



WindSim Test Report

Test Case:

Thüringer Becken

By

AL-PRO

Dipl. Inf. Carsten Albrecht, Maike Klesitz

Dorfstraße 100

26532 Großheide/Ostermoordorf

German WindSim Test Group

October 2004

Abstract

Für die Fallstudie wurden die Windmessungen Erfurt, die sich am Südrand des Thüringer Beckens befindet sowie die Windmessung Hötzelsroda, die im Westlichen Vorland des Thüringer Waldes liegt verwendet. Weiterhin wurden Ertragsdaten von Windenergieanlagen bei Hötzelsroda sowie dem etwa 3 km nordwestlich von Hötzelsroda gelegenen Standort Neukirchen verwendet. Ziel der Studie war es, mit der Windmessung Erfurt, die Windmessung Hötzelsroda sowie die Erträge der Anlage in Hötzelsroda und die Erträge der Anlagen in Neukirchen zu reproduzieren.

WindSim führt bei der Reproduktion der Winddaten zu leichten, bei der Ermittlung der erzielten Erträge zu entscheidenden Verbesserungen gegenüber WAsP.

Description

Category

Es wurden die Problemgruppen A5 und A4 komplexes Gelände und Messungen sowie Anlagen, sowie die Problemgruppe B2, Transfer von regionalen zu standortspezifischen Winddaten und umgekehrt behandelt.

Concept

Die durch die Windmessung in Hötzelsroda ermittelten Windverhältnisse sowie die sich daraus ergebenden Erträge von Windenergieanlagen an den Standorten Hötzelsroda und Neukirchen sollen mit WindSim Modellrechnungen aus den Daten der etwa 45 km östlich gelegene Windmessung Erfurt für den selben Beobachtungszeitraum reproduziert werden.

Die Aufbereitung der Station Erfurt und Verwendung als Windstatistik mit WAsP führt zu einer Unterschätzung der regionalen Windverhältnisse im Bereich Hötzelsroda.

Es soll nun geklärt werden, ob WindSim hier zu einer Verbesserung führt.

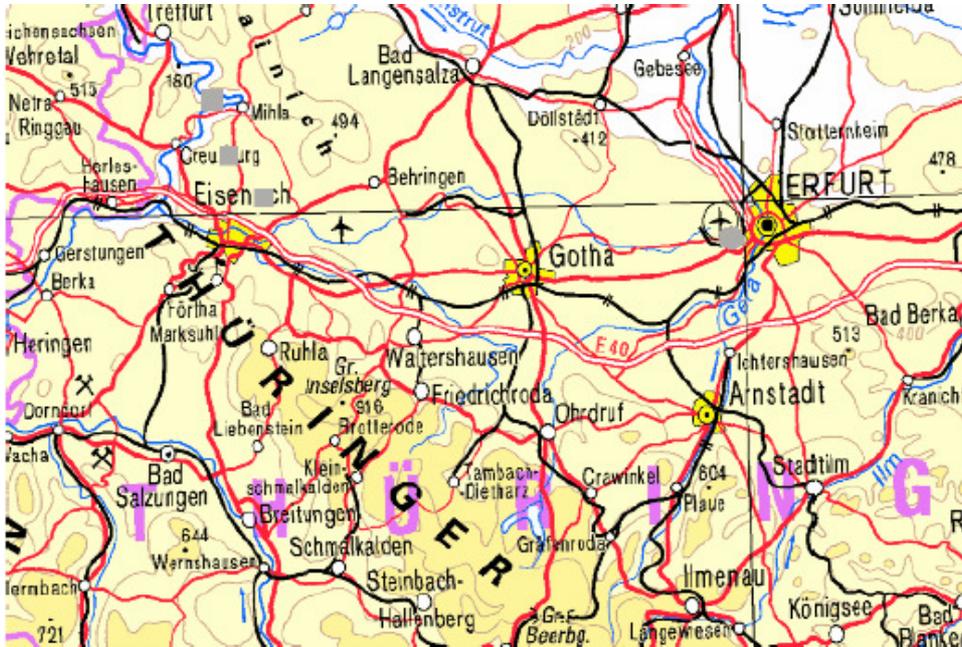
Site

Die Windmessstation Erfurt befindet sich im Nordteil des Flughafens Erfurt und liegt orographisch leicht exponiert in der Nähe der Kuppe des Rosenberges (320m ü. NN) in einer Höhe von 315m ü. NN. Das Gelände fällt nach Osten zum Tal der Gera bis auf 180m ü. NN ab, nach Norden ist eine generelle Abdachung der Landschaft mit Höhenlagen von ebenfalls unter 200m ü. NN zu beobachten.

Der Nahbereich des Standortes ist durch sehr geringe Rauigkeiten, verursacht durch das Flughafengelände geprägt. Alle Himmelsrichtungen weisen mehrfach Rauigkeitswechsel auf, die durch den Wechsel von offenerem Wiesen- und Weideland mit von Waldstücken dominierten Arealen hervorgerufen werden.

Die Windmessung und der Standort Hötzelsroda befinden sich im westlichen Vorland des Thüringer Beckens, im Bereich des Überganges zum Hessischen Bergland. Das Gelände ist orographisch durch die von Süd nach Nord verlaufende Abdachung des Thüringer Waldes geprägt, entsprechend ist das Gelände durch von Süd nach Nord verlaufende Wasserläufe und zwischenliegenden Höhenzügen gekennzeichnet. Hier ist vor allem das westlich des Standorts verlaufende Werratal zu nennen (Talsohle 200m.ü.NN). Der Standort befindet sich östlich eines der geschilderten Höhenzüge, der im Schafberg eine Höhe von 323m.ü.NN erreicht. Die Höhenlage beträgt etwa 290m.ü.NN.

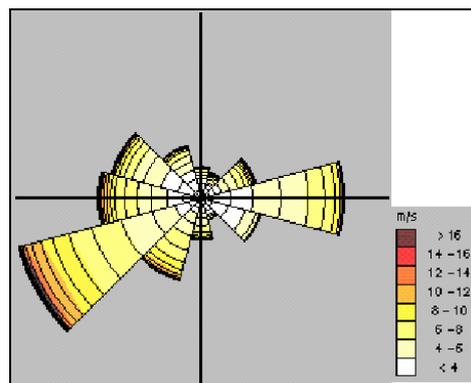
Die Landschaft ist durch den vielfachen Wechsel von landwirtschaftlich genutzten Arealen sowie größeren und kleineren Waldflächen geprägt. Generell dominieren im nördlichen Halbsektor größere landwirtschaftlich genutzte Flächen. Im Süden finden sich mit dem Übergang in den westlichen Anstieg des Thüringer Waldes größere Waldflächen.



Topographische Übersichtskarte

Data

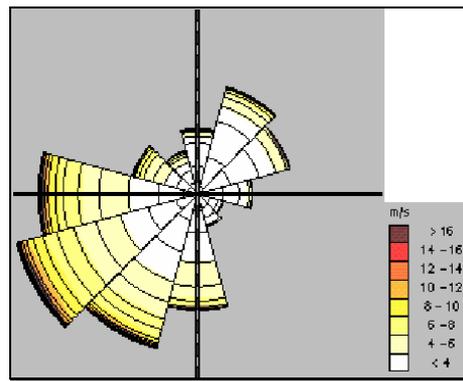
Bei der Windmessung Hötzelsroda handelt es sich um eine kundenseitig durchgeführte Messung über den Zeitraum 12.06.2002 bis 02.07.2003, es wurden Windrichtung und Windgeschwindigkeit in 55m Höhe sowie Windgeschwindigkeit in 30m Höhe gemessen. Aufgrund von Meßausfällen waren nur die Daten für die Monate Juli bis November 2002, Januar und Februar sowie Mai und Juni 2003 verwendbar.



Windrose Hötzelsroda

Es ist in dem betreffenden Zeitraum ein deutliches Maximum sowohl die Häufigkeiten als auch die Windgeschwindigkeiten betreffend in den Sektoren Ost sowie Westsüdwest zu beobachten.

Die entsprechenden Monate wurden auch für die vom deutschen Wetterdienst durchgeführte Windmessung Erfurt (Messhöhe 10 m), die als monatliche tabellarische Häufigkeitsverteilung vorlag, und für die Erträge der Anlagen in Hötzelsroda und Neukirchen verwendet.



Windrose Erfurt 10m

Die Hauptwindrichtungen sind hier die Sektoren von Südsüdwest bis West sowie Nordnordost und Ostnordost.

Deutlich ist die Verschiebung insbesondere der Hauptwindrichtung Nordost (Erfurt) in den Sektor Ost (Hötzelsroda) zu beobachten.

Standorte der Windmessungen Erfurt und Hötzelsroda:

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	Messhöhe	Beginn Messzeitraum	Verwendeter Messzeitraum
Windmessung Erfurt	4.427.248	5.650.206	10m	Januar 96	01.07.2002 bis 30.11.2002, 01.01..2003 bis 28.02.2003 sowie 01.05..2003 bis 30.06.2003
Windmessung Hötzelsroda	4.386.065	5.653.810	55m	12.06.2002	01.07.2002 bis 30.11.2002, 01.01..2003 bis 28.02.2003 sowie 01.05.2003 bis 30.06.2003

Koordinaten Gauß-Krüger (Bessel),. Zone 4

Bei den betrachteten Windenergieanlagen handelt es sich um die Typen ENERCON E-40 6.44 (Hötzelsroda) sowie ENERCON E-40 5.40 (Neukirchen), jeweils mit 65 m Nabenhöhe. Erträge und Verfügbarkeiten liegen monatlich vor:

Bezeichnung	Typ	Nennleistung in kW	Nabenhöhe in m	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN in m
44343	ENERCON E-40/6.44	600	65	4.385.933	5.653.598	300
41198	ENERCON E-40/5.40	500	65	4.383.063	5.657.410	365
41199	ENERCON E-40/5.40	500	65	4.383.223	5.657.087	359
41200	ENERCON E-40/5.40	500	65	4.382.692	5.657.501	364
41201	ENERCON E-40/5.40	500	65	4.382.649	5.657.134	352
41202	ENERCON E-40/5.40	500	65	4.383.394	5.657.603	361

Koordinaten Gauß-Krüger (Bessel), Zone 4

WindSim settings

General concept

Es wurde für den Standort Erfurt ein dreistufiges, für den Standort Hötzelsroda aufgrund der größeren Berechnungshöhen ein zweistufiges Modellierungsverfahren gewählt. Zunächst wurden die Windverhältnisse für ein Makromodell mit folgenden Parametern ermittelt:

Thüringer Becken 250m

x-min	x-max	y-min	y-max	Rasterweite x-y	Rasterpunkte z	Modellhöhe
4.362.000	4.449.250	5.613.000	5.672.000	250m	25	2500m

Koordinaten Gauss-Krüger, Bessel, Zone 4

Das Modell hat somit eine Ausdehnung von 87,25 km in Ost-West und 59 km in Nord-Süd Richtung. Somit werden auch entfernte, aber die Strömungsverhältnisse gerade in größerer Höhe beeinflussende Strukturen erfasst. Die resultierende Modellgröße erreicht die Grenze des mit der derzeit verfügbaren Rechnerkapazität Beherrschbaren.

In dieses Modell wurden für den Standort Erfurt in einem weiteren Schritt zwei verfeinerte Micromodelle mit den folgenden Parametern eingesetzt:

Erfurt 50m

x-min	x-max	y-min	y-max	Rasterweite x-y	Rasterpunkte z	Modellhöhe
4.419.248	4.435.198	5.642.206	5.658.156	50m	25	1500

Koordinaten Gauss-Krüger, Bessel, Zone 4

Erfurt 20m

x-min	x-max	y-min	y-max	Rasterweite x-y	Rasterpunkte z	Modellhöhe
4.424.048	4.430.428	5.647.006	5.653.406	20m	22	1500

Koordinaten Gauss-Krüger, Bessel, Zone 4

Die Modelle haben eine Ausdehnung von 16 km in Ost-West und 16 km in Nord-Süd Richtung (Erfurt 50m) sowie 6,4 km in Ost-West und 6,4 km in Nord-Süd Richtung (Erfurt 20m).

Für den Standort Hötzelsroda wurde in das Makromodell ein verfeinertes Untermodell mit den folgenden Parametern eingesetzt:

Hötzelsroda 50m

x-min	x-max	y-min	y-max	Rasterweite x-y	Rasterpunkte z	Modellhöhe
4.374.039	4.391.189	5.645.316	5.662.116	50m	24	1500

Koordinaten Gauss-Krüger, Bessel, Zone 4

Dieses Modell hat eine Abmessungen von 17,2 km in Ost-West und 16,8 km in Nord Süd Richtung.

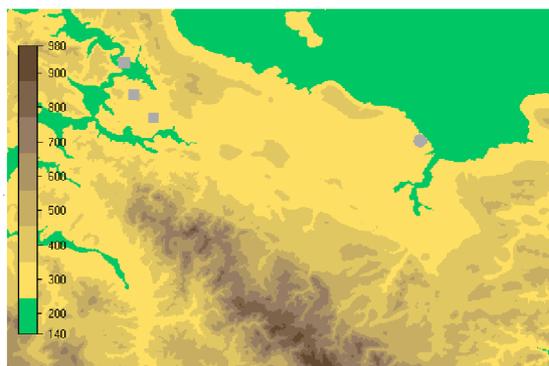


Fig 1. Digital terrain model with objects: ● Climatology station ■ Transferred climatology station

Makromodell Thüringer Becken 250m

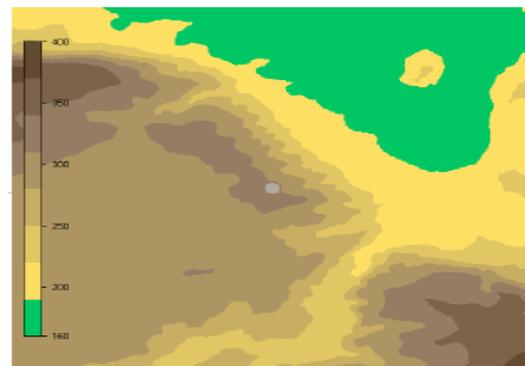


Fig 1. Digital terrain model with objects: ● Climatology station ■ Transferred climatology station

Micromodell Erfurt 50m

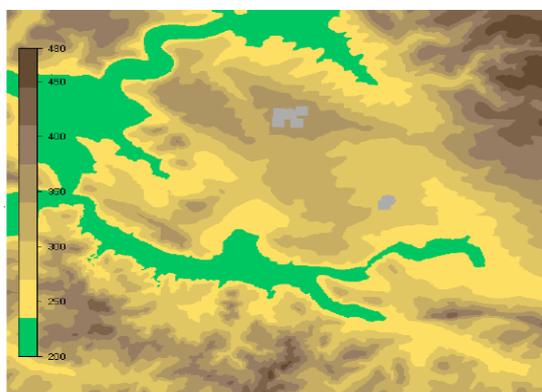


Fig 1. Digital terrain model with objects: ● Climatology station ■ Transferred climatology station

Micromodell Hötzelsroda 50m

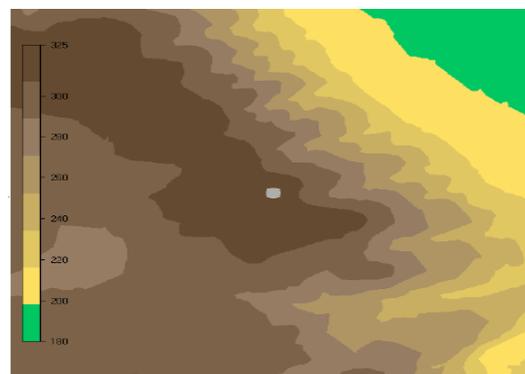


Fig 1. Digital terrain model with objects: ● Climatology station ■ Transferred climatology station

Micromodell Erfurt 20m

Die Eingangsdaten für alle Modelle wurden mit Hilfe der WindSim Schnittstelle der Software WindPRO erzeugt, es traten verschiedentlich Probleme mit den von

WindPRO erzeugten Koordinaten auf, insbesondere wurden Koordinaten mit Dezimalstellen erzeugt, was bei WindSim zu Problemen führt. Die erzeugten .gws Dateien wurden manuell korrigiert.

Negativ ist die lange Laufzeit der Schnittstelle bei der Erzeugung der Eingangsdaten anzumerken (teilweise >1h).

Model(s)

Die Abmessungen der Modelle wurden bereits im vorherigen Abschnitt erläutert. Für alle Modelle gilt ein Height Distribution Factor von 0,1, eine Grenzschichthöhe von 500m, eine Windgeschwindigkeit von 10 m/s oberhalb der Grenzschicht, eine Anzahl von 300 Iterationsschritten sowie eine Höhe von 400m für die Reduced Wind Database.

Proceeding

Die Berechnungen wurden auf einem Dualprozessorsystem mit zwei P4-2,8 GHz Prozessoren und einer Speicherkapazität von 4 GB RAM durchgeführt. Die Berechnungszeiten lagen pro Modell zwischen 2 und 3 Tagen. Konvergenzprobleme traten nicht auf.

WindSim (and other) results

Getting results

Die Windmessung Erfurt wurde mit Hilfe des Micromodells Erfurt 20m von 10m auf 30m umgerechnet. Im Micromodell Erfurt 50m wurde sie dann von 30m auf 100m gerechnet. Im Makromodell Thüringer Becken wurde die Windmessung dann im Höhengniveau 100m in die Bereiche Hötzelsroda und Neukirchen geschoben und im verfeinerten Micromodell Hötzelsroda 50m in die entsprechenden Höhen und auf die Standorte der Windmessung Hötzelsroda sowie der Anlagen in Hötzelsroda und Neukirchen zurückgerechnet.

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	Berechnungshöhe
Hötzelsroda	4.386.065	5.653.810	100m
Neukirchen	4.383.027	5.657.469	100m

Koordinaten Gauss-Krüger, Bessel, Zone 4

Alle Umrechnungen wurden mit dem TransClim Objekt von WindSim durchgeführt, die weiteren Berechnungen wurden mit WindPRO vorgenommen. Aufgrund von Fehlfunktionen des Postprocessing der WindSim Schnittstelle von WindPRO wurde die Rückübertragung manuell vorgenommen.

Da WindSim derzeit nicht über die Möglichkeit verfügt, Windhindernisse in Standortnähe zu modellieren, wurden die relativen Hindernisseinflüsse einer ebenfalls durchgeführten WASP-Berechnung mit den auf der Basis der durch WindSim ermittelten Windverhältnisse errechneten Erträge verrechnet.

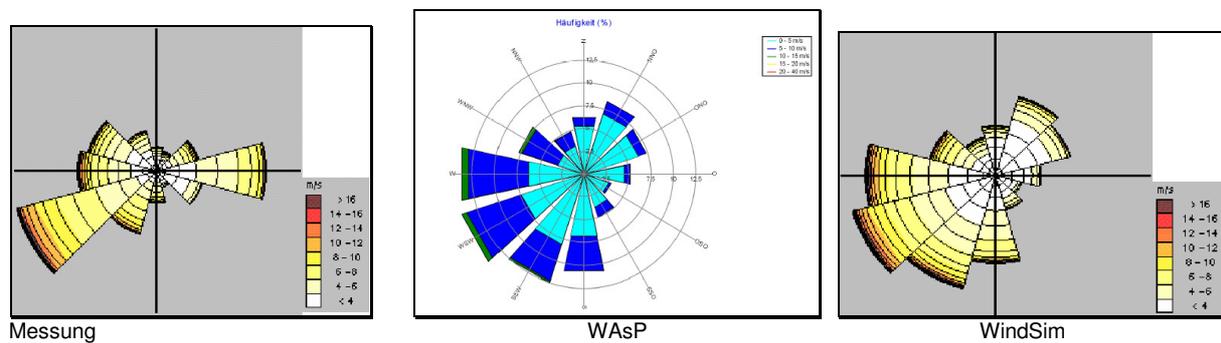
Comparison

Es wurden zunächst die Resultate der Berechnung für die Windmessung Hötzelsroda miteinander und mit den tatsächlichen Messwerten verglichen. Für die mittleren Windgeschwindigkeiten ergibt sich hierbei folgendes Bild:

Mittlere WG gemessen	Mittlere WG WindSim	Mittlere WG WAsP	Abweichung WindSim	Abweichung WAsP
4,7 m/s	4,5 m/s	4,4 m/s	-5,3%	-6,8%

Beide Berechnungsmodelle unterschätzen die tatsächlich gemessenen Windverhältnisse leicht, wobei das WindSim Resultat die tatsächlichen Werte etwas besser wiedergibt.

Für die Windrichtungsverteilung ergibt sich das folgende Bild:

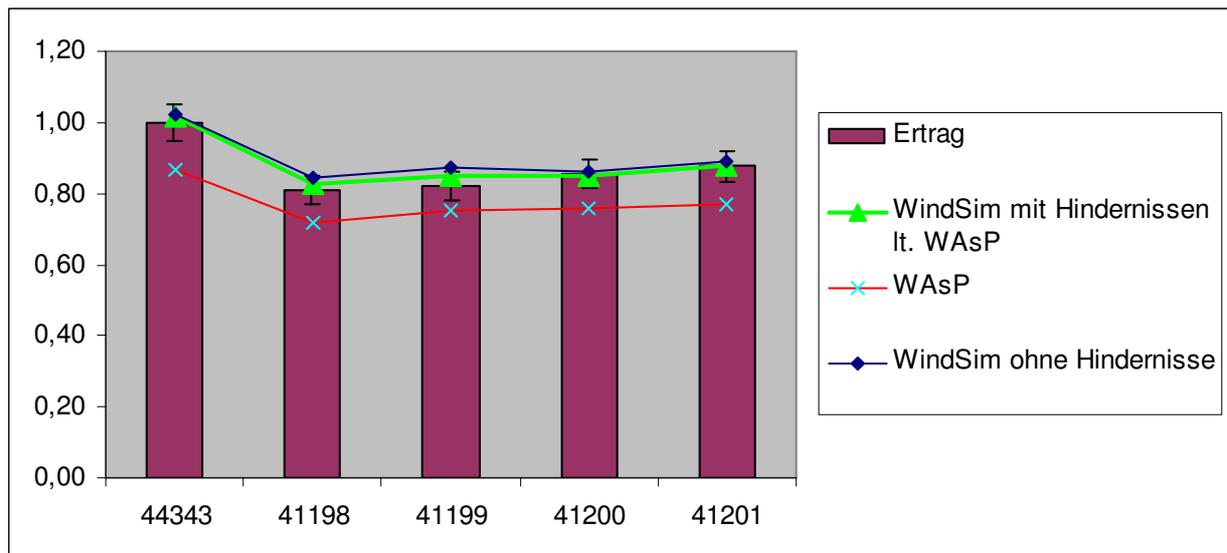


Die Wiedergabe der tatsächlichen Verhältnisse durch beide Berechnungsmodelle ist enttäuschend, weder WAsP noch WindSim sind in der Lage, die auftretenden Windverdrehungen wiederzugeben.

Bezüglich WindSim könnte eine Erklärung hierfür darin bestehen, dass die beobachtete Verdrehung weniger auf orographische Effekte als auf die Coriolis-Kraft (Umrechnung von 10 m auf 55 m mit deutlich höheren Windgeschwindigkeiten) zurückzuführen sein dürfte. Die Corioliskraft wird derzeit von WindSim nicht berücksichtigt. Es ist jedoch ebenfalls denkbar, dass die Übertragung von Informationen durch das mehrfach verwendete Nesting nicht korrekt und vollständig ist, entsprechende Probleme wurden bei früheren Berechnungen bereits mehrfach beobachtet.

Für die Erträge der betrachteten Windenergieanlagen ergibt sich folgendes Bild:

Standort	Anlage	Hinderniseinfluss lt. WAsP	Gütefaktor WindSim	Gütefaktor WAsP
Hötzelsroda	44343	0,6%	98%	115%
Neukirchen	41198	2,4%	98%	113%
Neukirchen	41199	2,2%	96%	109%
Neukirchen	41200	1,3%	101%	113%
Neukirchen	41201	1,4%	100%	114%
Neukirchen	41202	2,7%	96%	111%



Da die Ertragswerte vertraulich sind, werden nur die relativen Ergebnisse dargestellt, im Diagramm sind die Ergebnisse auf den tatsächlichen in Hötzelsroda erzielten Ertrag normiert.

Hier zeigt sich eine entscheidende Verbesserung der Ergebnisse bei Verwendung von WindSim. Während es mit WAsP zu teilweise erheblichen Unterschätzungen kommt, können die tatsächlichen Erträge auf Basis der durch WindSim ermittelten Windverhältnisse nahezu exakt wiedergegeben werden.

Summary

Evaluation of the project results

Die Berechnungen unter Verwendung von WindSim stellten, insbesondere die errechneten Erträge der untersuchten Windenergieanlagen betreffend, eine deutliche Verbesserung gegenüber der vergleichend durchgeführten WAsP Berechnung dar.

Auftretende Abweichungen sind vermutlich auf nicht implementierte Funktionen innerhalb von WindSim zurückzuführen, hier sind insbesondere die fehlende Corioliskraft und die fehlende Möglichkeit zur Modellierung von Windhindernissen zu nennen, auch die Berücksichtigung von Temperaturprofilen dürfte nochmals zu einer Verbesserung führen.

Es wird insbesondere deutlich, dass WindSim das Strömungsfeld im Bereich der orographisch komplexen Situation im Standortbereich Hötzelsroda/Neukirchen deutlich realistischer wiedergibt als WAsP.

Evaluation of personal experience

WindSim stellte in diesem Testfall, wie auch in weiteren durch AL-PRO durchgeführten Teststudien, eine deutliche Verbesserung gegenüber den bisher meist eingesetzten Methoden dar. Es besteht aber dennoch, insbesondere die Anwenderfreundlichkeit betreffend, erhebliches Verbesserungspotenzial.

Hier sind sowohl ärgerliche Fehlfunktionen der WindSim Oberfläche, als auch insbesondere das unzureichende Zusammenspiel mit der WindSim Schnittstelle von WindPRO zu nennen. Insbesondere die mangelhafte Funktionalität des Post-Processing dieser Schnittstelle führt zu einem unverhältnismäßig hohen Mehraufwand gegenüber einer WAsP Berechnung.

Der zeitliche Aufwand von WindSim Berechnungen ist ebenfalls erheblich und mit WAsP nicht zu vergleichen, dies ist jedoch prinzipieller Natur und kann angesichts der deutlich erhöhten Genauigkeit der Ergebnisse in Kauf genommen werden.

Der Einsatz von WindSim setzt ein tiefes Verständnis der Strömungsverhältnisse im Bereich der unteren atmosphärischen Grenzschicht ebenso voraus, wie einen (zur Zeit noch im Aufbau befindlichen) Erfahrungsschatz im Umgang mit dem Modell und den Modellparametern. Eine leistungsfähige Hardware zur Simulation größerer Strömungsmodelle ist zum Erreichen akzeptabler Berechnungszeiten ebenso unabdingbar. Unter diesen Voraussetzungen stellt WindSim eine erhebliche Verbesserung der Berechnungsmöglichkeiten regionaler Windfelder gegenüber WAsP, insbesondere in orographisch komplexen Geländesituationen dar.