



Windgutachten - Potenzialstudien - Immissionsprognosen

Bericht Nr. WS-130304-272-CA

Teststudie

Verifikation des dreidimensionalen CFD-Strömungsmodells WindSim
anhand von Testfällen in der Region

Hochsauerland

(Nordrhein-Westfalen)

erstellt von

AL-PRO
Planungsbüro für regenerative Energienutzung
Dipl. Inf. Carsten Albrecht

Auftraggeber:

Plambeck Neue Energien AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
Cuxhaven

Großheide, 13. März 2004

Die vorliegende Teststudie über das dreidimensionale Strömungsmodell Wind-Sim der Fa. VECTOR A/S, Norwegen für die Region Hochsauerland (Nordrhein Westfalen) wurde dem Planungsbüro AL-PRO im Oktober 2003 von der Firma Plambeck Neue Energien AG in Auftrag gegeben und gemäß dem Stand von Wissenschaft und Technik nach bestem Wissen und Gewissen unparteiisch erstellt.

Die ermittelten Windverhältnisse sowie Ertragsprognosen sind Bestandteil eines Eignungstests und dürfen keinesfalls für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen oder als Entscheidungsgrundlage für die Errichtung von Windenergieanlagen verwendet werden. Für die ermittelten Windverhältnisse sowie Ertragsprognosen werden seitens des Prüfbüros keine Garantien übernommen. Ebenso können keine Lasten zum Ausgleich bei Mindererträgen eingefordert werden.

Die Weitergabe, Veröffentlichung und Vervielfältigung des Prüfberichts an Dritte ist unter Angabe des Zwecks nur mit schriftlichem Einverständnis des Prüfbüros AL-PRO gestattet.

Großheide, 22. März 2004

Berechnet:

Erstellt:

Dipl. Inf. Carsten Albrecht

Carsten Albrecht

Verantwortlich/Geprüft Inhalt:

Dipl. Inf. Carsten Albrecht

Inhalt

1	Aufgabenstellung	5
2	Erläuterung der Vorgehensweise	6
2.1	Gegenüberstellung der verglichenen Verfahren	6
2.1.1	Ermittlung von Windverhältnissen mit der Methode des europäischen Windatlas.....	6
2.1.1.1	Grundlagen	6
2.1.1.2	Berechnung topographischer Einflüsse	7
2.1.1.3	Software WASP	11
2.1.2	Ermittlung von Windverhältnissen mit nichtlinearen, dreidimensionalen Strömungsmodellen.....	12
2.1.2.1	Grundlagen	12
2.1.2.2	Die Software WindSim	13
2.1.3	Software WindPRO.....	14
3	Testfälle	15
3.1	Einführung.....	15
3.2	Berlar.....	16
3.2.1	Landschaftliche Lage und Geländesituation.....	16
3.2.1.1	Rauhigkeiten	16
3.2.1.2	Orographie	17
3.2.1.3	Hindernisse	17
3.2.2	Beschreibung der Windmessung.....	17
3.2.2.1	Meßaufbau, Meßzeitraum und Verfügbarkeit	17
3.2.2.2	Grundsätzliche Plausibilität der Messung.....	18
3.2.3	Beschreibung des Tests	18
3.2.3.1	Besonderheiten und Probleme am Standort.....	18
3.2.3.2	Vorgehensweise.....	19
3.2.3.3	Ergebnisse	20
3.3	Stöppel.....	21
3.3.1	Landschaftliche Lage und Geländesituation.....	21
3.3.1.1	Rauhigkeiten	22
3.3.1.2	Orographie	22
3.3.1.3	Hindernisse	22
3.3.2	Beschreibung des Tests	22
3.3.2.1	Besonderheiten und Probleme am Standort.....	22
3.3.2.2	Vorgehensweise.....	22
3.3.2.3	Ergebnisse	24
3.4	Schmallenberg	26
3.4.1	Landschaftliche Lage und Geländesituation.....	26
3.4.1.1	Rauhigkeiten	26
3.4.1.2	Orographie	26
3.4.1.3	Hindernisse	26
3.4.2	Beschreibung des Tests	27
3.4.2.1	Besonderheiten und Probleme am Standort.....	27
3.4.2.2	Vorgehensweise.....	27
3.4.2.3	Ergebnisse	28
4	Zusammenfassung und Bewertung.....	32
4.1	Übersicht.....	32

Bericht Nr.: WG-130304-272-CA

4.2	Bewertung der Ergebnisse WindSim	32
4.3	Zusammenfassung/Fazit.....	33
5	Anhang A, Berechnungsergebnisse Berlar	35
6	Anhang B, Berechnungsergebnisse Stöppel.....	39
7	Anhang C, Berechnungsergebnisse Schmollenberg.....	44
8	Anhang D, Lageplan	51
9	Anhang E, Windkarte 100m über Grund	53

1 Aufgabenstellung

Zielsetzung dieser Teststudie ist :

- Ermittlung der lokalen Windverhältnisse am Standort Kallinchen.
- Ermittlung des zu erwartenden mittleren Jahresertrages für die vom Auftraggeber vorgegebenen Windenergieanlagen und Nabenhöhen.
In diesem Fall:
ENERCON E-66/18.70 mit 114m Nabenhöhe.
- Ermittlung des zu erwartenden mittleren Ertrags des Windparks in den vom Auftraggeber vorgegebenen Parkkonfigurationen.
In diesem Fall:
Sechs ENERCON E-66/18.70 mit 114m Nabenhöhe.

Weitere WEA sind im Nahbereich nicht vorhanden und wurden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Zur Erreichung dieser Ziele wurden Modellrechnungen auf Basis der europäischen Windatlas methode durchgeführt. Hierbei kamen die Softwareprogramme WASP und WindPRO zum Einsatz.

2 Erläuterung der Vorgehensweise

2.1 Gegenüberstellung der verglichenen Verfahren

2.1.1 Ermittlung von Windverhältnissen mit der Methode des europäischen Windatlas

2.1.1.1 Grundlagen

Die Windatlas-Methode wurde in der zweiten Hälfte der 80'er Jahre von dem dänischen Forschungslabor RISÖ im Rahmen eines Projektes der Europäischen Gemeinschaft entwickelt. Zielsetzung war es hierbei, Aussagen über die bodennahen Windverhältnisse in Europa (damalige Europäische Gemeinschaft) unter besonderer Beachtung der möglichen Nutzung des Windes zur Energieerzeugung zu gewinnen.

Die Windverhältnisse im Bereich der unteren Grenzschicht der Atmosphäre sind naturgemäß stark durch die örtlichen Bodenverhältnisse geprägt. Je weiter man sich von der Erdoberfläche entfernt, umso mehr treten diese Einflüsse zurück, bis sich in Höhen von einigen km von der Erdoberfläche weitgehend unbeeinflusste Strömungsverhältnisse einstellen, der sogenannte geostrophische Wind.

Um eine korrekte Aussage über lokale Windverhältnisse zu erlangen, ist es somit – wenig überraschend – unerlässlich, die Bodenbeschaffenheit der Standortumgebung in die Betrachtung einzubeziehen.

Ausgehend von diesen grundsätzlichen Überlegungen liegen der Windatlas-Methode die folgenden Annahmen zugrunde:

1. Das von den örtlichen topographischen Verhältnissen unbeeinflusste Windklima, der sogenannte WINDATLAS, ist für mehr oder weniger große und klar abgegrenzte Regionen gleich.
2. Änderungen der Windverhältnisse innerhalb einer durch einen WIND-ATLAS gekennzeichneten Region ergeben sich ausschließlich aus Änderungen der lokalen Topographie.

Zur Ermittlung eines Windatlas standen bzw. stehen Windmessungen z. B. der europäischen Wetterdienste zur Verfügung. Diese Messungen unterlagen naturgemäß ebenfalls den bodennahen Einflussfaktoren am Standort der Meßeinrichtung. Da Windmessungen üblicherweise in geringerer Höhe stattfinden, als die Höhe von Windenergieanlagen beträgt, sind die Einflüsse hier in der Regel sogar noch stärker.

Kern der Windatlas-Methode ist es, durch geeignete Modelle den Einfluß der Topographie auf die Windströmung zu berechnen. Dies kann sowohl dazu genutzt werden, lokale Einflüsse aus einer vorhandenen Windmessung zu eliminieren, als auch in großräumig gültige Windverhältnisse zur Ermittlung der Windverhältnisse an einem konkreten Standort einzurechnen.

2.1.1.2 Berechnung topographischer Einflüsse

Zur Berechnung topographischer Einflüsse wurden im Rahmen des Europäischen Windatlas drei unabhängig voneinander arbeitende Modelle entwickelt. Sie entsprechen der Überlegung, dass sich die bodennahen Einflüsse auf die Windströmung in drei Kategorien einteilen lassen:

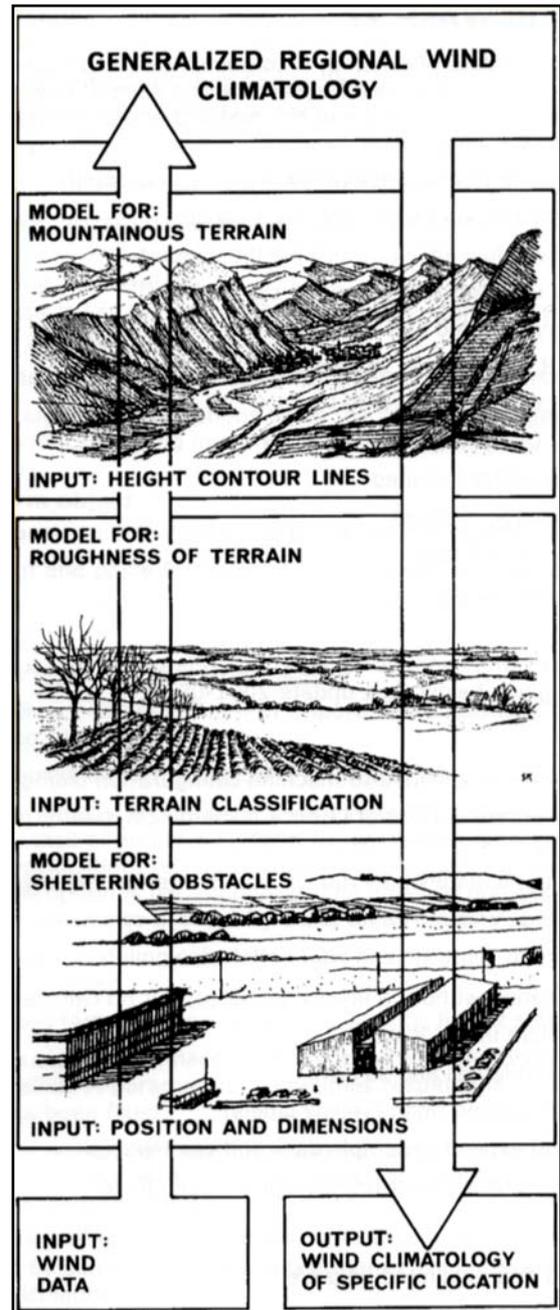
1. Einfluß durch Windhindernisse im Nahbereich des Standortes.
2. Einfluß durch die Oberflächenbeschaffenheit in der weiteren Umgebung des Standortes.
3. Einfluß durch Hügel, Berge und Täler in der Standortumgebung.

Entsprechend enthält die Windatlas-Methode die folgenden Modelle:

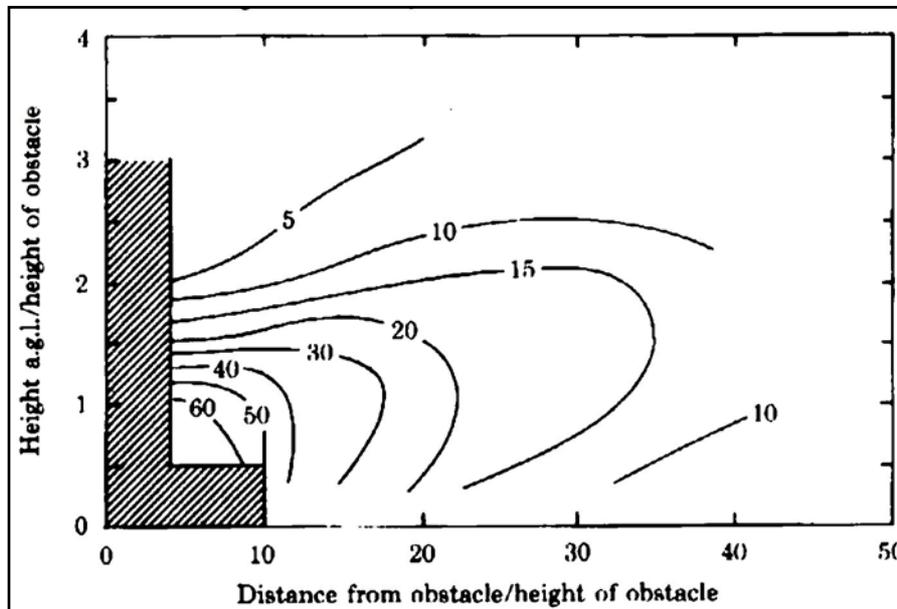
2.1.1.2.1 Hindernismodell

Dieses Modell berechnet lokale Einflussfaktoren, die durch Windhindernisse in der unmittelbaren Standortumgebung begründet sind. Es ist in der Lage, die Minderung von Windgeschwindigkeiten durch ebensolche Windhindernisse zu ermitteln.

Windhindernisse spielen, abhängig von ihrem Abstand zum Standort, etwa bis zum Drei- bis Vierfachen ihrer eigenen Höhe eine größere Rolle für die lokalen Einflüsse auf die Windverhältnisse. Hieraus ergibt sich, dass das Hindernismodell in seiner Bedeutung für die Berechnung von Erträgen moderner Windenergieanlagen in letzter Zeit immer mehr zurückgetreten ist. Mittlerweile sind Nabenhöhen von über 70m fast die Regel geworden. Windhindernisse mit entsprechender Höhe kommen eher selten vor.



Bei der Eliminierung von lokalen Einflüssen aus meist sehr viel niedriger angesiedelten Windmessungen ist das Hindernismodell meist unerlässlich.



Es ist, besonders bei der Aufbereitung von Windmessungen, zu beachten, dass die Grenzen, innerhalb deren das Hindernismodell die Störeinflüsse ermitteln kann, nicht überschritten werden. Diese sind:

1. Hindernisse, die weniger als das vierfache ihrer Höhe vom Standort entfernt sind, dürfen höchstens 1/3 der Höhe der WEA bzw. Windmessung haben.
2. Hindernisse, die weniger als das zehnfache ihrer Höhe vom Standort entfernt sind, dürfen höchstens doppelt so hoch sein wie die WEA bzw. die Messung.

2.1.1.2.2 Rauigkeitsmodell

Dieses Modell spielt normalerweise die zentrale Rolle innerhalb der Windatlas-Methode. Es ermittelt den Einfluß der Bodenbeschaffenheit in der weiteren Standortumgebung auf die Windverhältnisse. Hier gehen, wie der Name sagt, die verschiedenen rauhen Oberflächenstrukturen wie z. B. Bebauung, Bewuchs, Wasserflächen etc. ein.

Die Klassifizierung des Geländes erfolgt hierbei entweder nach Rauigkeitslängen zwischen 0 und 1,6 oder nach Rauigkeitsklassen zwischen 0 und 4, wobei die beiden Varianten problemlos ineinander umrechenbar sind (allerdings nicht

Rauhigt. klasse	Rauhigt. länge	Relative Energie %	
0	0.0002	100	Wasser.
0.5	0.0024	73	Sehr offene Landschaft mit "glatter" Oberfläche, z.B. Beton (Flughafen), geschnittenes Gras o.ä.
1.0	0.03	52	Offnes Landwirtschaftsareal ohne querstehende Hecken und sehr vereinzelte Gebäude. Nur "weiche" Hügel.
1.5	0.055	45	Landwirtschaftsareal mit einzelnen Gebäuden und querstehende 8 m hohe Baumreihen in einem Abstand von ca. 1250 m.
2.0	0.10	39	Landwirtschaftsareal mit einzelnen Gebäuden und querstehende 8 m hohe Baumreihen in einem Abstand von ca. 500 m.
2.5	0.20	31	Landwirtschaftsareal mit vielen Gehöften, kräftiger Bewachsung oder querstehende 8 m hohe Hecken mit 250 m Abstand.
3.0	0.40	24	Dörfer, kleinere Städte, Felder mit vielen oder hohen Baumreihen. Wälder und sehr unebenes Terrain.
3.5	0.80	18	Große Städte, extrem unebenes Terrain.
4.0	1.6	13	Sehr große Städte, bergige Umgebung.

linear). Eine Wasserfläche wird beispielsweise durch die Rauigkeitsklasse 0 repräsentiert, ein Wald durch Klasse 3 und ein Stadtkern durch die höchste Rauigkeitsklasse 4.

Naturgemäß üben zunehmend hohe Rauigkeiten eine zunehmende Bremswirkung auf den Wind im unteren Bereich aus. Gleiches gilt für Rauigkeitswechsel, wobei die Auswirkungen eines Rauigkeitswechsels sich je nach Höhe erst in einigem Abstand bemerkbar machen. Gleichzeitig erhöht sich die Zunahme des Windes mit der Höhe, so dass in rauhem Gelände hohe Nabenhöhen besonders empfehlenswert sind.

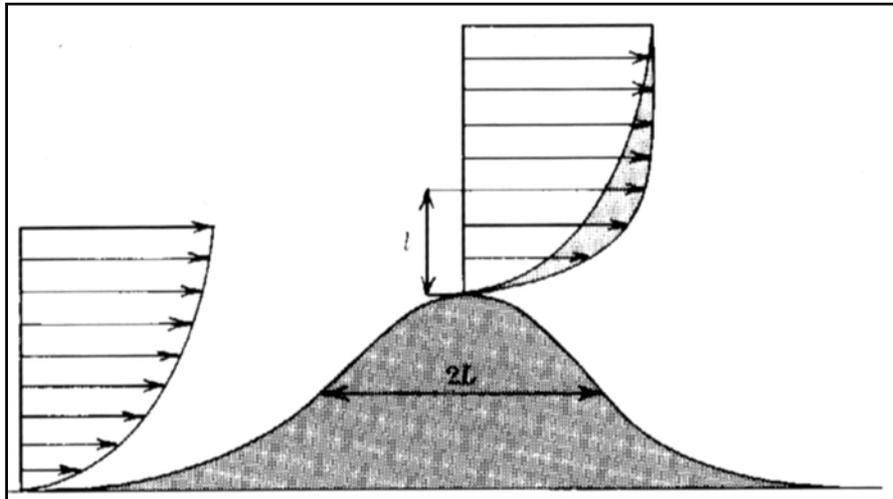
Innerhalb der Windatlas-Methode werden die durch Rauigkeiten und Rauigkeitswechsel auftretenden Einflussfaktoren ermittelt.

2.1.1.2.3 Orographie- oder Hügelmodell

Dieses Modell ermittelt den durch orographische Strukturen, also Hügel, Höhenzüge, Berge, Täler etc. bedingten Einfluß auf die Windverhältnisse. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Änderungen der Windgeschwindigkeit und des Energiegehalts des Windes einerseits und Änderungen der Windrichtung andererseits.

So kommt es beispielsweise bei einem freistehenden Hügel einerseits zu Erhöhung der Windgeschwindigkeit im Kuppenbereich (Speed-Up Effekt) und zu entsprechenden Minderungen im Fuß- und Hangbereich. Andererseits wird der Hügel umströmt, so dass es zu Änderungen der Windrichtung im Fuß- und Hangbereich gegenüber der unbeeinflussten Windrichtung kommt.

Bei Höhenzügen ist der Speed-Up Effekt bei Wind senkrecht zum Höhenzug am stärksten, Umströmungen sind in diesem Fall nicht möglich, Änderungen der Windrichtung finden somit in diesem Fall nicht statt. Wird der Höhenzug hinge-



gen schräg angeströmt, wird der Wind im Kammbereich quer zum Verlauf des Höhenzuges verdreht.

Die Windatlas Methode ist in der Lage, die genannten Effekte in gewissen Grenzen zu berechnen. Als Grundlage dienen hierbei die Höhenlinien des Geländes in digitalisierter Form.

Die Bedeutung des Orographiemodells hat in den letzten Jahren, mit der „Wanderung“ der Windenergie vom küstennahen Flachland in zunehmend komplexer gegliederte Regionen kontinuierlich zugenommen. In entsprechend strukturierter Mittelgebirgslagen kann der Orographieeinfluß den Rauigkeitseinfluß durchaus überwiegen.

Gleichzeitig stößt in solchem Gelände oft auch das Orographiemodell an seine Grenzen. Insbesondere sind die der Windatlas-Methode zugrundeliegenden Berechnungsmethoden soweit von den tatsächlichen physikalischen Verhältnissen abstrahiert, dass Strömungsablösungen und Entkopplungseffekte, wie sie bei Hangneigungen größer 1:3 auftreten, nicht modelliert werden können.

2.1.1.2.4 Anforderungen an Windatlasstationen

Um aus einer Windmessungen, die durch lokale Effekte beeinflusst ist, eine für das Windatlas Verfahren nutzbare Station zu machen, ist es notwendig, die lokalen Geländeeinflüsse weitgehend zu minimieren. Weiterhin ist bei der Auswahl einer geeigneten Stationen zu berücksichtigen, dass das Windangebot von Jahr zu Jahr stark wechseln kann. So sind Schwankungen im Energieangebot im Bereich von 30 Prozent jährlich keine Seltenheit. Da eine Aussage über das mittlere Windangebot eines längeren Zeitraum gewünscht ist, ist es unerlässlich auf Stationsdaten zurückzugreifen, die über einen entsprechend langen Zeitraum aufgenommen wurden. Es sollten Messdaten über mindestens fünf, besser zehn Jahre zu Grunde gelegt werden.

Da die Geländeeinflüsse durch die beschriebenen Modelle aus den Messdaten herausgerechnet werden müssen, ist es von vornherein wünschenswert, dass solche Einflüsse auf die Messung möglichst gering sind. Es ist zu beachten, dass die in der Beschreibung der einzelnen Modelle genannten Grenzen der Einsetzbarkeit nicht überschritten werden. Weiterhin gilt, dass sich die einzelnen Einflüsse während des Meßzeitraums nicht nennenswert geändert haben dürfen. Insbesondere dürfen innerhalb dieses Zeitraums keine Windhindernisse hinzu gekommen oder entfernt worden sein. Auch Veränderungen wie zum Beispiel das Wachstum von Bäumen oder Sträuchern in der Umgebung des Messstandortes im Verlauf der Messperiode sind äußerst problematisch.

Im Rahmen der Entwicklung des europäischen Windatlasses sind europaweit eine Vielzahl von Stationen zu Windatlasstationen aufbereitet worden. Für Deutschland wurden seiner Zeit 12 Stationen betrachtet. Der Deutsche Wetterdienst hat später weitere 107 Stationen aufbereitet.

Die Auswahl einer für den jeweiligen Standort repräsentativen Windatlasstation stellt eines der Hauptprobleme bei der Ermittlung von Windpotenzialen dar. Die Windatlasstation muß das großräumige Windklima am Standort möglichst optimal repräsentieren. Prinzipiell gilt, dass die Entfernung von der Windatlasstation zum Standort möglichst gering sein sollte. Weiterhin sollte die Windatlasstation in etwa in derselben Geländesituation befindlich sein wie der Standort. In der Praxis zeigt sich, dass Abweichungen insbesondere von der ersten Regel durchaus nicht selten sind. Oftmals sind Windatlasstationen, die durch Bebauung, starken Bewuchs etc. beeinflusst sind, schon in wenigen Kilometern Entfernung nicht mehr repräsentativ. Hingegen können Windatlasstationen in relativ unbeeinflussten, gleichförmigen Geländesituationen durchaus über eine Entfernung von 100 und mehr Kilometern das Windklima repräsentieren.

2.1.1.3 Software WAsP

Zu Umsetzung der Windatlas-Methode wurde die Software WAsP entwickelt. Dieses Software kann zum einen für die Ermittlung von Windpotenzial an möglichen Standorten für die Nutzung der Windenergie genutzt werden. Gemäß der Windatlas-Methode werden hierbei die Einflüsse durch Hindernisse und Geländerauhigkeiten sowie Orographie berechnet. Hierbei werden üblicherweise Hindernis für in einem Umkreis von etwa einem Kilometer um den Standort berücksichtigt, der Radius für das Orographiemodell beträgt etwa 10 Kilometer und der Radius für das Rauheitsmodell etwa 20 Kilometer.

Zum anderen kann WAsP auf Basis derselben Modelle verwendet werden, um Geländeeinflüsse aus bestehenden Windmessungen zu eliminieren. Auf diese Weise ist es möglich, aus einer Windmessung einen Windatlas für die entsprechende Region zu erzeugen. Das Programm ist seit seinem Erscheinen erheblich weiterentwickelt worden. Insbesondere die Fähigkeit zur Verarbeitung komplexer Orographiedaten wurde erheblich erweitert.

2.1.2 Ermittlung von Windverhältnissen mit nichtlinearen, dreidimensionalen Strömungsmodellen

2.1.2.1 Grundlagen

Die Ermittlung von Windverhältnissen (oder sonstigen Strömungsverhältnissen) mit nichtlinearen, dreidimensionalen Strömungsmodellen unterscheidet sich insbesondere in den folgenden beiden Punkten von der Ermittlung der Windverhältnisse mit WAsP:

1. Nichtlinearität

Bei den die strömungsmechanischen Verhältnisse beschreibenden mathematischen Zusammenhänge handelt es sich um komplexe nichtlineare Differenzialgleichungssysteme. Während bei WAsP diese Gleichungssysteme zu linearen Gleichungssystemen vereinfacht wurden, die analytisch lösbar sind, folgen nichtlineare Ansätze der Lösung der „originalen“, nichtlinearen Gleichungen. Auch hier werden vielfach Vereinfachungen vorgenommen, beispielsweise wird oftmals die Lösung nicht für alle Variablen des Gleichungssystems durchgeführt. Die Lösung ist im Gegensatz zu linearen Gleichungssystemen nur iterativ möglich. Vereinfacht gesagt, wird die Lösung hier also durch wiederholtes Ausprobieren ermittelt. Dieser Vorgang ist selbst rechnergestützt noch enorm zeitaufwendig.

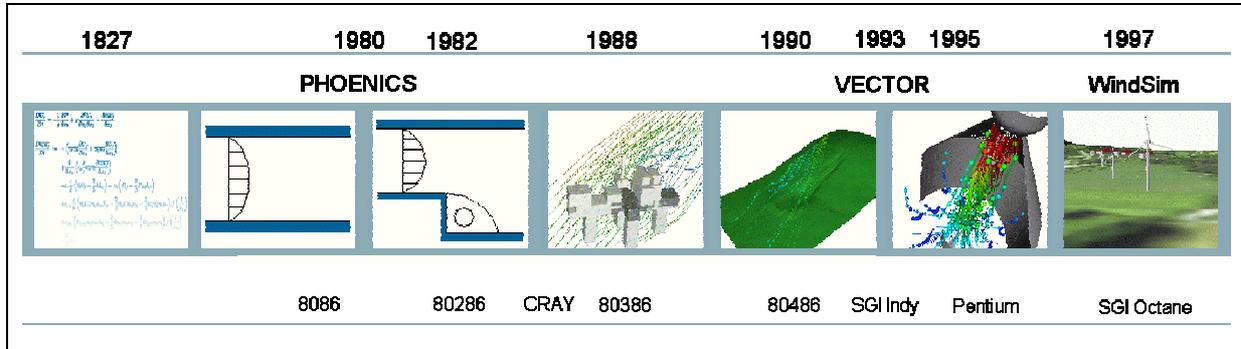
2. Dreidimensionalität

Die Auflösung der beschriebenen Gleichungssysteme erfolgt für jeden Punkt eines dreidimensionalen Modells. Hierbei ist der „Boden“ des Modells durch die Eingabe der Terrainbeschreibung vorgegeben, bei WindSim werden die Höheninformation sowie die Rauigkeit verwendet. Das für die Berechnung verwendete Modellgitter ist oftmals dergestalt regelmäßig, dass die Gitterabstände innerhalb des gesamten Modells in x- und y-Richtung gleich und die Gitterpunkte orthogonal ausgerichtet sind. Diesem Ansatz folgt beispielsweise auch WindSim weitgehend, er ist jedoch keinesfalls Voraussetzung. Prinzipiell ist jede Art von unregelmäßigen Gittern denkbar und oft auch vorteilhaft, so ist es wünschenswert, die Modelle im besonders interessierenden Bereich mit verfeinerten Gittern zu rechnen. Unregelmäßige Gitterstrukturen werfen andererseits vielfach Probleme bei der Auflösung der beschriebenen Gleichungssysteme auf. Daher werden zur beschriebenen Verfeinerung der Modelle oftmals andere Verfahren wie zum Beispiel das Einsetzen feiner Modell in größere (sog. Nesting) verwendet.

WindSim ist eine Software, die die Ermittlung der Windverhältnisse auf CFD (Computational Fluid Dynamics) durchführt. Hierbei erfolgt eine Auflösung der Reynolds Navier-Stokes Gleichungen für die Variablen Druck, Geschwindigkeit in x,y,z Richtung, Turbulente kinetische Energie und Turbulenter Energieverlust. Es ist möglich, weitere Variablen wie z.B. Temperatur einzuschließen.

Die Navier-Stokes Gleichungen sind bereits seit 1827 bekannt, eine Auflösung zur Ermittlung realer Strömungsverhältnisse ist jedoch erst in der Zeit der elektronischen Datenverarbeitung möglich geworden. So konnte selbst der Durchfluss durch ein Rohr ohne Unregelmäßigkeiten in der Geometrie erst Ende der

70er Jahre mit den damals verfügbaren Computern berechnet werden. Weitere Entwicklungsschritte gibt die folgende Abbildung wieder.

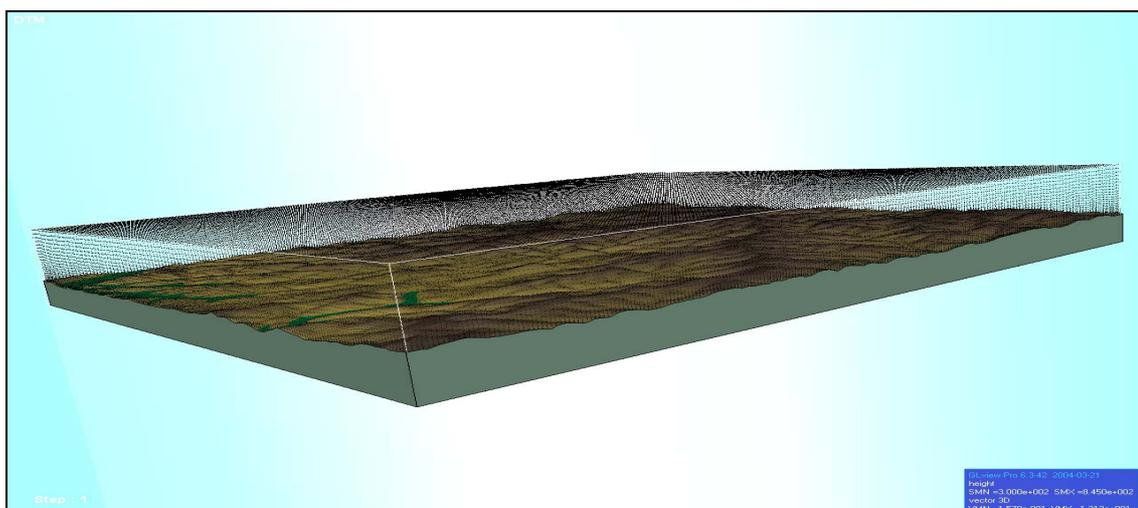


Zeitliche Entwicklung CFD

2.1.2.2 Die Software WindSim

Die in WindSim zum Einsatz kommenden Gittermodelle sind in x- und y-Dimension orthogonale Gitter. In z-Richtung ist es möglich, die Gitterauflösung von unten nach oben sukzessive anhand eines Parameters einer arithmetischen Folge zu steuern, so daß sich nahe der Oberfläche ein feineres Gitter in z-Richtung ergibt.

Sodann erfolgen Modellrechnungen für die gewünschten Himmelsrichtungen, i.d.R. für 12 Windrichtungssektoren. Hierbei wird zur Initialisierung des iterativen Lösungsprozesses an den Modellrändern von einem logarithmischen Windprofil ausgegangen. Das Modell wird mit einer vorgegebenen Windgeschwindigkeit in einer vorgegebenen Höhe über Grund angetrieben, standardmäßig werden 10 m/s in 500m Höhe vorgeschlagen. Nach erfolgter Berechnung für jeden Gitterpunkt kann das Modell beispielsweise gegen tatsächliche, gemessene Windverhältnisse innerhalb der Modellregion normalisiert werden, es ergeben sich für alle Gitterpunkte die tatsächlich vorliegenden Windverhältnisse.



Beispiel für ein WindSim Modell

Zur Modellverfeinerung ist es möglich, Modelle mit geringerer Ausdehnung und größerer Gitterdichte mit den zuvor durch größere Modelle ermittelten Randbedingungen anzutreiben.

2.1.3 Software WindPRO

Die Software WindPRO der dänischen Firma EMD gilt heute als Standard im Bereich Planung und Begutachtung von Windenergieprojekten. WindPRO wurde als übergreifendes Instrument für verschiedene Planungsanforderungen entwickelt. Aufbauend auf einer Basisplanung können verschiedene Planungsfragen wie Prüfungen im Immissionsbereich, z.B. Schall und Schattenwurf von Windenergieanlagen, im Bereich Windpotenzialermittlungen und Ertragsprognosen, im Bereich Potenzialanalysen, Erstellung von Windkarten etc. beantwortet werden.

WindPRO übergibt für Ertragsprognosen die erfassten Eingangsdaten an WAsP, mit dem dann die eigentliche Modellrechnung durchgeführt wird.

WindPRO wurde in dem vorliegenden Prüfbericht zur Erfassung aller relevanten Eingabedaten genutzt. Dies umfasste:

- Aufnahme der WEA-Standorte
- Modellierung der Geländerauhigkeiten
- Modellierung der Orographie
- Modellierung der Windhindernisse
- Erstellung der Geländemodelle für WindSim
- Berechnung der Parkerträge auf Basis der von WAsP bzw. WindSim übergebenen Windverteilungsparameter

3 Testfälle

3.1 Einführung

Das Hochsauerland umfasst den höchsten Teil des Rheinischen Schiefergebirges. Es handelt sich um eine vielfach gegliederte Mittelgebirgslandschaft, die durch kammartige, meist von Südwest nach Nordost streichende Höhenzüge mit Höhenlagen vielfach über 700m.ü.NN, teilweise über 800m.ü.NN gekennzeichnet ist. Das Zentrum der Sauerländer Berge wird durch das Astenmassiv gebildet, hier werden im Kahlen Asten 841m.ü.NN erreicht. Vom Astenmassiv gehen die Sauerländer Höhenzüge sternförmig aus, es sind insbesondere zu nennen:

Das Rothaargebirge in Richtung Südwest, das die südliche Haupthöhenschwelle des Sauerlandes bildet, die Wasserscheide zwischen Rhein und Weser markiert und dessen Ausläufer sich bis zum Hohen Westerwald fortsetzen.

Die nach Nordwesten verlaufende Hunau, zwar deutlich kürzer aber mit über 800m.ü.NN auch deutlich höher als das Rothaargebirge. Sie ist nach Westen an die Ebbe-Homert Höhengschwelle, die zweite, nördliche Höhengschwelle des Sauerlandes angeschlossen.

Nördlich des Kahlen Asten findet sich die Winterberger Hochfläche, daran anschließend das Willinger Upland. Das Willinger Upland bildet die höchsten Erhebungen des Sauerlandes, es werden vielfach mehr als 800m Seehöhe erreicht, der Langenberg und der Hegekopf überragen beide den Kahlen Asten mit 843m.ü.NN noch um 2m.

Hauptwasserläufe sind die nur wenige km voneinander entfernt entspringende Ruhr sowie die Lenne. Die Lenne entspringt auf der Kuppe des Kahlen Asten fließt zunächst nach Westen zwischen Rothaarkamm und Hunau, später nach Nordwesten und durchstößt südlich von Plettenberg die Ebbe-Homert Höhengschwelle zwischen den Erhebungen Heiligenstuhl im Westen (Ebbegebirge) und Schomberg im Osten (Homertgebirge). Bereits im Bereich der Stadt Schmallenberg, nur wenig westlich des Kahlen Asten, unterschreitet die Talsohle die 400m Höhenmarke.

Die Ruhr entspringt in der Winterberger Hochfläche und fließt zunächst nach Norden, dann nach Westen und bildet die Erosionsbasis für eine Vielzahl von Bächen und Flösschen, die von der Hochfläche und von der Hunau ausgehend nach Norden fließen. Zwischen diesen Sekundärwasserläufen befinden sich von der Hunau auslaufende, ebenfalls von Süd nach Nord gerichtete Höhenzüge, die teilweise noch deutlich über 700m.ü.NN erreichen.

Nahe der Großstadt Hagen, am Ausgang des Sauerlandes, treffen sich die beiden gleichlangen Flüsse wieder und fließen unter Beibehaltung der Bezeichnung „Ruhr“ am Südrand des Industriegebiets, dem sie ihren Namen gegeben haben, entlang bis zu ihrer Mündung in den Rhein bei Duisburg/Ruhrort.

Die Region Hochsauerland ist gekennzeichnet durch die ausgeprägte Westwinddrift der gemäßigten Breiten mit vorherrschenden Winden aus westlichen und südwestlichen Richtungen. Die häufigsten Wetterlagen sind demnach Tiefdruckgebiete, die nördlich des Standortes durchziehen, typische Zugrichtungen

sind hierbei vom Atlantik über den Ärmelkanal kommend in Richtung Baltikum oder von Island über Skandinavien ebenfalls ins Baltikum. Auch relativ ortsfeste Tiefdruckgebiete über Nord- und Ostsee sowie Skandinavien tragen zu den vorherrschenden Westwinden bei. Anteile aus östlichen und nordöstlichen Richtungen tragen ebenfalls zum Gesamtenergieangebot des Windes bei. Sie sind bedingt durch kontinental geprägte Wetterlagen, die die vorherrschende Westwinddrift für einige Zeit unterbrechen. Meist geschieht dies durch stabile Hochdruckgebiete über Skandinavien oder Ost- bzw. Nordosteuropa. Besonders im Winter kann dies zu durchaus nennenswerten Windgeschwindigkeiten und entsprechenden Energieerträgen führen.

Das Grundwindpotenzial in der Region ist in den Kuppenlagen hoch und dominiert hier auch die großräumig hohen Rauigkeiten, die sich ansonsten negativ auswirken. Es nimmt in mittleren und niedrigeren Höhenlagen deutlich ab, hier werden nur durchschnittliche bis unterdurchschnittliche Windverhältnisse vorgefunden.

Entsprechend der geschilderten komplexen Situation gestaltet sich die Ermittlung der Windverhältnisse in dieser Region generell schwierig. Das vielfach für Windberechnungen verwendete Rechenmodell WASP stößt hier an seine Grenzen. Durch langjährige Erfahrung in der Region sind eine Vielzahl von Fällen bekannt, in denen die Wiedergabe vorgefundener Windverhältnisse durch WASP nur schwierig oder gar nicht mehr möglich war. Derartige Fälle wurden zum Test des Rechenmodells WindSim ausgewählt.

3.2 Berlar

Für den Standort Berlar wurde von AL-PRO bereits im Herbst 2002 eine Ermittlung der Windverhältnisse vorgenommen und eine Ertragsprognose erstellt (Bericht Nr. WG-220702-066-CA). Die Geländebeschreibung ist diesem Bericht entnommen.

Ergänzend wurde eine Auswertung der Windmessung am Standort Berlar durchgeführt (Bericht Nr.: WM-050503-170-CA). Die Ergebnisse der WindSim Berechnungen werden im Folgenden mit den Messergebnissen verifiziert.

3.2.1 Landschaftliche Lage und Geländesituation

Der Standort wurde am 01.06.2002 nachmittags bei guten Sichtverhältnissen besucht und in Augenschein genommen. Der Windpark Bestwig befindet sich ca. 1 km nordwestlich der Ortschaft Berlar auf einer von Wäldern umgebenen landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Der Standort ist in der gesamten Umgebung von einer Vielzahl von ausgedehnten, für das Sauerland typischen Waldgebieten, vorwiegend Fichtenwald umgeben. Diese werden von einzelnen, landwirtschaftlich genutzten Arealen, meist Weideland, sowie dörflichen Siedlungen unterbrochen.

3.2.1.1 Rauigkeiten

Die vorgefundene und geschilderten Geländesituation findet sich in der vorgenommenen Klassifizierung der Rauigkeiten. In allen Sektoren finden sich hohe Rauigkeitswerte, die durch die ausgedehnten Waldgebiete hervorgerufen wer-

den. Rauigkeitswechsel sind selten, die Umgebung weist im gesamten Umfeld im wesentlichen den gleichen Landschaftscharakter auf.

3.2.1.2 Orographie

Das Gelände ist orographisch sehr komplex, die begutachteten Standorte liegen in einer Höhenlage um 520m.ü.NN. Sie befinden sich im Bereich der Nordabdachung des Hochsauerlandes, dass nur wenige km nördlich durch das von Ost nach West verlaufende Tal der Ruhr mit einer Erosionsbasis von unter 300m.ü.NN begrenzt wird. Entsprechend verlaufen die sekundären Wasserläufe in diesem Bereich von Süd nach Nord in tief eingeschnittenen Tälern. Die dazwischenliegenden Höhenzüge erreichen im Nordteil Höhenlagen um 500 bis 600m.ü.NN, nach Süden werden Geländehöhen bis 800m.ü.NN erreicht. In 10-15 km Entfernung südlich und östlich finden sich die höchsten Erhebungen des Sauerlandes und damit Nordrhein-Westfalens (Langenberg 843m.ü.NN, Kahler Asten 841m.ü.NN, Hunau 818m.ü.NN).

3.2.1.3 Hindernisse

Im Standortbereich befinden sich eine Vielzahl meist ausgedehnter Windhindernisse in Form von Wäldern sowie den Siedlungen Berlar und Blüggelscheid. Es wurden insgesamt 10 Windhindernisse aufgenommen und in der Berechnung berücksichtigt.

3.2.2 Beschreibung der Windmessung

Der Messmast ist im windbegünstigsten Teil der Windparkfläche platziert worden, die Standortkoordinaten der Messung betragen:

³⁴56.495 Ost ⁵⁶87.422 Nord (Gauss-Krüger, Bessel, Zone 3)

Der Standort ist in den zu erwartenden Hauptwindrichtungen Südwest-West sowie Ost über mehrere 100m hinweg hindernisfrei und orographisch begünstigt. In den Sektoren von Nordwest bis Nord befindet sich in einer Entfernung von ca. 120m ein Waldgebiet mit Baumhöhen von ca. 20m. Dieses Hindernis befindet sich in hinreichendem Abstand zum Messmast, um die resultierenden Einflüsse mit WAsP korrekt modellieren zu können. Zudem sind die betroffenen Windrichtungen erwartungsgemäß für das Windklima am Standort nahezu bedeutungslos.

Insgesamt ist der Standort der Messung als gut geeignet zu bezeichnen.

3.2.2.1 Meßaufbau, Meßzeitraum und Verfügbarkeit

Es wurde die Windstärke in 20m und 30m Höhe sowie die Windrichtung in 30m Höhe gemessen. Über den Messaufbau, das Messequipment sowie die Kalibrierung der Geräte liegen keine Informationen vor. Es muß daher im folgenden davon ausgegangen werden, daß die Messung ordnungsgemäß durchgeführt wurde. Die Qualität der vorliegenden Daten lässt diesen Rückschluß zu.

Es liegen Messdaten für den Zeitraum 01.12.1997 bis 31.01.1999 vor. Um eine Überbewertung der Starkwindperiode zu verhindern, wurde der Dezember 1997 sowie der Januar 1999 in der Auswertung nicht berücksichtigt. Die betrachteten Messdaten umfassen somit das komplette Jahr 1998. Die Messung war in die-

sem Zeitraum zu 100% verfügbar, es sind lediglich 3 (!) Messwerte ausgefallen, vermutlich wurde hier der Datenlogger ausgelesen.

Am 29.01. hat kurzzeitig die Windfahne festgesessen, vermutlich durch Vereisung. In diesem Zeitraum herrschten Windgeschwindigkeiten von maximal 3-4 m/s, eine wesentliche Beeinträchtigung der Datenqualität ist hier nicht zu befürchten.

Die Daten für den kompletten Mai 1998 wurden offensichtlich aus rudimentären Messdaten rekonstruiert. Informationen über die Art des Ausfalls und die Vorgehensweise der Rekonstruktion liegen nicht vor. Vermutlich wurden die jeweils verfügbaren Messpunkte auf den Fehlzeitraum übertragen. Ein Ausfall oder Teilausfall der Messung über einen Zeitraum eines kompletten Monats stellt in jedem Fall eine Beeinträchtigung der Messqualität dar. Da es sich im vorliegenden Fall jedoch mit dem Monat Mai um einen ausgesprochenen Schwachwindmonat handelt und die Daten zumindest rekonstruiert wurden, dürfte der Ausfall die wesentlichen Aussagen der Auswertung nicht verändern.

3.2.2.2 Grundsätzliche Plausibilität der Messung

Die Messdaten sind grundsätzlich plausibel und geben das erwartete Windklima der Region wieder. Die Messung weist ein ausgeprägtes Maximum in den Windrichtungen Westsüdwest und Südsüdwest auf, beide Sektoren sind mit Häufigkeiten um 28% nahezu gleich stark. Der Westsektor mit über 9% und der Südsektor mit ca. 7% sind ebenfalls recht stark vertreten, wenngleich deutlich geringer als die Hauptwindrichtungssektoren. Alle anderen Sektoren sind von der Häufigkeit vernachlässigbar.

Die gemessenen Höhenwindexponenten geben Geländerauhigkeiten zwischen Klasse 2 und Klasse 3 wieder, dies entspricht der Geländesituation. Höhere Exponenten finden sich in den Nordwestsektoren, dies ist auf das erwähnte Waldgebiet in diesen Sektoren zurückzuführen.

Die gemessene mittlere Windgeschwindigkeit betrug 5,4 m/s in 30m Höhe und 5,1 m/s in 20m Höhe. Dies entspricht guten Binnenlandwerten.

3.2.3 Beschreibung des Tests

Der Standort Berlar war der erste mit dem Berechnungsmodell WindSim durchgeführte Tests. Anhand dieses Testfalls wurden Methoden zum Einsatz von WindSim durch AI-PRO entwickelt, gleichzeitig wurde die Software selbst im Verlauf des Tests, vielfach aufgrund von Verbesserungsvorschlägen und Ergebnissen dieses Testfalls, weiterentwickelt.

Nicht alle seit Testbeginn eingeführten Neuerungen konnten in diesem Testfall berücksichtigt und genutzt werden, dies betrifft insbesondere die mittlerweile vorhandene Möglichkeit, mit wesentlich größeren Modellen zu rechnen. Hier wäre eine nochmalige Verbesserung der an sich bereits sehr überzeugenden Testresultate zu erwarten.

3.2.3.1 Besonderheiten und Probleme am Standort

Die Windmessergebnisse in Berlar zeigen eine ausgeprägte Hauptwindrichtung in den Sektoren Südsüdwest und Westsüdwest, mit leichtem Übergewicht im

Südsüdwestsektor. Verglichen mit der am Kahlen Asten gemessenen Richtungsverteilung ist eine deutliche Linksdrehung der dort vorhandenen Hauptwindrichtung Westsüdwest sowie – nachrangig – West zu beobachten.

Dieses Phänomen kann mit WAsP unter Verwendung des Windatlas Kahler Asten nicht reproduziert werden, zudem unterschätzt WAsP das gemessene Windangebot deutlich

3.2.3.2 Vorgehensweise

Es wurde zunächst ein Gesamtmodell „Hochsauerland“ erstellt. Dieses Modell umfasst die gesamte Modellregion in einer Gittergröße von 400m, einer Höhe von 2.500m über dem höchsten Geländepunkt sowie einer Gitterauflösung von 20 Punkten in z-Richtung. Die Ausdehnung des Modells beträgt 60x50 km, es handelt sich somit bei weitem um das größte bislang mit WindSim berechnete Gelände.

Von diesem Gesamtmodell ausgehend wurden im Verlauf des Tests verschiedene Verfeinerungsschritte vorgenommen und auf ihre Eignung überprüft.

Als bestgeeignete Vorgehensweise erwies sich schließlich die Erstellung eines ersten Verfeinerungsschritts, bei dem das Modell noch beide Standorte umfasst. Dies war unter Berücksichtigung der zum Testzeitpunkt bestehenden Berechnungslimits von WindSim mit einem Abstand von mindestens 13,5 km in jeder Himmelsrichtung sowohl vom Standort der Messung Berlar als auch von der Messung Kahler Asten möglich. Das Modell umfasst 25 Punkte in z-Richtung bei einer Höhe von 2.500m über dem höchsten Geländepunkt.

In dieses Modell wurden in einem zweiten Verfeinerungsschritt zur Eliminierung von Microeffekten quadratische Modelle mit einer Kantenlänge von 3 km und einer Gitterauflösung von 25m an den Standorten Berlar und Kahler Asten eingesetzt.

Die Verwendung der zweiten Verfeinerung am Kahlen Asten erwies sich als ungeeignet und wurde in der weiteren Vorgehensweise wieder verworfen.

Es ergeben sich die folgenden Modellgrenzen und Standorte:

Standorte der Messungen		
	Rechts	Hoch
Berlar	3.456.495	5.687.422
Kahler Asten	3.464.320	5.671.710

Modell Hochsauerland			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.419.600	3.479.600	60
Hoch	5.650.300	5.700.300	50

Modell WindSim Kahler Asten und Berlar Verfeinerung 1			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.450.445	3.471.245	20,8
Hoch	5.664.710	5.694.310	29,6

Modell WindSim Berlar Verfeinerung 2			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.454.995	3.457.995	3,0
Hoch	5.685.922	5.688.922	3,0

Alle Koordinaten Gauss-Krüger (Bessel) Zone 3

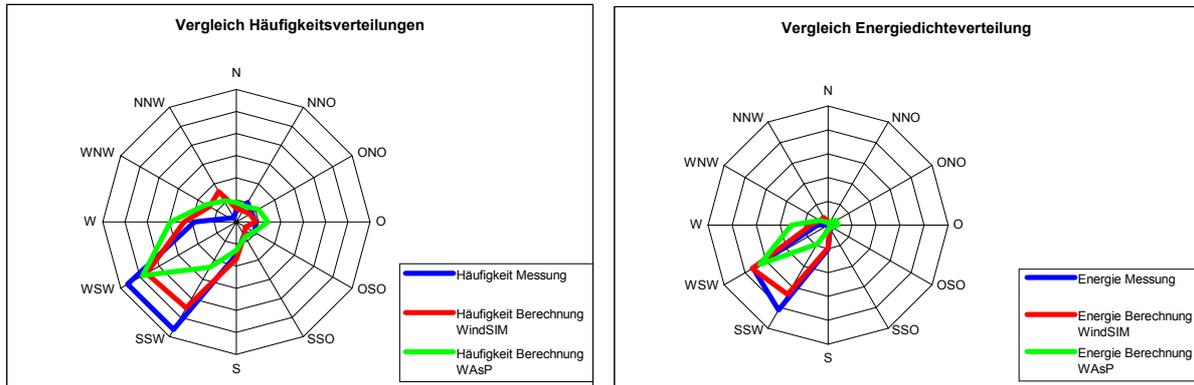
Die Windmessergebnisse am Kahlen Asten wurden zunächst in dem verfeinerten Modell „Kahler Asten und Berlar“ auf den Standort Berlar in eine Höhe von 50m über Grund umgerechnet. Von den ermittelten 50m Winddaten in Berlar wurde unter Verwendung des Modells „Berlar Verfeinerung 2“ auf die Messhöhen von 30m und 20m umgerechnet.

Die ermittelten Windverhältnisse wurden als Windmessung in Objekte vom Typ „Measure“ der Software WindPRO tabellarisch übertragen. In diesen Objekten wurde, ebenso wie für die Messergebnisse, eine Umrechnung in die sektoriellen Weibullverteilungen und Häufigkeiten vorgenommen, die erzielten Ergebnisse wurden verglichen.

3.2.3.3 Ergebnisse

Es wurden die folgenden Windverhältnisse ermittelt:

Windrichtung	Häufigkeit Messung	Häufigkeit Berechnung WindSIM	Häufigkeit Berechnung WAsP	Energie Messung	Energie Berechnung WindSIM	Energie Berechnung WAsP
N	2,6%	3,1%	4,4%	0,7 W/m ²	3,0 W/m ²	2,1 W/m ²
NNO	5,1%	2,9%	4,0%	3,0 W/m ²	1,7 W/m ²	2,9 W/m ²
ONO	4,1%	3,5%	5,7%	2,9 W/m ²	1,9 W/m ²	7,7 W/m ²
O	4,3%	4,3%	7,1%	1,4 W/m ²	2,2 W/m ²	8,0 W/m ²
OSO	4,8%	2,3%	4,6%	4,4 W/m ²	1,1 W/m ²	3,8 W/m ²
SSO	3,4%	3,5%	3,9%	3,3 W/m ²	1,9 W/m ²	2,2 W/m ²
S	7,4%	8,4%	6,4%	20,1 W/m ²	18,9 W/m ²	4,3 W/m ²
SSW	28,1%	22,4%	11,8%	82,4 W/m ²	67,2 W/m ²	18,2 W/m ²
WSW	28,1%	23,2%	24,2%	72,1 W/m ²	73,0 W/m ²	65,7 W/m ²
W	9,3%	11,7%	14,8%	8,8 W/m ²	14,1 W/m ²	30,5 W/m ²
WNW	1,8%	6,9%	7,8%	0,3 W/m ²	7,9 W/m ²	8,0 W/m ²
NNW	1,1%	7,9%	5,5%	0,1 W/m ²	7,4 W/m ²	2,8 W/m ²



Grafische Darstellung der sektoriellen Häufigkeits- und Energiedichtevertellung

Es zeigt sich deutlich, dass die WindSim Berechnung die am Standort Berlar auftretenden und gemessenen Effekte hervorragend wiedergibt. Deutlich ist die Rückdrehung der Hauptwindrichtung nach Süden zu beobachten. Diese fällt in der Realität zwar noch etwas stärker aus, als von der Berechnung wiedergegeben, der Unterschied zu den WAsP Ergebnissen, in denen dieser Effekt nicht wiedergegeben werden kann, ist aber augenfällig.

Auch ein quantitativer Vergleich fällt überzeugend aus:

Vergleich Energiegehalt 30m		
Messung	199,5 W/m ²	100%
WAsP	156,2 W/m ²	78%
WindSim	200,3 W/m ²	100%

Während der Energiegehalt des Windes durch WAsP deutlich unterschätzt wird, ergibt sich eine hervorragende Übereinstimmung zwischen der WindSim Berechnung und den Messergebnissen.

Die beschriebenen positiven Ergebnisse dieses ersten Test lassen erwarten, dass WindSim generell in der Lage ist, die Windverhältnisse in der Region gut zu modellieren und waren Grundlage für die Entscheidung zur Fortsetzung der Tests mit weiteren Testfällen.

3.3 Stöppel

Die beiden Windenergieanlagen ENERCON E-40 6.44, 78m Nabe sowie ENERCON E-66 18.70 114m Nabe am Standort Stöppel (Lennestadt) wurden von AL-PRO bereits verschiedentlich zum Abgleich von Windberechnungen in der Umgebung herangezogen, unter anderem in dem für den Auftraggeber erstellten Bericht Nr. WG-210803-199-CA. Am Standort tritt eine erhebliche Zunahme des Windangebots von 78m auf 114m Höhe auf, die mit WAsP nicht reproduzierbar ist.

3.3.1 Landschaftliche Lage und Geländesituation

Die Windenergieanlagen Stöppel befinden sich ca. 1 km nördlich des Siedlungssplitters Stöppel auf einer dem Lennegebirge zugehörigen, bewaldeten Kuppe, die 614m.ü.NN erreicht.

Der Standort ist in der gesamten Umgebung von einer Vielzahl von, für das Sauerland typischen, Waldgebieten umgeben,.

3.3.1.1 Rauigkeiten

Die vorgefundene und geschilderten Geländesituation findet sich in der vorgenommenen Klassifizierung der Rauigkeiten. In allen Sektoren finden sich hohe Rauigkeitswerte, die durch die ausgedehnten Waldgebiete hervorgerufen werden. Rauigkeitswechsel sind selten, die Umgebung weist im gesamten Umfeld im wesentlichen den gleichen Landschaftscharakter auf.

3.3.1.2 Orographie

Das Gelände ist orographisch sehr komplex, der begutachtete Standort liegt in einer Höhenlage um 600m.ü.NN. Sie sind den Lennebergen, einem von den übrigen Sauerländer Höhenzügen isolierte Block mit Höhen knapp unter 700m.ü.NN zuzurechnen. Sie sind dem Kernbereich des eigentlichen Hochsauerlandes westlich vorgelagert.

Wenig südlich verläuft das Lennetal von Ost nach West, das in diesem Bereich bereits die 300m.ü.NN unterschreitet, dann schließen sich nach Süden die Ausläufer des Rothaargebirges (Steinernes Kreuz) und schließlich der Rothaarkamm selbst an. Der Kahle Asten befindet sich etwa 25 km entfernt in östlicher Richtung, genau so weit nach Westen entfernt liegt die Nordhelle, mit 663m.ü.NN die höchste Erhebung des Ebbegebirges und des westlichen Sauerlandes.

3.3.1.3 Hindernisse

Wie geschildert, befinden sich die Standorte innerhalb eines ausgedehnten Fichtenwaldes. Dieser wurde für die WASP Berechnung mit Hindernissen nachgebildet.

3.3.2 Beschreibung des Tests

3.3.2.1 Besonderheiten und Probleme am Standort

Wie bereits erwähnt ist in Stöppel kennlinienbereinigt ein überproportional hoher Mehrertrag der 114m hohen Anlage zu beobachten. Zwar ist in Landschaften mit hohen Bodenrauigkeiten mit einer deutlichen Windzunahme mit der Höhe zu rechnen, andererseits müssten am Standort deutliche, sich mit der Höhe vermindern Speed-Up Effekte auftreten die zu einer geringeren Windscherung in größeren Höhen führen würden.

3.3.2.2 Vorgehensweise

Das im Zuge des Berlar-Tests erstellte Gesamtmodell Hochsauerland wurde aufgrund der mittlerweile verfügbaren Erweiterung von WindSim, die umfangreichere Modelle zulässt, auf eine Gittergröße von 250m und auf 22 Gitterpunkte in z-Richtung erweitert und berechnet.

Das Modell wurde im Umfeld des Standortes Stöpel mit einem Modell der Kantenlänge 20x20 km und einer Gitterweite von 100m verfeinert

Am Standort Kahler Asten wurden in das Gesamtmodell zur Eliminierung von Microeffekten ein ebenfalls quadratische Modelle mit einer Kantenlänge von 3 km und einer Gitterauflösung von 25m eingesetzt.

Es ergeben sich die folgenden Modellgrenzen und Standorte:

Standorte der WEA		
	Rechts	Hoch
WEA 1, E-40	3.439.005	5.667.312
WEA 2, E-66	3.438.835	5.667.326

Modell Hochsauerland			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.419.600	3.479.600	60
Hoch	5.650.300	5.700.300	50

Modell WindSim Stöppel Verfeinerung 1			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.428.523	3.448.523	20
Hoch	5.657.322	5.677.523	20

Modell WindSim Kahler Asten Micro			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.462.820	3.465.820	3,0
Hoch	5.670.210	5.673.210	3,0

Alle Koordinaten Gauss-Krüger (Bessel) Zone 3

Die Windmessergebnisse am Kahlen Asten wurden, zunächst in dem verfeinerten Modell „Kahler Asten“ auf eine Höhe von 50m über Grund umgerechnet. Anschließend erfolgte zum einen eine Umrechnung der Windverhältnisse des 50m Niveaus am Kahlen Asten auf das 150m Niveau des Standortes Stöppel unter Verwendung des Modells „Hochsauerland“. Von den ermittelten 150m Winddaten in Stöppel wurde unter Verwendung des Modells „Stöppel Verfeinerung 1“ auf die genauen Anlagenstandorte und Nabenhöhen umgerechnet. Zum anderen wurden als Vergleich die Windverhältnisse des 50m Niveaus am Kahlen Asten direkt auf die genauen Anlagenstandorte und Nabenhöhen nur unter Verwendung des Modells „Hochsauerland“ umgerechnet. Da es sich um sehr große Höhen handelt, ist möglicherweise die Verwendung eines größeren Modells, das mehr mesoskalige Effekte einbezieht, vorteilhafter als die Verwendung eines begrenzten Modells mit feinerem Gitter. Die Gitterauflösung dürfte in den betrachteten Höhen nicht mehr derart entscheidend sein.

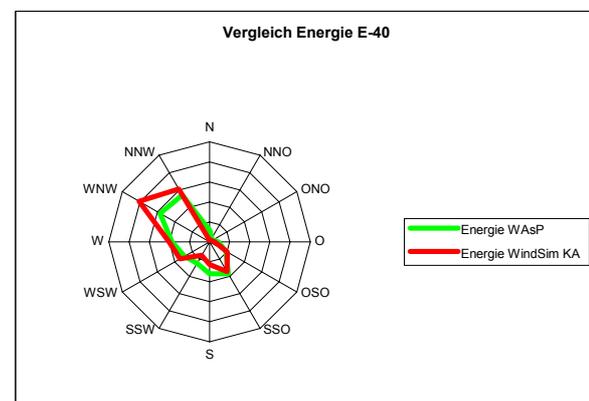
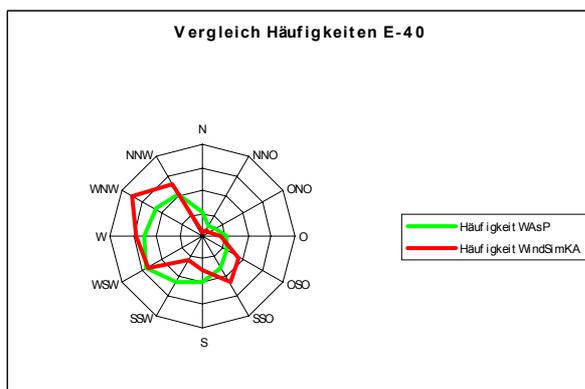
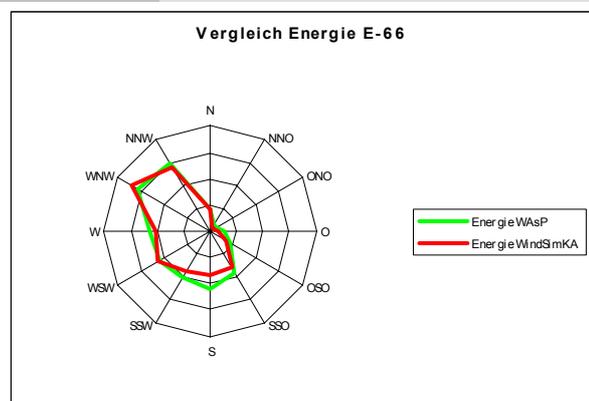
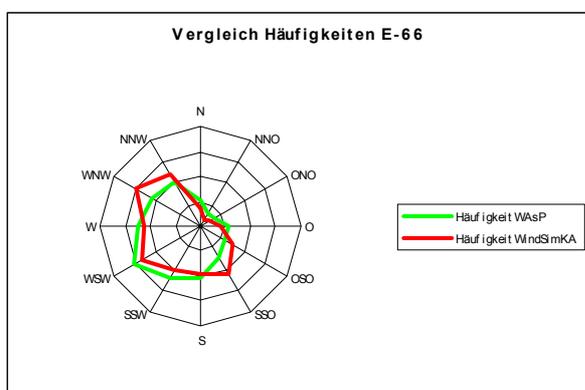
Wie bereits geschildert, befindet sich der Standort Stöppel innerhalb eines ausgedehnten Waldes. Da WindSim in der vorliegenden Version noch nicht in der Lage ist, lokale Windhindernisse wie beispielsweise Wälder in der Berechnung zu berücksichtigen, wurde der besonderen Situation dadurch Rechnung getragen, dass die Berechnungen für um 20m verminderte Nabenhöhen vorgenommen wurden, was die Positionierung innerhalb eines gleichförmigen, geschlossenen Fichtenwaldes gut wiedergibt. Die Berechnung des Waldes mit WAsP erfolgte, wie stets in solchen Situationen, unter Verwendung des Hindernismodells von WAsP.

Die ermittelten Windverhältnisse wurden als Windmessung in Objekte vom Typ „Measure“ der Software WindPRO tabellarisch übertragen. Mit diesen Objekten wurden Ertragsberechnungen mit dem Modul „Park“ zur Ermittlung der Energieerträge sowie Measure zur Darstellung der Windverhältnisse durchgeführt.

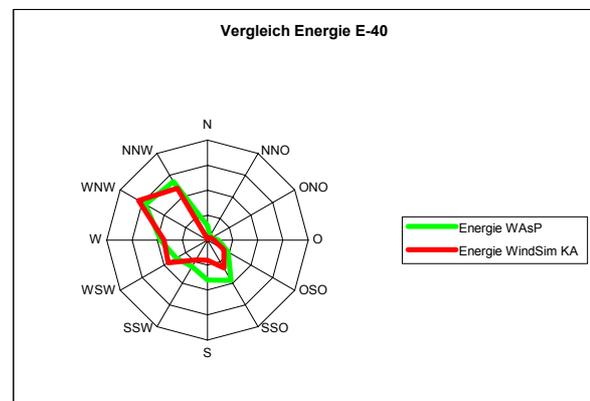
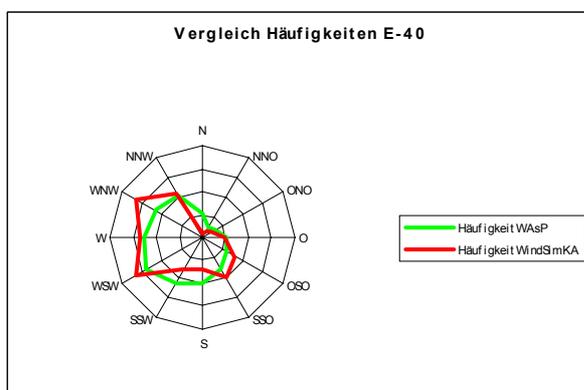
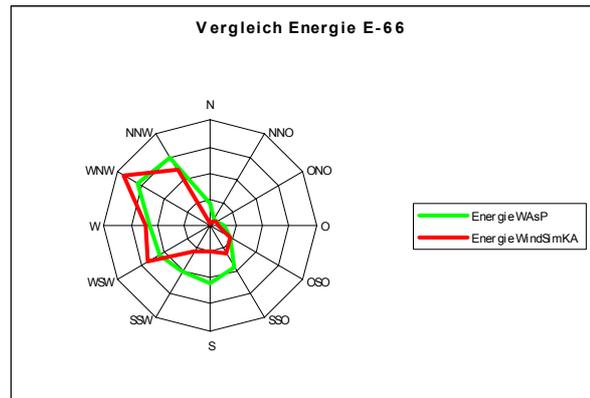
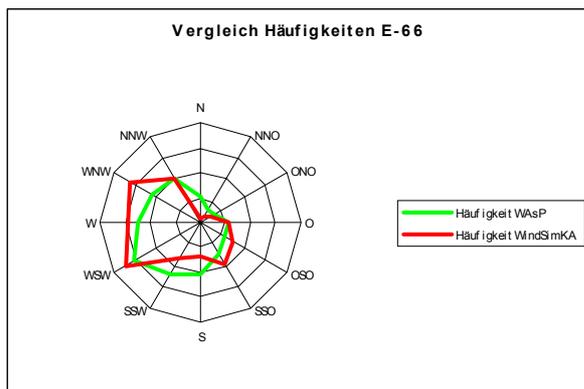
3.3.2.3 Ergebnisse

Da die Ertragsdaten am Standort Stöppel nicht publiziert werden dürfen, werden nur die prozentualen Abweichungen der Resultate von den tatsächlichen Ergebnissen dargestellt. Es wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

	Abweichung WAsP	Abweichung WindSim, Stöppel innen verwendet	Modellabweichung WindSim, Stöppel innen nicht verwendet	Modell
E-66	1,8%		-1,0%	-3,9%



Grafische Darstellung der sektoriellen Häufigkeits- und Energiedichteverteilung, Modell innen verwendet



Grafische Darstellung der sektoriellen Häufigkeits- und Energiedichteverteilung, Modell innen nicht verwendet

Die ermittelten Ergebnisse sind in allen Fällen unbefriedigend. Die Verwendung des WAsP Modells mit den Winddaten Kahler Asten führt – bekanntermaßen – zu einer erheblichen Überschätzung des Windangebots im bislang üblichen Nabenhöhenbereich. So wird der Jahresertrag der E-40 um mehr als 30% überschätzt. Das durch die überdurchschnittliche Windzunahme mit der Höhe am Standort die tatsächlichen Erträge der E-66 sehr genau wiedergegeben werden, ist dem Zufall und nicht dem Modell zuzuschreiben.

Die WindSim Ergebnisse sind hier ähnlich unbefriedigend, dies gilt für beide betrachtete Varianten. Zwar arbeitet WindSim ohne die Verwendung des inneren Modells die Zunahme des Windangebots etwas besser heraus, auch das Niveau der Berechnung liegt insgesamt besser. Dennoch werden die Erträge der E-40 in unbefriedigendem überschätzt, wenngleich nicht so stark wie durch WAsP, die E-66 Ergebnisse werden ähnlich gut wiedergegeben.

Auffällig ist die in diesem Fall ähnliche Windrichtungsverteilung, die die beiden Modelle ermitteln, die Hauptwindrichtung ist in allen Modellergebnissen deutlich in die Sektoren Westnordwest und Nordnordwest verschoben. Die Übereinstimmung ist für den E-40 Standort besonders augenfällig.

Eine Bewertung ist nicht möglich, da die tatsächlichen Windrosen für die WEA-Standorte nicht bekannt sind.

3.4 Schmallerberg

Für den Standort Schmallerberg wurde von AL-PRO bereits im Herbst 2002 eine Ermittlung der Windverhältnisse vorgenommen und eine Ertragsprognose erstellt (Bericht Nr. WG-020902-083-CA). Die Geländebeschreibung ist diesem Bericht entnommen.

3.4.1 Landschaftliche Lage und Geländesituation

Der Standort wurden am 20.08.2002 mittags bei sehr guten Sichtverhältnissen besucht und in Augenschein genommen. Der Windpark Schmallerberg befindet sich ca. 1 km nördlich des Siedlungsplitters Obringhausen und ca. 3 km nördlich der Stadt Schmallerberg auf einer von Wäldern umgebenen, landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Der Standort ist in der gesamten Umgebung von einer Vielzahl von, für das Sauerland typischen Waldgebiete umgeben, nur im Westen findet sich über einige Kilometer ein größerer Anteil landwirtschaftlich genutzter Gebiete.

3.4.1.1 Rauigkeiten

Die vorgefundene und geschilderten Geländesituation findet sich in der vorgenommenen Klassifizierung der Rauigkeiten. In allen Sektoren finden sich hohe Rauigkeitswerte, die durch die ausgedehnten Waldgebiete hervorgerufen werden. Rauigkeitswechsel sind selten, die Umgebung weist im gesamten Umfeld im wesentlichen den gleichen Landschaftscharakter auf.

3.4.1.2 Orographie

Das Gelände ist orographisch sehr komplex, der begutachtete Standort liegt in einer Höhenlage um 480m.ü.NN. Er ist dem Kernbereich des eigentlichen Hochsauerlandes direkt westlich vorgelagert, in weniger als 10 km Entfernung nordöstlich befindet sich mit der Hunau einer der höchsten Höhenzüge des Hochsauerlandes (über 800m.ü.NN). An diesen schließt sich im Osten das Astenmassiv an (Kahler Asten, 841m.ü.NN), von dem das Rothaargebirge mit Höhenlagen von oft ebenfalls deutlich über 700m.ü.NN nach Südwesten ausgeht und den Standort von der Südseite her einschließt. Nach Südwesten findet sich der von den übrigen Sauerländer Höhenzügen isolierte Block der Lenneberge mit Höhen knapp unter 700m.ü.NN. Nach Westen schließt sich ein Landschaftsteil mit hochflächenartigem Charakter und mehr landwirtschaftlicher Nutzung an, die Geländehöhen bewegen sich hier zwischen 400 und 500m.ü.NN.

3.4.1.3 Hindernisse

Im Standortbereich befinden sich eine Vielzahl meist ausgedehnter Windhindernisse in Form von Wäldern, Waldstücken, Alleen sowie den Dörfern Ebbinghof und Obringhausen. Es wurden insgesamt 12 Windhindernisse aufgenommen und in der Berechnung berücksichtigt.

3.4.2 Beschreibung des Tests

3.4.2.1 Besonderheiten und Probleme am Standort

Am Standort Schmallenberg befinden sich zwei Windenergieanlagen des Typs Südwind S-31 270 kW mit 41,7m Nabenhöhe in Betrieb.

Es standen Produktionsdaten des Jahres 1998 (außer November und Dezember) sowie 1999 von Januar bis Mai zur Verfügung. Die Daten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und stammen offenbar vom Betreiber der WEA. Mehrfach fällt bei den Ertragsdaten auf, dass offensichtlich nicht monatlich abgelesen wurde, sondern die Erträge eines größeren Ablesezeitraums auf die betreffenden Monate gleichverteilt wurden. Für diese Zeiträume wurden die Ertragsdaten zusammengefasst und zum Abgleich ein ebenfalls zusammengefasster Windindex verwendet. Diese Vorgehensweise ist hier die einzig mögliche, sie senkt jedoch die Genauigkeit des Abgleichergebnisses.

Die Erträge wurden ansonsten unter Berücksichtigung der Anlagenverfügbarkeiten, soweit diese aus den vorliegenden Daten erkennbar waren, sowie des IWE Windindex für die Region korrigiert.

Erschwerend kommt hinzu, dass nicht bekannt ist, von welcher der beiden WEA die Produktionsdaten stammen.

In jedem Fall ist zu beobachten, dass die Produktionsdaten sehr niedrig liegen. Eine Reproduktion dieses Phänomens mit WAsP unter Verwendung des Windatlas „Kahler Asten“ ist nicht möglich. Dies ist durch die sehr unterschiedliche landschaftliche Lage der Messstation Kahler-Asten verglichen mit dem Standort Schmallenberg zu erklären. Während der Kahle Asten eine der höchsten und exponiertesten Lagen der gesamten Region markiert, befinden sich die Windenergieanlagen auf mittlerem Höhengniveau in einer Region, die von deutlich höheren Erhebungen umgeben ist. Derartige Unterschiede kann WAsP offenbar nicht mehr aufbereiten.

Die Entfernung vom Standort Schmallenberg zur Messstation Kahler Asten beträgt hingegen nur 14 km, eine Umrechnung sollte mit einem Modell, das in der Lage ist, komplexe Geländesituationen zu erfassen und zu berücksichtigen, folglich möglich sein.

3.4.2.2 Vorgehensweise

Es wurde, von dem Gesamtmodell „Hochsauerland 250m Gitter“ ausgegangen. In dieses Modell wurde ein verfeinertes Modell, das beide Standorte umfasst, derart eingefügt, dass ein Gitterpunktabstand von 100m erreicht wurde. Dies war unter Berücksichtigung der Berechnungslimits von WindSim mit einem Abstand von mindestens 5 km in jeder Himmelsrichtung sowohl vom Standort Schmallenberg als auch von der Messung Kahler Asten möglich.

In dieses Modell wurde in einem zweiten Verfeinerungsschritt ein quadratisches Modell mit einer Kantenlänge von 4 km und einer Gitterauflösung von 25m am Standort Schmallenberg zur Berechnung der Microeffekte eingefügt.

Weiterhin wurde zur Eliminierung von Microeffekten am Standort Kahler Asten das bereits beschriebene verfeinerte Modell am Standort Kahler Asten verwendet.

Es ergaben sich die folgenden Modellgrenzen und Standorte:

Standorte der WEA		
	Rechts	Hoch
WEA 1	3.449.707	5.671.326
WEA 2	3.449.674	5.671.124

Modell WindSim Schmallenberg Verfeinerung 1			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.444.698	3.469.320	24,6
Hoch	5.661.257	5.681.710	20,5

Modell WindSim Schmallenberg Verfeinerung 2			
	Min.	Max	Ausdehnung in km
Rechts	3.447.698	3.451.698	4,0
Hoch	5.669.257	5.673.257	4,0

Alle Koordinaten Gauss-Krüger (Bessel) Zone 3

Die Windmessergebnisse am Kahlen Asten wurden, wie bereits beschrieben, zunächst in dem verfeinerten Modell „Kahler Asten“ auf eine Höhe von 50m über Grund umgerechnet. Anschließend erfolgte eine Umrechnung der Windverhältnisse des 50m Niveaus auf den Standort Schmallenberg unter Verwendung des Modells „Schmallenberg Verfeinerung 1“. Von den ermittelten 50m Winddaten in Schmallenberg wurde unter Verwendung des Modells „Schmallenberg Verfeinerung 2“ auf die genauen Anlagenstandorte und Nabenhöhen umgerechnet.

Die ermittelten Windverhältnisse wurden als Windmessung in Objekte vom Typ „Measure“ der Software WindPRO tabellarisch übertragen. Mit diesen Objekten wurden Ertragsberechnungen mit dem Modul „Park“ zur Ermittlung der Energieerträge sowie Measure zur Darstellung der Windverhältnisse durchgeführt.

Wie bereits geschildert, ist der Standort Schmallenberg stark durch umgebende Windhindernisse beeinflusst. Da WindSim in der vorliegenden Version noch nicht in der Lage ist, lokale Windhindernisse in der Berechnung zu berücksichtigen, wurden die mit WASP ermittelten sektoriellen relativen Ertragsminderungen auch für die mit WindSim errechneten Ergebnisse angesetzt.

3.4.2.3 Ergebnisse

Es wurden folgende Erträge ermittelt:

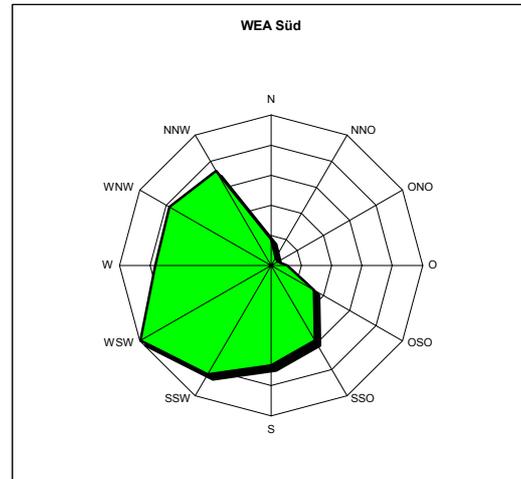
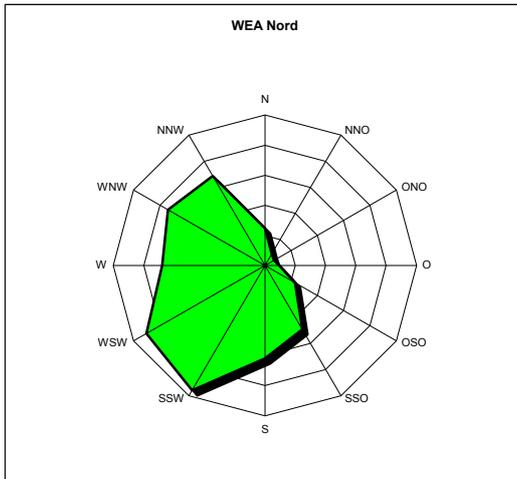
	Tatsächlicher Ertrag	Ertrag WAsP	Ertrag WindSim Measure	Ertrag WindSim Weibull	Abweichung WAsP	Abweichung WindSim Measure	Abweichung WindSim Weibull
WEA Nord	267,4 MWh	289,7 MWh	293,7 MWh	287,2 MWh	8,3%	9,8%	7,4%
WEA Süd	267,4 MWh	302,6 MWh	264,5 MWh	257,7 MWh	13,2%	-1,1%	-3,6%
Mittelwert der Abweichungen					10,7%	4,4%	1,9%

Da nicht bekannt ist, von welcher der beiden Anlagen die vorliegenden Erträge stammen, wurden Vergleichsrechnungen für beide Standorte vorgenommen.

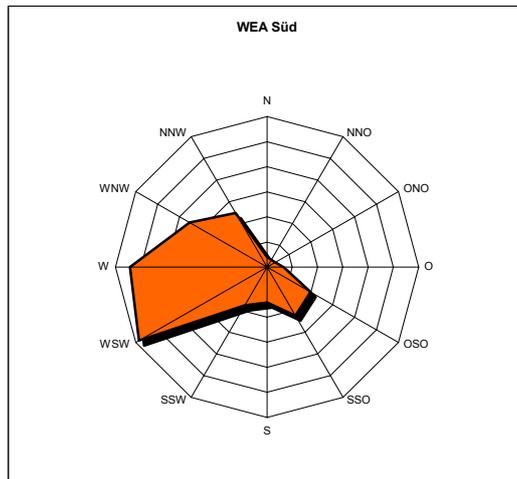
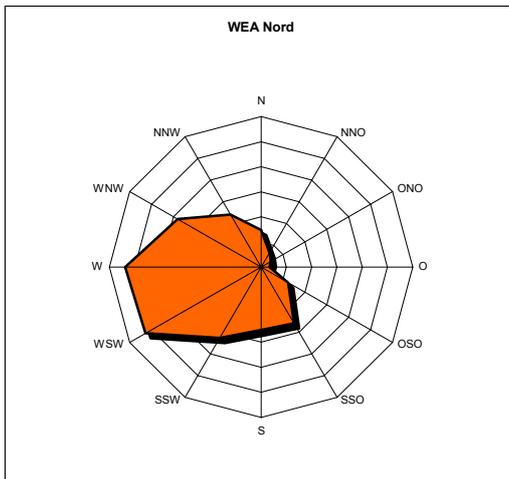
Für die mittels WindSim ermittelten Windverhältnisse wurden Ertragsberechnungen sowohl unter direkter Verwendung der tabellarischen Stärkewindrosen (Measure) als auch unter Verwendung einer Weibull-Annäherung vorgenommen.

Generell ergeben sich bei direkter Verwendung der tabellarischen Stärkewindrosen geringfügig höhere Energieerträge. Die Ergebnisse liegen für den nördlichen Standort bei beiden Berechnungsmodellen im selben Niveau, für die südliche Anlage ergeben sich deutliche Unterschiede, hier ergeben sich mit WindSim deutlich niedrigere Erträge als mit WAsP, die Erträge liegen sehr genau im Niveau der tatsächlichen Energieerträge.

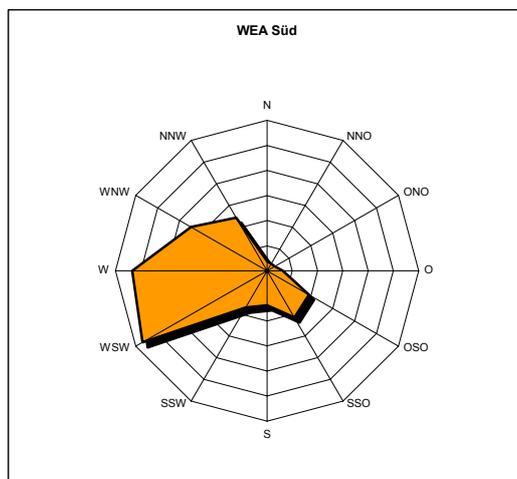
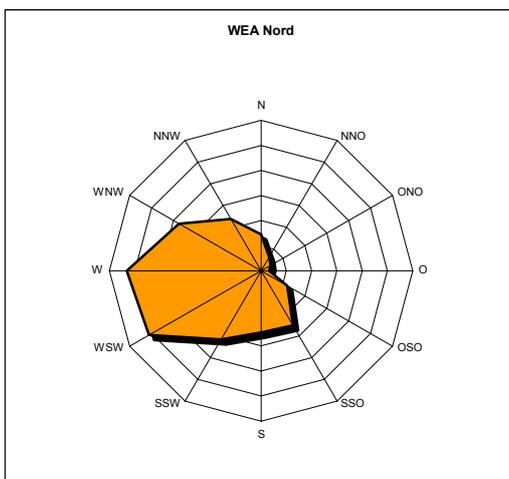
Im Folgenden werden die Produktionswindrosen der verschiedenen Berechnungen dargestellt. Eine Bewertung ist nicht möglich, da die tatsächlichen Windrosen für die WEA-Standorte nicht bekannt sind.



Produktionswindrosen WAsP Berechnung



Produktionswindrosen WindSim Measure Berechnung



Produktionswindrosen WindSim Weibull Berechnung

Da nicht bekannt ist, von welcher der beiden Anlagen die vorliegenden Erträge stammen, wurden Vergleichsrechnungen für beide Standorte vorgenommen.

Für die mittels WindSim ermittelten Windverhältnisse wurden Ertragsberechnungen sowohl unter direkter Verwendung der tabellarischen Stärkewindrosen (Measure) als auch unter Verwendung einer Weibull-Annäherung vorgenommen.

Generell ergeben sich bei direkter Verwendung der tabellarischen Stärkewindrosen geringfügig höhere Energieerträge. Die Ergebnisse liegen für den nördlichen Standort bei beiden Berechnungsmodellen im selben Niveau, für die südliche Anlage ergeben sich deutliche Unterschiede, hier ergeben sich mit WindSim deutlich niedrigere Erträge als mit WAsP, die Erträge liegen sehr genau im Niveau der tatsächlichen Energieerträge.

Eine abschließende Bewertung kann nicht vorgenommen werden, hierfür müsste bekannt sein, von welcher der beiden Anlagen die Erträge tatsächlich stammen, es zeigt sich aber zumindest tendenziell, dass WindSim deutlich besser in der Lage ist, die tatsächlichen Windverhältnisse am Standort Schmallenberg unter Verwendung der Windmessung auf dem Kahlen Asten wiederzugeben.

4 Zusammenfassung und Bewertung

4.1 Übersicht

Die Testfälle, die in dieser Studie betrachtet wurden, befinden sich sämtlich in einer Region mit bekanntermaßen komplexen Windverhältnissen. Die lokale Situation ist jeweils mit dem bislang standardmäßig verwendeten Berechnungsmodell WAsP nur unzureichend reproduzierbar gewesen. Hier zeigen sich in allen Fällen durch den Einsatz von WindSim Verbesserungen, die in zwei der drei betrachteten Fälle zu entscheidenden Qualitätssteigerungen der Prognose führten.

4.2 Bewertung der Ergebnisse WindSim

WindSim stellte in den betrachteten Testfällen seine grundsätzliche Eignung zur Prognose von Windverhältnissen und Energieerträgen unter Beweis. Die Software ist einfach zu bedienen, es ist sehr schnell möglich, Ergebnisse zu erzielen. Weniger einfach ist es, die Modelleinstellungen derart zu wählen, dass eine für den jeweiligen Anwendungsfall geeignete Simulation erzeugt wird. Hier waren eine Vielzahl von Testläufen mit den unterschiedlichen Modellgrößen, -einstellungen und Vorgaben notwendig. Da ein Berechnungslauf typischerweise mindestens 12 bis 24 Stunden, in Einzelfällen bis zu 60 Stunden auf einem Pentium 2,4 GHz mit 768 GB RAM benötigt, ist der Zeitaufwand, um die notwendige Erfahrung mit den Modellparametern zu sammeln, erheblich.

Die Auswertung der Ergebnisse gestaltet sich problematisch, Ergebnisse sind vielfach in Dateien abgelegt, die nicht dokumentiert sind, zu dem graphischen Auswertungstool GL-View, das zum Lieferumfang gehört, fehlt eine Dokumentation im Zusammenhang mit WindSim vollständig.

Im Laufe dieser Teststudie wurden von AL-PRO 38 (!) Testmodelle erstellt und teilweise mit verschiedener Parametrierung mehrfach berechnet. Sehr positiv ist die enge Zusammenarbeit mit dem Entwickler, der Firma VECTOR aus Norwegen zu erwähnen. Die Ergebnisse der Teststudie sind direkt in die Weiterentwicklung der Software geflossen, mehrfach wurden Modellverbesserungen direkt aus Ergebnissen der Testfälle entwickelt und mittlerweile implementiert.

WindSim konnte seine Überlegenheit über WAsP in allen Testfällen unter Beweis stellen. Hierbei stellten die Ergebnisse des Testfalls Stöppel zwar eine Verbesserung dar, die Ergebnisse bleiben jedoch unbefriedigend. Auf die möglichen Ursachen wird im Folgenden näher eingegangen.

Die Ergebnisse der Testfälle Berlar und Schmallenberg waren überzeugend.

Trotz des positiven Fazits offenbarte WindSim während der Tests eine Vielzahl von Schwächen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Derartige Probleme sind im Zuge der Markteinführung eines so komplexen Tools als normal zu bezeichnen, die Punkte sind VECTOR bekannt und Verbesserungen sind in Arbeit.

1. Fehlende Hindernismodellierung

Die Modellierung von Windhindernissen, die teilweise erheblichen Einfluss auf die Windverhältnisse in Bodennähe haben können, ist derzeit praktisch nicht möglich. Eine Lösung dieses Punktes ist die wichtigste Voraussetzung für einen umfassenden Einsatz von WindSim, sie ist bei VECTOR in Arbeit.

2. Probleme mit Nesting

Mehrfach zeigte sich bei der Einbettung von verfeinerten Modellen in eine übergeordnete Modellstruktur, dass mesoskalige Effekte nur unzureichend oder gar nicht in das verfeinerte Modell übertragen werden. Entgegen der ursprünglichen Planung, soweit als möglich mit verfeinerten, genesteten Modellen zu arbeiten wurde daher dazu übergegangen, den Einsatz von Nesting weitestgehend zu vermeiden und stattdessen bereits in den übergeordneten Modellen mit möglichst feinen Gittern zu arbeiten. Hierzu wurden von VECTOR eigens die Berechnungslimits erweitert, die resultierenden höheren Rechenzeiten blieben im erträglichen Rahmen. Auch bei der Übertragung von Informationen in verfeinerte Modelle arbeitet VECTOR an Verbesserungen.

3. Fehlende Berücksichtigung atmosphärischer Schichtungen

Dies führt naturgemäß zu Fehlern bei der Prognose von Windverhältnissen in größeren Höhen, die Einbeziehung realistischer atmosphärischer Schichtungsbedingungen ist jedoch äußerst komplex und nicht ohne weiteres möglich.

4. Fehlende Einbeziehung der Coriolis Kraft

Hierdurch werden Windverdrehungen bei der Umrechnung in verschiedene Höhen oder zwischen Standorten mit deutlichen Unterschieden in den Windgeschwindigkeiten nicht korrekt wiedergegeben. Die Einbeziehung des Coriolis-Terms in das Gleichungssystem ist nach Aussage von VECTOR kein großes Problem und erfolgt in Kürze.

5. Anströmung des Modells nur für einen Geschwindigkeitsfall pro Windrichtung

Dieser Ansatz ignoriert mögliche Änderungen im Strömungsverhalten über dem Gelände bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten. Besser wäre der Einsatz von mindestens zwei oder drei Strömungsgeschwindigkeiten. Es ist zwar möglich, ein Modell mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten anzutreiben, dann müssen aber die entsprechenden gemessenen Windverteilungen, gegen die das Modell normiert werden soll, ebenfalls in verschiedene Geschwindigkeitsbereiche aufgeteilt werden und gegen das jeweils passende Vektorfeld normiert werden – ein äußerst aufwendiges Verfahren, das nur in Einzelfällen anwendbar ist.

4.3 Zusammenfassung/Fazit

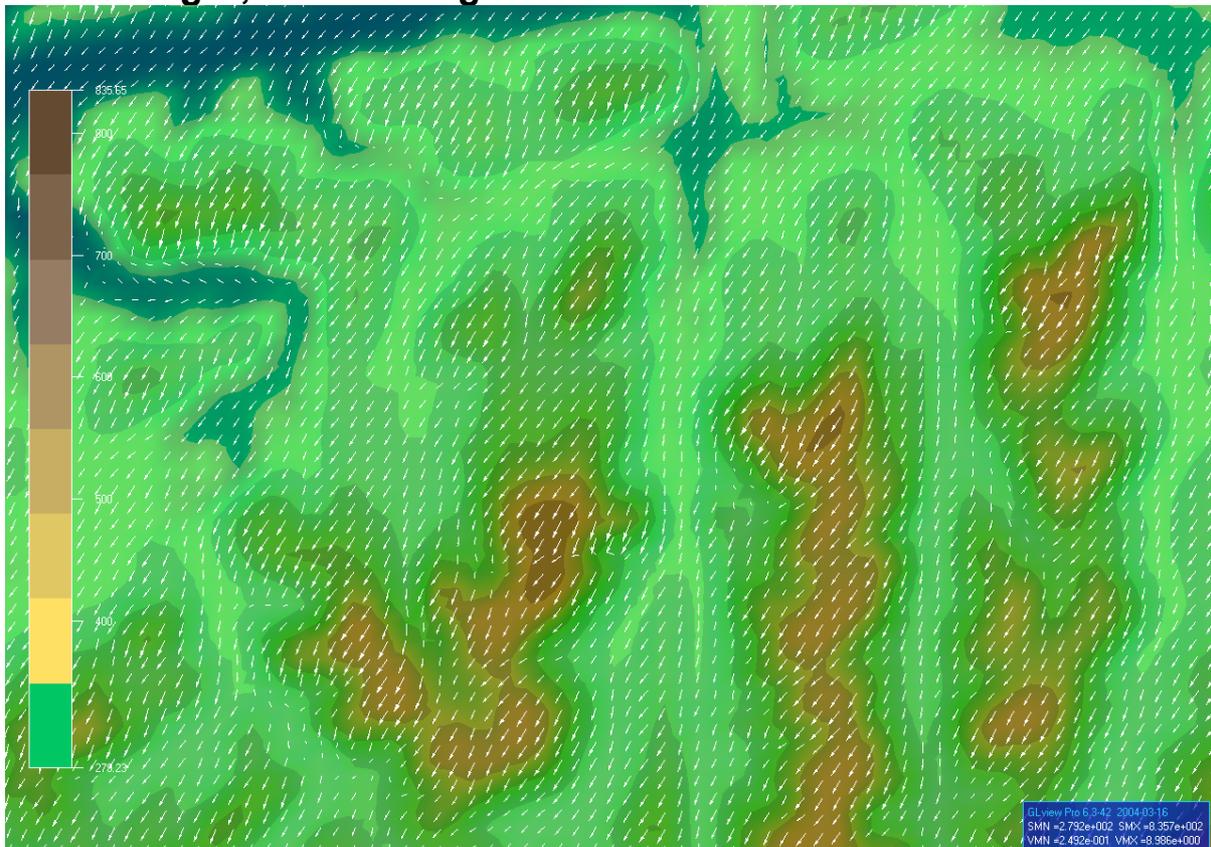
Der Einsatz von WindSim in den beschriebenen Testfällen lieferte überwiegend überzeugende Ergebnisse und stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber den mit WASP erzielten Resultaten dar. Der Einsatz von WindSim stellt allerdings gegenüber WASP einen erheblichen Mehraufwand sowohl bei der Modell-

erstellung als auch insbesondere bei der Berechnung und Validierung dar. Letzteres ist teilweise in der noch nicht ausreichenden Dokumentation und Mängeln in den Schnittstellen zu anderen Programmen wie WindPRO begründet.

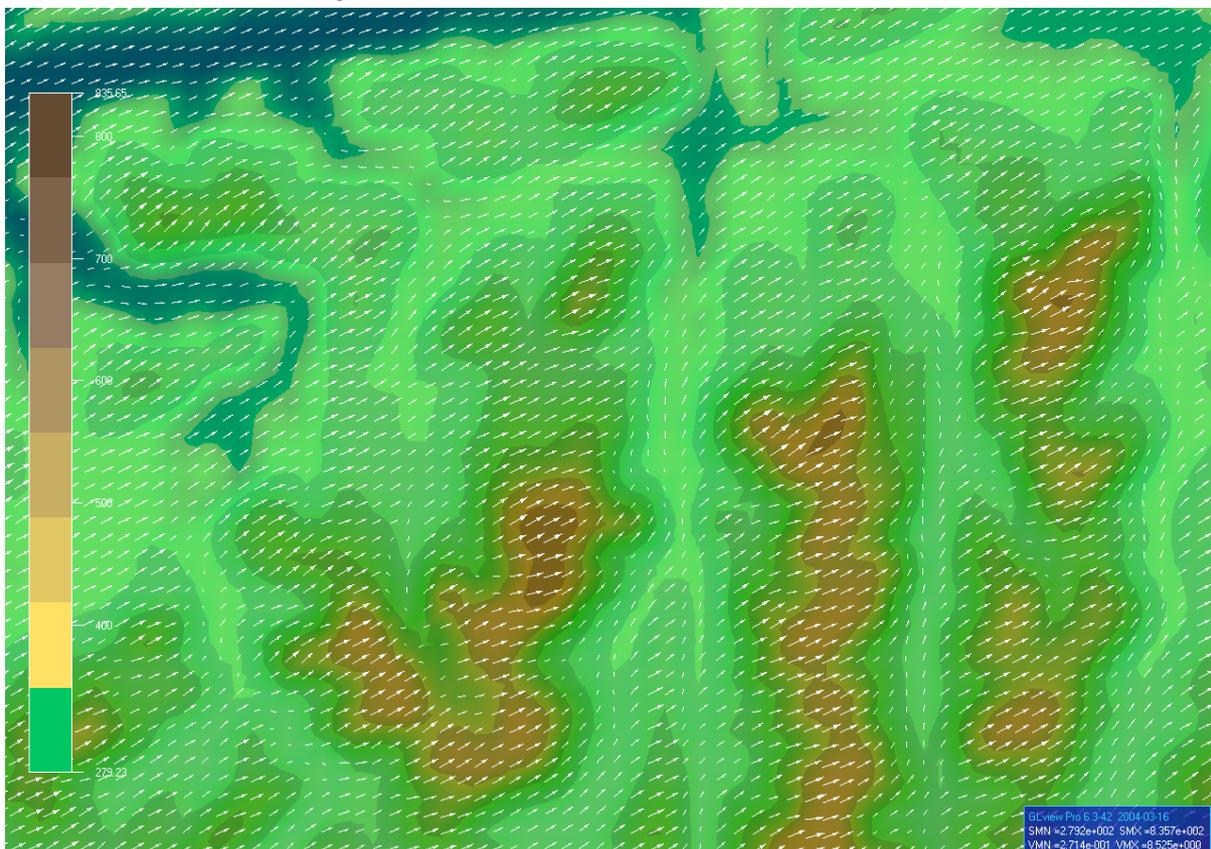
Ein Einsatz von WindSim führt nach derzeitiger Einschätzung zu deutlichen Verbesserungen der Wind- und Ertragsprognosen, vor allem in orographisch komplexen Geländesituationen. Es ist jedoch – nicht anders als seinerzeit bei WASP – zwingend notwendig, auch den Einsatz von WindSim zunächst vorsichtig und vorzugsweise in Anwendungsfällen mit Validierungsmöglichkeiten durch mehrere Windmessungen oder existierende WEA vorzunehmen.

Der weitere Aufbau von Erfahrungen mit verschiedenen Modellansätzen sind, ebenso wie die Abstellung der genannten Mängel, zwingend erforderlich.

5 Anhang A, Berechnungsergebnisse Berlar



Vektorfeld Berlar, NNO Anströmung, 15m über Grund



Vektorfeld Berlar, WSW Anströmung, 15m über Grund

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:

Bestwig

Plambeck Neue Energien AG
Martin Stolle
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

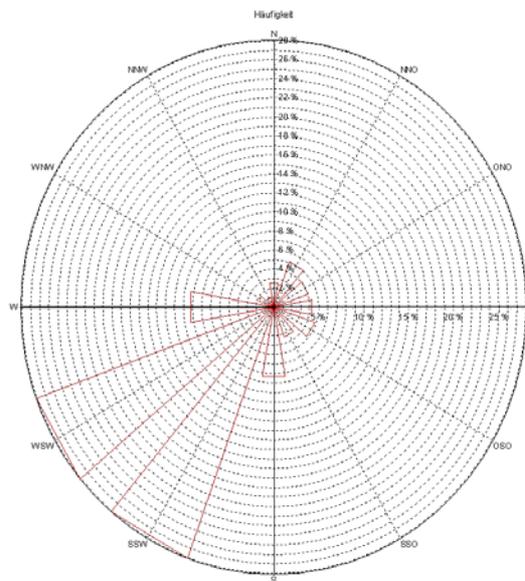
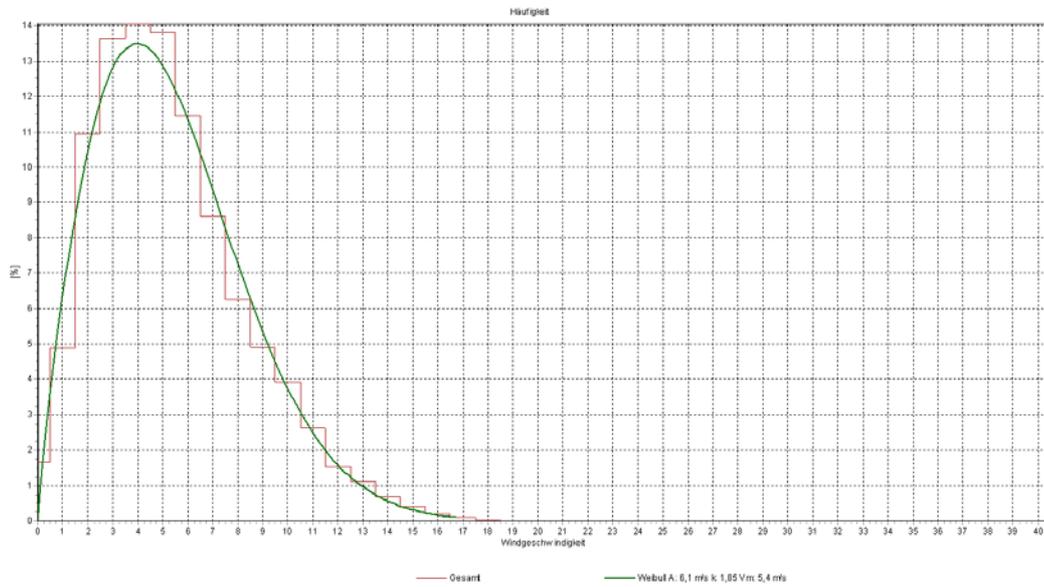
Ausdruck/Seite
21.03.2004 18:21 / 1

Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
21.03.2004 18:20/

METEO-Daten-Bericht, Höhe: 30,0

Name des METEO-Objektes: Messung Berlar nur 1998



WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emdata.dk

User: Albrecht Project: Bestwig Micro I 290104 Revision: 0.0.1
 Customer: Plambeck NE AG Layout: Layout 1 Date: 31.01.04 13:48



Climatology Trans. Trans. KahlerAsten

The wind climatology is presented as a wind rose, giving the average wind speed distribution divided in velocity intervals (bins) and wind directions (sectors). The original wind speed data are divided in 24 bins, whereas in the graphical wind rose presentation all occurrences of wind speeds above m/s have been lumped. Incoming wind directions are divided in 12 sectors, where the first sector is centred around north.

site name Trans. Trans.
 KahlerAsten
 measurement period 1998 - 1998
 x - position longitude 3456495.0
 y - position latitude 5687422.0
 co-ordinate system 3
 anemometer height 30.0
 number of sectors 12
 number of bins 24
 total records 1001
 average wind speed 5.70



Fig 1. *Climatology Trans. Trans. KahlerAsten.*

The frequency table has been fitted to a Weibull distribution. The below table give the Weibull shape and scale parameters (k,A), accumulated frequency of occurrence and the average wind speed for each sector.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2.29	2.26	2.35	2.69	2.57	3.00	2.14	2.40	2.19	2.29	2.93	2.78
A	5.15	4.35	4.24	4.29	4.11	4.44	6.66	7.56	7.50	5.52	5.69	5.28
freq	0.031	0.029	0.035	0.043	0.023	0.035	0.084	0.224	0.232	0.117	0.069	0.079
mean	4.64	3.88	3.79	3.83	3.62	3.94	6.01	6.84	6.80	5.01	5.04	4.71

Table 1. *Weibull (k,A), frequency (-) and average wind speed (m/s) versus sector.*

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt: Bestwig Plambeck Neue Energien AG Martin Stolle Peter-Henlein-Str. 2-4 27472 Cuxhaven	Beschreibung: Windgutachten Bestwig, Gemeinde Bestwig, Hochsauerlandkreis, Nordrhein-Westfalen. Der Windpark Bestwig befindet sich ca. 1 km nordwestlich der Ortschaft Berlar auf einer von Wäldern umgebenen landwirtschaftlich genutzten Fläche. Der Standort ist in der gesamten Umgebung von einer Vielzahl von ausgedehnten Waldgebieten umgeben, die von einzelnen landwirtschaftlich genutzten Arealen, meist Weideland, sowie dörflichen Siedlungen unterbrochen werden. Das Gelände ist orographisch sehr komplex, die begutachteten Standorte liegen in einer Höhenlage um 520 m ü.NN. Der Standort ist landschaftlich dem Hochsauerland zuzuordnen.	Ausdruck/Seite: 21.03.2004 18:22 / 2 Lizenzierter Anwender: AL-PRO Dorfstraße 100 DE-26532 Großheide +49 (0) 4936 6986-0 Berechnet: 03.05.2003 17:52/2.3.0.216
---	---	--

WASP interface - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: Berechnung Meßmast ohne Windhindernisse **Winddaten:** A - Terrain Windmessung; Nabenhöhe: 30,0

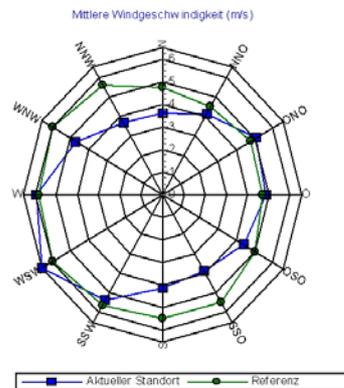
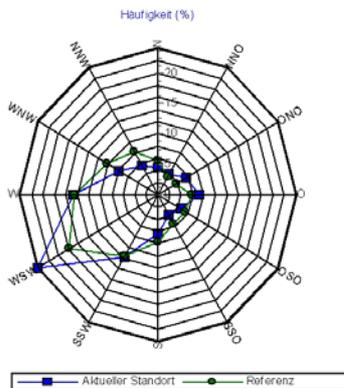
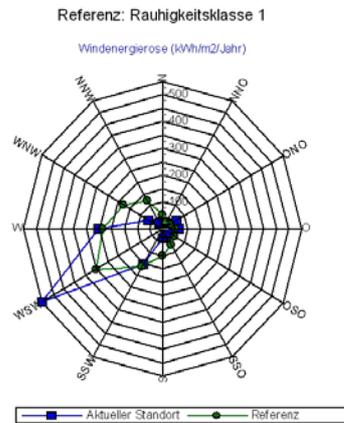
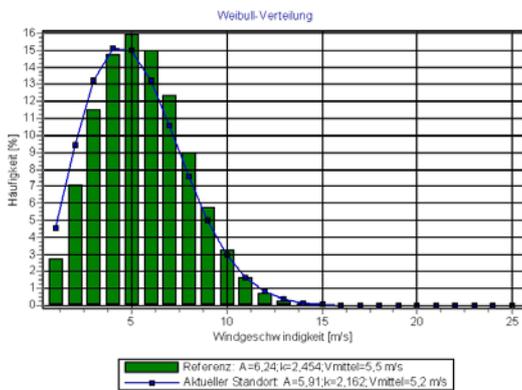
Standortkoordinaten

GK Zone: 3 Ost: 3.456.495 Nord: 5.687.422

Windstatistiken DE Kahler Asten.wvs

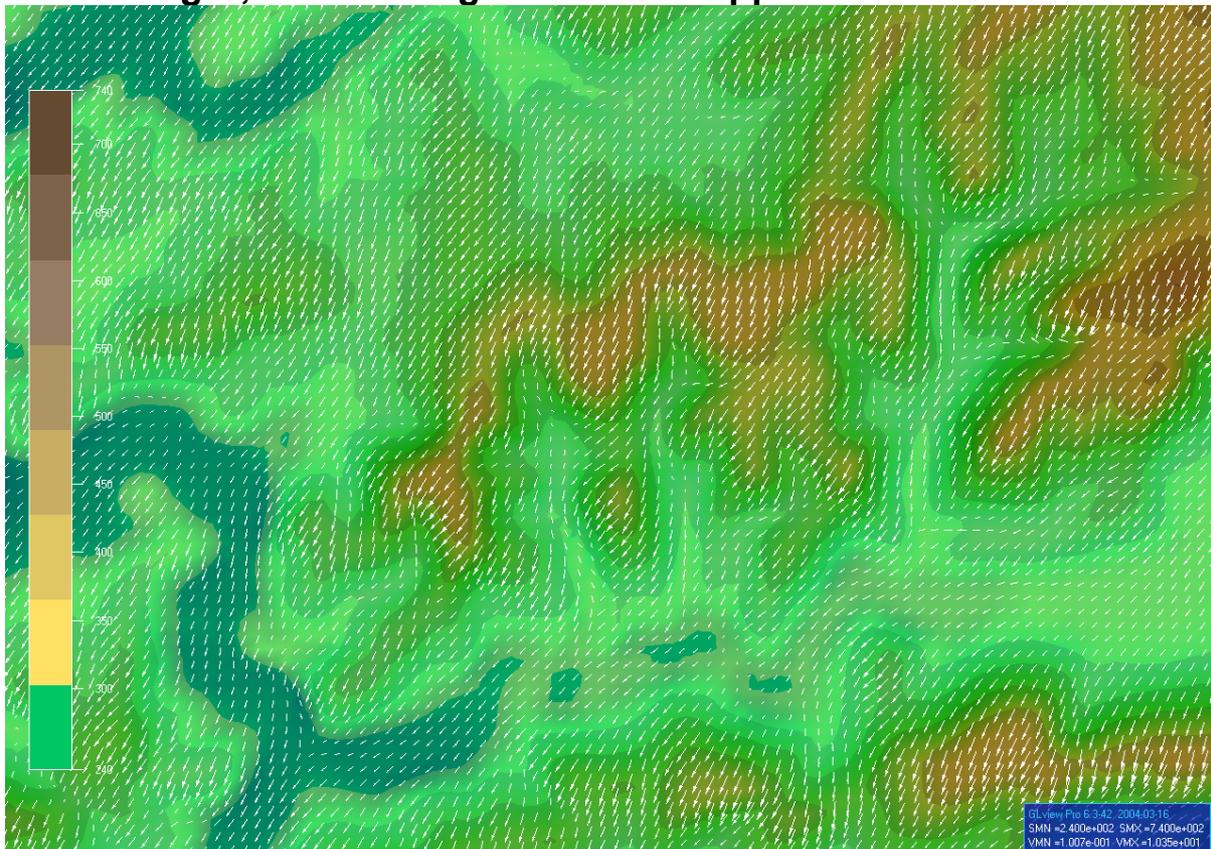
Weibull-Daten

Sektor	Aktueller Standort			Referenz				
	A-Parameter [m/s]	Windgeschwindigkeit [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	A-Parameter [m/s]	k-Parameter	Häufigkeit [%]	
0 N	4,08		3,61	2,373	4,4	5,41	2,338	5,7
1 NNO	4,88		4,15	2,311	4,0	5,08	2,467	3,5
2 ONO	5,76		5,10	2,346	5,7	5,38	2,402	3,7
3 O	5,48		4,84	2,416	7,1	6,33	2,455	5,9
4 OSO	4,97		4,41	2,471	4,6	5,67	2,481	5,5
5 SSO	4,41		3,92	2,650	3,9	6,22	2,676	5,4
6 S	4,89		4,18	2,688	6,4	6,19	2,741	7,8
7 SSW	6,89		5,40	2,483	11,8	6,38	2,609	11,6
8 WSW	7,37		6,54	2,482	24,2	6,68	2,487	17,8
9 W	6,67		5,91	2,400	14,8	6,59	2,467	14,6
10 WNW	5,30		4,70	2,420	7,8	6,74	2,523	10,3
11 NNW	4,17		3,70	2,357	5,5	6,38	2,455	8,2
Gesamt	5,91		5,24	2,162	100,0	6,24	2,454	100,0

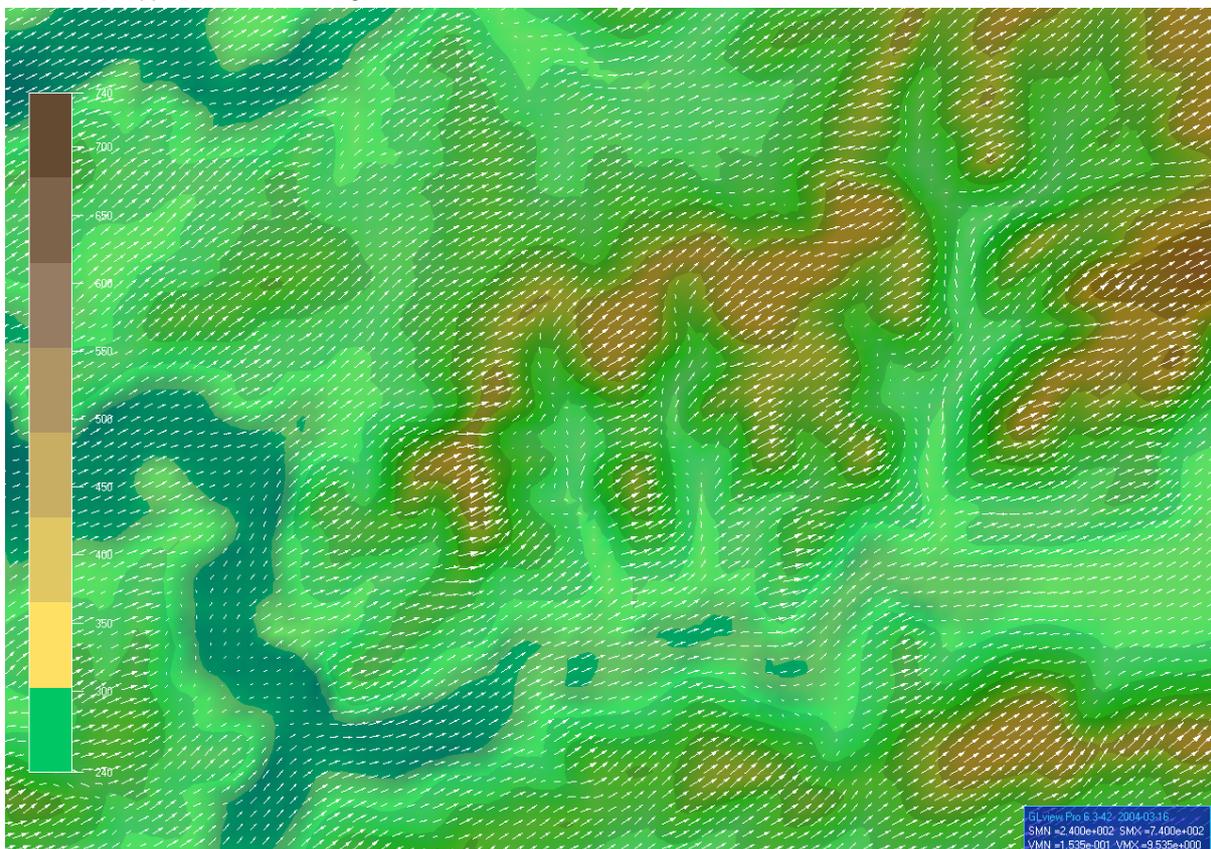


WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emid.dk

6 Anhang B, Berechnungsergebnisse Stöppel



Vektorfeld Stöppel, NNO Anströmung, 15m über Grund



Vektorfeld Stöppel, WSW Anströmung, 15m über Grund

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:
Sauerland WindSim Test

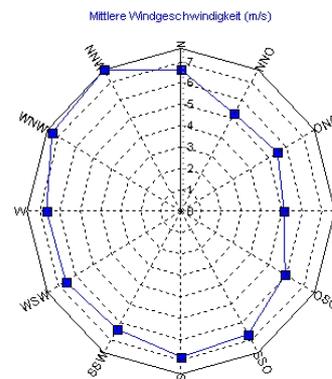
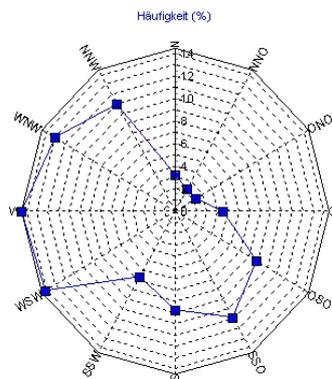
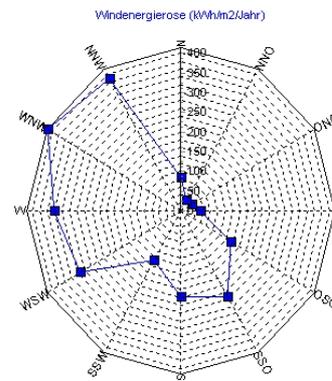
Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite
21.03.2004 18:30 / 1
Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-28632 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
22.02.2004 16:57/2.3.0.216

PARK - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: Analyse Stöpel HS meso 250 MEASURE **Winddaten:** A - WindSim Stöpel E-40 aus HS 250; Nabenhöhe: 78,0



WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax: +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emd.dk

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:
Sauerland WindSim Test

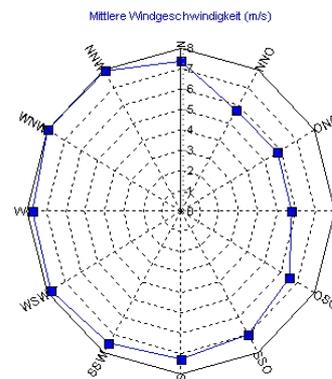
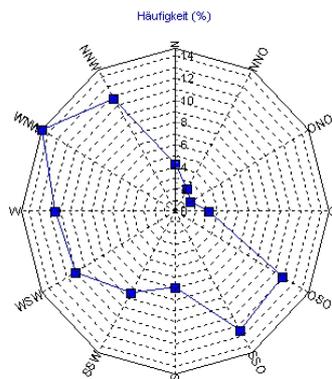
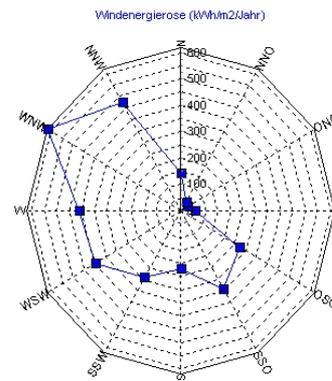
Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite
21.03.2004 18:43 / 2
Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-28632 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
22.02.2004 18:22/2.3.0.216

PARK - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: Analyse Stöpel micro 100 MEASURE **Winddaten:** A - WindSim Stöpel E-66 aus Micro 100; Nabenhöhe: 114,0



WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax: +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emd.dk

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:

Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite

21.03.2004 18:43 / 3

Lizenzierter Anwender:

AL-PRO

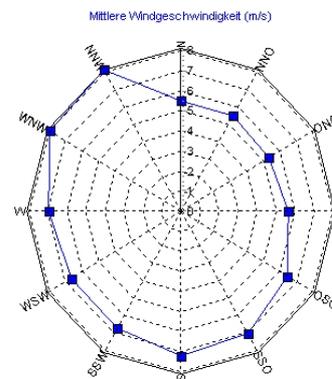
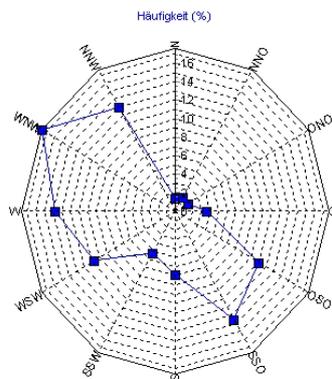
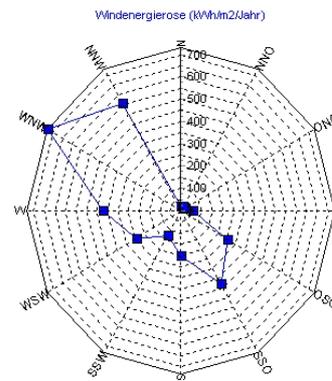
Dorfstraße 100
DE-28632 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:

22.02.2004 18:22/2.3.0.216

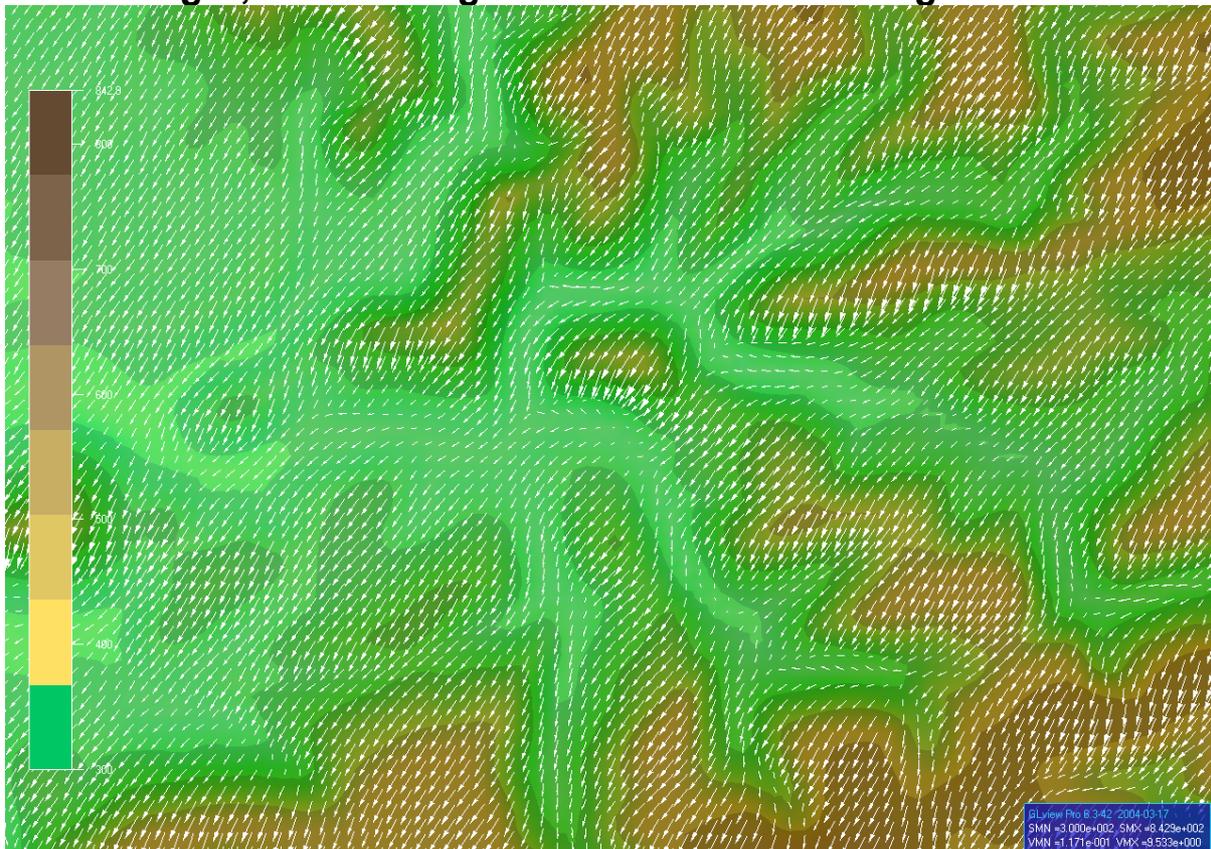
PARK - Analyse der Windverhältnisse

Berechnung: Analyse Stöpel micro 100 MEASURE **Winddaten:** B - WindSim Stöpel E-40 aus Micro 100; Nabenhöhe: 78,0

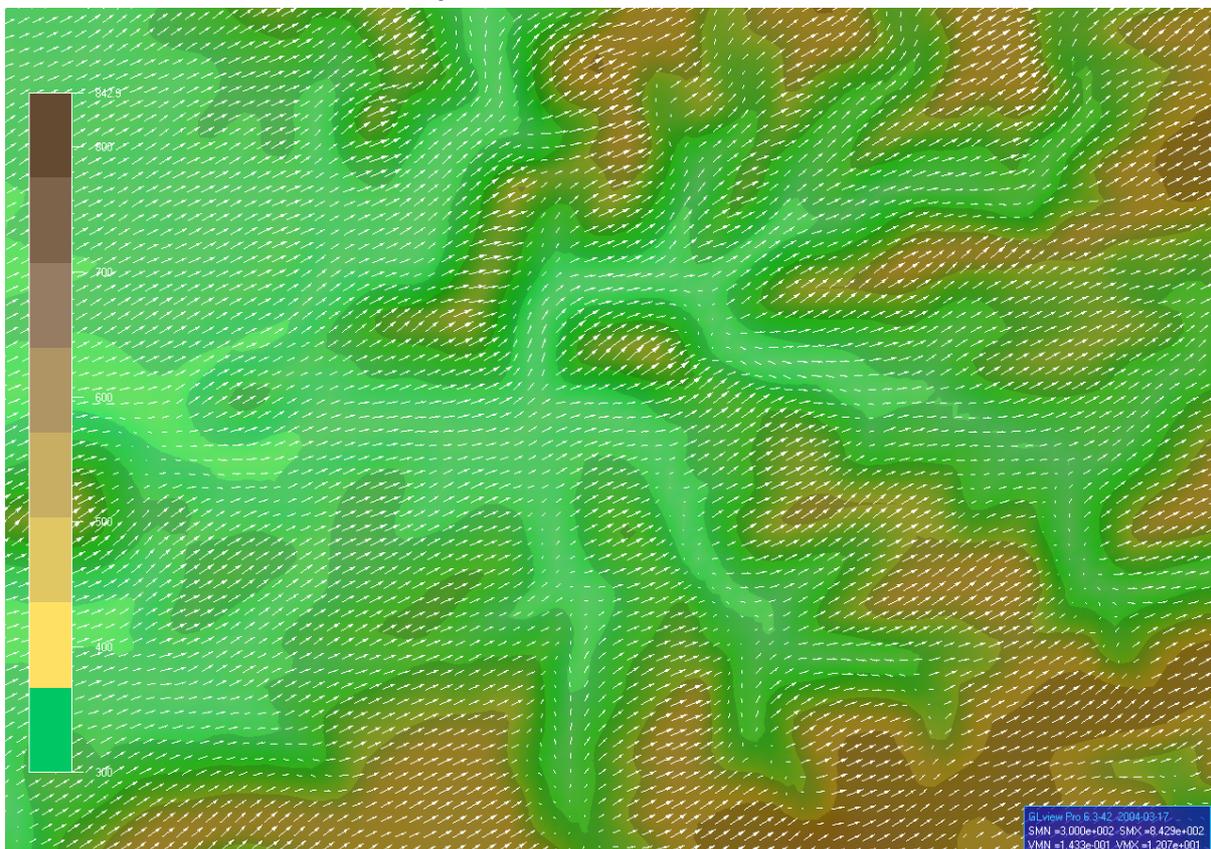


WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax: +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emd.dk

7 Anhang C, Berechnungsergebnisse Schmalleberg



Vektorfeld Oberes Lennetal, NNO Anströmung, 15m über Grund



Vektorfeld Oberes Lennetal, WSW Anströmung, 15m über Grund

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:
Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite
09.03.2004 19:39 / 1

Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
09.03.2004 19:30/2.3.0.216

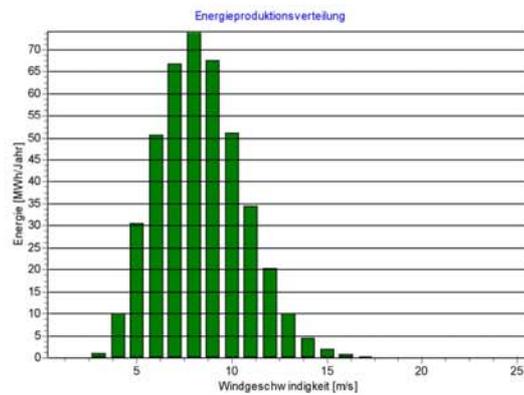
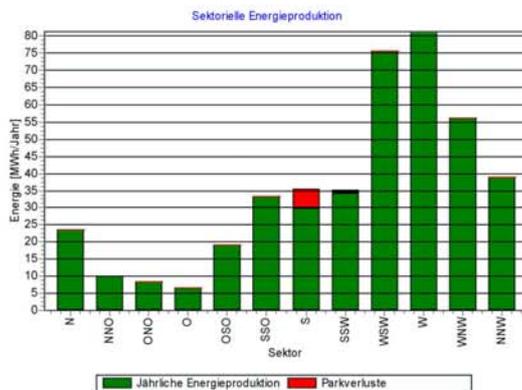
PARK - Produktionsanalyse

Berechnung: Analyse Schmallenberg Measure **WEA:** 1 - SÜDWIND S.31 270-60 31.4 IOI, Nabenhöhe: 41,7 m, Luftdichte: 1,184 kg/m³

Windrichtungsabhängige Analyse

Sektor	0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Rauhigkeitsabhängige Energie	23,6	9,9	8,5	6,6	19,2	33,3	35,6	35,3	75,6	81,4	56,1	39,0	424,1
-Minderung infolge von Abschattungsverluste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	1,1	0,0	0,0	0,0	6,7
Resultierende Energie	23,6	9,9	8,5	6,6	19,2	33,3	30,0	34,2	75,6	81,4	56,1	39,0	417,4
Spezifische Energie													539
Spezifische Energie													1.546
Minderung infolge von Abschattungsverluste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
Windrichtungsabhängige Verteilung	5,6	2,3	2,0	1,6	4,5	7,9	8,4	8,3	17,8	19,2	13,2	9,2	100,0
Ausnutzungsgrad	35,3	35,9	35,9	35,5	36,5	36,7	30,2	34,3	35,4	35,4	35,3	35,0	35,0
Äquivalente Vollaststunden	88	37	31	24	71	123	111	127	280	301	208	145	1.546
Mittlere Windgeschwindigkeit*)	5,3	4,9	4,9	4,4	4,9	5,4	5,7	5,8	6,1	6,1	5,9	5,6	5,7
Leistungsdichte													173

*) Einfluss einer Parkabschattung und eines regionalen Korrekturfaktors NICHT eingeschlossen.



WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:
Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite
09.03.2004 19:39 / 2

Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
09.03.2004 19:30/2.3.0.216

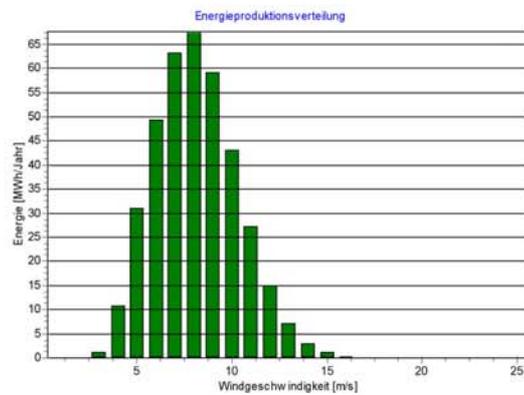
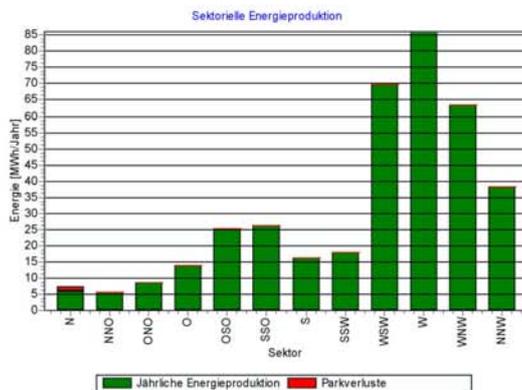
PARK - Produktionsanalyse

Berechnung: Analyse Schmallenberg Measure **WEA:** 2 - SÜDWIND S.31 270-60 31.4 IOI, Nabenhöhe: 41,7 m, Luftdichte: 1,184 kg/m³

Windrichtungsabhängige Analyse

Sektor	0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Rauhigkeitsabhängige Energie [MWh]	7,3	5,8	8,8	13,8	25,4	26,2	16,3	17,8	69,7	86,1	63,5	38,3	378,9
-Minderung infolge von Abschattungsverluste [MWh]	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Resultierende Energie [MWh]	6,0	5,6	8,8	13,8	25,4	26,2	16,3	17,8	69,7	86,1	63,5	38,3	377,4
Spezifische Energie [kWh/m ²]													487
Spezifische Energie [kWh/kW]													1.398
Minderung infolge von Abschattungsverluste [%]	17,9	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Windrichtungsabhängige Verteilung [%]	1,9	1,5	2,3	3,6	6,7	6,9	4,3	4,7	18,4	22,7	16,8	10,1	100,0
Ausnutzungsgrad [%]	29,1	34,3	35,9	36,1	36,5	36,5	36,3	36,2	35,9	35,8	35,2	35,1	35,6
Äquivalente Vollaststunden [Stunden/Jahr]	22	21	32	51	94	97	60	66	258	319	235	142	1.398
Mittlere Windgeschwindigkeit* [m/s]	4,4	4,5	4,7	4,7	5,0	5,0	5,1	5,2	5,7	5,9	5,8	5,5	5,4
Leistungsdichte [W/m ²]													154

*) Einfluss einer Parkabschattung und eines regionalen Korrekturfaktors NICHT eingeschlossen.



WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:
Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite
09.03.2004 19:37 / 1

Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
09.03.2004 19:32/2.3.0.216

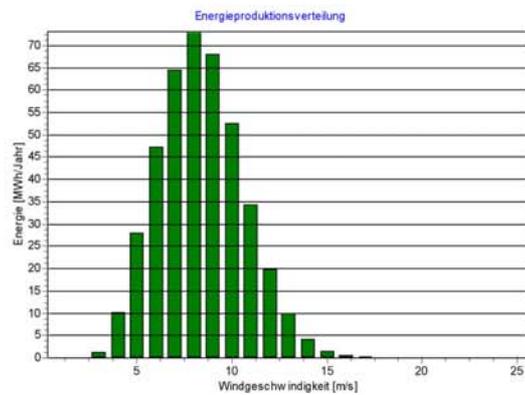
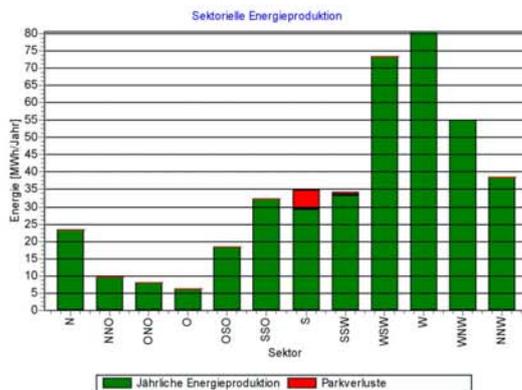
PARK - Produktionsanalyse

Berechnung: Analyse Schmallenberg Weibull **WEA:** 1 - SÜDWIND S.31 270-60 31.4 !O!, Nabenhöhe: 41,7 m, Luftdichte: 1,184 kg/m³

Windrichtungsabhängige Analyse

Sektor	0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Rauhigkeitsabhängige Energie	23,3	9,8	8,2	6,3	18,4	32,3	34,9	34,3	73,4	80,5	55,2	38,5	415,1
-Minderung infolge von Abschattungsverluste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6
Resultierende Energie	23,3	9,8	8,2	6,3	18,4	32,3	29,3	33,2	73,4	80,5	55,2	38,5	408,5
Spezifische Energie													527
Spezifische Energie													1.513
Minderung infolge von Abschattungsverluste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,9	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6
Windrichtungsabhängige Verteilung	5,6	2,4	2,0	1,5	4,4	7,8	8,4	8,3	17,7	19,4	13,3	9,3	100,0
Ausnutzungsgrad	35,8	36,5	35,9	35,5	36,2	36,8	30,4	34,3	35,3	35,9	35,7	35,5	35,2
Betriebsdauer je Sektor	546	299	246	270	552	792	702	682	1.304	1.399	1.056	802	8.651
Äquivalente Vollaststunden	86	36	30	23	68	120	109	123	272	298	204	143	1.513
A-Parameter*)	6,0	5,6	5,5	5,0	5,6	6,1	6,4	6,4	6,7	6,8	6,5	6,3	6,3
Mittlere Windgeschwindigkeit*)	5,3	5,0	4,8	4,4	4,9	5,4	5,7	5,7	6,0	6,1	5,8	5,6	5,6
k-Parameter	2,27	2,54	2,18	2,37	2,35	2,59	2,47	2,30	2,40	2,58	2,40	2,28	2,37
Häufigkeit	6,3	3,5	2,8	3,1	6,4	9,2	8,1	7,9	15,1	16,2	12,2	9,3	100,0
Leistungsdichte													171

*) Einfluss einer Parkabschattung und eines regionalen Korrekturfaktors NICHT eingeschlossen.



WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:

Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite

09.03.2004 19:37 / 2

Lizenzierter Anwender:

AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:

09.03.2004 19:32/2.3.0.216

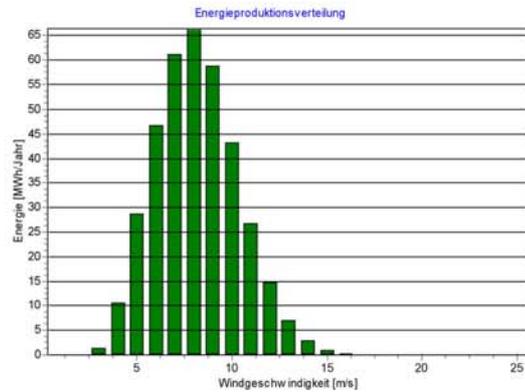
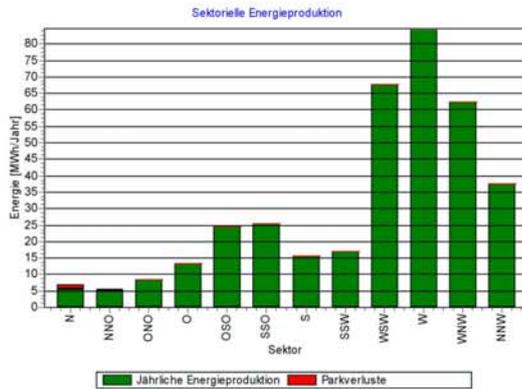
PARK - Produktionsanalyse

Berechnung: Analyse Schmallenberg Weibull WEA: 2 - SÜDWIND S.31 270-60 31.4 !O!, Nabenhöhe: 41,7 m, Luftdichte: 1,184 kg/m³

Windrichtungsabhängige Analyse

Sektor	0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Rauhigkeitsabhängige Energie [MWh]	7,0	5,6	8,5	13,3	24,4	25,3	15,8	17,1	67,8	84,7	62,5	37,7	369,5
-Minderung infolge von Abschattungsverluste [MWh]	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
Resultierende Energie [MWh]	5,7	5,4	8,5	13,3	24,4	25,3	15,8	17,1	67,8	84,7	62,5	37,7	368,0
Spezifische Energie [kWh/m ²]													475
Spezifische Energie [kWh/kW]													1.363
Minderung infolge von Abschattungsverluste [%]	18,4	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
Windrichtungsabhängige Verteilung [%]	1,9	1,5	2,3	3,6	6,6	6,9	4,3	4,6	18,3	22,9	16,9	10,2	100,0
Ausnutzungsgrad [%]	29,0	34,5	36,0	36,1	36,4	36,6	36,3	36,0	35,9	36,1	35,6	35,6	35,8
Betriebsdauer je Sektor [Stunden/Jahr]	272	215	285	448	715	733	426	447	1.419	1.620	1.210	841	8.632
Äquivalente Vollarbeitsstunden [Stunden/Jahr]	21	20	31	49	90	94	58	63	251	314	231	140	1.363
A-Parameter* [m/s]	5,0	5,2	5,3	5,4	5,6	5,7	5,8	5,8	6,3	6,6	6,5	6,1	6,1
Mittlere Windgeschwindigkeit* [m/s]	4,5	4,6	4,7	4,7	5,0	5,1	5,1	5,1	5,6	5,8	5,7	5,4	5,4
k-Parameter	2,19	2,43	2,28	2,36	2,42	2,51	2,35	2,25	2,39	2,52	2,36	2,25	2,34
Häufigkeit [%]	3,2	2,5	3,3	5,2	8,3	8,5	4,9	5,2	16,4	18,8	14,0	9,7	100,0
Leistungsdichte [W/m ²]													151

* Einfluss einer Parkabschattung und eines regionalen Korrekturfaktors NICHT eingeschlossen.



WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:

Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite

09.03.2004 19:35 / 1

Lizenzierter Anwender:

AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:

09.03.2004 19:12/2.3.0.216

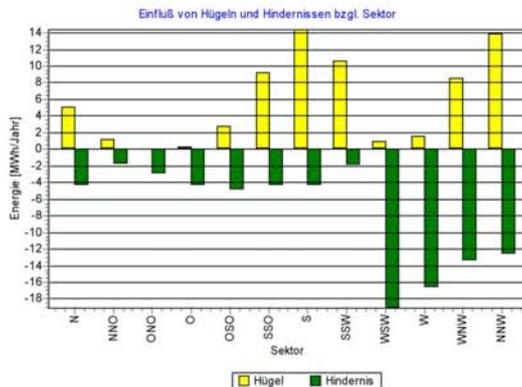
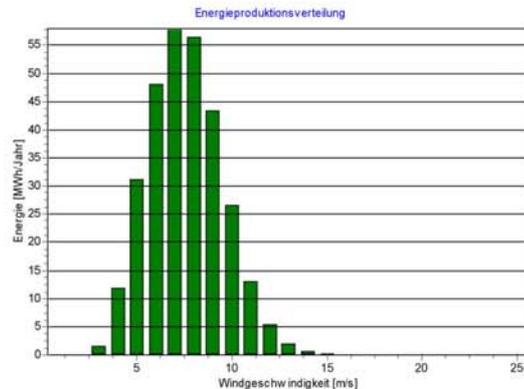
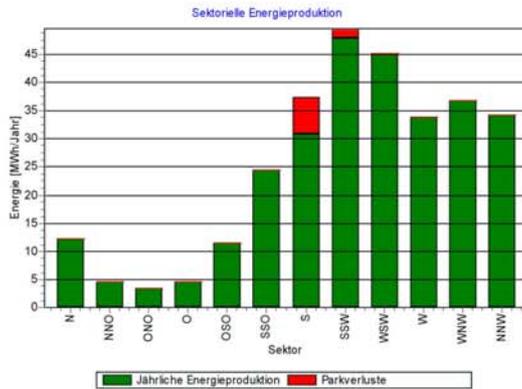
PARK - Produktionsanalyse

Berechnung: Analyse Schmallenberg, WasP mit KA **WEA:** 1 - SÜDWIND S.31 270-60 31.4 IOI, Nabenhöhe: 41,7 m, Luftdichte: 1,184 kg/m³

Windrichtungsabhängige Analyse

Sektor	0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Rauhigkeitsabhängige Energie	11,5	5,0	6,3	8,8	13,5	19,7	27,3	40,9	63,2	48,8	41,7	33,0	319,9
-Minderung infolge von Hindernissen	4,3	1,7	3,0	4,4	4,8	4,4	4,4	1,9	19,1	16,6	13,4	12,6	90,7
+Zunahme/Abnahme durch Hügel	5,1	1,2	0,1	0,3	2,7	9,2	14,4	10,6	1,0	1,6	8,5	13,9	68,7
-Minderung infolge von Abschattungsverluste	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2
Resultierende Energie	12,3	4,5	3,4	4,7	11,4	24,5	30,9	47,9	45,1	33,9	36,8	34,3	289,8
Spezifische Energie	[kWh/m ²]												374
Spezifische Energie	[kWh/kW]												1.073
Minderung infolge von Hindernissen	[%]	37,4	34,4	47,4	50,2	35,6	22,3	16,2	4,7	30,2	34,0	32,1	28,3
Zunahme/Abnahme durch Hügel	[%]	44,0	23,6	1,5	3,4	20,0	46,9	52,7	26,0	1,6	3,3	20,5	21,5
Minderung infolge von Abschattungsverluste	[%]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	3,5	0,0	0,0	0,0	2,7
Windrichtungsabhängige Verteilung	[%]	4,1	1,5	1,1	1,6	3,8	8,2	12,5	16,7	15,1	11,4	12,4	100,0
Ausnutzungsgrad	[%]	35,9	33,9	31,7	30,2	35,7	37,0	30,7	35,6	36,6	36,5	36,8	35,4
Betriebsdauer je Sektor	[Stunden/Jahr]	483	270	292	482	468	536	844	1.096	1.425	1.069	884	8.642
Äquivalente Volllaststunden	[Stunden/Jahr]	46	17	13	17	42	91	114	177	167	125	136	1.073
A-Parameter*)	[m/s]	5,2	4,6	4,1	4,0	5,1	6,3	6,3	6,3	5,6	5,6	6,1	5,7
Mittlere Windgeschwindigkeit*)	[m/s]	4,6	4,1	3,7	3,5	4,6	5,6	5,6	5,6	5,0	4,9	5,4	5,0
k-Parameter		2,47	2,52	2,46	2,54	2,54	2,72	2,76	2,68	2,62	2,58	2,63	2,49
Häufigkeit	[%]	5,6	3,1	3,4	5,6	5,4	6,2	9,8	12,7	16,5	12,4	10,2	9,2
Leistungsdichte	[W/m ²]												121

*) Einfluss einer Parkabschattung und eines regionalen Korrekturfaktors NICHT eingeschlossen.



WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emd.dk

WindPRO version 2.3.0.216 Apr 2003

Projekt:
Sauerland WindSim Test

Plambeck Norderland AG
Peter-Henlein-Str. 2-4
27472 Cuxhaven

Ausdruck/Seite
09.03.2004 19:35 / 2

Lizenzierter Anwender:
AL-PRO
Dorfstraße 100
DE-26532 Großheide
+49 (0) 4936 6986-0

Berechnet:
09.03.2004 19:12/2.3.0.216

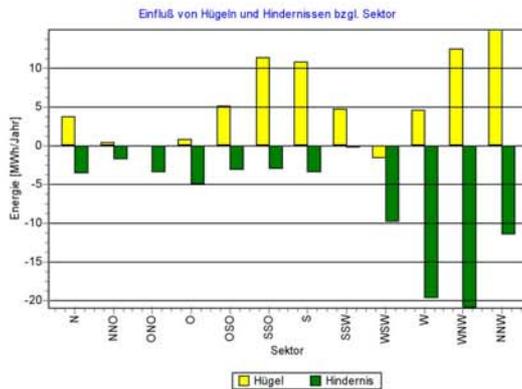
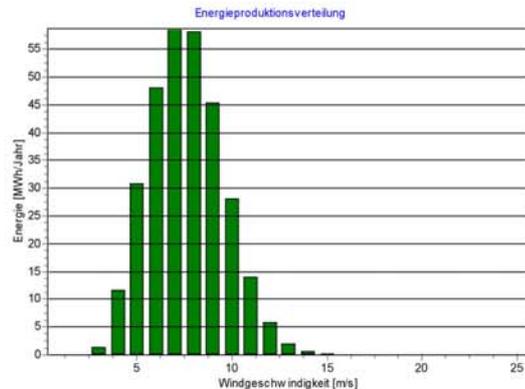
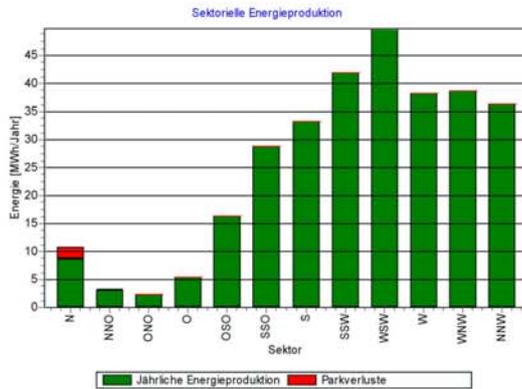
PARK - Produktionsanalyse

Berechnung: Analyse Schmallenberg, WasP mit KA **WEA:** 2 - SÜDWIND S.31 270-60 31.4 IOI, Nabenhöhe: 41,7 m, Luftdichte: 1,184 kg/m³

Windrichtungsabhängige Analyse

Sektor	0 N	1 NNO	2 ONO	3 O	4 OSO	5 SSO	6 S	7 SSW	8 WSW	9 W	10 WNW	11 NNW	Gesamt
Rauhigkeitsabhängige Energie [MWh]	10,5	4,6	6,0	9,3	14,4	20,5	25,8	37,3	61,2	53,2	47,2	32,8	323,0
-Minderung infolge von Hindernissen [MWh]	3,6	1,8	3,5	4,9	3,1	3,1	3,4	0,2	9,8	19,7	20,9	11,5	85,7
+Zunahme/Abnahme durch Hügel [MWh]	3,8	0,5	-0,1	0,9	5,1	11,4	10,8	4,7	-1,6	4,7	12,4	15,0	67,6
-Minderung infolge von Abschattungsverluste [MWh]	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2
Resultierende Energie [MWh]	8,7	3,0	2,4	5,3	16,4	28,8	33,2	41,8	49,8	38,2	38,7	36,3	302,7
Spezifische Energie [kWh/m ²]													391
Spezifische Energie [kWh/kW]													1.121
Minderung infolge von Hindernissen [%]	34,0	40,1	58,1	52,7	21,7	15,0	13,3	0,6	16,1	37,0	44,3	35,1	26,5
Zunahme/Abnahme durch Hügel [%]	36,2	10,2	-1,9	9,7	35,7	55,5	42,0	12,6	-2,6	8,7	26,4	45,7	20,9
Minderung infolge von Abschattungsverluste [%]	19,5	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
Windrichtungsabhängige Verteilung [%]	3,5	1,0	0,8	1,7	5,4	9,4	10,9	13,7	16,3	12,5	12,7	11,9	100,0
Ausnutzungsgrad [%]	28,7	30,7	29,2	31,1	36,5	36,8	37,1	36,9	36,8	36,6	36,8	36,3	36,2
Betriebsdauer je Sektor [Stunden/Jahr]	455	251	284	488	503	570	809	1.008	1.392	1.140	950	793	8.643
Äquivalente Vollaststunden [Stunden/Jahr]	32	11	9	20	61	107	123	155	184	141	143	134	1.121
A-Parameter*) [m/s]	5,1	4,3	3,8	4,1	5,6	6,6	6,1	6,1	5,8	5,7	6,1	6,3	5,7
Mittlere Windgeschwindigkeit*) [m/s]	4,5	3,8	3,4	3,6	5,0	5,8	5,4	5,4	5,2	5,0	5,4	5,5	5,1
k-Parameter	2,47	2,53	2,46	2,54	2,53	2,74	2,76	2,69	2,62	2,58	2,62	2,47	2,47
Häufigkeit [%]	5,3	2,9	3,3	5,6	5,8	6,6	9,4	11,7	16,1	13,2	11,0	9,2	100,0
Leistungsdichte [W/m ²]													123

*) Einfluss einer Parkabschattung und eines regionalen Korrekturfaktors NICHT eingeschlossen.



WindPRO ist entwickelt von Energi- og Miljødata, Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg Ø, Tlf. +45 96 35 44 44, Fax +45 96 35 44 46, e-mail: windpro@emd.dk

8 Anhang D, Lageplan

9 Anhang E, Windkarte 100m über Grund

