



Cartoon: Michael Hüter

Bei der Planung und Ertragsanalyse von Windparks sind Computerberechnungen unumgänglich. Dieser Artikel beschreibt, wo Simulationen helfen können, und gibt einen Überblick über wichtige Programme und Tools.

## Rückenwind durch Simulationsprogramme

**W**ährend Simulationsprogramme bei der Planung von Solaranlagen für die jährliche Ertragsabschätzung und Wirtschaftlichkeitsanalyse gute Dienste leisten, sind die Aufgaben bei der Analyse von Windparkprojekten deutlich vielfältiger.

Der Ertrag einer Photovoltaikanlage hängt näherungsweise linear mit der Solarbestrahlung zusammen, die in Deutschland weniger als 20% variiert. Der Stromertrag aus Windenergie schwankt wesentlich stärker. Die Leistung wächst bekanntlich mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Kleine Änderungen der Windgeschwindigkeitsverteilung haben somit sofort große Ertragsveränderungen zur Folge.

Daher kommt man bei der Planung eines Windparks um Windmessungen vor Ort nicht herum. Eine Vielzahl verfügbarer Windatlanten oder Messwerte weiter entfernter Anlagen können bestenfalls erste Anhaltspunkte bei der Standortwahl liefern. Grafisch ansprechend gestaltete Computerprogramme verführen aber schnell dazu, Ertragsberechnungen auf einer schwachen Winddatenbasis durchzuführen, mit dem Risiko katastrophaler Fehleinschätzung.

Falls andererseits die Windgeschwindigkeitsverteilung an einem Ort bekannt ist, gelingt die Berechnung des Jahresertrages auch mit Hilfe einfacher Programme problemlos. Wenn aber die Windgeschwindigkeit einige Kilometer entfernt in Nähe eines geplanten hügeligen Standortes und zudem

noch in einer anderen Höhe gemessen wurde, lässt sich eine Aussage über die Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort selbst nur mit Hilfe leistungsfähiger Computerprogramme treffen.

Dennoch können Informationen über Windgeschwindigkeit, Ertrag oder Anlagenverfügbarkeit bereits bestehender Windparks ein Gefühl für den Ertrag neuer Projekte vermitteln. Anlagenkennlinien verfügbarer Windkraftanlagen bilden den Kern einer Ertragsberechnung. Auf der Suche nach diesen Daten wird man im Server des ISET in Kassel fündig. Detaillierte Informationen zu Daten von Windkraftanlagen wie Leistungskennlinien, Anlagenbetriebsdaten und Winddaten verschiedener Standorte stellen hier das »European Wind Energy Information Network« (EuWiNet) sowie das »Renewable Energy Information System on Internet« (REISI) bereit<sup>1</sup>.

Die Ertragsprognose oder Bestimmung der optimalen Verteilung der Windenergiekonverter innerhalb eines Windparks sind wichtige Aufgaben, bei der Computerprogramme gute Dienste leisten. Weitere Einsatzgebiete der Projektentwicklung sind die Abschätzung von Geräuschemissionen sowie die Visualisierung der Einpassung der Anlagen ins Landschaftsbild oder die Bestimmung störender Schattenwürfe. Auch eine detaillierte Wirtschaftlichkeits- und Finanzierungsrechnung sowie die Bestimmung der durch den Windpark vermiedenen Schadstoffemissionen sind von Interesse.

<sup>1</sup> <http://euwinet.iset.uni-kassel.de> und <http://reisi.iset.uni-kassel.de>

Produktname	ALWIN	BLADED	Greenius	RETScreen
<b>Aktuelle Version</b>	2.1b	3.41b	1.01	v.2000
<b>Markteinführung</b>	1995	1993	2002	1998
<b>Anwendungsschwerpunkt</b>	Windanalysen und Energieertragsprognosen	Professionelles Werkzeug zur Windkraftanlagenentwicklung	Projektentwicklung großer regenerativer Projekte, detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalysen, Technologievergleich	Excel-Arbeitsmappe Modelle zur Abschätzung von Energieertrag und Wirtschaftlichkeit
<b>Besonderheiten</b>	Import von Datalogger-Werten	Umfangreiche Betriebsanalysen bei der Anlagenentwicklung	Umfangreiche Cash-Flow-Analysen, Berechnung auch von PV und Solartherm. Projekten	Produktdatenbanken, Wetterdatenbank in Kooperation mit der NASA, detailliertes Online-Benutzerhandbuch
<b>Preis (Einzellizenz)</b>	Freeware	ca. 40.000 € *a	999 € *a	Freeware
<b>Schul-/Hochschulversion</b>	Freeware	ca. 4.000 € *a	249 € *a	Freeware
<b>Sprachen</b>	D	E	E, D geplant	E, F
<b>Anwenderunterstützung</b>				
Hotline	O	X	per E-Mail	per E-Mail
Demo-Version	Entfällt	X	Internet	Entfällt
Internetdownload	PR, KU, DO	IN	KU, PU, DO	PR, KU
E-Mail-Newsletter	O	X	O	O
Internetnutzerforum	O	O	X	X
Schulungen / Seminare	O	X	auf Anfrage	X
<b>Mögliche Berechnungen</b>				
Anlagenentwicklung	O	X	O	O
Komponentenbelastung	O	X	O	O
Windanalysen	X	O	X	O
Ertragsprognosen	X	X	X	X
Visualisierung	O	O	O	O
Fotomontage	O	O	O	O
Geräuschberechnung	O	O	O	O
netzgekoppelte Anlagen	X	X	X	X
Inselanlagen	O	O	O	X
Andere Technologien	O	O	PV, SK	PV, WK, BM, ST, WP
Wirtschaftlichkeit	O	O	X	X
Emissionsbilanz	O	O	X	X
<b>Bibliotheken</b>				
WEA (Anzahl)	64	entfällt	72	29
<b>Eingabe und Bedienung</b>				
Komponenten-Import	X	O	X	X
Plausibilitätsprüfung	O	X	X	X
Optimierungsfunktionen	O	O	O	O
Auslegungshilfen	O	X	X	O
<b>Ergebnisse und Ausgabe</b>				
Reportausdruck	O	X	O	X
Ergebnis-Export (Formate)	ASCII	Excel, Word, Drucker	ZA, ASCII, Excel, HTML, WMF, BMP, JPG, Drucker	Excel, ZA
Zeitl. Auflösung d. Ergebnisse	MP	e, a	h, d, w, m, a	a

WAsP	WindFarm	WindFarmer	WindPRO	Legende X = vorhanden, O = fehlt ZA = Zwischenablage MP = Messperiode
v.8.0	3.1	3.1.4	v.2.3	
1987	1998	1998	1986	
Standardprogramm zur Berechnung von Windverhältnissen und lokale detaillierte Standortuntersuchungen	Programmpaket zur Windparkplanung und Projektentwicklung	Leistungsfähige Simulationsumgebung zur detaillierten Planung von Windparks	Modular aufgebaute Software-Suite zur Standortanalyse und Projektentwicklung mit sehr großem Funktionsumfang	*a zuzüglich MwSt *b Komplettpreis (alle Module) *c ab 7.000 bis 15.800 € (inkl. WAsP, zuzüglich MwSt) *d modulabhängig bis 15.700 € (komplett, ohne Umbra)
Windparks mit unterschiedl. WEA, überarbeitete Windverteilungsberechnung, umfangreiche Reports, etliche Zusatzprogramme	Verschiedene Module zur Optimierungs- bzw. Ertragsberechnung und Visualisierung	Optimierungsfunktion zur optimalen Anlageneinstellung sowie Visualisierungstools	Planungs-, Projektierungs- und Bewilligungsaspekte, einzelne WEA bis zu großen Windparks	*e bisher kostenloser Updateservice *f seitens der Anwendergruppe *g Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht im Programm enthalten, kostenlose Finanz-Tabellenkalkulation
2.700 €	2.200 £ *b	ab 7.000 € *c	bis 15.700 € *d	
O	X	O	X	
E	E	D, E, F, Sp	D, E, F, Sp, Sw, Dk	<b>Sprachen:</b> D = Deutsch, E = Englisch, F = Französisch, Sp = Spanisch, Sw = Schwedisch, Dk = Dänisch
per E-Mail	X	X	X	<b>Internetdownload:</b> PR = Programmdownload, KU = Update-Datensätze, PU = Programmupdate (Patches, neue Versionen), DO = Dokumentation, IN = Programminformation
X	X	auf CD	X	<b>Andere Technologien:</b> PV = Photovoltaik, SK = Solarthermische Kraftwerke, WK = Kleinwasserkraftanlagen, BM = Biomassennutzung, ST = Solarthermische Anlagen, WP = Wärmepumpen
PU, KU	*e	IN	PU, KU	
X	*f	X	X	
O	O	O	O	
X	auf Anfrage	X	X	
O	O	O	O	<b>Zeitliche Auflösung:</b> MP = Messperiode, a = Jahr, m = Monat, w = Woche, d = Tag, h = Stunde, e = Einzelzustände
O	O	O	O	
X	X	X	X	
X	X	X	X	
O	X	X	X	<b>Kontakt- und Bezugsadressen:</b> <b>ALWIN:</b> Ammonit GmbH, 10999 Berlin, <a href="http://www.ammonit.de">www.ammonit.de</a> <b>BLADED:</b> Garrad Hassan and Partners Ltd, Bristol (UK), <a href="http://www.garradhassan.co.uk">www.garradhassan.co.uk</a> <b>Greenius:</b> Greenius, E-04720 Aguadulce, <a href="http://www.greenius.de">www.greenius.de</a> <b>RETScreen:</b> CANMET Energy Technology Centre, Energy Sector, Natural Resources Canada, 580 Booth Street, Ottawa, Ontario K1A 0E4, <a href="http://www.retscreen.net">www.retscreen.net</a> <b>WAsP:</b> Wind Energy Department, Risø National Laboratory, P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, <a href="http://www.wasp.dk">www.wasp.dk</a> <b>WindFarm:</b> ReSoft Ltd, 7 Church Lane, Flitton, Bedford, MK45 5EL, UK, <a href="http://www.resoft.co.uk">www.resoft.co.uk</a> <b>WindFarmer:</b> Garrad Hassan and Partners Ltd, Bristol (UK), <a href="http://www.garradhassan.co.uk">www.garradhassan.co.uk</a> <b>WindPRO:</b> EMD Denmark, Energi- og Miljødata, DK-9220 Aalborg, <a href="http://www.emd.dk">www.emd.dk</a>
O	O	O	O	
O	O	O	O	
O	O	O	O	
O	O	O	O	
O	*g	X	X	
O	O	O	X	
ca. 50	nur exemplarisch	siehe WAsP	500	
X	X	X	X	
X	X	X	X	
X	X	X	X	
X	X	X	X	
X	X	X	X	
ZA, HTML	Drucker, txt, Bildformate	ASCII, DXF, BMP, GIS, Drucker	ASCII, Excel, dxf, pdf, Bild-, GIS, Drucker	
a	a	a	a	

Auch bei der Konstruktion, Entwicklung und Optimierung von Windkraftanlagen kommen Computerprogramme zum Einsatz. Gilt es zum Beispiel, ein neues Flügelprofil zu entwerfen oder die Geräuschentwicklung der Rotoren zu reduzieren oder eine neue Regelung auszutesten, erfolgt dies auch meist mit Computerunterstützung. Hersteller verwenden verschiedene Programme zur Berechnung von Windlasten und Windangriffsflächen.

Computerprogramme müssen also eine Vielzahl unterschiedlichster Aufgabenstellungen bewältigen. Hierfür gibt es sehr leistungsfähige aber auch teure und mit gewissem Einarbeitungsaufwand verbundene Simulationspakete. Verfügbar sind aber auch sehr einfache und kostenlose Werkzeuge, die es selbst dem Laien ermöglichen, die Angaben für ein geplantes Windparkprojekt näherungsweise zu überprüfen.

Dieser Artikel kann keine absolut vollständige Marktübersicht geben. Eine Auswahl interessanter Programme, die verschiedene Einsatzgebiete und Programmkategorien abdeckt, soll im Folgenden aber die Möglichkeiten und hohe Leistungsfähigkeit von Computerprogrammen im Windbereich darstellen.

kennlinie, Regelprinzip und Nabenhöhe. Diese lassen sich manuell eingeben. Für zahlreiche gängige Windkraftanlagen sind direkt importierbare Dateien ebenfalls kostenlos über das Internet verfügbar. Das Programm stellt alle Daten und Ergebnisse in übersichtlichen Grafiken und Tabellen dar und druckt sie auf Wunsch auch aus. Somit ist ALWIN ein einfaches, aber sehr nützliches und kostenloses Programm, das eine schnelle Ertragsabschätzung für einen Standort ermöglicht. Für einige Anwendungen ist es damit eine Alternative zu den teureren Konkurrenzprodukten.

**BLADED**

BLADED ist ein Standardprogramm für die Windkraftanlagenentwicklung. Es ermöglicht dem Anwender alle Leistungs- und Belastungsberechnungen, die für die Entwicklung und Zertifizierung von Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen benötigt werden. Der Germanische Lloyd hat das Programm auf der Basis von Messdaten von Anlagen eines breiten Leistungsspektrums validiert.

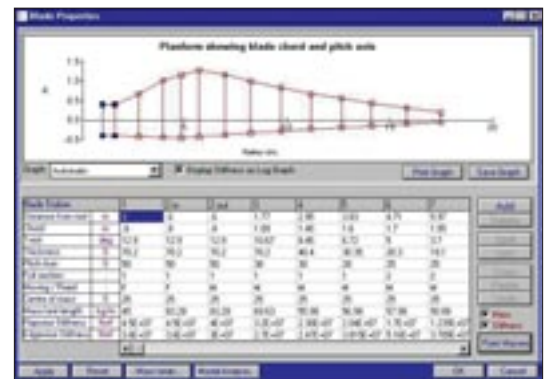
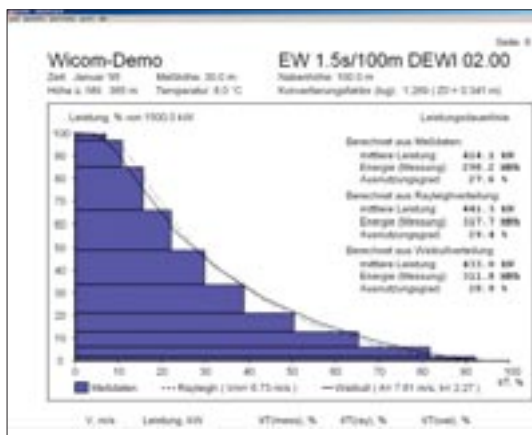
Zur Berechnung definiert der Nutzer in verschiedenen Eingabemasken die Anlagenteile wie Rotorblätter, Rotor, Generator, Turm oder eine benutzerdefinierte Steuerung. Das Programm berechnet dann unter anderem die Rotorblattaerodynamik, statische und dynamische Leistungskennlinien und Leistungsbeiwerte sowie Kräfte und Momente auf verschiedene Anlagenteile. Hierbei können unterschiedliche Betriebszustände wie Anlagenanlauf, Leerlauf, Normalbetrieb und Notbremsungen analysiert werden. Die Ergebnisse lassen sich in ver-

**ALWIN**

Das vom Deutschen Windenergie-Institut (Dewi) und Ammonit entwickelte und mittlerweile als Freeware angebotene Programm ALWIN verknüpft das Windpotenzial eines Standorts mit den technischen Daten einer Windkraftanlage und berechnet eine Prognose des erzielbaren Energieertrags. Eine Standortdatei enthält Daten zur Charakterisierung des Windpotenzials.

Der Anwender kann gemessene Standortdaten manuell eingeben oder Messdateien spezieller Data-logger direkt importieren. Für die Analyse eines fiktiven Standorts ist es möglich, die Parameter für die Rayleigh- oder Weibull-Verteilung anzugeben.

Die technischen Informationen einer oder mehrerer Windkraftanlagen bestehen aus Leistungs-



schiedenen Grafiken anschaulich darstellen und in andere Windowsanwendungen wie Word oder Excel exportieren. Damit ist BLADED ein sehr interessantes, aber auch teures Werkzeug im Entwicklungsbereich.

## Greenius

Im Gegensatz zu den meisten anderen, speziell für die Windkraft entwickelten Simulationsprogrammen kann das Programm Greenius auch andere regenerative Anlagen wie solarthermische Kraftwerke oder Photovoltaikanlagen simulieren. Das Programm ermittelt aus stündlichen meteorologischen Daten die Leistungsabgabe für ein Jahr. Viele Parameter lassen sich in stündlicher, täglicher oder monatlicher Auflösung tabellarisch oder grafisch darstellen und in zahlreichen Formaten kopieren oder exportieren.

Bei Berechnungen auf Basis von gemessenen Stundenmittelwerten kann es bei der Windkraft jedoch zu Unterschätzungen des Ertrages kommen. Greenius versucht dies über einen »Energy Pattern Faktor« zu kompensieren, der über statistische Zusammenhänge Unterschiede zwischen Kurzzeitmessungen und Stundenwerten erfasst. Dennoch birgt diese Methode einige Unsicherheiten.

Die Stärken dieses Programms sind umfangreiche Finanzierungs- und Wirtschaftlichkeitsanalysen bis hin zum detaillierten Projekt-Cashflow. Die Jah-

ressimulation erlaubt auch die Berücksichtigung stündlich variierender Einspeisetarife, wie sie in zum Beispiel in Spanien möglich sind. Die Projektverwaltung ist modular aufgebaut und die Software umfasst eine umfangreiche Windkraftanlagen-Datenbank. Datenbank-Updates sollen in Kürze auf der Homepage verfügbar sein.

Für Projektentwickler, die Wirtschaftlichkeitsanalysen benötigen, die über die Leistungsfähigkeit der meisten anderen Programme hinausgehen, oder die auch andere regenerative Anlagen projektieren, kann Greenius eine wertvolle Unterstützung bieten. Die für Herbst angekündigte Version 2.0 soll neben einer deutschen Programmoberfläche auch ein grafisches Ergebnis-Visualisierungstool enthalten, das vor allem für Lehr- und Ausbildungszwecke und die Präsentation beim Kunden interessant ist.

## RETScreen

Der Name ist Programm: RETScreen setzt sich aus den Anfangsbuchstaben der Wörter Renewable, Energy und Technology sowie dem Wörtchen Screen



zusammen. Es handelt sich um ein Programmpaket des CANMET Energy Technology Centre aus Ontario (Kanada). Das kostenlos im Internet verfügbare, auf Excel basierende Programmpaket umfasst insgesamt acht einzelne voneinander unabhängige Programme. Diese decken verschiedene Technologiefelder im Bereich der nachhaltigen Energienutzung ab – von der Windenergie und der Wasserkraft über die Photovoltaik bis hin zur Biomasse. Ziel des Programmpakets ist die Unterstützung der Projektplanung auch unter Berücksichtigung der alternativen Energieerzeugung.

Die Berechnung in diesen Excel-Arbeitsmappen beginnt jeweils mit der genauen Festlegung der Projektdaten bzw. Modellparameter. Danach folgt eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit. Der Anwendungsablauf führt schließlich zur Analyse eingesparter Treibhausgase und endet mit der finanziellen Ergebniszusammenfassung des Projekts. Neben den

Modellen zur Energieerzeugung umfasst RETScreen auch umfangreiche Produktdatenbanken, Wetterdatenbanken (in Kooperation mit der NASA) und ein detailliertes Online-Benutzerhandbuch.

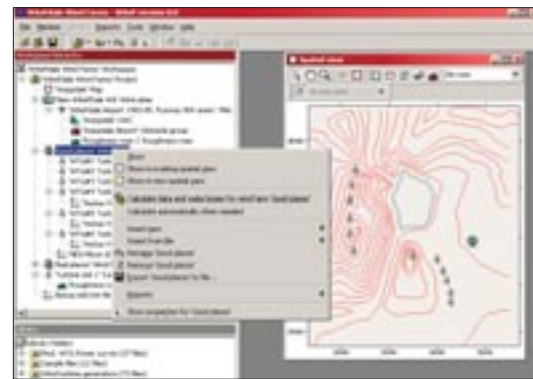
RETScreen kann weltweit zur einfachen Abschätzung des Energieertrags, der Investitions- und Betriebskosten und der eingesparten Emissionen für netzgekoppelte Windkraft-

anlagen eingesetzt werden, und zwar nicht nur für Windparks mit vielen Windenergiekonvertern, sondern auch für kleine Wind-Diesel-Hybridssysteme. Die Version 2000 umfasst genauere Modelle, eine universellere Kostenkalkulation, das Emissions- und das Zusammenfassungsblatt, ein leeres Arbeitsblatt für Anwenderadaptionen, verbesserte Datenbanken, das Manual und einen Anwendungskurs.

## WAsP

Das nur in englischer Sprache erhältliche »Wind Atlas Analysis and Application Program« (WAsP) ist das Standardprogramm zur Berechnung von Windressourcen und für die Micro-Festlegung und -Optimierung der Windkraftanlage an einem Standort. Entwickelt und vertrieben wird das Programm von dem Wind Energy Department des dänischen Risø National Laboratory in Roskilde. Mehr als 1.000 Anwender in über 80 Ländern verwenden das Programm WAsP, das seit der Veröffentlichung im Jahr 1987 kontinuierlich weiterentwickelt wurde. Der Rechenkern von WAsP ist an vielen Orten weltweit seit über 15 Jahren im Einsatz und daher bereits ausgiebig getestet.

Seit der Version 6 arbeitet WAsP auf der Basis von Windows als echte 32-Bit-Software. Die Version 7 ist seit Anfang 2000 am Markt erhältlich. Sie verfügt über ein modernes Interface, das die Anwendung vereinfacht, arbeitet aber im Programmkern immer



noch mit den bewährten Algorithmen der Vorgängerversionen.

Die WAsP-Vorhersage beruht auf Windstatistiken, die normalerweise mit Anemometern mindestens in 10 m Höhe gemessen werden. Dabei entspricht in der Regel der Ort der Messung nicht exakt dem Standort, für den eine Abschätzung der Windverhältnisse erfolgen soll. Durch Windströmungsmodellierung kann die Windverteilung des Messplatzes auf den in Frage kommenden Ort unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Geländebedingungen umgerechnet werden. Diese Umwandlung geschieht auf Basis der Risø-Wind-Atlas-Methode.

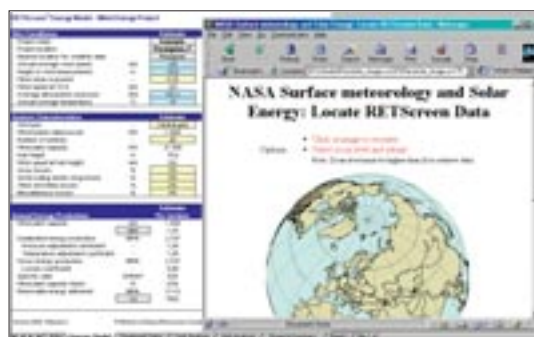
WAsP 7 ermöglicht auch eine parallele Berechnung mehrerer Orte bei gleichzeitiger Nutzung der Windatlanten und der Karten. Deshalb können Alternativvorschläge für große Windparks schnell entwickelt, untersucht und in ihren unterschiedlichen Auswirkungen reflektiert werden. Während der Auslegung lassen sich Situationsveränderungen einfach vornehmen. Neu ist auch die gegenseitige Beeinflussung von Windenergiekonvertern in Windparks durch Wirbelschleppeneffekte als Bestandteil der Windparkertragsberechnung. Dafür war bisher das separate Programm »Park« notwendig.

Bei der Programmierung wurde auch auf die Kompatibilität des Programms mit früheren Versionen (Abwärtskompatibilität) geachtet. Da zahlreiche andere Programme wie WindFarmer oder WindPRO auf Ausgabedaten von WAsP aufbauen, ist es eines der wichtigsten Werkzeuge der Windparkplanung.

## WindFarm

Das Programm WindFarm der Firma Resoft aus Flitton (England) legt Windparks aus und analysiert und optimiert sie. Es besteht aus den Programmmodulen Basis- bzw. Hilfsprogramme (mit GUI, Datenkonverter, Kartenumwandlungsmodul und Turbinenstudio), Optimierungs- bzw. Ertragsberechnung und Visualisierung. WindFarm berechnet den Energieertrag eines Windparks unter Berücksichtigung topographischer Gegebenheiten und der gegenseitigen Beeinflussung durch die Windparkgeometrie.

Das Turbinenlayout kann auf maximalen Energieertrag oder minimale Energiegestehungskosten hin optimiert werden – innerhalb von Begrenzungen wie beispielsweise durch Immissionswerte. Wirbelschleppeneffekte fanden in WindFarm besondere



Berücksichtigung. WindFarm kann auch Windströmungen und Immissionen unter Anzeige der Grenzen berechnen und auf Basis von Messdaten eine Abschätzung und Analyse von Windgeschwindigkeitsdaten durchführen. In der Visualisierung können Anwender in Planungsqualität Photomontagen und Animationen erstellen. Mit WindFarm lassen sich Drahtgittermodelle des Windparks präsentieren, Schatteneffekte analysieren und die Zone visueller Effekte in Karten darstellen. WindFarm ist kompatibel zu dem Programm WAsP und erlaubt einen einfachen Datentransfer. Das Programmpaket ist eine kostengünstige Alternative, für die man allerdings Einschränkungen des Funktionsumfangs in Kauf nehmen muss.

### WindFarmer

Ein sehr großes Spektrum deckt auch die wahlweise in vier Sprachen installierbare Simulationsumgebung WindFarmer des britischen Ingenieurbüros Garrad Hassan and Partners ab. Für die Simulationsumgebung sind verschiedene Module erhältlich.

Das Basismodul umfasst Karten- und Diagrammfenster sowie den WindFarmer-Optimierer. Ebenfalls enthalten ist eine freie WAsP-Kopie. Das Kartenfenster bildet das Hauptfenster von WindFarmer. Es zeigt eine zweidimensionale Ansicht des Windparkstandortes und seiner Umgebung und ermöglicht die Eingabe und Bearbeitung von Standortelementen. Über die Anzeigeeinstellungen lässt sich festlegen, welche Elemente es anzeigt (beispielsweise Grenzen, Anlagen und Gebäude). Errechnete Werte wie die visuelle Einflusszone lassen sich ebenfalls im



Kartenfenster darstellen. Das Basismodul berechnet auch den Windparkertrag. Die Daten über die vorherrschenden Windbedingungen an einem Standort liefert unter anderem das Windressourcenraster WRG, das zum Beispiel von der WAsP-Software ausgegeben wird.

Der ebenfalls mitgelieferte Optimierer ermittelt automatisch das bestmögliche Windparklayout. Hierbei werden die Anlagenstandorte innerhalb vorgegebener Grenzen variiert und hinsichtlich Ertrag und Lärmemission optimiert. Die Diagrammfenster zeigen aktuelle, aus Standortdaten errechnete Diagramme wie Optimierungsverlauf, Anlagenertrag oder Geräuschemissionen. Die Diagrammsymboleiste ermöglicht die Auswahl der anzuzeigenden Daten. Das Visualisierungsmodul stellt die visuellen Einflusszonen des aktuellen Windparklayouts dar.

Weitere leistungsfähige Funktionen dieses Moduls sind die dreidimensionale Darstellung der Windparkintegration in der Landschaft, Photomontagen sowie eine automatische Optimierung

des Layouts hinsichtlich visueller Beeinträchtigungen. Ein Turbulenzmodul, ein Finanzmodul zur Berechnung finanzieller Aspekte des Windparks, ein Elektrikmodul für die Bestimmung elektrischer Verluste und die Planung des Netzanschlusses sowie ein Schattenflicker-Modul zur Berechnung des Windparkschattenwurfs runden die Palette der verfügbaren Programmmodule ab. Damit bietet dieses Programmpaket professionellen Anwendern alle Leistungen, die für eine detaillierte Windparkplanung benötigt werden.

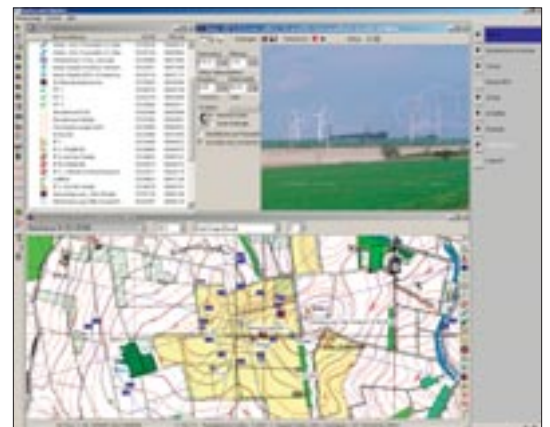
### WindPRO

Die weit verbreitete WindPRO-Software wurde von der seit über 15 Jahren in der Windbranche tätigen Firma Energi- og Miljødata (EMD) aus Aalborg in Dänemark entwickelt. Zu dem in sechs Sprachen erhältlichen Programm WindPRO bietet EMD eine Fülle an Dienstleistungen an wie ein mehrstufiges Kurskonzept zu regelmäßigen Terminen sowie einen Update-, Support- oder Newsservice.

WindPRO ist modular aufgebaut. Die Programmmodule berücksichtigen die verschiedenen Planungs-, Projektierungs- und Bewilligungsaspekte von einzelnen Windkraftanlagen bis hin zu großen Windparks. Mit WindPRO lassen sich beispielsweise die Windressourcen ermitteln, die Machbarkeit des Projekts über Ertrags- bzw. Betriebsprognosen und die Wirtschaftlichkeit berechnen, Fragen zu Umweltverträglichkeiten wie Schattenwurf oder Lärmimmission klären und die Anlagen in das Landschaftsbild durch Visualisierung und Animation einbinden.

Die verschiedenen Module lassen sich mit dem WindPRO-Basismodul abhängig von persönlichen Einsatzbedürfnissen und Budget frei kombinieren. Neben dem Basismodul gibt es Programmteile zur Energieberechnung, zur Umweltverträglichkeitsberechnung, zur Anlagensvisualisierung, zur Planung und zur Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Topographische Karten in digitaler Form stellen die Grundlage der Arbeit mit WindPRO dar. Relevante Objekte werden aus der Toolbox ausgewählt und direkt mit einem Mausklick auf der Karte platziert. Nach der Eingabe weiterer Information wie der Festlegung des Anlagentyps beginnt die Berech-



nung beispielsweise auch unter Berücksichtigung bereits existierender Anlagen oder unter schnellem Vergleich alternativer Auslegungsvorschläge.

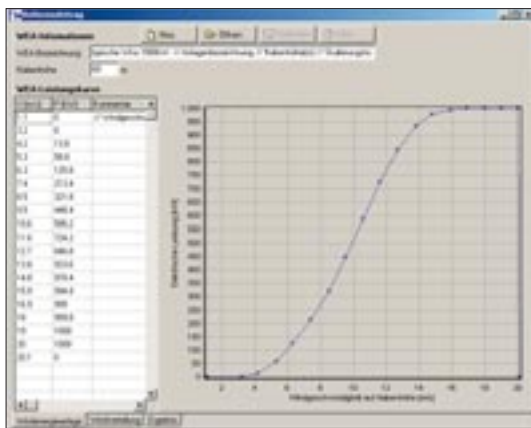
Das Modul WAsP Interface führt komplexe Geländeenergieberechnungen basierend auf der WAsP-Software durch, das Modul Optimize automatische Optimierungen des Windparklayouts und der -nutzung. Umbra berechnet Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen für den Eingriff in das Landschaftsbild und Decibel Geräuschemissionen bis hin zu einzelnen Anwohnern und Darstellung von Isolinien auf Karten.

Mit den Programmteilen zur Visualisierung lassen sich kleine Animationen und Filme des Windparkprojekts erstellen. Mit seinem großen Funktionsumfang setzt WindPRO hohe Maßstäbe im Softwarebereich für die Windparkplanung und -analyse, wobei der relativ hohe Preis das Programm nur für professionelle Anwender erschwinglich macht.

## Weitere Berechnungsmöglichkeiten

Die sehr einfach gestaltete Simulationsanwendung Referenzertrag, die über die Homepage des Dewi<sup>2</sup> kostenlos heruntergeladen werden kann, erlaubt

Referenzertrag



ebenfalls eine Ertragsberechnung von Windkraftanlagen. Nach Eingabe einer Anlagenkennlinie und Standortinformationen ermittelt es den Jahresertrag. Auch die bereits aus den Photovoltaik- und Solarthermie-Programmübersichten [1,2] bekannten Simulationsprachen INSEL und TRNSYS ermöglichen die Analyse von Windkraftanlagen. Beide Programme haben zwar ihren Anwendungsschwerpunkt in der Solarenergienutzung, doch sie können auch Berechnungen mit Modellen für Windkraftanlagen durchführen. Wenn es zum Beispiel darum geht, spezielle Lösungen für PV-Wind-Hybridanlagen zu analysieren, können diese Programme sicher eine gute Unterstützung liefern. Auch das Programm Solar Studio Suite ermöglicht die Einbeziehung eines Backup-Windkraftgenerators in die Simulation.

Windpark-Ertragsanalyse



Schließlich existieren weltweit noch zahlreiche andere Programme, die im Rahmen

dieses Artikels nicht ausführlich beschrieben werden konnten. Auf der Internetseite der ECN Wind Energy<sup>3</sup> findet sich beispielsweise eine ganze Palette an Programmen für verschiedenste Anwendungen, angefangen bei Windanalysen über Rotorblattdesign bis hin zur Windparkanalyse. Die Mehrzahl dieser Programme wurde aber für den insti-

tutsinternen Gebrauch entwickelt. Ähnliche Hinweise auf Programm- und Algorithmenfragmente findet man auch auf den Webseiten von Hochschulen.

Das zu WAsP oder WindFarmer kompatible Programm WindMap<sup>4</sup> prognostiziert und kartographiert Windverhältnisse. Mit WindMap lassen sich Windgeschwindigkeiten innerhalb großer und kleiner Gebiete vorhersagen, potentielle Aufstellungsorte suchen und Details Aussagen zu einem Standort machen. Basierend auf vorhandenen Winddaten berechnet WindMap Windgeschwindigkeiten für jeden Punkt auf digitalen Karten. Der WindMap Programmkern erlaubt auch die Nutzung führender GIS-Softwarepakete.

## Online-Simulationstools

Im Gegensatz zu einer Vielzahl an Online-Berechnungstools im Bereich der Photovoltaik- und Solarthermie, die dem Kunden eine grobe Anlagenauslegung ermöglichen, ist das Angebot im Bereich der Windkraft deutlich magerer. Erwähnenswert ist die kostenlose Windpark-Ertragsanalyse, die eine Grobabschätzung des jährlichen Windparkertrags und dessen Wirtschaftlichkeit durchführt<sup>5</sup>. Damit lassen sich beispielsweise Angaben des Beteiligungsprospektes überschlägig überprüfen.

Verschiedene kostenlose Berechnungstools finden sich auch auf der Internetseite des Verbandes der dänischen Windkraftindustrie<sup>6</sup>. Der dort angebotene »Streifzug«, der aus einer Vielzahl an Lektionen über die Nutzung der Windkraft besteht, umfasst mehrere Programme, die eine überschlägige Ertragsabschätzung, Wirtschaftlichkeitsberechnungen sowie Schattenwurf- und Schallpegelberechnungen ermöglichen.

Dabei ist natürlich zu beachten, dass die Ergebnisse von Online-Programmen nicht vergleichbar sind mit detaillierten Berechnungen auf der Basis eines Windgutachtens.

Volker Quaschnig  
Mike Zehner

Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig ist Projektleiter für solare Systemanalyse im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) an der Außenstelle Plataforma Solar de Almeria in Spanien. Dipl.-Ing. (FH) Mike Zehner arbeitet als Assistent im Labor für Solartechnik und Energietechnische Anlagen an der FH München.

**Kontakt:** [www.volker-quaschnig.de](http://www.volker-quaschnig.de), [www-lse.ee.fhm.edu](http://www-lse.ee.fhm.edu)

### Literatur:

- [1] Sonne Wind & Wärme 6/2002: Solarstrom aus dem Rechner. Marktübersicht Photovoltaik-Simulationsprogramme  
[2] Sonne Wind & Wärme 10/2002: Anlagenplanung am Computer. Marktübersicht Solarthermie-Simulationsprogramme

Das Fachbuch *Regenerative Energiesysteme* von Volker Quaschnig, erschienen im Hanser Verlag (München 2003), enthält eine CD-Rom mit Demoverionen der gängigsten Simulationsprogramme.

<sup>2</sup> [www.dewi.de](http://www.dewi.de)

<sup>3</sup> [www.ecn.nl](http://www.ecn.nl)

<sup>4</sup> [www.browerco.com/windmap.html](http://www.browerco.com/windmap.html)

<sup>5</sup> [www.volker-quaschnig.de/software/windertrag](http://www.volker-quaschnig.de/software/windertrag)

<sup>6</sup> [www.windpower.org](http://www.windpower.org)