



Bundesamt für Energie  
Office fédéral de l'énergie  
Ufficio federale dell'energia  
Swiss Federal Office of Energy

---

Programm P+D Wind

# Vorstudie über die Durchführbarkeit eines Windenergieprojektes "Linthebene", (Kanton Glarus)

ausgearbeitet durch  
**Dipl.-Phys. Rosemarie Rübsamen**  
**Planungsbüro für Windenergie**  
**Brödermannsallee 11, D-25469 Halstenbek**

in Zusammenarbeit mit  
**Windcraft AG**  
**Rämistrasse 5, 8001 Zürich**

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

Dezember 1999

Schlussbericht

## **Zusammenfassung**

Die Linthebene im Kanton Glarus könnte sich möglicherweise als Standort für ein Windkraftprojekt eignen, obwohl sich die Lage des Standorts in einer Talebene im alpinen Hochgebirge befindet.

Zur Bewertung des Windenergiepotentials von Standorten im Gebirge sind Messungen unerlässlich. Computermodelle wie das allgemein angewendete WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) bieten keine befriedigende Genauigkeit bei der Übertragung von Daten zwischen Meßorten und geplanten Windkraftstandorten, so wie dies im flachen Gelände möglich ist.

Jedoch ist es sehr selten, daß Messungen wirklich auf der richtigen Nabenhöhe einer geplanten Windkraftanlage stattfinden, so daß hier doch Computermodelle zum Einsatz kommen müssen.

Einem günstigen Zufall ist es zu verdanken, daß es bereits eine einjährige Windmessung auf der Höhe von 22 m über Grund aus den Jahren 1989/90 am Standort Ziegelbrücke in der Linthebene gibt. Das Meßinstitut hat die Rohdaten zur Verfügung gestellt; sie wurden mit WasP ausgewertet, geringfügig vom Ort weiter übertragen und auf mögliche Nabenhöhen von Windkraftanlagen umgerechnet.

Als Ergebnis zeigt sich, daß ein Windkraftprojekt nicht ausgeschlossen scheint. Auf einer Nabenhöhe von 50 m sind größenordnungsmäßig 1500 Vollaststunden und auf einer Nabenhöhe von 65-68 m 1800 Vollaststunden einer Windkraftanlage denkbar.

Eine Messung in größerer Höhe über Grund am genau bestimmten Standort ist jedoch zur Absicherung nötig.

### **Abstract**

In the Swiss canton of Glarus a possible site for the utilization of wind energy is located in the plain valley „Linthebene“.

In order to evaluate the wind energy potential in alpine regions it is necessary to take measurements very near the planned site. Computer programs like the Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) do not generally yield satisfactory results.

But still computer programs like WAsP are indispensable even in order to transfer measured data from the height above ground level where the measurement equipment is installed to the possible hub height of a planned wind turbine.

Fortunately there exist measured wind data from a one year period 1989/90 at 22 m height above ground level that were taken at a location near Ziegelbrücke in the „Linthebene“. The raw data were provided by the measuring office. Now they have been evaluated with the help of WAsP, transferred a little distance away from the measuring site and up to possible hub heights of wind turbines.

According to the results, the realisation of a wind power project seems possible in the „Linthebene“. At a hub height of 50 m a power production of 1500 hours of rated power per year, and at a hub height of 65 to 68 m a power production of 1800 hours of rated power per year could be obtained.

In order to get more certainty about the performance of a wind turbine, a new measurement at a more elevated height above ground level and at the exactly determined place is recommended.



## Résumé

La plaine „Linthebene“ située dans le canton de Glarus pourrait être appropriée pour l'utilisation de l'énergie du vent.

Dans beaucoup de cas, on peut calculer le contenu d'énergie du vent à l'aide de programmes comme le WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program), mais dans les Alpes cela ne va pas fonctionner à cause de l'orographie extrême. Là, il est nécessaire de mesurer le vent.

Mais parce que les mesurages du vent dans la plupart des cas ne sont exécutés à la propre altitude où la turbine va travailler plus tard, il est quand même nécessaire de faire des calculations.

Heureusement il y a des dates mesurées de la période d'une année 1989/90 d'une place dans la plaine „Linthebene“ pas loin de Ziegelbrücke, à l'altitude de 22 m au-dessus du sol. L'institut qui a mesuré les dates les a mis à la disposition. Ils ont été évalués à l'aide de WAsP et transférés une petite distance loin de la place de mesurage.

Le résultat montre que la réalisation d'un projet d'énergie du vent pourrait être possible. A l'altitude de 50 m au-dessus du sol on pourrait obtenir une production d'énergie qui correspond par année à 1500 heures de production d'une turbine avec toute puissance du générateur; à l'altitude de 65 - 68 m on pourrait obtenir 1800 heures par année.

Pour se réassurer du contenu d'énergie du vent, il est recommandé de mesurer le vent à la propre altitude au-dessus du sol et à la propre place où on va positionner la turbine plus tard.



**Vorstudie über die  
Durchführbarkeit eines Windenergieprojektes  
am Standort  
"Linthebene"  
(Kanton Glarus)**

|                           |
|---------------------------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> |
|---------------------------|

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Ausgangslage und Ziel der Arbeit .....</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2. Lösungsweg für eine vorläufige Begutachtung:<br/>Einschätzung des Windenergiepotentials am Standort Linthebene<br/>mit der Hilfe von WAsP auf der Basis bestehender Windmeßdaten</b> |           |
| 2. 1. Das Problem .....  | 8         |
| 2. 2. Die Windatlas-Methode .....  | 8         |
| 2. 3. Windkraft-Standortanalysen .....   | 9         |
| 2. 4. Die Merkmale eines Windkraftanlagen-Standortes .....   | 10        |
| 2. 5. Die Wahl der geeigneten Referenz-Wetterstation .....   | 10        |
| 2. 6. Das Ergebnis einer Standortanalyse .....   | 11        |
| Abb 1: Das Windatlas-Modell .....  | 12        |
| Abb 2: Die Einschätzung der Geländerauhigkeit .....  | 13        |
| Abb 3: Der geostrophische Wind über Nordwesteuropa .....   | 14        |
| Abb 4: Die Windstatistik .....   | 15        |
| 2. 7. Die Ermittlung der Jahreserträge von Windkraftanlagen .....  | 16        |
| <b>3. Der Standort Linthebene:<br/>Die Einschätzung der Topographie der Standortumgebung .....</b>   | <b>17</b> |
| Abb 5: Die Umgebungsrauhigkeit .....   | 18        |
| Abb 6: Höhenlinien .....   | 19        |
| <b>4. Der Standort Linthebene:<br/>Die Wahl der Referenz-Wetterstation .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>5. Ergebnisse</b>   |           |
| 5. 1. Windenergiepotential am Standort Linthebene .....  | 21        |
| 5. 2. Grobe Abschätzung der Jahreserträge von Windkraftanlagen .....   | 21        |
| <b>6. Diskussion der Ergebnisse, offene Probleme und Empfehlungen .</b>  | <b>22</b> |
| <b>7. Literaturverzeichnis .....</b>   | <b>24</b> |
| <b>8. Anhang A: Windstatistiken (tab-Dateien) .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>9. Anhang B: WAsP-Ausdrucke .....</b>   | <b>27</b> |

## 1. Ausgangslage und Ziel der Arbeit

Von verschiedenen Seiten ist in der Vergangenheit die Frage bewegt worden, ob sich in der Linthebene ein Windenergieprojekt lohnen könnte. Vermutungen in dieser Richtung wurden zweifellos daher gespeist, daß es einerseits alltägliche Beobachtungen eines merklichen Windvorkommens gibt, andererseits aber auch zu Zwecken der Immissionsbegutachtung bereits einige Windmessungen durchgeführt wurden.

Generell ist zu bemerken, daß der in Frage stehende Standort in der Linthebene in Hinblick auf die Nutzung der Windenergie außerordentlich diffizil ist. Die Linthebene befindet sich auf einer Höhe von ca. 420 m ü. NN, während sie in allen Richtungen umgeben ist von Gebirgen der Höhe von 2000 m ü. NN oder mehr. Die Windverhältnisse werden also nicht, wie bei den gängigen Standorten, durch die globalen Wetterdaten des jeweiligen Großraumes bestimmt, sondern durch erhebliche Kanalisierungseffekte in den drei umgebenden Tälern Linthebene (Richtung Nordwest), Walensee (Richtung Osten) und Glarner Land (nach Süden).

Ohne Windmessungen am Ort gibt es keine realistische Möglichkeit, die Windverhältnisse einzuschätzen, wie es sonst oft, bei Standorten in der Ebene oder im mäßig hügeligen Gelände, mit Hilfe des allgemein anerkannten Computerprogrammes WASP der Fall ist. Das Programm WasP bedient sich im Standardfalle der Winddaten einer in der Umgebung gelegenen Wetterstation; die Wetterstation ist dabei meistens eine Langzeit-Meßstation des Wetterdienstes und kann durchaus 50 km oder mehr vom geplanten Windkraftstandort entfernt liegen. Diese Möglichkeit ist in dieser Hochgebirgs-Umgebung undenkbar. Da es aber schon einige Windmeßdaten aus der näheren Umgebung gibt, liegt es nahe, diese als ersten Anhaltspunkt heranzuziehen, auch wenn Winddaten zur Immissionsbegutachtung im allgemeinen nicht für Zwecke der Windenergienutzung gewonnen wurden und deshalb nicht primär dafür geeignet sind.

Es ist daher sehr zu begrüßen, daß auf Initiative des Kantons Glarus Fördermittel zur Verfügung gestellt wurden, um in einer Vorstudie die vorliegenden Meßdaten zu bewerten und eine grobe Abklärung herbeizuführen, ob sich weiterer Aufwand zur genaueren Einschätzung des Standortes voraussichtlich lohnen würde. Empfehlungen zum weiteren Vorgehen sind weiterhin Ziel der vorliegenden Arbeit.

Zu erwähnen bleibt noch, daß in dem Bericht „Planung von Windenergieanlagen - Leitfaden für die Schweiz, Bausteine einer Windenergie-Strategie“ Standortvorschläge für den Kanton Glarus veröffentlicht sind /1/. Diese liegen jedoch alle im Hochgebirge und werden möglicherweise auf Schwierigkeiten aus der Sicht des Naturschutzes und auch des Betriebes (Vereisung im Winter etc.) stoßen, auch wenn sie nicht generell abzulehnen sind. **Die Untersuchung eines zwar sehr ungewöhnlichen, aber vielleicht realisierbaren Standortes für Windenergie in der Linthebene ist deshalb lohnenswert. Dies insbesondere deshalb, weil die Technik der Windkraftanlagen in den letzten 10 Jahren so große Fortschritte gemacht hat, daß zunehmend Standorte auch mit geringerem Windaufkommen die Wirtschaftlichkeit erreichen.**

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich die Autorin dieses Berichtes verantwortlich.



Wie schon ausgeführt, ist die sonst übliche Verwendung von Langzeit-Meßdaten der nächstgelegenen Station des Wetterdienstes hier nicht möglich. Da aber von 3 Standorten, nämlich Ziegelbrücke, Netstal und Obstock/Mollis, Meßdaten zur Verfügung stehen, ist es schon vertretbar, mithilfe des Programmes WAsP eine vorläufige Einschätzung auszuarbeiten, die sich naturgemäß ausschließlich auf den Nahbereich beziehen darf. Wie sich zeigt, sind allein die Meßdaten von Ziegelbrücke nah genug an einem möglichen Windkraftstandort, um Berücksichtigung finden zu können.

Es wird das Windenergiepotential am Standort Linthebene auf der Basis der Meßdaten von Ziegelbrücke ermittelt, das bedeutet die Windverteilung im Mittel der Meßperiode nach Richtungen und Windgeschwindigkeiten für die Höhe von 30 m, 50 m, 60 m und 70 m über Grund. Eine grobe Einschätzung der möglichen Stromerträge verschiedener Windkraftanlagen schließt sich an.

Zur Begutachtung der Windverhältnisse wird in dieser Studie mit dem allgemein anerkannten Computerprogramm WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) gearbeitet, das vom dänischen Forschungszentrum Risoe entwickelt wurde. Dieses beruht im Routinefall auf der rechnerischen Übertragung meteorologischer Langzeitdaten einer geeigneten Wetterstation auf den untersuchten Standort; in diesem Falle bezieht sich das Berechnungsergebnis auf das Windvorkommen im langjährigen Mittel.

Es ist aber auch möglich, Rohdaten aus einer Messung vor Ort mithilfe von WAsP auszuwerten und sie auf nahegelegene Standorte und andere Höhen über Grund zu übertragen. In diesem Falle bezieht sich das Berechnungsergebnis nur auf das Windvorkommen während der Meßperiode. Soll eine Begutachtung auf die Langzeitverhältnisse bezogen werden, ist eine statistische Korrelation mit der nächstgelegenen Langzeit-Meßstation erforderlich; aber auch dies stößt im Hochgebirge auf erhebliche Schwierigkeiten.

Wie schon erwähnt, sind die hier ermittelten Ergebnisse vorläufig und können nur dazu dienen, Empfehlungen zum weiteren Vorgehen abzuleiten. Im letzten Abschnitt werden die Empfehlungen dargestellt.

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie  
Abteilung AET  
Monbijoustr. 74  
3003 Bern

**Bearbeitung:**

Planungsbüro für Windenergie  
Dipl.-Phys. Rosemarie Rübsamen  
Brödermannsallee 11  
D-25469 Halstenbek

in Zusammenarbeit mit  
Windcraft AG  
Rämistrasse 8  
8001 Zürich

**Fertigstellung:** 29. 12. 1999



## **2. Lösungsweg für eine vorläufige Begutachtung: Einschätzung des Windenergiepotentials am Standort Linthebene mit der Hilfe von WASP auf der Basis bestehender Windmeßdaten**

(Windkraft-Standortanalyse nach der Europäischen Windatlas-Methode mit dem Computerprogramm WASP = Wind Atlas Analysis and Application Program)

### **2. 1. Das Problem**

Von herausragender Bedeutung für die Realisierung eines Windkraftprojektes ist das Windangebot am geplanten Standort, das heißt die Angabe darüber, in welcher Zeit des Jahres im langjährigen Mittel der Wind mit welcher Geschwindigkeit aus welcher Richtung weht (Windstatistik). Um dieses zu ermitteln, müßte an dem Standort der geplanten Windkraftanlage, möglichst in ihrer Nabenhöhe, gemessen werden, mit welcher Häufigkeit die jeweiligen Windgeschwindigkeiten und -richtungen auftreten. Der Meßzeitraum eines Jahres ist dabei aus ökonomischen und planerischen Gründen meist die längste vertretbare Zeit, aber aufgrund der jährlichen Schwankungen des Windangebots noch viel zu kurz, um eine statistisch abgesicherte Aussage zum Langzeit-Verhalten zu machen.

Andererseits gibt es die jahrzehntelangen Messungen der Windgeschwindigkeit und -richtung und ihrer Häufigkeiten an den meteorologischen Stationen von Forschungsinstituten und Wetterdiensten. Diese Meßperioden erlauben eine gute statistische Absicherung der Daten des Durchschnitts-Windjahres. Da aber die meteorologischen Stationen natürlich nicht an den Standorten geplanter Windkraftanlagen liegen, ist die Frage, ob diese gut abgesicherten Daten rechnerisch auf andere, nicht zu weit entfernte Standorte übertragen werden können.

Allgemein kann das Problem so geschildert werden: Aus unterschiedlichen Gründen können Meßdaten vorliegen, die a) entweder nicht am richtigen Standort, oder selbst wenn dies zutrifft, b) selten in der Nabenhöhe der geplanten Windkraftanlage gewonnen wurden. Es wird also ein Berechnungsverfahren benötigt, um Meßdaten von einem Meßort auf einen Standort in der richtigen Höhe zu übertragen.

### **2. 2. Die Windatlas-Methode**

Unter diesem Begriff wird ein Verfahren verstanden, das es erlaubt, Winddaten irgendwelcher Standorte (der meteorologischen Beobachtungsstationen oder Messungen an einem Windkraftstandort) von ihrer speziellen Standortumgebung (Gelände-Rauhigkeit, Gebirgsformationen, Windhindernisse in der Nähe) zu "reinigen". Das Ergebnis sind die Daten von Wetter- oder Meßstationen, die so aufbereitet sind, als ob die jeweilige Station zwar in der betreffenden Windregion läge, aber als ob sie in ihrer näheren und weiteren Umgebung nur horizontale, freie Fläche aufweisen würde. Mit diesen Daten ist dann eine Übertragung auf andere Standorte (also hier von geplanten Windkraftanlagen) möglich. Genauer gesagt, handelt es sich um ein "Hinaufrechnen" der bereinigten Winddaten auf die Ebene des Höhenwindes über einer Region und ein "Hinunterrechnen" auf einen speziellen Standort. Schematisch ist dieses Verfahren auf einem Bild aus dem Europäischen Windatlas zu erkennen (S. 12). /2/



Die Windatlas-Methode wurde zunächst für Dänemark (Windatlas für Dänemark 1980)/3/ und dann in einem umfangreichen Forschungsprogramm der Europäischen Gemeinschaft zwischen 1980 und 1990 (European Windatlas 1990) ausgearbeitet. Die rechnerische Übertragung von Winddaten zwischen verschiedenen Standorten beruht auf einer Vielzahl von meteorologischen Modellen. Diese wurden für Computer programmiert; die vom dänischen Forschungszentrum Risoe herausgegebene Originalversion ist das WAsP /4/.

Die standortbereinigten langjährigen Meßdaten vieler europäischer Wetterstationen sind als Datensammlung im Europäischen Windatlas enthalten. Weitere Windmeßdaten können mit Hilfe des WAsP auf der Grundlage der Standortauswertung der betreffenden Wetterstation bzw. Meßstelle zu einem "Windatlas-Datensatz" aufbereitet werden.

### 2. 3. Windkraft-Standortanalysen

Das Computerprogramm WAsP erlaubt es also nicht nur, standortspezifische Merkmale aus Windmeßdaten "herauszurechnen", sondern auch, die bereinigten Daten von Wetterstationen mit standortspezifischen Merkmalen anderer Standorte, die natürlich nicht zu weit entfernt liegen dürfen, zu verknüpfen. Das Ergebnis sind die Windstatistiken der jeweiligen Wetterstationen, so modifiziert, als ob die jeweilige Station in einer Umgebung und einer Höhe über Grund läge, die der Situation beispielsweise eines Windkraftanlagen-Standortes entspricht.

In Gebieten, in denen die Windverhältnisse nicht zu kleinräumig variieren und überwiegend durch das regionale Großwindklima bestimmt sind, etwa in der Norddeutschen Tiefebene, in Dänemark oder den britischen Inseln, besitzt die Windatlas-Methode eine befriedigende Genauigkeit. Für das Windenergiepotential ist je nach der Inhomogenität der umgebenden Geländerauhigkeit mit einem Fehler von nicht mehr als  $\pm 15\%$  zu rechnen, für die meisten Situationen etwa in der norddeutschen Tiefebene kann von 5 - 10 % ausgegangen werden.

Die Methode kann dann erheblich ungenauer werden oder sogar ganz versagen, wenn die Windverhältnisse kleinräumig stark mit der Umgebung variieren und weniger von der Großwindregion abhängen, wie es z.B. im Binnenland-Gebirge der Fall ist. Dort gibt es etwa in Tälern eine deutliche Veränderung der ansonsten großräumig vorhandenen Windrichtung, oder durch thermische Effekte zusätzliche Winde, etwa an Hängen. Die Windatlas-Modelle erlauben die Abschätzung thermischer Effekte nur in erster Näherung. Im Verhältnis zum flachen Gebiet kommen Ungenauigkeiten durch die orographischen Modelle hinzu, mit denen die Überströmung von gebirgigen Formationen rechnerisch erfaßt wird.

Im Hochgebirge ist eine generelle Gültigkeit des PC-Programmes WAsP und seiner meteorologischen Modelle nicht gegeben; hier können nur Berechnungen in der unmittelbaren Umgebung einer Meßstelle näherungsweise in Betracht gezogen werden.

Seit vielen Jahren wird versucht, durch kompliziertere meteorologische Modelle Berechnungsverfahren für die Windenergieplanung auch im orographisch gegliederten Gelände zu entwickeln. Lange Zeit stieß dieses Vorhaben an die Grenzen der Rechnerkapazitäten. Wie jedoch auf der Konferenz DEWEK'98 /5/ berichtet wurde, gibt es inzwischen ermutigende Resultate, die durch mehrere parallel arbeitende Rechner der neuesten Generation innerhalb von Tagen zu erreichen sind.



## **2. 4. Die Merkmale eines Windkraftanlagen-Standortes**

Um eine Windatlas-Berechnung für die Windverhältnisse an einem Standort durchzuführen, werden folgende Angaben benötigt:

a) die Gelände-Rauhigkeit (Angaben über Oberfläche, Bewuchs, Bebauung) der Gegend anhand einer topographischen Karte bis in eine Entfernung von etwa 10 km um den Standort und anhand einer Besichtigung der Standortumgebung bis in eine Entfernung von einigen Kilometern, vor allem in Hauptwindrichtung; dort werden beispielsweise Wasseroberflächen, Wiesenland, landwirtschaftliche Gebiete, Wälder, Städte anhand der sog. "Rauhigkeitslänge" unterschieden (zur Rauhigkeits-Einschätzung siehe die Darstellung aus dem Europäischen Windatlas, S. 13).

b) die Einzelhindernisse am Standort (Angaben über Position, Höhe, Breite, Tiefe und Luftdurchlässigkeit) bis in eine Entfernung von etwa 1 km um den Standort; dort werden z. B. Bäume und Häuser anhand einer Flurkarte und einer Begehung des Standortes registriert; dies ist jedoch nur dann nötig, wenn es sich um sehr herausragende Merkmale handelt;

c) die Gebirgs-Formation (Orographie, Angaben über Höhenlinien) anhand einer geeigneten Karte und bis in eine Entfernung, die relevante Strukturen der Formation enthält.

Die Begrenzungslinien von Rauhigkeitselementen (z. B. die Konturen eines Waldes) können ebenso wie die Höhenlinien von Gebirgsformationen mittels eines Digitalisiertabletts eingelesen und vom WAsP verarbeitet werden.

## **2. 5. Die Wahl der geeigneten Referenz-Wetterstation**

Dies betrifft die wichtige Frage, welche Meß- oder Wetterstation als repräsentativ für die betrachtete Region bzw. den Standort betrachtet werden kann. Wenn es sich um eine flache Gegend handelt, ist es sicher, daß diese Frage im Gegensatz zu einer gebirgigen Gegend mit genügender Zuverlässigkeit zu entscheiden ist.

Die Wetterstation, die als "Windatlas-Station" für die Berechnung an einem geplanten Windkraft-Standort fungiert, sollte nicht zu weit entfernt sein (in einem flachen Gebiet nicht weiter als ca. 100 km) und in einer ähnlichen Region des geostrophischen Windes liegen (siehe das Bild aus dem Europäischen Windatlas, Seite 14).

Im Binnenland-Gebirge sollte eine Standortanalyse mittels WAsP keinesfalls mehr als 10 km zwischen der Beobachtungsstation und dem Windkraft-Standort überbrücken; beide Punkte sollten an ähnlicher Stelle in der Gebirgsformation gelegen sein (ähnliche Hanglage, Kuppenlage, Tallage o. dgl.).

Wie die langjährige Erfahrung zeigt, ist die Wahl der richtigen Referenzstation entscheidend für die Vertrauenswürdigkeit des Ergebnisses, mehr als die topographische Standorteinschätzung. Aber ebenso zeigt die Erfahrung, daß es hierfür keine festen und allgemein gültigen Regeln gibt.



## **2. 6. Das Ergebnis einer Standortanalyse**

Mit den vorgenannten Angaben errechnet das WAsP-Programm die Häufigkeit auftretender Windgeschwindigkeiten und -richtungen für den geplanten Windkraft-Standort im langjährigen Mittel. Diese Statistik wird üblicherweise mit Hilfe einer 2-parametrischen statistischen Verteilung, der sog. "Weibull-Verteilung", dargestellt (siehe S. 15). Da die Windverhältnisse stark von der Höhe über dem Erdboden abhängig sind, variiert die statistische Verteilung mit der Höhe; deshalb gibt es für jede Höhe andere "Weibull-Faktoren".

Mögliche jährliche Schwankungen des Windangebots im Verhältnis zum langjährigen Durchschnitt liegen im Flachland im Bereich von unter 10 %. Im gebirgigen Binnenland sind die Schwankungen deutlich größer.

Mit der errechneten Windstatistik ist noch keine Aussage darüber erreicht, was eine Windkraftanlage an diesem Standort leisten würde. Dies ist aber mithilfe des WAsP leicht möglich, wenn die Leistungskennlinie der geplanten Windkraftanlage vorliegt.

## Abbildung 1: Das Windatlas-Modell

Aus: European Wind Atlas 1990 /2/, deutsche Ausgabe, S. 17

### CHAPTER 1

### INTRODUCTION TO THE WIND ATLAS

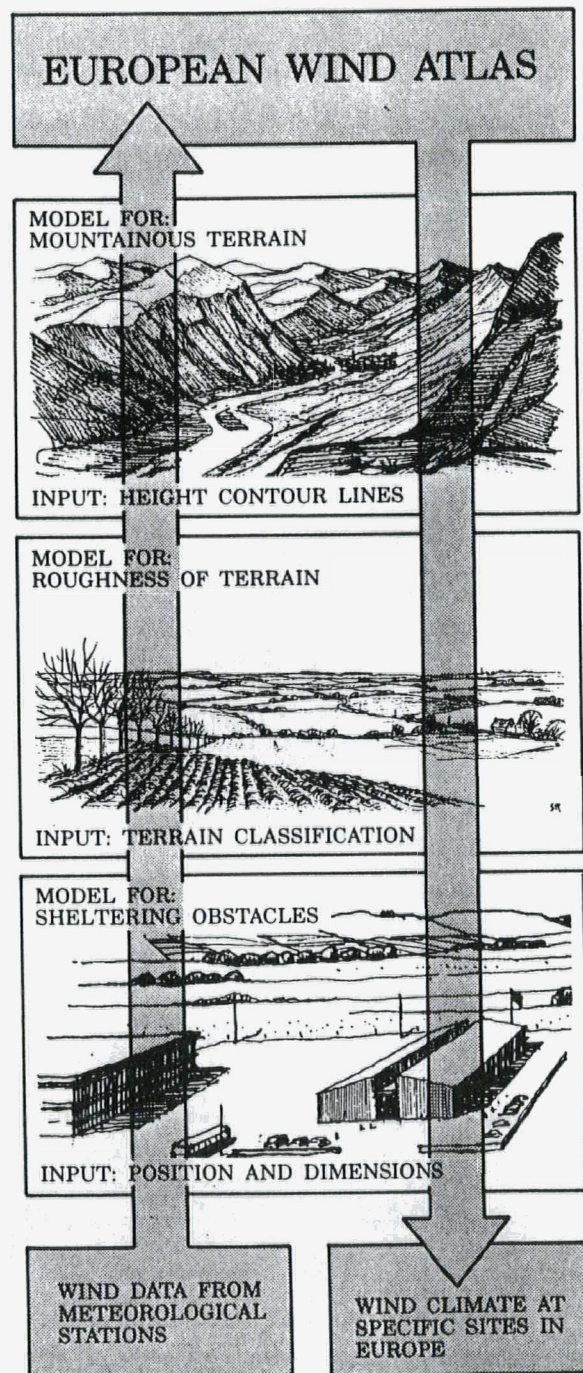


Figure 1.1: The Wind Atlas methodology. Meteorological models are used to calculate the regional wind climatologies from the raw data. In the reverse process – the application of the Wind Atlas – the wind climate at any specific site may be calculated from the regional climatology.

## Abbildung 2: Die Einschätzung der Geländerauhigkeit einer Landschaft anhand der Rauigkeitslänge

Die Rauigkeitslänge  $z_0$  ist ein Maß für die durchschnittliche Ausdehnung der turbulenten Wirbel, die durch die Rauigkeit des Geländes ausgelöst werden.  
Aus: European Wind Atlas 1990 /2/, deutsche Ausgabe, S. 44

| $z_0$ [m]         | Typen von Geländeoberflächen   | Rauhigkeits-Klasse |
|-------------------|--|--------------------|
| 1.00              | Stadt<br>Wald  | 3                  |
| 0.50              | Vorstädte  |                    |
| 0.30              | Bebautes Gelände   |                    |
| 0.20              | Viele Bäume und/oder Büsche  | 2                  |
| 0.10              | Landwirtschaftliches Gelände mit geschlossenem Erscheinungsbild  |                    |
| 0.05              | Landwirtschaftliches Gelände mit offenem Erscheinungsbild  |                    |
| 0.03              | Landwirtschaftliches Gelände mit sehr wenigen Gebäuden, Bäumen usw.<br>Flughäfen mit Gebäuden und Bäumen | 1                  |
| 0.01              | Flughäfen, Start- u. Landebahn<br>Weidegras  |                    |
| $5 \cdot 10^{-3}$ | Blanke Erde (glatt)  |                    |
| $10^{-3}$         | Schneeoberflächen (glatt)  | 0                  |
| $3 \cdot 10^{-4}$ | Sandoberflächen (glatt)  |                    |
| $10^{-4}$         | Wasserflächen (Seen, Fjorde und das Meer)  |                    |

Bild 3.1. Rauigkeits-Länge, Oberflächen-Charakteristika und Rauigkeits-Klasse. Die Rauigkeitsklassen sind durch die vertikalen Pfeile angezeigt, die Mittelpunkte geben die Referenzwerte an, die Längen der Pfeile zeigen die typischen Bereiche der Unsicherheit in den Rauigkeits-Abschätzungen.



### Abbildung 3: Der geostrophische Wind über Nordwesteuropa

Unter diesem Begriff wird der Wind der "freien" Atmosphäre in 1000 bis 1500 m Höhe über dem Erdboden verstanden.

Aus: European Wind Atlas 1990 /2/, deutsche Ausgabe, S. 31

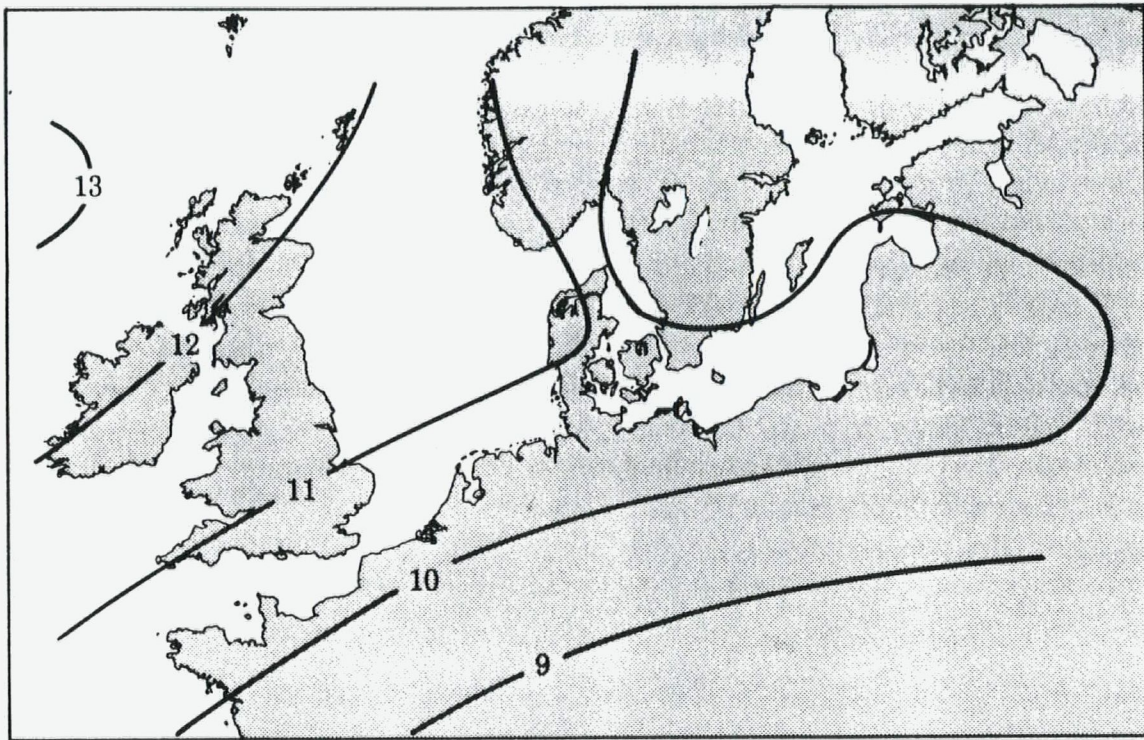
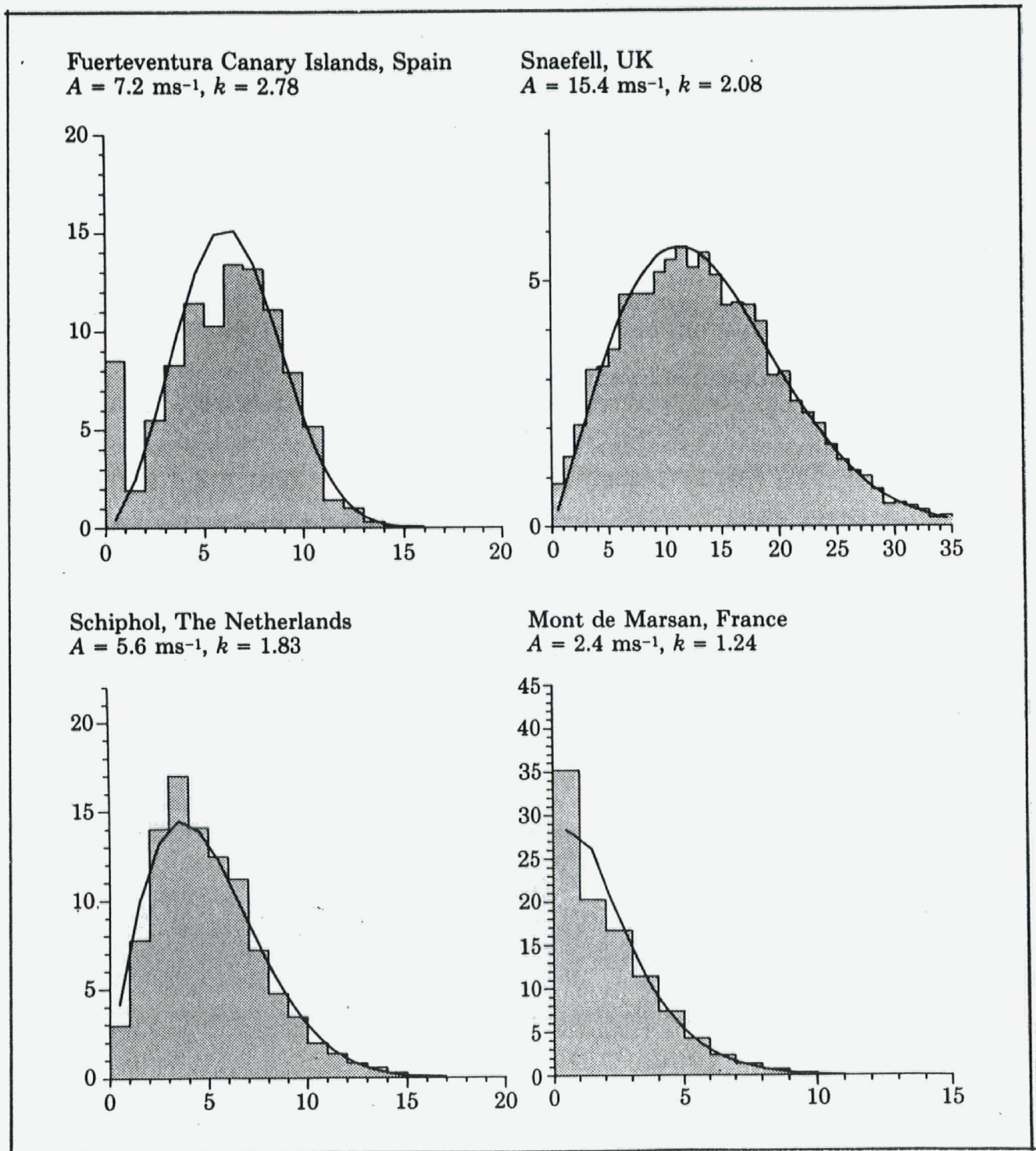


Bild 2.1. Der mittlere geostrophische Wind über Nordeuropa in Metern pro Sekunde.  
Aus Daten von Børresen (1987) und den Statistiken in Kapitel 7.

#### Abbildung 4: Die Anpassung einer Weibull-Verteilung an eine gemessene Windstatistik

Das Bild zeigt gemessene Windstatistiken ("treppenförmig") und die daran angepaßten zweiparametrischen Verteilungsfunktionen ("Kurve"), die Weibull-Verteilungen. Der Parameter A ist der Skalierungsfaktor (in m/s), der mit der mittleren Windgeschwindigkeit dieser Verteilung unmittelbar zusammenhängt; er drückt also den "Kurvenschwerpunkt" aus. Der Parameter k ist der Formfaktor, der die "Steilheit" der Kurve bestimmt. Aus: European Windatlas, 1990 /2/, deutsche Ausgabe, S. 24





## 2. 7. Die Ermittlung der Jahreserträge von Windkraftanlagen

Wenn die Windstatistik für einen Standort in einem zeitlich möglichst langen Mittel vorliegt, kann der Energieertrag berechnet werden. Die Windstatistik kann entweder nach der Windatlas-Methode errechnet oder am Standort gemessen sein. Selbst wenn die Windstatistik am Standort gemessen ist, muß aber im allgemeinen die Windstatistik in der richtigen Höhe über Grund rechnerisch bestimmt werden. Für die geplante Windkraftanlage muß eine möglichst zuverlässig gemessene Leistungskennlinie vorliegen.

Eine Leistungskennlinie gibt an, bei welcher Windgeschwindigkeit die Anlage welche elektrische Leistung bringt. Die Anlagen arbeiten bei niedriger und mittlerer Windgeschwindigkeit nicht mit ihrer vollen Nennleistung; sie haben je nach technischem System ein verschiedenes Anlaufverhalten und erreichen ihre volle Leistung bei unterschiedlicher Windgeschwindigkeit. Anlagen mit Blattverstellung (pitch) behalten ihre Nennleistung bis zur Abschaltwindgeschwindigkeit, während Anlagen ohne Blattverstellung (stall) bei sehr hoher Windgeschwindigkeit von der Nennleistung wieder zurückgehen.

Das WAsP-Programm verknüpft die errechnete Windstatistik des Standortes in der richtigen Höhe über Grund mit den Werten der Leistungskennlinie. Das Ergebnis ist der jährliche Energieertrag der Windkraftanlage im Durchschnittsjahr bzw. der Meßperiode.

Wenn Daten von Wetterstationen verwendet werden, bezieht sich das Ergebnis einer WAsP-Berechnung auf das Durchschnittsjahr im langjährigen Mittel (wie schon erwähnt, liegen die jährlichen Schwankungen im Flachland unter 10 %, im gebirgigen Binnenland sind sie größer) und geht von einer 100%-igen technischen Verfügbarkeit der betrachteten Windkraftanlage aus. Bei ausgereiften technischen Konzepten kann mit einer praktisch 100%-igen Verfügbarkeit gerechnet werden.



### 3. Der Standort Linthebene: Die Einschätzung der Topographie der Standortumgebung

Ein Windkraftstandort in der Linthebene könnte im Bereich der Gemeinde Ziegelbrücke oder Niederurnen gelegen sein.

Nötig ist erstens eine freie Lage für eine ungehinderte Anströmung des Windes, also geringe Umgebungsrauhigkeit. Zweitens wurde der Standort zunächst in der Umgebung des Meßortes Ziegelbrücke gesucht, um die Gültigkeit der vorhandenen Daten nicht in Frage zu stellen.

Folgende **Kartenblätter der Landeskarte der Schweiz** wurden für eine digitalisierte Aufnahme der Konturen der Rauigkeits Elemente und der Höhenlinien herangezogen:

1:25000 Nr. 1133 Ziegelbrücke

1:25000 Nr. 1134 Walensee

1:25000 Nr. 1153 Klöntal

1:25000 Nr. 1154 Spitzmeilen

Zum Zwecke einer genaueren Einschätzung der Landschaft in Standortnähe wurde am 5. 11. 1999 eine **Standortbesichtigung** durchgeführt, in nordwestlicher Richtung bis zum Zürichsee, in östlicher Richtung bis zum Walensee und in südlicher Richtung bis Netstal.

Die Einschätzung der Umgebungsrauhigkeit führt auch in einer gebirgigen Situation zu sinnvollen Resultaten. Ohne jeden Zweifel bringt es die Lage in einem Tal des Hochgebirges aber mit sich, daß die orographische Situation zwar durch die Höhenlinien genau erfaßt werden kann, aber die Funktionsfähigkeit des Programmes WAsP nicht mehr genügend gewährleistet ist. Trotzdem wird die Einschätzung der gesamten topographischen Situation auch unter Einschluß der Höhenlinien durchgeführt.

**Ausdrucke der Rauigkeits-Änderungslinien** in der digitalisierten Karte des **betrachteten Bereiches** sind in Abb. 5 auf S. 18 zu finden. Waldgebiete und Ortschaften wurden durch Schraffur hervorgehoben.

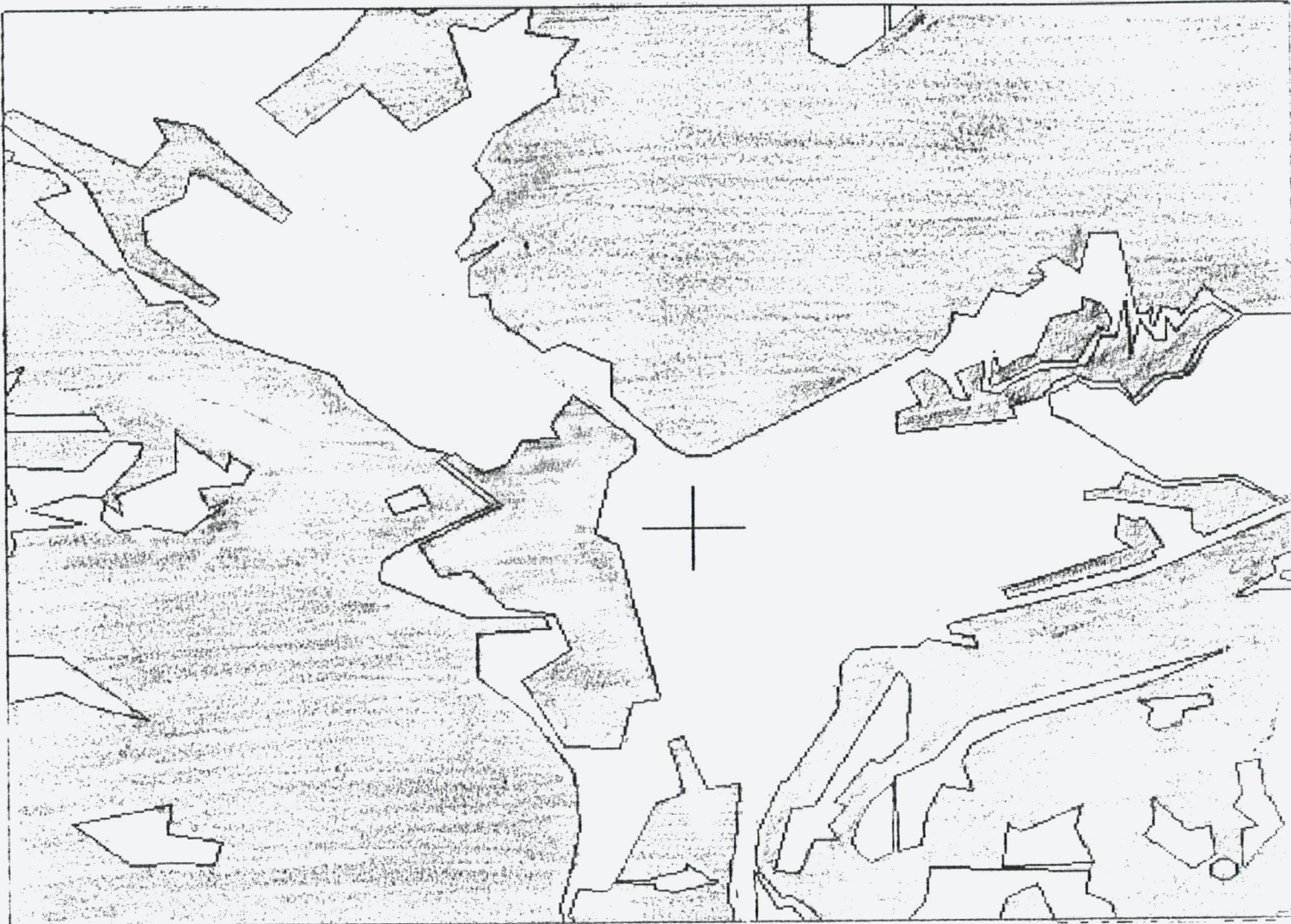
**Ausdrucke der Höhenlinien** sind in Abb. 8 auf S. 16 zu finden.

**Abbildung 5: Rauigkeits-Änderungslinien in der digitalisierten Karte des betrachteten Bereiches**

Es bedeutet:

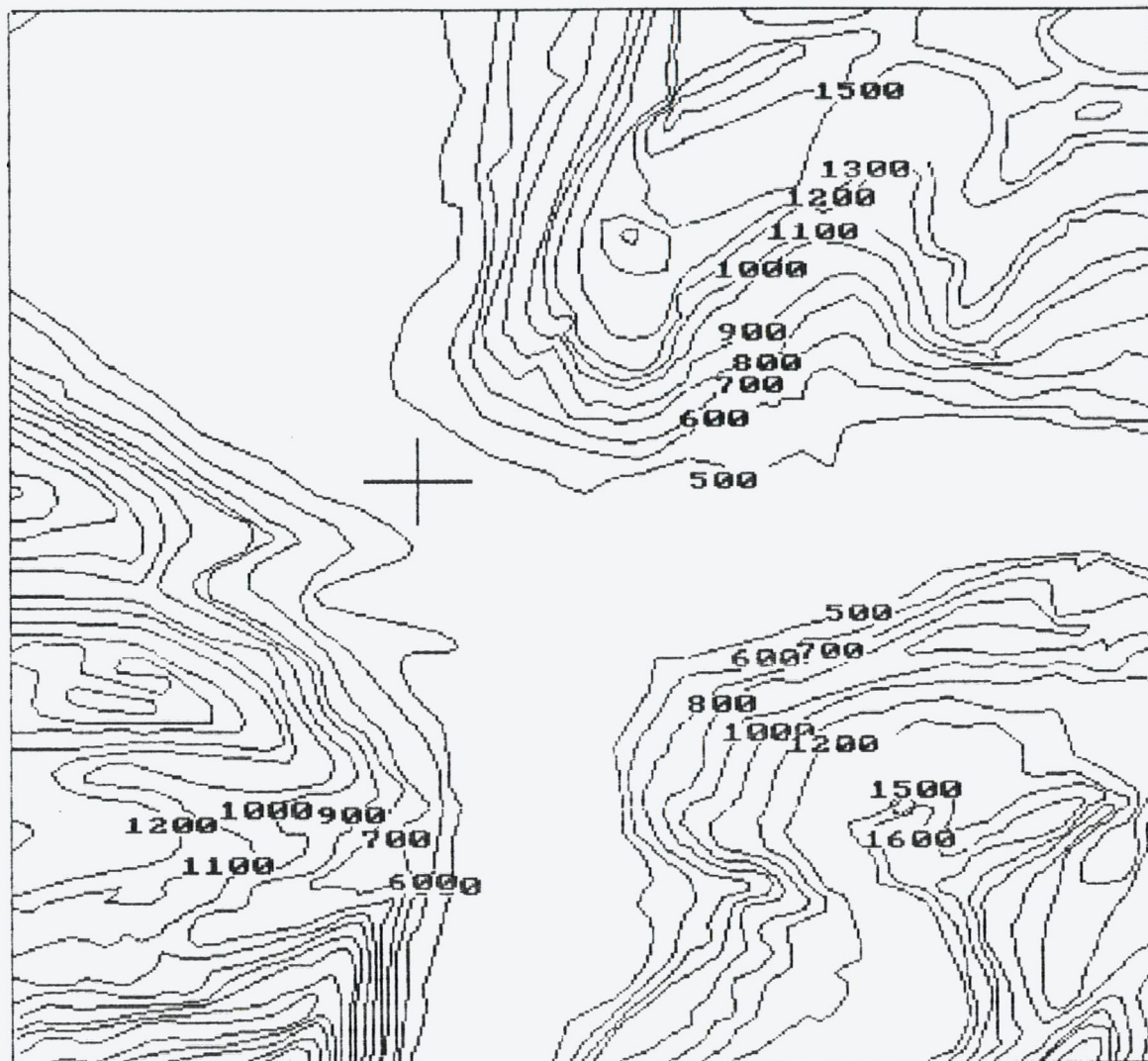
Kreuz im Bild = Standort

Schraffur = Waldgebiete und Ortschaften





**Abbildung 6: Höhenlinien in der näheren Standortumgebung**  
Kreuz im Bild = Standort  
Zahlen im Bild = Höhe ü. M. in m





#### 4. Der Standort Linthebene: Die Wahl der Referenz-Wetterstation

Das betrachtete Gebiet liegt in der Linthebene, nahe Ziegelbrücke. Langzeit-Windmessungen werden an den nächstgelegenen Stationen Quinten, Glarus und Schmerikon durchgeführt. Alle 3 Stationen sind mit Sicherheit zu weit entfernt, um für die Linthebene repräsentativ zu sein.

Im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Glarus wurden 1989/90 von der Wanner AG Messungen an 3 Standorten in der Nähe der Linthebene durchgeführt /6/, und zwar:

A: Gewerbeschulhaus Ziegelbrücke (22 m über Grund)

B: Schwimmbad Netstal (9 m über Grund)

C: Obstock oberhalb Mollis (7 m über Grund).

Die Autoren haben die Rohdaten aller 3 Standorte zum Zwecke dieser Auswertung auf Diskette zur Verfügung gestellt. Verschiedene Datensätze, die von den Autoren wegen Problemen mit den Windmeßgeräten als fehlerbehaftet bezeichnet worden waren, wurden nicht berücksichtigt. Die verbleibenden Rohdaten wurden mit WasP zu Windstatistiken verarbeitet (tab-Datei). Die tab-Dateien der 3 Meßorte sind im Anhang zu finden. Daraus ergibt sich als mittlere Windgeschwindigkeit und mittlere Windleistungsdichte an den 3 Meßorten in der Periode 1989/90:

| Meßort:        | Höhe ü. Gr. | mittl. Windg.: | mittl. Windleist.dichte: |
|----------------|-------------|----------------|--------------------------|
| Ziegelbrücke   | 22 m        | 3,4 m/s        | 63 W/m <sup>2</sup>      |
| Netstal        | 9 m         | 1,4 m/s        | 17 W/m <sup>2</sup>      |
| Obstock/Mollis | 7 m         | 1,4 m/s        | 9 W/m <sup>2</sup>       |

Die Meßdaten von Netstal und Obstock/Mollis sind für die Linthebene nicht repräsentativ; darüber hinaus sind sie auf zu geringer Höhe über Grund gewonnen, um für das Windatlas-Verfahren brauchbar zu sein. Es werden allein die Daten von Ziegelbrücke weiterverwendet und mit Hilfe der Standort-topographie zu einem Windatlas-Datensatz aufbereitet. Dieser kann zumindest in einem unmittelbaren Nahbereich als einigermaßen repräsentativ angesehen werden.

Der Wanner AG sei an dieser Stelle ganz besonders für die Kooperation gedankt, die Rohdaten zur Verfügung gestellt zu haben und für Auskünfte bereit gewesen zu sein.

## 5. Ergebnisse

### 5. 1. Windenergiepotential am Standort Linthebene

| Höhe ü. Gr. | mittl. Windg. | Energieang.          | Weibull A | Weibull k |
|-------------|---------------|----------------------|-----------|-----------|
| 22 m        | 3,9 m/s       | 92 W/m <sup>2</sup>  | 4,3 m/s   | 1,56      |
| 30 m        | 4,3 m/s       | 123 W/m <sup>2</sup> | 4,8 m/s   | 1,58      |
| 50 m        | 5,2 m/s       | 203 W/m <sup>2</sup> | 5,8 m/s   | 1,65      |
| 60 m        | 5,5 m/s       | 241 W/m <sup>2</sup> | 6,2 m/s   | 1,68      |
| 70 m        | 5,8 m/s       | 275 W/m <sup>2</sup> | 6,5 m/s   | 1,71      |

Die Original WAsP-Ausdrucke sind im Anhang zu finden.

Zum Vergleich: Am Standort der Windmessung in 22 m über Grund betrug die mittlere Windgeschwindigkeit 3,4 m/s. Da der mögliche Windkraftstandort Linthebene auf freiem Feld und nicht in der Ortschaft gelegen ist, macht sich dies durch eine höhere Windgeschwindigkeit bemerkbar.

### 5. 2. Grobe Abschätzung der Jahreserträge von Windkraftanlagen

Aufgrund der großen Unsicherheiten, die in der Berechnung enthalten sind, erscheint es nicht sinnvoll, en detail Jahreserträge einzelner Typen von Windkraftanlagen aufzuführen. Jedoch kann eine Größenordnung von Jahres-Vollaststunden (= die Anzahl der Stunden eines Jahres, die die Windkraftanlage rechnerisch bei ihrer Nennleistung arbeitet) bei einer bestimmten Nabenhöhe am Standort Linthebene angegeben werden:

| Höhe ü. Gr. | Vollaststd. | 500 kW     | 600 kW      | 1500 kW     |
|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 50 m        | 1500        | 750 MWh/J. | 900 MWh/J.  |             |
| 65 - 68 m   | 1800        | 900 MWh/J. | 1080 MWh/J. | 2700 MWh/J. |



## 6. Diskussion der Ergebnisse, offene Probleme und Empfehlungen

### Diskussion:

Aus den vorliegenden vorläufigen Auswertungen geht hervor, daß der Standort Linthebene durchaus Realisierungschancen für ein Windenergieprojekt bieten kann. Grob geschätzt wäre hierzu eine Einspeisevergütung von 20 - 25 Rp/kWh nötig.

Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Finanzierungspläne wird routinemäßig ein Sicherheitsabschlag auf die Ergebnisse empfohlen; jedoch ist vorerst überhaupt nicht bekannt, ob die übliche Größenordnung von 10% ausreicht.

Diese Auswertung wurde nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt. Wegen der methodenbedingten Unsicherheiten der WASP-Methode kann jedoch **keine Haftung für die Ergebnisse** übernommen werden.

### Offene Probleme bei der bisherigen Auswertung sind:

1. Die gemessenen Winddaten stammen aus der Periode 89/90. Eine Einordnung der Daten in eine Langzeitbetrachtung mit Hilfe der Messungen von Wetterstationen fehlt. Jedoch ist für das Hochgebirge auch kein Verfahren bekannt, mit dem eine verlässliche statistische Korrelation zwischen den Daten einer Kurzzeitmessung und den Daten der Langzeit-Meßstation durchgeführt werden kann. Kurz zusammengefaßt ist vorerst nicht bekannt, ob die Meßperiode durchschnittliche Windverhältnisse aufgewiesen hat.
2. Die gemessenen Winddaten sind Halbstundenmittelwerte. Eine möglicherweise zu schnelle Änderung der Windgeschwindigkeit oder -richtung, die für eine Windkraftanlage nicht nachzuvollziehen ist, könnte unerkannt bleiben.
3. Grundsätzliche Probleme mit der Übertragung von Winddaten durch WASP in einer Hochgebirgs-Umgebung sind vorhanden.

### Empfehlungen für das weitere Vorgehen:

1. Zur Absicherung der Investition und der wirtschaftlichen Kalkulation ist eine Windmessung an dem genau bestimmten Standort unerlässlich. Diese Windmessung wäre mindestens auf 30 m über Grund, idealerweise in mehreren Höhen durchzuführen, 30 m, 40 m, 50 m über Grund. Aus der Messung müßte auch der Turbulenzgrad und die Änderungsrate der Windgeschwindigkeit und Windrichtung bestimmt werden, da schnelle Änderungen der Windverhältnisse an diesem Standort zu erwarten sind. Es muß abgeschätzt werden, ob eine Windkraftanlage unter diesen Verhältnissen schnell genug folgen und Energie aus dem Wind gewinnen kann.
2. Parallel dazu können Vorklärunen zum Bewilligungsverfahren durchgeführt werden. Die Standortfestlegung ist mit der zuständigen Gemeinde und den zuständigen Regierungsbehörden abzustimmen, da nicht nur das Windvorkommen, sondern auch Fragen der politischen Unterstützung, der Akzeptanz in der Bevölkerung, der Abstandsregelungen, Abschätzung der Schallimmission und viele weitere Fragen zu beantworten sind. Es wird vorgeschlagen, eine Standortbegehung mit den zuständigen

Regierungsbehörden durchzuführen. Auch eine öffentliche Darstellung des Projektes in der Gemeinde sollte nicht fehlen.

3. Die Möglichkeiten und Chancen eines Windenergieprojektes als eines Wegweisers in eine Zukunft mit erneuerbaren Energien kann von unserer Seite gerne erläutert werden, einschließlich der konkreten Umsetzung.

4. Zur technischen Realisierung ist es noch zu früh, Empfehlungen abzugeben. Aus heutiger Sicht könnte es jedoch sinnvoll sein, eine drehzahlvariable Windkraftanlage auszuwählen, falls sich bei einer Messung am Standort ein hoher Turbulenzgrad des Windes bewahrheitet, wie es bei dieser Lage im Einflußbereich mehrerer Windsysteme zu vermuten ist.

5. Eine genaue Standortabklärung muß auch die Frage beantworten, ob der Platz ausreicht, mehr als eine Windkraftanlage aufzustellen, und auch, wenn dies der Fall ist, ob am Ort eher eine große Windkraftanlage oder eventuell zwei bis drei kleinere erwünscht sind.

6. Für eine persönliche Erläuterung der obgenannten Möglichkeiten stehen wir gerne zur Verfügung.

Dipl.-Phys. Rosemarie Rübsamen  
Planungsbüro für Windenergie  
Brödermannsallee 11  
D-25469 Halstenbek

Thea M. Hefti  
Windcraft AG  
Rämistrasse 8  
8001 Zürich

Halstenbek, den 29. 12. 1999



Rosemarie Rübsamen



## 7. Literaturverzeichnis

/1/ Planung von Windenergieanlagen - Leitfaden für die Schweiz, Bausteine einer Windenergie-Strategie

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Mai 1999

/2/ European Wind Atlas, Risoe National Laboratory, Denmark, 1990, Commission of the European Communities

/3/ Vindatlas for Danmark, Forskningscenter Risoe, Danmark, 1980

/4/ Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), Risoe National Laboratory, Denmark, 1993 (WAsP 4.0) - 1999 (WAsP 7.0)

/5/ 4. Deutsche Windenergie-Konferenz 1998, Tagungsband, Sitzung 3: Windprognosen, Deutsches Windenergie-Institut Wilhelmshaven

/6/ Windmessungen an 3 Standorten im Kanton Glarus 1989/1990, Wanner AG, St. Gallen, Bericht Nr. 89436

# **Anhang A: Windstatistiken (tab-Dateien)**

Summary of data in file : C:\WINDMESS\SCHWEIZ\ZIEGELB.TXT [per mille]  
 Number of observations : 19552 Observations skipped: 2  
 Number of reading errors: 54 Wind speed bin width: 1.0 m/s

| Sect  | Freq | <1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  | 8  | 9  | 11 | 13 | 15 | 17 | >17 | A   | k    |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|------|
| 0:    | 7.4  | 156 | 135 | 139 | 160 | 156 | 105 | 64 | 26 | 14 | 14 | 10 | 12 | 8  | 2   | 4.4 | 1.43 |
| 30:   | 1.2  | 689 | 191 | 62  | 40  | 4   | 0   | 9  | 0  | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  | 0   | 0.8 | 0.75 |
| 60:   | 1.2  | 808 | 125 | 29  | 25  | 8   | 0   | 4  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.8 | 0.90 |
| 90:   | 6.5  | 322 | 263 | 169 | 76  | 39  | 20  | 10 | 7  | 7  | 30 | 24 | 21 | 6  | 4   | 2.0 | 0.75 |
| 120:  | 17.9 | 107 | 169 | 212 | 195 | 138 | 86  | 46 | 21 | 9  | 9  | 4  | 3  | 0  | 0   | 3.8 | 1.67 |
| 150:  | 22.5 | 52  | 89  | 169 | 231 | 243 | 137 | 52 | 16 | 8  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0   | 4.4 | 2.75 |
| 180:  | 3.2  | 217 | 136 | 152 | 184 | 184 | 79  | 26 | 13 | 5  | 3  | 2  | 0  | 0  | 0   | 3.6 | 1.97 |
| 210:  | 0.8  | 674 | 196 | 91  | 20  | 13  | 7   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.9 | 0.95 |
| 240:  | 0.7  | 754 | 155 | 49  | 42  | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.8 | 1.00 |
| 270:  | 2.0  | 371 | 176 | 159 | 120 | 66  | 54  | 38 | 13 | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2.5 | 1.30 |
| 300:  | 15.0 | 108 | 142 | 156 | 169 | 184 | 143 | 68 | 19 | 6  | 2  | 2  | 1  | 0  | 0   | 4.2 | 2.19 |
| 330:  | 21.7 | 93  | 112 | 164 | 166 | 171 | 146 | 87 | 30 | 11 | 12 | 4  | 2  | 1  | 1   | 4.6 | 2.01 |
| Total |      | 143 | 137 | 166 | 174 | 165 | 112 | 56 | 20 | 8  | 8  | 4  | 3  | 1  | 1   | 4.1 | 1.75 |

Number of calms (included): 590 Mean wind speed: 3.4 m/s ( 7%)  
 Mean energy density: 63 W/m<sup>2</sup> ( 3%)

Summary of data in file : C:\WINDMESS\SCHWEIZ\NETSTAL2.TXT [per mille]  
 Number of observations : 15614 Observations skipped: 2  
 Number of reading errors: 4 Wind speed bin width: 1.0 m/s

| Sect  | Freq | <1  | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7 | 8 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | >17 | A   | k    |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|---|---|---|----|----|----|----|-----|-----|------|
| 0:    | 17.3 | 158 | 163 | 224 | 236 | 167 | 35 | 6 | 3 | 1 | 0  | 1  | 0  | 1  | 4   | 3.6 | 1.44 |
| 30:   | 5.1  | 393 | 241 | 100 | 101 | 113 | 34 | 2 | 4 | 0 | 1  | 1  | 0  | 0  | 10  | 2.0 | 0.83 |
| 60:   | 1.4  | 907 | 84  | 5   | 5   | 0   | 0  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.7 | 1.53 |
| 90:   | 1.6  | 680 | 241 | 67  | 4   | 4   | 0  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 4   | 0.9 | 0.70 |
| 120:  | 2.6  | 539 | 324 | 117 | 12  | 2   | 2  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 2   | 1.3 | 0.83 |
| 150:  | 7.6  | 526 | 304 | 130 | 17  | 11  | 8  | 2 | 2 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.3 | 1.23 |
| 180:  | 34.9 | 493 | 434 | 58  | 6   | 3   | 3  | 3 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.3 | 1.51 |
| 210:  | 12.6 | 582 | 354 | 58  | 4   | 2   | 0  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.1 | 1.53 |
| 240:  | 1.8  | 867 | 102 | 25  | 4   | 4   | 0  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.7 | 1.23 |
| 270:  | 1.6  | 826 | 115 | 24  | 32  | 0   | 0  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 4   | 0.7 | 0.63 |
| 300:  | 3.7  | 613 | 275 | 94  | 12  | 3   | 2  | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.1 | 1.23 |
| 330:  | 9.7  | 334 | 353 | 226 | 77  | 8   | 1  | 1 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.8 | 1.79 |
| Total |      | 455 | 322 | 112 | 59  | 38  | 10 | 2 | 1 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 1.6 | 0.95 |

Number of calms (included): 455 Mean wind speed: 1.4 m/s ( 16%)  
 Mean energy density: 17 W/m<sup>2</sup> ( 3%)



Summary of data in file : C:\WINDMESS\SCHWEIZ\OBSTOCK.TXT [per mille]  
 Number of observations : 15284 Observations skipped: 0  
 Number of reading errors: 1 Wind speed bin width: 1.0 m/s

| Sect | Freq | <1  | 2   | 3   | 4   | 5  | 6  | 7  | 8  | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | >17 | A   | k    |
|------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|-----|-----|------|
| 0:   | 9.9  | 247 | 279 | 263 | 154 | 46 | 7  | 2  | 2  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2.3 | 1.87 |
| 30:  | 29.1 | 193 | 209 | 275 | 221 | 67 | 22 | 8  | 4  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2.8 | 2.06 |
| 60:  | 16.0 | 599 | 244 | 94  | 44  | 15 | 2  | 2  | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.1 | 1.07 |
| 90:  | 13.7 | 910 | 77  | 9   | 2   | 2  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.7 | 1.38 |
| 120: | 8.2  | 941 | 45  | 9   | 1   | 4  | 0  | 0  | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.7 | 1.21 |
| 150: | 6.2  | 899 | 85  | 12  | 3   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.7 | 1.37 |
| 180: | 4.4  | 748 | 148 | 53  | 13  | 16 | 9  | 3  | 3  | 4 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.6 | 0.69 |
| 210: | 6.2  | 642 | 173 | 44  | 42  | 31 | 20 | 16 | 16 | 7 | 8  | 1  | 0  | 0  | 0   | 1.0 | 0.72 |
| 240: | 1.5  | 654 | 237 | 42  | 34  | 8  | 13 | 4  | 8  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.0 | 0.85 |
| 270: | 0.5  | 805 | 153 | 14  | 28  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 0.8 | 1.12 |
| 300: | 0.6  | 650 | 282 | 23  | 34  | 0  | 0  | 11 | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1.0 | 0.97 |
| 330: | 3.7  | 212 | 289 | 278 | 175 | 34 | 11 | 2  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 2.4 | 2.04 |

|       |  |     |     |     |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |     |      |
|-------|--|-----|-----|-----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|------|
| Total |  | 532 | 181 | 140 | 97 | 31 | 10 | 4 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 1.10 |
|-------|--|-----|-----|-----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|------|

Number of calms (included): 8

Mean wind speed: 1.4 m/s ( 4%)  
 Mean energy density: 9 W/m<sup>2</sup> ( 6%)

## Anhang B: Original WAsP-Ausdrucke

### Erklärung der WAsP-Ausdrucke

1. Kopfzeile: Referenz-Wetterstation und Meßzeitraum, Zeitpunkt des WAsP-Ausdruckes
2. Kopfzeile: Standort, Berechnungshöhe über Grund

Sect = Sektor der Windrose, beginnend mit 0 Grad (Nord) und dann im Uhrzeigersinn laufend

Rch = roughness change = Anzahl der Änderungen der Oberflächenrauigkeit der Landschaft im Sektor

Input = hier keine Bedeutung

Obstacle = Windabschattung durch Einzelhindernis in der Nähe

Orography = Veränderung der Windverhältnisse (Verstärkung/Abschwächung/Drehung) durch Gebirgigkeit der Landschaft

A, k = Weibull-Faktoren im Sektor bzw. insgesamt

% = Häufigk. des Vorkommens aller Windgeschwindigkeiten im Sektor

E = die insgesamt durch eine senkrechte Fläche hindurchtretende Windleistung in  $W/m^2$

P = der Jahresertrag der Windkraftanlage im langjährigen Mittel in MWh/Jahr

E% = prozentualer Beitrag des Sektors zur Windleistung E

P% = prozentualer Beitrag des Sektors zum Jahresertrag P der Windkraftanlage

M = mittlere Windgeschwindigkeit in der Bezugshöhe über Grund (height a. g. l.) in m/s



| Ziegelbrücke 7/89 - 9/90 |     |       |    |          |           |      |   | 28/12/99 20:39        |      |      |      |
|--------------------------|-----|-------|----|----------|-----------|------|---|-----------------------|------|------|------|
| Standort Linthebene      |     |       |    |          |           |      |   | Height: 30.0 m a.g.l. |      |      |      |
| Sect                     | Rch | Input |    | Obstacle | Orography |      |   | A                     | k    | %    | E%   |
| 0:                       | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -42.9%    | -21° | : | 5.0                   | 1.59 | 11.4 | 13.1 |
| 30:                      | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -37.4%    | -7°  | : | 5.5                   | 1.33 | 6.0  | 13.2 |
| 60:                      | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -45.6%    | 3°   | : | 2.3                   | 0.74 | 3.4  | 5.5  |
| 90:                      | 4   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -37.7%    | 13°  | : | 4.4                   | 1.31 | 12.5 | 13.7 |
| 120:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -28.7%    | 17°  | : | 4.9                   | 1.57 | 12.1 | 13.4 |
| 150:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -16.1%    | -7°  | : | 4.9                   | 2.45 | 10.3 | 6.7  |
| 180:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -42.9%    | -21° | : | 4.8                   | 2.29 | 10.2 | 6.8  |
| 210:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -37.4%    | -7°  | : | 4.8                   | 1.51 | 2.2  | 2.3  |
| 240:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -45.6%    | 3°   | : | 3.8                   | 1.50 | 2.6  | 1.4  |
| 270:                     | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -37.7%    | 13°  | : | 5.2                   | 1.93 | 9.4  | 8.9  |
| 300:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -28.7%    | 17°  | : | 4.8                   | 1.94 | 10.0 | 7.8  |
| 330:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -16.1%    | -7°  | : | 4.7                   | 1.92 | 9.8  | 7.0  |
| M= 4.3 m/s E= 123. W/m²  |     |       |    |          |           |      |   | 4.8                   | 1.58 |      |      |

| Ziegelbrücke 7/89 - 9/90 |     |       |    |          |           |      |     |      |      | 28/12/99 20:40        |  |
|--------------------------|-----|-------|----|----------|-----------|------|-----|------|------|-----------------------|--|
| Standort Linthebene      |     |       |    |          |           |      |     |      |      | Height: 50.0 m a.g.l. |  |
| Sect                     | Rch | Input |    | Obstacle | Orography |      | A   | k    | %    | E%                    |  |
| 0:                       | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -35.5%    | -17° | 6.0 | 1.76 | 12.5 | 12.9                  |  |
| 30:                      | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -33.2%    | -6°  | 6.4 | 1.36 | 6.4  | 12.3                  |  |
| 60:                      | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -39.9%    | 2°   | 2.7 | 0.74 | 3.6  | 5.7                   |  |
| 90:                      | 4   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -32.5%    | 11°  | 5.2 | 1.36 | 13.6 | 14.5                  |  |
| 120:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -24.1%    | 14°  | 5.7 | 1.66 | 11.3 | 10.8                  |  |
| 150:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -13.2%    | -5°  | 6.0 | 2.53 | 8.3  | 5.8                   |  |
| 180:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -35.5%    | -17° | 6.1 | 2.41 | 11.7 | 8.8                   |  |
| 210:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -33.2%    | -6°  | 5.8 | 1.53 | 2.3  | 2.6                   |  |
| 240:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -39.9%    | 2°   | 4.7 | 1.51 | 2.8  | 1.7                   |  |
| 270:                     | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -32.5%    | 11°  | 6.3 | 1.96 | 10.2 | 10.6                  |  |
| 300:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -24.1%    | 14°  | 5.9 | 1.98 | 9.5  | 8.0                   |  |
| 330:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -13.2%    | -5°  | 5.9 | 2.04 | 7.9  | 6.3                   |  |
| M= 5.2 m/s E= 203. W/m²  |     |       |    |          |           |      | 5.8 | 1.65 |      |                       |  |

|                          |     |       |    |          |        |           |   |     |      |                       |      |  |  |
|--------------------------|-----|-------|----|----------|--------|-----------|---|-----|------|-----------------------|------|--|--|
| Ziegelbrücke 7/89 - 9/90 |     |       |    |          |        |           |   |     |      | 28/12/99 21:08        |      |  |  |
| Standort Linthebene      |     |       |    |          |        |           |   |     |      | Height: 70.0 m a.g.l. |      |  |  |
| Sect                     | Rch | Input |    | Obstacle |        | Orography |   | A   | k    | %                     | E%   |  |  |
| 0:                       | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -30.4% | -14°      | : | 6.9 | 1.88 | 13.2                  | 13.7 |  |  |
| 30:                      | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -30.7% | -6°       | : | 7.0 | 1.39 | 6.6                   | 11.8 |  |  |
| 60:                      | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -36.3% | 2°        | : | 3.0 | 0.74 | 3.7                   | 5.7  |  |  |
| 90:                      | 4   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -29.5% | 9°        | : | 5.9 | 1.41 | 14.4                  | 14.7 |  |  |
| 120:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -20.6% | 11°       | : | 6.3 | 1.76 | 10.7                  | 9.2  |  |  |
| 150:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -11.6% | -4°       | : | 6.8 | 2.62 | 7.0                   | 5.2  |  |  |
| 180:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -30.4% | -14°      | : | 7.0 | 2.54 | 12.6                  | 10.5 |  |  |
| 210:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -30.7% | -6°       | : | 6.3 | 1.55 | 2.4                   | 2.5  |  |  |
| 240:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -36.3% | 2°        | : | 5.3 | 1.53 | 2.8                   | 1.8  |  |  |
| 270:                     | 2   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -29.5% | 9°        | : | 7.1 | 1.99 | 10.8                  | 11.6 |  |  |
| 300:                     | 3   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -20.6% | 11°       | : | 6.6 | 2.04 | 9.1                   | 7.7  |  |  |
| 330:                     | 7   | 0.0%  | 0° | 0.0%     | -11.6% | -4°       | : | 6.7 | 2.09 | 6.7                   | 5.6  |  |  |
| M= 5.8 m/s E= 275. W/m²  |     |       |    |          |        |           |   | 6.5 | 1.71 |                       |      |  |  |