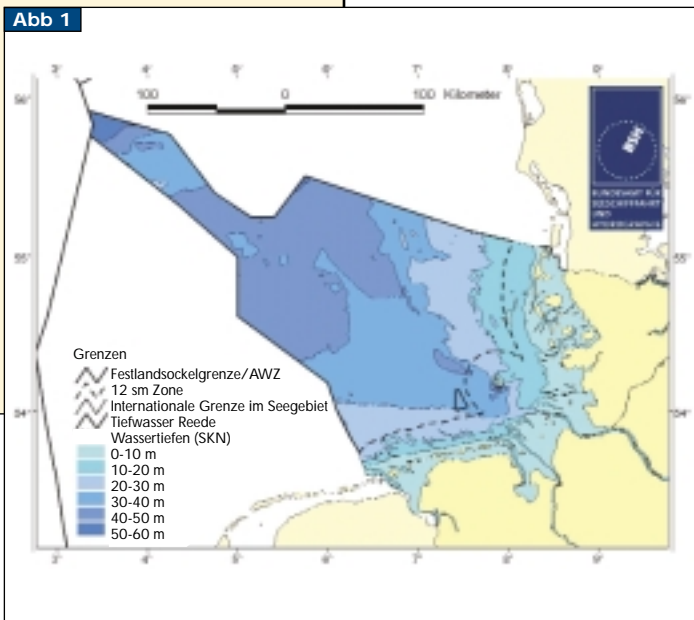


## Offshore – Windenergie vor der Küste

Abb 1



- ▶ In Deutschland ist das Potenzial für Windstrom offshore größer als an Land
- ▶ Offshore kann eine Windenergie-Anlage wesentlich mehr Strom erzeugen als an Land
- ▶ Offshore-Anlagen müssen aufgrund ihres Einsatzgebietes höheren technischen Anforderungen standhalten
- ▶ Eine sorgfältige Berücksichtigung des Naturschutzes ist ein entscheidender Faktor für die Akzeptanz

Die deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) in der Nordsee  
(Quelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie [BSH], Hamburg und Rostock)

Im Jahr 2002 lieferte die Windenergie etwa 4% des deutschen Stromverbrauchs. Langfristige Prognosen bis zum Zeitraum 2030 trauen ihr zu, diesen Anteil auf 25% steigern zu können. Wenn die Prognosen zutreffen, werden dann nur noch ca. 40% des Windstroms an Land und bereits 60% vor der Küste (offshore) erzeugt. Offshore-Windparks nehmen in den Planungen zur weiteren Nutzung der Windenergie in Deutschland eine zentrale Rolle ein. Seit Mitte der 90er Jahre werden grundlegende technische und ökologische Fragen auf See installierter Windenergie-Anlagen (WEA) im Rahmen der Energieforschung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) erforscht. Ende der 90er Jahre begannen die Planungsverfahren und mittlerweile liegen Anträge von 29 Antragstellern (Mai 2002) beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie vor. Im Jahr 2001 wurde mit „Borkum West“, 45 km nördlich von Borkum, und in 2002 mit „Butendiek“, 34 km westlich von Sylt, erste Pilotparks genehmigt. Die Errichtung der ersten, von insgesamt drei geplanten Forschungsplattformen auf See ist im Verlauf von 2003 vorgesehen. Hier werden künftig in interdisziplinären Forschungsvorhaben wissenschaftlich-technische Grundlagen für die Genehmigungsverfahren erarbeitet und grundlegende technische, ökologische und meereskundliche Fragen von Offshore-Windparks erforscht.

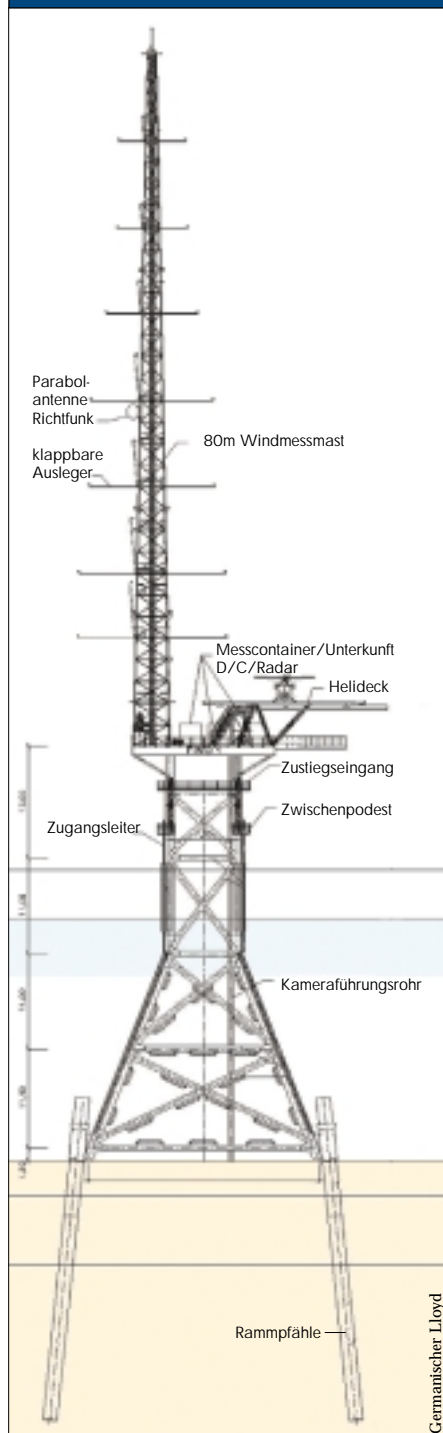
In Deutschland werden an Land neue Standorte für WEA zunehmend knapper – im Küstenbereich früher und im Binnenland später. Weitere Potenziale können hier künftig durch den Ersatz älterer, kleinerer Anlagen durch leistungsstärkere Neuanlagen erschlossen werden (sog. Repowering). Die durchschnittliche Leistung aller WEA lag im Jahr 2002 bei 900 kW, während sie bei den in diesem Jahr installierten Neuanlagen 1.400 kW betrug. Auf dem Markt werden bereits Multi-Megawattanlagen größer als 2 MW angeboten und noch leistungsstärkere stehen auf den Testständen. Mit Repowering wäre es möglich, den Anteil des Windstroms zu steigern, die Zahl der Anlagen zu reduzieren und mit überarbeitetem Planungsrecht die neuen Anlagen schonender in der Landschaft zu platzieren.

Die meisten Anträge für Offshore-Parks in Deutschland betreffen Gebiete jenseits der 12-Meilen-Zone in der Allgemeinen Wirtschaftszone (AWZ). Im Vergleich zu den europäischen Nachbarn wagt sich Deutschland vor allem in der Nordsee in größere Wassertiefen vor. Um 15% des deutschen Strombedarfs mit Offshore-WEA zu erzeugen, reicht eine Teilfläche von 4 - 5% der AWZ aus. Der Beitrag des Windstroms zum Klimaschutz würde weiter steigen. Damit würde der Windindustrie eine langfristige, kontinuierliche Entwicklung ermöglicht und ihre Exportchancen deutlich verbessert.

## ► Planungsrechtliche Grundlagen

Offshore-Windparks sollen in Deutschland überwiegend küstenfern errichtet werden. In einem Strategiepapier zur Windenergienutzung auf See hat sich die Bundesregierung 2002 grundsätzlich für eine Offshore-Windnutzung entschieden. Der Auf- und Ausbau der Kapazitäten soll stufenweise erfolgen (**Abb. 2**). Rechtlich gehört nur das Gebiet innerhalb von 12 Seemeilen von der Küstenlinie ausgehend zum deutschen Staatsgebiet und fällt unter die Planungshoheit des jeweiligen Bundeslandes. Hier gelten grundsätzlich alle Gesetze wie an Land. Diese Gebiete sind überwiegend Naturschutzgebiete (z. B. Nationalparks) oder Seewasserstraßen für die Zufahrten zu den deutschen

**Abb 4: Planzeichnung der ersten Forschungsplattform FINO 1 für ein Gebiet nördlich von Borkum**



**Abb 2: Schrittweise Erschließung der Windenergienutzung auf See (1 TWh = 1 Mrd. kWh)**

Phasen	Zeitraum	Mögliche Kapazität [in MW]	Möglicher Stromertrag [in TWh/Jahr]
Vorbereitungsphase	2001 - 2003	-	-
Startphase	2004 - 2006	mind. 500	ca. 1,5
Erste Ausbauphase	2007 - 2010	2.000 - 3.000	ca. 7 - 10
Weitere Ausbauphase	2011 - 2030	20.000 - 25.000	ca. 70 - 85

Seehäfen. Die zuständigen Bundesländer prüfen derzeit nur für einzelne Gebiete innerhalb dieser Zone, ob dort Offshore-Windenergieanlagen möglich sind. Deutschland hat 1994 in Nord- und Ostsee gemäß UN-Seerechtskonvention eine „Aus-

**Abb 3: Konkurrierende Nutzungsinteressen in der AWZ**



schließliche Wirtschaftszone (AWZ)“ im Bereich seawärts der 12-Meilen Zone bis max. 200 Seemeilen begründet. Diese gehört nicht zum deutschen Staatsgebiet, aber Deutschland hat das Recht zur wirtschaftlichen Nutzung. **Abb. 1** zeigt die AWZ für den Bereich der Nordsee. Zur Errichtung von WEA in der AWZ ist eine Genehmi-

gung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie nach der Seeanlagenverordnung erforderlich. Sie sieht einen Rechtsanspruch auf Genehmigung der wirtschaftlichen Nutzung vor. Diese darf nur versagt werden, wenn Beeinträchtigungen der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffverkehrs oder eine Gefährdung der Meeresumwelt (inkl. Vogelzug) zu erwarten wären. Da die Seekabel zum Anschluss der Offshore-Windparks in der AWZ an das Stromnetz durch die 12-Meilen-Zone führen müssen, ist hierfür ein gesondertes Planungs- und Genehmigungsverfahren durch das zuständige Bundesland erforderlich.

Die Strategie der Bundesregierung sieht vor, dass z. B. Nationalparks und NATURA-2000-Gebiete grundsätzlich nicht mit einer Windnutzung belegt werden sollen. Ein weiteres Ziel ist, parallel zu den Einzelverfahren generell geeignete Flächen für die Offshore Nutzung zu identifizieren und auszuweisen. Konkurrierende Nutzungsinteressen (**Abb. 3**) sollen berücksichtigt werden. Die Planungen werden durch umfangreiche ökologische und technische Forschungsprojekte begleitet, u. a. werden drei Forschungsplattformen (**Abb. 4**) in der AWZ errichtet.

## ► Technische Anforderungen

Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit über dem Meer ist höher als an Land und wird für die Nordsee, etwa 10 km vor der Küste, bei 8 - 9 m/s angenommen. Offshore kann die Masthöhe der Anlagen niedriger ausfallen als an Land, weil auf See wegen der geringeren Oberflächenrauigkeit die Windgeschwindigkeit mit der Höhe schneller zunimmt. Der Wind ist weniger turbulent. Insgesamt ist offshore die Windlast auf die Anlagen höher. Hierbei muss zusätzlich berücksichtigt werden, dass die für den Einsatz auf See aus wirtschaftlichen Gründen erwünschte Anlagenklasse im Bereich 4 - 5 MW Rotorkreisflächen von bis zu 10.000 m<sup>2</sup> aufweisen wird.

### Gründungsbauwerke

Masten und Gründungsbauwerke von Offshore-WEA müssen auch den Lasten durch die Wellen standhalten. Die Anlagen in der AWZ werden in Wassertiefen von 15 - 40 m errichtet. In der Nordsee müssen sie einem Tidenhub von bis zu 4,5 m und in der Ostsee bisweilen Eisgang widerstehen.

Maximale Wellenereignisse („Jahrhundertwellen“) können in der Nordsee bis zu 20 m erreichen, während sie in der Ostsee bei 7 m liegen. In den Berechnungen müssen die dynamischen Lasten durch die Überlagerungen von Wasser- und Wellenereignissen und das Problem der Eigenfrequenz des Mastes besonders berücksichtigt werden.

Bei den genannten Wassertiefen in der deutschen Nord- und Ostsee kommen drei Formen von Gründungsbauwerken in Betracht: „Monopile“ wird ein freistehendes Stahlrohr genannt, das mit hydraulischen Hämmerern etwa 20 m tief in den Meeresboden gerammt wird. Es zeichnet sich durch ein „weiches“ Schwingungsverhalten aus und eignet sich bis zu einer Wassertiefe von etwa 25 m. Ein durch eine Dreibeinkonstruktion abgestütztes Stahlrohr wird „Tripod“ genannt (**Abb. 6**). Hierfür sind eventuell Bodenarbeiten auf dem Meeresgrund erforderlich, die Konstruktion hat ein „steiferes“ Schwingungsverhalten und ist für größere Meerestiefen geeignet. Daneben sind noch Gittermastkonstruktionen möglich.

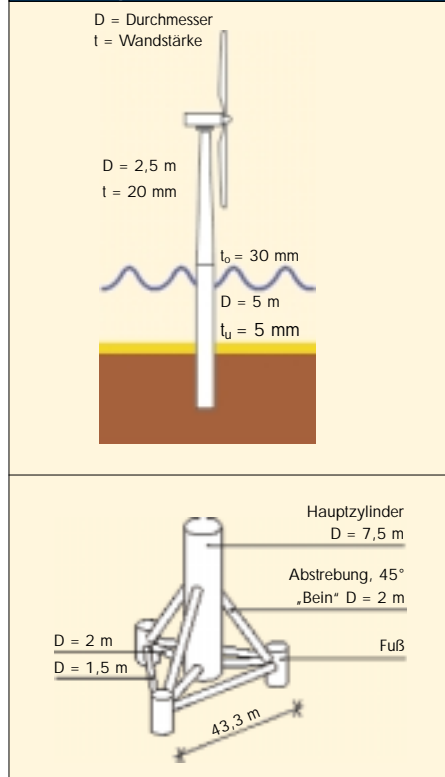
Offshore-Anlagen müssen korrosionsbeständig gegenüber der salzhaltigen Seeluft ausgelegt werden, über eine geschlossene Generatorkühlung verfügen und mit Systemen zur Fernwartung und Fehlerdiagnose bestückt sein. Weiterhin müssen Wartungsschiffe anlegen können und die Anlagen brauchen eigene Bordkräne. Bei etwaigen Kollisionen mit Schiffen sollen sie möglichst geringe Schäden an deren Außenwand verursachen.

### Einspeisung

Die Stromerzeugung der Windparks auf See wird in der Dimension von Großkraftwerken liegen. Dieser Strom muss möglichst netzverträglich zu Einspeisepunkten an

Land geleitet werden. Da die Übertragung auf Hochspannungsniveau technisch vorteilhaft ist und ohnehin nur möglichst wenige Stromkabeltrassen durch die Nationalparks führen dürfen, werden die Anlagen/Parks ihren Strom zuerst zu seegestützten Transformatorstationen führen müssen. Von hier wird er dann zentral an Land geleitet. Die ersten Parks werden voraussichtlich über redundant ausgelegte Bündel von Seekabeln mit Drehstromübertragung arbeiten; für größere Entfernungen und Leistungen kommt auch die Hochspannungsgleichstromübertragung in Betracht. An dem oder den Einspeisepunkten an Land ist der Anschluss an das Hoch- oder Höchstspannungsnetz erforderlich.

**Abb 6: Beispiele für Monopile (oben), Tripod (unten)**



**Abb 5: Im Vergleich zu Anlagen an Land kommen bei Offshore-Anlagen weitere Nebenkosten hinzu. Von folgenden Orientierungswerten zusätzlich zu den Anlagenkosten einer Land-Anlage kann man ausgehen (Bundesverband Windenergie)**

Entfernung zur Küste	30 km	50 km	70 km
Fundamente	35 - 38%	43 - 51%	39 - 48%
Installation	9 - 13%	11 - 19%	10 - 23%
Netzanschluss	31 - 67%	44 - 83%	57 - 114%
Andere Ausgaben	7 - 24%	7 - 24%	7 - 24%
<b>Summe</b>	<b>83 - 143%</b>	<b>106 - 176%</b>	<b>113 - 208%</b>

## ► Forschungsprojekt GIGAWIND

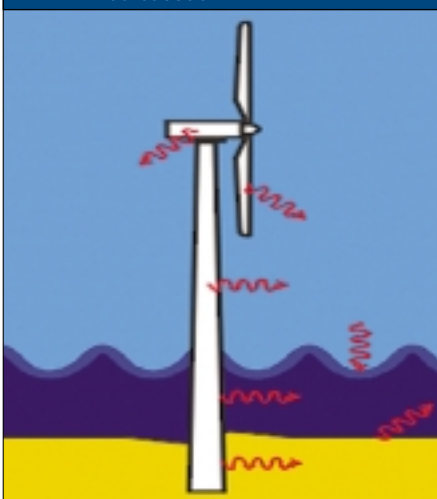
Im Projekt GIGAWIND werden bautechnische Aspekte und umweltrelevante Fragestellungen der Offshore Technik untersucht. Beteiligt sind vier Institute der Universitäten Hannover und Essen. Ziel ist, für die konkrete Planung und Projektierung von Offshore-Windparks verlässliche Daten zu ermitteln, diese u. a. als Simulationsprogramme zur Verfügung stellen zu können sowie Empfehlungen zu Bautechnik und Umweltgrenzwerten auszusprechen.

Themen von GIGAWIND sind u. a. grundlegende Forschungsarbeiten zum Einfluss von Meeresströmungen, Seegang und Wellenlasten auf Offshore-WEA sowie die Ausbreitung der Schallmissionen der Anlagen im Wasser. Weiterer Schwerpunkte sind geotechnische Bewertungen des Baugrunds sowie die Bewertung der Standsicherheit von Gründungsbauwerk und Turm unter Extremlasten und deren Ermüdungsfestigkeit. Die Messergebnisse der Forschungsplattform sollen u. a. in das GIGAWIND-Projekt einbezogen werden. Exemplarisch sollen zwei Aspekte von GIGAWIND vorgestellt werden.

### Lärmmissionen im Wasser

Im Unterschied zu Landanlagen kommen bei Offshore-WEA neben dem Luftschall noch die Schallmissionen im Wasser hinzu. Neben dem Eintrag von Luftschall im Wasser sind Geräusche auch durch Schwingungen des Baukörpers möglich (Abb. 7). Des weiteren sind noch mehrfache Schallre-

**Abb 7: Schallemissionen von WEA – Transmissionen erfolgen durch Luftschall, Körperschall und indirekt über den Meeresboden**



flexionen an Wasseroberfläche und Meeresboden zu berücksichtigen. Im Forschungsprojekt werden Stärke und Frequenz der Schallwellen im Wasser sowie die Ausbreitungsreichweite für die Bauphase und den Betrieb untersucht. Entwicklungsziel des Forschungsprojekts ist, Empfehlungen von technisch und biologisch begründeten Grenzwerten für Lärmmissionen durch Offshore-WEA auszusprechen und u. a. ein Simulationsprogramm bereitzustellen, das für alle möglichen Betriebs-

zustände eines Offshore Windparks zuverlässig die Lärmbelastung prognostizieren kann. Geräusche von Offshore-Anlagen können u. U. die Echoortung der Schweinswale irritieren, die in der Nordsee beheimatet sind.

### Ermüdungsfestigkeit

Gründungsbauwerke und Masten von Offshore Anlagen sind hohen Lasten durch Wind und Wellen, deren Überlagerungen sowie aus dem Betrieb der Anlagen ausgesetzt. Hierdurch unterscheiden sie sich von Landanlagen und Ölplattformen. Alle Lasten hängen noch von Parametern wie Wassertiefe, Wellenhöhe, geologischer Untergrund und Typ der Windenergieanlage ab. Für die Berechnungen sind Kenndaten der Rotorblätter und der elektrischen Steuerung notwendig, die nur die Hersteller zur Verfügung stellen können (Abb. 8).

Ziel des Forschungsprojekts ist die Erarbeitung einer gesicherten Datengrundlage zur Prognose des Schwingungsverhaltens und der Ermüdungssicherheit von Offshore-Anlagen. Dies sind wichtige Grundlagen für Konstruktion, Genehmigung und Wirtschaftlichkeit der Anlagen.

**Abb 8: Massenabschätzung für den maschinentechnischen Teil der Anlagen**

WEA-Typ	ca. 2 MW	3 - 3,5 MW	4,5 - 5 MW
Rotordurchmesser	70 m	100 m	ca. 120 m
Gondelmasse	70 t	164 t	254 t
Blattmasse	7 t	20 t	34 t
<b>Gesamt</b>	<b>90 t</b>	<b>223 t</b>	<b>355 t</b>

## ► Fazit und Perspektiven

Im Bereich der Offshore Windnutzung sind noch viele Fragen zu klären. Einerseits fehlen noch Grundlagen aus der ökologischen Begleitforschung, um Interessenkonflikte zwischen Windenergie und Naturschutz zu vermeiden oder zu vermindern. Wo genau sind z. B. die wichtigen Rastflächen für die Vögel? Ist die Flughöhe von Zugvögeln vom Wetter oder der Tageszeit abhängig? Werden durch die vielen Gründungspfähle Tiere und Pflanzen in der Nordsee heimisch, die bislang dort nicht lebten? Wissenslücken bestehen auch in anderen Bereichen, z. B. bei repräsentativen Zeitreihen über die durchschnittlichen Windverhältnisse oder Wellenprofile in der AWZ. Die For-

Abb 9: Offshore Park Utgrunden in der schwedischen Ostsee (GE Wind Energy)



schungsplattformen auf See werden viele wichtige Daten in allen Bereichen liefern und auch Ergebnisse aus GIGA-WIND verifizieren.

Bei der Anlagentechnik der Offshore-WEA ist noch viel Detailarbeit zu leisten. Die Anforderungen der See an die Anlagen sind hoch aber lösbar. Hier steht viel mehr die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Diese wird u. a. von den Faktoren Wassertiefe, Konzept der Einspeisung, Größe der Parks und den lokalen Charakteris-

tika des Standorts bestimmt. Die Anlagen werden zwar im Meer bis zu 40% mehr Strom erzeugen können, aber es zeichnet sich ab, dass für die weitere Senkung der voraussichtlichen Stromgestehungskosten noch viel Arbeit zu leisten sein wird. Mit Offshore-Windparks erschließt Deutschland sich eine sichere, klimaverträgliche und heimische Energiequelle. Der Windindustrie und neuen maritimen Dienstleistungen wird eine kontinuierliche Entwicklung ermöglicht. International bestehen derzeit etwa ein Dutzend Offshore-Anlagen in Dänemark, Schweden, Niederlande und Großbritannien. Diese sind alle küstennäher und in geringeren Wassertiefen errichtet. Die geplanten Offshore Windparks in Deutschland werden für die Windstromproduktion auf See eine neue Dimensionen eröffnen. Darüber sollte aber nicht vergessen werden, dass weltweit die Windenergieanlagen an Land auch in Zukunft für viele Länder die erste Wahl bleiben werden und diese Potenziale erst zum geringen Teil erschlossen sind.

## PROJEKTORGANISATION

### ■ Förderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Postfach 12 06 29  
53048 Bonn

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA und BMU  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Jochen Viehweg  
52425 Jülich

### ■ Förderkennzeichen

0329894 A

## IMPRESSUM

### ■ ISSN

0937 - 8367

### ■ Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### ■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

### ■ Autor

Uwe Milles

## BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter [www.bine.info](http://www.bine.info) und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst.

### Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?  
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79 - 44

### Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse.



# BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Büro Bonn  
Mechenstraße 57, 53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0  
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: [www.bine.info](http://www.bine.info)

## ► PROJEKTADRESSE

### Projektdurchführung:

- Universität Hannover  
Institut für Strömungsmechanik und elektronisches Rechnen im Bauwesen  
Prof. Dr.-Ing. Werner Zielke  
Postfach 6009  
30060 Hannover

### Weitere Projektbeteiligte:

- Universität Hannover  
Institut für Stahlbau  
Prof. Dr.-Ing. P. Schaumann
- Universität Hannover  
Curt-Risch Institut  
Dipl. Ing. W. Gerasch
- Universität Essen  
Institut für Grundbau und Bodenmechanik  
Prof. Dr.-Ing. W. Richwien

## ► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

### Offshore im Internet

- [www.gigawind.de](http://www.gigawind.de) – Internetforum des Verbundprojektes GIGAWIND mit aktuellen technischen Informationen zu allen Bereichen der laufenden Offshore-Forschung.
- [www.offshore-wind.de](http://www.offshore-wind.de) – Internetforum der Deutsche Energie-Agentur mit aktuellen Informationen und vielen Dokumenten zum Download.
- [www.fino-offshore.de](http://www.fino-offshore.de) – Internetforum zu den seegestützten Forschungsplattformen.
- [www.bsh.de](http://www.bsh.de) – Aktuelle Informationen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie über den Stand der Offshore-Planungen.

### Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur, Adressen aller Projektbeteiligten und Links sowie Informationen und Links zu Offshore-Windenergie-Anlagen sind unter [www.bine.info](http://www.bine.info) in der Rubrik Service/InfoPlus abrufbar.