



**Interreg III B**



Alpine Windharvest

## ALPINE WINDHARVEST

Development of information base regarding potentials and the necessary technical, legal and socio-economic conditions for expanding wind energy in the Alpine Space\*

Alpine Windharvest Report Series  
published by the Alpine Windharvest Partnership Network  
Report No. 7-1

**Digitale Relief-Analyse**  
(Zusammenfassung von Arbeitspaket 7)

**METEOTEST**  
Fabrikstrasse 14  
3012 Bern  
Switzerland  
office@meteotest.ch

Bearbeitung: Beat Schaffner, René Cattin

Bern, 20 April 2005

\*Project A/I-2/3.1/5 co-financed by the EU Interreg IIIB Alpine Space Programme  
Alpine Windharvest Homepage: <http://www.sbg.ac.at/pol/windharvest>

## **ALPINE WINDHARVEST**

...is an interdisciplinary research project funded by the EU Interreg IIIB "Alpine Space Programme" (Project No. A/I-2/3.1/5) and by national and regional co-financing bodies of the project partners. The project started in May 2002 and will end at the end of April 2005.

### **Background of the project:**

Wind power became a leading renewable energy technology in flat terrain, especially near shore. While the alpine space also promises some excellent wind locations, much of the knowledge and experience accumulated about wind power so far cannot simply be transferred to the alpine setting.

The lack of experience concerns all levels of government confronted with problems of siting, spatial planning, nature protection/environmental impact analyses, road and electric grid requirements, appropriate tariff regulation etc. The project aims at remedying these deficiencies.

This lack of experience also regards entrepreneurs, investors and even producers of equipment given the special climatic and geological conditions. This increases economic risks, inhibits site exploration and planning activities even for attractive locations. The small number of existing projects in the alpine space impedes standard procedures.

Lack of experience also affects the acceptance of wind power by nature protection organisations and local residents. There is much need for additional knowledge and information; standard models for the resolution/mediation of conflicts will be useful.

For this reason, it is essential to pool the limited experience with wind power in the alpine space for synergy effects, cross-fertilisation and greater efficiency in developing data sets, methods, approaches and solutions for public and private actors, particularly since many of the underlying phenomena are trans-national while most research so far was primarily national (e.g. meteorology).

A common approach will facilitate a harmonised European approach to the problems under consideration, particularly with regard to government policy.

### **Main activities:**

Develop knowledge basis for deploying wind energy:

- a) Methods and instruments for identifying wind energy potential in complex terrain more efficiently (meteorologists, geographers, digital relief analyses and actual wind measurements; includes pilot measurements on specific locations).
- b) Deal with problems peculiar to wind turbines in alpine conditions (blade icing; access - need for special mounting equipment); standardise technologies, estimates of access requirements (roads and grid). Common approaches for entire alpine space will create bigger market for improvements and induce responses from equipment manufacturers.
- c) Analyse ecological impact of turbines in different alpine settings on fauna and flora according to altitude, soil/rock and meteorological conditions; establish check list of factors for whole alpine space. Develop strategies to minimise impact. Improve information for local/ regional authorities.
- d) Analyse and compare legal, social, political and economic framework conditions for deployment of wind power in alpine space and their impact on its competitiveness. Formulate regulatory proposals.
- e) Prepare methods of resolving conflicts between wind power and other interests (environmental organisations, local residents, hunting). Improve visualisations (more difficult in alpine terrain), standardise participation in administrative procedures and mediation. Facilitate work of local and regional authorities.
- f) Measure potential contribution of this energy source to regional development, particularly when joined with hydro storage and electricity generation from biomass.

### **Alpine Windharvest Report Series:**

The Alpine Windharvest Report Series is published by the Alpine Windharvest partnership network in order to disseminate the results of the project to the interested public and to experts in the field. Reports are edited by the responsible project partner(s) who commissioned and approved the report according to our internal division of labour. Reports can be downloaded from our homepage. Printed versions can be directly ordered from the project coordinator by e-mail: [dieter.pesendorfer@sbg.ac.at](mailto:dieter.pesendorfer@sbg.ac.at).

Further information: <http://www.sbg.ac.at/pol/windharvest>

## Alpine Windharvest Partnership Network:

### Lead Partner

University of Salzburg  
Department of Political Science  
<http://www.sbg.ac.at/pol>

Project Coordinator: Dr. Dieter Pesendorfer  
Department of Political Science  
Rudolfskai 42  
5020 Salzburg  
Tel: +43-662-8044-6608  
Email: [dieter.pesendorfer@sbg.ac.at](mailto:dieter.pesendorfer@sbg.ac.at)

### Project Partners

Amt für Luft und Lärm Bozen (ALL) –  
Agenzia Provinciale per la protezione dell'ambiente  
e la tutela del lavoro  
<http://www.provinz.bz.it/umweltagentur>

Mr. Norbert Lantschner  
ALL  
Amba-Alagistr. 35  
39100 Trention-Alto Adige IT 31  
Bozen  
Italy  
Coordinator: Mr. Alexander Dorfmann  
Email: [a.dorfmann@arcon-bozen.it](mailto:a.dorfmann@arcon-bozen.it)

Salzachwind Erneuerbare Energie GesmbH  
<http://www.salzachwind.at>

Dr. Franz Kok  
Brunnhausgasse 5  
5020 Salzburg  
Austria  
E-mail: [franz.kok@sbg.ac.at](mailto:franz.kok@sbg.ac.at)

Rhônealénergie-environnement (RAEE)  
<http://www.raee.org>

Mr. Emmanuel Jeanjean  
10 rue des archers  
69002 Lyon  
France  
Email: [Emmanuel.Jeanjean@raee.org](mailto:Emmanuel.Jeanjean@raee.org)

Republic of Slovenia, Ministry for environment,  
spatial planning and energy; Agency for  
efficient energy use (AURE)  
<http://www.sigov.si/mop>  
<http://www.aure.si>

Coordinator: Mr. Andrej Klemenc  
Director NA-SVET, Consultancy for Sustainable Development  
Slovenski E Forum  
Vurnikova 5  
1000 Ljubljana  
Slovenia  
Email: [andrej.klemenc@guest.arnes.si](mailto:andrej.klemenc@guest.arnes.si)

Suisse éole  
<http://www.suisse-eole.ch>

Mr. Reto Rigassi  
Dr. Eicher+Pauli AG  
Kasernenstrasse 21  
4410 Liestal  
Switzerland  
Email: [reto.rigassi@eicher-pauli.ch](mailto:reto.rigassi@eicher-pauli.ch)  
Coordinator: Mr. Stefan Kunz  
Meteotest  
Email: [kunz@meteotest.ch](mailto:kunz@meteotest.ch)

# Digitale Relief-Analyse

Zusammenfassung von Arbeitspaket 7

**Bearbeitung:**  
Beat Schaffner  
*METEOTEST*  
Fabrikstrasse 14  
3012 Bern  
Schweiz  
office@meteotest.ch

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1. Ziele.....	6
1.2. Beteiligte Institute und Unternehmen .....	6
<b>2. Windkarte des Alpenraums .....</b>	<b>7</b>
2.1. Hintergrund.....	7
2.2. Überblick über Methoden zur mesoskaligen Windkartierung.....	7
2.3. Methodik der Windkarte des Alpenraums.....	7
2.4. Resultate .....	8
<b>3. GIS-Analysen für Windenergie-Standorte .....</b>	<b>10</b>
3.1. Hintergrund.....	10
3.2. Vorgehen.....	10
3.3. Fallstudien und Resultate.....	11
3.4. Validierung und Fazit .....	12
<b>4. CFD Windmodellierung.....</b>	<b>13</b>
4.1. Hintergrund.....	13
4.2. Fallstudien .....	13
4.3. Validierung und Fazit .....	13
<b>5. Dokumentation.....</b>	<b>16</b>

# 1. Einleitung

## 1.1. Ziele

Im Interreg IIIB (Alpine Space Program) Projekt "Alpine Windharvest" behandelte das Arbeitspaket "digitale Relief-Analyse" die Besonderheiten der alpinen Topografie und ihre Einflüsse auf Windressourcen und die Nutzung der Windenergie.

Es wurden folgende Ziele verfolgt:

- einen Überblick über die Windressourcen im gesamten Alpengebiet ermöglichen
- eine Methodik zur regionalen GIS-Analyse zur Bestimmung potenzieller Windkraft-Standorte erarbeiten
- anwendungsorientierte Hilfsmittel für die Planung von alpinen Windkraftprojekten entwickeln

## 1.2. Beteiligte Institute und Unternehmen

**Suisse Eole**, die schweizerische Vereinigung zur Förderung der Windenergie, war Projektpartner und Leiter des Arbeitspakets. Kontaktperson: Reto Rigassi (reto.rigassi@eicher-pauli.ch).

**Meteotest**, ein privates Unternehmen aus Bern, Schweiz, bietet Dienstleistungen im Bereich Meteorologie, Windenergie und GIS an. Meteotest wurde von Suisse Eole zur Koordination und Ausführung des Arbeitspakets mandatiert. Kontaktperson: Beat Schaffner (schaffner@meteotest.ch).

**Ecowatt**, ein privates Unternehmen im Bereich erneuerbare Energien aus Graz, Österreich, wurde beauftragt, GIS-Analysen für Österreich und Italien durchzuführen. Kontaktperson: Heimo Truhetz (h.truhetz@ecowatt.at).

Das **Scientific Research Centre of the Slovenian Academy for Sciences and Arts** am Institute of Anthropological and Spatial Studies in Ljubljana, Slowenien wurde beauftragt GIS-Analysen für Slowenien durchzuführen. Kontaktperson: Tomaz Podobnikar (tomaz@zrc-sazu.si).

Zudem profitierte das Arbeitspaket von Sachleistungen der beteiligten Regionen sowie von unverzichtbaren Daten der Projektpartner.

## 2. Windkarte des Alpenraums

### 2.1. Hintergrund

Obwohl bereits Windkarten verschiedener Regionen im Alpenraum erstellt wurden, existierten bislang keine detaillierten Windkarten, die den gesamten Alpenraum abdecken. Deshalb wurde entschieden, eine solche Karte zu erstellen. Damit erhalten Behörden, Windenergie-Promotoren sowie alle anderen interessierten Kreise eine konsistente Grundlage, die einen Überblick über die Windverhältnisse im Alpenraum bietet.

### 2.2. Überblick über Methoden zur mesoskaligen Windkartierung

Es wurde eine Bestandesaufnahme über Möglichkeiten der mesoskaligen Windkartierung erstellt. Es gibt im Allgemeinen zwei Ansätze für Windmodellierungen dieser Größenordnung.

**Numerische Strömungsmodellierung** wird meist mit mesoskaligen Strömungsmodellen ausgeführt. Dabei wird die Meteorologie einer vergangenen Periode ausgehend von grossskalig verfügbaren Reanalyse-Daten berechnet. Die resultierenden Windfelder werden zu Klimatologien zusammengefügt. Die Resultate können danach durch mikroskalige Modellierung verfeinert werden.

Der zweite Ansatz basiert auf einer **statistischen Windmodellierung**. An meteorologischen Stationen gemessene Windstatistiken werden mittels statistischer Modelle, die die Topografie berücksichtigen, interpoliert.

Die beiden Ansätze können kombiniert werden, indem die Resultate einer Strömungsmodellierung mit Beobachtungen gewichtet werden.

### 2.3. Methodik der Windkarte des Alpenraums

Für die Windkarte des Alpenraums wurde ein statistischer Ansatz, der auf Windmessungen basiert, gewählt. Geländedaten der SRTM<sup>1</sup> wurden auf ein Gitter mit einer horizontalen Auflösung von 250 m interpoliert. Fehler innerhalb der SRTM-Daten wurden mittels lokaler digitaler Höhenmodelle oder Interpolationsalgorithmen behoben. Die Geländerauhigkeit wurde ausgehend vom CORINE<sup>2</sup>-Datensatz sowie der Schweizer Landnutzungsdaten bestimmt (Abb. 1). Windgeschwindigkeitsdaten von ca. 600 Messstationen (Abb. 2) wurden zusammengetragen und standardisiert. Die Windgeschwindigkeit wurde räumlich sowie in Funktion der Meereshöhe interpoliert. Es erfolgten Korrekturen für Rauigkeit und spezifische Geländeformen.

---

<sup>1</sup> Shuttle Radar Topography Mission; <http://www.dlr.de/srtm>

<sup>2</sup> <http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/metadetails.asp?id=571>

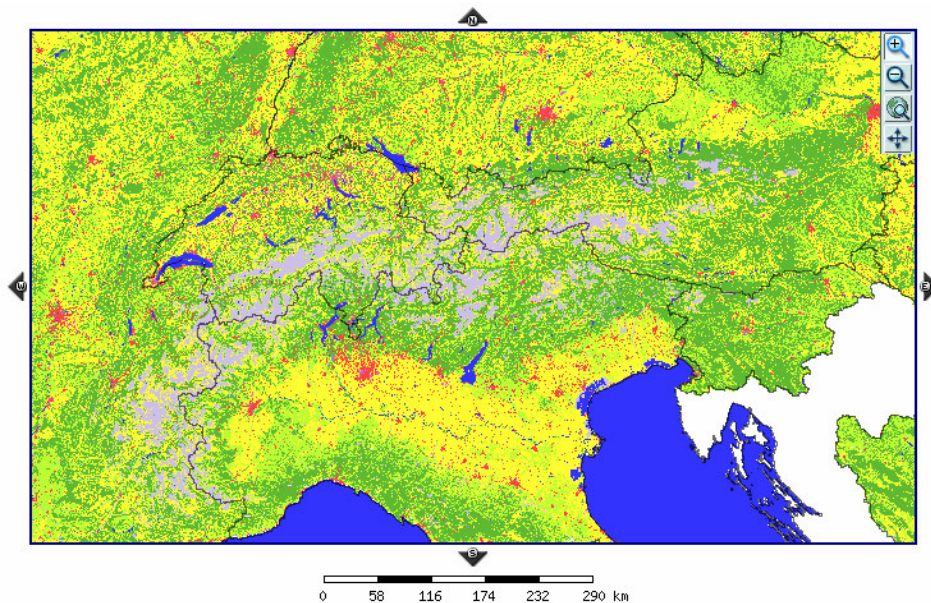


Abb. 1: Diese Landnutzungskarte diente als Input für die Modellierung der Windkarte des Alpenraums.

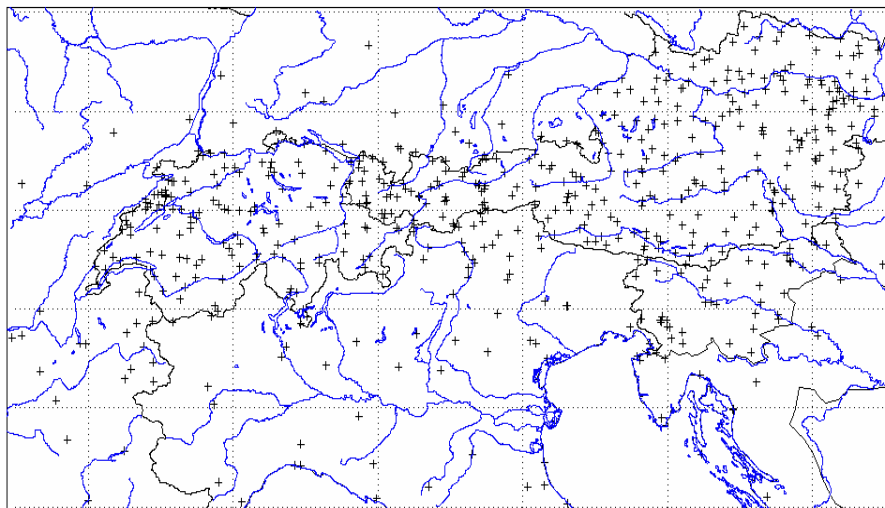


Abb. 2: Für die Windkarte des Alpenraums berücksichtigte Windmessungen.

## 2.4. Resultate

Die resultierenden Windkarten zeigen die mittlere Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen über Grund mit einer Genauigkeit von  $\pm 1.5$  m/s (Abb. 3). Sie sind als interaktive Karten im Internet erhältlich<sup>3</sup>. Die Bestandaufnahme der Modelliermethoden, die angewandte Methode sowie die Resultate wurden dokumentiert<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> <http://stratus.meteotest.ch/windharvest>

<sup>4</sup> Schaffner et al., 2005: Alpine Space Wind Map. Alpine Windharvest Report No. 7-2.

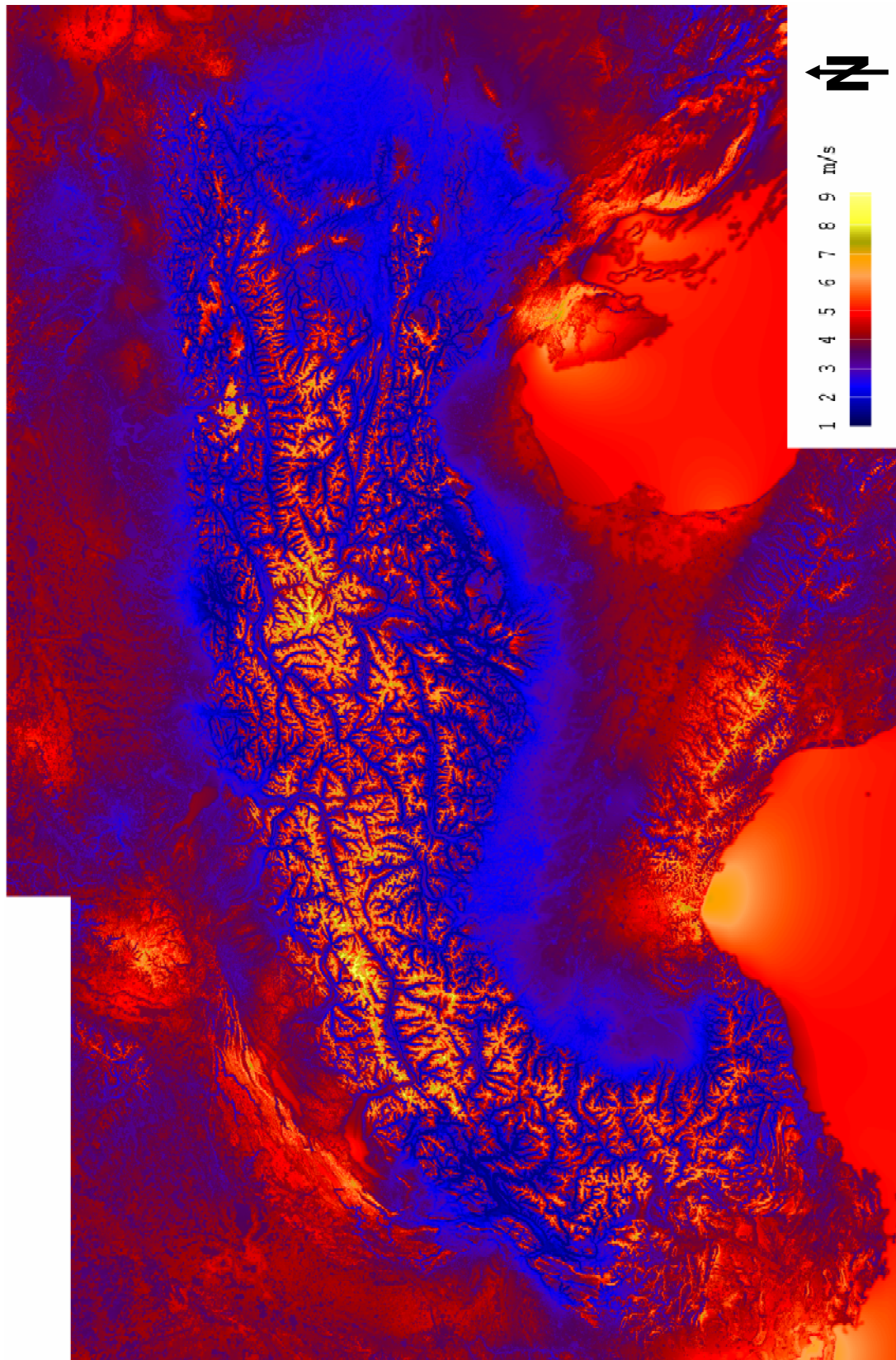


Abb. 3: Die Windkarte des Alpenraums. Es ist die mittlere Windgeschwindigkeit in 100 m über Grund dargestellt.

### 3. GIS-Analysen für Windenergie-Standorte

#### 3.1. Hintergrund

Das Ziel war, eine Methodik zu erarbeiten, die mit Hilfe eines Geografischen Informations-Systems (GIS) regional geeignete Standorte für die Nutzung der Windenergie identifizieren kann. Die Methodik sollte effizient sein, indem sie bei einfacher Anwendbarkeit bzw. Anpassung an verschiedene Gebiete im Alpenraum oder anderswo signifikante Resultate liefert.

In der Schweiz wurde 2004 eine umfassende Studie zur Bestimmung der prioritären Standorte für die Nutzung der Windenergie erstellt<sup>5</sup>. Die GIS-Methodik, die im Rahmen der Studie angewendet wurde, wurde im Rahmen von Alpine Windharvest als allgemein anwendbare Methodik angepasst.

#### 3.2. Vorgehen

Die Methodik besteht hauptsächlich aus den folgenden drei Schritten (Abb. 4):

1. Limitierende Faktoren für die Nutzung der Windenergie im betrachteten Gebiet bestimmen. Für jeden Faktor eindeutige Kriterien bestimmen, die aussagen, welche Standorte für die Nutzung der Windenergie nicht geeignet sind.
2. Für jeden limitierenden Faktor einen GIS-Layer erstellen. Jeder dieser Zwischenlayer zeigt die für die Windenergie ungeeigneten Gebiete gemäss entsprechenden Kriterien.
3. Zusammenfügen der Layers zu einem Resultat-Layer. Im Resultat-Layer erscheinen alle Standorte, die in keinem der Zwischenlayer als ungeeignet bestimmt wurden, als geeignet für die Nutzung der Windenergie.

Die Analyse kann je nach Charakteristiken der betrachteten Region und je nach Zielsetzung abgestimmt werden. Es können optimistische bzw. pessimistische Szenarien analysiert werden. So lange die Kriterien in einem realistischen Rahmen bleiben und das Vorgehen gut dokumentiert wird, kann die Analyse wesentlich zur Entscheidungsfindung bei der Evaluierung von Windenergie-Standorten beitragen.

---

<sup>5</sup> BFE, BUWAL, ARE, 2004: Konzept Windenergie Schweiz – Methode der Modellierung geeigneter Windpark-Standorte

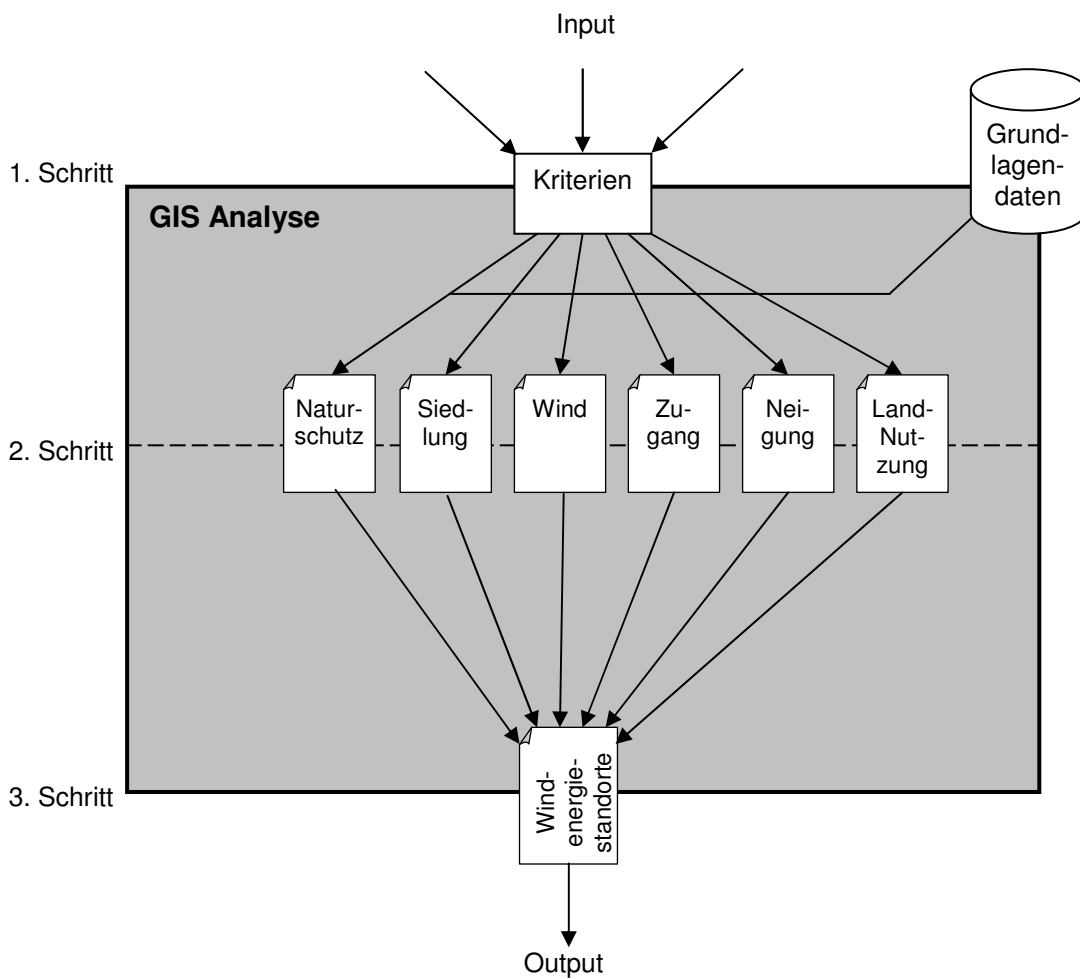


Abb. 4: Allgemeines Vorgehen GIS-Analyse zur Bestimmung von geeigneten Windkraft-Standorten.

### 3.3. Fallstudien und Resultate

Die GIS-Analyse-Methodik wurde für vier Test-Gebiete in Österreich, Italien, Slowenien und der Schweiz angewendet. Die Resultate sind in separaten Berichten dokumentiert und auf dem Internet<sup>6</sup> als interaktive Karten verfügbar (Abb. 5).

<sup>6</sup> <http://stratus.meteotest.ch/windharvest>

[\[main page\]](#)

### GIS Analysis for Aineck Region (Austria)

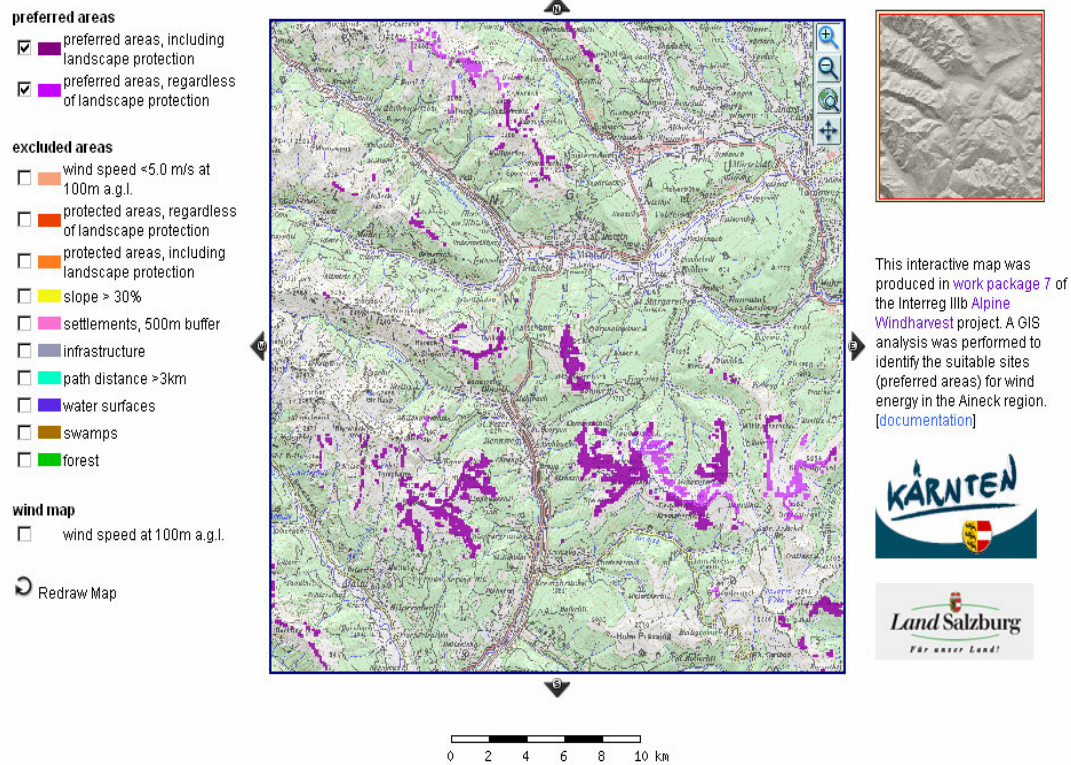


Abb. 5: Resultat der GIS-Analyse für Aineck, Salzburg, Österreich (Ausschnitt der interaktiven Karte auf <http://stratus.meteotest.ch/windharvest>). Die für die Nutzung der Windenergie bevorzugten Gebiete sind violett dargestellt. Die hellvioletten Gebiete liegen innerhalb von Landschaftsschutzgebieten.

### 3.4. Validierung und Fazit

Es zeigte sich, dass die erarbeitete Methode effizient ist: Die Implementierung ist relativ einfach und die Resultate sind signifikant. Die identifizierten Gebiete stimmen generell sehr gut mit Standorten überein, von denen bekannt ist, dass sie für die Nutzung der Windenergie geeignet sind, während ungeeignete Gebiete eliminiert wurden.

In den Fallstudien wurden die Ausschlusskriterien nach bestem Wissen der beteiligten Institute festgelegt. Für aussagekräftigere Resultate, die z.B. als Grundlage für ein regionales oder nationales Windenergiekonzept dienen könnten, ist es allerdings unumgänglich, dass die Ausschlusskriterien in einem sozio-politischen Prozess definiert werden.

## 4. CFD Windmodellierung

### 4.1. Hintergrund

Neben den Schwierigkeiten für Messungen, die von den rauen meteorologischen Bedingungen verursacht werden, ist die Modellierung der Windverhältnisse eine der grössten Herausforderungen im alpinen Gelände. Windmodellierung ist ein wesentlicher Schritt im Verlauf eines Windenergie-Projekts. Detaillierte Kenntnisse der lokalen Windressourcen sind Voraussetzung, um das Windpark-Layout (Turbinentypen, Positionen, Nabenhöhen) zu optimieren und die Stromproduktion zu maximieren. Modellresultate werden auch benötigt, um die Stromproduktion und die Parkverluste zu berechnen (d.h. Verluste der Produktion verursacht durch die gegenseitige Abschattung von Windkraftanlagen). Beides sind Grundlagen für die finanzielle Planung eines Windenergieprojekts sind.

In flachem oder leicht hügeligem Gelände ist es möglich mit den herkömmlichen Windenergie-Modellen wie WAsP<sup>7</sup> zuverlässige Resultate zu erlangen. Im komplexen, alpinen Gelände hingegen sind diese Hilfsmittel jedoch untauglich. Deshalb sind komplexere Modellierungstechniken gefragt, wie z.B. Computational Fluid Dynamics (CFD). Bis vor einigen Jahren waren nur Grossrechner in der Lage die benötigten Berechnungen auszuführen. Heute verfügen aber auch PCs über die benötigte Rechenleistung. Mit der PC-Software WindSim<sup>8</sup>, das spezifisch für die Bedürfnisse der Windenergie entwickelt wurde, ist heute ein Interface zur CFD-Modellierung auf dem Markt erhältlich.

### 4.2. Fallstudien

CFD-Windmodellierungen mit WindSim wurden in 4 Gebieten für 7 "Hotspots" in Österreich, Italien, Slowenien und der Schweiz durchgeführt, um Erfahrungen mit CFD-Modellierung in komplexem Gelände zu sammeln, Modellresultate zu validieren und laufende Windenergieprojekte an den erwähnten Hotspots zu fördern.

Abbildung 6 zeigt das Beispiel einer Windressourcenkarte am Brennerpass in Österreich, die mit WindSim modelliert wurde.

### 4.3. Validierung und Fazit

Um die Modellresultate zu validieren, wurden einerseits modellierte Wind-Klimatologien mit gemessenen Klimatologien verglichen und andererseits modellierte vertikale Profile der Windgeschwindigkeit mit mittels SODAR gemessenen Profilen verglichen (Abb. 7).

---

<sup>7</sup> <http://www.wasp.com>

<sup>8</sup> <http://www.windsim.com>

Es zeigte sich, dass mit WindSim eine CFD-Modellierungsmethode verfügbar ist, die die Anforderungen des komplexen alpinen Geländes erfüllen kann, im Gegenteil zu WAsP oder ähnlichen diagnostischen Modellen.

Diskrepanzen zwischen Modellresultaten und Messungen konnten vor allem der Diskretisierung des Geländes (wie sie Modellen inhärent ist), sowie ungenügender Repräsentation von Hindernissen wie Wald und Hecken, zugeschrieben werden (Abb. 8).

Wie andere Modelle dieses Typs, ist WindSim vor allem dazu geeignet, Messungen genügend hoher Messmasten auf Nabenhöhe ins umgebende, gleichartige Gelände zu extrapolieren. Qualitativ hochwertige Messungen in mindestens 30 m Höhe innerhalb des modellierten Perimeters sowie detaillierte digitale Höhenmodelle sind essentielle Inputdaten.

Validierungen, Schlussfolgerungen und Empfehlungen wurden dokumentiert<sup>9</sup>.

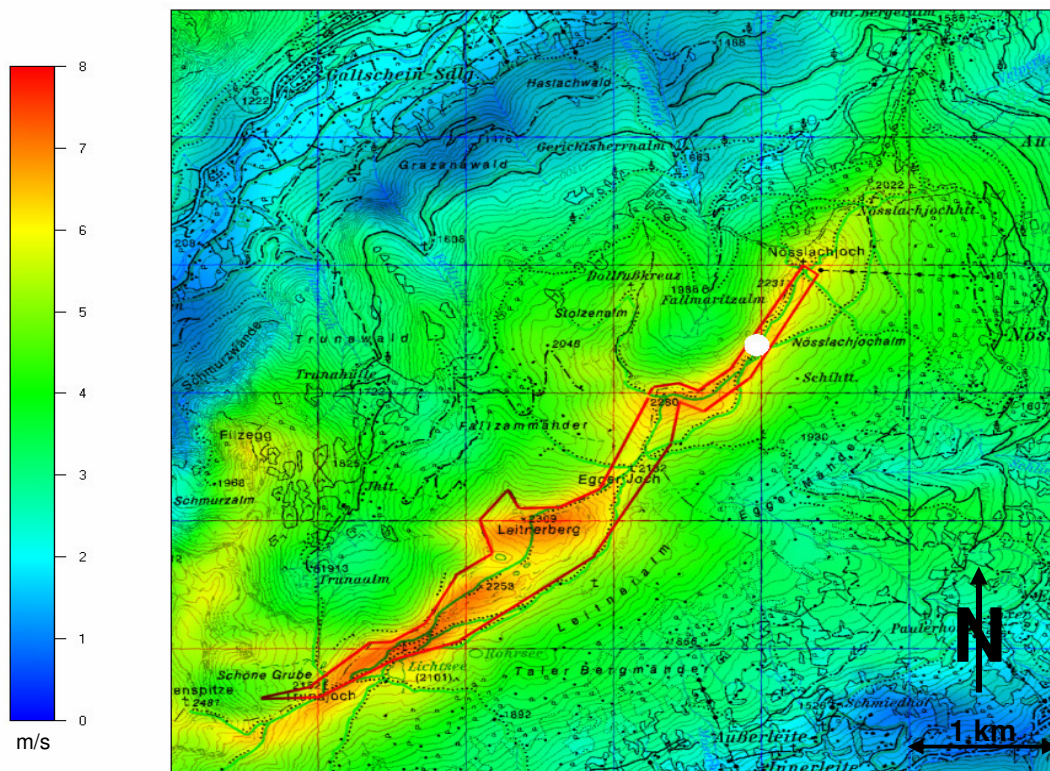


Abb. 6: Windressourcen in 50 m über Grund für Nösslachjoch, Brenner, Österreich. Der Kreis zeigt den Standort der Windklimatologie. Die rote Linie markiert den Windenergie-Perimeter. Hintergrundkarte 1:50'000.

<sup>9</sup> Schaffner et al, 2005: CFD Modeling Evaluation. Alpine Windharvest Report No. 7-7.

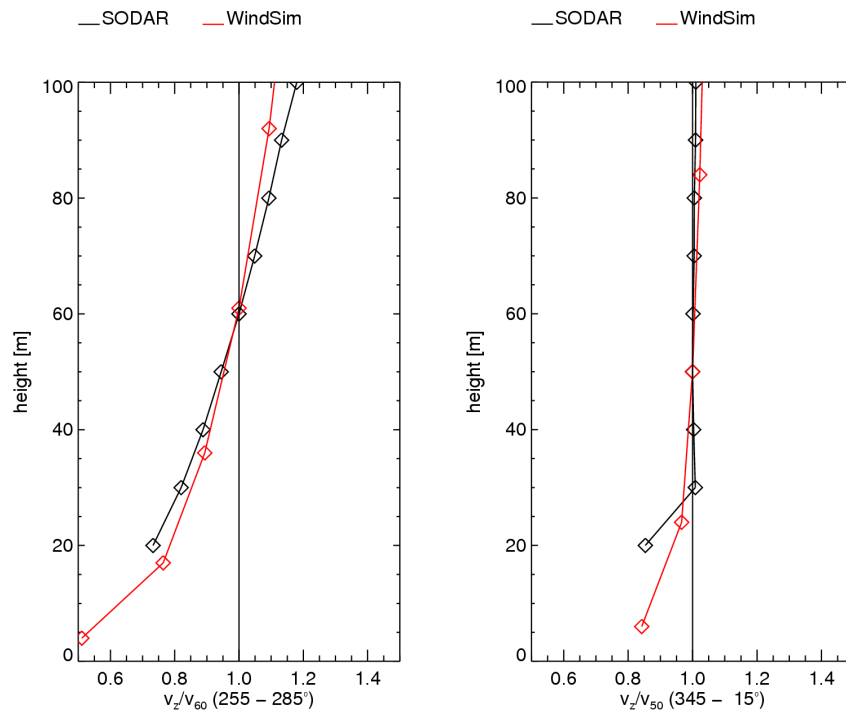


Abb. 7: Vergleich gemessener (SODAR, schwarz) und modellierter (WindSim, rot) vertikaler Profile der Windgeschwindigkeit in St. Brais, Schweiz (links) und Sattelberg, Österreich (rechts).

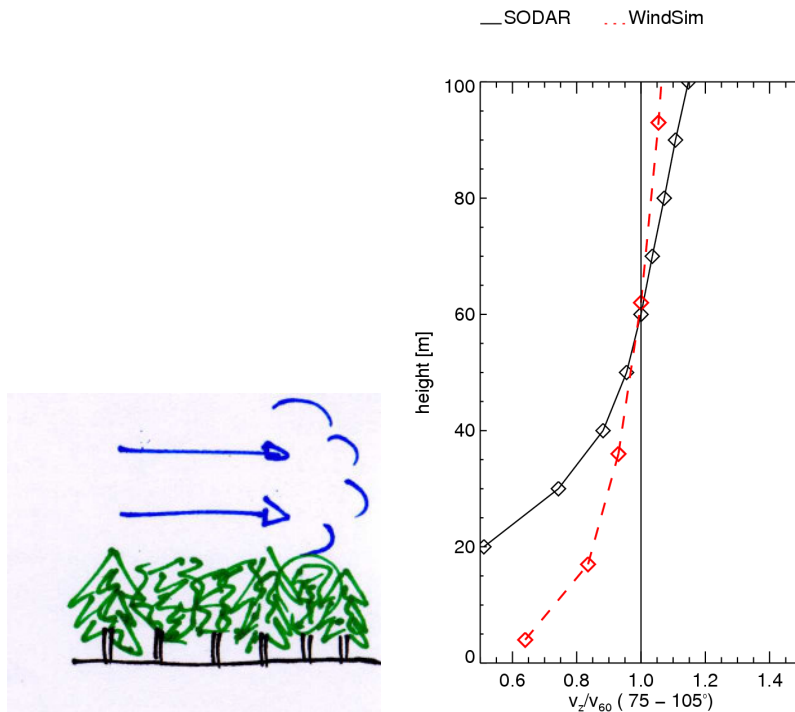


Abb. 8: Vergleich gemessener (SODAR, schwarz) und modellierter (WindSim, rot) vertikaler Profile der Windgeschwindigkeit in Peuchapatte, Schweiz. Unterschiede werden durch ungenügende Repräsentation des Waldes im Modell verursacht.

## 5. Dokumentation

Die folgenden Berichte dokumentieren die Aktivitäten und Resultate des Arbeitspakets:

- Alpine Windharvest Report No. 7-2  
**Alpine Space Wind Map**  
Modeling approach  
*B. Schaffner, J. Remund, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-3  
**GIS Analyses Methodology**  
Workbook and results  
*F. Dällenbach, B. Schaffner, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-4  
**GIS analyses 'Aineck' and 'Brenner', Austria and Italy**  
Documentation of GIS concepts, methods and results  
*M. Ehrenreich, O. Frühwald, H. Prassl, H. Truhetz, ecowatt*
- Alpine Windharvest Report No. 7-5  
**GIS analyses 'Franches Montagnes', Switzerland**  
Documentation of GIS concepts, methods and results  
*F. Dällenbach, B. Schaffner, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-6  
**GIS analyses 'Menina planina', Slovenia**  
Documentation of GIS concepts, methods and results  
*T. Podobnikar, K. Zaksek, Scientific Research Centre of Slovenian Academy for Sciences and Arts*
- Alpine Windharvest Report No. 7-7  
**CFD Modeling Evaluation**  
Summary of WindSim CFD modeling procedure and validation  
*B. Schaffner, R. Cattin, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-8  
**CFD Modeling 'Lungnau', Austria**  
Documentation of modeling procedure, results and validation  
*B. Schaffner, R. Cattin, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-9  
**CFD Modeling 'Brenner', Austria and Italy**  
Documentation of modeling procedure, results and validation  
*B. Schaffner, R. Cattin, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-10  
**CFD Modeling 'Franches Montagnes', Switzerland**  
Documentation of modeling procedure, results and validation  
*B. Schaffner, R. Cattin, Meteotest*
- Alpine Windharvest Report No. 7-11  
**CFD Modeling 'Menina planina', Slovenia**  
Documentation of modeling procedure, results and validation  
*B. Schaffner, R. Cattin, Meteotest*

Dokumentationen und interaktive Karten sind verfügbar unter:  
<http://stratus.meteotest.ch/windharvest>