



**Fachverband Kraftmaschinen,
Frankfurt/Main**

**„Von Onshore zu Offshore -
Randbedingungen für eine ökonomische
und ökologische Nutzung von
Offshore-Windenergieanlagen in Deutschland“**

Kurzfassung

August 2001

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Aufgabenstellung	1-1
2. Entwicklung der Anlagentechnik, Randbedingungen in Deutschland	2-1
3. Kosten und Wirtschaftlichkeit	3-1
4. Konzipierung von Szenarien zum erfolgreichen Ausbau der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland	4-1

1. Einleitung und Aufgabenstellung

In Deutschland erlebte die Nutzung der Windenergie in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklung. Diese wurde maßgeblich durch Fördermaßnahmen von Bund und Ländern sowie durch die Weiterentwicklung der Anlagentechnik durch die Windindustrie ermöglicht. Die Grundlage für die bis heute erfolgte Anlagenentwicklung bildete im wesentlichen die Vorgabe entsprechender gesetzlicher Rahmenbedingungen, die dem Investor eine entsprechende Entscheidungssicherheit einräumte. Während bislang Windenergieanlagen (WEA) auf dem Festland eingesetzt werden, konkretisieren sich die Überlegungen zur zukünftigen Errichtung von Windparks in der deutschen Nord- und Ostsee, d. h. von Offshore-Windparks.

Die Offshore-Technik bietet den Vorteil, dass hierfür zusätzliche Flächen genutzt werden können, die zudem im Vergleich zum Festland ein stärkeres und gleichmäßigeres Windangebot aufweisen und damit höhere Energieerträge erzielt werden können. Diese zusätzlichen Flächen auf See stellen zudem eine Kompensationsmöglichkeit für die längerfristig zu erwartende Abnahme von geeigneten Standorten zur Windenergienutzung an Land dar. Diesen Vorteilen stehen jedoch die höheren technischen Anforderungen an die Anlagentechnik (z. B. höhere Windlasten, aufwendige Fundamente, aggressive salzhaltige Luft, erhöhter Wartungs- und Montageaufwand) gegenüber, d. h. im Gegenzug höhere Investitionen und Betriebskosten.

Die Offshore-Windenergienutzung wurde in Deutschland noch nicht praktisch erprobt, während im Ausland seit einigen Jahren mehrere Offshore-Windparks mit Anlagen im Leistungsbereich 400 kW - 2 MW in Betrieb sind. Anlagen mit Leistungen von 3 MW bis zu 5 MW, die eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit erwarten lassen, sind dagegen derzeit als Prototypen in der Entwicklung, jedoch noch nicht am Markt verfügbar.

Vor diesem Hintergrund hat der VDMA, Fachverband Kraftmaschinen ein Gutachten zur Untersuchung der Randbedingungen einer ökologisch und ökonomisch effizienten Offshore-Windenergienutzung an Fichtner vergeben, das unter Mitwirkung des Deutschen Windenergie-Instituts erstellt wurde. Das Gutachten gliedert sich in die folgenden Arbeitsschritte:

- Darstellung der heute verfügbaren Anlagentechnik und der Entwicklungslinien für Multi-Megawattanlagen für den Offshore-Einsatz einschließlich Netzanbindung und Fundamentierung von Offshore-Windparks.
- Betrachtung der Verfügbarkeit notwendiger Industrien und Dienstleister.
- Beschreibung der derzeitigen Randbedingungen in Deutschland unter Berücksichtigung genehmigungsrechtlicher und ökologischer Aspekte.
- Ermittlung der Kosten und der Wirtschaftlichkeit von typischen Modell-Offshore-Windparks sowie Durchführung eines Wirtschaftlichkeitsvergleichs mit Onshore-Anlagen.
- Konzipierung von Szenarien zum erfolgreichen Ausbau der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland.
- Aufzeigen des Handlungsbedarfs für Politik und Wirtschaft.

2. Entwicklung der Anlagentechnik, Randbedingungen in Deutschland

Prämisse

Ein konfliktarmer, großtechnischer Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland ist infolge von

- Natur- und Landschaftsschutzinteressen,
- konkurrierenden Nutzungen wie Schiffsverkehr, Fischerei, Militär etc.
- Bedenken der Bevölkerung, z. B. der Tourismus-Industrie

langfristig voraussichtlich nur an küstenfernen Standorten seewärts der Zwölf-Seemeilen-Zone (Küstenmeer) in der Nord- und Ostsee möglich.

Hieraus ergeben sich große Wassertiefen und hohe technische Anforderungen an die Ausführung, den Transport, die Montage, die Netzanbindung und den Betrieb der Offshore-WEA, die zu hohen Investitionen und Betriebskosten führen, so dass zur Sicherstellung eines wirtschaftlichen Anlagenbetriebs möglichst große WEA- und Windparkleistungen erforderlich sind.

Entwicklung der WEA-Technik

Die aus dem Größenwachstum und den erschwerten Offshore-Randbedingungen entstehenden Belastungen und Beanspruchungen der Maschinen erfordern den Einsatz zunehmend flexibler Strukturen, variabler Betriebsarten und komplexerer / intelligenter Regelungssysteme.

Grundsätzlich darf von einer schrittweisen Entwicklung sowohl in Richtung Multimegawatt-Offshore-WEA als auch in Richtung Adaption an die Offshore-Randbedingungen ausgegangen werden. Zielsetzung des Vorgehens wird dabei stets die Umsetzung der Entwicklungsziele bei begrenztem technischen und unternehmerischen Risiko sein. Der Zeithorizont für die Entwicklung einer reifen, seegängigen und offshorespezifischen Multimegawatt-Offshore-WEA (5 MW-Größenordnung) kann auf ca. 3 - 6 Jahre abgeschätzt werden.

Entwicklung der Gründungstechnik

Für die möglichen Gründungstechniken liegen bislang nur teilweise Erfahrungen von Nearshore-Projekten vor. Daher ist eine technische Entwicklung zur Optimierung für den Anwendungsfall der küstenfernen Offshore-Windenergie erforderlich.

Entwicklung der Energieableitungstechnik

Grundsätzlich sind geeignete Energieableitungstechnologien vorhanden und auch erprobt. Kurzfristig dürfte die Nutzung der Drehstromtechnik zum Einsatz kommen, während längerfristig und unter der Annahme der Er-

schließung küstenferner Standorte der Einsatz der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs (HGÜ)-Technologie zu erwarten ist.

Entwicklung der Netzanbindung

Die derzeitige Netzinfrastruktur ist zur Aufnahme großer Anschlussleistungen aus Offshore-Windenergieparks nicht ausreichend. So sind die Netzanknüpfungspunkte relativ weit entfernt von der Küste und reichen derzeit allenfalls zum Anschluss für erste „kleinere“ Projekte (50-150 MW).

Längerfristig ist daher der Ausbau der Netzinfrastruktur notwendig. Durch den Aufbau eines Offshore-Netzes könnten möglichst wenige Kabeltrassen von den Offshore-Windparks durch die küstennahen Naturräume zu den Netzverknüpfungspunkten an Land führen. Allerdings ist solch ein Offshore-Netz zur Zeit nicht absehbar, da die entsprechende Technik noch nicht verfügbar oder nicht erprobt ist. Zudem muss dann eine gemeinsame Planung der Projekte erfolgen, was zu einem entsprechenden Kooperationsbedarf zwischen den verschiedenen am Projekt beteiligten Akteuren (Planer, Behörden etc.) führt.

Weiterhin sind durch einen deutlichen Ausbau der Windenergie Auswirkungen auf die Regelung und Einsatzplanung der Kraftwerke im Netzverbund und daher auch über die heutigen Regelungen hinausgehende Anforderungen an den Netzanschluss großer Windparks zu erwarten. Für diese Anforderungen sind frühzeitig technisch und wirtschaftlich vertretbare Regelungen zwischen den Beteiligten abzustimmen.

Entwicklung nationaler Industrien und Dienstleister

Es bedarf einer nachhaltigen Strategie und eines Zeitvorlaufs, um das enorme wirtschaftliche Potenzial der Offshore-Windenergienutzung für die (Neu-)Entwicklung einer deutschen Offshore-Industrie nutzbar zu machen.

Der Bau und Erhalt von Offshore-Fundamenten und WEA-Türmen stellt z. B. ein Aufgabengebiet dar, das sich für mittlere Werften in Zusammenarbeit mit einschlägigen Stahlbauern zu einem interessanten Markt entwickeln könnte. Nicht nur Spezialkonstruktionen im klassischen Stahlbau, sondern auch der Bau bzw. Umbau von Spezialschiffen, von Schwimmpontons bzw. Hubinseln (Jack-Ups) zum Aufbau von Fundamentstrukturen, die bisher nur sehr beschränkt und auch nur international verfügbar sind, könnte die Auftragslage dieser Branche stärken, die durch zurückgehende Umsätze gekennzeichnet ist.

Dienstleistungen wie Betrieb, Überwachung, Reparatur, Wartung und Instandhaltung von Offshore-Windparks sind weitere Wirtschaftsgebiete, die sich um die Offshore-Windenergienutzung herum werden entwickeln müssen.

Für den Ausbau der Offshore-Windenergie ist daher zeitnah der nachhaltige Aufbau einer nationalen Offshore-Industrie- und Dienstleistungsinfrastruktur erforderlich. Das Potenzial für diesen Aufbau ist grundsätzlich sowohl

hinsichtlich des Know-hows als auch des Vorhandenseins ausbaufähiger Werftkapazitäten vorhanden; dessen Erschließung ermöglicht die Sicherung bestehender bzw. die Schaffung neuer Arbeitsplätze in der eher strukturschwachen norddeutschen Küstenregion.

Genehmigung und ökologische Belange

Die Errichtung von Offshore-Windparks bedarf tragfähiger Verfahren zur Genehmigung, in denen ein Ausgleich der konkurrierenden Interessen und Nutzungen herbeigeführt und Planungssicherheit für den Investor geschaffen werden kann. Daher ist es wichtig, zum jetzigen Zeitpunkt koordinierte Forschungen zur Schließung von Wissenslücken im Grundlagenbereich durchzuführen, um den begonnenen Markterschließungsprozess nicht zu behindern.

3. Kosten und Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen dieses Gutachtens werden modellhafte Berechnungen der Stromgestehungskosten von den folgenden Offshore-Windparks der heute marktgängigen WEA-Größenklasse (1,5 – 2,5 MW) durchgeführt:

Windpark-Bezeichnung	WEA-Nennleistung	WEA-Anzahl	Windpark-Leistung
Offshore-Windpark 1	2 MW	45	90 MW
Offshore-Windpark 2	2 MW	225	450 MW
Onshore-Vergleichspark	2 MW	45	90 MW

Tabelle 3-1: Definition der Modell-Windparks

Es wird jeweils ein typischer Standort in der Nordsee und in der Ostsee untersucht; der fiktive Onshore-Vergleichs-Windpark befindet sich an einem guten Küstenstandort:

WEA-Standort	Küstenentfernung	Wassertiefe	Volllaststunden
Nordsee	40 km	25 m	4.190/3.670 h/a ¹⁾
Ostsee	30 km	20 m	3.610/3.160 h/a ¹⁾
Küstenstandort	-	-	2.260/2.100 h/a ¹⁾

¹⁾ Bruttowerte/Nettowerte ohne/mit Berücksichtigung der technischen WEA-Verfügbarkeit, des Parkwirkungsgrads sowie der Netzübertragungsverluste

Tabelle 3-2: Standortqualitäten

Für die Modell-Standorte werden folgende wirtschaftliche Randbedingungen zugrunde gelegt:

Parameter	Onshore	Offshore
Methodik	Kapitalwertmethode Alle Kosten/Erlöse auf realer Basis, d. h. inflationsbereinigt; Rechnung vor Steuern; keine Berücksichtigung von Zuschüssen, zinsgünstigen Darlehen	
Kalkulatorische Betrachtungsdauer	Fall 1: 10 Jahre Fall 2: 20 Jahre	
Eigen-/Fremdkapitalanteil	30 % / 70 %	40 % / 60 %
Eigenkapitalrendite/ Fremdkapitalzins	15 % / 7 %	
Jährliche Preissteigerungsrate	2 %/a	
Einspeisevergütung 10/20 a (real; Basisjahr: 2002)	16,2/14,1 Pf./kWh	15,9/13,8 Pf./kWh

Tabelle 3-3: Technische und wirtschaftliche Randbedingungen

Die ermittelten Stromgestehungskosten der Modell-Windparks sowie die erzielbaren durchschnittlichen Erlöse gemäß EEG sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

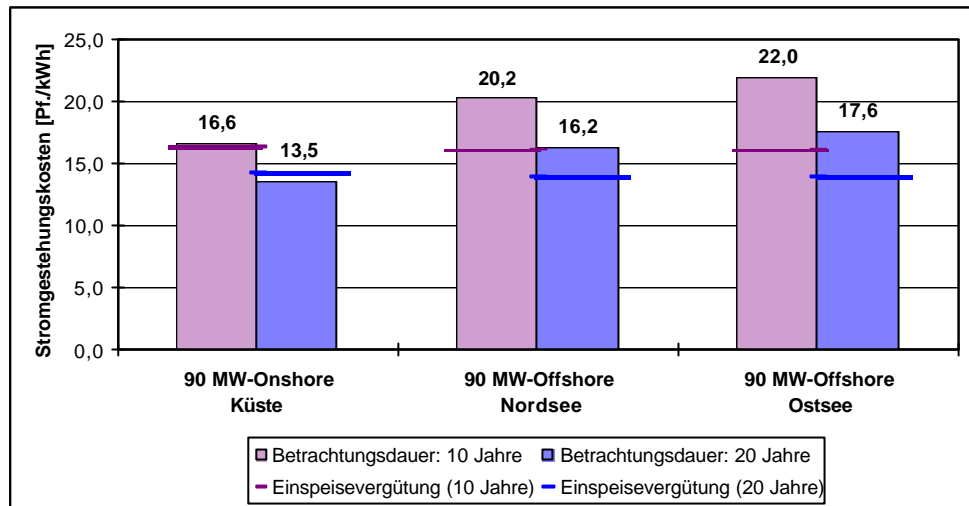


Abbildung 3-1: Stromgestehungskosten und Einspeisevergütung (reale Werte) der 90 MW-Windparks Onshore und Offshore

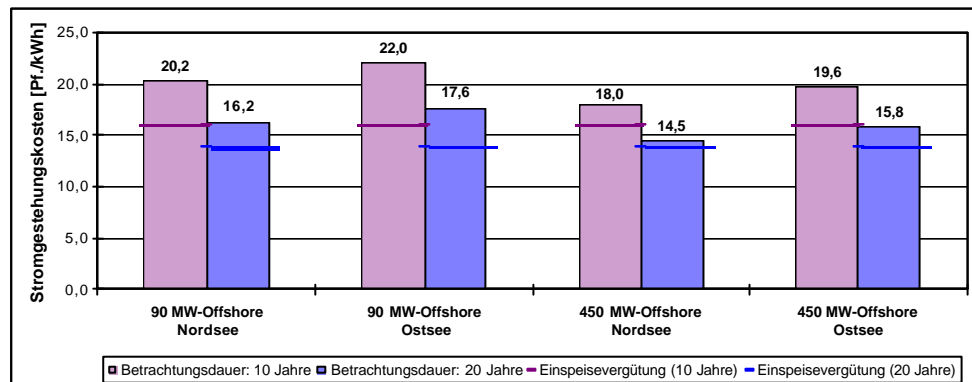


Abbildung 3-2: Stromgestehungskosten und Einspeisevergütung (reale Werte) der 90/450 MW-Windparks Offshore

Es ergibt sich, dass unter den zugrunde gelegten Randbedingungen die Stromgestehungskosten nur beim fiktiven Onshore-Vergleichspark niedriger als die Einspeisevergütung gemäss EEG sind. Dies bedeutet, dass die angestrebte Eigenkapitalrendite in Höhe von 15 % nur an diesem guten Küstenstandort erwirtschaftet werden kann, während die Offshore-Parks geringere Eigenkapitalrenditen erzielen. Die Ermittlung der Eigenkapitalrendite zur Kostengleichheit der Stromgestehungskosten mit der Einspeisevergütung ergibt folgende Werte:

- 450 MW-Offshore-Windpark (Nordsee, 20 Jahre): **10,7 %**
- 90 MW-Onshore-Windpark (Küste, 20 Jahre): **20,3 %**

Eine Verbesserung der Eigenkapitalrendite für Offshore-Parks in Deutschland ist infolge des vorhandenen Entwicklungspotenzials für Offshore-WEA und der damit zusammenhängenden Infrastrukturmaßnahmen (Netzanbindung, Fundamentierung etc.) zu erwarten.

Weiterhin besteht die Möglichkeit der Verringerung der Stromgestehungskosten und damit der Erhöhung der Eigenkapitalrendite durch Verminderung der Küstenentfernung respektive der Wassertiefe. Aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen resultiert hieraus die Erfordernis der möglichst frühzeitigen Entwicklung küstennaher Flachwasser-Windparks.

4. Konzipierung von Szenarien zum erfolgreichen Ausbau der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland

Strategien zum Ausbau

Die aus wirtschaftlichen Gründen für küstenferne Standorte erforderliche Entwicklung sowohl in Richtung Multimegawatt-Offshore-WEA als auch in Richtung Adaption an die Offshore-Randbedingungen bedingt folgende technisch/wirtschaftliche Voraussetzungen und politische Entwicklungen im Hinblick auf die entsprechende Einführung dieser Technologie:

- Sicherung der Wirtschaftlichkeit der Offshore-Windenergienutzung durch entsprechende technische WEA-Entwicklungsstrategien.
- Erlangen der Marktreife der Offshore-WEA-Technologie zur Erschließung küstenferner Standorte ausgehend vom heutigen Stand der Technik.
- Entwicklung der notwendigen Infrastrukturen zur Energieableitung und Netzanbindung, zur Fundamentierung, zur Montage sowie zu einer leistungsfähigen Offshore-Windenergie-Industrie.
- Ausgleich der bestehenden Nutzungskonflikte in den in Frage kommenden Seegebieten (Schifffahrt, Fischerei etc.).
- Berücksichtigung der Naturschutzinteressen.

Zur Erreichung dieser Ziele sind die in der folgenden Abbildung dargestellten Strategien denkbar.

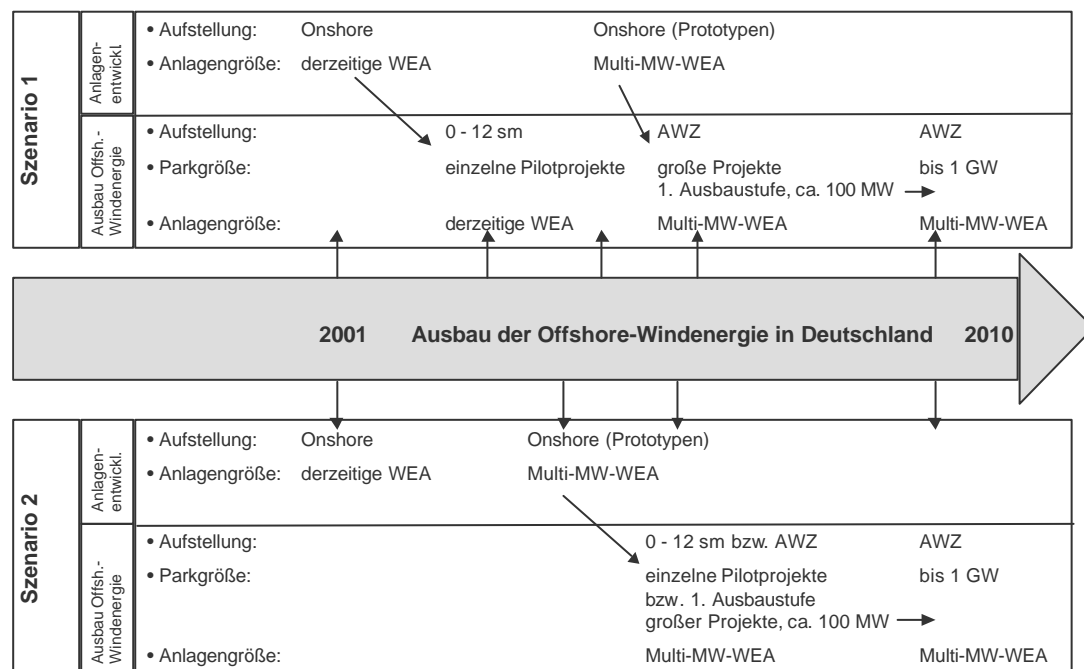


Abbildung 4-1: Darstellung der möglichen Ausbauszenarien

Szenario 1 geht von einem schrittweisen Ausbau mit Adaption der derzeit verfügbaren WEA-Technologie an die Offshore-Randbedingungen aus. Durch die Realisierung kleinerer Windpark-Projekte mit einem für Hersteller und Planer begrenzten Risikopotenzial können relativ kurzfristig Erfahrungen im küstennahen Bereich gesammelt werden, wie dies auch in einigen europäischen Nachbarstaaten bereits der Fall ist. Parallel dazu kann der Aufbau von Peripherie-Industrien/Dienstleistern erfolgen, die im strukturschwachen norddeutschen Küstenraum etabliert werden. Die weitere Entwicklung der Anlagengröße hin zur Multimegawatt-WEA geschieht zeitgleich über jeweilige Onshore-Prototypen, die im letzten Schritt an küstenfernen Standorten zum Einsatz kommen.

Szenario 2 wird durch die Entwicklung der Multimegawatt-WEA mit nachfolgender Anpassung an die Offshore-Randbedingungen vollzogen. Gegen dieses Szenario spricht jedoch insbesondere die bei Szenario 1 kurzfristiger mögliche Realisierung erster Offshore-Pilotprojekte, wodurch das notwendige Sammeln von Erfahrungen mit der Offshore-Windenergie in Deutschland beschleunigt werden kann. Ein Vorteil dieses Szenarios ist die Umgehung der speziell in Deutschland derzeit teilweise noch vorherrschenden Akzeptanzproblematik (Anlagensichtbarkeitsproblem in der 12 Seemeilen-Zone!) bei sofortiger Aufstellung des Offshore-Windparks in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ).

Handlungsbedarf für Politik und Wirtschaft

Dem Ausbau der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland kommt eine wichtige energie- und industriepolitische Bedeutung zu, doch bedarf dieser mehrerer politischer und technischer Entwicklungen, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind.

<p>BEWEGGRÜNDE:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ressourcenschonung und Klimaschutz (Erreichen des CO₂-Minderungsziels) ● Schaffung von Arbeitsplätzen bzw. Sicherung von bestehenden Arbeitsplätzen ● Stärkung der deutschen Wirtschaft (Technologieführerschaft) ● Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie ● Entwicklung/Ausbau des Exportanteils ● Verringerung der Importabhängigkeit fossiler Energieträger
<p>ERFORDERLICHE SCHRITTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Errichtung einer substanziellen Offshore-Windenergieleistung ● Technische Entwicklung ausgereifter Multimegawatt-WEA für Offshore-Einsatz ● Entwicklung einer nationalen Offshore-Industrie (Dienstleistungen u. Service) ● Politik schafft Unterstützung durch: <ul style="list-style-type: none"> > Bekenntnis zum Ausbau der Offshore-Windenergie > Koordination der genehmigungsrechtlichen Aktivitäten > kontinuierliche Forschungsaktivitäten (insb. für Anlagenentwicklung) > Unterstützung bei koordinierter Netzanbindung und -ausbau

Tabelle 4-1: Beweggründe und erforderliche Schritte zum Ausbau der Offshore-Windenergienutzung in Deutschland

Hieraus lässt sich der Handlungsbedarf für Politik und Wirtschaft ablesen, dessen Zielsetzung vorrangig die Schaffung politischer Rahmenbedingungen ist, die für die Investoren eine ausreichende Planungssicherheit ermöglichen. Hierzu gehören insbesondere die folgenden Maßnahmen:

- Vorgabe eines Kurz-, Mittel- und Langfristziels für die Offshore-Windenergienutzung in Deutschland durch die Politik sowie Festlegung geeigneter Maßnahmen zur Zielerreichung.
- Kontinuität der Unterstützung von Forschungsaktivitäten, insbesondere zur Weiterentwicklung der Anlagentechnik inkl. Gründung, Netzanbindung und Montage sowie begleitender ökologischer Untersuchungen.
- Koordination der genehmigungsrechtlichen Aktivitäten zur Erzielung bundesweit einheitlicher Regelungen sowie zur Begegnung möglicher Konflikte von Schifffahrt, Fischerei, Tourismus, Luftverkehr, Naturschutz, Militär etc. mit der Offshore-Windenergieeinführung durch die Auswahl geeigneter Standorte unter frühzeitiger Einbeziehung aller betroffenen Beteiligten.
- Moderierung der frühzeitig erforderlichen Gespräche und Abstimmungen zwischen den Netzbetreibern, den Herstellern von Windenergieanlagen, Planern, Verbänden und Messinstituten zur Festlegung der Anforderungen und der Vorgehensweise zur Netzanbindung großer Offshore-Windparks und zu dem damit verbundenen erforderlichen Netzausbau.
- Begleitende Unterstützung bei der Realisierung/Genehmigung erster kleinerer Offshore-Windparks im küstennahen Bereich.