

# 欧盟海上风电发展报告

Amber Sharick, Dr. Ole Langniss and Dr. Ryan Wiser

太阳能与氢能研究中心 (ZSW)

资源解答中心 (CRS)

本报告由能源基金会中国可持续能源项目资助  
(中国-欧盟能源环境项目提供中文版翻译)



图片来源: Bundesverband WindEnergie e.V.  
<http://www.wind-energie.de/de/bildergalerie/photobook/Offshore/>

## 引言

欧盟海上风电的发展由能源安全到气候变化的许多因素推动。以前的欧盟自愿目标,即到2010年实现21%的可再生电力的目标,是不可能实现了,而根据新的强制性可再生能源目标,这一指标提高到了到2020年实现34%的可再生电力<sup>1</sup>。各欧盟成员国都希望,通过海上风电技术能帮助实现他们的政策目标及可再生能源比例。

海上风电技术面临着一系列挑战:技术性能、与其他海洋利用争夺空间,与电网基础设施的兼容性、以及和整个能源系统的安全整合,还有完全市场竞争等。关于现有海上风力发电以及影响效果的文献在质量和数量两方面虽然在提高,但仍然很有限。尽管如此,本文总结了现有的相关文献,阐述欧洲风电目前的状况,包括项目、政策和经验。按照相关主题,本文给出了一个参考文献列表,以便于开展进一步的研究工作。鉴于中国正在考虑海上风力发电的投入,欧盟的一些经验教训值得借鉴。

## 目前和近期的风电项目

世界上第一座海上风场于1991年开始运行,建有11台海上风力涡轮发电机组,安装在丹麦的Vindeby。截止到2007年底,总共在5个欧洲国家建成了22个海上风电项目,累计装机容量近1103MW (见表1)。

	风电机组	海水深度 (英尺)	离岸距离 (公里)	MW	年度
Vindeby (DK)	11 x 450 kW, Bonus	2.5-5.1	2.3	4.95	1991
Lely (Ijsselmeer) (NL)	4 x 500 kW, NEG Micon	5-10	<1	2	1994
Tuno Knob (DK)	10 x 500 kW, Vestas	2.5-7.5	5-6	5	1995
Dronton (Ijsselmeer) (NL)	28 x 600 kW, NEG Micon	5	<0.1	16.8	1996
Bockstigen (S)	5 x 500 kW, NEG Micon	6	3	2.75	1997

<sup>1</sup> EWEA. Offshore Wind Necessary to Meet EU's 20% Renewables Target, Tuesday 4 December 2007.

Blyth (UK)	7 x 1.5 MW, GE Wind	6-11	<1	4	2000
Utgrunden (Oland) (S)	2 x 2 MW, Vestas	7-10	8	10.5	2000
Middelgrunden (DK)	20 x 2 MW, Bonus	3-6	1.5-2.5	40	2000
Yttre Stengrund (S)	5 x 2 MW, NEG Micon	6-10	5	10	2001
Horns Rev (DK)	80 x 2 MW, Vestas	6-14	14-20	160	2002
Samsø (DK)	10 x 2.3 MW, Siemens	18-20	3-6	23	2002
Ronland (DK)	Mix of Vestas and Siemens	<1	<1	17.2	2003
Frederishavn (DK)	Mix of Vestas and Siemens	1-3	<1	7.6	2003
North Hoyle (UK)	30 x 2 MW, Vestas	12	6-8	60	2003
Arklow Bank (UK)	7 x 3.6 MW, GE Wind	2-5	10	25.2	2003
Nysted (DK)	72 x 2.3 MW, Siemens	6-9.5	10	166	2003
Scroby Sands (UK)	30 x 2 MW, Vestas	2-8	3	60	2004
Kentish Flat (UK)	30 x 3 MW, Vestas	5	8.5	90	2005
Barrow (UK)	30 x 3 MW, Vestas	21-23	7.5	90	2006
NSW (NL)	30 x 3 MW, Vestas	19-22	10	108	2006
Lillgrunden (S)	48 x 2.3 MW, Siemens	3-6	7-10	110	2007
Burbo Bank (UK)	24 x 3.6 MW, Siemens	2-8	5-7	90	2007

表1. 截至2007年前欧洲海上风电装机情况（资料来源：Lemming 2007<sup>2</sup>。）

虽然只占风电总装机容量的1.8%，这些海上风电项目所生产的电力占欧洲总风电输出的3.3%。最深的风场是英国的90MW Barrow风电场，2006年建成，位于7.5公里海岸外，水深21-23米，安装了30台Vestas风力涡轮机组，每台3MW。而最浅的海上风场是丹麦的17.2MW Ronland风场，建于2003年，位于海岸线外不到1公里处，水深1米，采用Vestas和Siemens生产的混编风电机组。丹麦海上风场，于2003年还建设了迄今最大容量的Nysted 166MW海上风场，由72台Siemens风电机组组成，每台3MW，位于海岸外10公里处，水深6-9.5米。

有些项目已经建成投产，也有些项目即将竣工。2008年和2009年都将成为欧洲海上风电发展的最快增长年度，计划新增装机容量将达到1507.5MW，即将并网发电<sup>3</sup>。瑞典的110MW Lille Grund项目安装了48台2.3 MW风机，计划本年底竣工。丹麦计划在未来几年内新建两座大型海上风电场，使得海上风场总数达到10座<sup>4</sup>。Horns Rev 2 和 Rodsand 2都是200 MW规模的海上风场，装有90台风电机组。Rodsand 2 海上风场已经得到丹麦政府的批准。最大的国际电力公司EON希望在2009年开始建设该215MW规模的项目，有三个5MW级的风机样机将会加入到90个2.3MW的风机群。

最近，英国批准了在爱尔兰海域建设一座450MW规模的Walney海上风电场。该项目由Dong Energy公司承建，预计总投资达9亿英镑。一期装机44台风机，规模约为106MW，计划于2010年到2011年间发电。二期项目将根据陆地电网发展情况，但项目的延后将有利于采用更高容量的新一代风电机组<sup>5</sup>。Borkum 2 400 MW风电场位于北海德国海岸100公里以外，计划于2009年9月投产。一种可以让电力公司控制供电量、提高电网稳定习惯性的ABB轻型

<sup>2</sup> From presentation Offshore Wind Power Experiences, Potentials and Key Issues for Deployment. Jørgen K. Lemming, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark. Presented at IEA and Danish Ministry of Foreign Affairs Workshop, Berlin, December 3, 2007.

<sup>3</sup> Renewable Energy World Magazine. 3 Jan 2008. 40,000 MW by 2020: Building Offshore Wind in Europe. Available at <<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/reworld/story?id=51595>>

<sup>4</sup> See Offshore Windfarms in Denmark, Danish Energy Agency. Available at <http://www.ens.dk/sw15562.asp>

<sup>5</sup> Offshore Wind and Marine Project Update – Germany’s Promise. Renewable Energy Focus, January/February 2008, p. 22.

高压直流(NVDC)输电技术<sup>6</sup>，将被用于世界上最远的海上风电项目<sup>7</sup>。

在过去的几年里，每年都有100到200MW规模加入全球海上风电装机容量，从2000年到2007年间，平均年装机容量增长58%（见表2）。

年度	新增容量	总装机容量 MW	年度增长量
2000	55	86	199%
2001	10	96	12%
2002	183	279	191%
2003	276	555	99%
2004	60	615	11%
2005	90	705	15%
2006	198	903	28%
2007	200	1103	22%
			平均58%

表2: 2000-2007海上风电增长率。（资料来源：Lemming 2007）<sup>8</sup>

### 欧洲海上风电展望

图1.比较了从不同欧洲组织给出的海上风电发展预测情况。

根据欧洲海上风电的有限分布、历史趋势、风资源潜力、规划项目、产业概况以及欧盟成员国的产业政策等因素，欧洲风能协会(EWEA)预测，到2010年，欧洲的海上风电装机容量将达到3.5GW<sup>9</sup>。从长远来看，目前投产的和规划的海上风电规模在2015年可达到15GW，而这只是在8个国家。欧洲风能协会估计，如果能够克服现有障碍<sup>10</sup>，到2020年欧洲海上风电规模可达到40GW，发电量占欧洲电力生产总量的4%。最终，海上风能利用的覆盖率将在很大程度上取决于技术引进和开发。市场和供应链的发展也非常重要，因为需求大于供给，将会出现瓶颈。然而，供应链方面的瓶颈最近出现了缓和，例如，风机制造商Repower和Multibrid今年推出了5MW规模的海上风机系列产品，这两家公司都在德国的Bremerhaven港建设了生产基地，每个公司都计划到2010年年生产100台风机。考虑到所涉及供应链的规模和复杂程度，这是个了不起的壮举。

尽管有较大的不确定性，海上风电的发展潜力巨大，仍待开发。为了开发这一巨大的潜

<sup>6</sup> HVDC Light offers a number of environmental benefits including: neutral electromagnetic fields, oil-free cables and compact converter stations. Offshore Wind and Marine Project Update – Germany’s Promise. Renewable Energy Focus, January/February 2008, p. 22. More Information available from ABB at <http://www.abb.com/cawp/GAD02181/C1256D71001E0037C12568350027 FEFC.aspx>

<sup>7</sup> Offshore Wind and Marine Project Update – Germany’s Promise. Renewable Energy Focus, January/February 2008, p. 22.

<sup>8</sup> From presentation Offshore Wind Power Experiences, Potentials and Key Issues for Deployment. Jørgen K. Lemming, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark. Presented at IEA and Danish Ministry of Foreign Affairs Workshop, Berlin, December 3, 2007.

<sup>9</sup> EWEA. Delivering Offshore Wind Power in Europe: Policy Recommendations for Large-Scale Deployment of Offshore Wind Power in Europe by 2020. 2007. Available at <[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/images/publications/offshore\\_report/ewea-offshore\\_report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/images/publications/offshore_report/ewea-offshore_report.pdf)>.

<sup>10</sup> 2007 European Offshore Wind Conference & Exhibition. Offshore Bulletin: Get a Closer Look at Offshore Wind. 10/2007.

力，EWEA列出了6个需要实施的重点任务：

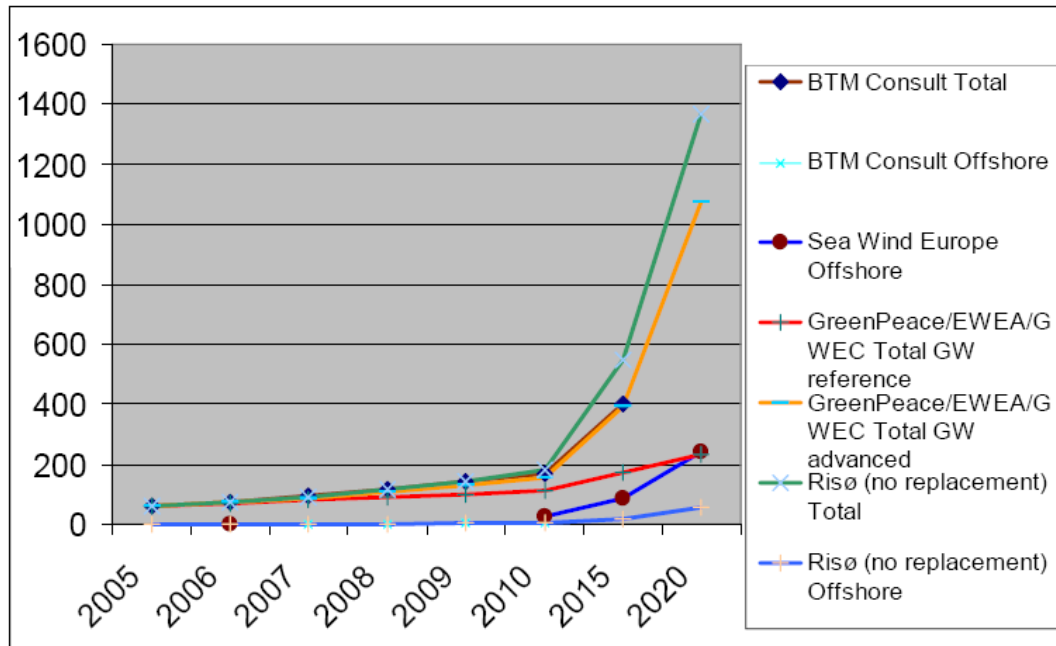


图1：海上风电发展预测。（资料来源：<http://www.offshorewindenergy.org/Update> 28 June 2007.）

1. 海上风电开发需要欧盟及其成员国不断的支持；
2. 加强技术开发和推广；
3. 及时提高供应链能力；
4. 将规划和技术成果转化为大型风场建设工程；
5. 融资、涉及核建设电网基础设施，包括输电线路连接；
6. 在欧洲电力市场上实行最高效的电网间交换机制<sup>11</sup>。

在考虑到需要覆盖欧洲OECD成员国的整个用电需求所必需的风场面积时，我们希望海上风电能够向欧洲电力市场供应足够比例的电力（图2）。

#### 开发海上风电潜力：英国的情况

英国2000年在英格兰东北部海岸建成了第一座海上风电场，Blyth风场计划年发电量10,000MWh。2004年，英国政府通过了能源法案(Energy Act)，允许在其海域以外开发风电项目。同年，规划了15个项目，这些项目可为全国提供近7%的电力。最近，Shell从一个最大的海上风电项目-London Array 中撤出。在英国强制性可再生能源制度（Renewable Obligation, RO）下，英国的配额指标制度要求供电商不断提高可再生电能的比例。英国向可再生能源发电企业颁发可再生能源份额证书(ROC)，这些证书可进行交易，以实现配额指标。份额证书价格的波动，制度的复杂性，以及计划过程的困难程度，仍然制约着海上风电的发展。英国政府正在努力克服这些困难，为每兆瓦海上风电提供1.5份额ROC，并理顺入网程序。有了这两个措施，加上突破涡轮机制造的瓶颈，将有助于英国的海上风电实现有利可图。

<sup>11</sup> EWEA. Delivering Offshore Wind Power in Europe: Policy Recommendations for Large-Scale Deployment of Offshore Wind Power in Europe by 2020. 2007. Available at <[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/images/publications/offshore\\_report/ewea-offshore\\_report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/images/publications/offshore_report/ewea-offshore_report.pdf)>.



图 2: 覆盖欧洲OECD成员国整个电力需求所需风场面积的估计。(资料来源: Adapted from Lemming 2007<sup>12</sup>)

### 开发海上风电潜力：德国扩充电网的情况<sup>13</sup>

德国国家能源署(Dena)资助一项研究,旨在弄清海上风电上网对德国电网以及现有电厂基础设施的影响<sup>14</sup>。该项研究表明,要实现风电上网的成本效益,包括扩大海上风电规模,只需要对电网稍作扩充,只需要增加约850公里超高压电网,占现有超高压电网能力的不足5%<sup>15</sup>。此外,这项研究发现,海上风电对主电网系统不存在威胁,不会由于技术问题引起德国电网中断。根据现有的发电厂,研究认为不需要建立所谓的“影子电厂”来平衡负荷或提供备用电源。

2006年之前,一个海上风场要上网连接到陆地电网,其投资费用完全由电厂运营商负担。由于大多数德国海上风场都建在离海岸30公里以外的海上,并网的成本约占整个项目投资的20%到30%。2006年底德国通过了一项加快基础设施规划法案(Infrastructure Planning Acceleration Act),改变了电网投资和并网的责任。该法案于2007年12月17日生效,规定附近的电网运营商必须负责接受海上风电厂并网,包括从海上变电站到最近电网连接点的连网,也要负担上网的技术和费用<sup>16</sup>。与此同时,通过合作规划(见图3),使得连网的费用达到最低。这项规定影响到所有2011年底前建成的风电场<sup>17</sup>,连网的成本费用将由电网运营商负担,也可以由全国所有输电网运营商分担。

<sup>12</sup> From presentation Offshore Wind Power Experiences, Potentials and Key Issues for Deployment. Jørgen K. Lemming, Risø National Laboratory, Technical University of Denmark. Presented at IEA and Danish Ministry of Foreign Affairs Workshop, Berlin, December 3, 2007.

<sup>13</sup> The study is discussed in detail in the second chapter, Strategy of the German Government. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>14</sup> DENA Project Steering Group. Planning the Grid Integration of Wind Energy in Germany Onshore and Offshore up to the year 2020. DENA grid study. 2005. Deutsche Energie-Agentur, Berlin, [www.wind-energy.de/fileadmin/documente/Themen\\_A-Z/Netzausbau/stud\\_summary-dena\\_grid.pdf](http://www.wind-energy.de/fileadmin/documente/Themen_A-Z/Netzausbau/stud_summary-dena_grid.pdf)

<sup>15</sup> 德国电网总长度为 18,000km.

<sup>16</sup> Section 17 subsection 2a Energy Industry Act EnWG.

<sup>17</sup> Section 118 EnWG. This date is likely to be extended due to the delay in construction of offshore wind parks.

## Cable spaghetti or offshore network.

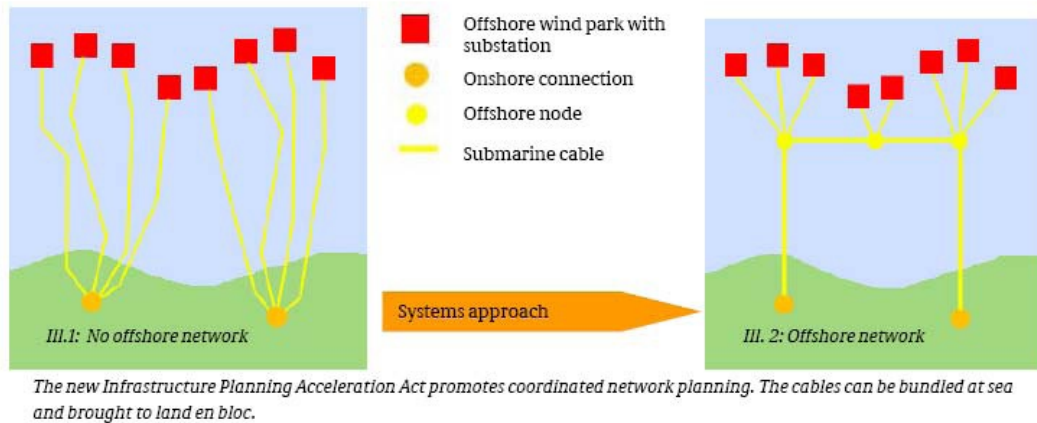


图 3: 海上风力发电厂的合作并网模式。资料来源: Dena fact sheets 09/07.

### 国际合作

由于欧盟各成员国的地理位置临近,领海相连,欧洲的海上风电开发尤其需要各国之间的国际合作。一个国家的领海区域为海岸外12海里,由该国管辖。因此,开发权和规划方法可由联邦政府或当地主管机构负责。领海以外的海域是专属经济区(EEZ),不属于成员国的领土范围。有关专属经济区范围内开发活动的法律手续比起领海以内的同样活动要更加复杂。

然而,1982年联合国大会通过的海洋法的沿岸国家签署国被允许在EEZ开展一定的开发利用,并享有一定的灵活性,特别包括允许开发海上风能<sup>18</sup>。此外,关于保护海洋环境,也有一些国际协议。例如,有一些地区性的协议,保护大西洋东北部和波罗的海的海洋环境<sup>19</sup>。虽然这些协议包括了海上石油开采的规定,但还没有涉及到关于海上风电开发的条款<sup>20</sup>。有两个指令性条例对允许授权合法开发海上风电也十分重要,它们是鸟类保护条例<sup>21</sup>和栖息地保护条例<sup>22</sup>。欧盟委员会认为,这两个条例不仅适用于欧盟成员国的领土范围内,而且适用于领海水域附近的海洋地区<sup>23</sup>。

开发海上风能也被认为是实现共同区域可再生能源和环境目标的一种重要的手段。2007年,欧盟成员国同意,到2020年实现20%的可再生能源目标<sup>24</sup>。这就是说,到2020年,欧洲有34%的电能是由可再生能源提供的。海上风电将为实现这一目标扮演着越来越重要的角色。根据欧洲风能协会的资料,风电在整个电力生产中占12%,相当于可再生能源电力目标的三分之一还多,但前提是海上风能要得到开发<sup>25</sup>。

<sup>18</sup> cf Articles 56 and 60.

<sup>19</sup> The OSPAR Convention, in force since 1998, protects the North-East Atlantic and the Helsinki Convention, in force since 2000, protects the Baltic Sea.

<sup>20</sup> In 2004, the OSPAR Commission did publish a report entitled “Problems and Benefits Associated with the Development of Offshore Wind Farms.”

<sup>21</sup> Directive 79/409/EEC on the conservation of wild birds.

<sup>22</sup> Directive 92/43/EEC on the conservation and the natural habitats of wild fauna and flora.

<sup>23</sup> In Germany, sites protected under these Directives have gained support through the Renewable Energy Sources Act (EEG). In 2004, the EEG was amended to exclude wind energy installations licensed after 1 January 2005 in the EEZ or the Territorial Sea which are protected under either Directive. This effectively directs the expansion of offshore wind energy towards areas which are less environmentally sensitive. See Chapter 3, the Legal Framework Conditions for Licensing. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>24</sup> See The 2020 Renewable Energy Targets in the EU memo by the Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Wuerttemberg (ZSW) as consultants to the Center for Resource Solutions and prepared for the Energy Foundation’s China Sustainable Energy Program. March 2008.

<sup>25</sup> EWEA. Offshore Wind Necessary to Meet EU’s 20% Renewables Target, Tuesday 4 December

2002年以来，欧盟各成员国间密切合作，在2004年的Egmond宣言<sup>26</sup>、2005年的哥本哈根战略<sup>27</sup>和2007年的柏林宣言<sup>28</sup>中都提出了如何开发海上风电的具体方案。去年12月，随着欧盟委员会宣布2008年海上风能行动计划，这一进程得到进一步发展。这项宣布是为了回应风电产业提出的一系列政策建议<sup>29</sup>，这些建议着重于消除许多障碍，通过市场扶持实现风电发展，提高研究和技术开发，改善电网能力，以及理顺规划方法等。

区域合作，尤其在科研方面的合作，已经通过国家间的协议得以加强，比如2007年12月由德国、瑞典和丹麦共同签署的三方海上风电研究协议<sup>30</sup>。该协议代替了2005年德国和丹麦签署的联合文件，旨在加强解决海上风电开发问题的合作。这项新的协议的重点是技术和环境问题，同时开展其他科研项目。其他欧洲国家也被明确邀请加入该协议。

国际合作可以帮助减轻基础投资方面的财务风险。在扩充海上输电网的例子中，国际合作可以让单一放射状连入陆地电网的海上风电场与环形连网或真正并网连接的海上风场共存，这样合作的好处也包括提高可再生电力的交易量，降低电网系统的脆弱性，并可分担发电成本。

一项特殊的合作典范是欧洲的POWER项目<sup>31</sup>。POWER项目把北海沿岸区域的利益联合起来，共同扶持和实现海上风电的经济技术潜力。该项目评估环境和规划，以及对海上风场的接受问题，支持可靠的供应链产业开发，并精心设计开发措施。有37个组织参与了该项目，项目中有德国、英国、丹麦、荷兰和比利时的代表。这项地区性的跨国合作正在创建一个北海海上风电能力网络。风电为重新建立海岸地区的经济提供了一个绝佳的机会，解决以前由于相对闭塞的地理位置、渔业股票下滑以及传统海上产业不景气所引起的高失业率和经济滑坡问题。POWER项目旨在解决海上风能开发中遇到的各种各样的障碍。

另一项合作项目是波罗的海海上能源联合体<sup>32</sup>，简称BOSEC。该项目由一批科研单位、金融机构、工业企业和其他企业共同组成，联合对波兰、立陶宛、拉脱维亚和爱沙尼亚海域的海上能源进行有效的开发，包括联合开发海上风场，波浪和潮汐发电站等，融资和建设泛欧洲超级电网的东波罗的海分网，以及建立欧洲电力市场的供应保障。BOSEC的联合行动旨在通过整合各企业、科研机构，欧盟委员会以及各国政府层面的政策、项目和能力建设，建立一种合作优势，加快海洋能源以及欧洲电力市场的开发，实现里斯本战略<sup>33</sup>以及欧盟能源战略计划所设立的目标和重点任务。

## 研究与开发

在欧盟范围内，海上风电的研究与开发工作一直是重点。一些大的组织，如风能欧洲技术平台，以及联合研究中心等，为国家科研机构之间的研究工作提供协调。在2007年的“第

---

2007. Available at [http://www.ewea.org/index.php?id=60&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=562&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=1&cHash=44bb2e1ab8](http://www.ewea.org/index.php?id=60&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=562&tx_ttnews%5BbackPid%5D=1&cHash=44bb2e1ab8)

<sup>26</sup> Available at [http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik\\_und\\_Wind/041001\\_egmond\\_declaration.pdf](http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik_und_Wind/041001_egmond_declaration.pdf)

<sup>27</sup> Available at [http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik\\_und\\_Wind/copenhagen\\_strategy\\_on\\_offshore\\_wind\\_power\\_deployment.pdf](http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik_und_Wind/copenhagen_strategy_on_offshore_wind_power_deployment.pdf)

<sup>28</sup> The European Policy Workshop on Offshore Wind Power Deployment. 22/23 February 2007 at the Technische Universität Berlin. Documentation available at [http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik\\_und\\_Wind/Berlin\\_declaration.pdf](http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Politik_und_Wind/Berlin_declaration.pdf)

<sup>29</sup> See European Wind Energy Association publication - Developing Offshore Wind Power in Europe: Policy Recommendations for Large-Scale Deployment of Offshore Wind Power in Europe by 2020. 2007. Available at <[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/images/publications/offshore\\_report/ewea-offshore\\_report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/images/publications/offshore_report/ewea-offshore_report.pdf)>.

<sup>30</sup> EWEA. Offshore Wind Necessary to Meet EU's 20% Renewables Target, Tuesday 4 December 2007. Available at [http://www.ewea.org/index.php?id=60&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=562&tx\\_ttnews%5BbackPid%5D=1&cHash=44bb2e1ab8](http://www.ewea.org/index.php?id=60&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=562&tx_ttnews%5BbackPid%5D=1&cHash=44bb2e1ab8)

<sup>31</sup> POWER website available at <http://www.offshore-power.net/informationsub.asp?Page=70&menu=1&submenu=221&type=menu&print=print>

<sup>32</sup> <http://www.bosec.lt/AboutBOSEC.htm>

<sup>33</sup> Lisbon Strategy for Growth and Jobs aims at European modernization and global competitiveness. See European Commission information page available at [http://ec.europa.eu/growthandjobs/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/growthandjobs/index_en.htm)

三届欧洲海上风电政策研讨会”上，来自12个欧洲国家的政府和业界代表提出，需要对海上风电技术、电网集成以及环境方面进行更深入广泛的研究。欧洲的合作研究机构，如欧盟委员会主办的欧洲风能技术平台<sup>34</sup>和第7届框架计划，被看作是重点开展海上风电研究与开发的一个关键机构，他们为科研工作提供指导，并为联合研究中心提供经费支持<sup>35</sup>。针对有关电网问题，参加研讨会的代表们一般都赞成指定一个欧洲协调机构，解决北欧海上风场的并网问题，并开展一项跨国界海上电网的研究，作为制定欧洲海上风能共同政策的重要一步。还签订了一些双边和多边合作协议，促进欧洲的海上风电研究与开发（细节见后）。

### 评估与创新：了解海上风电对环境的影响

建立海上风力发电厂对某些动物种类和栖息地可能会产生不利的影 响，尤其在不采取任何措施防止或减轻这些影响的情况下。特别是，当地的鸟类、哺乳动物和鱼类可能会受到惊扰，并丧失他们赖以生存的捕食和繁育栖息地。风力涡轮机基座下的海底种群将被破坏，风场附近的种群可能由于水文和沉积物的改变而受到影响。水下噪声，不论在建设期间还是运行时，都会影响到海洋哺乳动物，人为产生的电场和磁场都会迷惑鱼类和哺乳动物。还有，风场肯定会增加船只碰撞的机率，可以威胁到非常大的水域（如发生石油或化学品泄露的情形）。在某些特定区域（如捕鱼区）对某些物种，如鱼类和海洋动物，也可能带来有利的影响。

丹麦<sup>36</sup>、瑞典和德国<sup>37</sup>已经采取一些缜密的步骤推动重点研究，向公众提供海上风能开发对环境影响的信息。例如，德国成立了一个海上风能基金会<sup>38</sup>，投资建立海上风机的试验场。联邦环境部（BMU）从气候保护和能源供给安全的角度出发支持这项工作，目的是促进技术研究、生态研究以及加强知识交流和技术转让。该基金会获权设立试验风场，然后再将风场租给运营公司测试兆瓦级大功率涡轮风机，比如5MW的涡轮机组。三个海上风电平台中最先开发的 FIN O1，2003年建于北海德国海岸外，用来测试海浪和风能条件，并用于研究风场对海洋动植物的影响结果。2006年在波罗的海Kriegers Flak附件建立了FIN O2。

为了在专属经济区内批准建立海上风电场，从法律上要通过欧盟的环境影响评估（EIA）委员会<sup>39</sup>的批准，如果涉及到保护区的话，还要通过栖息地委员会的有关评估。其他要求，如战略环境评估报告可能也是必须的<sup>40</sup>。这些措施旨在弄清海上风电的工程建设、安装、运行和拆除对海洋环境造成的影响，并把这些影响信息整合到这些项目的审批决策中。还是看德国的例子，EIA对环境影响评价作为项目审批的依据没有设定自己的标准，因此，EIA必须按照德国海洋设施法案<sup>41</sup>中的规定否决项目。其结果是，一项评估中只需要包括那些影响，即可能对环境造成明显的负面影响，以致于威胁到海洋环境的生存，只有这些影响因素能把

<sup>34</sup> <http://www.windplatform.eu>

<sup>35</sup> <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm?id=1590&lang=en>

<sup>36</sup> See The Danish Energy Authority. 2006. Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues. DONG Energy, Vattenfall, the Danish Energy Authority and the Danish Forest and Nature Agency.

<sup>37</sup> See The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>38</sup> The establishment of the Foundation is discussed in Chapter 2, Strategy of the German Government. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>39</sup> Information on the EIA can be found online at <http://ec.europa.eu/environment/eia/home.htm>

<sup>40</sup> SEA is a legally enforced assessment procedure required by Directive 2001/42/EC (known as the SEA Directive). The SEA Directive aims at introducing systematic assessment of the environmental effects of strategic land use related plans and programs. It typically applies to regional and local—development, waste and transport plans—within the European Union. SEA only applies to plans that are required by law. Therefore, voluntary national plans and programs are often excluded. Information on the relationship between EIA and SEA in the EU can be found at [http://ec.europa.eu/environment/eia/pdf/final\\_report\\_0508.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eia/pdf/final_report_0508.pdf) in the report “The Relationship between the EIA and SEA Directives: Final Report to the European Commission” Contract No. ENV.G.4/ETV/2004/0020r, Imperial College London Consultants.

<sup>41</sup> See Approval Procedures of the Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie available in English at [http://www.bsh.de/en/Marine\\_uses/Industry/Wind\\_farms/Approval\\_Procedure.jsp](http://www.bsh.de/en/Marine_uses/Industry/Wind_farms/Approval_Procedure.jsp)



它们和项目审批关联起来<sup>42</sup>。

在授权审批手续中，让行政手段及规章制度适应海洋环境是一项至关重要任务<sup>43</sup>。受到保护的资产和影响因素需要加以特别的说明，以保护海洋环境。在决策过程中特别要注意那些非常重要的环境因素。由于生态系统存在一些临界值，超过这些临界值，系统几乎是不可恢复的，因此必须要知道，一些事件的因果链中哪个步骤会立刻带来危险，哪些是可以防范的<sup>44</sup>。这就需要在一项活动之前进行事前评估，在活动进行前采取预防性的措施。长期性监测并对破坏行为进行严惩，是防止越过环境警戒线的有效方法。丹麦等一些国家在开发新技术，对海洋环境长期监测方面，起到了很好的带头作用<sup>45</sup>。

## 丹麦的经验：海上风电与海洋环境

基于Horns Rev海上风场（80台风力涡轮机组，总装机容量160MW，建在Nysted）以及另一个72台风机、总规模166MW风场的成功经验，丹麦政府在其“2006年海上风场开发：关键环境问题”的出版物中，详细阐述了：风场配置和建设，风场环境监测，对有关特定鱼类种群、哺乳动物及鸟类的影响，以及风场建设相关政策、规划和征求意见等内容。

除了这项研究报告外，丹麦政府还做了大量卓有成效工作，使得项目具有合法性和透明度，以及弄清楚海上风电项目可能对环境产生的各种影响。这些工作包括：成立了一个海洋生态国际顾问委员会（IAPME），负责指导和审查境监测过程，环境影响评估，从1999年到2006年间（项目建设前期、中期和后期）进行了环境监测，制定了对哺乳动物和鸟类的全新的监测方法，对人们是否愿意承受减轻开发带来的视觉影响所付出的代价进行了一项全新的定量评估，并编辑了资料丰富的“最终报告”提供下载。

IAPME的一般性结论是，通过利用空间规划手段，在许多地区以环境可持续方式建设海上风力发电设施是完全有可能的。丹麦的研究人员提出，实际上每个地区的海洋环境都有所不同，有些影响对所有海上风场是类似的，比如把沙质海底变成坚硬的结构，而其他影响则是局部的。还有一些有关大规模海上风电开发所带来的长期累积影响问题，例如对鸟类迁徙方式的影响，这需要进行长期的大规模的研究。丹麦还发起了一项国际性工作，对海上风电所引起的环境问题提供全面的总结。丹麦的努力对其他国家的政府在规划类似项目时提供了一个杰出的样板。

## 克服开发障碍

影响可再生能源电力（RES-E）开发的主要因素，除了场地条件外，还有：(i)并网成本，(ii)单位发电成本，(iii)采用上网电价或其他扶持措施，(iv)成本分担方式<sup>46</sup>。并网费用的分担成为新建可再生能源发电项目的一个主要障碍，尤其对开发商要负担所有并网成本的海上风力发电项目更是如此<sup>47</sup>。将这一成本负担转移给相应的电网运行公司，并通过提高消费电价来补偿这些成本，可有效克服这一障碍。

## 欧洲海上风电的定价问题

---

<sup>42</sup> See Chapter 18 EIA in the Approval of Offshore Wind Farms. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>43</sup> See Chapter 18 EIA in the Approval of Offshore Wind Farms. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>44</sup> See Chapter 18 EIA in the Approval of Offshore Wind Farms. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>45</sup> See The Danish Energy Authority. 2006. Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues. DONG Energy, Vattenfall, the Danish Energy Authority and the Danish Forest and Nature Agency.

<sup>46</sup> Swider DJ, et al. Conditions and costs for renewables electricity grid connection: Examples in Europe. Renewable Energy (2007), doi: 10.1016/j.renene.2007.11.005.

<sup>47</sup> Swider DJ, et al. Conditions and costs for renewables electricity grid connection: Examples in Europe. Renewable Energy (2007), doi: 10.1016/j.renene.2007.11.005.

## 丹麦<sup>48</sup>

丹麦提出，到2025年将可再生能源比例增加到所有能源消费的30%，在电力行业，将通过开发海上风电，将这一比例再提高。丹麦对海上风电有一些定价规则，例如，若海上风电是1999年12月31日前并网的，电厂业主负责在电力市场上售电，自负相应成本。

海上风电享有补贴，结合市场价格45.3 øre/kWh。该项补贴适用于前42,000满负荷运行小时。若按上网价格发电，可获0.7 øre/kWh的补偿。

当所有满负荷小时用完后，涡轮机寿命前20年内可按10 øre/kWh获得奖励补偿。该项奖励按照市场价格确定，两项合计不超过36 øre/kWh。2005年1月1日以后，审批程序也简化了，现在海上风场建设项目在招标或申请后由丹麦交通和能源部审批。

## 德国<sup>49</sup>

德国可再生能源上网电价的主要构成因素包括：

- 可再生能源电力优先上网；
- 优先购买和传送可再生电源；
- 由电网运营商支付保障电价，一般保障期20年，对于特许项目，按成本支付；
- 购买和支付费用全国统一。

电费按不同能源类型和装机容量支付，交付运行的日期越晚，电费就越低(称为递减法)。德国的上网电价通常被认为是最成功的可再生能源扶持模式<sup>50</sup>。但对海上风电的情形，仅有优惠电价仍不足以激励海上风电的开发，开发障碍还包括电网扩充，选址和规划。海上风电开发正在取得进步，但德国并不领先。2008年6月9日，德国议会颁布了一项可再生能源法案(EEG)修订案，对风能给予更高的上网电价，并采取其他措施来鼓励陆地和海上风电的发展。按照这项2009年1月1日生效的新法案，陆地风电上网电价将从每千瓦时8.03欧分提高到9.2欧分，这个价格每年对新投产的项目降低百分之一，而不是先前规定的百分之二。对于海上风电项目，定义为离海岸线三哩以外，初始上网电价设定为15欧分/kWh，执行到2015年，以后对新的装机降到13欧分/kWh，每年降低百分之五。

德国政府还于2008年6月份批准了一项气候变化政策，旨在实现到2020年比1990年降低40%二氧化碳排放的目标。该政策在以前强调绿色电力的基础上，注重交通和建筑行业，使得电厂的运行更加高效。政策内容包括批准建设一条850公里的地下电网，将海上风电输送到德国南部地区。

## 瑞典<sup>51</sup>

瑞典采用一套电力证书体制<sup>52</sup>，即电源用户在他们所使用的所有电力中必须购买一定比例的绿色证书。一份证书，相当于1MWh的可再生电源，2007年的售价约为191瑞典克朗，消费者支付每千瓦时4 øre。2007年为61个海上风电厂授予了证书。在瑞典的2001/02:143号法案“合作进行可靠、有效及环境友好的电力生产”中，瑞典议会提出，到2015年，全国规划风电发电量将达到10 TWh。根据政府的指导意见，瑞典能源局又提出了新的风电目标，到2020年，风电发电量目标将达30 TWh，其中，20 TWh将来自陆上风电，10 TWh来自海上

<sup>48</sup> Danish Energy Agency at <http://www.ens.dk/sw23781.asp>

<sup>49</sup> Discussed in Chapter 3: Legal Framework Conditions for the Licensing of Offshore Wind Farms. The Berlin University of Technology. 2006. Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

<sup>50</sup> Swider DJ, et al. Conditions and costs for renewables electricity grid connection: Examples in Europe. *Renewable Energy* (2007), doi: 10.1016/j.renene.2007.11.005.

<sup>51</sup> <http://www.swedishenergyagency.se>

<sup>52</sup> See the Electricity Certificate System 2008, Swedish Energy Agency, at [http://www.swedishenergyagency.se/web/bibshop\\_eng.nsf/FilAtkomst/ET2008\\_09w.pdf/\\$FILE/ET2008\\_09w.pdf?OpenElement](http://www.swedishenergyagency.se/web/bibshop_eng.nsf/FilAtkomst/ET2008_09w.pdf/$FILE/ET2008_09w.pdf?OpenElement)

风电。瑞典的Lillegrund海上风电场的建设得到了政府资金的援助（作为试点专项经费），以扶持进入风电市场。瑞典政府又设立了一项2008年到2012年期间的经费资助计划，用于建设更多的海上风电项目。瑞典能源局提出了若干措施，在未来的几年里大力发展风力发电：（1）简化规划和审批程序；（2）因为风电是一种“清洁”能源，因此风力发电不受对环境有害的活动法令的约束；（3）与公共主管部门的联系应通过单一的渠道受理；（4）最迟在一些一次审核前，确定海上风电在电力证书体制度的份额；（5）通过新的政策措施，加大对海上风力发电的扶持力度。

## 规划和建设经验

与常规发电厂相比较，海上风场的规划和建设更加复杂。由于海上风电产业在工程建设和维护方面仍面临着相对较高的不确定性，必须要尽可能降低规划部门、投资商和开发上的风险。德国能源署资助了一项研究项目-“欧洲海上风场案例研究”，对欧盟不同国家的8个海上风电项目的规划和开发过程的经验进行评估<sup>53</sup>。这项研究的目的是为了降低开发成本，提高效率。项目找出了海上风电项目开发的七个主要阶段。

- 项目前规划；
- 项目详细设计；
- 生产和采购；
- 工程、测试、安装调试；
- 全面运行；
- 重新改造；
- 拆除。

在这些每个阶段中，又有若干工作步骤要完成，管理部门必须要考虑到进度安排(图 4)。从海上风点项目评估开始，项目规划和建设的主要障碍就是总体经验不足，一部分是规划部门或者项目开发商没有经验，对招标过程和规划阶段所需要的时间估计不足。本文作者对项目前规划、项目规划、管理和审批步骤提出了几项建议，包括：

- 由主管部门预先选择项目地点，这样有利于避免冲突，可以理顺审批过程，提高项目开发商的安全性；
- 风电技术开发商选择；
- “详细设计”阶段的一些工作步骤，如项目审批过程、场址调查，以及主要风场要素功能需求的定义等，应并行开展，因为这些都是招标和合同的前提工作；
- 风场建成投产前的工作：所有风力涡轮机型号的预测试、所有主要系统构成的服务和维修检测（管线、机舱、叶片、发动机和变压器），与涡轮机组的连线测试，人员培训等都应该完成；
- 理顺审批程序：建议采用“一站式”审批法，对于EEZ、领海内项目、陆地电网并网、以及电缆连线路径的审批，规划部门和开发商都应给予优先考虑。
- 政府审查：根据丹麦的做法<sup>54</sup>，最好选择对环境影响最小，并对开发商具有最安全方案的风场场址；

---

<sup>53</sup> Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), University of Groningen, Gerhard Gerdes Albrecht Tiedeman drs. Sjoerd Zeelenberg. 2007. Case Study: European Offshore Wind Farms- A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms -Final Report. Available at <http://www.ruimte-rijk.nl/index/publicaties/publicaties/final%20report%20case%20studies%20POWER.pdf>

<sup>54</sup> See The Danish Energy Authority. 2006. Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues. DONG Energy, Vattenfall, the Danish Energy Authority and the Danish Forest and Nature Agency.

- 采用专业的媒体报道，提高公众知情度和认可程度。

关于采购和合同签署工作，海上风电项目的采购最好采用多合同法，这样从经济上有好处，根据以往的经验，单一的EPC合同方式可能导致销售价格高达20%。另一方面，若采取与多个供应商签订多项合同，开发商必须要能把握各项采购合同，分担任何额外成本，如恶劣天气造成的结果。多合同法中，开发商还必须有足够的人手和丰富的经验，应付项目所有主成分的设计和安装。开发商要能控制每个工作阶段和步骤，把握好合同商的设计工作和质量保证和控制工作。要按照这一模式成功开发项目，就需要建立足够的的能力，与所有合同商建立非常好的工作关系。

过去认为，解决风场安装和上网的主要困难来自海上作业公司，但欧洲的经验表明，有能力的海上作业公司完全能够计划和执行好这些作业任务（见表 3）。事实上，有经验的负责从制造厂到海港的运输以及安装及装船的海上作业公司比我们想象的要复杂得多。零部件和整个涡轮机组的测试是项目成功的关键，所有在海上的维修费用比在陆地上要高出五倍，特别需要注意入网电缆的铺设，因为电缆的这些特性与通讯用的电缆完全不同，往往要重得多，刚性强而且更粗，一般需要更多的时间，往往要求更多好天气进行作业。对陆上港口作业估计不足也曾经是一个容易忽视的严重错误。和长期港口作业相比，风场安装不过是次重要的工作，如集装箱运输和组织港口物流都需要有经验的项目经理早作计划。在海上组装风电涡轮机组，一般每WTG需要1000平方米的空间。

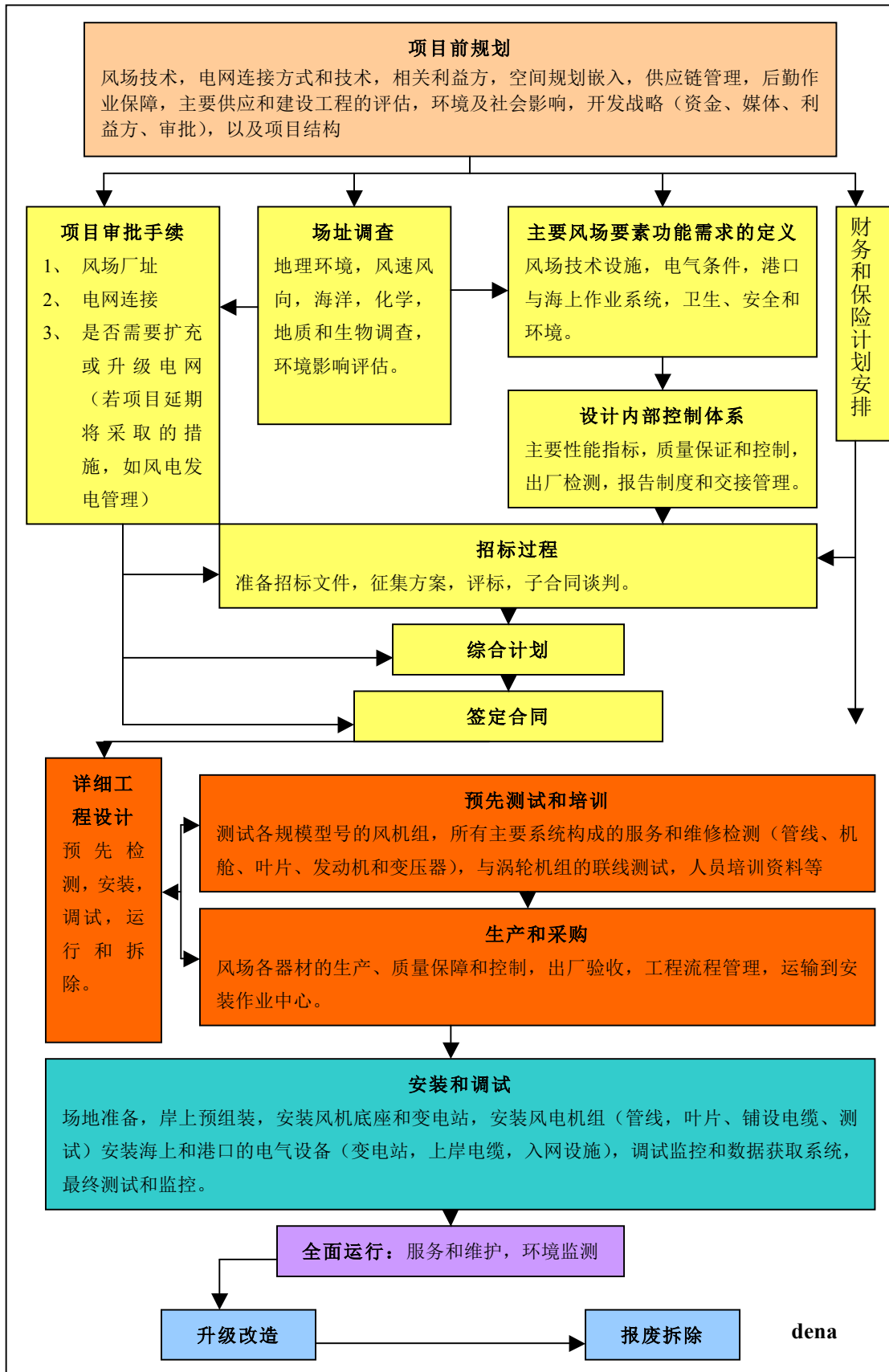


图 4: 海上风电开发阶段主要工作流程图。资料来源: Dena 2007<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), University of Groningen, Gerhard Gerdes Albrecht Tiedeman drs. Sjoerd Zeelenberg. 2007. Case Study: European Offshore Wind Farms- A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of

不同海上风场之间的经济对比很难，这是因为不同的风场投资成本不同，补贴不一，离岸距离不一样，水深各异，并网补贴和电价都不一样。上网成本可能是建设远距离深水风电厂的一个决定性因素。海上风电项目的数量仍相对较少，每个具体情况都会影响到这些项目的成本费用。

		1	2	3	4
风场		<b>Horns Rev</b>	<b>Nysted</b>	<b>Scroby Sands</b>	<b>Egmond Aan Zee</b>
涡轮机组数		<b>80</b>	<b>72</b>	<b>30</b>	<b>36</b>
港口安装场地规模	平方米	<b>15,000</b>	<b>64,000</b>	<b>30,000</b>	<b>30,000</b>
总时间	天	<b>126</b>	<b>90</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
安装时间	天	<b>105</b>	<b>81</b>	<b>55</b>	<b>55-90</b>
单程运输时间	小时	<b>3</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	
每台风机总安装时间	天/WTG	<b>1.09</b>	<b>1.1</b>	<b>1.0</b>	
安装船只数		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	
所需安装周期	天	<b>87.2</b>	<b>79.2</b>	<b>30</b>	

表 3: 欧洲建设海上风电厂的保障作业情况。注意，研究资料发表时 Egmond aan Zee 项目尚未建成。资料来源：Dena 2007<sup>56</sup>

为了使成本费用达到最小，我们提出以下建议：

- 应避免在海上作业，因为在码头和海上作业的费用比大约是1:3.5，甚至更高（可达到1:10）；
- 测试所有的组建和整个涡轮机是非常重要的；
- 对一系列生产过程进行质量控制，并进行出厂测试；
- 对缺乏基本运作经验和资金不足的海上风电项目提供稳定的必要的经费支持。

---

Offshore Wind Farms -Final Report. Available at <http://www.ruimte-rijk.nl/index/publicaties/publicaties/final%20report%20case%20studies%20POWER.pdf>

<sup>56</sup> Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), University of Groningen, Gerhard Gerdes Albrecht Tiedeman drs. Sjoerd Zeelenberg. 2007. Case Study: European Offshore Wind Farms- A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms -Final Report. Available at <http://www.ruimte-rijk.nl/index/publicaties/publicaties/final%20report%20case%20studies%20POWER.pdf>

下表总结了dena 研究中比较的8个风场的经济指标。

		1	2	3	4	5	6	7	8
风场		<b>Egmond ann Zee</b>	<b>Thornton Bank</b>	<b>Borkum West</b>	<b>Butendlek</b>	<b>Greater Gabbard</b>	<b>Horns Rev</b>	<b>Nysted</b>	<b>Scorby Sands</b>
		荷兰	比利时	德国	德国	英国	丹麦	丹麦	英国
风机数		36	6/24/60***	12/208	80	140	80	72	30
功率	<b>MW</b>	3	3.6	5	3	3.6	2	2.3	2
装机容量	<b>MW</b>	108	21.6/120/300	60/1000	240	500	160	165.6	60
风机生产商		Vestas*	N.N.	N.N.	Vestas*	N.N.	Vestas	Bonns	Vestas
计划年发电量	<b>GWh/a</b>	345	986	260/4300		1750	600	480	171
规划开始时间		2000-02	2002	1999	2000		1998-99	1998-99	1993
投入运行时间		2006*	2007*	2003*-2010*	2008*	2009*	2003	2003	2004
离岸距离	<b>km</b>	10-18	27-30	45	34	23	14-20	9	3
水深	<b>m</b>	15-20	30	30	16-20	2.4-10	6-14	6-9.5	3-12
投资额	<b>mil €</b>	200	100//50	138	420		238	250	116
具体投资成本	<b>€/kW</b>		4630//1667** (3472//1583)	2300	1750-2000		1488	1510	1941
补贴强度	<b>mil €</b>	27	总投资的 30%，不超过 25	-	-	-	上网费	上网费	-
上网电价	<b>cr € /kWh</b>	9.7+实际 电价	10.7+实际 上网电价	14年内9.1, 以后6.19	14年内 9.1, 以后 6.19		11年内 5.77		Re

\*计划数 \*\*无补贴和有补贴情况 \*\*\*不同扩建阶段

表 4: 海上风电厂的经济指标。资料来源: Dena 2007<sup>57</sup>

#### 海上风电相关的参考文献

Amardeep Dhanju, Phillip Whitaker, Willett Kempton (2008), Assessing offshore wind resources: An accessible methodology. *Renewable Energy* 33(1): 55- 64. doi:10.1016/j.renene.2007.03.006 at <<http://www.ocean.udel.edu/windpower/docs/DhanjuWhitKemp-proof-RE07.pdf>>.

Sinden, G. Jan 2007. Characteristics of the UK wind resource: Long-term patterns and relationship to electricity demand. *Energy Policy*, 35 (1), p.112-127, Jan 2007.

<sup>57</sup> Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), University of Groningen, Gerhard Gerdes Albrecht Tiedeman drs. Sjoerd Zeelenberg. 2007. Case Study: European Offshore Wind Farms- A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms -Final Report. Available at <http://www.ruimte-rijk.nl/index/publicaties/publicaties/final%20report%20case%20studies%20POWER.pdf>

Wang Zhixin, Jiang Chuanwen, Ai Qian and Wang Chengmin. Aug 2007. The key technology of offshore wind farm and its new development in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, In Press, Corrected Proof, Available online 20 August 2007.

Iniyan, S. / Suganthi, L. / Samuel, A.A. Nov 2006. Energy models for commercial energy prediction and substitution of renewable energy sources. Energy Policy, 34 (17), p.2640-2653, Nov 2006.

Junginger, M. / Faaij, A. / Turkenburg, W.C. Jan 2005. Global experience curves for wind farms. Energy Policy, 33 (2), p.133-150, Jan 2005.

Danish Energy Authority. 2008. Wind Turbine Master Data Register-End January 2008. Available at <<http://www.ens.dk/sw35412.asp>>.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). Martinot, E. 2008. Renewables Global Status Report. 2007. Available at <[http://gsr.ren21.net/index.php?title=Main\\_Page](http://gsr.ren21.net/index.php?title=Main_Page)>.

European Renewable Energy Council. Futu[r]e Investment: A Sustainable Investment Plan for the Power Sector to Save the Climate. July 2007. Greenpeace available at <<http://www.greenpeace.org/international/press/reports/future-investment>>.

Market Report: The Offshore Report 2007. August 2007. Make Consulting. Available for purchase at: <<http://www.make-consulting.com>>.

Marsh, G. 2007. What Price O&M?: Operation and maintenance costs need to be factored into the project costs of offshore wind farms at an early stage. Refocus, Volume 8, Issue 3, May-June 2007, Pages 22, 24, 26-27.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Greenwood, C., Hohler, A., Sonntag-O'Brien, V. et al. Global Trends in Sustainable Energy Investment 2007. Available at <[http://www.ren21.net/pdf/Glob\\_Sust\\_Energy\\_Inv\\_Report\\_2007.pdf](http://www.ren21.net/pdf/Glob_Sust_Energy_Inv_Report_2007.pdf)>.

DeCarolis, J.F. / Keith, D.W. Mar 2006. The economics of large-scale wind power in a carbon constrained world. Energy Policy, 34 (4), p.395-410, Mar 2006.

Milborrow, D.J. "The Economic Myths of High Wind Penetration," Wind Power Monthly, September 2006, vol 22, pp51-56.

UKERC (UK Energy and Research Centre). The Costs and Impacts of Intermittency. 2006. UK Energy Research Centre, London.

## 相关政策文件

### 丹麦

Danish Energy Authority. 2006. Subsidies for Wind Turbines. Available at <<http://www.ens.dk/sw23781.asp>>

### 芬兰

Varho, V. / Tapio, P. Oct 2005. Wind power in Finland up to the year 2025-'soft' scenarios based on expert views. Energy Policy, 33 (15), p.1930-1947, Oct 2005.

### 德国

German Energy Agency Offshore Wind Website. General and country-specific information, updated regularly. Available at [http://www.offshore-wind.de/page/index.php?id=start\\_offshore\\_wind&L=1](http://www.offshore-wind.de/page/index.php?id=start_offshore_wind&L=1)

The German Federal Environment Ministry (BMU). Offshore Wind Power Deployment in Germany (2007). Available at <[http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore\\_wind\\_deployment\\_de\\_en.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/offshore_wind_deployment_de_en.pdf)>.

Page 20

BMU, Renewable Energy Employment Effects. 2006. Dürrschmidt, W. and van Mark, M.



Available at [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/employment\\_effects\\_061211.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/employment_effects_061211.pdf).

Strategy of the German Government on the Use of Off-Shore Wind Energy – in the context of its national sustainability strategy. January 2002. Available at <http://www.offshorewindenergy.org/> under “Reports” keyword search: “National Policy.”

## 瑞典

Wang, Y. Jul 2006. Renewable electricity in Sweden: an analysis of policy and regulations. *Energy Policy*, 34 (10), p.1209-1220, Jul 2006.

## 欧盟

Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee of the Regions: 20 20 by 2020 Europe’s Climate Change Opportunity [COM (2008) 30].

POWER: Pushing Offshore Wind Energy Regions. Organization promoting cooperation between stakeholders in the North Sea Region. Online at <http://www.offshore-power.net/information.asp?Page=7&menu=1&type=menu&print=print>

Concerted Action for Offshore Wind Energy Deployment (COD). See [http://www.offshorewindenergy.org/index\\_cod.php](http://www.offshorewindenergy.org/index_cod.php).

Intelligent Energy Europe: OPTRES. Ragwitz, M. Assessment and optimisation of renewable energy support schemes in the European electricity market. Mario Ragwitz. 2007, 246 pages. Fraunhofer IRB Verlag, Germany.

Smit, T. / Junginger, M. / Smits, R. Dec 2007. Technological learning in offshore wind energy: Different roles of the government. *Energy Policy*, 35 (12), p.6431-6444, Dec 2007.

Szarka, J. 2007. *Wind Power in Europe: Politics, Business and Society*. Palgrave, UK. [www.palgrave.com](http://www.palgrave.com)

Buen, J. Dec 2006. Danish and Norwegian wind industry: The relationship between policy instruments, innovation and diffusion. *Energy Policy*, 34 (18), p.3887-3897, Dec 2006.

European Commission. Concerted Action for Offshore Wind Energy Deployment (COD). 2005. Principle Findings 2003-2005. Available at <http://www.offshorewindenergy.org/> select “COD” and then select “Final\_Report\_.”

Joint Declaration on Cooperation in the Field of Research on Offshore Wind Energy Deployment. 10 September 2005. Governments of Germany and Denmark. Available at [http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/joint\\_decl\\_d\\_dk\\_se.pdf](http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/joint_decl_d_dk_se.pdf).

Greenpeace. Report 2005. Offshore Wind: Implementing a New Powerhouse for Europe—Grid Connection, Environmental Assessment & Political Framework. Available at <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/offshore-wind-implementing-a.pdf>.

Garrad Hassan, et al. 2004. Sea Wind Europe. Commissioned by Greenpeace. Available at <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/6204.pdf>.

## 全球

International Energy Agency’s Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment. At <http://www.iea-ret.d.org>. Also, International Energy Agency’s Implementing Agreement on Wind Energy Systems. At <http://www.ieawind.org>.

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. 2007. Energy-policy Framework Conditions for Electricity Markets and Renewable Energies – 23 Country Analyses (TERNA). Available at <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-windenergy-countrystudy-2007.pdf>.

Lewis, J.I. / Wiser, R.H. Mar 2007. Fostering a renewable energy technology industry: An international comparison of wind industry policy support mechanisms. *Energy Policy*, 35 (3), p.1844-1857, Mar 2007.

Li Junfeng, Shi Jingli, Xie Hongwen, Song Yanqin, Shi Pengfei. 2006. A Study on the Pricing Policy of Wind Power in China. Available through the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century at <<http://www.greenpeace.org/raw/content/china/en/press/reports/wind-power-price-policy.pdf>>.

International Energy Agency. 2005. Offshore Wind Experiences. Available at <<http://www.iea.org/textbase/papers/2005/offshore.pdf>>.

## 行业组织

British Wind Energy Association at <<http://www.bwea.com>>.

Danish Wind Industry Association at <http://www.windpower.org/en/core.htm>

European Wind Energy Association (EWEA) at <<http://www.ewea.org>>.

EWEA. Delivering Offshore Wind Power in Europe: Policy Recommendations for Large-Scale Deployment of Offshore Wind Power in Europe by 2020. 2007. Available at <[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/images/publications/offshore\\_report/ewea-offshore\\_report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/images/publications/offshore_report/ewea-offshore_report.pdf)>.

EWEA. Large Scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply: Analysis, Issues and Recommendations. 2005. Executive Summary Available at <[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/grid/051215\\_Grid\\_report\\_summary.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/grid/051215_Grid_report_summary.pdf)>.

Polish Wind Energy Society at [http://www.ptew.pl/html2006/stowarzyszenie\\_en.html](http://www.ptew.pl/html2006/stowarzyszenie_en.html)

## 基础设施建设

Boyle, G. 2007. *Renewable Electricity and the Grid: The Challenge of Variability*. Earthscan, UK.

VTT Technical Research Centre of Finland. 2007. Design and operation of power systems with large amounts of wind power: State-of-the-art report. 2007. Available at [http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Netzintegration\\_und\\_-anbindung/Download\\_Design\\_and\\_operation\\_of\\_power\\_systems.pdf](http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Netzintegration_und_-anbindung/Download_Design_and_operation_of_power_systems.pdf).pdf European Wind Integration Study (EWIS)

Towards a Successful Integration of Wind Power into European Electricity Grids. European Transmission System Operators. 2007. Available at [http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Netzintegration\\_und\\_-anbindung/European\\_Wind\\_Integration\\_Study\\_\\_EWIS\\_.pdf](http://www.offshore-wind.de/page/fileadmin/offshore/documents/Netzintegration_und_-anbindung/European_Wind_Integration_Study__EWIS_.pdf)

Woyte, A., Gardner, P. and Snodin, H. European Concerted Action on Offshore Wind Energy Deployment: Inventory and Analysis of Power Transmission Barriers in Eight Member States. *Wind Energy*. 2007; 10:357–378. Published online 25 April 2007 in Wiley Interscience.

Black, M. and Strbac, G. Value of Storage in Providing Balancing Services for Electricity Generation Systems with High Wind Penetration. *Journal of Power Sources*, 2006, vol 162, no 2, pp 949-953

DENA Project Steering Group. Planning the Grid Integration of Wind Energy in Germany Onshore and Offshore up to the year 2020. DENA grid study. 2005. Deutsche Energie-Agentur, Berlin, [www.wind-energy.de/fileadmin/documente/Themen\\_A-Z/Netzausbau/stud\\_summary-dena\\_grid.pdf](http://www.wind-energy.de/fileadmin/documente/Themen_A-Z/Netzausbau/stud_summary-dena_grid.pdf)

European Commission. Concerted Action for Offshore Wind Energy Deployment (COD). 2005. Work Package 8: Grid Issues. Available at <<http://www.offshorewindenergy.org>> select “COD” and then select “Final\_Report\_Grid\_Integration.”

International Energy Agency. 2005. Variability of Wind Power and Other Renewables: Management Options and Strategies. Available at

<<http://www.iea.org/textbase/papers/2005/variability.pdf>>.

Johan Morren, Jan T. G. Pierik, Sjoerd W. H. de Haan, Jan Bozelie. 2005. Grid interaction of offshore wind farms. Part 2. Case study simulations. *Wind Energy* Vol. 8, no. 3, pp. 279-293, 2005, John Wiley & Sons, Ltd.

## 行政管理与规划

Balat, M. and Balat, H. (2008) 'The Case of Wind Power Industry in the European Union Countries: Capacity, Markets, and Regional Plans', *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 3:1, 50 – 66

Deutsche WindGuard GmbH, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), University of Groningen, Gerhard Gerdes Albrecht Tiedeman drs. Sjoerd Zeelenberg. 2007. Case Study: European Offshore Wind Farms- A Survey for the Analysis of the Experiences and Lessons Learnt by Developers of Offshore Wind Farms -Final Report. Available at <http://www.ruimte-rijk.nl/index/publicaties/publicaties/final%20report%20case%20studies%20POWER.pdf>

European Commission. Concerted Action for Offshore Wind Energy Deployment (COD). 2005. Work Package 3: Legal and Administrative Issues. Available at <<http://www.offshorewindenergy.org>> select “COD” and then select “Final\_Report\_Legal\_Frameworks.”

Kennedy, S. Sep 2005. Wind power planning: assessing long-term costs and benefits. *Energy Policy*, 33 (13), p.1661-1675, Sep 2005.

Toke, D. Aug 2005. Explaining wind power planning outcomes: - some findings from a study in England and Wales. *Energy Policy*, 33 (12), p.1527-1539, Aug 2005.

## 环境问题

### 一般环境

Kempton, Archer, Garvine, Dhanju and Jacobson. 2007. Large CO2 reductions via offshore wind power matched to inherent storage in energy end-uses. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L02817, doi:10.1029/2006GL028016. See proof (free, but with minor typos) <<http://www.ocean.udel.edu/windpower/docs/KemptonEtAl-MAB-PROOF.pdf>> from Geophysical Research Letters.

The Berlin University of Technology. 2006. *Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts*. Editors: Köller, J., Köppel, J. and Peters, W. Springer, Berlin.

The Danish Energy Authority. 2006. *Danish Offshore Wind: Key Environmental Issues*. DONG Energy, Vattenfall, the Danish Energy Authority and the Danish Forest and Nature Agency.

Zucco C, Wend W, Merck T, Köchling I Köppel J (eds) (2006) *Ecological Research on Offshore Wind Farms: International Exchange of Experience* (Project No: 80446001) BfN Skripten 171.

European Commission. Concerted Action for Offshore Wind Energy Deployment (COD). 2005. Work Package 4: Environmental Issues. Available at <<http://www.offshorewindenergy.org>> select “COD” and then select “Final\_Report\_Environmental\_Impact.”

Painuly, J. P., Clausen, N-E., Fenhann, J., Kamel, S., Pacudan, R. 2005. Wind Power and the CDM - Emerging practices in developing wind power projects for the Clean Development Mechanism. 2005. Available through the Renewable Energy Policy Network for the 21st Century at <<http://e4d.net/Wind%20CDM%20Guidelines/wind%2010.10.2005.pdf>>.

Alvarez-Farizo, B. and Hanley, N. 2002. Using conjoint analysis to quantify public preferences over the environmental impacts of wind farms. An example from Spain, *Energy Policy*, vol. 30, no. 2, pp.107-116.

### 生物多样性与海底生物群落

Leonhard, S.B. and Pedersen, P. 2006. Benthic Communities and Offshore Wind Farms. Reviewing and Concluding Summary Report. Commissioned by Vattenfall and Energy E2.

## 对鸟类的影响

Ballasus, H. and Hueppop, O. 2006. Estimating the condition and flight range of short- and long-distance passerine migrants: Are additional flight costs caused by barrier-effects from offshore windfarms a problem? *J Ornithol* 147: S130-S131.

Fox, A.D., Desholm, M., Kahlert, Christensen, T.K. and Petersen, I.K. 2006. Information needs to support environmental impact assessment of the effects of European marine offshore wind farms on birds. *Ibis* 148: S129-S144.

Garethe, S. and Hueppop, O. 2004. Scaling possible adverse effects of marine wind farms on seabirds: developing and applying a vulnerability index. *J Appl Ecol* 41: 724-734.

Petersen, I.K., Christensen, T.K., Kahlert, J., Desholm, M. and Fox, A.D. 2006. Final results of bird studies at the offshore windfarms at Nysted and Horns Reef, Denmark. National Environmental Research Institute, Rønde.

Collaborative Offshore Wind Research into the Environment (COWRIE). 2004. Best practice guidance for the use of remote techniques for observing bird behaviour in relation to offshore wind farms. Available at <<http://www.offshorewindfarms.co.uk/Downloads/REMOTETECHNIQUES-FINALREPORT.pdf>>.

## 对哺乳动物和鱼类的影响

Carstensen, J., Henriksen, O.D., and Teilmann, J. 2006. Impacts on harbour porpoises from offshore wind farm construction: Acoustic monitoring of echolocation activity using porpoise detectors (T-PODs). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 321:295-308.

Madsen, P.T., Wahlberg, M., Tougaard, J. Lucke, K. and Tyack, P. 2005.

Wind turbine underwater noise and marine mammals: Implications of current knowledge and data needs, *Mar Ecol Prog Ser* 309: 279-295.

Dietz, R., Teilmann, J., Henrikson, O.D. and Laidre, K. 2003. Movements of seals from Rødsand seal sanctuary monitored by satellite telemetry. Relative importance of the Nysted Offshore Wind Farm area to the seals. National Environmental Research Institute Technical Report No. 429: 44 pp. Available at <[http://www.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrappporter/rapporter/FR429.pdf](http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR429.pdf)>.

Einbinder, S., Perelberg, A., Ben-Shaprut, O., Fouchart, M.H. and Shashar, N. 2006. Effects of artificial reefs on fish grazing in their vicinity: evidence from algae presentation experiments. *Mar Envir Res* 61:110-119.

Collaborative Offshore Wind Research into the Environment (COWRIE). Hedwell, J. and Howell, D. A Review of Offshore Wind Farm Related Underwater Noise Sources. Oct 2004. Available at <[http://www.offshorewindfarms.co.uk/Downloads/35\\_literature\\_review.pdf](http://www.offshorewindfarms.co.uk/Downloads/35_literature_review.pdf)>.

## 社会经济影响

Fayram, A. and de Risi, A. 2007. The potential compatibility of offshore wind power and fisheries: An example using bluefin tuna in the Adriatic Sea. *Ocean & Coastal Management*, Volume 50, Issue 8, 2007, Pages 597-605.

Firestone, J. and Kempton, W. 2007. Public Opinion about Large Offshore Wind Power: Underlying Factors *Energy Policy* 35 (2007) 1584-1598. doi:10.1016/j.enpol.2006.04.010. Available at <<http://www.ocean.udel.edu/windpower/docs/FireKemp07-PubOpinUnderly.pdf>>.

Ladenburg, J. and Dubgaard, A. Aug 2007. Willingness to pay for reduced visual disamenities from offshore wind farms in Denmark. *Energy Policy*, Volume 35, Issue 8, August 2007, Pages 4059-4071.

Ladenburg, J. 2006. Attitudes towards Wind Power Development in Denmark, The Royal Veterinary and Agricultural University, Food and Resource Economic Institute, Working Paper no. 3.

Ladenburg, J., Dubgaard, A., Martinsen, L., and Tranberg, J. 2005. Economic Valuation of the Visual Externalities of Offshore Wind Farms, Report from the Food and Resource Economics Institute, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Report no. 179.