



全球风能展望 2008

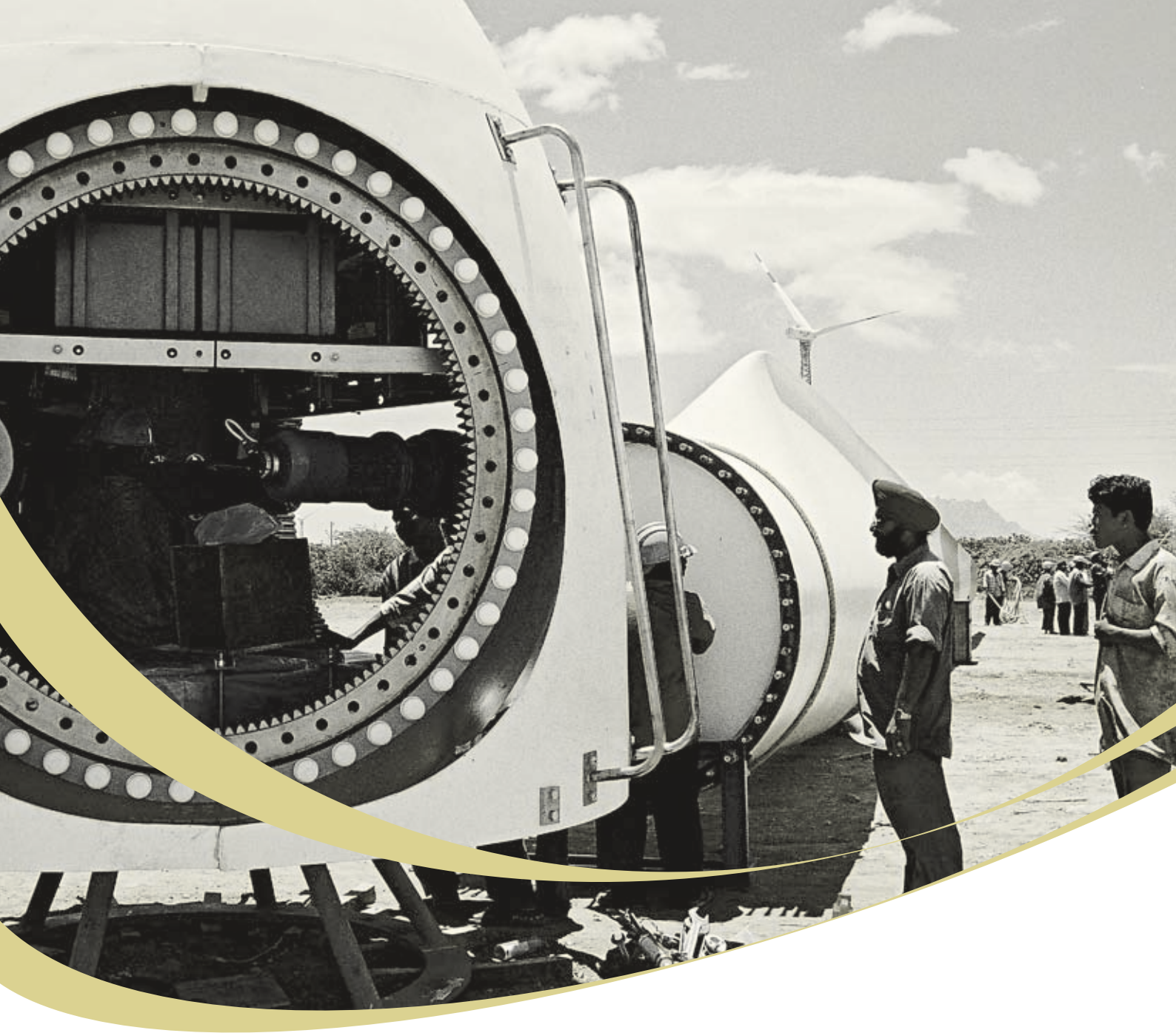
GLOBAL WIND ENERGY OUTLOOK 2008

GREENPEACE

GWEC
GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL



OCTOBER 2008



《全球风能展望》情景

本报告的开头部分介绍了全球风能发展现状及其背后的推动因素，并谈及风电装机持续增加需要解决的监管和并网问题。《全球风能展望》从一系列影响风电行业未来发展的假设入手，探讨了至2020年世界风能的发展潜力，且展望了2050年的情形。

本课题由全球风能理事会 (GWEC)、国际绿色和平组织和德国航空航天中心 (DLR) 协作开展。风能发展前景的预测已经对到2050年全球可持续能源发展之路这项规模更大的研究项目作出了贡献。德国航空航天中心受国际绿色和平组织和欧洲可再生能源委员会 (EREC) 的委托开展了该项研究。

情景

参考情景

本文针对全球风能的未来发展列举了三种不同的情景。最保守的“参考”情景是以国际能源机构 (IEA) 发表的《2007年全球能源展望》中的预测为基础。该情景考虑了目前现有的政策和措施，但是包括了持续的电力和燃气市场改革、跨国能源贸易的自由化以及近期的污染应对政策等假设条件。国际能源机构的数据只是到2030年的情况，但德国航空航天中心根据这些假设外推出整体参考情景和到2050年风电的增长情况。

稳健情景

“稳健”情景考虑了全世界支持可再生能源的所有政策措施，无论是已经颁布的，还是正在制定过程中的。该情景还假定很多国家设定的可再生能源或风能目标都得到了顺利的实施。此外，它还假定当前一轮的气候变化磋商的胜利成果让投资者提升了对风能行业的信心。本轮磋商预计将在2009年12月于丹麦哥本哈根举行的联合国气候大会第15次会议上达到高潮。

到2012年的风能装机容量数据更接近预测，而不是情景。这是由于风能行业的数据显示，基于已经承

诺的风机订单，未来五年全球风能市场稳步增长是确定无疑的事实。而2012年之后，风能发展模式较难预测。

超前情景

最具雄心的就是“超前”情景，它探讨了风能行业在最佳条件“风能愿景”下的发展水平。此处假设如下：所有有利于可再生能源的政策以及该行业的建议都得到了采用，而且决策者将实施这些政策和建议。

尽管2012年之后风能行业发展较难预测，但是设计本情景的旨在表明：如果政策上给予风能行业在能源安全和全球气候变化这两大危机背景下应得的支持和鼓励，风能行业能够实现多高的目标。

能源需求预测

然后将这三种全球风能市场情景与两种电力需求未来增长预测进行比较，即“参考需求预测”和“能效需求预测”。

参考需求预测

它是这两种全球电力需求预测中较保守的一种，以国际能源机构的《2007年全球能源展望》的数据（包括其中关于人口和国内生产总值 (GDP) 增长的假设）为基础，外推至2050年。它考虑了到2007年中期颁布或采纳的政策和措施，但没有包括可能出台或有可能在今后出台的政策措施。该情景还假设国家在核电政策上没有任何变更。

国际能源署估计：在不存在新的政府政策的前提下，全球对电力的需求一定会增长。因此，全球对电力的需求将从2005年的15,016 TWh增至2030年的29,737 TWh，增幅近一倍。

能效需求预测

将国际能源署对于不断增长的能源需求的预测与德国航空航天中心和 Ecofys 咨询公司¹⁾进行的一项能效潜在效应研究的成果进行比较和综合而得出的一种预测。这项研究以能效领域的现有的最佳实践技术、开发中的新兴技术以及持续创新为基础，描述了一条雄心勃勃的能效措施不断提高的发展途径。

当然，事实上，存在的成本限制和其他障碍，例如在现有设备和资本的使用折旧期内进行替代而遭遇的阻力，将阻碍充分实现这种技术能效的潜力。为了反映这些限制，我们已经在本研究中使用了更稳健的**能效情景**，本研究的前提是实现了这种技术潜力的80%。

本情景中全球对能源的需求增长大大低于参考预测的结果，2030年达到23,937 TWh，较参考预测的结果低24%。能效情景认为，到2050年全球电力需求将削减39%或超过12,000 TWh。

主要假设和参数

增长率

这些情景中的市场增长率依据的是从风机市场分析中得出的历史数据和信息组合。正如该情景的超前版本中谈到的一样，超过20%的年增长率对于重型设备制造业来说过高。然而，2003至2007年的五年内，全球累计装机容量的年均增长率达到了25%，从2000年至2007年的八年内，该增长率则超过了27%，这也是2007年的增长率，与2008年预测的相符。

此外，当增长率在各个情景中最终降至一位数的时候，鉴于在各个情景中40年后的风力发电产能水平，即便是很小的增长率届时也将意味着巨大的年装机容量。

风机产能

单风机的额定产能（最大功率下的最大发电量）一直在稳步增长。2007年全球安装的风机的平均产能为1.49 MW，与此同时，目前市场上最大风机的产能为6 MW。

我们做出了一种保守假设，即风机的平均产能将从现今的水平逐渐增长至2013年的2 MW，之后趋于稳定。这一参数在实践中将有可能增长，即较少的风机可以产生相同的装机容量。

另外一个假设就是每个风机都可以使用20年，之后需要更换。较老风机的更换已经在这些情景的考虑范围内。

容量因子

“容量因子”指的是安装在特定地点的风机在一年的运行中将实现的额定容量的百分比。这主要是针对特定地点风能资源的评估，但产能还受制于风机的效率及其在特定地点的适用性。例如，一架额定产能为1 MW的风机在25%容量因子下作业，一年将发电2,190 MWh。

以当前估算的平均容量因子25%为基数，本情景假定风机技术和风场选址上的改善将逐步提升平均容量因子。由于海上的风力更强、更稳定，因此海上的这种因子还要更高。海上风能市场（尤其是在欧洲）的增幅将有助于平均容量因子的提高。

本情景预测全球平均容量因子到2012年将增至28%，到2036年增至30%。

¹ www.energyblueprint.info



资本成本和进步率

由于过去的 20 年间主要集中于设计斜桨可调的三桨式变速逆风风机，风机的制造技术已经得到优化，批量生产和自动化产生了规模经济，因此风机的生产资本成本正在稳步下降。

工业学习曲线理论的一般结论是当产品数量加倍时，成本就会下降约 20%。20% 的成本降幅等效于 0.80 的进步率（progress ratio）。

本报告中计算成本下降的过程中，技术与产品的数量相关，即风机的数量，而不是发电的能力。因此，产品平均尺寸的增幅也在考虑之内。

本研究中假设的进步率为 2015 年之前为 0.90，从 2016 年开始稳步上升。假设 2031 年之后生产过程已经得到优化，而且全球制造产量达到顶点，进步率将降至 0.98。

之所以能够假设进步率逐步增长，特别在早些年，是由于风机制造业迄今为止并没有从系列生产中获得全部利益，尤其是由于产品的迅速升级。最新设计优化的全部潜力都没有得到实现。

然而，在过去的几年里，尤其是 2006 年以来，由于原材料价格不断上涨以及供应链中风机元件的短缺等种种因素的共同作用下，新风机的价格已显著上涨。例如，原材料中价格大幅上涨的有钢材（用于塔架、变速箱和转子）、铜（用于发电机）和混凝土（用于地基和塔架）。截至到 2008 年 8 月，全球钢铁价格在今年已经增长了近一倍，而铜价在过去五年中已经翻了两番。此外，能源价格上涨也推动了风机制造成本和运输成本的上升。

供应链的压力中特别涵盖了风机的变速箱和各种轴承的短缺。鉴于元件制造商正在兴建新的生产能力，开放新的生产基地，例如在中国，这些短缺正在得到解决，一些观察家预测，到 2010 年时那些元件的供应有可能满足需求。

即便如此，风机的成本已全面大幅下降，而且依据对学习曲线理论的理解，人们认为风能行业已进入“商业化阶段”。

2007 年每千瓦装机容量的平均资本成本为 1300 欧元，2009 年将上升到 1450 欧元。假设该平均成本从 2010 年开始稳步下降至约 1150 欧元。本情景假定，从 2020 年开始，成本稳定在约 1050 欧元的水平上。所有给出的数据都是建立在 2007 年的价格水平上。

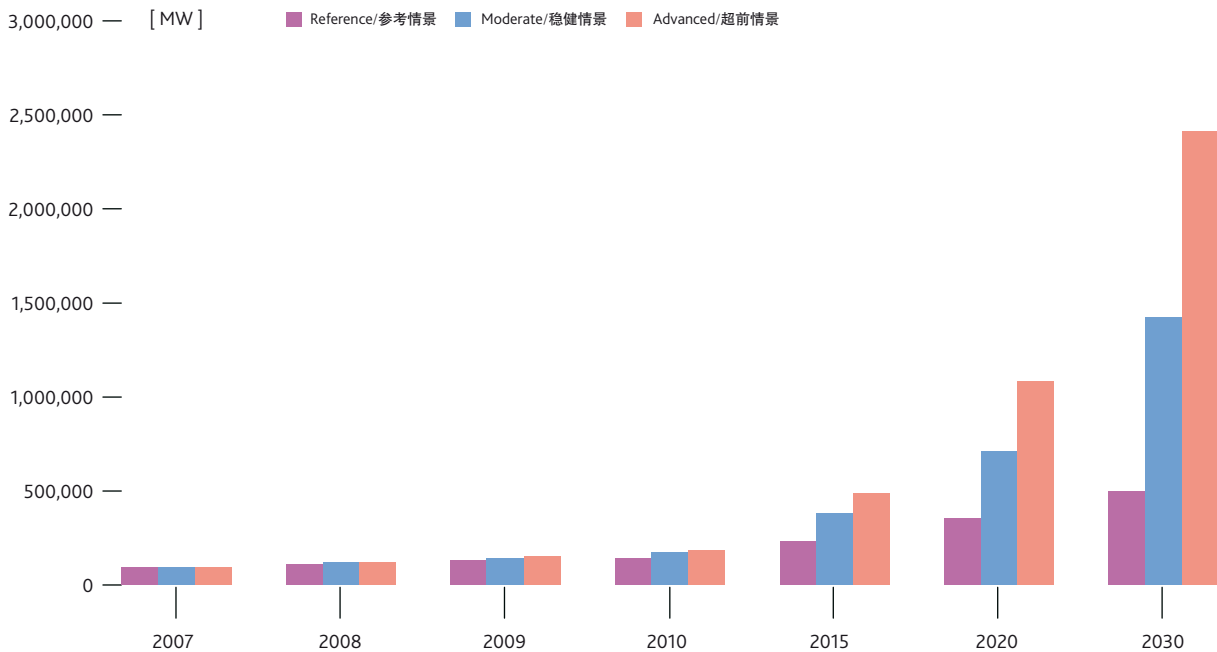
全球风能情景总结2020

全球情景	累计装机容量	累计发电量 (TWh)	所占比例 (能效情景)	年装机量	年投资 (€ bn)	就业 (百万)	年CO ₂ 减量
参考情景	352	864	4.1%	24	32.14	0.54	518
稳健情景	709	1,740	8.2%	82	89.39	1.30	1,044
超前情景	1,081	2,651	12.6%	143	149.35	2.21	1,591

全球风能情景总结2050

全球情景	累计装机容量	累计发电量 (TWh)	所占比例 (能效情景)	年装机量	年投资 (€ bn)	就业 (百万)	年CO ₂ 减量
参考情景	679	1,783	5.8%	36.6	47.10	0.74	1,070
稳健情景	1,834	4,818	15.6%	100	104.36	1.71	2,891
超前情景	3,498	9,088	29.5%	165	168.14	2.98	5,453

全球累计新风电装机容量



全球累计风电装机容量 (百万瓦)

年度		2007	2008	2009	2010	2015	2020	2030
参考情景	[MW]	93,864	109,739	128,046	139,000	232,956	352,300	496,730
	[TWh]	206	240	280	304	571	864	1,218
稳健情景	[MW]	93,864	117,735	143,376	172,280	378,954	709,332	1,420,436
	[TWh]	206	258	314	377	929	1,740	3,484
超前情景	[MW]	93,864	119,837	149,841	186,309	485,834	1,080,886	2,375,374
	[TWh]	206	262	328	408	1,192	2,651	5,939

情景结果

针对《全球风能展望》情景的分析表明，一系列关于全球风能市场的结论有可能实现。这取决于对需求方选项的选择和对风力发电供应方的增长率的不同假设。

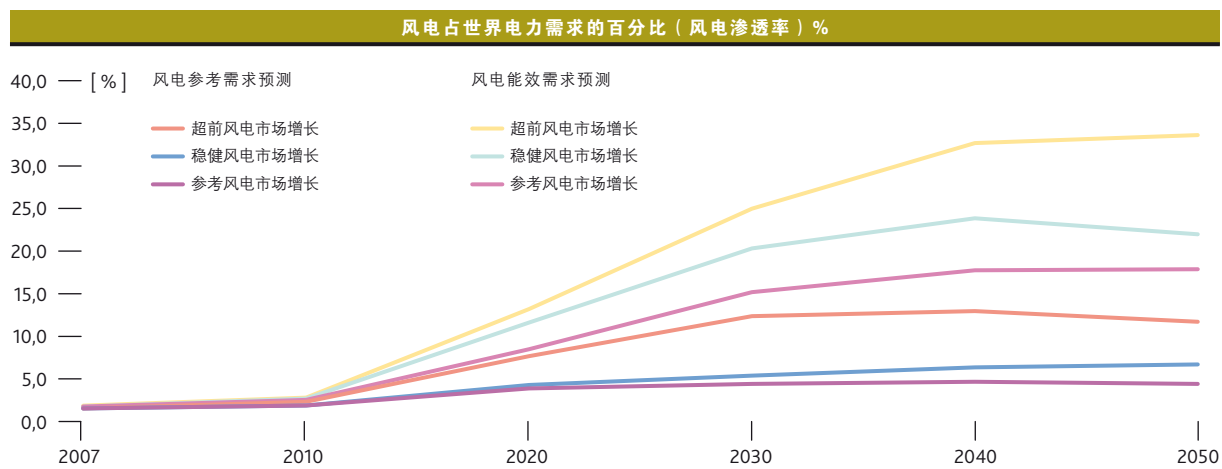
参考情景

参考情景，以国际能源署《2007年全球能源展望》为基础，开始假定2008年的增长率为27%，到2010年下降至10%，之后到2030年下降至4%。到2035年，增长率稳定在1%。

因此，该情景预测到2010年全球累计风能容量将达到139GW，每年发电304TWh，可满足全球电力需求的1.8%。

到2020年，全球风能装机容量将达到352GW，到2030年将增长至近500GW，年增长约30GW。到2050年，全球风机装机容量将接近680GW。

风能在全世界电力供应系统的相对渗透率因需求预测的不同而有所差异。2020年约864TWh的风电将占全球发电量的3.6-4.1%，具体的数据取决于推出的能效措施。到2030年，1,218TWh的风电将满足全球电力需求的4.2-5.1%。即使到2050年，全球的风能渗透率（风电发电量占全球电力需求的百分比）将不会高于4.2-5.8%。



	2007	2010	2020	2030	2040	2050	
参考情景下+C3风电市场发展情景							
风电渗透率% - 参考需求预测 (国际能源署电力需求预测)	%	1.4	1.7	3.6	4.2	4.4	4.2
风电渗透率% - 能效需求预测 Energy® evolution (能效情形)	%	1.4	1.7	4.1	5.1	5.8	5.8
稳健发展型风电市场情景							
风电渗透率% - 参考需求预测	%	1.4	2.1	7.3	11.9	12.5	11.2
风电渗透率% - 能效需求预测 Energy® evolution (能效情形)	%	1.4	2.1	8.2	14.6	16.4	15.6
超前发展型风电市场情景							
风电渗透率% - 参考需求预测	%	1.4	2.3	11.2	19.7	23.1	21.2
风电渗透率% - 能效需求预测 Energy® evolution (能效情形)	%	1.4	2.3	12.6	24.0	30.3	29.5

稳健情景

稳健风能情景在增长率方面预计比参考情景高得多。假定累计年增长率始于2008年的27%，到2010年下降到19%，到2020年继续下降到11%，直至在2030年达到3%以及2040年之后达到1%。

结论是，到2010年全球风力发电容量预计将达到172 GW，年增28.9 GW。到2020年，风能年增装机容量将达到81.5 GW，而全球累计风力发电容量将达到700 GW以上。到2030年，全球装机容量总和将超过1420 GW，年增84 GW。到2050年，全球风力发电容量总和将超过1800 GW，风能市场年增装机容量接近100 GW。

换算成发电量来看，风能发电在2020年将超过1,700 TWh，在2030年为3,500 TWh。从需求方发展来看，2020年和2030年风电将分别满足全球电力需求的7.3-8.2%和11.9-14.6%。

超前情景

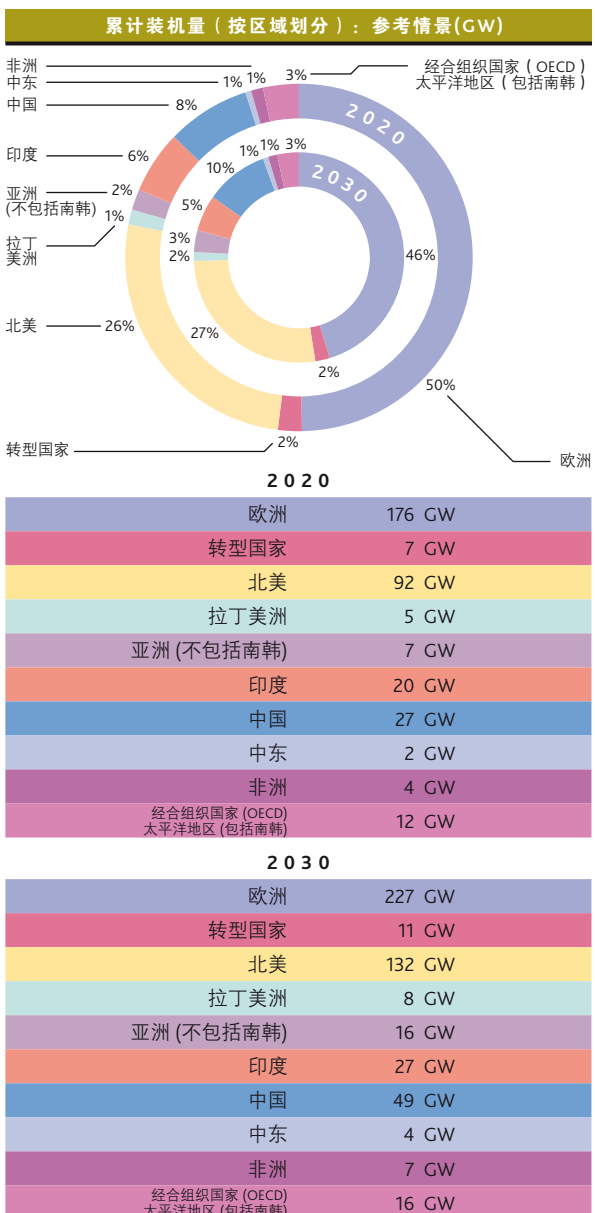
超前风能情景预测全球风能市场将以更快速度扩张。假设2008年的增长率为27%，到2010年降至22%，之后到2020年降至12%，到2030年降至5%。此后，该增长率的年增幅将保持在1%左右。

结论是，到2010年，全球的风能装机容量将达到186 GW，年增约36.5 GW。到2020年，全球的风能装机容量将超过1000 GW，年增约142 GW，到2030年，风能装机容量总和将接近2500 GW。年增风能装机容量将稳定在165 GW左右。到2050年，全球风能装机容量将达到3500 GW。

换算成发电量来看，2020年的风电量将达到2,600 TWh，2030年5,700 TWh，2050年则为9,000 TWh以上。然后依据届时电力需求的增长来看，风电将在2020年、2030年和2050年分别满足全球电力需求的11.2-12.6%、19.7-24.0%和21.2-29.5%。

区域划分

这三个关于风能的情景都是依据全球区域进行划分的，以国际能源署使用的区域为基础，欧洲情况会进一步细分。鉴于这一分析的目的，这些区域被定义为欧洲（欧盟27国和其他欧洲国家）、转型经济体（前苏联成员国，除了那些现在属于欧盟成员的部分国家）、北美、拉美、中国、印度、太平洋地区（包括澳大利亚、韩国和日本）、亚洲发展中国家（亚洲其他国家）、中东和非洲。

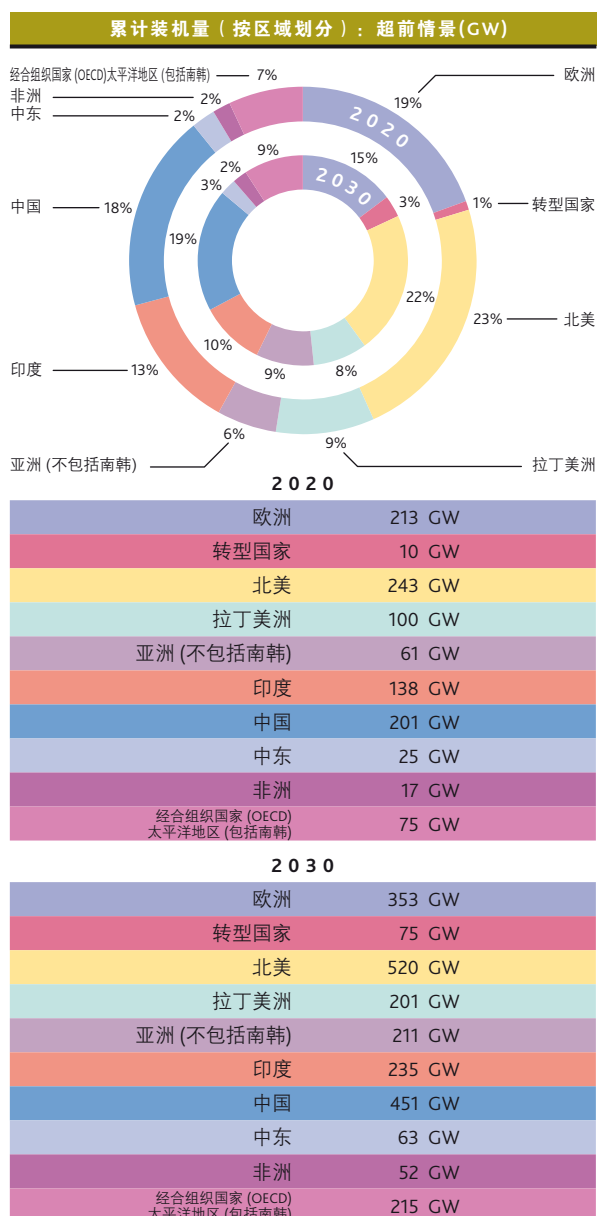
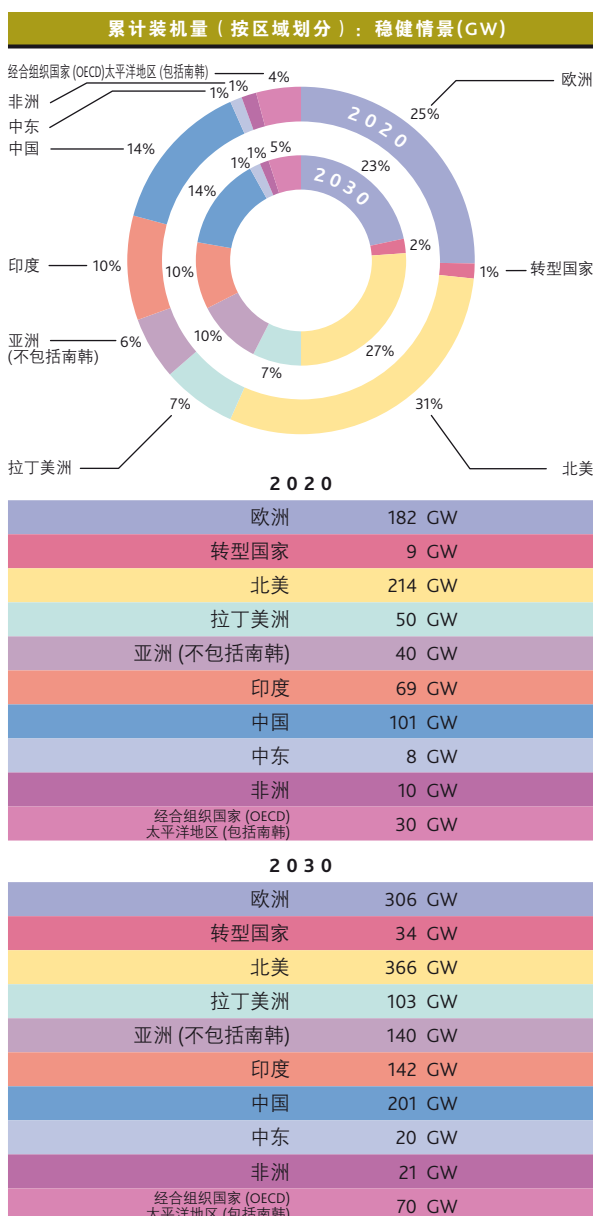


国际能源机构在现有的《全球能源展望》系列出版物中使用了这种全球区域划分方法。之所以在本文中使使用这种方法是为了便于比较这些预测以及国际能源机构可以提供最全面的全球能源数据。

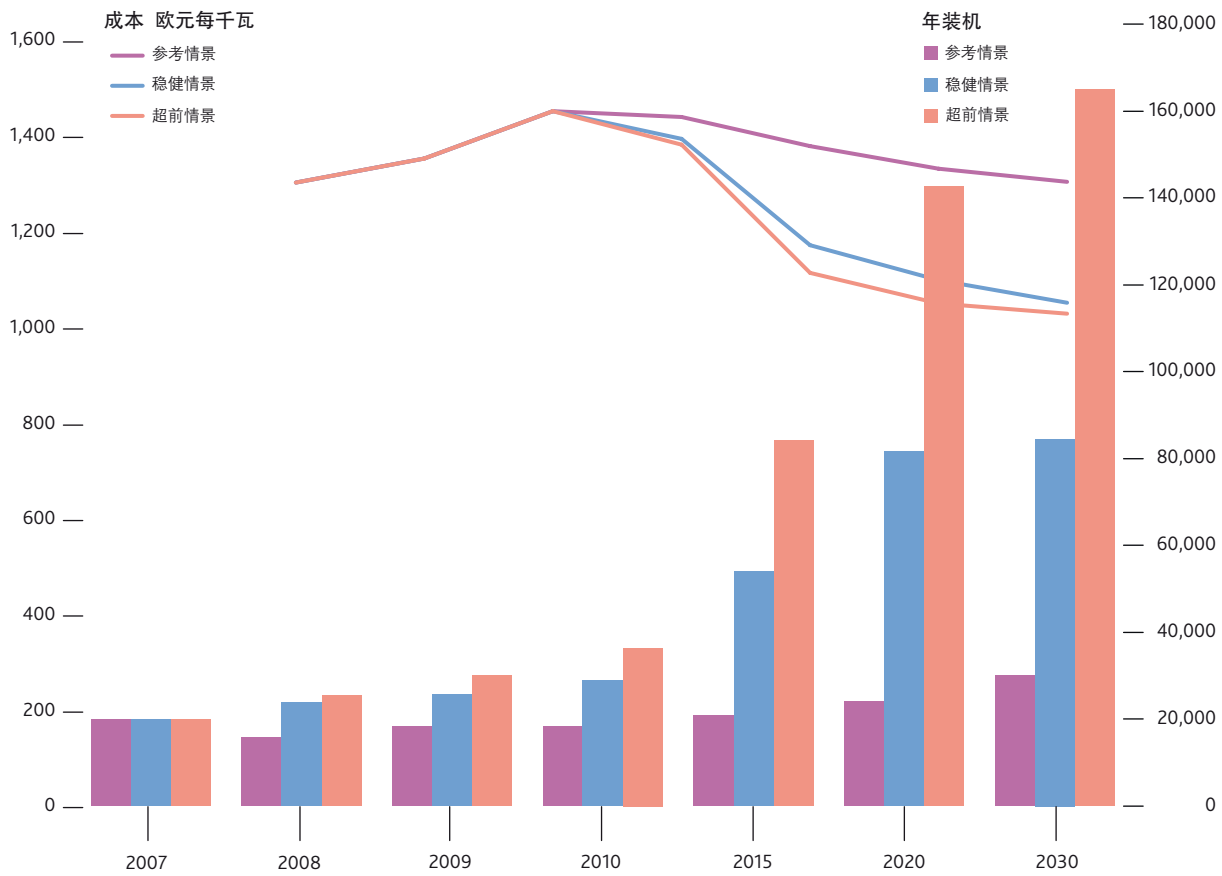
到2020年和2030年全球各个地区预计的风能装机容量数据见第8页右下图，第9页左下图和第9页右下图。这表示在**参考情景**中，欧洲将继续主导全球风能市场。到2030年，欧洲的风能装机容量仍将占全球总量的46%，其次是北美，占27%，再次是中国，占10%。

其中两个较大胆的情景预计欧洲以外的地区的发展要更强劲得多。稳健情景认为，欧洲的份额到2030年将降至23%；北美将占到最大的份额，为27%；新增风能装机容量主要集中在**中国**，占14%；印度占10%；亚洲发展中国家占10%。拉丁美洲（7%）和太平洋地区（5%）所起到的作用将低于预期，非洲和中东的贡献微不足道（各约1%）。

超前情景预测中国的风能发展将更为强劲，中国的风能份额到2030年将增长至全球市场的19%。届时北美将占22%，而欧洲的份额将降至15%，其次是印



投资与成本



投资与就业

	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2030
参考情景							
年装机量 [MW]	19,865	18,016	18,034	18,307	20,887	24,180	30,013
成本 欧元/千瓦	1,300	1,350	1,450	1,438	1,376	1,329	1,301
投资 10亿欧元/年	25,824,500	25,873,673	25,910,012	26,545,447	28,736,673	32,135,267	39,058,575
就业 工作/年	329,232	387,368	418,625	424,648	479,888	535,074	634,114
稳健情景							
年装机量 [MW]	19,865	23,871	25,641	28,904	54,023	81,546	84,465
成本 欧元/千瓦	1,300	1,350	1,450	1,392	1,170	1,096	1,050
投资 10亿欧元/年	25,824,500	32,225,716	37,179,828	40,220,810	63,182,874	89,390,391	88,658,740
就业 工作/年	329,232	397,269	432,363	462,023	882,520	1,296,306	1,486,589
超前情景							
年装机量 [MW]	19,865	25,509	30,005	36,468	84,160	142,674	165,000
成本 欧元/千瓦	1,300	1,350	1,450	1,379	1,112	1,047	1,026
投资 10亿欧元/年	25,824,500	34,437,535	43,506,723	50,304,975	93,546,253	149,352,592	169,297,423
就业 工作/年	329,232	422,545	499,967	572,596	1,340,016	2,214,699	2,810,395

度（10%）、亚洲发展中国家（9%）、太平洋地区（9%）和拉丁美洲（8%）。非洲和中东地区将在上述时间段内仍发挥很小作用（2%）。

在这三种情景中，假定越来越多的新装机容量份额源自旧工厂的替代。这是基于风机的平均寿命为20年。假定在这些情景的时间段内更换的风机与原来较小的风机具备相同的累计装机容量。结论是：更大比例的年增装机容量将来自更换的风机。这些新装风机将对投资、产量和就业机会的整体水平做出贡献。由于是对风机进行更换，因此新风机的出现将不会对全球累计风能装机容量总和产生影响。

成本和效益

未来40年产生更多的风电将需要巨额投资。与此同时，提高风能的比重不仅可以改善全球气候，还能创造更多的就业机会。

投资

风能市场对于投资者的相对吸引力取决于众多因素。这些因素包括安装资本成本、资金、风电的定价制度以及预期回报率。

在本情景中预测的未来风能市场上，风能设备的投资价值已经按年进行了评估。该评估基于上文所述的假设：每千瓦装机容量资本成本逐渐降低。

在参考情景中，风能设备的全球年投资从2007年的258亿欧元降至2010年的157亿欧元，之后到2030年再次增至390亿欧元，到2050年达到顶点，为470亿欧元（所有数据以2007年的价值为基准）。

在稳健情景中，风能行业的全球年投资在2010年为402亿欧元，到2030年增至894亿欧元，到2040年达到顶点，为1017亿欧元。

在超前情景中，风能行业的全球年投资在2010年为503亿欧元，到2020年增至1494亿欧元，到2030年达到顶点，为1693亿欧元。所有这些数据都考虑了更换的旧风机的价值。

尽管这些数据看上去似乎是天文数字，但是他们应放在全球风能行业的总体投资水平中去考察。例如，20世纪90年代，风能行业的年度投资大概是1580亿欧元至1860亿欧元。

发电成本

计算风电成本时需要考虑到各种参数。其中最重要的是风机的资本开支（见上文）、资本的成本（利率）、风场的风力条件、风电价格。其他重要因素包括运营和维护（O&M）费用、风机寿命和折现率（资本的成本）。

每千瓦时的风电总成本往往是将风机寿命期间的投资和运营及维护成本进行折现，然后按年分摊，然后除以年度风电产量。因此，风电的单位成本就是需要计算风机的寿命期间的平均成本，通常情况下估计风机的寿命为20年。在现实中，在风机运营的前几年，由于需要偿还贷款，因此资本成本会较高，而在风机运营的最初阶段，运营及维护成本可能会较低，随着风机的寿命增长而逐渐上升。

在考虑了所有这些因素的情况下，目前高速风场的风电成本约为4-6欧分/千瓦时，而低速风场的则约为6-9欧分/千瓦时¹⁾。

然而，过去15年，由于风机设计更加趋于完美、风场选址更为合理、风机位置更高，因此风力发电机组的效率一直在提高。此外，如上所述，可以假定优化的生产流程将减少风机的投资成本。

这些计算没有考虑到风电生产的所谓外部成本。人们普遍认为，与煤炭、天然气、石油和核能等传统能源相比，风能这样的可再生能源可以产生环境效



益和社会效益。这些优势可以转化为社会成本，应该反映在发电量成本计算中。只有这样，才能够公平地比较不同发电方式的成本。欧盟委员会的 ExternE 项目²⁾估计：天然气发电的外部成本约为 1.1-3.0 欧分 / 千瓦时，而燃煤发电的为 3.5-7.7 欧分 / 千瓦时，而风力发电的仅为 0.05-0.25 欧分 / 千瓦时。

当然，此外该成本中需要加入在全球气候框架以及欧洲碳排放交易机制 (ETS) 这样的区域性 / 国家性框架机制内的碳排放代价。

另外，这些计算没有考虑到与常规技术有关的燃料成本风险。由于风力发电不需要任何燃料，因此就不需要考虑燃料价格波动的风险，而其他以天然气、煤炭和石油等为燃料的发电技术则都需要考虑这种风险。风电占较大份额的电力生产结构可以让社会免于受制于化石燃料价格的上涨，从而降低了今后能源成本增加的风险。在燃料资源有限和燃料价格波动显著的时期，风力发电的优势会立即显现。

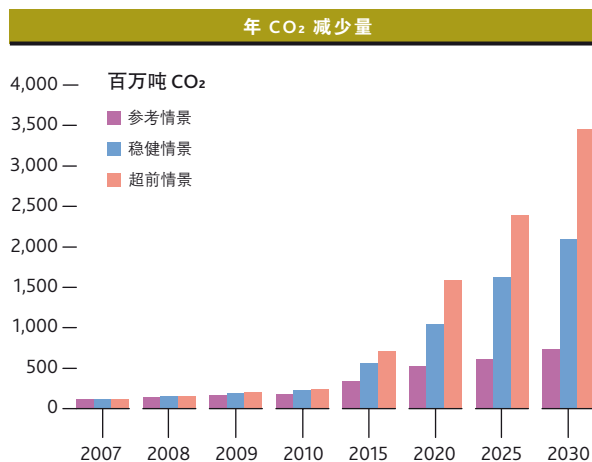
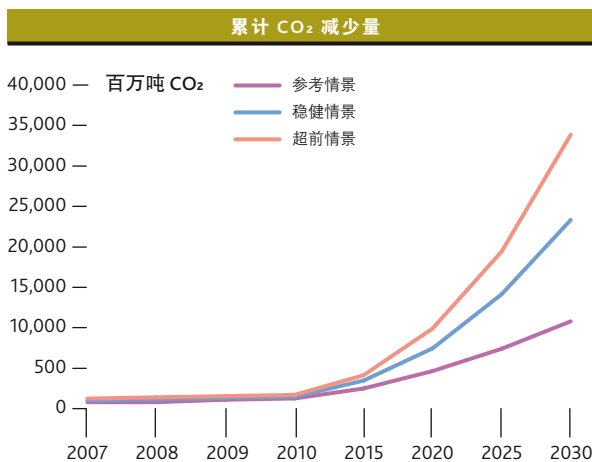
此外，节省下来的常规发电厂的安装成本以及购买化石燃料的费用没有纳入考虑范围。这进一步简化了风能成本分析。举例来说，2007 年，欧洲通过利用风能节省了 39 亿欧元的燃料成本，到 2030 年³⁾这一数字预计将增至 240 亿欧元。

就业

本情景中的就业效果与风能的其它成本和优势一样，是一项需要衡量的重要因素。高失业率仍是阻碍世界上很多国家经济发展的因素。任何需要大量熟练和非熟练劳动力的技术因此具有非凡的经济意义，而且很可能在针对不同的能源选择进行政治决策的过程中具有强大的优势。

德国、丹麦和荷兰已经开展了大量评估，考察风力发电对就业产生的影响。本情景的假设是：每新增一兆瓦风电装机，风能市场每年将创造 15 个就业机会，涉及制造、部件供应、风场开发、安装和间接

1 对于欧洲而言，见欧洲风能协会（即将在 2009 年发布）：《风能发展现状》；有关中国的情况，参见 GWEC/CREIA/CWEA (2006)：《中国风能定价政策研究》；
2 参见：<http://www.externe.info/externpr.pdf>
3 EWEA (2008)：《纯净电力——到 2030 年的风能发展情景》



CO₂ EMISSIONS

年份	参考情景	
	CO ₂ 减少量 (600g CO ₂ /kWh) (年百万吨CO ₂)	CO ₂ 减少量 (累计百万吨CO ₂)
2007	123	406
2008	144	550
2009	168	718
2010	183	901
2015	343	2,245
2020	518	4,459
2025	615	7,333
2030	731	10,776
2035	799	14,632
2040	945	19,118
2045	1,006	24,021
2050	1,070	29,247

年份	稳健情景	
	CO ₂ 减少量 (600g CO ₂ /kWh) (年百万吨CO ₂)	CO ₂ 减少量 (累计百万吨CO ₂)
2007	123	406
2008	155	561
2009	188	749
2010	226	975
2015	558	3,048
2020	1,044	7,216
2025	1,624	14,168
2030	2,090	23,752
2035	2,353	35,068
2040	2,674	48,163
2045	2,789	61,886
2050	2,891	76,141

就业。随着生产过程得到优化，这一水平将有所下降，到 2030 年降至 11 个就业机会。此外，对于每兆瓦累计算装机容量，风场的常规运营和维护工作将再贡献 0.33 个就业机会。

年份	超前情景	
	CO ₂ 减少量 (600g CO ₂ /kWh) (年百万吨CO ₂)	CO ₂ 减少量 (累计百万吨CO ₂)
2007	123	406
2008	157	563
2009	197	760
2010	245	1,005
2015	715	3,513
2020	1,591	9,494
2025	2,397	19,616
2030	3,236	31,294
2035	4,263	54,709
2040	4,942	78,789
2045	5,178	104,197
2050	5,453	130,887

根据这些假设，2007 年风电部门就已雇佣了超过 329,000 人。在参考情景中，到 2010 年将增至 408,000 个就业机会，到 2020 年增至 535,000 个。在稳健情景中，到 2010 年风电部门将雇佣超过 462,000 人，到 2020 年雇佣近 130 万人。超前情景则认为，到 2010 年风电创造的就业机会将增至 572,000 个，到 2020 年将超过 220 万个。



减少二氧化碳

风电的最重要环保优势在于它可以减少向全球大气层中排放二氧化碳。二氧化碳是加剧温室效应的罪魁祸首，导致了全球气候变化的灾难性后果。

与此同时，现代风能技术可以很好地实现能源平衡。在制造、安装和维修一架平均寿命为 20 年的风机过程中所释放的二氧化碳能够在运营的前 3 至 6 个月就可以得到“补偿”。

衡量从减少二氧化碳排放中获得的好处取决于新增风能发电将要替代的其它燃料或燃料组合类别。世界能源委员会的计算表中提供了不同化石燃料的二氧化碳排放水平。假设 20 年后煤炭和天然气仍将是发电燃料的主力军，而且还在继续使用天然气替代煤炭，那么风能发电可以使二氧化碳的平均排放量降低 600 吨 / GWh，非常有益。

到 2020 年，经济合作与发展组织地区（北美、欧洲和太平洋地区）将新增约 50% 的累计风电装机容量，这一事实进一步证明了这个假设是正确的。这些国家的这种趋势服务于从煤炭发电到天然气发电的巨大转变。由于其它地区广泛使用燃煤发电厂，因此二氧化碳的减排量将更为显著。

考虑到这些假设，参考情景预测 2010 年风能发电每年可以减少二氧化碳排放 1.83 亿吨，到 2020 年和 2030 年这一年减排量将分别达到 5.18 亿吨和 7.31 亿吨。在这种情景中，与国际能源署预测的到 2030 年全球电力部门每年将排放 187.08 亿吨二氧化碳的数量相比，风电减少排放的量将是微不足道的。

在稳健情景中，风能到 2010 年每年将减少 2.26 亿吨二氧化碳排放，到 2020 年每年减少排放 10.44 亿吨，到 2030 年每年将减少排放 20.90 亿吨。从 2003 年至 2020 年风能可累计减少二氧化碳排放 72.16 亿吨，到 2050 年的整个情景阶段，风电将减少二氧化碳排放超过 760 亿吨。

在超前情景中，到 2010 年风电贡献的二氧化碳年减排量将增至 2.45 亿吨，到 2020 年为 15.91 亿吨，到 2030 年为 34.51 亿吨。从 2003 年至 2020 年，单是风能一项就可以使二氧化碳的排放量减少超过 94.94 亿吨。在截至 2050 年的整个情景阶段，这一数字将增至 1300 亿吨。

研究背景

德国航空航天中心

德国航空航天中心 (DLR) 是德国最大的工程研究机构。该机构专门从事开发太阳能热电站的技术、利用高低温燃料电池，尤其是用于发电，以及研究开发高效天然气和蒸汽机发电厂。

德国航空航天中心的技术热力学研究所 (DLR-ITT) 积极从事可再生能源的研究以及高效、低排放能源转换和利用技术的开发。技术热力学研究所同德国航空航天中心的其它研究所、业界和众多大学相互协作，着重研究解决电化学能源技术和太阳能转化等领域的关键问题。这涵盖了应用型研究、试验室模型和原型模型的开发以及示范电厂的设计和运作。系统分析和技术评估为研究领域和能源政策的战略决策提供了支持。

在德国航空航天中心的技术热力学研究所，系统分析和技术评估部门长期以来一直从事可再生能源技术的评估。该部门的主要研究活动集中在技术经济利用和系统分析领域，从而推动新技术（主要是能源和交通领域）的市场推出和推广战略的开发。

情景背景

德国航空航天中心受欧洲可再生能源委员会和国际绿色和平组织的委托开展到 2050⁴⁾ 年全球可持续能源之路的研究。该研究于 2007 年发布，列出二氧化碳大大低于当前水平的能源情景。这项研究的一部分考察了未来可再生能源的潜力以及风能行业的投入以及全球风电的区域性预测分析，这构成了《全球风能展望》情景的基础。

本报告采用的能源供应情景超出并巩固了国际能源机构的预测，计算时采用了 MESAP/PlaNet 模拟模型，德国航空航天中心曾在针对欧盟 25 个国家的类似研究（“能源演进：欧洲迈向清洁能源未来的可持续发展之路”，于 2005 年 9 月为国际绿色和平组织所做的一项研究）中使用过这个模型。这个模型是与 Ecofys 咨询公司合作开发的，考虑了能效措施的未来潜力。

能效研究⁵⁾

Ecofys 研究的目的在于提出从 2003 至 2050 年全球能源展望报告系列中定义的国际能源机构区域的风能行业的低能源需求情景。能源需求被划分为电力和燃料。列在考虑范围的行业包括工业、交通以及其他消费行业，其中有家居业和服务业。



Ecofys 研究预测了挖掘能效潜力的一条雄心勃勃的全面开发之路，着眼于目前的最佳实践并假定该领域存在持续不断的创新。结论是与参考情景相比，2050 年全球最终能源需求将被削减 35%。被削减的能源需求被平分到三个行业中。最重要的节能途径是实施更高效的客运和货运、改善隔热和建筑设计。

Ecofys 研究开发了两种能效情景，本报告仅使用了较稳健的那种。

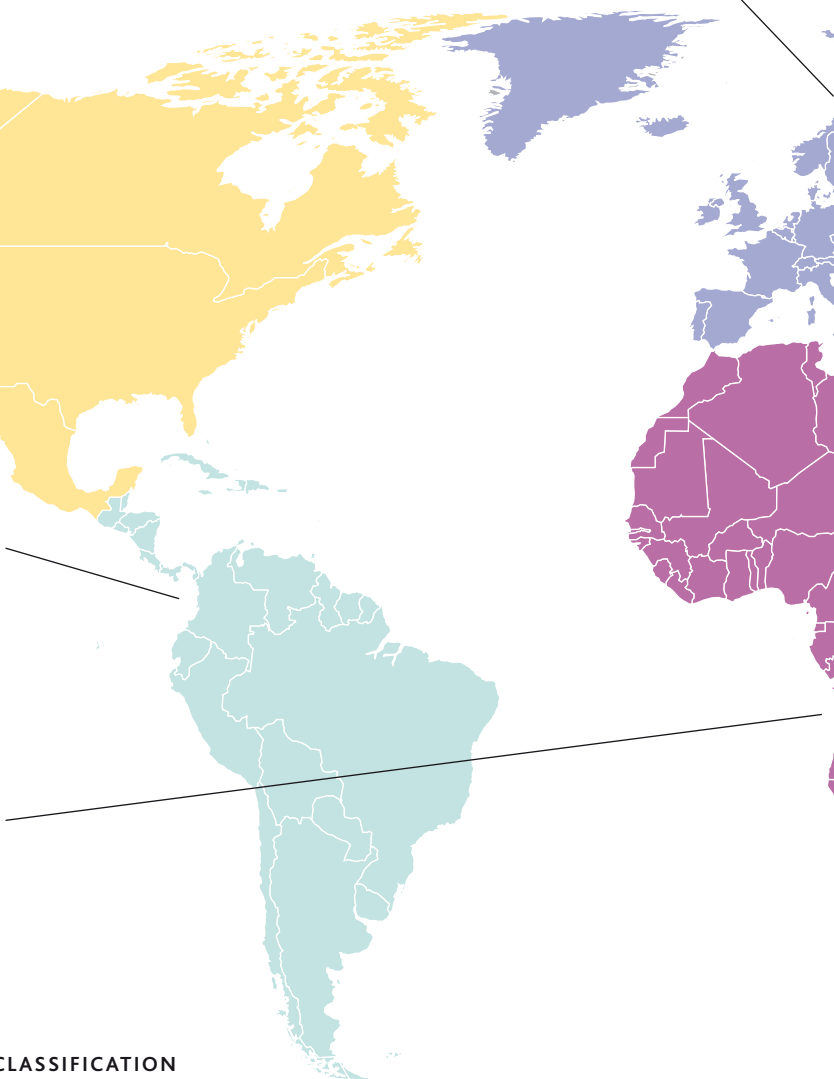
4 Krewitt W, Simon S, Graus W, Teske S, Zervos A, Schaefer O, 《The 2 degrees C scenario - A sustainable world energy perspective》; 《能源政策》, 第35卷, 第10号, 4969-4980, 2007。
5 参见: www.energyblueprint.info

北美				
总装机容量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	18,664	28,000	92,000	132,000
稳健情景	18,664	41,195	214,371	366,136
超前情景	18,664	41,195	252,861	519,747

欧洲				
总装机容量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	57,136	77,000	176,300	226,730
稳健情景	57,136	89,227	182,464	306,491
超前情景	57,136	89,132	212,632	353,015

拉丁美洲				
总装机容量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	537	2,000	5,000	8,000
稳健情景	537	2,496	50,179	103,140
超前情景	537	2,496	100,081	201,080

非洲				
总装机容量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	454	1,000	4,000	7,000
稳健情景	454	785	10,067	20,692
超前情景	454	887	17,606	52,032



DEFINITIONS OF REGIONS IN ACCORDANCE WITH IEA CLASSIFICATION

OECD Europe: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovak Republic, Spain, Sweden, Switzerland, Turkey, United Kingdom

OECD North America: Canada, Mexico, United States

OECD Pacific: Australia, Japan, Korea (South), New Zealand

Transition Economies: Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Estonia, Serbia and Montenegro, the former Republic of Macedonia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Moldova, Romania, Russia, Slovenia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan, Cyprus¹, Malta¹

India

Other developing Asia: Afghanistan, Bangladesh, Bhutan, Brunei, Cambodia, Chinese Taipei, Fiji, French Polynesia, Indonesia, Kiribati, Democratic People's Republic of Korea, Laos, Macao, Malaysia, Maldives, Mongolia, Myanmar, Nepal, New Caledonia, Pakistan, Papua New Guinea, Philippines, Samoa, Singapore, Solomon Islands, Sri Lanka, Thailand, Vietnam, Vanuatu

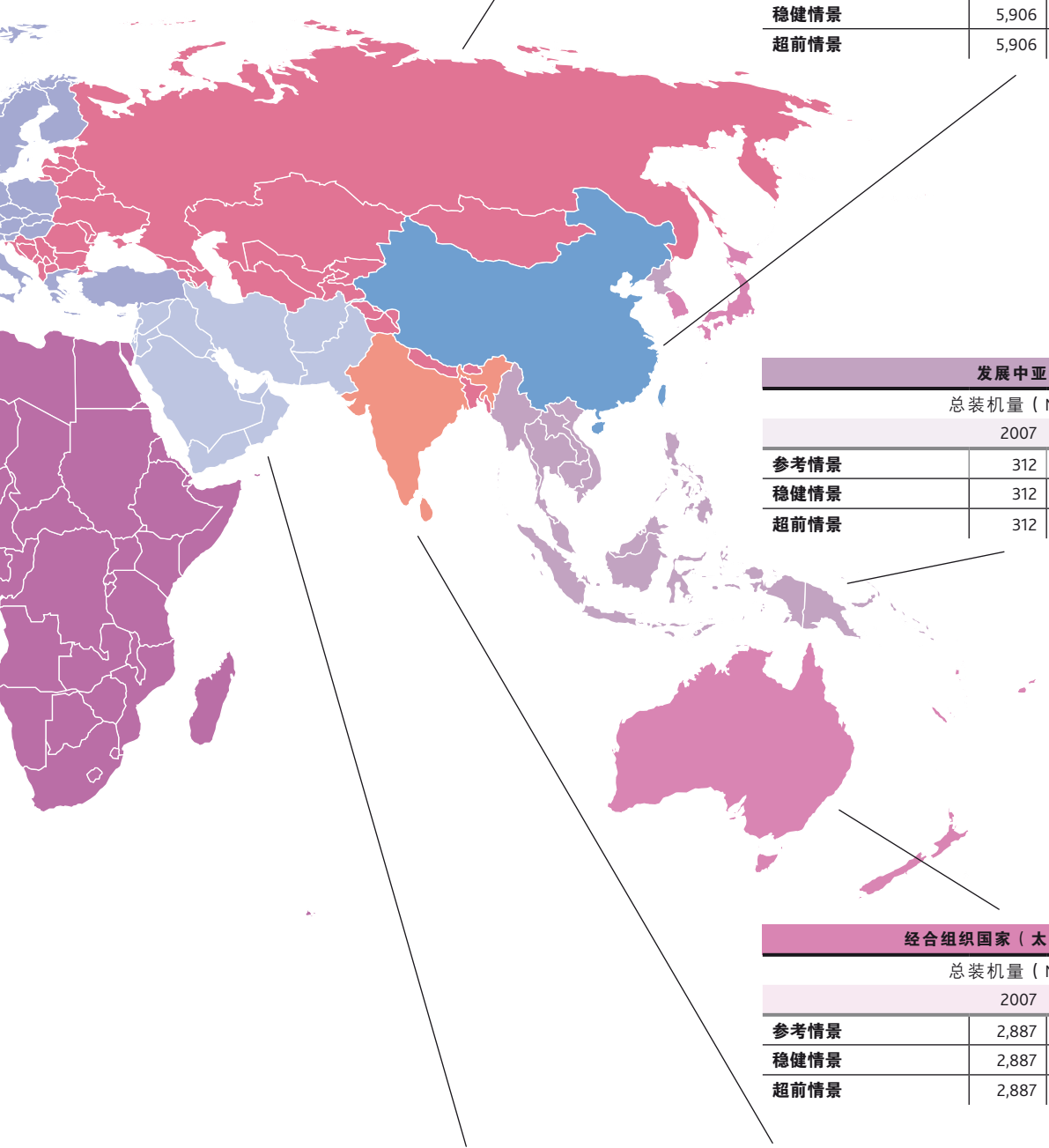
Latin America: Antigua and Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belize, Bermuda, Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, French Guiana, Grenada, Guadeloupe, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Martinique, Netherlands Antilles, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, St. Kitts-Nevis-Anguila, Saint Lucia, St. Vincent and Grenadines, Suriname, Trinidad and Tobago, Uruguay, Venezuela

Africa: Algeria, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Cameroon, Cape Verde, Central African Republic, Chad, Comoros, Congo, Democratic Republic of Congo, Cote d'Ivoire, Djibouti, Egypt, Equatorial Guinea, Eritrea, Ethiopia, Gabon, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Kenya, Lesotho, Liberia, Libya, Madagascar, Malawi, Mali, Mauritania, Mauritius, Morocco, Mozambique, Namibia, Niger, Nigeria, Reunion, Rwanda, Sao Tome and Principe, Senegal, Seychelles, Sierra Leone, Somalia, South Africa, Sudan, Swaziland, United Republic of Tanzania, Togo, Tunisia, Uganda, Zambia, Zimbabwe

Middle East: Bahrain, Iran, Iraq, Israel, Jordan, Kuwait, Lebanon, Oman, Qatar, Saudi Arabia, Syria, United Arab Emirates, Yemen

China: People's Republic of China including Hong Kong

¹ Cyprus and Malta are allocated to the Transition Economies for statistical reasons



转型国家				
总装机量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	204	2,000	7,000	11,000
稳健情景	204	449	9,183	33,548
超前情景	204	449	10,411	75,231

中国				
总装机量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	5,906	9,000	27,000	49,000
稳健情景	5,906	17,507	100,724	200,531
超前情景	5,906	19,613	200,880	450,582

发展中亚洲				
总装机量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	312	2,000	7,000	16,000
稳健情景	312	1,670	40,274	140,897
超前情景	312	1,817	60,735	210,808

经合组织国家 (太平洋地区)				
总装机量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	2,887	5,000	12,000	16,000
稳健情景	2,887	3,688	30,018	70,698
超前情景	2,887	3,739	75,380	215,362

中东				
总装机量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	84	1,000	2,000	4,000
稳健情景	84	577	8,150	20,136
超前情景	84	413	25,398	62,777

印度				
总装机量 (MW)				
	2007	2010	2020	2030
参考情景	7,845	12,000	20,000	27,000
稳健情景	7,845	19,683	69,203	142,245
超前情景	7,845	20,571	137,636	235,075

ANNEX

REFERENCE

Year	Cumulative [GW]	Global Annual Growth Rate [%] - excluding repowering	Annual Installation incl. Repowering	Capacity factor [%]	Production [TWh]	Wind power penetration of world's electricity in % - Reference	Wind power penetration of world's electricity in % - Efficiency	CO ₂ reduction (with 600g CO ₂ /kWh) [annual Mio tCO ₂]
2007	94	28	19,865	25	205.6	1.4	1.4	123
2008	110	27	15,857	25	240.3			144
2009	128	15	18,307	25	280.4			168
2010	129	10	17,998	25	304.4	1.7	1.7	183
2015	233	9	20,887	28	571.4			343
2020	352	9	24,180	28	864.1	3.6	4.1	518
2025	418	3	24,301	28	1,025.2			615
2030	497	4	30,013	28	1,218.4	4.2	5.1	731
2035	543	1	30,164	28	1,331.8			799
2040	599	1	36,196	30	1,574.7	4.4	5.8	945
2045	638	1	36,378	30	1,676.0			1,006
2050	679	1	36,560	30	1,783.8	4.2	5.8	1,070

MODERATE

Year	Cumulative [GW]	Global Annual Growth Rate [%] - excluding repowering	Annual Installation incl. Repowering	Capacity factor [%]	Production [TWh]	Wind power penetration of world's electricity in % - Reference	Wind power penetration of world's electricity in % - Efficiency	CO ₂ reduction (with 600g CO ₂ /kWh) [annual Mio tCO ₂]
2007	94	28	19,865	25	205.6	1.4	1.4	123
2008	118	27	23,871	25	257.8			155
2009	143	20	25,641	25	314.0			188
2010	172	19	28,904	25	377.3	2.1	2.1	226
2015	379	15	54,023	28	929.5			558
2020	709	11	81,546	28	1,739.8	7.3	8.2	1,044
2025	1,104	7	81,610	28	2,707.2			1,624
2030	1,420	3	80,536	28	3,484.0	11.9	14.6	2,090
2035	1,599	1	84,465	28	3,922.1			2,353
2040	1,696	1	97,548	30	4,457.3	12.5	16	2,674
2045	1,769	1	100,380	30	4,648.5			2,789
2050	1,834	1	100,302	30	4,818.6	11.2	16	2,891

ADVANCED

Year	Cumulative [GW]	Global Annual Growth Rate [%] - excluding repowering	Annual Installation incl. Repowering	Capacity factor [%]	Production [TWh]	Wind power penetration of world's electricity in % - Reference	Wind power penetration of world's electricity in % - Efficiency	CO ₂ reduction (with 600g CO ₂ /kWh) [annual Mio tCO ₂]
2007	94	28%	19,865	25%	205.6	1.4	1.4	123
2008	120	25%	25,509	25%	262.4			157
2009	150	24%	30,005	25%	328.2			197
2010	186	22%	36,468	25%	408.0	2.3	2.3	245
2015	486	19%	84,160	28%	1191.7			715
2020	1,081	12%	142,674	28%	2,651.2	11.2	12.6	1,591
2025	1,770	8%	153,213	28%	3,994.2			2,397
2030	2,375	5%	165,000	28%	5,393.0	19.7	24.0	3,236
2035	2,961	2%	165,000	28%	7,105.2			4,263
2040	3,163	1%	165,000	30%	8,236.6	23.1	30.3	4,942
2045	3,316	1%	165,000	30%	8,629.4			5,178
2050	3,498	1%	165,000	30%	9,088.1	21.2	24.5	5,453

ANNEX

REFERENCE

Year	CO ₂ reduction [cumulative Mio tCO ₂]	Jobs	Progress ratio [%]	Capacity [€/MW]	Investment [€]	Worlds electricity in TWh - Reference	World's electricity in TWh - Efficiency
2007	406	329,232	90	1,300	25,824,500		
2008	550	397,269	90	1,350	25,873,673		
2009	718	431,290	90	1,450	25,910,012		
2010	901	417,923	90	1,438	26,545,447	17,890	17,686
2015	2,245	479,887	92	1,376	28,736,673		
2020	4,459	535,074	92	1,329	32,135,267	23,697	21,095
2025	7,333	522,711	94	1,315	31,960,752		
2030	10,776	634,114	94	1,301	39,058,575	29,254	23,937
2035	14,632	611,062	96	1,297	39,113,402		
2040	19,118	713,769	96	1,292	46,748,706	35,698	27,166
2045	24,021	728,531	98	1,290	46,924,011		
2050	29,247	744,123	98	1,288	47,099,974	42,938	30,814

MODERATE

Year	CO ₂ reduction [cumulative Mio tCO ₂]	Jobs	Progress ratio [%]	Capacity [€/MW]	Investment [T€]	Worlds electricity in TWh - Reference	World's electricity in TWh - Efficiency
2007	406	329,232	90	1,300	25,824,500		
2008	561	397,269	90	1,350	32,225,716		
2009	749	432,363	90	1,450	37,179,828		
2010	975	462,023	90	1,392	40,220,810	17,890	17,686
2015	3,048	882,520	90	1,170	63,182,874		
2020	7,216	1,296,306	92	1,096	89,390,391	23,697	21,095
2025	14,168	1,466,869	94	1,066	97,666,627		
2030	23,752	1,486,589	94	1,050	88,658,740	29,254	23,937
2035	35,068	1,418,326	96	1,045	84,125,291		
2040	48,163	1,637,816	96	1,042	101,659,168	35,698	27,166
2045	61,886	1,693,206	98	1,041	104,522,858		
2050	76,141	1,713,391	98	1,041	104,365,717	42,938	30,814

ADVANCED

Year	CO ₂ reduction [cumulative Mio tCO ₂]	Jobs	Progress ratio [%]	Capacity [€/MW]	Investment [T€]	Worlds electricity in TWh - Reference	World's electricity in TWh - Efficiency
2007	406	329,232	90%	1,300	25,824,500		
2008	563	422,545	90%	1,350	34,437,535		
2009	760	499,967	90%	1,450	43,506,723		
2010	1,005	572,596	90%	1,379	50,304,975	17,890	17,686
2015	3,513	1,340,016	90%	1,112	93,546,253		
2020	9,494	2,214,699	94%	1,047	149,352,592	23,697	21,095
2025	19,616	2,428,006	94%	1,036	158,727,421		
2030	31,294	2,771,000	98%	1,026	169,297,423	29,254	23,937
2035	54,709	2,800,931	98%	1,022	168,705,910		
2040	78,789	2,868,319	98%	1,021	168,481,382	35,698	27,166
2045	104,197	2,919,146	98%	1,020	168,321,894		
2050	130,887	2,979,981	98%	1,019	168,140,446	42,938	30,814



关于全球风能理事会 (GWEC)

全球风能行业的代言人

全球风能理事会是全球风能产业的代言人，全球风能理事会包括那些来自于各国家、各地区和各大洲的风能协会，以及主要的国际风能企业和机构。

全球风能理事会会员企业风电装机容量占据了超过 100GW 的全球风电装机容量的 99%。会员包括 1500 家从事风能事业各项工作的公司和机构，这些会员覆盖了风电生产，项目开发，金融咨询和相关的科学研究工作。

GWEC的会员代表:

- 全球70多个国家的超过1500家企业和机构
- 全球主要的风机生产厂家
- 全球能理事会会员企业风电装机容量占据了超过100GW的全球风电装机容量的99%

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC)

Renewable Energy House

63-65 Rue d'Arlon
1040 Brussels
Belgium

T: 32 2 100 4029

F: 32 2 546 1944

www.gwec.net

info@gwec.net



关于绿色和平

绿色和平是一个全球性的环保组织，致力于以实际行动推动积极的改变，保护地球环境与世界和平。我们在世界 40 多个国家和地区设有分部，拥有超过 280 万名支持者。为了维持公正性和独立性，我们不接受任何政府、企业或政治团体的资助，只接受市民和独立基金的直接捐款。

GREENPEACE INTERNATIONAL

Otto Heldringstraat 5

1066 AZ Amsterdam

The Netherlands

T: 31 20 7182000

F: 31 20 5148151

www.greenpeace.org

sven.teske@int.greenpeace.org

Scenario by GWEC, Greenpeace International, DLR and Ecofys

Text edited by Angelika Pullen, Steve Sawyer, Sven Teske,

Crispin Aubrey

Design by bitter Grafik & Illustration, Hamburg

Photos courtesy of BWE; Elsam; Enercon; EWEA; Gamesa;

Greenpeace; IVPC; JWEA; Lucky Wind; Npower Renewables Ltd;

Petitjean; Shell Wind Energy; Vestas Central Europe; Vicson Chua;

Vision Quest Windelectric; Winter.