, soll an dieser Stelle auf das verwendete Klassenmodell kurz eingegangen werden. Abbildung 54 vermittelt einen Überblick über die wichtigsten Klassifikationsobjekte und Assoziationen. Klassifikationskonzepte sind häufig bereits Bestandteile von PLM-Plattformen. Das Grundelement ‚Klasse‘ lässt sich durch den ‚Klassen-Typen‘ näher bestimmen. Es wird hier zwischen den abstrakten, den generischen und den Instanzhalter-Klassen unterschieden. Die beiden erst genannten dienen der Hierarchiebildung. Abstrakte Klassen sind durch eine in der objektorientierten Programmierung übliche Charakteristik gekennzeichnet, d.h. sie dienen lediglich der Strukturierung, besitzen aber keine Instanzierungsmöglichkeiten. Dieses kann in den generischen, aber üblicherweise in den Instanzhalter-Klassen erfolgen. Generische Klassen sind durch Eltern-Kind-Beziehungen geprägt, wobei die Instanzen in den dafür vorgesehenen Instanzhalter-Klassen verwaltet werden. Sie besitzen dann keine Unterklassen mehr. Wichtiges Kennzeichen der Klassifikation ist das Zuordnen von klassenbeschreibenden Merkmalen. Diese

müssen, wie das Element ‚Attributverzeichnis‘ zum Ausdruck bringt, in entsprechenden ‚Dictionaries‘ verwaltet werden. Hierdurch wird eine replizierte Ablage ein und desselben Merkmals vermieden. Die Ausprägungen der Merkmale, die Zuordnung von Werten und Wertebereichen, erfolgt in den jeweiligen Klasseninstanzen.

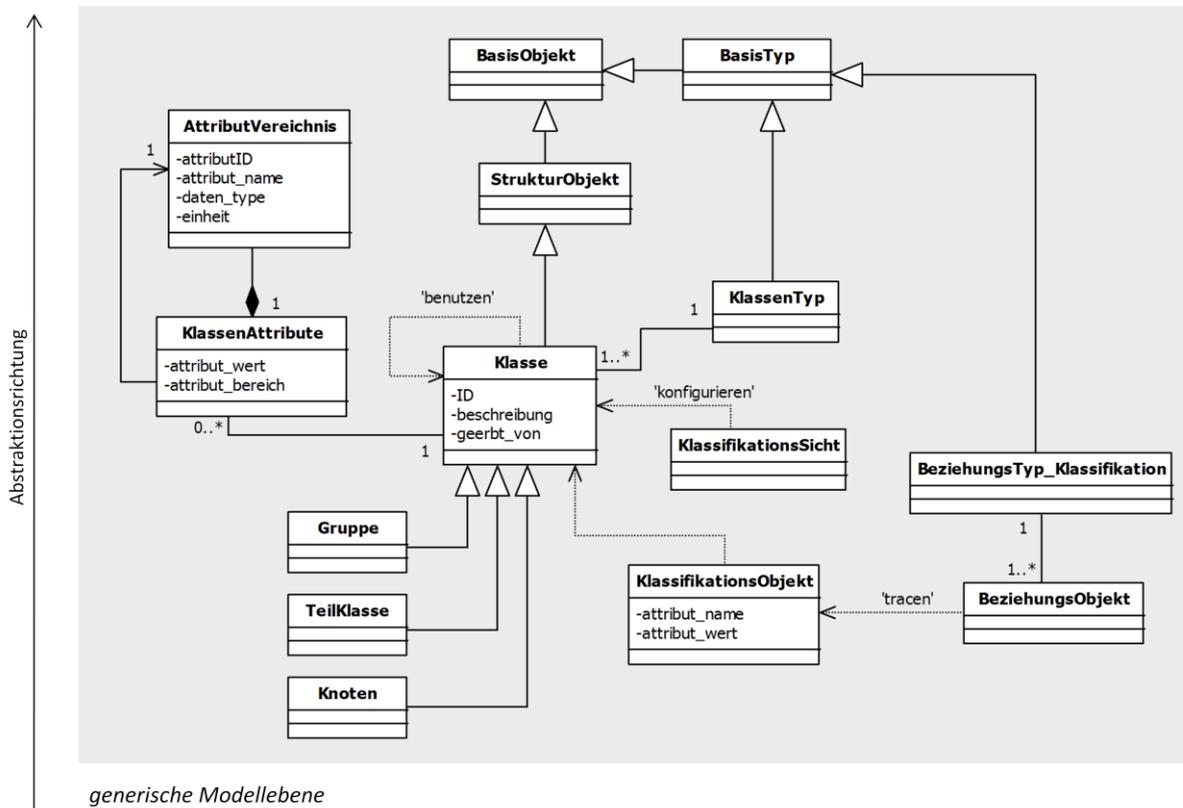


Abbildung 54: UML-Klassendiagramm für die Klassifikation, in Anlehnung an [TCDataModel2010]

Ressourcen können innerhalb von Hierarchiebäumen klassifiziert werden. Gleiches trifft auch für andere Teile des vorgestellten Gesamtkonzeptes zu, wie OWP_Arbeitsumgebungen, Prozess-Merkmalssdimensionen oder auch OWP_Anforderungen. Das vorgestellte Klassifikationskonzept lässt sich, wie in Kapitel 4 erwähnt, auf verschiedenste Anwendungskontexte übertragen.

Ressourcen lassen sich weiterhin durch die Vergabe von Typen näher spezifizieren. Diese Funktionalität wird bereits durch die Ebene der domänenneutralen Businessobjekte zur Verfügung gestellt. Für das spezifische OWP-Ressourcenmodell können domänenspezifische Ressourcetypen assoziiert werden, die Eigenschaften und Attribute vom neutralen Businessmodell-Typen erben. Für die Planung von OWP-Ressourcen besitzt die Frage nach der zeitgerechten Verfügbarkeit eine herausgehobene Bedeutung. Weiterhin enthält die Aussage der Mobilität wichtige Charakterisierungseigenschaften. Unter ‚Mobilität‘ wird hier die Eigenschaft beschrieben, ob eine Ressource immobil, d.h. ortsfest wie beispielsweise Gießereien anzutreffen ist oder mobil, d.h. mit veränderlichen Standorten. Alle Transportmittel sind mobile Ressourcen. Aufgrund der hohen Spezialisierung sind für viele OWP-Ressourcen mehrzyklische bzw. eigene Lebenszyklen charakteristisch. Durch Mieten und Leasing ergeben sich unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche für Wartung und Instandhaltung. Eine entsprechende Abbildung dieser Eigenschaften wird ebenfalls durch Typifizierung unterstützt.

Die Berücksichtigung von Verfügbarkeit und Kosten inklusive einer Kostenprognose benötigter Ressourcen setzt modellseitig verschiedene Verknüpfungsmöglichkeiten mit den jeweiligen Prozessgranularitäten und den umgebenden Arbeitsplätzen voraus. Diese sind in Abbildung 53 innerhalb des spezifischen OWP_Ressourcenmodells aufgeführt. So lassen sich entsprechende OWP-Ressourcen-Klasseninstanzen mit denen auf sie zurückgreifenden Prozess- sowie Arbeitsumgebungs-

Die Häfen nehmen hier ebenfalls eine gesonderte Position ein, die über den ‚Hafen-Typ‘ näher qualifiziert werden kann. Je nach Lage, ob Binnen- oder Offshore-Hafen, werden den Arbeitsumgebungen spezielle Prozesse und Ressourcen zugeordnet. Binnenhäfen übernehmen somit sehr oft andere Aufgaben als Offshore-Häfen und müssen eine entsprechende Repräsentation innerhalb des Modells erfahren. Die modellinterne Abbildung, ob sich eine Arbeitsumgebung an Land bzw. auf See befindet, ist eine Voraussetzung für die Planung von Prozessen und deren mögliche Parallelisierung. Im Offshore-Bereich muss zusätzlich zwischen den erwähnten mobilen Arbeitsumgebungen wie beispielsweise Schiffen bzw. und Offshore-Plattformen und immobilen wie Fertigungshallen oder Häfen unterschieden werden. Diese Unterscheidung erleichtert die zielführende Assoziation mit den zuvor beschriebenen Offshore-Ressourcen. Sowohl Lokation als auch Mobilitätscharakteristik beeinflussen in hohem Maße die Kosten für die Errichtung und den Betrieb von Offshore-Windparks. Der OWP_ArbeitsumgebungsTyp lässt somit eine Typisierung der Lokation und der Mobilität zu. Da Arbeitsumgebungen auch klassifizierbar sind, ist eine Zuordnung von Klassifikationsobjekten zu den Arbeitsumgebungsobjekten denkbar, auch wenn diese hier nicht explizit dargestellt sind.

Besonderheit der Instandhaltung von Offshore Windparks

Dem Management von Instandhaltungsprozessen kommt in Hinblick auf Ausfall und Instandsetzung und den damit verbundenen enormen Kosten und Umweltrisiken ebenfalls eine gesonderte Bedeutung zu. Die hohen Sicherheitsstandards bei den hier üblichen langen Betriebszeiten, gepaart mit u.U. extremen Umgebungsbedingungen, machen regelmäßige und planbare Servicearbeiten zu einer unverzichtbaren Aufgabe, auf deren modellseitige Unterstützung daher explizit eingegangen werden soll. Instandhaltung gliedert sich nach *DIN 31051* in die ineinander greifende Folge von Wartung, Inspektion und Instandsetzung im Sinne von Reparatur. Wartung beinhaltet dabei alle Maßnahmen, die zur Erhaltung des Sollzustandes dienen wie beispielsweise Reinigungsarbeiten oder auch die Überprüfung von Einstellungen und Messwerten. Die Inspektion umfasst die Vorgänge zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes, während der verschleißbedingte Austausch bzw. die Erneuerung von defekten Bauteilen bereits als Instandsetzung anzusehen ist [Schenk2010, S.23 ff]. Wartungszyklen für Offshore-Windkraftanlagen werden in der Regel auf 2-3 Zyklen pro Jahr terminiert [Orosa et al2010, S.864]. Inzwischen hat sich hierfür vielfach der englische Begriff des MRO –Maintenance, Repair & Overhaul– durchgesetzt, der auch in den folgenden Modellausführungen benutzt werden wird.

Die Planung und Durchführung von Dienstleistungsprozessen für Offshore-Windparks haben komplexe Abhängigkeiten zu verschiedenen, auch unternehmensinterne Prozessen. Dies erfordert eine Integration aller benötigten Informationen über den gesamten Lebenszyklus der Anlage. Änderungen der Servicedokumentation, Änderungen am OWP_Produktprojekt oder der Einzelanlage, den zugrunde liegenden Anforderungen, der Verfügbarkeiten von Ressourcen aber auch Umbauten an den Arbeitsumgebungen müssen entsprechend nachvollziehbar und für die Planung der MRO-Prozesse verfügbar sein. Die Planung von MRO-Prozessen und deren Auswirkungen wiederum müssen in das Modell zurück fließen können. Abbildung 56 zeigt die UML-Klassendefinition für ein Offshore-MRO-Modell. Der Tendenz folgend, werden von verschiedenen PLM-Plattformen wie Dassault/Enovia [DassaultSystems2011] oder auch Siemens TeamcenterPLM [SiemensPLM2011] bereits erste, domänenneutrale MRO-Funktionalitäten angeboten. Zentrales Objekt ist hier das ServiceObjekt, welches sowohl mit dem eigentlichen physischen Part als auch mit den zur Instandhaltung definierten Workflows verbunden ist. ServiceObjekte werden, abhängig von ihrem Kontext, vordefinierten ServiceGruppen zugeordnet. Diese Gruppen können je nach Typ Dienste für Instandhaltungsplanung, -ausführung und Nachweis, Material- bzw. Bestandsmanagement, Gesundheitsüberwachung oder auch Kostenanalyse und Prognose enthalten [SiemensPLM20011]. Unterstützt wird zusätzlich die Zusammenfassung von ServiceObjekten basierend auf der Art der Maßnahme, d.h. ob es sich um eine Wartung, Inspektion, Instandsetzung bzw. Reparatur handelt. Jedem Service-Vorgang werden zur Nachweißverfolgung

ServiceDatenObjekte zugeordnet. Diese enthalten wichtige Dokumente und Vorgangsformulare und dienen neben dem Nachweis auch dem Management der Ablaufhistorie der jeweilig erbrachten Dienstleistung.

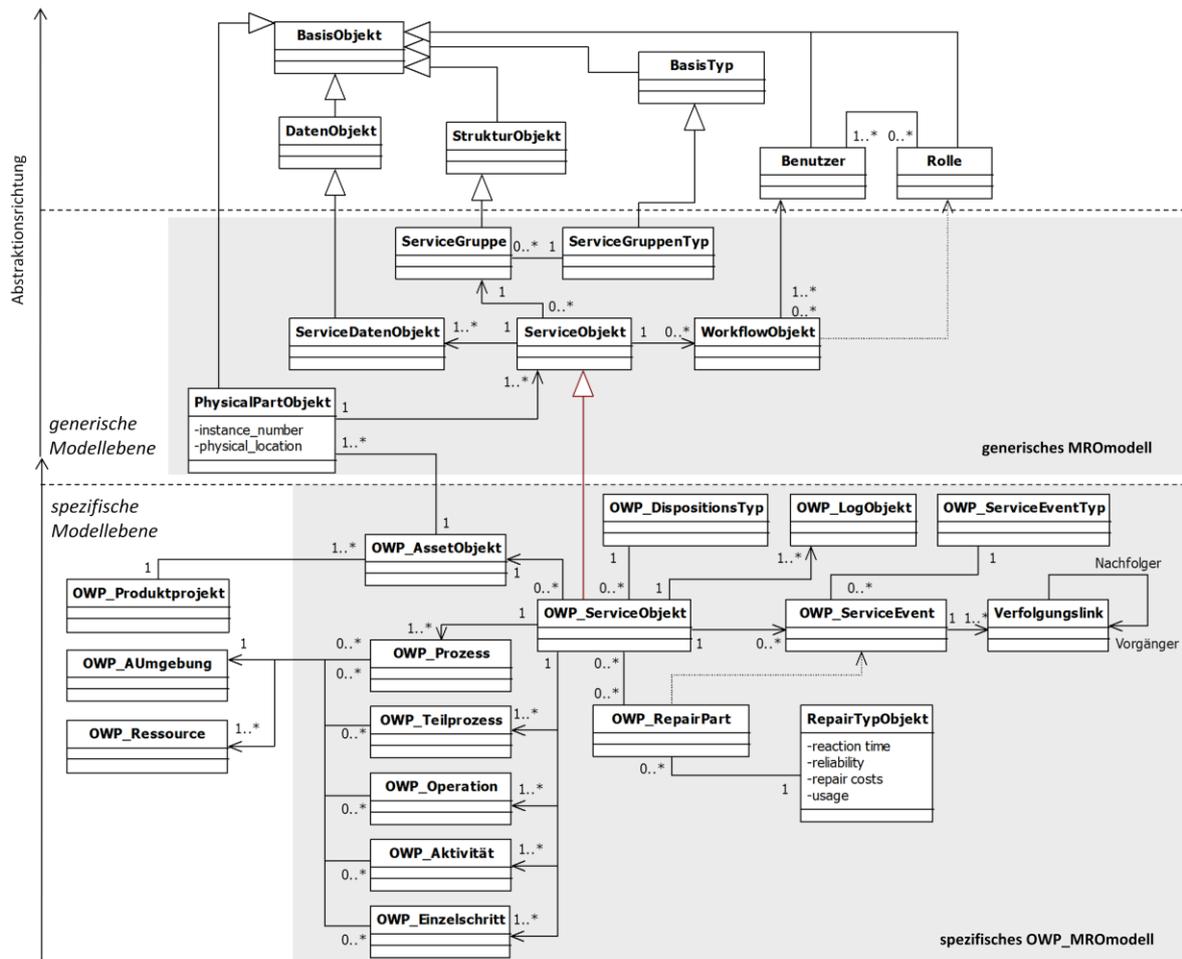


Abbildung 56: UML-Klassendiagramm für das OWP-MROmodell, in Anlehnung an [TCDataModel2010]

Das `OWP_ServiceObjekt` erbt alle Eigenschaften und Beziehungsmöglichkeiten des `ServiceObjektes` und bildet zusätzlich die im Offshore-Windpark-Bereich spezifischen Servicebedingungen und -Fälle ab. `OWP_ServiceObjekte` lassen sich in Abhängigkeit des zugrunde liegenden Instandhaltungsmodells durch `OWP_DispositionsTypen` näher charakterisieren. Zu den hier definierten `OWP-DispositionsTypen` gehören die zustandsorientierten, d.h. planmäßigen Instandsetzungstypen und die schadensorientierten Zustandstypen. Bei letzteren erfolgt die Durchführung einer Dienstleistung nicht präventiv, auslösendes Ereignis ist hier der Schadensfall [Schenk2010]. Jedes Dienstleistungsereignis wird dabei durch entsprechende `OWP-ServiceEvents` ausgelöst, wobei der `OWP_ServiceEventTyp` den domänenspezifischen Service-Kontext liefert. `OWP_ServiceEvents` können geplant in Abhängigkeit vom Wetter oder dem angenommenen Bauteilverschleiß oder dynamisch durch abweichendes Verhalten wie beispielsweise Rotorstillstand bzw. Minderleistung durch Blattvereisung ausgelöst werden. Für die Planung von Instandhaltungen im Offshore-Bereich ist daher eine Schnittstelle zu Wetterprognosesystemen notwendig. Auf eine Darstellung im UML-Modell wurde an dieser Stelle verzichtet, da es sich um eine Schnittstellenproblematik handelt, deren Modelle nicht Teil von Lebenszyklusbetrachtungen von Offshore-Windparks sind. Eine weitere Schnittstelle muss zu den Condition-Monitoring-Systemen zur Erfassung von online- Informationen vorgesehen werden. Diese Systeme werden bereits mit den fertigen Windkraftanlagen ausgeliefert und stellen eigene, ausgereifte Systemumgebungen dar. Auf eine Umsetzung im Modell wurde

daher an dieser Stelle ebenfalls verzichtet. Die abzuleitende Integrationsproblematik wird in Kapitel 8 nochmals aufgegriffen.

Jedem OWP_ServiceObjekt wird ein entsprechendes OWP_AssetObjekt zugewiesen, welches wiederum zum vorgesehenen OWP-Produktprojekt assoziiert werden kann. Als Assets werden die physikalischen Anlagengüter eines kompletten Offshore Windparks angesehen. Die Abbildung physikalischer OWP_Assets erfolgt innerhalb des Modells durch die Verknüpfung mit den PhysicalPartObjekten. Analog zu den Physical_Product- Objekten im SMAC-Modell für Asset Lifecycle Management in [Matsokis et al2010 S.3] sind PhysicalPartObjekte eindeutig zum einen durch ihre Instanz-Ident-Nummer und zum anderen durch ihre physikalische Lokation gekennzeichnet.

Die Ablaufplanung und Durchführung von typisierten Dienstleistungen basiert, ähnlich zu anderen OWP-Prozessen, auf den Gestaltungsdimensionen des OWP-Prozessmodells. So kann ein OWP_ServiceObjekt komplexen Prozessen oder auch feingranulareren Teilprozessen, Operationen und Aktivitäten bis hin zu spezifischen Einzelschritten zugewiesen werden. Jede dieser Granularitätsdimensionen lässt sich wiederum mit den nötigen OWP_Ressourcen und -Arbeitsumgebungen, als Ergänzung zum SMAC in [Matsokis et al2010 S.4], in Beziehung setzen. Für jeden Instandhaltungsvorgang ist zudem eine Zuordnung zu den entsprechenden OWP_RepairParts vorgesehen. Repair-Parts beinhalten Bauteile oder Baugruppen mit kritischer Lebensdauer, die je nach Instandhaltungsstrategie typifiziert werden. Zu den Typifizierungsmöglichkeiten gehören beispielsweise die aufgeführten Reaktionszeiten, in denen sie ersetzt bzw. ausgetauscht werden können, die Bedeutung für die Betriebsfähigkeit der Gesamtanlage, die Art der Instandsetzung, d.h. können die Teile vor Ort repariert werden oder ist ein Austausch notwendig, und die anfallenden Reparatur-Kosten. Alle Servicevorgänge werden in sogenannten OWP_LogObjekten dokumentiert. Zum Nachweißtracking aller Maßnahmen stehen auch hier die aufgeführten Verfolgungslinks zur Verfügung. Wichtiges Ziel ist es, die im Serviceprozess gewonnen Informationen und Erfahrungen im Sinne von „Best Practices“ wieder in die Planung neuer Windenergieanlagen und Windparks zurückfließen zu lassen und sie somit den vorgelagerten Lebenszyklusphasen zugänglich zu machen.

Die in diesem Kapitel vorgestellten domänenspezifischen Businessobjekt-Klassen bilden die Basis für die Umsetzung des Sichten-assoziativen, generischen Offshore-Windpark Modells. Mit ihrer Hilfe soll der Forderung nach einem systemtheoretischen, integrierenden Ansatz im Sinne einer lebensphasenübergreifenden Trinität Rechnung getragen werden. Eine Umsetzung des unter 4 ausgeführten, integrativen Prozess-, Projekt- und Produktmanagement ist daher eine der wichtigsten Zielstellungen des OWP-Modells. Eine Erweiterung des Begriffs und eine entsprechende modellseitige Abbildung wird im nachfolgenden Kapitel weiterführend diskutiert werden.

5.4 Umsetzung der ‚erweiterten Trinitätsbetrachtung‘ im OWP-Modell

Der in 3.1 eingeführte ‚Trinitätsbegriff‘ von Prozess, Projekt und Produkt nach [Burghardt07], drückt zum einen deren Zusammengehörigkeit und wechselseitige Beeinflussung aus und beschreibt zum anderen einen jeweils eigenen Fokus auf das Gesamtvorhaben. Das Verständnis dieser ‚Trinität‘ liegt dem entworfenen Modell zugrunde und wurde in Kapitel 4.2 als solches formuliert. Um zudem die Zusammenhänge zu den OWP-Arbeitsumgebungen und den benutzten OWP-Ressourcen berücksichtigen zu können, wird ein sogenannter ‚erweiterter Trinitätsbegriff‘ eingeführt. Die Erweiterung des Begriffs im OWP-Modell folgt der Anforderung nach adäquater Unterstützung einer integrierten und integrierenden Betrachtungsweise *aller*, auch der anforderungs-, ressourcen- und arbeitsumgebungsorientierten Modellsichten. Für jede der zu berücksichtigenden Einzelsichten liegen im erweiterten Trinitätsmodell zudem entsprechende Hierarchisierungsanforderungen zugrunde, das heißt, für alle Sichten sind Strukturmanagement-Funktionalitäten bereitzustellen, deren assoziative Eigenschaften durch typisierbare Beziehungen umgesetzt werden können. Der Aufbau unterschiedlicher Strukturen wird durch PLM-Systeme bereits unterstützt. Das Arbeiten mit verschiedenen Produktstrukturierungen, als „**Bill-of-Material**“ bezeichnet, ist ein stark fokussiertes Thema im PDM-Umfeld. Hier werden die Engineering-Produktstückliste, die *eBOM* und die

fertigungsbezogene Stückeliste, die sogenannte *mBOM* unterschieden [Thobaben2011, S.12]. Prozessstrukturierungen oder auch „**Bill-of-Process**“ als Bestandteile von PLM-Strategien erfahren häufig Berücksichtigung im Umfeld von ERP- bzw. MES sowie an den Schnittstellenbetrachtungen zum PLM. ‚BOP‘ sind die Ergebnisse von Planung und Simulation verschiedener Ablauf-, Montage-Logistik- aber auch Fertigungsprozessen. Im Bereich der Offshore Windenergie kommen hier beispielsweise die Planung und Simulation von Ertragsprognose-Verläufen für Windparks und deren Optimierung über die gesamte Lebensdauer inklusive der vorzuhaltenden Instandhaltungsstrategien hinzu.

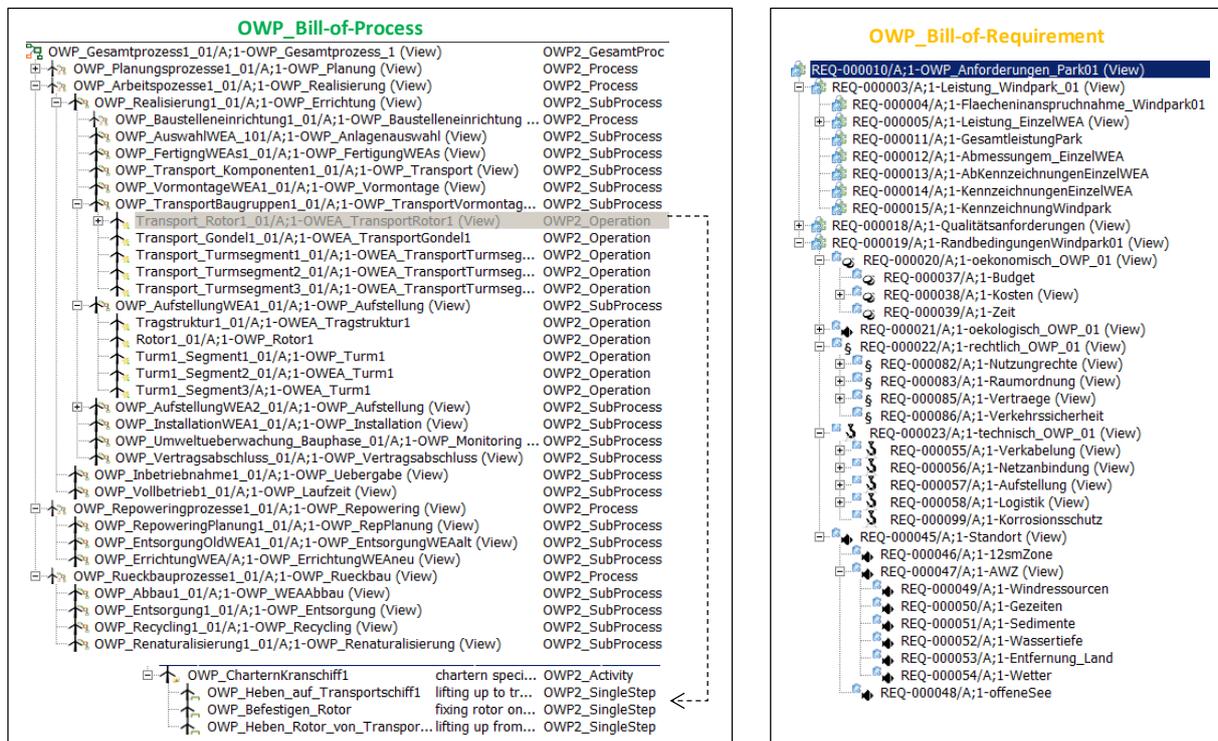


Abbildung 57: Beispiel einer ‚Bill of Process‘ und ‚Bill-of Requirement, implementiert in TC9.1

Zentrales Ziel der Einführung von „**Bill-of-Requirements**“ ist die Unterstützung der semantischen Strukturierung von Anforderungen. Eine semantische Hierarchiebildung kann der Strukturierung der Anforderungstypen in 4.4.2 folgen. Aber auch andere Gruppierungen wie Gruppenzugehörigkeiten, abgeleitet aus Priorität, Kosten oder auch zeitlichem Ablauf, sind denkbar und je nach Kontext auch sinnvoll. Eine Strukturierung von Anforderung in Hierarchiebäumen, wie in Abbildung 57 beispielhaft aufgeführt, gibt die Abhängigkeiten untereinander wieder und erlaubt eine leichtere Zuordnung zu den dedizierten Prozessen sowie Produktstrukturen.

Die „**Bill-of-Resource**“ lassen sich aus den diskutierten Klassifizierungen zum Zwecke des zentrierten Managements, der Auffindbarkeit und Wiederverwendbarkeit von OWP-Ressourcen ableiten (Abbildung 58). In den Strukturierungen im OWP-Kontext sind Baugruppenunterstrukturen für Ressourcen enthalten, die sich neben dem technologischen und geometrischen Zusammenbau auch an den Möglichkeiten allgemeiner Verwendung der Ressource orientieren. Der Aufbau von Ressourcen bezogen auf die geometrische Anordnung sind methodisch eingeführte, von PLM-Systemen oftmals unterstützte Funktionalitäten [SiemensPLM2011].

Wie beschrieben, lassen sich Strukturierungsmethoden auch auf die OWP-Arbeitsumgebungen übertragen. Der an dieser Stelle postulierte Ansatz zur Hierarchiebildung wird als „**Bill-of-WorkArea**“ eingeführt (vgl. Abbildung 58). Strukturierungskriterien sind auch hier aus typisierten Relationen abgeleitet, die die Verwendung, geometrische Positionierung und Zuordnung in übergeordneten Elementen beschreiben. Letzteres folgt den bekannten Paradigmen der Generalisierung bzw. Spezialisierung. Die Zuweisung von Arbeitsumgebungen zu organisatorischen Einheiten und

Zerlegung in kleine Montage- oder auch Fertigungseinheiten bis hin zu einzelnen Maschine bilden die Grundlage für eine realitätsnahe Simulation von Arbeitsabläufen zum Zwecke von Machbarkeits-, Auslastungs- und Durchlaufoptimierungen. Sie dienen letztlich der Qualitätssicherung, aber auch der Durchführung ergonomischer Begutachtungen. Gerade im Offshore-Bereich mit seinen oftmals schwierige Randbedingungen erlangen diese eine zusätzliche Bedeutung.

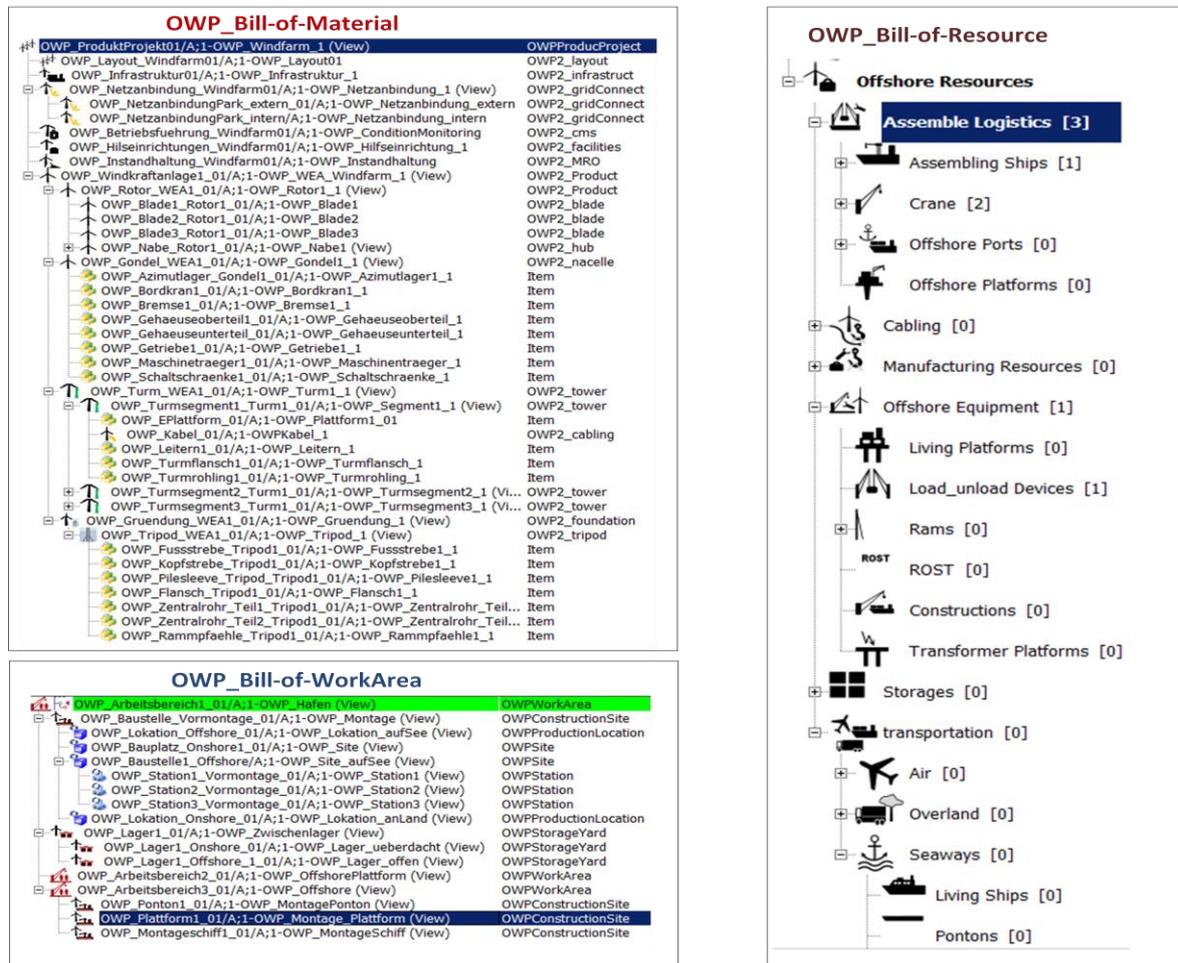


Abbildung 58: Beispiel einer ‚Bill of Material‘, ‚Bill-of-WorkArea‘ und ‚Bill-of-Resource‘, implementiert in TC9.1

Bezogen auf den aufgeweiteten ‚Trinitätsbegriff‘ müssen die Offshore- ‚Bill-of-Processes‘ somit ergänzende Informationen über die zugrunde liegenden Anforderungen, die einzusetzenden Ressourcen, die vorgesehenen Arbeitsumgebungen sowie den eigentlichen Planungsablauf im Sinne eines Projektes enthalten. Die Formulierung und Umsetzung dieser Anforderung ist das generelle Ziel dieser Begriffserweiterung. Abbildung 59 gibt den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Strukturen wieder. Diese sind bereits inhärent in den UML-Klassendiagrammen enthalten. Die rot markierten Beziehungen veranschaulichen die Bedeutung der Verknüpfung. Aufgrund des prozesshaften Charakters von Offshore-Windenergie-Projekten steht das OWP-Prozessmodell im assoziativen Mittelpunkt. Alle anderen Stücklisten werden damit von diesem geführt. Die zur Durchführung notwendigen Prozesse bzw. Teilprozesse, Operationen und Einzelschritte erfahren zusätzlich eine Verknüpfung mit allen anderen Sichten des Gesamtmodells. Die Beziehungen sind, entsprechend den in Abbildung 45 vorgestellten Beziehungstypen, bidirektional. Eine Integration der verschiedenen Sichtweisen und die persistente Speicherung des instanziierten Offshore-Klassenmodells inklusive der Beziehungsausprägungen, ermöglichen eine ergänzende Informationsgewinnung, die aufgrund des implizit enthaltenden Wissens hier als „OWP_Bill-of-Knowledge“ bezeichnet werden soll.

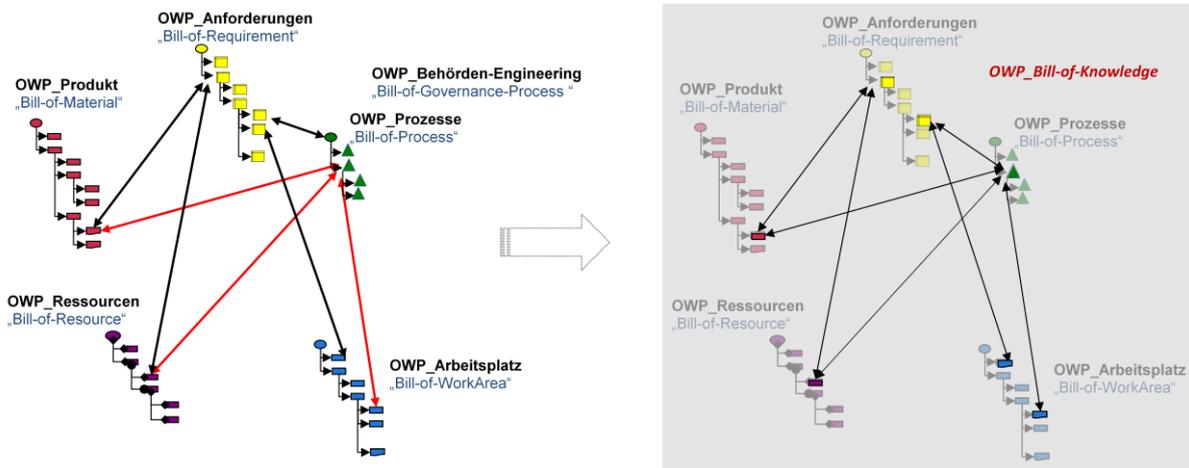


Abbildung 59: Beziehungen zwischen den verschiedenen Struktur-Hierarchien und Überführung in eine „OWP_Bill-of-Knowledge“

Wie aus Abbildung 59 ersichtlich, sind „OWP_Bill-of-Knowledges“ durch ihren Netzwerkcharakter geprägt. „Bill-of-Knowledge“ enthält somit strukturiertes, über den Lebenszyklus ausgeprägtes Wissen, z.B. bezogen auf Teilabläufe oder Teilprozesse innerhalb des Gesamtvorhabens. Sie dienen somit der Wissensakkumulation und der Verwaltung *projektspezifischen Wissens* sowie der Installation von Feedback-Loops, die entscheidend für das zuvor geforderte ‚*Informationsfront-loading*‘ sind. Als Beispiele seien hier die vorgestellten und im folgenden Kapitel noch näher untersuchten Behörden-Engineering-Prozesse genannt.

Diese Sichtweise bildet die Grundlage der im Anschluss näher beschriebenen Referenzprozesse, die aus der Abstraktion der instanziierten Prozessabläufe und deren Verknüpfungen zu anderen Modellsichten gewonnen werden können. „OWP_Bill-of-Knowledge“ ist somit Ausdruck der erweiterten Trinität innerhalb der Modellbetrachtung und ein Träger des akkumulierten, projektspezifischen Offshore-Windpark-Wissens, welches gemeinsam mit dem enthaltenden nicht-projektspezifischen Wissen Folgevorhaben zugänglich gemacht werden soll.

5.5 Ableitung von Referenzprozessen

OWP-Produktprojekten sind prozesshafte Sichtweisen eigen, die insbesondere durch die Ableitung von Referenzprozessen unterstützt werden sollen. Referenzprozesse besitzen innerhalb des vorgestellten Offshore Modells eine duale Bedeutung. Zum einen dienen sie als Startpunkt der Projektimplementierung im Sinne von Best-Practice – den „hervorragenden Praxis“-Lösungen, zum anderen sollen sie eine prototypische Umsetzung des OWP-Prozessmodells inklusive der integrativen Sichtweisen verdeutlichen. Bei Referenzprozessen im Best-Practice-Sinne muss davon ausgegangen werden, dass es u.U. ein divergierendes Verhalten von der *bestmöglichen* zur *am besten realisierten* Lösung vorliegt [Schuh et al2008, S.6 ff]. Best-Practice-Lösungen müssen sich daher von der Beschreibung starrer Standardprozesse unterscheiden, da diese unter Entwicklungsgesichtspunkten nur zu einem suboptimalen Ergebnis führen können. Allgemein enthalten Referenz-Ansätze die Abbildung realer Abläufe oder Realitätsausschnitte, bei denen davon ausgegangen wird, dass sie die Realität strukturerhaltend abbilden [Schuh et al2008].

Die Eignung eines Referenzprozesses zur Umsetzung eines Offshore Windpark-Vorhabens ist wesentlich von der vorliegenden Projektcharakteristik abhängig. Wichtige, ausschlaggebende Faktoren sind hier der jeweilige Standort mit seinen einzigartigen Standortbedingungen, die Größe des Windparks, die Anzahl der Projektbeteiligten und das Projektconsortium. Diese Einflussparameter können sehr große Unterschiede im Prozessablauf zur Folge haben. Referenzprozesse müssen daher sowohl einen entsprechenden Grad an Generalität bieten als auch in ausreichendem Maße konfigurierbar sein. Der Grad der Generalität bestimmt die Wiederholbarkeit und Einsatzbereichs-

größe der ‚Bill-Of-Knowledge‘. Die Konfigurierbarkeit erlaubt Rückschlüsse auf Übertragbarkeit, Adaptionsvermögen und Nachhaltigkeit von Referenzprozessen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Prozess komplett für ein anderes Projekt ohne Anpassung wiederverwendet werden kann, ist bei projekthaften Prozessen insbesondere im Offshore Windenergiebereich gering. Die Einbeziehung der innerhalb des OWP-Prozessmodells in Kapitel 4.6.2 vorgestellten Granularitätsdimension forciert eine Zerlegung in kleinere, zeitlich und logisch in sich abgeschlossene Einheiten, welche eine bessere Wiederverwendbarkeit und flexible Verknüpfbarkeit ermöglichen. Das Wissen über und Wissen in Prozessen manifestiert sich in den praktizierten Best-Practice-Vorgehensweisen, die unter Einbeziehung aller vier Prozessgestaltungsdimensionen beschrieben werden, d.h. sie enthalten:

1. eine spezifizizierte Prozesstypisierung und die damit verbundene Abbildung der für den Prozesstypen allgemein gültigen Hierarchiebeziehung,
2. eine vordefinierte zeitliche und logische Ablaufbeziehungen,
3. spezifische Prozesseigenschaften sowie
4. merkmals- und typbasierte Zuordnungsmöglichkeiten zur Klassifikationshierarchie

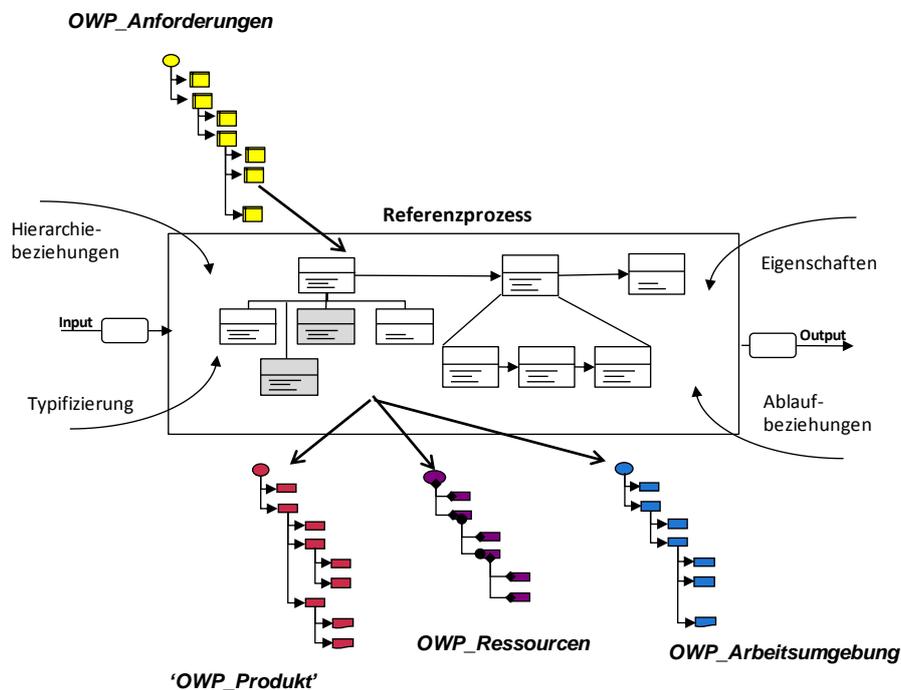


Abbildung 60: Referenzprozess-Ableitung

Um eine umfassende Abbildung projektspezifischen Wissens innerhalb der Bill-Of-Knowledge zu ermöglichen, enthalten Referenzprozesse zusätzlich zur prozessorientierten Sicht die bereits erwähnte und in Abbildung 60 dargestellte:

- ✓ Zuordnung zur Arbeitsaufgabe, des ‚OWP-Produktes‘,
- ✓ referenzierbare und rückverfolgbare Assoziationen mit priorisierten Einflussfaktoren im Sinne eines Anforderungsmodells,
- ✓ vordefinierte Verknüpfung der ressourcenbezogenen Merkmale mit den für den referenzierten Prozess typischen OWP-Ressourcen,
- ✓ Zuordnung der generalisierten Offshore-Arbeitsumgebungen mit den im Prozessmodell bereitgestellten arbeitsumgebungsbezogenen Merkmalen,
- ✓ Zuweisung von spezifischen Datensätzen, z.B. typischen Dokumentvorlagen, geometrie- oder technologiebasierten Modellen, notwendige Reports, Werkstattdokumentationen und

- ✓ vordefinierte Verknüpfungen mit verschiedenen rollenbasierten Sichten auf das Modell. Als Beispiel sei hier die Benutzersicht genannt, die für verschiedene Benutzergruppen entsprechend vereinbart, was gesehen und was verborgen werden soll.

Der gewählte Ansatz zielt somit auf die Unterstützung der Erfassung und Ablage von *Prozesserfahrungen*. Prozesserfahrungen enthalten projektspezifisches Wissen und beziehen sich neben der Struktur von Abläufen in gleichem Maße auf die Gestaltung solcher Prozesse unter Zuhilfenahme der erweiterten ‚Trinitätsbetrachtung‘. Der Aufbau von Referenzprozessen fokussiert auf die Betrachtung der Prozessgranularitätsebene.

Trotz des projekthaften Charakters von OWP-Prozessen, d.h. sie sind hochgradig komplex, wissens- und kostenintensiv und in ihrer Struktur häufig einmalig, lassen sich gewisse Muster und Bausteine auf andere, zeitlich später oder parallel determinierte Projekte übertragen. Zu diesen antizipativen, wiederholbaren Prozessen wird durch die Autorin das genehmigungsrelevante OWP-Behörden-Engineering gezählt, das im Weiteren einer detaillierten Betrachtungsweise unterzogen werden soll.

Referenzprozess ‚OWP-Behörden-Engineering‘

Das Behörden-Engineering mit seinem eigenen Lebenszyklus erlaubt bei Festlegung einer entsprechenden Abstraktionsebene, die nachfolgende Ableitung eines Referenzprozess-Verlaufs. Dieser Verlauf basiert auf dem unter Kapitel 2 ausgeführten, allgemeinen Stand-der-Technik- für Genehmigungsverfahren in der Ausschließlichen Wirtschaftszone unter Einbeziehung der Raumordnungspläne für Nord- und Ostsee des Bundesministeriums für Verkehr, Bau, und Stadtentwicklung von 2011 [BSH2011].

Die Modellierung des Verlaufs erfolgt unter Anwendung der in Kapitel 5.2 vorgestellten UML-basierten Aktivitätsdiagramme. Initialer Startzustand, der ‚initial state‘, der dargestellten Aktivitäten ist das konkretisierte Vorhaben der Umsetzung eines Offshore Windparks. Zu diesem Zeitpunkt wurden bereits einige Vorarbeiten wie die Auswahl des Zielstandortes, eine technische Konzeption des Windparks sowie die Festlegung des zeitlichen Rahmens getätigt, die letztlich in die Vorbereitung des Projektantrages und der Einreichung beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie einfließen. Die nachfolgenden Aufgaben der Unterlagenprüfung und Weiterleitung an betroffene Behörden und Träger öffentlicher Belange, den TÖB's sowie die Information der Öffentlichkeit durch Auslegung der Antragsunterlagen, werden in enger Abstimmung und unter Federführung des BSH vorgenommen. Letztendlich erhalten alle betroffenen Institutionen, Interessensverbände und Küsten- bzw. Küstenbundesländer Gelegenheit zu Stellungnahme und Erörterung bezüglich des beantragten Sachverhaltes. Alle betroffenen Institutionen sind einflussnehmende, entscheidungsrelevante Instanzen. So nimmt insbesondere das Bundesamt für Naturschutz, BfN, Einfluss auf die innerhalb der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) zu untersuchenden Schutzgüter. Die Durchführung einer UVS ist bei Windparkanlagen mit mehr als 20 Anlagen gemäß dem Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) vorgegeben und folgt dem vom BSH herausgegebenen Standarduntersuchungskonzept (StUK). Ablauf und Workflow der UVS nach StUK sind in Abbildung 62 wiedergegeben. Das StUK ist mehrstufig aufgebaut und unterscheidet im Hinblick auf Durchführung und Auswertung der Untersuchungen nach BSH die dargestellten 5 Phasen [BSH11]. Da letztlich auch eine adäquate Überwachung der Auswirkungen auf die Schutzgüter während und im Anschluss an den Anlagenrückbau geprüft wird, wurde innerhalb der Referenzprozessbildung dieser Sachverhalt als 6. Phase hinzugefügt. Für alle belebten und unbelebten Schutzgüter müssen von den Antragstellern sowohl eine Bestandsprognose als auch eine Auswirkungsprognose des OWP's auf die benannten Schutzgüter eingereicht werden [Zeiler et al2005, S.73 ff]. Um eine Auswertung der Umweltuntersuchung zu erleichtern und zu standardisieren, sind die untersuchungsrelevanten Rohdaten dem BSH in vorgegebenen Formaten zur Verfügung zu stellen.

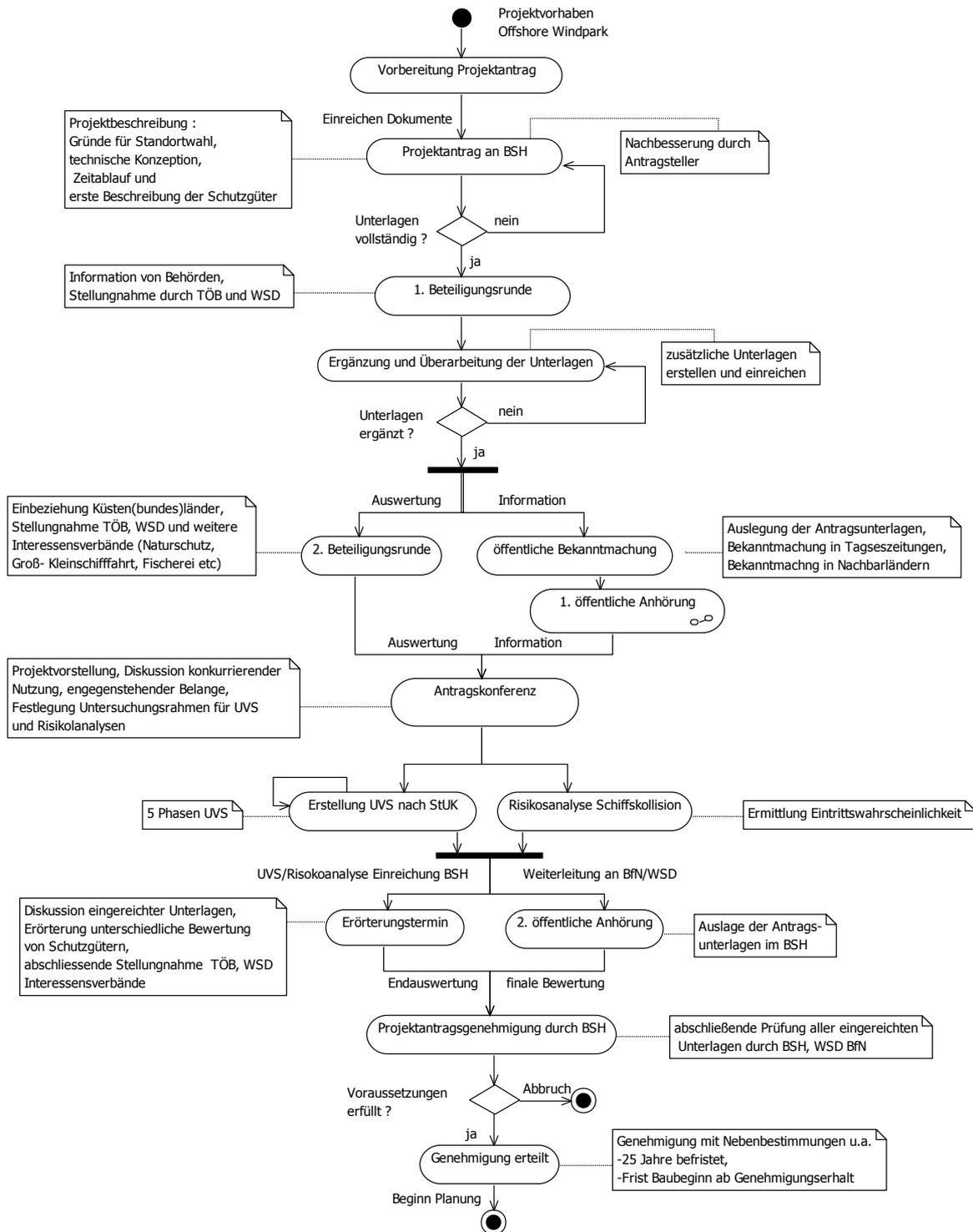


Abbildung 61: Aktivitätendiagramm: allgemeiner Ablauf Genehmigungsverfahren für Offshore Windparks, basierend auf [dena10], [BSH11] und [Zeiler et al2005]

Nach Antrag, Voruntersuchung, Zustandsaufnahme und Überwachung erfolgen innerhalb der aufgezeigten Meilensteine Abnahme und Revisionierung der eingereichten Dokumente. Wird eine Abnahme aufgrund mangelhafter Datenlage oder unzureichenden Untersuchungen abgelehnt, erfolgt eine Nachbesserung durch den Antragsteller. Erfolgt eine Ablehnung aufgrund spezifischer Schutzgüter-Probleme, sind u.U. eine Nachbesserung des Gesamtkonzeptes oder von Teilen des Konzeptes notwendig. Dieser Prozess kann einige Iterationsstufen durchlaufen.

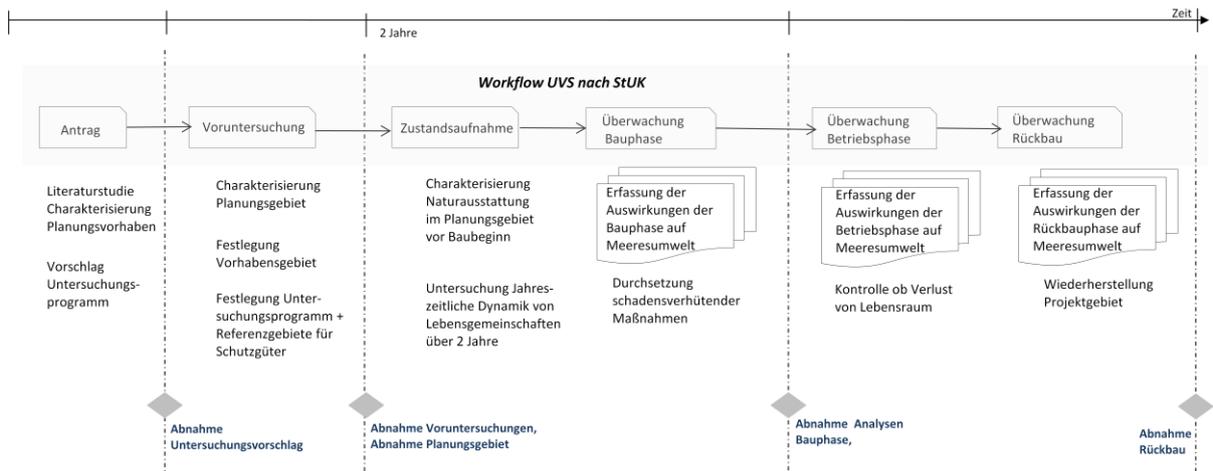


Abbildung 62: Workflow einer Umweltverträglichkeitsstudie nach StUK

Sind alle Feedback-Phasen durchlaufen und die Projektvoraussetzungen gegeben, erfolgt eine Genehmigungserteilung durch das BSH. Wichtiger Bestandteil der Genehmigung sind die Nebenbestimmungen. Diese sind durch einen Großteil standardisiert und in allen vom BSH für Offshore-Windparks erteilten Genehmigungsbescheiden enthalten. Dazu gehören die Laufzeitbefristung auf 25 Jahre sowie der Auflagenbeginn des Projektes nach spätestens 2,5 Jahren nach Genehmigungserteilung, sofern nicht weitere begründete Fristverlängerungen eingereicht wurden [BSH2011]. Letzteres dient der Verhinderung unnötiger Flächenreservierungen.

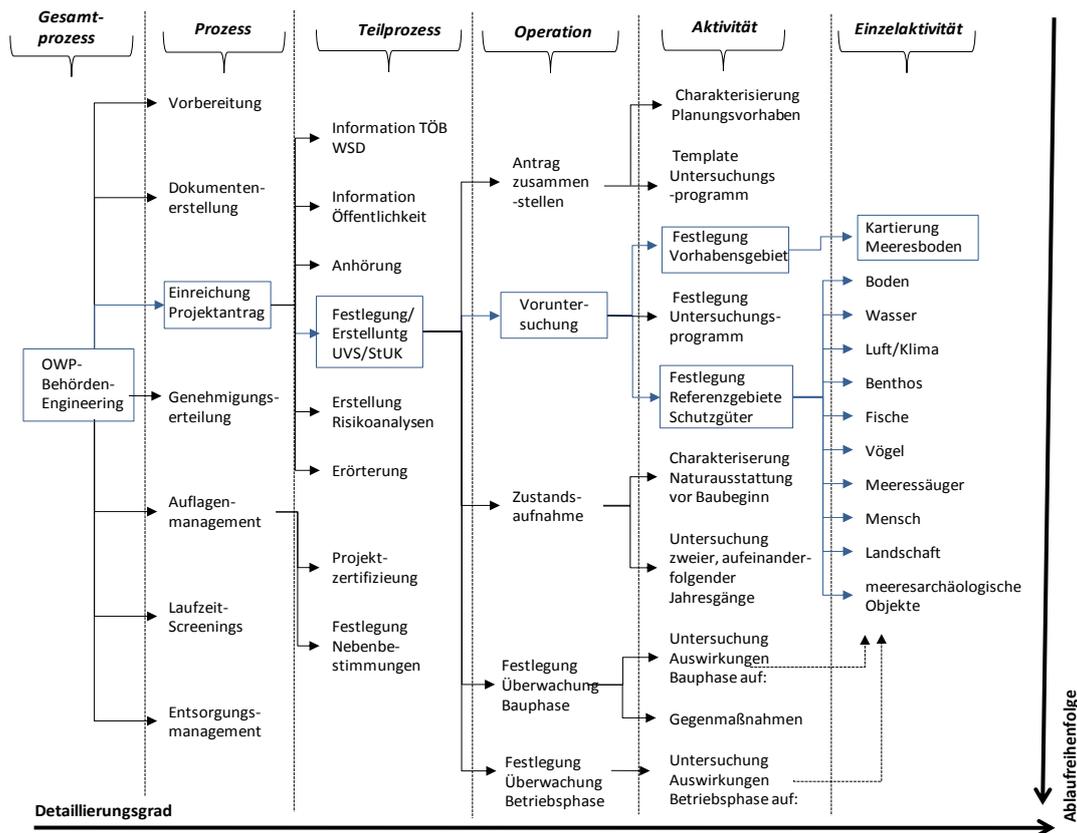


Abbildung 63: Referenzzuordnung der OWP-Behörden-Engineering Prozessstruktur zu den Granularitätsebenen des OWP-Prozessmodells

Der Genehmigungsbescheid enthält darüber hinaus zusätzliche Auflagen, die vor Errichtung und Betrieb des Windparks erfüllt sein müssen. Für die Umsetzung im Prozessmodell bedeutet dies eine entsprechende Verknüpfung mit der anforderungsorientierten Sichtweise und die Propagierung des

aktuellen Fortschreitens, da im Falle der Nichtdurchführung keine Freigabe der Inbetriebnahme erfolgt. Diese Verknüpfung ist in Abbildung 73, Anhang A II beispielhaft implementiert, wobei die dargestellten Nachverfolgungslinks die Verknüpfungsbeziehung enthalten.

Im OWP-Behörden-Engineering Prozess gibt es zwei mögliche, in Abbildung 61 aufgeführte Endzustände: den Beginn der Bauplanung nach erfolgter Genehmigung oder den Abbruch des Genehmigungsprozesses, der in den meisten Fällen zur Einstellung des Vorhabens führt.

Eine Besonderheit des vorgestellten Prozesses besteht in seinen OWP-Arbeitsumgebungen, die hier durch Behörden und die auf diese Prozesse spezialisierten Ingenieurbüros ersetzt werden. Bezüglich der OWP-Ressourcen ist hier ebenfalls eine Besonderheit zu verzeichnen. Da hier ‚Human Resources‘ einzusetzen wären und diese nicht im eigentlichen Sinne OWP-spezifisch sind, werden sie nicht im OWP-Modell verknüpft, sind allerdings im herkömmlichen Projektplanungstool sichtbar.

Neben den Genehmigungsverfahren für Offshore-Windparks einschließlich der parkinternen Verkabelung sind weitere genehmigungsrelevante Verfahren für die Kabelanbindung zum Einspeisepunkt auf dem Festland durchzuführen, da die Genehmigungen für Offshore-Windparks keine Konzentrationswirkung haben. Das heißt, dass die einzelnen Projektgenehmigungen nicht in einer Genehmigung gebündelt werden können, wie dies z. B. bei Planfeststellungsverfahren der Fall ist [Zeiler et al2005, S.2]. Auf die Abbildung dieser Prozesse soll hier aus Platzgründen verzichtet werden. Aus Modellsicht betrachtet enthalten diese weitere Anforderungen, die eine entsprechende Verknüpfung mit denen zur ihrer Umsetzung aufgesetzten Prozessen und Arbeitsumgebungen erfahren müssen. Die angenommenen Verpflichtungen enden i.d.R. mit der Abnahme der Rückbauphase.

Das innerhalb des Kapitels konzeptuell hergeleitete OWP-Domänenmodell sowie die auf ihrer Basis aufgesetzte Referenzprozessbildung im Sinne einer ‚OWP_Bill-of-Konwlegde bilden die Grundlage der im Folgenden diskutierten Beispielimplementierung. Die viel besprochene Komplexität und Umfänglichkeit des betrachteten OWP-Kontextes erlauben nur eine exemplarische Diskussion mit Schwerpunktsetzung auf die wesentlichen, das generische OWP-Modell charakterisierenden Eigenschaften. Eine Weiterführung der getroffenen Implementierungsansätze ist jederzeit denkbar und wünschenswert. Sie ist letztlich inhärentes Anliegen des innerhalb der Arbeit verfolgten Modellkonzeptes. Die Implementierung erfolgte basierend auf einer am Markt erhältlichen PLM-Systemumgebung. Alternative Implementierungsumgebungen sind denkbar, aber nach Meinung der Autorin nicht in den Fokus zu rücken. PLM-Systeme bieten bezüglich Lebenszyklusmanagement bereits reichliche, gut zugängliche Funktionalitäten, die eine Alternativsuche für den hier betrachteten Kontext nicht sinnvoll erscheinen lassen.

6 Exemplarische Umsetzung am Beispiel von Teamcenter

Die IT-technische Abbildung der lebensphasenübergreifenden Aufbau- und Ablaufstrukturen ist klassische Aufgabe eines Produkt-Lebenszyklus-Management-Systems. PLM-Systeme unterstützen die Kommunikation und Kooperation zwischen den Akteuren entlang des Produktlebensweges und den am Produktprojekt beteiligten, aufgrund von Arbeitsteilung entstehenden organisatorischen Einheiten [Eigner,Stelzer2009]. Sie bieten bereits Basisfunktionen für eine integrierte Sichtweise auf die unterschiedlichen Daten, Informationen und Disziplinen der lebensphasenübergreifenden Gestaltung der Produkte, der projektspezifischen Organisation und den dazugehörigen Prozessen, und stellen Werkzeuge für deren Erzeugung und Nutzung bereit. Sie sind inzwischen gut am Markt etablierte Softwarearchitekturen, die in der Regel anwendungsbezogene Konfigurationen und Erweiterungen unterstützen. In diesem Sinne stellen PLM-Systeme allgemeingültige Funktionen und Methoden zur Verfügung, die, häufig innerhalb von Projekten, auf die jeweiligen Bedürfnisse der Kunden angepasst werden müssen.

Aufgrund dieser Eigenschaften bietet sich der Einsatz von PLM-Systemen auch für das IT-Lebenszyklusmanagement von Offshore-Windpark-Produktprojekten an. Innerhalb dieser Arbeit wurde das diskutierte OWP-Modell prototypisch auf der PLM Plattform Teamcenter9.1 der Siemens PLM Software Inc., einer Business Unit der Siemens-Division Industry Automation, implementiert. Die Auswahl dieser Plattform erfolgte aufgrund der seitens der Autorin mitgebrachten Erfahrungen mit dieser Software.

Die Implementierung erfolgte in drei Schritten. Im ersten Schritt wurde das eingeführte OWP-Domänenmodell prototypisch erstellt. Teamcenter selbst bietet hier, wie andere Plattformen auch, bereits sehr gute Unterstützungsmöglichkeiten bei der Umsetzung sowohl der generischen Basisobjekte als auch der domänenneutralen Businessobjekte. Zusätzlich zu den vordefinierten Modelltypen und darauf operierenden Funktionen wird durch den BMIDE - Business Modeler Integrated Development Environment -ein Werkzeug zur kodierungsfreien Anpassung, Erweiterung und Konfiguration des Teamcenter Datenmodells bereitgestellt [TCDataModel2010]. Der BMIDE wurde zur Implementierung des Offshore-Windpark-Domänenmodells genutzt. Eine Anpassung ‚kodierungsfrei‘ durchzuführen bedeutet im Wesentlichen, Modelländerungen ohne Eingriff in den Sourcecode und den damit verbundenen Compile- und Linkprozessen herbeiführen zu können. Die erfolgten Änderungen können auf Bedarf in das Laufzeitmodell eingesetzt werden.

Generell erfolgt die Implementierung der domänenspezifischen Objekte innerhalb von separaten, eigenen Modelltemplates, während die generischen Basisobjekte und die domänenneutralen Businessobjekte innerhalb der sogenannten COTS, dem ‚commercial of the shelf‘ implementiert sind [TCDataModel2010, S.76]. Abbildung 64 gibt einen kurzen Einblick in die Implementierung des OWP-Domänenmodells. Neben der Trennung von COTS und den domänenspezifischen Objekten, wird hier auf die beispielhafte Wiedergabe der Vererbungshierarchie der OWP-Behörden-Engineering-Prozesse und deren Attribute fokussiert. Über diesen Weg lässt sich das Datenmodell sowohl strukturtechnisch als auch attributiv auf die gewünschte Domäne mit ihren spezifischen Anforderungen anpassen. Das gesamte Offshore-Windpark-Domänenmodell besteht somit aus beiden Templates, welche zu einer OWP-‚Foundation‘ zusammengefasst werden. Diese anwendungsbezogene ‚Foundation‘ lässt sich neben dem direkten Einsetzen in die vorhandene, gerade lauffähige Datenbank vorzugsweise als installierbares Projekt umsetzen. Der Vorteil besteht hier in der problemlosen Wiederverwendbarkeit des OWP-Modells. Der Prozess der Installation setzt keine tiefgreifenden Kenntnisse des Modells an sich oder des zu seiner Entwicklung genutzten Werkzeugs voraus. Da es sich bei der erzeugten OWP-Foundation um .xml-basierte Schemata handelt, ist eine Übertragung auf andere PLM-Systemumgebungen ebenfalls denkbar.

Aufbauend auf dem erstellten OWP-Datenmodell erfolgte in einem zweiten Schritt eine Umsetzung des Objektmodells in den sechs Entwicklungsphasen, dargestellt in Kapitel 4.3, Abbildung 20. Hierzu wurden zunächst die verschiedenen Sichten implementiert. In Kapitel 5.4 sind Beispiele für die anwendungsbezogene, produktprojektbezogene, prozessbezogene, ressourcenbezogene und

arbeitsumgebungsbezogene Sicht aufgeführt. Die so entstandenen ‚OWP_Bill-of-‘-Strukturen bilden wiederum die Grundlage für die innerhalb der Arbeit fokussierte Umsetzung der erweiterten Trinitätsbetrachtung im Offshore Windpark Modell.

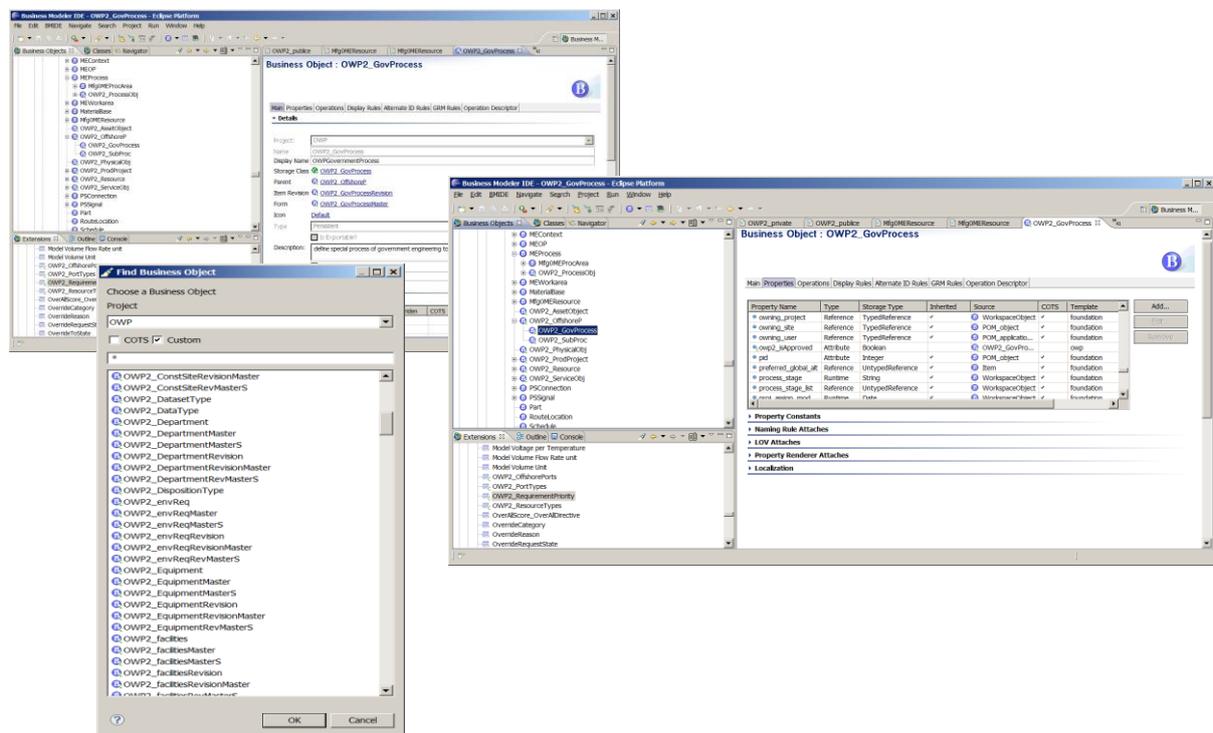


Abbildung 64: Das implementierte OWP-Domänenmodell innerhalb des TC91-BMIDE am Beispiel der OWP-Behörden-Engineering-Prozessdefinition

Wie mehrfach ausgeführt, sind Offshore-Projekte aus Sicht der Autorin Prozessgetrieben. Die prototypische Implementierung des OWP-Prozessmodells innerhalb der prozessorientierten Sichtweise stellt daher innerhalb des zweiten Implementierungsschrittes einen Schwerpunkt dar. Abbildung 65 enthält das implementierte OWP-Prozessmodell mit allen vier Gestaltungsdimensionen anhand des in Kapitel 4.6.3 vorgestellten Rotor-Transportes. Es erfolgte eine hierarchische Strukturierung des Prozesses unter Zuhilfenahme der Dekomposition, ein Aufbau einer Merkmalsdimension anhand eines zuvor implementierten Formulars, welches jedem (Teil-)Prozess zugeordnet wird, eine Umsetzung der Typisierungsdimension durch die Durchführung einer Klassifizierung von Offshore-Windpark-Prozessstypen als auch der Aufbau von Ablaufbeziehungen durch den Einsatz von Gantt-Views. Gantt-Darstellungen beinhalten allgemeine Methoden zur Darstellung strukturierter Ablaufbeziehungen. Abbildung 65 macht zudem die Fähigkeit deutlich, Ablaufbeziehungen auf ihre Validität bezüglich Reihenfolge und Durchlaufzeit zu prüfen und diese über kritische Pfadangaben zu visualisieren. Innerhalb der Granularitätsdimension wurde hier auf die Darstellung der Aktivitäten und Einzelaktivitäten aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Eine vollständige Darstellung lässt sich hierfür in Abbildung 57 in Kapitel 5.4 finden.

Im dritten Implementierungsschritt erfolgte, unter Rückgriff auf die zuvor aufgebauten Sichten, eine Integration in die Gesamtsicht des Offshore-Windpark-Modells. Diese integrierende Sicht wurde ebenfalls am Beispiel des Rotor-Transports vorgenommen und ist in Abbildung 66 wiedergegeben. Eine Integration in ein Gesamtmodell erfolgt letztlich durch die Verknüpfung der einzelnen Sichtweisen des Modells durch spezifische Relationstypen. Diese verknüpften Strukturen spiegeln in ihrer Ausprägung die ‚OWP_Bill-of-Knowledge‘ wider. Die Zuordnung von Teilen der OWP_Bill-of-Material zu Granularitätsebenen der OWP_Bill-of-Process ist durch eine rote, die Assoziation zu den geplanten Arbeitsumgebungen durch eine blaue und die zu den verknüpften Ressourcen der ‚OWP_Bill-Of-Ressources‘ durch eine braune Markierung verdeutlicht. Ressourcen lassen sich innerhalb des Modells mit den sie benutzenden Prozessen, Teilprozessen, Operationen und auch

(Einzel-) Aktivitäten verknüpfen. Zusätzlich sind Ressourcen den sie beherbergenden OWP_Arbeitsumgebungen zuweisbar. Diese Möglichkeit ist am Beispiel des OWP_Hafenkrans und seiner Assoziation zum Arbeitsbereich ‚Hafen‘ aufgeführt.

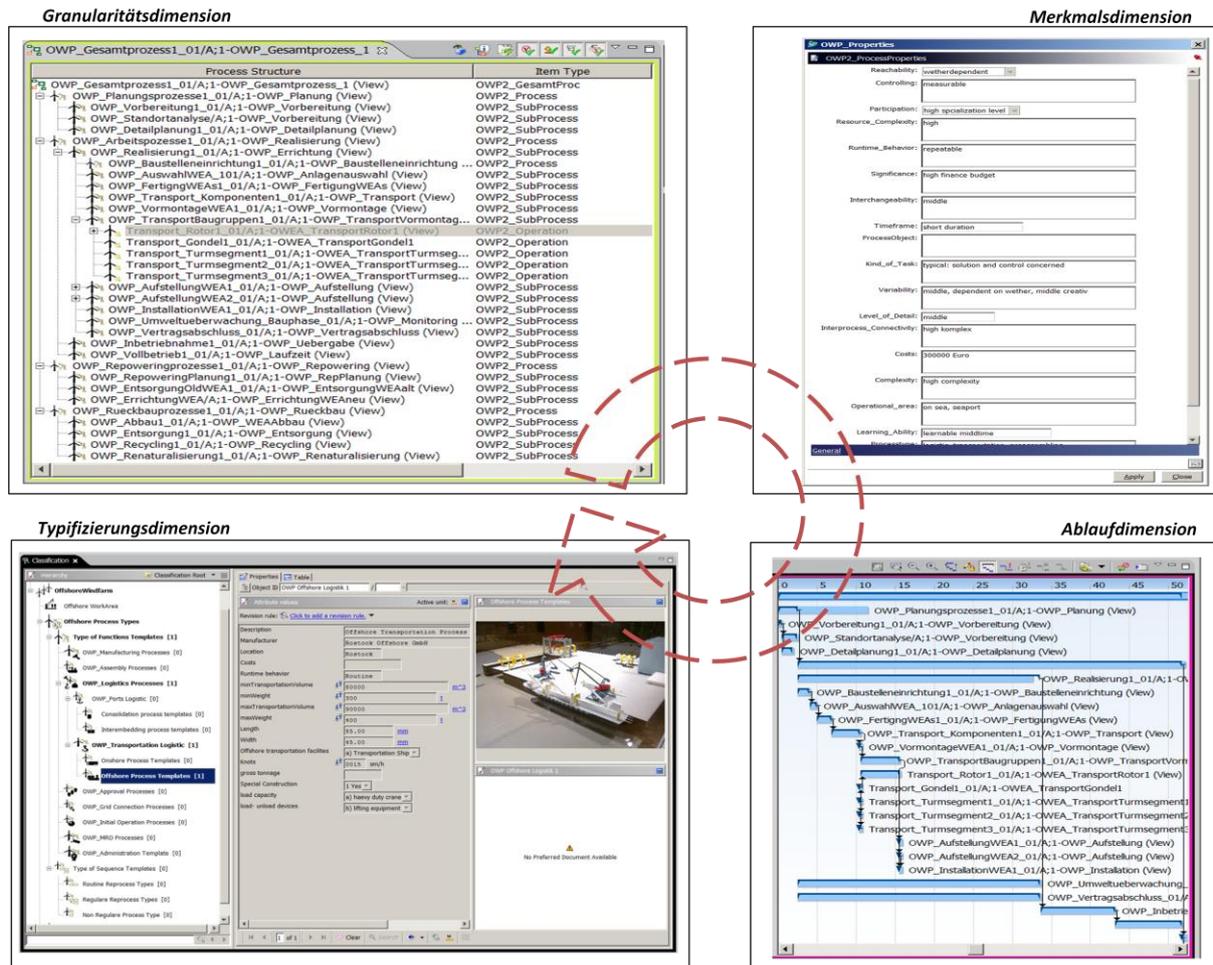


Abbildung 65: Prototypische Implementierung des OWP-Prozessmodells basierend auf dem OWP-Domänenmodell

Die Verknüpfung mit den Offshore relevanten Anforderungen erfolgt im Modell über die aufgebauten Rückverfolgungslinien, hier als ‚Trace Links‘ bezeichnet. Sie sind in Abbildung 66 gelb gekennzeichnet und in einem eigenen ‚Trace Link‘-Reportfenster dargestellt. Am aufgeführten Beispiel erfolgte eine Zuordnung zu (Teil-)Prozessen und Operationen. Eine Assoziation zu den anderen Sichten des OWP-Modells ist ebenfalls möglich. Anforderungen über ‚Trace Links‘ mit den zu ihrer Erfüllung geplanten Prozessen zu verknüpfen, zielt auf die Ermittlung und Verwaltung des Erfüllungsgrades der Anforderungen über den Lebenszyklus hinweg. Werden nach Abschluss des assoziierten Prozessabschnittes die vordefinierten Ziele nicht erreicht, sind diese farblich im aufgeführten Trace Link-Report gekennzeichnet. Verbunden mit Workflows wird zusätzlich eine Kommunikation aller Beteiligten zur Anforderungserfüllung und deren Freigabe für Nachfolgeprozesse erzwungen.

Die Ableitung von Referenzprozessen erfolgte innerhalb der Umsetzung sowohl für den bereits vorgestellten Rotor-Transport als auch für das in Kapitel 5.5 näher ausgeführte und in Abbildung 73 in Anhang A II prototypisch dargestellte OWP_Behörden-Engineering. Durch den Einsatz von Klassifikation ließen sich beide ‚OWP_Bill-of-Knowledge‘ entsprechenden Prozesstypen zuordnen und mitsamt ihren Verknüpfungen als Vorlage für Folgeprojekte verwalten. Die so gewonnenen Referenzprozesse haben entscheidenden Einfluss auf die Steigerung der Wiederholbarkeit von Prozessen. Sie erlauben die Erweiterung des Pools verwaltbaren projektspezifischen Wissens und

eine teilweise Überführung in nicht-projektspezifische Kategorien in Abhängigkeit ihrer spezifischen Wiederholungsfähigkeit. Sie sind somit durch ihre Erweiterbarkeit und Modifikationsfähigkeit implizit Träger des im nachfolgenden Kapitel ausgeführten emergenten Systemverhaltens. Stehen diese ‚OWP_Bill-of-Knowledge‘-Templates bereits in den frühen Phasen der Projektvorbereitung- und Planung zur Verfügung, lassen sich wichtige Informationen der Folgephasen in die Vorphasen vorverlegen. Sie beinhalten somit einen wichtigen Aspekt des adressierten Informations- ‚Frontloadings‘ und der Fehlerreduktion bereits in den Anfangsphasen eines OWP-Lebenszyklus.

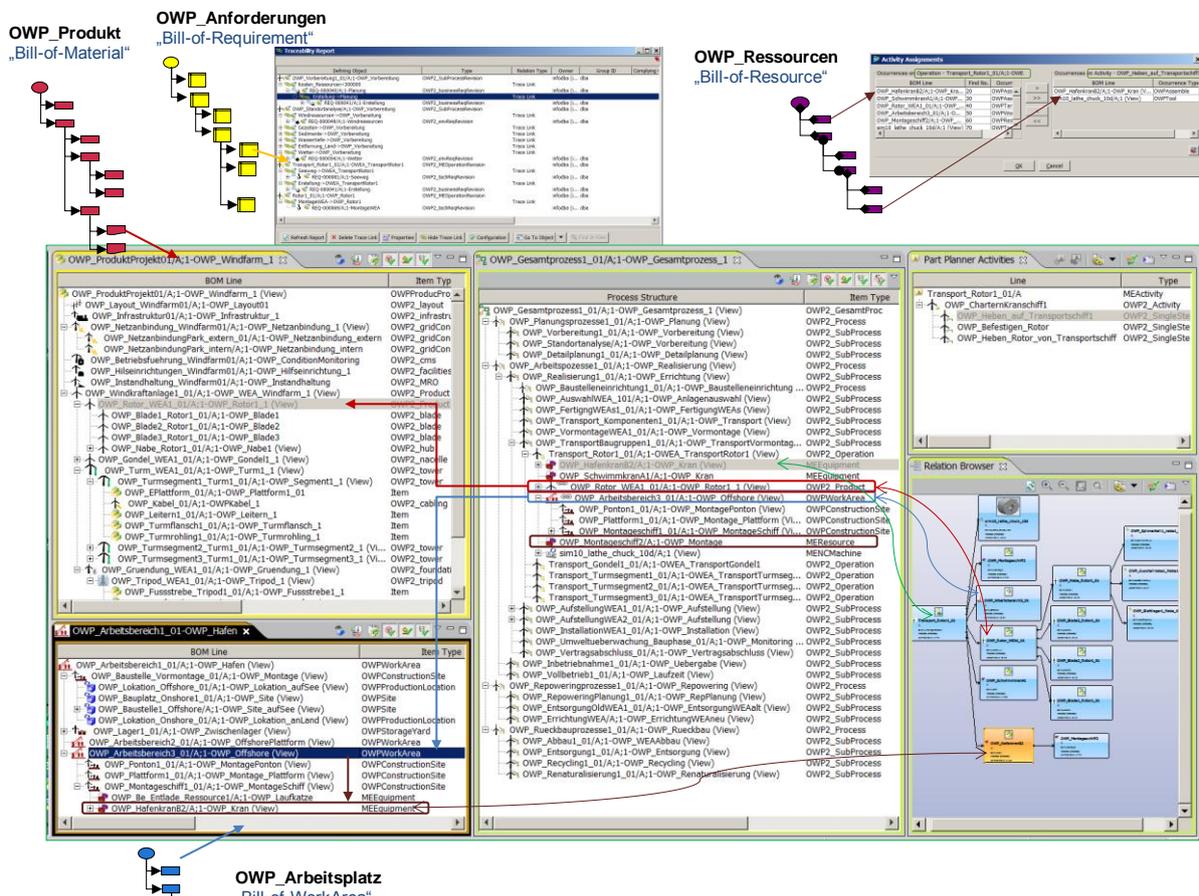


Abbildung 66: ‚OWP_Bill-of-Knowledge‘ am Beispiel eines Rotor-Transports basierend auf dem OWP-Domänenmodell

Die beiden ausgeführten Referenzprozesse unterscheiden sich in ihren nicht-projektspezifischen Wissensanteilen. Auch wenn OWP-Behörden-Engineering-Prozesse vielfach spezifische Wissensmerkmale des aktuellen Windpark-Projektes aufweisen, sind sie doch in ihrem generellen Ablauf übertragbar. Vielmehr überwiegt hier der ausgesprochene Wunsch nach Standardisierung, wie er in den vorgegebenen Abläufen der Umweltverträglichkeitsstudie nach StUK postuliert wurde. Diesen dokumentenbasierten Prozessen lassen sich vordefinierte Workflows zum Organisationsablauf, ähnlich den in Abbildung 62, Kap. 5.5 ausgeführten, zuordnen, die von allen Genehmigungsprozessen durchlaufen werden müssen. Die Umsetzung des in Abbildung 62 vorgestellten Workflows erfolgte gemäß den definierten Meilensteinen in 5 Schritten. Diese sind in den Abbildungen 77 – 81 im Anhang A II dargestellt. Nach jedem Workflow erfolgt die Prüfung des vorgesehenen Meilensteins durch die zugewiesenen Behörden-Engineering-Bearbeiter gemäß ihrer definierten Rolle. Hierzu wurden im Teamcenter 9.1 sogenannte Handler definiert, die eine geeignete Durchführung durch das Erzwingen von Aktionen unterstützen. Im Umfeld der Umweltverträglichkeitsstudie sorgen die

Meilensteine in erster Linie für eine Überprüfung der Dokumente auf Richtigkeit und Vollständigkeit. Erst nach erfolgter Statussetzung kann der Prozess entweder weitergeführt oder zurückgewiesen werden. Im zweiten Fall wird der Status auf ‚nicht OK‘ gesetzt und eine Überarbeitungsphase ausgelöst.

Transportprozesse im Offshore-Bereich sind wesentlich stärker durch äußere Einflüsse wie Wetter und Verfügbarkeit der spezifischen Ressourcen geprägt. Hier können die Referenzvorlagen nicht durchgängig übernommen werden, geben aber wichtige Hinweise für ein mögliches, wenn auch abzuwandelndes Vorgehen und lassen dadurch Handlungskonsequenzen vorwegnehmen.

Die Umsetzung des komplexen Modellkonzeptes in die bestehende Systemlandschaft wurde durch die iterative Vorgehensweise basierend auf den definierten Entwicklungsphasen erleichtert. Die einzelnen Prototypen erlauben bereits sehr früh im Projekt schnelle Wechsel zwischen den Aktivitäten des Entwurfs und der evaluierenden Nutzung vollziehen zu können. Sie ermöglichen zudem eine schnellere direkte Rückkopplung zwischen dem ‚fachlich Gewünschten‘ oder Notwendigen und dem ‚technologisch Machbaren‘.

7 Evaluierung des gewählten Modellansatzes

Wie erwähnt sind Modelle, und damit auch das OWP-Modell, durch Vereinfachung und Abstraktion entstandene Abbilder realer Sachverhalte. Sie werden zur Erfüllung spezieller, selektiv ausgewählter Zwecke entwickelt, die eine Notwendigkeit zur Evaluierung der getroffenen Auswahl ergeben [Schreiber2003, S.1]. Laut [Hou1993] wird Evaluation mit der gezielten Bewertung von materiellen oder immateriellen Gegenständen unter Rückgriff auf ‚angemessene‘ Kriterien und Verfahren assoziiert. Evaluation ist durch das Bemühen um *Objektivität* gekennzeichnet, wobei der Grad der Objektivität von der Art des zu bewertenden Sachverhalts und immer auch von den individuellen Grenzen und Sichtweisen der Wertenden abhängig ist [Frank2000, S.4 ff]. Eine Evaluierung kann durch:

- a) die Gegenüberstellung von Original und Modell durch die Einführung geeigneter Bewertungskriterien [Schreiber2003, S.1],
- b) die Betrachtung von Anwendungsfällen, oder
- c) eine Übertragung auf andere Sachgebiete

erfolgen. Den in Punkt a angeführten Bewertungskriterien liegen sowohl allgemeingültige als auch OWP-kontextspezifische Kriterien zur Stützung der Validität des Modells zugrunde. Mit der Auswahl von Kriterien ist der Anspruch verbunden, eine angemessene Bewertung des innerhalb der Arbeit betrachteten Sachverhalts zu realisieren, d.h. sie besitzen für die Autorin instrumentellen Charakter. Die hier vorgenommene, subjektive Zusammenstellung relevanter Bewertungskriterien rückt die Evaluierung des **Modellzieles** in den Mittelpunkt, welches generell die Steigerung von *Qualität und Effizienz und damit die Senkung von Kosten und Ressourceneinsatz sowie die Verringerung von negativen Umweltauswirkungen* beinhaltet. Der Modellansatz fokussiert für diese Zweckerfüllung auf das Formalisieren von Zusammenhängen innerhalb des Lebenszyklus und damit der Wiederverwendbarkeit und Fehlervermeidung in Offshore-Windpark-Produktprojekten, die Festlegung des Systemtyps und der Systemgrenzen inklusive der auf das System einwirkenden Parameter. Dem Konzept geht eine Strukturierung der OWP-Abläufe voraus, welche die Basis für eine phasenübergreifende Informations- und Wissensbereitstellung sowie eine die Modellbildung beeinflussende Anforderung darstellt.

An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der Durchführung der Evaluierung nicht um den Beweis der „Richtigkeit“ des Modells „*ein für alle Mal*“ [Schreiber2003, S. 2] handelt, sondern vielmehr um das **Aufzeigen der Modellgrenzen, seiner Anwendbarkeit** und natürlich seiner **potentiellen Erweiterbarkeit**. Die Anwendung der im Folgenden ausgeführten Bewertungskriterien fokussiert daher nur auf eine, an dieser Stelle als „provisorische Gültigkeit“ bezeichnete Evaluierung. Der Auswahl der Bewertungskriterien liegen dabei die folgenden Anforderungen nach [Becker et al 1995] und [Eisenack et al, S. 3 ff] zugrunde:

- *eine Prognosefähigkeit räumlicher und zeitlicher Dynamik innerhalb des Systems OWP,*
- *allgemeine Lern- und Anwendbarkeit,*
- *eine weitestgehende Klarheit und Strukturierungsunterstützung komplexer Sachverhalte,*
- *die Identifizierung struktureller Voraussetzungen für mögliche Weiterentwicklungen,*
- *die Gewinnung von Indikatoren als Ausgangspunkt möglicher Wiederverwendbarkeit,*
- *eine Charakterisierung typischer Muster und Klassen von Systemverhalten und Wissensverarbeitung zum effektiveren Methodeneinsatz,*
- *die Identifizierung von steuerungssensitiven Stellen im System Offshore Windpark zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit sowie*
- *der Identifikation möglicher Risiken und Probleme zukünftiger Entwicklungen des Systems und damit der Identifizierung und Vermeidung kritischer Zustände.*

Eine Vergleichbarkeit von komplexen Modellen herbeizuführen, ist allerdings nur eingeschränkt möglich. Das ist zum einen der individuellen Wahrnehmungen und Präferenzen ihrer Autoren geschuldet, deren unterschiedliche Modellierungsweise und Realitätsausschnittbestimmung

Ausdruck einer gewissen Willkür ist [Frank2000, S.5]. Zum anderen existieren für den Bereich Offshore-Windpark nur rudimentäre Lebenszyklusmodelle, die überwiegend aus den Anforderungen der Betriebsführung, [BMU2008], bzw. Instandhaltungsplanung, [Orosa et al2010], adaptiert sind und wenig auf die frühen Phasen der Projektentwicklung fokussieren. Der Umfang und die lange Betriebsdauer dieser Produktprojekte lassen zudem alternative Vergleiche in adäquatem Zeitrahmen kaum zu. In Kapitel 2.1 wurde der Stand der Offshore-Windparkprojekte in Deutschland und deren Pilotcharakter diskutiert. Viele der aufgeführten Projekte befinden sich noch in der Planungsphase, einige wenige sind vor kurzem in Betrieb genommen worden. Keines der Projekte liefert daher Erfahrungen für das Repowering oder den Rückbau, da kein Projekt in der beschriebenen AWZ aktuell einen kompletten Lebenszyklus durchlaufen hat. Hinzu kommt die Individualität eines jeden Offshore-Projektes. Die damit verbundene Varianz erschwert eine vergleichende Beurteilung, insbesondere durch den hohen Bewertungsaufwand, jenseits des dargestellten Problems geeignete Beurteilungskriterien zu finden [Frank2000, S.342 ff]. Die anwendungsorientierte Evaluation des OWP-Modells und seiner Entwicklungsmethoden beschränkt sich an dieser Stelle daher auf die vergleichsweise grobe qualitative Bewertung der durchgeführten, exemplarischen Implementierung. Diese erfolgt anhand von Bewertungsaspekten und –kriterien mit dem Ziel, auf die Potentiale der Informationstechnologie in diesem Umfeld hinzuweisen. Zur vereinfachten Lesbarkeit wird aus der Vielfalt an Darstellungsmöglichkeiten auf eine Radar-Diagramm-Präsentation zurückgegriffen, mit deren Hilfe eine gute, qualitative Überblickserfassung möglich ist. Dieser Ansatz erleichtert zudem eine Form der Normalisierung der Modell-Bewertungskriterien, vergleichbar mit einer Normalisierung eines Datenbankschemas: Beide Normalisierungen haben zum Ziel, eine einheitliche, vergleichbare Darstellung repräsentierter Sachverhalte herbeizuführen [Dietrich2011]. Die Nutzung von normalisierten Kriterien wird durch die Autorin als ausreichend angesehen, um die relative Eignung für den diskutierten Anwendungsbereich abzuschätzen. Die Anwendung erlaubt eine hinreichend detaillierte, transparente und präzise Bewertung zur Identifikation, Operationalisierung und Quantifizierung der als besonders bedeutsam erachteten, aus den aufgeführten Anforderungen abgeleiteten und in Abbildung 67 aufgeführten Modellcharakteristika.

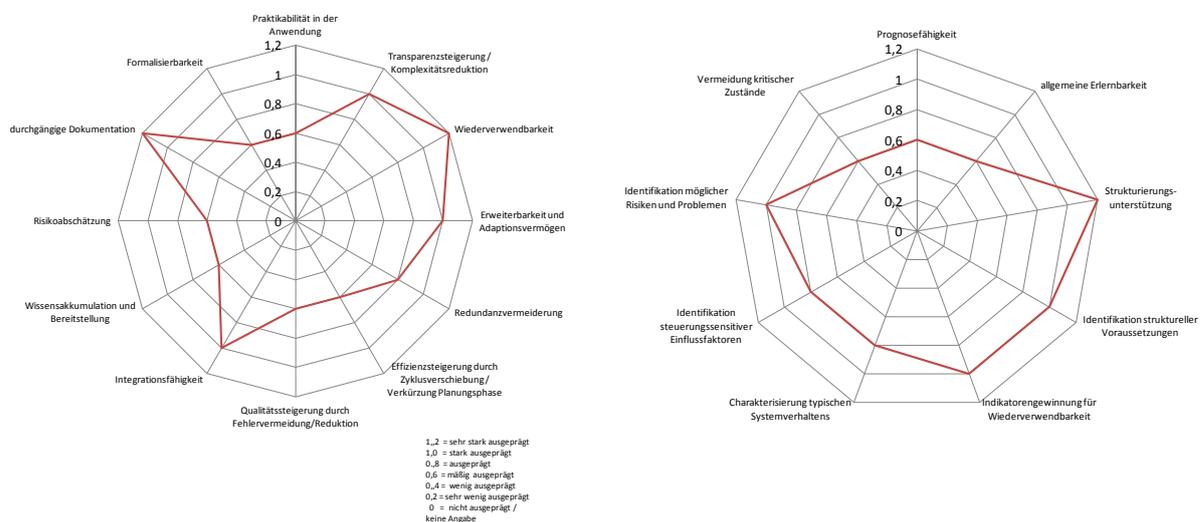


Abbildung 67: qualitative Angabe und Normierung relevanter OWP- Modellbewertungskriterien

Wie in Abbildung 67 ersichtlich, lässt sich durch das vorgestellte Modell insbesondere die Wiederverwendbarkeit, Erweiterbarkeit und Adaptierbarkeit unterstützen. Dies lässt sich zum einen durch die Nutzung objektorientierter Paradigmen als auch der zugrunde gelegten PLM-Plattformen erklären. Wiederverwendbarkeit wird zudem durch die Techniken der Klassifizierung, Hierarchisierung und Templategewinnung gefördert, die für alle Sichten des Modells anwendbar sind und beispielhaft für die ressourcen-, arbeitsumgebungs-sowie prozessorientierte Sicht durchgeführt wurden

Zunehmende *Wiederverwendbarkeit* lässt den Grad der Projektindividualisierung ebenso schrumpfen wie den Anteil projektspezifischen Wissens. Da ein hohes Maß an Projektindividualisierung und projektspezifischen Wissen Indikatoren für Komplexität darstellen, kann auch hierfür mit einer Verminderung gerechnet werden. Die Reduktion von Komplexität ist allgemeines Anliegen eines jeden Modellierungsprojektes und bildet die Voraussetzung für eine effiziente IT gestützte Umsetzung. Der Grad der Komplexität lässt sich zudem, wie in Abbildung 68 dargestellt, in Relation zum Grad der Formalisierbarkeit eines Modells setzen. Hier gelten im Umkehrschluss ähnliche Aussagen, d.h. je niedriger der Grad der Komplexität, je höher der der Formalisierbarkeit und damit implizit der Anteil nicht-projektspezifischen Wissens.

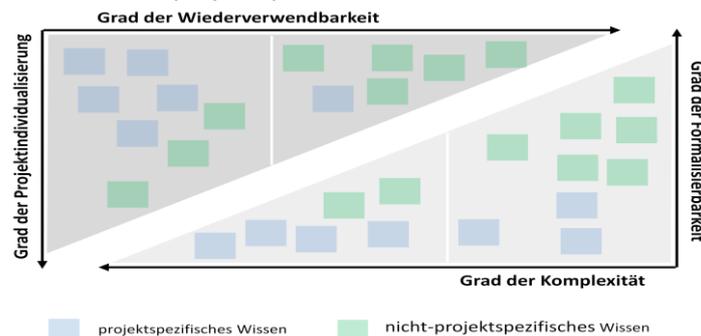


Abbildung 68: Bewertung von projektspezifischem und nicht-projektspezifischem Wissen innerhalb des OWP-Modells

Der Einsatz von Klassifizierungsmethoden in Form von Bibliotheken fördert zusätzlich die *Portabilität* und *Adaption auf andere Kontexte und Systemumgebungen*. Weiterhin lässt sich ein hoher Grad an *Erweiterbarkeit*, *Interoperabilität* und *Übertragbarkeit* auf andere Anwendungsdomänen durch die Einführung der in Kapitel 5 beschriebenen Abstraktionsstufen für das OWP-Datenmodell begründen. Dem OWP-Domänenmodell liegt zudem der Forderung nach Abstraktion von der Varianz der Spezialfälle zugrunde. Domänenneutrale Businessobjekte und generischen Basisobjekte sind durch andere Anwendungsfälle ebenso nutzbar und werden zudem oftmals durch bereits entwickelte PLM-Systemplattformen bereitgestellt. Dieser Aspekt untermauert die *Praktikabilität* des Modells.

Die *Reduktion von Komplexität* innerhalb des Modells lässt sich ebenso durch die Anwendung des Systemtheorie-Ansatzes auf das Modell, beschrieben in Kapitel 3.2, sowie die Einführung eines in Kapitel 4 aufgeführten, sichtenspezifischen Organisationsrahmen erreichen. Die systemtheoretische Herangehensweise bedingt insbesondere die Einbeziehung von Komposition und Dekomposition. Zuzüglich der Hierarchisierung und Systembegrenzung bilden sie die wichtigsten Basisstrukturelemente der Gestaltungsdimensionen des OWP-Prozessmodells zur Umsetzung einer *Strukturierungsunterstützung*. Die Anwendung der definierten Gestaltungsdimensionen erleichtert eine Identifikation von steuerungssensitiven Einflussfaktoren und vereinfacht eine *Charakterisierung typischen Systemverhaltens*. Zudem reduziert angewandte Dekomposition den *Aufwand für Anpassungen*, der als Entwurfskriterium dem konzipierten OWP-Modell zugrunde liegt. Der Ansatz der Systemtheorie bildet somit die Grundlage für den Formalisierungsanspruch innerhalb des Modells. Über diesen lassen sich Referenzprozesse ableiten, die letztlich der Wiederverwendbarkeit auch *projektspezifischen Wissens* in Form von Best Practice dienen. Eine integrative Abbildung aller Sichtweisen fördert zudem die Wissensakkumulation und-Bereitstellung durch die in Kap. 5.4 eingeführten „OWP_Bill-of-Knowledge“. Aus Sicht der Autorin fördert sie die prozessgetriebene Betrachtungsweise innerhalb von Produktprojekten. Eine Verknüpfung des Projektziels mit den notwendigen Anforderungen und Projektschritten geht einen Schritt in Richtung *Erlernbarkeit* der IT-technischen Aufbereitung komplexer Zusammenhänge. Erlernbarkeit ist immer auch Gradmesser der *intuitiven Anwendbarkeit* eines Modells. Auf Intuition basierende IT-Umgebungen sind allerdings nach wie vor noch zu optimierende Bereiche, auch im hier erfolgten Umsetzungsfokus.

Kann das in den späteren Lebenszyklusphasen akkumulierte Wissen den früheren Phasen in Folgeprojekten sichtbar gemacht werden, ist mit einer günstigeren Kostenprognose durch eine

positive Beeinflussung der Kostenfestlegungskurve zu rechnen. Die Aussage beruht auf der bereits formulierten Überzeugung der Fehlerreduktion, aber auch auf den steigenden Möglichkeiten der Qualitätssicherung bereits in der Phase der höchstmöglichen Kostenbeeinflussung (Abbildung 17, Kapitel 2.5.2). Formalisierung und Bereitstellung von Wissen erlauben zudem eine Phasenverkürzung insbesondere der Planungsphasen sowie eine qualitative Verbesserung der Folgephasen. Je mehr Wissen in die Planung von Wartung und Instandhaltung durch Referenzprozesse fließen kann, je niedriger lassen sich die Wartungskosten innerhalb der Betriebsphase gestalten. Für die Lebenszykluskosten-Betrachtung aus Kapitel 2.5.2 bedeutet das ein verbessertes Verhältnis von Kostenfestlegung und Kostenbeeinflussung sowie einen geringeren Anstieg des Anfalls von Kosten und damit eine realen Kostenersparnis.

„OWP_Bill-of-Knowledge“ als sichtenintegrierende Umsetzung von Referenzprozessen erlauben eine qualitativ wertvollere Durchführung von *Risikoabschätzungen* und Identifikation möglicher Risikofaktoren bereits zu Beginn eines OWP-Windparkvorhabens. Belastbare Risikoabschätzungen sind wesentliches Instrument für die Einwerbung von Investoren und für das Gelingen des Gesamtvorhabens. Fehlentscheidungen ziehen insbesondere im Offshore- Bereich erhebliche Folgekosten nach sich.

Die Verknüpfung von Produkt, Projekt, Prozess, Anforderung, Ressource und Arbeitsumgebung ermöglicht zusätzlich eine modellimplizite Umsetzung *emergenter Systemverhaltens*, d.h. sie bilden Aussagen über Eigenschaften ab, die ‚im Ganzen‘ und nur in der integrierten Sichtenverknüpfung entstehen, ohne dass sie in Teilen jeweils für sich selbst ableitbar wären. Trinitätsumsetzung fokussiert demnach auf die Reduktion von Fehlerverhalten durch Wissensakkumulation ebenso wie auf die Nachverfolgung relevanter Anforderungen über den kompletten Lebenszyklus hinweg.

Aufbauend auf den exemplarischen Implementierungserfahrungen kann eine höhere Anwenderfreundlichkeit durch gezielte Dekomposition innerhalb der Projektorganisation erreicht werden. Aufgrund des Umfangs von Offshore Windparks erreichen alle Modellsichten einen vergleichsweise hohen Strukturierungsgrad, der höhere Anforderungen an die Darstellbarkeit und Präsentationslogik der Benutzerschnittstellen adressieren. Um hier eine Darstellung der integrativen Gesamtsicht zu ermöglichen, wird die Zuordnung von Prozessabschnitten zu Teilprojekten empfohlen. In gleichem Masse führt auch eine zu starke Unterstrukturierung in Einzelaktivitäten zu Problemen, da hier sehr tief verzweigte Baumstrukturen generiert werden, die die Anwendung des Gesamtmodells verlangsamen sowie deren Übersichtlichkeit einschränken. Hier gilt, dass nur soweit zerlegt werden sollte, wie den Detaillierungsebenen noch Ressourcen bzw. Arbeitsumgebungen zuzuordnen sind.

Die Umsetzung des OWP-Modells innerhalb einer existierenden PLM-Umgebung unterstützt den Rückgriff auf vorhandene Funktionalitäten. PLM-Systeme sind historisch aus Dokumentenverwaltungssystemen entstanden [EignerStelzer2009]. Durch die Nutzung dieser Kernfunktionalität kann eine verbesserte, durchgängige Verwaltung relevanter Dokumente innerhalb des Offshore-Kontextes lebenszyklusübergreifend sichergestellt werden. Die hohen Erwartungen an ein Qualitätsmanagement im Offshore-Bereich und die gestiegenen Anforderungen an Produkthaftung und damit Langzeitarchivierung der Dokumente lassen sich nach Meinung der Autorin auch für individualisierte Produktprojekte mit komplexen Projektstrukturen, nur noch auf diesem Wege erfüllen. Allerdings muss an dieser Stelle auf die stark zunehmende Problematik der Integration innerhalb heterogener Systemlandschaften fokussiert werden. Ein dieserart konzipiertes OWP-Modell lässt sich nicht durchgängig innerhalb einer Zielumgebung ‚auf der grünen Wiese‘ implementieren. Seine Gesamtsicht wird vielmehr aus der Integration verschiedener Teilsichten, verteilt in nicht kompatiblen Systemumgebungen, generiert. Die Kosten für eine umfassende Integration werden häufig, zumal in so komplexen Projekten unterschätzt. Hier müssen die Integrationsmöglichkeiten mit den zu erwartenden Aufwänden abgewogen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, das:

- ✓ das Denken in Prozessen,

- ✓ die Kenntnis objektorientierter Konzepte,
- ✓ die Betrachtung eines Offshore Windparks als Gesamtsystem sowie
- ✓ eine lebenszyklusbasierte, strukturierte Herangehensweise unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren

Voraussetzungen für die effizienzsteigernde Anwendbarkeit des Konzeptes sind. Dem Konzept liegt die Annahme zugrunde, dass Prozessmodelle, die auf einen projektspezifischen Kontext zugeschnitten sind, mit den sie bedingenden und auslösenden Projektzielen aber auch mit den zu ihrer Durchführung benötigten Informationen verknüpft sein müssen. Letztlich müsste sich das vorgestellte Modell daran messen lassen, ob OWP-Projekte mit seiner Hilfe kostensparender, zeitintensiver und mit besserer Qualität durchgeführt werden können. Aufgrund der beschriebenen Laufzeit eines OWP-Projektes konnte diese Evaluierung nur qualitativ anhand von exemplarischen Anwendungsfällen und Übertragungen aus relevanten, mit mehr Erfahrungen bestückten Anwendungsdomänen wie beispielsweise die des Anlagenbaus [Wildemann2005] erfolgen. Die 20-30 jährige Betriebsdauer eines OWP stellt für die vorliegende Arbeit eine Grenze der Bewertbarkeit des Modellansatzes dar.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Ausgelöst durch die tsunamibedingten Havarien im japanischen Kernkraftwerk Fukushima 2011 und die damit verbundenen enormen ökonomischen und ökologischen Schäden zeichnet sich eine Wende in der deutschen Energiepolitik weg vom Atomstrom hin zum Ökostrom, insbesondere zum Offshore Windenergiestrom, ab. Dessen schnellerer Ausbau rückt zunehmend in den planerischen aber auch genehmigungsrechtlichen Fokus. Dabei ist davon auszugehen, dass Windparks offshore, wie in Kapitel 2.1 vorgestellt, in größerem Umfang Standorte in der Ausschließlichen Wirtschaftszone mit Wassertiefen von 30 bis 40 Metern haben werden. Eine erfolgreiche Durchführung dieser OWP-Vorhaben stellt sehr hohe Anforderungen an alle Beteiligten, die nach Meinung der Autorin ohne eine durchgängige, lebenszyklusübergreifende IT-Unterstützung kaum mehr umsetzbar sein werden.

„Planung ist der Ersatz des Zufalls durch Irrtum“. Dieser Winston Churchill zugeschriebene Satz verdichtet das jeder Planung zugrunde liegende Problem, das ‚Planen‘, auch das von Offshore-Windparks, in eine Zukunft greift, die nie vollständig vorhersagbar sein kann, wobei das Risiko der Planung exponentiell mit der Weite des Planungshorizontes steigt [Kletti2007, S.19 ff]. Ziel des innerhalb der vorliegenden Arbeit eingeführten und diskutierten OWP-Modells ist es daher, eine IT-gestützte, integrative und integrierende Modellumgebung zu schaffen, die:

1. den gesamten Lebenszyklus unter systemtheoretischen Gesichtspunkten betrachtet und auf die Unterstützung der erweiterten Trinitätsbetrachtung von Anforderung, Produkt, Projekt, Prozess, Ressource und Arbeitsumgebung fokussiert sowie
2. auf der Annahme basiert, dass die der Projektdurchführung zugrunde liegende Planung letztlich als „*der Ersatz des Zufalls mit der Möglichkeit des Irrtums*“ aufzufassen ist. [<http://de.answers.yahoo.com/question/index?qid=20060904020835AAcotkk>]

Für die Anwendung des OWP-Modells bedeutend dies, die Zeitspanne der einzelnen Prozess-, Teilprozess-, Operationen und Aktivitäten so zu zerlegen, dass diese:

- a) genügend kurz ausfallen, um eine gute Überschaubarkeit, Evaluierung und letztlich Rückkopplung zum Gesamtmodell zu ermöglichen,
- b) durch ausreichende Länge die in den Kapiteln 3.2 und 5 beschriebenen Probleme der Segregation und Aggregation vermieden werden und
- c) eine optimale Aktualität der assoziierten Ressourcen und Arbeitsumgebungen erlauben. Je eher bekannt wird, welche Ressource wo fehlt, umso größer ist die Chance, eine adäquate Lösung zu finden.

Eine gute Qualität bei der Planung und Durchführung von Offshore-Windparkprojekten senkt nicht nur die Aufwendungen und Kosten, sondern erlaubt eine verstärkte Ausdehnung auf ökologische Aspekte. Eine zukünftige Erweiterung um umweltrelevante Gesichtspunkte bezieht aus Sicht der Autorin die Fokussierung auf Fragen des Verbrauchs natürlicher Ressourcen wie Wasser, Energie und Rohstoffe mit ein, zielt also speziell auf die ressourcenschonende Vorbereitung, Fertigung, Aufstellung, Betriebsführung sowie den Rückbau von Offshore-Windkraftanlagen. Hinzu kommen die Auswahl und der Einsatz von Ressourcen und Arbeitsumgebungen nach Gesichtspunkten, die sich unter dem Begriff ‚Design for Environment‘ (DfE) zusammenfassen lassen. DfE umfasst allgemein Konzepte zur Reduzierung von Umweltauswirkungen von Produkten, Prozessen oder Dienstleistungen. DfE fokussiert auf die Integration von ökologischen Gesichtspunkten bereits in der Entwicklungs- bzw. Designphase sowie auf die Reduktion der Umweltauswirkungen über den kompletten Lebenszyklus [Gabler2011]. Bereits das Aufsammeln und Integrieren fertigungsprozess-relevanter Informationen in das Gesamtmodell, wie sie MES-Systeme liefern, ermöglicht die Berücksichtigung ‚grüner‘ Zielstellungen bereits in den frühen Phasen der Planung. Durch eine modellseitige Anreicherung mit Informationen auch der Produktnutzungsphase, im OWP-Kontext der Betriebsphase, lässt sich dieser Effekt noch verstärken. Zudem unterstützt die Integration von Feedbackdaten eine bessere Umsetzung von Fehlerminimierungsstrategien [Abramovici et al2008] –

die ebenfalls positive ökologische Auswirkungen nach sich ziehen können. Eine Einbeziehung von Aspekten des ‚Design for Environment‘ ergibt aus Sicht der Autorin somit eine wichtige, weiterführende Ergänzung des vorliegenden OWP-Modellansatzes. Fragen der Bestimmung energetischer Lebenszykluskosten und deren Beeinflussbarkeit erhalten hier eine andere Priorisierung [Trotta2010, S. 313 ff]. Ein den gesamten Lebenszyklus unter systemtheoretischen Gesichtspunkten betrachtendes informationstechnisch gestütztes Modellkonzept lässt zudem eine Nachnutzung des OWP- Modells auch in anderen Aufgabenbereichen zu. Produkte, die sich aufgrund ihrer Größe, ihrer komplexen, durch viele Einzelfaktoren bestimmten Planungsphasen und typischen langen Betriebsphasen nur in Form von Projekten umsetzen lassen, profitieren von einer Übertragung des vorgestellten Modells. Jedes im Sinne der vorgestellten Definition als **Asset** zu betrachtende Produkt durchläuft einen, dem Offshore-Windpark vergleichbaren Lebenszyklus und ist durch Fragen des Planungsvorlaufs, der Beantragungintensität, des Kostenreduktionsdrucks und der Komplexität bei der Umsetzung gekennzeichnet. Auch hier machen sich Fehler innerhalb der Planung aufgrund der sehr langen Betriebsdauer um ein Vielfaches bemerkbar und sorgen für den Erfolg oder auch Misserfolg des Projektes. Fragen des integrierten Service-Managements zur verbesserten Planung von Wartung und Instandhaltung stehen beim Asset-Management z.B. komplexer Industrieanlagen oder auch Kraftwerke, vergleichbar im Fokus wie bei den untersuchten Offshore-Windparks. Die Offenheit und der objektorientierte, auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen basierende Ansatz des Modells, einschließlich der Umsetzung auf verfügbaren PLM-Plattformen, erleichtern eine Adaption auf andere Domänen. Für das OWP-Modell lassen sich durch Anpassung auf andere Anwendungsbereiche Varianten erzeugen, die durch Instanziierung und Verwaltung dieser Instanzen die jeweilige anwendungsbezogene „Bill-of-Knowledge“ ergeben. Eine Anpassung des Modells lässt sich durch:

- 1) das Hinzufügen von anwendungsspezifischer Funktionalität zu den bestehenden OWP-domänenspezifischen Businessobjekten oder,
- 2) einer auf den generischen Basisobjekten und den domänenneutralen Businessobjekten aufsetzenden, spezifischen, den jeweiligen Kontext abbildenden, eigenen *Fachdomäne*

vornehmen. Eine Erweiterung und Flexibilisierung des Objektmodells folgt den bekannten, objektorientierten Paradigmen der Vererbung und Aggregation.

Eine Steigerung der Planungsqualität auch im Produktprojekt-Bereich mit seiner eher auf Unikat als auf Serienfertigung ausgelegten Vorgehensweise lässt sich ebenfalls durch die verstärkte Integration von Monitoring- und Regelungswerkzeugen zum Soll-/Ist-Abgleich erreichen. Die Zusammenführung von Werkzeugen der Online-Erfassung der aktuellen Prozessinformationen mit denen der Produktprojekt-Planung und -Organisation innerhalb des OWP-Modells erlaubt neben einer Transparenz der aktuellen Abläufe auch eine Transparenz bezogen auf die abgelaufenen Ereignisse, die wiederum die Grundlage für zukünftige Prozessplanungen darstellen. Letztendlich hängt die Planungsqualität auch von OWP-Projekten entscheidend von der Vorgabenqualität ab. Die Vorgabenqualität zu steigern heißt, das zugrunde liegende Modell zukünftig mit den Werten der Realität anzureichern. Die in 4.7 erwähnten Fertigungsmanagement-Systeme- MES – bieten hier entsprechende Funktionalitäten auch im Sinne eines erweiterten *Digital Manufacturing* [Grieves2006, S.185 ff]. Mit ihrer Hilfe wäre beispielweise dokumentierbar, welche Ressourcen zum Zeitpunkt der Prozessausführung warum gefehlt haben, welche Arbeitsumgebungen gerade ausgelastet oder nicht verfügbar sind, welche Störungen wo aufgetreten sind oder welche Anforderungen sich nicht innerhalb der geplanten (Teil-) Prozesse und warum umsetzen ließen. Dieser Ausblick berührt die Frage der Schnittstellen zwischen den verschiedenen Systemen. Das Meta-Modell spiegelt zwar den Anspruch auf eine einheitliche Sichtweise wider, allerdings sind die physischen Daten häufig nicht geschlossen in einer homogenen Datenbasis vorhanden sind. Eine modellseitige Ergänzung mit MES-generierten Informationen, aber auch mit denen des Condition Monitorings sowie wichtiger Wetterprognosedaten, setzt eine entsprechende Integrationsfähigkeit des Gesamtkonzeptes, der zugrunde liegenden Plattform und eine Offenheit der vorhandenen Schnittstellen voraus. Eine effiziente technische Anbindung an diese Systeme lässt zukünftig eine gesteigerte Planungsqualität aber auch Akzeptanz bezüglich der Nutzung erwarten. Unter

Einbeziehung dieser Informationen steigen ebenfalls die Möglichkeiten der Vorwegnahme kritischer Situationen durch realitätsnahe Vorabsimulationen, die letztlich erheblichen kostensenkenden Einfluss besitzen können und integraler Bestandteil einzubeziehender Konzepte der digitalen Fabrik sind.

Ein weiterer, wichtiger Ergänzungspunkt des vorliegenden Modells besteht aus Sicht der Autorin in der Erarbeitung einer Methodik zur Ermittlung der Auswirkungen von Einflussfaktoren auf die Strukturierung, und damit die Ausprägung des OWP-Modells und letztlich des Produktprojektes Offshore-Windpark. Die Art und der Grad der Beeinflussung legen bereits zu Beginn unterscheidbare Vorgaben für das Projekt fest, auf denen aufbauend Struktur-Gestaltungsrichtlinien ableitbar sind. Einflussfaktoren und Gestaltungsrichtlinien bestimmen so Grenzen, Umfang und Bestandteile des Projektablaufs. Hier einen wissenschaftlichen Ansatz zur Bewertung dieser Faktoren zu erarbeiten, könnte nach Meinung der Autorin einen zusätzlichen Beitrag zur Steigerung der Qualität des Gesamtmodells leisten.

Mittlerweile hat die installierte Windleistung in bestimmten Netzgebieten und Regelzonen bereits eine Größenordnung erreicht, dass in Starkwindzeiten durch Leistungsschwankungen verursachte Probleme bei der Netzregelung und Netzbetriebsführung auftreten können [Jarass et al2009, S.57 ff]. Dieser Aspekt ist besonders im Zusammenhang mit der Errichtung großer Offshore-Windparks von Bedeutung, die über einen Anschlusspunkt Leistungen im Bereich von mehreren Hundert MW bereitstellen. Hier ist die aktive Beteiligung der Windparks an der Netzbetriebsführung eine zukünftige Anforderung. Diese Aufgaben können laut [dena2010] jedoch durch die individuelle Regelung und Betriebsführung einzelner WEA allein nicht mehr gelöst werden, sondern erfordern zusätzlich eine übergeordnete Betriebsführung mit entsprechenden Sollwertvorgaben. Diese übergeordnete Betriebsführung für einzelne Windparks stellt eine Meta-Modellebene für die Betriebsphase dar, um die das vorhandene OWP-Modell ergänzt werden muss. Hierzu sind zusätzliche Anforderungen auch aus Sicht des regelverantwortlichen Netzbetreibers hinsichtlich Netzregelung und Netzsicherheit oder auch Anforderungen aus Sicht eingegangener Lieferverträge mit Stromhändlern (Plantreue) zu berücksichtigen [Heier2009, S.288]. Große Offshore- Windparks verfügen zukünftig über eine zentrale Betriebsführungseinheit, um den Betrieb vieler einzelner Windenergieanlagen entsprechend genau zu koordinieren und zu kontrollieren. Die hierzu notwendige IT-technische Unterstützung erfordert perspektivisch ebenfalls eine Entsprechung im diskutierten OWP-Modell.

Die Umsetzung von Produktprojekten laufen zunehmend im Rahmen von virtuellen Unternehmungen ab, die zeitlich begrenzte Netzwerke darstellen [Rupprecht2002, S.163]. Aus dieser Organisationsform ergeben sich spezifische Anforderungen an die Wissensakkumulation und deren Management innerhalb des Konsortiums. Letztlich führen Änderungen von Rahmenbedingungen im Prozess eines Partners auch zu Änderungen in Prozessen anderer Partner, die durch das übergreifende OWP-Modell verwaltet und propagiert werden müssen. Auch hier ist zukünftiger Forschungsbedarf gegeben.

Das innerhalb dieser Arbeit vorgestellte, generische Objektmodell stellt zusammenfassend einen Beitrag zum verbesserten Lebenszyklusmanagement komplexer Produktprojekte dar. Aus Sicht der Autorin lässt sich effizientes, IT-gestütztes Management zukünftig nur unter Berücksichtigung aller Sichten eines OWP's durchführen, die wiederum eine integrierende Herangehensweise erfordern. Aufgrund der Vielfalt der abzubildenden Informationen wurde hier auf ein methodisches Vorgehen bei der Objektmodellentwicklung fokussiert. Die Anwendbarkeit ließ sich, wie in den vorherigen Kapiteln diskutiert, nur anhand einzelner Anwendungsfälle und qualitativer Bewertungskriterien evaluieren. Der zunehmende politische Druck in Kombination mit der technischen Weiterentwicklung auf diesem Gebiet lassen allerdings verstärkte Investitionen in die lebenszyklusübergreifenden IT-Technologien und damit auch den Rückgriff auf entsprechende Modellkonzepte im Offshore Windenergie-Bereich erwarten. Es gilt, die sich ändernden Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung modellseitig zu berücksichtigen und softwaretechnisch zu unterstützen.

Anhang

AI. Unified Modeling Language

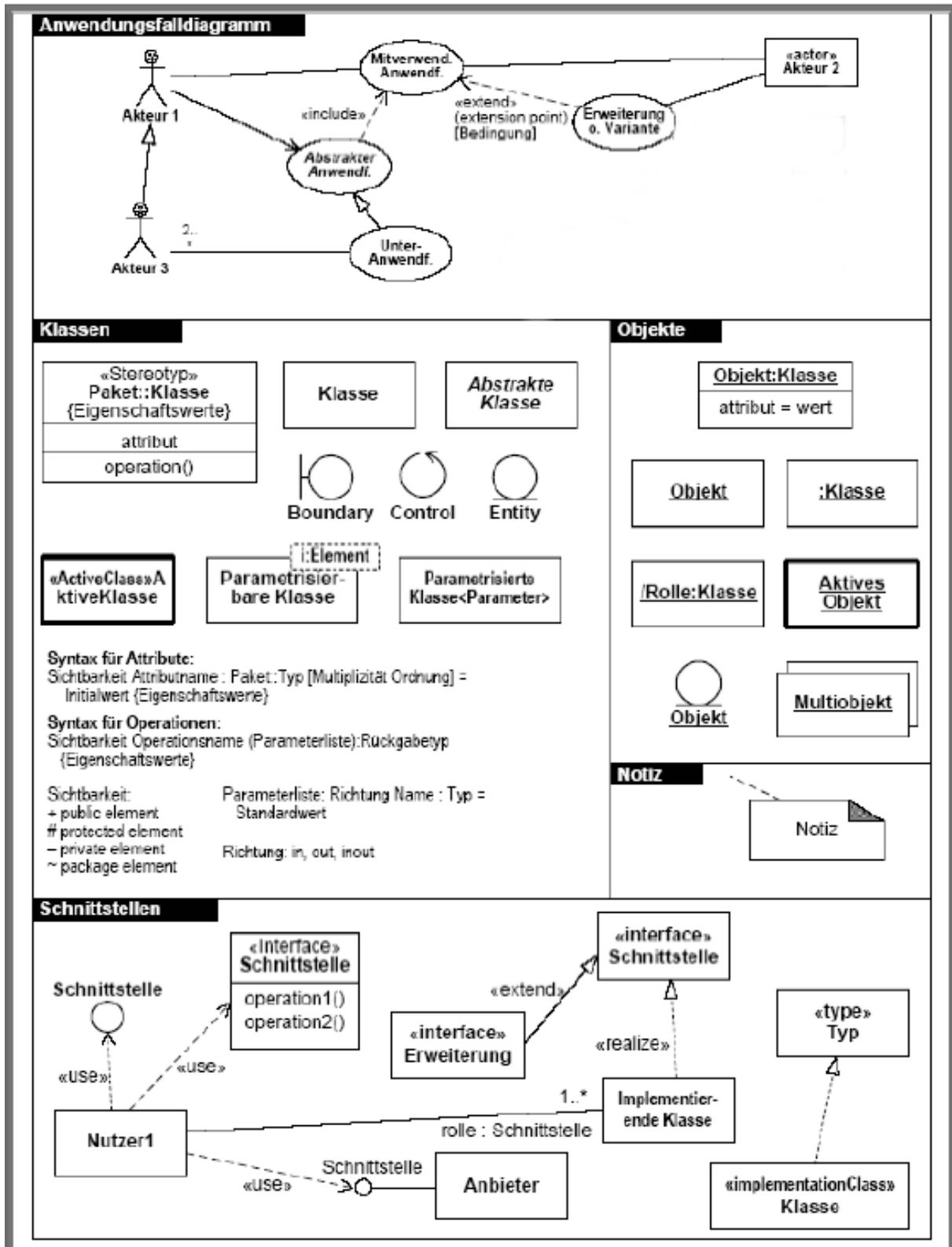


Abbildung 69: Teil 1: Notationsübersicht der UML 1.5 [OOSE2006]

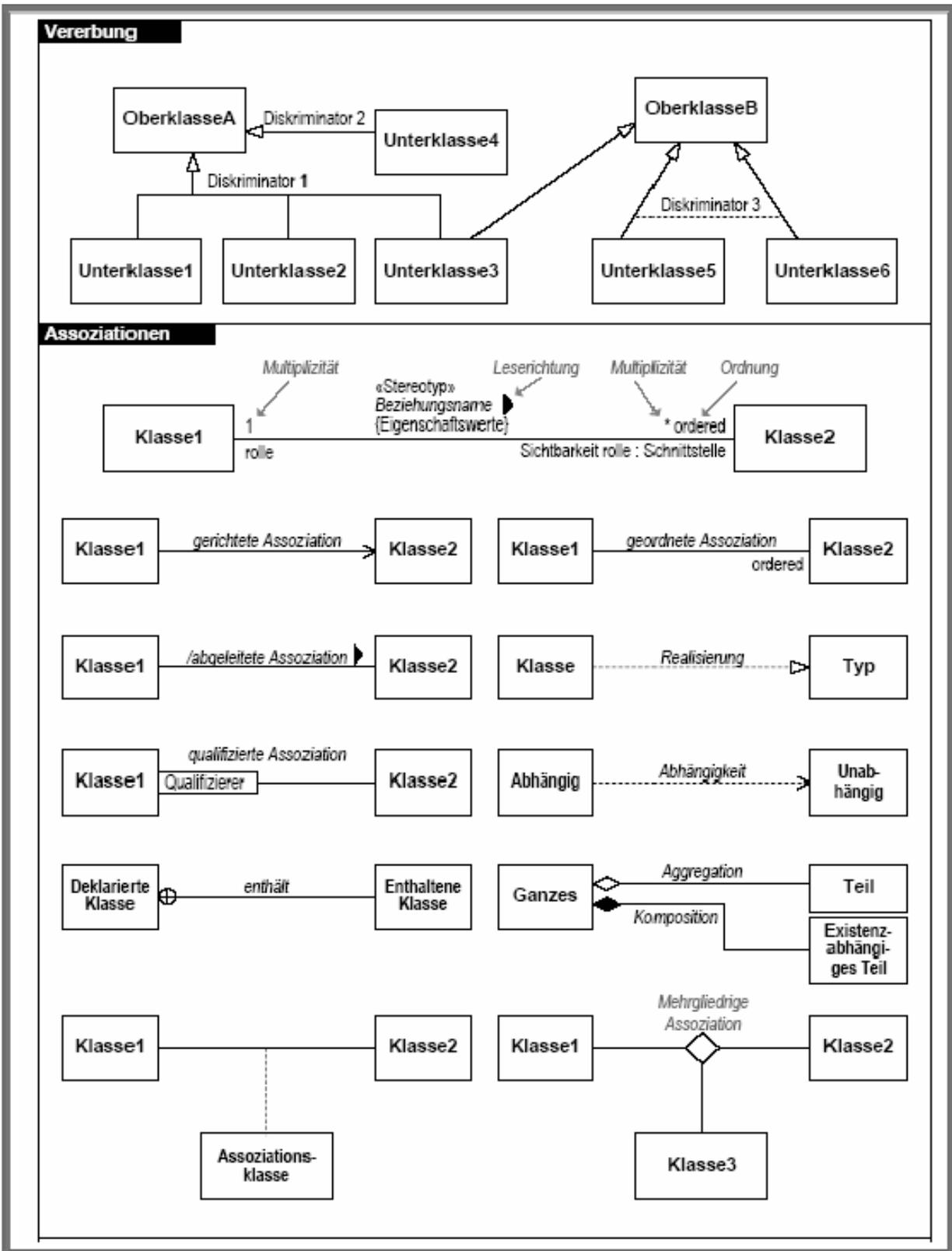


Abbildung 70: Teil 2: Notationsübersicht der UML 1.5 [OOSE2006]

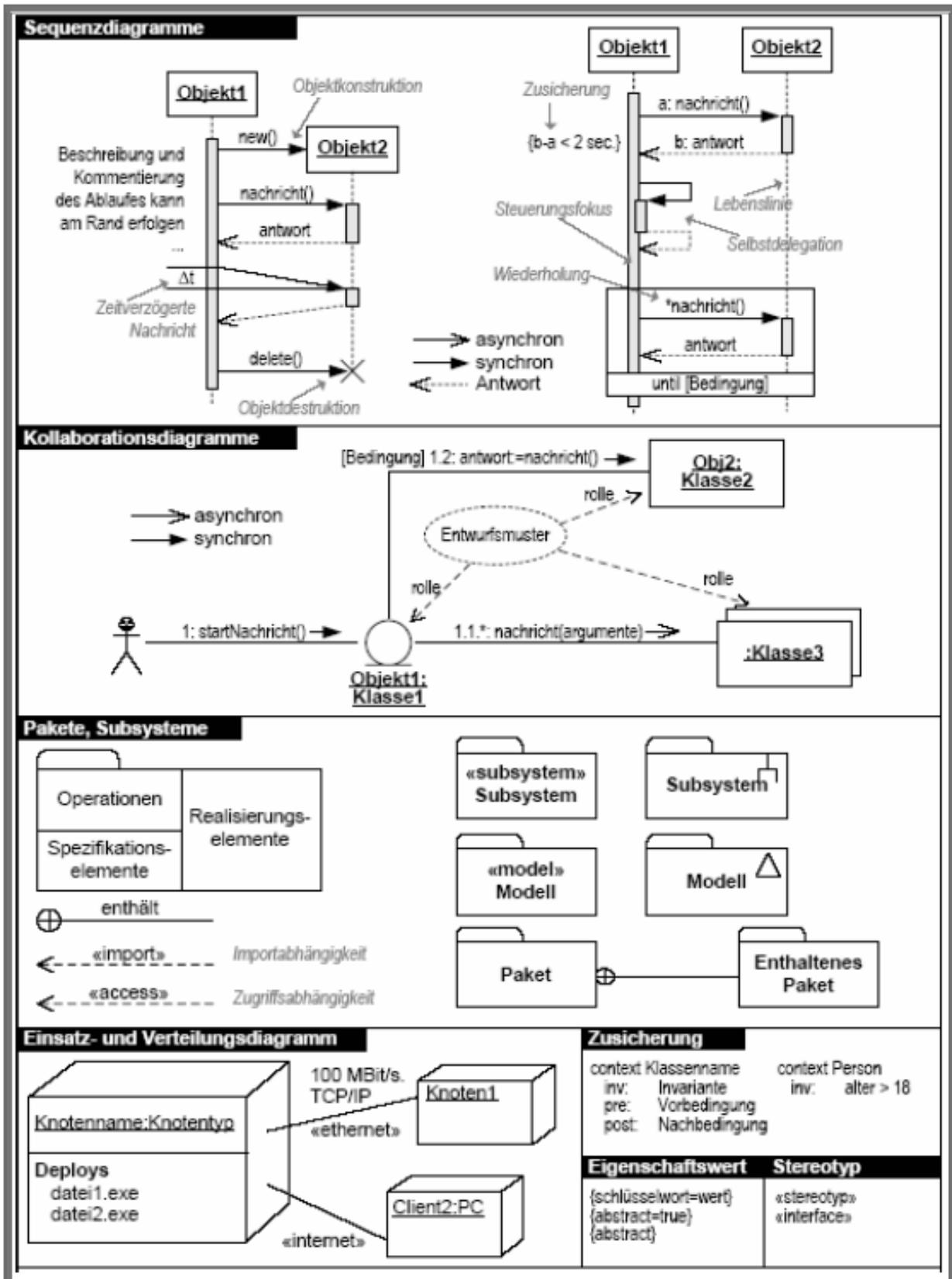


Abbildung 71: Teil 3: Notationsübersicht der UML 1.5 [OOSE2006]

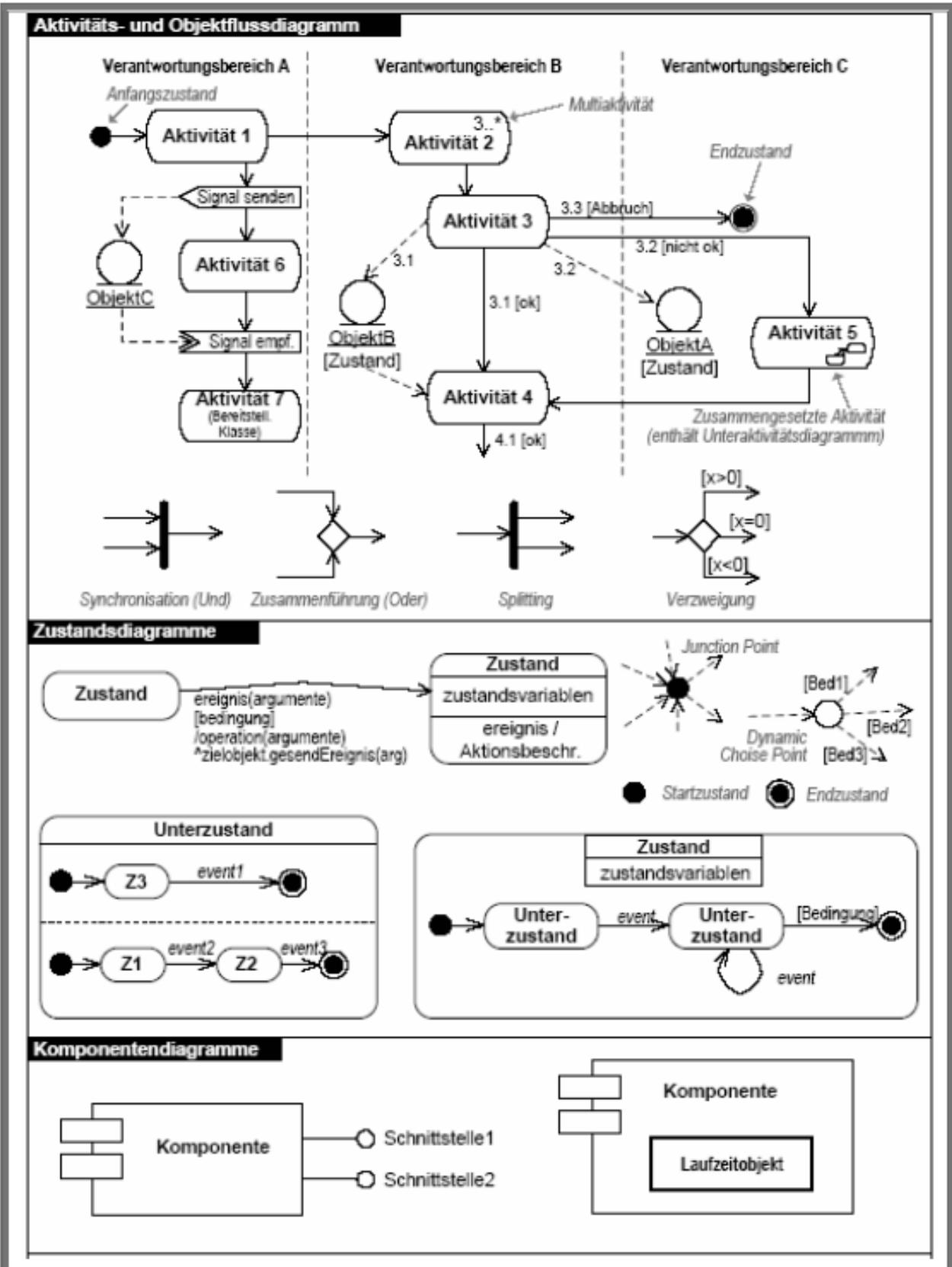


Abbildung 72: Teil 4: Notationsübersicht der UML 1.5 [OOSE2006]

All. Prototype – Screenshots

The screenshot displays the SAP software interface for implementing an 'OWP-Behörden-Engineering' process template. The main window shows a 'Process Structure' tree for 'OWP_Behörden-Engineering_01/A/1-Windpark1'. The tree lists various activities and their types, such as 'Vorbereitung_OWP-Projektantrag/A/1-Windpark1 (View)' and 'Dokumentenerstellung_OWP/A/1-Windpark1 (View)'. A 'Process Gantt' chart on the right shows the timeline of these activities, with a scale from 0 to 65. A 'PERT' chart at the bottom shows the sequence of tasks: 'Vorbereitung_OWP-Projektantrag/A/1-Windpark1' → 'Dokumentenerstellung_OWP/A/1-Windpark1' → 'Einreichung_OWP-Projektantrag/A/1-Windpark1' → 'Genehmigungserteilung/A/1-Windpark1' → 'Aufgabenmanagement/A/1-Windpark1' → 'Laufzeitscreenings/A/1-Windpark1' → 'Entsorgungsmanagement/A/1-Windpark1'. A 'Traceability Report' window is open, showing a table of defining objects and their relationships. The 'Properties' dialog for a 'Trace Link' is also visible, showing the primary and secondary references and the relation type.

Defining Object	Type	Defining Cont...	Relation Type	Owner	Group ID
Genehmigungserteilung/A/1-Windpark1	OWP2_GovProcessRevision		Trace Link	infoba (...)	
rechtlch_OWP_01-Windpark1	OWP2_LegalReqRevision		Trace Link	infoba (...)	
REQ-000022-rechtlch_OWP_01	OWP2_LegalRequirement		Trace Link	infoba (...)	
Aufgabenmanagement/A/1-Windpark1	OWP2_GovProcessRevision		Trace Link	infoba (...)	
antrag_OWP_01-Windpark1	OWP2_EnvironmentRequirement		Trace Link	infoba (...)	
REQ-000021-ankelobsch_OWP_01	OWP2_EnvironmentRequirement		Trace Link	infoba (...)	
Festlegung_Nebenbestimmungen/A/1-Windpark1	OWP2_SubProcessRevision		Trace Link	infoba (...)	
REQ-000022/A/1-rechtlch_OWP_01	OWP2_LegalReqRevision		Trace Link	infoba (...)	

Line	Type	Start(Sec...)	Duration(S...)	Start (Calc.) (sec)
1	MEActivity	0	0	3.2
2	OWP2_Activity	1.2	32	1.2
3	OWP2_SingleStep	0	0	0
4	OWP2_Activity	0	2	1.2
5	OWP2_Activity	0	0	3.2

Abbildung 73: Beispielimplementierung eines 'OWP-Behörden-Engineering' Prozesstemplates basierend auf dem OWP-Domänenmodell

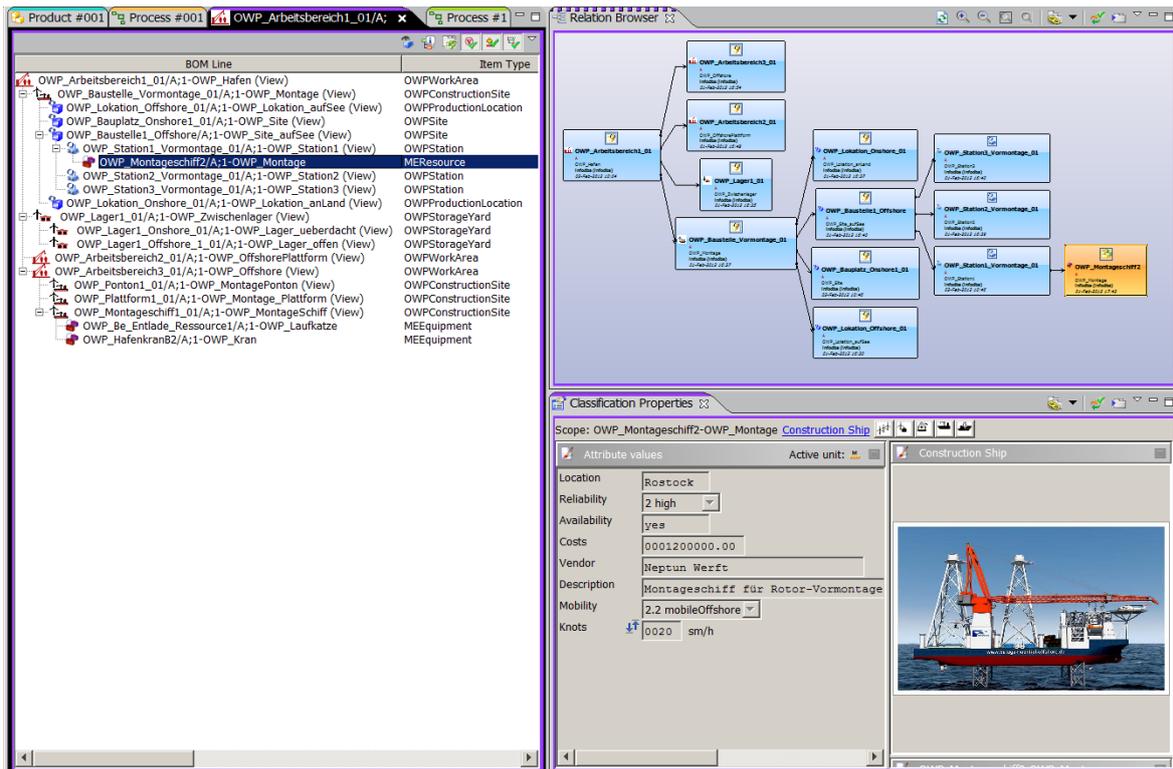


Abbildung 74: Beispiel einer assoziativen Beziehung zwischen OWP_Arbeitsbereich und den zugeordneten Ressourcen basierend auf dem OWP-Domänenmodell

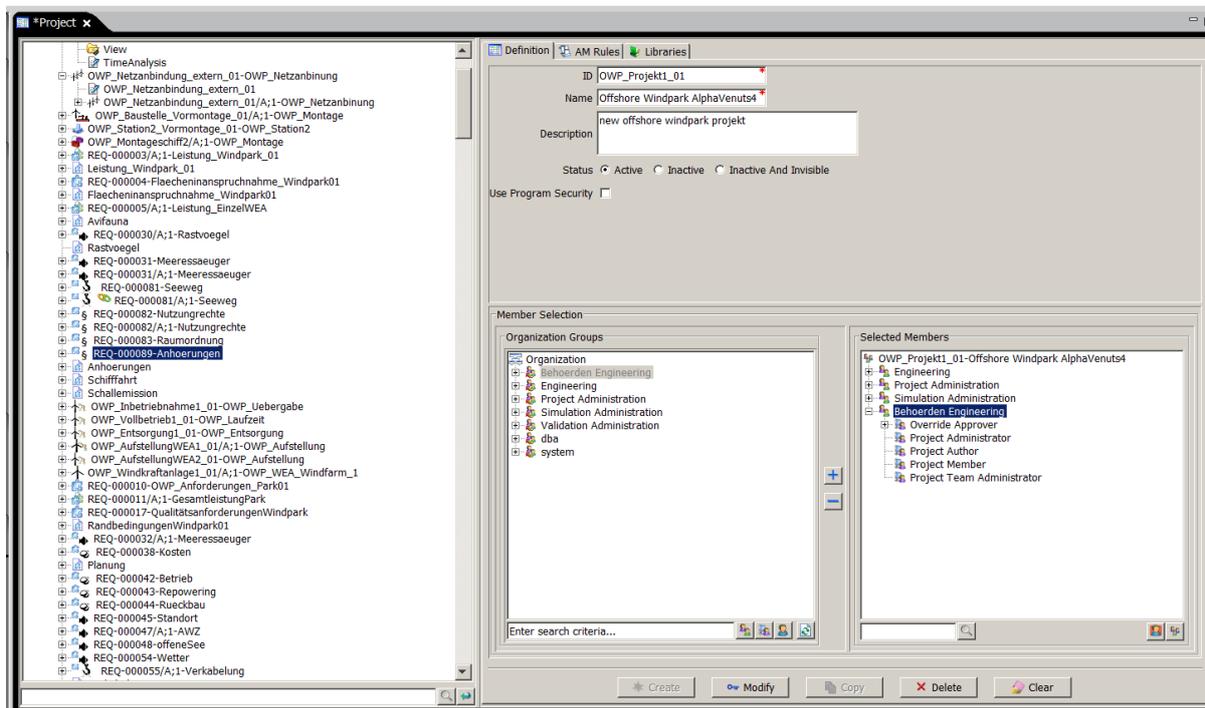


Abbildung 75: beispielhafte Abbildung der projektorientierten Sicht, Teil I- Zuordnung der Gruppen und Rollen

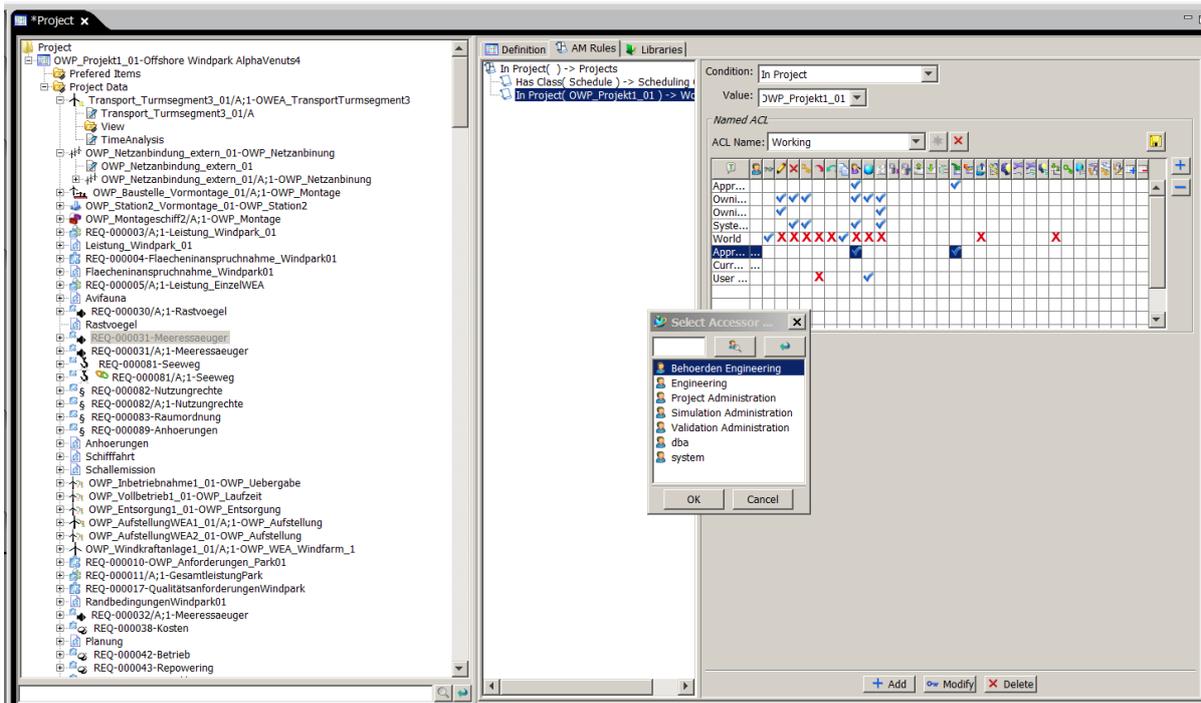


Abbildung 76: beispielhafte Abbildung der projektorientierten Sicht, Teil II – Zuordnung zu den Aufgaben

Umsetzung des Workflows Umweltverträglichkeitsstudie innerhalb des Behörden-Engineerings

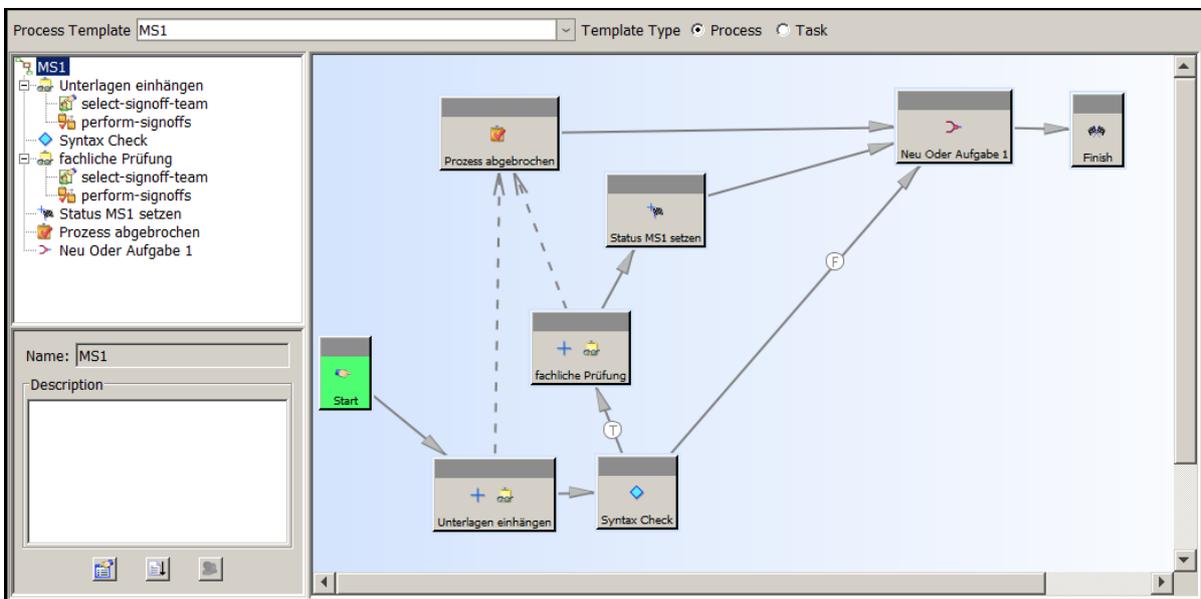


Abbildung 77: Teilprozess Antrag: Workflow 1– Umsetzung des Behörden-Engineerings: Meilenstein 1

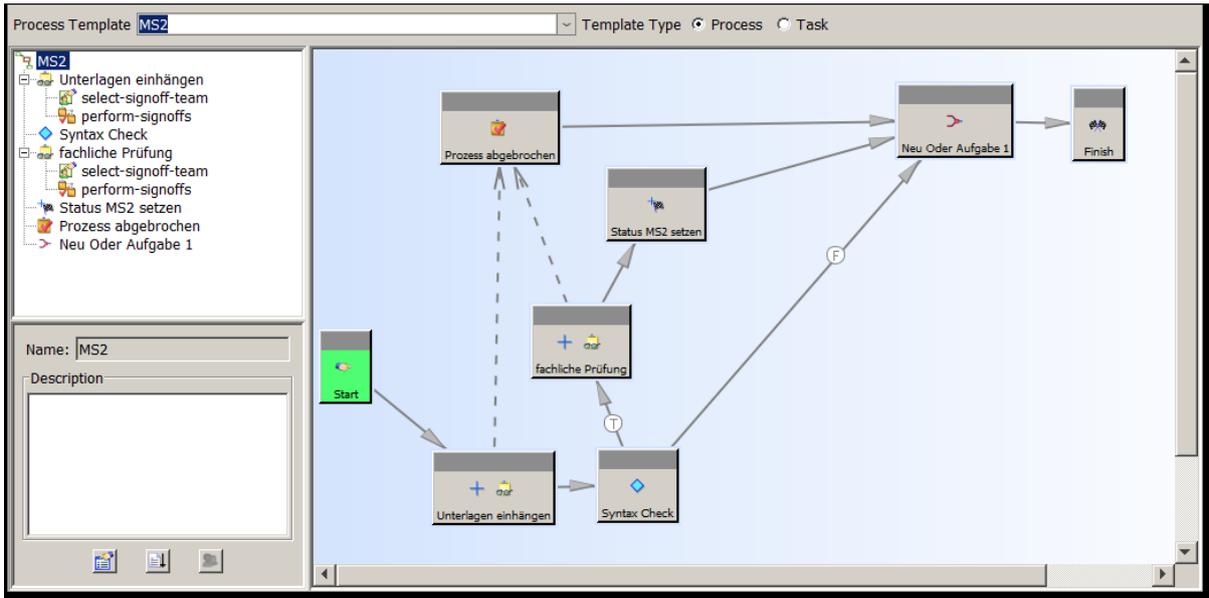


Abbildung 78: Teilprozess Freigabe:Workflow2– Umsetzung des Behörden-Engineerings: Meilenstein 2

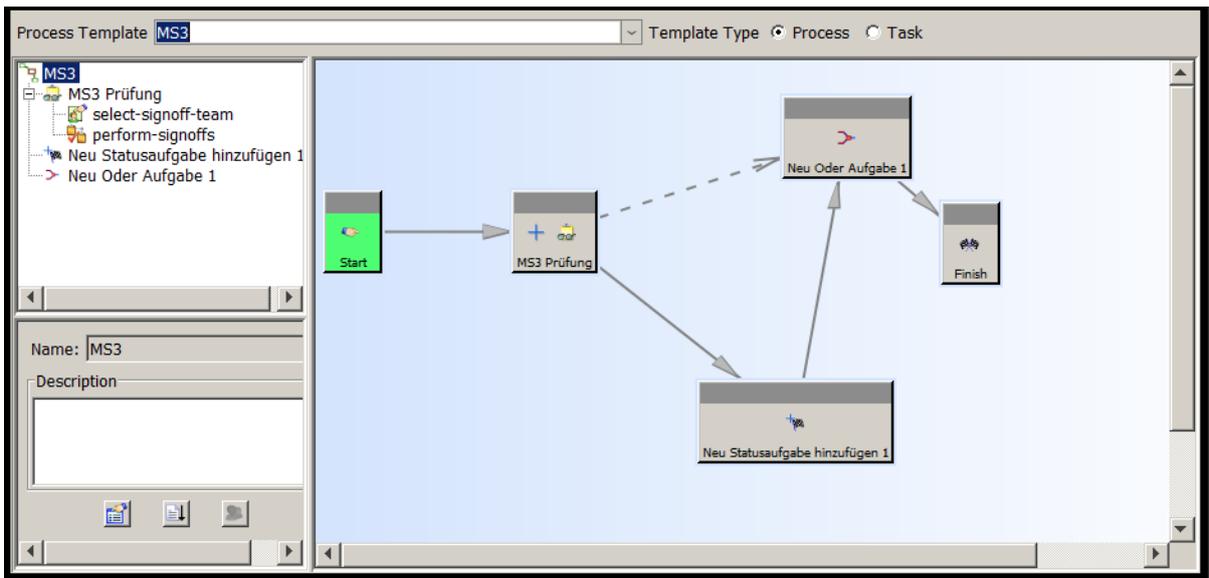


Abbildung 79: Teilprozess Abnahme: Workflow 3, Umsetzung Behörden-Engineering: Meilenstein 3

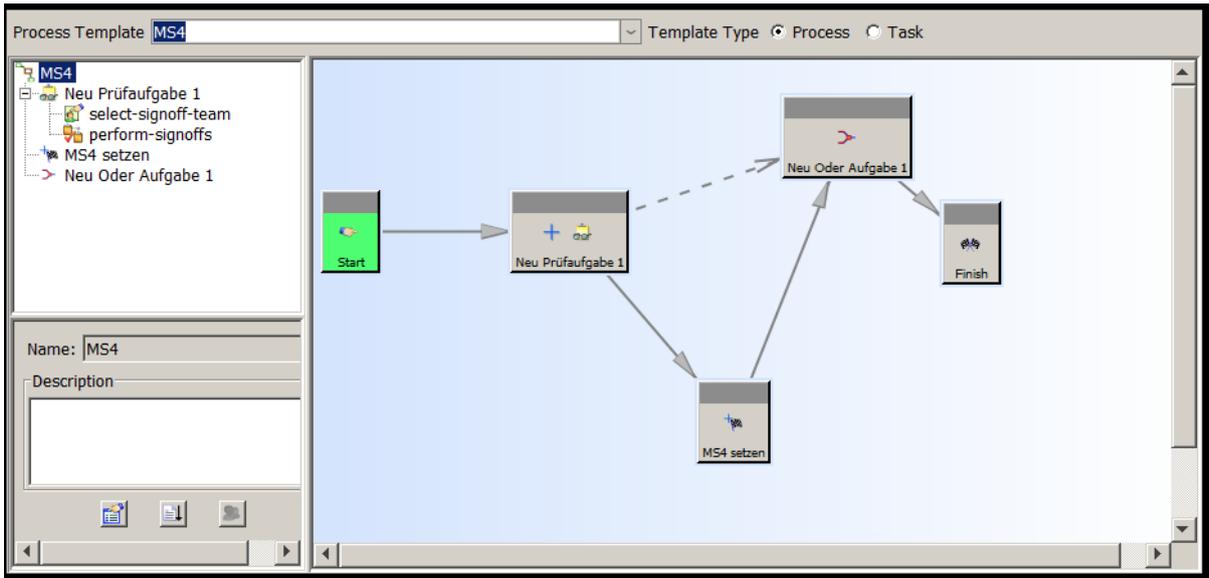


Abbildung 80: Teilprozess Abnahme der Analysen der Bauphase: Workflow 4, Umsetzung Behörden-Engineering: Meilenstein 4

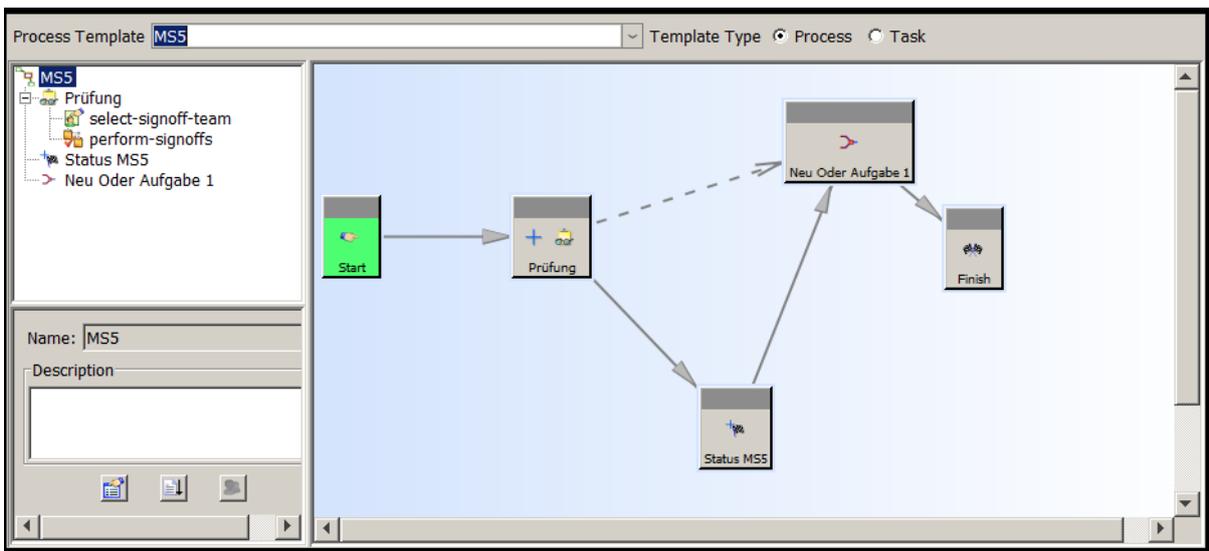


Abbildung 81: Teilprozess Abnahme der Maßnahmen: Workflow 5, Umsetzung Behörden-Engineering: Meilenstein 5

Literaturverzeichnis

- [Abramovici et al2008] „Integration von Feedbackdaten aus der Produktnutzungsphase im Rahmen der PLM-Konzeptes“; Michael Abramovici, Madjid Fathi, Alexander Holland, Manuel Neubach, http://ibis.in.tum.de/mkwi08/08_Entwicklungsprozesse_und_Product_Lifecycle_Management/04_PLM_Abramovici.pdf
- [AGEE-Stat2011] „Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010 –unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand: Dezember 2011
- [AlphaVentus2010] „Deutschlands erster Offshore-Windpark alpha ventus wird feierlich eröffnet“; Pressemitteilung vom 27. April 2010; www.alpha-ventus.de
- [ARGE2007] „Entwicklung einer Umweltstrategie für die Windenergienutzung an Land und auf See – Endbericht“; Arbeitsgemeinschaft für das FUE-Vorhaben UBA FKZ 203 41 144, 13.03.2007, http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/juristische_fakultaet/jfitur2/forschung/Umweltstrategie%20Wind%20Endbericht%20endg..pdf
- [Arzt,Weinhold2007] „Wer zuerst kommt“; Ingo Arzt, Nicole Weinhold; neue energie – das magazin für erneuerbare energien; Heft 12/07
- [Becker et al 1995] „Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung“; In: Wirtschaftsinformatik 37 5, S. 435-445, 1995
- [Bechberger et al 2008] „Windenergie im Ländervergleich- Steuerungsimpulse, Akteure und technische Entwicklungen in Deutschland, Dänemark, Spanien und Großbritannien“. Hrsg. Misha Bechberger, Lutz Mez, Annika Sohre, Peter Lang – Internationaler Verlag der Wissenschaften 2008
- [Binner2008] „Handbuch der prozessorientierten Arbeitsorganisation – Methoden und Werkzeuge zur Umsetzung“; Hartmut F. Binner; REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung; 3. Auflage, REFA Bundesverband e.V. Druckhaus Diesbach, Weinheim 2008
- [Blanchard,Fabrycky1991] „Life-Cycle Cost and Economic Analysis“; Benjamin S. Blanchard, Wolter J. Fabrycky; Prentice Hall -International Series in Industrial and Systems Engineering, Englewood Cliffs, 1991
- [Blaubach2002] „Anforderungsmanagement in IT-Projekten“; Stefan Blaubach, modulo3 GmbH, 2002, www.lasttest.com/data/lt2002_vortrag_anforderungsmanagement_in_it_projekten.pdf
- [BMU2007] „Entwicklung der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland“; Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Januar 2007; www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore_wind_deployment_de_en.pdf
- [BMU2008] „Erhöhung der Verfügbarkeit von Windkraftanlagen“; Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bzw. Forschungszentrum Jülich PTJ, Abschlussbericht Verbundprojekt 2008, Förderkennzeichen 0327574; www.wind-fgw.de/pdf/EVW_Abschlussbericht_%F6ffentlich.pdf
- [BSH2011] „Windparks – Genehmigung von Offshore Windenergieparks“; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Stand 06.06.2011, www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/index.jsp
- [BSH-Nr.7005] „Standard – Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen“; Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Stand 12.06.2007, BSH-Nr. 7005, www.bsh.de
- [Burghardt2007] „Einführung in Projektmanagement – Definition, Planung, Kontrolle, Abschluss“; Manfred Burghardt, Herausgeber Siemens Aktiengesellschaft, Berlin /München, 2007
- [BWE2009] „Zukunftsmarkt: Offshore“; Bundesverband WindEnergie e.V. ; www.wind-energie.de/de/themen/offshore/?type=55
- [BWE2010_2] „Aufbau einer Windkraftanlagen“; Bundesverband WindEnergie e.V., www.wind-energie.de/de/technik/projekte%5Cplanung/aufbau/

- [BWE2010_3] „Repowering von Windenergieanlagen“; Bundesverband WindEnergie e.V., März 2010, http://www.windenergie.de/sites/default/files/download/publication/repowering-von-windenergieanlagen/bwe_repowering-broschuere_05-2011.pdf
- [Crabtree2010] „Survey of Commercially Available Condition Monitoring Systems for Wind Turbines“; Christopher J Crabtree, Durham University, 2nd November 2010, www.supergen-wind.org.uk/docs/Survey%20of%20commercially%20available%20CMS%20for%20WT.pdf
- [DassaultSystems2011] „CATIA für den Maschinenbau“; Download 10.10.2011, <http://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS/CATIA/OFFERS/CATIA-FOR-INDUSTRIAL-EQUIPMENT/PDF/CATIA-for-Industrial-Equipment-de.pdf>
- [DCTI2009] „Windenergie – CleanTech-Branche in Deutschland – Treiber im Fokus“, Cleantech Studienreihe, Studienband 2; Deutsches CleanTech Institut, 2009
- [dena2005] „Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020“; Konsortium: DEWI / E.ON Netz / EWI / RWE Transportnetz Strom / VE Transmission, Endbericht, Köln, 24. Februar 2005
- [dena2010] „Der Weg zum Offshore Windpark“; Deutsche Energie-Agentur, Stand 12/2010, www.dena.de
- [DEWI12001] „Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz –Teil 1“, Deutsches Windenergie-Institut GmbH (DEWI), Wilhelmshaven April 2001, www.bundesumweltministerium.info/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore02.pdf
- [DEWI2005] „Konzept für eine stufenweise Entwicklung des Stromnetzes in Deutschland zur Anbindung und Integration von Windkraftanlagen Onshore und Offshore unter Berücksichtigung der Erzeugungs- und Kraftwerksentwicklungen sowie der erforderlichen Regelleistung“. Konsortium: DEWI / E.ON Netz / EWI / RWE Transportnetz Strom / VE Transmission, Februar 2005, www.deutsche-energie-agentur.de
- [Dietrich2011] „Betriebsdaten- und Datenbankmanagementsysteme“; Ute Dietrich, Vorlesungsscripte, Beuth-Hochschule Berlin, Wintersemester 2011/12
- [Dietrich,Glauche2011] „Durchgängige IT-Unterstützung der Lebenszyklusphasen von Offshore-Windkraftanlagen“; Ute Dietrich, Marc Glauche, 9. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik, S. 163-167, Rostock, 06.-07. Oktober 2011
- [DIN FB50] „Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management: Forschung- und Entwicklungsbedarf im Rahmen der entwicklungsbegleitenden Normung (EBN)“; DIN-Fachbericht 50, Beuth Verlag Berlin, 1996,
- [DIN 69901-5] „Gesamtheit von Führungsaufgaben, -organisation, -techniken und –Mitteln für die Initiierung, Definition, Planung, Steuerung und den Abschluss von Projekten“, Beuth Verlag Berlin 2009
- [Eckardt et al2002] „Offshore Windenergie – Chancen und Herausforderungen im Überblick“; Volker Eckhardt, Rudolf Kafemann, Klaus-Peter-Lehmann, Klaus Övermöhle, Ingo Rennert, Wolfgang Wollert; Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gerhard Hosemann zum 80. Geburtstag gewidmet, 2002, www.oevermoehle-consult.de/inhalt/Elektrie%20offshore_artikel.pdf
- [Ehrlenspiel,Kiewert,Lindemann2007] „Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement“; Klaus Ehrlenspiel, Udo Lindemann, Alfons Kiewert, 6. überarbeitete Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- [Elwert2007] „Zur Entwicklung eines Leitbildes Bauwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland“; Prof. Elwert, Workshop „Lebenszykluskosten“, 28.11.2007, Berlin; www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/27578/publicationFile/34/workshop-lebenszykluskosten-am-28-11-2007-in-berlin.pdf
- [Eigner,Stelzer2009] „Product Lifecycle Management-Ein Leitfaden für Product Development und LifeCycle Management“. Martin Eigner, TU-Kaiserslautern; Ralph Stelzer, TU-Dresden; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009

- [Eisenack et al1999] „Möglichkeiten und Grenzen qualitativer und semiquantitativer Modellierung von Natur-Gesellschafts-Interaktionen“; Klaus Eisenack, Oliver Moldenhauer, Fritz Reusswig, Sondierungsstudie im Rahmen des BMBF-Förderprogramms „Sozial-ökologische Forschung“ (07SOE11), Abschlussbericht, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) 1999, http://www.sozial-oekologische-forschung.org/intern/upload/literatur/eisenack_natur_gesellsch_interaktion.pdf
- [EEC2011] „Hintergründe der Offshore-Windtechnologie“; Eneuerbare-Energien.cc; www.erneuerbare-energien.cc/offshore-windparks.php
- [E.ON2011] „Sandbank Power verkauft Offshore-Windpark ‚Sandbank 24‘ “; Archiv Nachrichten 08; Oldenburg, den 25.11.2011, <http://stromvergleichenbieter.info/archiv-nachrichten/archiv-nachrichten-08/>
- [EWEA2009] „Wind Energy – The Facts, The Executive Summary“; The European Wind Energy Association; Brussels, 2009
- [Fettke2011] „Objektorientierte Modellierung“; Peter Fettke, Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik; online-Ausgabe, Mai 2011; <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-encyklopaedie/lexikon/is-management/Systementwicklung/Hauptaktivitäten-der-Systementwicklung/Problemanalyse-/Objektorientierte-Modellierung>
- [Fischer2010] „Product Lifecycle Management (PLM)“; Jörg W. Fischer, Vorlesung Rechnereinsatz und Datennetze in der Produktion, Beuth Hochschule Berlin
- [FINO2010] „FINO – Forschungsplattformen in Nord- und Ostsee“; GL-Wind; www.fino-offshore.de
- [Frank2000] „Modelle als Evaluationsobjekt: Einführung und Grundlagen“; Ulrich Frank, Erschienen in: Häntschel, I.;Heinrich, L.J. (Hrsg.): „Evaluation und Evaluationsforschung in der Wirtschaftsinformatik“, Oldenbourg-Verlag 2000, S. 339-352
- [Frank2004] „Ebenen der Abstraktion und ihre Abbildung auf konzeptionelle Modelle – oder: Anmerkungen zur Semantik von Spezialisierungs- und Instanziierungsbeziehungen“; Ulrich Frank, Institut für Wirtschaftsinformatik Universität Koblenz, 2004; www.wi-inf.uni-dukoblenz.de/FGFrank/documents/Zeitschriftenartikel/Abstraktionsebenen.pdf
- [FraunhoferISI2009] „Klimaschutz: 80 Prozent weniger Treibhausgase sind umsetzbar“; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Pressinformation 01.12.2009, <http://isi.fraunhofer.de/isi-de/service/presseinfos/2009/pri09-27.php>
- [Freund2011] „Knowledge makes the world go round – Wissen- eine Definition“; Robert Freund, 2011, www.robertfreund.de/blog/wissen/wissen-eine-definition/
- [Gabler2011] „Gabler Wirtschaftslexikon Online“; @Springer Gabler, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>
- [Gasch,Twele2010] „Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb“ Hrsg.: Robert Gasch, Jochen Twele, 6. Auflage, Teubner-Verlag 2010
- [Geramanis2007] „Gruppen-Kompass – Gruppen zwischen Struktur und Prozess“; Olaf Geramanis, Basel Juli 2007, www.gruppensystemik.ch/downloads-1/gruppen_kompass.pdf
- [Goesmann2002] „Ein Ansatz zur Unterstützung wissensintensiver Prozesse durch Workflow-Management-Systeme“; Thomas Goesmann, Dissertation TU Berlin, 2002, http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2002/368/pdf/goesmann_thomas.pdf
- [Grellet2010] „Windenergienutzung in Europa – Rechtliche Fragestellungen rund um die Errichtung und den Betrieb von Windenergieanlagen“; Linus Yves Grellet, Dissertation , Springer-Verlag/WienNewYork, Springer Science + Business Media 2010
- [Grieves2006] „Product Lifecycle Management – Driving the next Generation of Lean Thinking“, Michael Grieves, McGraw-Hill Companies, Inc., 2006

- [Gronau et al2003] „M-Wise: Modellierung wissensintensiver Prozesse im Software Engineering“; Norbert Gronau, Mathias Uslar, Torsten Winkler; Universität Potsdam, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Electronic Gouvernement, www.softwarefoerderung.de/projekte/m-wise/beitrag_MWISE.pdf
- [Guillermin2011] „Wind blade manufacturers face balancing act“; Dr. Oliver Guillermin, Director of Product and Market Strategy at VISTAGY Inc., REINFORCED plastics January/February 2011, www.reinforcedplastics.com
- [Hagge,Lampe2007] „Anforderungsmanagement in einem interdisziplinären Projekt“; Lars Hagge, Kathrin Lampe, Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) Hamburg, 2007
- [Hau2008] „Windkraftanlagen – Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit“; Erich Hau; 4. vollständig neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
- [Heier2009] „Windkraftanlagen – Systemauslegung, Netzintegration und Regelung“; Siegfried Heier, 5. überarbeitete und aktualisierte Auflage, Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage GmbH 2009
- [Heitmann2011] „Offshore-Hafenatlas – Überblick über die vorhandenen Kapazitäten und notwendigen Investitionen“; Klaus Heitmann, DVZ-Symposium „Offshore-Windenergie“, Bremen, 14. April
- [Herrmann2010] „Ganzheitliches Life Cycle Management – Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen“; Christoph Herrmann, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010
- [Hoffmann2002] „Analyse und Unterstützung von Wissensprozessen als Voraussetzung für erfolgreiches Wissensmanagement“; M. Hoffmann, . In: Abecker, A. (Herausgeber): Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement, Berlin Heidelberg New York, 2002.
- [Höring2011] „Condition Monitoring für Offshore Windparks – Ein Baustein zur Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit und zur Risikominimierung“; Bernd Höring, Deutsche Montan Technologie GmbH, Februar 2011, www.conditioncontrol.de
- [Hou1993] „Professional Evaluation: Social Impact and Political Consequences“; E.R. House, Newbury Park, Ca. 1993
- [Instandhaltung2011] „Instandhaltung Offshore“; T.A. Cook & Partner Consultants ; Instandhaltung Heft 9 2011; www.instandhaltung.de/2011/09/instandhaltung-offshore/
- [Jacobs,Swink2011] „Product Portfolio architectural complexity and operational performance: Incorporating the roles of learning and fixed assets“; Mark A. Jacobs, Morgan Swink, Journal of Operations Management 29 (2011) 677-691, 13. April 2011, www.elsevier.com/locate/jom
- [Jarras et al2009] „Windenergie – Zuverlässige Integration in die Energieversorgung“; Lorenz Jarass, Gustav M. Obermair, Wilfried Voigt, 2., vollständig neu bearbeitete Auflage @Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009
- [Jendoubi2007] „Management mobile Betriebsmittel unter Einsatz ubiquitärer Computersysteme in der Produktion“; Lamine Jendoubi, Dissertation Universität Stuttgart, 2007; http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2007/3195/pdf/Diss_Jendoubi_hs.pdf
- [Jonsson2000] „Ein integriertes Objektmodell zu durchlaufplanorientierten Simulation von Produktionssystemen“; Uwe Jonsson, Dissertation, Universität Karlsruhe Aachen: Shaker Verlag, 2000.
- [Kaltschmitt et al2006] „Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte“; Martin Kaltschmitt, Wolfgang Streicher, Andreas Wiese; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006
- [Karcher2006] „Ganzheitliches Product Lifecycle Management (PLM) – Vom notwendigen Übel zum strategischen Erfolgsfaktor“; Andreas Karcher, projekt MANAGEMENT, 4/2006
- [KEMMERICH2011] „Netzrückspeisung mit Turbine, Wind- oder Wasserrad oder am Dieselgenerator etc. auch ohne Getriebe“; Copyright Kemmerich Elektromotoren, 51647 Gummersbach/Germany; Download 12.12.2011, http://www.elektromotoren.de/Rueckspeisung_AS-Motor_FU_REinheit.html

- [Kemminer1999] „Lebenszyklusorientiertes Kosten- und Erlösmanagement“; Jörg Kemminer, Dissertation, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden 1999
- [Kienbaum2008] „Asset Management“; Kienbaum Management Consultants International GmbH; www.kienbaum.de/Portaldata/3/Resources/documents/downloadcenter/broschueren/management_consulting/Indassetdeutsch.pdf
- [Kletti2007] „Konzeption und Einführung von MES-Systemen“; Jürgen Kletti, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- [Kohler2010] „Der Weg zum intelligenten Energiesystem; von Smart Grids zu Smart Systems im Ostseeraum“; Stephan Kohler, Baltic Sea Forum, Hamburg, 14. 04.2010, www.dena.de/infos/veranstaltungen/vortraege-s-kohler/
- [Köppel et al2004] „Entwicklung von naturschutzfachlichen Kriterien zur Abgrenzung von besonderen Eignungsgebieten für Offshore-Windparks in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) von Nord- und Ostsee“; Johann Köppel, Wolfgang Peters und Ines Steinhauer; BfN-Skripten 114, 2004; www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/skript114.pdf
- [Kölscheid1999] „Methodik zur lebenszyklusorientierten Produktgestaltung . ein Beitrag zum Life Cycle Design.“, W. Kölscheid, Dissertation RWTH Aachen, WZL-Berichte aus der Produktionstechnik, Band17/99, Aachen: Shaker Verlag, 1999
- [KPMG2011] „Offshore-Wind – Potenziale für die deutsche Schiffbauindustrie– Studie“; KPMG, 2011, www.kpmg.de/docs/offshore_wind_copyright_230511.pdf
- [Lange2005] „Einbindung von Solar- und Windkraft-Anlagen in dezentrale Energieversorgungssysteme“; Andreas Lange, Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2005, <http://diglib.uni-magdeburg.de/Dissertationen/2005/andlange.pdf>
- [Larman2005] „UML2 und Patterns angewendet – Objektorientierte Softwareentwicklung“; Craig Larman, @ Copyright 2005-2009 by mitp-verlag; Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, 2005
- [LOG-OWEA2010] „Verbesserung der Planungsgrundlagen für kampagnengeprägte Supply Chains (SC) am Beispiel von Offshore- Windenergieanlagen (OWEA)“; Abschlussbericht für den Zeitraum 01.05.2009-31.03.2010, AIF-Vorhaben-Nr. GAG: 16053 BG, AiF Otto von Guericke, www.bvl.de/files/441/481/522/578/Abschlussbericht_LOGOWEA-Veroeffentlichung.pdf
- [Lübke2006] „Lebenszyklusorientiertes Produktstrukturmanagement – eine theoretische und empirische Untersuchung“; Ekkehard Lübke, Promotion TU München, München, TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG 2007
- [Mansour2006] „Informations- und Wissensbereitstellung für die lebenszyklusorientierte Produktentwicklung“; M. Mansour, Dissertation, TU Braunschweig, Essen: Vulkan Verlag 2006
- [Mateika2005] „Unterstützung der lebenszyklusorientierten Produktplanung am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus“; Marc Mateika, Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig, Vulkan Verlag, 2005
- [Matsokis et al2010] „An Ontology-based Model for providing Semantic Maintenance“; Aristeidis Matsokis, Mohamed Hedi Karray, Brigitte Chebel-Morello, Dimitris Kiritsis, 1 st IFAC workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology, A-MEST'10, Lisbonne, Portugal 20 Jul 2010
- [Metaphysik VII 10]:“ *Metaphysik*“; Aristoteles, Griechisch–deutsch. Neubearbeitung der Übersetzung von [Herrmann Bonitz](#). Mit Einleitung und Kommentar herausgegeben von Horst Seidl. Griechischer Text in der Edition von [Wilhelm Christ](#), Erster Halbband (Bücher I–VI), 3. verbesserte Auflage, Meiner, Hamburg 1989, [ISBN 978-3-7873-0932-0](#) , Zweiter Halbband (Bücher VII–XIV), 3. verbesserte Auflage, Meiner, Hamburg 1991, [ISBN 978-3-7873-1021-0](#)
- [Nolte2009] „QVT Relations Language“; Siegfried Nolte, Xpert press ISSN 1439-5428, @Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009

[Oelsnitz1994] „Der Systemansatz und seine Erkenntnisgrenzen“; Dietrich von der Oelsnitz, Technische Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftswissenschaften 1994, Arbeitspapier Nr. 94/02, ISBN: 3-930166-13-5

[OOSE2006] „UML-Notationsübersicht, Teil 1-4“; ©2006 by oose.de GmbH, Aktuelle Fassung, Info und Download: <http://www.oose.de/uml>

[Orosa et al2010] „New procedure for wind farm maintenance“; Jose Antonio Orosa, Armando C. Oliveira, Angel Martin Costa, Industrial Management & Data Systems, Vol. 110 No. 6, 2010

[Pfohl2002] „Prototypgestützte Lebenszyklusrechnung – Dargestellt an einem Beispiel aus der Antriebstechnik“; Markus Chr. Pfohl, Dissertation, in: Controlling Praxis, Verlag Vahlen, Mai 2002, ISBN 978-3-8006-2840-7

[Pieterman et al2011] „Optimization of maintenance strategies for offshore wind farms - A case study performed with the OMCE-Calculator“; R.P. van de Pieterman, H. Braam, T.S. Obdam, L.W.M.M. Rademakers, T.J.J. van der Zee, The Offshore 2011 conference, 29 November – 1. December 2011, Amsterdam, Netherland

[POWER2007] „POWER-Fallstudie: Europäische Offshore-Windparks – eine Untersuchung der Erkenntnisse und Erfahrungen von Offshore-Windpark-Projektentwicklern“; Gerhard Gerdes, Abrecht Tiedemann, Sjoerd Zeelenberg; 2007; [www.industrie-energieeffizienz.de/page/fileadmin/offshore/documents/F E/Technologie/Zusammenfassung der Fallstudie Europaeische Offshore-Windparks.pdf](http://www.industrie-energieeffizienz.de/page/fileadmin/offshore/documents/F_E/Technologie/Zusammenfassung_der_Fallstudie_Europaeische_Offshore-Windparks.pdf)

[Pulm2004] „Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung“; Udo Pulm, Dissertation, TU München, 2004, <http://tumb1.biblio.tu-muenchen.de/publ/diss/mw/2004/pulm.pdf>

[Rapp1998] „Produktstrukturierung“; T. Rapp, Dissertation, Universität St. Gallen, 1998

[RAVE2009] „Research At Alpha VEntus – Demonstration und Forschung zur Offshore - Windenergienutzung in Deutschland“; Forschungsinitiative des Bundesumweltministeriums zum ersten Offshore Windpark Projekt in Deutschland; Wolfhard Scheer; 2009;; <http://rave.iwes.fraunhofer.de/raveResources/welcome/RAVE-D-www.pdf>

[Rehfeld,Wallasch2008] „Stromerzeugung aus Windenergie“; Forschungsbericht zur Vorbereitung des EEG-Erfahrungsberichts 2007, Dritter Zwischenbericht, Dr. Knud Rehfeldt, Jan Wallasch, Deutsche WindGuard, März 2008; www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eeg_forschungsbericht_ergaenzung.pdf

[Remus2002] „Prozessorientiertes Wissensmanagement – Konzepte und Modellierung“; Ulrich Remus, Dissertation Universität Regensburg, 31. Mail 2002; <http://epub.uni-regensburg.de/9925/1/remusdiss.pdf>

[Richter2009] „Offshore-Windenergie in Deutschland – Potentiale, Anforderungen und Hürden der Projektfinanzierung von Offshore-Windparks in der deutschen Nord- und Ostsee“; Mario Richter, Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement (CNM) e.V., April 2009, http://www2.leuphana.de/umanagement/csm/content/nama/downloads/download_publicationen/75-7_download.pdf

[Rupprecht2002] „Ein Konzept zur projektspezifischen Individualisierung von Prozessmodellen“; Christian Rupprecht, Dissertation Universität Karlsruhe, 2002, <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/3042002>

[RWE2010] „RWE und Siemens bauen größten Windpark der Welt“; ZEIT ONLINE; 04.06.2010, dpa Reuters, <http://www.zeit.de/wirtschaft/unternehmen/2010-06/siemens-rwe-windpark-wales>

[Scheer et al2006] „Prozessorientiertes Product Lifecycle Management“; August-Wilhelm Scheer, Manfred Boczanski, Michael Muth, Willi-Gerd Schmitz, Uwe Segelbacher, : Berlin [u.a.] : Springer, 2006

[Schenk2010] „Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs“; Michael Schenk; Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –Automatisierung IFF, Springer-Verlag Heidelberg Dordrecht London New York, 2010

[Schild2005] „Lebenszyklusrechnung und lebenszyklusbezogenes Zielkostenmanagement“; Ulrich Schild, Dissertation Universität Göttingen 2004, Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2005

[Schindler2002] „Knowledge sharing by means of lessons learned repositories: How to assist understanding reflection and transfer“; R. Schindler, Paper presented at the International Conference on the Future of Knowledge Management, 08.-10.03.2002, Berlin.

[Schmidtke2004] „Eine axiomatische Charakterisierung räumlicher Granularität: formale Grundlagen detailgrad-abhängiger Objekt- und Raumrepräsentation“; Hedda R Schmidtke, Dissertation Universität Hamburg 2004, <http://www2.sub.uni-hamburg.de/opus/volltexte/2005/2409/pdf/dis-fb18-schmidtke.pdf>

[Schreiber2003] „Bewertung von Modellen“; Prof. Dr. Alfred Schreiber, Vorlesungsscripte ,27.03.2003; <http://www.gefilde.de/ashome/vorlesungen/anwendungen/modellbildung/modellbildung.html>

[Schuh et al2008] „Systemunabhängige Referenzprozesse für das PLM“; Günther Schuh, et al.: In: Veröffentlichungen des Werkzeugmaschinenlabor WZL, RWTH Aachen, 2008.

[Sendler2009] „Das PLM-Kompendium – Referenzhandbuch des Produkt-Lebenszyklus-Management“; Ulrich Sendler, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009

[SiemensPLM2011] „Eine Mobilitätsstrategie für PLM-Anwender“; Herausgeber: Siemens PLM Software. © 2011. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2011; http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/Images/Siemens-PLM-Teamcenter-Mobility-Strategy-PLM-Users-wp_tcm73-121574.pdf

[SpiegelOnline2010] „Energie der Zukunft – Watt aus dem Meer“; Frank Dohmen; SpiegelOnline, 26.04.2010; www.spiegel.de/spiegel/0,1518,691490-2,00.html

[SpiegelOnline_22010] „Offshore-Energie – Größter Windpark der Welt geht ans Netz“; Carsten Volkery; SpiegelOnline, 23.09.2010; <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/0,1518,719058,00.html>

[SpiegelOnline2011] „Windpark-Boom bedroht Schweinswale“; Hannes Koch; SpiegelOnline, 23.01.2011; www.spiegel.de/wissenschaft/natur/0,1518,740606,00.html

[Stalloch,Kaiser2009] „Den kompletten Lebenszyklus der Anlage im Blick behalten“; Gerd Stalloch, Michael Kaiser, MMMaschinenmarkt 2011, Copyright © 2012 Vogel Business Media, <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/digitalefabrik/ppserp/articles/237694/>

[Stuckenschmidt2011] „Ontologien – Konzepte, Technologien und Anwendungen“; Heiner Stuckenschmidt, *Informatik im Fokus*; 2. Überarbeitete Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, 2011

[TCDataModel2010] „Teamcenter Data Model Administration“ Instructur Guide October, Version 2010, October 2010,

[Thiesse2001] „Prozessorientiertes Wissensmanagement – Konzepte, Fallbeispiele, Methoden“; Frederic Thiesse, Dissertation, Universität St. Gallen, 2001

[Thobaben2011] „EBOM, MBOM und BOP mit Teamcenter8“; Axel Thobaben, Siemens PLM Connection AT 2011, Schloss Steyregg, www.plm.automation.siemens.com/.../eBOM-mBOM-BOP_Teamcenter_tcm761-127972.pdf

[Tiedemann2006] „Chancen für die Infrastruktur der deutschen Hafenwirtschaft – die Vorstellungen der Küstenländer“; Albrecht Tiedemann, Vortrag auf dem Workshop „Offshore-Windenergie als Motor für Innovation und Wachstum“, 5. Nationale Maritime Konferenz der Bundeskanzlerin am 4. Dezember 2006 in Hamburg; www.offshore-

wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Technik/Vortrag_denaChancen_fuer_die_Infrastruktur_der_deutschen_Hafenwirtschaft.pdf

[Tröster2011] „Steuerungs- und Regelungstechnik für Ingenieure“; Fritz Tröster, 3, erweiterte Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH 2011

[Trotta2010] „Product Lifecycle Management: Sustainability and knowledge management as keys in a complex system of product development“; Maria Giovanna Trotta, Journal of Industrial Engineering and Management 2010 -3(2): 309-322, Online ISSN: 2013-0953, Print ISSN: 2013-8423

[VDI 2884: 2005-12] „Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing“. Berlin: Beuth Verlag, 2005-12.

[Viehweger2010] „Das evolutionäre Modell“; Bernd Viehweger, Humboldt Universität Berlin, Software-Engineering, Vorlesungsscript SS 2010, <http://warhol.wiwi.hu-berlin.de/~viehweger/se2a.pdf>

[Wagner2004] „Ganzheitliche Energiebilanzen von Windkraftanlagen: Wie sauber sind die weißen Riesen?“; Prof. Dr.-Ing. Herrmann-Josef Wagner, Lehrstuhl Energiesysteme und Energietechnik, Institut für Energietechnik Ruhr-Universität, Maschinenbau RUBIN 2004-Energietechnik

[Weidlich1998] „Komplexe Systeme und Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft“; Wolfgang Weidlich, Karl-Heim-Gesellschaft, Vortrag 1998, www.karl-heim-gesellschaft.de/Abstracts/Weidlich98.pdf

[Weiß2006] „Wertorientiertes Kostenmanagement – Zur Integration von wertorientierter Unternehmensführung und strategischem Kostenmanagement“; Matthias Weiß, Dissertation Universität zu Köln, Deutscher Universitäts-Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2006

[Westerwiede2010] „Der Rost und das Meer“; Alfons Westerwiede, Erneuerbare Energien – Das Magazin, Fachaufsätze; 27.08.2010, www.erneuerbareenergien.de/der-rost-und-das-meer/150/475/28766/

[Wildemann2005] „Schlussbericht zum Verbundprojekt PROTEUS – Generische e-Maintenance Plattform“; Horst Wildemann, TU München, Februar 2005, www.bwl.wi.tum.de/contento/cms/upload/pdf/forschung/forschungsprojekte/proteus-schlussbericht.pdf

[Windmesse2011] „Zweigeteilt in neue Höhen“; Windmesse.de, 3.12.2010, <http://windmesse.de/presse/8473.html>

[Woste2010] „Offshore-Windenergie in Deutschland – Status, Herausforderungen und Perspektiven“; Manuel Woste, e|m|w Heft 1/10

[Zehbold1996] „Lebenszykluskostenrechnung“; Cornelia Zehbold, Dissertation, 1. Auflage Wiesbaden 1996, ISBN 3409121536

[Zeiler et al2005] „Offshore-Windparks in der Ausschließlichen Wirtschaftszone von Nord- und Ostsee“; Dr. Manfred Zeiler, Christian Dahlke, Dr. Nico Nolte; promet, Jahrgang. 31, Nr. 1, 71-76, April 2005, @ Deutscher Wetterdienst 2005